

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Unternehmen, unabhängig von ihrer Größe, stehen schon seit Jahren vor der Herausforderung, den hohen und stetig steigenden Anforderungen ihrer Kundenmärkte gerecht zu werden. Kunden fordern immer häufiger individuelle und auch nachhaltige Produkte mit kurzen Lieferzeiten bei einer hohen Qualität. Die externen Anforderungen werden unternehmensintern zu Herausforderungen insbesondere in der Entwicklung und Produktion, da die Kundenanforderungen zu einer steigenden Variantenzahl mit kurzen Entwicklungszyklen führen. Diese müssen bei einer gleichzeitigen Steigerung der Leistungsfähigkeit und Flexibilität der Produktionsprozesse realisiert werden. (s. SODER 2017, S. 3; SCHMITZ 2018, S. 1; HÖLLTHALER ET AL. 2018, S. 148) Durch die steigende Individualisierung sinken die Größen der Aufträge und Lose in der Fertigung, sodass die Komplexität der Planung und Steuerung der Fertigung und Montage ansteigt. (s. KUNATH U. WINKLER 2019, S. 269)

Nach der Zielversion der „Industrie 4.0“ ist die Digitalisierung des Unternehmens ein geeigneter Befähiger zur Bewältigung der externen und internen Herausforderungen. Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde im Jahr 2011 als Bezeichnung für die Vernetzung der analogen mit der digitalen Welt durch Informations- und Kommunikationstechnologien eingeführt. (s. SCHUH ET AL. 2017a, S. 10) Dabei steht „die Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus“ (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 (HRSG.) 2015, S. 8) im Fokus. Die Basis für die Organisation und Steuerung stellen dabei echtzeitnah verfügbare Informationen aus der gesamten Wertschöpfungskette dar. Daneben wird die Fähigkeit zur Verarbeitung der Informationen mit dem Ziel der Gestaltung der Wertschöpfung als Grundlage gesehen. Ziel ist die Bewältigung der Dynamik der Märkte durch echtzeitfähige, selbst organisierende und lernende Unternehmen in Wertschöpfungsnetzwerke nach unternehmensspezifischen Ziellikriterien. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 (HRSG.) 2015, S. 8; SCHUH ET AL. 2017a, S. 12; HARLAND 2019, S. 3)

Zur Erreichung des Zielzustandes des selbst organisierenden, wandlungsfähigen und lernenden Unternehmens bedarf es nach SCHMITZ UND WETZCHEWALD einer Anpassung der heutigen Entscheidungsprozesse, welche vornehmlich auf Erfahrungswissen beruhen und ohne Einbindung externer und interner Anspruchsgruppen gestaltet sind. Ein Grund für lange Entscheidungsprozesse und häufige Schleifen in diesen ist die schlechte Verfügbarkeit von Informationen, welche erst im Laufe der Durchführung gesucht und bewertet werden müssen. Dadurch entstehende Latenzen führen zu Produktivitätsverlusten und einer Erhöhung der Kosten. (s. SCHMITZ 2018, S. 1; WETZCHEWALD 2020, S. 1–2)

In der Wissenschaft existieren verschiedene Referenzmodelle zur Umsetzung der Zielvision von Industrie 4.0. Der Bundesverband Informationswirtschaft,

Telekommunikation und neue Medien (Bitkom), der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) und der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) haben sich in der Plattform Industrie 4.0 zusammengeschlossen und haben das Referenzarchitekturmödell Industrie 4.0 (kurz: RAMI 4.0) zur Beschreibung einer Architektur für ein digital vernetztes Unternehmen entwickelt. Hierzu wurde ein schichtenbasiertes Modell entwickelt, welches den Lebenszyklus sowie den Wertschöpfungsprozess verschiedener Objekte abdeckt. Die abgedeckten Objekte sind in Hierarchieebenen strukturiert (s. Abbildung 1-1). (s. HANKEL U. REXROTH 2015, S. 1)

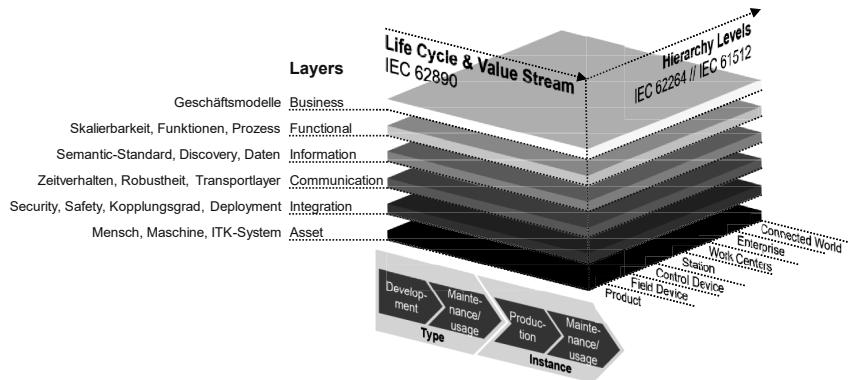


Abbildung 1-1: Referenzmodell RAMI 4.0 (eigene Darstellung i. A. a. DORST U. SCHWANDT 2017, S. 20)

