

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Problemstellung

Die zunehmende Individualisierung von Produkten und des logistischen Services sind wesentliche Gründe für die ansteigende Komplexität in der Planung und Steuerung von Supply Chains im produzierenden Gewerbe (Kersten et al. 2017, S. 34 ff.). Um die Effizienz und Transparenz in der Supply Chain zu erhöhen, stellt die Digitalisierung von Geschäftsprozessen eine wichtige Voraussetzung dar (Kersten et al. 2016, S. 350). Diese digitale Transformation wird durch die vermehrte Integration von digitalen Technologien in die unternehmerischen Prozesse erreicht (Roth 2016, S. 3). Bedingt durch den verstärkten Einsatz dieser Technologien und unter Einbeziehung neuer Paradigmen werden sich Planungs- und Steuerungsprozesse grundlegenden Veränderungen unterziehen (Kurbel 2016, S. 559; ten Hompel & Henke 2017, S. 253 f.). Im deutschsprachigen Raum wird diese Digitalisierung der Industrie auch unter dem Begriff „Industrie 4.0“ zusammengefasst (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 5; Wang et al. 2016, S. 1 f.). Obwohl der Begriff der Industrie 4.0 bereits seit 2011 in Deutschland präsent ist (Kagermann et al. 2013b, S. 79), handelt es sich für die meisten Unternehmen jedoch noch immer eher um eine Vision als um eine Realitätsanschauung. Eine Studie zum Stand der Digitalisierung zeigt auf, dass sich viele der deutschen Betriebe noch nicht mit den digitalen Technologien auseinandersetzen (Arntz et al. 2016, S. 3). Ein Grund hierfür ist, dass sich mit einer Integration der Technologien nicht nur technologische Veränderungen in einem Unternehmen ergeben, sondern sich die gesamte Organisation einem Wandel unterzieht und somit komplexere Veränderungen für das Unternehmen entstehen (Zink et al. 2016, S. 167). Infolgedessen sind beim Transformationsprozess die Wirkungen auf Mensch, Technik und Organisation unter Betrachtung von ökonomischen Randbedingungen relevant (Gehrke 2017, S. 44 ff.; Hellge et al. 2017, S. 172).

### **Potenziale an der Schnittstelle zwischen Produktion und Distribution im Kontext Industrie 4.0**

Bezogen auf die Bereiche in einem Unternehmen liegen die größten Wirkungen bzw. Umsetzungen der Industrie 4.0 mit 86 Prozent in der Produktion und mit 66 Prozent in der Logistik. Ein geringerer Nutzen ist bspw. für den Vertrieb mit 16 Prozent und die Beschaffung mit 13 Prozent zu erwarten. (Wildemann 2018, S. 130)<sup>1</sup> Dies wird bekräftigt, indem sich neben der Produktion die größten Effekte in der Distribution in einer Supply Chain ergeben sollen (Pfohl et al. 2015, S. 46). Dabei entstehen besonders große Potenziale hinsichtlich einer Kostensenkung und einer Leistungssteigerung an der operativen Schnittstelle zwischen Produktion und Distribution mit Fokus auf dem Transportbereich (Schwede 2014, S. 15). Denn die Abstimmung bzw. Kollaboration zwischen Produktions- und Transportplanung stellt eine zwingende Voraussetzung dar, um eine Lieferkette ganzheitlich optimieren zu können (Heidrich 2004, S. 77). Jedoch herrscht heutzutage noch immer eine mangelhafte Kommunikation an der Schnittstelle zwischen Produktion und Transport (Stich et al. 2015a, S. 71). An solch einer kollaborierenden Schnittstelle werden zwar verschiedene IT-Systeme zur Unterstützung des Prozesses verwendet, dennoch scheitert die durchgängige Kommunikation oftmals an fehlenden Standards (Plass 2017, S. 5). Als Konsequenz entstehen bspw. Medienbrüche, die die Leistungsfähigkeit der eingesetzten IT-Systeme erheblich verschlechtern (Schlick et al. 2017, S. 15). Besonders bei kurzfristigen Produktionsplanungsänderungen, bedingt durch Störungen im operativen Prozess, sind die Reaktionszeiten und die echtzeitnahe Informationsweitergabe bei den bisherigen systemischen Lösungen zu niedrig (Schuh et al. 2017b, S. 77 f.). Hinzu kommt, dass laut einer Studie in ca. 57 Prozent der kleinen und mittleren Unternehmen eine Datenrückmeldung nicht automatisiert, sondern noch immer manuell erfolgt, was zu einer erhöhten Fehleranfälligkeit führt (Schuh & Stich 2013; Meißner et al. 2015, S. 21). Durch die exemplarisch genannten Gründe kann sich die

<sup>1</sup> Hinweis zum Zitationsstil in der vorliegenden Arbeit: Wird eine Literaturquelle nach dem Satzpunkt angeführt, beziehen sich die vorherigen Sätze ebenfalls auf diese Quelle.

Auftragsabwicklung der gesamten Supply Chain verzögern. Als Folge ergeben sich weitreichende Konsequenzen nicht nur für das Unternehmen, sondern auch für den Kunden, die sich in einer niedrigen Liefertermintreue widerspiegeln (Schuh et al. 2017b, S. 77 ff.).

### Komplexität der Planung und Steuerung von Produktion und Distribution in der Stahlindustrie

Besonders die Planung und Steuerung von Produktionsnetzwerken in der Stahlindustrie gilt aufgrund ihrer hohen Komplexität als herausfordernd (Labitzke 2011, S. 2). Aus planerischer und logistischer Sicht stellt dabei die rechtzeitige Versorgung von einzelnen inner- und zwischenbetrieblichen Produktions- und Verarbeitungsstufen eine bedeutende Herausforderung dar. Historisch gewachsene, integrierte Stahlwerke verfügen über unterschiedliche Betriebe und Lagerstandorte, an welchen Zwischen- und Endprodukte hergestellt und gelagert werden. Für den Transport zwischen den Betrieben, von und zu den Lagerstandorten sowie zum Endkunden kommen überwiegend unternehmensexterne Logistikdienstleister mit ihren eigenen Transportmitteln zum Einsatz. (Kalpakjian et al. 2011, S. 441; Rotmann 2016, S. 1 ff.) Durch vielfältig auftretende Störungen, besonders bedingt durch die komplexen Prozesse, kommt es in der Praxis oftmals zu kurzfristigen Änderungen der Planungsgrundlage (Fischer et al. 2004, S. 555 f.; Labitzke 2011, S. 34 f.; Krumeich et al. 2014, S. 532). Dies hat insbesondere Auswirkung hinsichtlich der Einhaltung von Lieferterminen zum Kunden. Obwohl sich die Stahlindustrie in herausfordernden Zeiten befindet, stellt sie noch immer einen der bedeutendsten Wirtschaftssektoren in Deutschland dar (Rotmann 2016, S. 1; Bode et al. 2017, S. 34). Sie gilt als Basis der Wertschöpfungsketten für Maschinenbau und Baugewerbe sowie als wichtiger Zulieferer für die Automobilindustrie (Kempermann et al. 2017, S. 6 f.). Um die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Stahlindustrie sowie der damit verbundenen weiteren Industriebranchen zu erreichen, werden auch hier seit einigen Jahren die Begriffe der Digitalisierung und der Industrie 4.0 diskutiert (Bode et al. 2017, S. 6; Reifferscheid 2017, S. 43). Eine Studie<sup>2</sup> zum Stand der Digitalisierung in der Stahlindustrie zeigt, dass 63,5 Prozent der Kunden der Stahlunternehmen davon überzeugt sind, dass die eigene Wettbewerbsfähigkeit von einer erfolgreichen digitalen Transformation der Stahlbranche beeinflusst wird. Auch die Stahlunternehmen selbst erwarten mit 80,2 Prozent einen positiven Effekt auf die Wettbewerbsfähigkeit im Zuge der digitalen Transformation. Jedoch schätzen die Kunden der Stahlindustrie mit 62,6 Prozent den Digitalisierungsgrad als bisher noch gering ein (vgl. Abbildung 1-1). Der Nachholbedarf wurde erkannt, sodass nahezu alle befragten Unternehmen der Studie in den kommenden Jahren vermehrt in die digitale Transformation investieren wollen. (Kempermann et al. 2017, S. 6)

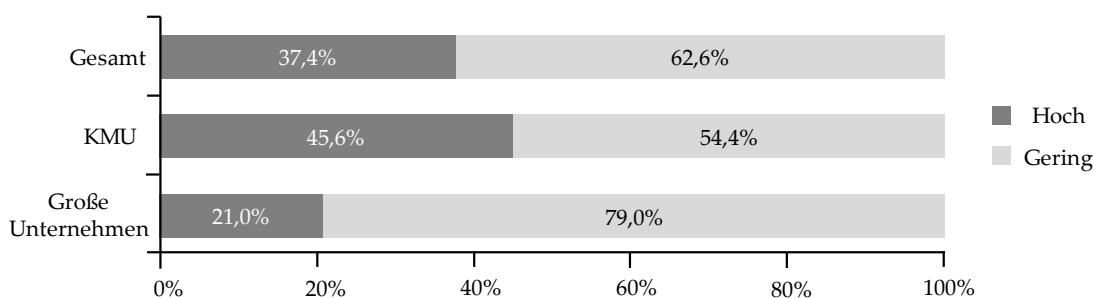


Abbildung 1-1: Einschätzung der Kunden zum Digitalisierungsgrad in der Stahlindustrie (i. A. a. Kempermann et al. 2017, S. 46)

### Herausforderungen bei der Gestaltung von Cyber-Physischen Systemen zur Unterstützung von Produktion und Distribution

Zur Bewältigung der Herausforderungen von produzierenden Unternehmen gilt die Integration von Cyber-Physischen Systemen (CPS) als ein vielversprechender Ansatz (Meißner et al. 2015, S. 20; Stich et al. 2015a, S. 71). Diese Systeme bilden nicht nur die Basis einer Industrie 4.0, sondern auch einer digitalen

<sup>2</sup> Im Rahmen der Studie wurden insgesamt 220 Kunden und 60 Unternehmen der Stahlindustrie befragt.

Supply Chain und können insbesondere bei den operativen Aufgaben der Planung sowie Steuerung unterstützend wirken (Schuh et al. 2013a, S. 338; Sauter et al. 2015, S. 478; Klötzer & Pflaum 2019, S. 383). Dabei bestehen sie aus verschiedensten technischen Komponenten, Funktionen und Eigenschaften (Broy 2013, S. 78 f.). Jedoch ist die Einbindung solcher CPS-basierten Lösungen in Produktion und Logistik bisher gering, sodass nicht von einer Etablierung dieser Technologien in der Praxis gesprochen werden kann (Gründl & Nelles 2015, S. 120; Westermann 2017, S. 58). Ein wesentlicher Grund hierfür ist die komplexe Entwicklung eines CPS (Lüth 2017, S. 27). Dies bestätigen weitere Autoren, indem sie die interdisziplinäre Gestaltung von CPS als eine bedeutende Herausforderung ansehen (Amberg 2015, S. 48 ff.; Leitão et al. 2015, S. 13; Hehenberger et al. 2016, S. 277; Drossel et al. 2018, S. 215). Besonders die Festlegung von funktionalen Anforderungen an das System kann aufgrund unterschiedlichster Stakeholder erschwert werden (Gorltdt et al. 2017, S. 372 f.). Durch den Einsatz verschiedener Technologien im Rahmen eines CPS kann solch ein System einen großen Funktionsumfang besitzen (Westermann 2017, S. 159). Aber auch das kompatible Zusammenwirken der Technologien stellt eine wesentliche Herausforderung bei der Entwicklung dar (Hehenberger et al. 2016, S. 277). Infolgedessen können sich verschiedene Lösungsmöglichkeiten bei der Gestaltung eines CPS ergeben. Für die frühe Gestaltungsphase solcher Systeme fehlen methodische Unterstützungsmöglichkeiten, die besonders die Analyse und Auswahl von verschiedenen Lösungskonzepten hinsichtlich technischer Komponenten und Funktionen eines CPS in Abhängigkeit des betrachteten physischen Prozesses adressieren (Hehenberger et al. 2016, S. 277). Des Weiteren fehlt, nicht zuletzt aufgrund der starken Interdisziplinarität in der Gestaltungsphase, ein einheitliches Vorgehensmodell zur Entwicklung von CPS-basierten Lösungen (Kolberg et al. 2017, S. 239).

### **Nutzenbewertung von CPS bei Einführung in Unternehmen**

Digitalisierungsmaßnahmen, wie die Einführung von CPS, müssen hinsichtlich Kosten und Nutzen analysiert werden, um nicht die begrenzten Ressourcen eines Unternehmens unnötig für die Vorhaben zu binden (Becker et al. 2016, S. 115). In diesem Zusammenhang gibt Scheer zu bedenken, dass allein die Verfügbarkeit einer neuen Technologie nicht besagt, dass deren Entwicklung und Einsatz wirtschaftlich gerechtfertigt ist (Scheer 2015, S. 443). Dies ist ein wesentlicher Grund, warum sich viele Unternehmen bisher nicht mit den digitalen Technologien, wie CPS, beschäftigt haben. Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass die meisten Unternehmen aufgrund der hohen Investitionskosten von den Zukunftstechnologien Abstand nehmen, da sie das Verhältnis zwischen erwartetem Aufwand und schwierig abzuschätzenden Nutzengewinn hemmt (BMW 2014, S. 15; Lichtblau et al. 2015, S. 57; Wischmann et al. 2015, S. 9). Besonders in der Stahlindustrie können Veränderungen der logistischen Prozesse, bspw. aufgrund hoher Investitionskosten für Betriebsmittel, zu einer großen monetären Hebelwirkung führen und benötigen eine hinreichend ökonomische Bewertung (Labitzke 2011, S. 2). Aufgrund dessen ist es von zunehmender Bedeutung, auch qualitative Nutzenpotenziale im Zuge der digitalen Transformation zu quantifizieren bzw. monetarisieren (Obermaier et al. 2015, S. 485; Becker et al. 2016, S. 115). Als Konsequenz ergibt sich ein Bedarf an methodischen Unterstützungsmöglichkeiten zur Ex-ante-Nutzenbewertung beim Einsatz von CPS-basierten Lösungen in Supply Chains (Obermaier et al. 2015, S. 486; Besenfelder et al. 2017, S. 10; Klötzer & Pflaum 2019, S. 392).

Zusammenfassend kann die digitale Transformation von kollaborativen Planungs- und Steuerungsprozessen durch den Einsatz von CPS als ein vielversprechender Ansatz für Unternehmen angesehen werden (Schuh et al. 2017b, S. 79 ff.). Jedoch existieren Modelle, die solch ein Vorgehen unterstützen, bis dato weder in der Praxis noch in der Wissenschaft in ausreichender Form (Klötzer & Pflaum 2019, S. 392). Bisherige Vorgehensmodelle adressieren die digitale Transformation oftmals auf der gesamten Unternehmensebene und betrachten dabei keine einzelnen Prozesse im Detail (Gehrke 2017, S. 4; Siedler & Aurich 2018, S. 515). Dies führt jedoch meist nicht zum erhofften Erfolg, da die Herausforderungen und Anforderungen an die zu digitalisierenden Prozesse in einer Supply Chain äußerst unterschiedlich sein können. Hierbei nehmen besonders die Planungs- und Steuerungsprozesse der Produktion und des Transports zum Kunden aufgrund der zunehmenden Individualisierung von Produkten und der stetigen Forderung nach einem hohen Lieferservice an Bedeutung zu. Dabei bietet insbesondere die Stahlindustrie mit hauptsächlich auftragsbezogener Fertigung und hoher Variantenvielfalt ein geeignetes

Anwendungsfeld für die Erprobung neuer Ansätze im Kontext Industrie 4.0 an (Labitzke 2011, S. 30; Ratzek 2016, S. 66). Solche Ansätze versprechen die Hebung großer Potenziale hinsichtlich einer Kostensenkung und Qualitätssteigerung für die Prozesse der Stahlindustrie (Bode et al. 2017, S. 81).

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Für Untersuchungen im Rahmen von Industrie 4.0 wird aufgrund der Neuartigkeit des Forschungsfeldes die Formulierung eines explorativ-qualitativen Forschungsziels empfohlen (Pfohl et al. 2015, S. 32 f.). Unter Berücksichtigung dieser Tatsache und vor dem Hintergrund der in Kapitel 1.1 beschriebenen Herausforderungen kann die folgende **Zielsetzung** für die Arbeit formuliert werden.

*Das Ziel ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur digitalen Transformation von kollaborativen Planungs- und Steuerungsprozessen unter Einsatz von CPS-Konzepten an der operativen Schnittstelle zwischen Produktion und Distribution mit Fokus auf den Transport.*

Im Rahmen der Entwicklung werden hierzu verschiedene Instrumente konzipiert, die es Unternehmen ermöglichen, sowohl den aktuellen als auch den zukünftigen Zustand einer kollaborativen Planung und Steuerung an der operativen Schnittstelle zwischen Produktion und Distribution im Zuge der digitalen Transformation zu analysieren und zu bewerten. In der Distribution wird im Wesentlichen zwischen durchzuführenden Transportaufgaben und Lageraufgaben unterschieden (Vastag 2008b, S. 417; Kamphues & Hegmanns 2015, S. 1816). Dabei fokussiert sich die vorliegende Arbeit aufgrund der hohen Abstimmungskomplexität mit der Produktion besonders auf den Transportbereich (vgl. Kapitel 1.1). Basierend auf dem Ist-Zustand der Planung und Steuerung soll ein CPS-Konzept im Rahmen eines zuvor definierten Ziel-Zustandes entwickelt und dessen Nutzenpotenziale bewertet werden. In diesem Zusammenhang ist es für das Verständnis dieser Arbeit von essentieller Bedeutung, eine Definition für den Begriff „CPS-Konzept“ aufzustellen, welche auf den bisherigen Ausführungen zu CPS-basierten Lösungen<sup>3</sup> und zur digitalen Transformation von Planungs- und Steuerungsprozessen basiert (vgl. Kapitel 1.1).

*Ein CPS-Konzept besteht aus mindestens einer CPS-basierten Lösung, die sich aus unterschiedlichen technischen Komponenten und Funktionen unter der Berücksichtigung der Anforderungen eines zu digitalisierenden Planungs- und Steuerungsprozesses zusammensetzt.*

Das Vorgehensmodell soll aufgrund der in Kapitel 1.1 genannten Gründe am Beispiel eines Stahlherstellers angewendet werden. Auf Basis der Zielsetzung und der obigen Ausführungen lässt sich folgende **forschungsleitende Frage** für die Arbeit formulieren.

*Wie kann ein CPS-Konzept zur digitalen Transformation von kollaborativen Planungs- und Steuerungsprozessen an der operativen Schnittstelle zwischen Produktion und Distribution mit Fokus auf den Transport gestaltet sowie dessen Nutzen bewertet werden?*

Diese Kernfrage lässt sich in weitere Fragestellungen mit spezifischen Unterzielen unterteilen, die im Rahmen der Forschungsarbeit untersucht werden sollen, um die übergeordnete forschungsleitende Frage zu beantworten. In einem Vorgehensmodell kommen üblicherweise Methoden und Werkzeuge zum Einsatz, um ein Gesamtziel zu erreichen (Fischer et al. 1998, S. 17; Kolditz 2009, S. 29). Diese werden im Folgenden durch die zu definierenden und erläuternden Unterfragen der Arbeit adressiert.

Wie in Kapitel 1.1 beschrieben, werden sich Geschäftsprozesse in Supply Chains durch die digitale Transformation fundamentalen Änderungen unterziehen. Infolgedessen werden sich vielfältige Anforderungen an die Menschen, Technologien und Organisationsstrukturen in Unternehmen ergeben. Zunächst gilt es, die sich ergebenden Veränderungen für die Planungs- und Steuerungsprozesse an der operativen Schnittstelle zwischen Produktion und Transport im Zuge der digitalen Transformation zu identifizieren.

---

<sup>3</sup> Der Begriff „CPS-basierte Lösung“ adressiert verschiedene Entwicklungsstufen eines CPS, auf die in Kapitel 2.3.2 näher eingegangen wird.

Diese Veränderungen sollten für die genannten Dimensionen „Mensch“, „Technik“ und „Organisation“ konkretisiert werden, damit spezifische Gestaltungsanforderungen im Rahmen der digitalen Prozess-transformation aufgestellt werden können (vgl. Kapitel 1.1). Infolgedessen ergibt sich die **erste Forschungsfrage** der Arbeit:

*(1) Welche Veränderungen ergeben sich für die operative Planung und Steuerung in Produktion und Transport im Zuge der digitalen Transformation und wie können spezifische Gestaltungsanforderungen für Mensch, Technik und Organisation entwickelt werden?*

In Kapitel 1.1 wurde beschrieben, dass die Entwicklung von CPS eine hohe Bedeutung im Rahmen der Industrie 4.0 besitzt, aber auch wesentliche Herausforderungen mit sich bringt. Ein CPS kann aus einer Vielzahl an Technologien sowie Funktionen bestehen, durchläuft verschiedene Entwicklungsstufen und kann bei Planungs- und Steuerungsaufgaben in Produktion sowie Transport unterstützend wirken (vgl. Kapitel 1.1). Im Zusammenhang mit der ersten Forschungsfrage gilt es, die Gestaltungsanforderungen an einem zu digitalisierenden Planungs- und Steuerungsprozess bei der Entwicklung von CPS-Konzepten im Unternehmen zu berücksichtigen. Dazu ist zu klären, wie die verschiedenen möglichen Ausprägungen einer CPS-basierten Lösung hinsichtlich technischer Komponenten und Funktionen sowie in Zusammenhang mit den Prozessanforderungen strukturiert zusammengestellt werden können. Folglich können sich CPS-Konzepte aus unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten ergeben, die im Hinblick auf ihre Sinnhaftigkeit bzw. Kompatibilität überprüft werden müssen. Dies führt zu der **zweiten Forschungsfrage** der Arbeit:

*(2) Wie kann ein CPS-Konzept hinsichtlich seiner technischen Komponenten und Funktionen sowie unter Berücksichtigung der Anforderungen eines Planungs- und Steuerungsprozesses in Produktion sowie Transport gestaltet und dessen Ausprägungen überprüft werden?*

Wie oben erläutert, können sich bei der Gestaltung eines CPS-Konzepts mehrere Lösungsmöglichkeiten mit verschiedenen technischen und funktionalen Ausprägungen in Abhängigkeit des zu betrachteten Prozesses ergeben. In diesem Zusammenhang ist eine Ex-ante-Analyse insbesondere hinsichtlich des Nutzens solcher Digitalisierungsmaßnahmen essentiell, um nicht unnötig unternehmerische Ressourcen zu blockieren und Verluste zu erzielen (vgl. Kapitel 1.1). Dabei liegt der Fokus auf den sich ergebenden Nutzeneffekten, die durch eine Digitalisierung von Planungs- und Steuerungsprozessen unter Einsatz von CPS in der Produktion und im Transport entstehen. Auch resultierende qualitative Effekte, wie die zunehmende Flexibilität und Autonomie im Zuge einer digitalen Transformation der Planung und Steuerung, müssen Berücksichtigung finden, damit eine möglichst ganzheitliche Nutzenbewertung erfolgen kann. Infolgedessen ist es notwendig, diese möglichen Digitalisierungseffekte zu identifizieren, deren Wirkzusammenhänge darzustellen und den Ablauf zur monetären Quantifizierung des Nutzens zu systematisieren. Dabei ergibt sich die **dritte Forschungsfrage** der Arbeit:

*(3) Welche Digitalisierungseffekte ergeben sich durch den Einsatz eines CPS-Konzepts in der Planung und Steuerung von Produktion sowie Transport und wie kann eine Ex-ante-Bewertung des monetären Nutzens erfolgen?*

Die digitale Prozess-transformation in Unternehmen adressiert verschiedenste Rollen und durchzuführende Aufgaben. Dabei ist es von großer Bedeutung, die digitale Transformation mit einem strukturierten Vorgehen zu durchlaufen und zu fördern. Denn in der Praxis agieren viele Unternehmen bei diesen Vorhaben zögerlich (vgl. Kapitel 1.1). Aufgrund dessen ergibt sich die Notwendigkeit, ein übergreifendes Vorgehen anzubieten, bei dem die zu entwickelnden Instrumente in einen Modellrahmen integriert und weitere notwendige Aktivitäten für die digitale Transformation von kollaborativen Planungs- und Steuerungsprozessen unter Einsatz von CPS-Konzepten angegeben werden können. Dies führt zu der **vierten Forschungsfrage** der Arbeit:

*(4) Wie kann ein übergreifendes Vorgehen zur digitalen Transformation von kollaborativen Planungs- und Steuerungsprozessen unter Einsatz eines CPS-Konzepts strukturiert und inhaltlich ausgestaltet werden?*

Nach der Beschreibung der Zielsetzung und Vorstellung der Forschungsfragen in diesem Abschnitt erfolgt im Kapitel 1.3 die wissenschaftstheoretische Einordnung sowie die Erläuterung des Forschungsprozesses und des Aufbaus der Arbeit.

### 1.3 Wissenschaftstheoretische Einordnung, Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit

Die wissenschaftstheoretische Einordnung wird durchgeführt, da sich die vorliegende Arbeit mit ingenieurwissenschaftlichen sowie betriebswirtschaftlichen Fragestellungen beschäftigt. Die Wissenschaftstheorie bezieht sich auf die Fragestellung, was Wissenschaft leisten kann und was nicht (Tetens 2013, S. 7). Ulrich und Hill unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen Formal- und Realwissenschaften. Die **Formalwissenschaften** beschäftigen sich mit der Konstruktion von Sprachen- und Zeichensystemen, um formale Objekte definieren zu können. Zu diesem Bereich werden die Philosophie, Mathematik und Logik zugeordnet. Im Gegensatz hierzu untersuchen die **Realwissenschaften** die realen Objekte und verfolgen das Ziel, empirisch wahrnehmbare Realitätsausschnitte zu erklären und zu gestalten. (Ulrich & Hill 1976, S. 305) Des Weiteren wird innerhalb dieser Kategorie zwischen der Induktion, bei der von einer großen Anzahl einzelner Beobachtungen bzw. Fällen versucht wird eine Gesetzmäßigkeit bzw. Gesamtheit abzuleiten, und der Deduktion, bei der von der Gesamtheit auf den Einzelfall geschlossen wird, unterschieden (Häusler 2012, S. 10). Die Realwissenschaften lassen sich weiter unterteilen in die reinen Grundlagenwissenschaften und die angewandten Handlungswissenschaften. Bei den **Handlungswissenschaften** werden menschliche Handlungsalternativen zur Gestaltung technischer und sozialer Systeme untersucht. Ergebnisse können hierbei u.a. Entscheidungsmodelle oder praktisch anwendbare Handlungsanleitungen sein. Zu den angewandten Wissenschaften zählen die Ingenieurwissenschaften und Sozialwissenschaften, zu denen auch die Betriebswirtschaftslehre gehört. (Ulrich & Hill 1976, S. 305) In diesem Zusammenhang weist die angewandte Forschung einen interdisziplinären Charakter auf (Ulrich 2001, S. 220). Die **Grundlagenwissenschaften** umfassen ein theoretisches Wissenschaftsziel, indem das Verhalten der zu untersuchenden Objekte erklärt und prognostiziert wird. Hierbei werden Theorien sowie Hypothesen erstellt und diese durch die Ableitung und Beobachtung der Realität überprüft. Zu dieser Gruppe können besonders die Naturwissenschaften gezählt werden. (Ulrich & Hill 1976, S. 305) Als zusätzliche Kategorie etablieren sich die **Strukturwissenschaften** zunehmend als eigene Disziplingruppe, die das Ziel verfolgen, die Struktur sowohl von formalen als auch von realen Objekten zu untersuchen. In diese Gruppe kann u.a. die Systemtheorie eingeordnet werden. (Zelewski 2008, S. 3) In diesem Kontext gilt der systemtheoretische Ansatz als interdisziplinärer Ansatz der Betriebswirtschaftslehre, um Gestaltungs- und Führungsprobleme in sozialen Systemen zu untersuchen. Wie bei den Ingenieurwissenschaften befasst sich dieser Ansatz mit realen Problemstellungen und findet aufgrund seiner Interdisziplinarität sowie Praxisnähe in dieser Arbeit Verwendung. (Ulrich & Hill 1976, S. 308)

Die Zielsetzung bzw. die Problemstellung der vorliegenden Arbeit wurde aus der Praxis abgeleitet (vgl. Kapitel 1.1) und soll in einem praxisorientierten Anwendungsfall überprüft werden (vgl. Kapitel 1.2). Damit erfüllt sie die Voraussetzung für ein anwendungsorientiertes Forschungsvorhaben (Ulrich 1995, S. 166). Infolgedessen und aufgrund des Bezugs zu den Ingenieurwissenschaften und der Betriebswirtschaftslehre kann die Arbeit den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet werden. Die beschriebene Wissenschaftssystematik sowie die Einordnung der vorliegenden Arbeit wird in Abbildung 1-2 dargestellt.

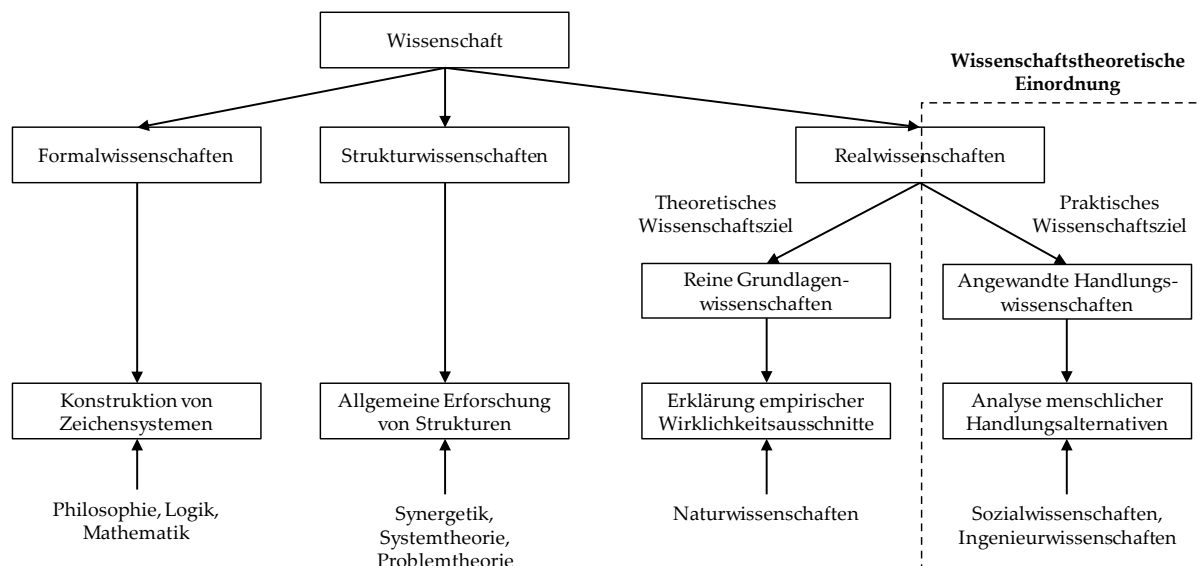


Abbildung 1-2: Einordnung der Forschungsarbeit in die Wissenschaftssystematik (i. A. a. Ulrich & Hill 1976, S. 305; Zelewski 2008, S. 4)

### Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit

Trotz der Einordnung in die Handlungswissenschaften und der Erfüllung der Voraussetzungen für ein anwendungsorientiertes Forschungsvorhaben sollte die deduktive Logik berücksichtigt bleiben. Solch ein Forschungsvorhaben sollte als fundierte, wissenschaftliche Untersuchung verfolgt werden, damit es sich nicht um eine Empirie ohne Theorie handelt. (Ulrich 1995, S. 166; Henke 2009, S. 38) Infolgedessen wird das anwendungsorientierte Forschungsvorhaben durch einen Forschungsprozess unterstützt, der eine Kombination aus Praxisbezug und einer Hypothesenprüfung, wie bei einer theoretisch ausgerichteten Forschungsarbeit, vorweist (Ulrich 1995, S. 166 f.). Einen solchen Forschungsprozess schlägt Ulrich vor (Ulrich 1995, S. 166 f.), der in der vorliegenden Arbeit Anwendung findet und in Abbildung 1-3 dargestellt ist.

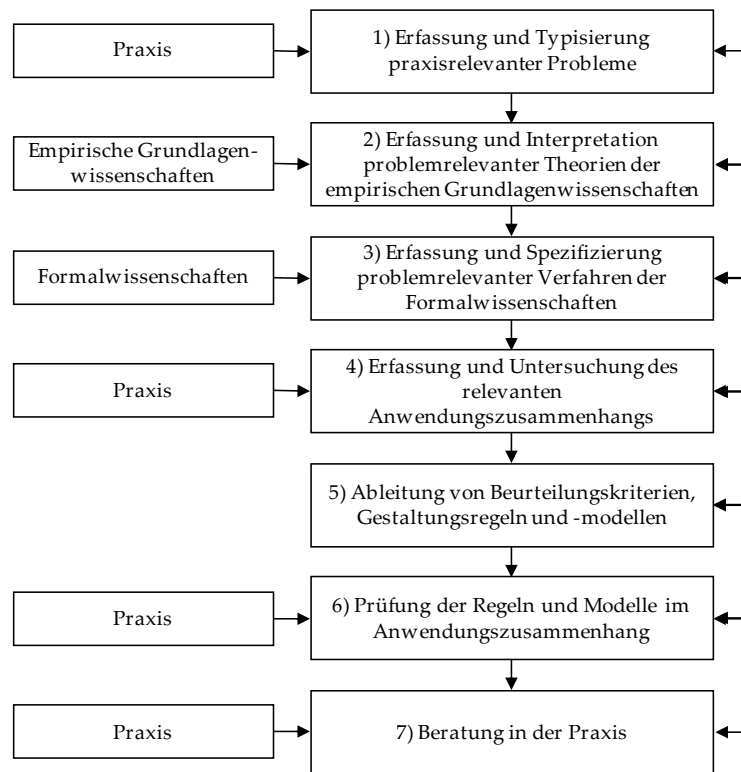
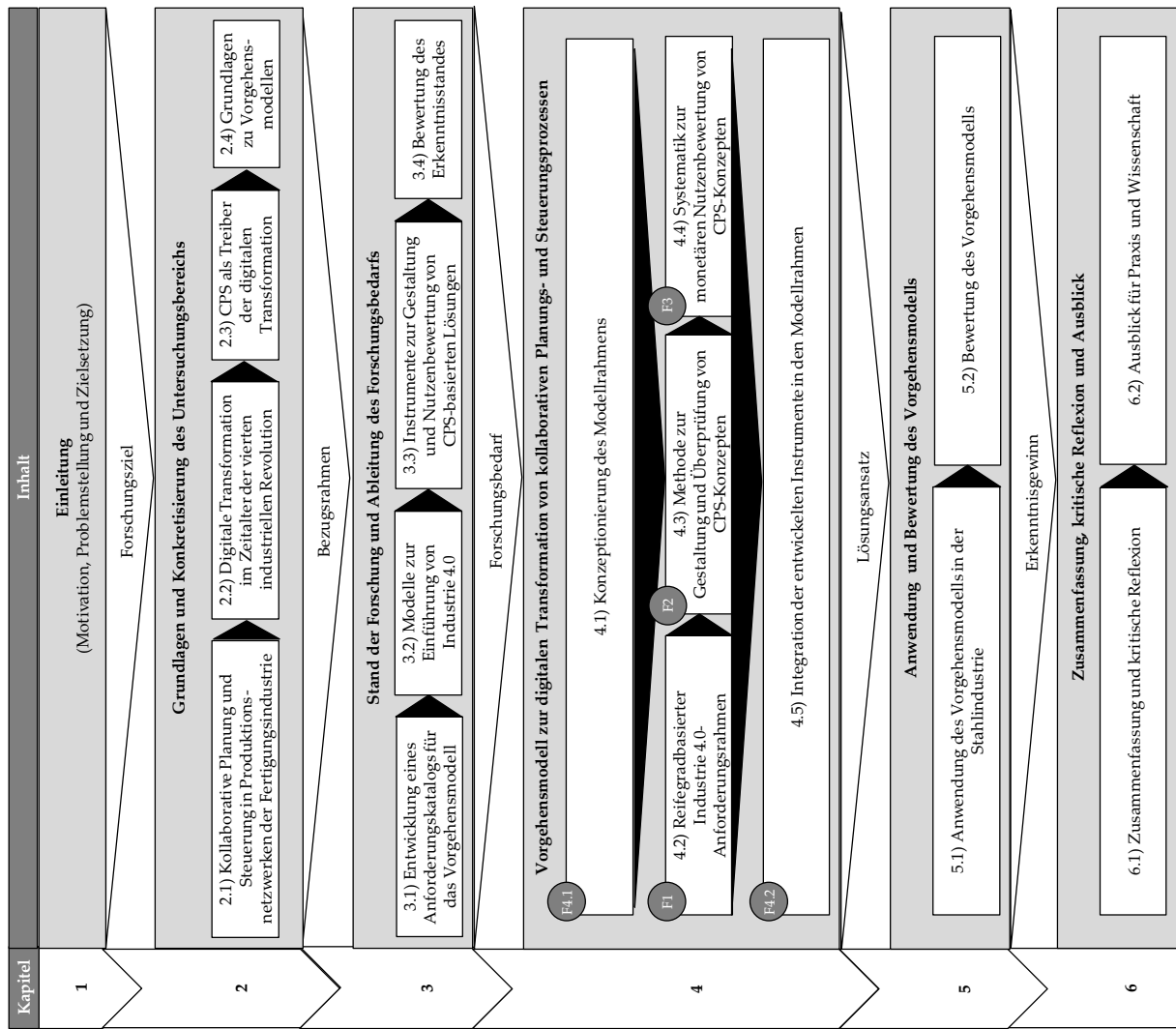


Abbildung 1-3: Anwendungsorientierte Forschung in Theorie- und Praxisbezug (i. A. a. Ulrich 1995, S. 167)

Der Aufbau der Arbeit wurde in Anlehnung an diesen etablierten Forschungsprozess nach Ulrich entwickelt (Ulrich 1995, S. 167), um die Forschungsfragen der Arbeit strukturiert beantworten zu können. Dabei werden im Verlauf des Prozesses mehrere praxisbezogene Phasen bei einem Unternehmen aus der Stahlindustrie, dem Anwendungsbeispiel der vorliegenden Arbeit (vgl. Kapitel 1.2), durchlaufen (Abbildung 1-3). Zur Komplementierung werden an geeigneten Stellen empirische Untersuchungen, wie z.B. Experteninterviews, Workshops oder Datenanalysen, durchgeführt, die bei den entwickelten Theorien unterstützen sollen (vgl. nachfolgend Abbildung 1-4).





Legende: Beantwortung der Forschungsfragen (F) in den jeweiligen Kapiteln

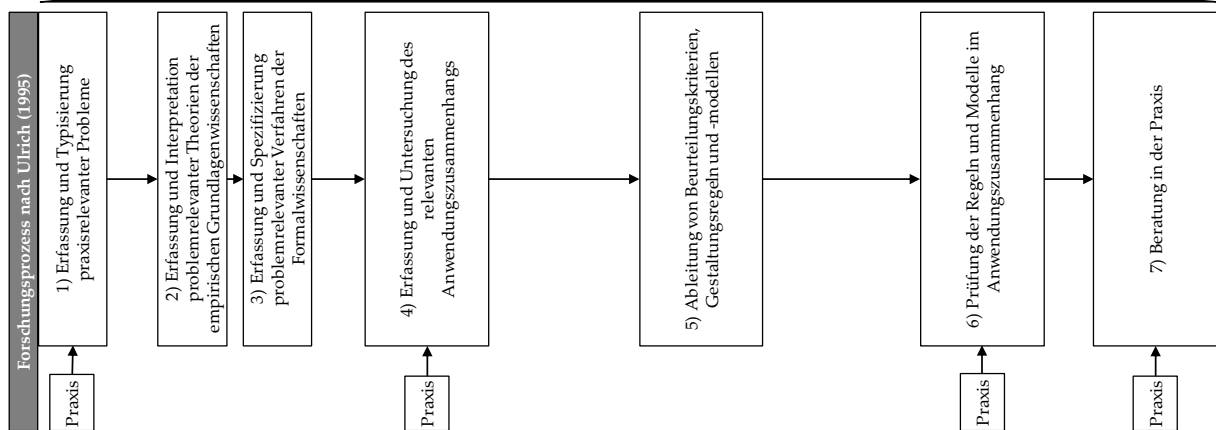


Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit

Im ersten Kapitel der Arbeit wurden bereits die praxisorientierte Problemstellung erläutert, die Motivation für die vorliegende Arbeit dargelegt sowie auf dieser Basis die Forschungsfragen und Zielsetzung entwickelt (vgl. Kapitel 1.1 und 1.2).

Vor diesem Hintergrund werden in Kapitel 2 die Grundlagen des Untersuchungsbereichs dargelegt und dieser konkretisiert. Hierzu wird zunächst die kollaborative Planung und Steuerung in Produktionsnetzwerken der Fertigungsindustrie beschrieben (vgl. Kapitel 2.1). Darauf folgend wird der Untersuchungsbereich weiter spezifiziert, indem die digitale Transformation von Geschäftsprozessen im Zeitalter der vierten industriellen Revolution (vgl. Kapitel 2.2) und CPS im Kontext dieser digitalen Transformation erläutert werden (vgl. Kapitel 2.3). Als weiteres Element des zweiten Kapitels der Arbeit werden die Grundlagen zu Vorgehensmodellen in Kapitel 2.4 beschrieben. Abschließend wird der Untersuchungsbereich final abgegrenzt und auf dieser Basis ein Bezugsrahmen für die Arbeit erstellt (vgl. Kapitel 2.5).

Im Anschluss wird in Kapitel 3 der Stand der Forschung vorgestellt und im Folgenden der Handlungsbedarf abgeleitet. Dazu erfolgt in Kapitel 3.1 die Entwicklung eines Katalogs mit Anforderungskriterien, um die bisher existierenden Ansätze zu dem Themengebiet der Arbeit zu analysieren (vgl. Kapitel 3.2 und 3.3). Basierend auf den sich hieraus ergebenden Erkenntnissen folgt im nächsten Abschnitt die Bewertung der Ansätze (vgl. Kapitel 3.4). Auf dieser Basis kann der Forschungsbedarf für die vorliegende Arbeit abgeleitet werden (vgl. Kapitel 3.5).

Infolge des ermittelten Forschungsbedarfs werden in Kapitel 4 die einzelnen Forschungsfragen der Arbeit beantwortet, indem das Vorgehensmodell konzeptioniert und ausgestaltet wird. Dies erfolgt in Anlehnung an das Top-down-Prinzip, d.h. es wird zunächst der Rahmen des Modells aufgestellt (vgl. Kapitel 4.1). Anschließend wird das erste Instrument mit einem reifegradbasierten Industrie-4.0-Anforderungsrahmen für die kollaborative Planung und Steuerung an der Schnittstelle zwischen Produktion und Distribution mit Fokus auf den Transport entwickelt (vgl. Kapitel 4.2). Danach wird eine Methode zur Gestaltung und Überprüfung von CPS-Konzepten für die Planung und Steuerung in Produktion sowie Transport konzipiert (vgl. Kapitel 4.3). In Kapitel 4.4 erfolgt die Erarbeitung einer Systematik für die monetäre Nutzenbewertung von CPS-Konzepten. Im darauffolgenden Abschnitt werden die entwickelten Instrumente in den eingangs aufgestellten Modellrahmen integriert und die einzelnen Phasen des Modells final ausgestaltet (vgl. Kapitel 4.5). Im abschließenden Teil des vierten Kapitels erfolgt eine Zusammenfassung der Entwicklung des Vorgehensmodells gemäß den zu beantwortenden Forschungsfragen der Arbeit (vgl. Kapitel 4.6).

Das entwickelte Vorgehensmodell wird in Kapitel 5 in einem Anwendungsfall bei einem Stahlunternehmen angewendet und überprüft. In Kapitel 5.1 wird zunächst das Anwendungsbeispiel beschrieben. Danach erfolgt die Erprobung des Vorgehensmodells in der Praxis. Basierend auf den Erkenntnissen bei der Durchführung des Modells werden die aufgestellten Anforderungskriterien abgeglichen (vgl. Kapitel 5.2). Im Anschluss folgt eine Schlussbetrachtung der Anwendung des Vorgehensmodells in der Praxis (vgl. Kapitel 5.3).

Das abschließende Kapitel 6 beinhaltet die Zusammenfassung, kritische Reflexion und den Ausblick der Arbeit. Hierzu wird zunächst eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit vorgenommen und anschließend wird durch eine kritische Reflexion überprüft, ob die aufgestellten Forschungsfragen hinreichend beantwortet wurden (vgl. Kapitel 6.1). Darauf aufbauend wird der weitere Forschungsbedarf in Form eines Ausblicks für Praxis und Wissenschaft aufgezeigt (vgl. Kapitel 6.2).