

1 Einleitung

Produzierende Unternehmen in Deutschland nehmen branchenübergreifend mit ihren Produkten im internationalen Vergleich Spitzenpositionen ein. Gleichzeitig stehen diese Unternehmen heute einer großen Anzahl an Herausforderungen gegenüber. Neben dem sich weiterhin verschärfenden Wettbewerb – Märkte sind gekennzeichnet durch Deregulierung, Globalisierung sowie eine Konvergenz von Industrien – besteht ein hoher Innovationszwang. Insbesondere fertigende Unternehmen sind durch die fortschreitende Kommodifizierung ihrer physischen Produkte einem hohen Preisdruck und sinkenden Margen ausgesetzt. Die gleichzeitige Entwicklung hin zu Käufermärkten resultiert in steigenden und immer stärker individualisierten Kundenanforderungen. Produktlebenszyklen verkürzen sich, während Ressourcenschonung, Energieeffizienz und die Zuverlässigkeit von immer komplexer werdenden Produkten an Bedeutung zunehmen. [BRUH16, S. 5f.; CHEN12, S. 1168; GAUS16b, S. 9; SCHU17a, S. 10]

In diesem Zusammenhang bieten Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) eine Möglichkeit für produzierende Unternehmen, den genannten Herausforderungen entgegenzutreten [GAUS16b, S. 9]. Indem kostengünstigere und leistungsfähigere Sensorik zunehmend Einzug in nahezu alle Industrieprodukte erhält, erfolgt eine Transformation von rein physischen Produkten hin zu cyber-physischen Systemen (CPS¹) [HAMM17, S. 14]. Diese sind als Weiterentwicklung von mechatronischen Systemen zu verstehen, welche aus Elementen der Mechanik, Elektronik sowie Informatik bestehen und über das Internet vernetzt sind [MONO16, S. 623; REIN16, S. 555f.]. Bei CPS handelt es sich um physische Systeme, welche mit Mikrocontrollern, Kommunikationssystemen sowie Sensorik und Aktorik ausgestattet sind und auf diese Weise neben einem physischen Systembestandteil auch über einen digitalen Bestandteil verfügen [EMMR15, S. 15]. Mithilfe von Sensorik generieren CPS während ihrer Nutzungsphase Felddaten, welche von Unternehmen zur Umsetzung verschiedener Differenzierungspotenziale, wie beispielsweise dem Angebot prädiktiver Wartungsdienstleistungen, genutzt werden [BUCH17, S. 12 ff.; GEIS12, S. 180].

¹ Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Abkürzung „CPS“ für den Singular, den Plural sowie für alle Fälle (Kasus) des Begriffes eines „cyber-physischen Systems“ genutzt.

Das theoretische Wertschöpfungspotenzial von Digitalisierung und Industrie 4.0, innerhalb dessen sich die beschriebenen Potenziale der CPS wiederfinden, wird alleine in Deutschland in den nächsten fünf Jahren auf bis zu 150 Milliarden Euro geschätzt [BMWI15, S. 7]. Aus diesem Grund wird die Digitalisierung als Leittrend und als „[...] zentrale gesellschaftliche, betriebswirtschaftliche und technologische Entwicklung“ [OTTO16, S. 7] unserer Zeit angesehen [BITK15, S. 8; HEUE13, S. 14]. Mit Hinblick auf die Erschließung dieses Potenzials, den einleitend genannten Herausforderungen der Branchenkonvergenz sowie der Kommodifizierung rein physischer Produkte muss sich das produzierende Gewerbe als Anbieter von CPS gegenüber Konkurrenten, insbesondere aus der IT-Branche, strategisch positionieren, um nicht dem „digitalen Darwinismus“ zum Opfer zu fallen [AZHA14, S. 16; BITK15, S. 8]. Konkret müssen bestehende Leistungsangebote dieser Unternehmen hinsichtlich Produktfunktionalitäten oder Services aufgewertet werden, um weiterhin konkurrenzfähig zu sein. Etablierte produzierende Unternehmen sind aufgrund dessen gezwungen, Kompetenzen in Bereichen aufzubauen, in denen Unternehmen aus der IT-Branche einen Erfahrungsvorsprung haben. Da besonders in Deutschland das fertigende Gewerbe eine Schlüsselstellung in der Gesamtwirtschaft einnimmt, ist diese strategische Positionierung von höchster Relevanz [BLAN14, S. 5f.; BUND13, S. 5; STAT15, S. 506].

Zunehmend mehr produzierende Unternehmen erkennen die Potenziale von Daten als Möglichkeit zur Erlangung von Wettbewerbsvorteilen an [AZHA14, S. 16; BAUE16, S. 8; BMWI14, S. 4; KREU16, S. 2f.]. So geben diese Unternehmen, bezogen auf ihre Produkte und Systeme, laut einer Umfrage „Intelligenz“ und „Fähigkeit zur Vernetzung“ als wichtigste zukünftige Produkteigenschaften an [STEF14, S. 2]. Als zentrales (Investitions-)Hemmnis für die Realisierung der Potenziale von Daten führen die Unternehmen jedoch gleichzeitig an, dass der konkrete Nutzen dieser Daten nur schwer erkennbar sei [SCHU17a, S. 10]. Es liegt also eine mangelhafte Transparenz darüber vor, welche Potenziale im Umfeld produzierender Unternehmen durch CPS und insbesondere durch ihre Felddaten existieren und wie diese zu erschließen sind. BROY benennt aus diesem Grund die Gestaltung von CPS als eine der größten wissenschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit [BROY10, S. 31].

1.1 Motivation und Handlungsbedarf

Unternehmen müssen zunächst ein Verständnis für die Qualität, den Umfang und den Wert von Daten entwickeln, um deren Potenziale zu realisieren [ANDR99, S. 7; PORT14a, S. 21]. Noch herrscht bei produzierenden Unternehmen Unklarheit dar-

über, welche Felddaten einen Mehrwert generieren, also eine digitale Nutzengenerierung durch CPS ermöglichen. Aufgrund mangelnder Kenntnis, welche Felddaten in der jeweiligen Anwendung nutzbar sind, kann keine systematische Priorisierung und zielgerichtete Verwertung erfolgen. Auf diese Weise werden die Nutzenpotenziale von CPS nicht umfänglich realisiert, was wiederum in entgangenen Gewinnen für produzierende Unternehmen resultiert. [BERT18, S. 4f.; BMWI15, S. 7ff.]

Seit der Entwicklung und flächendeckenden Adaption des Internets steigt die Menge an generierten Daten stetig an [ERIC12, S. 3]. Diese Entwicklung wird durch mobile, internetfähige Geräte beschleunigt. Mittels Sensoren generieren diese hochangereicherte personen-, standort- und kontextbezogene Daten, welche für Unternehmen und Wissenschaftsdisziplinen ein vergleichsweise neues Betrachtungsobjekt darstellen [BAUE15, S. 15; CHEN12, S. 1168]. Obwohl in der wissenschaftlichen Literatur Ansätze existieren, welche die Nutzenaspekte² von CPS untersuchen, weisen diese verschiedene Defizite auf. So werden nur spezifische Branchen bzw. Systeme (bspw. das „Connected Car“) untersucht, spezifische Anwendungsfälle betrachtet (bspw. die Nutzung von Felddaten zur Optimierung der Produktentwicklung) oder identifizierte Nutzenaspekte werden nicht mit den jeweils zur Umsetzung genutzten Felddatensets in Verbindung gebracht. Vor allem generische Nutzenpotenziale von cyber-physischen Systemen und die zur Realisierung dieser Potenziale benötigten Felddaten sind bisher nicht systematisch analysiert worden.

Diese generischen, branchen- und CPS-übergreifenden Nutzenaspekte von Felddaten cyber-physischer Systeme sind Kernbestandteil der vorliegenden Arbeit und werden daher nachfolgend näher erläutert. Grundsätzlich adressieren diese Nutzenaspekte unterschiedliche Stakeholder. So werden bspw. durch eine prädiktive Wartung die Verfügbarkeit von cyber-physischen Systemen in ihrer Nutzungsphase für den Stakeholder *Nutzer des CPS* erhöht und die Gewährleistungs- sowie Servicekosten für den Stakeholder *Hersteller des CPS* gesenkt. [BAUE16, S. 557ff.] Gleichzeitig können die generierten Felddaten in den Entwicklungsabteilungen des Herstellers bzw. der Zulieferer des CPS genutzt werden, um die Produktentwicklung der nächsten Systemgeneration zu optimieren und zu beschleunigen [SCHM17, S. 9ff.; WILB17, S. 1ff.]. Bei der Untersuchung von cyber-physischen Systemen in bestehenden Anwendungsfällen zeigt sich weiterhin, dass sich die Nutzenaspekte durch charakteristische Informationsbedarfe auszeichnen. Um beispielsweise Ausfälle eines CPS zu verhindern, ist es