Neben dem RAMI 4.0 existiert auch das Referenzmodell des Internet of Production (kurz: IoP), welches im Rahmen der interdisziplinären deutschen Exzellenzinitiative in Aachen entwickelt und ausgestaltet wird. Das IoP stellt eine Referenzarchitektur (s. Abbildung 1-2) zur Gestaltung einer domänengreifenden Kollaboration entlang des Produktlebenszyklus dar, welche durch die semantische Verknüpfung domänenspezifischer Daten Unternehmen zu besserer Kollaboration und agilen Entscheidungsprozessen verhilft. (s. GLEIM ET AL. 2020, S. 3243)

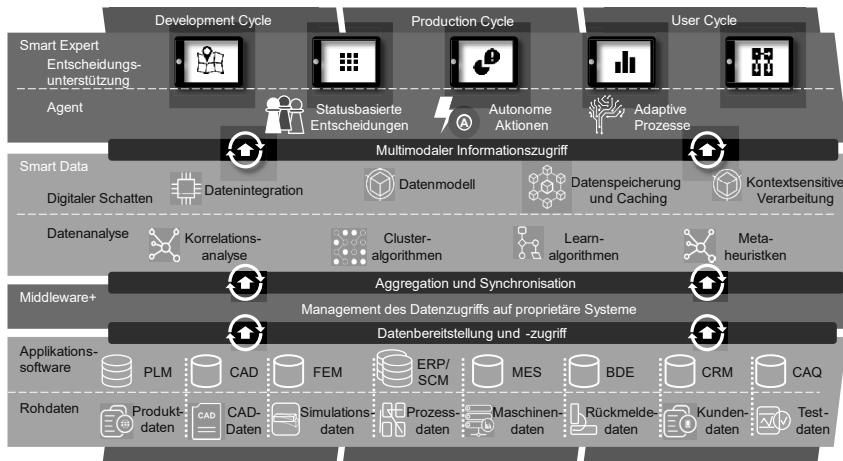


Abbildung 1-2: Referenzarchitektur des Internet of Production (eigene Darstellung i. A. a. SCHUH ET AL. 2017b, S. 121)

Die in Abbildung 1-2 dargestellte Referenzarchitektur des IoP strukturiert die Infrastruktur für ein lernendes Unternehmen horizontal entlang der drei Fokusbereiche *Development Cycle*, *Production Cycle* und *User Cycle*. Vertikal ist das IoP in Schichten der Applikationssoftware, der Middleware+, Smart Data und digitaler Smart Experts strukturiert. In der untersten Schicht der Software werden Informationssysteme beschrieben, welche domänenspezifische Daten für die übergeordneten Schichten bereitstellen. Durch die Middleware+ werden die Daten unterschiedlicher Systeme für system- und domänenübergreifende Analysen gefiltert und verknüpft. Dieser Vorgang ist heute ohne große Aufwände für die Schaffung von Schnittstellen und die Verknüpfung der Daten nicht möglich. Die Daten werden der übergeordneten Smart-Data-Schicht bereitgestellt, in der ein digitaler Schatten als echtzeitfähiges Abbild des Beobachtungsbereiches durch die verknüpften Daten aufgebaut wird. Mit verschiedenen Verfahren der Datenanalyse und -auswertung werden Informationen für die digitalen Assistenzsysteme der übergeordneten Ebene erhoben. Die Informationen können in nutzerzentrierten Entscheidungsunterstützungsapplikationen menschlichen Anwendenden oder digitalen Agenten bereitgestellt werden. Beide Anspruchsgruppen leiten auf Basis der bereitgestellten Informationen der Smart-Data-Schicht Entscheidungen ab. (s. PENNEKAMP ET AL. 2019, S. 36; SCHUH ET AL. 2020b, S. 469; BRAUNER ET AL. 2020, S. 4)

Für Unternehmen stellt die Umsetzung beider Referenzmodelle eine Herausforderung dar, da diese bisher noch nicht in ihrem vollen Umfang in der Praxis implementiert wurden, sondern bisher nur einzelne Usecases vorgestellt und im Rahmen von Forschungs- oder Pilotprojekten realisiert wurden (vgl. HANKEL U. REXROTH 2015; PENNEKAMP ET AL. 2019; GLEIM ET AL. 2020). Um Unternehmen ganzheitlich digital zu

transformieren, reicht eine Betrachtung rein (informations-)technologischer Aspekte der Unternehmensprozesse – wie in den Referenzmodellen angedeutet – nicht aus. Zur Umsetzung echtzeitfähiger, selbststeuernder und -lernender Unternehmen bedarf es auch einer Anpassung der Ressourcen, der Unternehmensorganisation und der Kultur an sich wandelnde Prozesse. Ressourcen umfassen dabei Mitarbeiter und ihre Qualifizierung, Maschinen und Anlagen sowie deren Ausstattung mit Sensorik und Technologie. Die Unternehmensorganisation enthält sowohl die strategische Anpassung, die Arbeitsbedingungen und -regelungen, welche vom Unternehmen vorgegeben werden. Die Unternehmenskultur beinhaltet Aspekte der Mitarbeiterführung sowie den Umgang von Mitarbeitern untereinander. Hierzu zählt man den Wissensaustausch, die abteilungs- und prozessübergreifende Zusammenarbeit sowie das Innovationsverständnis. (s. CAROLIS ET AL. 2017a, S. 32; SCHUH ET AL. 2020a, S. 23)

Zur Unterstützung der Vision von Industrie 4.0 in der Dimension der Informationstechnologie stellen Manufacturing-Execution-Systeme (kurz: MES) ein mögliches Informationssystem dar. Mit integrierten Funktionen der echtzeitnahen Datenerfassung, -verarbeitung sowie der nutzerzentrierten Informationsbereitstellung unterstützt es bei der Realisierung der Ziele des Internet of Production und von Industrie 4.0 im Production-Cycle schon heute. Insbesondere für Unternehmen mit begrenztem Budget stellen die marktreifen und schon praxiserprobten Lösungen auf dem MES-Markt eine gute, praktikable und risikoarme Möglichkeit zur Befähigung von Industrie 4.0 dar. (s. JURCZAK 2019; WETZCHEWALD 2020, S. 164; 2020, S. 179; KLETTI U. DEISENROTH 2019, S. 20; OBERMAIER U. KIRSCH 2017, S. 192; ENGSTLER 2009, S. 46) Mit der alleinigen Installation und Implementierung des MES würden Unternehmen jedoch nicht Industrie 4.0 umsetzen. Hierzu müssen vor, mit oder spätestens nach der Implementierung auch die weiteren Dimensionen zur erfolgreichen digitalen Transformation umgesetzt werden. Dies bedeutet Anpassungen an den Arbeitsabläufen und Qualifikationen der Mitarbeiter*innen, der Organisationsstruktur und -kultur sowie weitere technologische Anpassungen an Anlagen, Maschinen und Schnittstellen zu Informationssystemen. (s. SCHOLTEN 2009, S. 84–85; KLETTI U. SCHUMACHER 2014, S. 32; WIENDAHL U. KLUTH 2017, S. 5; VDI-RICHTLINIE 5600-2, S. 5–6)

Unternehmen, die sich für die Einführung eines MES entschieden haben, stehen mit der Einführung vor verschiedenen Herausforderungen. Einerseits bieten ME-Systeme einen großen Funktionsumfang, der so ausgewählt werden muss, dass dieser sich in die bestehende IT-Systemlandschaft integriert und bestehende Systeme um Funktionen erweitert, welche dem Unternehmen einen Nutzen stiften. (s. WETZCHEWALD U. LÜTKEHOFF 2017, S. 1–2; KLETTI 2007, S. 99) Auf der anderen Seite ist das Wissen über den Nutzen der Systeme bezogen auf die eingeführten Funktionen kaum bekannt (s. LIEBRECHT ET AL. 2017, S. 224). Dem bekannten, aber schwer messbaren Nutzen für Unternehmen stehen hohe interne und externe Aufwände einer Implementierung entgegen (s. MEHLER-BICHER ET AL. 2019, S. 119–120). Zur besseren Stückelung und Verteilung der mit der Implementierung verbundenen Kosten besteht bei MES durch den modularen Aufbau die Möglichkeit der sukzessiven Implementierung. Dies

bedeutet, dass Funktionsmodule einer MES-Lösung nacheinander und zeitlich versetzt im Unternehmen eingeführt werden können. (s. FISCHER ET AL. 2019, S. 298)

Die sukzessive Implementierung zeichnet sich durch die schrittweise Einführung eines Informationssystems aus, bei der funktional abgegrenzte Teile des Systems im Unternehmen eingeführt werden. Gegenüber der Einführung des gesamten Systems im gesamten Einführungsbereich bietet das schrittweise Vorgehen den Vorteil des sukzessiven Lernens aus Erfahrungen sowohl bei den im betroffenen Bereich eingebundenen Mitarbeiter*innen als auch bei der Projektorganisation des Einführungsteams. Durch die sukzessive Einführung von MES-Funktionsmodulen werden weniger Fachabteilungen eingebunden, der Betreuungsaufwand für die Projektorganisation sinkt und geschulte und erfahrene Mitarbeiter*innen können Kolleg*innen in anderen Bereichen später mit Erfahrungen zur Seite stehen. Mit steigender Anzahl an Implementierungsschritten steigen die Zahl temporärer Schnittstellen und deren Betreuungsaufwand. (s. HANSMANN ET AL. 2012, S. 280–281; SCHMIDT U. BÄR 2014, S. 113–114; DANIEL 2001, S. 151)

Der sukzessiven Implementierung steht die Einführung des Gesamtsystems in den gesamten Betrachtungsbereich, meist im gesamten Unternehmen, gegenüber. Dieser Ansatz wird auch als Big-Bang-Strategie bezeichnet. Verringerten Reibungsverlusten und einem schnellen realisierbaren Nutzen stehen größere Risiken bei der Implementierung entgegen. Die Risiken bestehen in der Beherrschung der Wechselwirkungen zwischen den von der Einführung betroffenen Fachbereichen und Prozessen untereinander sowie zwischen diesen und dem einzuführenden System. Zudem besteht bei diesem Vorgehen keine Erprobungsphase mit einem tatsächlichen Live-Betrieb, sodass der Projektorganisation kein Erfahrungswissen zur Verfügung steht. Die genannten Risiken stellen die Projektorganisation vor die Aufgabe eines straffen und anspruchsvollen Projektmanagements zum Handling der Risiken. (s. HANSMANN ET AL. 2012, S. 280–281; SCHMIDT U. BÄR 2014, S. 113) In Abbildung 1-3 sind sowohl der Aufwands- als auch der Nutzenverlauf der oben beschriebenen Implementierungsstrategien beschrieben. Dabei stellen diese Strategien Extremformen dar, bei denen durch die Gestaltung der Implementierungsstrategie Mischformen entstehen können (s. Kap. 2.3.1).

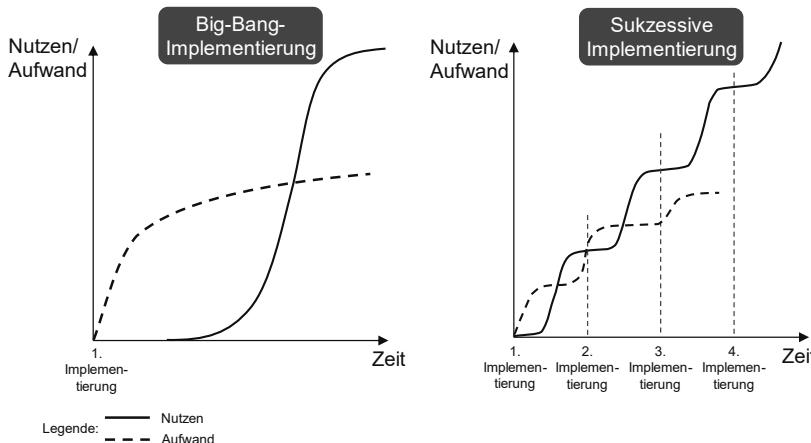


Abbildung 1-3: Aufwand-Nutzenverläufe verschiedener Implementierungsstrategien (eigene Darstellung i. A. a. BORNHÄUSER 2009, S. 168)

Für Unternehmen, welche wenig Erfahrung mit der Einführung von IT-Systemen haben, bietet sich aufgrund des sukzessiven Lernens und der verringerten Projektrisiken im Vergleich zur Big-Bang-Einführung die sukzessive Einführung von Manufacturing-Execution-Systemen an (s. DANIEL 2001, S. 151; FISCHER ET AL. 2019, S. 298). Für die sukzessive Implementierung ist die Planung der Implementierungsschritte erfolgsentscheidend. Dabei müssen sowohl die zu implementierenden Inhalte (MES-Funktionsmodule) als auch die Implementierungsorte (Unternehmensfunktionen) festgelegt werden. (s. REiß 1993, S. 554; DANIEL 2001, S. 7) Hierbei stehen Unternehmen jedoch vor der Aufgabe, festzulegen, welche Bereiche im Unternehmen am stärksten von den ersten Implementierungsschritten, bezogen auf den Nutzen, profitieren. Aktuell stehen Unternehmen hier vor der Herausforderung, den Nutzen sowie das Potenzial in Abhängigkeit der Ausgangssituation unternehmensspezifisch zu bestimmen. (s. KESTEN ET AL. 2006, S. 5; HÄNSCH 2015, S. 945; PALLER 2017) Dabei stellt die genaue Bewertung der Ausgangssituation eines Unternehmens im Kontext der Implementierung ein zentrales Element zur Aussprache von Handlungsempfehlungen dar (s. DANIEL 2001, S. 7). Zur Ableitung einer idealen Reihenfolge von einführbaren MES-Funktionsmodulen bedarf es einer Möglichkeit der Bestimmung der unternehmensspezifischen Ausgangssituation in Bezug zu den von der Einführung betroffenen Unternehmensfunktionen im Produktionssystem.

Für die Bestimmung und Bewertung des individuellen Entwicklungsstandes von Unternehmen in Bezug zu Industrie 4.0 haben sich Industrie-4.0-Reifegradmodelle als geeignetes Werkzeug herausgestellt (s. MITTAL ET AL. 2018; FELCH ET AL. 2019). Reifegradmodelle unterstützen Unternehmen in der Ausarbeitung und Umsetzung von strategischen Initiativen durch die Möglichkeit der Standortermittlung sowie durch das Aufzeigen von Entwicklungspfaden. (s. VDI-RICHTLINIE 4000-1, S. 8; SCHUMACHER ET AL.

2016, S. 165; CAROLIS ET AL. 2017a, S. 27; SCHMITZ 2018, S. 24). Die Umsetzung von Industrie 4.0 stellt für Unternehmen eine strategische Initiative mit einem zeitlichen Horizont von mehreren Jahren dar. Auch AHLEMANN ET AL. sehen für die Begleitung der strategischen Initiativen Reifegradmodelle als strategisches Werkzeug, da durch die kontinuierliche Anwendung der Standortbestimmung und Ableitung von Handlungsalternativen die Planung, Steuerung und Umsetzung unterstützt werden kann. (s. AHLEMANN ET AL. 2005, S. 42–43; BECKER ET AL. 2009b, S. 213; MARX 2011, S. 47–48)

Aufgrund ihres funktionalen Umfangs und der Befähigung von Unternehmen in der Industrie-4.0-Gestaltungsdimension der Informationssysteme stellt die Implementierung von ME-Systemen häufig ein strategisches Projekt im Rahmen der digitalen Transformation von Unternehmen dar. (s. WETZCHEWALD U. LÜTKEHOFF 2017, S. 3; WIENDAHL U. KLUTH 2017, S. 2–5; WIENDAHL ET AL. 2019, S. 48–50) Der zeitliche Horizont einer MES-Implementierung umfasst dabei sechs bis zwölf Monate (s. VDI-RICHTLINIE 5600-2, S. 5–6). Für die Einordnung des MES-Implementierungsprojektes in die strategische Initiative zur digitalen Transformation können Industrie-4.0-Reifegradmodelle genutzt werden.

1.2 Zielsetzung

Aus der beschriebenen Ausgangssituation und praktischen Problemstellung ergibt sich der Bedarf zur Unterstützung der sukzessiven Implementierung von Manufacturing-Execution-Systemen. Da ME-Systeme von Unternehmen, wie oben beschrieben, mit dem Ziel der digitalen Befähigung des Produktionssystems eingeführt werden, soll ein Reifegradmodell als Werkzeug zur Bewertung der aktuellen Ausgangssituation und des Nutzenpotenzials genutzt werden. Reifegradmodelle eignen sich durch die Möglichkeit der Standortbestimmung sowie des Aufzeigens eines Entwicklungspfades zur Unterstützung bei der Zielerreichung dieses Dissertationsvorhabens.

Ziel der vorliegenden Dissertationsschrift ist die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur reifegradbasierten, sukzessiven Implementierung von Manufacturing-Execution-Systemen. Dieses soll eine praxistaugliche Unterstützungshilfe für Unternehmen bieten, welche ein MES zur Steigerung der digitalen Reife in der Produktion und den angrenzenden Bereichen einführen wollen. Hierbei steht die frühzeitige Ausschöpfung des Nutzens des MES durch eine sukzessive Implementierung im Vordergrund. Zielgruppe der Ergebnisse sind Verantwortliche aus produzierenden Unternehmen, die mit der Implementierung eines MES im Unternehmen betraut sind.

Auf Basis der identifizierten Problemstellung und der daraus resultierenden Zielstellung der vorliegenden Dissertationsschrift ergibt sich die übergeordnete Forschungsfrage:

Wie kann eine effiziente Reihenfolge für die sukzessive Implementierung eines Manufacturing-Execution-Systems bestimmt werden?

Um die übergeordnete Forschungsfrage zu beantworten, werden in der Dissertationsschrift folgende Unterforschungsfragen beantwortet:

- Anhand welcher Kennzahlen kann der Nutzen eines MES für das Unternehmen gemessen werden?
- Wie lassen sich Module eines MES hinsichtlich ihrer Aufgaben und Funktionen beschreiben und klassifizieren?
- Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Funktionen eines MES, den Reifegradstufen eines Industrie-4.0-Reifegradmodells und den Unternehmenszielen?
- Wie lässt sich der Nutzen einer MES-Funktion herleiten?
- Wie lässt sich eine Methodik zur Bestimmung der Implementierungsreihenfolge von MES-Funktionsklassen gestalten?

Zur wissenschaftlich akkurate Beantwortung der vorgestellten Forschungsfragen bedarf es einer geeigneten Forschungskonzeption, welche im folgenden Kapitel zusammen mit dem Aufbau der Dissertationsschrift vorgestellt wird.

1.3 Wissenschaftstheoretische Einordnung und Aufbau der Arbeit

In der vorliegenden Dissertationsschrift werden der Zielstellung und den vorgestellten Forschungsfragen entsprechend sowohl betriebswirtschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Aspekte als auch Themen der Wirtschaftsinformatik bearbeitet. Aufgrund der Überschneidungen der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen ist eine wissenschaftstheoretische Einordnung der Dissertationsschrift notwendig. Die genannten Themenbereiche zählen zu den Objektwissenschaften, welche sich von der Metawissenschaft dadurch abgrenzen, dass sie sich mit einem Untersuchungsobjekt außerhalb der Wissenschaftstheorie befassen. (s. ZELEWSKI 2008, S. 4) Die Wissenschaftstheorie unterscheidet im Bereich der Objektwissenschaften zwischen den Formal-, Struktur- und Realwissenschaften. (s. ZELEWSKI 2008, S. 3; ULRICH U. HILL 1976a, S. 305) Formalwissenschaften befassen sich mit der Untersuchung formaler Objekte, welche durch wissenschaftliche Sprachsysteme definiert werden. Die Realwissenschaften hingegen befassen sich mit realen Objekten außerhalb der Sprachsysteme, also mit der „Beschreibung, Erklärung und Gestaltung empirisch [...] wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte“ (ULRICH U. HILL 1976a, S. 305). Die Strukturwissenschaften untersuchen die Struktur sowohl formaler als auch realer wissenschaftlicher Objekte. (ULRICH U. HILL 1976a, S. 305) Realwissenschaften unterliegen abweichend von den Formalwissenschaften dem Zwang, neben der logischen auch die faktische Wahrheit nachzuweisen (s. ULRICH U. HILL 1976a, S. 306). Die drei genannten Wissenschaftsbereiche lassen sich den Realwissenschaften zuordnen, welche in reine und angewandte Wissenschaften unterschieden werden können.

Reine Wissenschaften befassen sich mit der reinen Gewinnung neuer Erkenntnisse und können als Grundlagenwissenschaften umschrieben werden. Ausgangspunkt von Grundlagenwissenschaften ist ein theoretisches Problem. Das Ziel der

Grundlagenwissenschaften liegt in der Bildung und Verifikation von Theorien und Hypothesen, welche später durch die empirische Überprüfung an der Realität verifiziert werden. (s. RAFFÉE 1974, S. 15; ULRICH U. HILL 1976a, S. 305) Ihnen stehen die angewandten Wissenschaften gegenüber, welche die Lösung eines realen Problems mit konkretem Praxisbezug anstreben (s. RAFFÉE 1974, S. 15; ULRICH U. HILL 1976a, S. 305; ULRICH 1981, S. 5–6). Zur Überprüfung der faktischen Wahrheit im Bereich der angewandten Wissenschaft reicht es nicht, die Gültigkeit der Hypothesen und Theorien durch empirische Beobachtungen in der Realität zu überprüfen. Die entworfenen Lösungsartefakte der angewandten Wissenschaften, bspw. Gestaltungsmodelle, müssen auf die Anwendbarkeit sowie den potenziellen Nutzen in der Praxis untersucht werden. (s. ULRICH 1981, S. 7) Nach der Zielstellung (s. Kap. 1.2) wird in der vorliegenden Dissertationsschrift das Ziel verfolgt, Entscheider bei der reifegradbasierten Implementierung von Manufacturing-Execution-Systemen zu unterstützen. Aufgrund der dieser Zielstellung immanenten Gestaltungs- und Entscheidungsunterstützung sowie des in Kapitel 1.1 dargelegten Praxisbezugs kann das vorliegende Dissertationsvorhaben den angewandten Wissenschaften zugeordnet werden. (s. ULRICH U. HILL 1976a, S. 305)

