

1 Einleitung und Motivation

1.1 Ökologische Situation der heutigen Logistik

Ende 2015 hat sich auch die UN-Klimakonferenz in Paris mit dem drängenden Thema des *Klimawandels* befasst, dessen Folge das Abschmelzen der Polarkappen und extreme Wetterlagen wie Dürreperioden, Überschwemmungen oder starke Hagelschläge sind (Kunz u. a. 2009; Lehr und Nieters 2015). Daher hat die Konferenz beschlossen, die globale Durchschnittstemperatur auf höchstens 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu senken (UNFCCC 2015, S. 22). Der Klimawandel wird durch den von Menschen übermäßigen verursachten Ausstoß von Treibhausgasen (THG) beschleunigt (IPCC 2001, S. 5). Als primäre Ursache dafür führt das Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) die Verbrennung fossiler Energieträger an. Weltweit ist die Konzentration von CO₂, dem bekanntesten THG, seit vorindustriellen Zeiten um 40 % gestiegen (IPCC 2013, S. 7). Folglich sind die unterzeichnenden Länder zum Erreichen des Ziels gezwungen, deren Ausstoß zu reduzieren.

Die Logistik trägt mit rund 5,5 % einen nennenswerten Anteil zur weltweiten THG-Bilanz bei (World Economic Forum 2009, S. 4; McKinnon u. a. 2015, S. 4). Der weltweite Zuwachs an transportbedingten THG-Emissionen lag dabei von 1990 bis 2011 um 69 % über der entsprechenden Gesamtrate (World Resources Institute 2012). Während die THG-Emissionen in den 27 EU-Vertragsstaaten von 1990 bis 2011 um 18,4 % auf 4,5 Mrd. t CO₂-Äquivalente (vgl. Bedeutung auf S. 50) gesunken sind, stiegen diese Emissionen im Verkehrssektor in demselben Zeitraum um 18,9 % auf 0,9 Mrd. t (EEA 2015)¹.

Daneben entfalten *Lärm*, *Feinstäube* und *lokal wirkende Gase* wie Kohlenmonoxid (CO) oder Stickoxide (NO_x) ihre Wirkung im direkten Umfeld und belasten die unmittelbare Umwelt, insbesondere den Menschen (Ruske u. a. 2009; EEA 2014; FTA 2015, S. 54). So sind 50 % der EU-Bevölkerung über 55 db(A) verursacht durch Straßenverkehr ausgesetzt (WHO 2011, S. 94); über 90 % der Stadtbewohner in Europa atmen Luft mit gesundheitsgefährdenden Konzentrationen von Feinstaub und Ozon (O₃) (EEA 2013a, S. 8), die auch durch Verkehr entstehen. Der Straßenverkehr stellt durch Verbrennungsmotoren die Hauptquelle von NO_x (Stickoxide) und CO in der EU dar und hat 2012 39 % bzw. 25 % der jeweiligen EU-Gesamtemissionen verursacht (EEA 2014, S. 13).

¹ Berechnung basierend auf den historischen Daten des online verfügbaren „GHG Data Viewers“ der europäischen Umweltbehörde EEA.

Vor dem Hintergrund der intensiven Nutzung fossiler Energieträger hat sich der Ölpreis (Jahresdurchschnittswerte ausgewählter OPEC-Rohöle) von den 1990er-Jahren bis 2014 von 12,28 auf 96,19 US-Dollar je Barrel nahezu verachtfacht (Statista 2016b; eigene Berechnung). Der Jahresdurchschnittspreis für Superbenzin ist in Deutschland in den letzten 15 Jahren um rund 50 % gestiegen (Statista 2016a). Da die Logistik sich für den Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr verantwortlich zeigt, kann sie einen Beitrag zur energetischen Unabhängigkeit leisten, die einen Baustein makroökonomischer Nachhaltigkeit in Deutschland darstellt (BMW i 2016).

Die Verbesserung der Umweltbilanz im Logistiksektor, d. h. die Verminderung von Umweltauswirkungen von Logistikdienstleistungen (i. A. a. Klöpffer und Grahl 2009, S. 1, vgl. 3.4.1), und die Senkung des Energiebedarfs sind grundsätzlich auf zwei Weisen möglich: Zum einen lässt sich eine ökologische Verbesserung durch technologische Innovationen wie hybride Antriebe erreichen, zum anderen durch *bessere Planung*. Werden beispielsweise bei der Disposition von Transporten oder der Standortwahl energetische und ökologische Zielgrößen stärker in die Planung einbezogen, kann die Effizienz der Lieferkette z. B. durch die Bündelung von Transporten, die Nutzung energieeffizienter Verkehrsträger oder die Verkürzung von Transportstrecken gesteigert werden. Dafür ist ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der die gesamte Lieferkette umfasst (Psaraftis 2016, xviii).

Um bei der Logistikplanung das gestalterische Einsparpotenzial voll auszuschöpfen, ist auf der langfristigen Gestaltungsebene des Supply Chain Managements (SCM) anzusetzen, dem *Supply Chain Design (SCD)*. Typische Aufgaben auf dieser Ebene umfassen die Bestimmung der Anzahl an Netzwerkstufen, die räumliche Verteilung von Knotenpunkten (Produktionsanlagen, Lagerhäuser, Umschlagzentren etc.), die Verbindung bzw. Vernetzung dieser Lokalitäten im Sinne der Relationen sowie die Zuordnung von Produktgruppen zu Standorten und Relationen (Sucky 2008, S. 939).

Auswirkungen einer Entscheidung auf dieser Gestaltungsebene sind aber aufgrund der hohen Komplexität schwer zu überblicken und erfordern konzeptionelle und methodische Unterstützung (Klingebiel und Seidel 2007, S. 61; Chopra und Meindl 2010, S. 150–151). Als *Zielgrößen bei der Netzwerkgestaltung* spielen energie- und umweltbezogene Kriterien bislang eine untergeordnete Rolle (Horváth & Partners 2012; Bölzing u. a. 2012, S. 9) und werden, wenn überhaupt, erst im Nachgang ermittelt. Somit werden trotz des hohen ökologischen Potenzials Entscheidungen im SCD überwiegend unter Kosten- und Leistungsgesichtspunkten getroffen. Um also eine Verbesserung der ökologischen Bilanz von Logistikprozessen zu erreichen, ist das Vorgehen im Supply Chain Design derart zu erweitern, dass ökologische Bewertungskriterien methodisch korrekt und praktisch einsetzbar in den Gestaltungsprozess integriert werden.

1.2 Resultierende Zielsetzung

Damit besteht das wesentliche Ziel darin, Ökologie bei der Netzwerkgestaltung als relevante und akzeptierte Zielgröße zu verankern. Es bedarf deshalb einer *Gestaltungsmethodik*, die neben herkömmlichen auch ökologische Zielgrößen hinreichend berücksichtigt. Da sich die Netzwerkgestaltung üblicherweise grob in die Phasen einer Zieldefinition, der Erfassung des bestehenden Logistiksystems und der Bewertung von Szenarien einteilt (Klingebiel und Seidel 2007, S. 56–57), ist jede dieser Gestaltungsphasen so zu erweitern, dass ökologische Kennzahlen ausreichend Berücksichtigung finden.

Mit der Identifikation dieses Handlungsbedarfs lässt sich das Ziel dieser Forschungsarbeit definieren, für dessen Formulierung sich eine *Forschungsfrage* eignet:

Wie ist die Methodik zur Gestaltung von Logistiknetzwerken zu erweitern, um ökologische Kennzahlen effektiv und vollständig in den Gestaltungsprozess zu integrieren?

Diese übergeordnete Frage kann zur Detaillierung in drei untergeordnete, aufeinander aufbauende Fragestellungen gliedert werden:

1. *Welche Anforderungen an ein Vorgehen für das Supply Chain Design lassen sich ableiten vor dem Hintergrund der typischen Aufgaben auf dieser Ebene und deren Auswirkungen auf ökologische Kennzahlen?*

Mithilfe einer literaturbasierten Recherche lassen sich zunächst Gestaltungsaufgaben identifizieren und strukturieren. Aus diesen SCD-Aufgaben und der Problemstellung können dann Anforderungen an eine ökologisch-integrierte Gestaltungsmethodik abgeleitet werden. Daran knüpft die zweite Forschungsfrage an:

