

1 Einleitung

Die fortschreitende Globalisierung mit Herausforderungen wie dem Klimawandel und der COVID-19-Pandemie sowie die Entwicklung von Verkäufer- hin zu Käufermärkten sorgen für Dynamik und Komplexität im Unternehmensumfeld¹. Als Reaktion auf eine zunehmend dynamische Umwelt mit heterogenen, veränderlichen Marktanforderungen und kürzeren Produktlebenszyklen halten agile Ansätze zunehmend Einzug in die Produktentwicklung². Konventionell plangelebene Montageplanungsvorgehen sind auf statische Planungsumgebungen mit geringer Komplexität ausgelegt und damit zu unflexibel, um adäquat auf die dynamischen Anforderungen und die erhöhte Komplexität im Umfeld der agilen Produktentwicklung zu reagieren³. Hier darf die Montageplanung den Anschluss an die Märkte und die Produktentwicklung nicht verlieren. Einige Arbeiten der letzten Jahre erkennen den gesteigerten Bedarf der Montageplanung an geeigneten Methoden zur Komplexitätsbeherrschung sowie an mehr Agilität und entwickeln erste Lösungsansätze. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Beherrschung der Komplexität in der Montageplanung durch die systematische Auswahl geeigneter Planungsmethoden. Nachfolgend werden zunächst die zugrundeliegende Motivation und Zielsetzung dargelegt (Kapitel 1.1). Anschließend werden der forschungsmethodische Ansatz (Kapitel 1.2) und die Aufbaustruktur dieser Arbeit (Kapitel 1.3) dargestellt.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Mit einem Umsatz von etwa 1.900 Mrd. Euro und 6,4 Mio. Beschäftigten im Jahr 2018 sowie einer Bruttowertschöpfung von über 594 Mrd. Euro im Jahr 2020 bildet das verarbeitende Gewerbe ein wichtiges Standbein der Wirtschaft in Deutschland⁴. Eine zentrale Rolle innerhalb der produzierenden Industrie nimmt die Montage ein. In der Montage werden Entwicklungs-, Fertigungs- und Logistikprozesse zusammengeführt, um ein funktionierendes Produkt herzustellen.⁵ Folglich kommt der Montageplanung mit der Auslegung und Abstimmung der Funktionen des Montagesystems eine hohe Bedeutung zur Sicherstellung der wirtschaftlichen Produktion zu⁶.

Dabei ist die Montageplanung verstärkt neuen Herausforderungen durch die Komplexität der Käufermärkte ausgesetzt. Volatile Bedarfsschwankungen und eine zunehmende Individualisie-

¹ Vgl. Westphal, J. R. (2001), Komplexitätsmanagement, S. 1; Janssen, M. et al. (2020), Agile and adaptive, S. 1.

² Vgl. Burggräf, P. et al. (2019), Agile Montage, S. 625; Diels, F. (2018), Indikatoren, S. 100; Hu, S. J. et al. (2011), Assembly system design, S. 724.

³ Vgl. Fölling, C. et al. (2022), Mastering complexity, S. 159; Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1170.

⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2019), Statistisches Jahrbuch, S. 523, 553; Statistisches Bundesamt (Destatis) (2021), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, S. 18.

⁵ Vgl. Whitney, D. E. (2004), Mechanical Assemblies, S. 1.

⁶ Vgl. Feldhusen, J. et al. (2013), Pahl/Beitz Konstruktionslehre, S. 703.

rung der Nachfrage führen zu verkürzten Produktlebenszyklen bei gleichzeitig steigender Variantenvielfalt⁷. Vor dem Hintergrund der Dynamisierung der Märkte kommen in der Produktentwicklung verstärkt agile Methoden zum Einsatz⁸, um flexibel auf veränderliche Marktanforderungen reagieren zu können. Die agile Produktentwicklung als Reaktion auf die Dynamik der Märkte wiederum erzeugt für die Montageplanung als nachgelagerte Disziplin neue Herausforderungen und höhere Aufwände infolge gesteigerter Volatilität und Unsicherheit⁹.

Trotz dieses Komplexitätsanstiegs in der Montageplanung kommen in der Praxis zumeist Methoden aus den 1980er und 1990er Jahren zum Einsatz. Diese konventionell plangetriebenen Montageplanungsansätze sind auf eine statische Planungsumgebung mit beherrschbarer Komplexität ausgelegt und zu starr und unflexibel, um dem dynamischen Input der agilen Produktentwicklung und den Herausforderungen gesteigerter Komplexität adäquat zu begegnen¹⁰. Vor dem Hintergrund von Komplexität und Dynamik sowie der zunehmenden Forderung nach flexiblen Montagesystemen besteht ein Bedarf an mehr Agilität in der Montageplanung.¹¹ Durch den inadäquaten Einsatz und die unspezifische Auswahl von Planungsmethoden werden die Herausforderungen der Montageplanung nicht suffizient adressiert.

