

David Rüdiger

Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Treibhausgas-Emissionen des Betriebs von Logistikimmobilien



Fraunhofer-Institut für
für Materialfluss und Logistik IML

Logistik, Verkehr und Umwelt

Hrsg.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Treibhausgas-Emissionen des Betriebs von Logistikimmobilien

David Rüdiger

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für
Materialfluss und Logistik IML
Fraunhofer-Straße 2-4
44227 Dortmund
Telefon 0231 / 97 43-0
Telefax 0711 970-42 00
E-Mail info@iml.fraunhofer.de
URL www.iml.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8396-1422-8

D 61

Zugl.: Dortmund, TU, Diss., 2018

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2019

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-25 00
Telefax 0711 970-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

**Entwicklung einer Methode
zur Bewertung der Treibhausgas-Emissionen
des Betriebs von Logistikimmobilien**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Dr.-Ing.

von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
genehmigte Dissertation

Dipl.-Logist. David Rüdiger

aus

Dortmund

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juli 2018

1. Gutachter: Prof. Dr. Uwe Clausen

2. Gutachterin: Prof. Dr. Heike Flämig

Dortmund, 2018

Vorwort des Herausgebers

Die Veröffentlichungen in der Reihe „Logistik, Verkehr und Umwelt“ befassen sich mit zukunftsweisenden Themen unserer Gesellschaft. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IML und des Instituts für Transportlogistik (ITL) der Technischen Universität Dortmund entwickeln neue Methoden und Vorgehensweisen zur nachhaltigen Verbesserung von Strukturen und Prozessen für Mobilität und Logistik. Der Themenhorizont der Arbeiten erstreckt sich von der Betrachtung logistischer Aufgaben, dem Verkehrswesen und der Wirkung damit einhergehender Prozesse auf unsere Umwelt.

Zur Eindämmung des Klimawandels müssen Industriestaaten den jährlichen Ausstoß an Treibhausgasen drastisch reduzieren. Andernfalls werden die Klimafolgen ein erträgliches Maß überschreiten. Damit ist ein Strukturwandel in vielen Wirtschaftssektoren und Lebensbereichen verbunden, mit dem sich Unternehmen schon heute auseinander setzen sollten. Es ist eine zentrale Anforderung an die Logistik der Zukunft, möglichst keine Emissionen zu verursachen. Dabei sollten in der Betrachtung und Bilanzierung von Emissionen auch die logistischen Knoten berücksichtigt werden. Hier bietet sich die Chance, durch den Einsatz von klimafreundlichen Energieträgern, durch die Vermeidung von Abfällen und durch effiziente Intralogistikprozesse einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Herr Dr.-Ing. David Rüdiger befasst sich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IML mit Klimaschutzmaßnahmen für den Verkehrssektor. Mit dieser Arbeit zeigt er in einer praxisorientierten Weise auf, welche Aspekte bei der Bilanzierung von Treibhausgasen des Betriebs von Logistikimmobilien zu beachten sind. Der prozessualen und bautechnischen Vielschichtigkeit stellt er ein einfaches Klassifizierungs- und Bewertungsschema für Logistikimmobilien entgegen. Betreiber und Eigentümer von Logistikimmobilien werden mit der entwickelten Methode erstmals in die Lage versetzt, eine standardisierte Kommunikation im eigenen Unternehmen und mit Kunden zu CO₂-Emissionen der Lagerhaltung und des Warenumschlags durchzuführen.



Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Institutsleiter, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)

Institutsleiter, Institut für Transportlogistik der Technischen Universität Dortmund

Kurzfassung

Klimaschädigende Emissionen von Logistikimmobilien stehen im Fokus dieser wissenschaftlichen Untersuchung. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Dissertation fehlt es an einer standardisierten Bewertungsmethode für Treibhausgase (THG), die durch den Betrieb von Logistikimmobilien hervorgerufen werden. Diesbezüglich wird ein Vorschlag für eine Bewertungsmethode erarbeitet, welche den Anforderungen internationaler Standards der ökologischen Bewertung entspricht (z. B. Treibhausgas-Protokoll, DIN ISO 14064-1) und praktische Anforderungen der potenziellen Anwender berücksichtigt (z. B. Datenlage, Aufwand-Nutzen-Verhältnis). Die Methode richtet sich an Eigentümer und Betreiber von Logistikimmobilien.

Rund 9 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland werden durch die Logistikbranche hervorgerufen. Logistikimmobilien, die integraler Bestandteil logistischer Versorgungsnetzwerke sind, haben sektorspezifisch einen Anteil von ebenfalls rund 9 Prozent. Hieraus ergibt sich die Relevanz des Themas. Nahezu jede zehnte THG-Emission in Logistikketten entsteht durch den Betrieb von Logistikimmobilien. Eine Fokussierung allein auf den Transport, wie es u. a. die DIN EN 16258 erfordert, führt also zu einer signifikanten Unterschätzung der THG-Gesamtemissionen in der Logistikkette. Diese sind, gemäß politischen Strategien und Vereinbarungen, in den nächsten Jahren in erheblichem Maße zu reduzieren (z. B. Pariser Klimaabkommen, Klima- und Energiepaket der EU, europäische und nationale Klimaschutzziele).

Grundsätzlich ist die Leistungserbringung an Logistikimmobilien durch Prozesse des Umschlags, des Lagerns, des Kommissionierens und des Verpackens von Gütern definiert. Im Kontext konkreter Materialfluss-, Temperatur- und Verpackungsanforderungen wird in dieser Arbeit ein Klassifizierungsschema für Logistikimmobilien entwickelt, das Bezug auf diese Kriterien nimmt und hierüber die logistische Leistungserbringung spezifiziert.

Unter Beachtung der Anforderungen an die Ermittlung von Ökoeffizienzindikatoren nach DIN ISO 14045 werden die THG-Emissionen der Betriebsphase von Logistikimmobilien einzelnen Dienstleistungen zugeordnet. Es entsteht ein eigenes, neues Kennzahlensystem, mit dem Unternehmen zukünftig Dienstleistungen von Logistikimmobilien hinsichtlich der Klimawirkung beschreiben, analysieren und vermarkten können. Dabei sind die Kennzahlen auch mit den Anforderungen von Umweltmanagementsystemen und der Nachhaltigkeitsberichterstattung nach GRI kompatibel, wie nachgewiesen wird.

Prozessbezogene Anforderungen an die Datenerhebung und -verknüpfung zur THG-Bilanzierung werden durch diese Ausarbeitung für Logistikimmobilien erstmals spezifiziert. Im Ergebnis liegt ein umfassendes Regelwerk vor, das potenziellen Anwendern der Methode eine problemorientierte und praxisnahe Anleitung zur THG-Bilanzierung der Betriebsphase von Logistikimmobilien gibt und die Grundlage für einheitlich berechnete Ergebnisse bildet.

Die Qualität der ökologischen Bewertung kann mit Kennzahlen zur statistischen Unsicherheit beschrieben werden. Hierzu wird das IPCC-Verfahren zur Quantifizierung der statistischen Unsicherheit (basierend auf der Pedigree-Matrix) im Kontext von Logistikimmobilien konkretisiert, um kenntlich zu machen, in welchem Konfidenzintervall THG-Bilanzergebnisse

liegen. Insbesondere bei knappen Entscheidungslagen ist dies für die Gegenüberstellung von Ergebnissen unterschiedlicher Unternehmen relevant.

Mit der vorliegenden Ausarbeitung wird ein notwendiger Entwicklungsschritt getätigt, die Vollständigkeit, Genauigkeit und Aussagekraft der Emissionsberichterstattung in der Logistikbranche zu erhöhen. Die Umsetzbarkeit und der praktische Nutzen werden anhand von anonymisierten Praxisbeispielen veranschaulicht. Übergeordnet wird dies als wichtiger Schritt eingestuft, den Stellenwert des Themas Klimaschutz in der Logistik zu stärken.

Abstract

Development of an assessment method for greenhouse gases caused by operations at logistics facilities

Greenhouse gases (GHG) of logistics facilities define the research focus of this scientific work. Currently there is no international standard for the calculation of GHG emissions that are caused by operations at logistics facilities and a large number of methodological questions remain unanswered. This is why general requirements of international standards for the ecological assessment (i.e. GHG protocol, ISO 14064-1) are presented in this work and put in concrete terms for logistics facilities. This method is dedicated to general managers and owners of logistics facilities. In developing a comprehensive method, practical considerations on data availability and cost-benefit ratios are reflected. Finally, this results in a proposal for a user-friendly but still precise assessment method for the international process of further standardization.

The logistics sector demands for approximately nine percent of the final energy consumption in Germany. In general, logistics facilities are an integral part of logistics and supply networks. But in terms of GHG emissions of supply chains the importance of logistics facilities is very often underestimated. The figures presented in this work indicate that almost every tenth GHG emission within an average transport chain in Germany is caused by logistics nodes. According to international climate goals and action programmes (e.g. Paris climate agreement) all sectors have to contribute and follow agendas of organizational and technological change. For the logistics sector this means to reduce the GHG emissions caused by transport and by operations at logistics facilities.

In this work a set of categories has been derived to describe the operations at logistics facilities. The categories refer to characteristics and technical requirements of physical material flow, temperature and packaging. In having this, it is possible to distinguish basic types of logistics facilities. The understanding of basic types of logistics facilities is crucial for the appropriate comparison of eco-efficiency indicators (in accordance to ISO 14045). It is a general assumption and part of the underlying motivation: In future sourcing and procurement decisions for logistics services will not only take into account financial and performance aspects. Decisions will be based in part on ecological aspects. The developed method can be understood as a specification of requirements of sustainability reporting or environmental management systems.

Furthermore, process-specific rules for the data collection and calculation formulas are presented on the basis of international standards. In order to give practical guidance to future users, typical problems and suitable solutions are described. This leads to a full set of rules, which helps users to derive comparable calculation results. In this context, it is important to deal with result uncertainty. It is part of the thesis and the method described to use the IPCC procedure for uncertainty assessment (based on the Pedigree-Matrix). Finally, a system of eco-efficiency indicators is presented that distinguishes the purpose of use. On the one hand indicators can be used for the communication with external parties (e.g. customers, shareholders, NGOs). On the other hand indicators can be used to define a structured process for organizational improvement.

All in all, the thesis emphasizes the importance of increasing completeness, accuracy and possibilities of interpretation of today's carbon accounting frameworks in the logistics sector. The industrial examples presented in this work illustrate practicability and benefits of the holistic assessment of GHG of logistics facilities. This might help to foster climate protection as a business target for logistics companies.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Formelverzeichnis	XI
Symbolverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	I
1.1 Problemstellung.....	I
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Grundlagen und Stand der Wissenschaft	6
2.1 Begriffsbestimmung Logistikimmobilie.....	6
2.2 Relevanz von Logistikimmobilien für den Klimaschutz.....	II
2.2.1 Klimawandel und klimapolitischer Handlungsrahmen.....	II
2.2.2 Energieverbrauch der Logistik und Entwicklungen.....	19
2.3 Bewertungsmethoden für Treibhausgas-Emissionen.....	26
2.3.1 Grundprinzipien der ökologischen Bewertung.....	26
2.3.2 Normen und Standards der ökologischen Bewertung.....	27
2.3.3 Parameterbedingte Unsicherheit der ökologischen Bewertung.....	34
2.3.4 Struktur und Datenbedarf der Bewertung von Treibhausgas-Emissionen.....	37
2.3.5 Initiativen und Projekte zur Weiterentwicklung bestehender Methoden.....	47
2.4 Emissionskennzahlen im Kontext betrieblicher Entscheidungen.....	50
2.4.1 Betriebliche Kennzahlen.....	50
2.4.2 Ökoeffizienzbewertung nach DIN ISO 14045.....	56
2.4.3 Umweltmanagementsysteme DIN ISO 14001 und EMAS.....	57
2.4.4 Nachhaltigkeitsberichterstattung nach GRI.....	59
2.5 Abgrenzung und Handlungsbedarf.....	61
3 Systemanalytische Betrachtung von Logistikimmobilien	62
3.1 Funktionalität.....	62
3.2 Prozesse und Leistungserbringung.....	67
3.3 Bauliche und technische Merkmale.....	73
3.4 Energieverbrauch.....	81
3.5 Materialbedarf und Abfallaufkommen.....	85
4 Entwicklung einer ökologischen Bewertungsmethode	92
4.1 Übersicht Vorgehensmodell.....	92
4.2 Strukturkennzahlen und Klimafaktoren.....	93

4.3	Klassifizierung der Logistikimmobilie	94
4.4	Bilanzgrenzen und relevante Prozesse	100
4.5	THG-Bilanzierung der Betriebsphase	103
4.5.1	Allgemeine Anforderungen	103
4.5.2	Messgrößen und spezifische Anforderungen	105
4.6	Quantifizierung der Bewertungsunsicherheit mit der Pedigree-Matrix	114
4.7	Deklaration der Ergebnisse	118
4.8	Allokation und Kennzahlenbildung.....	120
4.8.1	Bezugsgrößen	121
4.8.2	THG-Gesamteffizienz der Logistikimmobilie	124
4.8.3	Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen.....	126
4.9	Empfehlungen zur Kennzahlenverwendung.....	135
5	Prüfung der Umsetzbarkeit und Einsatzeignung	137
5.1	Prüfkriterien	137
5.2	Emissionsfaktoren	137
5.3	Anwendungsbeispiel 1.....	138
5.4	Anwendungsbeispiel 2	143
5.5	Erkenntnisgewinn.....	149
6	Zusammenfassung und Ausblick	152
6.1	Zusammenfassung	152
6.2	Kritische Würdigung	153
6.3	Ausblick	155
	Literaturverzeichnis	158
	Anhang.....	170

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau der wissenschaftlichen Arbeit.....	5
Abbildung 2:	Logistikregionen in Deutschland.....	10
Abbildung 3:	Entwicklung des Ausstoßes von Treibhausgasen 1850–2010 und Einfluss auf die mittlere Erdtemperatur.....	12
Abbildung 4:	EU-27-Klimaziele einzelner Staaten auf Basis der Effort Sharing Decision (ESD).....	15
Abbildung 5:	Reduktionsziele für Quellgruppen in Deutschland im Zeitraum 2012–2020.....	17
Abbildung 6:	Wirkungsarten und -kategorien der ökologischen Bewertung im Überblick.....	28
Abbildung 7:	Bilanzierung energiebedingter Emissionen gemäß THG-Protokoll.....	32
Abbildung 8:	Verteilungsfunktion $F(x)$ und Wahrscheinlichkeitsfunktion $f(x)$ der Log-Normalfunktion.....	36
Abbildung 9:	Vorgehensmodell für strombedingte Emissionen nach THG-Protokoll-Scope-2.....	42
Abbildung 10:	St. Galler Management-Modell im Überblick.....	52
Abbildung 11:	Kennzahlensystem nach VDI 4400 am Beispiel der Beschaffung.....	54
Abbildung 12:	Gegenüberstellung der Standardabläufe Lagerung und Umschlag.....	68
Abbildung 13:	Funktionsbereiche eines Containerterminals.....	69
Abbildung 14:	Schema eines Cross-Docking-Terminals.....	70
Abbildung 15:	Varianten für Prozessabläufe der Packstückbildung und Ladeeinheitenbildung.....	72
Abbildung 16:	Bauliche und funktionale Planungselemente von Logistikimmobilien im Überblick.....	73
Abbildung 17:	Grundtypen der Lagerimmobilie nach bautechnischen Aspekten.....	74
Abbildung 18:	Planungselemente für den energieeffizienten Betrieb von Logistikzentren.....	75
Abbildung 19:	Relevanz der Prozesstechnik für den CO ₂ e-Ausstoß von Logistikimmobilien bei steigendem Automatisierungsgrad der förder-technischen Anlagen.....	75
Abbildung 20:	Struktur des EnEV-Energieausweises für Nichtwohngebäude.....	76
Abbildung 21:	Paletten-Tauschverfahren im Überblick.....	86
Abbildung 22:	Arten der Ladeeinheitensicherung.....	87
Abbildung 23:	Klassifizierung von Abfällen nach Herkunftspfaden.....	89
Abbildung 24:	Vorgehensmodell zur THG-Bilanzierung des Betriebs von Logistikimmobilien.....	92
Abbildung 25:	Klimafaktor Heizztage am Beispiel der Region Düsseldorf (2010–2016).....	93
Abbildung 26:	Klimafaktor Sonnenstunden am Beispiel Deutschland (2010–2016).....	94
Abbildung 27:	Standarddienstleistungen an Logistikimmobilien (idealisiert).....	95
Abbildung 28:	Beispielhafte Anwendung des Klassifizierungsschemas auf eine Logistikimmobilie ..	100
Abbildung 29:	Einordnung von Logistikimmobilien in den übergeordneten Wertschöpfungspfad.....	101
Abbildung 30:	Festlegung zum Bilanzraum der logistischen Leistungserbringung an Logistikimmobilien für die weitere Methodenentwicklung.....	102
Abbildung 31:	Problemlagen bei der korrekten Abgrenzung relevanter Transportaktivitäten.....	107
Abbildung 32:	Struktur des entwickelten Allokationsschemas.....	127
Abbildung 33:	Anwendung des Allokationsschemas zur Bildung von THG-Kennzahlen für Dienstleistungen.....	130

VIII

Abbildung 34: Vereinfachte Abschätzung zur Inanspruchnahme prozesstechnischer Elemente.....	131
Abbildung 35: Allokation der THG-Emissionen der Subkategorien „Prozesskälte“ und „Prozesswärme“	133
Abbildung 36: Beispiel 2: Entwicklung der mittleren Außentemperatur und Anzahl Heiztage am Standort	181

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Relevanz anthropogener Klimagase für den Treibhauseffekt 1990 und 2010.....	14
Tabelle 2:	THG-Emissionen in Deutschland nach Quellgruppen im Jahr 2015	18
Tabelle 3:	Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in Deutschland 2013.....	20
Tabelle 4:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors in Deutschland (2007– 2013).....	21
Tabelle 5:	Aufteilung des Energieverbrauchs des GHD-Sektors auf Untergruppen/ Splits.....	23
Tabelle 6:	Aufteilung des Primärenergiebedarfs im Jahr 2010 nach Verkehrsarten	24
Tabelle 7:	Aufteilung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors in Deutschland 2013 (inkl. Standorte).....	25
Tabelle 8:	IPCC-Charakterisierungsfaktoren für das Treibhauspotenzial in 100 Jahren	29
Tabelle 9:	Auszuschließende Prozesse einer Bilanz nach DIN EN 16258	34
Tabelle 10:	Argumente der Standard-Normalverteilung und der Log-Normalverteilung	36
Tabelle 11:	CO ₂ e-Emissionsfaktoren für ausgewählte Kraftstoffe nach DIN EN 16258	39
Tabelle 12:	CO ₂ e-Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Strom durch deutsche Kraftwerke (Sekundärenergie) und den Bezug von Strom durch Endverbraucher ohne Brennstoffvorkette	43
Tabelle 13:	Übersicht zu Datenbanken und Softwarelösungen der ökologischen Bewertung (Auswahl).....	47
Tabelle 14:	Leistungskennzahlen nach VDI 4490 am Beispiel des Versands.....	56
Tabelle 15:	Relevanz energetischer Anwendungen an Logistikimmobilien im Jahr 2013	83
Tabelle 16:	Klassifizierung der Verbrauchspositionen der Prozess- und Gebäudetechnik.....	84
Tabelle 17:	Marktanteile verschiedener Packstoffe für Transportverpackungen in den Jahren 2003, 2008 und 2013	89
Tabelle 18:	Verwertungsquoten für Verpackungsabfallfraktionen in Deutschland 2013	90
Tabelle 19:	Klassifizierung der Verbrauchspositionen der Material- und Abfallmengen	91
Tabelle 20:	Erweiterte Klassifizierung von Dienstleistungen an Logistikimmobilien nach Produktmerkmalen	98
Tabelle 21:	Klassifizierungsschema für Logistikimmobilien nach relevanten Standarddienstleistungen	99
Tabelle 22:	Pedigree-Varianzwerte zur halbquantitativen Beschreibung der Bewertungsunsicherheit	115
Tabelle 23:	Pedigree-Unsicherheitswerte zur halbquantitativen Beschreibung der Bewertungsunsicherheit	115
Tabelle 24:	Deklarationsschema für THG-Emissionen von Prozessen an Logistikimmobilien	119
Tabelle 25:	Hauptkategorien zur Deklaration der THG-Emissionen von Logistikimmobilien	120
Tabelle 26:	Angaben zur Relevanz von Versandeinheiten im Kontext der THG- Gesamteffizienzbewertung.....	125
Tabelle 27:	Subkategorien zur verursachungsgerechten Zuordnung von THG-Emissionen auf Dienstleistungen.....	128
Tabelle 28:	Datenerhebung und -aufbereitung zur Anwendung der Allokationsregeln	129

Tabelle 29:	Auswahl an THG-Emissionsfaktoren für eine pauschalierte Emissionsbewertung.....	138
Tabelle 30:	Beispiel 1: Strukturkennzahlen der Logistikimmobilie	139
Tabelle 31:	Beispiel 1: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 1).....	141
Tabelle 32:	Beispiel 1: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 2).....	141
Tabelle 33:	Beispiel 1: Gegenüberstellung der Effizienz-kennzahlen für zwei Bilanzjahre.....	142
Tabelle 34:	Beispiel 2: Strukturkennzahlen der Logistikimmobilie.....	144
Tabelle 35:	Beispiel 2: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 1).....	146
Tabelle 36:	Beispiel 2: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 2)	146
Tabelle 37:	Beispiel 2: Teilergebnisse der Allokationsschritte für Dienstleistungen (Jahr 1).....	147
Tabelle 38:	Beispiel 2: Teilergebnisse der Allokationsschritte für Dienstleistungen (Jahr 2)	147
Tabelle 39:	Beispiel 2: Gegenüberstellung der Effizienz-kennzahlen für zwei Bilanzjahre.....	148
Tabelle 40:	Erkenntnisse zur Umsetzbarkeit und Einsatz-eignung aus Beispiel 1.....	149
Tabelle 41:	Erkenntnisse zur Umsetzbarkeit und Einsatz-eignung aus Beispiel 2	150
Tabelle 42:	Strukturkennzahlen für Logistikimmobilien	170
Tabelle 43:	Spezifizierung der Güteklassen der Pedigree-Matrix.....	171
Tabelle 44:	Bilanzraumeingrenzung für Logistikimmobilien gemäß DIN ISO/TR 14069.....	172
Tabelle 45:	Zuordnung von Emissionsquellen zu Hauptberichts-kategorien	174
Tabelle 46:	Beispiel 1: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 1).....	176
Tabelle 47:	Beispiel 1: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 2)	177
Tabelle 48:	Beispiel 2: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 1)	178
Tabelle 49:	Beispiel 2: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 2).....	179
Tabelle 50:	Pedigree-Basiswerte.....	180
Tabelle 51:	Qualitätsbewertung für die Emissionsfaktoren der Tabelle 29 (eigene Einschätzung).	180
Tabelle 52:	Qualitätsbewertung für die Verbrauchswerte der Beispiele (eigene Einschätzung).....	181

Formelverzeichnis

Formel 1:	Berechnung der CO ₂ -Äquivalentemissionen mittels Charakterisierungsfaktoren.....	29
Formel 2:	Basisstruktur der CO ₂ e-Emissionsberechnung.....	37
Formel 3:	Mittlere Umschlagleistung (Durchsatz).....	79
Formel 4:	THG-Gesamtemissionen einer Logistikimmobilie.....	105
Formel 5:	THG-Emissionen einer Berichtsposition.....	105
Formel 6:	Gesamtunsicherheit der Emissionsberechnung nach dem Pedigree-Ansatz.....	116
Formel 7:	IPCC-Regeln für die näherungsweise Bestimmung der Fehlerfortpflanzung.....	117
Formel 8:	THG-Gesamteffizienz der Logistikimmobilie.....	124
Formel 9:	Gewichtungsfaktoren zur Differenzierung unterschiedlicher Prozessabläufe und prozesstechnischer Komponenten.....	132
Formel 10:	Verteilung der THG-Emissionen der Kategorien „Gebäude/ Hof“ und „Logistikprozesse“.....	133
Formel 11:	Gewichtungsfaktoren zur Differenzierung der Prozesskälte.....	133
Formel 12:	Gewichtungsfaktoren zur Differenzierung der Prozesswärme.....	134
Formel 13:	Verteilung der THG-Emissionen der Subkategorien „Prozesskälte“ und „Prozesswärme“.....	134
Formel 14:	Verteilung der THG-Emissionen der Subkategorien „Standardverpackungen“ und „Sonderverpackungen“.....	135
Formel 15:	Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen für Logistikimmobilien (Auswahl).....	135
Formel 16:	Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen für Logistikimmobilien.....	175

Symbolverzeichnis

- Formel 1: a = Menge an berechneten CO₂e-Emissionen, b = Menge an CO₂-Emissionen, c = Menge an CH₄-Emissionen, d = Menge an N₂O-Emissionen
- Formel 2: -
- Formel 3: LE = Ladeeinheiten, ZE = Zeiteinheiten
- Formel 4: i = Berichtsposition
- Formel 5: q = Emissionsquelle, n = Anzahl Emissionsquellen, t = Art des Treibhausgases, m = Anzahl Treibhausgastypen
- Formel 6: σ^2 = Varianz
- Formel 7: U = Unsicherheit, q = Element/ Emissionsquelle, n = Anzahl Elemente, x = prozentuale Relevanz eines Elements
- Formel 8: e = THG-Effizienz
- Formel 9: α = Gewichtungsfaktoren für Logistikprozesse, $n_{A/B/C/D}$ = Variable zur Erfassung der Häufigkeit der Inanspruchnahme, TS = Teilsumme, VM = Versandmenge
- Formel 10: e = THG-Effizienz, A/B/C/D = Dienstleistungsbereich, TS = Teilsumme, VM = Versandmenge
- Formel 11: β = Gewichtungsfaktoren Prozesskälte
- Formel 12: γ = Gewichtungsfaktoren Prozesswärme
- Formel 13: e = THG-Effizienz, $1/2/4$ = Temperaturmerkmal der Dienstleistung, β = Gewichtungsfaktoren Prozesskälte, γ = Gewichtungsfaktoren Prozesswärme, TS = Teilsumme, VM = Versandmenge
- Formel 14: e = THG-Effizienz, a/b = Verpackungsmerkmale der Dienstleistung, TS = Teilsumme, VM = Versandmenge
- Formel 15: e = THG-Effizienz, VM = Versandmenge
- Formel 16: e = THG-Effizienz, VM = Versandmenge

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AKL	Automatisches Kleinteilelager
AV	Allgemeine Verpackungen
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
B2B	Business-to-Business
CCF	Corporate Carbon Footprint
CDM	Clean Development Mechanism
CRF	Common Reporting Framework
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DL	Dienstleistung
DLSV	Deutscher Speditions- und Logistikverband
EBA	Energiebedarfsausweis
EDL-G	Energiedienstleistungsgesetz
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFA	Emissionsfaktor
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EnEV	Energieeinsparverordnung
ESD	Effort Sharing Decision
ETS	Emission Trading Scheme
EVA	Energieverbrauchsausweis
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FFZ	Flurförderzeug
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GLEC	Global Logistics Emissions Council
GLT	Großladungsträger
GRI	Global Reporting Initiative
HRL	Hochregallager
ILUC	Indirect Land Use Change
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWA	International Workshop Agreement
KLT	Kleinladungsträger
kmU	kleine und mittlere Unternehmen

KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KV	Kombinierter Verkehr
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life Cycle Assessment
NGO	Non-governmental organizations
NIR	National Inventory Report
NST	Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport
PCF	Product Carbon Footprint
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PE	Polyethylen
PK	Prozesskälte
PP	Polypropylen
PT	Prozesstechnik
PW	Prozesswärme
RBG	Regalbediengerät
SV	Sonderverpackungen
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgas
TS	Teilsomme
TTW	Tank-to-Wheel
TUL	Transport, Umschlag und Lagerung
ULD	Unit Load Device
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VAS	Value-Added Services
VE	Versandeinheit
WA	Warenausgang
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WE	Wareneingang
WRI	World Resources Institute
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wheel
WZ	Wirtschaftszweige
zGG	zulässiges Gesamtgewicht

I Einleitung

Die Konzentrationen von Treibhausgasen, wie z. B. Kohlenstoffdioxid, Methan oder Distickstoffmonoxid, in der Atmosphäre haben seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert deutlich zugenommen. Klimaforscher führen dies auf die moderne, energieintensive Arbeits- und Lebensweise des Menschen zurück (u. a. bedingt durch die Verbrennung fossiler Energieträger). Durch den Anstieg wird der natürliche Treibhauseffekt der Erde aus dem Gleichgewicht gebracht, da zu viel Wärme in der Atmosphäre gespeichert wird. Eine globale Erderwärmung ist feststellbar.¹

Mit dem Pariser Klimaabkommen, das am 4. November 2016 in Kraft getreten ist, hat die internationale Staatengemeinschaft erstmals völkerrechtlich verbindlich beschlossen, durch einen gemeinsamen Aktionsplan, der im Kern eine Abkehr von fossilen Energieträgern vorsieht, die globale Erderwärmung auf ein Niveau von maximal + 2 °C bis zum Jahr 2100 zu begrenzen (Vergleichszeitraum: vorindustrielles Zeitalter). Darüber hinaus wurde für denselben Zeitraum ein nicht verbindliches Ziel von + 1,5 °C globaler Erderwärmung definiert, an dem sich Planungen und Strategien ausrichten sollen.² Bei einem aktuellen Zwischenstand von ca. + 1,1 °C (Bezugsgröße: globale Mitteltemperatur in Bodennähe, 2016) stehen damit rechnerisch nur noch + 0,9 bzw. + 0,4 °C zur Verfügung.³

Der wesentliche Stellhebel zur Begrenzung der globalen Erderwärmung liegt gemäß den Klimaforschern des IPCC⁴ in der Reduktion des Ausstoßes anthropogener, d. h. durch den Menschen hervorgerufener Treibhausgase. Politiker, Wissenschaftler und Unternehmen suchen daher in verschiedenen Bereichen nach emissionsarmen Technologien und streben eine Verbreitung dieser an.

In den vergangenen Jahren ist, gemäß dem aktuellen Klimaschutzplan des Bundesumweltministeriums, die relative Bedeutung des Verkehrs- und Logistiksektors für die Treibhausgasbilanz Deutschlands gestiegen, während die Relevanz anderer Sektoren (z. B. Produktion, Haushalte) zurückging.⁵ Die Fortschritte, die in anderen Sektoren erzielt werden konnten, waren also vergleichsweise größer. Nach Einschätzung des Autors sollte es daher im eigenen Interesse der Logistikbranche sein, weitere Klimaschutzmaßnahmen zu definieren und umzusetzen (u. a. unter Einbeziehung von Logistikimmobilien), um radikaleren Maßnahmen, wie z. B. Sanktionen oder Verboten, vorzubeugen.

I.1 Problemstellung

Verschiedene technische Anlagen und Gebäude zum Zwecke der Lagerung und des Umschlags bilden das Rückgrat zuverlässiger und leistungsstarker Logistiksysteme. Im Kontext der Entstehung von Treibhausgasen (THG) in der Logistikbranche ist die Relevanz des Betriebs von Logistikimmobilien noch wenig erforscht. Es liegen bislang nur Einzelergebnisse vor, die auf

¹ IPCC 2015, S. 4

² UBA 2017a

³ WMO 2017, S. 5

⁴ IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change

⁵ BMUB 2016

eine Signifikanz hindeuten. Zum Beispiel wurde für das DHL-Paketnetz in Deutschland ein THG-Emissionsanteil von ca. 30 % für Umschlagprozesse berechnet. Entsprechend entfallen ca. 70 % auf Transportprozesse.⁶ Nicht berücksichtigt wurden in diesem Fall die THG-Emissionen, die durch internationale Luft- und Seetransporte hervorgerufen werden. Dies verdeutlicht, dass die Frage der Relevanz grundsätzlich auch mit der Frage der Bilanzraumdefinition verbunden ist (im Sinne betrachteter Emissionsquellen).

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit liegen keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor, die eine volkswirtschaftliche Einordnung des Betriebs von Logistikimmobilien für die nationale Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) vorgenommen haben. Es wird davon ausgegangen, dass Unternehmen die Bedeutung der Logistikstandorte für die THG-Bilanzierung von Logistikketten und -netzwerken unterschätzen und möglicherweise Klimaschutzmaßnahmen aufgrund dieses Defizits nicht umgesetzt werden.

Grundsätzlich kommen bei der Erstellung von THG-Bilanzen für Unternehmen oder Produkte verschiedene internationale Standards und Regelwerke zur Anwendung. Dabei ist es üblich, dass diese mit fortschreitendem Erkenntnisgewinn angepasst und verbessert werden. Das Kyoto-Protokoll von 1997⁷ kann als erster großer Meilenstein der heutigen Klimaschutzpolitik verstanden werden. Darüber hinaus gab es Anstoß zu vielen methodischen Entwicklungen und Spezifizierungen für die Bilanzierung von Treibhausgasen, die heute noch von Bedeutung sind. So gründeten das World Resources Institute (WRI) und das World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) auf Basis des Kyoto-Protokolls 2001 die internationale „Greenhouse Gas Protocol Initiative“ mit dem Ziel, einheitliche Regeln für die unternehmerische Bilanzierung von THG-Emissionen festzulegen.⁸ Auf dieser Basis wurden im Verlauf der folgenden Jahre weitere Regelwerke mit spezifischem Fokus auf einzelne Branchen oder Verkehrsmittel entwickelt. Eine nähergehende Betrachtung der Umschlag- und Lagerprozesse hinsichtlich der Entstehung von THG-Emissionen fehlt jedoch bislang.

Für die Logistikbranche in Europa ist zudem die im Jahr 2013 veröffentlichte Norm DIN EN 16258 mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)“⁹ wesentlich für die THG-Bilanzierung von Logistikketten. Diese Norm beinhaltet ein komplexes Regelwerk zur Berechnung von THG-Emissionen und zur Ableitung von Emissionskennzahlen. Gemäß der Norm sind Standortprozesse, wie z. B. der Umschlag und die Lagerung von Waren, explizit von den Berechnungen auszuschließen.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung fehlt es an einer standardisierten Bewertungsmethode für THG-Emissionen, die durch den Betrieb von Logistikimmobilien hervorgerufen werden. Es ist gegenwärtig unklar, welche Regeln angewendet und welche Kennzahlen gebildet werden sollten. Die Entwicklung einer standardisierten Methode ist aber wichtig, um erstens die Vollständigkeit, Genauigkeit und Aussagekraft der allgemeinen THG-Bilanzierung von logistischen Versorgungsketten zu erhöhen und zweitens die Verbreitung von Klimaschutzkonzepten in der Logistikbranche zu

⁶ Dobers et al. 2014, S. 8

⁷ UNFCCC 1997

⁸ WRI und WBCSD 2004

⁹ DIN EN 16258

fördern. Hierfür bedarf es u. a. Kennzahlen, mit denen sich ein positives unternehmerisches Engagement in einheitlicher Form gegenüber Kunden vermitteln lässt.

1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit hat das Ziel, eine Bewertungsmethode für THG-Emissionen zu entwickeln, die durch den Betrieb von Logistikimmobilien hervorgerufen werden. Es geht es also um direkte und indirekte THG-Emissionen, die mit dem Einsatz von Betriebsstoffen zur Verwirklichung von Umschlag- und Lagerprozessen verbunden sind. Zudem hat die Arbeit das Ziel, ein kompatibles Kennzahlensystem zu erarbeiten, das zu einer möglichst differenzierten und verursachungsgerechten Kommunikation gegenüber Kunden der logistischen Dienstleistung beiträgt. Die Methode richtet sich an Manager und Betreiber von Logistikimmobilien als zukünftige Anwender.

Im Speziellen sollen folgende Forschungsfragen bearbeitet werden:

1. Nach welchen Regeln sollte entsprechend geltenden internationalen Normen und Standards eine THG-Bilanzierung für den Betrieb einer Logistikimmobilie erfolgen?
2. Wie sollten die THG-Emissionen der Logistikimmobilie auf einzelne Dienstleistungen aufgeschlüsselt werden, um eine differenzierte und verursachungsgerechte Kommunikation gegenüber Kunden zu ermöglichen?
3. Was sind geeignete Bezugsgrößen für Effizienzkennzahlen hinsichtlich des Ausstoßes von THG-Emissionen?
4. Welche Aspekte sind bei der Gegenüberstellung und Interpretation von Kennzahlen zu berücksichtigen, um aussagekräftige Rückschlüsse für unternehmerische Entscheidungsprozesse zu gewinnen?

Grundsätzlich muss die Methodenentwicklung unterschiedlichen Anforderungen (wie z. B. Vorgaben internationaler Standards, Datenverfügbarkeit) gerecht werden, um perspektivisch eine Akzeptanz bei Unternehmen (Anwendern) und Standardisierungsorganisationen (Multiplikatoren) erhalten zu können. Die Auseinandersetzung mit Anforderungen dieser Gruppen wird daher ein zentrales Element dieser Arbeit sein.

In dieser Arbeit soll eine Methode entwickelt werden, die sich sowohl auf kleine als auch auf große Logistikstandorte anwenden lässt. Es soll keinerlei Begrenzung hinsichtlich der Funktionalität des Standorts vorgenommen werden, so dass die Methode für Umschlagterminals des kombinierten Verkehrs genauso anwendbar sein wird wie für klassische Lagerhallen. Der geografische Bezugsraum der Methodenentwicklung ist Deutschland. Eine Umsetzbarkeit außerhalb Deutschlands ist nach Einschätzung des Autors möglich. In dieser Arbeit folgt aber kein Nachweis darüber.

Kein Bestandteil dieser Arbeit ist das Thema Planen und Bauen von Immobilien unter nachhaltigen Gesichtspunkten, wie es z. B. die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)¹⁰ zum Ziel hat. Dies würde über die Zielstellungen der Arbeit hinausgehen. Das DGNB-

¹⁰ DGNB 2017

Gütesiegel für nachhaltige Immobilien bewertet u. a. die Verwendung umweltfreundlicher Baustoffe und die Realisierung moderner Baustandards. Die tatsächliche Nutzungsphase stellt aber keinen Bewertungsgegenstand dar. Im Unterschied dazu bezieht sich diese Methode ausschließlich auf die tatsächliche Nutzungsphase und nicht auf die Planungs-, Bau- und Rückbauphasen. Diese Methode kann für Unternehmen ein passender Baustein zur Ergänzung und Fortsetzung der DGNB-Aktivitäten darstellen.

Übergeordnet ist bei der Verfahrensentwicklung darauf zu achten, dass eine angemessene Umsetzung bei Industrieunternehmen ermöglicht wird. Denn nur wenn ein Verfahren letztendlich „gelebt“ wird, d. h. zum Industrie- und Branchenstandard wird, kann von einer realen, messbaren Verbesserung ausgegangen werden. Ein Teilziel dieser Arbeit ist es daher, mittels Praxisbeispiele die grundlegende Umsetzbarkeit und Einsetzbarkeit aufzuzeigen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Ausarbeitung verfolgt ein pragmatisches Wissenschaftsziel und ist dem Bereich der angewandten Wissenschaften zuzuordnen. Übergeordnet wird ein Ansatz verfolgt, bei dem zunächst die relevanten Grundlagen beschrieben und eine terminologische Basis geschaffen werden. Darauf aufbauend erfolgt eine systemanalytische Beschreibung zum Untersuchungsgegenstand. Diese bildet die Grundlage für die eigentliche Methodenentwicklung. Abschließend wird die entwickelte Methode anhand von zwei Praxisbeispielen überprüft. Der Aufbau der wissenschaftlichen Arbeit ist in Abbildung 1 veranschaulicht.

Insgesamt besteht die Arbeit aus sechs Kapiteln. Nach der Einleitung mit Formulierungen zur Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit in Kapitel 1 folgt in Kapitel 2 eine Beschreibung zum Stand der Wissenschaft und Technik. Hierzu werden Grundlagen in vier Themenbereichen präsentiert, die im direkten Zusammenhang mit den Forschungsfragen stehen. In Abschnitt 2.1 werden zunächst Definitionen zur Logistikimmobilie auf Basis ausgewählter Literaturquellen vorgestellt, um eine einheitliche terminologische Basis zu schaffen.

Anschließend werden in Abschnitt 2.2 grundlegende klimapolitische Hintergründe und internationale Vereinbarungen beschrieben. Darauf aufbauend erfolgt eine näherungsweise Bestimmung der THG-Relevanz des Betriebs von Logistikimmobilien in Bezug auf die THG-Emissionen, die in Deutschland durch Transportaktivitäten hervorgerufen werden. Energieverbrauch und THG-Emissionen stehen in einem kausalen Zusammenhang. Näherungsweise bedeutet, dass Erkenntnisse zum Endenergiebedarf auf die Aufschlüsselung der THG-Emissionen übertragen werden. Ein solches Vorgehen ist erforderlich, da die statistischen Grundlagen zum Thema Energie wesentlich aufschlussreicher sind als zum Thema Treibhausgas. Durch den Analogieschluss kann die Relevanz der Logistikimmobilien im Kontext der Entstehung von THG-Emissionen in Logistikketten grundsätzlich positiv bestätigt werden.

In Abschnitt 2.3 werden dann Normen und Standards für die Bewertung von THG-Emissionen vorgestellt und Handlungsfelder zur Schließung methodischer Lücken beschrieben. Die Entwicklung einer Methode zur THG-Bilanzierung der Betriebsphase von Logistikimmobilien stellt ein solches zentrales Handlungsfeld dar. Im Weiteren geht es um das Thema Ökostrom. Die korrekte Bilanzierung von „Ökostrom“ ist komplex, da durch die EEG-Umlage auch durch „Graustrom“ ein Beitrag zum Ausbau erneuerbarer Energiequellen geleistet wird. Es wird daher

ein Einblick in den aktuellen wissenschaftlichen Diskurs gegeben, der sich u. a. der Frage widmet, ob durch die Nutzung von Ökostromtarifen tatsächlich ein prüfbarer zusätzlicher Beitrag zur Energiewende in Deutschland geleistet wird. Für die Methodenentwicklung wird abschließend eine konkrete Vorgehensweise zum Umgang mit Ökostrom abgeleitet.

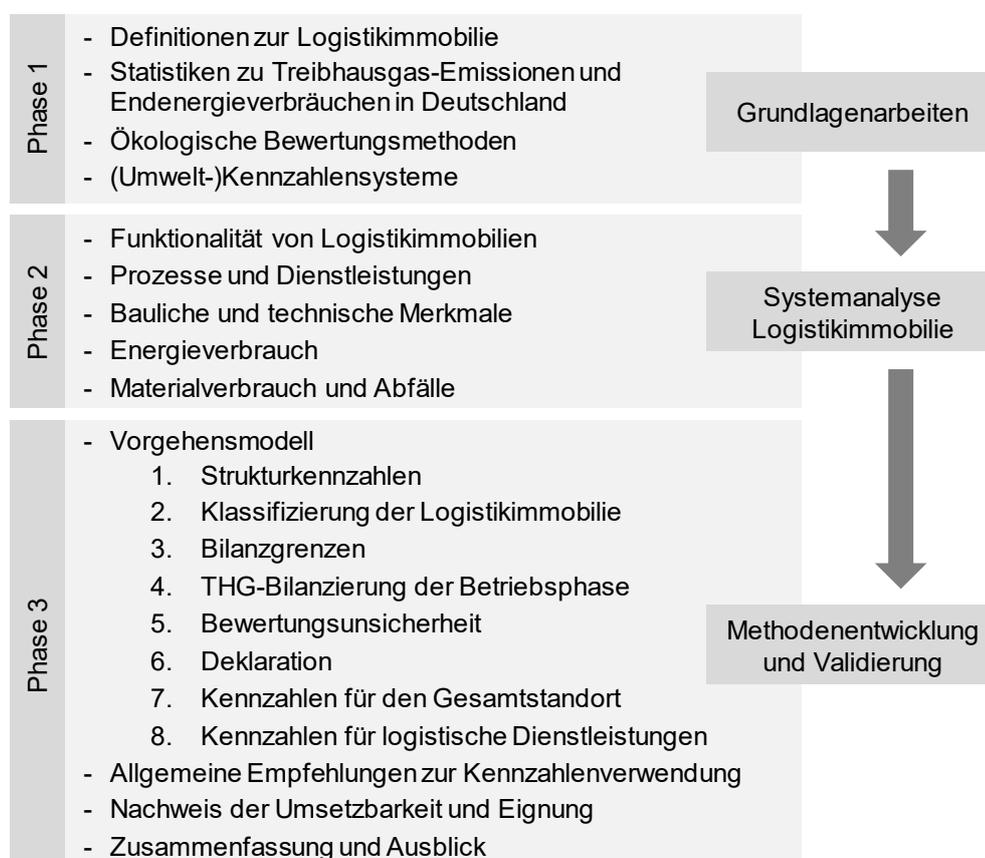


Abbildung 1: Aufbau der wissenschaftlichen Arbeit

In Abschnitt 2.4 werden Grundlagen zu Kennzahlen und zur Einbindung von Kennzahlen in das betriebliche Zielsystem vorgestellt. Hier haben Nachhaltigkeitsberichtsstandards und Umweltmanagementstandards eine praktische Relevanz. Für die Bestimmung von Emissionskennzahlen bieten sich die allgemeinen Empfehlungen der DIN ISO 14045 zum Thema Ökoeffizienz-Indikatoren an, die ebenfalls in diesem Kapitel vorgestellt werden.

Auf dem aktuellen Wissensstand aufbauend erfolgt in Kapitel 3 eine systemanalytische Untersuchung zur Logistikimmobilie. Hier werden die Aspekte Funktionalität (Abschnitt 3.1), Prozesse (Abschnitt 3.2), bauliche und technische Merkmale (Abschnitt 3.3), Energieverbrauch (Abschnitt 3.4) sowie der Materialbedarf und das Abfallaufkommen (Abschnitt 3.5) beschrieben und hinsichtlich der Relevanz für die Methodenentwicklung bewertet.

Die eigentliche Methodenentwicklung erfolgt dann in Kapitel 4. Zunächst wird übergeordnet das Vorgehensmodell beschrieben (Abschnitt 4.1), das Bezug auf die in Abbildung 1 aufgelisteten Verfahrensschritte nimmt. Die einzelnen Schritte werden anschließend im Detail beschrieben (Abschnitte 4.2 bis 4.9). Zum Ende der Arbeit erfolgt dann eine Anwendung der entwickelten Methode anhand von anonymisierten Praxisbeispielen (Kapitel 5). Die Umsetzbarkeit sowie die Einsetzeignung des Verfahrens werden positiv bestätigt. Die Untersuchung schließt mit einer zusammenfassenden Schlussbetrachtung, einer kritischen Würdigung und einem Ausblick auf weitere erforderliche Forschungsschritte (Kapitel 6).

2 Grundlagen und Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel wird zunächst eine Begriffsbestimmung zur Logistikimmobilie vorgenommen (Abschnitt 2.1). Es folgt eine Bestimmung der Relevanz der Betriebsphase von Logistikimmobilien für den Klimaschutz in Bezug auf definierte Klimaschutzziele (Abschnitt 2.2). Anschließend werden internationale Normen und Standards der ökologischen Bewertung präsentiert (Abschnitt 2.3). Zum Ende des Grundlagenteils werden Kennzahlen im Allgemeinen und Emissionskennzahlen im Speziellen im Kontext der unternehmerischen Entscheidungsfindung adressiert (Abschnitt 2.4).

2.1 Begriffsbestimmung Logistikimmobilie

In diesem Abschnitt folgt eine systematische Begriffsbestimmung für Logistikimmobilien als definitorische Grundlage der weiteren Ausführungen.

Logistik als Ausgangspunkt der Begriffsbestimmung

In der Fachliteratur lassen sich verschiedene Definitionen für den Begriff Logistik finden. Ein Grund ist, dass Logistik interdisziplinär ist. „Sie nutzt und verbindet das Wissen anderer Fachbereiche, für die wiederum die Logistik eine Hilfswissenschaft ist.“¹¹ Ebenfalls sind die Aufgaben und Prozesse der logistischen Leistungserbringung u. a. durch den technologischen Fortschritt und sich verändernde Marktbedingungen einem stetigen Wandel unterworfen. Nach Gudehus besteht die Grundaufgabe der operativen Logistik in der effizienten Bereitstellung der geforderten Mengen benötigter Objekte in der richtigen Zusammensetzung zur rechten Zeit am richtigen Ort.¹² Denn „die von den Unternehmen, Haushalten und Konsumenten benötigten Waren, Güter, Teile und Einsatzstoffe werden in der Regel nicht an dem Ort und zu dem Zeitpunkt erzeugt, in dem sie gebraucht werden. Sie entstehen meist auch nicht in der benötigten Menge und Zusammensetzung.“¹³ Dieser elementaren Beschreibung folgend lassen sich nach Gudehus vier Grundfunktionen der Logistik ableiten:¹⁴

- Transport zur Raumüberbrückung,
- Umschlagen zur Mengenanpassung,
- Lagern zur Zeitüberbrückung und
- Kommissionieren zur Auftragszusammenstellung.

Im Gabler Lexikon der Logistik wird eine ähnliche Definition der Logistik gegeben. Demnach geht es u. a. um die operativen Tätigkeiten des Transportierens, Umschlagens, Kommissionierens und Lagerns, die zusammen als TUL-Logistik verstanden werden.¹⁵

Aus der Perspektive der Netzwerktheorie lassen sich einzelne Logistiksysteme mit den Begriffen Knoten und Kanten beschreiben. Nach Vahrenkamp und Mattfeld beruhen moderne Logistiksysteme auf dem „Konzept von Flüssen in einem Netzwerk, in dem Rechte, Güter,

¹¹ Gudehus 2010, S. 4

¹² Gudehus 2010, S. 3

¹³ Gudehus 2010, S. 3

¹⁴ Gudehus 2010, S. 3

¹⁵ Klaus et al. 2012, S. 330

Finanzströme und Informationen von Quellen über Zwischenknoten zu Senken fließen und dabei Raum- und Zeitdifferenzen sowie Grenzen von Unternehmen überwinden. Mit der räumlichen/ zeitlichen Veränderung der Güter geht häufig eine Transformation hinsichtlich Mengen, Sorten, Handhabungseigenschaften und zugehörigen Informationen einher.“¹⁶

In Bezug auf den physischen Güterfluss sind Knoten Orte und Kanten Verkehrswege.¹⁷ Logistische Kanten stellen eine Transportverbindung zwischen zwei Orten dar. Logistische Knoten sind durch Prozesse der Transformation, d. h. durch Umschlag-, Lager- oder Kommissioniervorgänge, gekennzeichnet.

Darüber hinaus kann der Leistungsumfang, der zwischen Kunde und Dienstleister individuell vereinbart wird, auch zusätzliche Tätigkeiten der Wertschöpfung umfassen. Diese Tätigkeiten werden als Value-Added Services (VAS) bezeichnet, da sie über die klassischen Aufgaben der Logistik hinausgehen. Im Forschungsprojekt „Systematische Bewertung von Value-Added Services in Distributionszentren“ aus dem Jahr 2013 wurden fünf Hauptgruppen für VAS abgeleitet:¹⁸

- Konfektionierung und Kit-Bildung (z. B. Abfüllen von Flüssigkeiten in Flaschen),
- Verkaufs- und Versandvorbereitung (z. B. Beilagen zu Produkten hinzufügen),
- Prüfende Aufgaben (z. B. Funktionstests für elektronische Geräte),
- Bearbeiten und Montieren (z. B. CKD, Montage/ Demontage im Automobilsektor),
- Aufgaben logistischer Rückfluss (z. B. Retourenmanagement im Onlinehandel).

Zu betonen ist hierbei, dass Value-Added Services die Grundfunktionen der Logistik lediglich ergänzen und wie der Name schon beinhaltet keine zusätzliche, eigene Funktion der Logistik darstellen. Im Gabler Lexikon heißt es: „Ungeachtet der verbreiteten Vorstellung, die eigentliche Entwicklung im Markt für logistische Dienstleistungen vollziehe sich im Bereich derartiger neuer Value-Added Services, machen in der Praxis jedoch nach wie vor konventionelle Dienstleistungsangebote im Transport- und Lagerhaltungsbereich den mit Abstand größten Anteil des Marktes für logistische Dienstleistungen aus. Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass die Kernaktivitäten des Transportierens, Lagerns, Umschlagens und Verpackens auch dort, wo über die bloße Schnittstellenverlagerung hinaus Prozessinnovationen zu beobachten sind, nicht in erster Linie durch neue Serviceangebote verdrängt, sondern nur fallweise angereichert werden.“¹⁹

Der Begriff Immobilie

Im Fachbereich Immobilienökonomie der Wirtschaftswissenschaften geht es u. a. um Methoden zur Bewertung und Systematisierung von Immobilien. Nach Schulte bezeichnet der Begriff Immobilien „Wirtschaftsgüter, die aus unbebauten Grundstücken oder bebauten Grundstücken mit dazugehörigen Gebäuden und Außenanlagen bestehen. Sie werden vom Menschen im Rahmen physisch-technischer, rechtlicher, wirtschaftlicher und zeitlicher Grenzen für Produktions-, Handels-, Dienstleistungs- und Konsumzwecke genutzt“.²⁰

¹⁶ Vahrenkamp und Mattfeld 2007, S. 5

¹⁷ Vahrenkamp und Mattfeld 2007, S. 5

¹⁸ KIT 2013, S. 25

¹⁹ Klaus et al. 2012, S. 377

²⁰ Schulte 2008, S. 16

Eine ähnliche Definition wählt Pfnür. Demnach sind Immobilien „Wirtschaftsgüter in Form von Grundstücken bzw. grundstücksgleichen Rechten, Gebäuden und Zubehör, deren Kosten- und Nutzenwirkungen im Zeitverlauf die Zielerreichung von Wirtschaftssubjekten beeinflussen. Sie können dabei nach Maßgabe der wirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeit sowohl eine Teilmenge als auch eine Gruppe von Grundstücken, grundstücksgleichen Rechten oder deren wesentlicher Bestandteile im Sinne des bürgerlichen Rechts sein.“²¹ Damit hebt Pfnür hervor, dass Immobilien sich auch auf eine Teilmenge eines Gebäudes beziehen können. Dies ist eine wichtige Ergänzung für den Logistiksektor, da Logistik- und Produktionsgebäude teilweise physisch miteinander verbunden sind und einen Gebäudekomplex bilden.

Juristisch gesehen findet der Begriff Immobilie keine Verwendung. Stattdessen werden im Zivilrecht die Begriffe Grundstück und Gebäude genutzt. Die wesentlichen Bestandteile eines Grundstücks werden u. a. im Bürgerlichen Gesetzbuch definiert: „Zu den wesentlichen Bestandteilen eines Grundstücks gehören die mit dem Grund und Boden fest verbundenen Sachen, insbesondere Gebäude, sowie die Erzeugnisse des Grundstücks, solange sie mit dem Boden zusammenhängen.“²² Der zweite Satzteil bezieht sich dabei auf die landwirtschaftliche Nutzung von Immobilien und ist für die weitere Ausarbeitung nicht relevant.

Im umgangssprachlichen Bereich ist der Begriff des Standorts als Begriffspaar für eine Logistikimmobilie stark verbreitet. Grundsätzlich kann ein Standort als ein geografischer Ort (z. B. Land, Region, Stadt, ...) verstanden werden, wo oder von wo aus bestimmte wirtschaftliche Aktivitäten stattfinden.²³ Aus der volkswirtschaftlichen Perspektive wird die wirtschaftliche Aktivität an einem Standort i. Allg. durch mehrere Unternehmen erbracht. Aus der Perspektive eines einzelnen Unternehmens ist ein Standort eine Immobilie, denn die Immobilie ist – wie das Wort zum Ausdruck bringt – nicht beweglich, sondern an einen Standort gebunden.²⁴ Im unternehmerischen Kontext können daher sowohl der Begriff Logistikimmobilie als auch Logistikstandort gleichwertig verwendet werden. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird der Begriff der Logistikimmobilie verwendet, um in diesem Punkt eindeutig zu sein.

Definitionen zu Logistikimmobilien in der Fachliteratur

Das Thema Logistikimmobilie findet in der Fachliteratur der Logistik insgesamt nur wenig Beachtung. Vereinzelt lassen sich Ansätze zur Beschreibung von Lagerimmobilien finden.²⁵ Ein Kompendium für Logistikimmobilien, das insbesondere auch auf intermodale Umschlagpunkte näher eingeht, existiert nicht. Zu dieser Erkenntnis kommen auch Klaus und Huber.²⁶

Hirdes definiert Logistikimmobilien wie folgt: „Logistikimmobilien ist die Bezeichnung für Immobilien, die zur Lagerung, Kommissionierung und Distribution von Waren genutzt werden. Dieser Immobilientypus entspricht weitestgehend dem Typus der Lagerhallen, allerdings ist die Größe von Logistikimmobilien unterschiedlich: Lagerhallen haben häufig Dimensionen unter 5.000 m², während Logistikimmobilien deutlich über 10.000 m², häufig

²¹ Pfnür 2002, S. 9

²² §94 (1) BGB

²³ Duden 2017, Begriff Standort, wirtschaftliche Bedeutung

²⁴ Duden 2017, Begriff Immobilie

²⁵ Griemert und Römisch 2015, S. 325–338 oder ten Hompel et al. 2007, S. 50–52

²⁶ Klaus et al. 2012, S. 380 und Huber 2014, S. 1

sogar 40.000 m² und in Einzelfällen über 200.000 m² aufweisen.“²⁷ In Anbetracht der originären Definition einer Immobilie (Gebäude und Grundstück) erscheint diese Definition wenig differenziert. Zudem liegt der Fokus ausschließlich auf der Warenlagerung.

Nach Bienert fallen Logistikimmobilien in die Kategorie Spezialimmobilien, die „selten oder gar nicht im offenen Markt verkauft werden, außer im Rahmen des Unternehmens, von dem sie ein Teil sind.“²⁸ Sie dienen der „Lagerung, dem Umschlag und der Kommissionierung von Waren und Gütern, gemäß den heutigen Anforderungen verbunden mit der notwendigen Infrastruktur und Technik. Sie befinden sich an ausgewählten Standorten mit guter Anbindung an die Verkehrsinfrastruktur. In der Regel werden sie von Logistikunternehmen auf Basis von Logistikdienstleistungsverträgen betrieben. Insbesondere Logistikzentren gehören zu Immobilien, die einen erhöhten Managementaufwand erfordern.“²⁹ Diese recht ausführliche Beschreibung der Merkmale von Logistikimmobilien nimmt Bezug auf alle Grundfunktionen der Logistik und kann daher als guter Definitionsansatz bezeichnet werden.

Die Studie „Logistikimmobilien – Markt und Standorte“³⁰ des Fraunhofer SCS widmet sich den Strukturen und Kennzahlen verschiedener Logistikimmobilienmärkte. Ziel ist es, Standort- und Investitionsentscheidungen von Unternehmen zu unterstützen. Die Autoren der Studie haben folgende Definition für Logistikimmobilien erarbeitet: „Eine Logistikimmobilie ist ein Gebäude, für dessen Errichtung primär die Nutzung hinsichtlich Umschlag und Lagerung sowie damit verbundenen Leistungen ausschlaggebend sind. Sie stellt i. Allg. einen Knoten in einem logistischen Netzwerk dar.“³¹ Im Zentrum dieser Definition steht die logistische Leistungserbringung. Der Fokus der betrachteten Immobilien liegt gemäß Definition jedoch auf Gebäuden. Bebaute Grundstücke für Umschlag- und Lagerprozesse sind durch die Definition nicht explizit abgedeckt.

Für die vorliegende Ausarbeitung wird eine eigene Definition zur Logistikimmobilie formuliert und verwendet. Als Ausgangsbasis bieten sich die Definitionen von Bienert und Nehm an. Mit dem Ziel, die Eindeutigkeit dieser Definitionen weiter zu erhöhen, soll u. a. auch der Begriff der Immobilie spezifiziert werden:

Logistikimmobilien sind Orte und Wirtschaftsgüter in Form von Grundstücken und grundstücksgleichen Rechten, deren technische Anlagen oder Gebäudestrukturen primär für die Verwirklichung logistischer Transformationsprozesse, d. h. Umschlag, Lagerung oder Kommissionierung, konstruiert sind.

Zur weiteren Abgrenzung und Konkretisierung lässt sich diese Definition wie folgt erweitern:

Ferner sind Logistikimmobilien integraler Bestandteil übergeordneter Produktions- und Transportsysteme und zeichnen sich in der Regel durch eine gute Anbindung an die Verkehrsinfrastruktur aus. Im Zuge einer erweiterten Kundenorientierung und entsprechender Marktstrategien werden an Logistikimmobilien auch zunehmend weitere wertschöpfende Tätigkeiten (Value-Added Services) erbracht, deren ökonomischer Stellenwert gegenüber der originären Logistikleistung aber als sekundär zu bewerten ist. Grundstücke, deren Nutzung nicht dauerhaft oder

²⁷ Hirdes et al. 2005, S. 13

²⁸ Bienert 2005, S. 6 f.

²⁹ Bienert 2005, S. 733

³⁰ Nehm 2013

³¹ Nehm 2013, S. 24

eindeutig der Logistik zugeordnet werden kann, gelten im Sinne der Definition nicht als Logistikimmobilien (z. B. vorübergehend angemietete und genutzte Abstell- und Rangierflächen). Logistikimmobilien für den Warenumsatz in urbanen Räumen können im Unterschied zu zentralen Distributionszentren großer Logistiknetze vergleichsweise klein sein (sog. „Mikro-Hubs“).

Der erweiterte Definitionsansatz zur Logistikimmobilie ist für diese Arbeit grundlegend.

Logistikimmobilienmarkt in Deutschland

Da es keine offizielle und unabhängige Statistik zum Logistikimmobilienmarkt in Deutschland gibt, bietet sich die bereits zitierte Studie „Logistikimmobilien – Markt und Standorte“ des Fraunhofer SCS als Ausgangsbasis an. Gemäß der gegebenen Definition liegt der Fokus jedoch ausschließlich auf Logistikgebäuden. Demnach beträgt der Bestand genutzter oder leerstehender Logistikgebäude in Deutschland im Jahr 2013 ca. 330 Mio. m² Logistikfläche. Die Unsicherheit der Hochrechnung wird mit 10 % beziffert.³² Die Gebäudegesamtfläche in Deutschland beträgt 2013 ca. 24.800 Mio. m².³³ Der Flächenanteil von Logistikgebäuden liegt also bei ca. 1,3 %.

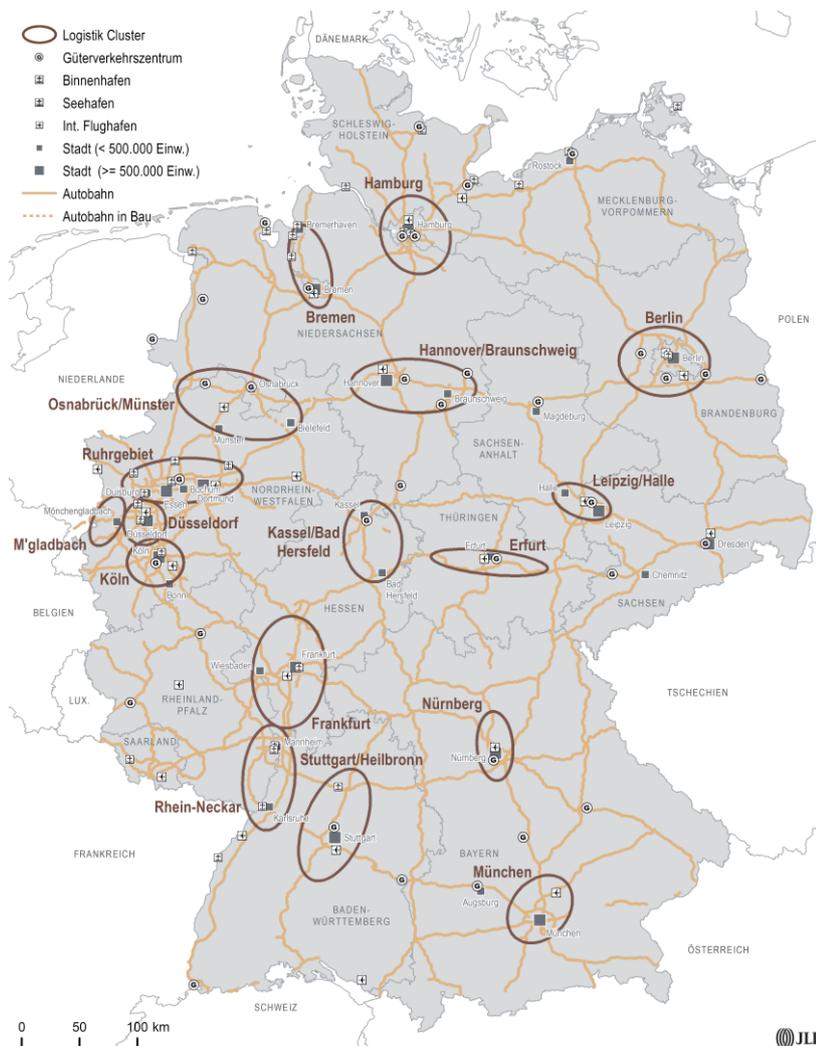


Abbildung 2: Logistikregionen in Deutschland³⁴

³² Nehm 2013, S. 44

³³ BMUB 2015b

³⁴ JLL 2015, S. 18

Investitions- und Finanzdienstleister wie z. B. Jones Lang LaSalle oder BNP Paribas Real Estate beschäftigen sich ebenfalls mit den Entwicklungen im deutschen Logistikimmobilienmarkt, primär aus Sicht von Kapitalanlegern. In diesem Zusammenhang werden regelmäßig Entwicklungsberichte veröffentlicht. Laut JLL 2015 können in Deutschland 17 Logistikregionen herausgebildet werden, die von einer besonders guten Lage zu Verkehrswegen, Produktionsstandorten und Absatzmärkten profitieren (vgl. Abbildung 2).³⁵ Bezogen auf die Bestandszahl von 2013 werden in Deutschland jedes Jahr etwa zwischen 1,5 und 4 Mio. m² Logistikflächen neu errichtet.³⁶ Wird vereinfachend angenommen, dass ältere Logistikgebäude nicht zurückgebaut werden, liegt die jährliche Wachstumsquote zwischen 0,5 und 1,2 %.

Der Logistikimmobilienmarkt kann allgemein als Wirtschaftszweig mit vielen Marktteilnehmern aus Industrie, Handel und Logistik beschrieben werden.³⁷ Das Nutzungsverhältnis kann über Eigentum wie auch über Miete definiert sein. Nach Analysen von Bulwiengesa, die sich mit den Bautrends in der Logistik beschäftigen, hat eine durchschnittliche Umschlag- oder Lagerhalle gegenwärtig etwa eine Größe von rund 17.000 m².³⁸

2.2 Relevanz von Logistikimmobilien für den Klimaschutz

Ziel dieses Kapitels ist, die Themenbereiche Klimawandel und Klimaschutz in Kürze vorzustellen, die den Hintergrund der vorliegenden Arbeiten definieren. In diesem Rahmen werden allgemein die klimapolitischen Rahmenbedingungen in Deutschland und Europa präsentiert. Es folgt eine spezifische Betrachtung des Themas im Kontext der Logistik und des Teilaspekts der Immobilien. Abschließend wird eine Abschätzung zur Relevanz von Logistikimmobilien hinsichtlich der Entstehung von THG-Emissionen in Deutschland gegeben.

2.2.1 Klimawandel und klimapolitischer Handlungsrahmen

Klimaforscher beschreiben einen Zusammenhang zwischen der Konzentration der atmosphärischen Treibhausgase und der durchschnittlichen Temperatur auf der Erde und stützen sich dabei u. a. auf Messergebnisse durch Eiskernbohrungen in der Antarktis. Auch physikalisch lässt sich der Treibhauseffekt modellhaft erklären und hinsichtlich der Wirkung auf das Klima deuten.

Im Auftrag der internationalen Staatengemeinschaft ist der Sachverständigenrat für Klimaänderungen „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) zuständig und beauftragt, die wissenschaftlichen Grundlagen zum Themenkomplex zu erarbeiten und Handlungsbedarfe zu spezifizieren. Gemäß den Studien des IPCC, die nachfolgend zitiert werden, lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Beginn der Industrialisierung rund um das Jahr 1850 und einem deutlichen Anstieg der Konzentration klimaschädlicher Treibhausgase in der Atmosphäre beschreiben. Dieses Phänomen wird allgemein als anthropogener Treibhausgaseneffekt bzw. Klimawandel bezeichnet. Dieser grenzt sich vom natürlichen Klimawandel ab, der im Kontext der erdgeschichtlichen Entwicklung ebenfalls festzustellen ist.

³⁵ JLL 2015, S. 18

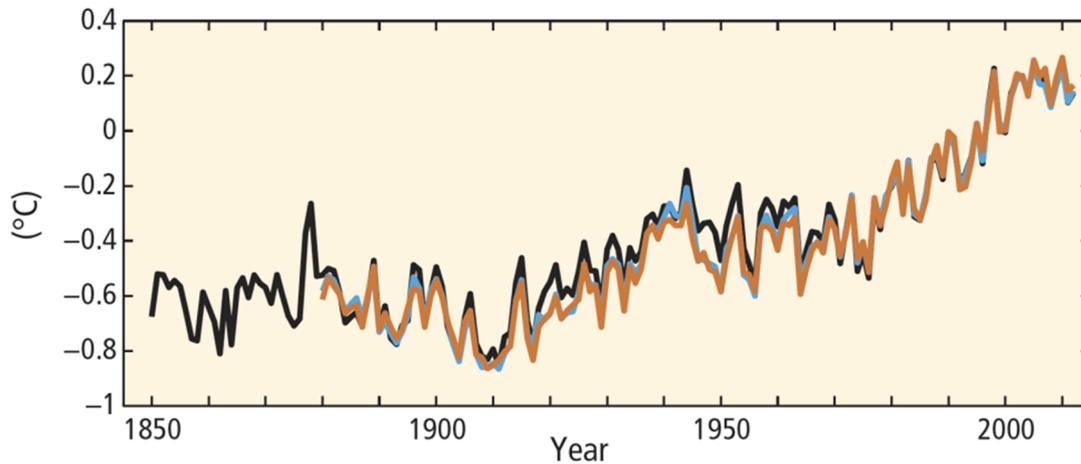
³⁶ Nehm 2013, S. 140

³⁷ Nehm 2013, S. 49

³⁸ Bulwiengesa 2015, S. 61

Abbildung 3 veranschaulicht den beschriebenen Zusammenhang mit einem Fokus auf die anthropogenen CO₂-Emissionen einzelner Jahre und die berechneten Durchschnittstemperaturen für Land- und Meeresoberflächen. Eine sprunghafte Entwicklung zeigt sich insbesondere ab 1950, mit Beginn der globalisierten Weltwirtschaftsordnung. Seitdem ist ein stetiger Anstieg des Ausstoßes von CO₂-Emissionen zu beobachten, der insbesondere auf die Verbrennung fossiler Energieträger und Verbreitung klimaschädlicher Industrieprozesse (Zementherstellung, Abfackeln von Gasen) zurückzuführen ist. Der Trend ist dramatisch: Im Jahr 1990 wurden noch 38 Gt Treibhausgase weltweit emittiert, im Jahr 2010 waren es bereits 49 Gt.³⁹ Dies entspricht einem Anstieg von knapp 30 % innerhalb der vergangenen zwei Jahrzehnte.

Entwicklung der globalen durchschnittlichen Erdtemperatur im Zeitraum 1850 bis 2015 zum Mittelwert der Jahre 1986 bis 2005 ($\pm 0^\circ\text{C}$), entsprechend den Aufzeichnungen des IPCC



Korrespondierende Menge an emittierten, anthropogenen CO₂-Emissionen (grau) und indirekte CO₂-Wirkungen durch Änderungen der Landnutzung, wie z. B. durch Abholzung von Wäldern (braun)

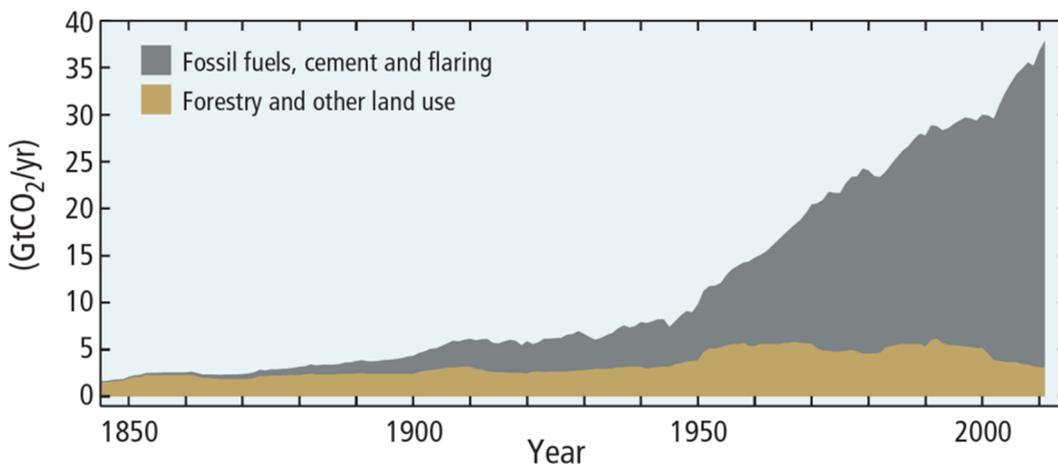


Abbildung 3: Entwicklung des Ausstoßes von Treibhausgasen 1850–2010 und Einfluss auf die mittlere Erdtemperatur⁴⁰

Die humanitären Folgen der globalen Erderwärmung sind vielfältig. Beispielhaft können ein Anstieg des Meeresspiegels, eine Zunahme von Wetterextremen, der Rückgang der Trinkwasserkapazitäten oder verschlechterte Anbaubedingungen für Nahrungsmittel genannt werden. Die Staatengemeinschaft strebt daher an, die globale Erderwärmung auf 2 °C bis zum

³⁹ IPCC 2015, S. 5

⁴⁰ IPCC 2015, S. 3 (Originalgrafik mit übersetzten Erläuterungen)

Jahr 2100 zu begrenzen.⁴¹ Dieses Ziel wurde durch das Pariser Klimaabkommen im Jahr 2016 völkerrechtlich verbindlich. Die allgemeine Herausforderung besteht in der Langlebigkeit der anthropogenen Treibhausgase. Die Lebensdauer der CO₂-Emissionen in der Atmosphäre liegt zwischen 20 bis 800 Jahren, kann jedoch nicht genau beziffert werden.⁴² Für das Treibhausgas Distickstoffmonoxid (N₂O) liegt die Lebensdauer z. B. im Bereich von 118 bis 131 Jahren.⁴³ Um das „2-Grad-Ziel“ zu erreichen, muss heute bereits entschlossen gehandelt werden. Weltweit gilt es, Vermeidungsstrategien zu entwickeln und umzusetzen.

Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (kurz: Kyoto-Protokoll)⁴⁴ aus dem Jahr 1997 und darauf stützende Folgeaktivitäten waren wichtig, um die Bedeutung des Themas Klimaschutz allgemein und speziell im internationalen Kontext zu fördern. Es trat im Februar 2005 offiziell in Kraft und definierte erstmals spezifische Reduktionsziele für Industriestaaten. Die sogenannte erste Verpflichtungsperiode erstreckte sich von 2008 bis 2012. Staatenübergreifend wurde ein Treibhausgas-Reduktionsziel von 5 % vereinbart (1990–2012), welches erfüllt werden konnte.⁴⁵

Mit der Klimakonferenz in Doha (Katar) im Jahr 2012 und der Veröffentlichung des sogenannten Doha Amendment zum Kyoto-Protokoll wurde ein Nachfolgeabkommen beschlossen.⁴⁶ Dieses beinhaltet spezifische Reduktionsziele für Industriestaaten für die sogenannte zweite Verpflichtungsperiode 2013 bis 2020. Staatenübergreifend wird gegenüber 1990 bis 2020 eine Reduktion um 18 % angestrebt.⁴⁷ Das Kyoto-Nachfolgeabkommen ist bislang nicht in Kraft getreten und wird es vermutlich auch nicht mehr. Hierzu müsste es von drei Viertel der am Kyoto-Protokoll beteiligten Staaten in nationales Recht überführt werden. Dies entspricht einer Zahl von 144 der 192 beteiligten Staaten. Im Februar 2018, rund fünf Jahre nach der Konferenz von Doha, wurde das Nachfolgeabkommen lediglich von 109 Staaten ratifiziert.⁴⁸

Eine bedeutsame Errungenschaft des Kyoto-Protokolls ist ein gemeinsames Verständnis zu den Treibhausgasen, die im Besonderen durch den Menschen hervorgerufen werden, d. h. anthropogenen Ursprungs sind. Hierzu zählen neben Gasen wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O, „Lachgas“) auch die sogenannten F-Gase, die tendenziell weniger bekannt sind. Zu den F-Gasen gehören nach der Kyoto-Definition des Jahres 1997 teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Im Doha Amendment zum Kyoto-Protokoll ist auch Stickstofftrifluorid (NF₃) als weiteres zu bewertendes F-Gas aufgeführt. Es ist davon auszugehen, dass zukünftige Bewertungsstandards auch NF₃ umfassen werden.

Um eine einheitliche Grundlage für das Kyoto-Berichtswesen zu schaffen, wurde die Kenngröße Kohlendioxidäquivalente (kurz: CO₂e-Emissionen, CO₂-Äq-Emissionen oder THG-Emissionen) durch das Kyoto-Protokoll von 1997 definiert. Auf Grundlage des sogenannten Erderwärmungspotenzials einzelner Treibhausgase im Zeitraum von 100 Jahren (engl. GWP

⁴¹ IPCC 2015, S. 13

⁴² IPCC 2013, S. 473

⁴³ IPCC 2013, S. 520

⁴⁴ UNFCCC 1997

⁴⁵ UNFCCC 1997, S. 4 (Artikel 3)

⁴⁶ UNFCCC 2012

⁴⁷ UNFCCC 2012, S. 4 (Artikel 3)

⁴⁸ UN 2017, letzte Ratifizierungen im Dezember 2017 (u. a. Kroatien)

100, Global Warming Potential 100 years) lässt sich ermitteln, wie viel stärker ein bestimmtes Treibhausgas im Verhältnis zum Ausstoß eines Kilogramm Kohlendioxids wirkt. Die Ermittlung von Äquivalentfaktoren ist Aufgabe des IPCC. Weitere Einzelheiten zu diesem Thema werden noch in Abschnitt 2.3 vorgestellt. Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, haben CO₂-Emissionen eine vergleichsweise hohe Relevanz für den Treibhauseffekt, insbesondere CO₂-Emissionen aus Kraftstoff- und Industrieprozessen. Die weiteren Kyoto-Treibhausgase sollten jedoch nicht vernachlässigt werden. 2010 lag die Relevanz dieser anthropogenen Treibhausgas-Emissionen bei 24 % (Vergleichswert 1990: 23 %).

Treibhausgas	Anteil an den globalen CO ₂ e-Emissionen des Jahres 1990 (gewichtet mit GWP-100 Potenzial)	Anteil an den globalen CO ₂ e-Emissionen des Jahres 2010 (gewichtet mit GWP-100 Potenzial)
F-Gase	0,8 %	2 %
N ₂ O	7 %	6 %
CH ₄	18 %	16 %
CO ₂ (Forst- und Landwirtschaft)	16 %	11 %
CO ₂ (Kraftstoffe und Industrieprozesse)	59 %	65 %

Tabelle 1: Relevanz anthropogener Klimagase für den Treibhauseffekt 1990 und 2010⁴⁹

Neben den genannten Kyoto-Treibhausgasen gibt es noch weitere, wie z. B. Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x) oder Ruß, deren Ausstoß das globale Klima indirekt beeinflussen, und solche, die nicht nur anthropogenen Ursprungs, sondern Bestand des natürlichen Klimazyklus sind, wie z. B. Ozon und Wasserdampf. Diese sind nach heutigem Verständnis in der nationalen Berichtserstattung nicht zu bilanzieren und somit auch nicht Teil definierter Klimaschutzziele.

Klimaschutz in Europa

Da wie bereits erwähnt das Nachfolgeabkommen für das Kyoto-Protokoll nicht unmittelbar in Kraft getreten ist, hat sich die Europäische Union in Bezug auf die 27 Mitgliedsstaaten (Stand 2012) unilateral dazu verpflichtet, bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 20 % zum Niveau 1990 zu senken.⁵⁰ Im Oktober 2014 hat der Europäische Rat zudem einem Klimarahmenkonzept zugestimmt, das eine Reduktion um 40 % bis 2030 gegenüber 1990 vorsieht.⁵¹ Diese Zielvorgabe lässt sich weiter in zwei Teilziele unterteilen.

Einerseits soll der seit 2005 implementierte Emissionshandel (engl. ETS, Emission Trading Scheme), der in der Entwicklungsphase des Jahres 2015 die Strom- und Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen, sechs besonders emissionsrelevante Industriebranchen (z. B. Eisen- und Stahlverhüttung, Raffinerien, Zementherstellung) und die innereuropäische Luftfahrt umfasst⁵², im Zeitraum 2005 bis 2030 eine Reduktion um 43 % erreichen.

⁴⁹ eigene Darstellung auf Basis von IPCC 2015, S. 5

⁵⁰ Henss 2014, S. 10 f.

⁵¹ EUCO 169/14

⁵² Die Einbeziehung internationaler Verbindungen bei der Luftfahrt ist bis Ende 2023 ausgesetzt, DVZ 2017

Andererseits gilt für die sogenannte Non-ETS-Gruppe (z. B. Straßentransport, Haushalte, Landwirtschaft) im selben Zeitraum eine verminderte Reduktionsvorgabe von 30 %.⁵³ Der Emissionshandel erfolgt seit 2013 europaweit, so dass die nationalen Klimaschutzziele für den Zeitraum 2013 bis 2020, die nachfolgend präsentiert werden, ausschließlich Bezug auf die sogenannte Non-ETS-Gruppe nehmen.

Die für Europa geltenden Klimaschutzziele haben auf Ebene einzelner Länder unterschiedliche Ausprägungen. Das zugrunde liegende Konzept der Lastenteilung, geprägt durch das Kyoto-Protokoll von 1997 (Stichwort: burden sharing), berücksichtigt die spezifischen Voraussetzungen eines Landes (z. B. Eignung für den Ausbau regenerativer Energiequellen) und soll dazu beitragen, dass keine bzw. eine geringe Benachteiligung in der Wirtschaftsentwicklung eines Landes durch die stärkere Verankerung von Umwelt- und Klimaschutzaspekten entsteht. Gemäß dem Beschluss der Europäischen Kommission vom 26. März 2013 zur Festlegung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedsstaaten für den Zeitraum 2013 bis 2020 (2013/162/EU)⁵⁴ sind folgende nationale Ziele der EU-Staaten bis 2020 gegenüber dem Entwicklungsstand 2005 für die Non-ETS-Gruppe definiert (vgl. Abbildung 4).⁵⁵ Einigen europäischen Ländern wird auch eine Emissionssteigerung zugesprochen (z. B. Rumänien, Bulgarien). Deutschland hat sich im europäischen Kontext einem spezifischen Reduktionsziel von 14 % verpflichtet.

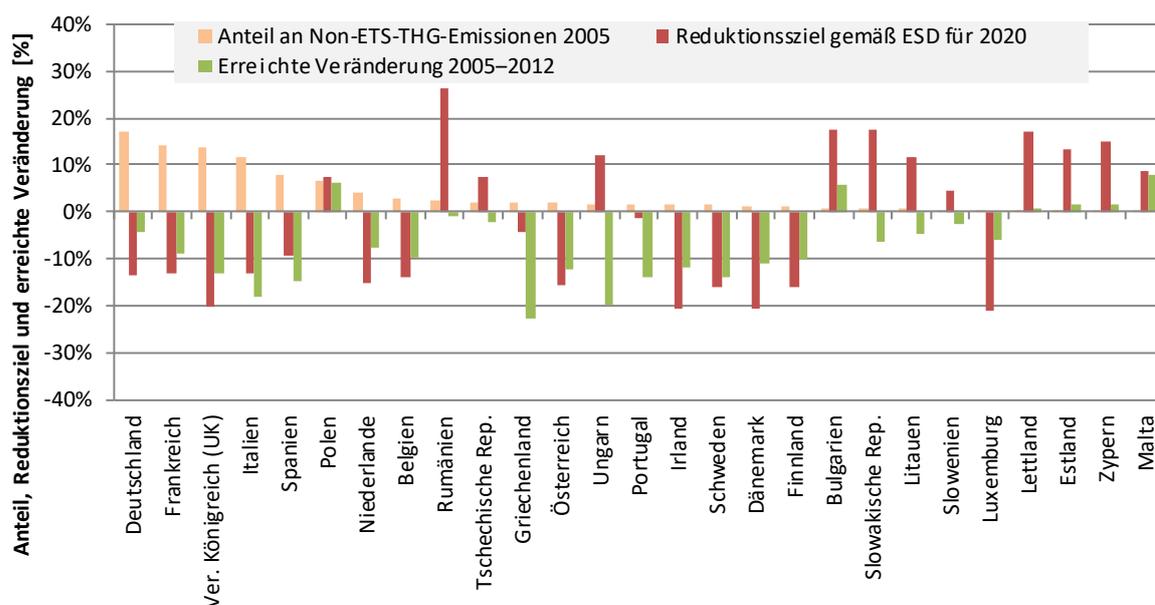


Abbildung 4: EU-27-Klimaziele einzelner Staaten auf Basis der Effort Sharing Decision (ESD)⁵⁶

Der Einfluss des Austritts des Vereinigten Königreichs aus der EU auf die Lastenteilung (ESD) ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Ausarbeitung unklar. Eine Reduzierung des 40-Prozent-Ziels für 2030 ist u. a. aufgrund des Pariser Klimaabkommens nicht möglich. Es wird vermutet, dass der Beitrag des Königreichs auf die Länder Italien, Spanien und Irland übertragen wird.⁵⁷

⁵³ EUCO 169/14

⁵⁴ auch bekannt als: Effort Sharing Decision (ESD)

⁵⁵ 2013/162/EU, Anhang 1

⁵⁶ eigene Darstellung auf Basis von Eurostat 2015

⁵⁷ DW 2016

Der Schwerpunkt der europäischen Klimaschutzpolitik liegt im Bereich der Energien. Mit dem Beschluss des Europäischen Parlaments und des Rats vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen steht z. B. fest, dass der Anteil erneuerbarer Energien EU-weit und sektorübergreifend bis 2020 auf 20 % ausgebaut werden muss (gemessen am Bruttoendenergieverbrauch). Die relevanten Sektoren sind Elektrizität, Wärme und Kälte sowie Verkehr.⁵⁸

Durch die Veröffentlichung der Energieeffizienz-Richtlinie 2012/27/EU im Jahr 2012, die auf der Richtlinie 2009/28/EU aufbaut, sind die Entwicklungsziele weiter konkretisiert worden, insbesondere hinsichtlich der Vorgaben, wie die Energieeffizienz in den einzelnen Mitgliedsstaaten sukzessive zu erhöhen ist. Folgende Maßnahmen werden genannt:⁵⁹

- die stärkere Beachtung von Energieeffizienzkriterien in öffentlichen Ausschreibungen,
- die Förderung der Verbreitung von Energiemanagementsystemen (z. B. ISO 50001),
- der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (kurz: KWK),
- die Förderung der Fernwärme- sowie Fernkälteversorgung und
- die Erhöhung der Gebäuderenovierungsquote.

Klimaschutz in Deutschland

Mit der Zielsetzung, beim Klimaschutz eine Vorreiterrolle einzunehmen, hat sich die Bundesregierung zusätzlich zu internationalen Vereinbarungen ein eigenes Reduktionsziel für das Jahr 2020 gesetzt. Gemäß dem Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014 verfolgt die Bundesregierung das Ziel, bis 2020 40 % weniger Treibhausgase auszustoßen als im Bezugsjahr 1990.⁶⁰

Der Kabinettsbeschluss basierte auf dem durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) veröffentlichten Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, das konkrete Handlungsfelder und Minderungspotenziale aufführt.⁶¹ Die zentralen Ergebnisse des Aktionsprogramms sind in Abbildung 5 dargestellt. Demnach wird im Zeitraum 2012 bis 2020 eine spezifische Reduktion der gesamten Treibhausgase (inkl. ETS-Emissionen) um 11 % angestrebt (s. „Gesamt“). Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit wird über die Aufkündigung des bundeseigenen Klimaziels diskutiert. Aktuelle Berechnungen deuten darauf hin, dass die Emissionen bis 2020 lediglich um 32 % statt um 40 % zurückgehen werden.⁶²

Den größten Beitrag soll die Energiewirtschaft liefern (absolut: 71 Mio. t CO₂e weniger). Beim Verkehrssektor geht es darum, 2020 gegenüber dem Stand von 2012 keine zusätzlichen THG-Emissionen zu verursachen, sondern das Niveau von 151 Mio. t CO₂e aus 2012 zu halten. Aufgrund des allgemeinen Verkehrswachstums erfordert dies, bis zum Jahr 2020 eine Lücke von etwa 7 bis 10 Mio. t CO₂e zu schließen.⁶³ Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 werden verschiedene Maßnahmen für den Verkehrssektor genannt (Personen- und Güterverkehr).

⁵⁸ 2009/28/EG, insb. Absatz 8 und 9 sowie Artikel 4, Absatz 1

⁵⁹ 2012/27/EU, Absatz 17 bis 48

⁶⁰ Bundesregierung 2014

⁶¹ BMUB 2014

⁶² Kern 2017

⁶³ BMUB 2014, S. 46

Bezogen auf den Gütertransport geht es u. a. um eine Maut-Staffelung entsprechend dem Energieverbrauch der Fahrzeuge, um Förderprogramme für alternative Antriebe (z. B. Elektro-Hybrid-Lkw, LNG-Binnenschiff), um die Beseitigung von Engpässen in der Schieneninfrastruktur und korrespondierende Verlagerungseffekte von der Straße auf die Schiene und um die Förderung umweltfreundlicher Zulieferverkehre in Ballungsgebieten.

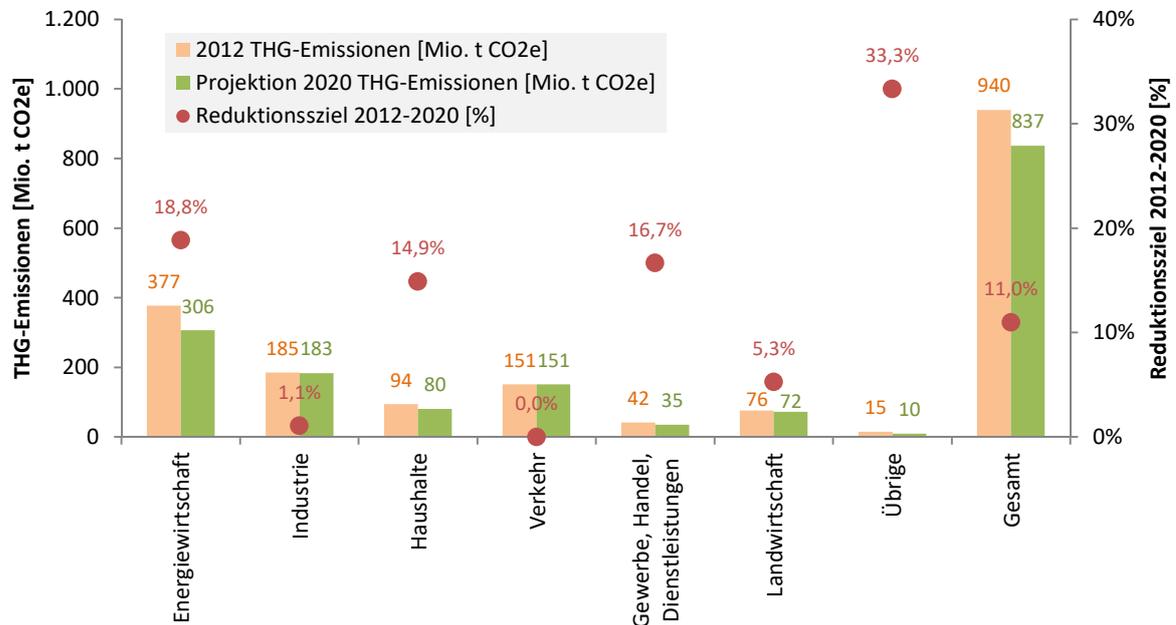


Abbildung 5: Reduktionsziele für Quellgruppen in Deutschland im Zeitraum 2012–2020⁶⁴

Logistikimmobilien sind dem Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (CRF-Code: I.A.4, siehe nachfolgender Absatz) und der Unterkategorie kommerzieller Gebäudebestand (CRF-Code: I.A.4.a) zugeordnet. Einsparungen in diesem Bereich sollen u. a. durch folgende Maßnahmen erreicht werden: Energieauditpflicht für alle Unternehmen, die nicht den Status eines kleineren und mittleren Unternehmens (kmU) haben, und energieeffizientes Bauen und Sanieren (z. B. in Bezug auf eine DGNB-Zertifizierung).⁶⁵ Am 22. April 2015 trat die novellierte Fassung des Energiedienstleistungsgesetzes (EDL-G) in Kraft. Seitdem sind größere Unternehmen (d. h. kein kmU-Status) zur Durchführung periodischer Energieaudits an Standorten verpflichtet. Dies kann entweder auf Basis des Energiemanagementstandards DIN ISO 50001⁶⁶ oder mit Bezug auf die DIN EN 16247-1⁶⁷ erfolgen.

Nationaler Inventarbericht

Im Rahmen internationaler Vereinbarungen wird durch das Umweltbundesamt jährlich ein nationaler Inventarbericht (engl. National Inventory Report, NIR⁶⁸) erstellt. Dieser Bericht folgt der sogenannten CRF⁶⁹-Systematisierung. Demnach werden CO₂e-Emissionen nach einheitlichen Regeln für unterschiedliche Quellgruppen ausgewiesen.

⁶⁴ eigene Darstellung auf Basis von BMUB 2014, S. 5

⁶⁵ BMUB 2014, S. 37

⁶⁶ DIN ISO 50001

⁶⁷ DIN EN 16247-1

⁶⁸ Hinweis: Sämtliche NIR-Dokumente der EU-Staaten können über das Portal „Eionet“ der EEA bezogen werden.

⁶⁹ CRF = Common Reporting Framework

Gemäß dem 2017er Bericht wurden in Deutschland im Jahr 2015 rund 902 Millionen Tonnen Treibhausgase emittiert (vgl. Tabelle 2). Durch Aufforstungseffekte reduziert sich die Gesamtmenge rechnerisch auf rund 887 Mio. t CO₂e.

CFR-Code	Bezeichnung	Relevanz [%]	2015 [Mio. t CO ₂ e]
I	Direkte Emissionen des Energiesektors	84,5 %	762,2
A	Energiewandlung	83,3 %	751,5
	1 Energiewirtschaft	37,2 %	335,4
	2 Industrie	14,1 %	127,1
	3 Verkehr	17,8 %	160,8
	a Luftverkehr (national)	0,2 %	2,2
	b Straßenverkehr	17,1 %	154,6
	c Schienenverkehr	0,1 %	0,9
	d Schiffsverkehr (national)	0,2 %	1,8
	e Sonstige (Rohrleitungen etc.)	0,1 %	1,2
	4 Weitere Bereiche	14,1 %	127,3
	a Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	3,8 %	34,6
	b Haushalte	9,6 %	86,4
	c Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei	0,7 %	6,3
	5 Sonstige	0,1 %	1,0
B	Flüchtige Gase aus Transport und Speicherung	1,2 %	10,7
	1 Festbrennstoffe	0,4 %	3,8
	2 Flüssig- und Gasbrennstoffe	0,8 %	6,9
C	CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung	0,0 %	0,0
2	Direkte Emissionen der Industrie	6,8 %	61,5
3	Direkte Emissionen der Landwirtschaft	7,4 %	67,0
4	Direkte Emissionen der Forstwirtschaft und Landnutzung	-	- 14,6
5	Direkte Emissionen der Abfallbehandlung	1,2 %	11,2
6	Sonstige	0,0 %	0,0
Σ	Bruttoemissionen (ohne Forstwirtschaft/ Landnutzung)	100 %	901,9
Σ	Nettoemissionen (mit Forstwirtschaft/ Landnutzung)	-	887,4

Tabelle 2: THG-Emissionen in Deutschland nach Quellgruppen im Jahr 2015⁷⁰

⁷⁰ eigene Darstellung auf Basis von NIR 2014

Mit rund 37 % hat die Energiewirtschaft den höchsten Anteil an den Gesamtemissionen Deutschlands. An zweiter Stelle folgt der Verkehrssektor mit rund 18 %. Allerdings liegen einige methodische Begrenzungen bei Anwendung der NIR-Systematik vor, so dass die Relevanz des Verkehrssektors in Realität höher ist, als gegenwärtig in der amtlichen Statistik berichtet wird.

Der Begriff Quellgruppe ist in Abgrenzung zum Begriff Verursacher/ Nachfrager zu verstehen. Emissionen, die z. B. mit der Stromproduktion einhergehen, werden grundsätzlich der Energiewirtschaft zugeordnet. Nur die übrigen Energieträger, d. h. Fest-, Flüssig- oder Gasbrennstoffe, werden den weiteren Quellgruppen zugeordnet (vgl. Nationaler Inventarbericht 2014⁷¹). Dies führt zu einigen Besonderheiten. THG-Emissionen des Schienenverkehrs (CRF-Code: 1.A.3.c) beziehen sich z. B. ausschließlich auf den Energieverbrauch der Diesel-Lokomotiven. Lokomotiven mit E-Traktion sind, gemäß der CRF-Systematik, keine Quelle für THG-Emissionen. Gleiches gilt für die Elektromobilität im Straßengüterverkehr (CRF-Code: 1.A.3.b). Für den Gebäudesektor (CRF-Code: 1.A.4.a und 1.A.4.b) gilt analog: In der amtlichen Statistik werden Emissionen aus Verbrennungsprozessen berücksichtigt (z. B. Heizöl), aber keine strombedingten Emissionen.

Zudem geben die internationalen Regeln zur Erstellung eines NIR vor, beim Luft- und Schiffsverkehr nur Aktivitäten mit Start und Ziel des betreffenden Landes zu berücksichtigen (Binnen- und küstennahe Verkehre). Emissionen, die auf internationalen Gewässern oder im internationalen Luftraum entstehen, werden nicht berichtet.

Im Übrigen reflektieren die THG-Emissionen ausschließlich die Tank-to-Wheel-Emissionen (vgl. Unterabschnitt 2.3.2). Vorgelagerte THG-Emissionen (Well-to-Tank), die z. B. mit der Raffination von Kraftstoffen verbunden sind, werden nicht abgebildet. Aufgrund genannter Defizite wird im Rahmen der weiteren Analyse der Energieverbrauch näher betrachtet und zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Relevanz der Logistik für den Ausstoß von Treibhausgasen herangezogen.

2.2.2 Energieverbrauch der Logistik und Entwicklungen

Energieverbrauch und THG-Emissionen stehen in einem kausalen Zusammenhang (vgl. Unterabschnitt 2.3.4). Daher ist es wissenschaftlich vertretbar, eine Abschätzung zur CO₂e-Relevanz der Logistikbranche auf Basis des Energieverbrauchs abzuleiten. Dies ist das definierte Ziel des folgenden Abschnitts. Die amtliche Statistik zum Energieverbrauch sowie darauf aufbauende Analysen sind vergleichsweise umfangreicher und aufschlussreicher als die Statistik bzw. Studien zur Entstehung von THG-Emissionen. Für diese Ausarbeitung sind dabei folgende Quellen von Bedeutung:

- Allgemeine Quellen-/ Senkenstatistik der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V.,
- Aufteilung zwischen Personen- und Güterverkehr auf der Straße gemäß der Statistik „Verkehr in Zahlen“ des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung e. V.,
- Aufteilung des Energieverbrauchs der Quellegruppe Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) gemäß der Methode des Fraunhofer ISI und

⁷¹ UBA 2014

- verkehrsstatistische Daten aus der Studie „Daten zum Verkehr“ des Umweltbundesamts zum Schienengüterverkehr und zur Binnenschifffahrt.

Diese Quellen werden nachfolgend näher vorgestellt. Dies erfolgt einheitlich für das Jahr 2013 (aktuellster gemeinsamer Nenner aller Quellen).

Endenergieverbrauch des Verkehrssektors

Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) veröffentlicht einmal pro Jahr eine Detailanalyse zu den Quellen und Senken des Energieverbrauchs in Deutschland.⁷² In Bezug auf den Energieverbrauch des Verkehrssektors wird zwischen vier Verkehrsträgern (Senken) differenziert: Schienenverkehr, Straßenverkehr, Luftverkehr und Seeverkehr. Die für den Verkehrssektor relevanten Energieträger (Quellen), die differenziert werden, sind: Mineralöl, Erdgas, Biomasse und elektrischer Strom. Eine Differenzierung zwischen Personen- und Güterverkehr liegt nicht vor. In Tabelle 3 ist dargestellt, wie sich der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in 2013 im Einzelnen aufteilt (entsprechend den verkauften Energiemengen, sprich: Energieabsatzbilanz).

Differenzierte Verkehrsträger der Energiebilanz Deutschland 2013	Mineralölverbrauch [TJ/a]	Erdgasverbrauch [TJ/a]	Biomasseverbrauch [TJ/a]	Verbrauch elektrischer Strom [TJ/a]	Endenergieverbrauch [TJ/a]	Endenergieverbrauch, in [TWh/a]	Energetische Relevanz der Verkehrsträger [%]
Schienenverkehr	13.771	0	828	42.786	57.385	15,9	2,2 %
Straßenverkehr	2.047.864	7.389	111.765	360	2.167.377	602,0	83,0 %
Luftverkehr	375.166	0	0	0	375.166	104,2	14,4 %
Seeverkehr	11.635	0	0	0	11.635	3,2	0,4 %
Gesamt	2.448.436	7.389	112.593	43.146	2.611.563	725,4	100,0 %

Tabelle 3: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in Deutschland 2013⁷³

2013 betrug der Gesamtenergieverbrauch des Verkehrssektors 2.611.563 Terajoule (TJ) bzw. 725,4 Terawattstunden (TWh).⁷⁴ Mit rund 83 % hat der Straßenverkehr eine hohe Relevanz. Ebenso ist der Luftverkehr mit 14,4 % bedeutsam (inkl. internationaler Verkehrsströme und entsprechender Kerosinverkäufe).

Insgesamt ist festzuhalten, dass alle Verkehrsträger gegenwärtig fossiles Mineralöl benötigen. Im Bereich des Schienen- und des Straßenverkehrs zeigt sich, dass auch Biokraftstoffe zum Einsatz kommen. In Bezug auf den Mineralölverbrauch lassen sich Biokraftstoffanteile berechnen (Straße: 5,18 % und Schiene: 5,67 %). Die durch AGEB ermittelten Daten finden u. a. Berücksichtigung in der Statistik „Verkehr in Zahlen“⁷⁵, die ebenfalls einmal pro Jahr

⁷² AGEB 2017

⁷³ eigene Darstellung auf Basis von AGEB 2017

⁷⁴ 1 TJ entspricht in etwa 278 MWh

⁷⁵ DIW 2015

veröffentlicht wird und sich für eine verkehrsträgerspezifische Analyse der Verbrauchsentwicklungen eignet (vgl. Tabelle 4). Die Statistik „Verkehr in Zahlen“ stellt gegenüber der Statistik der AGEB eine Erweiterung dar, da für den Straßenverkehr nach einer eigenen Methode zwischen Personen- und Güterverkehr unterschieden wird. 2013 wurden 68 % des Energieverbrauchs im Straßenverkehr durch den Personenverkehr und 32 % durch den Güterverkehr hervorgerufen. Im Zeitraum 2007 bis 2013 war das durchschnittliche Verhältnis für den Straßenverkehr: 69 % Personenverkehr und 31 % Güterverkehr.

Verkehrsträger	Endenergiebedarf, gerundet [TWh/a]							
	1991	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Schieneverkehr	25	21	21	20	21	21	16	16
Straßenverkehr	588	595	586	580	586	592	588	602
<i>Personenverkehr</i>	431	406	405	406	408	412	408	412
<i>Güterverkehr</i>	157	189	181	174	178	180	180	190
Luftverkehr	53	104	105	102	101	96	103	104
Seeverkehr	8	2	2	3	3	4	3	3
Gesamtverkehr	674	722	714	705	711	713	710	725
<i>Gesamter Endenergieverbrauch in Deutschland</i>	2.602	2.443	2.544	2.407	2.586	2.467	2.478	2.567
<i>Anteil Verkehr an Gesamtendenergieverbrauch [%]</i>	26 %	30 %	28 %	29 %	27 %	29 %	29 %	28 %

Tabelle 4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors in Deutschland (2007–2013)⁷⁶

Die Statistik „Verkehr in Zahlen“ ermöglicht einen Rückblick bis zum Jahr 1991. Erst in der langfristigen Betrachtung sind signifikante Änderungen zu erkennen (z. B. Straßengüterverkehr, Luftverkehr). Im Zeitraum 1991 bis 2013 stieg der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors von 674,4 TWh/a auf 725,6 TWh/a um etwa 7,6 % an. Gemäß dieser Statistik hat der Verkehrssektor in Deutschland eine Relevanz von ca. 30 % („Energieabsatzbilanz“, inkl. internationaler Verkehrsströme).

Endenergieverbrauch von Logistikimmobilien

Die Darstellung des Endenergieverbrauchs von Logistikimmobilien in Deutschland ist aufgrund einer eingeschränkten Datenbasis schwierig. Die amtliche Statistik stellt für den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), zu dem Logistikimmobilien zählen, nur aggregierte Kennzahlen bereit. Um dennoch eine Aussage für die energetische Relevanz von Lager- und Logistikimmobilien treffen zu können, bedarf es zusätzlicher Verfahren.

⁷⁶ eigene Darstellung auf Basis von DIW 2015, S. 297

Einen wissenschaftlichen Ansatz zur Aufteilung der GHD-Energieverbräuche hat das Forschungsinstitut Fraunhofer ISI aus Karlsruhe entwickelt. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde ein dynamisches Verfahren entwickelt, das eine Aufteilung auf Basis der Erwerbstätigenstatistik ermöglicht.⁷⁷ Bevor nun die Ergebnisse im Einzelnen präsentiert werden, wird das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Hochrechnungsverfahren kurz vorgestellt.

Das statistische Bundesamt definiert u. a. für die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung eine Klassifikation der Wirtschaftszweige. Die aktuellste Version ist aus dem Jahr 2008 (kurz: WZ 2008). Auf Basis dieser Klassifizierung definierte das Fraunhofer ISI 14 Gruppen für den GHD-Sektor. Teilweise können für einzelne Gruppen noch Untergruppen (sogenannte Splits) differenziert werden. Für die meisten Gruppen und Splits beruht das Verfahren auf Basis der Erwerbstätigenstruktur. Für einige Untergruppen bzw. Splits kommen auch andere Bezugseinheiten zur Anwendung (z. B. Anzahl Studenten für die Untergruppe Universitäten).

Im Verfahren werden spezifische Energieverbrauchskennzahlen verwendet, die im Rahmen einer Breitenerhebung ermittelt wurden und eine kontinuierliche Aktualisierung erfahren sollen. Differenziert werden dabei folgende Kennzahlen:

- der Stromverbrauch je Erwerbstätigem,
- der Brennstoff-/ Fernwärmeverbrauch je Erwerbstätigem und
- der Kraftstoffverbrauch je Erwerbstätigem.

Unter Zuhilfenahme weiterer Korrekturfaktoren (z. B. Jahresdurchschnittstemperatur, Anzahl der Heiztage) erfolgt abschließend eine Hochrechnung zum Endenergieverbrauch einzelner Gruppen. In Tabelle 5 ist das Ergebnis der Hochrechnung für das Jahr 2013 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Gruppe „Büroähnliche Betriebe“, zu denen z. B. Banken und Versicherungen zählen, mit ca. 26 % die größte Relevanz hat. Weitere wichtige Gruppen bzw. Splits sind Hotels und Gaststätten (16,3 %), die Filialen des Einzelhandels (12,1 %), Krankenhäuser/Schulen/Bäder (10,8 %) oder Landwirtschaftsbetriebe (10,1 %).

Insgesamt zeigt sich im GHD-Sektor eine hohe Relevanz des Brennstoff- und Fernwärmebedarfs. Mit 241,9 TWh pro Jahr beträgt der Anteil am Endenergieverbrauch des GHD-Sektors rund 61 %. Der Stromverbrauch hat einen Anteil von rund 33 % und der Kraftstoffbedarf, der hauptsächlich durch Immobilien der Landwirtschaft hervorgerufen wird (z. B. Dieseltanks für Landmaschinen), einen Anteil von rund 6 %.

Nach WZ 2008 ist „Spedition und Lagerei“ als Klasse definiert, die den Betrieb von Lagereinrichtungen für alle Arten von Gütern und den Prozess des Schockgefrierens umfasst.⁷⁸ Als Beispiele für Lagereinrichtungen dieser Klasse werden genannt: Kühlhäuser, Getreidesilos, Lagerhäuser, Lagertanks sowie Freilager.⁷⁹

Auch Großhandelsbetriebe müssen als Logistikimmobilien verstanden werden.⁸⁰ Dies legt die entsprechende WZ-2008-Definition nahe: „Die Tätigkeit von Großhändlern besteht in der Regel darin, Waren in großen Mengen zusammenzustellen, zu sortieren und zu klassieren,

⁷⁷ ISI 2015

⁷⁸ Relevante WZ-2008-Klasse: 52.1

⁷⁹ WZ 2008, S. 412

⁸⁰ Relevante WZ-2008-Klassen: 46.2-46.9

auszupacken, umzupacken und in kleineren Mengen weiter zu verteilen (z. B. Arzneimittel), Waren zu lagern, zu kühlen, auszuliefern und aufzustellen, für ihre Kunden Werbung zu betreiben und Etiketten zu gestalten.“⁸¹

Split des GHD-Sektors in 2013 (nach WZ 2008)	Strom [TWh/a]	Brennstoffe/ Fernwärme [TWh/a]	Kraftstoffe [TWh/a]	Summe [TWh/a]	Relativer Anteil am GHD-Sektor [%]
Baugewerbe	3,8	10,9	2,5	17,2	4,3 %
Büroähnliche Betriebe (davon Bahnhöfe DB)	29,5 (0,7)	74,0 (1,1)	0	103,5 (1,8)	26,1 %
Herstellungsbetriebe (< 20 Mitarbeiter)	3,9	8,0	0	12,0	3,0 %
Einzelhandel	17,5	30,4	0	47,8	12,1 %
Großhandel	5,0	10,2	0	15,2	3,8 %
Krankenhäuser, Schulen und Bäder	11,3	31,4	0	42,8	10,8 %
Hotels und Gaststätten	18,5	46,1	0	64,7	16,3 %
Nahrungsmittelgewerbe	0,9	1,4	0	2,2	0,6 %
Wäschereien	0,3	0,5	0	0,8	0,2 %
Landwirtschaft	4,3	17,1	18,6	40,0	10,1 %
Gartenbau	0,4	1,5	0	1,9	0,5 %
Flughäfen	1,3	1,5	0,7	3,5	0,9 %
Textil	0,1	0,4	0	0,5	0,1 %
Spedition und Lagerei	1,0	4,0	0	5,0	1,3 %
Kühlhäuser	1,2	0,0	0	1,2	0,3 %
Übrige	31,5	4,7	2,0	38,2	9,6 %
Gesamtenergieverbrauch des GHD-Sektors	130,6	241,9	23,9	396,4	100 %

Tabelle 5: Aufteilung des Energieverbrauchs des GHD-Sektors auf Untergruppen/ Splits⁸²

Die Systematisierung nach ISI 2015⁸³ weist gegenüber den WZ-2008-Definitionen den Unterschied auf, dass Kühlhäuser als gesonderte Klasse ausgewiesen sind (losgelöst aus der Klasse Spedition und Lagerung). Außerdem wird nach ISI die Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr (z. B. Frachtumschlag in Bahnterminals) zur Gruppe Spedition und Lagerei hinzugerechnet⁸⁴, die nach WZ 2008 eine eigene Klasse bilden.

⁸¹ WZ 2008, S. 360

⁸² eigene Darstellung auf Basis von ISI 2015, S. 43, S. 47, S. 49, S. 51

⁸³ ISI 2015, S. 6

⁸⁴ Die relevante WZ-2008-Klasse ist 52.2. Gemäß Tabelle 1-1 der ISI-2015-Studie ist diese Klasse dem Split Spedition und Lagerei zugeordnet.

Die ISI-2015-Hochrechnung kommt für die drei relevanten Gruppen bzw. Splits zu dem Ergebnis, dass 2013 rund 15,2 TWh pro Jahr durch den Großhandel, rund 5,0 TWh pro Jahr durch Spedition und Lagerei und rund 1,2 TWh pro Jahr durch Kühllhäuser hervorgerufen werden. Der Gesamtendenergieverbrauch von Logistikimmobilien in Deutschland entspricht damit einem Wert von rund 21,4 TWh pro Jahr.⁸⁵ Bezogen auf den Gesamtendenergieverbrauch des GHD-Sektors haben Logistikimmobilien somit eine Relevanz von ca. 5,5 %.

Mit Bezug auf die in Abschnitt 2.1 genannte Zahl von 330 Mio. m² Logistikfläche in Deutschland resultiert aus der Betrachtung eine Energiekennzahl von rund 64,85 kWh je m². In der EnEV (vgl. Abschnitt 3.3) wird für Logistikimmobilien eine Vorgabe für Neubauten in Höhe von 30 bis 35 kWh je m² gemacht. Dieser Wert bezieht sich allerdings nur auf die Gebäudetechnik und nicht auf fördertechnische Elemente oder EDV- und IT-Systeme. Zu beachten ist außerdem, dass die EnEV-Werte strategischen Charakters sind und den neusten Stand der Gebäudetechnik reflektieren.

Gesamtbetrachtung Energieverbrauch des Logistiksektors in Deutschland

Die vorgenommenen Analysen für den Verkehrssektor sowie für Logistikimmobilien werden nun zusammengeführt, um eine Gesamtbetrachtung zum Logistiksektor zu erarbeiten. In Bezug auf den Transportbereich ist eine weitergehende Aufteilung zwischen Personen- und Güterverkehr erforderlich (mit Ausnahme des Straßenverkehrs, hier können die Werte aus der „Verkehr in Zahlen“-Statistik verwendet werden). Für die weitere Aufteilung wird die Studie „Daten zum Verkehr“ des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2012 verwendet (vgl. Tabelle 6). Es wird davon ausgegangen, dass die spezifischen Anteile des Jahres 2010 auf das Jahr 2013 übertragbar sind und dass die Anteile des Primärenergiebedarfs auch für den Endenergiebedarf gelten.

Verkehrsart	Güterverkehr 2010 [Mrd. MJ/a]	Personenverkehr 2010 [Mrd. MJ/a]	Gesamtverkehr 2010 [Mrd. MJ/a]
Straßenverkehr (Anteil)	732,0 (28,5 %)	1.837,3 (71,5 %)	2.569,3 (100 %)
Luftverkehr, national (Anteil)	112,0 (27,1 %)	301,8 (72,9 %)	413,8 (100 %)
Schienenverkehr (Anteil)	41,6 (27,9 %)	107,7 (72,1 %)	149,3 (100 %)
Binnenschifffahrt und Seeschifffahrt, national (Anteil)	28,9 (100 %)	-	28,9 (100 %)

Tabelle 6: Aufteilung des Primärenergiebedarfs im Jahr 2010 nach Verkehrsarten⁸⁶

Für das Jahr 2010 kommt die UBA-Studie zu dem Ergebnis, dass 27,9 % des Energieverbrauchs des Schienenverkehrs auf den Schienengüterverkehr und rund 27,1 % des Energieverbrauchs des Luftverkehrs auf den Luftfrachtverkehr zurückzuführen ist. Im Weiteren liegt der Studie die Vereinfachung zugrunde, dass der Energieverbrauch der Binnenschifffahrt zu 100 % dem Güterverkehr zugeordnet werden kann.

⁸⁵ ISI 2015, S. 51

⁸⁶ eigene Darstellung auf Basis von UBA 2012, S. 12 und S. 30

Um zu einer Gesamtsicht zu gelangen, müssen noch die Energieverbräuche von Bahnhöfen der Deutschen Bahn und von deutschen Flughäfen berücksichtigt werden. Die Energieverbräuche von Bahnhöfen können dem Personenverkehr vollständig zugeordnet werden. Bei den Flughäfen ist eine weitere Aufteilung erforderlich. Hier beziehen sich die ISI-Angaben zu den Verbräuchen auf das Passagier- und Frachtaufkommen.⁸⁷ Zur weiteren Aufteilung werden die luftverkehrsbezogenen Verhältnisse der UBA-Studie verwendet. Tabelle 7 stellt das Ergebnis der Zusammenführung der verschiedenen Datenquellen dar.

	Energieverbrauch des Verkehrssektors (inkl. Standorte)	Endenergie Güterverkehr 2013 [TWh/a]	Endenergie Personenverkehr 2013 [TWh/a]	Endenergie Gesamtverkehr 2013 [TWh/a]	Anmerkungen zu den Quellen
Transporte	Schienenverkehr	4,4	11,5	15,9	<i>Energieverbräuche nach DIW 2015, Aufteilung nach UBA 2012</i>
	Straßenverkehr	189,7	412,4	602,1	<i>Energieverbräuche nach DIW 2015</i>
	Luftverkehr (national)	28,2	76,0	104,2	<i>Energieverbräuche nach DIW 2015, Aufteilung nach UBA 2012</i>
	Binnenschifffahrt und Seeverkehr (national)	3,2	-	3,2	<i>Energieverbräuche nach DIW 2015, Aufteilung nach UBA 2012</i>
Standorte	Logistikimmobilien/ Terminals	21,4	-	21,4	<i>Energieverbräuche nach ISI 2015</i>
	Flughäfen	1,0	2,5	3,5	<i>Energieverbräuche nach ISI 2015, Aufteilung nach UBA 2012</i>
	Bahnhöfe der Deutsche Bahn AG	-	1,8	1,8	<i>Energieverbräuche nach ISI 2015</i>
	Gesamt	247,9	504,2	752,1	

Tabelle 7: Aufteilung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors in Deutschland 2013 (inkl. Standorte)⁸⁸

Der Ansatz, den Endenergieverbrauch des Güterverkehrssektors möglichst ganzheitlich abzubilden, d. h. unter Berücksichtigung der mit Standorten verbundenen Energieverbräuche, führt 2013 zu einem Gesamtergebnis von rund 248 TWh. Auf den Personenverkehr fallen mit rund 504 TWh etwa doppelt so viele Terawattstunden.

Weiterhin ergibt sich aus diesen Zahlen eine Relevanz des Logistiksektors für den Gesamtenergieverbrauch in Deutschland von rund 9 Prozent. Die spezifische Relevanz der Logistikstandorte gegenüber Transporten beträgt ebenfalls 9 Prozent. Beide Werte können näherungsweise herangezogen werden, um die Relevanz der Logistik für die Entstehung von THG-Emissionen in Deutschland zu beschreiben, wie eingangs bereits geschildert wurde. Das

⁸⁷ ISI 2015, S. 25

⁸⁸ eigene Darstellung auf Basis von DIW 2015, UBA 2012, ISI 2015

Ergebnis verdeutlicht dabei die Bedeutung der ganzheitlichen Systembetrachtung von Transporten und Standorten: Nahezu jede zehnte THG-Emission von Logistikketten entsteht durch Logistikimmobilien.

Aufgrund der Vielzahl verwendeter Annahmen sowie der Tatsache, dass die Ergebnisse der Fraunhofer-ISI-Untersuchung eine Hochrechnung auf Basis der Erwerbstätigenstatistik darstellen, sollte die energetische und klimapolitische Einordnung der Logistikimmobilien als erste Indikation verstanden werden. Eine nähergehende und vertiefende Untersuchung wäre ein sinnvoller Folgeschritt, um die Aussagegenauigkeit weiter zu erhöhen.

2.3 Bewertungsmethoden für Treibhausgas-Emissionen

Die Bewertung von Treibhausgasen, die durch logistische Aktivitäten hervorgerufen werden, kann auf Basis unterschiedlicher Normen und Standards erfolgen. Es besteht eine wesentliche Abhängigkeit zur Untersuchungsfrage, welcher Standard geeignet und anzuwenden ist. Da es in dieser Ausarbeitung um die methodische Weiterentwicklung bestehender Standards geht, werden die nachfolgenden Grundlagen vergleichsweise ausführlich dargestellt.

2.3.1 Grundprinzipien der ökologischen Bewertung

Die Entscheidung, eine ökologische Bewertung durchzuführen, kann unterschiedlich motiviert sein. Unternehmen, die sich Umweltschutzziele gesetzt haben, sind z. B. daran interessiert, ökologische Schwachstellen im System zu identifizieren und nach Verbesserungspotenzialen zu suchen. Ebenso haben solche Unternehmen typischerweise ein Interesse daran, Umweltkriterien bei Einkaufs- und Vertriebsentscheidungen einfließen zu lassen. Eine ökologische Bewertung stellt also eine Entscheidungshilfe für Unternehmen dar. Daher müssen die Ergebnisse eine hohe Güte aufweisen und glaubwürdig sein.

Im Sinne von Qualitätskriterien hat das Treibhausgas-Protokoll (kurz: THG-Protokoll, weitere Ausführungen folgen hierzu noch) fünf Prinzipien definiert, an denen ökologische Bewertungen ausgerichtet sein sollten. Diese sind:⁸⁹

- Relevanz,
- Vollständigkeit,
- Konsistenz,
- Transparenz,
- Genauigkeit.

Das Kriterium der Relevanz stellt, gemäß dem THG-Protokoll, die Anforderung an eine Bewertung, dass der Umfang der Bewertung auf die Anforderungen der Untersuchungsfrage ausgerichtet ist. Zur Vollständigkeit heißt es, dass innerhalb des gewählten Bewertungsumfangs sämtliche Emissionsquellen und Aktivitäten zu bewerten sind. Das Kriterium der Konsistenz hat für wiederkehrende Bilanzen eine hohe Bedeutung. Bei der Ausweisung von Veränderungen zwischen zwei Bilanzen, die sich auf zwei unterschiedliche Zeiträume beziehen, ist darauf zu achten, dass die Bilanzen nach denselben Regeln erstellt

⁸⁹ WRI und WBCSD 2004, S. 7

wurden. Bezüglich Transparenz heißt es weiter, dass verwendete Datenquellen, Methoden und ggf. getroffene Annahmen nachvollziehbar zu protokollieren sind. Schlussendlich geht mit dem Kriterium der Genauigkeit die Anforderung einher, dass die Berechnungsergebnisse die Realität möglichst exakt darstellen und Unsicherheiten bei der Bilanzerstellung zu minimieren sind.⁹⁰

Für die Praxis und unternehmerische Realität ist zudem das Kriterium der (wirtschaftlichen) Angemessenheit relevant. Bei der Erstellung ökologischer Bilanzen sind i. Allg. vielfältige Prozesse zu berücksichtigen. Unter der Zielsetzung einer hohen Genauigkeit stellt es sich i. Allg. als nicht praktikabel dar, jedes Bewertungselement mit gleich hoher Bewertungsgüte zu betrachten (vgl. Unterabschnitt 2.3.4, Anforderungen an den Datenbedarf). Herausforderungen ergeben sich einerseits hinsichtlich der Datenverfügbarkeit. Andererseits ist es im Hinblick auf das Berechnungsergebnis teilweise nicht sinnvoll oder relevant, Prozesse in der „maximal erreichbaren“ Genauigkeit abzubilden. Weiterhin ist es bei der Festlegung von Systemgrenzen üblich, Abschneideregeln anzuwenden. Nach Klöpffer und Grahl heißt es, dass oft alle Elemente, die eine Relevanz⁹¹ von weniger als 1 % an dem Produkt oder der Dienstleistung haben, aus Gründen der Angemessenheit nicht betrachtet werden müssen. Es empfiehlt sich dabei in Summe nicht mehr als 5 % zu vernachlässigen. So kann ein guter Kompromiss zwischen Genauigkeit und Angemessenheit erreicht werden.⁹²

2.3.2 Normen und Standards der ökologischen Bewertung

Mehrere Normen und Standards der ökologischen Bewertung haben eine Bewandnis für die folgende Methodenentwicklung. In diesem Abschnitt werden die relevanten Zusammenhänge und Begrifflichkeiten aus diesem Themenbereich präsentiert.

DIN ISO 14040/44 und DIN ISO/TS 14067

In einer historischen Betrachtung lässt sich die ISO-Rahmennorm 14040⁹³ als übergeordnete und grundlegende Basis für unterschiedliche Normen und Standards der ökologischen Bewertung zitieren, wie in Dobers 2011⁹⁴ dargelegt wurde. Die 1997 veröffentlichte und letztmalig im Jahr 2009 aktualisierte Normenreihe⁹⁵ definiert Grundsätze, Rahmenbedingungen und Anforderungen an eine Ökobilanz (engl. life cycle assessment, LCA).

Die Ökobilanz ist eine Methode der ökologischen Bewertung. „[Sie] bezieht sich auf die Umweltaspekte und potenziellen Umweltwirkungen (z. B. Nutzung von Ressourcen und die Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d. h. „von der Wiege bis zur Bahre“).⁹⁶ Primäres Ziel ist es, „[...] Möglichkeiten zur

⁹⁰ WRI und WBCSD 2004, S. 7

⁹¹ Die Relevanz kann über den massebezogenen, energetischen oder umweltbezogenen Anteil ermittelt werden.

⁹² Klöpffer und Grahl 2009, S. 31

⁹³ DIN ISO 14040 und DIN ISO 14044

⁹⁴ Dobers 2011, S. 12

⁹⁵ Im Rahmen der Aktualisierung im Jahr 2009 wurden die Inhalte der Normen 14041, 14042 und 14043 in der Norm 14044 neu zusammengestellt und durch diese substituiert. Eine ISO-konforme Ökobilanz basiert folglich auf den Standards ISO 14040 und ISO 14044. Dies wird in der Ausarbeitung mit DIN ISO 14040 f. gekennzeichnet.

⁹⁶ DIN ISO 14040, S. 4

Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges“ aufzuzeigen.⁹⁷ Der Begriff des Produkts umfasst dabei auch explizit Dienstleistungen.⁹⁸ Mit dem Begriff Umweltaspekt sind einzelne Bestandteile einer Aktivität gemeint, die auf die Umwelt einwirken können. Am Beispiel eines Transports veranschaulicht wäre der Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs ein Umweltaspekt. Umweltaspekte können auf sehr unterschiedliche Weisen wirken (z. B. durch direkte Emissionen in die Luft). Zur Systematisierung der Wirkungsweisen werden daher Wirkungskategorien definiert, die sich an übergeordneten Schutzgütern ausrichten (vgl. Abbildung 6).

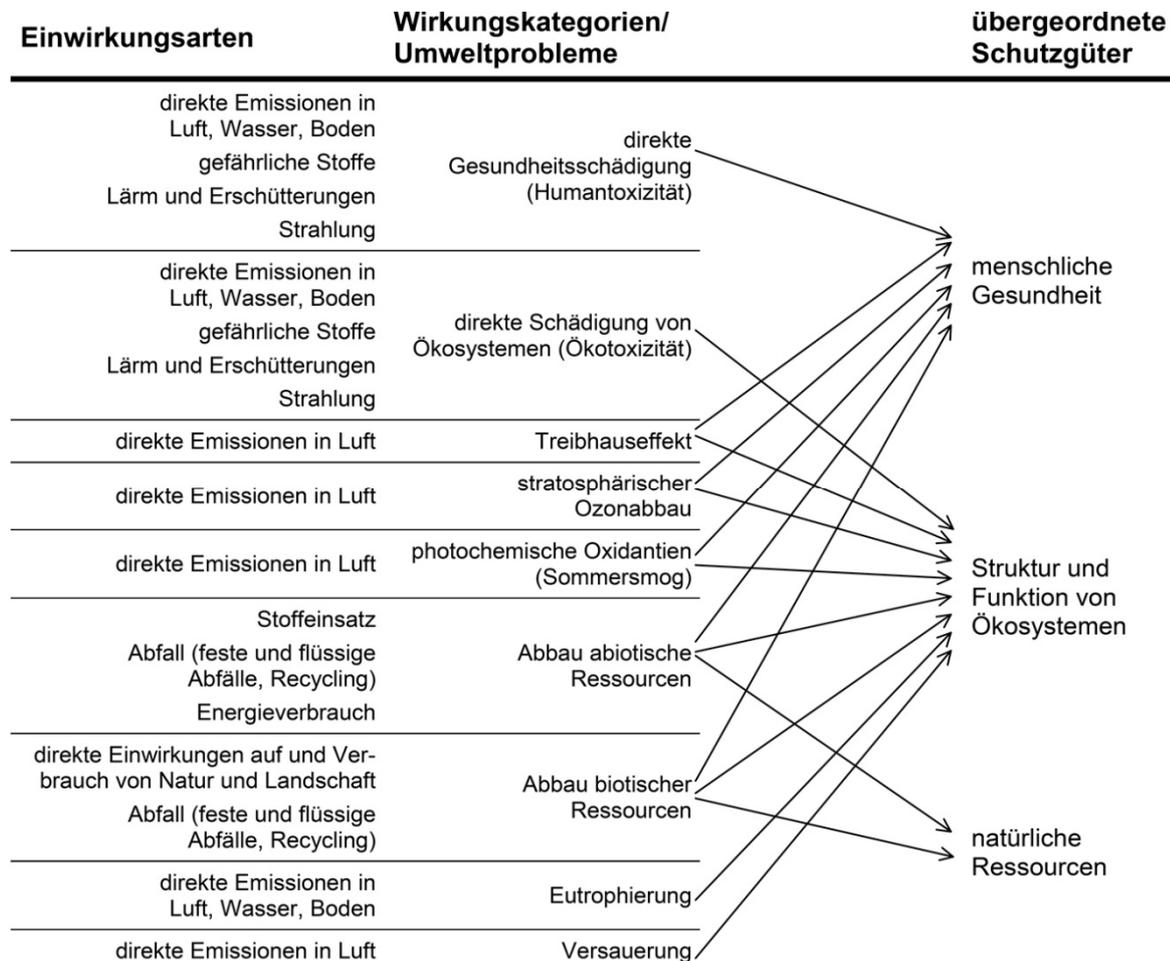


Abbildung 6: Wirkungsarten und -kategorien der ökologischen Bewertung im Überblick⁹⁹

Ökobilanz-Untersuchungen bestehen typischerweise aus vier aufeinanderfolgenden Phasen, nämlich:¹⁰⁰

- der Phase der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens,
- der Sachbilanz-Phase (Quantifizierung von Inputs und Outputs),
- der Phase der Wirkungsabschätzung (in den relevanten Wirkungskategorien) und
- der Phase der Auswertung (Gegenüberstellung/ Vergleich).

⁹⁷ DIN ISO 14040, S. 4

⁹⁸ DIN ISO 14040, S. 8

⁹⁹ Figge et al. 2001, S. 35

¹⁰⁰ DIN ISO 14040, S. 4-5

Eine Ökobilanz, gemäß DIN ISO 14040 f., hat grundsätzlich den Anspruch, Einwirkungen in allen Wirkungskategorien auszuweisen. In der Praxis ist die vergleichende Ökobilanz sehr verbreitet, die auf eine Gegenüberstellung von Entscheidungsalternativen abzielt (z. B. Einweg- vs. Mehrwegverpackung). Werden Ökobilanzergebnisse abschließend durch unabhängige Gutachter im „Critical Review“ geprüft und testiert, lässt sich die Glaubwürdigkeit der Bewertung und darauf aufbauender Entscheidungen insbesondere gegenüber externen Anspruchsgruppen erhöhen.

Wie bereits in Abschnitt 2.2 thematisiert, sind gemäß internationalen Standards für eine Darstellung der Wirkungskategorie Treibhauseffekt CO₂-Äquivalentemissionen zu betrachten. Für die sechs Treibhausgase bzw. Treibhausgasgruppen gemäß Kyoto-Protokoll definiert das IPCC entsprechende Charakterisierungsfaktoren¹⁰¹, die allgemein anerkannt sind. Diese Faktoren basieren u. a. auf Messungen sowie statistischen Modellen und unterliegen daher auch zeitlichen Änderungen. Die aktuellen Faktoren, die verwendet werden sollten, entstammen dem Bericht IPCC 2013 und werden auch als IPCC-2013-Faktoren bezeichnet. Gegenüber den IPCC-2007- bzw. IPCC-2001-Faktoren zeigen sich kleinere Änderungen (vgl. Tabelle 8).

Charakterisierungsfaktoren für ausgewählte Treibhausgase zur Quantifizierung des Treibhausgaspotenzials von Prozessen im Kontext von 100 Jahren	IPCC 2013	IPCC 2007	IPCC 2001
CO ₂ -Emissionen	1	1	1
CH ₄ -Emissionen	28	25	23
N ₂ O-Emissionen	265	298	296
HFC-134a-Emissionen	1.300	1.430	1.300
CF ₄ - (PFC-)Emissionen	6.630	7.390	5.700
SF ₆ -Emissionen	23.500	22.800	22.200

Tabelle 8: IPCC-Charakterisierungsfaktoren für das Treibhauspotenzial in 100 Jahren¹⁰²

Demnach ist Schwefelhexafluorid (SF₆) ein besonders schädliches Treibhausgas. Nach IPCC 2013 entspricht 1 kg SF₆ der Wirkung von rund 23.500 kg CO₂. Bei Ökobilanzen helfen die Faktoren dabei, einen Vergleich und eine Einordnung anhand einer Summenkennzahl vorzunehmen. Die Gesamtmenge der CO₂e-Emissionen (a) berechnet sich z. B. nach IPCC 2013 für eine Menge von CO₂-Emissionen (b), CH₄-Emissionen (c) und N₂O-Emissionen (d) wie folgt (vgl. Formel 1).

Formel 1: Berechnung der CO₂-Äquivalentemissionen mittels Charakterisierungsfaktoren

$$a [kg CO_2e] = 1 * b [kg CO_2] + 28 * c [kg CH_4] + 265 * d [kg N_2O] \dots (+ \text{ggf. weitere})$$

Die DIN ISO/TS 14067¹⁰³ aus dem Jahr 2013 ist eine Norm für die Erstellung einer Lebenszyklus-Treibhausgasbilanz für ein Produkt (engl. carbon footprint of products, CFP). Sie baut auf der DIN ISO 14040 f. auf, erweitert sie in Teilbereichen, beschränkt sich allerdings im Ergebnis

¹⁰¹ engl. characterization factors

¹⁰² eigene Darstellung auf Basis von GHG Institute 2015

¹⁰³ ISO/TS 14067

ausschließlich auf die Wirkungskategorie Treibhausgaseneffekt. Als Beispiel für eine Erweiterung kann u. a. die Integration der in Unterabschnitt 2.3.1 genannten Grundsätze der ökologischen Bewertung genannt werden.

Für die ökologische Bewertung von Produkten oder Dienstleistungen stehen folglich zwei alternative ISO-Normen zur Verfügung. Da eine ökologische Bewertung nach DIN ISO/TS 14067 vergleichsweise einfach und schnell zu erstellen ist, kann sie für Unternehmen als eine sinnvolle Vorstufe für die Durchführung einer vollständigen Ökobilanz verstanden werden.

Greenhouse Gas Protocol Initiative, DIN ISO 14064 und DIN ISO/TR 14069

Im Jahr 2001 wurde durch die Greenhouse Gas Protocol Initiative – einer Multi-Stakeholder-Partnerschaft aus Industrie, Wissenschaft und Behörden, geleitet vom World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) aus der Schweiz und dem World Resources Institute (WRI) aus den USA – erstmalig ein Bewertungsstandard für THG-Emissionen veröffentlicht, der speziell auf Bedürfnisse der Berichterstattung von Unternehmen und Organisationen ausgerichtet ist. Im Unterschied zur Ökobilanz geht es also nicht um einzelne Produkte oder Dienstleistungen, sondern um Unternehmen und Organisationen. Der „Corporate Accounting and Reporting Standard“¹⁰⁴ (dt. THG-Protokoll-Standard) legt Regeln und Grundprinzipien fest, die bei der Erstellung einer Treibhausgasemissionsbilanz für Unternehmen zu beachten sind. Der THG-Protokoll-Standard wird kontinuierlich weiterentwickelt. Im internationalen Sprachgebrauch ist auch der Begriff „corporate carbon footprint“ (CCF) gebräuchlich.

Systematische Bewertung nach Verantwortungsbereichen („Scopes“)

Zentrales Element des THG-Protokoll-Standards ist eine Klassifizierung von unternehmerischen Aktivitäten in sogenannte „Scopes“¹⁰⁵, d. h. Verantwortungsbereiche. Dies wird als wichtig erachtet, da Unternehmen diejenigen Prozesse, die durch eigene Betriebsmittel und Mitarbeiter durchgeführt werden, besser beeinflussen und leichter klimafreundlich gestalten können als externe Prozesse von Dienstleistern oder von Unternehmensbeteiligungen.

Bei einer Emissionsbilanz, die nach dem THG-Protokoll-Standard erstellt wird, wird zunächst eine grundlegende Unterscheidung zwischen direkten Emissionen („Scope-1-Emissionen“) und indirekten Emissionen vorgenommen. Dabei werden die indirekten Emissionen der Energiewandlung in externen Anlagen („Scope-2-Emissionen“), die z. B. Bezug auf die Stromerzeugung in Kraftwerken nehmen, getrennt von allen anderen indirekten Emissionen des Unternehmens („Scope-3-Emissionen“) bewertet und berichtet.

Im allgemeinen Sprachgebrauch sind die Formulierungen „Reporting nach Scope 2“ und „Reporting nach Scope 3“ verbreitet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass entsprechend dem THG-Protokoll-Standard die Berichterstattung von Scope-3-Emissionen fakultativ ist. Mit der Formulierung „Reporting nach Scope 2“ wird also betont, dass lediglich Scope-1 und Scope-2-Emissionen bewertet werden. Im anderen Fall sind neben Scope-1 und Scope-2- auch Scope-3-Emissionen Gegenstand der Bewertung.

Der „Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard“ (im Weiteren: THG-Protokoll-Scope-3-Standard) aus dem Jahr 2011 ergänzt den THG-Protokoll-Standard in

¹⁰⁴ WRI und WBCSD 2004

¹⁰⁵ WRI und WBCSD 2004, S. 25

diesem Punkt.¹⁰⁶ Für den Fall, dass mit einer Unternehmensbilanz auch Scope-3-Emissionen abgebildet werden und diese gemäß den geltenden Anforderungen des THG-Protokoll-Scope-3-Standard- bewertet wurden, sollen Unternehmen die Formulierung „Bericht in Konformität mit dem THG-Protokoll-Standard und dem THG-Protokoll-Scope-3-Standard“ verwenden. In allen anderen Fällen sollte die Formulierung „Bericht in Konformität mit dem THG-Protokoll-Standard“ verwendet werden.¹⁰⁷

Wesentliches Ziel des THG-Protokoll-Scope-3-Standards ist eine Spezifizierung von bilanz-technischen Anforderungen und Regeln zur Berücksichtigung von „Scope-3-Emissionen“. Hierzu zählt u. a. die Unterscheidung von „upstream“ (vorgelagerten) und „downstream“ (nachgelagerten) Scope-3-Emissionen.¹⁰⁸ Beide Begriffe lassen sich im Kontext übergeordneter Wertschöpfungsketten einordnen. Aus der Sicht eines Produktionsunternehmens entspricht „upstream“ in etwa dem Bereich „Einkauf/ Beschaffung“ und „downstream“ in etwa dem Bereich „Vertrieb/ Distribution“. Zu beachten sind zudem definitorische Konventionen: THG-Emissionen, die mit der Verwertung von Produktions- und Transportabfällen zusammenhängen, fallen z. B. per Definition in die Kategorie „upstream“ (vorgelagert). Das Recycling des produzierten Produkts am Ende des Lebenswegs sowie Verpackungsabfälle, die im Nachgang des Verkaufs beim Kunden entstehen (im Sinne produktbezogener Verpackungsabfälle), sind hingegen im Bereich „downstream“ zu berichten.¹⁰⁹

Gemäß einem aktuellen Verständnis zum THG-Protokoll-Standard sind vier Verantwortungsbereiche bei der unternehmensbezogenen Berichterstattung für emittierte Treibhausgase zu bewerten und zu differenzieren, nämlich:

- „Scope 1-Emissionen“:
alle direkten Emissionen eines Unternehmens
- „Scope 2-Emissionen“:
alle indirekten, energiewandlungsbedingten Emissionen eines Unternehmens
- „Scope-3-upstream-Emissionen“:
alle indirekten, sonstigen, vorgelagerten Emissionen eines Unternehmens
- „Scope-3-downstream-Emissionen“:
alle indirekten, sonstigen, nachgelagerten Emissionen eines Unternehmens

2015 wurde durch WRI und WBCSD eine weitere Ergänzung zum THG-Protokoll Standard veröffentlicht. Die „GHG Protocol Scope 2 Guidance“ (im Weiteren: THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie) hat die Formulierung von Regeln zur korrekten Einbindung energiebedingter Emissionen zum Ziel.¹¹⁰ Dabei ist die Perspektive entscheidend (vgl. Abbildung 7). Für Verbraucher oder Unternehmen – dies ist für diese Ausarbeitung relevant – haben energiebedingte Emissionen eine Bewandnis für die Kategorien »Scope 2« (Energiewandlung) und »Scope 3« (Vorkette und Leitungsverluste).

¹⁰⁶ WRI und WBCSD 2011b

¹⁰⁷ WRI und WBCSD 2011b, S. 6 (vgl. Tabelle 1.1: „Report in conformance with the GHG Protocol Corporate Standard“ und „Report in conformance with the GHG Protocol Corporate Standard and the GHG Protocol Scope 3 Standard“)

¹⁰⁸ WRI und WBCSD 2011b, S. 29

¹⁰⁹ WRI und WBCSD 2011b, S. 32

¹¹⁰ WRI und WBCSD 2015

Auf Basis der ursprünglichen Fassung des THG-Protokolls wurde im Jahr 2012 die Normenreihe DIN ISO 14064 veröffentlicht. Sie besteht aus den drei Einzelnormen DIN ISO 14064-1, DIN ISO 14064-2, DIN ISO 14064-3¹¹¹ und hat zum Ziel, die Inhalte und Anforderungen des THG-Protokolls in der Form zu konkretisieren, dass eine externe Prüfung und Zertifizierung möglich ist. Inhaltlich sind die Unterschiede zwischen THG-Protokoll und der Normenreihe DIN ISO 14064 f. als gering zu bewerten.

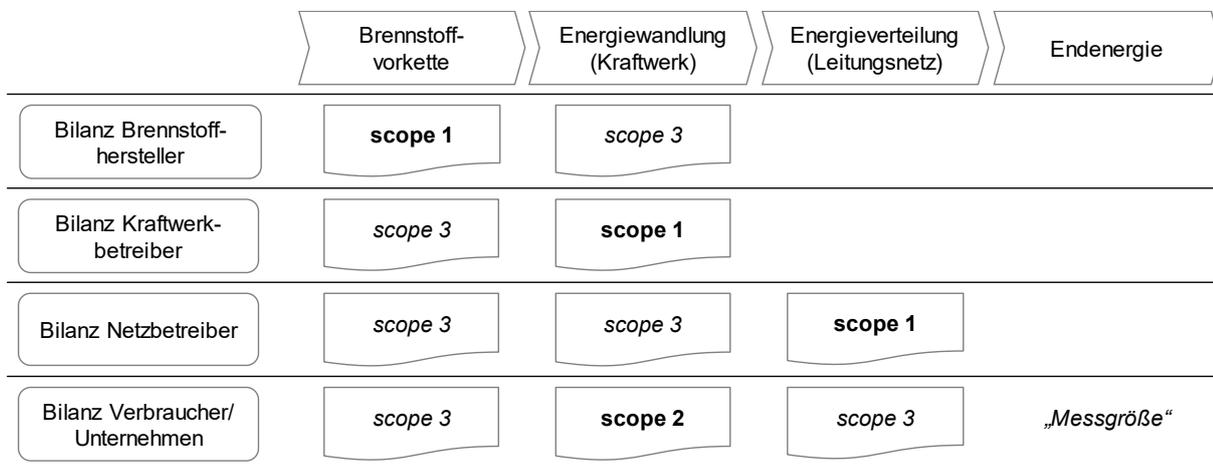


Abbildung 7: Bilanzierung energiebedingter Emissionen gemäß THG-Protokoll¹¹²

Nicht nur Normen sondern auch Fachberichte (engl. technical reports, TR) werden durch die ISO veröffentlicht. Ein Jahr nach Veröffentlichung der DIN ISO 14064 f. wurde im Jahr 2013 die DIN ISO/TR 14069¹¹³ publiziert. Inhaltlich baut dieser Fachbericht auf dem THG-Protokoll-Standard sowie dem THG-Protokoll-Scope-3-Standard auf. Im Unterschied zur DIN ISO 14064 f. und dem THG-Protokoll-Scope-3-Standard wird der Fokus verstärkt auf die Veranschaulichung von Regeln und Zusammenhängen durch Beispiele gelegt. Die DIN ISO/TR 14069 ist für diese Ausarbeitung ein zentrales Dokument, da ein strukturiertes Vorgehensmodell zur Umsetzung des THG-Protokolls bzw. der DIN ISO 14064 beschrieben wird, dem 23 einzelne Berichtskategorien zugrunde liegen (relevant für Abschnitt 4.5, THG-Bilanzierung). Zudem sind in DIN ISO/TR 14069 konkrete Empfehlungen an die Dokumentation von Ergebnissen formuliert (relevant für Abschnitt 4.7, Deklaration).¹¹⁴ Wesentlich ist, dass nach DIN ISO/TR 14069 die Ergebnisdeklaration auch eine Abschätzung des möglichen parameterbedingten Berechnungsfehlers umfassen sollte. Statistische Grundlagen hierzu werden in Unterabschnitt 2.3.3 vorgestellt.

Europäische Norm für Transportdienstleistungen DIN EN 16258

Im Jahr 2013 wurde die europäische Norm DIN EN 16258¹¹⁵ mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)“ veröffentlicht. Im übergeordneten

¹¹¹ DIN ISO 14064-1 (Anleitung zur Erstellung von THG-Bilanzen auf Organisationsebene), DIN ISO 14064-2 (Anleitung zur Umsetzung von THG-Minderungsstrategien auf Projektebene), DIN ISO 14064-3 (Anleitung zur Validierung und Verifizierung von THG-Bilanzen), im Weiteren referenziert als DIN ISO 14064 f.

¹¹² eigene Darstellung auf Basis von WRI und WBCSD 2015, S. 97

¹¹³ DIN ISO/TR 14069

¹¹⁴ DIN ISO/TR 14069, S. 85-86

¹¹⁵ DIN EN 16258

Kontext kann sie als Variante der internationalen Norm DIN ISO 14067 verstanden werden, welche die spezifischen Prozesse und Anforderungen von Transportdienstleistungen adressiert. In der Einleitung der Norm heißt es: „Die Anwendung dieser Norm sorgt für die Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Emissionen bei Transportdienstleistungen ungeachtet der Komplexitätsstufe [...] für eine gemeinsame Vorgehensweise und gemeinsame Rahmenbedingungen. Diese Norm stellt sicher, dass Deklarationen eine größere Übereinstimmung und Transparenz aufweisen und dass Energie und Emissionen der Ladung eines Fahrzeugs (Personen und/ oder Güter) vollständig zugeordnet werden.“¹¹⁶

Die Norm hat folglich zwei zentrale Anliegen: einerseits die Erhöhung der Einheitlichkeit bei der Berechnung und Zuordnung von Emissionen und andererseits die Erhöhung der Transparenz über die methodische Vorgehensweise durch Deklarationsvorgaben. Im Unterschied zu den bereits vorgestellten internationalen Normen (insb. DIN ISO 14067) wird kein Bezug zu den Grundsätzen der ökologischen Bewertung genommen. Dies spiegelt auch eine Besonderheit der DIN EN 16258 wider. Entgegen den Prinzipien Relevanz, Genauigkeit und Vollständigkeit werden durch die DIN EN 16258 in detaillierter Form Grenzen der Berechnung genannt, d. h. zu berücksichtigende und nicht zu berücksichtigende Prozesse. Aufgrund der besonderen Bedeutung dieses Themas für die vorliegende Ausarbeitung wird dieser Aspekt nachfolgend näher beleuchtet.

Gemäß DIN EN 16258 sind bei der THG-Analyse von Transportdienstleistungen für Personen und/ oder Güter zwei Aspekte zu bewerten:¹¹⁷

- Energieprozesse (engl. well-to-tank, WTT):
„Die Energieprozesse müssen umfassen: a) bei Kraftstoffen: Förderung oder Anbau von Primärenergie, Raffinieren, Umwandlung, Transport und Verteilung von Energie auf sämtlichen Stufen der Produktion des verwendeten Kraftstoffs; b) bei Elektrizität: Gewinnung und Transport von Primärenergie, Umwandlung, Stromerzeugung, Verluste in Stromnetzen.“
- Fahrzeugprozesse (engl. tank-to-wheel, TTW):
„Die Fahrzeugprozesse müssen den Betrieb sämtlicher im Fahrzeug befindlicher Systeme umfassen und die Antriebsleistung und zusätzliche Dienstleistungen einschließen.“

Die Gesamtemissionen einer Transportdienstleistung (engl. well-to-wheel, WTW) setzen sich aus der Summe der Emissionen der Fahrzeug- (TTW) und Energieprozesse (WTT) zusammen. Explizit werden in der DIN EN 16258 Anforderungen für auszuschließende Prozesse genannt (vgl. Tabelle 9). Für eine normkonforme Bewertung sind diese Prozesse auszuschließen.

Prozess	Ergänzende Erläuterungen der DIN EN 16258
Leckagen	direkte THG-Emissionen auf der Fahrzeugebene, die aus Leckagen stammen (z. B. von Kältemitteln oder Erdgas)
Radiative-Forcing-Index-(RFI-)Faktor	zusätzliche Auswirkungen bei der Verbrennung von Flugkraftstoffen in höheren Atmosphärenschichten, wie Kondensstreifen, Zirruswolken usw.
Schleppvorgänge	Prozesse, die zur kurzzeitigen Unterstützung des Fahrzeugs mit anderen Einrichtungen aus Gründen der Bewegung oder Sicherheit dienen, wie z. B.

¹¹⁶ DIN EN 16258, S. 5

¹¹⁷ DIN EN 16258, S. 11–12

	Schleppschiffe zum Schleppen von Schiffen in Häfen und Flugzeugschlepper für Flugzeuge auf Flughäfen
Terminals, Umschlag- und Lager-einrichtungen	Prozesse zum Bewegen oder für den Umschlag von Frachtgut, zum Bewegen von Passagieren, die durch externe Handhabungs- oder Umschlag-einrichtungen (für Fracht) oder externe Bewegungs-vorrichtungen (für Passagiere, wie z. B. Aufzüge oder Fahrsteige) erfolgen. Bei Express-Dienstleistern und anderen in Netzen organisierten Transportdienstleistungen gehören zu dieser Kategorie von Prozessen Handhabungsvorgänge, die innerhalb von Einrichtungen erfolgen und aus dem Verladen und Entladen von Paketen oder Paletten bestehen
Administrative Vorgänge	Prozesse auf der administrativen (übergeordneten) Ebene der Organisationen, die an den Transportdienstleistungen mitwirken. Bei diesen Prozessen kann es sich um den Betrieb von Gebäuden, Pendlerverkehr und Geschäftsreisen, Computersysteme handeln
Lebenszyklus des Fahrzeugs	Prozesse für die Herstellung, Wartung und Entsorgung von Fahrzeugen.
Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur	Prozesse zur Herstellung, zum Betrieb, zur Wartung und Demontage von Verkehrsinfrastrukturen, die von Fahrzeugen genutzt werden
Lebenszyklus der Infrastruktur der Energiebereitstellung	Betriebsfremde, vorgelagerte Prozesse, wie die Herstellung von Fördereinrichtungen, von Transport- und Verteilungssystemen, von Raffinerieanlagen, von Anreicherungsanlagen, von Energieerzeugungsanlagen usw. ebenso wie deren Wiederverwendung, Wiederverwertung und Entsorgung

Tabelle 9: Auszuschließende Prozesse einer Bilanz nach DIN EN 16258¹¹⁸

Die Aufführung der relevanten und nicht-relevanten Prozesse hebt den speziellen Charakter der Norm hervor. Auf der einen Seite wird der Berechnungsweg für Transportemissionen durch die explizite Abgrenzung deutlich vereinfacht und standardisiert. Auf der anderen Seite widerspricht die Abgrenzung den Prinzipien der Vollständigkeit und Genauigkeit.

2.3.3 Parameterbedingte Unsicherheit der ökologischen Bewertung

Bei der ökologischen Bewertung wird durch die Fehlerrechnung eine Indikation darüber gegeben, wie stark der berechnete Wert und der wahre Wert voneinander abweichen. Insbesondere bei knappen Entscheidungslagen ist es wichtig, nicht nur Einzelwerte, sondern Wertebereiche einander gegenüberzustellen.

Allgemein ist das Thema als vielschichtig und komplex zu bewerten, da es um die Güte einzelner Parameter und Annahmen geht und möglicherweise umfangreiche Hintergrundinformationen zur Herkunft und Zusammensetzung einzelner Werte benötigt werden. Eine Beschäftigung mit dem Thema Bewertungsunsicherheit ist aber auch nach Einschätzung der Autoren des THG-Protokoll-Standards wichtig.¹¹⁹ Problematisch ist, dass durch die mathematische Kombination

¹¹⁸ eigene Darstellung auf Basis von DIN EN 16258, S. 12

¹¹⁹ WRI und WBCSD 2011b, S. 126

einzelner Werte grundsätzlich die Gefahr besteht, dass sich Unsicherheiten während der Verfahrensanwendung potenzieren (d. h. Fehlerfortpflanzung) und Ergebnisse mit geringer Aussagekraft entstehen.

Für die systematische Bewertung der Fehlerfortpflanzung bedarf es allgemein recht aufwändiger Verfahren, wie z. B. einer Berechnung der Fehlerfortpflanzung mittels Monte-Carlo-Simulation.¹²⁰ Um trotz methodischer Komplexität einen angemessenen Umsetzungsaufwand zu erzielen, wird im Rahmen dieser Arbeit den wissenschaftlichen Empfehlungen der Ecoinvent-Datenbank-Entwicklern gefolgt und ein vereinfachtes Verfahren der Fehlerrechnung angewendet (vgl. Abschnitt 4.6). Konkret geht es um ein halbquantitatives Verfahren, das im Kern die Nutzung der sogenannten „Pedigree-Matrix“ vorsieht, welche in Weidema 1996 erstmals publiziert wurde.¹²¹ Mit dem „Leitfaden zur Datenqualität der Ecoinvent-Datenbank“¹²² wird das Verfahren in einer weiterentwickelten Form umfassend beschrieben.

Das Verfahren basiert auf der logarithmischen Normalverteilung, die als dominierende Wahrscheinlichkeitsfunktion in der Ecoinvent-Datenbank beschrieben wird.¹²³ Dies wird wie folgt begründet: Die Log-Normalverteilung ist für eine praxisnahe Beschreibung von Grundgesamtheiten des echten Lebens i. Allg. charakteristisch, da a) die Merkmale des echten Lebens eher multiplikativ statt additiv sind und b) die meisten Parameter grundsätzlich positive Werte annehmen. Zudem ist die mathematische Anwendung und Interpretation aufgrund der Rückführbarkeit auf die Standard-Normalverteilung relativ einfach.¹²⁴

Logarithmische Normalverteilung als statistische Grundlage

Da die Urliste normalverteilter Zufallsvariablen auch negative Werte beinhalten kann, ist die Standard-Normalverteilung für viele reale Gegebenheiten nicht zutreffend. Wird der Wertebereich auf positive Werte beschränkt, führt dies i. Allg. dazu, dass die Verteilungsdichte nicht symmetrisch, sondern ausgeprägt schief ist. Derartige Verteilungen können durch die logarithmische Normalverteilung (auch: Log-Normalverteilung) beschrieben werden, bei der nicht einzelne Beobachtungswerte, sondern die logarithmisch transformierten Werte normalverteilt sind (vgl. Abbildung 8).

Im Unterschied zur Standard-Normalverteilung ist für Log-Normalverteilungen charakteristisch, dass Häufungspunkt h , Median m und arithmetisches Mittel μ nicht zusammenfallen. Der Mittelwert hängt also nicht nur vom Häufungspunkt, sondern auch von der Streuung ab.¹²⁵

Der Median beschreibt den Wert, bei dem die Verteilungsfunktion $F(x)$ dem Wert 0,5 entspricht, d. h. 50 % der Beobachtungswerte liegen oberhalb und 50 % unterhalb dieses Wertes. Demgegenüber berücksichtigt das arithmetische Mittel die wertmäßige Bedeutung einzelner Beobachtungspunkte. Das arithmetische Mittel wird allgemein als Mittelwert bezeichnet. Das Maß der Streuung wird im Regelfall durch die Varianz, d. h. die quadratische Abweichung aller

¹²⁰ Klöpffer und Grahl 2009, S. 363

¹²¹ Weidema 1996

¹²² Weidema 2013

¹²³ Weidema 2013, S. 70

¹²⁴ Weidema 2013, S. 72

¹²⁵ Förstemann 2004, Kapitel 2.3.2.3

Werte zum arithmetischen Mittel beschrieben. Im Gegensatz zur einfachen, mittleren Abweichung erhalten somit größere Abweichungen einen vergleichsweise höheren Stellenwert. Das Maß der Varianz σ^2 ist eine quadrierte Einheit. Zur erleichterten mathematischen Verwendung und Interpretation wird daher i. Allg. die Standardabweichung σ als Wurzel der Varianz gebildet.

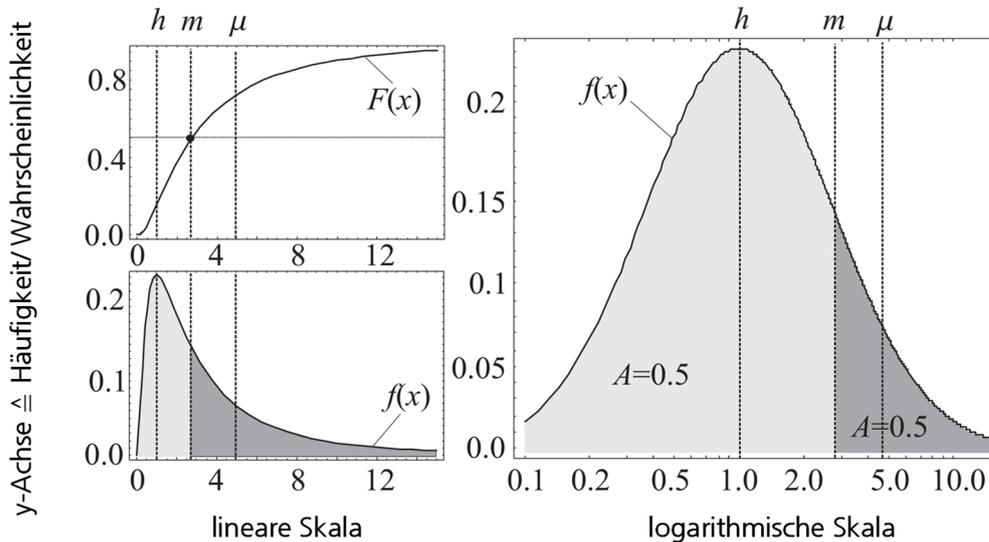


Abbildung 8: Verteilungsfunktion $F(x)$ und Wahrscheinlichkeitsfunktion $f(x)$ der Log-Normalfunktion¹²⁶

Die Argumente der Standard-Normalverteilung können in das Format der Log-Normalverteilungen transformiert werden. Dies ist eine wichtige Eigenschaft für die Anwendung der Log-Normalfunktion auf Beobachtungswerte. Vergleichsweise einfache Rechenregeln können dann angewendet werden, die sonst nur für Standard-Normalverteilungen gelten. Auf diese Weise ermittelte Werte müssen abschließend noch zurückgerechnet werden. In Tabelle 10 sind die zwei Dimensionen mit den jeweiligen Rechenregeln aufgelistet.

Log-Normalverteilung	(korrespondierende) Normalverteilung
Zufallsgröße: $X \sim LN(Y)$	Zufallsvariable: $Y = N(\mu_L; \sigma_L^2)$
Erwartungswert: $E(X) = e^{\left(\mu_L + \frac{\sigma_L^2}{2}\right)}$	Mittelwert: μ_L
Streuung: $V(X) = e^{(2\mu_L + \sigma_L^2)} \times (e^{\sigma_L^2} - 1)$	Varianz: σ_L^2
Unsicherheit: $U(X) = e^\sigma$	Standardabweichung: σ
Zentralwert: $Z(X) = e^m$	Median: m
Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls: - untere Grenze: $LO(X) = \frac{Z(X)}{[U(X)]^2}$ - obere Grenze: $HI(X) = Z(X) \times [U(X)]^2$	Grenzen des 95%-Konfidenzintervalls: - untere Grenze: $z_{2,5\%} = m - (2 \times \sigma)$ - obere Grenze: $z_{97,5\%} = m + (2 \times \sigma)$

Tabelle 10: Argumente der Standard-Normalverteilung und der Log-Normalverteilung¹²⁷

¹²⁶ Förstemann 2004, Kapitel 2.3.2.3

¹²⁷ eigene Darstellung auf Basis von Schlittgen 2000, Ciroth et al. 2016 und Förstemann 2004

In der Ecoinvent-Datenbank sind hinter einzelnen Datensätzen i. Allg. sämtliche statistischen Werte hinterlegt. Ob nun der Zentralwert oder der Erwartungswert bei der ökologischen Bewertung zur Anwendung kommt, hängt nach Auskunft der Ecoinvent-Datenbankentwickler davon ab, ob der Nutzer sich für eine statische oder dynamische Bewertung der Unsicherheit entscheidet.¹²⁸ Im Regelfall findet eine statische Bewertung statt – wie auch im Kontext dieser Methode. Dann ist der Zentralwert relevant. Bei einer dynamischen Bewertung, z. B. mittels Monte-Carlo-Simulation, würde dann auf den Erwartungswert zurückgegriffen werden.

2.3.4 Struktur und Datenbedarf der Bewertung von Treibhausgas-Emissionen

Im Kontext der DIN EN 16258 nimmt der Energieverbrauch eines Fahrzeugs eine Schlüsselrolle zur Berechnung von THG-Emissionen ein. Bei produkt- oder unternehmensbezogenen THG-Bilanzen nach ISO/TS 14067 und DIN ISO 14064 f. ist neben dem Energieverbrauch auch der Materialverbrauch relevant. Grundsätzlich sind Verbrauchswerte für die Durchführung einer THG-Bewertung nach internationalen Vereinbarungen relevant; die direkte Messung von Emissionen ist nicht praktikabel.¹²⁹

Die elementare Struktur der CO₂e-Emissionsberechnung setzt sich aus Verbrauchswerten und Emissionsfaktoren zusammen.¹³⁰ In Formel 2 ist dies anhand der CH₄-Emissionen des Dieselverbrauchs eines Lkws veranschaulicht. Zur Einordnung von Emissionen in übergeordnete Wirkungskategorien sind zudem Charakterisierungsfaktoren zu beachten (vgl. Tabelle 8, IPCC-Charakterisierungsfaktoren für den Zeitraum 100 Jahre).

Formel 2: Basisstruktur der CO₂e-Emissionsberechnung

$$\begin{aligned} \text{Emissionen [kg CO}_2\text{e]} \\ &= \text{Verbrauchswert [Liter Diesel]} \times \text{Emissionsfaktor} \left[\frac{\text{kg CH}_4}{\text{Liter Diesel}} \right] \\ &\quad \times \text{IPCC-Charakterisierungsfaktor} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg CH}_4} \right] \end{aligned}$$

Verbrauchswert

Verbrauchswerte können einerseits durch Messungen und andererseits durch Modellierungen ermittelt werden. Gemessene Werte sind gegenüber modellierten Werten bevorzugt zu verwenden, da sie tendenziell von einer geringeren Unsicherheit geprägt sind. Im Bereich der Messungen lassen sich individuelle Messwerte (d. h. Einzelmesswerte) und durchschnittliche Messwerte unterscheiden. Welche Art von Messwert für eine THG-Bewertung besser geeignet ist, lässt sich nicht allgemeingültig festhalten. Ausschlaggebend ist letztendlich die übergeordnete Fragestellung. Durchschnittliche Messwerte haben den Vorteil, dass sie einen größeren Geltungsbereich haben. Einzelmesswerte reflektieren hingegen eine spezifische Situation exakter (z. B. den Kraftstoffverbrauch eines spezifischen Lkws auf einer spezifischen Strecke an einem spezifischen Tag zu einer spezifischen Verkehrslage). Dabei sollte bei der Verwendung von Durchschnittswerten aus Gründen der Transparenz und Nachvollziehbarkeit die Bewertungsbasis beschrieben werden (z. B. Jahresdurchschnittswert für ein spezifisches Fahrzeug bzw. eine Gruppe von Fahrzeugen).

¹²⁸ Weidema 2013, S. 70

¹²⁹ DIN ISO/TR 14069, S. 15

¹³⁰ WRI und WBCSD 2011b, S. 68

Ein modellierter Wert kann unterschiedlich viele Abhängigkeiten und Kausalitäten berücksichtigen. Im Zusammenhang des Gütertransports mittels Lkw lässt sich dies leicht veranschaulichen. In der Literatur lassen sich für Verbrauchskennzahlen u. a. einfache Durchschnittswerte finden (z. B. „Transport per Lkw“). Ebenso gibt es differenziertere Durchschnittswerte, die z. B. die Fahrzeuggröße und die damit einhergehende Transporteffizienz besser reflektieren, wie z. B. „Transport mittels schwerem Lkw (40 Tonnen zGG)“ und „Transport mittels leichtem Lkw (12 Tonnen zGG)“. Situationsspezifische Modellierungen basieren auf Datenbanken wie z. B. HBEFA für den Straßengüterverkehr und ermöglichen eine weitreichende Parametrierung der Verbrauchskennzahl, wie z. B. in Abhängigkeit von Verkehrsfluss, Topologie, Fahrzeualter und Schadstoffklasse oder dem Gewicht der Zuladung.

Folglich sollte bei der Ausweisung von Ergebnissen der Ursprung und die Zusammensetzung der verwendeten Verbrauchskennzahlen näher spezifiziert werden, um Missverständnisse bei der Interpretation zu vermeiden. Es ist also Bezug auf eine der folgenden Kategorien zu nehmen:

1. gemessener Verbrauchswert
 - individueller Messwert
 - durchschnittlicher Messwert
2. modellierter Verbrauchswert
 - einfacher Durchschnittswert
 - differenzierter Durchschnittswert
 - situationsspezifischer Durchschnittswert
3. geschätzter Verbrauchswert

Zur Vermeidung von Unsicherheiten bei der ökologischen Bewertung (vgl. Abschnitt 4.6) sollten gemessene Verbrauchswerte gegenüber modellierten und geschätzten Werten priorisiert werden. Dieser Grundsatz betrifft insbesondere Prozesse, die für das Gesamtergebnis eine hohe Relevanz haben.

Emissionsfaktoren

Im Unterschied zu Verbrauchswerten stammen Emissionsfaktoren grundsätzlich aus externen Quellen (z. B. Datenbanken, Literatur, Normen). Überdies sind Emissionsfaktoren relative Kennzahlen, die in einem definitorischen, logischen oder kausalen Zusammenhang zu Verbrauchs- bzw. Aktivitätskennzahlen stehen. Ein grundlegendes Verständnis hierzu ist für die noch folgende Fehlerrechnung relevant.

Ein kausaler Zusammenhang liegt vor, wenn die Korrelation zwischen tatsächlichem Verbrauch und der Menge emittierter Emissionen stark ausgeprägt ist (z. B. CO₂-Emissionen bei der Verbrennung von Diesel- oder Benzinkraftstoffen).¹³¹ In diesem Fall ist die parameterbedingte Unsicherheit niedrig. Ein logischer Zusammenhang liegt vor, wenn die Korrelation zwar erkennbar, aber tendenziell schwach ausgeprägt ist. Von einem definitorischen Zusammenhang ist dann zu sprechen, wenn keine Korrelation zwischen Verbrauch und Emissionshöhe vorliegt, aber aus Vereinfachungsgründen eine solche

¹³¹ Borken et al. 1999, S. 65

angenommen wird. Im Falle eines fehlenden kausalen Zusammenhangs ist die parameterbedingte Unsicherheit relativ hoch.

Die Treibhausgase CH₄ und N₂O, die bei der Verbrennung von Diesel oder Benzin als unerwünschtes Nebenprodukt aufgrund unvollständiger Verbrennungsprozesse entstehen, stehen z. B. in keinem kausalen Zusammenhang zur Verbrauchsmenge.¹³² Es ist jedoch ein allgemein anerkanntes Vorgehen, bei der Kraftstoffverbrennung alle relevanten THG-Emissionen auf den Verbrauch zu beziehen, trotz der teilweise hohen Unsicherheiten, die damit verbunden sind. Dies wird mit dem relativ niedrigen Masseanteil der Verbrennungsnebenprodukte CH₄ und N₂O im Verhältnis zum Verbrennungshauptprodukt CO₂ begründet.

Emissionsfaktoren für Kraftstoffe nach DIN EN 16258

In der Literatur existieren unterschiedliche Emissionsfaktoren für Treibhausgase verschiedener Kraftstoffe. Mit der Veröffentlichung der DIN EN 16258 im Jahr 2013 hat dieser Bereich erstmals eine Standardisierung erfahren. Demnach sind die in Tabelle 11 beispielhaft aufgeführten CO₂e-Emissionsfaktoren – differenziert nach WTT, TTW und WTW – zu verwenden, die sich auf fahrzeugbezogene Verbrennungs- bzw. Energiewandlungsprozesse in Europa beziehen.

Kraftstofftyp	Emissionsfaktoren [g CO ₂ e/ MJ]			Anteil WTT an WTW
	WTT	TTW	WTW	
Diesekraftstoff	15,9	74,5	90,4	17,6 %
Diesekraftstoff mit 5 % Biodiesel	17,8	71,0	88,8	20,0 %
Ottokraftstoff	14,2	75,2	89,4	15,9 %
Ottokraftstoff mit 5 % Bioethanol	15,8	72,6	88,4	17,9 %
Erdgas (CNG)	8,7	59,4	68,1	12,8 %

Tabelle 11: CO₂e-Emissionsfaktoren für ausgewählte Kraftstoffe nach DIN EN 16258¹³³

Die Relevanz der vorgelagerten Energieprozesse (WTT) für die Gesamtemissionen (WTW) ist exemplarisch aufgeführt. Eine Beschränkung auf die direkten Emissionen (TTW) ist aufgrund der hohen Anteile der WTT-Emissionen nicht sinnvoll. THG-Emissionen sollten grundsätzlich als WTW-Emissionen berichtet werden.

Emissionsfaktoren für Elektrizität

Gegenwärtig gibt es keinen internationalen Konsens über eine einheitliche und standardisierte Vorgehensweise für strombedingte CO₂e-Emissionen. Die laufende Diskussion betrifft die Emissionsfaktoren. Es geht zum einen um die Frage, ob landesspezifische CO₂e-Durchschnittswerte dem Standort-/ Erzeugerprinzip oder dem Markt-/ Nachfrageprinzip folgen sollten und zum anderen um die Frage, ob durch den Bezug von Ökostrom ein messbarer Beitrag zur Energiewende geleistet wird. Hintergrund ist, dass Strom international gehandelt wird. In Deutschland können sich Unternehmen z. B. für 100 % zertifizierten Strom aus emissions-

¹³² Borken et al. 1999, S. 66

¹³³ eigene Darstellung auf Basis von DIN EN 16258, S. 23

armen norwegischen Wasserkraftwerken entscheiden. Für die CO₂e-Bilanzierung von Strom in Unternehmensbilanzen ist dies kein einfaches Thema. Stromzertifikate belegen zunächst nur die Herkunft aus erneuerbaren Energiequellen. Ob darüber hinaus tatsächlich ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird, ist umstritten. Kübler veranschaulicht dies wie folgt: „In dem Zertifikatsrechnungssystem ‚erzeugt‘ Norwegen 77 % seines Stroms mithilfe von fossilen Energieträgern und Kernkraft, obwohl es dort praktisch keine fossilen Kraftwerke und keine Kernkraftwerke gibt.“¹⁵⁴

Der wissenschaftliche Diskurs in der Energiewirtschaft widmet sich daher dem Thema der Zusätzlichkeit, d. h. dem tatsächlichen Neubau von Kraftwerken im Marktsegment erneuerbare Energien (EE). Ebenso werden Verdrängungseffekte für konventionelle Kraftwerke und mögliche „Mitnahmeeffekte“ des freiwilligen Ökostrommarkts, d. h. die über die Umlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG-Umlage) hinausgehenden Anreize und Wirkungen für den Ausbau erneuerbarer Energiequellen untersucht.¹⁵⁵ Dabei wird auch über die Frage diskutiert, welche Funktionen Klimabilanzen im Kern erfüllen sollten. Erfüllt eine Unternehmensbilanz ausschließlich den Zweck der Inventarisierung oder sollten auch Energieeinsparungsmaßnahmen durch eine solche THG-Bilanz angereizt werden?

„Da günstige EE-Stromprodukte aufgrund der niedrigen Preise der Herkunftsnachweise zu sehr geringen Mehrkosten gegenüber konventionellem Strom angeboten werden können, besteht die Gefahr, dass Unternehmen dem EE-Strombezug den Vorrang einräumen. [...] Nach einer solchen Entscheidung sind die Anreize für Effizienzmaßnahmen aus der Klimabilanz heraus sehr gering.“¹⁵⁶ Seebach und Timpe schlagen daher vor, bei der nächsten Revision von ökologischen Bewertungsstandards, wie z. B. dem THG-Protokoll-Standard, die „strenge methodische Leitlinie des ‚Attributional Approach‘ [Anm.: *Inventarisierungszweck von Klimabilanzen*]“ zu verlassen.¹⁵⁷ Nach Vorstellung der Wissenschaftler sollten prüfbare Fortschritte der realen Vermeidung von THG-Emissionen bei der Bilanzerstellung für Unternehmen verstärkt Berücksichtigung finden.

Grundsätzlich kann das Bezugssystem des Emissionsfaktors für extern produzierten Strom mit folgenden Kategorien beschrieben werden:¹⁵⁸

- Bezugnahme auf einen Stromproduzenten (z. B. Betreiber eines Wasserkraftwerks),
- Bezugnahme auf einen Energieversorger (z. B. kommunale Stadtwerke)
 - mit Bezugnahme auf den Gesamtstrommix,
 - mit Bezugnahme auf ein Ökostrom-Produkt,
 - mit Bezugnahme auf „Sonstiger Strom“ (auch: Residual-Mix) als Differenzbetrachtung des Gesamtstrommix und des gesondert verkauften Ökostroms,
- Bezugnahme auf eine landes- bzw. netzbezogene Statistik
 - nach Standort-/ Erzeugerprinzip,
 - nach Markt-/ Nachfrageprinzip, d. h. unter Berücksichtigung der Bilanzwirkungen des internationalen Handels mit Ökostromzertifikaten.

¹⁵⁴ Kübler 2014, S. 45

¹⁵⁵ Seebach und Timpe 2016, S. 44 f. sowie Kübler 2014, S. 43 f.

¹⁵⁶ Seebach und Timpe 2016, S. 47

¹⁵⁷ Seebach und Timpe 2016, S. 48

¹⁵⁸ ISO/TS 14067

Gemäß den Vorgaben der DIN EN 16258 sind bei elektrischen Verbrauchern die TTW-Emissionen grundsätzlich null. CO₂e-Emissionen, die mit der Stromproduktion einhergehen, sind in der Kategorie Energieprozesse (WTT) auszuweisen. Hierzu wird ausgeführt, dass Emissionsfaktoren nach folgender Rangfolge zu wählen sind (entsprechend Datenverfügbarkeit):¹³⁹

1. „durch das Elektrizitätsversorgungsunternehmen angegebener Wert für den eingekauften Strom aus zertifizierter Produktion; [Anm.: entspricht der Bezugnahme auf einen Energieversorger inkl. international gehandelter und eingekaufter Strommengen]
2. durch das Elektrizitätsversorgungsunternehmen angegebener Stromwert für dessen Produktion innerhalb desjenigen Elektrizitätsnetzes, in dem der Transportvorgang erfolgt; [Anm.: entspricht der Bezugnahme auf einen Energieversorger exkl. international gehandelter und eingekaufter Strommengen]
3. als letztes Mittel: Durchschnittswert für die an die Verbraucher gelieferte Elektrizität innerhalb desjenigen Elektrizitätsnetzes, in dem der Transportvorgang erfolgt.“ [Anm.: entspricht der Bezugnahme auf eine landes- bzw. netzbezogene Statistik]

In der DIN EN 16258 wird also die Nutzung von Emissionsfaktoren mit Bezugnahme auf den Energieversorger gegenüber landesbezogenen Faktoren priorisiert. Das Thema Ökostrom wird in der DIN EN 16258 nicht thematisiert. Im DSLV-Leitfaden zur korrekten Anwendung der Norm, erstellt durch den Vorsitzenden des deutschen Spiegelgremiums im Normungsprozess, heißt es aber: „Nutzt ein Logistikunternehmen Ökostrom aus regenerativen Energiequellen, darf dieser Strom nur dann emissionsmindernd in der Klimabilanz berücksichtigt werden, wenn er aus zusätzlichen Neuanlagen, z. B. neuen Windkraftanlagen, stammt. Dies ist in der Regel nur dann gewährleistet, wenn es sich um zertifizierten Strom handelt (z. B. Strom mit Ok-Power Label)“.¹⁴⁰ Weitere Ausführungen folgen noch im Abschnitt „Ökostrom-Prüfsiegel“.

Die THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie fordert, dass Unternehmen für ihre Aktivitäten in Märkten mit einem liberalisierten Strommarkt zwei Emissionswerte ermitteln: einmal mit Bezugnahme auf die relevanten Energieversorger bzw. -erzeuger und einmal mit Bezugnahme auf landes- bzw. netzbezogene Statistiken (vgl. Abbildung 9).

Eine zweifache Berichterstattung (auch: Doppelberichterstattung) ist also für Unternehmen erforderlich, die gemäß THG-Protokoll über Aktivitäten z. B. in Europa berichten.¹⁴¹ Mit dieser Anforderung ist das Ziel verbunden, die Einkaufsentscheidung des Unternehmens in den Kontext der übergeordneten Entwicklung am Standort zu stellen und den Einfluss der Einkaufsentscheidung transparent zu halten.¹⁴² Für die Definition von Emissionsminderungszielen und die Kommunikation mit externen Akteuren sollten Unternehmen auf diejenigen Emissionswerte zurückgreifen, die mit Bezugnahme auf die relevanten Energieerzeuger/ -versorger berechnet wurden.¹⁴³

¹³⁹ DIN EN 16258, S. 29

¹⁴⁰ DSLV 2013, S. 57

¹⁴¹ WRI und WBCSD 2015, S. 45

¹⁴² WRI und WBCSD 2015, S. 62

¹⁴³ WRI und WBCSD 2015, S. 45: „Companies should avoid using location-based totals for goal tracking where certificates convey these claims and/or carry legally enforceable claims.“

Für die Bezugnahme auf einen Energieversorger/ -erzeuger wird in der Scope-2-Richtlinie weiter spezifiziert, dass dem Kriterium der Genauigkeit durch eine Bezugnahme auf den tatsächlichen Stromproduzenten, begleitend von einem Exklusivitätsnachweis über Herkunft und Zuteilung, am besten entsprochen wird (Priorität 1). Demgegenüber werden z. B. Direktverträge mit dem Stromerzeuger ohne Herkunfts- bzw. Exklusivitätszertifikat (Priorität 2) und produktbezogene Angaben des Energieversorgers, wie z. B. Ökostrom- oder Standardstromtarife, als weniger genau eingestuft (Priorität 3).¹⁴⁴ Im Kontext der Verwendung von produktbezogenen Angaben des Energieversorgers werden Qualitätskriterien in Form von Mindestanforderungen durch die Richtlinie definiert.¹⁴⁵ Kann diesen Anforderungen nicht entsprochen werden, ist der Residualmix zu wählen, um mögliche Doppelzählungen bei der Zuordnung und Anerkennung der THG-Effekte erneuerbarer Energien zu vermeiden. Für den Fall, dass Angaben zum Residualmix nicht verfügbar sind, können „als letztes Mittel“ auch landesbezogene Statistiken verwendet werden (Priorität 4). Weitere Anforderungen an die Zusammensetzung des Emissionsfaktors nach den Vorgaben des THG-Protokolls wurde bereits beschrieben (vgl. Unterabschnitt 2.3.2, Abbildung 7).

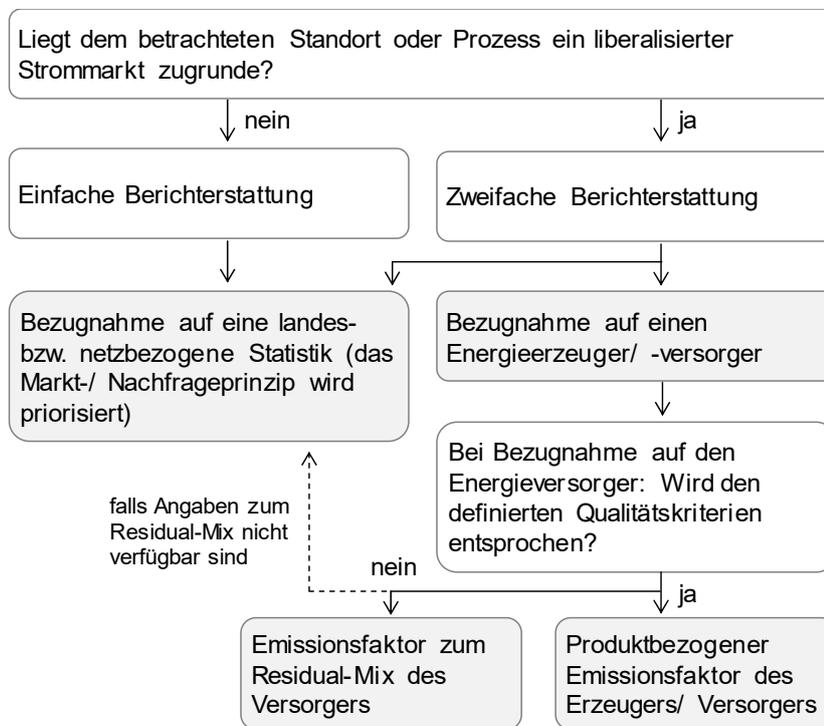


Abbildung 9: Vorgehensmodell für strombedingte Emissionen nach THG-Protokoll-Scope-2¹⁴⁶

In DIN ISO/TS 14067 wird folgende Empfehlung ausgesprochen: „Wenn ein Lieferant von Netzstrom ein bestimmtes Stromprodukt mit spezifischen Lebenswegdaten bereitstellen und sicherstellen kann, dass der Stromverkauf und die zugehörigen THG-Emissionen nicht doppelt gezählt werden, sind die Lebenswegdaten für das entsprechende Stromprodukt zu verwenden [Anm.: betrifft z. B. die Unterscheidung der Produkte „Ökostrom“ und „Sonstiger Strom“]. Sofern der Stromlieferant keine spezifischen THG-Daten für das spezifische Stromprodukt bereitstellt,

¹⁴⁴ WRI und WBCSD 2015, S. 48

¹⁴⁵ WRI und WBCSD 2015, S. 63–65 (Gemäß der Richtlinie werden acht Qualitätskriterien definiert, die im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht einzeln vorgestellt werden können.)

¹⁴⁶ eigene Darstellung auf Basis von WRI und WBCSD 2015, S. 45 (Abbildung 6.1, ergänzt um Informationen aus den Tabellen 6.2 und 6.3)

sind die THG-Emissionen anzuwenden, die mit dem nationalen Netz verbunden sind, in dem der Lebenswegabschnitt [des Bewertungselements] stattfindet [Anm.: betrifft eine landesbezogene Statistik, entweder nach dem Standort- oder dem Marktprinzip].¹⁴⁷

Zur weiteren Veranschaulichung der Bedeutung genannter Zusammenhänge sind in Tabelle 12 Emissionsfaktoren für Strom exemplarisch aufgeführt (gemäß Erzeugerprinzip). Der Unterschied zwischen einem durchschnittlichen Emissionsfaktor für die Stromproduktion in Deutschland und einem spezifischen Faktor für Strom aus einem Wasserkraftwerk ist erheblich.

Bezeichnung	Zeit- bezug	Sekundärenergie ab Kraftwerk [g CO ₂ e je kWh]	Endenergie ab Steckdose (*inkl. 4,5 % Netzverlust) [g CO ₂ e je kWh]	Quelle
Durchschnittlicher Strommix in Deutschland	2015	513,4	536,5*	(Probas 2016) (El-KW-Park- DE-2015)
Steinkohlekraftwerk in Deutschland (700 MW)	2010	867,0	906,0*	(Probas 2016) (Kohle-KW-DT- DE-2010)
Gasturbinekraftwerk in Deutschland (450 MW)	2010	405,6	423,9*	(Probas 2016) (Gas-KW-GuD- DE-2010)
Windkraftwerk in Deutschland (Mix On- & Offshore)	2010	10,5	11*	(Probas 2016) (Wind-KW-DE- 2010)
Wasserkraftwerk in Deutschland (10 MW)	2010	2,8	2,9*	(Probas 2016) (Wasser-KW- DE-2010)

Tabelle 12: CO₂e-Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Strom durch deutsche Kraftwerke (Sekundärenergie) und den Bezug von Strom durch Endverbraucher ohne Brennstoffvorkette¹⁴⁸

Laut AGEB 2017 beträgt der Brutto-Inlandsstromverbrauch in Deutschland, der im Unterschied zum Endenergieverbrauch auch Netzverluste und Eigenverbrauch im Umwandlungsbereich berücksichtigt, 2014 ca. 591,1 Mrd. kWh (2.127.960 Terajoule). Der Endenergieverbrauch für Strom beträgt laut AGEB 2017 im selben Zeitraum ca. 1.846.214 Terajoule. Hieraus resultiert ein systembedingter Energieverlust von rund 13,2 %. Den spezifischen Verlust durch das Stromnetz, der im systembedingten Energieverlust enthalten ist, beziffert AGEB 2017 in 2014 mit 86.972 Terajoule. Wandlungs- und Leitungsverluste im deutschen Stromnetz betragen demnach 4,5 %. Dieser Wert wurde bei der Überführung der Sekundärenergiewerte in

¹⁴⁷ ISO/TS 14067, S. 25: „When a supplier of grid electricity can deliver a specific electricity product with specific life cycle data and guarantee that the electricity sale and the associated GHG emissions are not double counted, life cycle data for that electricity product shall be used. When the supplier of electricity does not provide specific GHG data for the specific electricity product, the GHG emissions associated with the national grid where the life cycle stage occurs shall be used.”

¹⁴⁸ eigene Darstellung auf Basis von Probas 2016

Endenergiewerte in Tabelle 12 angesetzt. Die weiteren systembedingten Energieverluste sind u. a. auf die Eigenstromversorgung der Kraftwerke zurückzuführen.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass gemäß Paragraf 42 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG)¹⁴⁹ für Energieversorgungsunternehmen (EVU) in Deutschland die Pflicht zur Stromkennzeichnung besteht. Auszuweisen sind die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromproduktion eines EVU. Prinzipiell können diese Werte für die ökologische Bewertung herangezogen werden. Es bestehen jedoch große Unterschiede, die eine Anpassung der EVU-Angaben zwingend erforderlich machen. Erstens werden nach der Stromkennzeichnungsverpflichtung lediglich CO₂-Emissionen berichtet. Gemäß den Standards der ökologischen Bewertung sind jedoch CO₂-Äquivalentemissionen zu bewerten. Zweitens bilden die CO₂-Emissionen nicht den kompletten Lebensweg ab, sondern lediglich die direkten Emissionen des Kraftwerkbetriebs.¹⁵⁰

Prüfsiegel für Ökostrom

Ökostromprüfsiegel (auch: Ökostromlabel) haben u. a. für die Anwendung des Markt-/Nachfrageprinzips gemäß THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie eine Bedeutung (z. B. im Kontext der definierten Qualitätskriterien). Für die in Deutschland relevanten und gängigen Prüfsiegel hat die Verbraucherzentrale Niedersachsen 2016 eine umfassende Untersuchung durchgeführt. Gemäß der Studie wird die Situation im Markt allgemein als recht unübersichtlich beschrieben. Dies wird u. a. darauf zurückgeführt, dass der Begriff Ökostrom rechtlich nicht definiert ist und eine Vielzahl unterschiedlicher Prüfsiegel verwendet wird. Ein kritischer Blick auf die Prüfkriterien einzelner Siegel wird empfohlen, „da nur wenige der untersuchten Ökostrom-Label garantieren, dass Kunden wirklich ein Produkt mit ökologischem Mehrwert erhalten.“¹⁵¹ Von 60 Energieversorgern in Niedersachsen haben 43 Versorger Ökostrom im Produktportfolio. Allerdings nutzen davon nur vier Anbieter Prüfsiegel, die gemäß den Autoren der Studie als uneingeschränkt empfehlenswert zu bewerten sind (d. h. ein prüfbarer zusätzlicher Beitrag zur Energiewende wird positiv bestätigt).¹⁵² Besonders empfehlenswerte Prüfsiegel gemäß der Studie sind das Grüner-Strom-Label, angeboten u. a. von BUND und NABU, und das Ok-Power-Siegel, angeboten und vermarktet durch WWF und das Freiburger Öko-Institut. Beide Initiativen nutzen die Mehreinnahmen aus dem Verkauf von Ökostrom nicht nur für den Kraftwerksbau in Deutschland, sondern auch für die Förderung von innovativen Speichertechnologien und intelligenten Steuerungssystemen (dezentrale Stromnetze). Sie folgen damit einem erweiterten Begriffsverständnis der Zusätzlichkeit.¹⁵³

Ökostrombewertung im Rahmen dieser Methode

Die vorausgehenden Ausführungen haben verdeutlicht, dass internationale Standards hinsichtlich der THG-Bewertung von Strom von Unterschieden geprägt sind. Eine wesentliche Gemeinsamkeit lässt sich jedoch feststellen: Alle Standards verfolgen das Ziel, die Realität zu

¹⁴⁹ EnWG 2011

¹⁵⁰ BDEW 2016, S. 34: „CO₂-Emissionen sind abhängig von eingesetztem Brennstoff und der Technologie und können somit für jede Anlage unterschiedlich sein. Die Darstellung im Stromkennzeichen erfolgt als CO₂ in g/kWh gewichtet auf das jeweilige Portfolio und beziehen sich auf den Ausstoß von CO₂ bei der Produktion.“

¹⁵¹ Kalinka und Peitz 2016, S. 1

¹⁵² Kalinka und Peitz 2016, S. 10

¹⁵³ Kalinka und Peitz 2016, S. 20

Inventarisierungszwecken möglichst genau abbilden zu wollen. Die Bezugnahme auf einen konkreten Erzeuger bzw. Versorger wird dabei gegenüber der Verwendung von landes- bzw. netzbezogenen Durchschnittswerten allgemein priorisiert (nach DIN EN 16258, nach THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie und nach DIN ISO/TS 14067). Wird dem Marktprinzip gefolgt, stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, niedrige Emissionsfaktoren für Ökostromprodukte anzusetzen oder vergleichsweise höhere, durchschnittliche Emissionsfaktoren zu verwenden, die den gesamten Strommix des Versorgers abbilden. Nach Einschätzung des Autors sprechen für die Wahl eines niedrigen Emissionsfaktors für Ökostrom zwei Gründe:

1. Die Genauigkeit kann als tendenziell höher bewertet werden. Trotz der Tatsache, dass sich im Stromnetz Strom aus konventioneller und regenerativer Erzeugung vermischt und aus einer rein physikalischen Betrachtung kein echter „Ökostrom“ an der Steckdose ankommt (aufgrund des gemeinsamen Stromnetzes), so sind aus einer einzelanalytischen Betrachtung die Stromerzeugung, die -wandlung und der -transport mit niedrigeren THG-Emissionen behaftet als bei konventioneller Stromerzeugung.¹⁵⁴
2. Die unternehmerische Entscheidung für Ökostrom kann grundsätzlich als positives Marktsignal bewertet werden. Unternehmen möchten damit Verbesserungen im Energiesystem erzielen, die über den Ausbau erneuerbarer Energien hinausgehen, die eine EEG-Umlage erhalten.¹⁵⁵ Unternehmen müssen darauf achten, zertifizierten Ökostrom zu beziehen, der „strenge“ Qualitätskriterien erfüllt. Aufgrund einer rechtlichen Definitionslücke werden am Markt Ökostromprodukte verkauft, die zu keiner realen Verbesserung der Erzeugungs- und Speicherungssituation beitragen (d. h. es werden lediglich Ökostromzertifikate im Ausland angekauft).

Im Rahmen dieser Arbeit wird mit Bezug auf die THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie folgende Empfehlung für die THG-Bilanzierung von Strom ausgesprochen:

Bezieht ein Unternehmen Ökostrom von einem Energieproduzenten bzw. -versorger, der nachweislich die Exklusivität der Verrechnung dieser Strommengen garantieren kann sowie die Ziele des Ausbaus erneuerbarer Energien mit konkreten Maßnahmen unterstützt (z. B. dokumentiert mit einem Verwendungsnachweis über die zusätzlichen Einnahmen aus dem Ökostromverkauf oder bestätigt durch ein entsprechendes Ökostrom-Prüfsiegel, das strenge Qualitätskriterien erfüllt), sollte sich der Emissionsfaktor auf die spezifischen Lebenszyklus-Emissionen des betreffenden Stromprodukts „Ökostrom“ beziehen. Andernfalls wären die Lebenszyklus-Emissionen des Produkts „Sonstiger Strom“ (Residual-Mix) des Energieproduzenten bzw. -versorgers anzusetzen, um die Bewertungsungenauigkeit niedrig zu halten und eine Doppelzählung der positiven Wirkungen zu vermeiden. Liegen hierzu jedoch keine näheren Angaben vor, sollte ein landes- bzw. netzbezogener Emissionsfaktor verwendet werden (gemäß Nachfrage-/Marktprinzip).

¹⁵⁴ Gemäß methodischen Konventionen erfolgt eine Bewertung der „restlichen“ THG-Emissionen (Residualmix) auf Basis einer jahresbezogenen Analyse der Stromerzeugung. Eine unterjährige Betrachtung, welche z. B. die tatsächliche Verfügbarkeit regenerativer Stromquellen an einem Tag oder in einem Monat bewertet, ist nicht üblich. Entsprechend finden Informationen zur Anzahl der Tage mit hohen bzw. niedrigen Anteilen regenerativer Stromerzeugung bei der Bilanzierung auch keine Berücksichtigung.

¹⁵⁵ Gemäß § 56 EEG darf Strom aus erneuerbarer Erzeugung, der eine EEG-Förderung erhält, nicht als Ökostrom vermarktet und verkauft werden (Doppelvermarktungsverbot). Die positiven Effekte des EEG werden also dem Residualmix eines Energieversorgers zugeordnet (EEG 2017).

Im gegebenen Beispiel des deutschen Unternehmens, das zertifiziertes Ökostrom aus norwegischen Wasserkraftwerken bezieht, muss sichergestellt werden, dass erstens die nach Deutschland verkaufte Strommenge exklusiv und eindeutig zugeordnet wird (*Exklusivitätsnachweis*). Zweitens sind die exportierten Strommengen aus dem übergeordneten Herstellungsbzw. Kraftwerksmix des norwegischen Stromproduzenten herauszunehmen (*Doppelvermarktungsverbot*). Drittens müssen die Mehreinnahmen aus dem Ökostromverkauf in den Ausbau der erneuerbaren Energien investiert werden (*Mittelverwendungsnachweis*). Nicht empfehlenswerte Ökostromprüfsiegel bestätigen häufig nur die Erfüllung des Exklusivitätsnachweises und des Doppelvermarktungsverbots. Werden alle drei Kriterien erfüllt, können die mit dem Lebensweg verbundenen, relativ niedrigen THG-Emissionen in der THG-Bilanz des deutschen Unternehmens berichtet werden. Kann eine Erfüllung der Kriterien nicht sichergestellt werden, sollte trotz möglicher vertraglicher Grundlage für den Bezug von Ökostrom ein anderer Emissionsfaktor gewählt werden (Emissionsfaktor des Residual-Mix).

Allgemeine Datenquellen für Verbrauchskennzahlen und Emissionsfaktoren

Durchschnittliche Verbrauchskennzahlen und Emissionsfaktoren können verschiedenen Datenquellen entnommen werden. Neben Literaturquellen gibt es sowohl kommerzielle als auch kostenlose Datenbankangebote. Der Umfang und die Aktualität von kommerziellen Angeboten sind i. Allg. höher. Die Nutzung kostenloser Angebote führt aber nicht zwingend zu schlechteren Ergebnissen im Sinne der Genauigkeit oder Aussagekraft.

In Datenbanken der ökologischen Bewertung sind einzelne Datensätze i. Allg. durch Metainformationen gekennzeichnet. Anhand der Metainformationen lässt sich für den Anwender der Datenbank nachvollziehen, welchen Geltungsbereich einzelne Verbrauchskennzahlen bzw. Emissionsfaktoren eines Datensatzes haben. Dies betrifft u. a. geografische, zeitliche und inhaltliche Merkmale. Die Eignung eines Datensatzes sollte sich an folgender Leitfrage orientieren, um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu berechnen:

Entspricht der geografische, zeitliche und inhaltliche Bezug weitestgehend den realen Gegebenheiten eines Gebiets, dem technologischen Entwicklungsstand sowie den prozessualen Einsatzbedingungen, unter denen eine Aktivität stattfindet?

Die Leitfrage adressiert dabei zwei typische Herausforderungen, die in der Realität der ökologischen Bewertung auftreten:

- A. Es liegen umfangreiche Kenntnisse über ein Produkt oder eine Aktivität vor. Es existiert allerdings kein hinreichend differenzierter und aktueller Verbrauchs-/Emissionsfaktor.
- B. Es fehlt an umfangreichen Kenntnissen über ein Produkt oder eine Aktivität. Es existieren keine passenden Durchschnittswerte.

In beiden Fällen bedarf es entweder zusätzlicher Annahmen, um auf Basis bestehender Kennzahlen für die übergeordnete Fragestellung besser geeignete Kennzahlen abzuleiten, oder eine parameterbedingte Unsicherheit wird akzeptiert. Die Entscheidung sollte auch an dieser Stelle von den Grundprinzipien der ökologischen Bewertung geprägt sein. Ist die Relevanz eines Produkts oder einer Aktivität für das Gesamtergebnis vergleichsweise hoch, sollten offensichtliche, parameterbedingte Unsicherheiten möglichst ausgeschlossen werden.

Bei geringer Relevanz kann das Ausmaß der Unsicherheit tendenziell höher sein, ohne die Qualität des Gesamtergebnisses zu beeinträchtigen.

Die in Tabelle 12 aufgeführten CO₂e-Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Strom durch deutsche Kraftwerke entstammen z. B. der kostenlos und öffentlich zugänglichen Online-Datenbank „Probas“¹⁵⁶, die durch das Umweltbundesamt und das Institut IINAS aus Darmstadt bereitgestellt wird. Im Kontext der zuvor genannten Herausforderungen liegt eine inhaltliche Abweichung zwischen den übergeordneten Bewertungsanforderungen und dem Bewertungsumfang des Datensatzes vor (d. h. Fall A: Emissionsfaktor für Sekundär- statt Endenergie). Unter Zuhilfenahme einer Annahme zu Netzverlusten wurde der Bewertungsumfang angepasst. Dieses Vorgehen der Parameteranpassung lässt sich prinzipiell auch auf geografische und zeitliche Abweichungen übertragen.

In Tabelle 13 sind exemplarisch Datenbank- und Softwarelösungen der ökologischen Bewertung aufgeführt, die in Anlehnung an Dobers¹⁵⁷ und Klöpffer und Grahl¹⁵⁸ sowie nach Einschätzung des Autors einen hohen Bekanntheitsgrad in Deutschland haben.

Kategorien	Kostenpflichtig	Kostenlos
Fahrzeugemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • HBEFA • Map & Guide • Bearing Point LogEC 	<ul style="list-style-type: none"> • EcoTransIT • NTMCalc
Ökobilanzierung	<ul style="list-style-type: none"> • Ecoinvent • GaBi • SimaPro • Umberto • openLCA 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemis • Probas • ELCD (ILCD)

Tabelle 13: Übersicht zu Datenbanken und Softwarelösungen der ökologischen Bewertung (Auswahl)¹⁵⁹

Auf eine weitergehende Vorstellung der Eigenschaften und Besonderheiten der Softwarelösungen wird im Rahmen der Ausarbeitung verzichtet. Festzuhalten bleibt, dass die Wahl einer speziellen Datenbank nicht zwangsläufig die Genauigkeit und Aussagekraft einer ökologischen Bewertung bestimmt. Entscheidend ist vielmehr eine korrekte Anwendung vorhandener Datensätze unter Beachtung der oben formulierten Leitfrage und der Grundprinzipien der ökologischen Bewertung.

2.3.5 Initiativen und Projekte zur Weiterentwicklung bestehender Methoden

Mit dem Ziel, bestehende methodische Unklarheiten und Defizite bei der ökologischen Bewertung von Logistikprozessen zu beseitigen, wurden in der kürzeren Vergangenheit, mehrere Initiativen und Projekte gestartet (z. B. Green Logistics-Projekt, Green Efforts-Projekt,

¹⁵⁶ Probas = Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme (vgl. Probas 2016)

¹⁵⁷ Dobers 2011, S. 26

¹⁵⁸ Klöpffer und Grahl 2009, S. 136–138

¹⁵⁹ eigene Darstellung

COFRET-Projekt, GS 1 Lean and Green Initiative, TK'Blue Initiative). Zum Zeitpunkt der Erstellung der Ausarbeitung sind aus dem internationalen Blickwinkel insbesondere die Aktivitäten „ISO/IWA 16“ sowie „GLEC Framework“ relevant, die im Folgenden kurz präsentiert werden. Beide Aktivitäten vereinen eine große Zahl namhafter Institutionen und sind zum Teil auch mit den beispielhaft genannten Einzelprojekten verknüpft.

ISO/IWA 16

Im Jahr 2015 hat die ISO ein Dokument mit dem Titel „ISO/IWA 16: International harmonized method(s) for a coherent quantification of CO₂e emissions of freight transport“¹⁶⁰ veröffentlicht. Es handelt sich um eine offizielle Dokumentation mehrerer internationaler Arbeitstreffen (engl. International Workshop Agreement, kurz: IWA) mit Experten aus dem Fachbereich der ökologischen Bewertung. Ein ISO/IWA-Dokument beinhaltet schwerpunktmäßig die Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse („gap analysis“) sowie abgeleitete Empfehlungen und dient zur Vorbereitung einer zukünftigen ISO-Norm. Konkret wird mit dem ISO/IWA 16-Prozess die methodische Weiterentwicklung und weitere Internationalisierung der DIN EN 16258 angestrebt. Gilt die Norm 16258 bislang nur für Europa und adressiert sowohl den Personen- als auch Güterverkehr, wird der neue Standard international und speziell für die Logistik gelten.

Dabei strebt der ISO-Standard eine methodische Unterscheidung zwischen drei Berechnungszielen an, nämlich: Bewertung eines Transportmitteleinsatzes, Bewertung eines Logistikdienstleisters und Bewertung einer Logistikkette für eine einzelne Sendung.¹⁶¹

Entsprechend dem Bewertungsziel unterscheiden sich die für die Berechnung relevanten Prozesse. Dabei entspricht die Ebene des Transportmittels weitestgehend der DIN EN 16258. Allerdings wären nach ISO/IWA 16 z. B. direkte Emissionen aus Leckagen zusätzlich relevant. Die Ebene des Logistikdienstleisters folgt dem Ansatz der unternehmensbezogenen THG-Bilanz (vgl. DIN ISO/TR 14069). Sämtliche Aktivitäten (d. h. Scope 1, 2 und 3) sind zu berücksichtigen; insbesondere auch THG-Emissionen, die durch Hilfsprozesse (z. B. in Häfen: Schleppschiffe, beim Rangieren von Güterzügen: Rangierlokomotiven), an Logistikimmobilien oder durch Sub-Dienstleister hervorgerufen werden. Für die Bewertung einer einzelnen Sendung wird spezifiziert, dass die THG-Emissionen für die Logistikkette vom Versender bis zum Ort, an dem substantielle Veränderungen an der Facht vorgenommen werden, zu berechnen sind.¹⁶² Innerhalb der drei Betrachtungsweisen sind nach ISO/IWA 16 folgende Prozesse relevant:¹⁶³

- Fahrzeugprozesse (TTW),
- Energieprozesse (WTT),
- Leckagen und
- administrative Vorgänge (sofern relevant und sinnvoll).

¹⁶⁰ ISO/IWA 16

¹⁶¹ ISO/IWA 16, S. 3

¹⁶² ISO/IWA 16, S. 3

¹⁶³ ISO/IWA 16, S. 4

Keinen Eingang in die Bewertung sollten nach ISO/IWA 16 hingegen folgende Aspekte finden: RFI-Faktor, Lebenszyklus des Fahrzeugs, Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur und Lebenszyklus der Infrastruktur der Energiebereitstellung.¹⁶⁴

Zu berechnen sind CO₂-Äquivalent-Emissionen unter Beachtung der aktuellsten IPCC-Charakterisierungsfaktoren für 100 Jahre. Eine weitergehende Konkretisierung der methodischen Empfehlungen (z. B. Berechnungsschritte, Emissionsfaktoren) liegt zum Zeitpunkt der Ausarbeitung nicht vor. Entsprechend dem Zielsetzungen eines IWA-Prozesses geht es um die Formulierung einer ersten Idee.

GLEC Framework

WRI und WBCSD haben die Begriffe „GHG protocol“ und „Greenhouse Gas protocol“ rechtlich schützen lassen. Als kommerzielles Produkt bieten sie Unternehmen, Verbänden und wissenschaftlichen Einrichtungen das Label „built on GHG protocol“ an. Dieses Label kann z. B. für die Entwicklung branchenspezifischer Leitfäden zur Durchführung von THG-Bilanzen verwendet werden und dazu beitragen, den internationalen Bekanntheitsgrad entwickelter Leitfäden zu erhöhen. Zudem wird durch das WRI und WBCSD die Kompatibilität zum GHG-Protokoll geprüft. 2016 hat das Smart Freight Centre aus den Niederlanden, unterstützt von der Initiative Global Logistics Emissions Council (GLEC), einen logistikspezifischen Leitfaden für die Berechnung von THG-Emissionen publiziert („GLEC Framework“), der auf den Grundprinzipien und methodischen Anforderungen des THG-Protokoll-Standards basiert. Der Leitfaden trägt das Label „build on GHG Protocol“.

Im Fokus der Methode steht die Bewertung der THG-Emissionen einer Logistikkette in Bezug auf eine einzelne Sendung. Dabei erstreckt sich die Logistikkette von der Warenübergabe beim Versender bis zur Warenübergabe beim Empfänger.¹⁶⁵ Innerhalb der Logistikkette sind die Emissionen verschiedener Elemente zu bewerten. Hierzu zählen insbesondere auch Logistikimmobilien wie z. B. Terminals und Lager. Dabei ist es relevant, dass Unternehmen Transportdienstleistungen für die einzelnen Elemente definieren (engl. Transport Service Categories, TSC). Dies definiert die allgemeine Struktur der Datenerhebung und Berechnungen. Übergeordnetes Ziel ist es, für jede Dienstleistung eines Elements einen repräsentativen Durchschnittswert zu ermitteln. Eine tagesgenaue Bewertung wird explizit als nicht zielführend eingestuft.¹⁶⁶

Laut „GLEC Framework“ sind folgende Prozesse für die Emissionsbewertung relevant:¹⁶⁷

- Fahrzeug- und Anlagenprozesse (TTW) und
- Energieprozesse (WTT).

Nicht relevant sind hingegen: Leckagen, RFI-Faktor, administrative Vorgänge, Lebenszyklus des Fahrzeugs, Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur und Lebenszyklus der Infrastruktur der Energiebereitstellung.¹⁶⁸

¹⁶⁴ ISO/IWA 16, S. 4

¹⁶⁵ SFC 2016, S. 19

¹⁶⁶ SFC 2016, S. 20

¹⁶⁷ SFC 2016, S. 16 (Der englische Begriff „device“ wird mit dem Begriff „Anlage“ übersetzt.)

¹⁶⁸ SFC 2016, S. 17

Der „GLEC Framework“ beinhaltet eine ausführliche Beschreibung der Berechnungsschritte für jedes Element und unterbreitet zudem für jedes Element einen Vorschlag für die Systematisierung von Dienstleistungen. Allerdings werden dienstleistungsbezogene Kennzahlen und Regeln zur Ermittlung von Kennzahlen nicht thematisiert. Der Standard benennt offene Forschungs- und Entwicklungspunkte. Hierzu zählen u. a. auch standardisierte Logistikdienstleistungen an Logistikimmobilien¹⁶⁹, wie es diese Ausarbeitung zum Ziel hat.

Gegenwärtig wird der „GLEC Framework“ einer Aktualisierung unterzogen, u. a. im Rahmen des europäischen „Coordination & Support Actions“-Projekts LEARN.¹⁷⁰ Im genannten EU-Projekt geht es u. a. darum, mittels verschiedener Fallstudien die Umsetzbarkeit bestehender Methoden zu überprüfen, Hilfestellungen für industrielle Anwender zu erstellen und in verschiedenen Themenfeldern Weiterentwicklungsschritte aufzuzeigen (z. B. eco-labelling).

2.4 Emissionskennzahlen im Kontext betrieblicher Entscheidungen

Damit eine Organisation Entwicklungen beurteilen und geeignete Handlungsweisen ableiten kann, werden Kennzahlen benötigt, die nach definierten Regeln einen Vergleich zwischen zwei oder mehreren zeitlich, räumlich oder prozessual getrennten Zuständen ermöglichen. Auf Basis von Kennzahlen lassen sich Entwicklungen aus einer nachträglichen Sicht beschreiben, in Planungen und Strategien überführen und mit Erwartungen und Zielen verknüpfen.

Der Klimaschutz ist politische, gesellschaftliche und auch unternehmerische Realität. Daher werden zur Entscheidungsfindung im unternehmerischen Kontext in vielen Fällen bereits Emissionskennzahlen herangezogen. Es besteht einerseits eine Erwartungshaltung bei Kunden und Stakeholdern, die es zu erfüllen gilt. Andererseits sind gesetzliche Anforderungen an den Umwelt- und Klimaschutz zu erfüllen (vgl. aktuelle Fassung des EDL-G).

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden Grundlagen zu Kennzahlen und zu den Formen der Einbettung von Emissionskennzahlen in unternehmerische Entscheidungssituationen beschrieben. Aufgrund der Vielzahl von betrieblichen und logistischen Kennzahlensystemen, die in der Literatur existieren, kann dabei dem Anspruch an Vollständigkeit nicht entsprochen werden.

2.4.1 Betriebliche Kennzahlen

Nach Weber sind Kennzahlen „quantitative Größen, die in bewusster Verdichtung der komplexen Realität über messbare Sachverhalte informieren“.¹⁷¹ Im betrieblichen Kontext erfüllen Kennzahlen folgende Funktionen:¹⁷²

- Operationalisierungsfunktion:
Ziele sowie die Erreichung von Zielen können gemessen werden.
- Anregungsfunktion:
Auffälligkeiten und notwendige Veränderungen können ermittelt werden.

¹⁶⁹ SFC 2016, S. 55

¹⁷⁰ LEARN-Projekt (Auftragsnummer/ Grant Agreement No: 723984)

¹⁷¹ Weber 1993, S. 223

¹⁷² Weber 1993, S. 223–224

- Vorgabe-, Steuerungs- und Kontrollfunktion:
Strategische Planziele können auf ihre Richtigkeit und Gültigkeit überprüft werden.
- Informationsfunktion:
Die Informationsqualität für Managementprozesse kann verbessert werden.
- Koordinationsfunktion:
Bereichsübergreifend können Ziele aufeinander abgestimmt werden.

Für Unternehmen sind Kennzahlen „vielseitige Instrumente, die sowohl für interne als auch für externe Zwecke verwendet werden können.“¹⁷³ Reichmann und Hoffjan nennen als Beispiele für eine externe Verwendung die jährliche bzw. quartalsmäßige Bilanzanalyse und den hierüber möglichen Betriebsvergleich, welcher z. B. von Investoren oder Banken im Rahmen von Anlagenbewertungen genutzt wird. Demgegenüber wird die Betriebsanalyse als interner Verwendungszweck genannt, welche das Ziel hat, „aus der historischen Entwicklung quantitativer Daten der Unternehmung bzw. unter Heranziehung vergleichbarer Unternehmungen Urteile über die ökonomische Situation der zu analysierenden Unternehmung zu gewinnen“.¹⁷⁴

Allerdings ist nach Weber und auch Reichmann und Hoffjan die Aussagekraft von Kennzahlen begrenzt, da sie per Definition stets eine Verengung bzw. Komprimierung der Realität vornehmen¹⁷⁵, nicht-quantifizierbare Zusammenhänge ausschließen¹⁷⁶ und die informativen Eigenschaften stark durch die Qualität des zugrunde liegenden Informationssystems beeinflusst werden¹⁷⁷. Für die Bewertung eines Sachverhalts ist daher sorgfältig zu prüfen, ob es förderlich ist, Kennzahlen zu ermitteln, und wie zutreffend die auf Basis von Kennzahlen abgeleiteten Aussagen sind.

Eine wichtige Differenzierungsform stellt die zeitliche Dimension von Kennzahlen dar. Hier wird typischerweise zwischen operativen, taktischen und strategischen Kennzahlen unterschieden. Diese Unterteilungsart hat ihren Ursprung im hierarchischen Planungsansatz für Unternehmen. Im Rahmen einer strategischen Planung werden Aspekte der grundlegenden Systemgestaltung und -ausrichtung, in der taktischen Planung Aspekte des Ressourcen- und Technologieeinsatzes und in der operativen Planung Aspekte der Umsetzung von Aktivitäten definiert.¹⁷⁸

Kennzahlen als Teil eines betrieblichen Zielsystems

Neben den Möglichkeiten der geografischen, temporalen oder organisatorischen Einordnung können Kennzahlen auch über einen gemeinsamen thematischen Bezug charakterisiert werden. Eine solche Herangehensweise ermöglicht es unter anderem, aus dem Blickwinkel der Unternehmensführung die Einhaltung normativer bzw. strategischer Grundsätze (z. B. Umweltschutz) zu überprüfen und Zielsysteme bzw. Visionen zu formulieren.¹⁷⁹

¹⁷³ Reichmann und Hoffjan 2011, S. 24

¹⁷⁴ Reichmann und Hoffjan 2011, S. 24–25

¹⁷⁵ Weber 1999, S. 230

¹⁷⁶ Weber 1999, S. 231

¹⁷⁷ Reichmann und Hoffjan 2011, S. 26

¹⁷⁸ Wöhe et al. 2008, S. 179

¹⁷⁹ Bleicher 2011, S. 85 f.

Ein Ansatz zur grundlegenden Einordnung von Unternehmenszielen und Kennzahlen ist z. B. wie folgt definiert:¹⁸⁰

- Sach- bzw. Leistungsziele
(z. B. Produkt-/ Dienstleistungsprogramm mit spezifischen Qualitätszielen)
- Wertziele bzw. monetäre Ziele
(z. B. Überschuss-/ Gewinnstreben, Liquiditätssicherung)
- Sozialziele bzw. Humanziele
(z. B. Mitarbeiterorientierung, Umweltorientierung)

Entsprechend der Idee integrierter Managementmodelle (u. a. St. Galler Management-Modell) definiert sich die Priorität genannter Ziele für ein unternehmerisches Zielsystem maßgeblich über das gesellschaftliche, wirtschaftliche, ressourcenbezogene und technologische Umfeld einer Unternehmung (vgl. Abbildung 10: Umweltsphären) sowie über den Einfluss und die Erwartungshaltung von Anspruchsgruppen der Unternehmung (z. B. Kapitalgeber, Kunden, Staat).¹⁸¹

Aufgrund der vielfältigen und dauerhaften Austauschbeziehung einer Unternehmung mit ihren Anspruchsgruppen sind Unternehmensziele dabei nicht als unveränderlich einzustufen. Vielmehr gleicht die Interessenslage einer Unternehmung einer Momentaufnahme. Folgerichtig ändert sich auch die Auswahl und die Definition von Kennzahlen fortwährend, die zur Bewertung einzelner Unternehmensziele herangezogen werden.

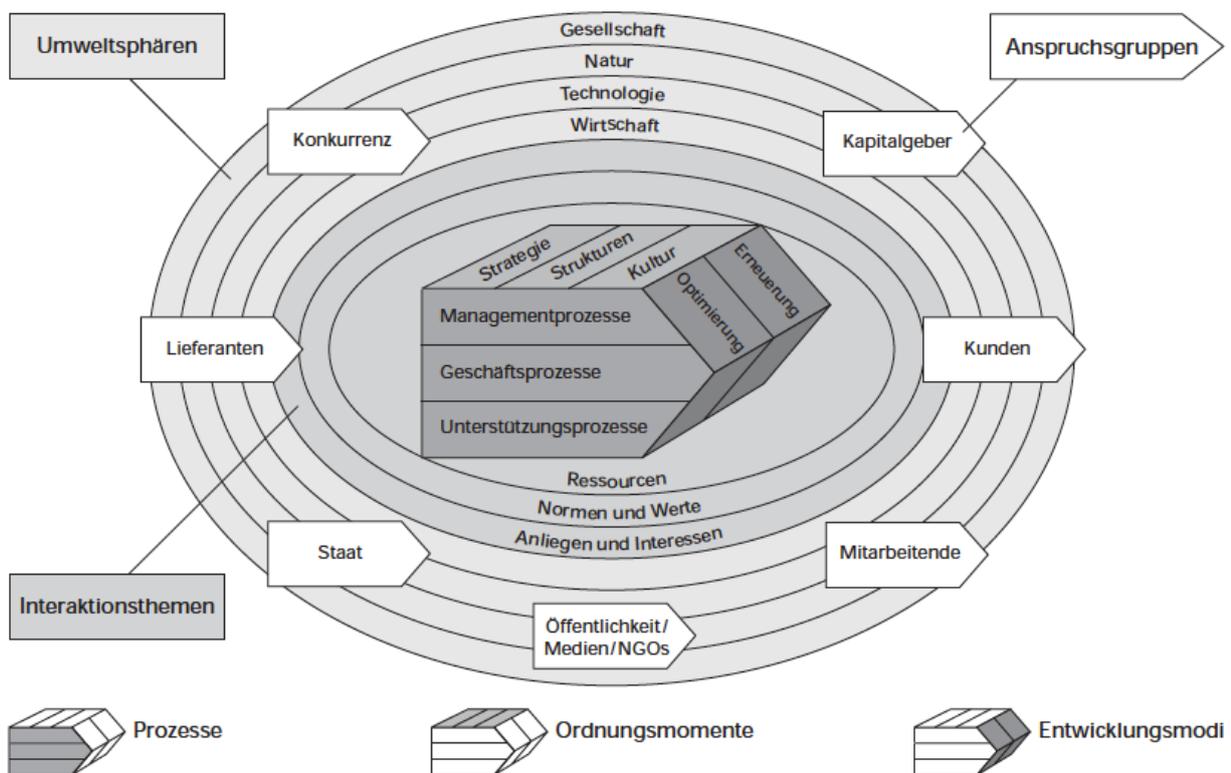


Abbildung 10: St. Galler Management-Modell im Überblick¹⁸²

¹⁸⁰ Hahn und Taylor 2006, S. 37

¹⁸¹ Rüegg-Stürm 2005

¹⁸² Rüegg-Stürm 2005

VDI 4400 als Beispiel für ein logistisches Kennzahlensystem

Das Forschungsprojekt „Logistik-Benchmarking in Produktionsunternehmen (LogiBEST)“ bildet die wissenschaftliche Grundlage der im Jahr 2000 veröffentlichten VDI-Richtlinien 4400-1, 4400-2 und 4400-3¹⁸³, die das Ziel haben, „die logistische Leistungsfähigkeit von Produktionsunternehmen mit standardisierten Kennzahlen beschreib-, mess- und bewertbar“ zu machen.¹⁸⁴ VDI 4400 ist eine Rahmenrichtlinie mit drei verschiedenen Teilbereichen (sog. „Blätter“) und differenziert die drei zentralen Materialflussebenen in Unternehmen: Beschaffung, Produktion und Distribution. Der Bewertungsrahmen ist dabei nicht zwangsläufig auf ein einzelnes Unternehmen begrenzt, sondern kann auch weitere Unternehmen (z. B. Lieferanten, Sub-Dienstleister) beinhalten, die zur Realisierung von Beschaffungs-, Produktions- oder Distributionsdienstleistungen eingesetzt werden.

Für jeden Teilbereich werden einzelne Kennzahlen vorgestellt, systematisiert und in ein strategisches Zielsystem einsortiert. „Dieses Zielsystem besteht aus drei Ebenen, wobei die oberste Ebene durch das Ziel einer hohen Logistikeffizienz dargestellt wird. Dieses Ziel wird in der zweiten Ebene in zwei weitere Ziele aufgelöst. Eine hohe Logistikeffizienz wird einerseits durch eine möglichst hohe Logistikleistung, andererseits durch möglichst geringe Logistikkosten erreicht. Die Ziele einer hohen Logistikleistung und geringer Logistikkosten teilen sich in der dritten Ebene in weitere drei bzw. zwei logistische Ziele auf“.¹⁸⁵ Im Bereich der Beschaffung liegt z. B. eine hohe Logistikleistung vor, wenn kurze Durchlaufzeiten realisiert werden. Geringe Logistikkosten werden z. B. über geringe Bestandskosten definiert.

Logistische Effizienz im engeren Sinne bedeutet, dass „die Kosten der logistischen Prozesse für die jeweilige Leistung minimal und ihre Leistung bei den jeweiligen Kosten maximal sein sollten“.¹⁸⁶ Der Effizienzbewertung liegt dabei eine definitorische, nicht aber eine mathematische Beziehung zugrunde. Denn „eine monetäre Bewertung der logistischen Leistung fällt schwer, da sie den Wert aus Sicht des Kunden ausdrücken müsste“.¹⁸⁷ Zudem ist die logistische Leistungsdefinition mehrdimensional. Mit den Kriterien Lieferzeit, -zuverlässigkeit, -qualität und -flexibilität lässt sich z. B. der Lieferservice als eine Bewertungsdimension beschreiben.¹⁸⁸

Nach der Idee der Richtlinienreihe VDI 4400 sind für die Erfolgsbewertung einzelner Logistikziele und für die Interpretation von Leistungs- und Kostenunterschieden unternehmensspezifische Kennzahlen und Kennzahlen von Vergleichspartnern heranzuziehen.¹⁸⁹ Sogenannte Strukturkennzahlen, die im Rahmen von „Benchmarkinguntersuchungen“ zu ermitteln sind, helfen dann bei der richtigen Interpretation.¹⁹⁰

¹⁸³ VDI 4400-1, VDI 4400-2 und VDI 4400-3

¹⁸⁴ Luczak und Stich 2004

¹⁸⁵ VDI 4400-1, S. 6

¹⁸⁶ Arnold et al. 2008, S. 7

¹⁸⁷ Arnold et al. 2008, S. 8

¹⁸⁸ Arnold et al. 2008, S. 8

¹⁸⁹ VDI 4400-1, S. 6

¹⁹⁰ VDI 4400-1, S. 6

In Abbildung II ist am Beispiel des Teilbereichs Beschaffung dargestellt, wie das logistische Kennzahlensystem nach VDI 4400 prinzipiell strukturiert ist. Unterschiede zwischen den einzelnen Teilbereichen (Beschaffung, Produktion, Distribution) betreffend die einzelnen Leistungs-, Kosten und Strukturkennzahlen. Das Zielsystem mit seinen drei Ebenen bleibt im Kern jedoch unverändert und ist einheitlich auf eine hohe Logistikeffizienz ausgerichtet.

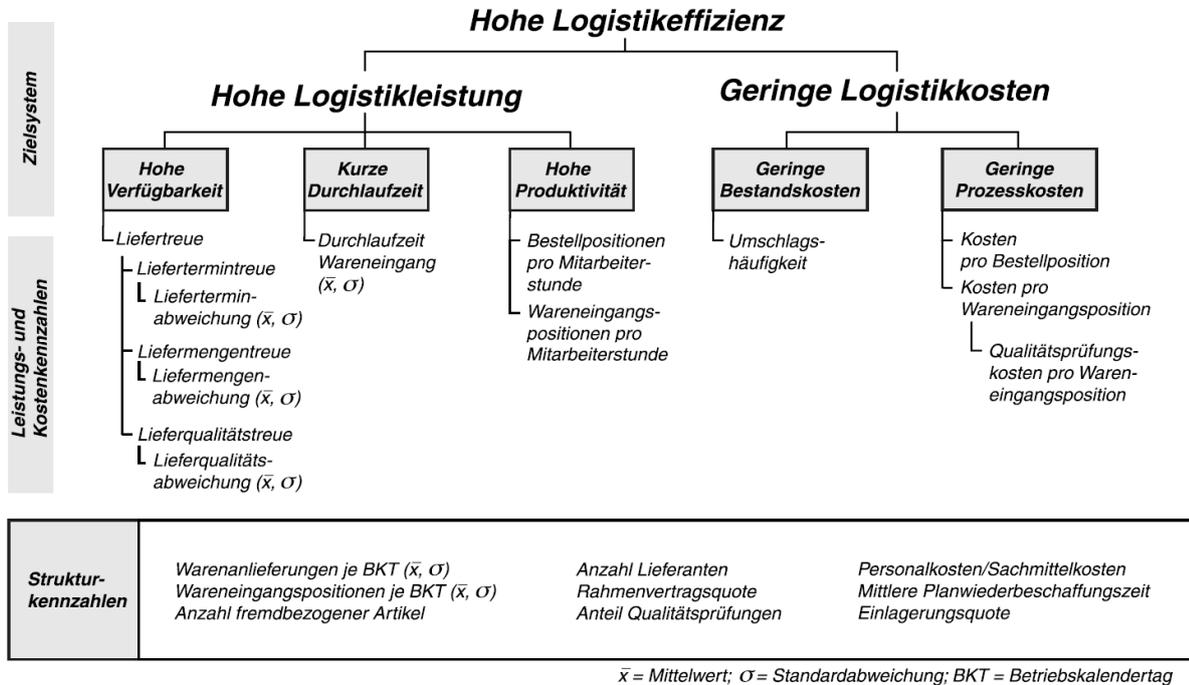


Abbildung II: Kennzahlensystem nach VDI 4400 am Beispiel der Beschaffung¹⁹¹

In den Richtlinien VDI 4400-1/-2/-3 wird kein Bezug auf ökologische Gestaltungspunkte der Logistik genommen. Eine Erweiterung um Umweltschutz wäre prinzipiell vorstellbar und müsste bei einer Anpassung der strategischen Ausrichtung beginnen (z. B. hohe Logistikeffizienz und Umweltverträglichkeit der Dienstleistungen). Zusätzlich wäre zu prüfen, welche Elemente des Zielsystems anzupassen und welche Kennzahlen zu ergänzen wären.

Für eine Modifizierung gilt es zu beachten, dass die ursprüngliche Idee fortgesetzt wird, die eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit der eigenen Organisation mittels Benchmarking vorsieht. Nach VDI 4400-1 ist Benchmarking „der kontinuierliche, systematische Vergleich des eigenen Unternehmens mit anderen Unternehmen“.¹⁹²

Kennzahlensystem VDI 4490 für Logistikimmobilien

Im Unterschied zur Rahmenrichtlinie VDI 4400 fokussiert die Richtlinie VDI 4490, die im Jahr 2007 publiziert wurde, die logistischen Abläufe eines einzelnen Logistikstandorts einer Unternehmung. Der Bewertungsrahmen ist dabei auf die Prozesse begrenzt, „die zwischen Ankunft der Ware an der Rampe bis zum Verlassen der Ware an der Rampe stattfinden“.¹⁹³

¹⁹¹ VDI 4400-1, S. 5

¹⁹² VDI 4400-1, S.2

¹⁹³ VDI 4490, S. 4

Dabei werden folgende Prozessbereiche betrachtet:¹⁹⁴

- Wareneingang,
- Einlagerung,
- Lagerung/ Nachschub,
- Kommissionierung/ Auslagerung,
- Versand,
- Qualitätssicherung und Controlling und
- Leergut und Kreislaufwirtschaft.

Für diese Bereiche werden durch VDI 4490 Logistikkennzahlen definiert und in ein System überführt, dessen Zweck darin besteht, eine „fortlaufende Aneinanderreihung von Planungsfunktionen (Plan) und Überwachungsfunktionen (Check)“ zu erreichen, durch die „Maßnahmen (Do) bewertet und Steuerungsfunktionen (Act) abgeleitet werden“.¹⁹⁵

Das Kennzahlensystem VDI 4490 ist auf operative Kennzahlen ausgerichtet.¹⁹⁶ Zur Erreichung eines einheitlichen Verständnisses werden in der VDI 4490 idealisierte Prozessketten für die einzelnen Bereiche präsentiert (z. B. Standardablauf des Bereichs Versand¹⁹⁷). Auf dieser Basis werden für jeden Bereich Kennzahlen in vier definierten Kategorien vorgestellt. Die Kategorie „A“ umfasst alle Mengen- und Strukturdaten. Leistungskennzahlen werden in der Kategorie „B“, Qualitätskennzahlen in „C“ und betriebswirtschaftliche Kennzahlen in „D“ zusammengefasst. Innerhalb der einzelnen Kategorien werden Kennzahlen zusätzlich nach ihrer Art bzw. Herleitung gruppiert:¹⁹⁸

- originäre Kennzahlen (z. B. Anzahl Mitarbeiter, verfügbare Flächen),
- einfache Kennzahlen (z. B. Anzahl Versandeinheiten, Anzahl Lieferadressen) und
- abgeleitete Kennzahlen (z. B. Durchlaufzeit pro Versandeinheit).

Für den Versandbereich in der Kategorie „B. Leistungskennzahlen“ (vgl. Tabelle 14) kann bspw. die Anzahl der dem Versand zugeordneten Mitarbeiter als originäre Kennzahl (o) definiert werden. Die Nettoarbeitszeit ist hingegen eine „einfache Kennzahl“ (k), die in Kombination mit weiteren Kennzahlen eine „abgeleitete Kennzahl“ (a) ergibt. Jede Kennzahl des VDI-4490-Schemas hat einen eindeutigen Identifikationsschlüssel, so dass Zusammenhänge transparent und nachvollziehbar sind (vgl. Tabelle 14, rechte Spalte).

Emissionskennzahlen sind in der VDI 4490 nicht aufgeführt. Eine entsprechende Erweiterung um Aspekte des Umwelt- oder Klimaschutzes wäre aber prinzipiell möglich. Hierfür müsste dann eine zusätzliche Kategorie (z. B. Emissionskennzahlen) eingeführt und weitere Kennzahlen je Prozessbereich ermittelt werden.

Für viele betriebliche Kennzahlensysteme gilt, dass Emissionskennzahlen kein integraler oder originärer Bestandteil sind. Nach Einschätzung des Autors hat sich vielmehr ein paralleles Vorgehen in der unternehmerischen Praxis etabliert. Demnach werden ökonomische und

¹⁹⁴ VDI 4490, S. 4

¹⁹⁵ VDI 4490, S. 3

¹⁹⁶ VDI 4490, Bild 2

¹⁹⁷ VDI 4490, S. 8

¹⁹⁸ VDI 4490, S. 10

ökologische Kennzahlensysteme nebeneinander gepflegt. Ökologische Systeme erfüllen dann bei unternehmerischen Entscheidungen eine Prüf- bzw. Empfehlungsfunktion, wie die weiteren Ausführungen dieses Abschnittes noch verdeutlichen.

B. Leistungskennzahlen (in der Regel gesamt; pro Versandbereich; pro Zeiteinheit; Ausnahmen unter Erläuterungen)					
1	Mitarbeiter Versand	<i>o</i>			
2	Arbeitsnettozeit Versand – gesamt	<i>k</i>	h; min	bezahlte Anwesenheit = alle dem Versandprozess zuzuordnende Arbeitsstunden (inkl. Nebenzeiten) (Abwesenheitsstunden durch Urlaub, Krankheit, Behördengänge, Fortbildung, unentschuldigtes Fehlen usw. werden nicht einbezogen.)	
3	Arbeitsnettozeit Versand –produktiv	<i>k</i>	h; min	bezahlte Anwesenheit = die unmittelbar dem Versandprozess zuzuordnenden Arbeitsstunden (ohne Nebenzeiten) (Abwesenheitsstunden durch Urlaub, Krankheit, Behördengänge, Fortbildung, unentschuldigtes Fehlen usw. werden nicht einbezogen.)	B2 – B4
4	Arbeitsnettozeit Versand – Nebenzeiten	<i>k</i>	h; min	bezahlte Anwesenheit = alle nicht unmittelbar dem Versandprozess zuzuordnende Arbeitsstunden = Nebenzeiten) (Abwesenheitsstunden durch Urlaub, Krankheit, Behördengänge, Fortbildung, unentschuldigtes Fehlen usw. werden nicht einbezogen.) Nebenzeiten sind u.a.: • Auftrag entgegennehmen • Leergut beladen • Lkw einweisen	B2 – B3
7	Durchlaufzeit pro Versandeinheit	<i>a</i>	min; s		B2/A6
8	Zeit pro Gewichtseinheit	<i>a</i>	min; s		B2/A7
9	Zeit pro Volumeneinheit	<i>a</i>	min; s		B2/A8
10	Versandeinheiten pro Arbeitsnettozeit-Einheit	<i>a</i>	Stück/h		A6/B2
11	Volumen pro Arbeitsnettozeit-Einheit	<i>a</i>	(m ³ ; l)/h		A8/B2
12	Gewicht pro Arbeitsnettozeit-Einheit	<i>a</i>	(t; kg; g) h		A7/B2

Tabelle 14: Leistungskennzahlen nach VDI 4490 am Beispiel des Versands¹⁹⁹

2.4.2 Ökoeffizienzbewertung nach DIN ISO 14045

In der betrieblichen Gesamtkostenstruktur sind Kostenstellen enthalten, die einen unmittelbaren Bezug zum Umwelt- und Klimaschutz haben. Nach Bosshardt sind insbesondere die Kosten für Energie und Rohstoffe, für Umweltschutzmaßnahmen, für die Behebung von Umweltschäden, für Versicherungsprämien und für die Kreditkonditionen zu nennen.²⁰⁰

Bosshardt merkt an, dass die eigentliche Ressourcenschonung für viele Unternehmen keine Priorität hat.²⁰¹ Denn im Gegensatz zu steigenden Personalkosten würden natürliche Ressourcen „in konstanten Geldwerten immer billiger gerechnet, weil [...] sie auf vielfältige Art von den meisten Staaten subventioniert werden und weil ein beträchtlicher Teil ihrer Kosten, nämlich die Umwelt- und Sozialkosten, der Allgemeinheit angelastet werden (Externalitäten)“.²⁰² Um diesem Effekt entgegenzutreten bedarf es eines erweiterten Unternehmens- und Managementverständnisses, in dem der effiziente Umgang mit Ressourcen eine zentrale Position einnimmt.

Als einen Lösungsansatz hat das Business Council for Sustainable Development (BCSD)²⁰³ im Jahr 1992 das Ökoeffizienz-Konzept definiert und entscheidend zu einer weltweiten Verbreitung beigetragen.²⁰⁴ Namhafte Unternehmen aus Deutschland (z. B. Deutsche Bank, Deutsche Post DHL, Bayer, BASF, Daimler, Evonik, Siemens²⁰⁵) verfolgen gegenwärtig Ökoeffizienzziele nach dem Verständnis des WBCSD. Mit einer Ökoeffizienz-Analyse wird u. a.

¹⁹⁹ VDI 4490, S. 50

²⁰⁰ Bosshardt 1999, S. 23

²⁰¹ Bosshardt 1999, S. 22

²⁰² Bosshardt 1999, S. 22

²⁰³ seit 1995 World BSCD, kurz: WBSCD

²⁰⁴ Hauff und Kleine 2014, S. 108

²⁰⁵ WBCSD 2017

die Wirtschaftlichkeit eines Produkts oder einer Dienstleistung in Bezug zu den Umweltwirkungen gestellt. Im Unterschied zu einem Umweltmanagementsystem oder einer Nachhaltigkeitsberichterstattung geht es also explizit nicht um eine Gesamtbetrachtung der Unternehmung.

Mit der Veröffentlichung der Norm DIN ISO 14045 im Jahr 2012 hat die Ökoeffizienz-Bewertung eine internationale Standardisierung erfahren. Demnach gilt: „Die Ökoeffizienzbewertung ist ein quantitatives Managementwerkzeug, das die Untersuchung der Umweltauswirkungen im Verlauf des Lebensweges eines Produktsystems in Bezug auf den zugehörigen Nutzen des Gesamtsystems für Anspruchsgruppen ermöglicht.“²⁰⁶ Hierzu wird die Umweltleistung mit dem zugehörigen Produktsystemnutzen in Beziehung gesetzt. Die Umweltleistung ist das „messbare Ergebnis bezogen auf Umweltaspekte“²⁰⁷, d. h. bezogen auf einen „Bestandteil der Tätigkeiten oder Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, der auf die Umwelt einwirken kann“.²⁰⁸ Die Kennzahl, die entsprechend der ISO-Norm zu bilden ist, heißt Ökoeffizienz-Indikator. Dies wird verstanden als ein „Maß, das die Umweltleistung eines Produktsystems in Beziehung zu dessen Produktsystemnutzen setzt“.²⁰⁹

Wie in Hauff und Kleine näher erläutert wird, werden Unternehmen als ökoeffizient bezeichnet, „die auf dem Weg zu langfristig tragbarem Wachstum Fortschritte machen, indem sie ihre Arbeitsmethoden verbessern, problematische Materialien substituieren, saubere Technologien und Produkte einführen und sich um die effiziente Verwendung und Wiederverwendung von Ressourcen bemühen.“²¹⁰ In Analogie zur Produkt-Ökobilanz (vgl. Unterabschnitt 2.3.2) kann ein Produktsystem nur in Bezug auf ein anderes Produktsystem mehr oder weniger ökoeffizient sein.²¹¹ Zwei verschiedene Produktsysteme liegen vor, wenn sich die zeitlichen, technologischen oder organisatorischen Randbedingungen der Bewertung unterscheiden.²¹² Es ist dem Anwender selbst überlassen, entsprechend einer zu definierenden Zielstellung die Anzahl und die Ausrichtung der Ökoeffizienz-Indikatoren zu bestimmen.²¹³ Für die Bewertung der Treibhausgas-Effizienz logistischer Dienstleistungen ist das Konzept der Ökoeffizienz-Bewertung nach DIN ISO 14045 gut geeignet. Bei der Verfahrensentwicklung in Kapitel 4 wird daher Bezug auf die Prinzipien der Norm genommen.

2.4.3 Umweltmanagementsysteme DIN ISO 14001 und EMAS

Grundsätzlich adressiert ein Umweltmanagementsystem organisatorische Fragestellungen in Unternehmen zum Umgang mit Umweltwirkungen, die im Kontext der unternehmerischen Leistungserbringung stehen und hierdurch hervorgerufen werden. Im Kern geht es um die Etablierung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses zur Reduzierung von Umweltauswirkungen z. B. nach der Plan-Do-Check-Act Methode, die bereits im Kontext der VDI 4490 präsentiert wurde. Im Unterschied zu einer Ökoeffizienz-Analyse geht es explizit nicht um

²⁰⁶ DIN ISO 14045, S. 5

²⁰⁷ DIN ISO 14045, S. 7

²⁰⁸ DIN ISO 14045, S. 7

²⁰⁹ DIN ISO 14045, S. 8

²¹⁰ Hauff und Kleine 2014, S. 108 (Übersetzung auf Basis der Originals von Schmidheiny 1998)

²¹¹ DIN ISO 14045, S. 12

²¹² DIN ISO 14045, S. 13

²¹³ DIN ISO 14045, S. 14

einzelne Produkte oder Dienstleistungen. Vielmehr stehen Organisationsstrukturen im Fokus. Unternehmen, die ein Umweltmanagementsystem einführen wollen, haben grundsätzlich die Wahl zwischen einem System nach DIN ISO 14001²¹⁴ oder EMAS²¹⁵.

EMAS steht für „Eco-Management and Audit Scheme“ und ist ein wichtiges Instrument der europäischen Klima- und Umweltpolitik. Bereits im Juni 1993 wurde die Verordnung 1836/93 durch den europäischen Rat erlassen, die die Anforderungen an die Implementierung eines solchen Umweltmanagementsystems spezifiziert. In den Jahren 2001 und 2009 wurde die Verordnung jeweils einer Aktualisierung unterzogen (EG 761/2001 bzw. EG 1221/2009). Die sogenannte EMAS-III-Verordnung aus dem Jahr 2009 beinhaltet im Unterschied zu den Vorgängerversionen z. B. Vereinfachungen für kleine und mittlere Unternehmen. Ebenso wurde bei der Novellierung die Beschränkung der exklusiven Teilnahme für Unternehmen mit einem Firmenstandort in Europa aufgehoben. Die DIN ISO 14001 wurde im Jahr 1996 veröffentlicht. In den Jahren 2004 und 2015 erfolgten jeweils Aktualisierungen und inhaltliche Anpassungen. Die DIN ISO 14001 basiert ursprünglich auf dem britischen Standard BS 7750 aus dem Jahr 1994. Beide Umweltmanagementstandards haben also ihren Ursprung in Europa und sind zur selben Zeit entstanden. Dies kann als Erklärung herangezogen werden, weshalb die inhaltlichen Unterschiede als gering zu bewerten sind.²¹⁶

Der zentrale Unterschied zwischen den beiden Standards besteht darin, dass die EMAS die Publikation einer Umwelterklärung vorsieht. Durch die Umwelterklärung sind Unternehmen dazu verpflichtet, Auskunft über den Ressourceneinsatz sowie die entstandenen Emissionen und Abfälle in Form einer Input-Output-Bilanz für das Unternehmen zu geben. Ebenso sind in der Umwelterklärung konkrete Maßnahmen und Ziele des Umweltschutzes zu benennen. Die Umsetzung der EMAS-Verordnung gilt daher als vergleichsweise aufwändiger, kann für Unternehmen aber vorteilhaft sein, um öffentliche Zuschüsse für Investitionen zu erhalten, die an eine EMAS-Umsetzung geknüpft sind, oder um bei umweltschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren niedrigere Gebühren zu bezahlen.²¹⁷

Unternehmen können sich die korrekte Umsetzung eines Umweltmanagementstandards durch eine Zertifizierung bestätigen lassen. Sowohl bei EMAS als auch bei DIN ISO 14001 sind der Auf- und Ausbau eines funktionierenden Umweltmanagementsystems innerhalb der Organisation Gegenstand der Prüfung.²¹⁸ Zurzeit sind Unternehmen hauptsächlich nach DIN ISO 14001 zertifiziert, da dieser Standard international anerkannt ist und in diesem Kontext Bestandteil von Verhandlungen ist (ähnlich zu DIN ISO 9001). Einige Unternehmen sind auch nach beiden Standards zertifiziert. Das UBA beschreibt die gegenwärtige Situation in Deutschland wie folgt: „Im Jahr 2016 waren 1.225 Organisationen an 2.111 Standorten nach EMAS registriert. [...] Rund 8.000 Organisationen [haben] ein Umweltmanagementsystem nach ISO 14001 implementiert. Die europäische EMAS-Verordnung enthält die Inhalte der ISO 14001 an zentraler Stelle. Aus diesem Grund ist ein Großteil der EMAS-Organisationen auch nach ISO 14001 zertifiziert – ohne Mehraufwand.“²¹⁹

²¹⁴ DIN ISO 14001

²¹⁵ EMAS

²¹⁶ StMUG 2012

²¹⁷ StMUG 2012, S. 15

²¹⁸ UBA 2017b

²¹⁹ UBA 2017c

Im Rahmen des Auf- und Ausbaus von Umweltmanagementsystemen müssen Unternehmen umweltbezogene Einzelziele definieren. Gemäß DIN ISO 14001 geht es dabei um eine „detaillierte Leistungsanforderung für die Organisation [...] oder Teile davon, die sich aus den umweltbezogenen Zielsetzungen [...] ergibt und zum Erreichen dieser Zielsetzungen festgelegt und erfüllt werden muss.“²²⁰ Diese Einzelziele können durch Emissionskennzahlen beschrieben werden. Als Beispiele für zu erfassende Umweltaspekte werden genannt:²²¹ Emissionen in die Luft, Einleitungen in Gewässer, Verunreinigung von Böden, Verbrauch von Rohstoffen und natürlichen Ressourcen, Nutzung von Energie, Freisetzung von Energie (z. B. in Form von Strahlung), Abfall und Nebenprodukte sowie physikalische Merkmale der Produkte (z. B. Größe).

Logistikunternehmen, die einem Umweltmanagementstandard folgen, können die Methode, die in dieser Ausarbeitung entwickelt wird, für die Wirkungskategorie Treibhausgase anwenden und die Umweltleistung an Logistikstandorten gezielt messen und verbessern (im Sinne eines umweltbezogenen Einzelziels).

2.4.4 Nachhaltigkeitsberichterstattung nach GRI

Am 11. April 2017 ist in Deutschland das CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz in Kraft getreten²²², das Aktiengesellschaften und Kommanditgesellschaften auf Aktien durch eine Änderung des Handelsgesetzbuchs²²³ nun dazu verpflichtet, über Umweltbelange, Arbeitnehmerbelange und Sozialbelange sowie über die Achtung der Menschenrechte und die Bekämpfung von Korruption und Bestechung regelmäßig zu berichten. Unternehmen, die von diesem Gesetz betroffen sind und auch solche, die freiwillig über ihr soziales Engagement oder das Einhalten ethischer Grundsätze berichten möchten, nutzen i. Allg. das Format eines Nachhaltigkeitsberichts. Dabei kann die Berichterstattung an globalen Standards ausgerichtet werden, um eine Vergleichbarkeit von Nachhaltigkeitsstandards untereinander zu unterstützen und Mindestanforderungen zu erfüllen. Ein solcher Standard ist der Global Reporting Initiative Standard (im Weiteren: GRI-Standard), der eine relativ hohe Bedeutung in der Praxis hat.

Gemäß dem aktuellen GRI-Standard (Berichtsrahmen G4) bieten sich Unternehmen zwei Optionen zur Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts. Eine Option heißt „Kern“ und die andere „Umfassend“.²²⁴ Sie sind von allen Organisationen, unabhängig von Art, Größe, Branche oder Standort, anwendbar. „Die „Kern“-Option schafft einen allgemeingültigen Berichtsrahmen für Organisationen, um Angaben zu den Auswirkungen ihrer wirtschaftlichen, ökologischen, gesellschaftlichen und führungsbezogenen Leistung vorzunehmen. Die „umfassende“ Option baut auf der „Kern“-Option auf und erfordert zusätzliche Angaben zur Strategie und Analyse, zur Unternehmensführung sowie zur Ethik und Integrität der Organisation.“²²⁵

²²⁰ DIN ISO 14001, S. 12

²²¹ DIN ISO 14001, S. 26

²²² CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz

²²³ HGB, §§ 289a bis 289e

²²⁴ GRI-Leitlinien, S. 8

²²⁵ GRI-Leitlinien, S. 11

In beiden Ausführungsformen erfordert der GRI-Standard von Unternehmen, Indikatoren für verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte zu definieren. In der Kategorie „Ökologie“ sind in der Subkategorie „Emissionen“ Angaben gemäß den Anforderungen „G4-EN15“ bis „G4-EN21“ vorzunehmen. Die Berichtspositionen „G4-EN15“ bis „G4-EN19“ beziehen sich dabei auf THG-Emissionen, die nach den Vorgaben der DIN ISO 14064 f. zu berechnen sind. Konkret geht es bei der Berichterstattung um folgende Anforderungen:²²⁶

- GRI-Indikator G4-EN15: Scope 1 THG-Emissionen,
- GRI-Indikator G4-EN16: Scope 2 THG-Emissionen,
- GRI-Indikator G4-EN17: Scope 3 THG-Emissionen,
- GRI-Indikator G4-EN18: Intensität der THG-Emissionen (Kennzahlen) und
- GRI-Indikator G4-EN19: Bewertung bisheriger Entwicklungen zum Basisjahr.

Grundsätzlich kann die nachhaltige Gestaltung von Logistikprozessen als schwierig eingestuft werden, da „die Verkehrssysteme (Straßen-, Schienen-, Wasser-, Luftverkehrssysteme und Rohrleitungssysteme) unterschiedliche raum-zeitliche Angebotsqualitäten, Kapazitäten, infrastrukturelle Ausstattungen und Zugänglichkeiten zur Nachfrage, entsprechen den sogenannten Verkehrswertigkeiten, [aufweisen].“²²⁷ „Vor dem heutigen Kenntnisstand und vorstellbaren technologischen Möglichkeiten [scheint] eine vollständig umwelt- und klimaneutrale Logistik ausgeschlossen zu sein.“²²⁸

In Bezug auf den Logistik- und Transportsektor wurde durch die Trägergesellschaft des GRI ein Leitfaden („Sector Guidance“) erarbeitet und im Jahr 2006 als unverbindliche Entwurfsfassung veröffentlicht („Pilot Version 1.0“). Im Bezug auf die Kategorie „Ökologie“ wird der Anspruch konkretisiert, neben Transportprozessen auch Logistikimmobilien bei der Emissionsbewertung zu berücksichtigen.²²⁹ Es ist zu beachten, dass der Leitfaden keinen offiziellen Charakter hat und sich auf einen älteren Berichtsrahmen bezieht (G3).²³⁰

Schlussendlich ist das Thema Nachhaltigkeit umfangreicher als hier dargestellt. Da es jedoch kein Kernthema dieser Arbeit ist, wird auf eine eingehendere Darstellung verzichtet. Eine aktuelle und umfassende Auseinandersetzung mit Anforderungen an eine nachhaltige Unternehmensführung in der Logistikbranche liefern u. a. Heidbrink und Bretzke.²³¹ Auf Basis des GRI-Standards konnte exemplarisch gezeigt werden, dass im Bereich der Emissionen typischerweise auf bestehende Normen und Standards der ökologischen Bewertung verwiesen wird, die bereits vorgestellt wurden (z. B. DIN ISO 14064 f.). Daher ist das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren mit Nachhaltigkeitsstandards grundsätzlich kompatibel. Nachhaltigkeitsstandards können als gesamtunternehmerischer Überbau für dieses Verfahren verstanden werden.

²²⁶ GRI Leitlinien, S. 57–59

²²⁷ Flämig 2015, S. 31

²²⁸ Flämig 2015, S. 33

²²⁹ GRI 2006, S. 28

²³⁰ GRI 2017

²³¹ Heidbrink et al. 2015 und Bretzke 2014

2.5 Abgrenzung und Handlungsbedarf

Die vorliegende Untersuchung verfolgt ein pragmatisches Wissenschaftsziel. Nach dem Verständnis der in Abschnitt 2.1 gegebenen Begriffsdefinition zur Logistikkimmobilie wird in dieser Ausarbeitung eine Bewertungsmethode zur Erstellung einer THG-Bilanz für die Betriebsphase einer solchen entwickelt, die den in Abschnitt 2.3 präsentierten Anforderungen und Vorgaben internationaler Standards entspricht. Übergeordnet wird dies als wichtiger und notwendiger Entwicklungsschritt gesehen, um die Vollständigkeit, Genauigkeit und Aussagekraft der Emissionsberichterstattung in der Logistikbranche zu verbessern. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung fehlt es an einer solchen Bewertungsmethode.

Für die Logistikbranche in Europa ist die 2013 veröffentlichte CEN-Norm 16258 maßgebend. Sie definiert einheitliche Regeln für die Berechnung von Treibhausgas-Emissionen, die durch Transportprozesse hervorgerufen werden. Gemäß der Norm sind Standortprozesse, wie z. B. der Umschlag und die Lagerung von Waren, explizit von der Berechnung ausgeschlossen. Verschiedene internationale Initiativen und Projekte, die in dieser Ausarbeitung kurz vorgestellt wurden, verfolgen gegenwärtig das Ziel, die gegebene methodische Lücke zu schließen. Diese Ausarbeitung unterbreitet diesbezüglich einen Vorschlag.

Entsprechend dem in Abschnitt 2.2 beschriebenen Ansatz kann die durchschnittliche Relevanz von Standortprozessen gegenüber Transportprozessen in Deutschland mit rund 9 Prozent beschrieben werden. Daher gilt: Werden die mit Umschlag, Lagerung oder Kommissionierung verbundenen THG-Emissionen der Logistikkette nicht berücksichtigt, resultiert ein unvollständiges und ungenaues Abbild der Realität.

Ein Unternehmen leitet seine Unternehmensziele maßgeblich aus dem gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Umfeld ab. Entsprechend unterliegen Unternehmensziele zeitlichen Entwicklungen, wie es auch die Erwartungshaltung externer Anspruchsgruppen der Unternehmung betrifft. Klimaschutz ist politische, gesellschaftliche und auch unternehmerische Realität. Viele Unternehmen haben sich eigene Umweltziele gesetzt und verfolgen die Einhaltung dieser mit entsprechenden Kennzahlen.

Im Vorfeld der eigentlichen Methodenentwicklung wird in Kapitel 3 zunächst eine weitere Spezifizierung des Untersuchungsgegenstands sowie eine systemanalytische Eingrenzung relevanter Teilaspekte vorgenommen. Dies ist u. a. für die Entwicklung eines Klassifizierungsschemas für Logistikkimmobilien in Kapitel 4 relevant. Darüber hinaus werden allgemeine Handlungsfelder für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen an Logistikkimmobilien vorgestellt. Die Methodenentwicklung in Kapitel 4 ist an den Anforderungen des THG-Protokoll-Standards sowie der DIN ISO 14064 f. unter Berücksichtigung der Empfehlung von DIN ISO/TR 14069 ausgerichtet und setzt diese um. Dies wird als wichtige Voraussetzung für die Anerkennung der geleisteten Arbeiten im internationalen Kontext gesehen. In Kapitel 5 erfolgt eine abschließende Prüfung der entwickelten Methode. Die Praxisbeispiele haben ihren Ursprung in der Forschungstätigkeit des Autors im Rahmen des BMBF-Projekts „Green Logistics“²³², das vom BMBF im Zeitraum von 2010 bis 2015 gefördert wurde. Aufgrund von Geheimhaltungsvereinbarungen ist eine anonymisierte Darstellung der Beispiele erforderlich.

²³² Fraunhofer IML 2015

3 Systemanalytische Betrachtung von Logistikimmobilien

In diesem Kapitel wird eine Spezifizierung des Untersuchungsgegenstands vorgenommen. Dies erfolgt in Bezugnahme auf die Funktionalität (Abschnitt 3.1), die relevanten Prozesse zur Leistungserbringung (Abschnitt 3.2) und die baulichen und technischen Merkmale von Logistikimmobilien (Abschnitt 3.3). Zum Ende des Kapitels werden der Energieverbrauch, der Materialbedarf und das Abfallaufkommen von Logistikimmobilien vorgestellt (Abschnitt 3.4 und 3.5)

3.1 Funktionalität

Welche Funktion, oder mit anderen Worten: welchen Zweck eine Logistikimmobilie im Kontext einer logistischen Aufgabenstellung erfüllt, kann in Anlehnung an Klaus u. a. über drei Aspekte definiert werden, nämlich:²³³

- den Stellenwert im Wertschöpfungsprozess,
- die Art der Nutzung und
- die Art der Materialflussgüter.

Stellenwert

Die Beschreibung des Stellenwerts von Logistikimmobilien im Wertschöpfungsprozess ist aus zwei Blickwinkeln möglich. Es kann ein produktionsbezogener Blick auf den Wertschöpfungsprozess gewählt werden oder ein netzwerkbezogener Blick. Typischerweise werden eingekaufte Rohstoffe oder Komponenten getrennt von Halb- bzw. Fertigerzeugnissen an einem Produktionsstandort bevorratet. Für die Lagerung von Gütern im Produktionsumfeld sind dann u. a. folgende Begriffe gebräuchlich:²³⁴

- Beschaffungslager, Rohmateriallager oder Wareneingangslager:
Lagerung von Rohstoffen und Komponenten
- Werkslager, Produktionslager oder Zwischenlager:
Lagerung von Halberzeugnissen
- Absatzlager, Fertigwarenlager, Versandlager oder Warenausgangslager:
Lagerung von Fertigerzeugnissen

Zur Erfüllung von Gewährleistungsansprüchen oder Serviceversprechen unterhalten Produktionsunternehmen zudem häufig Ersatzteillager. Auch diese Lagerimmobilien können der produktionsbezogenen Perspektive zugeordnet werden.

Eine zweite Möglichkeit stellt die Bezugnahme auf das übergeordnete Vertriebs- und Distributionsnetzwerk dar.²³⁵ Liegt ein mehrstufiger Distributionsprozess vor, können für

²³³ Klaus et al. 2012, S. 380

²³⁴ Martin 2014, S. 330

²³⁵ Klaus et al. 2012, S. 380

Lagerimmobilien drei verschiedene Funktionen unterschieden werden. Gleiches gilt für Umschlagimmobilien, die eine zentrale, regionale oder lokale Bedeutung haben können:

- Zentrallager bzw. zentrales Umschlagzentrum,
- Regionallager bzw. regionales Verteilzentrum oder
- lokales Auslieferungslager bzw. lokales Verteilzentrum.

Nehm beschreibt den Stellenwert von Logistikimmobilien im Wertschöpfungsprozess u. a. hinsichtlich der räumlichen Nähe zum nachfragenden Produktionsort bzw. Absatzmarkt und hinsichtlich der Relevanz für den Güterimport und -export. Die fünf „generischen Ansiedlungstypen aus Nutzerperspektive“ nach Nehm sind:²³⁶

- Ballungsraum-Logistikstandorte – Standorte für die regionale Distribution,
- zentrale Logistikstandorte – Standorte für die nationale und europäische Distribution,
- Gateway-Logistikstandorte – Standorte für Import- und Exportlogistik,
- industrielle Logistikstandorte – Standorte für die Ver- und Entsorgung der Produktion,
- Netzwerk-Logistikstandorte – strategische Standorte der Logistikdienstleister.

Art der Nutzung

Von Klaus et al. wird auch die Nutzungsstruktur der Logistikimmobilie thematisiert. Hinsichtlich der Anzahl Nutzer können Immobilien mit einem Nutzer (auch: dedicated warehouse, single-tenant warehouse) und solche mit mehreren Nutzern unterschieden werden (multi-user warehouse, multi-tenant warehouse).

Im Weiteren können die bereits vorgestellten Transformationsprozesse Umschlagen, Lagern und Kommissionieren/ Verpacken zur Spezifizierung verwendet werden. Nach Klaus et al. eignen sich diese Grundbegriffe zur Unterscheidung von Umschlaghallen, Lagerhallen und Distributions- bzw. Logistikzentren.²³⁷ Diesem Ansatz wird auch im Rahmen dieser Ausarbeitung gefolgt, wie die weiteren Ausführungen in Abschnitt 4.3 noch verdeutlichen.

Zur weiteren Spezifizierung des Umschlags können auch die relevanten Verkehrsträger herangezogen werden. Ein Anschluss an den Verkehrsträger Straße ist für viele Logistikimmobilien charakteristisch. Darüber hinaus sind typischerweise bis zu zwei weitere Verkehrsträger angebunden:

- Straße,
- Schiene,
- Binnenwasserstraße,
- See und
- Luft.

In Bezugnahme auf die Anzahl der verknüpften Verkehrsträger werden Logistikimmobilien auch als monomodal, bimodal, trimodal oder multimodal beschrieben.

Das zugrunde liegende Betriebsbereitschaftsmodell stellt ein weiteres Kriterium dar, um die Art der Nutzung zu spezifizieren. Allgemein können Ein-Schicht- und Mehr-Schicht-Betriebe

²³⁶ Nehm 2013, S. 98f.

²³⁷ Klaus et al. 2012, S. 381

unterschieden werden. Die relevanten Arbeitstage variieren im Bereich von fünf bis sieben Tagen pro Woche. Immobilien zur filialnahen Lebensmittelversorgung werden z. B. häufig an sechs Tagen die Woche betrieben, da dies mit den allgemeinen Öffnungszeiten der Filialen übereinstimmt bzw. hierdurch erforderlich ist. Schlussendlich resultiert eine Bandbreite von 40 bis 168 Betriebsbereitschaftsstunden pro Woche, mit denen das Betriebsmodell einer Logistikimmobilie charakterisiert werden kann.

In der nicht repräsentativen Umfrage der TU München im Jahr 2013 zur Betriebs- und Nutzungsstruktur von Logistikimmobilien mit einer Stichprobengröße von 26 Standorten gaben 35 % der Befragten an, dass an dem betreffenden Standort in drei Schichten an sieben Tagen die Woche gearbeitet wird. Für 34 % der Befragten war hingegen der Ein-Schicht- und für 27 % der Befragten der Zwei-Schicht-Betrieb zutreffend. 4 % der Befragten gaben keine Antwort.²³⁸ Eine tieferegehende Analyse und Prüfung von Kausalitäten fand nicht statt. Es ist aber davon auszugehen, dass die Branche sowie der Stellenwert im Wertschöpfungsnetzwerk einen relevanten Einfluss haben.

Materialflussgüter

Durch die Art der umgeschlagenen Güter kann eine Zuordnung zu Wirtschaftssektoren bzw. Branchen vorgenommen werden. In der europäischen und bundesamtlichen Statistik erfolgt eine Zuordnung im Güterverkehrssektor typischerweise auf Basis der Klassifizierung NST-2007, die durch die Verordnung EG 1304/2007 der europäischen Kommission legitimiert ist.²³⁹ Grundsätzlich wird hier zwischen 20 sogenannten Abteilungen bzw. Gütergruppen differenziert. Übergeordnet können diese zu sieben Wirtschaftsbereichen zusammengefasst werden. Die Verknüpfung von Wirtschaftsbereichen und Abteilungen nach NST-2007 stellt sich wie folgt dar (wie im Original: A = Abteilung und C = Wirtschaftsbereich):²⁴⁰

- C1: Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft, Rohstoffe;
 - A1: Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei;
 - A2: Kohle; rohes Erdöl und Erdgas;
 - A3: Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse;
- C2: Konsumgüter zum kurzfristigen Verbrauch, Holzwaren;
 - A4: Nahrungs- und Genussmittel;
 - A5: Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren;
 - A6: Holzwaren, Papier, Pappe Druckerzeugnisse;
- C3: Mineralische, chemische und Mineralölerzeugnisse;
 - A7: Kokerei- und Mineralölerzeugnisse;
 - A8: Chemische Erzeugnisse;
 - A9: Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.);
- C4: Metalle und Metallerzeugnisse;
 - A10: Metalle und Metallerzeugnisse

²³⁸ Günthner und Hausladen 2013, S. 10

²³⁹ WZ 2008

²⁴⁰ WZ 2008, S. 7–8

- C5: Maschinen und Ausrüstungen, langlebige Konsumgüter;
 - A11: Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte;
 - A12: Fahrzeuge;
 - A13: Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte;
- C6: Sekundärrohstoffe, Abfälle;
 - A14: Sekundärrohstoffe, Abfälle;
- C7: Sonstige Produkte;
 - A15: Post, Pakete;
 - A16: Geräte und Material für die Güterbeförderung;
 - A17: Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter;
 - A18: Sammelgut;
 - A19: Gutart unbekannt;
 - A20: Sonstige Güter (anderweitig nicht genannt)

Die NST-2007-Klassifizierung dient der Charakterisierung von Transportaktivitäten. Da Transporte grundsätzlich mit Umschlag- und Lageraktivitäten verknüpft sind, erscheint es sinnvoll, die Systematik für die Beschreibung der Branchenzugehörigkeit von Logistikimmobilien zu übertragen. Eine eindeutige Zuordnung ist sowohl bei Transporten als auch bei Lager- und Umschlagprozessen nicht immer möglich. Hier empfiehlt das Statistische Bundesamt je nach Untersuchungsfrage entweder eine Mehrfachzuordnung oder eine Zuordnung über die Haupttätigkeit. „Die Haupttätigkeit einer statistischen Einheit ist die Tätigkeit, die [...] den größten Beitrag zur gesamten Wertschöpfung dieser Einheit leistet.“²⁴¹ Im Rahmen der Methodenentwicklung in Kapitel 4 wird zur Erfassung der Strukturkennzahlen auf die NST-2007-Klassifizierung zurückgegriffen.

Verpackungskonzepte für Schütt- und Stückgüter

Die Planung und Ausführung des Transports von Flüssigkeiten oder Gasen in der ursprünglichen Form ist Aufgabe des Fachbereichs Verfahrenstechnik. „Werden jedoch Flüssigkeiten drucklos oder Gase unter bestimmtem Druck in Behälter verschiedenster Art abgefüllt, so behandelt man sie wie feste Stoffe unter Beachtung entsprechender Transport- und Lagervorschriften.“²⁴² Grundsätzlich können feste Transport- und Lagergüter in Schüttgut und Stückgut unterteilt werden. Ein „Schüttgut ist [ein] stückiges, körniges oder staubiges Massengut, das eine Fließfähigkeit aufweist, während des Transportvorganges in der Regel seine Gestalt ändert und nicht ohne Hilfsmittel zu einer Einheit zusammengefasst werden kann. Typisches Schüttgut sind z. B. Erz, Kohle, Müll, Sand, Zement, Kies, Getreide, Kaffee.“²⁴³ Entsprechend werden als Stückgut diejenigen Transport- und Lagergüter bezeichnet, die während des Transportvorganges ihre Gestalt nicht ändern und einzeln als Einheit gehandhabt werden können.²⁴⁴ Als typisches Stückgut sind u. a. Fertigungs- und Montageteile, Maschinen, Pakete, Paletten oder Container zu nennen.

²⁴¹ WZ 2008, S. 20

²⁴² Martin 2014, S. 59

²⁴³ Martin 2014, S. 59

²⁴⁴ Martin 2014, S. 62

Für Schütt- und Stückgut ist die Nutzung transportfähiger Verpackungen charakteristisch. Die Grundfunktion der Verpackung ist der Warenschutz bzw. der Schutz der Umwelt vor den Waren (z. B. Gefahrgut). Weitere Funktionen der Verpackung sind nach ten Hompel et al.: Lager- und Transportfunktion, Identifikations- und Informationsfunktion, Verkaufsfunktion und Verwendungsfunktion.²⁴⁵

Dabei kann festgehalten werden, dass „auf dem Wege der Produkte von der Rohstoffgewinnung bis zum Endverbraucher [...] der Anteil verpackter Güter wächst. Während die Rohstoffe sowie die Halbfabrikate der ersten Verarbeitungsstufen noch weitgehend lose, also unverpackt gehandelt werden, sind die für den Endverbraucher bestimmten Fertigprodukte nahezu alle verpackt, die meisten sogar mehrfach.“²⁴⁶

Der Transportkette liegt ein definiertes Verpackungskonzept zugrunde. Die Verkaufsverpackung wird dabei bis zum Verbrauch der Waren verwendet. Die Umverpackungen sind eine zusätzliche Verpackung der Verkaufsverpackung, die u. a. „die Abgabe von Waren im Wege der Selbstbedienung ermöglichen, dem Diebstahlschutz oder der Werbung dienen“. In Abgrenzung hierzu hat die Transportverpackung die Aufgabe, die Waren während des Transports und des Umschlags vom Herstellungs- bis zum Verkaufsort zu schützen.²⁴⁷

In der englischen Fachliteratur sind die Begriffe „primary“, „secondary“ und „tertiary packaging“ gebräuchlich, um die anzusetzende Verpackungshierarchie von Verkaufs-, Um- und Transportverpackung hervorzuheben.²⁴⁸ Produkt- und Umverpackungen können dem Planungsfeld der Produktion zugeordnet werden. Transportverpackungen sind hingegen ein zentrales Element der Logistik und daher für diese Ausarbeitung ausschlaggebend.

Nach ten Hompel et al. lassen sich zwei Tätigkeiten des Verpackens unterscheiden, nämlich Packstück- und Ladeeinheitenbildung.²⁴⁹ Die Packstückbildung ist ein der Ladeeinheitenbildung vorgelagerter Prozess, bei dem i. Allg. produktspezifische Verpackungen zum Einsatz kommen mit dem Ziel, einen Einzelversand vorzubereiten (z. B. als Paket). „Die Ladeeinheitenbildung beinhaltet das Zusammenfassen von Stückgütern und Packstücken zur rationelleren Handhabung, Lagerung und Beförderung von Gütern.“²⁵⁰ Dabei kommen i. Allg. standardisierte Ladehilfsmittel zum Einsatz.

Ladehilfsmittel oder auch Ladungsträger sind nach DIN 30781-1 tragende Mittel zur Zusammenfassung von Gütern zu einer Ladeeinheit.²⁵¹ Durch ihren uniformen Charakter „schaffen [sie] die Voraussetzung für die Mechanisierung und Automatisierung im Material- und Güterfluss.“²⁵² Grundsätzlich können sie in Kleinladungsträger (KLT) und Großladungsträger (GLT) unterteilt werden.²⁵³

²⁴⁵ ten Hompel et al. 2007, S. 7

²⁴⁶ Klaus et al. 2012, S. 625

²⁴⁷ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 20

²⁴⁸ Emblem und Emblem 2012, S. 6

²⁴⁹ ten Hompel et al. 2007, S. 8

²⁵⁰ ten Hompel et al. 2007, S. 8

²⁵¹ DIN 30781-1, S. 2

²⁵² Martin 2014, S. 62

²⁵³ Martin 2014, S. 62

Großladungsträger lassen sich weiter in Flachpaletten (z. B. Europalette), Behälterpaletten (z. B. Gitterbox) und Sonderpaletten/ Großraumbehälter (z. B. Container, Wechselbrücke) klassifizieren.²⁵⁴ Diese Spezifizierung ist nicht abschließend. Einzelne GLT können noch weiter klassifiziert werden, wie z. B. Container in ISO 20-Fuss-Container, ISO 40-Fuss-Container oder ISO 45-Fuss-Container. Eine solche Unterscheidung mit hoher Detaillierung ist aber für die Verfahrensumsetzung nicht relevant und wird daher nicht weiterverfolgt.

Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden folgende Arten von Packstücken, KLT und GLT zur Beschreibung der Versandobjekte des Warenausgangs differenziert. Sie repräsentieren unterschiedliche Größen und Anforderungen an den Warenausgang, nämlich:

- Pakete,
- Kisten/ Boxen,
- Rollwagen/ -container,
- Paletten,
- Gitterboxen und
- Container.

Grundsätzlich haben gepackte Stückgüter auf Ladungsträgern für viele Logistikimmobilien eine hohe Relevanz, da sie den Einsatz von Fördertechnik erleichtern bzw. eine vollständige Automatisierung ermöglichen. Auch ermöglichen Ladungsträger ein sicheres Stapeln von Stückgütern in mehreren Lagen. So wird u. a. der Flächenbedarf an Immobilien minimiert.

In Bezug auf das Warensortiment, d. h. die Gesamtheit aller von einem Handelsunternehmen angebotenen Waren, können Ladeinheiten gemischt oder artikelrein belegt sein.²⁵⁵ Der Begriff des Artikels definiert dabei eine „durch eine Bezeichnung und in der Regel durch eine Nummer definierte Einheit eines Sortiments.“²⁵⁶ Im Kontext der Verfahrensanwendung (Kennzahlenbildung) stellt der Umgang mit artikelgemischten Ladeinheiten eine Besonderheit dar.

3.2 Prozesse und Leistungserbringung

Logistikimmobilien sind durch die Schnittstellen Wareneingang und -ausgang wesentlich gekennzeichnet. Dabei stellt der Wareneingangsbereich die Schnittstelle zum Beschaffungsmarkt und der Warenausgangsbereich die Schnittstelle zum Absatzmarkt dar. Unabhängig von den durch die Beschaffenheit der Güter hervorgerufenen Anforderungen an die Gebäude- und Prozesstechnik lassen sich gewisse Standardabläufe beschreiben. Das bedeutet, dass aus einer hohen Abstraktionsebene betrachtet verschiedene Typen von Logistikimmobilien ähnliche Prozesse und Prozessbereiche aufweisen.

Nach ten Hompel und Schmidt lassen sich zur Charakterisierung von Lagereinrichtungen folgende Prozesse heranziehen:²⁵⁷ Warenannahme/ -eingang, Einlagerung und Auslagerung (hier: Lagern), Kommissionieren, Verpacken sowie Versand. Für Umschlageinrichtungen und Terminals lassen sich nach Martin folgende Kernprozesse identifizieren:²⁵⁸ Wareneingang,

²⁵⁴ Martin 2014, S. 65

²⁵⁵ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 258

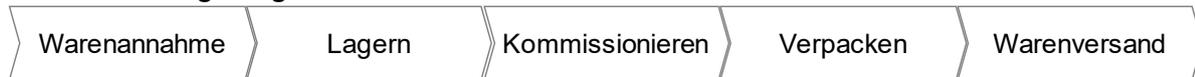
²⁵⁶ Klaus et al. 2012, S. 13

²⁵⁷ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 23–54

²⁵⁸ Martin 2014, S. 300

Puffern und Warenausgang. Zur Gegenüberstellung dieser beiden grundlegenden Immobilientypen dient Abbildung 12.

Prozess der Lagerung



Prozess des Umschlags



Abbildung 12: Gegenüberstellung der Standardabläufe Lagerung und Umschlag²⁵⁹

Prozesse der Lagerung sowie des Kommissionierens und Verpackens sind demnach keine originären Bestandteile von Umschlagimmobilien. Es gibt jedoch auch Umschlageinrichtungen, mit Kommissionier- und Verpackungsaufgaben (z. B. Cross-Docking Center), wie durch die nachfolgenden Ausführungen noch deutlich gemacht wird. Für die Unterscheidung von Lager- und Umschlagimmobilien im Rahmen dieser Ausarbeitung ist schlussendlich die geplante Verweildauer von Waren am Standort entscheidend.

Begriffsabgrenzung Lagerung und Umschlag

Grundsätzlich beschreibt die Lagerung „das Bevorraten der Bestände einer größeren Anzahl von Artikeln oder eines breiten Sortiments mit länger anhaltendem Bedarf.“²⁶⁰ Lagerimmobilien dienen dem Ausgleich von Warenangebot und -nachfrage und der Sicherstellung der Produktions- und Lieferfähigkeit von Unternehmen.²⁶¹ Der Bestand ist als auf einen Zeitpunkt bezogene, mengen- oder wertmäßige Summe der gelagerten Warenmenge bzw. eines Artikels definiert.²⁶² Die geplante und reale Bestandshöhe für einzelne Artikel wird durch das Nachfrageverhalten der zu versorgenden Stellen maßgeblich beeinflusst.

Umschlagimmobilien sind primär darauf ausgerichtet, zwei Transportabschnitte miteinander zu verbinden und eine Verladung von Gütern zwischen zwei unterschiedlichen Transportmitteln vorzunehmen. „Umschlagen als eine Funktion der innerbetrieblichen Logistik bedeutet den Wechsel der Ladung von einem Verkehrsmittel auf ein innerbetriebliches Transportmittel bzw. von diesem auf ein Verkehrsmittel.“²⁶³ Umschlagimmobilien sind dabei für die Realisierung expeditioneller Sammelgut- bzw. Stückgutssysteme von zentraler Bedeutung.²⁶⁴ In diesem Zusammenhang werden sie auch als Umschlaglager oder Depots bezeichnet.²⁶⁵ Ebenfalls sind Brief- und Paketzentren als Umschlagimmobilien zu verstehen. Gemeinsames Merkmal ist, dass sie die Transportaufgaben der regionalen Warensammlung (Vorlauf), des Langstreckentransports (Hauptlauf) sowie der regionalen Warenverteilung (Nachlauf) miteinander verknüpfen.²⁶⁶

²⁵⁹ eigene Darstellung nach ten Hompel und Schmidt 2008 und Martin 2014

²⁶⁰ Gudehus 2010, S. 359

²⁶¹ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 3

²⁶² Klaus et al. 2012, S. 299

²⁶³ Martin 2014, S. 300

²⁶⁴ Klaus et al. 2012, S. 499

²⁶⁵ Klaus et al. 2012, S. 122 und S. 606

²⁶⁶ Clausen und Geiger 2013, S. 131

Auch für die Realisierung multimodaler Transportketten sind Umschlagimmobilien von Relevanz. Mit spezieller Umschlag- und Handhabungstechnik werden die Verkehrsträger Straße, Schiene, Wasser sowie Luft miteinander verknüpft (z. B. Bahnterminal, Seefrachtterminal, Binnenhafenterminal). Die Begriffe Umschlagterminal und KV-Terminal sind gebräuchlich, um die Bedeutung der Immobilien für den kombinierten Verkehr (KV) hervorzuheben. Das Layout von Umschlagterminals ist typischerweise durch verkehrsträgerbezogene Funktionsbereiche definiert, wie in Abbildung 13 beispielhaft veranschaulicht ist. Das in dieser Ausarbeitung entwickelte Verfahren nimmt jedoch keinen Bezug auf konkrete Funktionsbereiche/ -fläche. Vielmehr sind die übergeordneten Prozessfolgen gemäß Abbildung 12 relevant (vgl. Unterabschnitt 4.8.3).

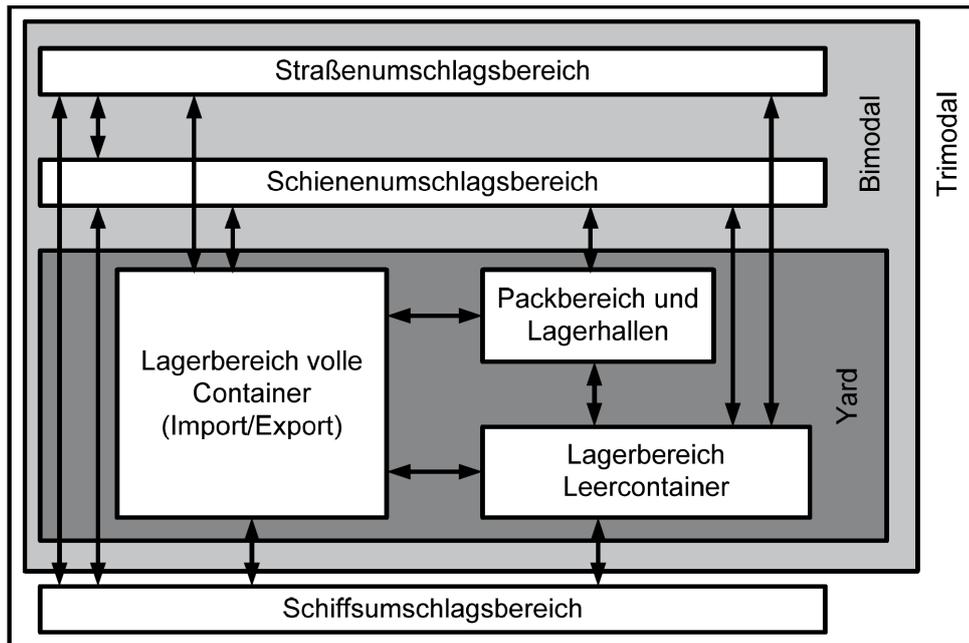


Abbildung 13: Funktionsbereiche eines Containerterminals²⁶⁷

Zur Differenzierung von Lager- und Umschlagimmobilien „wird in der wissenschaftlichen Literatur und der Praxis in der Regel die Verweildauer der Objekte im System bzw. innerhalb des logistischen Knotens betrachtet.“²⁶⁸ Grundsätzliches Gestaltungsziel von Umschlagprozessen ist es, „bestehende physikalische und organisatorische Unterschiede zu kompensieren und einen nahtlosen Umschlag zu ermöglichen.“²⁶⁹ Nahtlos steht für den Anspruch, zeitliche Verzögerungen im Prozessablauf zu vermeiden.

In der Praxis müssen Umschlagsgüter jedoch häufig gepuffert werden, da Transporte des Wareneingangs nicht oder nur teilweise mit den Transporten des Wareneingangs synchronisiert werden können. Ebenso kann es ein Ziel sein, eine gleichmäßig hohe Auslastung einer Leistungsstelle (z. B. Unstetigförderer) mit stochastisch schwankendem Zulauf und Ablaufsicherzustellen. Dann treten geplante, vorübergehende Pufferbestände im System auf.²⁷⁰

²⁶⁷ Clausen 2016, S. 21

²⁶⁸ Klaus et al. 2012, S. 601

²⁶⁹ ten Hompel et al. 2007, S. 301

²⁷⁰ Gudehus 2010, S. 357

Cross-Docking

Eine besondere Form des Stückgutumschlags stellt das Cross-Docking-Konzept dar. Es beschreibt eine Kooperation verschiedener Akteure der Lieferkette und ist durch den Anspruch gekennzeichnet, möglichst kurze Durchlaufzeiten und daraus abgeleitet niedrige Sicherheitsbestände zu erreichen.²⁷¹ Dabei werden die Zeitpunkte und Mengen aller Warenanlieferungen und -abgänge an einem logistischen Knoten so aufeinander abgestimmt, dass die Bereiche Wareneingang und -ausgang direkt miteinander verbunden werden können (vgl. Abbildung 14). Eine Lagerung von Waren ist dann nicht erforderlich.

Allgemein „übernimmt der Handel die Systemführerschaft und steuert die Transporte vom Hersteller bis zur jeweiligen Filiale vollständig.“²⁷² Die empfänger- bzw. filialbezogene Kommissionierung kann bereits beim Hersteller bzw. Lieferanten erfolgen (einstufiges Cross-Docking), d. h. „die Zusammensetzung der Ladeeinheiten wird auf dem Transport vom Hersteller zur jeweiligen Filiale nicht verändert“.²⁷³ Alternativ kann die empfängerbezogene Kommissionierung auch erst an Umschlagimmobilien der Lieferkette erfolgen (zweistufiges Cross-Docking). Für das zweistufige Cross-Docking können dann auch Kommissionier- und Verpackungsprozesse relevant sein.²⁷⁴

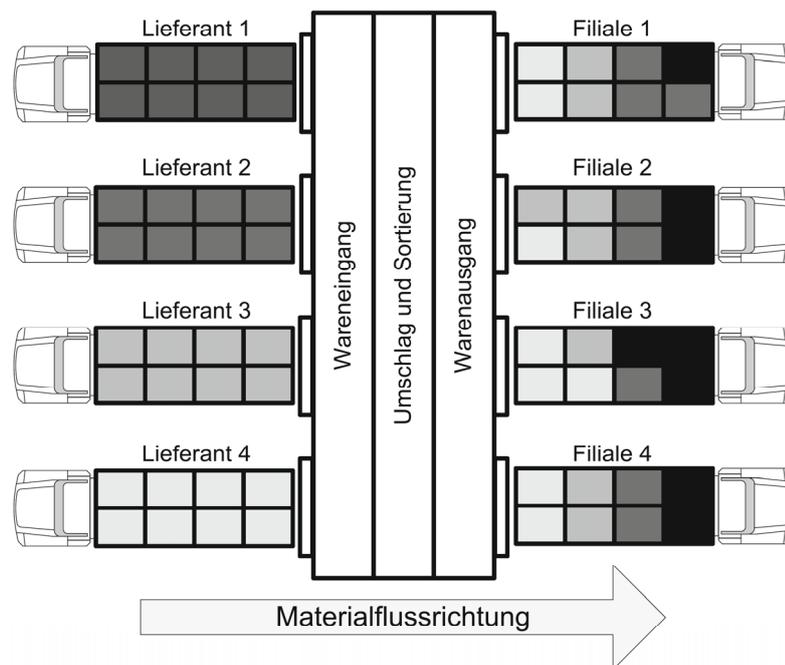


Abbildung 14: Schema eines Cross-Docking-Terminals²⁷⁵

Im Kontext der Prozessanordnung unterscheidet sich eine Umschlagimmobilie, die nach dem Cross-Docking-Prinzip organisiert ist und für die auch Kommissionier- und Verpackungsprozesse relevant sind (zweistufiges Cross-Docking), von einer Lagerimmobilie schlussendlich nur durch die kürzere Verweildauer der Produkte am Standort. „In der Praxis

²⁷¹ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 69

²⁷² Clausen und Geiger 2013, S. 149

²⁷³ Clausen und Geiger 2013, S. 149

²⁷⁴ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 69

²⁷⁵ Clausen und Geiger 2013, S. 150

beträgt die Verweilzeit von Gütern in einem Cross Dock meist weniger als 24 Stunden, manchmal auch weniger als eine Stunde und in seltenen Fällen 48 Stunden.“²⁷⁶

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird folgender Leitgedanke zur Unterscheidung von Lagerimmobilien und Umschlagimmobilien formuliert. Dieses Verständnis ist für die in Abschnitt 4.3 folgende Klassifizierung von Logistikimmobilien maßgebend:

Sofern die durchschnittliche Verweildauer der Güter an einem Standort 24 Stunden nicht überschreitet, werden Waren vorübergehend bereitgehalten, d. h. gepuffert. Andernfalls erfolgt eine Lagerhaltung mit niedrigem Bestandsniveau. Allgemein bezeichnet die Lagerhaltung einen geplanten Prozess der Zeit- und Zustandsüberbrückung für Waren. Mit dem Umschlag ist hingegen die Verknüpfung von Transportabschnitten ohne Elemente der Bestandsführung verbunden.

Varianten der Kommissionierung

„Die Zusammenstellung einer kundengerechten Bedarfsmenge eines oder mehrerer Artikel wird als Kommission, der dazugehörige Prozess als Kommissionierung bezeichnet. Die Kommissionierung beschreibt damit die Zusammenstellung von Artikeln für einen Kundenauftrag, d. h. die Entnahme von Teilmengen größerer Einheiten einzelner Artikel und deren Zusammenführung und Bereitstellung für die Versendung.“²⁷⁷

Die Kommissionierung stellt für viele Lagerimmobilien ein Kernelement der logistischen Leistungserbringung dar und verursacht aufgrund der Personalintensität häufig einen Großteil der Kosten.²⁷⁸ Nach der Bereitstellung der erforderlichen Ladeeinheiten aus dem Reservelager werden die Güter für den Kommissionierer zugriffsbereit gemacht. Der Begriff des Kommissionierers bezieht sich entweder auf einen Menschen oder auf einen Roboter. In Abhängigkeit vom vorliegenden Kommissionierprinzip werden die Bereitstelleneinheiten dynamisch oder statisch angeboten. Statisch bedeutet, dass eine Einheit am selben Ort verbleibt, d. h. in einem definierten Regalfach zur Entnahme bereitsteht. Bei der dynamischen Bereitstellung werden die Waren zu einem Kommissionierarbeitsplatz gefördert.²⁷⁹

Der Prozess des Verpackens folgt dem Prozess der Kommissionierung und beschreibt die Zusammenführung bereitgestellter oder kommissionierter Güter nach bestimmten Kriterien. Nach der Prüfung auf Vollständigkeit werden die Güter u. a. für anstehende Transportvorgänge verpackt und für den Versand freigegeben.²⁸⁰ Im Hinblick auf eine Versandkostenoptimierung ist es wichtig, für eine vorliegende Verpackungsmenge die richtige Verpackungseinheit zu bestimmen (z. B. Kartongröße).²⁸¹

Grundsätzlich lassen sich die Tätigkeiten Packstückbildung und Ladeeinheitenbildung differenzieren (wie bereits geschildert). In Abbildung 15 sind drei häufig vorzufindende Prozessabläufe dargestellt. Eine häufig vorzufindende Variante ist z. B. die Packstückbildung und der Versand ohne Nutzung von Ladehilfsmitteln (z. B. KEP-Versand). Hingegen werden größere Stückgüter i. Allg. direkt auf Ladehilfsmittel gepackt (z. B. Fässer). Dann ist die Pack-

²⁷⁶ Ulrich 2014, S. 5

²⁷⁷ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 34

²⁷⁸ ten Hompel et al. 2011, S. 3

²⁷⁹ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 35

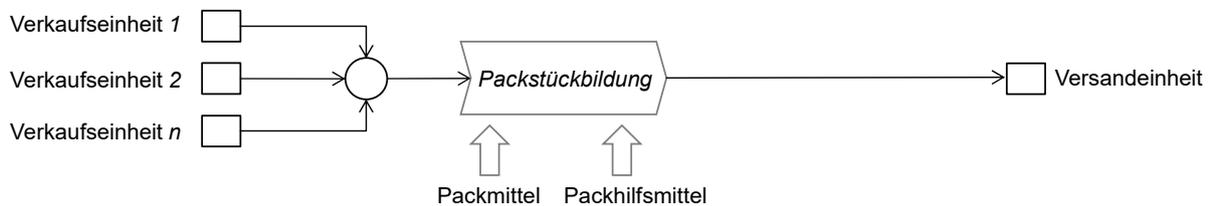
²⁸⁰ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 51

²⁸¹ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 52

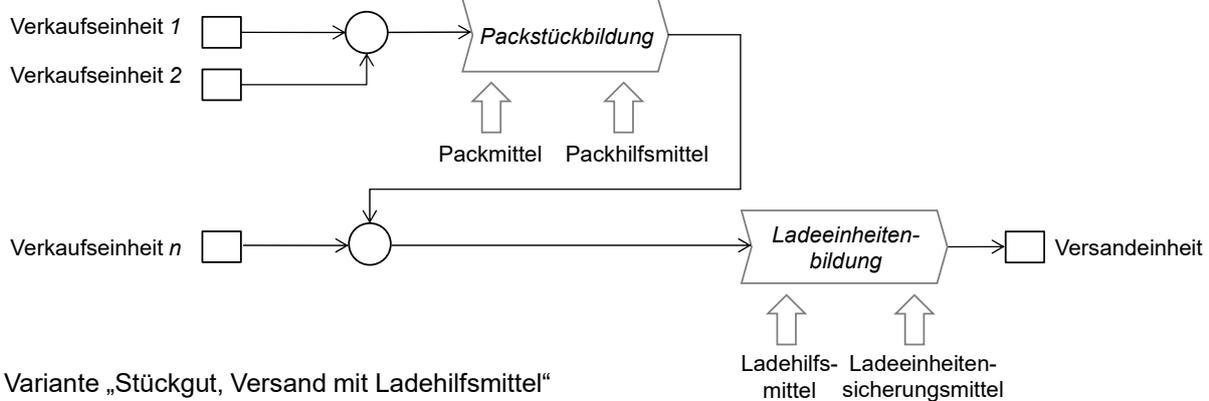
stückbildung nicht relevant. Für die Praxis kann auch eine Kombination beider Abläufe vorliegen (d. h. Packstückbildung, Versand mit Ladehilfsmittel). Dies ist u. a. für Absatzlager von Produktionsanlagen charakteristisch. Verschiedene sortenrein produzierte Artikel werden zunächst als Packstücke neu definiert (z. B. Joghurtbecher verschiedener Geschmacksrichtungen in sogenannten „Steigen“²⁸²) und anschließend zu versandfähigen Ladeeinheiten zusammengestellt. Zur begrifflichen Unterscheidung des zweimaligen Kommissionierens wird in der Praxis auch der Begriff „Sortierung“ als Synonym für die Packstückbildung verwendet.

Anschließend erfolgt der Warenversand. Dies beinhaltet u. a. die Aufgaben, die einzelnen Versandeinheiten entsprechend den Transportaufträgen zusammenzustellen, einen Transport der Einheiten zur avisierten Verladestelle vorzunehmen und abschließend die Waren in das Transportmittel zu verladen. Die Verladung in ein Transportmittel erfolgt oft innerhalb eines relativ kurzen Zeitfensters. Daher werden Versandeinheiten vor der eigentlichen Verladung i. Allg. in die Verladezone befördert und dort gepuffert.²⁸³ Dies gilt sowohl für Lager- als auch Umschlagimmobilien.

Variante „Packstückbildung, Versand ohne Ladehilfsmittel“



Variante „Packstückbildung, Versand mit Ladehilfsmittel“



Variante „Stückgut, Versand mit Ladehilfsmittel“



Abbildung 15: Varianten für Prozessabläufe der Packstückbildung und Ladeeinheitenbildung²⁸⁴

²⁸² Eine Steige ist ein „stapelbares, standfestes, oben offenes Packmittel in Kastenform aus Holz, Kunststoff, Voll- oder Wellpappe“ (s. Bleisch et al. 2014, S. 480)

²⁸³ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 53

²⁸⁴ eigene Darstellung nach ten Hompel et al. 2007, S. 10

3.3 Bauliche und technische Merkmale

Hinsichtlich der konkreten Baustruktur bzw. des Layouts und der technischen Ausstattung sind Logistikimmobilien sehr variantenreich. Eine Typisierung anhand dieser Kriterien ist daher grundsätzlich schwierig. Eine Möglichkeit, das Layout einer Logistikimmobilie zu spezifizieren, stellt die Bezugnahme auf funktionale und bauliche Planungselemente dar, die durch Chmielewski systematisiert wurden (vgl. Abbildung 16).²⁸⁵ Die Planungselemente lassen sich hinsichtlich ihrer Relevanz, Anordnung und Dimensionierung (z. B. durch Angaben zur Fläche) näher beschreiben und so prinzipiell für eine Gegenüberstellung verwenden.

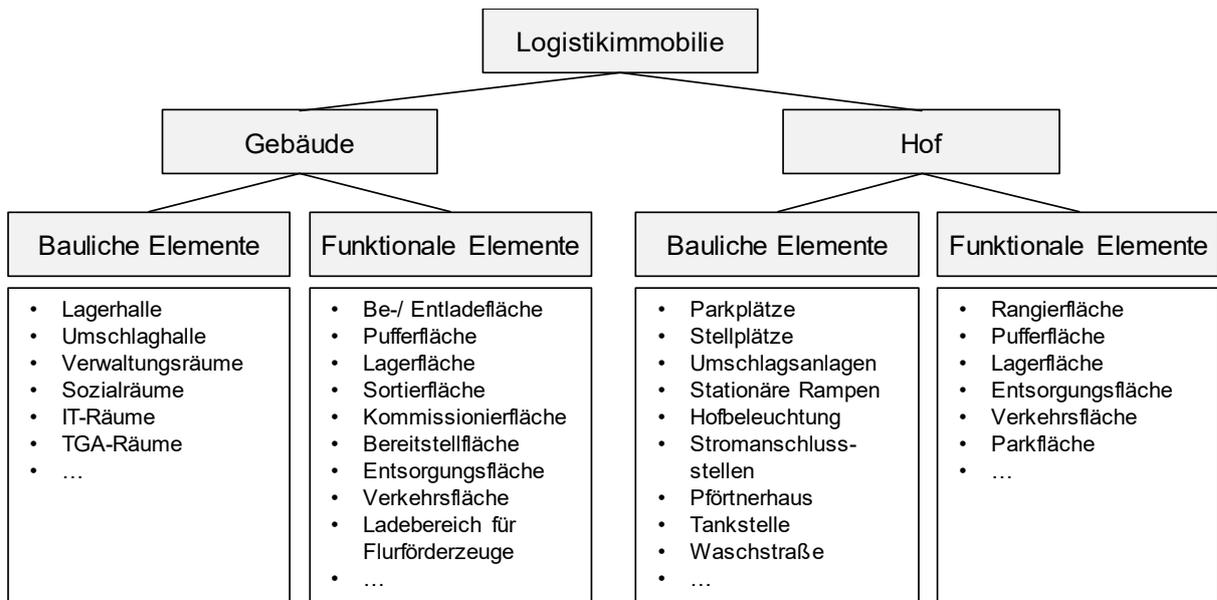


Abbildung 16: Bauliche und funktionale Planungselemente von Logistikimmobilien im Überblick²⁸⁶

Dabei stellt die Grundstücksgrenze der Logistikimmobilie die grundlegende Bilanzgrenze der Betrachtung dar. Relevant sind allerdings nur diejenigen Prozesse und Anlagen, die innerhalb dieser Grenze einen eindeutigen Bezug zur logistischen Leistungserbringung am Standort haben. Wird eine Immobilie z. B. für Produktions- und Logistikaktivitäten gemeinschaftlich genutzt, ist eine Zuordnung von Prozessen und Anlagen zu den einzelnen Bereichen vorzunehmen (vgl. Definition in Abschnitt 2.1, grundstücksgleiche Rechte).

Die umzuschlagenden oder zu lagernden Güter definieren die Anforderungen an die Gebäude- und Prozesstechnik grundlegend.²⁸⁷ Hierdurch entscheidet sich, ob ein Gebäude zur Leistungserbringung erforderlich ist oder Lager- und Umschlagprozesse nicht auch im Freien erfolgen können (z. B. Freilagerung von Rundhölzern). In Klaus et al. wird hierzu im Kontext von Lagern spezifiziert, dass sich die Freilagerung nur für witterungsunempfindliche Stück- und Massengüter eignet.²⁸⁸ Klaus et al. führt weiter aus, dass sich bei der Gebäudelagerung Flachlager mit einer Gebäudehöhe von bis zu 6 Meter, Hochflachlager mit einer Höhe von 6 bis 12 Meter, Etagenlager (auch bekannt als Geschossbauten) sowie Hochraumlager (auch bekannt als Hochregallager) mit einer Gebäudehöhe von 12 bis ca. 40 Meter unterscheiden lassen. Als

²⁸⁵ Chmielewski 2007

²⁸⁶ eigene Darstellung nach Chmielewski 2007, S. 14

²⁸⁷ Klaus et al. 2012, S. 381

²⁸⁸ Klaus et al. 2012, S. 308

Sonderform des Gebäudelagers nennen Klaus et al. allgemein das Kühlager, das als Flach-, Etagen- oder Hochlager konstruiert sein kann.²⁸⁹ In Abbildung 17 ist die Klassifizierung von Lagerimmobilien nach Klaus et al. visualisiert.

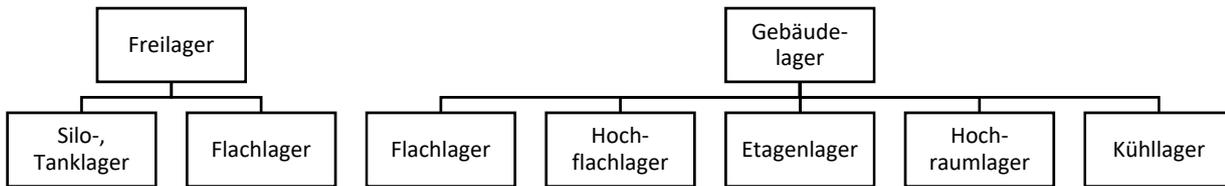


Abbildung 17: Grundtypen der Lagerimmobilie nach bautechnischen Aspekten²⁹⁰

Zur Beschreibung der Größe einer Logistikimmobilie leitet sich aus den vorangestellten Ausführungen ab, dass neben der Frage der eigentlichen Grundstücksgröße auch die Fragen nach der Grundfläche für den Teilaspekt Logistik (bei gemischter Grundstücksnutzung) und nach der Gesamtlogistikfläche des Gebäudes relevant sein können. Bei mehrgeschossigen Gebäuden ist die Summe der Logistikflächen für alle Etagen zu bilden. Für die Erhebung von Strukturkennzahlen im Rahmen der Verfahrensanwendung wird daher nach allen drei Kriterien gefragt. Zu beachten ist: Liegt keine gemischte Grundstücksnutzung vor und sind darüber hinaus auch keine mehrgeschossigen Gebäude relevant, sind die Angaben zur Logistikfläche deckungsgleich mit den Angaben zur Größe des Grundstücks.

Unter der Zielstellung, ganzheitliche Handlungsempfehlungen für die Planung von energieeffizienten und CO₂-neutralen Logistikzentren zu entwickeln, wurden im Forschungsprojekt „Das CO₂-neutrale Logistikzentrum“ bauliche und technische Planungs- bzw. Gestaltungsgrößen ermittelt und modellhaft durch Einzelparametervariation analysiert.²⁹¹ Nach Günthner et al. lassen sich die in Abbildung 18 aufgeführten Grundelemente zur Konzeption von Logistikzentren heranziehen. Die Systematisierung betrifft dabei die Handlungsfelder Intralogistik, Gebäudehülle und Haustechnik. Innerhalb dieser Handlungsfelder liegen verschiedene Potenzialklassen vor (z. B. Fördern), denen einzelne Grundelemente (z. B. FFZ) zugeordnet werden.

Allgemein wird durch das Schema ein einfacher und strukturierter Überblick über Handlungsansätze vermittelt. Zu beachten ist, dass die einzelnen Planungs- und Gestaltungselemente im Kontext von Lager- und Umschlaggebäuden entwickelt und in diesem Kontext hinsichtlich ihrer Wirkung analysiert wurden. Daraus folgt, dass die Erkenntnisse des Forschungsprojekts nur im geringen Maße auf Logistikimmobilien ohne Gebäudeinfrastruktur übertragbar sind.

Die Ergebnisse der Einzelparametervariation wurden durch Freis veröffentlicht.²⁹² Eine zentrale Erkenntnis ihrer Untersuchung ist, dass die Bedeutung der Prozesstechnik gegenüber der Gebäudetechnik mit steigendem Automatisierungsgrad stets zunimmt (vgl. Abbildung 19). Der Einfluss des einzuhaltenden Temperaturniveaus auf diesen kausalen Zusammenhang ist vergleichsweise unbedeutend. Untersucht wurden allerdings keine Tiefkühlanforderungen, sondern nur die Temperaturniveaus 17 °C, 12 °C und 6 °C.

²⁸⁹ Klaus et al. 2012, S. 301

²⁹⁰ eigene Darstellung auf Basis von Klaus et al. 2012, S. 308

²⁹¹ Günthner et al. 2014

²⁹² Freis 2017

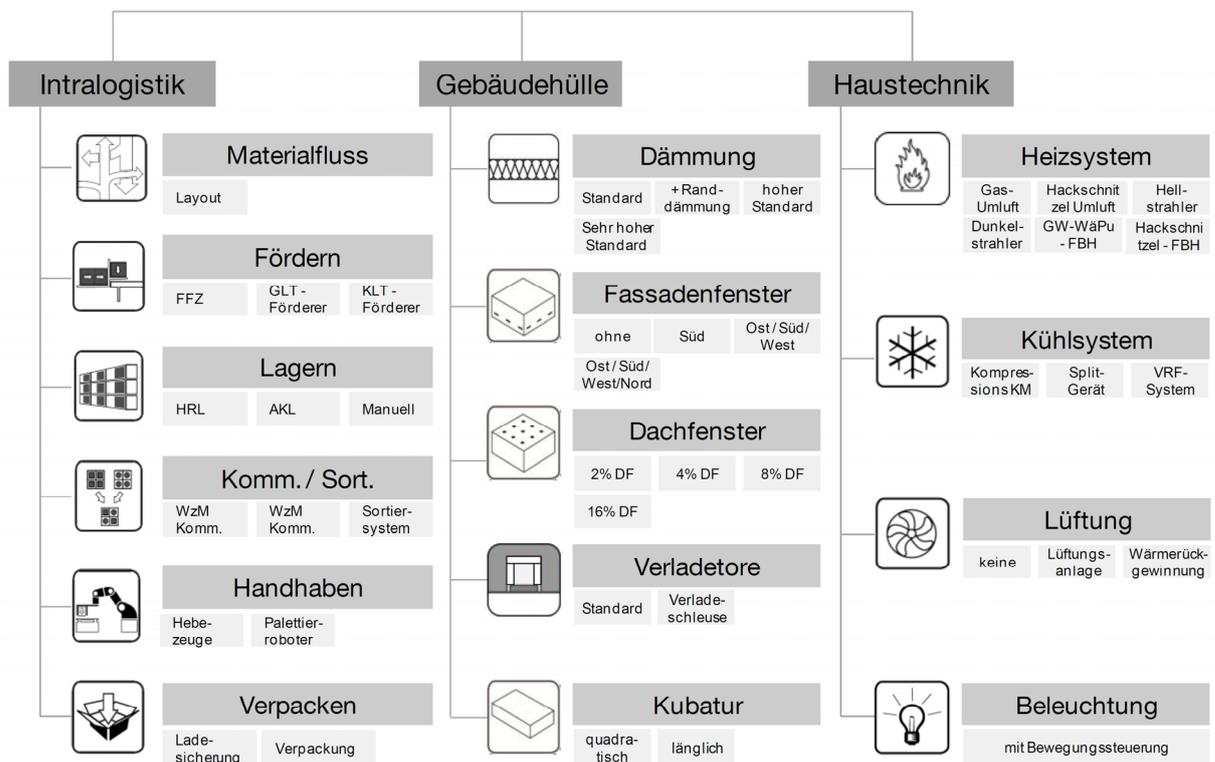


Abbildung 18: Planungselemente für den energieeffizienten Betrieb von Logistikzentren ²⁹³

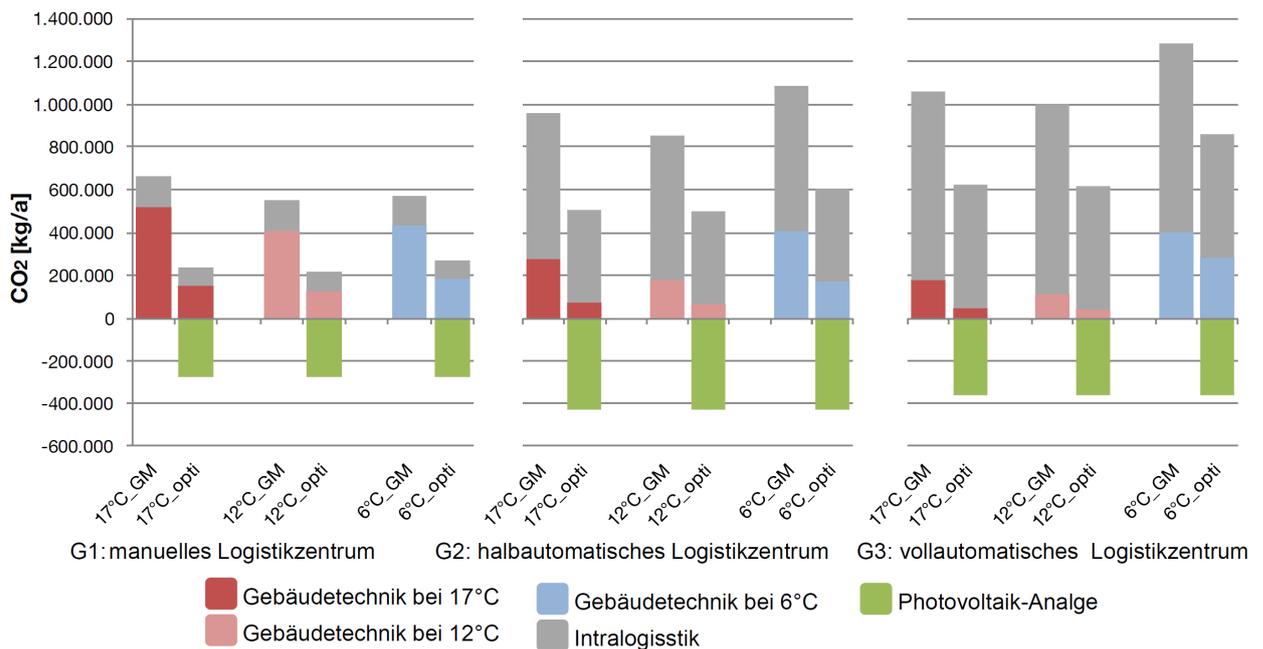


Abbildung 19: Relevanz der Prozesstechnik für den CO₂e-Ausstoß von Logistikimmobilien bei steigendem Automatisierungsgrad der förderer-technischen Anlagen ²⁹⁴

Des Weiteren kommt Freis zu der Erkenntnis, dass durch ein optimiertes Zusammenspiel der in Abbildung 18 genannten Planungselemente die Energieeffizienz der Leistungserstellung gegenüber dem heutigen Stand der Technik nahezu verdoppelt werden kann (vgl. Abbildung 19,

²⁹³ Günthner et al. 2014, S. 23

²⁹⁴ Freis 2017

Variante Grundmodell „GM“ gegenüber der optimierten Variante „opti“ für die drei betrachteten Logistikzentren). Allgemein sollte daher davon ausgegangen werden, dass durch die integrierte Optimierung der Prozess- und Gebäudetechnik eine signifikante Reduktion von THG-Emissionen möglich ist. Bei den Ausführungen zu den Handlungsfeldern Gebäudehülle und Haustechnik wird Bezug auf die Energieeinsparverordnung (EnEV) genommen, die nachfolgende kurz vorgestellt wird.

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude nach EnEV

Die Erhöhung der Energieeffizienzstandards von Gebäuden ist ein Eckpfeiler der europäischen Klimaschutzpolitik sowie der Realisierung der Energiewende in Deutschland (vgl. Unterabschnitt 2.2.1). Die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt das politische Instrument dar, um langfristig einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand in Deutschland zu realisieren.²⁹⁵ Die EnEV unterscheidet Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude und beinhaltet energetische Anforderungen an Neubauten sowie Sanierungsmaßnahmen in beiden Anwendungsbereichen. Für die vorliegende Arbeit sind Nicht-Wohngebäude relevant.

Der Energieausweis ist das zentrale Dokument der EnEV. Die energetischen Kenndaten eines Gebäudes sind im Energieausweis strukturiert dargestellt. Nach Art der Erfassung lassen sich Energiebedarfs- und Energieverbrauchsausweise unterscheiden. Der Muster-Energieausweis für Nicht-Wohngebäude besteht prinzipiell aus drei Seiten (vgl. Abbildung 20).

Seite 1: „Deckblatt“ des Energieausweises für Nicht-Wohngebäude

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Gültig bis: 01.10.2019

Gebäude
 Hauptabteilung: Universität (Institutsgebäude II)
 Adresse: Musterstraße 99, 12345 Musterstadt
 Gebäudeart: Hauptgebäude
 Baujahr Gebäude: 1965
 Baujahr Wärmeerzeuger: 1995/97
 Baujahr Klimaanlage: 1996
 Nettogrundfläche: 11.940 m²
 Erneuerbare Energien: Lüftung

Art der Ausführung des Energieausweises: Neubau Verbotung/Verkauf Modernisierung (Modernisierung/Verkauf) Ausstieg bei öffentlichen Gebäuden Sonstiges (Sonstiges)

Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes
 Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des Energiebedarfs, über standardisierte Randbedingungen oder durch die Auswertung des Energieverbrauchs ermittelt werden. Als Energiefläche dient die Nettogrundfläche.
 Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des Energiebedarfs erstellt. Die Ergebnisse sind auf Seite 2 dargestellt. Zusätzliche Informationen zum Verbrauch und Qualität, sowie Art der Ausführung ist PEBC bei Neubauten und bestimmten Modernisierungen. Die angegebenen Werte beruhen auf den Anforderungen der EN 15193 zum Zeitpunkt der Erstellung des Energieausweises (Erfüllungen - siehe Seite 6).
 Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des Energieverbrauchs erstellt. Die Ergebnisse sind auf Seite 3 dargestellt. Die Vergleichswerte beruhen auf statistischen Auswertungen.
 Datenherkunft bedarf Einverständnis durch: Eigentümer Aussteller Den Energieausweis und zusätzliche Informationen zur energetischen Qualität bezieht (grüner Pfeil) (Zusätzliche Angaben)

Hinweise zur Verwendung des Energieausweises
 Der Energieausweis dient lediglich der Information. Die Angaben im Energieausweis beziehen sich auf das gesamte Gebäude oder den entsprechenden Gebäudeteil. Der Energieausweis ist lediglich dafür gedacht, einen übersichtlichen Vergleich von Gebäuden zu ermöglichen.

Aussteller:
 Paul Mustermann
 Ingenieurbüro Mustermann
 Musterstraße 123
 12345 Musterstadt
 02.10.2009
 Unterschrift des Ausstellers

Seite 2: „Bedarfsausweis“ zur Darstellung des berechneten Energiebedarfs des Gebäudes

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Primärenergiebedarf „Gesamtenergieeffizienz“
 CO₂-Emissionen¹⁾ [kg/(m²a)]
 Dieses Gebäude: 154 kWh/(m²a)
 Endenergiebedarf: 154 kWh/(m²a) Anforderungswert: 120 kWh/(m²a) Wert nach Anlage Nr. 2 EnEV
 Mittlere Wärmeleitfähigkeit (bei Neubau) Grenzwert Wert nach Anlage Nr. 2 EnEV (zu Zusatzmaßnahmen)
 Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau) Grenzwert Wert nach Anlage Nr. 2 EnEV

Energieerzeuger	Heizung	Wärmerückgewinnung	Ergebende Beheizung	Lüftung ²⁾	Klimatisierung (Kühlung/Beheizung)	Gebäude insgesamt
Endenergie	105,3	13,1	19,7	2,4	2,6	154,7
Endenergie	2,0	0,1	12,7	2,4	1,3	20,5
Primärenergie	100,2	9,9	34,2	6,4	3,4	164,1

Aufteilung Energiebedarf

Primärenergie	Heizung	Wärmerückgewinnung	Ergebende Beheizung	Lüftung ²⁾	Klimatisierung (Kühlung/Beheizung)	Gebäude insgesamt
Endenergie	125,5	13,5	19,7	2,4	2,6	163,7
Endenergie	171,8	19,3	19,7	2,4	1,3	209,5
Primärenergie	160,2	9,9	34,2	6,4	3,4	214,1

Ersatzmaßnahmen³⁾
 Anforderungen nach 7. Nr. 2.4.3 EnEV sind erfüllt.
 Anforderungen nach 7. Nr. 2.1 u. Nr. 4.3.3 EnEV sind erfüllt.
 Anforderungen nach 7. Nr. 2.1 u. Nr. 4.3.3 EnEV sind erfüllt.
 Anforderungen nach 7. Nr. 2.1 u. Nr. 4.3.3 EnEV sind erfüllt.
 Anforderungen nach 7. Nr. 2.1 u. Nr. 4.3.3 EnEV sind erfüllt.
 Anforderungen nach 7. Nr. 2.1 u. Nr. 4.3.3 EnEV sind erfüllt.

Gebäudezonen

Nr.	Zone	Fläche [m ²]	Anteil [%]
1	Büro	4.764	40
2	Spezialraum	55	1
3	Verwaltung	4.790	40
4	sonstige Außenfläche	522	4
5	Kantine	1.769	15

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren
 Die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt die Anforderungen an die Berechnung des Energiebedarfs in vielen Fällen neben dem Berechnungsverfahren alternative Verfahren her. Die im Energieausweis angegebenen Werte beruhen auf den Anforderungen der EnEV. Die angegebenen Werte beruhen auf den Anforderungen der EnEV. Die angegebenen Werte beruhen auf den Anforderungen der EnEV.

Seite 3: „Verbrauchsausweis“ zur Darstellung des gemessenen Energieverbrauchs des Gebäudes

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

Heizenergieverbrauchskennwert (saisunabhängig) [kWh/(m²a)]
 Dieses Gebäude: 170 kWh/(m²a)
 Grenzwert: 120 kWh/(m²a) Grenzwert nach Anlage Nr. 2 EnEV
 Grenzwert: 120 kWh/(m²a) Grenzwert nach Anlage Nr. 2 EnEV

Stromverbrauchskennwert [kWh/(m²a)]
 Dieses Gebäude: 35 kWh/(m²a)
 Grenzwert: 35 kWh/(m²a) Grenzwert nach Anlage Nr. 2 EnEV

Verbrauchsausweis - Heizung und Warmwasser

Energieerzeuger	Zeitraum	Energieverbrauch [kWh]	Anteil Warmwasser [%]	Klima-Kategorie	Energieverbrauchskennwert (EVA) [kWh/(m ² a)]	Heizung	Warmwasser	Kennwert
Fernwärme	01.01.2006	31.12.2006	1.801.317	96.006	1.07	109,8	5,4	115,2
Fernwärme	01.01.2007	31.12.2007	1.890.580	93.299	1,06	109,3	5,4	113,7
Fernwärme	01.01.2008	31.12.2008	1.827.257	93.635	1,08	107,3	5,2	112,5

Verbrauchsausweis - Strom

Zeitraum	Ablesungen [kWh]	Kennwert [kWh/(m ² a)]
01.01.2006	31.12.2006	411.865
01.01.2007	31.12.2007	432.385
01.01.2008	31.12.2008	361.324

Gebäudenutzung

Gebäudenutzungsart oder Nutzung, ggf. mit Prozentanteil	Anteil [%]
Universität, Institutsgeb. II	100
Sonderzonen	0

Erläuterungen zum Verfahren
 Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind nach der Methode zur Ermittlung der Kennwerte (siehe Anlage Nr. 2 EnEV) ermittelt. Die Kennwerte sind nach der Methode zur Ermittlung der Kennwerte (siehe Anlage Nr. 2 EnEV) ermittelt. Die Kennwerte sind nach der Methode zur Ermittlung der Kennwerte (siehe Anlage Nr. 2 EnEV) ermittelt.

Abbildung 20: Struktur des EnEV-Energieausweises für Nichtwohngebäude²⁹⁶

Auf der ersten Seite sind Gebäudestammdaten (z. B. Adresse, Grundfläche, Baujahr) sowie formale Aspekte (z. B. Ersteller, Erstellungsgrund) festgehalten. Die zweite Seite ist relevant, falls ein Energiebedarfsausweis (EBA) erstellt wird. Die dritte Seite wird für die Erstellung eines Energieverbrauchsausweises (EVA) benötigt.

²⁹⁵ Fouad 2015, S. 115

²⁹⁶ eigene Darstellung nach Dena 2017

Energiebedarfsausweis (EBA)

Der EBA dient der Bewertung und Veranschaulichung der physikalischen, bau- und anlagentechnischen Eigenschaften eines Gebäudes und muss für sämtliche Neubauten bzw. bei Großsanierungsmaßnahmen erstellt werden. Hierzu werden einerseits der Primärenergieverbrauch und andererseits der Wärmedurchgangskoeffizient kalkuliert und dem gesetzlichen Maximalwert gegenübergestellt. Die Berechnung zum Primärenergieverbrauch hat nach DIN V 18599-1²⁹⁷ zu erfolgen. Da der tatsächliche Verbrauch eines Gebäudes zum Zeitpunkt der Gebäudeplanung nicht bekannt ist, erfolgt die Bilanzierung des Bauwerks inklusive der eingeplanten haustechnischen Anlagen (z. B. Beleuchtung, Raumluftechnik) für ein theoretisches Referenznutzungsszenario am Standort Potsdam.²⁹⁸

Zusätzlich wird beim EBA auch der theoretische Endenergieverbrauch berechnet, d. h. der korrespondierende Wert zum Primärenergieverbrauch ohne Bewertung der Verluste für Gewinnung, Umwandlung und Transport der Energien. Die Primärenergiekennzahl ist ein fiktiver Wert, der dem Nachweis der Einhaltung gesetzlicher Mindeststandards dient. Er wird in der Einheit Kilowattstunde je Quadratmeter und Jahr berechnet. Bei der Deutung des Wertes ist zu beachten, dass per Definition nicht alle Stromverbraucher des Standorts berücksichtigt sind (d. h. keine Berücksichtigung der Intralogistik und Prozesstechnik). Ebenso bleibt der Einfluss des tatsächlichen Nutzerverhaltens unberücksichtigt (z. B. Betriebsbereitschaft, relevante Arbeitsschichten).

Im EBA werden die relevanten Energieträger (z. B. Heizöl, Strom, Biomasse) gemäß den Erkenntnissen der Gebäudesimulation auf definierte Verbraucherpositionen (d. h. Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung und Raumklimatisierung) aufgeschlüsselt.

Energiebedarfsausweis (EVA)

Mit dem EVA ist das Ziel verbunden, den Heizenergieverbrauch und Gebäudestromverbrauch mit Bezug auf eine reale Nutzungsweise und die realen Wetter- und Klimabedingungen am Standort aufzuzeigen. Die Anforderungen an die Energiemessung lauten:

- „Energieverbrauchswerte ergeben sich [...] als Durchschnittswerte aus drei berechneten Jahresverbrauchswerten“²⁹⁹ und die
- „Feststellung des für die Ermittlung des Endenergieverbrauchs maßgeblichen Zeitraums von mindestens 36 Monaten [hat] zurückgerechnet vom Ende der jüngsten vorliegenden Abrechnungsperiode [zu erfolgen]“³⁰⁰.

So soll eine hohe Aktualität und Transparenz sichergestellt werden. Der EVA kann nur für Bestandsgebäude erstellt werden. Eine allgemeine Erstellungspflicht, insbesondere für Bestandsgebäude, die durch den Eigentümer bewirtschaftet werden, besteht nicht. Auch beim EVA sind zur Berechnung der Energiekennzahlen lediglich die Dimensionen Gebäudehülle und Haustechnik zu beachten. Im Falle von Logistikimmobilien sind also z. B. Energieverbräuche von fördertechnischen Maschinen oder IT- und Serverräumen nicht relevant. Entsprechend der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte“ durch das BMUB wären derartige

²⁹⁷ DIN V18599-1

²⁹⁸ Fouad 2015, S. 117

²⁹⁹ BMUB 2015a, S. 3

³⁰⁰ BMUB 2015a, S. 7

Verbraucher sogar mittels Stromverbrauchsmessung bei der Erstellung eines EBA explizit zu exkludieren.³⁰¹ Die gemessenen Heiz- und Stromverbräuche werden beim EVA in der Einheit Kilowattstunden pro Jahr und Quadratmeter Nettogrundfläche des Gebäudes angegeben. Darüber hinaus müssen sie im Kontext vorgeschriebener Vergleichswerte eingeordnet werden. Hierfür sind im Anhang der BMUB-Bekanntmachung entsprechende Werte publiziert. Logistikimmobilien fallen in die Hauptgruppe „Handel/ Dienstleistung“ und sind dem Element „Lagerhaus/ Spedition“ zugeordnet. Die relevanten Vergleichswerte für Wärme und Strom sind: 30 kWh je m² für Wärme und 35 kWh je m² für Strom. Im Unterschied zum EBA sind diese Werte allerdings nicht als Mindestanforderung, sondern als reine Vergleichswerte zu verstehen.

Der Energieausweis ist als Bewertungsinstrument für die energetische Qualität der Gebäudehülle und Haustechnik entwickelt worden. Bei der Entscheidung zur Anmietung eines Gebäudes kann der Energieausweis Unternehmen daher bei der Auswahl besonders energieeffizienter Gebäude unterstützen. Allerdings dürfen EBA- und EVA-Werte nicht miteinander verglichen werden, da verschiedene Berechnungsansätze zugrunde liegen.

Gütesiegel für nachhaltiges Bauen

Mit dem Ziel, Nachhaltigkeitskriterien bei der Planung und Realisierung von Gebäuden verstärkt zu berücksichtigen und eine einheitliche Vergleichsbasis für unterschiedliche Gebäudetypen und -qualitäten zu schaffen, wurden weltweit verschiedene Gütesiegel für nachhaltiges Bauen entwickelt. Im internationalen Kontext werden drei Siegel als besonders relevant bewertet:³⁰² das BREEAM-Siegel aus England (im Markt seit 1990), das LEED-Siegel der USA (im Markt seit 1998) und das DGNB-Siegel aus Deutschland (im Markt seit 2007). Gemeinsamer Nenner ist, dass Auditoren die Erfüllung verschiedener Nachhaltigkeitskriterien prüfen, wie z. B. die Verwendung umweltfreundlicher Baustoffe und die Realisierung moderner Baustandards (z. B. Beleuchtungs-, Klima- und Heiztechnik). Auch die Lage und der Anschluss ans ÖPNV-Netz können Teil der Bewertung sein. Die eigentliche Nutzungsphase stellt aber kein Bewertungskriterium dar, da Siegel i. Allg. mit der Fertigstellung einer Immobilie vergeben werden. Es werden lediglich Kennwerte zum theoretischen Verbrauch in der Nutzungsphase bewertet (z. B. LED-Beleuchtung als Kriterium für einen hohen Energieeffizienzstandard).

Im Kontext des Klimaschutzes und eines erweiterten Verständnisses der klimafreundlichen Leistungserbringung an Logistikstandorten ist die Verbreitung von Gütesiegeln für nachhaltiges Bauen grundsätzlich als positiv und relevant zu bewerten. Dies legt eine umfassende Untersuchung des BMBF-Projekts „Green Logistics“ nahe, bei der für eine typische Bestandsimmobilie eine detaillierte Material- und Prozessanalyse für die Bauphase vorgenommen wurde und in den Kontext der CO₂e-Emissionen der realen Nutzungsphase gestellt wurde. Folgende Anteile wurden für die Lebenszyklusphasen der Logistikimmobilie ermittelt:³⁰³

- Bau- und Errichtungsphase: 16 %
- Nutzungsphase (inkl. Wartung und Instandhaltung): 79 %
- Rückbauphase: 4 %

³⁰¹ BMUB 2015a, S. 10

³⁰² Draeger 2010, S. 18

³⁰³ Dobers et al. 2012, S. 120 (Bewertet wurde eine konventionelle Lagerhalle mit 35.000 m² Logistikfläche und rund 80.000 Palettenstellplätzen. Für die Immobilie wurde eine Nutzungsdauer von 41 Jahren unterstellt.)