² Unter einem Nutzenaspekt wird nachfolgend eine charakteristische Art und Weise verstanden, wie CPS einen Nutzen durch Befriedigung von Bedürfnissen stiften. Für die vollständige Definition siehe Teilkapitel 2.3.1

notwendig, den Zustand zu kennen. Dieser Informationsbedarf wiederum kann durch Felddaten als Träger von Informationen befriedigt werden. Der *Zustand eines CPS* beispielsweise kann unter anderem durch die Daten *Nutzungsintensität* oder über *mechanische Messgrößen*, wie Kräfte und Momente, beschrieben werden [SCHM17, S. 9ff.]. Entsprechend den vorigen Ausführungen wird der vorliegenden Arbeit die folgende Hypothese zugrunde gelegt:

Der technologische Nutzen cyber-physischer Systeme lässt sich Stakeholder-basiert strukturieren. Ergebnis dieser Untersuchung sind distinkte Nutzenaspekte, für deren Umsetzung Informationsbedarfe erfüllt werden müssen. Felddaten als Träger von Informationen können hinsichtlich ihrer Eignung zur Realisierung dieser Nutzenaspekte untersucht und bewertet werden.

1.2 Zielsetzung, Forschungsfrage und Vorgehen der Arbeit

Ausgehend von dem beschriebenen Handlungsbedarf besteht das übergeordnete Ziel dieser Arbeit darin, einen Weg zu finden, mittels dessen Anwender Felddatensets bezüglich ihrer Nutzenpotenziale bewerten können. Auf diese Weise sollen produzierende Unternehmen als Hersteller von CPS in der frühen Phase der Entwicklung dabei unterstützt werden, zusätzliche Arten der Nutzengenerierung von CPS zu erschließen. Durch die Kenntnis, welche Felddaten für die Realisierung eines definierten Nutzenaspektes relevant sind, kann dieser Nutzenaspekt einfacher implementiert und umgesetzt werden. Auf diese Weise können die Potenziale von Felddaten cyber-physischer Systeme umfassender realisiert werden.

Zusammenfassend lässt sich das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens folgendermaßen formulieren:

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur Bewertung von Felddatensets cyber-physischer Systeme hinsichtlich ihrer Eignung zur Realisierung definierter Nutzenaspekte.

Nach KUBICEK stellt die Formulierung von Fragen im Rahmen eines explorativen Forschungsansatzes in Verbindung mit einem systemtheoretischen Verständnis den Ausgangspunkt des Forschungsprozesses dar [KUBI76, S. 15]. Ausgehend von der beschriebenen Zielsetzung des vorliegenden Forschungsvorhabens lässt sich folgende übergeordnete Forschungsfrage formulieren:

Wie kann eine nutzenorientierte Bewertung von Felddatensets mithilfe von Nutzenaspekten cyber-physischer Systeme erfolgen?

Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgt im Rahmen eines Forschungsprozesses. Dessen Vorgehen sowie die entsprechende Forschungskonzeption werden nachfolgend beschrieben.

Initial wird eine Strukturierung des technologischen Nutzens cyber-physischer Systeme vorgenommen, um auf diese Weise Nutzenaspekte von CPS abzuleiten. Die Strukturierung des technologischen Nutzens soll nach adressierbaren Stakeholdern, wie beispielsweise dem *Hersteller* oder *Kunden*, sowie den Lebenszyklusphasen des CPS, wie z. B. der *Nutzungs-* oder *Entwicklungsphase* differenzieren. Darauf aufbauend lassen sich Stakeholder-spezifische Ziele innerhalb dieser Phasen beschreiben, wie z. B. eine *Reduktion der Herstellkosten*. Diese Ziele werden an den technologischen Fähigkeiten cyber-physischer Systeme gespiegelt. Indem untersucht wird, welche dieser Ziele CPS unterstützen können, werden definierte Nutzenaspekte von CPS abgeleitet. Weiterhin wird ein Modell erarbeitet, mit welchem Felddaten cyber-physischer Systeme generisch beschrieben werden können. Auf diese Weise wird eine branchenübergreifende Anwendbarkeit der Methodik sichergestellt. Aufbauend darauf und unter Berücksichtigung der Nutzenaspekte soll aufgezeigt werden, welche Felddatensets zur Umsetzung der jeweiligen Nutzenaspekte benötigt werden. Um die Anwendbarkeit dieser Ergebnisse sicherzustellen, wird eine Vorgehensweise zur Bestimmung der Nutzenpotenziale von Felddaten CPS erarbeitet. Diese Vorgehensweise soll anwenderspezifische Vorgaben in Bezug auf die Nutzenaspekte, wie z.B. Aussagen, welchem Stakeholder ein Nutzen gestiftet werden soll, sowie Vorgaben bzgl. der Datensets, wie bspw. Einschränkung hinsichtlich erhobener Daten, berücksichtigen.

Aus der Zielsetzung der Arbeit sowie dem beschriebenen Vorgehen lassen sich die nachfolgenden Teilmodelle ableiten:

- Erarbeitung eines **Beschreibungsmodells** zur Strukturierung des technologischen Nutzens cyber-physischer Systeme
- Erarbeitung eines **Erklärungsmodells**, um ausgehend von der Strukturierung des technologischen Nutzens konkrete Nutzenaspekte von CPS abzuleiten
- Erarbeitung eines generischen **Beschreibungsmodells** zur CPS-unabhängigen Charakterisierung von Felddaten cyber-physischer Systeme

- Erarbeitung eines **Erklärungsmodells** zur Bestimmung des felddatenseitigen Informationsbedarfes von Nutzenaspekten durch Untersuchung der Wirkzusammenhänge zwischen Nutzenaspekten und Felddaten
- Durchführung einer **explorativ-empirischen Untersuchung**, um den felddatenseitigen Informationsbedarf implementierter Nutzenaspekte zu bestimmen
- Erarbeitung einer **Vorgehensweise** zur anwenderspezifischen Priorisierung von Typen und Felddaten

Schlüsselemente der vorliegenden Arbeit sind das Erklärungsmodell zur Ableitung konkreter Nutzenaspekte von CPS sowie das Beschreibungsmodell zur CPS-unabhängigen Charakterisierung von Felddaten. Um die genannte Zielsetzung zu erreichen und die Forschungsfrage beantworten zu können, wird die in Unterkapitel 1.3 erläuterte Forschungskonzeption gewählt.

1.3 Forschungskonzeption der Arbeit

Dem Verständnis wissenschaftlicher Forschung nach BINDER, KANTOWSKY folgend ist die vorliegende Dissertation die Dokumentation einer Forschungsreise [BIND96, S. 3]. Die zugrundeliegende Erkenntnisperspektive erläutert die dem Forschungsansatz inhärenten Vorurteile, mit denen der wissenschaftliche Erkenntnisprozess beginnt, und welche mögliche Erkenntnisse beschränken [KUHL13, S. 4]. Eine solche Reflexion ist insbesondere für Arbeiten der Ingenieurwissenschaften bedeutsam, da sich diese aufgrund der formulierten Zielsetzung auch mit dem menschlichen Verhalten zur Steuerung technischer Systeme befassen. Für eine Erläuterung der grundlegenden Erkenntnisperspektive wird diese Arbeit nachfolgend in das Spektrum der Wissenschaften eingeordnet (vgl. Abbildung 1-1). [KOZI10, S. 5; ZOHRM04, S. 5]

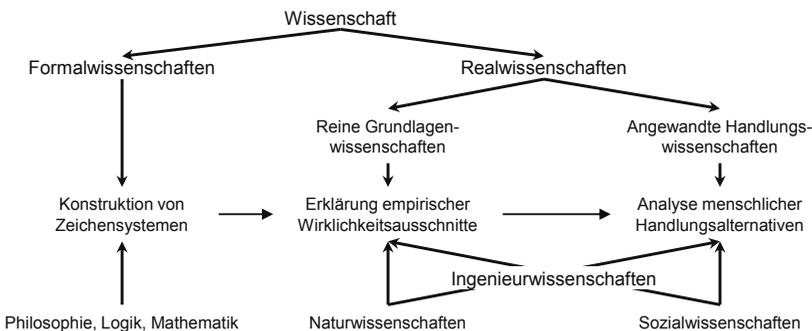


Abbildung 1-1: Wissenschaftssystematik nach ULRICH, HILL [ULRI76, S. 305]

Wie in Abbildung 1-1 dargestellt, kann das Spektrum der Wissenschaften grundsätzlich in die *Formal-* und *Realwissenschaften* unterschieden werden. Die *Formalwissenschaften* befassen sich mit der Konstruktion von Zeichensystemen und darüber hinaus mit den Regeln zur Verwendung ebendieser Zeichen. Zu ihnen zählen neben der Mathematik bspw. auch die Philosophie sowie die Logik. Die *Realwissenschaften* beschäftigen sich im Gegensatz dazu mit der empirischen Beschreibung und Erklärung von wahrnehmbaren Wirklichkeitsausschnitten. Diese lassen sich weiter in *Grundlagenwissenschaften* (Naturwissenschaften), wie bspw. Chemie und Biologie, sowie *Handlungswissenschaften* (Sozialwissenschaften) unterteilen. Der gesellschaftliche Bereich der Handlungswissenschaften umfasst die Sozialwissenschaften, zu denen u. a. auch die Betriebswirtschaftslehre gehört. Die *Ingenieurwissenschaften* zählen zum technischen Bereich der Handlungswissenschaften, wobei ebenfalls eine Schnittmenge zu den grundlagenorientierten Forschungsbereichen besteht. [ULRI76, S. 305f.] Diese Arbeit weist sowohl einen betriebswirtschaftlichen als auch einen ingenieurwissenschaftlichen Bezug auf.

Nach der Einordnung in das Spektrum der Wissenschaften wird die konzeptionelle Basis der vorliegenden Arbeit diskutiert. Wie bereits angedeutet, muss es das Ziel einer wissenschaftlichen Arbeit sein, immanenten Vorurteilen, welche durch die subjektiven Ansichten des Verfassers einer wissenschaftlichen Arbeit auf die Realität entstehen, entgegenzuwirken. Durch eine Klärung der konzeptionellen Basis, welche sich vorwissenschaftlich und wertgebunden einer empirischen Überprüfung entzieht, kann durch das Offenlegen der Wertprämissen das Subjektivitätskriterium einer wissenschaftlichen Arbeit überwunden werden. [KOZI10, S. 6] Als konzeptionelle Basis kann unter Berücksichtigung der erfolgten Einordnung der vorliegenden Arbeit in das Spektrum der Wissenschaften der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH genutzt werden. Dieser ist als interdisziplinärer, praxisnaher, offener und integrativer Ansatz geeignet für wissenschaftliche Arbeiten aus den Ingenieurwissenschaften [ULRI76, S. 308; ZOHM04, S. 7]. Im Mittelpunkt dieses Ansatzes stehen Probleme der Gestaltung, Lenkung und Entwicklung von zielgerichteten, sozialen Systemen. Die Dynamik sowie die Komplexität dieser Systeme wird anerkannt – und somit die Annahme einer kompletten Beherrschbarkeit betrieblicher Problemstellungen aufgegeben. [KOZI10, S. 6] Aufgrund der genannten Vorteile wird der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH als konzeptionelle Basis für die vorliegende Dissertation gewählt.

Wie Abbildung 1-2 aufzeigt, beginnt der Forschungsprozess nach ULRICH mit der Erfassung und Typisierung praxisrelevanter Probleme. Die Identifikation einer *für die*

Industrie relevanten Problemstellung gelang dem Autor als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT, welches für praxisrelevante Forschung und Beratung steht, im Zuge von strategischen Beratungsprojekten. Diese Projekte führte der Autor branchenübergreifend in der Automobil- und der dazugehörigen Zulieferindustrie, im Maschinen- und Anlagenbau sowie in angrenzenden Industriezweigen durch.



Abbildung 1-2: Forschungsprozess nach ULRICH [ULRI81, S. 20] und Forschungsprozess der vorliegenden Dissertation

Weiterhin fordert ULRICH *Interdisziplinarität*. Dieser Forderung wird mit einer intensiven Literaturstudie entsprochen, welche u. a. die Themenfelder Daten, Nutzen und Nutzenpotenziale sowie cyber-physische Systeme umfasst. Ein *Anwendungszusammenhang* wird in der vorliegenden Arbeit durch ein intensives, zweijähriges Industrieprojekt mit einem Unternehmen der Automobilzulieferindustrie sowie weiteren Industrie- und Forschungsprojekten sichergestellt. Innerhalb dieser Projekte wurden die zu erarbeitenden Lösungsbestandteile und Teilmodelle abgeleitet. Die abschließende

Modellprüfung erfolgt ebenfalls bei einem Unternehmen der Automobilzulieferindustrie.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit orientiert sich entsprechend dem gewählten Forschungsprozess der angewandten Wissenschaften an der „Strategie angewandter Forschung“ nach ULRICH (vgl. Abbildung 1-3) [ULRI81, S. 20].

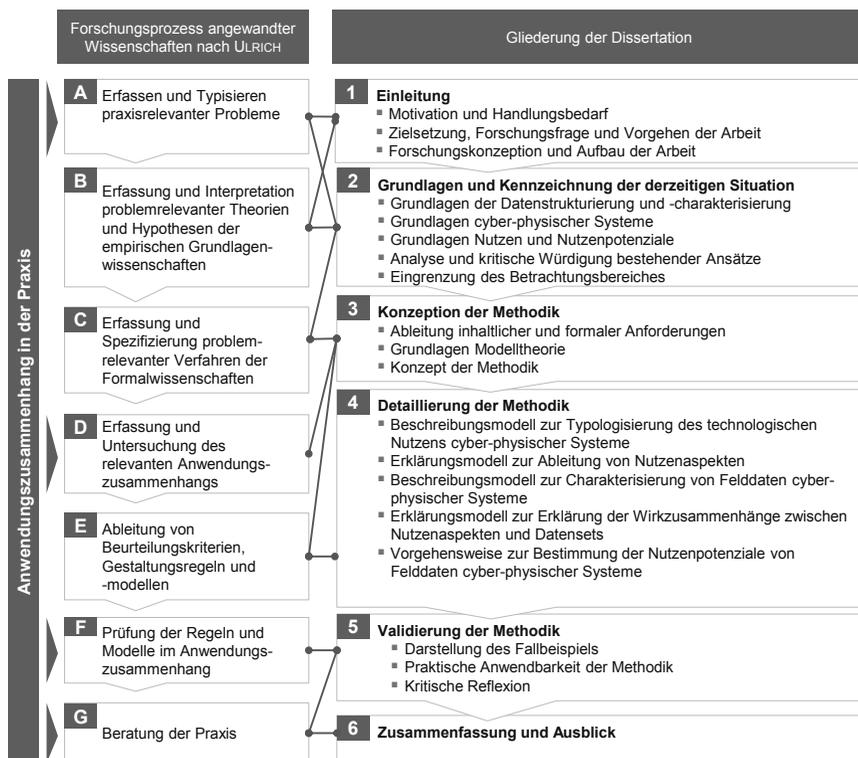


Abbildung 1-3: Forschungsprozess nach ULRICH [ULRI81, S. 20] und Gliederung der Dissertation

Wie in Abbildung 1-3 dargestellt, ist die vorliegende Dissertation in sechs Kapitel eingeteilt. Beginnend mit Kapitel 1 wird die Arbeit über eine Motivation und Zielsetzung eingeleitet und der gewählte Forschungsansatz beschrieben. In Kapitel 2 werden die

relevanten theoretischen Grundlagen mit einer Untersuchung der Themengebiete Daten und cyber-physische Systeme erarbeitet. Im Zuge der Vorstellung und kritischen Würdigung bestehender Ansätze wird der bestehende Forschungsbedarf hinsichtlich der Zielsetzung der Arbeit aufgedeckt. Basierend auf dem ermittelten Forschungsbedarf wird in Kapitel 3 das Grobkonzept der Methodik erarbeitet, welches die für die Lösung benötigten Teilmodelle unter Berücksichtigung inhaltlicher und formaler Anforderungen aufzeigt. In Kapitel 4 erfolgen die Detaillierung der zuvor skizzierten Teilmodelle sowie eine Ausarbeitung und Beschreibung geeigneter Lösungsansätze. In Kapitel 5 wird die erarbeitete Methodik in einem Anwendungszusammenhang anhand eines Fallbeispiels validiert. Kapitel 6 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick ab.