ULRICH U. HILL entwerfen für die angewandten Wissenschaften (im Speziellen für die Betriebswirtschaftslehre) einen Forschungsprozess zur Entwicklung und empirischen Überprüfung von Wissensartefakten. (s. ULRICH U. HILL 1976b, S. 347–350) Der Forschungsprozess umfasst terminologisch-deskriptive, empirisch-induktive und analytisch-deduktive Forschungsaktivitäten. (s. ULRICH U. HILL 1976b, S. 347) Die terminologisch-deskriptiven umfassen die deskriptiven Tätigkeiten für die Schaffung eines Begriffssystems zur Beschreibung des Forschungsobjektes. Die empirisch-induktiven Aktivitäten beinhalten die Untersuchung beobachtbarer Wirklichkeitsausschnitte und deren Zusammenhänge. Anschließend werden aus den einzelnen Beobachtungen Hypothesen durch die Generalisierung abgeleitet. Die analytisch-deduktiven Aktivitäten umfassen logische oder tautologische Schritte zur deduktiven Konstruktion von Modellen und deren Analyse ohne weitere Schritte der Induktion. (s. ULRICH U. HILL 1976b, S. 347)

Der Forschungsprozess umfasst nach ULRICH U. HILL zwölf Aktivitäten, die den drei vorher beschriebenen Aktivitätstypen zugeordnet werden können. Die ersten fünf Aktivitäten umfassen die Definition und Operationalisierung von Begriffen, die deskriptive Studie, Isolierung relevanter Dimension und die Typenbildung und können der terminologisch-deskriptiven Aufgabenstellung zugeordnet werden. Die Schritte dienen der Schaffung des gemeinsamen Begriffsverständnisses und zur Ableitung von Typen zur Beschreibung empirisch erfasster Aspekte der Wirklichkeit. (s. ULRICH U. HILL 1976b, S. 348) Die Aufgaben der Erkundung von Korrelationen zwischen Variablen und Hypothesenformulierung werden der empirisch-induktiven Aufgabenstellung zugeordnet und dienen der Ableitung von Beziehungen zwischen den Variablen. Hierbei können Mittel-Ziel-Beziehungen und Ursache-Wirkungszusammenhänge aufgedeckt werden. Im Mittelpunkt stehen die Erklärungen der Beziehungen und Korrelationen. (s. ULRICH

u. HILL 1976b, S. 348) Die drei sich anschließenden Aufgaben der Modellkonstruktion, der Ableitung von Prognosen und der Ableitung von situationsspezifischen Handlungsempfehlungen werden von ULRICH u. HILL den analytisch-deduktiven Tätigkeiten zugeordnet. Ziel ist die Konstruktion eines Modells des realen Systems zur Entscheidungsunterstützung. Mit diesem Modell lassen sich durch die anschließende Analyse Prognosen für Entscheidungssituationen ableiten. Hierdurch können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. (s. ULRICH u. HILL 1976b, S. 348–349) Der Forschungsprozess schließt mit empirischen Realisierungsversuchen und der vorläufigen Annahme des Modells als Theorie. Die Realisierungsversuche dienen der hinreichenden Verifikation der Forschungsergebnisse durch die empirische Anwendung und Beobachtung der Realität. (s. ULRICH u. HILL 1976b, S. 349)

Im Forschungsprozess stellen die induktive Ableitung von Aussagen aus der Beobachtung von Einzelfällen und die anschließende Verifikation eine elementare Herausforderung dar. Die Ableitung von generellen Aussagen aus Einzelbeobachtungen wird aufgrund der selektiven Wahrnehmung sowie deren interessengebundener Interpretation als Problematik der Induktion kritisiert. Eine Verifikation der Induktion anhand empirischer Untersuchungen lehnt POPPER mit dem *Kritischen Rationalismus* ab. Er postuliert, dass die empirische Induktion als Verfahren des Forschungsprozesses zulässig ist, wenn akzeptiert wird, dass die Falsifikation, also die Widerlegung der Hypothesen und Theorien als Einzelbeobachtungen, als zulässiges Verfahren gilt. (s. ULRICH u. HILL 1976b, S. 349) Hypothesen, welche nach diesen Forschungsverfahren aufgestellt werden, gelten so lange als vorläufig richtig, bis sie intersubjektiv falsifiziert werden. (s. ULRICH u. HILL 1976b, S. 346) Damit kann das Vorgehen von ULRICH u. HILL als valides Vorgehen für den vorliegenden realwissenschaftlichen Forschungsansatz herangezogen werden. (s. ULRICH u. HILL 1976b, S. 346)

Die vorliegende Dissertationsschrift folgt daher dem oben beschriebenen Forschungsansatz. Abbildung 1-4 gibt einen Überblick über den Forschungsprozess und den Aufbau der Arbeit.

Grundlagen	<p>1. Einleitung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausgangssituation und Problemstellung • Zielsetzung und Aufbau der Arbeit 	Terminologisch-deskriptive Untersuchung
	<p>2. Terminologie und Eingrenzung der Untersuchung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgrenzung der grundlegenden Begrifflichkeiten • Terminologische Abgrenzung des Untersuchungsbereichs 	
Entwicklung des Verfahrens	<p>3. Stand der Forschung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung und Bewertung bestehender Ansätze aus Wissenschaft und Praxis • Zwischenfazit und Ableitung des Forschungsbedarfs 	
	<p>4. Herleitung des Konzeptansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definition der Anforderungen für das Vorgehen zur Bestimmung der Implementierungsreihenfolge • Darstellung methodischer Grundlagen und Konkretisierung der Vorgehensweise 	
Validierung	<p>5. Beschreibungsmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung des Ordnungsrahmens der Modelle (Kernaufgaben des Unternehmens u. MES-Funktionen) • Beschreibung der Modellelemente • Definition von Kennzahlen 	empirisch-induktiver Aufbau von Beschreibungsmodellen und analytisch-deduktive Konstruktion von Gestaltungsempfehlungen
	<p>6. Erklärungsmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung der Wirkungszusammenhänge zwischen Aufgaben und MES-Funktionen • Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen MES-Funktion und Industrie-4.0-Reifegrad • Ermittlung der Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen MES-Funktionen und Unternehmenskennzahlen 	
	<p>7. Gestaltungsmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenführung der Teilmodelle in einem Gestaltungsmodell • Ableitung von situationsspezifischen Implementierungsstrategien 	
	<p>8. Evaluierung der Untersuchung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluation der Teilmodelle (Beschreibungsmodell und Erklärungsmodell) • Exemplarische Anwendung in Form von Fallstudien • Zusammenfassende Bewertung 	empirisch-induktive Verifizierung bzw. Falsifizierung
	<p>9. Zusammenfassung und Ausblick</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenfassung der Arbeit • Ableitung von Implikationen für Forschung und Praxis 	

Abbildung 1-4: Aufbau der Dissertationsschrift (eigene Darstellung)

Ausgangspunkt der vorliegenden Dissertationsschrift bilden die in **Kapitel 1** dargestellte Ausgangssituation und Problemstellung und die daraus abgeleitete Zielsetzung sowie Forschungsfragen. Die Beschreibung der für den Forschungsprozess notwendigen Begriffe sowie die Eingrenzung und Konkretisierung des Untersuchungsbereiches werden in **Kapitel 2** vorgenommen. In **Kapitel 3** werden relevante, aktuelle Ansätze des Stands der Forschung in den Bereichen der Industrie-4.0-Reifegradmodelle, der Nutzenbestimmung von Informationssystemen sowie der Gestaltung von Implementierungen vorgestellt und analysiert. Damit wird die konkrete, wissenschaftliche Forschungslücke in Bezug zur praktischen Problemstellung und Zielsetzung aufgezeigt. Das zweite und dritte Kapitel umfassen terminologisch-deskriptive Forschungsaktivitäten. Auf Basis der identifizierten Forschungslücke werden in **Kapitel 4** die inhaltlichen und formalen Anforderungen sowie das methodische Vorgehen zur Modellbildung vorgestellt und erläutert. **Kapitel 5** dient der Beschreibung und dem Aufbau

des kombinierten Ordnungsrahmens für das Erklärungsmodell. Hierzu werden sowohl die Kernaufgaben produzierender Unternehmen als auch die Funktionen von Manufacturing-Execution-Systemen beschrieben und in Klassen und Modulen zusammengefasst. Ebenso werden relevante Kennzahlen zur Erfassung des Nutzens in Produktionsunternehmen dargestellt. Darauf aufbauend werden in **Kapitel 6** die Wirkungszusammenhänge der beschriebenen Teilmodelle erläutert. Hierzu werden die Kernaufgaben identifiziert, die durch ME-Systeme unterstützt werden. Diese werden anschließend in eine Reifegrad-Kennwert-Matrix überführt, welche zur Messung des Industrie-4.0-Reifegrades herangezogen werden kann. Abschließend werden die Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen den Funktionen des MES, den Kernaufgaben und den Kennzahlen erläutert. Der Kern des **Kapitels 7** umfasst die Zusammenführung der Teilmodelle zu einem anwendbaren Modell zur Bestimmung der Reihenfolge der Implementierung von Funktionen eines Manufacturing-Execution-Systems. Die Teilmodelle und das entwickelte Gestaltungsmodell werden in **Kapitel 8** anhand von empirischen Erhebungen, Experteninterviews und einer Fallstudie validiert. Die Ergebnisse der Dissertationsschrift werden in **Kapitel 9** zusammengefasst und kritisch reflektiert. Abschließend wird ein Ausblick für nachfolgende Forschungsaktivitäten gegeben.