

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Globale Wertschöpfungsketten sind für den Welthandel von großer Bedeutung. 70 % des Welthandels finden der OECD zufolge innerhalb globaler Wertschöpfungsketten statt.¹ Die Aufteilung der Produktion auf internationale Standorte wird dabei nicht nur von Großkonzernen durchgeführt. Produzierende Unternehmen jeglicher Größe operieren weltweit in Form von globalen Produktionsnetzwerken.² Während vor einigen Jahrzehnten die Hauptgründe von Produktionsverlagerungen noch auf Ausstattungs- und Kostenunterschiede zurückzuführen waren, werden inzwischen deutlich diversere Gründe genannt.³ Immer häufiger werden Produktionsumfänge aus Flexibilitäts- und Qualitätsgründen auch an den Heimatstandort zurückverlagert.⁴ Dabei zählen Produktionsnetzwerke heute jedoch zu den komplexesten vom Menschen geschaffenen Systemen.⁵ Zurückzuführen ist das auf die Vielzahl an zu berücksichtigenden Variablen, die von standortspezifischen Einflussfaktoren bis hin zu makroökonomischen und technologischen Trends reichen.⁶ Zusätzlich tragen die gesteigerte Produktkomplexität sowie die Anzahl an der Produktion beteiligter Akteure zu einer hohen Netzwerkkomplexität bei.⁷ Die Herausforderung besteht somit in der Beherrschung der wachsenden Komplexität, die es bei der Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke durch produzierende Unternehmen zu berücksichtigen gilt.

Die Vielzahl an Einflussfaktoren, die auf das globale Produktionsnetzwerk einwirkt, zeichnet sich durch eine wachsende Unsicherheit und Volatilität aus.⁸ Produzierende

¹ vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021) Wirtschaftspolitik, S. 27.

² vgl. Lanza, G./ Ferdows, K./ et al. (2019) Global Production Networks, S. 823.

³ vgl. Lanza, G./ Ferdows, K./ et al. (2019) Global Production Networks, S. 823 - 824; Verhaelen, B./ Peukert, S./ et al. (2021) Site Selection Processes, S. 101 - 103.

⁴ vgl. Verhaelen, B./ Peukert, S./ et al. (2021) Site Selection Processes, S. 102.

⁵ vgl. Vánčza, J. (2016) Production Networks, S. 1.

⁶ vgl. Ferdows, K. (2018) Managing Global Operations, S. 394.

⁷ vgl. Stich, V./ Schröer, T./ et al. (2021) Wertschöpfungsnetzwerke, S. 5.

⁸ vgl. Ferdows, K. (2018) Managing Global Operations, S. 395.

Unternehmen sind sehr anfällig für Veränderungen in ihrem Umfeld und stehen vor der Herausforderung, sich an Veränderungen bei gleichzeitiger Beibehaltung der Profitabilität anzupassen.⁹ In diesem Zusammenhang wird häufig der Begriff *Resilienz* verwendet.¹⁰ Nach der National Academy of Sciences bezeichnet dieser die Fähigkeit, sich auf tatsächliche oder potenzielle widrige Ereignisse vorzubereiten und einen Lösungsweg zu planen, sie aufzufangen, sich von ihnen zu erholen oder sich erfolgreich an sie anzupassen.¹¹ Veränderungen lassen sich dabei in kontinuierliche und diskontinuierliche Veränderungen untergliedern.¹² Im Gegensatz zu diskontinuierlichen Veränderungen sind kontinuierliche Veränderungen dadurch gekennzeichnet, dass sie schrittweise und für die beteiligten Personen zunächst kaum spürbar eintreten.¹³ Beide Arten von Veränderungen vereint die Notwendigkeit zum Aufbau von Resilienz in Produktionsnetzwerken, um eine erfolgreiche Anpassung an Veränderungen zu gewährleisten.

Umfrageergebnisse zeigen, dass Unternehmen die Notwendigkeit zur Steigerung der Resilienz erkannt haben. Demnach planen 93 % der für die Supply-Chain Verantwortlichen die Resilienz zu steigern, 44 % auch auf Kosten kurzfristiger Einsparungen.¹⁴ Die schnelle Reaktion auf Veränderungen stellt einen essenziellen Wettbewerbsfaktor dar, erfolgt in der Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke jedoch häufig nicht.¹⁵ Dabei ist durch empirische Studien belegt, dass eine verkürzte Reaktionszeit auf Veränderungen, die Schadensauswirkungen erheblich reduziert.¹⁶ Verlängerte Reaktionszeiten werden in der Netzwerkgestaltung zum einen damit begründet, dass die Umsetzung von Anpassungen in der Netzwerkstruktur Monate in Anspruch nehmen kann. Der Aufbau oder das Schließen von Werken nehmen häufig sogar noch mehr Zeit in Anspruch.¹⁷ Doch bereits vor der Umsetzung einer Netzwerkanpassung geht wertvolle Zeit verloren. Netzwerkrelevante Veränderungen, auf welche durch

⁹ vgl. Benfer, M./ Verhaelen, B./ et al. (2021) Resilience Measures, S. 492.

¹⁰ vgl. Golan, M./ Jernegan, L./ et al. (2020) Resilience analytics in supply chain modeling, S. 223.

¹¹ vgl. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2012) Disaster Resilience.

¹² vgl. Hartkopf, M. (2013) Kontinuierliche Planung der Werksentwicklung, S. 36 - 39.

¹³ vgl. Schuh, G./ Gützlaff, A./ et al. (2020) Proactive Identification of Adaptation Needs, S. 69 - 70.

¹⁴ vgl. Lund, S./ Manyika, J./ et al. (2020) Risk, resilience and rebalancing, S. 17.

¹⁵ vgl. Lanza, G./ Ferdows, K./ et al. (2019) Global Production Networks, S. 836.

¹⁶ vgl. Bode, C./ Macdonald, J. (2017) Stages of Supply Chain Disruption Response, S. 860.

¹⁷ vgl. Ferdows, K. (2014) Global Production Network, S. 3.

eine Anpassung in der Netzwerkstruktur reagiert werden sollte, werden zu spät erkannt.¹⁸ Die Wahrnehmung von Veränderungen ist dabei jedoch nicht ausreichend. Die Dynamik im Umfeld globaler Produktionsnetzwerke muss hinsichtlich ihrer Risiken analysiert und bewertet werden, um zielgerichtet reagieren zu können.¹⁹ Aufgrund der Vielzahl an Konfigurationsmöglichkeiten globaler Produktionsnetzwerke ist die Auswahl einer geeigneten Anpassungsreaktion sehr komplex.²⁰ Empirisch ist ein Zusammenhang zwischen der Komplexität einerseits und der Verlangsamung der Wahrnehmung einer Veränderung sowie deren Analyse andererseits nachgewiesen.²¹ Damit besteht ein hohes Potenzial zur Steigerung der Resilienz globaler Produktionsnetzwerke in der frühzeitigeren Wahrnehmung relevanter Veränderungen und im Verkürzen der Latenzzeit bis zur Ableitung des Anpassungsbedarfs.

Die Schaffung von Transparenz und Standardisierung ermöglicht die Handhabung der Komplexität sowie eine Verkürzung der Reaktionszeit.²² Um die Netzwerkgestaltenden zur objektiven Bewertung der Ausgangssituation zu befähigen, kommt Unternehmensdaten eine wesentliche Rolle zu. Sie schaffen die notwendige Transparenz für fundierte Entscheidungen.²³ Der hohe Grad an Vernetzung und die allgegenwärtige Verfügbarkeit von Daten und Diensten eröffnen neue und vielversprechende Perspektiven für industrielle Systeme.²⁴ Zur Nutzung dieser Potenziale gilt es interaktive Hilfsmittel zu entwickeln, die beim Umgang mit großen Datenmengen unterstützen.²⁵ Interaktivität ist an dieser Stelle von entscheidender Bedeutung, da Entscheidungen in der Netzwerkgestaltung stets abhängig von Erfahrungswissen sind und eine vollständige Automatisierung der Entscheidungsfindung nicht zielführend ist.²⁶

Zusammenfassend bedarf es einer Methodik, die bei der Verkürzung der Reaktionszeit globaler Produktionsnetzwerke auf Veränderungen unterstützt. Durch ein kontinuierliches Monitoring und die datenbasierte Analyse müssen netzwerkrelevante Ver-

¹⁸ vgl. Lanza, G./ Ferdows, K./ et al. (2019) Global Production Networks, S. 836.

¹⁹ vgl. Billing, C./ Bryson, J. (2019) Competitiveness and the Management of Risk, S. 424.

²⁰ vgl. Schuh, G./ Potente, T./ et al. (2014) Global Footprint Design, S. 433.

²¹ vgl. Bode, C./ Macdonald, J. (2017) Stages of Supply Chain Disruption Response, S. 862.

²² vgl. Schuh, G./ Prote, J.-P./ et al. (2018) Reduction of Decision Complexity, S. 246 - 253.

²³ vgl. Schuh, G./ Prote, J.-P./ et al. (2019) Gestaltung von Produktionsnetzwerken, S. 7 - 10.

²⁴ vgl. Müller, T./ Jazdi, N./ et al. (2021) Cyber-physical production systems, S. 549 - 554.

²⁵ vgl. Friedli, T./ Schuh, G./ et al. (2019) Next Level Production, S. 102.

²⁶ vgl. Tiwari, S./ Wee, H./ et al. (2018) Big data analytics, S. 319 - 330; Schuh, G./ Prote, J.-P./ et al. (2019) Gestaltung von Produktionsnetzwerken, S. 7.

änderungen frühzeitig identifiziert werden. Das Ableiten geeigneter Anpassungsbedarfe ist aufgrund der Vielzahl an Anpassungsmöglichkeiten in der Netzwerkconfiguration komplex und zeitaufwendig. Durch eine anwendungs- und aufwandsgerechte Methode muss die Komplexität handhabbar sein und die Einleitung des Entscheidungsprozesses sowie der anschließenden Umsetzung beschleunigt werden.

1.2 Zielsetzung

Aufbauend auf der vorgestellten Problemstellung verfolgt die vorliegende Dissertation das übergeordnete Ziel, durch die Verkürzung der Reaktionszeit auf Veränderungen einen Beitrag zur Schaffung resilenter Produktionsnetzwerke zu leisten. Der Fokus liegt auf dem frühzeitigen Erkennen von Anpassungsbedarfen in der Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke durch die Identifikation und Bewertung kontinuierlicher Veränderungen sowie die Vorauswahl möglicher Anpassungsalternativen als Entscheidungsunterstützung in der Netzwerkgestaltung. Diese Aspekte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer anwendungsorientierten Methode zur Verkürzung der Reaktionszeit der Produktionsnetzwerkgestaltung auf Veränderungen, welche die frühzeitige Identifikation und Bewertung von netzwerkrelevanten Veränderungen sowie eine Vorauswahl möglicher Anpassungsalternativen in der Netzwerkgestaltung aus unternehmerischer Perspektive ermöglicht.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine Methodik entwickelt, die sich aus den folgenden vier Teilmodellen zusammensetzt:

- Ein Beschreibungsmodell zur Schaffung von Transparenz über die Veränderungen im Produktionsnetzwerk
- Ein Entscheidungsmodell zur Analyse und Bewertung des Risikos bei Veränderungen im Produktionsnetzwerk
- Ein Erklärungsmodell zur Modellierung der Identifikation von Anpassungsbedarfen in der Netzwerkgestaltung
- Ein Entscheidungsmodell zur Ableitung und Priorisierung der Anpassungsalternativen in der Netzwerkgestaltung

Gemäß der explorativen Forschung nach KUBICEK zur erfahrungsgestützten Theoriebildung sind zur Absicherung des Forschungsprozesses Fragen an die Realität zu formulieren.²⁷ Die dieser Forschungsarbeit zugrunde liegende Forschungsfrage kann anhand der einleitenden Motivation und Zielstellung wie folgt formuliert werden:

Wie kann die Reaktionszeit bei der Anpassung von Produktionsnetzwerken an Veränderungen durch ein frühzeitiges und anwendungsgerechtes Erkennen von Anpassungsbedarfen verkürzt werden?

Durch die Beantwortung der Forschungsfrage soll es produzierenden Unternehmen ermöglicht werden, die Reaktionszeit auf Veränderungen in globalen Produktionsnetzwerken zu reduzieren. Anwendungsgerechte Methoden befähigen zur frühzeitigen Identifikation und Bewertung netzwerkrelevanter Veränderungen zum Aufzeigen von Handlungsnotwendigkeiten. Durch eine Modellierung der Identifikation von Anpassungsbedarfen und eine Methodik zur Ableitung und Priorisierung von konkreten Anpassungsalternativen wird zudem eine Möglichkeit geschaffen, trotz hoher Komplexität in der Netzwerkgestaltung mögliche Netzwerkszenarien zur Anpassung an die Veränderungen zu generieren. Die vorliegende Arbeit leistet damit einen Beitrag zum Exzellenzcluster „Internet of Production“ (Förderkennzeichen: 390621612) der RWTH Aachen University. Der Cluster wird seit Januar 2019 von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) gefördert und verfolgt u. a. das Ziel, die Entscheidungsqualität trotz steigender Unsicherheit bei langfristigen Aufgaben des Produktionsmanagements zu erhöhen.²⁸ Im Fokus steht dabei die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Produktionswissenschaften und Informatik.

1.3 Forschungsmethodischer Rahmen der Arbeit

Die Zielstellung dieser Arbeit entstand durch die Tätigkeit des Autors als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Gruppe „Globale Produktion“ am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University im Rahmen zahlreicher Beratungsprojekte bei Unternehmen der produzierenden Industrie. Einzuordnen ist die Arbeit damit in den Bereich der Ingenieurwissenschaften und sie steht im direkten Praxiszusammenhang, der in Kapitel 2.4 im Detail erläutert wird. Gemäß der Wissenschaftssystematik

²⁷ vgl. Kubicek, H. (1976) Heuristische Bezugsrahmen, S. 12 - 17.

²⁸ vgl. Schuh, G./ Prote, J.-P./ et al. (2019) Internet of Production, S. 539 - 540.

nach ULRICH UND HILL lässt sich die Arbeit in den Bereich der Realwissenschaften einordnen, welche sich wiederum in „reine“ Grundlagenwissenschaften und „angewandte“ Handlungswissenschaften unterteilen lassen.²⁹ Durch den ingenieurwissenschaftlichen Praxiszusammenhang, in dem diese Arbeit entstanden ist, wird sie dem Bereich der angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet, welcher vornehmlich auf spezifische und praktische Ziele ausgerichtet ist. Der Fokus des wissenschaftlichen Fortschritts liegt dabei auf dem Verständnis sowie der Beherrschung der Realität und weniger auf dem Zuwachs an Erkenntnissicherung.³⁰ Zur Identifikation geeigneter Instrumente zur Beherrschung der Realität reichen deskriptive Ursache-Wirkungs-Relationen nicht mehr aus, sondern es bedarf der Ermittlung konkreter Ziel-Mittel-Relationen. Die Gewinnung von Erkenntnissen erfolgt dabei mithilfe von Simulationen, Tests und Experimenten und in Form einer abduktiven Schlussweise, das heißt, von Teileigenschaften wird auf das Zutreffen von Gesamteigenschaften geschlossen. Da das gewonnene Wissen nicht auf reine Kausalrelationen beruht, ist es nicht als deskriptiv, sondern normativ zu klassifizieren, wodurch die Erkenntnisgewinnung dieses Ansatzes immer eine Wertung des Autors beinhaltet.³¹ Um die Subjektivität in diesem Zusammenhang zu begrenzen, werden nachfolgend das zugrunde liegende Vorverständnis des Autors und das methodische Vorgehen dargestellt.³²

Das Vorverständnis des Autors wird entsprechend der iterativen Heuristik nach KUBICEK dargestellt.³³ In Kapitel 1.2 wurde zur Abbildung des Vorverständnisses bereits eine zentrale Forschungsfrage formuliert. Sie dient als Ausgangspunkt für die Gewinnung neuer Fragen, die das Verständnis erweitern. Ein heuristischer Bezugsrahmen setzt dazu die im Problemkontext vorhandenen Kategorien und Analyseeinheiten in Beziehung und unterstützt bei der Ableitung der weiteren Forschungsfragen. Der heuristische Bezugsrahmen für die vorliegende Dissertation ist in Abbildung 1-1 dargestellt.

²⁹ vgl. Ulrich, P./ Hill, W. (1976) Wissenschaftstheoretische Grundlagen, S. 305.

³⁰ vgl. Kubicek, H. (1976) Heuristische Bezugsrahmen, S. 7.

³¹ vgl. Kornwachs, K./ Treugut, L. (2013) Technikwissenschaften, S. 22.

³² vgl. Ulrich, P./ Hill, W. (1976) Wissenschaftstheoretische Grundlagen, S. 306.

³³ vgl. Kubicek, H. (1976) Heuristische Bezugsrahmen, S. 14.

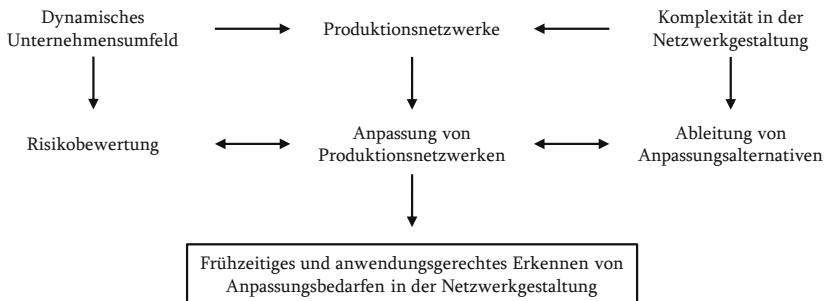


Abbildung 1-1: Heuristischer Bezugsrahmen

Zur Strukturierung des forschungsmethodischen Vorgehens können die Forschungsfrage sowie die definierten Ziele aus Kapitel 1.2 mithilfe des heuristischen Bezugsrahmens in weitere, untergeordnete Teilstudien gegliedert werden:

- Wie können netzwerkrelevante Kennzahlen zur Identifikation von Veränderungen bestimmt und nachvollziehbar für die Netzwerkgestaltenden visualisiert werden?
- Wie lassen sich netzwerkrelevante Kennzahlen hinsichtlich ihres Risikos in der Netzwerkgestaltung analysieren und bewerten?
- Wie können Anpassungsbedarfe über die Zuordnung von Kennzahlentwicklungen zu möglichen Anpassungsformen identifiziert und anwendungsgerecht modelliert werden?
- Wie können mögliche Anpassungsalternativen basierend auf den Kennzahlentwicklungen nachvollziehbar abgeleitet und priorisiert werden?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen erfolgt in der vorliegenden Dissertation eine Orientierung am explorativen Forschungszyklus nach TOMCZAK (vgl. Abbildung 1-2). Auf Basis eines nicht hinreichend gelösten Problems aus der Praxis folgt das theoretische Verständnis, aus welchem Fragen an die Realität abgeleitet werden. Über die Sammlung von Daten kann darauf aufbauend ein neues Realitätsbild entwickelt werden. Das gewonnene Realitätsbild durchläuft eine kritische Reflexion, gefolgt von einer Differenzierung, Abstraktion oder einem Perspektivenwechsel, wodurch ein weiterentwickeltes theoretisches Verständnis erreicht werden kann.³⁴ Dieses iterative

³⁴ vgl. Tomczak, T. (1992) Forschungsmethoden, S. 84.

Vorgehen wird so lange wiederholt, bis genügend Verständnis vorhanden ist und die untersuchte Problemsituation beherrscht wird.³⁵

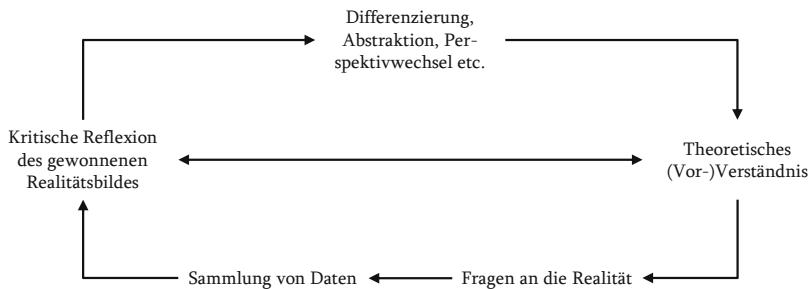


Abbildung 1-2: Explorativer Forschungszyklus nach TOMCZAK³⁶

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit basiert auf dem Vorgehen der angewandten Forschung nach ULRICH und dem zuvor beschriebenen praxisorientierten methodischen Rahmen. Dabei sind der wiederkehrende Bezug zur Praxis sowie die kontinuierliche Sicherstellung der Anwendbarkeit gegeben.³⁷ Abbildung 1-3 stellt die Struktur der vorliegenden Arbeit den Phasen nach ULRICH gegenüber.

³⁵ vgl. Kubicek, H. (1976) Heuristische Bezugsrahmen, S. 28 - 29.

³⁶ vgl. Tomczak, T. (1992) Forschungsmethoden, S. 84.

³⁷ vgl. Ulrich, H. (1984) Management, S. 192 - 194.

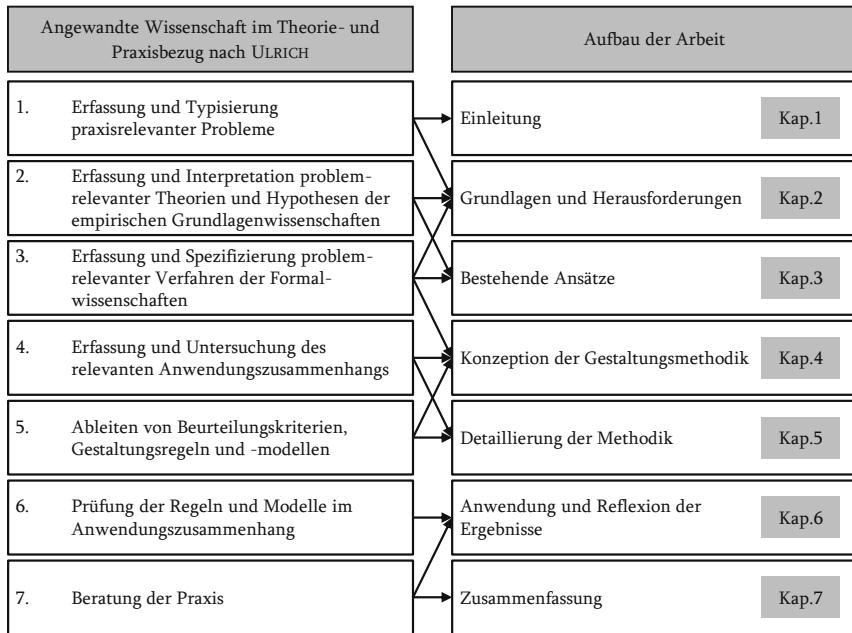


Abbildung 1-3: Phasen der angewandten Forschung und Aufbau der Arbeit³⁸

Im ersten Kapitel werden einleitend die Motivation und Zielstellung der Dissertation vorgestellt. Darauf aufbauend werden die Forschungsmethodik und der Aufbau der Arbeit dargestellt.

Im zweiten Kapitel der Dissertation werden die relevanten Grundlagen vermittelt und der Betrachtungs- und Gestaltungsbereich beschrieben sowie eingegrenzt. Das umfasst die relevanten Grundlagen globaler Produktionsnetzwerke sowie insbesondere die Resilienz globaler Produktionsnetzwerke. Im Anschluss werden datenbasierte Verfahren im Risikomanagement vorgestellt und die Herausforderungen aus der Praxis abgeleitet.

Im dritten Kapitel wird der Handlungsbedarf aus der Praxis mit bestehenden wissenschaftlichen Ansätzen abgeglichen. Dazu werden Ansätze mit Fokus auf der strategischen und prozessualen Anpassung von Produktionsnetzwerken, Ansätze zur takti-

³⁸ vgl. Ulrich, H. (1984) Management, S. 193.

schen Anpassung von Produktionsnetzwerken, Ansätze zur Überwachung von Produktionsnetzwerken sowie Ansätze mit Betrachtung des Risikomanagements im Supply-Chain-Management analysiert. Die unterschiedlichen Ansätze werden bewertet und als Ergebnis wird der Forschungsbedarf abgeleitet.

Im vierten Kapitel werden die inhaltlichen und formalen Anforderungen an eine Methodik zur datenbasierten Früherkennung von Anpassungsbedarfen in globalen Produktionsnetzwerken hergeleitet und das Grobkonzept des Lösungsansatzes wird erarbeitet. Eine Ausdetaillierung der Methodik erfolgt im fünften Kapitel.

Das sechste Kapitel beschreibt die Anwendung und Reflexion der Methodik. Hierzu besteht die Validierung aus zwei Schritten. Zunächst erfolgt die Anwendung der Methodik zur Risikobewertung von Veränderungen anhand eines Fallbeispiels in der Praxis. Anschließend wird die automatisierte Generierung von Anpassungsbedarfen basierend auf Veränderungen anhand eines weiteren Fallbeispiels validiert. Zum Schluss dieses Kapitels wird die praktische Anwendung der Methodik kritisch reflektiert.

Im siebten Kapitel erfolgen abschließend die Zusammenfassung der Dissertation und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsbedarfe.