

# 1 Einleitung

*„Sustainability is the primary moral and economic imperative of the 21st century. [...] Nature, society and business are interconnected in complex ways that should be understood by decision makers.”<sup>1</sup>*

– MERVYN E. KING, 2009

Dieses Zitat von MERVYN E. KING, dem emeritierten Vorsitzenden der Global Reporting Initiative (GRI) und des United Nations Committee on Governance and Oversight, konsolidiert die Motivation dieser Arbeit. Die detaillierte Motivation und Zielsetzung werden in diesem Kapitel zusammen mit dem forschungsmethodischen Rahmen und Aufbau erläutert.

## 1.1 Motivation

Globale Produktionsnetzwerke befinden sich zum Beginn des neuen Jahrzehnts in einem perfekten Sturm.<sup>2</sup> Neben den Effekten der Digitalisierung und einer zunehmend protektionistischen Politik stellt der Imperativ der Nachhaltigkeit eine neue Herausforderung für global produzierende Unternehmen dar. Die Dringlichkeit der verbundenen Forderung wird durch die Breite der fordernden Stakeholder verdeutlicht. Investoren achten verstärkt auf nachhaltigkeitsorientierte ESG Kriterien (Environmental, Social, Governance) und die Menge des entsprechend verwalteten Vermögens ist in den letzten 10 Jahren um das 25-fache gestiegen.<sup>3</sup> Ein Grund für dieses Wachstum ist, dass für viele Konsumenten die Erfüllung von Nachhaltigkeitsstandards zu einer

---

<sup>1</sup> vgl. King, M. (2009) Special Report: Sustainability, S. 1.

<sup>2</sup> vgl. UNCTAD (2020) World Investment Report, S. 121.

<sup>3</sup> vgl. Henisz, W. et al. (2019) Five ways that ESG creates value, 3 ff.; Fink, L. (2020) Letter to CEOs, S. 1-2; Bloomberg (2021) ESG assets, S. 3.

Voraussetzung bei Kaufentscheidungen geworden ist. Zudem reagiert die Politik in nahezu allen Wirtschaftsräumen auf der Welt und formuliert entsprechende Nachhaltigkeitsrichtlinien wie den Green Deal in der EU oder den aktuellen 5-Jahres-Plan der Volksrepublik China.<sup>4</sup> Alle diese Nachhaltigkeitsforderungen vereint, dass sie ein Umdenken verlangen, um das Ausmaß des Klimawandels, die Übernutzung der Süßwasserressourcen, die Verschmutzung der Weltmeere und den globalen Biodiversitätsverlust einzudämmen.<sup>5</sup>

Globale Produktionsnetzwerke (GPN) sind von den Forderungen für mehr Nachhaltigkeit direkt betroffen, da die Produktionsnetzwerkkonfiguration (PNK) eines GPNs die ökologische Nachhaltigkeit der Wertschöpfungsketten beeinflusst.<sup>6</sup> Industrielle Wertschöpfung findet heutzutage größtenteils in GPNs statt.<sup>7</sup> Deshalb haben diese Netzwerke auch einen großen Anteil daran, welche Ressourcen weltweit für Produktionsaktivitäten eingesetzt werden. Standortabhängige Faktoren, welche die Umweltauswirkungen einer Fabrik beeinflussen, sind u.a. nationale Strommixe, kommunale Recyclingquoten, regionaler Wassermangel und lokale Artenvielfalt. Die produzierende Industrie und dazugehörige Transporte sind zudem für drei Viertel des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich.<sup>8</sup> Durch eine Allokation von Produktionsaktivitäten an Standorte mit grüner Energieversorgung oder eine Umstellung der Energieversorgung bestehender Standorte werden die Umweltfolgen des Energieverbrauchs gemindert. Außerdem wird die Hälfte des weltweit produzierten Kunststoffes von der Verpackungsindustrie für Transporte verwendet.<sup>9</sup> Durch die Berücksichtigung dieser Charakteristika bei der Bewertung der PNK können die negativen Umwelteinwirkungen erheblich reduziert werden.<sup>10</sup>

Neben dem Einfluss von Produktionsnetzwerken auf Nachhaltigkeitsfaktoren gilt auch, dass Produktionsnetzwerke selbst von äußeren Faktoren beeinflusst werden.

---

<sup>4</sup> vgl. Europäische Kommission (2019) Der europäische Grüne Deal, S. 2-5; Bickenbach, F. et al. (2021) Chinas neuer Fünfjahresplan, 3 f.

<sup>5</sup> vgl. UN General Assembly (2015) Transforming our world, S. 14.

<sup>6</sup> vgl. Sihag, N. et al. (2019) Influence of Plant Site Selection on Environmental Impact, S. 190-191.

<sup>7</sup> vgl. Lanza, G. et al. (2019) Global production networks, S. 823.

<sup>8</sup> vgl. EIA (2020) International Energy Outlook.

<sup>9</sup> vgl. Geyer, R. et al. (2017) Production, use, and fate of all plastics ever made, S. 9.

<sup>10</sup> vgl. Reich-Weiser, C. et al. (2009) GHG emission tradeoffs and water scarcity in the supply chain, S. 27.

Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass die Gestaltung von GPNs stets durch gesellschaftliche und technologische Entwicklungen angetrieben wurde. Ein wesentlicher Antriebsfaktor für den Aufbau der GPNs war die Öffnung der Märkte in Osteuropa und Asien für den Kapitalismus in Kombination mit der Einführung von multilateralen, internationalen Handelsabkommen.<sup>11</sup> Diese Phase der liberalen Wirtschaftspolitik endet allmählich damit, dass die Gesetzgeber in verschiedenen Ländern die Unternehmen zu mehr Verantwortung im Bereich der Nachhaltigkeit drängen und auch die Einführung von CO<sub>2</sub>-Grenzsteuern bereits diskutiert wird.<sup>12</sup> Die Forderungen für mehr Nachhaltigkeit verändern die politischen Bedingungen der letzten Jahrzehnte und sorgen damit für einen neuen Handlungsbedarf hinsichtlich der PNK.

Zudem wandeln sich weitere Faktoren, aufgrund des Trends zu mehr Nachhaltigkeit, die den Aufbau von GPNs ermöglicht haben. Ein begünstigender Faktor für GPNs war eine Homogenisierung von Käuferpräferenzen und die damit einhergehende internationale Angleichung der Angebots- und Nachfragebedingungen.<sup>13</sup> Diese hat gleichwohl höhere Kundenerwartungen erzeugt, weshalb Nachhaltigkeit mittlerweile weltweit ein Kaufkriterium ist.<sup>14</sup> Eine effiziente Koordination von internationalen Produktionsstandorten wäre ohne die Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) nie möglich gewesen.<sup>15</sup> Die Digitalisierung ermöglicht den Kunden aber auch eine bessere Transparenz mittels QR-Codes und Apps für den Verbraucherschutz. Deshalb ist reines Greenwashing nicht mehr möglich in Zeiten, in denen die Konsumenten gesamte Lieferketten nachverfolgen können und wollen.<sup>16</sup> Weitere technologische Entwicklungen haben dazu geführt, dass Kosten für Transporte in den vergangenen 100 Jahren um bis zu 88% gefallen sind und GPNs so wirtschaftlich operieren können.<sup>17</sup> Mit der steigenden Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist jedoch abzuwarten, dass auch die Kosten für die Logistik in Zukunft wieder steigen werden.<sup>18</sup> Ein weiterer befähigender Faktor für GPNs war der Aufbau von Infrastruktur für Verkehr

---

<sup>11</sup> vgl. Berger, R. (2002) Chancen und Risiken der Internationalisierung, S. 21-22; WTO (2021) The GATT years, S. 2.

<sup>12</sup> vgl. Kafsack, H. (2020) CO<sub>2</sub>-Grenzsteuer, S. 1-3; Schönsleben, P. (2020) Supply Chain Design, S. 160-162.

<sup>13</sup> vgl. Härtel, H.-H. (1996) Grenzüberschreitende Produktion und Strukturwandel, S. 17.

<sup>14</sup> vgl. Kachaner, N. et al. (2020) Heightening Environmental Awareness, S. 4.

<sup>15</sup> vgl. Merchiers, A. (2008) Bewertung globaler Standortstrukturalternativen, S. 32.

<sup>16</sup> vgl. Schulz, O. (2015) Nachhaltige ganzheitliche Wertschöpfungsketten, S. 329.

<sup>17</sup> vgl. BPB (2017) Transport- und Kommunikationskosten, S. 1.

<sup>18</sup> vgl. Poll, D. (2020) Produktions- und Logistiknetzwerke der Zukunft, S. 1-3.

und Energieversorgung in Schwellenländern.<sup>19</sup> Bei diesem Aufbau wurden jedoch trotz des großen Potentials nur in wenigen Entwicklungsländern ausreichend erneuerbare Energiequellen geschaffen.<sup>20</sup> Auch die Infrastruktur für Recycling und die zugehörigen Umweltschutzauflagen sind in vielen Schwellenländern nicht auf dem Niveau entwickelter Länder.<sup>21</sup> Deshalb muss eine Produktion in diesen Ländern unter den Aspekten der ökologischen Nachhaltigkeit anders bewertet werden als unter ökonomischen Kriterien.

Die genannten Einflussfaktoren zeigen, dass sich globale Produktionsnetzwerke auch in Zukunft verändern werden und dabei das Paradigma der Nachhaltigkeit nicht nur berücksichtigen, sondern konsequent verfolgen müssen. Trotz dieser Erkenntnis wird sowohl in der industriellen Praxis als auch in der wissenschaftlichen Literatur bislang vorrangig auf ökonomische Kennzahlen wie Kosten, Qualität, Flexibilität und Lieferzeiten gesetzt.<sup>22</sup> Bestehende Ansätze beachten ökologische Nachhaltigkeit nur als ein Randthema oder fokussieren auf andere Gestaltungsbereiche wie die Supply Chain.<sup>23</sup> Daher soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu leisten globale Produktionsnetzwerke nachhaltiger zu gestalten, indem die ökologische Nachhaltigkeit von PNKs bewertet wird. Diese Bewertung soll den Verantwortlichen dabei helfen, verschiedene Produktionsnetzwerkszenarien zu vergleichen und eine Entscheidung zu treffen, die im Sinne der neuen Anforderungen alle Stakeholder heutiger und zukünftiger Generationen zufrieden stellen kann.

## 1.2 Zielsetzung

Resultierend aus der Motivation des vorherigen Kapitels wird die Zielsetzung für diese Arbeit formuliert. Damit die Planenden und Entscheidungstragenden von GPNs ihrer Verantwortung gerecht werden können, müssen sie die ökologischen Konsequenzen ihrer Entscheidungen kennen. Insbesondere bei der Auswahl verschiedener strategischer Handlungsalternativen sollen die Vor- und Nachteile der einzelnen Szenarien transparent beurteilt werden. Dafür bedarf es einer Methodik zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Produktionsnetzwerkkonfigurationen. Die Erarbeitung

---

<sup>19</sup> vgl. Merchiers, A. (2008) Bewertung globaler Standortstrukturalternativen, S. 32.

<sup>20</sup> vgl. Arndt, C. et al. (2019) Renewable Energy and Developing Countries, S. 162-164.

<sup>21</sup> vgl. Wendling, Z. et al. (2021) Environmental Performance Index, S. 17-18.

<sup>22</sup> vgl. Friedli, T. et al. (2021) Global Manufacturing Management, S. 8.

<sup>23</sup> vgl. Kapitel 3.4 und Abbildung 3.4

einer solchen Methodik ist das Ziel dieser Arbeit. Diese Methodik soll die Anwendenden befähigen, den Einfluss von Produktionsnetzwerken auf Nachhaltigkeitsindikatoren zu identifizieren, die identifizierten Wirkungsbeziehungen aufwandsarm zu modellieren und die Modellierungsergebnisse für eine transparente Bewertung zu nutzen.

Gemäß KUBICEK soll die explorative Forschung durch Fragen an die Realität geleitet werden.<sup>24</sup> Aufbauend auf der beschriebenen Ausgangssituation und Zielsetzung der Arbeit lautet die zentrale Forschungsfrage:

Wie kann die Konfiguration eines globalen Produktionsnetzwerkes in Bezug auf ökologische Nachhaltigkeitsziele aufwandsgerecht und transparent bewertet werden?

Diese zentrale Forschungsfrage ist in weitere Teilforschungsfragen gegliedert, welche die einzelnen Herausforderungen der Arbeit ansprechen und somit auch die Struktur des Vorgehens vorgeben:

- Welche ökologischen Nachhaltigkeitsziele lassen sich mit der Konfiguration von Produktionsnetzwerken signifikant beeinflussen?
- Wie können die ökologisch nachhaltigkeitsrelevanten Eigenschaften der Konfiguration von globalen Produktionsnetzwerken aufwandsgerecht modelliert werden?
- Wie kann die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit eines Produktionsnetzwerkes mit den passenden Bezugsgrößen und Aggregationsleveln durchgeführt und dargestellt werden?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen werden neben den Grundlagen der PNK und der ökologischen Nachhaltigkeit auch Methoden der Datenmodellierung, der Systems Dynamics und der mathematischen Optimierung beachtet. Mit dieser Kombination von Produktionsmanagement und Informatik leistet die Arbeit einen wissenschaftlichen Beitrag zum Exzellenzcluster „Internet of Production“ (Förderkennzeichen: 390621612) der RWTH Aachen University, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird.

---

<sup>24</sup> vgl. Kubicek, H. (1976) Heuristische Bezugsrahmen, S. 14-15.

### 1.3 Forschungsmethodischer Rahmen

Nach BINDER UND KANTOWSKY ist der wissenschaftliche Forschungsprozess vergleichbar mit dem Bild einer Reise. Für die Nachvollziehbarkeit der dabei gewonnenen Erkenntnisse müssen deshalb sowohl der Ausgangspunkt als auch die Mittel der Reise beschrieben werden.<sup>25</sup> Nach KUHN wird jede wissenschaftliche Disziplin von einem oder mehreren Forschungsparadigmen geleitet, die definieren, woraus die anerkannten wissenschaftlichen Leistungen bestehen.<sup>26</sup> Für die Forschenden stellen die Paradigmen die Erkenntnisperspektive dar. Sie sind somit wertgebunden und können nicht vollständig überprüft werden. Vielmehr müssen sie als fundamentale Überzeugungen akzeptiert werden.<sup>27</sup> Damit ein Forschungsprozess und dessen Ergebnis überprüft werden kann, wird eine Offenlegung dieser Wertevorstellungen benötigt.<sup>28</sup> Diesem Zweck dient das vorliegende Unterkapitel 1.3.

Gemäß LAKATOS wird zwischen positiven und negativen Heuristiken von Forschungsparadigmen unterschieden. Positive dienen dem Erkenntnisgewinn, während negative bestimmen, was zu vermeiden ist.<sup>29</sup> In Abbildung 1.1 sind etablierte Forschungsparadigmen und deren erkenntnistheoretischen Überlegungen eingeordnet, je nachdem, ob die Wissensbildung eher durch das menschliche Denken (mentale Konstruktion) oder die menschlichen Sinne (Beobachtung) stattfindet. Die vorliegende Arbeit ist dem kritischen Rationalismus und dem Pragmatismus zugeordnet. Der kritische Rationalismus zielt auf eine beschränkte Induktion ab, wonach eine Theorie nie vollständig wahr, sondern nur vorläufig richtig sein kann.<sup>30</sup> Globale Produktionsnetzwerke sind komplexe Systeme, deren vollständige Beobachtung nicht möglich ist, weshalb der kritische Rationalismus ein passendes Forschungsparadigma darstellt. Gemäß dem Pragmatismus und nach KUBICEK ist der Maßstab für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn nicht primär die reine Erkenntnissicherung, sondern der Zuwachs

<sup>25</sup> vgl. Binder, V. et al. (1996) Technologiepotentiale, S. 3.

<sup>26</sup> vgl. Kuhn, T. et al. (1994) Structure of scientific revolutions, 24 ff.; Grimen, H. (2003) Theorie wissenschaftlicher Revolutionen, S. 43-54.

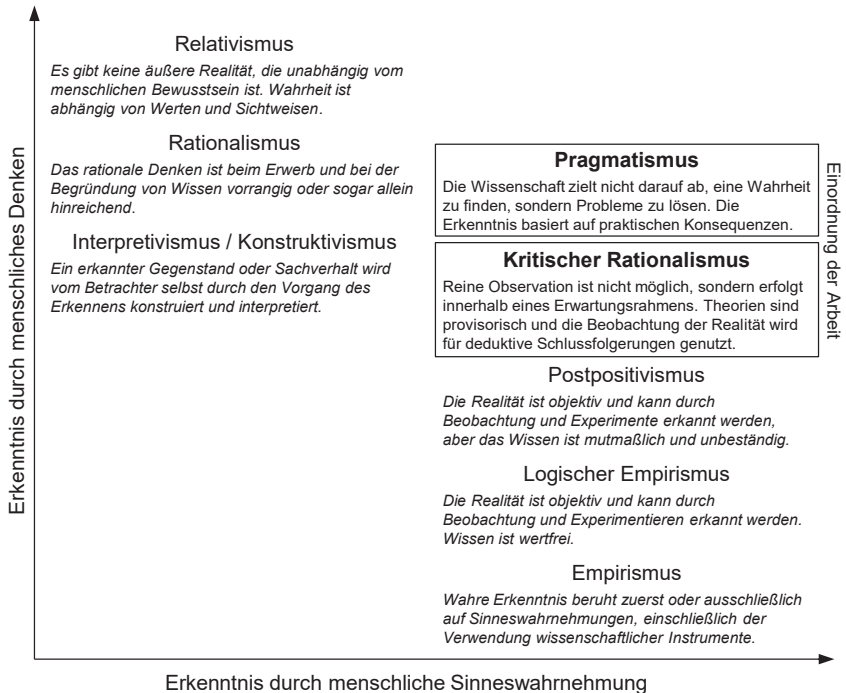
<sup>27</sup> vgl. Guba, E. et al. (1994) Competing paradigms in qualitative research, S. 108.

<sup>28</sup> vgl. Ulrich, H. et al. (2001) Systemorientiertes Management, S. 126-129.

<sup>29</sup> vgl. Lakatos, I. (1974) Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme, S. 129-131.

<sup>30</sup> vgl. Ulrich, P. et al. (1976) Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 345-346.

im Verständnis und die dadurch mögliche Beherrschung der Realität.<sup>31</sup> Die vorliegende Arbeit ist im Bereich der „angewandten“ Ingenieurwissenschaften angesiedelt und steht im direkten Praxiszusammenhang. Sie soll für die Gestaltung von sozialen und technischen Systemen passende Bewertungsmodelle entwickeln.<sup>32</sup> Gemäß dieser Zielstellung gilt somit auch der Pragmatismus als weiteres relevantes Forschungsparadigma.



**Abbildung 1.1: Forschungsparadigmen und erkenntnistheoretische Überlegungen<sup>33</sup>**

Für die Einordnung der Erkenntnisperspektive gilt nach POPPER, dass die wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung nicht mit der Wahrnehmung, Beobachtung oder

<sup>31</sup> vgl. Kubicek, H. (1976) Heuristische Bezugsrahmen, S. 7-9.

<sup>32</sup> vgl. Ulrich, P. et al. (1976) Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, S. 305.

<sup>33</sup> vgl. Blaikie, N. (2006) Designing social research, 87–121; Bryman, A. et al. (2011) Business research methods, S. 10-39; Despeisse, M. (2013) Sustainable manufacturing tactics, S. 13.

Sammlung von Daten und Tatsachen, sondern mit Problemen beginnt.<sup>34</sup> Das entsprechende methodische Vorgehen in dieser Arbeit orientiert sich daher an dem explorativen Forschungszyklus nach TOMCZAK. Diesem Zyklus folgend entsteht auf Basis eines nicht vollständig gelösten Problems in der Praxis ein theoretisches Vorverständnis, um eine Frage an die Realität zu entwickeln. Für die Beantwortung der Frage müssen Daten in der Realität und aus der wissenschaftlichen Literatur gesammelt werden. So wird eine Grundlage für eine kritische Reflexion des Bildes der Realität geschaffen. Dieses wird differenziert und abstrahiert, um so einen Perspektivenwechsel zu schaffen und das bereits vorhandene, theoretische Vorverständnis weiterzuentwickeln. Dieses Vorgehen kann iterativ so oft wiederholt werden bis die untersuchte Problemsituation beherrschbar ist.<sup>35</sup>

Die vorliegende Dissertation ist während der Tätigkeit des Autors als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe „Globale Produktion“ am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen entstanden. Zu den Tätigkeiten gehörte die Arbeit an Beratungs- und Forschungsprojekten mit Fragestellungen der PNK sowie die Organisation eines Arbeitskreises im Themenfeld der globalen Produktion. Dies hat den Autoren maßgeblich dabei befähigt, das Problemverständnis zu vertiefen und benötigte Lösungen zu konzeptionieren. Zudem konnte der Autor auf Arbeitserfahrungen bei Beratungsunternehmen und global agierenden Industriekonzernen zurückgreifen, die vor seiner Tätigkeit am WZL entstanden sind. Die kritische Reflexion der Arbeit wurde durch den Austausch mit Experten aus Industrie und Wissenschaft erreicht.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist gemäß der anwendungsorientierten Forschung nach ULRICH ET AL. strukturiert und weist eine starke Praxisorientierung auf. In Abbildung 1.2 sind die Kapitel der Arbeit den Phasen der Forschung nach ULRICH ET AL. gegenübergestellt.<sup>36</sup>

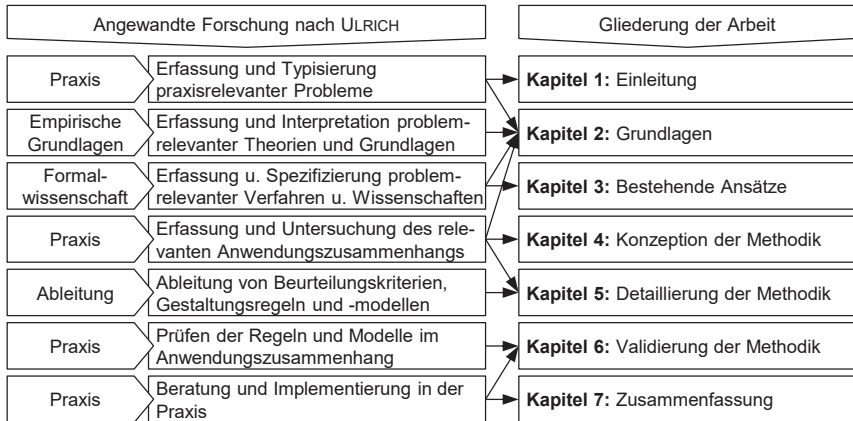
---

<sup>34</sup> vgl. Popper, K. (1962) Die Logik der Sozialwissenschaften, S. 216.

<sup>35</sup> vgl. Tomczak, T. (1992) Forschungsmethoden, S. 84.

<sup>36</sup> vgl. Ulrich, H. et al. (1984) Management, S. 192-195.





**Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit<sup>37</sup>**

Kapitel 1 bietet mit der Vorstellung von Motivation und Zielsetzung eine Einleitung in die Arbeit und eine erste Erfassung der praxisrelevanten Probleme. Im Grundlagenkapitel 2 werden diese weiter vertieft und mit problemrelevanten Theorien und Verfahren aus der Wissenschaft kombiniert. Insbesondere die Grundlagen der PNK und der ökologischen Nachhaltigkeit werden dabei illustriert. Bestehende Ansätze aus der Wissenschaft zur Lösung dieser Probleme werden in Kapitel 3 diskutiert und bewertet.

Mit der Erfassung des relevanten Anwendungszusammenhangs und der Ableitung von Kriterien und Modellen aus diesem wird in Kapitel 4 und 5 die Methodik zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Produktionsnetzwerkkonfigurationen konzipiert und detailliert. Eine Prüfung dieser Methodik im Anwendungszusammenhang erfolgt mit der Validierung an zwei Fallbeispielen in Kapitel 6. Abschließend wird die Arbeit in Kapitel 7 zusammengefasst und ein Ausblick zur Implementierung der Arbeit in der Praxis gegeben.

<sup>37</sup> vgl. Ulrich, H. et al. (1984) Management, S. 193.