

# 1 Einleitung

Die nachfolgenden Kapitel skizzieren die Hintergründe für das Verfassen dieser Arbeit durch die Darlegung der Motivation (Kapitel 1.1) sowie der zugrundeliegenden Zielsetzung (Kapitel 1.2). Weiterhin erfolgt die Vorstellung der Forschungskonzeption (Kapitel 1.3) sowie die Erläuterung des Aufbaus dieser Arbeit (Kapitel 1.4).

## 1.1 Motivation

Die größte Herausforderung der heutigen Zeit stellen der Klimawandel, der Biodiversitätsverlust sowie die vermehrte globale Verschmutzung dar<sup>1</sup>. In Gesellschaft, Politik und Wirtschaft steigt das Bestreben wirkungsvolle Maßnahmen zum Schutz von Klima und Umwelt zu ergreifen<sup>2</sup>. Die produzierende Industrie ist durch ihren hohen Energie- und Ressourcenverbrauch besonders relevant. Der gesamte deutsche Industriesektor hat im Jahr 2022 rund 165 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert und ist damit der zweitgrößte Verursacher von Treibhausgasemissionen nach dem Energiewirtschaftssektor<sup>3</sup>. Davon verursacht das verarbeitende Gewerbe wiederum knapp 70 % der Treibhausgasemissionen und steht damit im Fokus bei der Ermittlung von Einsparungspotenzialen. Die Dringlichkeit zur Veränderung zeigt sich in den zunehmenden Forderungen unterschiedlichster Stakeholder<sup>4</sup>. So achten Investoren zunehmend auf ESG-Kriterien (Environmental, Social, Governance), sodass die Menge des entsprechend verwalteten Vermögens sich in den letzten Jahren vervielfacht hat<sup>5</sup>. Folgend stellt sich ein verändertes Verhalten von Konsumenten bei Kaufentscheidungen in Bezug auf Nachhaltigkeit dar<sup>6</sup>. Darüber hinaus formuliert die Politik flächendeckend

---

<sup>1</sup> Vgl. Schuh et al. (2023), Circular Production Economy, S. 288

<sup>2</sup> Vgl. Schmitt et al. (2023), Data Structures for Resilience, S. 38

<sup>3</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2023), Emissionsübersichten nach Sektoren

<sup>4</sup> Vgl. Fink (2022), Letter to CEOs

<sup>5</sup> Vgl. Bloomberg (2021), ESG assets, S. 3

<sup>6</sup> Vgl. Kachaner et al. (2020), Heithening Environmental Awareness

wirksame Nachhaltigkeitsrichtlinien wie den EU Green Deal, welcher eine Klimaneutralität im Jahr 2050 forciert<sup>7</sup>. Weitere ESG-Regularien wie die EU-Taxonomie, die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) oder der Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) greifen sowohl strategisch als auch operativ in die Geschäftspraktiken der Unternehmen ein, mit dem Ziel die Leistungen hinsichtlich der Nachhaltigkeit kontinuierlich zu verbessern<sup>8</sup>. Während die EU-Taxonomie ein Klassifizierungssystem für ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten schafft und damit klare Regeln und Rahmenbedingungen formuliert<sup>9</sup>, verspricht die CSRD die größte europäische Reform der nicht-finanziellen Berichterstattung. Über 1000 Nachhaltigkeitskennzahlen sind von Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern zu berichten, wobei durch Geschäftspraktiken auch kleine Unternehmen indirekt betroffen sind.<sup>10</sup> Das LkSG forciert hingegen Anforderung an ein verantwortliches Management von Lieferketten, wie die Einhaltung von Menschenrechten<sup>11</sup>. CBAM ergänzt das EU-Emissionshandelssystem und stellt als CO<sub>2</sub>-Ausgleichsmechanismus sicher, dass Importe den gleichen Emissionspreisen unterliegen wie für innerhalb der EU hergestellte Produkte<sup>12</sup>. Die nationalen und internationalen Gesetzgebungen fordern demnach Unternehmen auf, Verantwortung für den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte zu übernehmen<sup>13</sup>. Hierzu gehört ein Wandel weg von dem sogenannten „Take, Make, Waste“-Prinzip des linearen Wirtschaftssystems durch ein fundamentales Umdenken in der vorherrschenden Produktions- und Konsumlogik. Ziel ist ein Denken in Kreisläufen, welches die Entkopplung wirtschaftlicher Tätigkeiten von dem jeweiligen Ressourcenverbrauch erlaubt. Im Kontext einer Kreislaufwirtschaft soll sich die Nutzungsphase durch mehrere Nutzungszyklen verlängern, eine systematische Rückführung von Komponenten ergeben und somit die entstehenden Abfallmengen reduzieren.<sup>14</sup>

<sup>7</sup> Vgl. Europäische Kommission (2019), Der europäische Grüne Deal, S. 2ff.

<sup>8</sup> Vgl. Bobzien (2022), CSRD & Co.

<sup>9</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022), EU-Taxonomie

<sup>10</sup> Vgl. Europäisches Parlament und Europäische Union (2022), Corporate Sustainability Reporting Directive, S. 17

<sup>11</sup> Vgl. Bundesgesetzblatt (2021), LkSG, S. 2961

<sup>12</sup> Vgl. Healy et al. (2023), CO<sub>2</sub>-Genzausgleichssystems (CBAM), S. 1

<sup>13</sup> Vgl. Haupt et al. (2021), Sorgfaltspflichten entlang globaler Lieferketten, S. 42; Vgl. Scholz (2018), Chancen der nachhaltigen Produktentwicklung, S. 264

<sup>14</sup> Vgl. Schuh et al. (2023), New Modularity and Technology Roadmapping, S. 92; Vgl. Europäisches Parlament (2023), Kreislaufwirtschaft; Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2012), Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG, §23

Die sich verstärkenden Anzeichen des Klimawandels, der wachsende Wettbewerb um knapper werdende natürliche Ressourcen und zunehmend umweltbewusste Stakeholder erhöhen letztendlich den Druck auf Unternehmen, neue Produkte unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekten zu entwickeln. Die Entwicklung nachhaltiger Produkte stellt daher eine wesentliche Voraussetzung dar, dass ein Unternehmen seine Wettbewerbsfähigkeit beibehält oder steigert.<sup>15</sup> Dies gilt insbesondere für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, da diese Branche durch komplexe Produkte, energie- und ressourcenintensive Prozesse in der Nutzungsphase sowie lange Betriebsdauern gekennzeichnet ist<sup>16</sup>. Kleine Änderungen im Produktdesign können große Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit haben und damit auch die Nachhaltigkeit anderer produzierender Unternehmen, die diese Maschinen oder Anlagen nutzen, beeinflussen. Etwa 80 % der Gesamtauswirkungen eines technischen Produktes entscheiden sich bei der Planung und Entwicklung, sodass es essentiell ist, Nachhaltigkeitsziele in entsprechende Entscheidungsprozesse zu integrieren.<sup>17</sup> In dieser Phase erfolgt unter anderem die Konzeption der grundlegenden Komponenten des Produktes, die Auswahl der Materialien und die Definition der dazu erforderlichen Herstellungsprozesse<sup>18</sup>. Um entsprechende Entscheidungen im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses treffen zu können, ist die Schaffung von Transparenz über die Umweltauswirkungen verwandter oder bestehender Vorgängerprodukte unabdingbar.

In der wissenschaftlichen Literatur und Praxis bestehen bereits Methoden und Ansätze, die Unternehmen bei der Analyse und Bewertung ihrer Produkte im Hinblick auf Nachhaltigkeit unterstützen<sup>19</sup>. Eine der bekanntesten und weit verbreiteten Methoden ist das Life Cycle Assessment (LCA). Die Ergebnisse lassen sich zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen nutzen.<sup>20</sup> Eine große Herausforderung bei der

---

<sup>15</sup> Vgl. Schuh und Dölle (2021), Sustainable Innovation, S. 11; Vgl. Sailer (2020), Nachhaltigkeitscontrolling, S. 24; Vgl. Scholz (2018), Chancen der nachhaltigen Produktentwicklung, S. 264

<sup>16</sup> Vgl. Ponn und Lindemann (2011), Gestaltung technischer Produkte, S. 15; Vgl. Herterich et al. (2016), Industrielle Dienstleistungen 4.0, S. 5

<sup>17</sup> Vgl. Scholz (2018), Chancen der nachhaltigen Produktentwicklung, S. 263; Vgl. Bhander et al. (2003), Implementing life cycle assessment, S. 255; Vgl. Heinzel und Hungerbühler (1997), Integrated process development, S. 177

<sup>18</sup> Vgl. Watz und Hallstedt (2018), Integrating sustainability in product requirements, S. 1405; Vgl. Koen et al. (2001), Fuzzy Front End

<sup>19</sup> Vgl. Sheldrick und Rahimifard (2013), Evolution in Ecodesign, S. 37

<sup>20</sup> Vgl. Sailer (2020), Nachhaltigkeitscontrolling, S. 184f.

Durchführung von LCA besteht jedoch in dem hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand sowie dem oftmals erforderlichen Expertenwissen<sup>21</sup>. Einige Aspekte, wie die Definition des Untersuchungsrahmens, die Abschätzung der Umweltauswirkungen sowie die Beurteilung der Ergebnisse, unterliegen der Subjektivität des Anwenders und erschweren einen unternehmensübergreifenden Vergleich<sup>22</sup>. Darüber hinaus erlauben viele Methoden nicht die dynamische Anpassung von Parametern, sofern sich Rahmenbedingungen ändern, oder die Berücksichtigung des Abnutzungsverhaltens von Komponenten über der Zeit<sup>23</sup>. Weiterhin erfolgt in der Regel keine Differenzierung unterschiedlicher Rückführungsarten einzelner Produktumfänge im Sinne der Kreislaufwirtschaft<sup>24</sup>. Im Rahmen der Ökologieanalyse sind alle Lebenszyklusphasen gleichermaßen zu berücksichtigen, da es sonst zu verzerrten oder gar falschen Aussagen kommen kann<sup>25</sup>. Die Komplexität moderner Produktsysteme, aufgrund zahlreicher Komponenten mit teilweise sehr unterschiedlichen Lebenszyklen einzelner Komponenten und eine Vielzahl von Anwendungsfällen erschweren zusätzlich die Durchführung der LCA<sup>26</sup>. Zur Identifikation von Ressourcenverschwendungen im direkten Zusammenhang mit dem Produktlebenszyklus gilt es, die Vorgehensweisen der LCA anzupassen und die Ergebnisse über die beeinflussbaren Umfänge der Produktentwicklung systematisch zur Verfügung zu stellen<sup>27</sup>. Als grundlegende Strategien für eine erfolgreiche Implementierung nennt die ISO/TR 14062 unter anderem die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus, die Untersuchung der Produktfunktionen sowie die Berücksichtigung von Mehrfachkriterien mit ihren Wechselwirkungen<sup>28</sup>. Insbesondere eine Analyse der Ökologie aus Funktionssicht erfolgt bislang nur unzureichend, obwohl sich eine verbesserte Interpretation der Ergebnisse für Produktentwickler vermuten lässt<sup>29</sup>. Daher soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu leisten Produkte im Maschinen- und Anlagenbau ökologisch nachhaltiger zu gestalten, indem die Analyse der Ökologie aus Sicht der Produktentwicklung erfolgt. Diese soll ermöglichen, verschiedene Produktfunktionen und Lösungen miteinander zu vergleichen,

<sup>21</sup> Vgl. Bhander et al. (2003), Implementing life cycle assessment, S. 256

<sup>22</sup> Vgl. Sailer (2020), Nachhaltigkeitscontrolling, S. 186f.

<sup>23</sup> Vgl. Bhander et al. (2003), Implementing life cycle assessment, S. 256

<sup>24</sup> Vgl. Ruschitzka et al. (2024), Ecology Analysis of Machines and Plants, S. 296ff.

<sup>25</sup> Vgl. Birkhofer et al. (2012), Umweltgerechtes Konstruieren, S. 564

<sup>26</sup> Vgl. Inkermann (2022), Integrating MBSE and LCA, S. 2

<sup>27</sup> Vgl. Bhander et al. (2003), Implementing life cycle assessment, S. 255

<sup>28</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung e. V. (2002), DIN Fachbericht ISO/TR 14062:2002, S. 26ff.

<sup>29</sup> Vgl. Beger (2020), Nachhaltigkeitsoptimierte Produktentwicklung, S. 55

beeinflussbare Handlungsfelder zu identifizieren sowie Entscheidungen zu unterstützen, die die Anforderungen der Stakeholder heutiger und zukünftiger Generationen zufriedenstellen können.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der in der Motivation dargelegten Ausgangssituation sowie den bestehenden Herausforderungen liegt das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit darin, durch die Analyse der Ökologie von Produkten im Maschinen- und Anlagenbau Transparenz für die Produktentwicklung zu schaffen. Dem Anwender der Methodik soll ein Hilfsmittel zur Verfügung stehen, die Ökologie von Funktions- und Produktstrukturelementen tiefergreifend zu analysieren und einen Überblick über die beeinflussbaren Umweltauswirkungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu erhalten. Darüber hinaus soll der Vergleich alternativer konkurrierender Verbesserungsmaßnahmen analytisch fundiert gelingen. Zu diesem Zweck sind zunächst die Produkte im Maschinen- und Anlagenbau einheitlich zu beschreiben, um eine branchenspezifische Anwendung der Methodik zu ermöglichen sowie die passende Analyseebene für die Produktentwicklung zu identifizieren. Zudem gilt es den Produktlebenszyklus in dieser Branche zu untersuchen und zu strukturieren, sodass sich einerseits die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse erhöht sowie andererseits der Aufwand für die Prozessbeschreibung und Definition der Bilanzgrenze reduziert. Als dritte Dimension ist die Ökologie hinsichtlich ihrer Beeinflussbarkeit durch die Produktentwicklung zu untersuchen sowie einheitlich für die Ökologieanalyse zu beschreiben. Die Methodik soll die Entwickler daraufhin bei der systematischen Untersuchung der Ökologie von Funktions- und Produktstrukturelementen im Produktlebenszyklus befähigen. Dies bildet die Grundlage zur Ableitung von Handlungsfeldern für die Gestaltung ökologisch nachhaltigerer Produkte im Maschinen- und Anlagenbau. Demnach lässt sich wie folgt zusammen:

**Zielsetzung dieser Arbeit** ist die Entwicklung einer Methodik zur Analyse der Ökologie von Produkten im Maschinen- und Anlagenbau.

Mit der übergeordneten Perspektive gehen fünf Teilziele einher:

- Entwicklung eines **Beschreibungsmodells** zur generischen Beschreibung der Produkte im Maschinen- und Anlagenbau aus Sicht der Produktentwicklung
- Entwicklung eines **Beschreibungsmodells** zur generischen Beschreibung des Produktlebenszyklus aus Sicht der Produktentwicklung

- Entwicklung eines **Beschreibungsmodells** zur generischen Beschreibung entwicklungsrelevanter Ökologieindikatoren
- Entwicklung eines **Erklärungsmodells** zur Analyse der Funktions- und Produktstrukturelemente hinsichtlich ausgewählter Ökologieindikatoren
- Entwicklung eines **Entscheidungsmodells** zur Ableitung von Handlungsfeldern für die Entwicklung ökologisch nachhaltiger Produkte

KUBICEK empfiehlt für eine gezielte Ausrichtung des Forschungsprozesses die Formulierung zugrundenliegender Forschungsfragen<sup>30</sup>. Für die vorliegende Arbeit leitet sich aus der dargestellten Zielsetzung die folgende Hauptforschungsfrage ab:

„Wie lässt sich die Ökologie von Funktions- und Produktstruktur im Produktlebenszyklus für die Produktentwicklung analysieren?“

Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgt im Rahmen eines strukturierten Forschungsprozesses, dessen Konzeption das nachfolgende Kapitel beschreibt.

### 1.3 Forschungskonzeption

Die vorliegende Arbeit lässt sich in die Wissenschaftssystematik nach ULRICH UND HILL einordnen, dargestellt in Abbildung 1-1. Dabei erfolgt grundsätzlich eine Unterscheidung der Wissenschaft in die Formalwissenschaften und die Realwissenschaften.

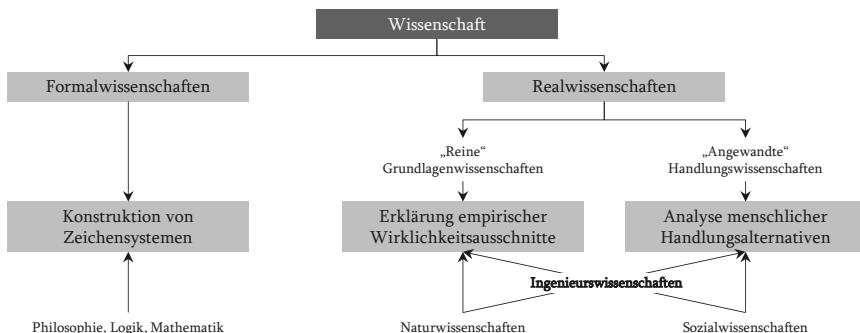


Abbildung 1-1: Wissenschaftssystematik nach ULRICH UND HILL<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Vgl. Kubicek (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 25

<sup>31</sup> Vgl. Ulrich und Hill (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 305

Zu den Formalwissenschaften gehören die Mathematik, die Logik sowie die Philosophie, welche das Ziel verfolgen Zeichensysteme zu konstruieren. Die Realwissenschaften forcieren hingegen eine empirische Beschreibung, Erklärung und Gestaltung von wahrnehmbaren Ausschnitten der Wirklichkeit. Sie lassen sich einerseits in reine Grundlagenwissenschaften mit dem Ziel der Erklärung empirischer Wirklichkeitsausschnitte und andererseits in angewandte Handlungswissenschaften mit dem Ziel der Analyse menschlicher Handlungsalternativen differenzieren. Die Naturwissenschaften, wie die Physik oder Chemie, zählen zu den Grundlagenwissenschaften. Die Psychologie oder Soziologie ordnet sich hingegen den Handlungswissenschaften zu.

Die vorliegende Arbeit zur Analyse der Ökologie von Produkten im Maschinen- und Anlagenbau ist inhaltlich den Ingenieurwissenschaften zuzuschreiben. Den Einordnungen von ULRICH UND HILL folgend gehört diese eindeutig zu den Realwissenschaften. Die Ingenieurwissenschaften stehen jedoch im Spannungsfeld zwischen den Grundlagen- und Handlungswissenschaften, weshalb sich die vorliegende Arbeit in keine der beiden Kategorien eindeutig zuordnen lässt.<sup>32</sup> Die Idee der vorliegenden Arbeit ist im Rahmen von anwendungsorientierten Forschungsprojekten im Umfeld des RWTH Aachen Campus sowie Beratungsprojekten mit produzierenden Unternehmen entstanden. Demnach weißt die zugrundeliegende Problemstellung einen direkten Bezug zur Praxis auf. Die verfolgte Zielsetzung der zu entwickelnden Methodik besteht darin, handelnde Entwickler bei der Analyse der Produktökologie und Entwicklung nachhaltigerer Produkte zu unterstützen. Es besteht dabei kein Anspruch auf Geschlossenheit und vollkommene Mathematisierung. Vielmehr liegt ein Fokus auf dem praktischen Ziel der Erarbeitung menschlicher Handlungsalternativen, sodass sich diese Arbeit den Handlungswissenschaften zuordnen lässt.

KUBICEK umschreibt den Forschungsprozess als Lernprozess und fordert dazu auf die anvisierten, zu lösenden Probleme auf der Grundlage von Erfahrungswissen zunächst zu präzisieren. Die Definition von Forschungsfragen sollen in diesem Zuge das Vorverständnis des Forschers zum Ausdruck bringen. Die theoretische Verarbeitung des dabei gewonnenen Erfahrungswissens resultiert in weiteren Fragen. Diesen Prozess definiert KUBICEK als iterative Heuristik.<sup>33</sup> Das Explizieren des Vorverständnisses erfolgt durch die Darlegung der im Problemkontext festgelegten Annahmen, Fragen sowie Interpretationsmuster innerhalb eines heuristischen Bezugsrahmens<sup>34</sup>. Im Rah-

---

<sup>32</sup> Vgl. Ulrich und Hill (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 305

<sup>33</sup> Vgl. Kubicek (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 14

<sup>34</sup> Vgl. Kubicek (1977), Heuristische Bezugsrahmen, S. 16

men der vorliegenden Arbeit erfolgt dies über die Formulierung der folgenden Teilstudienfragen, die sich aus der Hauptforschungsfrage sowie den definierten Teilzielen aus Kapitel 1.2 ableiten lassen:

- Wie lassen sich **Produkte** des Maschinen- und Anlagenbaus aus Sicht der Produktentwicklung **beschreiben**?
- Wie lässt sich der **Produktlebenszyklus** aus Sicht der Produktentwicklung **beschreiben**?
- Wie lassen sich die durch die Produktentwicklung beeinflussbaren **Ökologieindikatoren** **beschreiben** und anwendungsspezifisch auswählen?
- Wie lassen sich **Funktions- und Produktstrukturelemente** hinsichtlich ausgewählter Ökologieindikatoren **analysieren**?
- Wie lassen sich **Handlungsfelder** für die Entwicklung ökologisch nachhaltiger Produkte **ableiten**?

Kapitel 4 greift die dargestellten Teilstudienfragen bei der Konzeption der Methodik und Ableitung entsprechender Partialmodelle auf. Darüber hinaus dienen die abgeleiteten Teilstudienfragen als Grundlage zur Analyse der subjektiven Realität aus Forschersicht. Diese beruht auf vorwissenschaftlichen und wertgebundenen Annahmen. Zur Überwindung des sogenannten Subjektivitätskriteriums einer wissenschaftlichen Arbeit ist eine Leitidee für die systematische Vorgehensweise im Rahmen des Forschungsprozesses notwendig.<sup>35</sup> Die Wissenschaftstheorie bezeichnet eine derartige Leitidee als Erkenntnisprogramm, Forschungsprogramm oder Paradigma und verfolgt das Ziel durch die Verwendung von Grundmodellen der wissenschaftlichen Gemeinschaft eine gemeinsame Orientierung zu geben<sup>36</sup>. Die Betriebswirtschaftslehre, welche ebenfalls zur angewandten Handlungswissenschaft zählt, unterscheidet drei zentrale Grundmodelle: der faktortheoretische Ansatz nach GUTENBERG<sup>37</sup>, der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH<sup>38</sup> sowie der entscheidungstheoretische Ansatz nach HEINEN<sup>39</sup>. Der Ansatz von ULRICH zeichnet sich durch seine besondere Nähe zu den Ingenieurwissenschaften aus.<sup>40</sup> Gleichzeitig fokussiert dieser Ansatz gegenwärtige, reale Probleme als Ausgangspunkt für die Untersuchung neuer Realitäten und die Prüfung der entwickelten Modelle im Anwendungszusammenhang<sup>41</sup>. Aus diesem Grund folgt die

<sup>35</sup> Vgl. Ulrich und Hill (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 306

<sup>36</sup> Vgl. Ulrich und Hill (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 307f.; Vgl. Kuhn (2021), Gestaltung agiler Entwicklungsnetzwerke, S. 8

<sup>37</sup> Vgl. Gutenberg (1951), Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre

<sup>38</sup> Vgl. Ulrich (1968), Die Unternehmung als produktives soziales System

<sup>39</sup> Vgl. Heinen (1968), Einführung in die Betriebswirtschaftslehre

<sup>40</sup> Vgl. Ulrich und Hill (1976), Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 308f.

<sup>41</sup> Vgl. Ulrich (1984), Management, S. 179

vorliegende Arbeit dem systemtheoretischen Ansatz nach ULRICH als Grundmodell zur Ausrichtung des Forschungsprozesses, dargelegt in Abbildung 1-2.



Abbildung 1-2: Forschungsprozess nach ULRICH<sup>42</sup>

Die in dieser Arbeit adressierten praxisrelevanten Probleme resultieren aus den Erkenntnissen der Autorin aus einschlägigen Forschungs- und Beratungsprojekten im Rahmen der Tätigkeiten als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University. Eine umfassende Literaturanalyse über verschiedene, im Kontext der vorliegenden Arbeit relevante Forschungsgebiete, stellt die Erfassung und Interpretation problemrelevanter Theorien und Verfahren sicher. Die den Forschungsprozess flankierende Bearbeitung von Forschungs- und Beratungsprojekten unterstützen die kontinuierliche Überprüfung der Methodenschritte und stellen den Anwendungszusammenhang sicher. Entsprechend ist auch die wissenschaftliche Erarbeitung der Partialmodelle charakterisiert durch eine fortlaufende Prüfung der Anwendbarkeit anhand realer Fallbeispiele der unternehmerischen Praxis. Den Abschluss bildet die Validierung der Methodik anhand eines Praxisbeispiels.

<sup>42</sup> Vgl. Ulrich (1984), Management, S. 193

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Nach der Einordnung der vorliegenden Forschungsarbeit in die Wissenschaftssystematik sowie der Festlegung der theoretischen Vorgehensweise nach dem systemtheoretischen Ansatz nach ULRICH, erfolgt nun die Erläuterung des Aufbaus dieser Arbeit. Zu diesem Zweck stehen die einzelnen Kapitel in Abbildung 1-3 den Phasen des Forschungsprozesses gegenüber.

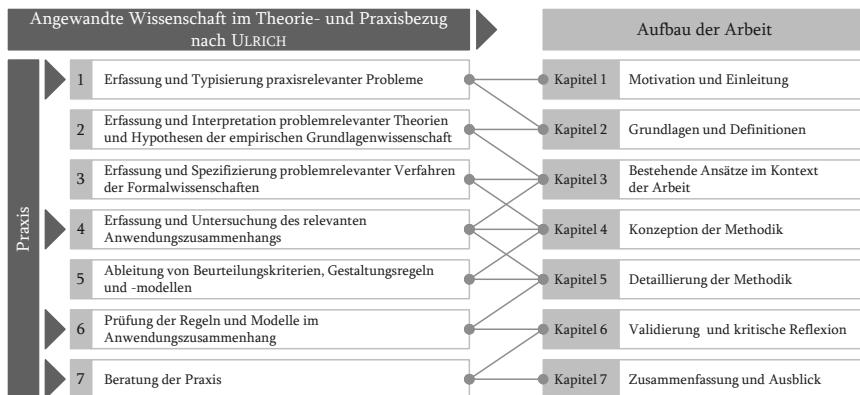


Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit

Das erste Kapitel hat bereits die zugrundeliegende Problemstellung und Zielsetzung dieser Arbeit skizziert. Anknüpfend vertieft Kapitel zwei das Verständnis der Problemstellung durch die Beschreibung der relevanten Grundlagen und Definition erforderlicher Begrifflichkeiten. Neben den Grundlagen zu technischen Produkten im Maschinen- und Anlagenbau, erfolgt eine Darlegung der Grundlagen zum Produktlebenszyklus sowie zur Analyse der Ökologie.

Das dritte Kapitel stellt das Forschungsdefizit heraus, welches die vorliegende Arbeit adressiert. Zu diesem Zweck erfolgt die Erläuterung von Herausforderungen und Defiziten der industriellen Praxis im Zusammenhang mit der Ökologieanalyse im Rahmen der Produktentwicklung. Anschließend steht die Bewertung der wissenschaftlichen Literatur auf problemrelevante Lösungen anhand hergeleiteter Kriterien im Fokus. Den Abschluss bildet die Erläuterung des weiteren Forschungsbedarfs.

Im Rahmen des vierten Kapitels entsteht das Konzept der Methodik zur funktionsorientierten Ökologieanalyse im Maschinen- und Anlagenbau. Hierzu benennt das Kapitel zentrale inhaltliche und formale Anforderungen, welche bei der Entwicklung der Methodik zu berücksichtigen sind. Basierend darauf wird das Grobkonzept der Methodik in Form von fünf Partialmodellen entwickelt.

Die Ausarbeitung der Partialmodelle erfolgt in Kapitel fünf unter Berücksichtigung der dargelegten Anforderungen. Zur Sicherung der Praxistauglichkeit erfolgt die Prüfung der Partialmodelle im Zuge der Erarbeitung im unmittelbaren Anwendungszusammenhang. Dies stellt sicher, dass durch die Anwendung der Partialmodelle ein greifbarer Nutzen entsteht und die spätere Anwendbarkeit gegeben ist. Weiterhin verhilft das durchgängige Fallbeispiel dazu, die Stringenz und Verknüpfung der Partialmodelle abzusichern.

Das sechste Kapitel verfolgt eine weitere Prüfung der entwickelten Modelle im Anwendungszusammenhang. Ein zweites Fallbeispiel aus der industriellen Praxis dient zur Validierung. Die in diesem Zuge gewonnenen Erkenntnisse sind in Form einer kritischen Reflexion dokumentiert.

Den Abschluss bildet Kapitel sieben, welches die Forschungsarbeit zusammenfasst und einen Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf gibt.