Das Zusammenspiel der Defizite konventioneller Planungsmethoden zur Beherrschung von Komplexität und Dynamik einerseits sowie der zunehmenden, durch die agile Produktentwicklung induzierten Komplexität andererseits manifestiert sich in der regelmäßigen Verfehlung von Zeit-, Kosten- und Leistungszielen in Montageplanungsprojekten. Dieses Problem und der resultierende Handlungsbedarf werden durch eine hohe und weiter zunehmende Komplexität in der Montageplanung sowie die steigende Frequenz von Montageplanungsprojekten mit einer Tendenz zu kontinuierlichen Planungsprozessen forciert. Die Empirie verdeutlicht die Bedeutung und Relevanz des Problems für die Montageplanung in der industriellen Praxis.¹²

Agile Methoden, deren Einsatz in der Produktentwicklung zu Herausforderungen für die Montageplanung führt, bergen auch Potenziale zur Adressierung ebendieser. Es bestehen grundlegende Unterschiede zwischen agilen und plangetriebenen Methoden hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Stärken und Schwächen¹³. Dabei haben beide Methoden ihre Berechtigung. In Abhängigkeit vom Planungsfall und der jeweiligen Situation bieten plangetriebene und agile Methoden

⁷ Vgl. Schuh, G. et al. (2018), Entwicklung, S. 386; Schmitt, R. H. et al. (2017), Agile datenbasierte Prozessgestaltung, S. 391.

⁸ Vgl. Brehm, L. et al. (2017), Konfiguration, S. 31; Guérineau, B. et al. (2016), Agile and Project-Planned, S. 109.

⁹ Vgl. Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1170; Bertling, M. et al. (2018), MVPs, S. 24, 27; Molitor, M. et al. (2017), Generative Assembly Planning, S. 313.

¹⁰ Vgl. Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1170; Molitor, M. (2019), Generative Montageablaufplanung, S. 3; Reinema, C. et al. (2013), Agiles Projektmanagement, S. 113; Schuh, G. et al. (2018), Process model, S. 363f.; Schuh, G. et al. (2009), Frei konfigurierbare Planungsprozesse, S. 193.

¹¹ Vgl. Gunasekaran, A. et al. (2002), Agile Manufacturing, S. 1359; Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1170; Molitor, M. (2019), Generative Montageablaufplanung, S. 203; Burggräf, P. et al. (2020), Optimization approach, S. 137f.; Kusiak, A. et al. (1997), Design for agile assembly, S. 157; Burggräf, P. et al. (2020), Capability-based assembly design, S. 1207.

¹² Vgl. Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1172.

¹³ Vgl. Cooper, R. G. (2016), Agile-Stage-Gate, S. 22f.; Boehm, B. W. et al. (2003), Observations, S. 32f.

verschiedene Potenziale. Es existiert keine universal geeignete Methode als Königsweg oder „silver bullet“¹⁴ für alle Planungsfälle¹⁵. Das Potenzial einer Methode zur Komplexitätsbeherrschung wird durch deren Eigenschaften sowie die Komplexität des Planungsfalls determiniert.¹⁶

Es gilt folglich, die Potenziale plangetriebener und agiler Methoden zur Beherrschung der spezifischen Komplexität eines Planungsfalls zu bewerten, um auf dieser Basis über den Einsatz der dominanten Methoden zu entscheiden und so die Planungsergebnisse zu optimieren¹⁷. Für einen Planungsfall ist im Rahmen dieser Arbeit diejenige Methode **dominant**, welche das größte Potenzial zur Beherrschung der planungsfallspezifischen Komplexität aufweist. Hierzu fehlen in der Praxis bisher geeignete systematische Ansätze zur zielgerichteten Methodenauswahl für spezifische Planungs- und Projektumfänge¹⁸. Die Methodenauswahl erfolgt daher häufig unsystematisch und unstrukturiert, was zu suboptimalen Ergebnissen führt¹⁹. Aufgrund der Heterogenität der Planungsfälle hinsichtlich ihrer Komplexität muss die Methodenauswahl innerhalb eines Montageplanungsprojekts spezifisch für einzelne Planungsumfänge erfolgen²⁰.

Zur Hebung der Potenziale verschiedener Planungsmethoden muss das Dogma einer separaten Betrachtung und Nutzung plangetriebener und agiler Methoden überwunden werden. In der Praxis dominiert heute eine *Entweder-oder-Mentalität* bezogen auf den Methodeneinsatz in einzelnen Projekten²¹. Plangetriebene und agile Methoden können jedoch trotz ihrer Unterschiede erfolgreich in Hybridformen kombiniert werden²². Auf diese Weise werden die Potenziale und Vorteile beider Methoden kombiniert, während die Nachteile teilweise kompensiert werden²³. Entsprechend lassen sich die Potenziale der planungsfallspezifisch dominanten Methoden zur Komplexitätsbeherrschung in der Montageplanung durch die gezielte Kombination plangetriebener und agiler Methoden in hybriden Planungsvorgehen heben.²⁴

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Die Zielsetzung ist die Beherrschung der Komplexität in der Montageplanung durch ein Modell zur systematischen Bestimmung der planungsfallspezifisch dominanten Methoden und deren gezielter Kombination in einem hybriden Vorgehensmodell. Vor dem Hintergrund der aktuellen Herausforderungen der Montageplanung soll so eine Optimierung der Planungsergebnisse erzielt werden.

¹⁴ Brooks, F. P. (1987), No Silver Bullet, S. 10.

¹⁵ Vgl. Boehm, B. W. (2006), One-Size-Fits-All, S. 31; Faßbinder, P. (2012), How can you be Agile, S. 117.

¹⁶ Vgl. Fölling, C. et al. (2022), Mastering complexity, S. 159.

¹⁷ Vgl. Burggräf, P. et al. (2019), Agile Montage, S. 623.

¹⁸ Vgl. Diels, F. (2018), Indikatoren, S. 96; Küpper, S. et al. (2018), Hybrid Software Development, S. 157; Datta, S. (2006), Agility Measurement Index, S. 272; Schuh, G. et al. (2017), Application Suitability, S. 1.

¹⁹ Vgl. Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1172, 1174; Diels, F. (2018), Indikatoren, S. 64f.

²⁰ Vgl. Fölling, C. et al. (2022), Mastering complexity, S. 159; Burggräf, P. et al. (2020), Hybrid approach, S. 1172; Krunke, M. (2017), Reifegradmanagement, S. 40; Diels, F. (2018), Indikatoren, S. 64, 96.

²¹ Vgl. Habermann, F. (2013), Hybrides Projektmanagement, S. 93.

²² Vgl. Komus, A. et al. (2017), Status Quo Agile; Cooper, R. G. (2016), Agile-Stage-Gate; Boehm, B. W. et al. (2003), Observations; Faßbinder, P. (2012), How can you be Agile; Schuh, G. et al. (2017), Agile-Waterfall Hybrid; Timinger, H. et al. (2016), Ordnungsrahmen; Felderer, M. et al. (2017), Hybrid development.

²³ Vgl. Boehm, B. W. et al. (2003), Using Risk, S. 57, 65; Fahad, M. et al. (2017), A Comparative Analysis, S. 259; Shimoda, A. et al. (2017), A Method of Setting the Order, S. 301f.

²⁴ Vgl. Fölling, C. et al. (2022), Mastering complexity, S. 159f.

Der anvisierte Lösungsansatz sieht zur Erreichung dieses Ziels vier Schritte vor. Auf Basis einer erweiterten und detaillierten Beschreibung der Montageplanung als System wird ein Maß zur Objektivierung und Bewertung der Komplexität in der Montageplanung entwickelt. Weiterhin werden die konstituierenden Merkmale plangetriebener und agiler Methoden untersucht und deren Potenziale zur Komplexitätsbeherrschung bewertet. Die bewertete Komplexität der Montageplanung und die Potenziale der Methoden zur Komplexitätsbeherrschung bilden anschließend die Eingangsgrößen für das zu entwickelnde Modell zur systematischen Methodenauswahl, welches die Grundlage für die Konfiguration eines hybriden Planungsvorgehens aus plangetriebenen und agilen Methoden darstellt.

Nach KUBICEK beschreibt Forschung einen Lernprozess, in dem Erkenntnisse zum Verständnis und zur Beherrschung von Problemen durch theoriegeleitete Fragen an die Realität gewonnen werden²⁵. Aus den beschriebenen Herausforderungen und der abgeleiteten Zielsetzung ergibt sich die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit²⁶:

Wie lassen sich die dominanten Methoden zur Beherrschung der planungsfallspezifischen Komplexität in der Montageplanung systematisch bestimmen?

Dem Prinzip der reflektierten theoretischen Offenheit folgend, ist diese Forschungsfrage offen und ohne Einschränkungen durch Vorannahmen formuliert. Durch die Beantwortung der Forschungsfrage sollen bestehende Forschungslücken durch die Generierung neuer Hypothesen und Theorien geschlossen werden.²⁷

Die Aktualität des Themas dieser Arbeit zeigt sich mehr denn je in der COVID-19-Pandemie. Das Corona-Virus stellt die Welt vor große, bisher unbekannte Herausforderungen. Die Neuartigkeit der Krankheit erzeugt in diversen Bereichen des Lebens eine immense Komplexität infolge großer Unsicherheiten, volatiler Entwicklungen und begrenzter Informationsverfügbarkeit.²⁸ Die Komplexität und Dynamik der Pandemie erfordert kurzfristige Reaktionen und Verhaltensweisen von Politik und Wirtschaft²⁹. In der Wirtschaft müssen insbesondere die wertschöpfenden Bereiche in Produktion und Montage schnell auf neue Herausforderungen und Einschränkungen reagieren³⁰. Zudem verdeutlicht die Entwicklung in der Forschung die Aktualität des aufgezeigten Handlungsbedarfs. Fragestellungen um den zielgerichteten Einsatz plangetriebener und agiler Methoden werden in der Software-Entwicklung schon seit den 2000er Jahren behandelt³¹. Seit etwa 2015 gewinnt dieser Forschungsbereich in den Domänen des Projektmanagements und der

²⁵ Vgl. Kubicek, H. (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 14.

²⁶ Vgl. Turabian, K. L. et al. (2013), A manual for writers, S. 36.

²⁷ Vgl. Döring, N. et al. (2016), Forschungsmethoden, S. 26, 66, 146.

²⁸ Vgl. Wang, Z. et al. (2020), Combating COVID-19, S. 458; Hajek, A. et al. (2020), Perceptions of Health Care Use, S. 1ff.; Chater, N. (2020), Uncertainties of COVID-19, S. 439; Tolksdorf, K. et al. (2020), Schwereereinschätzung von COVID-19, S. 3ff.

²⁹ Vgl. Janssen, M. et al. (2020), Agile and adaptive, S. 1; Worley, C. G. et al. (2020), COVID-19's Uncomfortable Revelations, S. 280.

³⁰ Vgl. Dorn, F. et al. (2020), Die volkswirtschaftlichen Kosten des Corona-Shutdown, S. 29ff.

³¹ Vgl. Boehm, B. W. et al. (2002), Balancing plan-driven and agile methods.

Entwicklung physischer Produkte stark an Bedeutung³². Erst seit wenigen Jahren werden die entsprechenden Fragestellungen auch auf die Fabrik- und Montageplanung übertragen³³. Daher gilt es nun, den beschriebenen Handlungsbedarf aus Sicht von Theorie und Praxis zu adressieren. Entsprechend der Entwicklung in der Forschungslandschaft liegt der Neuheitsgrad dieser Arbeit neben der Entwicklung einer neuartigen Lösungsmethodik zur systematischen Methodenauswahl auch im Übertrag von Ansätzen und Konzepten aus anderen Domänen auf das Forschungsfeld der Montageplanung, wodurch eine Aufweitung des Lösungskorridors erreicht wird. Die Neuheit dieser Arbeit zeigt sich somit sowohl im Theorie- als auch im Anwendungszusammenhang.

Nachdem die Motivation und Zielsetzung der Arbeit dargelegt und die zu beantwortende Forschungsfrage hergeleitet wurden, wird im folgenden Kapitel die forschungsmethodische Konzeption dieser Arbeit beschrieben.

1.2 Forschungskonzeption

Dieses Kapitel dient der Einordnung der vorliegenden Arbeit in die Wissenschaftstheorie sowie der Erläuterung des Beitrags der gewählten wissenschaftlichen Ansätze zur Lösung des beschriebenen Problems und zur Beantwortung der gestellten Forschungsfragen.

Das übergeordnete Ziel der Wissenschaft ist die Erzeugung von Wissen und von wissenschaftlichen Erkenntnissen³⁴. Wissenschaftliche Erkenntnisse sollen einen praktischen Nutzen stiften und gleichzeitig auf ein theoretisches Fundament gestützt sein. Dazu gilt es, das pragmatische und das theoretische Wissenschaftsziel zu harmonisieren und sowohl einen Praxis- als auch einen Theoriebezug der Forschung herzustellen.³⁵ Erkenntnisse resultieren als Forschungsergebnisse aus wissenschaftlicher Tätigkeit. Zur Bewertung der Relevanz und Nutzbarkeit der Erkenntnisse werden verschiedene Wissenschaftskategorien unterschieden (vgl. Abbildung 1-1). Während sich Formalwissenschaften der Konstruktion von Zeichensystemen wie Sprachen widmen, beschreiben, erklären und gestalten die Realwissenschaften Ausschnitte der wahrnehmbaren Wirklichkeit. Innerhalb der Realwissenschaften werden die reinen Wissenschaften bzw. Grundlagenwissenschaften mit dem theoretischen Ziel der Erklärung von Realitätsausschnitten von den angewandten Wissenschaften bzw. Handlungswissenschaften mit einem Fokus auf der Analyse menschlicher Handlungsalternativen in der Gestaltung sozialer und technischer Systeme in der Praxis unterschieden. Letztere beinhalten die technischen Ingenieurwissenschaften sowie die angewandten Sozialwissenschaften.³⁶ Anders als in den Naturwissenschaften liegt der Fokus der

³² Vgl. Cooper, R. G. (2016), Agile-Stage-Gate; Schuh, G. et al. (2018), Agile Product Scopes; Diels, F. (2018), Indikatoren.

³³ Vgl. Bertling, M. et al. (2018), MVPS; Molitor, M. (2019), Generative Montageablaufplanung; Meckelnborg, A. (2015), Integrative Fabrikplanung.

³⁴ Vgl. Ulrich, P. et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil 1), S. 305.

³⁵ Vgl. Ulrich, H. (1984), Management, S. 169.

³⁶ Vgl. Ulrich, P. et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil 1), S. 305.

Ingenieurwissenschaften auf der verbesserten Herrschaft über die Dinge und weniger auf dem besseren Verständnis der Dinge³⁷.

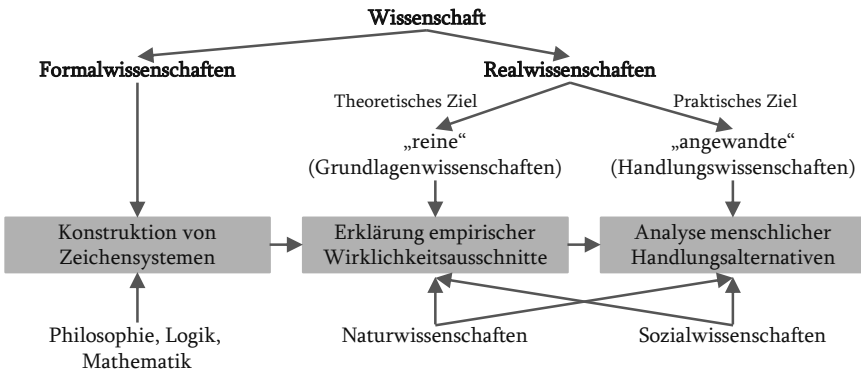


Abbildung 1-1: Struktur der Wissenschaftssystematik³⁸

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Komplexitätsbeherrschung im soziotechnischen System der Montageplanung durch die systematische Auswahl dominanter Planungsmethoden als Handlungsalternativen. Folglich gliedert sich die vorliegende Arbeit aus dem Themenkomplex der Montageplanung in die angewandten Wissenschaften ein. Insbesondere die explizite Adressierung des Problems der Komplexität und die angestrebte Anwendung des erzielten Wissens auf das komplexe System der Montageplanung begründen die Anwendung der Forschungsstrategie der angewandten Wissenschaften³⁹.

Laut POPPER beginnt Erkenntnis „[...] nicht mit Wahrnehmungen oder Beobachtungen oder der Sammlung von Daten oder von Tatsachen, sondern sie beginnt mit Problemen.“⁴⁰ Die Probleme der angewandten Wissenschaften „[...] entstehen in der Praxis und beziehen sich auf diese.“⁴¹ Der Praxisbezug ist daher konstitutiv. Die Realität ist für die angewandten Wissenschaften Ausgangspunkt für die Untersuchung und Schaffung neuer Realitäten. Im Gegensatz zu den Grundlagenwissenschaften werden daher keine Hypothesen geprüft, sondern Gestaltungsmodelle zur Lösung empirisch erfasster, typischer Probleme aus der Praxis entwickelt und im Anwendungszusammenhang geprüft.⁴² In den angewandten Wissenschaften ist der Beitrag einer Theorie zur Zielerreichung entscheidender als die Überprüfung der Wahrheit dieser Theorie⁴³. Praktisch relevante Forschung ist im Bereich der vorliegenden Problemstellung bislang rar⁴⁴.

³⁷ Vgl. Bunge, M. (1974), *Technology as Applied Science*, S. 20.

³⁸ I. A. a. Ulrich, P. et al. (1976), *Wissenschaftstheoretische Grundlagen* (Teil 1), S. 305.

³⁹ Vgl. Ulrich, H. (1984), *Management*, S. 176f., 191.

⁴⁰ Popper, K. R. (2017), *Die Logik der Sozialwissenschaften*, S. 216.

⁴¹ Ulrich, H. (1984), *Management*, S. 172.

⁴² Vgl. ebd. S. 179.

⁴³ Vgl. Poser, H. (2012), *Wissenschaftstheorie*, S. 317f.

⁴⁴ Vgl. Küpper, S. et al. (2018), *Hybrid Software Development*, S. 157.

Im Kern verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, möglichst allgemeingültige Erkenntnisse zur Lösung von Entscheidungsproblemen der betrieblichen Praxis zu erzeugen. Dieses pragmatische Wissenschaftsziel fokussiert die Schaffung eines Verständnisses zur Beherrschung der Realität im Kontext der Montageplanung⁴⁵. Der Fokus der angewandten Wissenschaften liegt nicht auf der Prüfung bestehender, sondern auf der Generierung neuer Hypothesen und Theorien zur Entdeckung neuer Erkenntnisse sowie auf der Entwicklung von Modellen für eine zukünftige Realität⁴⁶. Zur Generierung und Generalisierung von Theorien und Erkenntnissen werden in einem induktiven Ansatz allgemeingültige Zusammenhänge aus singulären Beobachtungen unter Verwendung zusätzlicher deduktiver Schlüsse erzeugt. Aufgrund der Unvollkommenheit von Induktion können Theorien nicht rein induktiv gebildet werden. Daher muss der Forschungsansatz durch Kreativität bei der Begriffssetzung, Fragestellung, Hypothesenbildung und der Kombination gedanklicher Konzepte angereichert werden.⁴⁷

Auch KUBICEK vertritt die Ansicht, dass Erkenntnisgewinn nicht rein über die Prüfung von Hypothesen erfolgen kann. Stattdessen postuliert er die Konstruktionsstrategie empirischer Forschung zur Erzeugung wissenschaftlicher Aussagen auf Basis von Erfahrungswissen. In seiner Konstruktionsstrategie werden wissenschaftliche Aussagen aufbauend auf Erfahrungswissen in einem iterativen Lernprozess konstruiert, der von theoretischen Absichten geleitet ist. Im Fokus des explorativen Forschungsprozesses stehen neben der systemischen Generierung von Erfahrungswissen dessen kreative Umsetzung in theoretischen Aussagen (vgl. Abbildung 1-2). In diesem Prozess wird ein Problem zunächst durch Erfahrungswissen theoretisch gefasst und präzisiert. Darauf aufbauend werden theoriegeleitete Fragen an die Realität gestellt, deren Beantwortung neues Erfahrungswissen generiert, aus dem sich weitere Fragen ergeben. In dieser Heuristik werden neue Erkenntnisse über die Realität gewonnen, die zu wissenschaftlichen Erkenntnissen und generalisierten Aussagen über die Realität führen.⁴⁸ Die in Kapitel 1.1 formulierte Forschungsfrage bildet den Startpunkt dieses iterativen Forschungsprozesses. Im Zentrum des Forschungsprozesses nach KUBICEK steht der heuristische Bezugsrahmen, in dem, ausgehend von einem theoretischen Vorverständnis, Fragen an die Realität gestellt werden. Zur Beantwortung der Fragen werden Daten gesammelt, aus denen ein neues Bild der Realität gewonnen und kritisch reflektiert wird. Daraus werden weitere Fragen an die Realität formuliert.⁴⁹ Der Lernprozess nach KUBICEK und TOMCZAK ist die Grundlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse, die in dieser Arbeit erzielt und festgehalten werden.

⁴⁵ Vgl. Kubicek, H. (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 5, 7.

⁴⁶ Vgl. Döring, N. et al. (2016), Forschungsmethoden, S. 66.

⁴⁷ Vgl. Ulrich, P. et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil 1), S. 306f.

⁴⁸ Vgl. Kubicek, H. (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 12ff.

⁴⁹ Vgl. Tomczak (1992), Forschungsmethoden, S. 84; Kubicek, H. (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 15.



Abbildung 1-2: Explorativer Forschungszyklus ⁵⁰

Zur Vermeidung möglicher Subjektivitäts- und Kommunikationsprobleme in der Forschung werden nach ULRICH UND HILL die drei Aspekte des Entdeckungs-, Begründungs- und Verwendungszusammenhangs in dieser Arbeit berücksichtigt⁵¹. Der **Entdeckungszusammenhang** thematisiert die Rahmenbedingungen, unter denen theoretische Konzeptionen und Erkenntnisse zur Lösung einer konkreten Forschungsaufgabe generiert werden⁵². Die Rahmenbedingungen der Erkenntnisgenerierung werden im Kern durch den heuristischen Bezugsrahmen dieser Arbeit dargestellt. Dieser resultiert aus den Erfahrungen, die der Autor dieser Arbeit im Rahmen seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Montageplanung innerhalb der Abteilung Fabrikplanung am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen gewinnen konnte. Die Arbeit in zahlreichen Industrie- und Forschungsprojekten mit montageplanerischem Schwerpunkt, die Ausbildung zum Scrum Master, die Teilnahme an Veranstaltungen und Arbeitskreisen und die eigenen Forschungstätigkeiten ermöglichten die Identifikation von Problemen sowie den Aufbau eines umfassenden theoretischen Vorverständnisses und Erfahrungswissens. Zur nachvollziehbaren Erfassung der dieser Arbeit zugrundeliegenden praxis- und forschungsrelevanten Probleme wurde weiterhin eine empirische Studie durchgeführt (vgl. Anhang 8.1)⁵³.

Im **Begründungszusammenhang** wird der gedankliche Bezugsrahmen der Forschung zur Validierung und Generalisierung singulärer Beobachtungen sowie zur Validierung der entwickelten Lösungen empirisch überprüft⁵⁴. Auch hierzu leistet der heuristische Bezugsrahmen einen Beitrag, da er dem Autor einen kontinuierlichen wissenschaftlichen Diskurs mit Fachleuten der industriellen Praxis sowie Forschenden der wissenschaftlichen Gemeinschaft ermöglicht. Insbesondere

⁵⁰ I. A. a. Tomczak (1992), Forschungsmethoden, S. 84.

⁵¹ Vgl. Ulrich, P. et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil 1), S. 306f.

⁵² Vgl. ebd. S. 306.

⁵³ Vgl. Ulrich, H. (1984), Management, S. 179.

⁵⁴ Vgl. Ulrich, P. et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil 1), S. 306.

durch eine empirische Studie, eine systematische Literaturrecherche und strukturierte Experteninterviews konnten generalisierbare Aussagen getroffen werden⁵⁵.

Der **Verwendungszusammenhang** problematisiert weiterhin die Verwendung und den Nutzen der erzeugten wissenschaftlichen Aussagen und hinterfragt deren gesellschaftliche Relevanz.⁵⁶ Bezüglich der Verwertung der in dieser Arbeit angestrebten Ergebnisse existieren zwei Zieldimensionen. Zunächst soll das Modell zur systematischen Auswahl der planungsfallspezifisch dominanten Methoden in der Montageplanung der industriellen Praxis genutzt werden, um einen Beitrag zur Beherrschung der dort vorherrschenden Komplexität zu leisten. Weiterhin soll das Ergebnis dieser Arbeit Ausgangspunkt und Anstoß für aufbauende Forschungsaktivitäten sein, welche sich der Kombination verschiedener Planungsmethoden in Hybridformen und dem Übertrag der entwickelten Modelle auf weitere Domänen widmen.

Nachdem die Bedeutung eines Erkenntnisgewinns für die Wissenschaft hervorgehoben wurde, werden die erwarteten Erkenntnisse dieser Arbeit in einer abschließenden Betrachtung vor dem Hintergrund des neuen Konstruktivismus als Theorie der wissenschaftlichen Beobachtung eingeordnet. Die konstruktivistische These verwirft die Idee einer objektiven Wirklichkeit. Die zu beschreibende Wirklichkeit besteht aus subjektiven Wahrnehmungen und der durch die Kommunikation von Wahrnehmungen erzeugten Konstruktion einer gemeinsamen Vorstellungswelt.⁵⁷ Im Konstruktivismus ist eine Erkenntnis folglich „[...] keine Erkenntnis der Wirklichkeit, sondern ein Teil der Konstruktion von Wirklichkeit.“⁵⁸ Dem konstruktivistischen Verständnis folgend, kann diese Arbeit also keinen Anspruch auf absolute Wahrheit und Objektivität haben. Sie soll jedoch in ihrer Funktion als Medium durch die Kommunikation der durch den Autor basierend auf subjektiven Wahrnehmungen erzeugten Erkenntnisse zu deren Verbreitung sowie zum Aufbau einer gemeinsamen Vorstellung beitragen und so den Grad der Objektivität erhöhen.

1.3 Struktur der Arbeit

Das vorliegende Kapitel gibt einen Überblick über den Inhalt und Aufbau dieser Arbeit. Entsprechend der dargelegten forschungstheoretischen Einordnung der Arbeit orientiert sich die Kapitelstruktur an der Strategie angewandter Forschung nach ULRICH. Die Forschungsmethodik nach ULRICH kommt in dieser Arbeit zum Einsatz, da sie als etablierte Methode im Forschungsfeld der Montageplanung fokussiert auf die angewandten Wissenschaften ausgelegt ist, einen Fokus auf den Anwendungszusammenhang legt und explizit die Einbindung der für diese Arbeit wichtigen Disziplinen der Systemtheorie und Kybernetik fördert. Der Forschungsprozess beginnt mit der Erfassung von Problemen in der Praxis, untersucht den Anwendungszusammenhang und endet wieder in der Praxis (vgl. Abbildung 1-3).⁵⁹ Er beschreibt einen Spannungsbogen, welcher durch

⁵⁵ Eine Beschreibung der methodischen Vorgehensweise findet sich in den Anhängen 8.1 und 8.2.

⁵⁶ Vgl. Ulrich, P. et al. (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil 1), S. 306f.

⁵⁷ Vgl. Jensen, S. (1999), Erkenntnis - Konstruktivismus - Systemtheorie, S. 170f.

⁵⁸ Jensen, S. (1999), Erkenntnis - Konstruktivismus - Systemtheorie, S. 170.

⁵⁹ Vgl. Ulrich, H. (1984), Management, S. 192f.

die sieben Kapitel, in die diese Arbeit gegliedert ist, abgebildet wird. Die einzelnen Kapitel nach ULRICH werden an den Schwerpunkt und die Zielsetzung dieser Arbeit adaptiert.

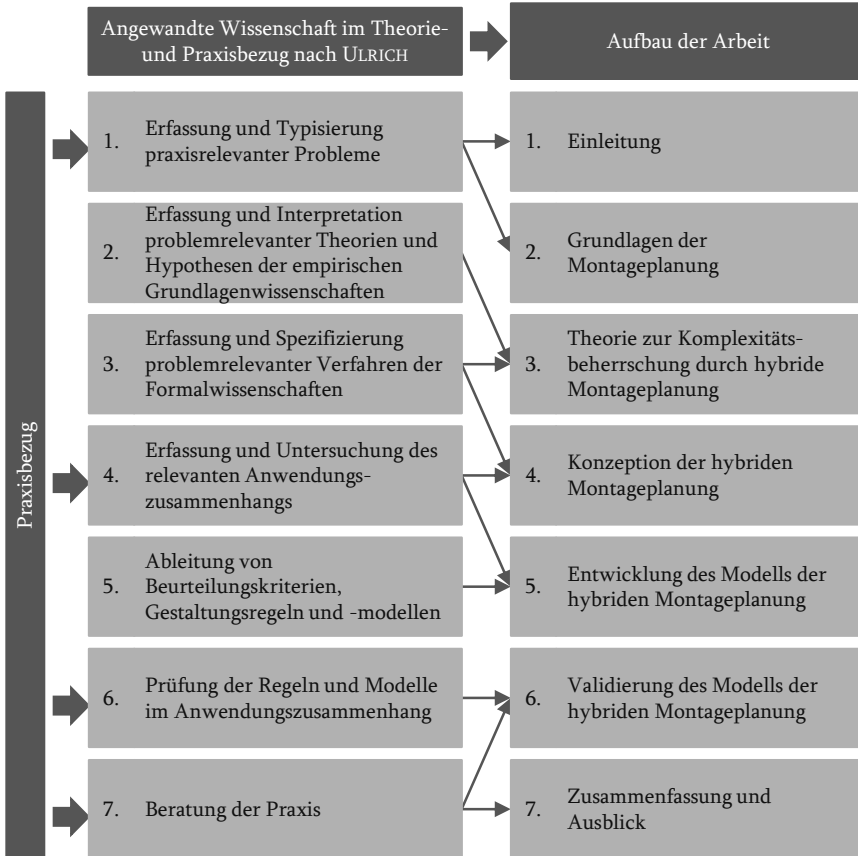


Abbildung 1-3: Angewandte Wissenschaft im Theorie- und Praxisbezug ⁶⁰

Zunächst wurden im vorliegenden ersten Kapitel die Motivation, Zielsetzung und forschungsmethodische Konzeption der Arbeit dargelegt. Dabei werden die zu lösenden praxisrelevanten Probleme dargestellt.

Das zweite Kapitel beschäftigt sich anschließend mit den Grundlagen und Herausforderungen der Montageplanung. Es fokussiert so den Entdeckungszusammenhang der Arbeit. Entsprechend dem Vorgehen in den angewandten Wissenschaften werden aktuelle Herausforderungen neben einer

⁶⁰ I. A. a. ebd. S. 193.

Analyse der Literatur im Rahmen einer empirischen Studie erfasst. Weiterhin wird die problemrelevante Theorie zur Komplexität, welche die zentrale Herausforderung in der Montageplanung darstellt, behandelt. Abschließend wird der Handlungsbedarf zur Komplexitätsbeherrschung in der Montageplanung aus Sicht der Praxis abgeleitet.

Der Fokus des dritten Kapitels liegt auf der Identifikation und Spezifizierung formalwissenschaftlicher Theorien und Verfahren zur Komplexitätsbeherrschung. Nach der allgemeinen Untersuchung von Ansätzen zum Umgang mit Komplexität werden insbesondere die Potenziale von plangetriebenen und agilen Methoden sowie deren Kombination in Hybridformen zur Komplexitätsbeherrschung beleuchtet, woraus der Handlungsbedarf aus Sicht der Theorie hergeleitet wird. Aus den Handlungsbedarfen ergibt sich anschließend die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit.

Die Untersuchungsergebnisse aus Praxis und Theorie bilden die Grundlage für die Entwicklung des Modells zur systematischen Auswahl der planungsfallspezifisch dominanten Planungsmethoden mit dem Ziel der Komplexitätsbeherrschung im Anwendungszusammenhang der Montageplanung. Im vierten Kapitel erfolgt zunächst die Konzeption des Lösungsmodells, wobei der Schwerpunkt auf einem Komplexitätsmaß zur umfassenden Komplexitätsbewertung liegt.

Die Teilmodelle zur Komplexitätsbeherrschung in der Montageplanung werden im fünften Kapitel ausgestaltet und detailliert. Zunächst wird dazu ein systemisches Modell der Montageplanung erweitert. Auf dieser Basis wird die Komplexität der Montageplanung durch die Entwicklung eines Komplexitätsmaßes bewertbar gemacht. Weiterhin werden die Potenziale plangetriebener und agiler Methoden zur Komplexitätsbeherrschung ermittelt. Basierend auf der Bewertung der Komplexität und der methodischen Potenziale zur Komplexitätsbeherrschung wird abschließend eine Systematik zur Bestimmung und Konfiguration der planungsfallspezifisch dominanten Methoden in einem hybriden Montageplanungsvorgehen entwickelt. Die Kapitel 4 und 5 thematisieren damit den Begründungszusammenhang dieser Arbeit.

Im sechsten Kapitel werden die entwickelten Ergebnisse und deren praktische Anwendbarkeit mit Fachleuten aus dem Bereich der Montageplanung geprüft und kritisch reflektiert. Damit werden der für die angewandten Wissenschaften konstitutive Praxisbezug und die Validierung der entwickelten Modelle im Anwendungszusammenhang sichergestellt⁶¹.

Auf Basis der Ergebnisreflexion wird im abschließenden siebten Kapitel ein Ausblick für Praxis und Theorie gegeben. Die von ULRICH geforderte direkte Beratung der Praxis auf Basis der erzielten Ergebnisse ist nicht Teil dieser Arbeit, wird jedoch durch die kritische Darlegung der Implikationen für Praxis und Wissenschaft vorbereitet. Der praktische Nutzen der erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse wird als Schwerpunkt des Verwendungszusammenhangs in den Kapiteln 6 und 7 dieser Arbeit fokussiert.

⁶¹ Vgl. ebd. S. 175.