Spezifizierung der Prozesstechnik einer Logistikimmobilie

Für die Realisierung der Abläufe in Lager- und Umschlagimmobilien werden verschiedene technische Vorrichtungen und Anlagen benötigt. Im Kontext der beschriebenen Transformationsprozesse lassen sich übergeordnet förder-, lager- und kommissionier-technische Vorrichtungen und Anlagen unterscheiden.

Förder- und Lagertechnik

Grundsätzlich können Fördermittel in zwei Gruppen kategorisiert werden. Zum einen sind Stetigförderer kontinuierlich, über einen längeren Zeitraum arbeitende Förderer für Schütt- und Stückgut. Zum anderen sind Unstetigförderer diskontinuierlich arbeitende, den Umschlag in Arbeitsspielen realisierende Fördergeräte, bei denen in der Regel auf ein Lastspiel ein Leerspiel folgt.³⁰⁴ Unstetigförderer sind für das Fördern von Stückgütern konstruiert und werden auch als Flurförderzeuge (FFZ) bezeichnet (vgl. Abbildung 18).

Die Auswahl der richtigen fördertechnischen Elemente erfolgt auf Basis einer Vielzahl von Faktoren, wie z. B. Gewicht und Abmessungen der Ladeeinheiten, Schnittstellen des Systems, Restriktionen des Gebäudes und Leistungsanforderungen.³⁰⁵ Die Energieeffizienz ist ein weiteres Entscheidungskriterium. Bei Flurförderzeugen kann hier auf Herstellerangaben zurückgegriffen werden, die nach VDI-Richtlinie 2198 in der Einheit kWh je Stunde berechnet wurden.³⁰⁶ Für Stetigförderer ist die Bewertung und Auswahl vergleichsweise komplexer, da unterschiedliche Stetigförderer meist eine zusammenhängende Stetigförderanlage bilden. Zur Analyse und Optimierung solcher Systeme werden in der Praxis i. Allg. softwaregestützte Planungstools eingesetzt.³⁰⁷

Grundsätzlich ermöglichen Stetigförderer einen kontinuierlichen Förderprozess und somit höhere Umschlagleistungen als Unstetigförderer, die von Leerfahrten gekennzeichnet sind. Die mittlere Umschlagleistung (auch: Durchsatz) spezifiziert dabei für einen gegebenen Zeitraum (pro Stunde, pro Tag, pro Woche) die Anzahl umgeschlagener Transport- bzw. Ladeeinheiten.³⁰⁸ Entsprechend der VDI 4480-1 gibt es drei Arten des Durchsatzes:³⁰⁹ 1. wareneingangsbezogener Durchsatz, 2. warenausgangsbezogener Durchsatz und 3. kombinierter Durchsatz. Beim kombinierten Durchsatz wird die Summe der eingehenden und ausgehenden Mengen gebildet und zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Berechnungsformel ist für alle drei Varianten einheitlich (vgl. Formel 3).

Formel 3: Mittlere Umschlagleistung (Durchsatz)³¹⁰

$$\text{Durchsatz}_{\text{Umschlag}} [LE \text{ pro } ZE] = \frac{\emptyset - \text{Anzahl umgeschlagener Ladeeinheiten } [LE]}{\text{Zeiteinheit } [ZE]}$$

Zur Beschreibung des Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrads einer Logistikimmobilie ist das fördertechnische Gesamtkonzept maßgebend. Allgemein können vollautomatisierte,

³⁰⁴ Griemert and Römisch 2015, S. 3

³⁰⁵ ten Hompel et al. 2007, S. 223

³⁰⁶ VDI 2198 (Hinweis: Aktuelle Fassung ist von 2012, eine novellierte Fassung ist für 2018 angekündigt)

³⁰⁷ Günthner und Habenicht 2013, S. 67 f.

³⁰⁸ Klaus et al. 2012, S. 300

³⁰⁹ VDI 4480-1, S. 3

³¹⁰ Klaus et al. 2012, S. 300

halbautomatisierte und manuelle Systeme differenziert werden.³¹¹ Bei den vollautomatisierten Systemen sind vorrangig Stetigförderer im Einsatz. Bei den teilautomatisierten Systemen stehen manuelle und automatisierte Förderer in einem weitestgehend ausgewogenen Verhältnis zueinander. Bei den manuellen Systemen werden vorrangig bzw. ausschließlich FFZ eingesetzt.

Art der Lagerung

Grundsätzlich lassen sich Bodenlagerung und Regallagerung unterscheiden.³¹² Bei der Bodenlagerung wird das Ladegut unmittelbar auf dem Boden gelagert und ggf. gestapelt mit dem Ziel, große Mengen weniger Artikel möglichst kostengünstig zu bevorraten. Regalsysteme werden nicht benötigt. Bei der Regallagerung wird das Ladegut in Regalen gelagert mit dem Ziel, einen Direktzugriff auf eine große Artikelzahl zu realisieren. Somit wird bereits deutlich, dass das Sortiment und die Zugriffshäufigkeit grundlegend für die Gestaltung von Lagersystemen sind. Für Güter, die nicht gestapelt werden können, stellt die Bodenlagerung i. Allg. keine sinnvolle und effiziente Lösung dar.

Die lagertechnische Gesamtgestaltung eines Systems ist variantenreich. Innerhalb eines Gebäudes können verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Lagersystemen vorliegen (z. B. Wareneingangslager/ Warenausgangslager, Kleinteilelager/ Großteilelager). Sind Prozesse der Kommissionierung relevant, gilt es z. B. den Nachschub zu organisieren. Je nach Versorgungs- bzw. Kommissionierungsprinzip werden hierfür auch eigene Lagerbereiche verwaltet, um die angebrochenen Vollpaletten von den nicht angebrochenen Vollpaletten räumlich zu trennen.

Aus baulicher und auch aus technischer Sicht stellt das Hochregallager eine Sonderform der Lagerung dar, weil Waren z. B. in einer Höhe von 40 Metern gelagert werden, wie bereits beschrieben wurde. Solche Lagersysteme machen i. Allg. den Einsatz von Regalbediengeräten (RBG) erforderlich. RBG sind schienengeführte Unstetigförderer, die häufig vollautomatisiert eine Wareneinlagerung bzw. -auslagerung ermöglichen.³¹³ Die Schnittstelle des HRL zum umliegenden System kann durch einen oder mehrere Übergabepunkte definiert sein.

Art der Kommissionierung

Für den Prozess der Zusammenstellung eines Kundenauftrags aus einem gegebenen Sortiment bestehen technische und organisatorische Alternativen. Grundsätzlich lassen sich statische und dynamische Systeme unterscheiden. Da bei der statischen Bereitstellung der Kommissionierer die einzelnen Lagerplätze aufsuchen muss, wird dieses System als „Person/ Roboter zur Ware“-Konzept beschrieben. Im andern Fall wird die Ware an einen vorbestimmten Kommissionierplatz außerhalb der Regalanlage transportiert. Daher wird dieses Konzept als „Ware zur Person/ Roboter“ bezeichnet.³¹⁴

Grundsätzlich gilt die Kommissionierung als personalintensiv. Nur in kleinen Lagersystemen erfolgt die Kommissionierung daher ohne Fördermittel, d. h. zu Fuß. In größeren Systemen werden Fördermittel eingesetzt, um Wegezeiten zu reduzieren und eine höhere Produktivität

³¹¹ Günthner et al. 2014, S. 24 f.

³¹² ten Hompel und Schmidt 2008, S. 74

³¹³ ten Hompel und Schmidt 2008, S. 107

³¹⁴ Martin 2014, S. 397

zu erreichen.³¹⁵ Für einige Systeme kann es auch wirtschaftlich sinnvoll sein, Kommissionierroboter einzusetzen und damit den Vorgang vollständig zu automatisieren. „Die Ausführungsformen der Roboter und Kommissionierautomaten richten sich in erster Linie nach Form, Gewicht und Abmessungen der Artikel und verfolgen das Ziel, eine möglichst hohe Kommissionierleistung zu erbringen.“³¹⁶ Ein typisches Beispiel für den Einsatz von Kommissionierrobotern stellen verpackte Hemden oder Arzneimittel dar, die sich aufgrund ähnlicher Formen und kleiner Abmessungen besonders für die Automatisierung eignen.³¹⁷

Die Tätigkeit des Kommissionierens ist mit der Tätigkeit der Packstück- und Ladeeinheitenbildung eng verbunden. Für den Systemvergleich ist daher letztendlich entscheidend, wie viele Aufträge je Zeiteinheit kommissioniert und verpackt und für den Versand an den Kunden vorbereitet werden können.

3.4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch an Logistikimmobilien kann durch verschiedene Energieformen beschrieben werden. Eine grundlegende Systematisierung hat Konstantin veröffentlicht.³¹⁸

- leitungsgebundene Energien:
 - elektrischer Strom,
 - Erdgas,
 - Wärme (d. h. Nah- und Fernwärme),
 - Druckluft,
- nicht-leitungsgebundene Energien:
 - feste Brennstoffe,
 - flüssige Brennstoffe,
 - gasförmige Brennstoffe.

Darüber hinaus lässt sich der Energieverbrauch auch hinsichtlich seiner Entstehungsbasis beschreiben, nämlich auf Basis fossiler Energieträger (z. B. Kohle, Erdöl, Erdgas), auf Basis von Kernenergie oder auf Basis regenerativer Energie (z. B. Windkraft, Photovoltaik, Biomasse, Solarthermie, Geothermie).³¹⁹ Hierbei sind die Senken des Energieverbrauchs vielseitig.

Spezifizierung von Gebäude- und Prozesstechnik

Eine grundlegende Unterscheidung betrifft die Zuordnung von Verbrauchspositionen in die Kategorien Gebäude- und Prozesstechnik. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird dem Begriffsverständnis der EnEV zur Gebäudetechnik gefolgt. Die Festlegung einzelner Temperaturbereiche basiert für das Thema Raumtemperatur auf der Regel A3.5 des technischen Regelwerks für Arbeitsstätten (ASR)³²⁰ und für das Thema Prozesskälte auf Leistungsangaben typischer Klimaanlage.

³¹⁵ Martin 2014, S. 408

³¹⁶ Martin 2014, S. 411

³¹⁷ Martin 2014, S. 411

³¹⁸ Konstantin 2013, S. 2

³¹⁹ Konstantin 2013, S. 2

³²⁰ BAuA 2010

Für die Gewährleistung einer behaglichen Raumlufttemperatur in Logistikgebäuden werden Heizungs- und Klimatisierungssysteme benötigt (Raumwärme). Darüber hinaus können die produktbezogenen Anforderungen ein Kühlen bzw. Heizen von Räumen erforderlich machen (Prozesswärme).

Für die Verfahrensentwicklung in Kapitel 4 sind folgende, energiebedingte Verbrauchspositionen grundlegend:

- Gebäudetechnik:
 - Raumwärme (zwecks Behaglichkeit in Räumen),
 - Prozesswärme (zwecks Heizen/ Trocknen von Produkten),
 - Warmwasser,
 - Klimatisierung (Klimakälte für Temperaturen im Bereich 16 °C bis ca. 26 °C),
 - Prozesskälte (aktive Kälteerzeugung für Temperaturen unter 16 °C),
 - Lüftung/ Frischluftzufuhr,
 - Beleuchtung,
 - IT-Systeme (Haustechnik),
 - sonstige Anwendungen (Tore, Rampen, Aufzüge etc.),
- Prozesstechnik:
 - Fördertechnik,
 - Lagertechnik,
 - Kommissionier-/ Verpackungstechnik,
 - IT-Systeme (logistische Anlagen).

Viele Elemente der Gebäudetechnik haben einen Strombedarf (z. B. Beleuchtung, Klimatisierung, Raumlufttechnik). Hier besteht an Logistikimmobilien prinzipiell die Möglichkeit, durch Eigenstromerzeugung mit erneuerbaren Energiequellen (z. B. Photovoltaik, Kleinwindkraftanlagen) einen Beitrag zum Klimaschutz zu liefern. Eine regenerative Form der Klimatisierung von Räumen stellt z. B. das Geothermie-Konzept dar.³²¹ Hier wird u. a. in Verbindung mit Wärmepumpen Erdwärme nutzbar gemacht.

Die Antriebs- und Wandlungsaggregate der Prozesstechnik basieren i. Allg. auf elektrischen Maschinen (z. B. Drehstrommotor, Gleichstrommotor).³²² Ebenso haben die Steuerungseinheiten derartiger Systeme einen Strombedarf. Auch Verbrennungskraftmaschinen oder Hybridantriebe können für die Prozesstechnik relevant sein. Dies gilt insbesondere für den Einsatz von Unstetigförderern im Außenbetrieb oder beim Fördern schwerer Lasten.³²³

Die meisten Heizungssysteme basieren auf den Primärenergieträgern Erdgas und Heizöl.³²⁴ In entsprechenden Heizkesseln wird Wärme lokal durch die Verbrennung von Brennstoffen erzeugt (z. B. Heizöl, Gas, Biomasse).³²⁵

³²¹ Bohne 2014, S. 199

³²² ten Hompel et al. 2007, S. 126

³²³ Martin 2014, S. 100–101

³²⁴ Bohne 2014, S. 199

³²⁵ Bohne 2014, S. 199

Statistische Relevanz von Energieverbrauchern

Die bereits in Unterabschnitt 2.2.2 zitierte ISI-Studie ermöglicht es, die Art des Energieverbrauchs einzelner Gruppen näher zu ergründen. Auch hier basiert die Studie auf der im Projekt realisierten Breitenerhebung.³²⁶

Wie Tabelle 15 zu entnehmen ist, kann ein Großteil des Endenergieverbrauchs klassischer Logistikimmobilien auf die Anwendung Raumheizung zurückgeführt werden (Großhandel: 64,3 % bzw. Spedition: 67,3 %). Bei Kühlhäusern ist der Heizbedarf, der auf Verwaltungsbereiche zurückzuführen ist, verständlicherweise sehr gering (0,6 %). Hier dominiert die Anwendung Prozesskälte (75,1 %). Für die Gruppe Spedition/ Lagerei hat die Prozesswärme zudem eine relative Bedeutung (14,5 %), d. h. produktbezogene Temperaturanforderungen liegen vor. Weiterhin ist die Anwendung Beleuchtung für Logistikimmobilien von hoher Relevanz (Großhandel: 17,5 %, Spedition: 10,9 %, Kühlhaus: 13,4 %). Der Anteil der mechanischen Energie (z. B. Diesel- oder Gasantriebe) fällt bei allen drei Gruppen niedrig aus.

Relevante Gruppen des GHD-Sektors (2013)	%-Anteil Beleuchtung	%-Anteil Mechanische Energie	%-Anteil Warmwasser	%-Anteil Prozesswärme	%-Anteil Klimatisierung	%-Anteil Prozesskälte	%-Anteil Information und Kommunikation	%-Anteil Raumheizung	Gesamt End-Energieverbrauch [TWh]
Großhandel	17,5 %	3,3 %	3,2 %	1,0 %	6,8 %	1,0 %	3,0 %	64,3 %	63,0
Spedition/ Lagerei	10,9 %	1,8 %	1,8 %	14,5 %	-	-	3,6 %	67,3 %	5,5
Kühlhäuser	13,4 %	6,1 %	0,3 %	0,3 %	-	75,1 %	4,2 %	0,6 %	1,2

Tabelle 15: Relevanz energetischer Anwendungen an Logistikimmobilien im Jahr 2013³²⁷

Die in Tabelle 15 aufgeführten Verhältnisse können lediglich einen Hinweis geben, welche Handlungsfelder zur Reduzierung des Energieverbrauchs an Logistikimmobilien prinzipiell vorliegen. Der tatsächliche Energieverbrauch wird durch verschiedene externe Einflussgrößen beeinflusst. Hierzu zählen z. B. standortbezogene Faktoren (u. a. geografische, klimatische Lage), produktbezogene Faktoren (u. a. Temperatur- und Handhabungsanforderungen) und netzwerkbedingte Faktoren (u. a. Anzahl und Relevanz von Früh-/ Spät- oder Nachtschicht).

Klassifizierung der Energieverbraucher

Die zuvor aufgelisteten energiebedingten Verbrauchspositionen können hinsichtlich ihrer unmittelbaren Relevanz für den physischen Materialfluss klassifiziert werden, nämlich in:

- direkte Verbrauchsposition und
- indirekte bzw. übergeordnete Verbrauchsposition.

Eine besondere Nähe zum physischen Materialfluss haben definitionsbedingt die Verbrauchspositionen Fördertechnik, Lagertechnik, Kommissionier-/ Verpackungstechnik. Sie werden

³²⁶ Im Unterschied zu der in Unterabschnitt 2.2.2 vorgenommenen Analyse ist eine Aufschlüsselung auf einzelne Splits nicht möglich. Einzelne Ergebnisse sind ausschließlich auf der übergeordneten Ebene der Gruppen publiziert worden. In der Studie heißt es aber, dass Gruppen und Splits eine ähnliche Verbrauchsstruktur vorweisen (ISI 2015, S. 4).

³²⁷ eigene Darstellung auf Basis von ISI 2015, S. 29 und S. 84

daher den direkten Verbrauchspositionen zugeordnet. Die Energieverbräuche von IT-Systemen werden pauschal in die Kategorie „indirekte bzw. übergeordnete Verbrauchsposition“ einsortiert. Denn IT-Systeme erfüllen typischerweise eine Reihe von übergeordneten Funktionen, die über die reine Materialflusssteuerung hinausgehen bzw. sind hiervon losgelöst (z. B. Lagerverwaltung, Kunden- und Auftragsmanagement und Beleuchtungssteuerung).

Die Verbrauchspositionen der Gebäudeenergie können nach dem Begriffsverständnis der Behaglichkeit nach Bohne³²⁸ nahezu vollständig der Kategorie „indirekt und übergeordnet“ zugeordnet werden. Denn die meisten der aufgeführten Systeme zielen primär darauf ab, die von Menschen in Räumen empfundene Behaglichkeit zu verbessern (z. B. Raumwärme, Klimatisierung, Frischluftzufuhr, Beleuchtung). Im Kern geht es darum, den gesetzlichen Vorgaben der Arbeitsstättenverordnungen und Betriebssicherheitsverordnungen zu entsprechen.³²⁹ Diese werden z. B. durch die technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin konkretisiert. Dies betrifft u. a. die Themenfelder Beleuchtung (ASR A3.4), Raumtemperatur (ASR A3.5), Lüftung (ASR A3.6) und Sozialräume (ASR A4.1 und ASR A4.2).

Die Positionen Prozesskälte bzw. -wärme sind hingegen nicht auf Behaglichkeit, sondern ausschließlich auf die Erfüllung spezieller Produktanforderungen ausgerichtet. Sie werden aufgrund der Nähe zum physischen Materialfluss den direkten Verbrauchspositionen zugeordnet. Tabelle 16 zeigt das Ergebnis der vorgenommenen Zuordnung.

Kategorie	Direkte Verbrauchspositionen	Indirekte und übergeordnete Verbrauchspositionen
Funktion	Realisierung des physischen Materialflusses	Unterstützung der Realisierung und Administration des physischen Materialflusses
Zugeordnete Elemente	Fördertechnik, Lagertechnik, Kommissionier- und Verpackungstechnik, Prozesskälte bzw. -wärme	Raumwärme, Klimatisierung, Frischluftzufuhr, Beleuchtung, Warmwasser, IT- und EDV-Systeme und sonstige Anwendungen

Tabelle 16: Klassifizierung der Verbrauchspositionen der Prozess- und Gebäudetechnik³³⁰

Diese Zuteilung nimmt für die Differenzierung von Dienstleistungen an Logistikimmobilien in Abschnitt 4.3 eine wichtige Rolle ein.

³²⁸ Bohne 2014, S. 2

³²⁹ ArbStättV 2004 und BetrSichV 2015

³³⁰ eigene Darstellung

3.5 Materialbedarf und Abfallaufkommen

Der Materialbedarf an Logistikimmobilien resultiert vorrangig aus Verpackungsprozessen sowie aus administrativen Leistungen, wie z. B. papierbasierte Rechnungsprozesse oder die Erstellung von Warenbegleitpapieren (z. B. Frachtbrief). Durch den anhaltenden Trend der Digitalisierung von Geschäftsabläufen begünstigt, werden Frachtdokumente mittlerweile auch elektronisch versendet. Neben dem Vorteil der Entkopplung der Prozesse des Frachttransports und der Dokumentenprüfung (z. B. durch den Zoll), wodurch sich Transportzeiten reduzieren lassen, trägt diese Entwicklung dazu bei, den Materialbedarf und das Abfallaufkommen zu reduzieren.

In Analogie zur Definition und Zusammensetzung der operativen Logistikkosten werden Verkaufs- und Umverpackungen nicht zum Bereich der Logistik gezählt. Sie stellen eine Kostenposition des Produktionsbereichs dar.³³¹ Im Weiteren geht es daher um Transportverpackungen wie Ladehilfsmittel, Sicherungsmittel und Etiketten. Aus Kostenaspekten sind Ladehilfsmittel, die im nationalen und europäischen Verkehrsraum eingesetzt werden, häufig als Mehrwegprodukte konzipiert.³³² Hierdurch kann der Ressourcen- bzw. Materialbedarf für die Verbrauchsposition Ladungsträger deutlich reduziert werden.

Aus Gründen der Vollständigkeit sollten zum Materialbedarf von Logistikimmobilien auch solche Materialien gezählt werden, die zur Sicherstellung der allgemeinen Funktionsfähigkeit der technischen Anlagen benötigt werden. Dies können z. B. Schmierstoffe sein, die bei Unstetigförderern verwendet werden oder Nachfüllmengen von Kältemitteln, die aufgrund von Leckagen erforderlich sind. Organisatorisch und finanziell ist die Relevanz dieser Materialbedarfspositionen, wie auch bei Auftrags- und Versandunterlagen, eher als gering zu einzustufen. Auf eine nähergehende Vorstellung wird daher verzichtet.

Einweg- und Mehrwegladungsträger

Mehrwegsysteme lassen sich in geschlossene und offene Systeme unterteilen.³³³ Im Unterschied zu offenen Systemen befinden sich die Behälter in einem geschlossenen Mehrwegsystem im Umlauf zwischen bekannten Empfängern und Versendern, wie z. B. wiederkehrende Transporte zwischen zwei Produktionswerken eines Unternehmens (geschlossenes, unilaterales Mehrwegsystem) oder wiederkehrende Transporte zwischen Zulieferer und Produzent (geschlossenes, multilaterales Mehrwegsystem). Bei geschlossenen Systemen ist der Betreiber häufig ein Produktionsunternehmen.³³⁴

Ein offenes Mehrwegsystem (auch: Poolsystem) wird allgemein von einem neutralen Dienstleister betrieben. Bei hohen Nutzerzahlen ist ein offenes System i. Allg. wirtschaftlicher als ein geschlossenes System. Eine starke Verbreitung haben Poolsysteme u. a. in der Handelsbranche gefunden, denn hier liegen allgemein einheitliche Anforderungen der Nutzer an die Ladehilfsmittel vor.³³⁵ Gängige Ladungsträger, die in offenen Systemen zum Einsatz

³³¹ Gudehus 2010, S. 146

³³² Martin 2014, S. 90

³³³ Martin 2014, S. 89

³³⁴ Stache 2001, S. 4–5

³³⁵ Stache 2001, S. 6

kommen, sind z. B. Europaletten (1.200 x 800 mm), Industriepaletten (1.200 x 1000 mm), Halbpaletten (800 x 600 mm) oder Gitterboxpaletten (1.200 x 800 mm).³³⁶

Standardisierte Ladungsträger, die in Poolssystemen zirkulieren, sind robust konstruiert und ermöglichen eine mehrfache Wiederverwendung. „Ein Produkt wie der VDA-Kleinladungsträger weist [...] bei sachgemäßer Nutzung auch nach mehreren Jahren des Gebrauchs keinerlei funktionsbeeinträchtigenden Verschleiß auf. Unter technischen Gesichtspunkten erscheint die Nutzung über mehrere 100 Zyklen als realisierbar.“³³⁷ Europaletten sind durch vergleichsweise niedrigere Zykluszahlen gekennzeichnet. Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 5 bis 7 Jahren³³⁸ und rund 4 bis 5 Rotationen pro Jahr³³⁹ liegt die durchschnittliche Zykluszahl bei 20 bis 35.

Im Idealfall besteht an Logistikimmobilien nur ein geringer Bedarf des Ladungsträgerausgleichs mit dem Poolsystembetreiber. Zwei Tauschverfahren können unterschieden werden: Idealtausch (auch: Zug-um-Zug-Tausch) und einfacher Tausch (vgl. Abbildung 21).

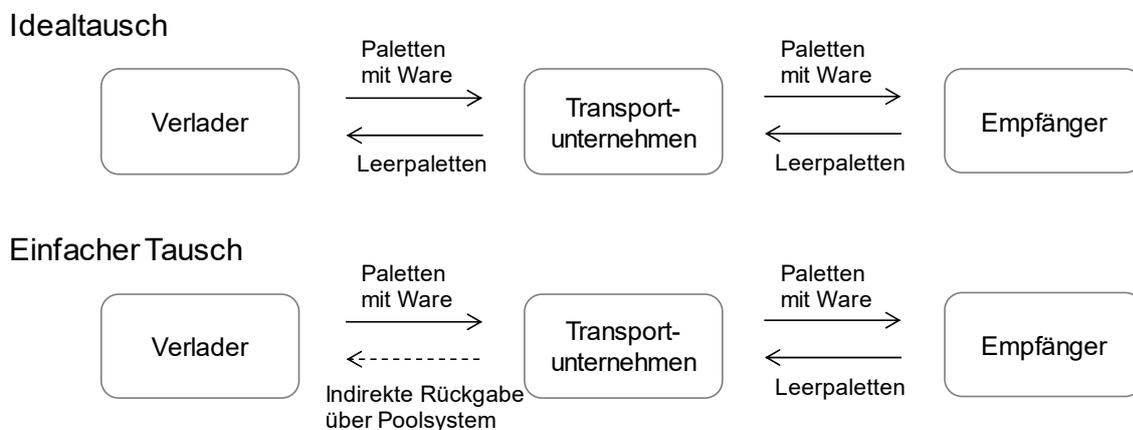


Abbildung 21: Paletten-Tauschverfahren im Überblick³⁴⁰

Beim idealen Tausch bringt der Frachtführer die gleiche Anzahl leerer Ladehilfsmittel mit (Beladung) bzw. erhält diese (Entladung), die der Anzahl verladener voller Ladehilfsmittel entspricht. So entsteht insgesamt ein Nullsummenspiel. Beim einfachen Tausch bringt der Frachtführer keine eigenen Ladehilfsmittel in das Transportsystem ein. Der erforderliche Ausgleich findet über das Poolsystem, d. h. über die regionalen Lagerimmobilien des Poolbetreibers statt.³⁴¹

Einwegladehilfsmittel gibt es in den unterschiedlichsten Größen. Sie werden vorzugsweise im Import/ Export, der Chemie- und Papierindustrie sowie für produktspezifische B2B-Lösungen eingesetzt.³⁴² In der Regel werden sie nach einmaligem Gebrauch der lokalen Müllentsorgung zugeführt. Hinsichtlich der Transportkosten unterscheiden sich Einweg- und Mehrwegpaletten kaum.³⁴³ Eine Einzelfallbetrachtung ist i. Allg. erforderlich, um herauszufinden, welches

³³⁶ Clausen und Geiger 2013, S. 128

³³⁷ Stache 2001, S. 11

³³⁸ VHI 2016

³³⁹ Kuhn und Zimmermann 2010, S. 63

³⁴⁰ eigene Darstellung auf Basis von Lange und Hoffmann 2001, S. 3

³⁴¹ Lange und Hoffmann 2001, S. 3

³⁴² Kuhn et al. 2011, S. 26

³⁴³ Stache 2001, S. 14

System für ein Unternehmen tendenziell wirtschaftlicher ist. Vor dem Hintergrund der Ressourcenschonung sollten Mehrwegpaletten jedoch grundsätzlich bevorzugt werden.

Sicherungsmittel und Etiketten

Für die Prozesse der Packstückbildung sind verschiedene Packmittel (i. S. v. Behältnissen) und Packhilfsmitteln (i. S. v. Sicherungs- und Verschleißhilfsmitteln) relevant.³⁴⁴ Der Begriff des Packstoffs spezifiziert dabei die Rohstoffe, aus denen Verpackungen bestehen. Nach dem werkstoffgebundenen Begriffsverständnis zählen zu den Packstoffen u. a. Papier/ Pappe/ Kartonagen, Textilien, Kunststoffe oder Holz.³⁴⁵

Zur Ladeeinheitensicherung kommen vielfältige Methoden zum Einsatz (vgl. Abbildung 22). Entsprechend vielseitig sind auch die zum Einsatz kommenden Materialien (z. B. Klebstoffe, Reibmatten zwischen den Lagen, Netze, Bänder, Folie).³⁴⁶ Allgemein überwiegen bei Sicherungsmitteln Einwegprodukte.

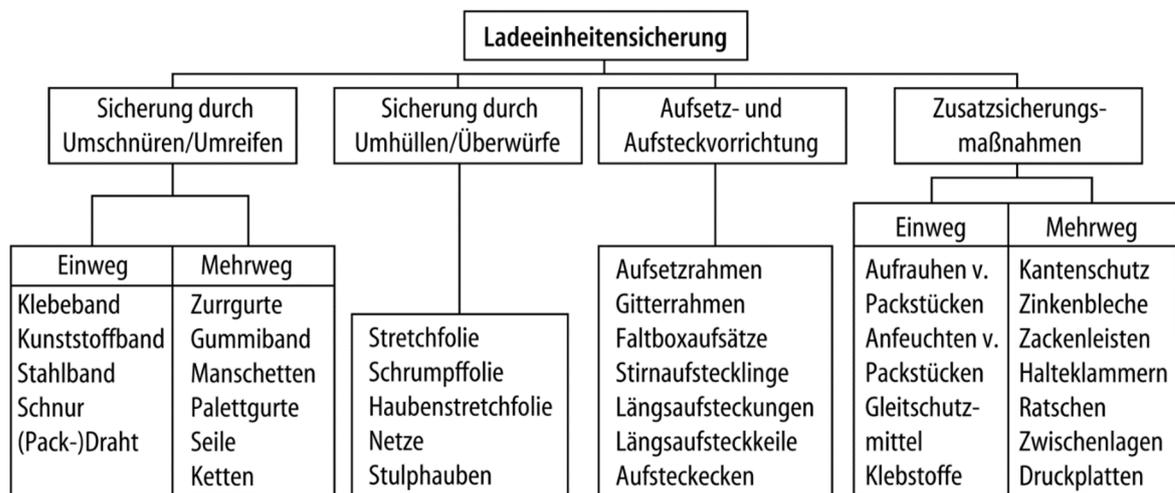


Abbildung 22: Arten der Ladeeinheitensicherung³⁴⁷

Etiketten sind meist papierbasiert und selbstklebend. Allgemein dienen sie als Informationsträger und unterstützen verschiedene Arten der Identifikation (z. B. Klarschrifterkennung, Barcode oder RFID). Sie werden insbesondere im Kontext der Kommissionierung und des Verpackens von Packstücken und Ladeeinheiten benötigt, können aber auch an anderer Stelle relevant sein (z. B. Wareneingang).

Abfälle an Logistikimmobilien

Abfall, der nicht im privaten Haushalt anfällt, wird gemäß Gewerbeabfallverordnung und VDI-Richtlinie 4432 als Gewerbeabfall bezeichnet.³⁴⁸ Im Unterschied zu Haushaltsabfall von Privatpersonen, der i. Allg. andienungspflichtig³⁴⁹ und dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger zu überlassen ist, wird gewerblicher Abfall größtenteils auf dem Entsorgungsmarkt zur

³⁴⁴ DIN 239, S. 108–114

³⁴⁵ DIN 239, S. 104

³⁴⁶ Martin 2014, S. 79

³⁴⁷ Arnold et al. 2008, S. 707

³⁴⁸ GewAbfV 2012, VDI 4432, S. 3

³⁴⁹ Gemäß KrWG besteht z. B. keine Überlassungspflicht für Abfälle aus privaten Haushalten, für die z. B. eine Herstellerproduktverantwortung definiert ist (vgl. KrWG 2012, S. 16).

weiteren Verwertung durch Unternehmen vermarktet. Dabei gilt es für Abfallerzeuger und Abfallbesitzer Grundsätze zu beachten, die im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)³⁵⁰ geregelt sind. Laut KrWG gilt der Grundsatz der Abfallvermeidung. Für nicht vermeidbare Abfälle kommen unterschiedliche Abfallbewirtschaftungsverfahren zur Anwendung, die wie folgt zu priorisieren sind:³⁵¹

1. Vermeidung,
2. Re-Use (Wiederverwendung),
3. Recycling (Weiterverwertung),
4. sonstige Verwertung (energetische Verwertung oder Verfüllung) und
5. Beseitigung (Deponierung).

Ziel der Vermarktung gewerblicher Abfälle ist die Minimierung der betrieblichen Entsorgungskosten. Diese Aufgabe übernimmt im gewerblichen Kontext typischerweise ein Abfallbeauftragter des Unternehmens. Dabei gilt der Grundsatz: Je sortenreiner und sauberer einzelne Abfallarten sortiert und getrennt gesammelt werden, desto betriebswirtschaftlich günstiger stellt sich die Vermarktungslage dar.

Im Vergleich zur Entsorgung gemischter Abfallfraktionen können durch Sortierung von Abfällen entweder niedrigere Entsorgungskosten oder sogar Erlöspotenziale erreicht werden. Entscheidend ist die Einordnung von Abfällen in einzelne Klasse der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV), die in Deutschland die Sortierqualität sowie Gefährlichkeit einzelner Fraktionen darstellt.

Hierzu wird in VDI 4432 ausgeführt: „Die Zuordnung zu Abfallschlüsselnummern hängt direkt mit dem Grad der Verunreinigung zusammen. Beispielsweise werden Verpackungen aus Holz, Glas oder Kunststoff mit schädlichen Verunreinigungen als gefährliche Abfälle eingestuft, während Holzpackmittel ohne Verunreinigung als nicht gefährlich eingestuft werden können.“³⁵² Zu beachten ist: „Bei sortenreiner Bereitstellung nicht verschmutzter Packmittel, z. B. saubere Schrumpffolien aus Polyethylen (PE), lässt sich abhängig von der Marktlage für den Abfallerzeuger ein Erlös bei der Entsorgung erzielen.“³⁵³ Das KrWG schafft somit prinzipiell einen Anreiz für Unternehmen, Abfälle möglichst sortenrein und ohne schädliche Anhaftungen zu entsorgen.

Laut VDI 4432 können Abfälle nach der Herkunft vier Bereichen zugeordnet werden, nämlich: Allgemein, Verpackungen, Produktion und Bau (vgl. Abbildung 23). Für Logistikimmobilien ist der Bereich „Verpackung“ relevant. Insbesondere dann, wenn Kommissionierungsvorgänge vorliegen und sortenreine Paletten „aufgebrochen“ und neu zusammengestellt und verpackt werden, entstehen Verpackungsabfälle. Aber auch darüber hinaus können Abfälle im Zuge der allgemeinen Transportsicherung entstehen.

Gemäß § 7 der Gewerbeabfall-Verordnung (GewAbfV)³⁵⁴ besteht für Logistikimmobilien auch eine Sammelverpflichtung für den Bereich „Allgemein“. Denn hausmüllähnliche Gewerbe-

³⁵⁰ KrWG 2012

³⁵¹ KrWG 2012, § 6

³⁵² VDI 4432, S. 13

³⁵³ VDI 4432, S. 13

³⁵⁴ GewAbfV 2012

abfälle entstehen z. B. durch Büro- und Verwaltungstätigkeiten. Ein Abfallbehälter für Bioabfälle kann ebenfalls relevant sein, wenn die Logistikimmobilie eine Kantine aufweist.

Unplanmäßig und punktuell kann das Abfallaufkommen im Bereich „Allgemein“ hoch sein, wenn z. B. Paletten „zu Bruch gehen“ und die Waren derart beschädigt sind, dass sie entsorgt werden müssen.

Allgemein	Abfallherkunft		
	Verpackungen	Produktion	Bau
<ul style="list-style-type: none"> • hausmüllähnliche Gewerbeabfälle • Bioabfälle • Elektro- und Elektronikschrotte 	<ul style="list-style-type: none"> • Papier • Kunststoff • Glas • Metall • Holz • Verbundstoffe • biologisch abbaubare Verpackungen 	<ul style="list-style-type: none"> • fest (z. B. Schrotte/ Fertigungsreste) • flüssig (z. B. Öle, Lösemittel, Kühlschmierstoffe) • pastös (z. B. Fette, Schlämme) 	<ul style="list-style-type: none"> • mineralische Abfälle • Baustellenmischabfälle

Abbildung 23: Klassifizierung von Abfällen nach Herkunftspfaden³⁵⁵

Statistische Relevanz von Verpackungsmaterialien

Analysen des EHI Retail Institute und des Verbands der Wellpappen-Industrie e. V. verdeutlichen die Relevanz des Packstoffs Pappe. Wie in Tabelle 17 darstellt, basieren 2013 ca. 77 % aller Transportverpackungen auf Well- oder Vollpappe. Kunststoffe (ca. 16 %) und Holz (ca. 8 %) haben 2013 insgesamt eine geringere Bedeutung.³⁵⁶ Bezugsbasis ist die Produktionsmenge an Transportverpackungen in Deutschland.

Marktanteile verschiedener Packstoffe für Transportverpackungen in Deutschland (Basis: Produktionsmenge in Tonnen)	2003	2008	2013
Pappe	76,6 %	76,4 %	76,8 %
<i>Wellpappe</i>	67,6 %	67,9 %	68,8 %
<i>Vollpappe</i>	9,0 %	8,5 %	8,0 %
Kunststoffe	18,0 %	16,1 %	15,6 %
<i>Folien</i>	11,4 %	10,9 %	10,2 %
<i>Packmittel aus Kunststoff</i>	6,6 %	5,2 %	5,4 %
Holz	5,4 %	7,5 %	7,6 %
Gesamt	100 %	100 %	100 %

Tabelle 17: Marktanteile verschiedener Packstoffe für Transportverpackungen in den Jahren 2003, 2008 und 2013³⁵⁷

³⁵⁵ VDI 4432, S. 14

³⁵⁶ VDW 2014, S. 2

³⁵⁷ eigene Darstellung auf Basis von VDW 2014, S. 2

Statistische Recyclingquoten

Wiederverwertung steht für die Zuführung von Verpackungsmaterialien in Wertstoffkreisläufe und die Herstellung von Sekundärrohstoffen zur Substitution von Primärrohstoffen. Dabei definiert in Deutschland das KrWG spezifische Anforderungen und Grundsätze an die Verwertung von Verpackungsabfällen. Nach UBA 2015 lagen 2013 die in Tabelle 18 aufgeführten stofflichen Verwertungsquoten (d. h. Recyclingquoten) für Verpackungsmaterialien in Deutschland vor.

Verpackungsabfall-Fraktionen in D 2013	Verpackungsabfälle [Tsd. t]	Gesamtmenge stoffliche Verwertung [Tsd. t]	Rate der stofflichen Verwertung [%]
Papier/ Pappe	7.838,9	6.911,1	88,2 %
Kunststoffe	2.873,3	1.418,0	49,4 %
Holz	2.743,2	700,0	25,5 %
Gesamt	17.126,9	12.304,9	71,8 %

Tabelle 18: Verwertungsquoten für Verpackungsabfallfraktionen in Deutschland 2013³⁵⁸

Demnach liegen hohe stoffliche Verwertungsraten für Papier und Pappe vor. Bei Kunststoffen und Holz sind die stofflichen Verwertungsraten derzeit noch gering. Hier überwiegt die thermische Verwertung in Müllverbrennungsanlagen. Aus Klimaschutzaspekten wäre eine Erhöhung der stofflichen Verwertungsrate förderlich.

Klassifizierung des Materialbedarfs und des Abfallaufkommens

Unter Beachtung der vorangestellten Ausführungen können die Verbrauchspositionen in den Bereichen Materialbedarf und Abfallaufkommen hinsichtlich ihrer unmittelbaren Relevanz für die Realisierung des Materialflusses kategorisiert werden, nämlich in:

- direkte Verbrauchsposition und
- indirekte bzw. übergeordnete Verbrauchsposition.

Grundsätzlich sollte die Zuordnung einzelner Material- und Abfallmengen zu Verbrauchspositionen unter rationalen Gesichtspunkten erfolgen und einfachheitshalber bereichsübergreifend vorgenommen werden, d. h. auf Ebene des Logistikstandorts und nicht auf Ebene einzelner Leistungsbereiche.

Transportverpackungen sind von einer unmittelbaren Nähe zum physischen Materialfluss geprägt. Der Bedarf an Ladungsträgern, Sicherungsmitteln, Packmitteln und Packhilfsmitteln hängt primär vom Durchsatz ab. Daher werden Transportverpackungen den direkten Verbrauchspositionen zugeordnet.

Alle weiteren Verbrauchspositionen werden hingegen den indirekten bzw. übergeordneten Verbrauchspositionen zugeordnet, da sie nicht direkt den physischen Materialfluss betreffen. Dies gilt z. B. für Auftrags- und Versanddokumente, Etiketten, Schmiermittel, Kältemittel und Abfälle. Auftrags- und Versanddokumente sowie Etiketten werden häufig aufgrund übergeordneter Anforderungen (z. B. Transport- und Zollvorschriften) erstellt. Schmiermittel

³⁵⁸ eigene Darstellung auf Basis von UBA 2015, S. 27

und Kältemittel stehen im Kontext der Gebäudetechnik und deren Instandhaltung. Abfälle werden aus Vereinfachungsgründen ebenfalls den übergeordneten Verbrauchspositionen zugeordnet. Sie haben i. Allg. einen geringen Einfluss auf die Gesamthöhe der hervorgerufenen THG-Emissionen. Das Ergebnis der vorgenommenen Zuordnung ist in Tabelle 19 dargestellt. Diese Zuteilung nimmt für die Differenzierung von Dienstleistungen an Logistikimmobilien in Abschnitt 4.3 eine wichtige Rolle ein.

Kategorie	Direkte Verbrauchspositionen	Indirekte und übergeordnete Verbrauchspositionen
Funktion	Realisierung des physischen Materialflusses	Unterstützung der Realisierung und Administration des physischen Materialflusses
Zugeordnete Elemente	Ladehilfsmittel (Ladungsträger), Sicherungsmittel, Packmittel und Packhilfsmittel	Auftrags- und Versanddokumente, Etiketten, Kältemittel, Schmiermittel, Abfälle

Tabelle 19: Klassifizierung der Verbrauchspositionen der Material- und Abfallmengen³⁵⁹

³⁵⁹ eigene Darstellung

4 Entwicklung einer ökologischen Bewertungsmethode

In diesem Kapitel geht es um die Vorstellung der entwickelten Bewertungsmethode. Hierzu wird zunächst ein Überblick über das Verfahren gegeben (Abschnitt 4.1). Anschließend werden die einzelnen Verfahrensschritte in den Abschnitten 4.2 bis 4.8 näher erläutert und begründet. In Abschnitt 4.9 werden allgemeingültige Empfehlungen zur Kennzahlenverwendung formuliert.

4.1 Übersicht Vorgehensmodell

Die Bewertungsmethode umfasst mehrere Einzelschritte, die in Abbildung 24 dargestellt sind. Die Schritte 1 bis 3 sind für eine erstmalige Bilanzierung wesentlich und durchzuführen. Mit ihnen wird die eigentliche Bewertung vorbereitet. Es geht darum, grundlegende Strukturkennzahlen zur Logistikimmobilie zu erheben, eine Klassifizierung durchzuführen und die Bilanzgrenzen des zu bewertenden Systems zu ermitteln.



Abbildung 24: Vorgehensmodell zur THG-Bilanzierung des Betriebs von Logistikimmobilien³⁶⁰

Bei einer Aktualisierung einer Bilanz können die Schritte 1 bis 3 übersprungen werden, wenn sich keine größeren Änderungen zwischen zwei Bewertungszeiträumen ergeben haben. Die Schritte 4 bis 6 beziehen sich auf den Prozess der eigentlichen Bilanzerstellung. Neben der Emissionsbewertung geht es hier u. a. um die Beschreibung der Bewertungsqualität und eine einheitliche Aufbereitung von Ergebnissen (Deklaration). Die letzten Schritte des Verfahrens, Schritte 7 und 8, widmen sich der Kennzahlenbildung (durch Allokation).

³⁶⁰ eigene Darstellung

4.2 Strukturkennzahlen und Klimafaktoren

Entsprechend den Erläuterungen der VDI 4400-1/-2/-3 sollten Effizienzkennzahlen grundsätzlich im Kontext von Strukturkennzahlen interpretiert werden. Es geht darum, eine möglichst objektive Deutungsebene zu erhalten. Für Logistikimmobilien bedeutet das, die funktionalen, technologischen oder organisatorischen Rahmenbedingungen der Leistungserbringung zu beschreiben. Mit Klimafaktoren können zudem die klimatischen Bedingungen am Standort charakterisiert werden, die ebenfalls Einfluss auf die Höhe der THG-Emissionen nehmen.

In Bezug auf Abschnitt 3.3 werden im Rahmen dieser Methode drei übergeordnete Aspekte durch Strukturkennzahlen beschrieben. Zum einen geht es um die Größe und die Funktion der Logistikimmobilie sowie bauliche Merkmale (Grundstück/ Gebäude, Verkehrsträger, Branche). Des Weiteren ist die Betriebsorganisation (Betriebsstunden, Schichten) relevant. Zum anderen geht es um den technologischen Ausstattungsgrad bzw. Automatisierungsgrad in den Bereichen Förder- und Lagertechnik. Die relevanten Strukturkennzahlen sind in Form eines Fragebogens aufbereitet worden, wie der Tabelle 42 im Anhang zu entnehmen ist.

Neben den Strukturkennzahlen können Kennzahlen zu den klimatischen Bedingungen (sog. Klimafaktoren) eines Standorts für die Interpretation von Ergebnissen bzw. Veränderungen herangezogen werden. Gemäß den weiteren Ausführungen in diesem Kapitel können sie als externe Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch verstanden werden.

Statistische Klima- und Wetterdaten werden z. B. durch den deutschen Wetterdienst angeboten und ermöglichen einen regionalen und normierten Blick auf die Anzahl der Heiztage und Gradtagzahlen.³⁶¹ Zur Veranschaulichung der Relevanz und Einflussnahme ist in Abbildung 25, exemplarisch für die Region Düsseldorf im Zeitraum 2010 bis 2016, die Anzahl der Heiztage gegenüber dem örtlichen statistischen Mittel ausgewiesen.

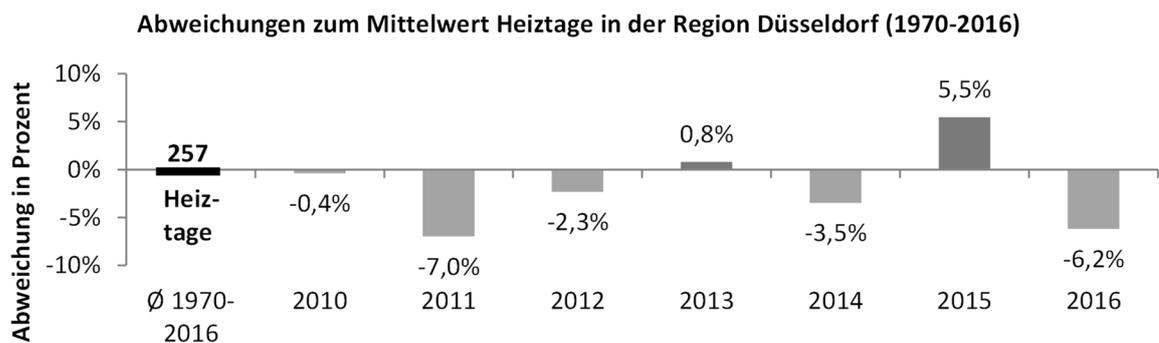


Abbildung 25: Klimafaktor Heiztage am Beispiel der Region Düsseldorf (2010–2016)³⁶²

Gegenüber dem Durchschnitt von rund 257 Heiztagen pro Jahr lagen in den Jahren 2013 und 2015 relativ viele Tage mit einer durchschnittlichen Außentemperatur von weniger als 15 °C vor. In den anderen Jahren des betreffenden Zeitraums war die Anzahl der Heiztage hingegen niedriger als das örtliche Mittel. Zwischen den Jahren 2015 und 2016 liegt ein besonders großer

³⁶¹ Als Heiztag wird allgemein ein Tag bezeichnet, an dem die mittlere Tagestemperatur weniger als 15 °C beträgt. Die Kennzahl Gradtagzahl beschreibt darauf aufbauend den „Heizaufwand“ an einem Heiztag und wird in der Einheit Gradtage gemessen. Die Gradtagzahl gibt i. Allg. die Differenz der mittleren Tagestemperatur zu dem Wert 20 °C wieder und wird über die Anzahl Heiztage summiert.

³⁶² eigene Darstellung auf Basis von IWU 2017

Unterschied von 30 Heiztagen vor. Große Unterschiede können eine Erklärung dafür sein, dass der Heizbedarf zwischen zwei Bilanzjahren stark abweicht. 257 Heiztage sind im Kontext eines Jahres eine große Zahl (ca. 70 % aller Tage). Die Anzahl der Heiztage ist eine rein definatorische Größe zur Unterstützung der Interpretation von Heizaufwänden. Hiervon abweichend kann es als sinnvoll eingestuft werden, dass Unternehmen ihre spezifischen, realen Heiztage pro Jahr protokollieren.

Neben den Heiztagen kann der Energieverbrauch an einem Logistikstandort durch die Anzahl Sonnenstunden pro Jahr beeinflusst werden. Bei Gebäuden mit klassischen Fenstern, Fensterbändern oder Dachoberlichtern leitet sich hieraus der prinzipielle Beleuchtungsbedarf ab. Zur Veranschaulichung der Relevanz dieser Strukturkennzahl ist in Abbildung 26, exemplarisch für Deutschland für den Zeitraum 2010 bis 2016, die Anzahl der Sonnenstunden pro Jahr gegenüber dem statistischen Mittel ausgewiesen. Gegenüber dem Mittelwert von rund 1.596 Sonnenstunden pro Jahr waren die Jahre 2010 und 2013 relativ dunkel und die Jahre 2011, 2012 und 2015 relativ hell. 2014 und 2016 waren ähnlich zum langfristigen Mittelwert. Auch in diesem Fall ist die Anzahl der Sonnenstunden eine rein definatorische Größe, welche zur Interpretation herangezogen werden kann. Der reale Bedarf, Räume zu beleuchten, hängt u. a. auch von der lokalen Intensität der Sonneneinstrahlung ab.

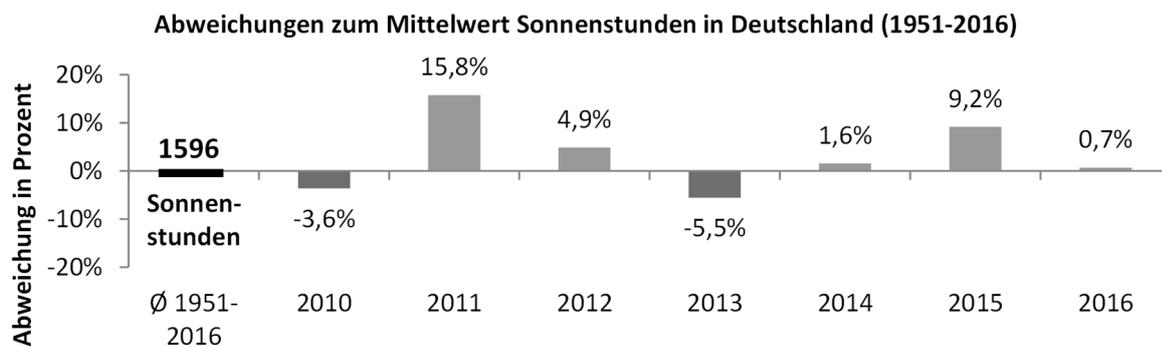


Abbildung 26: Klimafaktor Sonnenstunden am Beispiel Deutschland (2010–2016)³⁶⁵

Für das Verfahren bedeuten die Schritte zur Erhebung von Strukturkennzahlen und Klimafaktoren, eine Grundlage zur differenzierten Interpretation zu generieren. Von einer Normierung der Berechnungsergebnisse wird jedoch Abstand genommen (z. B. beim Heizbedarf), um mit den Werten die reale Situation der Emissionsentstehung widerzuspiegeln.

4.3 Klassifizierung der Logistikimmobilie

Im Folgenden geht es darum, auf Basis der in den vorausgehenden Kapiteln ermittelten Erkenntnisse zu Klassifizierungskriterien und Kausalitäten ein Klassifizierungsschema für Logistikimmobilien zu erarbeiten, das auf die Klimawirkungen von Standortdienstleistungen ausgerichtet ist. Dienstleistungen stellen den Ausgangspunkt der allgemeinen Verfahrensentwicklung dar, weil sie einerseits für die Kunden der logistischen Leistungserbringung an Logistikimmobilien relevant sind (i. S. v. umweltbezogenen Einkaufs- und Vertriebsentscheidungen) und andererseits für Unternehmen eine passende und einheitliche Vergleichsbasis verschiedener Logistikimmobilien (Benchmarking) begründen. Dies wird im Folgenden weiter erläutert.

³⁶⁵ eigene Darstellung auf Basis von DWD 2017

Klassifizierungslogik

Die Hauptfunktion einer Logistikimmobilie betrifft die Realisierung logistischer Dienstleistungen, die sich mittels der drei elementaren Transformationsprozesse grundlegend beschreiben lassen. Umschlagen, Lagern und Kommissionieren/ Verpacken stellen also den zentralen, gemeinsamen Nenner zwischen Anbieter und Kunde der logistischen Dienstleistung dar. Darauf aufbauend spezifizieren Kunde und Dienstleister bei Bedarf weitere Einzelheiten der logistischen Dienstleistung (im Folgenden: Merkmale). Diese beziehen sich typischerweise auf produktbezogene Anforderungen, wie z. B. die Einhaltung von Temperaturanforderungen oder spezifische Verpackungs- und Versandvorgaben. Allgemein richten Logistikdienstleister ihre Entscheidungen zur adäquaten Gebäude- und Prozesstechnik auf die Erfüllung von Leistungsversprechungen gegenüber Kunden aus. Auch die relevanten Verpackungsmaterialien/ -abfälle werden durch auftragsbezogene Anforderungen definiert.

Demnach besteht an Logistikimmobilien ein kausaler Zusammenhang zwischen a) angebotenen Dienstleistungen, b) erforderlichen Gebäude-/ Prozesstechniken sowie Verpackungskonzepten und c) den energie- und materialbedingten Umweltwirkungen. Dies bildet die grundlegende Klassifizierungslogik dieses Verfahrens.

Standard-Dienstleistungen

Sämtliche Dienstleistungen an Logistikimmobilien sind prinzipiell durch einen Wareneingang (WE) und einen Warenausgang (WA) gekennzeichnet. Zwischen diesen beiden Bereichen werden Güter umgeschlagen. Dabei beschränken sich WE und WA nicht auf einen spezifischen Ort (z. B. Rampe), sondern können mehrere Orte umfassen, wie es insbesondere für multimodale Terminals charakteristisch ist (Schnittstelle Wasser, Schnittstelle Schiene etc.).

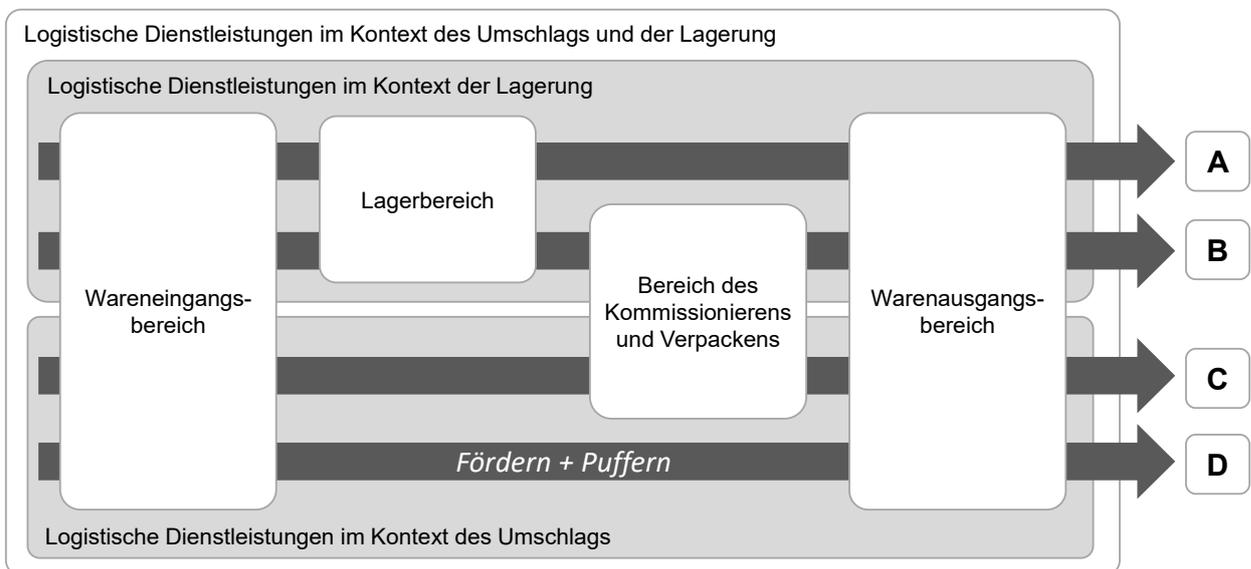


Abbildung 27: Standarddienstleistungen an Logistikimmobilien (idealisiert)³⁶⁴

Da ein Güterumschlag (d. h. Fördern und Puffern) zwischen WE und WA für jede Logistikimmobilie grundlegend ist, verbleiben zunächst die Elemente Lagern und Kommissionieren/ Verpacken für die Ableitung und Definition von „Standard-Dienstleistungen“ an Logistikimmobilien. Wie in Abbildung 27 dargestellt ist, lassen sich vier Prozessvarianten definieren.

³⁶⁴ eigene Darstellung

Mit den Buchstaben A, B, C und D wird im Weiteren darauf Bezug genommen. Beim reinen Güterumschlag ist die durchschnittliche Verweildauer von Gütern an einem Standort vergleichsweise kürzer als bei der Güterlagerung, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben wurde.

Merkmale von Standard-Dienstleistungen

Die vier Standard-Dienstleistungen lassen sich weiter durch auftrags- bzw. produktbezogene Merkmale spezifizieren. Im Kontext der systematisierten, direkten Verbrauchspositionen betrifft dies insbesondere:

- auftrags- bzw. produktspezifische Temperaturvorgaben und
- auftrags- bzw. produktspezifische Verpackungsvorgaben.

Produkte mit spezifischen Temperaturanforderungen werden im Regelfall nur an solchen Logistikimmobilien umgeschlagen bzw. gelagert, die über besondere gebäude- bzw. prozess-technische Ausstattungsmerkmale verfügen (wie z. B. kältetechnische Anlagen in Gebäuden oder Stromanschlüsse für mobile Kälteanlagen im Freien). Etwas anders stellt sich die Situation dar, wenn Ladungsträger und Verpackungen nur vorübergehend eine Kühlfunktion ausüben sollen. Dann können Ladungsträger mit spezieller Isolation/ Kälteedämmung auch an konventionellen Logistikimmobilien umgeschlagen werden.

Liegen spezifische Verpackungsvorgaben für einen Auftrag vor (z. B. Nutzung von Einweg-Europaletten statt Mehrweg-Europaletten), führt dies i. Allg. dazu, dass die Art und die Höhe der erforderlichen Verpackungsmaterialien/ -abfälle vom Normalmaß abweichen. Derartige Aufträge können als Spezialaufträge der Kommissionierung bezeichnet werden. Sie führen beim Logistikdienstleister i. Allg. zu erhöhten Personal- und Materialaufwänden und werden daher i. Allg. auch gesondert vergütet.

Auftragsspezifische Temperaturvorgaben

Hinsichtlich der Temperaturanforderungen lassen sich grundsätzlich zwei Arten von Produkten unterscheiden, nämlich solche mit und solche ohne Spezifizierung eines einzuhaltenden Temperaturbereichs. Im Bereich der Handelslogistik ist es üblich, dass logistische Leistungen für Produkte mit unterschiedlichen Temperaturanforderungen raum- und zeitgleich erbracht werden. In diesem Fall ist auch der Begriff Multitemperatur-Distribution gebräuchlich.³⁶⁵

Für Lebensmittel lassen sich aus produktspezifischen und gesetzlichen Bestimmungen nach Arnold fünf Kategorien für temperatursensible Produkte definieren. Diese sind:³⁶⁶

- Tiefkühlprodukte $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$,
(für das Einfrieren von Lebensmitteln gilt eine spezielle Anforderung von $< -18\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Frischprodukte $+ 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+ 7\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Ultra-Frischprodukte $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- temperaturempfindliche Pharmaka $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+ 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Warmprodukte $> + 8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

³⁶⁵ Arnold et al. 2008, S. 568

³⁶⁶ Arnold et al. 2008, S. 571

Grundsätzlich ist Kälte ein Zustand unterhalb und Wärme ein Zustand oberhalb der Umgebungstemperatur. Heiz- oder Kühllasten variieren i. Allg. im Jahresverlauf, entsprechend der vorliegenden Umgebungstemperatur. Daher müssen z. B. Logistikimmobilien für Frischprodukte im Winter beheizt und im Sommer gekühlt werden. Allgemein wird die aufzubringende Heiz- oder Kühlleistung zur Einhaltung eines definierten Temperaturbereichs durch mehrere interne und externe Faktoren beeinflusst. Nach VDI 2078 sind dies insbesondere die Bauweise der Immobilie, die Wärmequellen und -senken sowie die Anlagentechnik und -steuerung.³⁶⁷

Unter Beachtung der Ausführungen in Abschnitt 3.4 werden hinsichtlich auftragsbezogener Temperaturvorgaben für das Verfahren vier Klassen definiert, nämlich:

- 1: Tiefkühlbedarf (ganzjährig weniger als 0 °C)
- 2: Kühlbedarf (ganzjährig zwischen 0 °C und 16 °C)
- 3: Keine spezifischen Temperaturanforderungen,
- 4: Wärme-/ Trocknungsbedarf (ganzjährig mehr als 26 °C)

Diese vier Klassen können dann zur weiteren Spezifizierung der Standard-Dienstleistungen herangezogen werden. Für „A: Lagerung und Warenausgang ohne Kommissionierung“ wäre das z. B. „A.1: Lagerung und Warenausgang ohne Kommissionierung für Materialflussobjekte mit Tiefkühlbedarf“.

In Anbetracht des spezifischen Energieverbrauchs ist insbesondere eine Unterscheidung zwischen Kühllagerung und Tiefkühlagerung erforderlich. Der Elektrizitätsbedarf von Tiefkühlagern mit einer Temperaturleistung von – 25 °C bis – 30 °C beträgt im Jahresschnitt in etwa 60 kWh je m³. Im Falle der Kühllagerung von Frischprodukten ist allgemein ein deutlich geringerer durchschnittlicher Elektrizitätsbedarf zutreffend, nämlich 25 kWh je m³.³⁶⁸

Das Merkmal „Wärme-/ Trocknungsbedarf“ wird für Produkte definiert, die besondere Anforderungen an die Gebäudetechnik im Bereich der Hochtemperaturen stellen. Dieser Kategorie wird entsprochen, wenn das Leistungsvermögen konventioneller Heizungsanlagen überschritten wird und zusätzliche Anlagen erforderlich sind (z. B. Trockenkammern).

Auftragsspezifische Verpackungsvorgaben

Aufgrund definitorischer Zusammenhänge können spezifische Verpackungsanforderungen, die von Standardanforderungen abweichen, nur für solche Aufträge vorliegen, die ein Kommissionieren und Verpacken von Materialflussobjekten vorsehen. Denn nur im Rahmen der Kommissionierung, d. h. der Zusammenstellung einer kundengerechten Bedarfsmenge eines oder mehrerer Artikel, können kundenspezifische Vorgaben berücksichtigt werden. Dies begrenzt die Auswahl an relevanten „Standard-Dienstleistungen“.

Als Spezialaufträge des Kommissionierens und Verpackens werden solche Aufträge bezeichnet, die von Normalbedingungen abweichen. Diese recht allgemeingültige Formulierung lässt sich nur schwerlich konkretisieren. Wie in Abschnitt 3.2 vorgestellt kann sich eine Versandeinheit sowohl auf ein Packstück als auch auf eine Ladeinheit beziehen. Überdies können

³⁶⁷ VDI 2078

³⁶⁸ Dumortier et al. 2012, S. 30

Ladeeinheiten in Groß- und Kleinladungsträger unterteilt werden. Hinzu kommt eine Vielzahl von zu berücksichtigenden Pack- und Sicherungsmitteln.

Dennoch können für Logistikkimmobilien erfahrungsgemäß Standardtätigkeiten der Kommissionierung und solche, die davon abweichen, beschrieben werden. Zu ermitteln sind hierbei zunächst die Kriterien, durch die sich das Hauptverpackungskonzept definiert. In Bezug auf die Handelslogistik lässt sich dies anhand eines einfachen Beispiels veranschaulichen. Am gegebenen Standort sind Versandeinheiten grundsätzlich palettiert. Einige Paletten werden ohne Kommissionierung als artikelreine Paletten, andere mit vorheriger Kommissionierung als artikelgemischte Paletten in den Lkw verladen. Die Standardtätigkeit der Kommissionierung betrifft also artikelgemischte Paletten. Gelegentlich verlangen Kunden jedoch die Kommissionierung von „Sandwich-Paletten“. Diese Kommissioniertätigkeiten weichen also vom Normalfall ab und können daher als Spezialauftrag der Kommissionierung bezeichnet werden.

Hinsichtlich auftragsbezogener Verpackungsvorgaben werden daher zwei Klassen für das Verfahren definiert:

- a: Kommissionieren und Verpacken ohne Sondervorgaben
- b: Kommissionieren und Verpacken mit Sondervorgaben

Werden diese zwei Klassen nun zur weiteren Spezifizierung der bestehenden Klassifizierung von Dienstleistungen an Logistikkimmobilien herangezogen, ergibt sich folgendes Gesamtschema (vgl. Tabelle 20).

Dienstleistungen an Logistikkimmobilien		Temperaturanforderung			
Code		1	2	3	4
Bezeichnung		Tiefkühlung	Kühlung	keine	Wärme
A	Lagerung und Warenausgang ohne Kommissionierung				
B	a Lagerung und Warenausgang mit Kommissionierung, ohne Beachtung von Sonderverpackungsvorgaben				
	b Lagerung und Warenausgang mit Kommissionierung, unter Beachtung von Sonderverpackungsvorgaben				
C	a Umschlag und Warenausgang mit Kommissionierung, ohne Beachtung von Sonderverpackungsvorgaben				
	b Umschlag und Warenausgang mit Kommissionierung, unter Beachtung von Sonderverpackungsvorgaben				
D	Umschlag und Warenausgang, ohne Kommissionierung				

Tabelle 20: Erweiterte Klassifizierung von Dienstleistungen an Logistikkimmobilien nach Produktmerkmalen³⁶⁹

³⁶⁹ eigene Darstellung

Dieses Schema, das 24 verschiedene Einzeldienstleistungen differenziert, ist für die weitere Ausarbeitung grundlegend. Es wird als Basis für die Ermittlung von dienstleistungsbezogenen THG-Emissionskennzahlen für Logistikimmobilien verwendet (vgl. Unterabschnitt 4.8.3).

Typen von Logistikimmobilien

Mit Bezug auf die differenzierten Dienstleistungen lässt sich ein einfaches Register für Logistikimmobilien erstellen. Hierbei werden einfache Lager- und Umschlageinrichtungen (jeweils ohne Kommissionierung) und komplexe Lager- und Umschlageinrichtungen (jeweils mit Kommissionierung) unterschieden. Sind sowohl Umschlag- als auch Lagerdienstleistungen für einen Standort relevant, ist gemäß dieser Ausarbeitung der Begriff des Logistik- bzw. Distributionszentrums zu verwenden (vgl. Tabelle 21).

Relevante Standard-Dienstleistungen	Typisierung	Bezeichnungen in der Praxis
nur A	einfache Lagereinrichtung	Durchlauflager, Einheitenlager
nur B bzw. nur A und B	komplexe Lagereinrichtung	Lagereinrichtung, Fertigwarenlager
nur D	einfache Umschlageinrichtung	Umschlagzentrum bzw. -terminal, Depot
nur C bzw. nur C und D	komplexe Umschlageinrichtung	Cross-Docking Center, KV-Terminal
sonstige Kombinationen aus A, B, C und D	Logistikzentrum	Distributionszentrum, Logistik-Hub

Tabelle 21: Klassifizierungsschema für Logistikimmobilien nach relevanten Standard-Dienstleistungen³⁷⁰

Der Begriff Logistik-/ Distributionszentrum folgt dabei dem Verständnis von Nehm und umfasst eine Sammlung von Logistikimmobilien, an denen sehr unterschiedliche logistische Tätigkeiten stattfinden.³⁷¹

Veranschaulichungsbeispiel

Ein Logistikunternehmen, das Bestandteil eines übergeordneten Stückgutspeditionsnetzwerks ist, verfügt über eine rund 18.000 m² große Logistikimmobilie, die aus zwei Bereichen besteht, nämlich: Umschlagbereich und Lager-/ Kommissionierbereich (vgl. Abbildung 28). Sämtliche Materialflussobjekte sind palettiert. Umgeschlagen und gelagert werden palettierte Stückgüter der NST-2007-Klassen „A 18“ (Sammelgut) und „A 11“ (Haushaltsgeräte). Temperaturanforderungen sind nicht zu beachten.

Die in den jeweiligen Bereichen installierte Prozess- und Gebäudetechnik zeigt große Unterschiede. Dies betrifft zum einen die Fördertechnik und zum anderen die Heiztechnik. Im Umschlagbereich ist der Durchsatz zwischen Warenein- und Warenausgang im Vergleich zum Bereich der Lagerung und Kommissionierung hoch. Daher wird in diesem Bereich ein Stetigförderersystem eingesetzt. Für den Bereich der Lagerung ist es hingegen ausreichend, mit konventionellen Gabelstaplern zu arbeiten. Der Durchsatz ist vergleichsweise niedrig. Weiterhin ist im Bereich der Lagerung und Kommissionierung die durchschnittliche

³⁷⁰ eigene Darstellung

³⁷¹ Nehm 2013, S. 26

Raumtemperatur höher. Mittels einer Gas-Wärme-Pumpe wird hier eine konstante Temperatur von 18 °C erzielt. Der Bereich des Umschlags ist hingegen allgemein unbeheizt. Im Bedarfsfall (z. B. Winter) können Mitarbeiter Deckenstrahler für einzelne Tore und umliegende Bereiche aktivieren. Im Bereich der Kommissionierung liegen keine speziellen Verpackungsvorgaben vor.

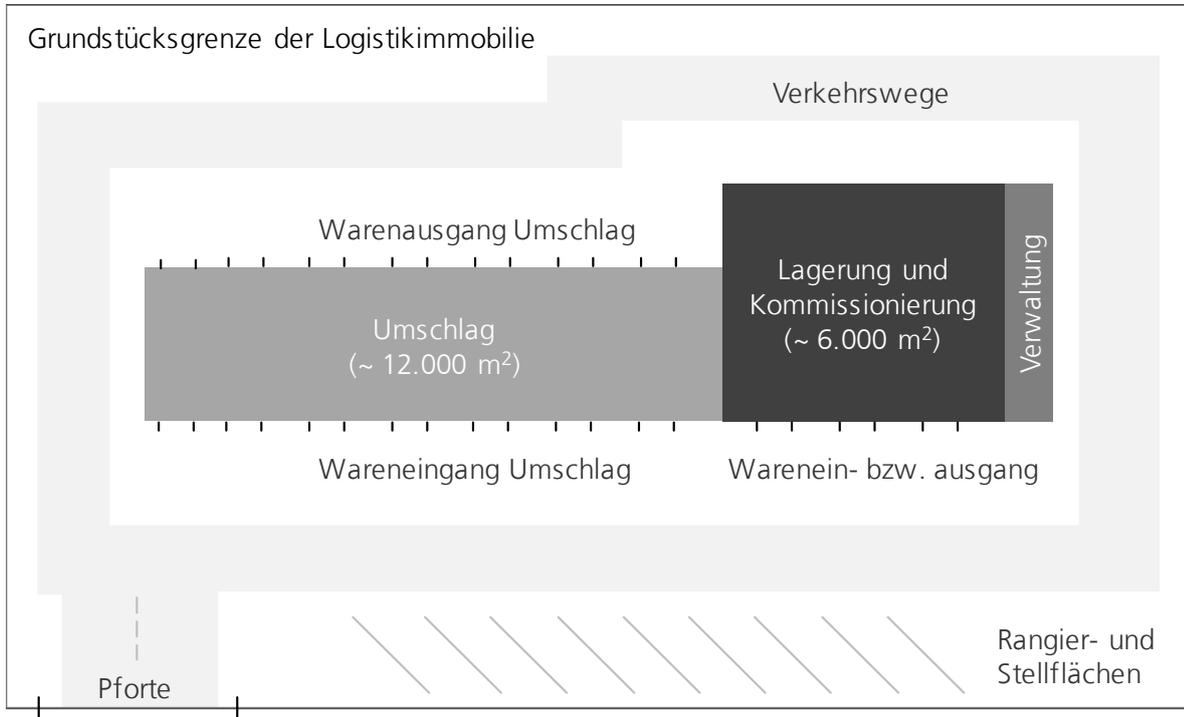


Abbildung 28: Beispielhafte Anwendung des Klassifizierungsschemas auf eine Logistikimmobilie³⁷²

Aufgrund der gegebenen Prozessstruktur liegt entsprechend dieser Methode eine Immobilie des Typs „Logistik- bzw. Distributionszentrum“ vor. Die relevanten Dienstleistungen am Standort sind gemäß dem Schema aus Tabelle 20 erstens A.3 (Lagerung und Warenausgang, ohne Kommissionierung), zweitens B.3.a (Lagerung und Warenausgang mit Kommissionierung, ohne Beachtung von Sonderverpackungsvorgaben) sowie drittens D.3 (Umschlag und Warenausgang, ohne Kommissionierung).

4.4 Bilanzgrenzen und relevante Prozesse

Logistikimmobilien sind ein zentraler Bestandteil übergeordneter Produktions- und Logistiknetzwerke. Typischerweise umfassen solche Netzwerke Prozesse der Rohstoffgewinnung und -beschaffung, der Komponentenfertigung, der Produktfertigung sowie der Versorgung eines Absatzmarktes. Prozesse an Logistikimmobilien sind grundsätzlich sowohl im Kontext der Beschaffungslogistik, d. h. der Versorgung der Produktion mit Rohstoffen/ Komponenten, als auch im Kontext der Distributionslogistik, d. h. der Versorgung eines Absatzmarktes, relevant. Dies ist in Abbildung 29 in idealisierter Form dargestellt.

Eine THG-Bilanz, die für eine einzelne Logistikimmobilie erstellt wird, repräsentiert im Regelfall einen Ausschnitt einer übergeordneten, unternehmensweiten THG-Bilanz, die neben der betrachteten auch weitere Logistikimmobilien sowie sonstige relevante Unternehmens-

³⁷² eigene Darstellung

bereiche und -aktivitäten (z. B. Transport, Produktion, Verwaltung/ Administration) umfassen kann. Daher ist es wichtig, die relevanten von nicht relevanten Aktivitäten für den definierten Untersuchungsgegenstand abzugrenzen.

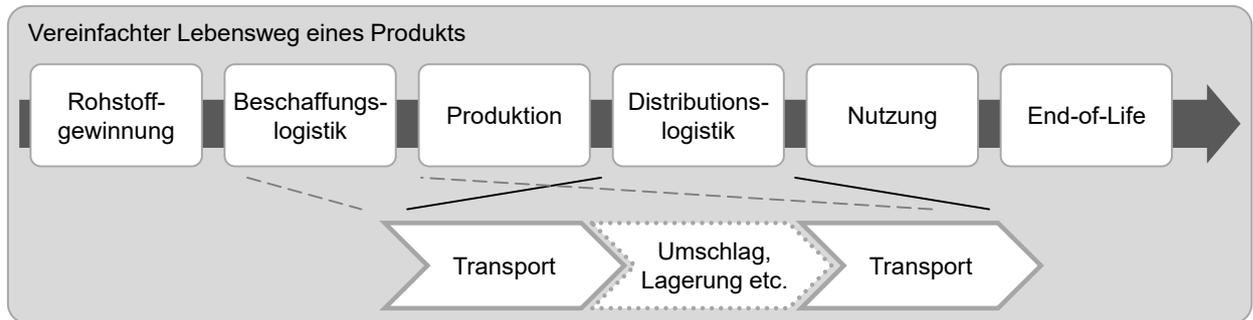


Abbildung 29: Einordnung von Logistikimmobilien in den übergeordneten Wertschöpfungsprozess³⁷³

Gemäß DIN ISO/TR 14069 sollte eine Abgrenzung des Bilanzraums unter Verwendung der 23 Emissionskategorien erfolgen, die für ein Unternehmen prinzipiell von Relevanz sein können.³⁷⁴ Im Kontext der Verfahrensentwicklung wurde eine Eingrenzung und Zuordnung vorgenommen. Weitere Erläuterungen hierzu sind der Tabelle 44 im Anhang zu entnehmen. Für dieses Verfahren sind demnach folgende Berichtspositionen relevant:³⁷⁵

- »Scope 1«:
 - Position 1: Direkte Emissionen stationärer Energiewandlung
 - Position 2: Direkte Emissionen mobiler Energiewandlung
 - Position 3: Direkte Emissionen flüchtiger Gase/ Flüssigkeiten
- »Scope 2«:
 - Position 4: Kraftwerksprozesse für Elektrizität
 - Position 5: Kraftwerksprozesse für sonstige leitungsgebundene Energien
- »Scope 3 upstream«:
 - Position 6: Sonstige Energieprozesse für Kraftstoffe/ Brennstoffe
 - Position 7: Erworbene Produkte und Materialien
 - Position 8: Externe Transportdienstleistungen
 - Position 9: Beseitigung und Verwertung von Abfällen

Aus dem Bereich »Scope 3 downstream« wurden keine Berichtskategorien als relevant eingestuft. Dies ist plausibel, da dieser Verantwortungsbereich, gemäß DIN ISO/TR 14069, Kategorien umfasst, die sich auf die Phasen nach dem Verkauf von Waren beziehen (z. B. Kundenmobilität, Produktnutzungsphase oder Beseitigung am Ende des Produktlebenswegs, vgl. Abbildung 29).

³⁷³ eigene Darstellung in Anlehnung an Klöpffer und Grahl 2009, S. 3

³⁷⁴ DIN ISO/TR 14069, S. 12

³⁷⁵ In dieser Abhandlung wird der Begriff „Berichtsposition“ anstelle des DIN-ISO/TR-14069-Begriffs „Berichtskategorie“ aus Abgrenzungsgründen verwendet. Die Nummerierung der Positionen (dieses Verfahren) weicht von der Nummerierung der Kategorien (nach DIN ISO/TR 14069) ab. Die Nummern 1 bis 9 wurden neu verteilt, da nicht alle Kategorien nach DIN ISO/TR 14069 für dieses Verfahren relevant sind und eine lückenhafte Nummerierung nicht plausibel erschien.

Die Entscheidung zur Relevanz von Berichtskategorien (vgl. Tabelle 44 im Anhang) basiert im Kern auf den Ausführungen in Abschnitt 3.4 zur Prozess- und Gebäudetechnik sowie den prozessrelevanten Materialien und Abfällen (Abschnitt 3.5). Darüber hinaus stellt das angestrebte Ziel der Gegenüberstellung von Umweltaspekten unterschiedlicher Logistikimmobilien eine Entscheidungsgröße dar. Die THG-Emissionen der Mitarbeitermobilität werden z. B. als nicht relevant für den Bilanzraum eingestuft und sollten stattdessen übergeordnet in der unternehmerischen THG-Bilanz erfasst werden. Dies ist eine verfahrensseitige Konvention.

Weiterhin sind sonstige wertschöpfende Tätigkeiten an Logistikimmobilien (Value-Added Services, vgl. Abschnitt 2.1) nicht Teil des Bilanzraums. Sie ergänzen die Grundfunktionen der Logistik lediglich. Durch diese Ausarbeitung soll eine Lösung erarbeitet werden, die sich auf diejenigen Prozesse und Dienstleistungen bezieht, die die Kernfunktion von Logistikimmobilien abbilden. Zudem wird die geplante Gegenüberstellung von Logistikimmobilien anhand von Umweltkennzahlen durch die Integration von Value-Added Services wesentlich schwieriger. Schlussendlich ist also für Tätigkeiten, die z. B. mit der Konfektionierung oder der Bearbeitung von Produkten zusammenhängen, eine andere Berichtskategorie in der unternehmerischen Bilanz zu wählen. Für die Erbringung von Standard-Dienstleistungen, wie sie in dieser Arbeit definiert werden, ist es nebensächlich, ob die Prozesse in Gebäuden oder im Freien stattfinden (Hoflogistik). Der für dieses Verfahren relevante Bilanzraum ist in Abbildung 30 dargestellt.

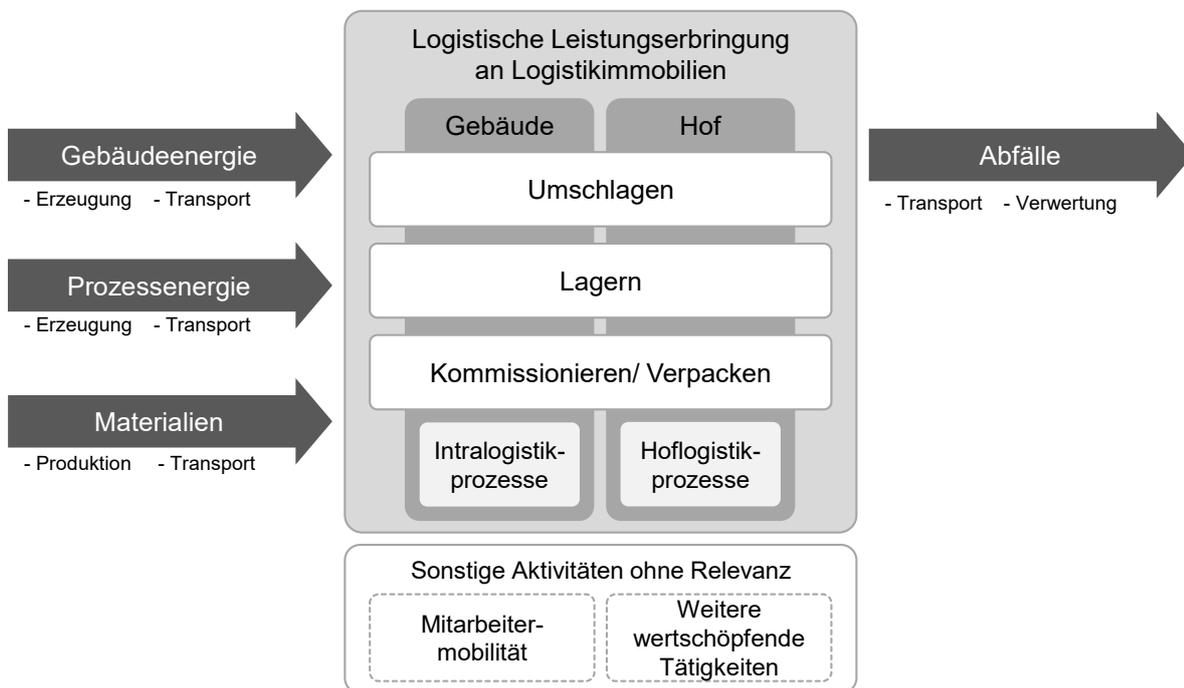


Abbildung 30: Festlegung zum Bilanzraum der logistischen Leistungserbringung an Logistikimmobilien für die weitere Methodenentwicklung

Nähere Ausführungen zu den neun relevanten Berichtspositionen folgen im nächsten Abschnitt unter dem Gesichtspunkt der Anforderungen an die Datenerhebung.³⁷⁶

³⁷⁶ eigene Darstellung

4.5 THG-Bilanzierung der Betriebsphase

In diesem Abschnitt werden allgemeine sowie prozessbezogene Anforderungen an die Datenerhebung und -verknüpfung vorgestellt. Es geht also um einzelne Regeln, Parameter und Formeln, mit denen die THG-Berechnung für Logistikimmobilien entsprechend den neun relevanten Berichtspositionen erfolgen sollte.

4.5.1 Allgemeine Anforderungen

Folgende allgemeine Anforderungen sind bei der Anwendung dieses Verfahrens zu beachten. Sie gelten übergeordnet für alle neun relevanten Berichtspositionen.

Nutzung gemessener Verbrauchswerte

Entsprechend den allgemeingültigen Ausführungen in Abschnitt 2.3 wird die Genauigkeit einer ökologischen Bewertung entscheidend durch die Datenqualität der Verbrauchswerte beeinflusst. Grundsätzlich sind gemessene Verbrauchswerte gegenüber modellierten oder geschätzten Werten bevorzugt zu verwenden. Ausnahmen bilden Aktivitäten ohne entscheidende Relevanz für das Gesamtergebnis. In diesem Fall kann die Verwendung von abgeschätzten Verbrauchswerten zielführend sein, um dem Prinzip der Angemessenheit gerecht zu werden.

Erstellung einer Jahresbilanz

Einzelne Verbrauchswerte unterliegen im Zeitverlauf natürlichen Schwankungen. Ein markantes Beispiel ist der Heizbedarf einer Logistikimmobilie (vgl. Strukturkennzahlen). In der kalten Jahreshälfte fällt dieser i. Allg. höher aus als in der warmen. Für eine aussagekräftige Gegenüberstellung der Umweltwirkungen von Logistikimmobilien sollten Verbrauchswerte daher grundsätzlich ein ganzes Geschäfts- oder Kalenderjahr abbilden. Demgegenüber ist es weniger empfehlenswert, einen unterjährigen Wert zu bestimmen und eine Hochrechnung für ein Jahr vorzunehmen. Im Falle definierter Ziele kann eine Kumulation unterjähriger Verbrauchswerte zur Erfolgskontrolle aber sinnvoll sein. Die weiteren methodischen Spezifikationen gelten sowohl für ganz- als auch unterjährige Bewertungen.

Definition eines Basisjahrs

Mit dem Ziel, Entwicklungen zu beobachten und zu reflektieren, Verbesserungsmaßnahmen zu initiieren und Veränderungen im Zeitverlauf auszuweisen, ist gemäß den Anforderungen des THG-Protokoll Standards bzw. DIN ISO 14064 f. eine Vergleichsbasis zu wählen (das sog. Basisjahr).³⁷⁷ Dieses kann sich an globalen Referenzzeitpunkten orientieren (z. B. 1990, 2005), um globale Zielstellungen für ein Unternehmen zu adaptieren. Allerdings ist die Datenverfügbarkeit bei weit zurückliegenden Jahren i. Allg. eingeschränkt. Meist wird daher bei einer Erstbilanzierung das unmittelbar zurückliegende Jahr als Basisjahr gewählt.

Anwendung des Kontrollprinzips

Gemäß dem THG-Protokoll und der DIN ISO 14064 f. kann bei der Berücksichtigung gemischt genutzter Anlagen und Prozesse zwischen zwei Vorgehensweisen gewählt werden, entweder

³⁷⁷ WRI und WBCSD 2011b, S. 35 und DIN ISO 14064-1, S. 30

dem Kontrollprinzip oder dem Beteiligungsprinzip. Für die THG-Bilanzierung folgen hieraus drei mögliche Szenarien, nämlich: a) eine vollständige, b) eine teilweise und c) keine Berücksichtigung der korrespondierenden THG-Emissionen. Im Rahmen dieses Verfahrens wird eine Empfehlung für die Anwendung des Kontrollprinzips ausgesprochen. Eine teilweise Berücksichtigung der THG-Emissionen gemischt genutzter Anlagen und Prozesse ist damit nicht möglich. Grundsätzlich ist eine Entscheidung zu treffen, wer die Planungs- und Veränderungshoheit besitzt. Dies folgt dem Ansatz, möglichst eindeutige und aussagekräftige Ergebnisse zu generieren, die konkrete Veränderungspotenziale aufzeigen.

Kein reduziertes Bilanzergebnis aufgrund von Kompensationsmaßnahmen

Gemäß Artikel 12 des Kyoto-Protokolls können Projekte zur Treibhausgasreduktion in Entwicklungsländern finanziert und als eigene Reduktion gutgeschrieben werden (engl. Clean Development Mechanism, kurz: CDM), wenn dies a) unter freiwilliger Teilnahme des Entwicklungslands erfolgt, b) dauerhaft eine messbare Verbesserung bewirkt und c) ein zusätzliches Projekt darstellt, welches ohne die spezielle finanzielle Unterstützung nicht zustande gekommen wäre.³⁷⁸

Häufig geht es um größere Programme, die sich z. B. der Aufforstung von Wäldern oder dem Kampf gegen die Abholzung des Regenwalds widmen. Solche CDM-geprüften und -zertifizierten Projekte werden durch ein spezielles Gremium des UNFCCC verwaltet und im Markt von Kompensationsdienstleistern angeboten. Im internationalen Sprachraum sind die Begriffe „Carbon Offsetting“ und „Carbon Offsets“ gebräuchlich.

Nachrangig der Vermeidung und der Reduktion von THG-Emissionen sollte die Kompensation stets der letzte Schritt sein, den Unternehmen in Betracht ziehen können, um z. B. externen Stakeholdern gegenüber zu signalisieren, dass eine besonders große unternehmerische Bereitschaft besteht, dem Klimawandel aktiv entgegenzutreten.

Der ISO/TS 14067 entsprechend wird folgende Regel für diese Methode definiert:³⁷⁹

THG-kompensierende Effekte, die sich auf den CDM und Kompensationsprojekte im engeren Sinne beziehen, dürfen nicht als emissionsmindernd dargestellt werden und somit nicht reduzierend auf das Bilanzergebnis wirken.

Schrittweises und systematisches Vorgehen

Wie zuvor dargestellt wurde, sind, gemäß den Anforderungen der DIN ISO/TR 14069, neun verschiedene Berichtspositionen zu beachten. Es empfiehlt sich ein schrittweises Vorgehen, welches sich an der definierten Struktur orientiert und bei dem je Berichtsposition ein adäquater CO₂e-Wert gemäß den aufgeführten Bewertungsprinzipien ermittelt wird. Dabei können einzelne Berichtspositionen auch den Wert null annehmen. Ein Beispiel stellen die direkten Emissionen flüchtiger Gase dar, die i. Allg. nur in Zusammenhang mit Kälteanlagen auftreten. Schlussendlich setzen sich die Gesamtemissionen einer Logistikimmobilie dann aus der Summe der einzelnen CO₂e-Emissionen je Berichtsposition zusammen (vgl. Formel 4).

³⁷⁸ UNFCCC 1997, S. 11–12

³⁷⁹ ISO/TS 14067, S. 27

Formel 4: THG-Gesamtemissionen einer Logistikkimmobilie

$$Emissionen_{gesamt} [kg CO_2e] = \sum_{i=1}^9 Emissionen_i [kg CO_2e]$$

mit $i = 1, \dots, 9$ *Berichtspositionen*

Die Basisstruktur zur Berechnung von THG-Emissionen auf Ebene einzelner Emissionsquellen besteht aus den drei Elementen Verbrauchswert, Emissionsfaktor und IPCC-Charakterisierungsfaktor (vgl. Unterabschnitt 2.3.4). Die Charakterisierungsfaktoren (vgl. Tabelle 8) können einmalig für alle Berichtskategorien festgelegt werden. Dies erfolgt mit Referenz auf ein IPCC-Jahr (z. B. 2013). Im Falle, dass Emissionsfaktoren bereits um Charakterisierungsfaktoren gewichtet sind, reduziert sich die Grundstruktur der Berechnung auf die Multiplikation von Verbrauchswert und Emissionsfaktor. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn ein Emissionsfaktor die Treibhausgaswirkungen bereits in der Äquivalentgröße CO₂e-Emissionen abbildet.

Grundsätzlich sollte das Hauptaugenmerk auf die adäquate Bestimmung von Verbrauchswert und Emissionsfaktor gelegt werden. Denn hierüber definiert sich die Qualität der ökologischen Bewertung wesentlich, wie die weiteren Ausführungen in Abschnitt 4.6 verdeutlichen.

Für eine relevante Berichtsposition können THG-Emissionen dann mithilfe der folgenden Formel ermittelt werden (vgl. Formel 5). Je Emissionsquelle n ist zunächst ein spezifischer THG-Wert zu ermitteln, der die relevanten Treibhausgase m abbildet. Anschließend erfolgt die Summenbildung für die relevanten Emissionsquellen n der betrachteten Berichtsposition i .

Formel 5: THG-Emissionen einer Berichtsposition

$$Emissionen_i [kg CO_2e] = \sum_{q=1}^n \sum_{t=1}^m (Verbrauchswert_q \times Emissionsfaktor_{q,t} \times Charakterisierungsfaktor_t) [kg CO_2e]$$

mit $q = 1, \dots, n$ *Emissionsquellen je Berichtsposition*

$t = 1, \dots, m$ *relevante Treibhausgase je Emissionsquelle q*

Dieser Zusammenhang soll anhand eines kleinen Beispiels zur Position 2 „Direkte Emissionen mobiler Energiewandlung“ veranschaulicht werden. Innerhalb dieser Berichtsposition können unterschiedliche Emissionsquellen relevant sein. Dies ist der Fall, wenn z. B. Gabelstapler mit Gas- und Dieselantrieb eingesetzt werden. In diesem Fall liegen $n = 2$ Emissionsquellen vor. Da bei der Verbrennung von Gas und Diesel jeweils die Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O relevant sind³⁸⁰, gilt in beiden Fällen $m = 3$.

4.5.2 Messgrößen und spezifische Anforderungen

Grundsätzlich gilt es, je Berichtsposition prozessspezifische Besonderheiten und Anforderungen zu beachten. Dieser Abschnitt widmet sich dieser Thematik mittels Beispielen und typischen Problemlagen. Aufgrund der Vielzahl an möglichen technischen Elementen und Messgrößen, über die sich die relevanten Emissionsquellen an Logistikkimmobilien definieren, können die folgenden Ausführungen nicht dem Vollständigkeitsanspruch gerecht werden. Vielmehr sollen sie eine Orientierung geben und die grundsätzliche Herangehensweise verdeutlichen.

³⁸⁰ Borken et al. 1999, S. 52

Messgrößen

Die typischen Messgrößen zur Verfahrensanwendung sind:

- der Heizenergiebedarf (z. B. Heizöl- oder Gasverbrauch),
- der Stromverbrauch,
- die eingekauften Mengen an Kraftstoffen (z. B. Diesel oder Wasserstoff),
- die verwendeten Einweg-Ladungsträger (z. B. Paletten),
- die eingekauften Verpackungsmaterialien (z. B. Sicherungsmittel),
- ggf. die im Rahmen von Wartungsprozessen nachgefüllten Kältemittelmengen und
- die entstandenen Abfallmengen.

Für die Berechnung der THG-Emissionen durch Materialanlieferungen sind die jeweiligen Produktionsorte zu bestimmen. Für die entstandenen Abfallmengen sind die Entsorgungs- und Verwertungswege zu spezifizieren.

Position 1: Direkte Emissionen stationärer Energiewandlung

Direkte THG-Emissionen der stationären Energiewandlung entstehen durch die Verbrennung von Kraft- bzw. Brennstoffen in technischen Anlagen einer betrachteten Immobilie. Dies können z. B. Heizkessel bzw. Boiler, Gasturbinen oder Heizstrahler sein, um Raumwärme, mechanische Arbeit oder Prozesswärme bzw. Dampf zu erzeugen.³⁸¹ Es geht also typischerweise um Erdgas, Heizöl oder Holz (Pellets), die durch externe Energieversorger bereitgestellt werden.

Verbrauchswerte der Position 1 können aufwandsarm erhoben werden, indem Zählerstände und Rechnungen ausgewertet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Zeitperiode einer Ablesung bzw. Abrechnung den Anforderungen der Bewertung entspricht und das Bilanzjahr vollständig abdeckt. In Abrechnungen wird i. Allg. Bezug auf die gelieferten Brennstoffmengen als Masse (z. B. kg) bzw. Normkubikmeter Volumen (z. B. m³) genommen. Eine andere Möglichkeit ist die Angabe der gelieferten Energiemenge (z. B. kWh Brennwert). Falls eine Versorgung der Immobilie mit Energieträgern (z. B. Gas) mittels Rohrleitung erfolgt, stellt die gelieferte Energiemenge i. Allg. die Messgröße des jeweiligen Hauptzählers dar.

Für die THG-Emissionsberechnung ist der Heizwert keine relevante Größe. Der Heizwert kann aber für weitergehende Interpretationen hilfreich sein, um einen Vergleich verschiedener Energieträger und Heizsysteme vorzunehmen.

Bei der Ermittlung adäquater Emissionsfaktoren ist zunächst darauf zu achten, dass die Bezugsgröße mit der Messgröße des Verbrauchswerts übereinstimmt. Andernfalls ist eine Umrechnung erforderlich (z. B. mittels Energiedichte). Des Weiteren sollte auf eine hohe räumliche, zeitliche und technologische Geltungskraft geachtet werden. Kraft- bzw. Brennstoffzusammensetzungen variieren je nach Betrachtungsraum, so dass bei gleicher Technologie unterschiedliche Mengen THG-Emissionen in Verbrennungsanlagen entstehen können. Inhaltlich sollte der Emissionsfaktor ausschließlich die direkten THG-Emissionen abbilden. Indirekte, vorgelagerte THG-Emissionen der stationären Energiewandlung werden, gemäß DIN ISO/TR 14069, in der Kategorie 8 dokumentiert (diese Abhandlung: Position 6)³⁸².

³⁸¹ DIN ISO/TR 14069, S. 21

³⁸² Im Weiteren werden aus Vereinfachungsgründen lediglich die relevanten Positionen genannt.

Position 2: Direkte Emissionen mobiler Energiewandlung

Direkte THG-Emissionen der mobilen Energiewandlung entstehen durch die Verbrennung von Kraftstoffen in Fahrzeugen. Im Kontext des Bilanzraums der Logistikimmobilie geht es also um diejenigen Fahrzeuge, die schwerpunktmäßig auf dem Grundstück der Logistikimmobilie eingesetzt werden und ohne die eine Verwirklichung der logistischen Transformationsprozesse nicht möglich wäre. Stapler, Schlepper oder Umsetzer, die mit Benzin, Diesel oder Erdgas betrieben werden, sind also typische Beispiele für Elemente dieser Position. Die korrekte Abgrenzung der relevanten Fahrzeuge bzw. Fahrleistungen kann vergleichsweise komplex sein. Dies sollen die zwei Beispiele veranschaulichen, die in Abbildung 31 skizziert sind.

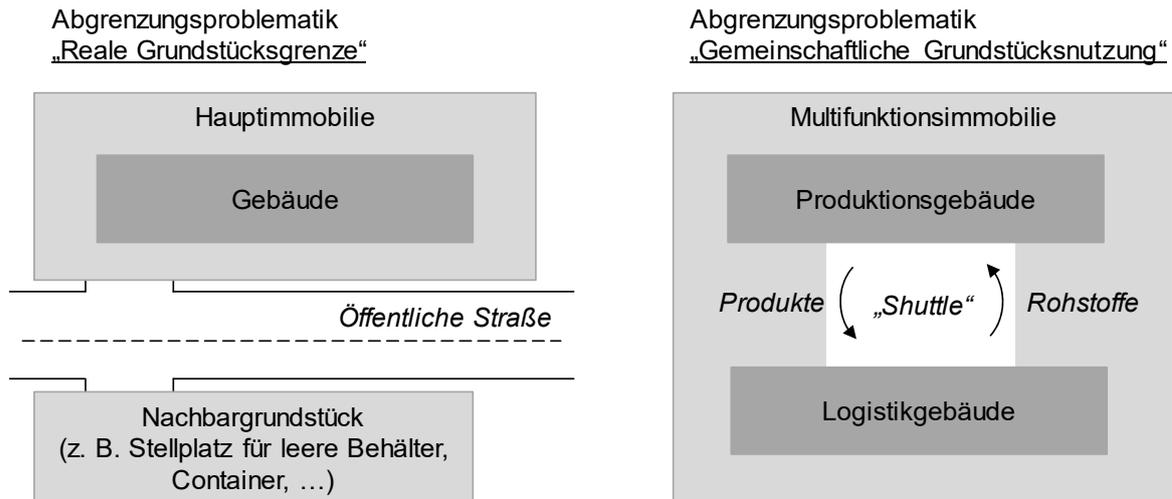


Abbildung 31: Problemlagen bei der korrekten Abgrenzung relevanter Transportaktivitäten³⁸⁵

Prinzipiell stellt die Grundstücksgrenze einer Logistikimmobilie die grundlegende Bilanzgrenze der Betrachtung dar. Allerdings kann es in der Realität der ökologischen Bewertung zu einer „weicheren“ Anwendung des Begriffsverständnisses kommen. Sinnvoll ist dies insbesondere dann, wenn die logistischen Aktivitäten auf benachbarten Grundstücken stattfinden, die mit öffentlichen Verkehrsflächen verbunden sind, und somit eine Einzelbetrachtung vor dem Hintergrund der durch einen Standort angebotenen Dienstleistungen nicht zielführend ist. Ein typisches Beispiel stellen leere Behälter oder Container dar, die z. B. in Hafen- bzw. Terminalanlagen getrennt von den eigentlichen Umschlagflächen bereitgehalten werden. Fahrzeuge, die zwischen den Grundstücken verkehren und Transporte durchführen, sollten in der ökologischen Bewertung berücksichtigt werden. Nicht entscheidend ist die Tatsache, dass die eigentliche Grundstücksgrenze vorübergehend verlassen wird.

Ein weiteres Abgrenzungsproblem betrifft die gemeinschaftliche Nutzung einer Immobilie für Produktions- und Logistikaktivitäten. In diesem Falle kann es zutreffend sein, dass ein Fahrzeug sogenannte Shuttle-Verkehre ausführt und sowohl für den Produktions- als auch für den Logistikbereich einen Nutzen erbringt. Gemäß den allgemein formulierten Anforderungen sollte in diesem Fall das Kontrollprinzip angewendet werden.

Grundsätzlich sollten in Position 2 nur diejenigen Transportaktivitäten berücksichtigt werden, die schwerpunktmäßig auf dem Grundstück der betrachteten Logistikimmobilie stattfinden.

³⁸⁵ eigene Darstellung

Nahverkehre bzw. Shuttleverkehre zwischen zwei eigenständigen Logistikimmobilien sind daher dem Bereich „Transport“ zuzuordnen (vgl. Abschnitt 4.4).

In Analogie zu den Ausführungen zu Position 1 können Verbrauchswerte aus buchhalterischen Aufzeichnungen des betreffenden Unternehmens entnommen werden (z. B. Tankrechnungen). Im Idealfall können Kraftstoffverbräuche auch explizit einzelnen Fahrzeugen zugeordnet werden. Dies ist förderlich, um zu einer detaillierteren Reflexion und Interpretation von Entwicklungen und Einsparpotenzialen zu gelangen. Für eine korrekte THG-Bewertung wäre es allerdings ausreichend, die Gesamtverbrauchsmenge je Kraftstoffart zu kennen (z. B. Liter Diesel). Über die Kraftstoffart und -zusammensetzung definiert sich der anzusetzende Emissionsfaktor.

Bei der Ermittlung von Verbrauchswerten für einzelne Fahrzeuge ist darauf zu achten, dass die Verbrauchswerte sowohl Antriebs- als auch Nebenaggregate umfassen. Ein Beispiel stellen Fahrzeuge dar, die mit externen, dieselbetriebenen Kühlaggregaten den Laderaum temperieren.

In Bezug auf die Ermittlung adäquater Emissionsfaktoren gelten auch in diesem Fall die bereits genannten Anforderungen an die Bezugsgröße und die räumliche, zeitliche und technologische Geltungskraft. In Bezug auf THG-Emissionen verschiedener Kraftstoffe bietet die DIN EN 16258 eine umfassende Auflistung aktueller Emissionsfaktoren. Außerdem ist darauf zu achten, dass der Emissionsfaktor ausschließlich die direkten THG-Emissionen abbildet (DIN EN 16258, TTW-Emissionen). Indirekte, vorgelagerte THG-Emissionen der mobilen Energiewandlung werden, gemäß DIN ISO/TR 14069, in der Position 6 dokumentiert (DIN EN 16258, WTT-Emissionen).³⁸⁴

Position 3: Direkte Emissionen flüchtiger Gase/ Flüssigkeiten

Direkte THG-Emissionen flüchtiger Betriebsstoffe erfolgen ungewollt und unkontrolliert. Sie entstehen aufgrund von Leckagen in technischen Anlagen. Flüchtig hebt dabei die Eigenschaft hervor, dass Gase/ Flüssigkeiten bei niedrigen Temperaturen (z. B. Raumtemperatur) relativ schnell verdampfen und in die Atmosphäre entweichen. Im Kontext von Logistikimmobilien geht es z. B. um Kälteanlagen. Eine andere Ursache können Verbrennungskraftmaschinen sein, die mit Methan betrieben werden. Bei der Speicherung und Zuführung von Methan kann es vorkommen, dass kleinere Mengen des klimaschädlichen Gases direkt entweichen (Leckage). Ist der Verbrennungsprozess unvollständig, kann Methan auch abgasseitig entweichen (Methanschlupf).

Hinsichtlich der Kältetechnik lassen sich gemäß Peilnsteiner zwei unterschiedliche Anlagentypen unterscheiden, nämlich Frigen-Anlagen, die mit chemisch hergestellten, chlorfreien Kältemitteln bzw. Kältemittelgemischen (z. B. R134A, R404A, R407C, R410A, R507A) betrieben werden³⁸⁵, und NH₃-Anlagen, in denen die Grundchemikalie Ammoniak (NH₃, R717) eingesetzt wird. Gemäß einer Erhebung des Verbands Deutscher Kühllhäuser und Kühllogistikunternehmen VDKL aus dem Jahr 2013 wird bei rund 82 % der Kühl- und Tiefkühlhäuser in Deutschland Ammoniak als Kältemittel eingesetzt. Die restlichen 18 % sind Frigen-Anlagen zuzuordnen, die mit diversen Kältemitteln betrieben werden. Hierbei hat

³⁸⁴ DIN ISO/TR 14069, S. 24

³⁸⁵ Peilnsteiner 2002, S. 76

R404A eine relative Bedeutung mit rund 6 %.³⁸⁶ Da Frigene ein hohes Maß an direktem Treibhauspotenzial besitzen (vgl. Unterabschnitt 2.3.2), sind Leckagen besonders belastend für den Klimawandel. Demgegenüber sind NH₃-Anlagen umweltverträglicher, weil Ammoniak kein direktes Treibhauspotenzial hat. Sie sind allerdings nicht universell einsetzbar, da Ammoniak unter bestimmten Bedingungen brennbar ist und somit Sicherheitsaspekte gegen NH₃-Anlagen sprechen können.³⁸⁷

Um gemäß den Anforderungen von DIN ISO/TR 14069 THG-Emissionen dieser Position zu berechnen, ist es erforderlich, zu prüfen, ob im Rahmen von Wartungs- oder Instandhaltungstätigkeiten Kältemittel nachgefüllt werden. Die Nachfüllmenge entspricht dann der durch Leckagen verlorenen Menge. Als Erfahrungs- und Referenzwerte gibt Peilnsteiner folgende typische Verlustwerte an:³⁸⁸

- Frigen-Anlagen: 8–15 % Verlust pro Jahr
- NH₃-Anlagen: 1–3 % Verlust pro Jahr

Für Kältemittel veröffentlicht das IPCC regelmäßig Emissions-/ Charakterisierungsfaktoren, mit denen sich die Treibhauswirkung verschiedener flüchtiger Gase in CO₂-Äquivalente umrechnen lässt (vgl. Abschnitt 2.3.2). Es empfiehlt sich eine Verwendung dieser Werte.

Position 4: Kraftwerkprozesse für Elektrizität

Indirekte THG-Emissionen werden durch den Strombedarf einer Logistikimmobilie hervorgerufen (vgl. Abschnitt 2.3). Die Bezugsmenge kann aus Abrechnungen des Energieversorgers entnommen werden. Alternativ bietet sich das Ablesen von Zählerständen der relevanten Stromzähler an. Für den Fall, dass an einem Standort Strom mit regenerativen Anlagen hergestellt wird (z. B. Photovoltaik), wirkt sich dies emissionsmindernd aus, wenn hierdurch die eingekaufte Strommenge reduziert wird. Erfolgt allerdings eine Einspeisung des am Standort gewonnenen Stroms ins öffentliche Netz, können die spezifischen Umweltvorteile der regenerativen Stromgewinnung nicht angerechnet werden. Die Umweltvorteile werden an das öffentliche Stromnetz weitergegeben und in diesem Kontext zur Berechnung von durchschnittlichen Emissionsfaktoren genutzt.

Gemäß den vorangestellten Ausführungen zum Thema adäquater Emissionsfaktoren für Strom, gibt es in der Wissenschaft und der unternehmerischen Praxis unterschiedliche Ansätze zur Berücksichtigung strombedingter THG-Emissionen. In dieser Ausarbeitung wird dem in der THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie formulierten Ansatz gefolgt (vgl. Unterabschnitt 2.3.4): Sofern Strom nachweislich – z. B. durch ein anerkanntes Ökostrom-Zertifikat – aus regenerativen Quellen stammt und der Energieproduzent bzw. -versorger übergeordnete politische Ziele des Ausbaus erneuerbarer Energien mit konkreten Projekten zusätzlich zum EEG unterstützt, sollte der Emissionsfaktor sich auf die Lebenszyklus-Emissionen des betreffenden Stromprodukts „Ökostrom“ beziehen. Andernfalls ist der Residual-Mix oder ein landes- bzw. netzbezogener Emissionsfaktor (nach Marktprinzip) besser geeignet, um Unsicherheiten bei der ökologischen Bewertung zu vermeiden.

³⁸⁶ VDKL 2013, S. 12

³⁸⁷ Peilnsteiner 2002, S. 78–79

³⁸⁸ Peilnsteiner 2002, S. 77

DIN ISO/TR 14069 stellt folgende zentrale Anforderungen an den Emissionsfaktor:³⁸⁹ Die Berichtskategorie bzw. -position soll nur diejenigen THG-Emissionen abdecken, die unmittelbar durch den Kraftwerksbetrieb beim Energieproduzenten entstehen. Explizit ausgeschlossen sind z. B. der Energiewandlung beim Kraftwerk vorgelagerte Prozesse (z. B. Gewinnung und Belieferung mit Brennstoffen). THG-Emissionen, die mit diesen Prozessen assoziiert sind, sind nach dem Verständnis von DIN ISO/TR 14069 in der Position 6 zu bewerten. Dies entspricht auch dem Verständnis der Scope-2-Richtlinie (vgl. Abbildung 9).

Position 5: Kraftwerkprozesse für leitungsgebundene Energien

Indirekte THG-Emissionen durch den Bezug von Dampf, Fernwärme, Kälte oder Druckluft aus externen Quellen sind in dieser Position darzustellen. Zu bewerten sind die unmittelbaren Energieverbräuche zur Erzeugung leitungsgebundener Energien. Wie aus Position 4 bekannt sind vorgelagerte Energieprozesse für Kraft- und Brennstoffe, gemäß der DIN-ISO/TR-14069-Systematik, in Position 6 zu bewerten. Diese Zuordnung ist explizit auch dann vorzunehmen, wenn leitungsgebundene Energie elektrisch gewonnen wird (z. B. Druckluft). In diesem Fall sind die kraftwerksbezogenen THG-Emissionen in dieser Position abzubilden und vorgelagerte THG-Emissionen aus den Erzeugungs- und Bereitstellungspfaden für Kraft- bzw. Brennstoffe in Position 6. Gleiches trifft auf THG-Emissionen zu, die mit Wandlungs- und Transportverlusten des Versorgungsnetzes zusammenhängen.³⁹⁰

Bei der Bestimmung adäquater Verbrauchswerte bieten sich zwei Vorgehensweisen an: einerseits die Nutzung von Angaben aus Rechnungspositionen und andererseits die Nutzung von Informationen aus durchflussmessenden Verbrauchszählern und einer Abschätzung zu den Energieverlusten, die zwischen der erzeugenden und der nachfragenden Stelle unmittelbar auftreten. Der Verbrauchswert sollte sich auf Endenergie beziehen. Wird stattdessen produzierte Sekundärenergie verwendet, ist eine Korrektur vorzunehmen.³⁹¹ Bei gemeinschaftlicher Nutzung einer Immobilie für Produktions- und Logistiktätigkeiten kann es zu einer Abgrenzungsproblematik kommen. Typischerweise liegen bei leitungsgebundenen Energien keine Einzelinformationen zu den Bedarfen einzelner Räume oder Prozesse vor. In diesem Falle ist es üblich, eine Abschätzung über Leistungswerte von Zwischenaggregaten (z. B. Verdampfer) oder über raumbezogene Informationen (z. B. Größe in m^3/m^2) vorzunehmen.

Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass die Emissionsfaktoren die verschiedenen Energieformen und Herstellungspfade korrekt abbilden. Ebenfalls gelten die genannten Anforderungen an die Bezugsgröße und die räumliche, zeitliche und technologische Geltungskraft. Wenn möglich sollte ein Emissionsfaktor des betreffenden Energieproduzenten gewählt werden. Andernfalls stellt die Nutzung eines landesbezogenen Durchschnittsfaktors eine adäquate Alternative dar.³⁹²

Position 6: Sonstige Energieprozesse für Kraftstoffe/ Brennstoffe

Indirekte THG-Emissionen, die mit der Förderung, Veredelung und Bereitstellung von Kraft- bzw. Brennstoffen zusammenhängen, stellen, gemäß DIN ISO/TR 14069, eine eigene Berichts-

³⁸⁹ DIN ISO/TR 14069, S. 30

³⁹⁰ DIN ISO/TR 14069, S. 32

³⁹¹ DIN ISO/TR 14069, S. 33

³⁹² DIN ISO/TR 14069, S. 33

kategorie dar. Zu beachten sind dabei die Positionen 1 und 2 aus dem Verantwortungsbereich »Scope 1« und die Positionen 4 und 5 aus dem Bereich »Scope 2«. Nicht relevant sind allerdings Elemente aus dem Verantwortungsbereich »Scope 3«, wie die weiteren Ausführungen zu den Positionen 7, 8 und 9 darlegen. Des Weiteren sind in dieser Position die energetischen Verluste durch Wandlung und Transport von Strom in Stromnetzen zu berücksichtigen (vgl. Position 4 und 5). Nach DIN ISO/TR 14069 sind also folgende sechs Berichtszeilen für Position 6 relevant:

- Indirekte THG-Emissionen der Kraftstoffvorketten aus Position 1,
- Indirekte THG-Emissionen der Kraftstoffvorketten aus Position 2,
- Indirekte THG-Emissionen der Kraftstoffvorketten aus Position 4,
- Indirekte THG-Emissionen der Kraftstoffvorketten aus Position 5,
- Indirekte THG-Emissionen durch die energetischen Verluste aus Position 4,
- Indirekte THG-Emissionen durch die energetischen Verluste aus Position 5.

Wird im Rahmen der ökologischen Bewertung einer schrittweisen Vorgehensweise gefolgt, liegen die relevanten Verbrauchswerte an dieser Stelle bereits vor. Sie wurden in den jeweiligen Positionen erhoben, auf die sich die Energieprozesse beziehen. Geht es um die Darstellung von Kraft- und Brennstoffvorketten für die Gewinnung von Elektrizität, kann es zusätzlich erforderlich sein, die jeweiligen Anteile fossiler Brennstoffe (z. B. Braunkohle, Steinkohle) zu ermitteln.

Die Verwendung von durchschnittlichen Emissionsfaktoren aus Lebenszyklusbetrachtungen (z. B. Braunkohle aus Deutschland) ist anerkannt und allgemein üblich. Dabei muss die Betrachtung, gemäß DIN ISO/TR 14069, sämtliche Prozesse abdecken, die von der „Wäge“ bis zum „Werkstor“ des Unternehmens erfolgen.³⁹³ Emissionsfaktoren aus anerkannten Datenquellen erfüllen diese Anforderung i. Allg. mittels Durchschnittswerten (z. B. Transportdistanz zwischen Raffinerie und Tankstelle). Die Genauigkeit und Validität dieses Ansatzes kann kritisiert werden. Dies trifft allgemein auf die Verwendung von Durchschnittswerten zu. Da die Relevanz der Position 6 im Kontext der Gesamtbilanz i. Allg. gering ist, kann dem Prinzip der Angemessenheit folgend eine gewisse Unsicherheit akzeptiert werden. Zur Berechnung der THG-Emissionen sollte aber darauf geachtet werden, die Kraftstoffzusammensetzung und Herkunftspfade näher zu bestimmen. Die Relevanz der Thematik wurde in Unterabschnitt 2.3.4 beispielhaft verdeutlicht. So sind bei Dieselkraftstoff mit Biodieselanteilen die THG-Emissionen zwar insgesamt niedriger gegenüber reinem Dieselkraftstoff, allerdings sind relativ und absolut betrachtet die spezifischen Emissionen der Vorkette höher (vgl. Tabelle 11).

Indirekte THG-Emissionen durch Wandlungs- und Transportverluste im deutschen Stromnetz können mit einem Wert von 4,5 % angenommen werden (vgl. Unterabschnitt 2.3.4). Wird eine Logistikimmobilie mit Mittelspannung statt Niederspannung versorgt, können die Wandlungsverluste etwas niedriger als angegeben angenommen werden. Ein signifikanter Einfluss auf das Gesamtergebnis ist aber nicht zu erwarten. Für Nah- und Fernwärme kann ein Wert von 14 % für den Transportverlust angenommen werden.³⁹⁴

³⁹³ DIN ISO/TR 14069, S. 34

³⁹⁴ UBA 2008, S. 14

Die Positionen 1 bis 6 beziehen sich ausschließlich auf den Energiebedarf einer Logistikimmobilie. Durch die folgenden Positionen 7 bis 9 wird der Fokus nun auf die Materialbedarfe und die entstehenden Abfälle erweitert.

Position 7: Erworbene Produkte und Materialien

Indirekte, vorgelagerte THG-Emissionen entstehen bei Logistikimmobilien im Zusammenhang mit dem Bezug von Materialien, insbesondere von Transportverpackungen (vgl. Ausführungen zu relevanten Materialien in Abschnitt o). Entsprechend dem Verständnis einer Lebenszyklusbetrachtung geht es im Kern um THG-Emissionen, die mit der Herstellung von Produkten und Zwischenprodukten und weiteren vorgelagerten Prozessen einhergehen. Bezieht ein Unternehmen z. B. Kunststofffolie von einem Großhändler, ist z. B. darauf zu achten, dass die vorgelagerten Prozesse der Folienproduktion und Kunststoffgranulatherstellung sowie alle dazwischenliegenden Transporte abgebildet sind.

Aus Gründen der Angemessenheit ist an dieser Stelle die Verwendung von durchschnittlichen Emissionsfaktoren aus Lebenszyklusbetrachtungen anerkannt und allgemein üblich. In DIN ISO/TR 14069 wird aber darauf verwiesen, dass im Idealfall der Produzent bzw. Lieferant selbst eine Ökobilanz-Untersuchung, gemäß ISO/TS 14067, durchgeführt hat. Im Unterschied zur Verwendung von Durchschnittswerten aus Ökobilanz-Datenbanken kann so das Maß der Unsicherheit bei der ökologischen Bewertung deutlich verringert werden. Um Doppelzählungen³⁹⁵ zu vermeiden, wird die „Cradle-to-gate“-Anforderung der DIN ISO/TR 14069 wie folgt näher spezifiziert:³⁹⁶

- Position 7: Fertigproduktbezogene Ökobilanz-Betrachtung bis zum Werkstor des Produzenten bzw. Großhändlers
- Position 8: Transporte zwischen Produzent bzw. Großhändler und dem betreffenden Ort der Nachfrage (Logistikimmobilie)

Der Materialbedarf einer Logistikimmobilie wird i. Allg. in Bezug auf das Gewicht einzelner Produkte ermittelt. Gelegentlich kommen auch volumen- oder stückzahlbezogene Kennzahlen zur Anwendung. Dabei ist es üblich, Einkaufsmengen eines Jahres zu erfassen. Diese können relativ einfach aus Rechnungspositionen ermittelt werden. Aufgrund möglicher Materialbestände spiegeln die Einkaufsmengen nicht exakt die Verbrauchsmengen eines Jahres wider. In einer längerfristigen Betrachtung wird dieser Einfluss jedoch marginal, da sich Einkaufsmengen und Bestände tendenziell an dem tatsächlichen Verbrauch orientieren.

Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass die Emissionsfaktoren die verschiedenen Materialien und Herstellungspfade der Produkte korrekt abbilden. Es gelten die bereits genannten Anforderungen an die Bezugsgröße und die räumliche, zeitliche und technologische Geltungskraft.

Position 8: Externe Transportdienstleistungen

Indirekte, vorgelagerte THG-Emissionen, die im Zusammenhang mit der Durchführung von Transporten durch externe Transportdienstleister stehen, können für die THG-Bilanzierung von Logistikimmobilien relevant sein. Entsprechend den Ausführungen zu Position 7 kann dies

³⁹⁵ DIN ISO/TR 14069, S. 11 (engl. „double counting“)

³⁹⁶ DIN ISO/TR 14069, S. 18 (insb. „Figure 3: double counting issues between categories“)

in Bezug auf die Versorgung einer Logistikimmobilie mit Verbrauchsmaterialien zutreffend sein. Ebenso ist es vorstellbar, dass Transport- und Förderprozesse auf dem Hof durch Fahrzeuge erbracht werden, die im engeren Sinne keine eigenen Betriebsmittel des zu bilanzierenden Unternehmens sind. Führen externe Transportdienstleister diese Tätigkeiten durch, kommt das Kontrollprinzip zur Anwendung. Eine Bilanzierung ist aufgrund der Planungs- und Entscheidungsmacht des beauftragenden Unternehmens erforderlich.

Die Berichtsanforderung für Position 8 betrifft dabei sowohl Kraftstoffverbräuche von Haupt- und Nebenantrieben als auch Direktmissionen durch entweichende Kühlmittel.³⁹⁷ Aus methodischer Sicht gibt es also Unterschiede in der Art der Bewertung von Scope-1-Transportprozessen gegenüber Scope-3-Transportprozessen. Bei Ersteren wird eine möglichst differenzierte Ausweisung angestrebt. Bei Letzteren werden unterschiedliche Emissionsquellen aggregiert betrachtet. Grundsätzlich sollten gemessene Verbrauchswerte gegenüber modellierten Verbrauchswerten bevorzugt werden. Bei Transporten, die durch externe Transportdienstleister für ein Unternehmen erbracht werden, kann es allerdings schwierig sein, Verbrauchsinformationen zu erhalten. Für das frachtführende Unternehmen ist der Kraftstoffverbrauch ein wesentlicher Faktor der Preisgestaltung. Folglich findet zwischen Auftraggeber und Transporteur i. Allg. auch kein Austausch über Kraftstoffverbräuche statt. In Industrie und Wissenschaft ist es üblich, modellierte Verbrauchswerte bei THG-Bilanzierung von Scope-3-Transporten zu nutzen, die auf Angaben basieren, die für den Auftraggeber offensichtlich bzw. verfügbar sind (z. B. Transportdistanz, Transportmenge, Fahrzeuggröße, Anzahl Fahrten, Komplett- bzw. Teilladung). Weitere Ausführungen hierzu können Unterabschnitt 2.3.4 entnommen werden.

In Bezug auf die Ermittlung adäquater Emissionsfaktoren gelten die in Position 2 formulierten Anforderungen. Auf eine hohe räumliche, zeitliche und technologische Geltungskraft ist allgemein zu achten. Gegenwärtig bietet die DIN EN 16258 eine umfassende Auflistung aktueller und adäquater Emissionsfaktoren.

Position 9: Beseitigung und Verwertung von Abfällen

Indirekte THG-Emissionen entstehen an Logistikimmobilien aufgrund der Notwendigkeit zur Beseitigung und Verwertung von Abfällen. Sie gelten, gemäß DIN ISO/TR 14069, als vorgelagert, da sie mit Prozessen verbunden sind, die der eigentlichen Produktnutzung vorgelagert sind. Im Kontext der logistischen Leistungserbringung sind insbesondere Verpackungsabfälle relevant.

Gewichts- oder volumenbezogene Angaben zu Abfallmengen können aus Rechnungspositionen ermittelt werden. Für den Fall, dass Entsorgungsdienstleister in wiederkehrenden Zyklen Abfälle sammeln, dies in Rechnung stellen und die tatsächliche Höhe der angefallenen Abfälle nicht bekannt ist, stellt die Schätzung der Abfallmengen einen alternativen Lösungsweg dar. In diesem Fall sollten der typische Füllungsgrad von Abfallcontainern und das typische spezifische Gewicht einzelner Abfallfraktionen ermittelt werden. Eine andere Möglichkeit stellt die Verwendung von Umrechnungsfaktoren aus statistischen Datenbanken dar. Falls Abfälle durch Pressen verdichtet werden, sollte dies bei den Schätzungen berücksichtigt werden.

³⁹⁷ DIN ISO/TR 14069, S. 43

Neben der Mengenerfassung ist es, gemäß DIN ISO/TR 14069, auch relevant, den Beseitigungs- bzw. Verwertungspfad näher zu beschreiben.³⁹⁸ Dies kann entweder auf Basis von spezifischen Angaben des Entsorgungsdienstleisters oder auf Basis von statistischen Informationen des betreffenden Landes erfolgen. Ersteres führt dabei zu einer Verringerung der Unsicherheit der ökologischen Bewertung. Letzteres entspricht dem typischen Vorgehen in Wissenschaft und Praxis, aufgrund der i. Allg. geringen THG-Emissionen, die mit Position 9 verbunden sind.

Hinsichtlich der Ermittlung adäquater Emissionsfaktoren definiert DIN ISO/TR 14069 die Anforderung, dass die Beseitigungs- bzw. Verwertungsprozesse zwingend zu bewerten sind. Darüber hinaus können Unternehmen auch Prozesse der Abfallsammlung betrachten. Dies ist jedoch nach DIN ISO/TR 14069 als optional eingestuft und sollte im Kontext dieses Verfahrens aus Vereinfachungsgründen vernachlässigt werden.³⁹⁹ Als Datenquelle für Emissionsfaktoren bieten sich Datenbanken- und Softwarelösungen der ökologischen Bewertung an (z. B. ecoinvent). Auf eine hohe räumliche, zeitliche und technologische Geltungskraft sollte geachtet werden.

4.6 Quantifizierung der Bewertungsunsicherheit mit der Pedigree-Matrix

Die Qualität der THG-Bewertung kann durch das Mittel der Bewertungsunsicherheit bestimmt werden. Anwender der Methode sollten bestrebt sein, die Unsicherheit niedrig zu halten. Dies gelingt z. B. durch die Verwendung aktueller und differenzierter Emissionsfaktoren sowie durch die Nutzung von realen Verbrauchsdaten.

Für den Fall, dass statistische Angaben zu einem Verbrauchswert oder Emissionsfaktor fehlen, kann im Rahmen der ökologischen Bewertung behelfsweise auf ein halbquantitatives Verfahren zurückgegriffen werden, das auf der Pedigree-Matrix nach Weidema und auf weiteren sogenannten Basisvarianzen beruht.

Basisvarianzen bewerten u. a. den grundlegenden Zusammenhang zwischen Emissionsfaktor und Verbrauchs- bzw. Aktivitätskennzahlen (vgl. Unterabschnitt 2.3.4). Im Falle eines kausalen Zusammenhangs ist die Unsicherheit allgemein niedriger zu bewerten als im Falle eines definitorischen Zusammenhangs. Auch wird grundsätzlich ein Minimalfehler für jeden Verbrauchswert angenommen.

Für die vorliegende Ausarbeitung sind folgende Basisvarianzen relevant (vgl. „Leitfaden zur Datenqualität“ der Ecoinvent-Datenbank Version 3):⁴⁰⁰

- Varianz σ_{basis}^2 des Emissionsfaktors für CO₂-Emissionen: 0,0006
- Varianz σ_{basis}^2 der Emissionsfaktoren für sonstige THG-Emissionen: 0,04
- Varianz σ_{basis}^2 der energie- und materialbezogenen Verbrauchswerte: 0,0006

Seit der erstmaligen Veröffentlichung der Pedigree-Matrix für ökologische Bewertungen durch Weidema⁴⁰¹ gab es verschiedene Weiterentwicklungen. Eine letzte Aktualisierung erfolgte im

³⁹⁸ DIN ISO/TR 14069, S. 40

³⁹⁹ DIN ISO/TR 14069, S. 41

⁴⁰⁰ Weidema 2013, S. 75

⁴⁰¹ Weidema 1996

Jahr 2013 im Rahmen der Weiterentwicklung der Ecoinvent-Datenbank.⁴⁰² Die aktuellen Werte können dem „Leitfaden zur Datenqualität“ der Ecoinvent-Datenbank entnommen werden und sind in Tabelle 22 aufgeführt. Im Anhang dieser Ausarbeitung werden die einzelnen Güteklassen inhaltlich weiter spezifiziert (vgl. Tabelle 43).

Güte des Verbrauchswerts bzw. Emissionsfaktors	sehr gut (1)	gut (2)	angemessen (3)	ausreichend (4)	schlecht (5)
Zuverlässigkeit der Quelle σ_P^2	0,0	0,0006	0,002	0,008	0,04
Vollständigkeit σ_Q^2	0,0	0,0001	0,0006	0,002	0,008
Zeitliche Geltungskraft σ_R^2	0,0	0,0002	0,002	0,008	0,04
Räumliche Geltungskraft σ_S^2	0,0	0,000025	0,0001	0,0006	0,002
Technologische Geltungskraft σ_T^2	0,0	0,0006	0,008	0,04	0,12

Tabelle 22: Pedigree-Varianzwerte zur halbquantitativen Beschreibung der Bewertungsunsicherheit⁴⁰³

Ein Verbrauchswert oder Emissionsfaktor, der über keine statistischen Basisangaben verfügt, kann näherungsweise durch fünf verschiedene Gütekriterien beschrieben werden. Dies betrifft die Zuverlässigkeit, die Vollständigkeit sowie die zeitliche, die räumliche und die technologische Geltungskraft eines Werts. Je Gütekriterium ist eine Benotung vorzunehmen (1 = sehr gut, ... 5 = schlecht). Entsprechend der Benotung wird eine Komponente der Varianz aus der Tabelle abgelesen.

Die Werte aus Tabelle 22 können durch Anwendung der Exponentialfunktion in Unsicherheitswerte $U(X)$ überführt werden (vgl. Tabelle 23). Hierdurch lässt sich die relative Bedeutung eines Kriteriums besser deuten. Demnach ist es besonders wichtig, eine hohe technologische Geltungskraft zu erreichen, d. h. der Verbrauchswert oder Emissionsfaktor sollte im Kontext des betreffenden bzw. eines vergleichbaren Untersuchungsgegenstands erhoben worden sein.

Güte des Verbrauchswerts bzw. Emissionsfaktors	sehr gut (1)	gut (2)	angemessen (3)	ausreichend (4)	schlecht (5)
Zuverlässigkeit der Quelle $U(\sigma_P^2)$	1,00	1,02	1,05	1,09	1,22
Vollständigkeit $U(\sigma_Q^2)$	1,00	1,01	1,02	1,05	1,09
Zeitliche Geltungskraft $U(\sigma_R^2)$	1,00	1,01	1,05	1,09	1,22
Räumliche Geltungskraft $U(\sigma_S^2)$	1,00	1,01	1,01	1,02	1,05
Technolog. Geltungskraft $U(\sigma_T^2)$	1,00	1,02	1,09	1,22	1,41

Tabelle 23: Pedigree-Unsicherheitswerte zur halbquantitativen Beschreibung der Bewertungsunsicherheit⁴⁰⁴

⁴⁰² Ciroth et al. 2016

⁴⁰³ eigene Darstellung auf Basis von Weidema 2013, S. 77

⁴⁰⁴ eigene Darstellung auf Basis von Weidema 2013, S. 77

Anschließend sieht der Pedigree-Ansatz eine Summierung der einzelnen Komponenten vor (vgl. Formel 6). Dabei wird auch die Basisunsicherheit in der Summe berücksichtigt. Gemäß den Erläuterungen zum Verfahren ist dies ein mathematisch zulässiges Vorgehen, wenn eine Log-Normalverteilung zutreffend ist und die Kovarianzen zwischen den einzelnen Gütekriterien und der Basisunsicherheit gleich null ist.⁴⁰⁵

Formel 6: Gesamtunsicherheit der Emissionsberechnung nach dem Pedigree-Ansatz

$$\sigma_{Gesamt}^2 = \sigma_{basis}^2 + \sigma_P^2 + \sigma_Q^2 + \sigma_R^2 + \sigma_S^2 + \sigma_T^2$$

Der Pedigree-Ansatz wird anhand des Beispiels einer Strommessung weiter vorgestellt: Führt ein Unternehmen für eine technische Anlage eine Strommessung mit dem Ziel durch, einen durchschnittlichen Energieverbrauch je Leistungseinheit zu ermitteln, und verifiziert die Ergebnisse anschließend, kann die Zuverlässigkeit der Quelle als „sehr gut“ bewertet werden. Das Kriterium der Vollständigkeit bezieht sich auf die Messdauer und die Wahrscheinlichkeit, ob eine Vielzahl externer Einfluss- bzw. Störgrößen berücksichtigt werden. Für das Beispiel wird die Note „gut“ angenommen. Im Weiteren wird angenommen, dass die Messung nicht länger als drei Jahre zurückliegt. Gemäß dem Pedigree-Ansatz ist die zeitliche Geltungskraft dann als „sehr gut“ zu bewerten. Auch die räumliche Geltungskraft kann als „sehr gut“ bewertet werden, da Ort der Messung und Ort der Analyse übereinstimmen. Da die technologischen Bedingungen des Unternehmens repräsentiert werden, ist die technologische Geltungskraft mit „sehr gut“ zu bewerten. Hierdurch ergibt sich bezüglich des gemessenen Verbrauchswerts folgendes „Pedigree-Schema“: I:2:I:I:I.

Unter Berücksichtigung der Basisunsicherheit beträgt die entsprechende Varianz des Messwerts bei Anwendung von Formel 6 für das Beispiel: $\sigma_{gesamt}^2 = 0,0006 + 0,0001 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,0007$. Hieraus kann eine Unsicherheit von $U(X) = 1,0268$ abgeleitet werden. Wird für das gegebene Beispiel nun ein Zentralwert der Messung von 100 kWh angenommen, kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % festgehalten werden, dass der tatsächliche Wert im Intervall $LO(X) = 97,4$ bis $HI(X) = 102,7$ kWh liegt.

Gesamtunsicherheit einer Bilanz gemäß IPCC

Das Gesamtergebnis einer ökologischen Bewertung basiert auf einer additiven und multiplikativen Verknüpfung einzelner Werte. Weitere Rechenoperationen sind nicht zutreffend. Im Rahmen der Summen- bzw. Produktbildung von Verbrauchswerten und Emissionsfaktoren für unterschiedliche Emissionsquellen ändert sich die Unsicherheit von (Zwischen-)Ergebnissen fortwährend. Dies wird allgemein als Fehlerfortpflanzung bezeichnet.

Mit dem Ziel einer vereinfachten Berücksichtigung von Unsicherheiten im Rahmen der nationalen Klimaberichterstattung hat das IPCC spezielle Regeln erarbeitet, die alternativ zu relativ aufwändigen statistischen Verfahren verwendet werden können. Unter dem Stichwort „Umgang mit Unsicherheiten in nationalen Klimainventaren“ sind diese speziellen Regeln an unterschiedlichen Stellen publiziert.⁴⁰⁶ Darüber hinaus sind diese Regeln auch für die THG-Protokoll-Initiative grundlegend. Zur Abschätzung der Fehlerfortpflanzung bei THG-Bilanzen

⁴⁰⁵ Weidema 2013, S. 77 und Ciroth et al. 2016, S. 5

⁴⁰⁶ IPCC 2000 und IPCC 2006

wird das „Pedigree-Matrix“-Verfahren mit vereinfachenden Rechenregeln des IPCC kombiniert.⁴⁰⁷ Diesem Vorgehen wird auch im Rahmen dieser Ausarbeitung gefolgt.

Heijungs und Lenzen haben verschiedene Methoden der Bewertung der Fehlerfortsetzung bei ökologischen Bewertungen einander gegenübergestellt und festgestellt, dass die vereinfachte Bewertung der Fehlerfortpflanzung nach IPCC zu ähnlich guten Ergebnissen führen kann wie bei computergestützten Anwendungen (z. B. mittels Monte-Carlo-Simulation).⁴⁰⁸

Gemäß IPCC ist bei der Verwendung vereinfachender Regeln zur Höhe der Fehlerfortpflanzung bei additiver und multiplikativer Verknüpfung zunächst sicherzustellen, dass

- a. zwischen den zwei Zufallsgrößen keine Korrelation besteht und
- b. die Variationskoeffizienten der Zufallsgrößen klein sind.⁴⁰⁹

Für die Fehlerfortpflanzung gelten dann, bei additiver Verknüpfung bzw. bei multiplikativer Verknüpfung, näherungsweise folgende Formeln (vgl. Formel 7):⁴¹⁰

Formel 7: IPCC-Regeln für die näherungsweise Bestimmung der Fehlerfortpflanzung

Regel A: additive Verknüpfung:
$$U_{total} = \frac{\sqrt{(x_1 \times U_1)^2 + (x_2 \times U_2)^2 + \dots + (x_n \times U_n)^2}}{\sum x_i}$$

Regel B: multiplikative Verknüpfung:
$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

mit x_q \triangleq prozentuale Relevanz einer Emissionsquelle

U_q \triangleq Unsicherheit einer Emissionsquelle

q \triangleq Emissionsquellen 1 bis n

n \triangleq Gesamtzahl Emissionsquellen

Die IPCC-„Regel B“ stellt eine Transformation der Formel zur Bestimmung der Gesamtunsicherheit eines Werts nach dem Pedigree-Ansatz dar (vgl. Formel 6). Daher wird zur weiteren Veranschaulichung nur die IPCC-„Regel A“ beispielhaft angewendet.

Im Kontext des gegebenen Beispiels wird angenommen, dass die untersuchte Anlage nicht nur einen Strombedarf, sondern auch einen Bedarf an Prozesswärme hat. Für beide Energieformen sollen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen bestimmt werden. Wird angenommen, dass auf den Strombedarf 50 kg CO₂ (Varianz $\sigma_{CO_2 \text{ Strom}}^2 = 0,0015$) und auf die Prozesswärme 150 kg CO₂ (Varianz $\sigma_{CO_2 \text{ Wärme}}^2 = 0,0045$) zurückzuführen sind, beträgt die Gesamthöhe der CO₂-Emissionen 200 kg CO₂. Die jeweiligen Unsicherheiten (Wurzel der Varianz) werden in gewichteter Form addiert, so dass die Gesamtvarianz $\sigma_{CO_2 \text{ gesamt}}^2 = 0,0026$ beträgt.

Da Emissionsfaktoren zu Treibhausgasen ggf. nur in der Einheit CO₂-Äquivalente verfügbar sind und keine Aufschlüsselung zwischen CO₂ und sonstigen THG möglich ist, wird abschließend die Basisvarianz für einen durchschnittlichen CO₂e-Emissionsfaktor ermittelt. Dies erfolgt auf Basis genannter Basisvarianzen und der globalen Relevanz einzelner

⁴⁰⁷ WRI und WBCSD 2011a

⁴⁰⁸ Heijungs und Lenzen 2014, S. 1458

⁴⁰⁹ IPCC 2006, S. 3.27 (Der Variationskoeffizient gilt als klein, wenn der Quotient aus Unsicherheit $U(X)$ und Erwartungswert $E(X)$ kleiner als 0,3 ist.)

⁴¹⁰ IPCC 2000, S. 6.12 oder S. A1.16 und IPCC 2006, S. 3.28

Treibhausgase nach Tabelle 1. Bei additiver Verknüpfung der Varianzen des CO₂-Emissionsfaktors und denen der weiteren THG-Emissionsfaktoren ergibt sich so eine gewichtete Basisvarianz für einen durchschnittlichen CO₂e-Emissionsfaktor in Höhe von: $\sigma_{basis}^2 = 0,00265$. Dieser Wert gilt für den Fall, dass die Relevanz der THG-Emissionen 76 % und die Relevanz sonstiger THG bei 24 % liegt.

Dabei ist in diesem Falle eine additive Verknüpfung näherungsweise zulässig, da

1. die Unsicherheiten keine signifikante Kovarianz haben:
 - a. CO₂-Emissionsfaktor: Höhe des Faktors wird durch Energieform und eingesetzten Energieträger definiert.
 - b. sonstige THG-Emissionsfaktoren: Höhe des Faktors wird durch Technologielevel des Energiewandlungsprozesses sowie entsprechender Abgasfilterung definiert.
2. die Varianzkoeffizienten hinreichend klein sind:⁴¹¹
 - a. bei CO₂-Emissionsfaktor: 0,02
 - b. bei sonstigen THG-Emissionsfaktoren: 0,2.

Die vorangestellten Ausführungen geben einen Einblick in die Komplexität der Unsicherheitsbestimmung. Der vereinfachte Ansatz unter Nutzung der Pedigree-Matrix ist durch das IPCC und weitere Institutionen legitimiert. Die THG-Protokoll-Initiative hat zur Veranschaulichung der Pedigree-Rechenoperationen ein Excel-basiertes Werkzeug publiziert.⁴¹²

4.7 Deklaration der Ergebnisse

Die Ergebnisdeklaration dient dem Zweck der strukturierten Kommunikation. Durch die Beachtung von Regeln und Prinzipien bei der Aufbereitung von Ergebnissen lassen sich Missverständnisse bei der Interpretation von Entwicklungen vermeiden. Ebenso wird die Gegenüberstellung der THG-Emissionen unterschiedlicher Logistikimmobilien erleichtert.

Die Deklaration von THG-Emissionen sollte gemäß DIN ISO/TR 14069 eine Abschätzung des möglichen Berechnungsfehlers umfassen.⁴¹³ Ebenso erscheint es als sinnvoll, ein Feld für Angaben zu den Themen Ökostromnutzung und Kompensationsmaßnahmen vorzusehen.

Aufbau des Deklarationsschemas

THG-Emissionen, die entsprechend den neun definierten Berichtspositionen ermittelt werden, können prinzipiell auch in dieser Struktur deklariert werden. Adressaten der Kommunikation erhalten hierdurch einen detaillierten Einblick in die innere Struktur der Bilanzierung. Um jedoch eine effektive Informations- und Anregungsfunktion durch die Kennzahlenstruktur unmittelbar zu unterstützen (vgl. Unterabschnitt 2.4.1), ist es sinnvoll, eine Fokussierung bei der Bildung und Verwendung von Kennzahlen vorzunehmen. Die neun Berichtspositionen bilden also die Basis eines strukturierten und schrittweisen Vorgehens. Für die Deklaration von Ergebnissen wird jedoch eine aggregiertere Darstellung empfohlen (vgl. Tabelle 24).

⁴¹¹ Ciroth et al. 2016, S. 55

⁴¹² Internetseite GHG Protocol, Stichwort: "GHG protocol Uncertainty Calculation Tool.xls"

⁴¹³ DIN ISO/TR 14069, S. 85

Name der Immobilie				
Immobilientyp				
Dienstleistungen				
Bewertungsjahr				
Hauptkategorien	THG-Emissionen [kg CO ₂ e]	Anteile je Verantwortungsbereich [%]		
		Scope 1	Scope 2	Scope 3
Gebäude und Hof				
Prozesskälte bzw. -wärme				
Logistikprozesse				
Transportverpackungen				100 %
Summe		<i>„Bewertungsunsicherheit“</i>		
Ökostrom-Vermerk und ggf. THG-Kompensationsaktivität				

Tabelle 24: Deklarationsschema für THG-Emissionen von Prozessen an Logistikimmobilien⁴¹⁴

Gemäß den Empfehlungen dieses Verfahrens sollten die Hauptkategorien „Gebäude und Hof“, „Prozesskälte bzw. -wärme“, „Logistikprozesse“ und „Transportverpackungen“ unterschieden und Emissionseinzelwerte in diesen vier Hauptkategorien ausgewiesen werden. Es wird erwartet, dass sich aus dieser Darstellung leichter Erkenntnisse und Verbesserungsansätze ableiten lassen.

Darüber hinaus sollten die Emissionseinzelwerte in den vier Hauptkategorien auch anteilig für die jeweiligen »Scopes« ausgewiesen werden, um den Anforderungen des THG-Protokolls zu entsprechen. Bei der Beschreibung der Bewertungsunsicherheit reicht es aus, eine Angabe vorzunehmen, die sich auf das Gesamtergebnis der Bilanzierung bezieht.

Im Weiteren ist das Deklarationsschema durch Metainformationen zur betrachteten Immobilie gekennzeichnet. Dies erlaubt dem Adressaten eine schnelle Einordnung. Hier sollten Angaben zum Namen der Immobilie (z. B. Firma und Standort), zum Immobilientyp und zu den angebotenen Dienstleistungen gemäß entwickeltem Klassifizierungsschema sowie zum Bewertungsjahr vorgenommen werden. Für Unternehmen, die Ökostrom beziehen bzw. Kompensationsprogramme unterstützen, bietet das Deklarationsschema ebenfalls eine Gelegenheit, nähere Angaben hierzu zu machen (z. B. Anbieterinformationen, verwendetes Prüfsiegel).

Das Schema umfasst keine relativen Kennzahlen (z. B. kg CO₂e je Europalette). Relative Kennzahlen bilden ein eigenständiges und vergleichsweise komplexes Thema, für das im weiteren Verlauf dieser Ausarbeitung eine weitere formale Darstellungsstruktur erarbeitet wird (vgl. 4.8, Kennzahlensystematik).

⁴¹⁴ eigene Darstellung

Bestimmung der Emissionswerte für die vier Hauptkategorien

Die Einzelergebnisse der neun Berichtspositionen nach DIN ISO/TR 14069 können mittels des im Anhang in Tabelle 45 dargestellten Verknüpfungsschemas in die Struktur des entwickelten Deklarationsschemas überführt werden. Einen Ausschnitt des Schemas zeigt Tabelle 25.

Hauptkategorie	Emissionsquellen (Beispiele)
Gebäude und Hof	Innenraum- und Hofbeleuchtung, Frischluft-/ Haustechnik, Heizung (Behaglichkeit), Abfälle, Verbrauchsmaterialien (übergeordnet)
Prozesskälte bzw. -wärme	Kältetechnische Anlagen, Heizung (Produktanforderung), Trockenkammern
Logistikprozesse	Förder-, Lager- und Kommissioniertechnik, Fahrzeuge der Hoflogistik
Transportverpackungen	Ladungsträger, Sicherungsmittel

Tabelle 25: Hauptkategorien zur Deklaration der THG-Emissionen von Logistikimmobilien⁴¹⁵

Dabei ist die Zuordnung von Emissionsquellen zu Hauptkategorien i. Allg. eindeutig. Bei der Zuordnung der THG-Emissionen des Heizbedarfs (Raumwärme, Prozesswärme) und der Elektrizität (Prozesstechnik, Kältetechnik, Haustechnik) kann es jedoch möglicherweise zu Schwierigkeiten kommen. Zur Unterscheidung von Raum- und Prozesswärme sei daher an die Ausführungen zur Behaglichkeit in Abschnitt 3.4 erinnert. Beim Thema Elektrizität führten die zunehmende Verbreitung von Smart-Metering-Systemen sowie die gesetzliche Anforderung zur regelmäßigen Durchführung von Energieaudits dazu, dass viele Unternehmen bereits die relevanten Anteile des Stromverbrauchs am Standort kennen. Alternativ kann auch eine Abschätzung auf Basis von Betriebsstunden und Durchschnittsverbräuchen einzelner prozesstechnischer Anlagen in Betracht gezogen werden. Für fördertechnische Anlagen bietet sich z. B. die Anwendung der VDI-Richtlinie 2198 an (vgl. Abschnitt 3.3). Für Kälteanlagen (falls relevant) kann z. B. eine Hochrechnung auf Basis der Raumgröße und der Dumortier-Werte erfolgen (vgl. Abschnitt 4.3).⁴¹⁶ Eine dritte, jedoch relativ ungenaue Vorgehensweise basiert auf Annahmen oder Literaturwerten. Das Fraunhofer IML hat z. B. Stromverbrauchsmessungen an mehreren Logistikimmobilien durchgeführt und die zentralen Erkenntnisse veröffentlicht.⁴¹⁷

4.8 Allokation und Kennzahlenbildung

Vor dem Hintergrund der Interpretation, der Operationalisierung, der Anregung und der Kontrolle der Entwicklungen von THG-Emissionen an Logistikimmobilien ist es sinnvoll, die entstandenen Emissionen in ein Verhältnis zur erbrachten Leistung zu stellen. Kennzahlen dieser Art können, gemäß DIN ISO 14045, als Ökoeffizienz-Indikatoren verstanden werden (im Weiteren: THG-Kennzahlen). Neben dem Zweck, einen internen Verbesserungsprozess zu formalisieren, können solche Kennzahlen auch dafür genutzt werden, mit externen Anspruchs-

⁴¹⁵ eigene Darstellung

⁴¹⁶ Dumortier et al. 2012, S. 30

⁴¹⁷ Dobers et. al. 2014, S. 7 bzw. Rüdiger und Dobers 2013, S. 6

gruppen (z. B. Kunden, NGOs) zu kommunizieren und eine Gegenüberstellung verschiedener Logistikimmobilien vorzunehmen.

Werden verschiedene Kennzahlen (THG-Kennzahlen, Strukturkennzahlen) eines definierten Sachverhalts (THG-Emissionen von Logistikimmobilien) in strukturierter Form angeordnet, entsteht ein eigenes betriebliches Kennzahlensystem (vgl. Unterabschnitt 2.4.1, VDI 4400). In Analogie zu den Grundprinzipien der ökologischen Bewertung (Unterabschnitt 2.3.1) und in Bezug auf die übergeordneten Ziele und Funktionen von Kennzahlen (Unterabschnitt 2.4.1) werden im Weiteren folgende Entwicklungsgrundsätze berücksichtigt:

- **Begrenzung:**
Aussagekräftige und beeinflussbare THG-Kennzahlen sollten priorisiert werden.
- **Vollständigkeit:**
Sämtliche THG-Emissionen sollten berücksichtigt werden.
- **Genauigkeit:**
THG-Emissionen sollten möglichst verursachungsgerecht verteilt werden.
- **Angemessenheit:**
Der Aufwand der Kennzahlenbildung sollte im vertretbaren Maße zum Nutzen stehen.
- **Konsistenz:**
Auf eine einheitliche Vorgehensweise im Zeitverlauf sollte geachtet werden.
- **Transparenz:**
Auf eine gute Nachvollziehbarkeit sollte geachtet werden.

Eine wesentliche Funktion von Kennzahlen bzw. Kennzahlensystemen besteht darin, komplexe Strukturen vereinfachend zu beschreiben, um z. B. eine Entscheidungsfindung zu erleichtern. Ein Zielkonflikt zwischen Genauigkeit auf der einen Seite und Begrenzung bzw. Angemessenheit auf der anderen Seite ist daher für den weiteren Entwicklungsprozess allgemein kennzeichnend.

4.8.1 Bezugsgrößen

Der Wahl der Bezugsgröße kommt im Rahmen der Kennzahlenbildung eine wichtige Rolle zu. Mit der Wahl der Bezugsgröße wird definiert, anhand welchen leistungsbezogenen Indikators die Effizienz der Leistungserbringung bewertet und verglichen werden soll.

Grundsätzlich können an Logistikimmobilien leistungsmengenvariable und leistungsmengen-neutrale Emissionsanteile bestimmt werden (vgl. Abschnitt 3.4 und o). Für gebäudetechnische Elemente, wie z. B. die Beleuchtung, ist es aus einer theoretischen Betrachtung heraus entscheidend, wie groß die effektive Betriebsdauer des Standorts ist. Die tatsächliche Umschlagleistung wäre dann als nebensächlich einzustufen. Es gilt der Grundsatz: Je mehr Tage bzw. Stunden pro Jahr eine Betriebsstätte genutzt wird, desto höher sind bei gleichbleibender Technologie und Struktur die entsprechenden THG-Emissionen. Anders stellt es sich aus einer theoretischen Betrachtung heraus für prozesstechnische Elemente, wie z. B. Unstetigförderer, dar. In diesem Fall wäre die tatsächliche Umschlagleistung, die aber für einzelne Anlagen nach oben begrenzt ist, maßgeblich für den Energieverbrauch bzw. die zu verrechnenden THG-Emissionsanteile. Es gilt der Grundsatz: Je höher der Durchsatz an einer Betriebsstätte, desto

höher sind bei gleichbleibender Technologie und Struktur die entsprechenden THG-Emissionen (in den Grenzen des maximalen Leistungsvermögens der Anlagen).

Diese theoretischen Überlegungen stoßen auf praktische Grenzen. Umschlagleistungen und Betriebsdauern von Standorten dürfen nicht isoliert betrachtet werden. In der Praxis stellen sie voneinander abhängige Größen dar. Bei niedrigen Umschlagleistungen ist es wahrscheinlich, eine niedrige Betriebsdauer vorzufinden, und umgekehrt genauso. Es gilt das Prinzip der Wirtschaftlichkeit. Für die Kennzahlenbildung bedeutet das, dass beide Bezugsgrößen im Grundsatz gleichwertig sind. Für dieses Verfahren wird entschieden, die Umschlagleistung als Bezugsgröße sowohl für leistungsmengenvariable und als auch leistungsmengenneutrale Emissionsanteile heranzuziehen. Informationen zur Betriebsorganisation (z. B. Betriebsbereitschaftsstunden) sind jedoch ein wichtiger Bestandteil der Interpretation von Veränderungen und Unterschieden (vgl. Strukturkennzahlen, Tabelle 42).

Versandmenge als Bezugsgröße der Effizienzbewertung

Die Bezugsgröße Umschlagleistung kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden (vgl. Abschnitt 3.3, Berechnung des Durchsatzes). Aufgrund von Bestandsveränderungen innerhalb eines Jahres sowie aufgrund von Packstück- bzw. Ladeeinheitenbildung kann die Menge der Versandeinheiten grundsätzlich von der Menge der Empfangseinheiten abweichen. Im Rahmen dieses Verfahrens wird die Verwendung der Versandmenge empfohlen und festgelegt. An einem Standort versandte Einheiten bzw. Mengen entsprechen im direkten Vergleich der zwei Messgrößen eher dem in DIN ISO 14045 formulierten Gedanken des Produktsystemnutzens. Die Versandeinheiten stellen für den Adressaten/ Kunden entsprechende Empfangseinheiten dar, die im dortigen Wareneingang erfasst und geprüft werden. Die Versandmenge ist also eine für beide Vertragsparteien messbare Größe und eignet sich auch aus diesem Grund als Bezugsgröße der Effizienzbewertung.

Grundsätzlich können Versandmengen hinsichtlich der Stückzahl/ Anzahl, dem Gewicht oder dem Volumen beschrieben werden. Dabei ist die Nutzung des Volumens zur Beschreibung der Versandmenge tendenziell wenig verbreitet und relevant (z. B. Schüttraummeter Holz, Liter Milch). Häufiger geht es um die Bezugsgrößen Gewicht (z. B. Tonnen Futter- und Nahrungsmittel) und Anzahl (z. B. Anzahl Container, Europaletten, Pakete). Was bei der Bestimmung der Bezugsgrößen Gewicht und Anzahl zu beachten ist, wird nun näher erläutert.

Bestimmung des Gewichts der Versandmenge

Mit einer Waage lässt sich das Gewicht der Versandmenge einheitlich bestimmen. In Bezug auf die im Grundlagenteil beschriebene Verpackungshierarchie stellt sich hierbei aber die Frage, ob die Transportverpackung berücksichtigt werden sollte oder nicht. Die Verwendung des Gesamtgewichts (inkl. Transportverpackungen) ist durch den Vorteil gekennzeichnet, dass der Aufwand der Messung vergleichsweise niedrig ist. Sofern eine Waage vorhanden ist, können die entsprechenden Daten durch die Betreiber der Logistikimmobilien vor der eigentlichen Verladung relativ leicht gemessen bzw. hochgerechnet werden.

Für die Verwendung des Produktgewichts (exkl. Transportverpackungen) zur Beschreibung der Versandmenge spricht hingegen, dass gewichtsbezogene Veränderungen (wie z. B. eine Verbesserung durch die Reduzierung der eingesetzten Verpackungsmaterialien) durch die THG-Kennzahl besser zum Ausdruck gebracht werden. Dies setzt aber voraus, dass der

Logistikdienstleister das Nettowarengewicht der Versandmenge kennt, was allgemein zu bezweifeln ist. Aufgrund der klassischen Aufgabenteilung im Logistikmarkt (Produzent, Logistikdienstleister, Frachtführer) und des allgemein eher restriktiven Informationsaustausches zwischen den einzelnen Beteiligten der Transportkette ist davon auszugehen, dass dem Logistikdienstleister keine Informationen zum Nettowarengewicht vorliegen.

Für das Verfahren wird daher definiert, grundsätzlich das Gesamtgewicht der Versandmenge (inkl. Transportverpackung) zu bestimmen. Dies scheint der in der Logistikbranche universell anwendbarere Ansatz zu sein.

Bestimmung der Anzahl der Versandmenge

Durch das Zählen der Versandeinheiten lässt sich die Versandmenge für Stückgüter einheitlich bestimmen. Dabei können grundsätzlich Packstücke und Ladeeinheiten differenziert werden (vgl. Abschnitt 3.1). Im Unterschied zu Packstücken, die u. a. für den Paketversand direkt kommissioniert werden, kommen bei Ladeeinheiten verschiedene Ladungsträger zum Einsatz. Entsprechend den vorausgehenden Ausführungen werden im Rahmen dieses Verfahrens sieben Kategorien zur Spezifizierung von Stückgütern verwendet, nämlich: Pakete/ Packstücke, Kisten/ Boxen, Rollwagen/ -container, Flachpaletten, Gitterboxen/ Behälterpaletten, Container/ Großraumbehälter sowie loses Stückgut.

Keine Berücksichtigung der Lagerdauer

Erbringt ein Dienstleister für einen Kunden eine Dienstleistung der Warenlagerung, können die vertraglichen Vereinbarungen auch zeit- und lagerortbezogene Aspekte umfassen. Es stellt sich daher die Frage, ob Artikel bzw. Bestandseinheiten mit einer relativ hohen Lagerdauer höhere Emissionsanteile erhalten sollten als Artikel bzw. Bestandseinheiten mit einer relativ kurzen Lagerdauer. Grundsätzlich kann die durchschnittliche Lagerdauer einzelner Artikel bzw. Bestandseinheiten als Indikator für den Lagerbestand und damit für den Flächenbedarf innerhalb eines Lagers verstanden werden.

Der Nutzen von Beständen ist hauptsächlich in der Sicherstellung einer hohen Lieferbereitschaft zu sehen. Fehlmengenkosten gilt es zu vermeiden. Des Weiteren kann es im Kontext übergeordneter Produktions- und Logistiknetzwerke für Unternehmen sinnvoll sein, Bestände aufzubauen, um eine kostenoptimierte Produktion zu ermöglichen oder der saisonalen Verfügbarkeit von Produkten gerecht zu werden. Es besteht somit prinzipiell ein kausaler Zusammenhang zu unternehmerischen Planungs- und Entscheidungssituationen (Produktsystemnutzen). Entsprechend kann für eine Verwendung der Lagerdauer als weitere Bezugsgröße neben der Versandmenge argumentiert werden.⁴¹⁸ Im Zusammenhang mit der Verursachung von THG-Emissionen ist nach Einschätzung des Autors der Grad der Kausalität vergleichsweise gering. Dies wird unter Bezugnahme zu einzelnen Emissionsquellen nachfolgend erläutert.

Im einfachen Fall wird durch die eigentliche Lagerung von Artikeln kein Energie- oder Materialverbrauch hervorgerufen. Dann nimmt die Lagerdauer auch keinen Einfluss auf die Höhe der THG-Emissionen. Die Prozessenergie, die für Ein-, Um- oder Auslagerungen benötigt wird, ist z. B. unabhängig von der geplanten Lagerdauer. Im Kontext der Gebäudetechnik zielen

⁴¹⁸ In WEF 2009 wird z. B. die Bezugsgröße „Kubikmeter-Stunden“ für Lagerstandorte vorgeschlagen.

viele Elemente darauf ab, die von Menschen in Räumen empfundene Behaglichkeit zu verbessern (vgl. Kap. 3, leistungsmengenneutrale THG-Emissionsanteile). Daher ist hier die Abhängigkeit von der Lagerdauer als tendenziell gering zu bewerten. Lediglich hinsichtlich der Prozesswärme und Prozesskälte kann ein kausaler Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Lagerdauer beschrieben werden. Wird der Logistikimmobilie dabei eine vergleichsweise gute Gebäudedämmung unterstellt, so kann ein Großteil des Temperaturverlustes und des Leistungsbedarfs technischer Anlagen auf den Ein- und Auslagerungsvorgang als solchen zurückgeführt werden. Denn mit der erforderlichen Öffnung entsprechender Tore ist stets ein Kälte- bzw. Wärmeeintrag verbunden, den es zu kompensieren gilt. Eine Kompensation ist z. B. auch dann erforderlich, wenn bei Einlagerung das Temperaturniveau der Waren nicht mit dem des Lagerraums übereinstimmt (d. h. warenbedingter Kälte- bzw. Wärmeeintrag). Im Regelbetrieb eines Lagers haben Tätigkeiten der Ein- und Auslagerung also tendenziell einen großen Einfluss und die eigentliche Lagerdauer einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Für dieses Verfahren wird die Versandmenge als einzige zu ermittelnde Bezugsgröße definiert. Die durchschnittliche Lagerdauer ist aufgrund vorangestellter Gründe kein relevantes Kriterium, welches zu erfassen ist. Dem Entwicklungsgrundsatz der Genauigkeit wird dabei entsprochen. Vorteilhaft ist auch, dass so die Problematik der datentechnischen Verknüpfung von artikel- und versandeinheitenbezogenen Informationen umgangen wird. Somit wird auch dem Kriterium der Angemessenheit entsprochen.

4.8.2 THG-Gesamteffizienz der Logistikimmobilie

Die THG-Gesamteffizienz der bewerteten Logistikimmobilie soll zunächst mit einer einfachen Kennzahl beschrieben werden. Es wird davon ausgegangen, dass interne und externe Anspruchsgruppen ein Interesse daran haben, einen ersten Gesamteindruck zu erhalten.

Im Kontext der vorangestellten Ausführungen zur Wahl der geeigneten Bezugsgröße liegt es nahe, die Gesamtemissionen lediglich in ein Verhältnis zur korrespondierenden Versandmenge zu stellen. Dies wird mit folgender Formel beschrieben (vgl. Formel 8).

Formel 8: THG-Gesamteffizienz der Logistikimmobilie

$$e_{immo} \left[\frac{g \text{ CO}_2e}{kg, m^3 \text{ oder Stück}} \right] = \frac{Emissionen_{gesamt} [g \text{ CO}_2e]}{Versandmenge_{gesamt} [kg, m^3 \text{ oder Stück}]}$$

mit $e_{immo} \triangleq$ THG-Effizienz der Betriebsphase der Logistikimmobilie

Dabei besteht für einen Anwender des Verfahrens grundsätzlich eine Wahlmöglichkeit zwischen den drei zuvor skizzierten Ansätzen (Gewicht, Volumen, Anzahl). Aus Transparenzgründen sollte die Wahl der Bezugsgröße kurz begründet werden (z. B. in Bezug auf die Schnittstelle zum Kunden der logistischen Dienstleistung).

Für den Fall, dass die Anzahl als Bezugsgröße gewählt und verschiedene Versandeinheiten an einer Logistikimmobilie relevant sind, ergibt sich eine spezielle Problematik. Es geht um die Problematik des korrekten Zählens und des möglichen Einflusses unterschiedlicher Größen und Gewichte von Versandeinheiten.

Dies wird anhand eines einfachen Beispiels weiter veranschaulicht: Der Warenausgang eines Versandlagers ist im ersten Jahr von 90 % Flachpaletten und 10 % Packstücken geprägt. Aufgrund des wachsenden Onlinehandels erhöht sich die Relevanz der Packstücke im zweiten Bilanzjahr auf 30 %. Der Wert für Flachpaletten geht entsprechend zurück. Im Weiteren wird angenommen, dass die tatsächlichen Verkaufsmengen in beiden Jahren auf einem ähnlichen Niveau sind. Gleiches gilt für die THG-Emissionen, die berechnet wurden. Die Anzahl der Versandeinheiten hat jedoch stark zugenommen, da Produkte nun verstärkt einzeln statt auf Paletten gebündelt versendet werden. Die Erhöhung der Anzahl der Versandeinheiten führt daher im zweiten Bilanzjahr zu einer rein buchhalterischen Verbesserung der THG-Gesamteffizienz der Logistikimmobilie. Eine reale Verbesserung liegt nicht vor.

Es stellt sich also die Frage, ob in diesem Falle eine Normierung bzw. eine Verrechnung unterschiedlicher Versandeinheiten zueinander zielführend ist (z. B. in Bezug auf das Volumen oder das Gewicht der Versandeinheiten). Nach Einschätzung des Autors kann dies bezweifelt werden. Die Festlegung auf eine der beiden Verrechnungsgrößen beinhaltet nämlich implizit, dass entweder das Gewicht oder das Volumen als Haupteinflussgröße auf die THG-Effizienz festgeschrieben wird. Erste Messungen widerlegen aber einen solchen Einfluss. Vielmehr sind der Umschlagvorgang als solcher und die Förderdistanz relevant für den Energieverbrauch und resultierende THG-Emissionen.⁴¹⁹

Aufgrund dieser Unsicherheit wird für dieses Verfahren festgelegt, im Rahmen der Bilanzerstellung stets die Relevanz einzelner Versandeinheiten im Kontext der Gesamtzahl der Versandeinheiten zu dokumentieren (z. B. mittels Tabelle 26) und beim Vergleich von zwei Bilanzen darauf Bezug zu nehmen. Ergeben sich zwischen zwei Bilanzzeitpunkten gravierende Unterschiede, sollte der Vergleich auf Basis der Bezugsgröße „Anzahl“ grundlegend überdacht werden. Entweder kann eine bessere Bezugsgröße (z. B. Gewicht) gefunden werden oder der Vergleich ist aufgrund großer struktureller Änderungen zwischen den beiden Bilanzzeitpunkten auszusetzen.

Versandeinheiten	Anteil [%]
Pakete/ Packstücke	
Kisten/ Boxen	
Rollwagen/ Rollcontainer	
Flachpaletten	
Gitterboxen/ Behälterpaletten	
Container/ Großraumbehälter	
Loses Stückgut	

Tabelle 26: Angaben zur Relevanz von Versandeinheiten im Kontext der THG-Gesamteffizienzbewertung⁴²⁰

⁴¹⁹ Kaffka et al. 2015, S. 571

⁴²⁰ eigene Darstellung

Grundsätzlich stellt die Kennzahl THG-Gesamteffizienz eine einfache Möglichkeit dar, die Entwicklung der THG-Emissionen an Standorten zu kontrollieren und zu interpretieren. Ein vergleichsweise differenzierter Ansatz wird mit dienstleistungsbezogenen THG-Kennzahlen beschrieben.

4.8.3 Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen

Die logistische Leistungserbringung an Logistikimmobilien lässt sich mittels definierter Dienstleistungen beschreiben, die sich auf grundlegende Transformationsprozesse, auf produktbezogene Temperaturvorgaben sowie auf kundenspezifische Verpackungsvorgaben beziehen (vgl. Abschnitt 4.3). Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen ermöglichen eine vergleichsweise differenzierte Kommunikation mit Externen. Auch können so unterschiedliche Logistikimmobilien mit ähnlichen Dienstleistungen einander gegenübergestellt werden. Der Einfluss von Strukturkennzahlen ist allgemein zu beachten. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass eine Gegenüberstellung sehr unterschiedlicher Logistikimmobilien trotz einheitlicher Berechnungs- und Kennzahlenverfahren zu keinem sinnvollen Ergebnis führt. Dies näher zu untersuchen, bleibt Folgeuntersuchungen überlassen.

Der Ansatz, Energieverbräuche und Materialverbräuche einzelnen Dienstleistungen zuzuordnen, stößt dabei an Grenzen der Eindeutigkeit. Insbesondere übergeordnete Verbrauchspositionen sind durch eine geringe Nähe zum physischen Materialfluss gekennzeichnet (vgl. Abschnitt o). Auch bei direkten Verbrauchspositionen können sich Zuordnungsschwierigkeiten ergeben. Als einfaches Beispiel wäre eine Fahrt eines Gabelstaplers zu nennen, bei der zwei Materialflussobjekte gleichzeitig transportiert werden, die zu zwei unterschiedlichen Dienstleistungen gehören. Dann müsste der Energieverbrauch mittels einer Hilfsgröße (z. B. Gewicht der Materialflussobjekte) vereinfachend und pauschalisiert aufgeschlüsselt werden. Eine exakte Zuordnung ist nicht möglich.

In Kontext der ökologischen Bewertung werden Allokationsverfahren eingesetzt, um bei derartigen Zuordnungsproblemen eine Lösung zu generieren. Allokation wird in DIN ISO 14040 allgemein definiert als die „Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses [...] zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen“.⁴²¹ In DIN ISO 14044 wird das Thema Allokation wie folgt weiter spezifiziert:⁴²²

1. „Wo auch immer möglich, sollte eine Allokation vermieden werden.“
2. „Wenn eine Allokation nicht vermieden werden kann, sollten die Inputs und Outputs [...] so zugeordnet werden, dass die zugrunde liegenden physikalischen Beziehungen [...] widergespiegelt werden.“
3. „Wenn physikalische Beziehungen [...] nicht als Grundlage für die Allokation benutzt werden können, sollten die Inputs und Outputs [...] so zugeordnet werden, dass sich darin andere Beziehungen [...] widerspiegeln [(z. B. ökonomischer Wert der Produkte)]“.

⁴²¹ DIN ISO 14040, S. 10

⁴²² DIN ISO 14044, S. 29

Diesen Empfehlungen wird im Weiteren entsprochen. Dabei stellt jedes Allokationsverfahren letztendlich eine Konvention dar. Unter Beachtung der Angemessenheit der Umsetzung und eines hinreichenden Grads der Kausalität müssen sich Marktteilnehmer auf eine gemeinsame Vorgehensweise einigen. Aus diesem Grund ist es tendenziell schwierig, Vor- und Nachteile verschiedener Allokationsverfahren zu beschreiben.

Allokationsschema

Für die Zuordnung von THG-Emissionen auf die definierten 24 Einzeldienstleistungen an Logistikimmobilien wird auf ein Allokationsschema zurückgegriffen, welches in Abbildung 32 dargestellt ist. Für den Fall, dass weniger als 24 Dienstleistungen relevant sind, empfiehlt es sich, die relevanten Entscheidungsfälle einzugrenzen. Es gilt der Grundsatz: Je geringer die Anzahl relevanter Einzeldienstleistungen, desto niedriger der erforderliche Allokationsaufwand.

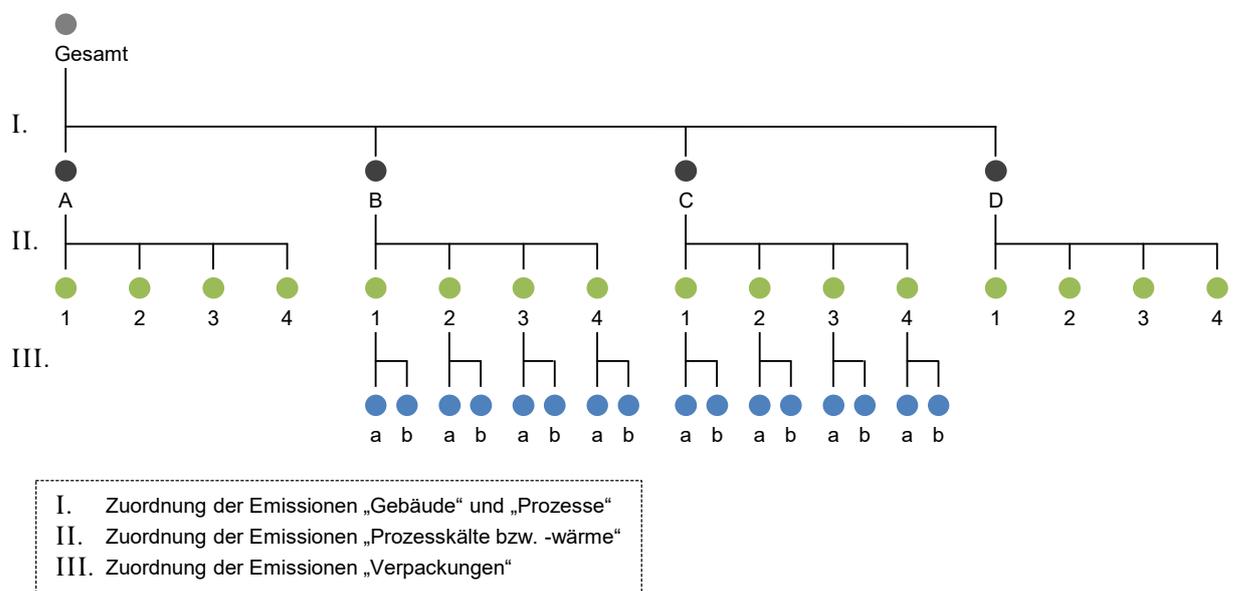


Abbildung 32: Struktur des entwickelten Allokationsschemas⁴²³

Das Allokationsschema ist durch drei Allokationsschritte gekennzeichnet. Hierfür werden im Weiteren noch Regeln spezifiziert. Im ersten Schritt geht es um die Zuordnung der Emissionen aus den Hauptkategorien „Gebäude/ Hof“ und „Logistikprozesse“ auf die Dienstleistungsbereiche A, B, C und D. Für den Fall, dass Temperaturanforderungen zu beachten sind und in der Hauptkategorie „Prozesskälte bzw. -wärme“ THG-Emissionen ausgewiesen wurden, geht es im zweiten Schritt darum, diese Emissionsteilmengen auf die Temperaturbereiche 1, 2 und 4 zu verteilen. Der Temperaturbereich 3 ist durch keine spezifischen Temperaturvorgaben definiert und erhält im zweiten Allokationsschritt daher auch keine zusätzlichen Emissionsanteile. Der dritte Schritt nimmt Bezug auf die mit Transportverpackungen verbundenen THG-Emissionen. Diese werden den Dienstleistungsbereichen B und C zugeordnet, da hier Kommissionierungs- und Verpackungsprozesse relevant sind.

⁴²³ eigene Darstellung

Betrachtung von Sonderverpackungsvorgaben – Grenzen und Erweiterbarkeit

Das Allokationsschema unterscheidet drei Varianten hinsichtlich des Einsatzes und der Zuordnung von Verpackungsmaterialien zu Versandeinheiten. Diese sind nachfolgend nochmals aufgeführt:

- Versandeinheiten, nicht-kommissioniert, kein Bedarf an Verpackungsmaterialien
- Versandeinheiten, kommissioniert, Verpackungsbedarf gemäß Standardvorgaben
- Versandeinheiten, kommissioniert, Verpackungsbedarf gemäß Sondervorgaben
(Verpackungsvorgabe 1, Verpackungsvorgabe 2 usw.)

In der betrieblichen Praxis können Versandvorschriften aber variantenreicher sein als dargestellt (Verpackungsvorgabe 1, Verpackungsvorgabe 2 usw.). Es liegt also eine methodische Begrenzung vor. Dies wird als sinnvoll erachtet, um die Variantenzahl zu begrenzen und die Kommunikation mit z. B. Externen durch ein höheres Maß an Standardisierung zu erleichtern.

Zusätzlich zum beschriebenen methodischen Vorgehen können Unternehmen in Betracht ziehen, mehr als zwei Kennzahlen für kommissionierte Versandobjekte zu berechnen. Dann wird empfohlen, das Element „Versandeinheiten, kommissioniert, Verpackung gemäß Sondervorgaben“ als eine Art Sammelgruppe zu nutzen, mit der die einzelnen Untergruppen (Verpackungsvorgabe 1, Verpackungsvorgabe 2 usw.) subsumiert werden. Eine aggregierte Kennzahl für diesen Bereich kann dann als eine Art Durchschnittswert verstanden werden.

Hauptkategorien und Subkategorien

Emissionsquellen, die für Logistikimmobilien typisch sind, wurden in den vorausgehenden Kapiteln bereits präsentiert und den Hauptberichtskategorien zugeordnet. Darüber hinaus können sie auch durch sogenannte Subkategorien zusammengefasst werden (vgl. Tabelle 27 und Tabelle 45). Nach dem Verständnis dieser Methode wird durch eine Subkategorie verstärkt Bezug auf die klimaschutzrelevanten Merkmale von Dienstleistungen genommen. Sie sind für die Anwendung des Allokationsverfahrens relevant.

Hauptkategorie	Subkategorien
Gebäude und Hof	Raumwärme, Elektrizität (Gebäude/ Hof), Übergeordnetes (z. B. Abfälle)
Prozesskälte bzw. -wärme	Prozesskälte, Prozesswärme
Logistikprozesse	Hoflogistik, Elektrizität (Prozesse)
Transportverpackungen	Standardverpackungen, Sonderverpackungen

Tabelle 27: Subkategorien zur verursachungsgerechten Zuordnung von THG-Emissionen auf Dienstleistungen⁴²⁴

Anforderungen an die Datenerhebung und -aufbereitung

Um das Allokationsverfahren anwenden zu können, ist eine Quantifizierung der Mengen erforderlich, die innerhalb des betrachteten Zeitraums versendet wurden (Versandmenge). Angelehnt an Tabelle 20 ist in Tabelle 28 dargestellt, nach welcher Struktur dies erfolgen sollte.

⁴²⁴ eigene Darstellung

Zu differenzieren sind grundsätzlich Temperatur-, Lager- und Verpackungsanforderungen. Im Falle, dass an einer Logistikimmobilie weniger als die dargestellten 24 Dienstleistungen angeboten werden, reduziert sich der erforderliche Erhebungsaufwand. Einzelne Felder können mit dem Wert null belegt werden.

Dienstleistungen			Temperaturanforderung				Teilsommen (TS)					
Code			1	2	3	4	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6
Bezeichnung			Tief-Kühlung	Kühlung	keine	Wärme						
Lager- und Kommissionieranforderung	A	Lagerung und keine Kommissionierung	Versandmenge	Versandmenge	...		Σ					
	B	a	Lagerung und Kommissionierung (Standardverpackung)	Versandmenge	...			Σ				
		b	Lagerung und Kommissionierung (Sonderverpackung)	...					Σ			
	C	a	Umschlag und Kommissionierung (Standardverpackung)							Σ		
		b	Umschlag und Kommissionierung (Sonderverpackung)								Σ	
	D	Umschlag und keine Kommissionierung										Σ
Teilsomme	TS 7		Σ				Summe der gesamten Versandmenge (VM _{gesamt})					
	TS 8			Σ								
	TS 9				Σ							
	TS 10					Σ						

Tabelle 28: Datenerhebung und -aufbereitung zur Anwendung der Allokationsregeln⁴²⁵

Nach der Erhebung der Werte sind für das Allokationsverfahren noch Teilsommen zu bilden. Teilsomme 1 bezieht sich z. B. auf alle Versandobjekte, die dem Dienstleistungsbereich „A“ zugeordnet sind, und Teilsomme 2 auf alle Versandobjekte, die durch die Merkmale „B“ und „a“ charakterisiert sind. Bei 24 Dienstleistungen an einem Standort wären dann zehn Teilsommen zu bilden, um die folgenden Allokationsregeln des Verfahrens anwenden zu können.

Das Allokationsverfahren zielt auf eine eindeutige Zuordnung von Materialflussmengen im Kontext der definierten Einzeldienstleistungen ab. Bei artikelgemischten Versandeinheiten, die das Produkt einer Kommissionierleistung darstellen, kann es allgemein zu Schwierigkeiten bei der eindeutigen Zuordnung kommen. Denn Temperatur- und Lageranforderungen werden für einzelne Artikel und nicht für Versandeinheiten definiert.

⁴²⁵ eigene Darstellung

Für dieses Verfahren werden daher zwei Grundregeln für die Zuordnung artikelgemischter Versandeinheiten zu Einzeldienstleistungen definiert:

1. Umfasst eine artikelgemischte Versandeinheit sowohl Artikel, die zuvor gelagert wurden, als auch Artikel, die zuvor lediglich gepuffert wurden (durchschnittliche Verweilzeit < 24 Stunden), so sollte die betreffende Versandeinheit der Teilmenge der gelagerten Versandeinheiten zugeordnet werden (Dienstleistungsbereich A oder B).
2. Umfasst eine artikelgemischte Versandeinheit Artikel mit verschiedenen Temperaturanforderungen (z. B. Kühlung und keine), so sollte eine Zuordnung gemäß den temperaturbezogenen Anforderungen des Folgeprozesses erfolgen (z. B. gekühlter Transport).

Dabei sind beide Regeln in der Art formuliert, dass einer Versandeinheit tendenziell eher mehr als zu wenige THG-Emissionen zugeordnet werden. Auf eine anteilige Zuordnung wird verzichtet, um eine angemessene Anwendung des Verfahrens zu ermöglichen.

Allokationsregeln für dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen

Die Subkategorien und die gemäß Tabelle 28 aufbereiteten Versandmengen bilden die Ausgangsbasis für die Ermittlung dienstleistungsbezogener THG-Kennzahlen. Mit den nun folgenden Allokationsregeln lassen sich die erforderlichen Teilemissionen berechnen, um das definierte Allokationsschema anschließend anwenden zu können. Zur weiteren Veranschaulichung des zugrundeliegenden Konzepts ist in Abbildung 33 beispielhaft dargestellt, wie sich die THG-Kennzahlen für die Dienstleistungen „A.I“ und „B.I.a“ nach Anwendung der Allokationsregeln bilden lassen.

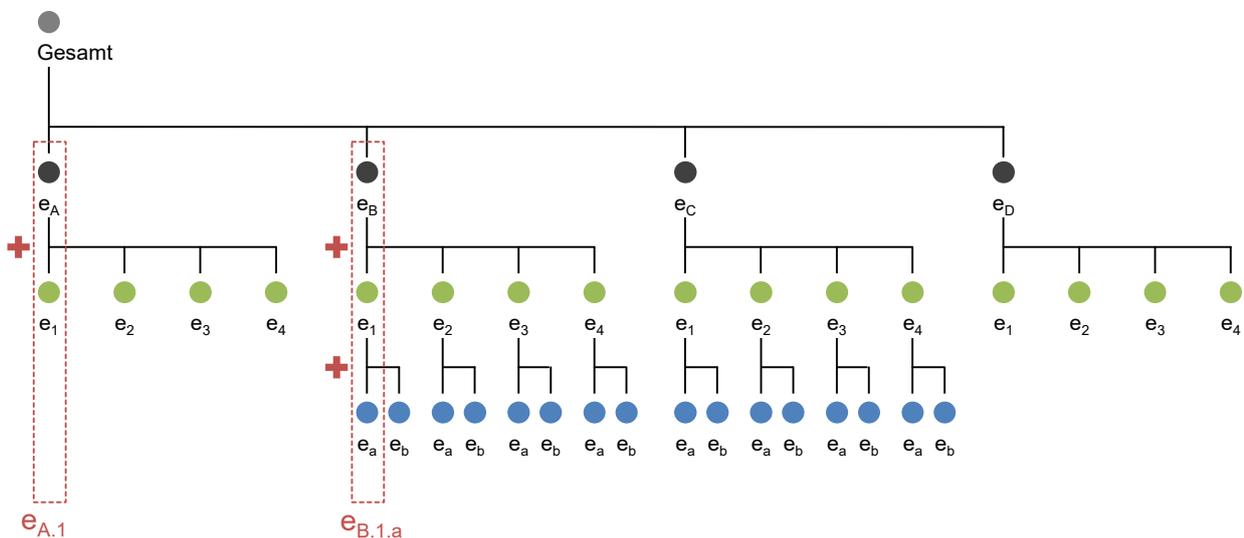


Abbildung 33: Anwendung des Allokationsschemas zur Bildung von THG-Kennzahlen für Dienstleistungen⁴²⁶

Ein zentrales Thema bei der Vorstellung der Allokationsregeln ist die Frage der Gewichtung von Mengenströmen. Für den Fall, dass eine Gewichtung sinnvoll ist, geht es u. a. um die Ermittlung geeigneter Gewichtungsfaktoren. Hierbei wird es auch wieder um Kompromisse zwischen Genauigkeit auf der einen und Umsetzbarkeit auf der anderen Seite gehen, wie es bereits an

⁴²⁶ eigene Darstellung

anderen Stellen der Verfahrensentwicklung beschrieben wurde. Allgemein basiert die Ermittlung von Gewichtungsfaktoren auf Variablen und Parametern.

Schritt 1: Zuordnung von THG-Emissionen der Kategorien „Gebäude/ Hof“ und „Prozesse“

Im ersten Schritt werden die THG-Emissionen der Kategorien „Gebäude/ Hof“ sowie „Logistikprozesse“ den Dienstleistungsbereichen A, B, C und D zugeordnet. Hierzu wird eine Grundsatzentscheidung getroffen. Die THG-Emissionen aus der Kategorie „Gebäude/ Hof“ werden ungewichtet auf die Dienstleistungsbereiche verteilt. Bei dieser Entscheidung wird an vorherige Argumentationen angeknüpft. Es wurde bereits beschrieben, dass die Lagerdauer einen geringen Einfluss auf die Entstehung von THG-Emissionen hat. Ebenso wurde bereits die Bedeutung der leistungsmengenneutralen Emissionsquellen in der Kategorie „Gebäude/ Hof“ erläutert.

Anders stellt es sich für die Kategorie „Logistikprozesse“ dar. Hier empfiehlt sich aus Kausalitätsgründen eine gewichtete Zuordnung. Im Falle der Lagerung bzw. der Kommissionierung kommen prozesstechnische Anlagen häufiger zum Einsatz als im Falle des reinen Umschlags. Dies ist in Abbildung 34 beispielhaft veranschaulicht.

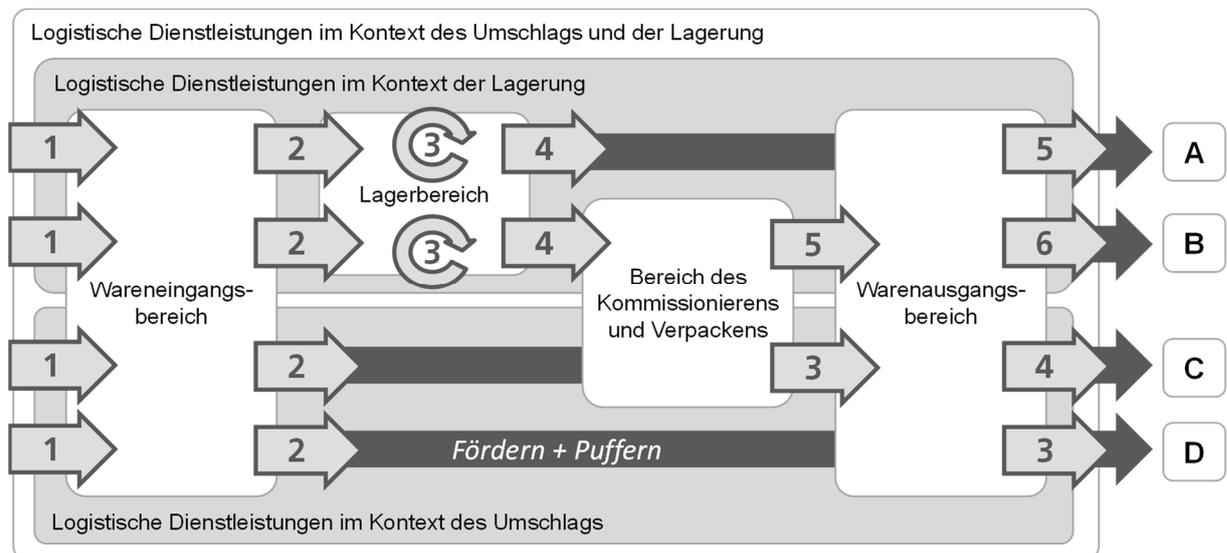


Abbildung 34: Vereinfachte Abschätzung zur Inanspruchnahme prozesstechnischer Elemente⁴²⁷

Auf Basis von Abbildung 27 zeigt Abbildung 34 eine generische Materialflussbeschreibung, die sich auf die Inanspruchnahme der prozesstechnischen Elemente im Kontext der differenzierten Standard-Dienstleistungen bezieht. Die Angaben sind als Vorschlag zu verstehen. Eine Parametrierung der Prozesspfade für den konkreten Einzelfall wird empfohlen.

Wie in Abbildung 34 veranschaulicht ist, können im Falle der Lagerung und des Warenausgangs ohne Kommissionierung (DL-Bereich A) prinzipiell fünf Hauptbewegungen identifiziert werden. Im gegebenen Beispiel sind dies Warenannahme, Einlagerung, Umlagerung (zur Optimierung der Lagerraumnutzung), Auslagerung, Warenversand. Beim DL-Bereich B kommt dann eine weitere Bewegung durch die Kommissionierung hinzu. Rücklagerungen aufgrund von Teilmengenentnahmen werden in dieser beispielhaften, generischen Betrachtung nicht berücksichtigt. Ein gerichteter Idealprozess wird angenommen. Der Förderaufwand des DL-

⁴²⁷ eigene Darstellung

Bereichs B wird mit dem Wert 6 beschrieben. Im Falle des Umschlags und des Warenausgangs mit Kommissionierung (DL-Bereich C) beträgt der Faktor zur Beschreibung des Förderaufwands 4, da keine Prozesse der Ein-, Um- und Auslagerung vorliegen, sondern die Waren nach dem Wareneingang direkt in die Kommissionierungszone befördert werden. Beim DL-Bereich D liegen drei Hauptbewegungen vor, nämlich: Wareneingang bzw. -annahme, Verbringung an den Zielort und Warenausgang bzw. -versand.

Für den Fall, dass an einer Logistikimmobilie unterschiedliche Dienstleistungsbereiche relevant sind, kann mittels der Häufigkeit der Inanspruchnahme prozesstechnischer Elemente ein pragmatischer Allokationsansatz beschrieben werden, ohne dass eine vergleichsweise aufwändige Materialfluss- und Verbrauchsanalyse durchzuführen ist. Gleichzeitig werden elementare sachlogische Zusammenhänge berücksichtigt. Die Optimierung des beschriebenen Ansatzes und die Bestimmung geeigneter Parameter für verschiedene Logistikimmobilien ist eine Aufgabe für zukünftige Arbeiten.

Zur Bestimmung von Gewichtungsfaktoren für die Kategorie „Logistikprozesse“ kann Formel 9 angewendet werden. Heranzuziehen sind hierbei die Versandmengen (VM) der Teilsommen 1 bis 6. Entsprechend der Häufigkeit der Inanspruchnahme übergeordneter Prozesselemente sind die Variablen n_A bis n_D zu parametrisieren. Im gegebenen Beispiel würden die Variablen wie folgt parametrisiert werden: $n_A = 5$, $n_B = 6$, $n_C = 4$ und $n_D = 3$.

Formel 9: Gewichtungsfaktoren zur Differenzierung unterschiedlicher Prozessabläufe und prozesstechnischer Komponenten

$$\alpha_A = \frac{n_A \times TS_1 [VM]}{Basis [VM]}$$

$$\alpha_B = \frac{n_B \times (TS_2 + TS_3) [VM]}{Basis [VM]}$$

$$\alpha_C = \frac{n_C \times (TS_4 + TS_5) [VM]}{Basis [VM]}$$

$$\alpha_D = \frac{n_D \times TS_6 [VM]}{Basis [VM]}$$

mit

$$Basis [VM] = n_A \times TS_1 [VM] + n_B \times (TS_2 + TS_3) [VM] + n_C \times (TS_4 + TS_5) [VM] + n_D \times TS_6 [VM]$$

Für den Fall, dass nur ein Dienstleistungsbereich vorliegt, kann der zuvor beschriebene Verfahrensschritt übersprungen werden. Dann sind sämtliche THG-Emissionsanteile dem betreffenden Dienstleistungsbereich zu zuordnen.

Für die Zuordnung der THG-Emissionen „Gebäude/ Hof“ und „Logistikprozesse“ auf die Dienstleistungsbereiche A, B, C und D können nun die folgenden Formeln angewendet werden. Die Formeln beschreiben für ein einzelnes Versandobjekt die spezifisch relevante Teilmenge der THG-Emissionen (z. B. e_A). Durch eine Multiplikation dieses Werts mit der entsprechenden Gesamtzahl (z. B. TS_1) ergibt sich die dem DL-Bereich zugeordnete absolute THG-Emissionsmenge (z. B. E_A). Die absoluten Emissionsmengen je Teilbereich bzw. Dienstleistungsmerkmal sind jedoch für das weitere Verfahren nebensächlich und werden im Weiteren nicht explizit erwähnt und ausgewiesen.

Formel 10: Verteilung der THG-Emissionen der Kategorien „Gebäude/ Hof“ und „Logistikprozesse“

$$e_A \left[\frac{g \text{ CO}_2e}{VM} \right] = \frac{\text{Emissionen}_{\text{Gebäude/Hof}} [g \text{ CO}_2e]}{VM_{\text{Gesamt}} [VM]} + \frac{\alpha_1 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesse}} [g \text{ CO}_2e]}{TS_1 [VM]}$$

$$e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2e}{VM} \right] = \frac{\text{Emissionen}_{\text{Gebäude/Hof}} [g \text{ CO}_2e]}{VM_{\text{Gesamt}} [VM]} + \frac{\alpha_2 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesse}} [g \text{ CO}_2e]}{(TS_2+TS_3) [VM]}$$

$$e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2e}{VM} \right] = \frac{\text{Emissionen}_{\text{Gebäude/Hof}} [g \text{ CO}_2e]}{VM_{\text{Gesamt}} [VM]} + \frac{\alpha_3 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesse}} [g \text{ CO}_2e]}{(TS_4+TS_5) [VM]}$$

$$e_D \left[\frac{g \text{ CO}_2e}{VM} \right] = \frac{\text{Emissionen}_{\text{Gebäude/Hof}} [g \text{ CO}_2e]}{VM_{\text{Gesamt}} [VM]} + \frac{\alpha_4 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesse}} [g \text{ CO}_2e]}{TS_6 [VM]}$$

mit $e_{A/B/C/D} \triangleq$ THG-Effizienz Gebäude/Hof, Prozesse (DL-Bereich A/B/C/D)

Schritt 2: Zuordnung von THG-Emissionen der Kategorie „Prozesskälte bzw. -wärme“

Im zweiten Schritt werden nun die THG-Emissionen der Kategorien „Prozesskälte bzw. -wärme“ den Dienstleistungsmerkmalen „1“, „2“ und „4“ zugeordnet. Dienstleistungen mit dem Temperaturmerkmal „5“ erhalten durch den zweiten Allokationsschritt keine weiteren THG-Emissionsanteile.

Zunächst ist ausschlaggebend, ob mehrere Merkmale relevant sind. Wenn ja, dann ist eine weitere Aufteilung der Subkategorien „Prozesskälte“ und „Prozesswärme“ erforderlich. Wenn nein, ist die Umsetzung des zweiten Allokationsschritts einfach, weil die Zuordnung eindeutig ist. Dabei liegt dem Allokationsschritt folgendes Schema zugrunde (vgl. Abbildung 35).

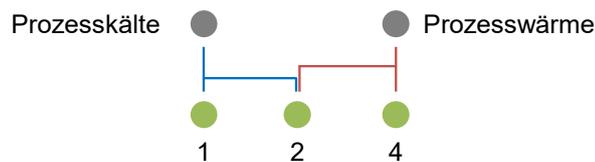


Abbildung 35: Allokation der THG-Emissionen der Subkategorien „Prozesskälte“ und „Prozesswärme“⁴²⁸

Für den Idealfall, dass dezidierte Angaben zum Kälte- bzw. Wärmebedarf einzelner Räume vorliegen und hierüber ein Bezug zu den Produkten und Dienstleistungen hergestellt werden kann, sollten diese Angaben zur Allokation angewendet werden. Alternativ hierzu können Abschätzungs- und Behelfsverfahren eingesetzt werden.

Die THG-Emissionsanteile der „Prozesskälte“ werden prinzipiell nur den Versandmengen zugeordnet, die im Kontext der Tiefkühlung (Teilsomme 7) und der Kühlung (Teilsomme 8) relevant sind. Eine näherungsweise Zuordnung ist mithilfe von Formel 11 möglich.

Formel 11: Gewichtungsfaktoren zur Differenzierung der Prozesskälte

$$\beta_1 = \frac{\text{Effizienz}_{\text{Tiefkühlung}} \left[\frac{kWh}{m^3} \right]}{\left(\text{Effizienz}_{\text{Kühlung}} \left[\frac{kWh}{m^3} \right] + \text{Effizienz}_{\text{Tiefkühlung}} \left[\frac{kWh}{m^3} \right] \right)} \quad (\text{tiefgekühlte Produkte})$$

$$\beta_2 = \frac{\text{Effizienz}_{\text{Kühlung}} \left[\frac{kWh}{m^3} \right]}{\left(\text{Effizienz}_{\text{Kühlung}} \left[\frac{kWh}{m^3} \right] + \text{Effizienz}_{\text{Tiefkühlung}} \left[\frac{kWh}{m^3} \right] \right)} \quad (\text{gekühlte Produkte})$$

Die auf den Kühlraum bezogene Energieeffizienz wird i. Allg. durch die Einheit Stromverbrauch je gekühltes Volumen angegeben (kWh/m^3). Gemäß Dumortier liegt die Energieeffizienz im

⁴²⁸ eigene Darstellung

Falle der Kühlung in Deutschland typischerweise bei rund 25 kWh/ m³ (Jahresstromverbrauch).⁴²⁹ Im Falle der Tiefkühlung liegt dieser Wert bei rund 60 kWh/ m³ bzw. nach Angaben des VDKL 2013 bei einem Wert von rund 58 kWh/ m³.⁴³⁰ Durch Anwendung dieser Faktoren ergeben sich die Gewichtungsfaktoren $\beta_1 = 0,7$ und $\beta_2 = 0,3$.

Für Produkte, die dem Merkmal „2“ entsprechen, kann es zutreffend sein, dass im Sommer ein Kühlbedarf und im Winter ein Heizbedarf besteht. Daher ist es prinzipiell erforderlich, die THG-Emissionen der Subkategorie „Prozesswärme“ den Versandmengen zuzuordnen, die im Kontext der Kühlung (Teilsumme 8) und des Wärmebedarfs (Teilsumme 10) stehen. Eine Zuordnung ist dabei näherungsweise mithilfe von Formel 12 möglich.

Formel 12: Gewichtungsfaktoren zur Differenzierung der Prozesswärme

$$\gamma_2 = \frac{\text{Raum}_{\text{Kühlung}}[\text{m}^3] \times \text{Heiztage}_{\text{Kühlung}}[\text{Tage}]}{\text{Bezugsbasis}} \quad (\text{gekühlte Produkte})$$

$$\gamma_4 = \frac{\text{Raum}_{\text{Wärme}}[\text{m}^3] \times \text{Heiztage}_{\text{Wärme}}[\text{Tage}]}{\text{Bezugsbasis}} \quad (\text{erwärmte Produkte})$$

mit

$$\text{Bezugsbasis} [\text{m}^3 \times \text{Tage}] = \text{Raum}_{\text{Kühlung}} \times \text{Heiztage}_{\text{Kühlung}} + \text{Raum}_{\text{Kühlung}} \times \text{Heiztage}_{\text{Kühlung}}$$

Die Bezugsbasis stellt in diesem Fall eine raum- und zeitbezogene Aktivitätszahl dar. Da Logistikimmobilien häufig auf einzelne Temperaturbereiche spezialisiert sind, ist davon auszugehen, dass eine Aufteilung der Prozesswärme nur in seltensten Fällen erforderlich ist.

Auf Basis von Messergebnissen oder unter Verwendung der ermittelten Gewichtungsfaktoren können die THG-Emissionen der Subkategorien „Prozesskälte“ und „Prozesswärme“ nun den entsprechenden Versandmengen zugeordnet werden (vgl. Formel 13).

Formel 13: Verteilung der THG-Emissionen der Subkategorien „Prozesskälte“ und „Prozesswärme“

$$e_1 \left[\frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{VM}} \right] = \frac{\beta_1 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesskälte}}[\text{g CO}_2\text{e}]}{TS_7[\text{VM}]}$$

$$e_2 \left[\frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{VM}} \right] = \frac{\beta_2 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesskälte}}[\text{g CO}_2\text{e}] + \gamma_2 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesswärme}}[\text{g CO}_2\text{e}]}{TS_8[\text{VM}]}$$

$$e_4 \left[\frac{\text{g CO}_2\text{e}}{\text{VM}} \right] = \frac{\gamma_4 \times \text{Emissionen}_{\text{Prozesswärme}}[\text{g CO}_2\text{e}]}{TS_{10}[\text{VM}]}$$

mit $e_1 \triangleq$ THG-Effizienz Prozesskälte (tiefgekühlte Produkte)

mit $e_2 \triangleq$ THG-Effizienz Prozesskälte bzw. -wärme (gekühlte Produkte)

mit $e_4 \triangleq$ THG-Effizienz Prozesswärme (erwärmte Produkte)

Schritt 3: Zuordnung von THG-Emissionen der Kategorie „Transportverpackungen“

Im dritten und letzten Schritt werden nun die THG-Emissionen der Kategorie „Transportverpackungen“ den Dienstleistungsmerkmalen „a“ und „b“ zugeordnet. Zur Umsetzung dieses Schrittes sind die zuvor gebildeten Subkategorien „Standardverpackungen“ und „Sonderverpackungen“ heranzuziehen. Materialien, die vom allgemeinen Standard abweichen und ausschließlich auftrags- oder kundenspezifisch verwendet werden, sollen dabei nur den

⁴²⁹ Dumortier et al. 2012, S. 30

⁴³⁰ VDKL 2013, S. 47

betreffenden Versandmengen zu geordnet werden. Dieses Ziel kann mit folgender Formel erreicht werden (vgl. Formel 14).

Formel 14: Verteilung der THG-Emissionen der Subkategorien „Standardverpackungen“ und „Sonderverpackungen“

$$e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] = \frac{\text{Emissionen}_{\text{Standardverpackung}}[g \text{ CO}_2 e]}{(TS_2 + TS_4) [VM]}$$

$$e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] = \frac{\text{Emissionen}_{\text{Sonderverpackung}}[g \text{ CO}_2 e]}{(TS_3 + TS_5) [VM]}$$

mit $e_a \triangleq$ THG-Effizienz Standardverpackungen

mit $e_b \triangleq$ THG-Effizienz Sonderverpackungen

Zusammenführung zu dienstleistungsbezogenen Kennzahlen

Nach Durchführung der drei Allokationsschritte liegen einzelne THG-Emissionen vor, die nun in der für einzelne Dienstleistungen erforderlichen Kombination miteinander verknüpft werden. Erinnert sei hierzu an das in Tabelle 20 präsentierte Klassifizierungsschema für Dienstleistungen und das in Abbildung 33 dargestellte Konzept der Kennzahlenbildung. Die Verknüpfung wird mit Formel 15 exemplarisch beschrieben. Eine Gesamtübersicht aller Formeln ist dem Anhang zu entnehmen (vgl. Formel 16).

Formel 15: Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen für Logistikimmobilien (Auswahl)

$$e_{A.1} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] = e_A \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right]$$

mit $e_{A.1} \triangleq$ THG-Effizienz Logistikdienstleistung A.1

("Lagerung und Warenausgang ohne Kommissionierung für tiefgekühlte Produkte")

4.9 Empfehlungen zur Kennzahlenverwendung

Zum Abschluss der Verfahrensbeschreibung werden nun Empfehlungen zur allgemeine Kennzahlenverwendung ausgesprochen.

Kennzahlenverwendung im unternehmensinternen Kontext

Aus der Perspektive der internen Verwendungsabsicht nimmt die Ursachenanalyse für Veränderungen zwischen zwei Bilanzjahren eine zentrale Rolle ein. Der Einfluss der Klimafaktoren ist bei der kennzahlenbasierten Bewertung der Energieverbrauchsentwicklung allgemein zu beachten. Es empfiehlt sich, neben dem kurzfristigen auch den langfristigen Trend zu betrachten (z. B. im Vergleich zum gewählten Basisjahr). Sind die Veränderungen zwischen einzelnen Jahren eher gering, können Unternehmen in Betracht ziehen, z. B. nur alle zwei Jahre eine Bilanz zu erstellen, um den Erhebungs- und Bewertungsaufwand insgesamt zu reduzieren.

Für die Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs empfiehlt sich eine eingehende Beschäftigung mit den Hauptursachen der Emissionsentstehung. Hier können wenige Maßnahmen möglicherweise eine große Hebelwirkung entfalten (z. B. effiziente Beleuchtung). Dabei sollten zunächst die Potenziale bestehender Technologien geprüft und ausgeschöpft werden. Es gilt der allgemeine Grundsatz, THG-Emissionen erst zu vermeiden, dann zu reduzieren und ggf. auch zu kompensieren.

Kennzahlenverwendung in der Kommunikation mit externen Akteuren

Im Kontext der Kommunikation mit Externen sowie des Vergleichs der THG-Effizienz der angebotenen Dienstleistungen (Benchmarking) ist es wichtig, dass Marktteilnehmer und Stakeholder sich auf eine standardisierte Form der Kommunikation verständigen. Perspektivisch bedarf es also einer Richtlinie oder Norm zu diesem Thema. Die präsentierten Initiativen und Projekte zur Weiterentwicklung bestehender Normen im Umfeld der ökologischen Bewertung von Logistiksystemen haben dies zum Ziel. Allerdings können Prozesse der Normung, insbesondere im internationalen Kontext, sehr langwierig sein, da große Beteiligungs- und Abstimmungsprozesse erforderlich sind. Es wird also erst mittel- bis langfristig eine Norm vorliegen, auf die sich Unternehmen beziehen können.

Eine Anwendung der entwickelten Methode, auch außerhalb eines normierenden Kontextes, wird dennoch empfohlen. Unternehmen können so einen vergleichsweise einfachen und unverbindlichen Einstieg in das Themenfeld erhalten, erste Erfahrungen in der THG-Bilanzierung sammeln und im besten Fall durch Investitionen in den Klimaschutz bereits heute wirtschaftliche Vorteile generieren. Darüber hinaus bietet sich die Chance, sich im Markt als engagiertes Unternehmen im Klimaschutz zu positionieren, was u. a. zur Stärkung der Kundenbindung beitragen kann.

Bei der Kommunikation mit externen Akteuren über die THG-Effizienz der angebotenen Dienstleistungen sollte sich der Austausch dabei nicht nur auf die dienstleistungsspezifischen Kennzahlen beschränken. Strukturkennzahlen, Klassifizierungsinformationen sowie die absoluten Kennzahlen zur THG-Emissionsentstehung gemäß Deklarationsschema sind wichtige und relevante Begleiter. Sie ermöglichen Kunden und Stakeholdern eine differenziertere Prüfung der THG-Kennzahlen und bilden die Grundlage einer soliden Entscheidungsfindung. Schlussendlich sollte darauf geachtet werden, dass nur Kennzahlen einer definierten Dienstleistungskategorie zueinander in Beziehung gesetzt werden. Es sollte nicht davon ausgegangen werden, dass die Gegenüberstellung der THG-Gesamtemissionen von Logistikimmobilien zu sinnvollen Ergebnissen führt.

5 Prüfung der Umsetzbarkeit und Einsatzzeignung

In diesem Kapitel folgt eine beispielhafte Anwendung der in den vorausgehenden Kapiteln entwickelten Methode. Ziel ist die Prüfung der Umsetzbarkeit und Einsatzzeignung. Hierzu werden zwei reale Logistikimmobilien in anonymisierter Form vorgestellt. In Bezug auf zwei aufeinander folgende Bewertungsjahre werden jeweils THG-Emissionen berechnet und mithilfe von Kennzahlen werden Veränderungen zwischen den Jahren interpretiert. Mit der kennzahlenbasierten Interpretation wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, sondern lediglich auf wesentliche Zusammenhänge hingewiesen.

5.1 Prüfkriterien

Eine umfassende Prüfung und Validierung der Methode z. B. mit den Kriterien Richtigkeit, Vergleichbarkeit, Robustheit oder Übertragbarkeit kann aufgrund des Neuheitsgrads des Themas und der begrenzten Datenlage nicht erbracht werden. Anhand von Beispielanwendungen lässt sich aber die prinzipielle Umsetzbarkeit und Einsatzzeignung prüfen und nachweisen.

Mit dem Prüfkriterium der Umsetzbarkeit soll die Methode zum einen hinsichtlich des logischen Aufbaus und zum anderen hinsichtlich der Verfügbarkeit der erforderlichen Daten kritisch hinterfragt werden. Mit dem Prüfkriterium der Einsatzzeignung sollen die wesentlichen Funktionen der Methode überprüft werden, nämlich die Eignung zur möglichst genauen und umfassenden Abbildung der Realität (Inventarisierungsfunktion) und die Eignung zur Begleitung von kontinuierlichen Verbesserungsprozessen in Unternehmen (Anregungsfunktion). Eine Vorstellung der gewonnenen Erkenntnisse und Bewertung der genannten Prüfkriterien für die beiden Anwendungsbeispiele erfolgt abschließend in Abschnitt 5.5.

5.2 Emissionsfaktoren

Emissionsfaktoren mit hoher zeitlicher, räumlicher und technologischer Geltungskraft sind für eine aussagekräftige und korrekte THG-Bewertung von zentraler Bedeutung. Sie können sowohl entgeltfreien als auch lizenzpflichtigen Datenbanken entnommen werden (vgl. Unterabschnitt 2.3.4).

Im Allgemeinen lassen sich in lizenzpflichtigen Datenbanken differenziertere und aktuellere Faktoren finden. Gemäß den vertraglichen Bestimmungen und Lizenzvereinbarungen ist eine Veröffentlichung dieser in ihrer Originalfassung nicht zulässig. In dieser Ausarbeitung werden daher Emissionsfaktoren aus öffentlichen Quellen sowie in aggregierter Form⁴³¹ aus kommerziellen Quellen für eine Auswahl von Bewertungselementen publiziert und verwendet (Tabelle 29).⁴³²

⁴³¹ Es werden z. B. unterschiedliche Kunststoffarten und Herstellungsverfahren in einer aggregierten Kennzahl für Kunststoffprodukte zusammengefasst.

⁴³² Diese Werte lassen sich für eine erste Grobbewertung verwenden. Bei einer fortwährenden und gegenüberstellenden Anwendung sollten aber lizenzpflichtige, differenzierte Emissionsfaktoren zur Anwendung kommen. Nur in diesem Fall sind die Voraussetzungen für eine sachgemäße Interpretation/ Gegenüberstellung erfüllt.

Pos.	Bewertungselement	Emissionsfaktor	Quelle
1	Heizen mit Heizöl	2,670 kg CO ₂ e/ kg	DSLV 2013, TTW
2	Fördern/ Transportieren mit Diesel	2,670 kg CO ₂ e/ l	DIN 16258, TTW
4	Elektrizität (Kraftwerk, Standard)	0,513 kg CO ₂ e/ kWh	Probas 2016
4	Elektrizität (Kraftwerk, Ökostrom)	0,020 kg CO ₂ e/ kWh	Abschätzung, Basis: Probas 2016
5	Fernwärmeerzeugung (Kraftwerk)	0,190 kg CO ₂ e/ kWh	UBA 2008
6	Heizöl (Vorkette Brennstoff)	0,420 kg CO ₂ e/ kg	DSLV 2013, WTT
6	Diesel (Vorkette Brennstoff)	0,570 kg CO ₂ e/ l	DIN 16258, WTT
6	Elektrizität (Vorkette Brennstoffe)	0,028 kg CO ₂ e/ kWh	Abschätzung, Basis: FFE 2010
6	Elektrizität (Versorgungsnetz, Standard)	0,023 kg CO ₂ e/ kWh	Abschätzung, Basis: AGEB 2015
6	Elektrizität (Versorgungsnetz, Ökostrom)	0,001 kg CO ₂ e/ kWh	Abschätzung, Basis: AGEB 2015
7	Leichte Kunststoffe (Herstellung Produkt)	2,450 kg CO ₂ e/ kg	Abschätzung, Basis: ecoinvent 3.1
7	Schwere Kunststoffe (Herstellung Produkt)	2,580 kg CO ₂ e/ kg	Abschätzung, Basis: ecoinvent 3.1
7	Einfache Kartonage (Herstellung Produkt)	1,060 kg CO ₂ e/ kg	Abschätzung, Basis: ecoinvent 3.1
7	Beschichtete Kartonage (Herstellung)	1,310 kg CO ₂ e/ kg	Abschätzung, Basis: ecoinvent 3.1
8	Nahverkehr-Lkw (Diesel-Antrieb)	0,170 kg CO ₂ e/ tkm	Abschätzung, Basis: HBEFA 3.2
8	Fernverkehr-Lkw (Diesel-Antrieb)	0,070 kg CO ₂ e/ tkm	Abschätzung, Basis: HBEFA 3.2
9	Kunststoff (Entsorgung)	0,410 kg CO ₂ e/ kg	Abschätzung, Basis: ecoinvent 3.1
9	Papier/ Kartonage (Entsorgung)	0,030 kg CO ₂ e/ kg	Abschätzung, Basis: ecoinvent 3.1

Tabelle 29: Auswahl an THG-Emissionsfaktoren für eine pauschalierte Emissionsbewertung⁴³³

5.3 Anwendungsbeispiel I

Das erste Validierungsbeispiel stellt eine Logistikimmobilie eines Großhändlers für die tägliche Belieferung von Supermärkten mit Obst und Gemüse dar. Die Immobilie hat ihren Sitz zentrumsnah in einer westdeutschen Großstadt.

Strukturkennzahlen

Auf dem ca. 18.000 m² großen Grundstück sind das Logistik- und das Verwaltungsgebäude zentral angesiedelt. Die Außenflächen (Hof) sind von Verkehrs- und Rangierflächen für Lkw geprägt. Bei dem ca. 5.500 m² großen Gebäude handelt es sich um eine Umschlaghalle in Flachbauweise. Die relevanten Versandobjekte sind Kisten/ Kleinbehälter (IFCO-Kisten), die auf Paletten (Europaletten) gestapelt sind. An 304 Tagen im Jahr 2014 und 303 Tagen im Jahr 2013 wurde die Immobilie mit ca. 148 Stunden pro Woche im Dreischichtmodus bewirtschaftet. Die Fördertechnik kann als manuell charakterisiert werden, da ausschließlich Hubwagen und Kommissionierwagen zum Einsatz kommen. Eine Lagerung von Waren findet nicht statt (vgl. Tabelle 30).

Klassifizierung

Am Standort werden eingehende Waren auf Qualität geprüft, sortiert, ggf. portioniert und gemäß den Bestellvorgaben der Filialen kommissioniert. Anschließend werden Waren für den Transport gesichert und zur Abholung per Lkw bereitgestellt. Planmäßig werden Waren nicht gelagert. Die durchschnittliche Verweildauer von Waren am Standort beträgt weniger als einen Tag. Aufgrund der Verderblichkeit von Waren und des Frischeversprechens gegenüber den Endkunden ist eine Bestandsführung nicht möglich. Es findet ein tageszyklischer Waren-

⁴³³ eigene Darstellung – Emissionsfaktoren basieren auf diversen Quellen, die teils aggregiert und näherungsweise abgeschätzt wurden.

umschlag statt. Gemäß dem entwickelten Klassifizierungsschema ist die Dienstleistungskategorie „C“ zutreffend. Die Logistikimmobilie kann als „Cross-Docking Center“ bezeichnet werden.

Die Ware muss permanent auf einem Niveau von rund 12 °C gekühlt werden. Hier kommt eine NH₃-Kälteanlage zum Einsatz. Der Bereich der Kommissionierung folgt einer Standard-Verpackungsvorgabe. Eine Differenzierung der Versandeinheiten hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Verpackungsmaterialien ist nicht erforderlich. Die durch den Standort erbrachte Dienstleistung wird der Position „C.2.a“ zugeordnet (Umschlag und Warenausgang mit Kommissionierung ohne Beachtung von Sonderverpackungsvorgaben für gekühlte Waren).

Größe und Funktion der Logistikimmobilie	
Größe des Grundstücks	18.000 m ²
Grundfläche der Logistikareale	-
Gesamtlogistikfläche (Gebäude)	5.520 m ²
Verkehrsträgeranschluss	<input checked="" type="checkbox"/> Straße
Versandobjekte	<input checked="" type="checkbox"/> Paletten
Relevante Wirtschaftszweige nach NST-2007	<input checked="" type="checkbox"/> A4: Nahrungs- und Genussmittel
Betriebsorganisation der Logistikimmobilie	
Anzahl der Betriebstage	304 Tage pro Jahr
Betriebsbereitschaftsstunden	148 Stunden pro Woche
Relevante Schichten	<input checked="" type="checkbox"/> Normal-/ Frühschicht <input checked="" type="checkbox"/> Spätschicht <input checked="" type="checkbox"/> Nachtschicht
Förder- und Lagertechnik der Logistikimmobilie	
Förder- und Lagertechnik	<input checked="" type="checkbox"/> hauptsächlich manuell (Hubwagen, Stapler, ...)
Art der Lagerung	-

Tabelle 30: Beispiel 1: Strukturkennzahlen der Logistikimmobilie⁴³⁴

THG-Bilanzierung der Betriebsphase

Im Weiteren werden für zwei Folgejahre Berechnungsergebnisse für die Betriebsphase der Logistikimmobilie präsentiert. Zwischen den beiden Bilanzjahren sind die relevanten Verbrauchspositionen unverändert. Dies ist auch der Struktur der Basisdaten zu entnehmen, die im Anhang in Tabelle 46 und Tabelle 47 aufgelistet sind.

Das definierte Temperaturniveau von 12 °C erfordert, dass die Immobilie im Winter beheizt und im Sommer gekühlt wird (d. h. Prozesswärme anstatt Raumwärme). Dabei kommt eine Kälte-Wärme-Anlage zum Einsatz, die mit Heizöl und Strom betrieben wird (Position 1, Position 4

⁴³⁴ eigene Darstellung – dies gilt für alle weiteren Abbildung und Tabellen dieser Arbeit.

und Position 6). Vier Heizöllieferungen pro Jahr über eine Distanz von 25 km werden in der Bilanz als externe, standortnahe Transportprozesse berücksichtigt (Position 8). Das Unternehmen bezieht zertifizierten Ökostrom von seinem Energieversorger.⁴³⁵ Neben der Kälteanlage sind die Flurförderzeuge und die Beleuchtungsanlagen wesentliche Stromverbraucher (Position 4 und 6).

Rund 150 Lieferanten aus Europa versorgen den Standort in Abend- oder in frühen Morgenstunden mit unterschiedlichen Obst- und Gemüsesorten. Tagsüber werden diese Waren den Filialen in mehreren Touren zugestellt. Die Belieferungs- und Auslieferungsaktivitäten werden gemäß Bilanzraum nicht bilanziert. Im Distributionssystem findet ein geschlossener Behältertausch statt. Auf dem Rückweg der Filialbelieferung werden leere Kisten und Paletten transportiert, die dann erneut in den Distributionskreislauf einfließen. Die leeren Kisten müssen vor der Wiederverwendung gereinigt werden. Dieser Arbeitsvorgang findet nicht am betrachteten Standort statt, sondern wird durch einen externen Dienstleister erbracht, der ca. 6,5 km entfernt seinen Firmensitz hat. Der Transportaufwand, der mit der Behälterreinigung verbunden ist (mit ca. 850 Touren pro Jahr), wird bilanziert (Position 8). Die Reinigung als solche ist mit geringen THG-Emissionen verbunden und wird nicht berücksichtigt.

Im Warenausgangsbereich werden neben den Kisten Stretchfolien als Sicherungsmittel für Paletten benötigt (Position 7 und Position 8). Es fallen in vergleichsweise hohem Maße Abfälle an (Position 9). Dies geht auf die ursprüngliche Produkt- und Transportverpackung der eingehenden Waren zurück, die nach der Kommissionierung der Ware in Mehrwegbehältern (IFCO-Kisten) des Distributionssystems nicht mehr benötigt werden. „Mangelware“ wird an soziale Einrichtungen und Zoos abgegeben und durch diese abgeholt. Die Positionen 2, 3 und 5 sind für die Bilanzerstellung nicht relevant.

Deklaration

In Tabelle 31 ist das Ergebnis des ersten Jahres und in Tabelle 32 das Ergebnis des zweiten Jahres abgebildet. In beiden Fällen hat die Hauptkategorie „Prozesskälte bzw. -wärme“ eine besondere Relevanz. Dies ist auf hohen Verbrauch von Heizöl zurückzuführen, der mit der Einhaltung des Temperaturniveaus in den Wintermonaten verbunden ist.

Im ersten Jahr sind die THG-Emissionen mit 428.586 kg CO₂e höher als im zweiten Bilanzjahr (378.290 kg CO₂e). Die Bewertungsunsicherheit ist in beiden Fällen mit einem Wertebereich von - 4,2 % bis + 4,4 % zum Signifikanzniveau 5 % angegeben. Bei den Messgrößen Heizöl- und Strombedarf wird eine hohe Genauigkeit und bei den Materialbedarfen und Abfallaufkommen eine vergleichsweise niedrige Genauigkeit des Verbrauchswerts unterstellt, da hier Mengen manuell erfasst werden. Die Unsicherheit der Emissionsfaktoren wird mit den Pedigree-Werten der Tabelle 51 bewertet (Anhang).

⁴³⁵ Für das Ökostromprodukt liegt ein Prüfsiegel vor, das die Qualitätskriterien der THG-Protokoll Scope 2 Richtlinie erfüllt (vgl. Unterabschnitt 2.3.4).

Name der Immobilie	(anonymisiert)			
Immobilientyp	Komplexe Umschlagereinrichtung (Cross-Docking Center)			
Dienstleistungen	C.2.a			
Bewertungsjahr	Jahr 1			
Hauptkategorien	THG-Emissionen [kg CO ₂ e]	Anteile je Verantwortungsbereich [%]		
		Scope 1	Scope 2	Scope 3
Gebäude und Hof	41.426	0 %	27 %	73 %
Prozesskälte/ -wärme	330.102	81 %	6 %	13 %
Logistikprozesse	15.073	0 %	53 %	47 %
Transportverpackungen	41.985			100 %
Summe	428.586	Untere Grenze ($\alpha = 5\%$)		- 4,2 %
		Obere Grenze ($\alpha = 5\%$)		4,4 %
Ökostrom-Hinweis und ggf. THG-Kompensationsaktivität	100 % zertifizierter Ökostrom			

Tabelle 31: Beispiel 1: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 1)

Name der Immobilie	(anonymisiert)			
Immobilientyp	Komplexe Umschlagereinrichtung (Cross-Docking Center)			
Dienstleistungen	C.2.a			
Bewertungsjahr	Jahr 2			
Hauptkategorien	THG-Emissionen [kg CO ₂ e]	Anteile je Verantwortungsbereich [%]		
		Scope 1	Scope 2	Scope 3
Gebäude und Hof	31.746	0 %	28 %	72 %
Prozesskälte/ -wärme	299.136	80 %	7 %	13 %
Logistikprozesse	14.507	0 %	52 %	48 %
Transportverpackungen	32.901			100 %
Summe	378.290	Untere Grenze ($\alpha = 5\%$)		- 4,2 %
		Obere Grenze ($\alpha = 5\%$)		4,4 %
Ökostrom-Hinweis und ggf. THG-Kompensationsaktivität	100 % zertifizierter Ökostrom			

Tabelle 32: Beispiel 1: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 2)

Kennzahlen

Um die Ergebnisse der THG-Emissionsbewertung richtig zu interpretieren und einander gegenüberstellen zu können, ist eine Prüfung der Warenausgangsleistung in den betreffenden Jahren sinnvoll. Es ergibt sich, dass im ersten Jahr 302.758 Paletten mit einem Gesamtgewicht von rund 117.672 Tonnen versendet wurden (Durchschnittsgewicht einer Palette: 389 kg). Im zweiten Jahr wurde weniger Ware umgeschlagen bzw. versendet. Die Versandmenge beträgt rund 112.229 Tonnen. Bei 284.732 Paletten resultiert hieraus ein Durchschnittsgewicht einer Palette von 394 kg. Zwischen den beiden Jahren geht die Umschlagleistung also um 6 Prozent zurück. Folglich kann ein Teil des Rückgangs der THG-Emissionen hierdurch erklärt werden (insb. Kategorie „Logistikprozesse“).

Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 4.8 werden nun Kennzahlen berechnet. Für die THG-Gesamteffizienz wird die Entscheidung getroffen, die Bezugsgröße Anzahl der Versandeinheiten zu wählen. Gegenüber den Bezugsgrößen Gewicht oder Volumen wird hierdurch der unternehmerischen Planungs- und Entscheidungsbasis besser entsprochen. Die Filialbelieferung erfolgt ausschließlich mit Flachpaletten. Die THG-Emissionen werden also in ein Verhältnis zur Anzahl Paletten gesetzt:

- Jahr 1: 1.415,6 g CO₂e/ Stück bzw. Palette
- Jahr 2: 1.328,6 g CO₂e/ Stück bzw. Palette

Die zwei Kennzahlen spiegeln jeweils die THG-Gesamteffizienz der Logistikimmobilie nach Formel 8, als auch die dienstleistungsbezogene THG-Effizienz nach Formel 16 wider. Der Grund ist, dass am Standort nur eine Dienstleistung relevant ist und eine Allokation nach den in Unterabschnitt 4.8.3 beschriebenen Allokationsschritten nicht erforderlich ist.

Ergebnisinterpretation

In Tabelle 33 ist eine Gegenüberstellung der Einzelergebnisse der zwei Jahre gegeben. Anhand dieser Tabelle wird nun eine detailliertere Ergebnisinterpretation vorgenommen.

Kategorie \ Emissionen	Jahr 1 [kg CO ₂ e]	Jahr 2 [kg CO ₂ e]	Entwicklung in %
Gebäude und Hof	41.426	31.746	- 23,4 %
Prozesskälte bzw. -wärme	330.102	299.136	- 9,4 %
Logistikprozesse	15.073	14.507	- 3,8 %
Transportverpackungen	41.985	32.901	- 21,6 %
Gesamt	428.586	378.290	- 11,7 %
Kennzahl THG-Gesamteffizienz [g CO ₂ e pro Palette]	1.415,6	1.328,6	- 6,1%

Tabelle 33: Beispiel 1: Gegenüberstellung der Effizienz Kennzahlen für zwei Bilanzjahre

Im ersten Bilanzjahr hat das Unternehmen beschlossen, die Beleuchtungstechnik sukzessive von konventioneller Lichttechnik (Leuchtstoffröhren) auf LED-Technik umzurüsten. Die Umrüstung eines ersten Teilbereichs der Halle erfolgte gegen Anfang des zweiten Bilanzjahres und war ein Grund dafür, dass der Strombedarf im zweiten Bilanzjahr um rund 145.000 kWh niedriger ausfiel. Die Umrüstung der Beleuchtung ist als Hauptgrund für die Reduktion der

THG-Emissionen in der Kategorie „Gebäude und Hof“ zu nennen. Im Weiteren konnten durch eine Umstellung des Recyclingkonzepts im zweiten Bilanzjahr Emissionen in der Position 9 (Abfälle) vermieden werden, was sich ebenfalls auf das Ergebnis dieser Kategorie auswirkte. Zudem wurden Mitarbeiter hinsichtlich des sorgfältigeren Umgangs mit Verpackungsmaterialien sensibilisiert. Für beide Aspekte gilt, dass sich der Rückgang der Umschlagleistung positiv auswirkte.

Insgesamt wurden im zweiten Bilanzjahr rund 50.000 kg weniger THG-Emissionen als im Vorjahr hervorgerufen. Bezogen auf die definierte Kennzahl der THG-Gesamteffizienz entspricht dies einer Verbesserung um 6,1 %. Die THG-Emissionen der Kategorien „Prozesskälte bzw. -wärme“ und „Logistikprozesse“ zeigen im Vergleich der beiden Jahre nur geringfügige Unterschiede. Die – 9,4 % in der Kategorie „Prozesskälte bzw. -wärme“ sind auf einen vergleichsweise warmen Winter des zweiten Bilanzjahres zurückzuführen.

5.4 Anwendungsbeispiel 2

Das zweite Validierungsbeispiel stellt eine produktionsnahe Logistikimmobilie eines deutschen Produzenten haushaltschemischer Produkte dar. Einzelhandelsunternehmen im In- und Ausland werden von diesem Produktions- und Logistikstandort zentral versorgt. Dies geschieht teils direkt und teils indirekt über weitere Distributionszentren in den Absatzmärkten.

Strukturkennzahlen

Auf dem ca. 80.000 m² großen Grundstück sind mehrere Produktions-, Lager- und Verwaltungsgebäude angesiedelt, zum Teil als zusammenhängende Gebäudekomplexe. Die zwei Hauptgebäude der Fertigwarenlogistik am Standort haben in Summe eine Grundfläche von 9.300 m². Insgesamt stehen für Lager- und Umschlagvorgänge 15.900 m² zur Verfügung, da Gebäudeteile als Geschossbauten realisiert sind. Fertigwaren werden im vollautomatischen Hochregallager gelagert (ca. 18.000 Palettenstellplätze). In den Kommissionier- und Versandbereichen werden Flurförderzeuge eingesetzt. Relevante Versandobjekte sind Paletten und Pakete (vgl. Tabelle 34).

Klassifizierung

Fertigwaren der Produktion werden durch ein Stetigfördersystem in den Logistikbereich transportiert. Es folgt die vollautomatische Einlagerung in das Hochregallager. Waren werden am Standort zur Harmonisierung von Produktions- und Absatzmengen gelagert. So kann eine hinreichende Lieferfähigkeit bei schwankender Marktnachfrage gewährleistet werden. Die mittlere Lagerdauer beträgt 51 Tage. Die Kommissionierung von Waren und die Versandvorbereitungen bzw. Warenverladung erfolgen in zwei unterschiedlichen Gebäuden (gewachsene Standortstruktur). Die beiden Gebäude sind mit einem Lkw-Shuttle-System verbunden. Bis zu zehn Mal pro Tag transportiert ein 40-Tonnen Lkw palettierte Fertigwaren zwischen den zwei Gebäuden.

Der Produktions- und Logistikstandort ist für die Versorgung von Einzelhandelsunternehmen im In- und Ausland mit unterschiedlichen haushaltschemischen Produkten relevant. Gemäß den Bestellungen der Kunden werden Waren kommissioniert und standardmäßig auf Europaletten verpackt. In geringem Maße sind auch Paketzustellungen relevant. Dies wird als Sonder-Verpackungsprozess verstanden. Eine produktspezifische Temperaturanforderung

liegt nicht vor. Die relevanten Dienstleistungen sind „B.3.a“ und „B.3.b“. Die Logistikimmobilie kann als Lagereinrichtung klassifiziert werden.

Größe und Funktion der Logistikimmobilie	
Größe des Grundstücks	80.000 m ²
Grundfläche der Logistikareale	9.300 m ²
Gesamtlogistikfläche (Gebäude)	15.900 m ²
Verkehrsträgeranschluss	<input checked="" type="checkbox"/> Straße
Versandobjekte	<input checked="" type="checkbox"/> Pakete/ Packstücke <input checked="" type="checkbox"/> Paletten
Relevante Wirtschaftszweige nach NST-2007	<input checked="" type="checkbox"/> A8: Chemische Erzeugnisse
Betriebsorganisation der Logistikimmobilie	
Anzahl der Betriebstage	248 Tage pro Jahr
Betriebsbereitschaftsstunden	120 Stunden pro Woche
Relevante Schichten	<input checked="" type="checkbox"/> Normal-/ Frühschicht <input checked="" type="checkbox"/> Spätschicht <input checked="" type="checkbox"/> Nachtschicht
Förder- und Lagertechnik der Logistikimmobilie	
Förder- und Lagertechnik	<input checked="" type="checkbox"/> hauptsächlich manuell (Hubwagen, Stapler, ...)
Art der Lagerung	<input checked="" type="checkbox"/> hauptsächlich Regallagerung (HRL liegt vor)

Tabelle 34: Beispiel 2: Strukturkennzahlen der Logistikimmobilie

THG-Bilanzierung der Betriebsphase

Im Weiteren werden für zwei Folgejahre Berechnungsergebnisse für die Betriebsphase der Logistikimmobilie präsentiert. Mit Ausnahme des Wechsels von einem konventionellen Stromprodukt zu einem zertifizierten Ökostromprodukt⁴³⁶ gibt es zwischen den beiden Jahren keine Veränderungen der relevanten Berechnungsstrukturen (vgl. Anhang, Tabelle 48 und Tabelle 49). Die Immobilie wird in Wintermonaten beheizt, um eine behagliche Raumtemperatur zu gewährleisten. Dabei wird Fernwärme eines kommunalen Gas- und Dampfturbinenkraftwerks (GuD-Kraftwerk) bezogen. Strom wird ganzjährig für die Förder- und Kommissioniertechnik, die Hallenbeleuchtung sowie für EDV- und IT-Infrastrukturen benötigt.

Produzierte Ware wird vor der Einlagerung ins Hochregal grundsätzlich mit Folie umwickelt, um Störungen bei Ein-, Um- und Auslagerungsvorgängen zu vermeiden. Durch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge kann im HRL die Ladung auf Paletten verschoben

⁴³⁶ Für das Ökostromprodukt liegt ein Prüfsiegel vor, das die Qualitätskriterien der THG-Protokoll-Scope-2-Richtlinie erfüllt (vgl. Unterabschnitt 2.3.4).

werden, was im schlimmsten Fall zum Absturz der Ware führt. Die initiale Palettenwicklung ist also relevant für die allgemeine Betriebssicherheit im Logistikbereich und wird bilanziert.

In den Kommissionier- und Verpackungsbereichen, die durch das HRL mit Waren versorgt werden, erfolgt die Packstück- bzw. Ladeeinheitenbildung. Dabei setzt der Prozess des Verpackens bei Europaletten einen anderen Materialbedarf voraus als bei Paketen. Für Europaletten sind Kunststoffprodukte (Wickelfolie) und Kartonprodukte (Zwischenlagen, Anti-Rutsch-Papier „Stopp Gliss“ und Palettenkufen) relevant. Für Pakete sind es Kartonprodukte (Faltkarton) und Füllmaterialien (geschredderte Kartonabfälle der Produktion), die verwendet werden. Daher ist es sinnvoll, zwei unterschiedliche Kennzahlen zu bilden, die diesen Unterschieden gerecht werden. Die Europaletten werden aus einem Paletten-Tauschsystem bezogen. Es werden Paletten verwendet, die über den Wareneingang den Standort erreichen (Belieferung der Produktion mit Produktionsmitteln). Es werden keine Einwegpaletten verwendet.

Deklaration

In Tabelle 35 ist das Bilanzergebnis des ersten und in Tabelle 36 das Bilanzergebnis des zweiten Jahres abgebildet. In beiden Fällen hat die Hauptkategorie „Gebäude und Hof“ eine besondere Relevanz für die THG-Emissionen der Logistikimmobilie. Ebenfalls sind die THG-Emissionen der Kategorie „Transportverpackungen“ relevant, insbesondere nach der Umstellung auf zertifizierten Ökostrom.

Im ersten Bilanzjahr entstehen THG-Emissionen in Höhe von ca. 1.263 Tonnen CO₂e. Davon gehen zwei Drittel der Emissionen auf den Bereich Gebäudeenergie zurück. Hier haben der Strombedarf und die Fernwärme eine relative Bedeutung. Die Hauptkategorien Prozessenergie und Materialien sind in ihrer Bedeutung für die gesamten THG-Emissionen der Immobilie ähnlich zueinander. Abfälle sind insgesamt von geringer Bedeutung. Die Bewertungsunsicherheit ist mit - 4,4 % und + 4,6 % zum Signifikanzniveau 5 % angegeben. Bei den Messgrößen für den Bereich Energie wird eine vergleichsweise hohe Genauigkeit unterstellt. Für Materialien und Abfälle ist die Genauigkeit niedriger angenommen (vgl. Anhang, Tabelle 51).

Im darauf folgenden, zweiten Bilanzjahr entstehen THG-Emissionen in Höhe von ca. 469 Tonnen CO₂e. Die Reduktion zum Vorjahr ist auf die Umstellung von konventionellem Strombezug auf zertifizierten Ökostrombezug zurückzuführen. Der Effekt ist insbesondere in der Kategorie „Logistikprozesse“ feststellbar, da hier nur elektrisch betriebene Anlagen abgebildet werden. Insgesamt erfährt durch diese Maßnahme die Kategorie Materialien eine höhere Bedeutung (ca. 33 % statt zuvor ca. 18 %). Für die Bewertungsunsicherheit, die auf einer Gewichtung der Einzelpositionen nach der relativen THG-Bedeutung basiert, bedeutet dies eine Vergrößerung des Konfidenzintervalls. Die Bewertungsunsicherheit ist im zweiten Bilanzjahr mit - 5,0 % und + 5,2 % zum Signifikanzniveau 5 % angegeben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bedeutung relativ unsicherer Emissionsfaktoren insgesamt zugenommen hat (vgl. Anhang, Tabelle 52).

Name der Immobilie	(anonymisiert)			
Immobilientyp	Komplexe Lagereinrichtung (Fertigwarenlager)			
Dienstleistungen	B.3.a und B.3.b			
Bewertungsjahr	2013			
Hauptkategorien	THG-Emissionen [kg CO ₂ e]	Anteile je Verantwortungsbereich [%]		
		Scope 1	Scope 2	Scope 3
Gebäude und Hof	833.695	0 %	84 %	16 %
Prozesskälte/ -wärme	-	-	-	-
Logistikprozesse	206.952	0 %	89 %	11 %
Transportverpackungen	221.955			100 %
Summe	1.262.601	Untere Grenze ($\alpha = 5\%$)		- 4,4 %
		Obere Grenze ($\alpha = 5\%$)		4,6 %
Ökostrom-Hinweis und ggf. THG-Kompensationsaktivität	-			

Tabelle 35: Beispiel 2: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 1)

Name der Immobilie	(anonymisiert)			
Immobilientyp	Komplexe Lagereinrichtung (Fertigwarenlager)			
Dienstleistungen	B.3.a und B.3.b			
Bewertungsjahr	2014			
Hauptkategorien	THG-Emissionen [kg CO ₂ e]	Anteile je Verantwortungsbereich [%]		
		Scope 1	Scope 2	Scope 3
Gebäude und Hof	304.414	0 %	78 %	22 %
Prozesskälte/ -wärme	-	-	-	-
Logistikprozesse	12.217	0 %	59 %	41 %
Transportverpackungen	152.793			100 %
Summe	469.424	Untere Grenze ($\alpha = 5\%$)		- 5,0 %
		Obere Grenze ($\alpha = 5\%$)		5,2 %
Ökostrom-Hinweis und ggf. THG-Kompensationsaktivität	100 % zertifizierter Ökostrom			

Tabelle 36: Beispiel 2: Deklaration der THG-Emissionen der Logistikimmobilie (Jahr 2)

Kennzahlen

Die Beschreibung der Warenausgangsleistung erfolgt anhand der Versandeinheiten Paletten und Pakete. Wie zuvor beschrieben sind dies die zwei relevanten Versandeinheiten. Für die Darstellung der THG-Gesamteffizienz wird die Bezugsgröße Gewicht verwendet, um mengenbezogene Verschiebungseffekte zwischen den beiden unterschiedlich großen Versandeinheiten auszuschließen (vgl. Unterabschnitt 4.8.1).

Es ergibt sich, dass im ersten Bilanzjahr 374.716 Paletten (durchschnittliches Gewicht inkl. Transportverpackung: 392 kg je Palette) und 4.785 Pakete (durchschnittliches Gewicht inkl. Transportverpackung: 14,1 kg je Paket) versendet wurden. Im zweiten Bilanzjahr waren es 377.071 Paletten (mit 405,0 kg je Palette) und 6.621 Pakete (mit 15,8 kg je Paket). Es liegt also insgesamt ein moderater Anstieg der Warenausgangsleistung vor. Dies gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten.

Die THG-Gesamtemissionen werden in ein Verhältnis zum Gesamtversandgewicht gesetzt, da dies eine geeignete gemeinsame Bezugsbasis für Pakete und Paletten bildet:

- Jahr 1: 8,59 g CO₂e/ kg
- Jahr 2: 3,07 g CO₂e/ kg

Für die Ermittlung der dienstleistungsbezogenen THG-Effizienzkennzahlen nach Formel 16 ist eine Anwendung des Allokationsverfahrens gemäß den Ausführungen in Unterabschnitt 4.8.3 erforderlich. Die einzelnen Teilergebnisse der Verfahrensanwendung in den beiden Bilanzjahren sind für die Schritte 1 bis 3 in Tabelle 37 und Tabelle 38 aufgeführt. Durch Summenbildung nach dem „Baukastenprinzip“ können so dienstleistungsbezogene Kennzahlen ermittelt werden.

	A	B	C	D	1	2	3	4	a	b
Schritt 1	-	2.742,1	-	-						
Schritt 2					-	-		-		
Schritt 3									567,1	1.976,4

Tabelle 37: Beispiel 2: Teilergebnisse der Allokationsschritte für Dienstleistungen (Jahr 1)

	A	B	C	D	1	2	3	4	a	b
Schritt 1	-	825,2	-	-						
Schritt 2					-	-		-		
Schritt 3									387,9	983,3

Tabelle 38: Beispiel 2: Teilergebnisse der Allokationsschritte für Dienstleistungen (Jahr 2)

Die dienstleistungsbezogenen THG-Kennzahlen lauten also:

- B.3.a: 3.309 g CO₂e/ Palette (Jahr 1) bzw. 1.213 g CO₂e/ Palette (Jahr 2)
- B.3.b: 4.719 g CO₂e/ Paket (Jahr 1) bzw. 1.809 g CO₂e/ Paket (Jahr 2)

Ergebnisinterpretation

In Tabelle 33 ist eine Gegenüberstellung der berechneten Ergebnisse für die beiden Jahre gegeben. Anhand dieser Tabelle wird nun eine detailliertere Ergebnisinterpretation vorgenommen.

Kategorie \ Emissionen	Jahr 1 [kg CO ₂ e]	Jahr 2 [kg CO ₂ e]	Entwicklung in %
Gebäude und Hof	833.695	304.414	- 63,5 %
Prozesskälte bzw. -wärme	-	-	-
Logistikprozesse	206.952	12.217	- 94,1 %
Transportverpackungen	221.955	152.793	- 31,2 %
Gesamt	1.262.601	469.424	- 62,8 %
Kennzahl THG-Gesamteffizienz [g CO ₂ e pro kg Versandmenge]	8,59	3,07	- 64,3 %
Kennzahl Dienstleistung B.3.a [g CO ₂ e pro Palette]	3.309	1.213	- 63,3 %
Kennzahl Dienstleistung B.3.b [g CO ₂ e pro Paket]	4.719	1.809	- 61,7 %

Tabelle 39: Beispiel 2: Gegenüberstellung der Effizienzkenzahlen für zwei Bilanzjahre

Die Umstellung des Strombezugs hat einen großen Einfluss auf das Bilanzergebnis sowohl hinsichtlich der Gesamtemissionen als auch der Kennzahl der relativen THG-Effizienz. Absolut gesehen werden im zweiten Bilanzjahr 793.000 kg CO₂e weniger bilanziert. Dies entspricht einer Reduktion von ca. 63 %. Aufgrund des leichten Anstiegs der Versandmenge konnte die THG-Gesamteffizienz um ca. 64 % verbessert werden. Aufgrund von Änderungen des jeweiligen Durchschnittsgewichts weichen die je Versandeinheit bestimmten Effizienzgewinne von diesem Wert leicht ab.

Anhand der originären Verbrauchspositionen (vgl. Anhang, Tabelle 48 und Tabelle 49) ist zu erkennen, dass der gemessene Energie- und Materialbedarf am Standort zurückgegangen ist. Dies betrifft insbesondere den Fernwärmebedarf, der von 1.834.000 kWh auf einen Wert von 1.187.000 kWh deutlich rückläufig war. Ebenso gingen die eingekauften Mengen an Kartonagen deutlich zurück. Da in diesem Fall Einkaufsmengen und nicht Verbrauchsmengen betrachtet werden, ist der direkte Vergleich der beiden Jahre aber nicht zielführend. Hier bedarf es weiterer Jahresbilanzen, um den allgemeinen Trend in dieser Verbrauchsposition bestimmen zu können (z. B. mittels gleitendem Durchschnittswert).

Beim Rückgang des Fernwärmebedarfs, der erheblich ist, bedarf es eines genaueren Blicks auf die Klimafaktoren der Region (vgl. Abbildung 36, Anhang). Der Abbildung ist zu entnehmen, dass das zweite Bilanzjahr deutlich wärmer als das erste war. Dies ist anhand der höheren Außentemperaturen, insbesondere in den Wintermonaten Januar, Februar und März festzustellen (Kennlinien). Die Heizintensität war im ersten Jahr höher als im zweiten. Aus statistischer Sicht lagen jedoch gleich viele Heiztage vor (Balken).

5.5 Erkenntnisgewinn

Die beiden Validierungsbeispiele veranschaulichen zunächst einmal, wie unterschiedlich Logistikimmobilien strukturiert sein können. Dies lässt sich z. B. auf Basis der relevanten Dienstleistungen und Verbrauchspositionen feststellen. Hinsichtlich der Darstellung der THG-Gesamteffizienz fiel die Wahl in Beispiel 1 auf die Anzahl Versandobjekte und in Beispiel 2 auf das Gesamtgewicht der Waren. Hier waren unterschiedliche Perspektiven der Unternehmen auf die eigenen Prozesse entscheidend. In Beispiel 2 kam hinzu, dass für die zwei unterschiedlichen Versandeinheiten das Gewicht eine sinnvolle gemeinsame Bezugsbasis bildet. Hinsichtlich der aufgestellten Prüfkriterien konnten durch die Beispielanwendungen folgende Erkenntnisse gewonnen werden (vgl. Tabelle 40 und Tabelle 41).

Prüfkriterien	Beispiel 1
Plausibler/ logischer Aufbau und Ablauf des Verfahren	Grundsätzlich wurde das Vorgehen als logisch und plausibel bewertet. Diskussionen gab es bei der Bestimmung einer geeigneten Bezugsgröße für die Ausweisung von dienstleistungsbezogenen Kennzahlen. Es wurde diskutiert, ob es sinnvoller ist, die IFCO-Kisten als Bezugsgröße zu verwenden anstatt der Europaletten, die an die Kunden übergeben werden. Hintergrund ist, dass die Anzahl Kisten je Palette für einzelne Kunden unterschiedlich ist. Die Anzahl der Paletten erschien schlussendlich der plausiblere Weg zu sein, da keine Kisten ohne Paletten an Kunden übergeben werden und die Paletten damit die zentrale Einheit an der Schnittstelle zwischen Logistikdienstleister und Kunde darstellen.
Datenverfügbarkeit	Sämtliche für die Verfahrensanwendung benötigten Daten konnten durch das Unternehmen ermittelt werden. Der Erhebungsaufwand war aber unterschiedlich. Daten zum Energieverbrauch am Standort konnten auf Basis von Jahresabrechnungen recht einfach ermittelt werden. Für die Bewertung der Verpackungs- und Abfallmengen mussten verschiedene Dokumente händisch ausgewertet werden. Dies war vergleichsweise aufwändig. Hinsichtlich der Anzahl der Touren, die mit der Reinigung der Kisten verbunden waren, wurde eine Abschätzung vorgenommen.
Inventarisierungsfunktion	Das System bildet die Realität hinsichtlich wesentlicher Verbraucher und Emissionen prinzipiell korrekt ab. Im Rahmen der Analyse wurde aber über das Abfallaufkommen diskutiert. Nach Einschätzung des Unternehmens liegen keine Möglichkeiten vor, auf eine Reduzierung des Abfallaufkommens hinzuwirken. Die Höhe des Abfallaufkommens wird von externen Entscheidungen wesentlich beeinflusst. Vor dem Hintergrund einer möglichst vollständigen Inventarisierung wird eine Berücksichtigung des Aufkommens und der Entsorgungspfade aber als korrekt bewertet.
Anregungsfunktion	Im Kontext einer klimafreundlichen Gestaltung von Prozessabläufen bestätigt das Verfahren Entscheidungen, die das Unternehmen auch vor dem Hintergrund ökonomischer Zielgrößen getroffen hat. Durch die Umstellung der Beleuchtungstechnik auf eine LED-Lösung konnte der Stromverbrauch reduziert werden, was ökologische und ökonomische Vorteile beinhaltet. Darüber hinaus bezieht das Unternehmen zertifizierten Ökostrom, um einen zusätzlichen Beitrag zur Energiewende in Deutschland zu leisten.

Tabelle 40: Erkenntnisse zur Umsetzbarkeit und Einsetzeignung aus Beispiel 1

Prüfkriterien	Beispiel 2
Plausibler/ logischer Aufbau und Ablauf des Verfahrens	Der Aufbau und der Ablauf des Verfahrens wurden als plausibel und logisch bestätigt. Positiv wurde bewertet, dass durch das Verfahren Verpackungs- und Versandkonzepte unterschieden werden und somit der unternehmerischen Praxis entsprochen wird.
Datenverfügbarkeit	Die Daten, die zur Verfahrensanwendung benötigt werden, konnten durch das Unternehmen prinzipiell ermittelt werden. Es gab jedoch zwei Herausforderungen. Für eines der beiden Gebäude liegt eine gemischte Nutzung vor, d. h. einige Teile des Gebäudes sind der Produktion am Standort zugeordnet, so dass für den Strombedarf eine Bildung von Teilmengen erforderlich war. Es lag aber nur ein Stromzähler für dieses Gebäude vor, so dass eine näherungsweise Abschätzung des relevanten Anteils über die Anzahl von Maschinen/ Anlagen, deren Betriebsstunden sowie mittels Annahmen zum Verbrauch vorgenommen wurde. Des Weiteren gestaltete es sich als schwierig, die Verpackungsmaterialien den beiden Leistungsfeldern im Warenausgang (Paletten- und Paketversand) eindeutig zuzuordnen. Schlussendlich wurde der Ansatz umgesetzt, durchschnittliche Verpackungskennwerte für Paletten und Pakete zu bilden und hierüber eine Hochrechnung für die beiden Leistungsfelder vorzunehmen, auf Basis der Anzahl der Versandeinheiten.
Inventarisierungsfunktion	Alle wesentlichen Verbrauchspositionen werden berücksichtigt. Es ergibt sich daher ein recht vollständiges und umfassendes Bild der THG-Entstehung am Standort, die auf die logistische Leistungserstellung zurückzuführen ist. Dass die initiale Umwicklung von Paletten nach Produktionsende in den Bilanzraum der Logistik fällt, wurde zunächst kontrovers diskutiert. Schlussendlich war jedoch der Grund für die Folienwicklung ausschlaggebend für die Berücksichtigung dieser Verbrauchsmenge (Ladungssicherung für die automatische Einlagerung ins HRL).
Anregungsfunktion	Durch die Bilanzierung der THG-Emissionen wurden die wesentlichen Hebel für eine möglichst klimaschonende Leistungserstellung identifiziert. Dass es bei der Auswahl von Ökostromprodukten auf eine genaue Prüfung der Ökostromkriterien ankommt, war für das Unternehmen eine neue Information. Für das zweite Bilanzjahr wurde ein Stromanbieter mit einem hochwertigen Ökostromprodukt ausgewählt. Der Einfluss der äußeren Umgebungstemperatur auf den Heizbedarf war erheblich, wodurch sich die Interpretation der Ergebnisse im Vergleich zwischen den beiden Jahren als schwierig darstellte. Das Unternehmen strebt daher an, nicht nur Jahreswerte zu vergleichen, sondern auch eine Einordnung im Kontext eines langfristigen Mittels vorzunehmen.

Tabelle 41: Erkenntnisse zur Umsetzbarkeit und Einsatzzeichnung aus Beispiel 2

Durch die beiden Anwendungsbeispiele konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die auch in die Methodenentwicklung eingeflossen sind. Die Umsetzbarkeit und Einsatzzeichnung kann grundsätzlich positiv bestätigt werden. Allerdings stellt die begrenzte Datenverfügbarkeit eine wesentliche Herausforderung dar, wie beschrieben wurde. Es wird daher die Durchführung einer Vorbereitungsphase empfohlen, um die Datenverfügbarkeit im Einzelfall vor Methoden-anwendung zu überprüfen und fehlende Daten im Verlauf eines Jahres gezielt zu erheben.

Eine umfassende Validierung der Methode konnte aufgrund des Neuheitsgrads des Themas und der als recht begrenzt einzustufenden Datenlage nicht vorgenommen werden. Es ist also ein wichtiger Folgeschritt, auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse die Aspekte der Richtigkeit, der Übertragbarkeit und der Vergleichbarkeit von Ergebnissen statistisch zu untersuchen und in diesem Kontext geeignete Vergleichs- und Referenzwerte zu bestimmen (z. B. für ein Benchmarking).

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zum Abschluss der wissenschaftlichen Untersuchung werden die geleisteten Arbeiten zusammengefasst (Abschnitt 6.1), kritisch reflektiert (Abschnitt 6.2) und Folgeschritte für die Wissenschaft und Forschung abgeleitet (Abschnitt 6.3).

6.1 Zusammenfassung

Gegenstand dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung sind Untersuchungen zu Treibhausgas-Emissionen, die durch den Betrieb von Logistikimmobilien hervorgerufen werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung der wissenschaftlichen Ausarbeitung fehlt es an einer standardisierten Bewertungsmethode für diesen relevanten Teil der Logistikkette. Hinsichtlich der Entstehung von THG-Emissionen kann die Relevanz näherungsweise mit 9 % beschrieben werden, wie in dieser Arbeit analysiert wurde. In dieser Ausarbeitung ist nicht nur ein umfassendes Regelwerk für die THG-Bilanzierung der Betriebsphase von Logistikimmobilien entwickelt worden, sondern auch ein komplementäres Allokationsverfahren zur Bestimmung von THG-Effizienzkennzahlen für den Gesamtstandort und dort erbrachte Dienstleistungen. Diese methodische Weiterentwicklung ist wichtig, um die Vollständigkeit, Genauigkeit und Aussagekraft der allgemeinen THG-Bilanzierung von logistischen Versorgungsketten zu erhöhen. Außerdem kann hierüber die Verbreitung von ganzheitlichen Klimaschutzkonzepten in der Logistikbranche gefördert werden.

Die methodische Weiterentwicklung basiert auf den Grundsätzen des internationalen THG-Protokolls, den Vorgaben der ISO-Normenreihe 14064-1 und den Empfehlungen der DIN ISO/TR 14069. Hinsichtlich des entstandenen Regelwerks zur THG-Bilanzierung stellt die Methode letztendlich eine Spezifizierung von allgemeingültig formulierten Berechnungsregeln für Logistikimmobilien dar. Bei der Methodenentwicklung wurde darauf geachtet, dass sich die Ergebnisse in bestehende Umwelt- und Klimaschutzprogramme von Logistikunternehmen integrieren lassen (z. B. GRI-Nachhaltigkeitsberichterstattung, Umweltmanagementsysteme ISO 14001 und EMAS). Gemäß einem ganzheitlichen Verständnis zu Emissionsquellen deckt die Methode die Verbrauchs- und Aufkommenspositionen Energie, Materialien und Abfälle ab und bezieht die Prozesse und Strukturen auf dem Betriebshof sowie innerhalb von Gebäuden mit ein.

Es wurde gezeigt, dass Logistikimmobilien hinsichtlich ihrer Funktionalität, der relevanten Prozessabläufe sowie der baulichen und technischen Ausstattungsmerkmale sehr unterschiedlich sein können. Diese Unterschiede sind für die Ableitung aussagekräftiger Kennzahlen relevant. In dieser Ausarbeitung wurde unter Beachtung der aufgezeigten Unterschiede sowie der Anforderungen der Norm DIN ISO 14045 zur Ökoeffizienz-Bewertung ein neues, komplexes Kennzahlensystem entwickelt, das Bezug auf die Gesamteffizienz sowie die Effizienz einzelner Dienstleistungen nimmt. Bei der Differenzierung dienstleistungsbezogener Emissionskennzahlen wurden ausgewählte, als wesentlich bewertete Unterschiede berücksichtigt.

Entsprechend den Empfehlungen der VDI-Richtlinie 4400 sollten Strukturkennzahlen bei der Gegenüberstellung von Effizienzkennzahlen allgemein Beachtung finden. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurde daher ein Steckbrief zur Erfassung von Strukturkennzahlen erarbeitet. Mit

diesem Steckbrief werden die elementaren Unterschiede von Logistikimmobilien in prägnanter Form sichtbar. Dies erleichtert eine sachgemäße Gegenüberstellung unterschiedlicher Logistikimmobilien (z. B. im Rahmen von Benchmarking-Aktivitäten). Darüber hinaus wurden zentrale Klimafaktoren vorgestellt, die ebenfalls Einfluss auf das Berechnungsergebnis nehmen können und bei einer Gegenüberstellung allgemein berücksichtigt werden sollten (z. B. Heizbedarf eines Jahres).

Die wissenschaftliche Ausarbeitung liefert konkrete, praxisnahe Antworten auf die gestellten Forschungsfragen. Gemäß den Fragen 1, 2 und 3 wurden Regeln spezifiziert und Allokationsvorschriften festgelegt. Gemäß der Frage 4 wurde ein übergeordneter Interpretationsrahmen geschaffen (Strukturkennzahlen, Klimafaktoren). Der Nachweis der prinzipiellen Umsetzbarkeit und Eignung des Verfahrens wurde anhand von zwei Praxisbeispielen erbracht.

Mit Blick auf die Zukunft kann die entwickelte Methode dazu beitragen, dass Kunden der logistischen Dienstleistung eine Gegenüberstellung verschiedener Logistikdienstleister hinsichtlich der THG-Effizienz angebotener Dienstleistungen vornehmen können. Ebenso ist zu betonen, dass Unternehmen durch die Erweiterung des Bilanzraums möglicherweise auf weitere Klimaschutzmaßnahmen aufmerksam werden, die bislang nicht betrachtet bzw. in ihrer Bedeutung unterschätzt wurden.

6.2 Kritische Würdigung

Die Grundlage der Verfahrensentwicklung bildete das Forschungsprojekt „Green Logistics“, das vom BMBF im Zeitraum von 2010 bis 2015 gefördert wurde. In diesem Rahmen hat sich der Autor mit mehreren Logistikimmobilien aus den Bereichen Paket- und Briefumschlag, Containerumschlag in Binnenhäfen, Stückgutlagerung bzw. -umschlag und der Lebensmittellagerung bzw. -umschlag auseinandergesetzt und CO₂e-Bewertungen für diese Standorte vorgenommen. Die Unternehmen waren größtenteils als assoziierte Partner eingebunden. Es liegen spezifische Geheimhaltungsvereinbarungen vor, die eine Veröffentlichung der einzelnen Berechnungsergebnisse größtenteils verhindern. Die zwei in anonymisierter Form aufbereiteten Beispiele stellen in diesem Kontext eine Ausnahme dar. Letztendlich wurde die Methodik dieser Arbeit aus der Gesamtmenge gesammelter Erfahrungen abgeleitet.

Aus einer wissenschaftstheoretischen Betrachtung heraus liegt ein induktives Vorgehen vor. Gegenüber einer deduktiven Vorgehensweise besteht bei der Induktion grundsätzlich die Gefahr, aufgrund unzureichender Beobachtungen falsche Schlussfolgerungen zu ziehen. Aufgrund des Neuheitsgrad des Themas waren zu Beginn der Arbeit viele methodische Fragestellungen unklar (z. B. welche Prozesse sind relevant und welche Kennzahlen sollten gebildet werden?), die durch diese Arbeit schlussendlich beantwortet wurden. Ein darauf aufbauendes, deduktives Vorgehen (z. B. mittels einer statistischen Befragung) hätte den Umfang der Ausarbeitung überstiegen und verbleibt ein Thema für Folgeuntersuchungen.

Allgemein können methodische Konventionen einen signifikanten Einfluss auf die THG-Bilanz nehmen. Wie in THG-Bilanzen mit Ökostromprodukten umgegangen werden soll, ist in Wissenschaft und Praxis weiterhin umstritten. Es stellt sich die Frage, ob eine THG-Bilanz, über das Ziel der Inventarisierung hinausgehend, auch Ziele der Anregung und Initiierung prüfbarer Verbesserungen und Einsparungen von THG-Emissionen adressieren sollte. Diese Frage wird durch diese Arbeit bejaht. Ökostromprodukte dürfen sich nach Einschätzung des Autors nur

dann emissionsmindernd auf die THG-Bilanz auswirken, wenn reale Verbesserungen und nicht nur buchhalterische Verschiebungen von Ökostromzertifikaten festzustellen sind. Die allgemeine Bedeutung, die der Bezug von zertifiziertem Ökostrom auf eine Bilanz haben kann, konnte durch das Beispiel 2 veranschaulicht werden. Für die Bewertungskategorie Strom wurde buchhalterisch eine Reduktion von einem Jahr auf das nächste in Höhe von ca. 96 % erzielt. Eine nennenswerte Reduktion der Stromnachfrage zwischen den beiden Jahren lag hingegen nicht vor. Eine Alternative zu dieser methodischen Konvention wäre es, die Verwendung von nationalen Durchschnittswerten vorzuschreiben (z. B. nach Marktprinzip, d. h. unter Berücksichtigung des internationalen Handels mit Stromzertifikaten). Dann würden z. B. alle Unternehmen in Deutschland mit demselben Emissionsfaktor für Strom rechnen, was nach Ansicht des Autors zwar die Vergleichbarkeit von Ergebnissen in dieser Bewertungskategorie erhöht, aber zu einem Rückgang der Bewertungsgenauigkeit führt. Aufgrund dieser und auch weiterer methodischer Konventionen ist es unklar, ob das entwickelte Verfahren bereits den Reifegrad hat, ein Branchen-/ Industriestandard zu werden. Übergeordnet bedarf es einer weiteren wissenschaftlichen Prüfung dieser Methode sowie Diskussionen mit Praxisvertretern. Dies verbleibt ebenfalls ein Thema für Folgeuntersuchungen.

Durch die Bilanzraumeingrenzung wurde eine Bewertung der logistischen Leistungserbringung an Standorten festgelegt, die sich über Prozesse des Umschlags, des Lagerns, des Kommissionierens und des Verpackens von Gütern definiert. Weitere wertschöpfende Tätigkeiten (Value-Added Services) wurden hingegen von der Bewertung ausgeschlossen. Es liegt also eine methodische Begrenzung vor. Die bilanzielle Beschränkung wird mit dem Neuheitsgrad des Themas begründet. Nach Einschätzung des Autors ist es zunächst wichtig, ein einheitliches Regelwerk für diejenigen Dienstleistungen aufzustellen, die die Hauptfunktionen von Logistikimmobilien definieren. Value-Added Services ergänzen, wie der Name zum Ausdruck bringt, lediglich die Grundfunktionen der Logistik. Es bleibt Folgeuntersuchungen vorbehalten, die Methode um diese Dienstleistungen zu erweitern.

Die Berechnung von THG-Emissionen basiert auf der mathematischen Verknüpfung von Verbrauchswerten und Emissionsfaktoren. Grundsätzlich besteht dabei die Gefahr, dass sich Unsicherheiten während der Verfahrensanwendung potenzieren (Fehlerfortpflanzung) und Ergebnisse mit geringer Aussagekraft entstehen. Angaben zur statistischen Varianz sind daher wichtig, um Ergebnisse einander gegenüberstellen zu können. Im Rahmen der Ausarbeitung wurde das IPCC-Verfahren zur Bewertung von statistischen Unsicherheiten vorgestellt und im Kontext von Logistikimmobilien beispielhaft angewendet. Das IPCC-Verfahren kann als halbquantitativ bezeichnet werden, da Anwender die Güte einzelner Berechnungsparameter zunächst mit „Schulnoten“ bewerten müssen. Es ist gegenwärtig unklar, ob dieses Verfahren eine Chance auf hohe Verbreitung hat. Möglicherweise besteht bei Industrievertretern primär Interesse daran, eine zentrale Kennzahl und nicht einen Wertebereich auszuweisen. Durch ein Nichtbeachten der statistischen Unsicherheiten kann der Aufwand der Verfahrensanwendung auch deutlich reduziert werden.

Damit externe Akteure, wie z. B. Kunden der logistischen Dienstleistung, einen schnellen und aufschlussreichen Überblick über die THG-Effizienz verschiedener logistischer Dienstleistungen des Standorts erhalten, ist es nach Ansicht des Autors wichtig, ein hohes Maß der Standardisierung zu realisieren und darüber hinaus allgemeine Rahmenfaktoren der Leistungserbringung in strukturierter Form zu benennen. Entsprechende Deklarations-

vorschläge wurden in dieser Ausarbeitung vorgestellt. In Bezug auf das entwickelte Kennzahlenschema wurde eine Begrenzung auf max. 24 Einzelkennzahlen vorgeschlagen. Im Rahmen dieser Ausarbeitung konnte kein Nachweis darüber erbracht werden, ob die Art und der Umfang der Differenzierung von Dienstleistungen vorteilhaft ist. Hierüber wurden Vermutungen geäußert. Weitere Untersuchungen sollten daher kritisch prüfen, welche Vorteile und Nachteile für Logistikdienstleister und Kunden durch die Differenzierung von bis zu 24 Einzelkennzahlen bestehen.

Insgesamt wird nach Einschätzung des Autors durch die wissenschaftliche Ausarbeitung ein wichtiger Entwicklungsschritt getätigt, damit die Emissionsberichterstattung in der Logistik durch die Berücksichtigung von Logistikimmobilien in Zukunft vollständiger und aussagekräftiger wird. Übergeordnet kann dies nach Einschätzung des Autors dazu beitragen, den Stellenwert des Themas Klimaschutz in der Logistik zu erhöhen.

6.3 Ausblick

Insgesamt ist der Wissensstand im Themenfeld nach wie vor als unzureichend und verbesserungsfähig zu bewerten. Daher bieten sich mehrere Themen für weitergehende Untersuchungen und Entwicklungsschritte an.

1. Relevanz der Logistikbranche für die Entstehung von THG-Emissionen in Deutschland

Im Rahmen der wissenschaftlichen Ausarbeitung wurde die Bedeutung des Verkehrs- und Logistiksektors unter Berücksichtigung immobiler Einrichtungen für die Entstehung von THG-Emissionen in Deutschland untersucht. Die amtliche Statistik liefert hierzu gegenwärtig keine eindeutigen Aussagen (Quellprinzip statt Anwenderprinzip). Die Informationen zu den Senken des Endenergiebedarfs in Deutschland sind hingegen vergleichsweise umfangreich. Außerdem liegt zwischen dem Energieverbrauch und der Entstehung von THG-Emissionen ein kausaler Zusammenhang vor. In dieser Ausarbeitung wurde daher der Endenergieverbrauch der Logistikbranche zur näherungsweisen Bestimmung der THG-Gesamtrelevanz ermittelt (nach einer Energieverbrauchsbilanz). Mit dem Ziel, die durch die Logistikbranche tatsächlich hervorgerufenen THG-Emissionen näher zu beschreiben, könnte sich eine Folgeuntersuchung mit Primärenergiefaktoren eingehender beschäftigen und darauf aufbauend mit adäquaten Emissionsfaktoren eine THG-bezogene Analyse für Logistikimmobilien im Bilanzraum WTW vornehmen. Eine TTW-Betrachtung bietet sich nicht an, da THG-Emissionen, die mit dem Bezug von Elektrizität verbunden sind, in diesem Falle nicht berücksichtigt würden.

2. Felduntersuchungen und Erarbeitung von Durchschnittswerten zu Benchmarking-Zwecken

Gemäß der Richtlinienreihe VDI 4400 haben Unternehmen allgemein ein großes Interesse daran, einen kontinuierlichen, systematischen Vergleich des eigenen Unternehmens mit anderen Unternehmen vorzunehmen (Benchmarking). Das wird damit begründet, dass der stetige Vergleich mit dem Wettbewerb letztendlich Verbesserungen im eigenen Unternehmen hervorbringen kann. Diese Logik kann auf das Thema der THG-Bilanzierung und Effizienzbewertung übertragen werden. In diesem Fall wäre es dann wichtig, Durchschnittswerte zur THG-Effizienz als Vergleichsgrundlage zu ermitteln. Hierfür wären entsprechende Felduntersuchungen vorzubereiten, um stichprobenhaft und in anonymisierter Form Daten für ausgewählte Typen von Logistikimmobilien zu erheben. Die Stichprobe sollte

dabei hinreichend groß sein, um aussagekräftige Durchschnittswerte für unterschiedliche Jahre ableiten zu können. Der Einfluss klimatischer Bedingungen eines Jahres ist allgemein zu beachten.

3. Analyse von Kausalitäten und Erweiterung des Interpretationsrahmens

Eine umfangreiche Datenerhebung ist auch Voraussetzung zur Analyse von Kausalitäten und Einflussgrößen. Im Rahmen der Ausarbeitung wurde ein Vorschlag für einen Erfassungsbogen für Strukturkennzahlen erstellt. Mit dem Ziel, den Wissensstand zu erweitern, könnte sich eine Folgeuntersuchung mit der Analyse und mathematischen Beschreibung von Kausalitäten auseinandersetzen (z. B. in Anlehnung an die durch Freis 2017 bestimmten Potenzialklassen). Beispielsweise wäre es für einzelne Typen von Logistikimmobilien wichtig, die Relevanz von Emissionskategorien näher beschreiben und begründen zu können. Auf dieser Basis könnten dann die Handlungsalternativen besser identifiziert, die gesamtwirtschaftliche Minderungspotenziale ermittelt und die politische Maßnahmen (wie z. B. Förderprogramme) definiert werden.

4. Erweiterung der Methode um weitere wertschöpfende Tätigkeiten (Value-Added Services)

Im Rahmen der Methodenentwicklung wurden weitere wertschöpfende Tätigkeiten (Value-Added Services) aus Vereinfachungs- und Vereinheitlichungsgründen als nicht relevant eingestuft. Sie stellen nach Ansicht des Autors eine Nebentätigkeit und keine Kernaktivität von Logistikimmobilien dar. Mit dem Ziel, den Bilanzierungsumfang zu erweitern, könnte sich eine Folgeuntersuchung mit der Frage auseinandersetzen, welche Relevanz Value-Added Services für die Entstehung von THG-Emissionen an Logistikimmobilien haben und wie solche Dienstleistungen in das entwickelte Berechnungsverfahren respektive die entwickelte Kennzahlensystematik integriert werden könnten.

5. Integration von Erkenntnissen aus Prozessen der Gebäudezertifizierung (z. B. DGNB)

Kein Bestandteil dieser Arbeit war das Thema Planen und Bauen von Immobilien unter nachhaltigen Gesichtspunkten, wie es z. B. die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) zum Ziel hat. Für das Thema der Gebäudeenergie liegt aber eine wesentliche Schnittstelle vor, da durch konstruktionsseitige Entscheidungen, vor allem zur Dach- und Fassadengestaltung, der Energieverbrauch der Nutzungsphase wesentlich definiert wird. Um z. B. die Wärmeverluste während der Heizperiode möglichst gering zu halten, empfiehlt sich die Realisierung einer geeigneten Wärmedämmung für die Fassaden und das Dach. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Folgeuntersuchung sollte geprüft werden, wie der Status quo für Bestandsgebäude der Logistik u. a. hinsichtlich Dämmung und Tageslichtnutzung ist und welche technischen Möglichkeiten der nachträglichen Verbesserung der Gebäudeeigenschaften bestehen und wie die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen zu bewerten ist.

6. Internationale Vernetzung und Entwicklung einer ISO-Norm

Mit dieser Ausarbeitung wurde ein Vorschlag für eine standardisierte Bewertungsmethode erarbeitet. Am Beispiel des ISO/IWA-16-Prozesses und der Vorstellung der GLEC-Initiative wurde dargelegt, dass es gegenwärtig weltweit weitergehende Standardisierungsaktivitäten gibt. Beide Initiativen streben an, die Vollständigkeit und Genauigkeit der ökologischen Bewertung von THG-Emissionen in der Logistik sukzessive zu erhöhen. Mit dem Ziel, den

wissenschaftlichen Austausch und die internationale Vernetzung zu fördern, könnte ein größeres, internationales Forschungsprojekt initiiert werden, welches sich explizit und exklusiv mit dem Thema der Entstehung von THG-Emissionen durch den Betrieb von Logistikimmobilien auseinandersetzt und dabei landespezifische Unterschiede und Maßnahmenempfehlungen herausarbeitet (z. B. im Kontext von hohen Anteilen von Atomstrom im Strommix wie in Frankreich oder eines erhöhten Energieverbrauchs für Kühlhäuser in Südeuropa im Vergleich zu Nordeuropa).

Literaturverzeichnis

2009/28/EG: Richtlinie vom 23.04.2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. 2009/28/EG.

2012/27/EU: Richtlinie vom 25.10.2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG. 2012/27/EU.

2013/162/EU: Beschluss der Kommission vom 26.03.2013 zur Festlegung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2013 bis 2020 gemäß der Entscheidung Nr. 406/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. 2013/162/EU.

AGEB (2017): Bilanzen 1990-2013. Online verfügbar unter <http://www.ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2015.html>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

ArbStättV (2004): Arbeitsstättenverordnung – Verordnung über Arbeitsstätten.

Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmanns, Kai (2008): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

BDEW (2016): BDEW-Leitfaden „Stromkennzeichnung“. Umsetzungshilfe für Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Erzeuger und Lieferanten von Strom zu den Bestimmungen über die Stromkennzeichnung (§ 42 Abs. 1 bis 8 EnWG 2011 i. V. m. §§ 78 und 79 EEG 2014). Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.

BetrSichV (2015): Betriebssicherheitsverordnung. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln.

BGB (o. J.): Bürgerliches Gesetzbuch, verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/_94.html, zuletzt geprüft am 04.01.18

Bienert, Sven (2005): Bewertung von Spezialimmobilien. Risiken, Benchmarks und Methoden. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Bleicher, Knut (2011): Das Konzept Integriertes Management. Visionen – Missionen – Programme. 8., überarbeitete Aufl. Frankfurt am Main: Campus Verlag GmbH (Business 2011).

Bleisch, Günter; Langowski, Horst-Christian; Majschak, Jens-Peter (2014): Lexikon Verpackungstechnik. 2. Aufl. [stark überarb., erg. und erw.]. Hamburg: Behr.

BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMUB (2015a): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 7. April 2015. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

- BMUB (2015b): Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr reduzieren. Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/flaecheninanspruchnahme-fuer-siedlungen-verkehr), zuletzt aktualisiert am 08.04.2015, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele: Unterrichtung durch die Bundesregierung: Drucksache 18/10370. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger-verlag.de/fileadmin/Betrifft-Recht/Dokumente/edrucksachen/pdf/1810370.pdf>.
- Bohne, Dirk (2014): Technischer Ausbau von Gebäuden. Und nachhaltige Gebäudetechnik. 10. aktual. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Borken, Jens; Patyk, Andreas; Reinhardt, Guido A. (1999): Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Einsatz von Nutzfahrzeugen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Bosshardt, Frank W. (1999): Ökoeffizienz. Das Leitmotiv des World Business Council for Sustainable Development. In: Ernst Ulrich Weizsäcker und Jan-Dirk Seiler-Hausmann (Hg.): Ökoeffizienz. Management der Zukunft. Basel, s.l.: Birkhäuser Basel (Wuppertal Texte).
- Bretzke (2014): Nachhaltige Logistik. Zukunftsfähige Netzwerk- und Prozessmodelle. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Bulwiengesa (2015): Logistik und Immobilien 2015. Viele Perspektiven. Eine Studie.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2010): Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5. BAuA.
- Bundesregierung (2014): Kabinett beschließt Aktionsprogramm. Klimaschutzziel bis 2020 erreichbar. Klimaschutzziel bis 2020 erreichbar. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Online verfügbar unter <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/12/2014-12-03-aktionsprogramm-klimaschutz-2020.html>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- Chmielewski, Annette (2007): Entwicklung optimaler Torbelegungspläne in Stückgutspeditonsanlage. Dissertation: TU Dortmund.
- Ciroth, Andreas; Muller, Stéphanie; Weidema, Bo; Lesage, Pascal (2016): Empirically based uncertainty factors for the pedigree matrix in ecoinvent. In: The International Journal of Life Cycle Assessment (Volume 21), S. 1338–1348.
- Clausen, Uwe (2016): CO₂-Bilanz – Multimodale Logistikknoten: Erweiterung des „Methodenbaukastens CO₂-Bilanz“ zur exakteren Ermittlung und Zuordnung von Umwelteffekten in Multimodalen Logistikknoten, Abschlussbericht IGF-Vorhaben N17961 N/1 vom 18.04.2016.

Clausen, Uwe; Geiger, Christiane (Hg.) (2013): Verkehrs- und Transportlogistik. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch).

CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz (2017): Gesetz zur Stärkung der nichtfinanziellen Berichterstattung der Unternehmen in ihren Lage- und Konzernlageberichten vom 11.04.17.

Dena (2017): Zukunft Haus: Energie sparen. Wert gewinnen. Online verfügbar unter <http://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-2014.html>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

DGNB (2017): Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. Online verfügbar unter <http://www.dgnb.de/de/>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

DIN 239 (1990): Verpackung. Terminologie, Prüfung, Maßordnung, Markierung, Kennzeichnung, Lieferbedingungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN 30781-1 (1989): Transportkette. Grundbegriffe. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN 6730 (1985): Papier und Pappe. Begriffe. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 16247-1 (2012): Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN EN 16258 (2013): Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr). Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN ISO 14001 (2015): Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Verwendung. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN ISO 14040 (2009): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN ISO 14044 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN ISO 14045 (2012): Umweltmanagement – Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN ISO 14064-1 (2006): Treibhausgase – Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN ISO 14064-2 (2006): Treibhausgase – Teil 2: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung, Überwachung und Berichterstattung von Reduktionen der Treibhausgasemissionen oder Steigerungen des Entzugs von Treibhausgasen auf Projektebene. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

- DIN ISO 14064-3 (2006): Treibhausgase – Teil 3: Spezifikation mit Anleitung zur Validierung und Verifizierung von Erklärungen über Treibhausgase. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN ISO 50001 (2011): Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN ISO 9001 (2015): Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN ISO/TR 14069 (2013): Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen für Organisationen – Leitfaden für die Anwendung der ISO 14064-1. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN ISO/TS 14067 (2013): Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN V 18599-1 (2016): Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIW (Hg.) (2015): Verkehr in Zahlen. Unter Mitarbeit von Sabine Radke: Deutschland; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. 44. Jg. Hamburg: Dt. Verkehrsverlag.
- Dobers et. al. (Hg.) (2014): Comparability of the environmental effects of logistics services: Sector guidance for ecological assessments. Unter Mitarbeit von Grischa Meyer, Jörg Friedrichs, Gordon Mauer, Gerhard J. Schmitt, Uwe Clausen, Marc Schneider und David Rüdiger. Transport Research Arena. Paris.
- Dobers, Kerstin (2011): Bewertung der Ökoeffizienz von Logistiksystemen am Beispiel der Biomassebereitstellung. Dissertation TU Dortmund: Verlag Praxiswissen
- Draeger, Susan (2010): Vergleich des Systems des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen mit internationalen Systemen. Forschungsendbericht vom 28. Oktober 2010.
- DSL (2013): Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258. 2. aktualisierte Aufl. (Stand: März 2013). Unter Mitarbeit von Martin Schmied und Wolfram Knörr. Hg. v. Deutscher Speditions- und Logistikverband. Bonn, München.
- Duden (2017): Online-Wörterbuch. Online verfügbar unter <http://www.duden.de/suchen/dudenonline/Immobilie>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- Dumortier, Robert; Lang, Thomas; Schmutz, Beat (2012): Elektrizitätsbedarf fürs Kühlen in der Schweiz. Hg. v. Schweizerischen Vereins für Kältetechnik. Zürich.
- DVZ (2017): EU einigt sich beim Emissionshandel für den Luftverkehr. Online verfügbar unter <http://www.dvz.de/rubriken/politik/single-view/nachricht/eu-einigt-sich-beim-emissionshandel-fuer-den-luftverkehr.html>, zuletzt geprüft am 19.11.2017

DW (2016): Brexit makes it harder to dole out EU climate burdens. Online verfügbar unter <http://www.dw.com/en/brexit-makes-it-harder-to-dole-out-eu-climate-burdens/a-19414911>, zuletzt aktualisiert am 20.07.2016, zuletzt geprüft am 04.01.2018

DWD (2017): Zeitreihen und Trends. Sonnenschein pro Jahr als Gebietsmittel Deutschland. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <http://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihenuntrends/zeitreihenuntrends.html#buehneTop>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

EEG (2017): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz , EEG) vom 21.07.2014.

EMAS (2001): Verordnung 761/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die freiwillige Beteiligung von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (EMAS).

Emblem, Anne; Emblem, Henry (Hg.) (2012): Packaging technology. Fundamentals, materials and processes. Cambridge, Philadelphia: Woodhead Pub (Woodhead Publishing in materials).

EnWG (2011): Gesetz zur Neuregelung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften vom 26.07.2011.

EUCO 169/14 (2014): Beschluss vom 24.10.2014 zum Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030.

FFE (2010): Basisdaten zur Bereitstellung elektrischer Energie. Stromerzeugung in Deutschland. Hg. v. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.

Figge, Frank; Hahn, Tobias; Schaltegger, Stefan; Wagner, Marcus (Hg.) (2001): Sustainability balanced scorecard. Wertorientiertes Nachhaltigkeitsmanagement mit der Balanced Scorecard. Lüneburg: Center for Sustainability Management.

Flämig, Heike (2014): Logistik und Nachhaltigkeit. In: Heidbrink, Ludger; Meyer, Nora; Reidel, Johannes ; Schmidt, Imke (Hrsg.): Corporate Social Responsibility in der Logistikbranche: Anforderungen an eine nachhaltige Unternehmensführung. Erich Schmidt Verlag

Förstemann, Thorsten (2004): Analyse von Servicedaten medizin-technischer Geräte in Krankenhäusern. Dissertation: Medizinische Hochschule Hannover.

Fouad, Nabil A. (Hg.) (2015): Bauphysik Kalender 2015. Simulations- und Berechnungsverfahren. 15. Jahrgang. Berlin: Ernst & Sohn.

Fraunhofer IML (2015): Green Logistics Projekt. Online verfügbar unter <http://green-logistics-network.com/>.

Freis, Julia (2017): Wechselwirkungen und Auswirkungen von Planungsalternativen auf die Gesamtenergiebilanz und die CO₂-Emissionen von Logistikzentren. Dissertation: TU München.

- GewAbfV (2012): Gewerbeabfallverordnung. Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen.
- GHG Institute (2015): What is a Global Warming Potential? And which one do I use? Hg. v. Michael Gillenwater. Online verfügbar unter <http://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>, zuletzt aktualisiert am 28.06.2010, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- GRI (2017): Sector Supplements, verfügbar unter <https://www.globalreporting.org/information/g4/sector-guidance/sector-guidance/Pages/default.aspx>, zuletzt geprüft am 04.01.18
- Griemert, Rudolf; Römisch, Peter (2015): Fördertechnik. Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen. 11. überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch).
- Gudehus, Timm (2010): Logistik. Grundlagen – Strategien – Anwendungen. 4. aktualisierte Aufl 2010. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Günthner et al. (2014): Forschungsbericht „Das CO₂-neutrale Logistikzentrum – Entwicklung von ganzheitlichen Handlungsempfehlungen für energieeffiziente Logistikzentren“. Garching: Technische Universität München.
- Günthner und Habenicht (2013): Forschungsbericht „Erweiterte Logistiksystemplanung unter Einbeziehung des Energieverbrauchs“. Garching: Technische Universität München.
- Günthner und Hausladen (2013): Ergebnisse Online-Umfrage: Energieeffizienz-Benchmarking für Logistikzentren. Garching: Technische Universität München.
- Hahn, Dietger; Taylor, Bernard (Hg.) (2006): Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. Stand und Entwicklungstendenzen. 9. überarb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hauff, Michael von; Kleine, Alexandro (2014): Nachhaltige Entwicklung. Grundlagen und Umsetzung. 2. aktualisierte Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Heidbrink, Ludger; Meyer, Nora; Reidel, Johannes; Schmidt, Imke (Hg.) (2015): Corporate Social Responsibility. Anforderungen an eine nachhaltige Unternehmensführung. Berlin: Erich Schmidt Verlag
- Heijungs, Reinout; Lenzen, Manfred (2014): Error propagation methods for LCA – A comparison. In: International Journal of Life Cycle Assessment (Volume 19), S. 1445–1461.
- Henss, Thorsten (2014): Die Klimastrategie der Bundesrepublik Deutschland. Eine ökonomische Analyse. Stuttgart: ibidem-Verlag.
- HGB (o. J.): Handelsgesetzbuch, verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/hgb/>, zuletzt besucht am 04.01.18

Hirdes, F. W.; Kern, A.; Kohagen, J. (2005): Internationales Handbuch der Logistikimmobilie. Bd. 1. München: CapTen.

Huber, Stefan (Hg.) (2014): Integration of Transport Logistics Hubs in Freight Transport Demand Modelling. Unter Mitarbeit von Daniela Luft, Jens Klauenberg und Carina Thaller. European Transport Conference. Frankfurt.

IPCC (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume I. General Guidance and Reporting. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2013): IPCC AR 5 WG I. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2015): Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change.

ISI (2015): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013. Unter Mitarbeit von Barbara Schломann, Heinrich Kleeberger, Bernd Geiger, Antje Pich und Edelgard Gruber. Karlsruhe, München, Nürnberg.

ISO/IWA 16 (2015): International harmonized method(s) for a coherent quantification of CO₂e emissions of freight transport.

IWU (2017): Gradtagszahlen in Deutschland – Excel-Mappe, Info & Download. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Klimadaten deutscher Stationen. Hg. v. Institut für Wohnen und Umwelt. Online verfügbar unter <http://www.iwu.de/downloads/tools/>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

JLL (2015): Jones Lang Lasalle Logistikimmobilienreport Deutschland. Gesamtjahr 2014. Frankfurt am Main.

Kaffka, Jan; Clausen, Uwe; Miodrag, Zoran (2015): Allokation von Emissionswerten auf Behälterebene in multimodalen Umschlagsanlagen mittels Simulation. In: Markus Rabe und Uwe Clausen (Hg.): Simulation in Production and Logistics. Stuttgart, Fraunhofer Verlag.

Kalinka, Claudia; Peitz, Christina (2016): Ökostrom: Labels und Tarife. Marktuntersuchung zu niedersächsischen Tarifen und Bewertung gängiger Labels. Hg. v. Verbraucherzentrale Niedersachsen e. V.

Kern, Verena (2017): Hendricks: Deutschland verfehlt Klimaziel. Vom 11. Oktober 2017. Online verfügbar unter <http://www.klimaretter.info/politik/hintergrund/23775-hendricks-deutschland-verfehlt-klimaziel>, zuletzt geprüft am 12.01.2018.

- KIT (2013): Systematische Bewertung von Value-Added Services in Distributionszentren (AIF 17483 N). Hg. v. Karlsruher Institut für Technologie.
- Klaus, Peter; Krieger, Winfried; Krupp, Michael (Hg.) (2012): Gabler Lexikon Logistik. Management logistischer Netzwerke und Flüsse. 5. Aufl. 2012. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: WILEY-VCH.
- Konstantin, Panos (2013): Praxisbuch Energiewirtschaft. Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt. 3. aktual. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- Kranke, Andre; Schmied, Martin; Schön, Andrea Dorothea (2011): CO₂-Berechnung in der Logistik. Datenquellen, Formeln, Standards. 1. Aufl., Stand August 2011. München: Vogel.
- KrWG (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen.
- Kübler, Knut (2014): Leistet man durch den Kauf von „Ökostrom“ einen Beitrag zur Energiewende in Deutschland?. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64. Jg. Heft 3
- Kuhn, Ekart; Lange, Volker; Zimmermann, Peter (2011): Paletten-Management. Leitfaden für die Praxis. 2. Aufl., Stand: Juni 2011. München: Vogel.
- Kuhn, Ekart; Zimmermann, Peter (2010): Entwicklungen und Trends im Markt der Mehrweg-Transportverpackungen (MTV) in Deutschland und Europa. 1. Aufl.: Heinrich Vogel Verlag.
- Lange, Volker; Hoffmann, Jens (2001): Tauschverfahren für Europaletten. Übersicht, Kosten und Optimierungsansätze. (Kap. 6.9.5). In: Uwe-Heiner Pradel (Hg.): Praxishandbuch Logistik. Erfolgreiche Logistik in Industrie, Handel und Dienstleistungsunternehmen. Köln: Dt. Wirtschaftsdienst.
- Learn Projekt (2017), Logistics Emissions Accounting & Reduction Network, verfügbar unter <http://www.learnproject.net/>, zuletzt besucht am 04.01.18
- Luczak, Holger; Stich, Volker (2004): Betriebsorganisation im Unternehmen der Zukunft. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Martin, Heinrich (1992): Förder- und Lagertechnik. Braunschweig: Vieweg.
- Martin, Heinrich (2014): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9. vollst. überarb. und aktual. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Nehm, Alexander (2013): Logistikimmobilien – Markt und Standorte 2013. [3. aktualisierte Aufl.]. Stuttgart: Fraunhofer-Verl.

NIR (2014): National Inventory Report 2014. GHG Inventory Germany. Hg. v. Eionet. Central Data Repository. Online verfügbar unter http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/arto7_inventory/ghg_inventory/envvpjosg/DEU_2016_2012_14012016_124833_started.xlsx/manage_document, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

Peilsteiner, Jan (Hg.) (2002): Handbuch temperaturgeführte Logistik. 1. Aufl. Hamburg: Behr.

Pfnür, Andreas (2002): Betriebliche Immobilienökonomie. 1. Aufl. Heidelberg: Physica-Verlag HD (Betriebswirtschaftliche Studien).

Probas (2016): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsystem des Umweltbundesamts. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <http://www.probas.umweltbundesamt.de>.

Reichmann, Thomas; Hoffjan, Andreas (2011): Controlling mit Kennzahlen. Die systemgestützte Controlling-Konzeption mit Analyse- und Reportinginstrumenten. 8. überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen (Controlling competence).

Rüdiger, David; Kerstin, Dobers (2013): Stromverbrauchsmessungen an Logistikstandorten zur Ermittlung von Energietreibern und Einsparpotentialen, Magdeburger Logistiktage 2013.

Rüegg-Stürm, Johannes (2005): Das neue St. Galler Management-Modell. Grundkategorien einer integrierten Managementlehre; der HSG-Ansatz. 8. Nachdr. d. 2. durchgesehenen u. korr. Aufl. Bern: Haupt.

Schlittgen, Rainer (2000): Einführung in die Statistik. Analyse und Modellierung von Daten. 9. durchges. Aufl. München: Oldenbourg (Lehr- und Handbücher der Statistik).

Schmidheiny, Stephan (1998): Changing Course. A global business perspective on development and the environment. 5. print. Cambridge: MIT Press.

Schu, Reinhard (Hg.) (2009): Bewertung der Systemkosten für den Einsatz von Kunststoffen unter Einbeziehung der Kosten für Entsorgung. Unter Mitarbeit von Jens Niestroj und Kirsten Schu. Waste-to-Resources 2009: 3rd International Symposium MBT & MRF 2009. Hannover.

Schulte, Karl-Werner (2008): Immobilienökonomie. Band I: Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 4. überarbeitete Aufl. München: De Gruyter.

Seebach, Dominik; Timpe, Christof (2016): Herausforderungen bei der Anrechnung von erneuerbarem Strombezug in Klimabilanzen. Energiewirtschaftl. Tagesfragen 66. Jg. Heft 8.

SFC (2016): GLEC Framework for Logistics Emissions Methodologies. Hg. v. Smart Freight Centre. Online verfügbar unter <http://www.smartfreightcentre.org/glec/what-is-glec>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

Stache, Ulrich (2001): Mehrwegsysteme für Transportverpackungen. (Kap. 6.9.1). In: Uwe-Heiner Pradel (Hg.): Praxishandbuch Logistik. Erfolgreiche Logistik in Industrie, Handel und Dienstleistungsunternehmen. Köln: Dt. Wirtschaftsdienst.

- StMUG (2012): EMAS – Das Umweltmanagementsystem der EU in der Praxis. Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG). Online verfügbar unter <https://eco-limburg.de/EMAS.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- ten Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Maria (2011): Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten (2008): Warehouse Management. Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 3. korrigierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten; Nagel, Lars (Hg.) (2007): Materialflusssysteme. Förder- und Lagertechnik. 3. völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Intralogistik).
- UBA (2008): Climate Change 8/08: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Hg. v. Umweltbundesamt (08/2008).
- UBA (2012): Daten zum Verkehr. Ausgabe 2012. Hg. v. Umweltbundesamt.
- UBA (2014): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll. Hg. v. Umweltbundesamt (24/2014).
- UBA (2015): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2013. Unter Mitarbeit von Kurt Schüler. Hg. v. Umweltbundesamt (101/2015).
- UBA (2017a): Klimawandel. Die Pariser Klimakonferenz. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/klimarahmenkonvention#textpart-5>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.
- UBA (2017b): Umwelt- und Energiemanagement, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement>, zuletzt besucht am 04.01.18
- UBA (2017c): Umwelt- und Energiemanagement in Deutschland – eine positive Bilanz, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/umwelt-energiemanagementsysteme#textpart-1> zuletzt besucht am 04.01.18
- Ulrich, Sven (2014): Crossdocking: Analyse und Bewertung für den bestandslosen Güterumschlag in distributiven Systemen. 1. Aufl. Hamburg: Diplomica Verl.
- UN (2017): Treaty Collection. Chapter XXVII – Environment. 7.c Doha Amendment to the Kyoto Protocol. Online verfügbar unter https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-7-c&chapter=27&clang=_en.

UNFCCC (1997): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen. Hg. v. United Nations Framework Convention on Climate Change.

UNFCCC (2012): Doha Amendment to Kyoto Protocol. Hg. v. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Vahrenkamp, Richard; Mattfeld, Dirk C. (2007): Logistiknetzwerke. Modelle für Standortwahl und Tourenplanung. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.

VDI 2078 (2015): Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation). Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 2198 (2012): Typenblätter für Flurförderzeuge. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 4400-1 (2000): Logistikkennzahlen für die Beschaffung. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 4400-2 (2000): Logistikkennzahlen für die Produktion. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 4400-3 (2000): Logistikkennzahlen für die Distribution. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 4432 (2016): Entsorgungsmanagement von Gewerbeabfällen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 4480-1 (1998): Durchsatz von automatischen Lagern mit gassengebundenen Regalbediensystemen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDI 4490 (2007): Operative Logistikkennzahlen von Wareneingang bis Versand. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

VDKL (2013): VDKL-Energie-Leitfaden für eine Verbesserung der Energieeffizienz in Kühlhäusern. Hg. v. Verband Deutscher Kühlhäuser und Kühllogistikunternehmen.

VDW (2014): Zahlen und Fakten. Ausgabe 2014. Hg. v. Verband der Wellpappen-Industrie e. V.

VHI (2016): Faktencheck Holzverpackung. Hg. v. Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie. Online verfügbar unter http://www.holzproklima.de/sites/presse_holzverpackung.php, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

WBCSD (2017): Members of World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Online verfügbar unter <http://www.wbcd.org/Overview/Our-members>, zuletzt geprüft am 12.09.2017.

Weber, Jürgen (1999): Einführung in das Controlling. 8. aktualisierte und erw. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel (Sammlung Poeschel, 133).

Weber, Jürgen (Hg.) (1993): Praxis des Logistik-Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel (Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Hochschule für Unternehmensführung Koblenz Management, 5).

WEF (2009): Consignment-Level Carbon Reporting. Guidelines. Hg. v. World Economic Forum.

Weidema, Bo (1996): Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators. In: Cleaner Production 4 (34/167), S. 169-174.

Weidema, Bo (2013): Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). Unter Mitarbeit von C. Bauer, R. Hirsch, C. Mutel, T. Nemecek, J. Reinhard, C. Vadenbo und G. Wernet. Hg. v. The ecoinvent Centre. St. Gallen.

WMO (2017): WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016. Hg. v. World Meteorological Organization (WMO-No. 1189).

Wöhe, Günter; Kaiser, Hans; Döring, Ulrich (2008): Übungsbuch zur Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 12. vollst. überarb. Aufl. München: Vahlen (Vahlens Übungsbücher).

WRI; WBCSD (2004): The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. (revised edition). Hg. v. World Resources Institute.

WRI; WBCSD (2011a): Greenhouse Gas Protocol. Quantative Inventory Uncertainty. Hg. v. World Resources Institute.

WRI; WBCSD (2011b): The Greenhouse Gas Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Hg. v. World Resources Institute.

WRI; WBCSD (2015): GHG Protocol Scope 2 Guidance. An amendment to the GHG Protocol Corporate Standard. Hg. v. World Resources Institute.

WZ (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ) mit Erläuterungen. Ausgabe 2008. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.

Anhang

In Tabelle 42 sind die Strukturkennzahlen zu Beschreibung von Logistikimmobilien dargestellt.

Größe und Funktion der Logistikimmobilie	
Größe des Grundstücks	----- [m ²]
Grundfläche der Logistikareale	----- [m ²] (bei gemischter Grundstücksnutzung)
Gesamtlogistikfläche (Gebäude)	----- [m ²] (alle Etagen eines Gebäudes)
Verkehrsträgeranschluss	<input type="checkbox"/> Straße <input type="checkbox"/> See <input type="checkbox"/> Schiene <input type="checkbox"/> Luft <input type="checkbox"/> Binnenwasserstraße
Versandobjekte	<input type="checkbox"/> Pakete <input type="checkbox"/> Gitterboxen <input type="checkbox"/> Kisten/ Boxen <input type="checkbox"/> Container <input type="checkbox"/> Rollwagen/ -container <input type="checkbox"/> Loses Stückgut <input type="checkbox"/> Paletten <input type="checkbox"/> Schüttgut
Relevante Wirtschaftszweige nach NST-2007	<input type="checkbox"/> A1: Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei <input type="checkbox"/> A11: Maschinen, Ausrüstungen und Haushaltsgeräte <input type="checkbox"/> A2: Kohle, rohes Erdöl und Erdgas <input type="checkbox"/> A12: Fahrzeuge <input type="checkbox"/> A3: Erze, Steine und Erden <input type="checkbox"/> A13: Möbel, Schmuck, Musikinstrumente und Sportgeräte <input type="checkbox"/> A4: Nahrungs- und Genussmittel <input type="checkbox"/> A14: Sekundärrohstoffe und Abfälle <input type="checkbox"/> A6: Holzwaren, Papier und Pappe (Druckerzeugnisse) <input type="checkbox"/> A15: Briefe und Pakete <input type="checkbox"/> A7: Kokerei- und Mineralölerzeugnisse <input type="checkbox"/> A16: Materialien für die Güterbeförderung (Leerpaletten, Leercontainer etc.) <input type="checkbox"/> A8: Chemische Erzeugnisse <input type="checkbox"/> A17: Umzugsgut und sonstige nicht marktbestimmte Güter <input type="checkbox"/> A9: Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, ...) <input type="checkbox"/> A18: Sammelgut (keine eindeutige Zuordnung) <input type="checkbox"/> A10: Metalle und Metallerzeugnisse
Betriebsorganisation der Logistikimmobilie	
Anzahl der Betriebstage	----- [Tage pro Jahr]
Betriebsbereitschaftsstunden	----- [Stunden pro Woche]
Relevanten Schichten	<input type="checkbox"/> Normal-/ Frühschicht <input type="checkbox"/> Spätschicht <input type="checkbox"/> Nachtschicht
Förder- und Lagertechnik der Logistikimmobilie	
Förder- und Lagertechnik	<input type="checkbox"/> hauptsächlich manuell (Hubwagen, Stapler, ...) <input type="checkbox"/> manuell und automatisiert in ausgewogenem Verhältnis <input type="checkbox"/> hauptsächlich automatisiert (Förderband, Schleppkette, ...)
Art der Lagerung	<input type="checkbox"/> hauptsächlich Bodenlagerung <input type="checkbox"/> hauptsächlich Regallagerung (HRL liegt vor) <input type="checkbox"/> hauptsächlich Regallagerung (kein HRL)

Tabelle 42: Strukturkennzahlen für Logistikimmobilien⁴³⁷

⁴³⁷ eigene Darstellung

Tabelle 43 führt auf Basis des englischsprachigen Originals aus, anhand welcher qualitativen Kriterien einzelne Güteklassen für die Pedigree-Matrix spezifiziert werden können.

Güte des Verbrauchswerts bzw. Emissionsfaktors	Einstufung	Erläuterung
Zuverlässigkeit der Quelle	sehr gut	Verifizierte Daten aus Messungen
	gut	Nicht verifizierte Daten aus Messungen
	angemessen	Nicht verifizierte Daten aus Messungen, die mit Abschätzungen und Annahmen modifiziert wurden
	ausreichend	Qualitative Abschätzung ohne Messung
	schlecht	Sonstiges/ unbekannt
Vollständigkeit	sehr gut	Repräsentative Daten, die über einen adäquat langen Zeitraum erhoben wurden und alle relevanten, externen Einflüsse berücksichtigen
	gut	Repräsentative Daten, die über einen adäquat langen Zeitraum erhoben wurden und <i>nahezu</i> alle relevanten, externen Einflüsse berücksichtigen
	angemessen	Repräsentative Daten, die <i>nicht</i> über einen adäquat langen Zeitraum erhoben wurden und einige relevante, externe Einflüsse berücksichtigen
	ausreichend	Repräsentative Daten, die <i>nicht</i> über einen adäquat langen Zeitraum erhoben wurden und kaum externe Einflüsse berücksichtigen
	schlecht	Sonstiges/ unbekannt
Zeitliche Geltungskraft	sehr gut	Aktualität im Intervall [0;3[Jahre
	gut	Aktualität im Intervall [3;6[Jahre
	angemessen	Aktualität im Intervall [6;10[Jahre
	ausreichend	Aktualität im Intervall [10;15[Jahre
	schlecht	Sonstiges/ unbekannt
Räumliche Geltungskraft	sehr gut	unmittelbarer regionaler Bezug (z. B. Land)
	gut	mittelbarer regionaler Bezug (z. B. Kontinent)
	angemessen	Übertragung von Erkenntnissen aus Regionen mit hinreichend ähnlichen Bedingungen
	ausreichend	Übertragung von Erkenntnissen aus Regionen mit nicht ähnlichen Bedingungen
	schlecht	Sonstiges/ unbekannt
Technologische Geltungskraft	sehr gut	Technologische Bedingungen des Unternehmen
	gut	Technologische Bedingungen der Branche
	angemessen	Technologische Bedingungen ähnlicher Branchen
	ausreichend	Technologische Bedingungen sonstiger Branchen
	schlecht	Sonstiges/ unbekannt

Tabelle 43: Spezifizierung der Güteklassen der Pedigree-Matrix⁴⁵⁸

⁴⁵⁸ eigene Darstellung auf Basis von Weidema 2013, S. 76

Die Zuordnung in Tabelle 44 bewertet die Relevanz von Berichtskategorien im Kontext der logistischen Leistungserbringung an Logistikimmobilien. Dies stellt eine Experten-einschätzung des Autors dar. Dieses Vorgehen ist nach DIN ISO/TR 14069 als zulässig einzustufen.⁴³⁹

	THG-Berichtskategorie	Relevanz	Beispiel
Scope 1	1 Direkte Emissionen stationärer Energiewandlung	ja	Heizölverbrennung
	2 Direkte Emissionen mobiler Energiewandlung	ja	Dieselvebrennung
	3 Direkte Emissionen von Produktionsprozessen	nein	-
	4 Direkte Emissionen flüchtiger Flüssigkeiten/ Gase	ja	Kältemittel (Leckagen)
	5 Direkte Emissionen durch Landnutzungsänderung	nein	-
Scope 2	6 Kraftwerksprozesse für Elektrizität	ja	Bereitstellung Strom
	7 Kraftwerksprozesse für leitungsgebundene Energien	ja	Bereitstellung Fernwärme
Scope 3 upstream	8 Sonstige Energieprozesse für Kraftstoffe/ Brennstoffe	ja	Bereitstellung Diesel
	9 Erworbene Produkte und Materialien	ja	Produktion Verpackungen
	10 Herstellung/ Entsorgung von Betriebsmitteln/ Gebäuden	nein	-
	11 Beseitigung und Verwertung von Abfällen	ja	Verpackungsabfälle
	12 Externe Transportdienstleistungen	ja	Anlieferung Verpackungen
	13 Geschäftsreisen	nein	-
	14 Herstellung/ Entsorgung geleaster Betriebsmittel	nein	-
Scope 3 downstream	15 Finanzanlagen	nein	-
	16 Kunden- und Besuchermobilität	nein	-
	17 Externe Transportdienstleistungen (Ex Works)	nein	-
	18 Nutzungsphase des Produkts	nein	-
	19 Beseitigung des Produkts („End-of-Life“)	nein	-
	20 Franchising	nein	-
	21 Herstellung/ Entsorgung verleaster Betriebsmittel	nein	-
*440	22 Mitarbeitermobilität	nein	-
	23 Sonstige indirekte Emissionen	nein	-

Tabelle 44: Bilanzraumeingrenzung für Logistikimmobilien gemäß DIN ISO/TR 14069⁴⁴¹

⁴³⁹ DIN ISO/TR 14069, S. 13

⁴⁴⁰ In DIN ISO/TR 14069 werden die beiden Positionen lediglich als Scope 3 Emissionen beschrieben, ohne dass eine Zuordnung zu den Kategorien „upstream“ oder „downstream“ erfolgt. Für die vorliegende Ausarbeitung hat diese Unklarheit keine weitere Relevanz. Eine Zuordnung in die Kategorie „upstream“ wäre tendenziell sinnvoll.

⁴⁴¹ eigene Darstellung auf Basis von DIN ISO/TR 14069, S. 12

Die Zuordnung einzelner Emissionsquellen zu Hauptkategorien und korrespondierenden Subkategorien ist in Tabelle 45 anhand von gängigen Beispielen dargestellt. Zur leichteren Orientierung sind die Emissionsquellen mit den einzelnen Berichtspositionen der Bewertung verknüpft.

Emissionsquelle (Berichtsposition)	
Gebäude und Hof	<p>Subkategorie „Raumwärme“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Raumwärme (Position 1) • Warmwasser (Position 1) • Brennstoffvorkette der Position 1 (Wärme) (Position 6) • Fernwärme (Position 5) • Brennstoffvorkette und Leitungsverluste der Position 5 (Fernwärme) (Position 6) <p>Subkategorie „Elektrizität“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klimatisierung von Gebäuden (Position 4) • Frischluft in Gebäuden (Position 4) • Beleuchtung in Gebäuden und auf dem Hof (Position 4) • IT und EDV-Systeme (Position 4) • Sonstige TGA (Position 4) • Brennstoffvorkette und Leitungsverluste der Position 4 (Elektrizität Gebäude und Hof) (Position 6)
Prozesskälte bzw. -wärme	<p>Subkategorie „Prozesskälte“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kältemittelleckagen (Position 3) • Produktion Kältemittel (Position 7) • Anlieferung Kältemittel (Position 8) • Prozesskälte (Position 4) • Fernkälte (Position 5) • Brennstoffvorkette und Leitungsverluste der Position 4 (Elektrizität Prozesskälte) (Position 6) • Brennstoffvorkette und Leitungsverluste der Position 5 (Fernkälte) (Position 6) <p>Subkategorie „Prozesswärme“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prozesswärme (Position 1) • Brennstoffvorkette der Position 1 (Prozesswärme) (Position 6)

⁴⁴² Die Position „Materialien (übergeordnet)“ bezieht sich auf Etiketten, Schmiermittel und Auftrags- bzw. Versanddokumente. Kältemittel werden hingegen aufgrund kausaler Zusammenhänge in der Subkategorie Prozesskälte berücksichtigt.

Logistikprozesse	<p>Subkategorie „Hoflogistik“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fördern/ Transporte mit Kraftstoffverbrennung (Position 2) • Methanschluß (bei Gasmotoren) (Position 3) • Kraftstoffvorkette der Position 2 (Position 6) • ext. Transportdienstleistungen auf dem Hof (Position 8) 	<p>Subkategorie „Elektrizität“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fördertechnik (Position 4) • Lagertechnik (Position 4) • Kommissioniertechnik (Position 4) • Brennstoffvorkette und Leitungsverluste der Position 4 (Elektrizität Prozesskälte) (Position 6)
Transportverpackungen	<p>Subkategorie „Standardverpackungen“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produktion Ladungsträger und Ladeeinheiten-Sicherungsmittel (anteilig) (Position 7) • Produktion Packmittel und Packhilfsmittel (anteilig) (Position 7) • Anlieferung Ladungsträger und Ladeeinheiten-Sicherungsmittel (anteilig) (Position 8) • Anlieferung Packmittel und Packhilfsmittel (anteilig) (Position 8) 	<p>Subkategorie „Sonderverpackungen“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produktion Ladungsträger und Ladeeinheiten-Sicherungsmittel (anteilig) (Position 7) • Produktion Packmittel und Packhilfsmittel (anteilig) (Position 7) • Anlieferung Ladungsträger und Ladeeinheiten-Sicherungsmittel (anteilig) (Position 8) • Anlieferung Packmittel und Packhilfsmittel (anteilig) (Position 8)

Tabelle 45: Zuordnung von Emissionsquellen zu Hauptberichtskategorien⁴⁴³

⁴⁴³ eigene Darstellung

Nachfolgend sind alle relevanten Teilformeln abgebildet, mit denen sich THG-Kennzahlen für die 24 differenzierten Einzeldienstleistungen berechnen lassen (Formel 16).

Formel 16: Dienstleistungsbezogene THG-Kennzahlen für Logistikimmobilien

$$\begin{aligned}
 e_{A.1} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_A \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{A.2} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_A \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_2 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{A.3} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_A \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{A.4} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_A \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_4 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.1.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.1.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.2.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_2 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.2.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_2 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.3.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.3.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.4.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_4 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{B.4.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_B \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_4 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.1.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.1.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.2.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_2 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.2.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_2 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.3.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.3.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.4.a} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_4 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_a \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{C.4.b} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_C \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_4 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_b \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{D.1} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_D \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_1 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{D.2} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_D \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_2 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{D.3} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_D \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] \\
 e_{D.4} \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] &= e_D \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right] + e_4 \left[\frac{g \text{ CO}_2 e}{VM} \right]
 \end{aligned}$$

In Tabelle 46 sind die Basisdaten der THG-Emissionsbewertung für die Logistikimmobilie im Beispiel I für das erste Bilanzjahr aufgeführt.

Dateneingabe	Heizen	Fördern	Prozesskälte	Sonstige Gebäudeenergie	Materialbedarf	Entsorgung	Lkw (Fern)	Lkw (Nah)	Zug	Einheit
Erdgas										kWh
Heizöl	99.767,6 kg									kg
Holz /Pellets										kg
Fernwärme										kWh
Erdgas										kg
Diesel										Liter
Bio-Diesel										Liter
Benzin										Liter
Strom (Standardstrom Netz)										kWh
Strom (Ökostrom Netz)		400.680,0 kWh	1.044.000,0 kWh	564.640,0 kWh						kWh
Strom (Ökostrom Eigenerzeugung)										kWh
Schlupf-/ Leakage Erdgas										%
Nachfüllmenge Kältemittel										kg
Einfache Kunststoffprodukte					17.100,0 kg	6.300,0 kg				kg
Hochwertige Kunststoffprodukte						10.300,0 kg				kg
Einfache Kartonprodukte						95.600,0 kg				kg
Hochwertige Kartonprodukte										kg
Metall										kg
Restmüllabfälle						28.100,0 kg				kg
Kunststoff-Kiste										kg
Holz-Palette										Kisten
Anlieferung leichte Kunststoffe (Distanz)										Paletten
Anlieferung schwere Kunststoffe (Distanz)								31,0 km		km
Anlieferung einfache Kartonage (Distanz)										km
Anlieferung beschichtete Kartonage (Distanz)										km
Anlieferung Metalle (Distanz)										km
Hoflogistik/ extern (Jahresfahrleistung)								11.354,0 km		km p.a.

Tabelle 46: Beispiel I: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr I)⁴⁴⁴

⁴⁴⁴ eigene Darstellung

In Tabelle 47 sind die Basisdaten der THG-Emissionsbewertung für die Logistikimmobilie im Beispiel I für das zweite Bilanzjahr aufgeführt.

Dateneingabe	Heizen	Fördern	Prozesskälte	Sonstige Gebäudeenergie	Materialbedarf	Entsorgung	Lkw (Fern)	Lkw (Nah)	Zug	Einheit
Erdgas										kWh
Heizöl	89.746,4 kg									kg
Holz / Pellets										kg
Fernwärme										kWh
Erdgas										kg
Diesel										Liter
Bio-Diesel										Liter
Benzin										Liter
Strom (Standardstrom Netz)		378.000,0 kWh	1.044.000,0 kWh	442.790,0 kWh						kWh
Strom (Ökostrom Netz)										kWh
Strom (Ökostrom Eigenerzeugung)										kWh
Schlupf-/ Leakage Erdgas										%
Nachfüllmenge Kältemittel										kg
Einfache Kunststoffprodukte					13.400,0 kg	3.000,0 kg				kg
Hochwertige Kunststoffprodukte						14.000,0 kg				kg
Einfache Kartonprodukte						77.200,0 kg				kg
Hochwertige Kartonprodukte										kg
Metall										kg
Restmüllabfälle						18.600,0 kg				kg
Kunststoff-Kiste										Kisten
Holz-Palette										Paletten
Anlieferung leichte Kunststoffe (Distanz)								31,0 km		km
Anlieferung schwere Kunststoffe (Distanz)										km
Anlieferung einfache Kartonage (Distanz)										km
Anlieferung beschichtete Kartonage (Distanz)										km
Anlieferung Metalle (Distanz)										km
Hoflogistik/ extern (Jahresfahrleistung)								11.198,0 km		km p.a.

Tabelle 47: Beispiel I: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 2)⁴⁴⁵

⁴⁴⁵ eigene Darstellung

In Tabelle 48 sind die Basisdaten der THG-Emissionsbewertung für die Logistikimmobilie im Beispiel 2 für das erste Bilanzjahr aufgeführt.

Dateneingabe	Heizen	Fördern	Prozesskälte	Sonstige Gebäudeenergie	Materialbedarf	Entsorgung	Lkw (Fern)	Lkw (Nah)	Zug	Einheit
Erdgas										kWh
Heizöl										kg
Holz /Pellets										kg
Fernwärme	1.834.235,0 kWh									kWh
Erdgas										kg
Diesel										Liter
Bio-Diesel										Liter
Benzin										Liter
Strom (Standardstrom Netz)		357.140,0 kWh		690.973,0 kWh						kWh
Strom (Ökostrom Netz)										kWh
Strom (Ökostrom Eigenerzeugung)										kWh
Schlupf-/ Leakage Erdgas										%
Nachfüllmenge Kältemittel										kg
Einfache Kunststoffprodukte					44.000,0 kg	7.670,0 kg				kg
Hochwertige Kunststoffprodukte					56.675,0 kg	26.000,0 kg				kg
Einfache Kartonprodukte					40.151,6 kg					kg
Hochwertige Kartonprodukte										kg
Metall										kg
Restmüllabfälle										kg
Kunststoff-Kiste										Kisten
Holz-Palette										Paletten
Anlieferung leichte Kunststoffe (Distanz)							120,0 km			km
Anlieferung schwere Kunststoffe (Distanz)							280,0 km			km
Anlieferung einfache Kartonage (Distanz)							250,0 km			km
Anlieferung beschichtete Kartonage (Distanz)										km
Anlieferung Metalle (Distanz)										km
Hotlogistik/ extern (Jahresfahrleistung)								9.500,0 km		km p.a.

Tabelle 48: Beispiel 2: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 1)⁴⁴⁶

⁴⁴⁶ eigene Darstellung

In Tabelle 49 sind die Basisdaten der THG-Emissionsbewertung für die Logistikimmobilie im Beispiel 2 für das zweite Bilanzjahr aufgeführt.

Dateneingabe	Heizen	Fördern	Prozesskälte	Sonstige Gebäudeenergie	Materialbedarf	Entsorgung	Lkw (Fern)	Lkw (Nah)	Zug	Einheit
Erdgas										kWh
Heizöl										kg
Holz /Pellets										kg
Fernwärme	1.187.052,0 kWh									kWh
Erdgas										kg
Diesel										Liter
Bio-Diesel										Liter
Benzin										Liter
Strom (Standardstrom Netz)										kWh
Strom (Ökostrom Netz)		358.700,0 kWh		608.884,0 kWh						kWh
Strom (Ökostrom Eigenerzeugung)										kWh
Schlupf-/ Leakage Erdgas										%
Nachfüllmenge Kältemittel										kg
Einfache Kunststoffprodukte						37.700,0 kg				kg
Hochwertige Kunststoffprodukte							14.672,0 kg			kg
Einfache Kartonprodukte						28.988,0 kg				kg
Hochwertige Kartonprodukte						21.997,0 kg				kg
Metall										kg
Restmüllabfälle										kg
Kunststoff-Kiste										kg
Holz-Palette										Kisten
Anlieferung leichte Kunststoffe (Distanz)							120,0 km			Paletten
Anlieferung schwere Kunststoffe (Distanz)										km
Anlieferung einfache Kartonage (Distanz)							280,0 km			km
Anlieferung beschichtete Kartonage (Distanz)							250,0 km			km
Anlieferung Metalle (Distanz)										km
Hoflogistik/ extern (Jahresfahrleistung)								8.000,0 km		km p.a.

Tabelle 49: Beispiel 2: Inputdaten der THG-Emissionsbewertung (Jahr 2)⁴⁴⁷

⁴⁴⁷ eigene Darstellung

In Tabelle 50 sind die Pedigree-Werte aufgeführt, mit denen in den beiden Beispielen die parameterbedingte Unsicherheit berechnet wurde. Die Qualität der verwendeten Emissionsfaktoren wird mit den Werten aus Tabelle 51 beschrieben. Für die Qualität der Verbrauchsfaktoren ist Tabelle 52 entscheidend.

Pedigree-Faktoren		sehr gut	gut	angemessen	ausreichend	schlecht
		1	2	3	4	5
P	Zuverlässigkeit der Quelle	-	0,000600	0,002000	0,008000	0,040000
Q	Vollständigkeit	-	0,000100	0,000600	0,002000	0,008000
t	Zeitliche Geltungskraft	-	0,000200	0,002000	0,008000	0,040000
S	Räumliche Geltungskraft	-	0,000025	0,000100	0,000600	0,002000
T	Technologische Geltungskraft	-	0,000600	0,008000	0,040000	0,120000
BE	Basis-Unsicherheit THG-Faktor	0,002650	0,002650	0,002650	0,002650	0,002650
QV	Qualität des Messwerts	-	0,000600	0,002000	0,008000	0,040000
BV	Basis-Unsicherheit Verbrauchsfaktor	0,000600	0,000600	0,000600	0,000600	0,000600

Tabelle 50: Pedigree-Basiswerte⁴⁴⁸

Pos.	Bewertungselement	P	Q	t	S	T	BE
1	Heizen mit Heizöl	1	1	2	3	2	1
2	Fördern mit Diesel	1	1	2	3	2	1
4	Elektrizität (Kraftwerk, Standard)	3	3	2	3	2	1
4	Elektrizität (Kraftwerk, Ökostrom)	3	3	2	3	2	1
5	Fernwärmeerzeugung (Kraftwerk)	3	3	3	3	2	1
6	Heizöl (Vorkette Brennstoff)	1	2	3	3	2	1
6	Diesel (Vorkette Brennstoff)	1	2	3	3	2	1
6	Elektrizität (Vorkette Brennstoffe)	3	3	3	3	2	1
6	Elektrizität (Versorgungsnetz, Standard)	3	3	3	3	2	1
6	Elektrizität (Versorgungsnetz, Ökostrom)	3	3	3	3	2	1
7	Leichte Kunststoffe (Herstellung Produkt)	1	4	3	3	2	1
7	Schwere Kunststoffe (Herstellung Produkt)	1	4	3	3	2	1
7	Einfache Kartonage (Herstellung Produkt)	1	4	3	3	2	1
7	Beschichtete Kartonage (Herstellung)	1	4	3	3	2	1
8	Nahverkehr-Lkw (Diesel-Antrieb)	1	2	3	3	2	1
8	Fernverkehr-Lkw (Diesel-Antrieb)	1	2	3	3	2	1
9	Kunststoff (Entsorgung)	1	4	3	3	2	1
9	Papier/ Kartonage (Entsorgung)	1	4	3	3	2	1

Tabelle 51: Qualitätsbewertung für die Emissionsfaktoren der Tabelle 29 (eigene Einschätzung)⁴⁴⁹

⁴⁴⁸ eigene Darstellung

⁴⁴⁹ eigene Darstellung

QV = Qualität Verbrauchsfaktoren	Beispiel 1	Beispiel 2
Heizöl	1	
Fernwärme		2
Strom	1	1
Leichte Kunststoffe	2	2
Schwere Kunststoffe	2	
Einfache Kartonage	2	2
Beschichtete Kartonage		2
Anlieferung Verpackungsmaterial	3	3
Hoflogistik/ extern		3
Restmüllabfälle	3	

Tabelle 52: Qualitätsbewertung für die Verbrauchswerte der Beispiele (eigene Einschätzung)⁴⁵⁰

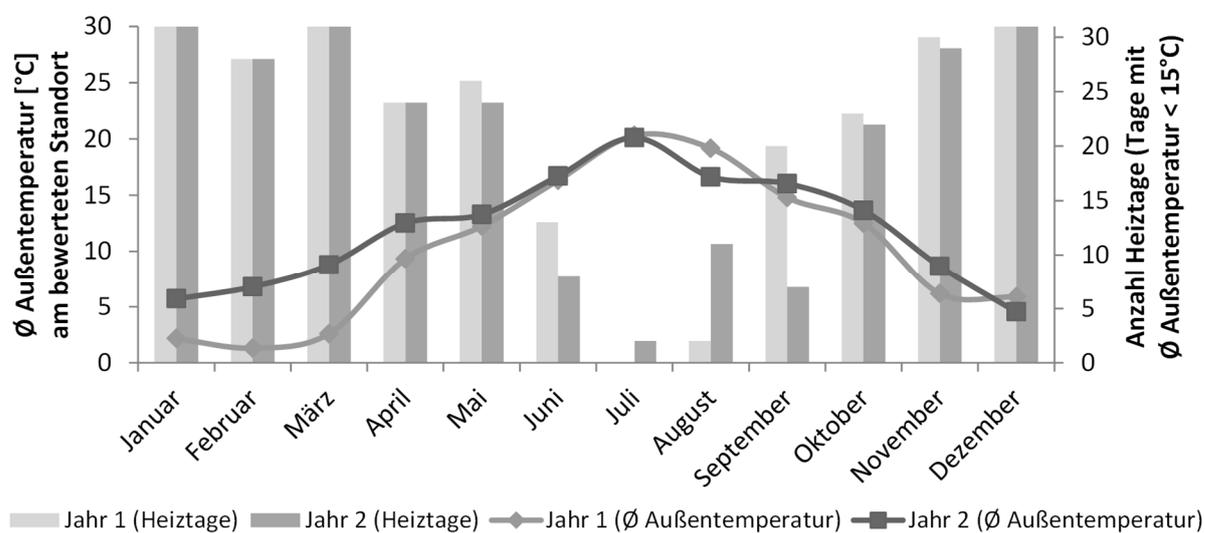


Abbildung 36: Beispiel 2: Entwicklung der mittleren Außentemperatur und Anzahl Heiztage am Standort⁴⁵¹

⁴⁵⁰ eigene Darstellung

⁴⁵¹ eigene Darstellung

Rund zehn Prozent der Treibhausgase in Logistiknetzwerken entstehen aufgrund von Lager- oder Umschlagprozessen. In dieser wissenschaftlichen Arbeit wird eine Methode vorgestellt, welche die Anforderungen des internationalen Treibhausgas-Protokoll-Standards erstmals für Logistikimmobilien spezifiziert. Die Integration der Berechnungsergebnisse in übergeordnete Umwelt- und Klimaschutzaktivitäten von Logistikunternehmen wird eingehend beschrieben (z. B. in GRI-Nachhaltigkeitsberichterstattung, in Umweltmanagementsysteme ISO 14001 und EMAS oder in CO₂-Bilanzen nach DIN EN 16258).

Gemäß einem ganzheitlichen Verständnis zu Emissionsquellen deckt die Methode die Bereiche Scope-1 bis Scope-3 ab und nimmt Bezug auf die Verbrauchspositionen Energie, Materialien und Abfälle, die auf dem Betriebshof sowie innerhalb von Gebäuden resultieren. Die Methode richtet sich an Manager und Betreiber von Logistikimmobilien als zukünftige Anwender.

ISBN 978-3-8396-1422-8



9 783839 614228