2. *Welche ökologischen Kennzahlen eignen sich für das Supply Chain Design und wie lassen diese sich auf eine für das im SCD mögliche Detailniveau geeignete Weise aufwandsadäquat berechnen?*

Zur Beantwortung der Forschungsfrage sind heute im SCD eingesetzte und geeignete ökologische Kennzahlen sowie Methoden zu deren Berechnung zu recherchieren und in den Gestaltungsprozess zu integrieren. In Anbetracht der Anforderungen kann so eine SCD-gerechte ökologische Bewertungsmethodik entwickelt werden. Auf deren Einbindung in logistische Bewertungsmethoden zielt die dritte Forschungsfrage ab:

3. *Wie lässt sich die ökologieorientierte Bewertung in die Netzwerkgestaltung integrieren, d. h. auf welche Weise werden die ökologischen Kennzahlen (speziell in den Gestaltungsszenarien) anforderungsgerecht ermittelt?*

Um auch Gestaltungsszenarien unter ökologischen Gesichtspunkten bewert- und vergleichbar zu machen, ist die Integration von Methoden zur ökologischen in solche zur logistischen Bewertung erforderlich. Auf dieser Basis ist es schließlich möglich, die Hauptforschungsfrage zu beantworten (4.5) und eine ökologieintegrierte Netzwerkgestaltung vorzunehmen. Dazu entspricht die Arbeit nachfolgend beschriebenem Aufbau.

1.3 Aufbau der Arbeit

Mit dem Ziel, Gegenstand und Herausforderungen des ökologisch geprägten Supply Chain Designs systematisch zu erschließen, wird in Kapitel 2 zunächst der Begriff des ökologieorientierten SCD abgegrenzt und eingeordnet sowie der Effekt logistischer Prozesse auf die Umwelt erörtert (2.1). Auf dieser Basis werden in Unterkapitel 2.2 die im SCD enthaltenen Aufgaben anhand einer ausführlichen Literaturrecherche definiert und in Form der SCD-Aufgabenpyramide strukturiert. Dabei wird auch der Einfluss der Aufgaben auf die Ökologie untersucht und herausgestellt. Anknüpfend an die benannten und strukturierten Aufgaben im SCD wird in Unterkapitel 2.3 der methodische Rahmen erläutert, d. h. eine den Gestaltungsprozess abbildende Referenzmethodik und die darin enthaltenen Bewertungsmethoden. Durch Abgleich der Referenzmethodik mit den Aufgaben im SCD vor dem Hintergrund deren ökologischen Bewertung können schließlich Anforderungen an die ökologische Erweiterung des SCD abgeleitet werden (2.4).

Zur Untersuchung des Stands der Forschung in Kapitel 3 wird zunächst der Stand der Integration von Ökologie in den Unternehmen erörtert (3.1). Anschließend lassen sich Themenfelder ableiten, die in den darauffolgenden Unterkapiteln untersucht werden: Erst werden ökologische Kennzahlen auf Ebene des SCD, logistische Kennzahlensysteme und bereits um ökologische Kriterien erweiterte Logistikkennzahlensysteme recherchiert (3.3). Daran schließt sich ein Überblick über aktuelle Methoden zur Berechnung ökologischer Kennzahlen und entsprechender Basisdatensätze an (3.4). Deren Entwicklungsstand der Integration in logistische Bewertungsmethoden wird im anschließenden Unterkapitel untersucht (3.5). Die Recherche mündet in die Ableitung der Forschungslücke, die sich aus den in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen und dem Stand der Forschung ergibt.

Die identifizierte Forschungslücke wird in Kapitel 4 durch die Entwicklung entsprechender Methoden und die damit einhergehende Erweiterung der Referenzmethodik geschlossen. Die Erweiterungen bestehen zum einen aus der Integration ökologischer Kennzahlen in das Zielsystem des SCD (4.1) und einer der Granularität und Genauigkeit des SCD entsprechenden Methode zur Berechnung dieser ökologischen Kennzahlen (4.2). Zum anderen werden die logistischen Methoden zur Grob- und zur Feinkonzeption anforderungsgerecht um die ökologische Kennzahlenberechnung erweitert (4.3 und 4.4). Unterkapitel 4.5 fasst die erweiterte Methodik zusammen.

Zur Validierung der entwickelten Methoden anhand von Praxisbeispielen werden zunächst erforderliche Werkzeuge für die Grob- und die Feinkonzeption prototypisch erweitert (Kapitel 5). In Kapitel 6 werden die Methoden schließlich praktisch erprobt. Während das erste Anwendungsbeispiel (kurze, reaktive Lieferkette) den Fokus auf die Phase der Feinkonzeption richtet (6.1), wird auf das zweite Fallbeispiel (globale Lieferkette) die gesamte Methodik angewendet (6.2). Die Arbeit schließt in Kapitel 7 mit einer Zusammenfassung und einem Fazit sowie dem weiteren Forschungsbedarf. Abbildung 1 stellt den Aufbau der Arbeit schematisch dar.

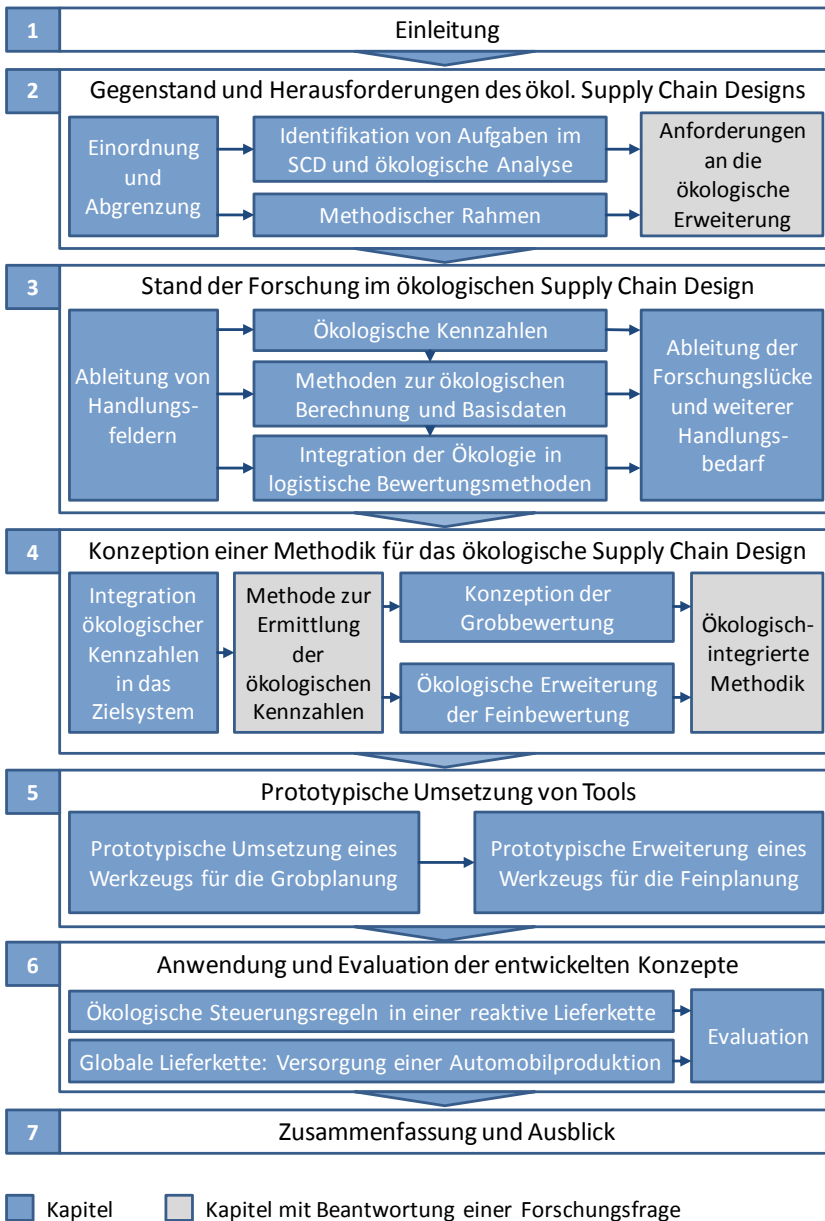


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung)