

Grüne Logistik-Lösungen auf der letzten Meile: Sind Packstationen ökologisch nachhaltig?

Frank Kuwok, Dr. Björn Asdecker

Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktion und Logistik, Feldkirchenstraße 21, 96052 Bamberg,
frank.kuwok@gmx.de, bjoern.asdecker@uni-bamberg.de

1	Einleitung	140
2	Theoretische Grundlagen und Relevanz des Untersuchungsgebietes.....	140
3	Ökologische Auswirkungen des Packstation-Konzepts: eine auf realen Daten beruhende Simulation.....	
4	Schlussbetrachtung und Ausblick	152
5	Literaturverzeichnis.....	153

Abstract:

Nicht zuletzt aufgrund der außerordentlichen Dynamik findet eine breite Diskussion über die Zukunft der Logistik statt. Dabei versinnbildlichen die Megatrends „Nachhaltigkeit“ und „Urbanisierung“ zusammen eine der bedeutendsten Aufgabe von Wirtschaft und Gesellschaft: Grüne Logistik auf der letzten Meile. In den vergangenen Jahren haben Logistikdienstleister verschiedene Lösungsansätze entwickelt, um den zeit- sowie kostenaufwändigen Transport auf der letzten Meile zu reorganisieren und transportbedingte Emissionen zu verringern. Der vorliegende Artikel untersucht das Packstation-Konzept als einen Lösungsansatz Grüner Logistik. Grundlage dafür bildet eine Umfrage unter 119 Packstation-Nutzern in Bamberg, deren Daten in ein Simulationsmodell einfließen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die kundenseitig genutzten ökologisch vorteilhafteren Transportmittel (z. B. Fahrrad) und die Integration der Abholung in bestehende Touren (z. B. Abholung auf dem Weg zur Arbeit) dazu führen, dass der CO₂-Ausstoß durch das Packstation-Konzept insgesamt abnimmt, obwohl der Gesamtweg der Zustellung steigt.

1 Einleitung

Grüne Logistik rückt die ökologischen Auswirkungen von Transporten in den Mittelpunkt und erachtet deren Reduktion neben der obligatorischen Kostenminimierung als zusätzliches Formalziel. Vor allem im urbanen Raum herrscht großes Potenzial, Transportemissionen zu vermindern.¹ Dazu bekennt sich auch Frank Appel, Vorstandsvorsitzender der Deutschen Post AG: „Wo es darum geht, die CO₂-Emissionen zu senken, wollen wir Teil der Lösung sein.“² In den vergangenen Jahren haben Logistikdienstleister verschiedene Lösungsansätze entwickelt. Dazu zählt das Pack-station-Konzept, welches Kunden einen sicheren Paketempfang ermöglicht, ohne bei der Zustellung anwesend sein zu müssen. Gleichzeitig erleichtert es Logistikdienstleistern den zeit- sowie kostenaufwändigen Transport auf der letzten Meile.³ Pressemitteilungen und interne Studien verweisen auf Umweltvorteile des Konzepts.⁴ Doch bieten Packstationen tatsächlich einen ökologischen Vorteil? Dem externen Interessierten fehlt die Möglichkeit, ökologische Effekte anhand objektiver Studien nachzuvollziehen. Der vorliegende Artikel setzt an dieser Stelle an und untersucht die ökologischen Auswirkungen des Packstation-Konzepts am Beispiel Bambergs, einer deutschen Stadt mit ca. 70.000 Einwohnern.⁵

2 Theoretische Grundlagen und Relevanz des Untersuchungsgebietes

2.1 Umweltintegration im Rahmen Grüner Logistik

Die gestiegene Wertschätzung ökologischer Produkte durch den Verbraucher, regulatorische Eingriffe und die Arbeit von Nichtregierungsorganisationen haben die Sichtweise auf grüne Unternehmenspraktiken gelenkt, was die Logistik einschließt.⁶ Grüne Logistik beschreibt die Erreichung klassischer logistischer Sachziele unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte. „Demnach ist es Aufgabe eines umweltorientierten Logistikmanagements, auf umweltverträgliche Objektflüsse hinzuwirken [...]“⁷ Im engsten Sinne ersetzt das ökologische Formalziel minimaler Umweltauswirkungen damit das klassische Formalziel minimaler Kosten.⁸ Jedoch wird eine ausschließlich ökologische Ausrichtung eines Unternehmens als dauerhafte Lösung angezweifelt.⁹ Messbar wird die ökologische Bewertung anhand der Ökoeffizienz als Quotient der betrieblichen Wertschöpfung und der damit verbundenen Umwelt-

¹ Vgl. World Economic Forum, 2009, S. 8.

² Deutsche Post AG, 2010, S. 11.

³ Vgl. Deutsche Post AG, 2010, S. 94.

⁴ Vgl. Deutsche Post AG, 2009; Deutsche Post AG, 2010, S. 94.

⁵ Vgl. Stadtverwaltung Bamberg, 2014.

⁶ Vgl. Kersten / Brockhaus / Berlin, 2011, S. 57; Mieke, 2010, S. 345–347.

⁷ Dyckhoff, 2000, S. 39.

⁸ Vgl. Günther, 2008, S. 16–18.

⁹ Vgl. Kersten et al., 2010, S. 370–372.

belastungen.¹⁰ Eine Alternative ist demnach ökologisch, wenn ein angestrebter ökonomischer Output mithilfe niedrigerer Umweltbelastung erzielt wird.¹¹

2.2 Letzte Meile der Logistik und deren ökologische und logistische Probleme

Im Rahmen grüner Logistik richtet sich das Augenmerk auf den letzten Teil der Supply Chain. „The last mile may be defined as the final leg in a business-to-consumer delivery service whereby the consignment is delivered to the recipient, either at the recipient’s home or at a collection point.“¹² Dabei entstehen durch die Verbrennung fossiler Energieträger Abgasemissionen in Form von CO, CO₂, Stickstoffoxid, Schwefeldioxid, Kohlenwasserstoff und Rußpartikel.¹³ Negative Einflüsse auf Mensch und Umwelt sind bereits vielfach nachgewiesen.¹⁴ Bezogen auf die Transportleistung ist der Leichtgutverkehr auf der Straße nach dem Lufttransport am CO₂-intensivsten.¹⁵

Zur Überwindung der letzten Meile bedarf es einer effizienten Transport- bzw. Tourenplanung. Dabei erschweren nicht nur infrastrukturelle und regulatorische Faktoren die Gestaltung.¹⁶ Vielmehr sehen Wissenschaft und Praxis die Unzustellbarkeit als eine der größten Herausforderung in der Paketlogistik.¹⁷ Studien verzeichnen fehlerhafte Erstzustellungsraten zwischen 2 und 60 %.¹⁸ Laut *Edwards et al.* (2009) steigen bei einer Fehlzustellungsrate von 50 % die CO₂-Emissionen pro Zustellung um 75 %.¹⁹ Die letzte Meile zählt damit zum teuersten, ineffizientesten und umweltschädlichsten Abschnitt der Supply Chain.²⁰

2.3 Das Packstation-Konzept als Teil von Logistiklösungen auf der letzten Meile

Sowohl ökonomisch als auch ökologisch liegt das Ziel auf der letzten Meile in der Steigerung der Erstzustellungsquote bei gleichzeitiger Minimierung unnötiger Fahrten. Während Geschäftskunden nahezu immer angetroffen werden, gibt es im Ge-

¹⁰ Vgl. Nagel, 2011, S. 48–50; Hardtke / Prehn, 2001, S. 123f.; Baumgartner / Biedermann, 2009, S. 10f.

¹¹ Vgl. Schmidt, 2009, S. 146; Nagel, 2011, S. 50.

¹² Gevaers / Van de Voorde / Vanelander, 2011, S. 57.

¹³ Die hier aufgeführten Abgasemissionen werden als die Wesentlichen bezeichnet. Vgl. Spelthahn / Schlossberger / Steger, 1993, S. 28f.; Kraus, 1997, S. 83, 85.

¹⁴ Vgl. Pope / Dockery, 2006, S. 709–732; van Essen et al., 2011, S. 7, 20–22; Schade / Rothengatter, 2005, S. 172. Die negativen Einflüsse werden i.d.R. in Gesundheits-, Gebäude- und Vegetationsschäden unterschieden. Vgl. Eisenkopf, 2008, S. 1031.

¹⁵ Vgl. van Essen et al., 2011, S. 9; vgl. Deutsche Post AG, 2010, S. 33–35.

¹⁶ Vgl. Browne et al., 2008, S. 17–19; Gevaers / Van de Voorde / Vanelander, 2011, S. 60.

¹⁷ Vgl. Song et al., 2009, S. 2; Boyer / Prud'homme / Chung, 2009, S. 185; Edwards et al., 2009, S. 103.

¹⁸ Vgl. Edwards et al., 2009, S. 102; Song et al., 2009, S. 2; Fernie / McKinnon, 2009, S. 224; Edwards / McKinnon / Cullinane, 2009, S. 13.

¹⁹ Vgl. Edwards et al., 2009, S. 104.

²⁰ Vgl. Gevaers / Van de Voorde / Vanelander, 2011, S. 56.

schäft mit Privatkunden ein deutliches Optimierungspotenzial.²¹ „Zustellungen für Privatkunden sind mittlerweile bis zu vier Mal teurer als Zustellungen für Firmen.“²²

In den vergangenen Jahren haben Forscher und Logistikdienstleister verschiedene Lösungsansätze entwickelt.²³ Bspw. führte Deutsche Post DHL (DPDHL) 2002 das Packstation-Konzept ein.²⁴ Mittlerweile stehen deutschlandweit über 2.650 Packstationen in verschiedenen Ausführungen²⁵ zur Verfügung.²⁶ Als spezielle Variante unbemannter, indirekter Zustellung ermöglicht es Kunden einen sicheren Paketempfang, ohne bei der Zustellung anwesend sein zu müssen. Gleichzeitig erleichtert es Logistikdienstleistern den zeit- sowie kostenaufwändigen Transport auf der letzten Meile, da sich Unzustellbarkeitsrate und Wegstrecken verringern.²⁷

2.4 Literaturüberblick und Ableitung der forschungsleitenden Fragestellungen

Erkenntnisse vorheriger Arbeiten

Während ein Großteil themenverwandter Arbeiten primär Kosteneffekte von Paketboxen bzw. -stationen im Vergleich zu Heimzustellungen mit Zeitfenstern untersuchen,²⁸ widmen sich einige Autoren (zusätzlich) den Umwelteffekten alternativer Lösungen auf der letzten Meile.²⁹

Song et al. (2009) zeigen eine Emissionsreduktion von bis zu 58 % bei indirekter Zustellung im Vergleich zur Heimzustellung in Verbindung mit Mehrfachanfahrt und Selbstabholung im Depot des Logistikdienstleisters.³⁰ Unter Nutzung des von *Edwards/McKinnon/Cullinane* (2009) entwickelten Carbon Auditing Modells³¹ zur Kalkulation der Emissionen für fehlgeschlagene Zustellungen verdeutlichen *Edwards et al.* (2009) eine Emissionsreduktion, wenn alternative Zustellpunkte bei verfehlter Heimzustellung automatisch angefahren werden, statt mehrfach zuzustellen.³² Vergleichbare Ergebnisse liefern *Song/Cherrett/Guan* (2013). Zusätzlich ver-

²¹ Vgl. Zsifkovits, 2013, S. 198f.

²² Deutsche Post AG, 2008.

²³ Vgl. Allen et al., 2000, S. 22–123; McKinnon / Tallam, 2003; S. 31–40; Boyer et al., 2005, S. 171–204; Anderson / Allen / Browne, 2005, S. 77–81; Quak, 2008, S. 45–88; Fernie / McKinnon, 2009, S. 223–229; Moder, 2010, S. 93–180; Gevaers / Van de Voorde / Vanelander, 2011, S. 56–71; Quak, 2011, S. 42–54; Schnedlitz et al., 2013, S. 249–273.

²⁴ Vgl. Deutsche Post AG, 2011.

²⁵ Standardmäßig gibt es die Packstation in zwei Ausführungen. Zum Einsatz kommen Rotationsysteme mit 160 Fächern und Fächersysteme mit 76 Fächern. Fächersysteme sind aufgrund des modularen Aufbaus erweiterbar. Vgl. Deutsche Post AG, 2008.

²⁶ Stand: Juni 2014. Vgl. Deutsche Post AG, 2014a.

²⁷ Vgl. Deutsche Post AG, 2010, S. 94.

²⁸ Vgl. Kämäräinen / Saranen / Holmström, 2001, S. 417–425; Punakivi / Saranen, 2001, S. 157–163; Punakivi / Yrjölä / Holmström, 2001, S. 429–437; Punakivi / Tanskanen, 2002, S. 500–506.

²⁹ Vgl. Song et al., 2009; Edwards et al., 2009; Dell'Amicoa / Hadjidimitriou, 2012; Song / Cherrett / Guan, 2013.

³⁰ Vgl. Song et al., 2009, S. 4–11.

³¹ Vgl. Edwards / McKinnon / Cullinane, 2009, S. 26f.

³² Vgl. Edwards et al., 2009, S. 105f.

muten die Autoren eine Vorteilhaftigkeit der Nutzung alternativer Zustellpunkte bei Erstzustellung.³³

Die vorgestellten Studien stellen zwar die allgemeine Vorteilhaftigkeit alternativer Zustellpunkte dar, liefern jedoch keinen Beweis für einen ökologischen Nutzen von Packstationen. Obwohl verschiedene indirekte Zustellpunkte unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, werden sie i. d. R. gemeinsam betrachtet. Zudem beziehen sich die Ergebnisse teilweise auf die Lebensmittelbelieferung, welche von einer Standardpaketzustellung abzugrenzen ist. Des Weiteren werden alternative Zustellpunkte lediglich als Lösung für verfehlte Zustellungen betrachtet. Es stellt sich die Frage, ob indirekte Zustellpunkte auch als Variante der Erstzustellung ökologische Vorteile bieten. Als einzige den Autoren bekannte und öffentlich zugängliche Arbeit folgen *Dell'Amicoa/Hadjidimitriou* (2012) diesem Gedanken. Mithilfe eines Pilotprojekts in der Stadt Lyon verdeutlichen sie reduzierte Zustellzeiten und Fehlzustellungen bei Nutzung indirekter Konzepte zur Erstzustellung.³⁴ Allerdings wird davon ausgegangen, dass Kunden maximal 250 Meter von der Paketstation entfernt wohnen und demnach ausschließlich zu Fuß abholen.³⁵

Ableitung der Forschungsfragen

Laut den vorgestellten Untersuchungen beeinflussen zwei Faktoren die ökologischen Folgen: erstens die zurückgelegte Wegstrecke und zweitens der Transportmodus. In der Regel steigen die durch den Transport verursachten Emissionen mit der zurückgelegten Distanz. Im Optimalfall lassen sich Wege kombinieren, wodurch sich der Gesamtweg verkürzt. Die Wahrscheinlichkeit dafür erhöht sich bei der indirekten Zustellung mit einer unbegrenzten Zugangsmöglichkeit zur Sendung. Dies trifft für Packstationen zu. Daraus resultiert die erste Forschungsfrage:

- *Verringert das Packstation-Konzept die für die Erstzustellung von zustellenden Logistikdienstleistern und abholenden Kunden zurückzulegende Strecke?*

Zusätzlich spielt der Transportmodus eine entscheidende Rolle. Im Falle des Packstation-Konzepts können Kunden bei der Abholung auf verschiedene Transportmodi zurückgreifen. Diese Wahl entscheidet über die ökologische Vorteilhaftigkeit des Konzepts, was zur zweiten Forschungsfrage des Artikels führt:

- *Hilft das Packstation-Konzept bei der Verringerung transportbedingter Emissionen?*

³³ Vgl. Song / Cherrett / Guan, 2013, S. 4–12.

³⁴ Vgl. Dell'Amicoa / Hadjidimitriou, 2012, S. 1506–1513.

³⁵ Vgl. Dell'Amicoa / Hadjidimitriou, 2012, S. 1508.

3 Ökologische Auswirkungen des Packstation-Konzepts: eine auf realen Daten beruhende Simulation am Beispiel der Stadt Bamberg

3.1 Vorgehensweise der Untersuchung

Für die Beantwortung der Forschungsfragen untersucht der vorliegende Artikel die ökologischen Auswirkungen des Packstation-Konzepts am Beispiel der Stadt Bamberg. Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung existieren drei Stationen. Die Untersuchung orientiert sich am nachfolgend dargestellten Modell.

Packstation	Adresse	Zugang	Stationstyp	Standort
Packstation 101	Ludwigstr. 6, 96052 Bamberg	täglich 24 h	Fächersystem mit 178 Fächern	Bahnhof
Packstation 102	Kirschäckerstr. 11, 96052 Bamberg	täglich 24 h	Rotationssystem mit 160 Fächern	Supermarkt
Packstation 103	Von-Ketteler-Str. 4, 96050 Bamberg	täglich 24 h	Fächersystem mit 131 Fächern	Gewerbegebiet

Tabelle 1: Packstationen der Stadt Bamberg

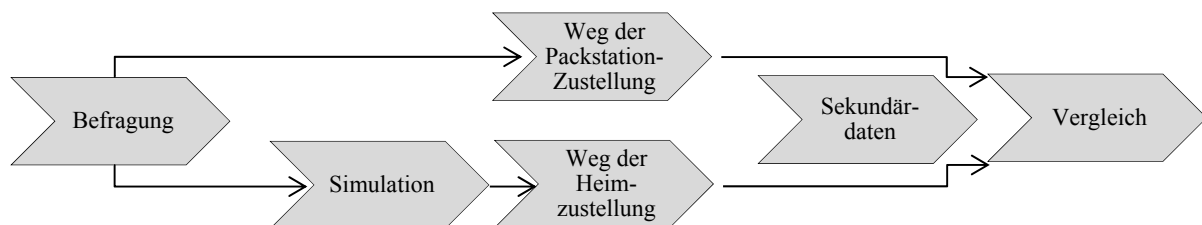


Abbildung 1: Vorgehensweise der Untersuchung

Für die Durchführung der Simulation treffen die Autoren folgende Annahmen:

- Wetter, Tag der Befragung, Sendungsinhalt und Artikelanzahl haben keinen Einfluss auf das Verhalten der Packstation-Nutzer oder die Simulation.
- Packstation-Nutzer verwenden die nächste Packstation und würden bei Nichtnutzung zu ein und derselben Heimzustellungs-Tour gehören.
- Keine Berücksichtigung des zurückgelegten Weges zwischen Konsolidierungslager und erstem bzw. letztem Kunden sowie Konsolidierungslager und der Packstation.
- Jeder Stopp entspricht der Zustellung einer Sendung an einen Kunden.
- Anzahl der Stopps pro Tour orientiert sich aus Gründen der Vergleichbarkeit an Anzahl der befragten Packstation-Nutzer.

- Keine Berücksichtigung von Geschwindigkeit, Staus und Straßengegebenheiten, Truck Load, indirekten und nicht-stofflichen Emissionen sowie Emissionen durch Radfahren und Laufen.
- Bei Wegeteilung verursacht nur der Umweg Emissionen für die Packstation-Nutzung.
- Keine Fehlzustellung an Packstationen möglich.
- Emissionen steigen linear in Höhe der Fehlzustellungsquote.³⁶

Grundlage für die Untersuchung bildet eine Umfrage unter 119 Packstation-Nutzern in Bamberg. Die Befragung an allen drei Stationen ermittelt die Wohnortentfernung der Nutzer zur Packstation, eine potenzielle Wegeteilung, den Wegemehraufwand und den zur Abholung genutzten Transportmodus. Für qualitative Zusatzinformationen erhebt die Befragung die Motivation für die Packstation-Nutzung. Zusätzlich bewerten Nutzer die Umweltfreundlichkeit des Konzepts und die Bedeutung eines Umweltimages von Versendern anhand einer vorgegebenen Skala.

Die gewonnenen Daten fließen in ein Simulationsmodell. Mithilfe der Programmiersprache „Python“³⁷ wird eine adäquate Heimzustellrunde simuliert. Kundenknoten werden im vorgegebenen Raum zufällig angeordnet. Die Simulation ermittelt mithilfe einer Nearest-Neighbor-Heuristik die kürzeste Wegstrecke zwischen den Knoten.³⁸

Die ermittelte Wegstrecke ermöglicht eine Gegenüberstellung von Standardheimzustellung und indirekter Zustellung mithilfe von Packstationen. Gemäß der angeführten Definition für Grüne Logistik ist eine zu bewertende Alternative ökologisch, wenn negative Umweltauswirkungen verringert werden. Nicht zuletzt auf Basis des Kyoto-Protokolls und dem jüngst veröffentlichten fünften Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change steht vor allem das Treibhauspotenzial transportbedingter Emissionen im Fokus ökologischer Bewertung.³⁹ Um die Gase mit unterschiedlich hohem Treibhauspotenzial vergleichbar zu machen, dient CO₂ als Referenzwert. Die Erwärmungswirkung aller Gase wird daraufhin als Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (CO₂e) angegeben.⁴⁰ Für die Kalkulation der transportbedingten Emissionen berücksichtigen die Autoren jeweils spezifische Emissionsfaktoren für Durchschnittsmodelle der eingesetzten Transportmodi. Nachfolgende Tabelle stellt diese dar.

³⁶ In der Analyse werden verschiedene Fehlzustellungsquoten zwischen 2 % und 60 % berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass pro Sendung bei der Zweitzustellung bzw. der Selbstabholung Emissionen in gleicher Höhe entstehen wie beim ersten Versuch der Heimzustellung. Vgl. Edwards / McKinnon / Cullinane, 2009, S. 26f.

³⁷ Die Autoren verwenden Version 2.7.6.

³⁸ Jeder Knoten wird als möglicher Startpunkt getestet. Für die letzten Knoten wird eine Optimallösung ermittelt.

³⁹ Vgl. United Nations, 1998; IPCC, 2014.

⁴⁰ Vgl. United Nations, 1998, Artikel 5, Absatz 3.

Fahrzeug	Spezieller Typ	Bezugsgröße	Emissionsfaktor	Quelle
Linienbus	Durchschnitt bis 18 t, 50 % Besetzung, Diesel	km	0,03524 kg CO ₂ e/km	UBA ⁴¹
Motorrad	Durchschnitt, Benzin	km	0,11891 kg CO ₂ e/km	DEFRA ⁴²
Auto	Durchschnitt, Benzin	km	0,19811 kg CO ₂ e/km	DEFRA ⁴²
Van	Durchschnitt bis 3,5 t, Diesel	km	0,25092 kg CO ₂ e/km	DEFRA ⁴²

Tabelle 2: Emissionsfaktoren berücksichtigter Fahrzeuge

3.2 Präsentation der Simulationsergebnisse

Vergleich der Wegstrecken

Zur Ermittlung der zurückgelegten Strecken erfassen die Autoren zunächst die Entfernung vom Wohnort zur Packstation, wie nachfolgend dargestellt:

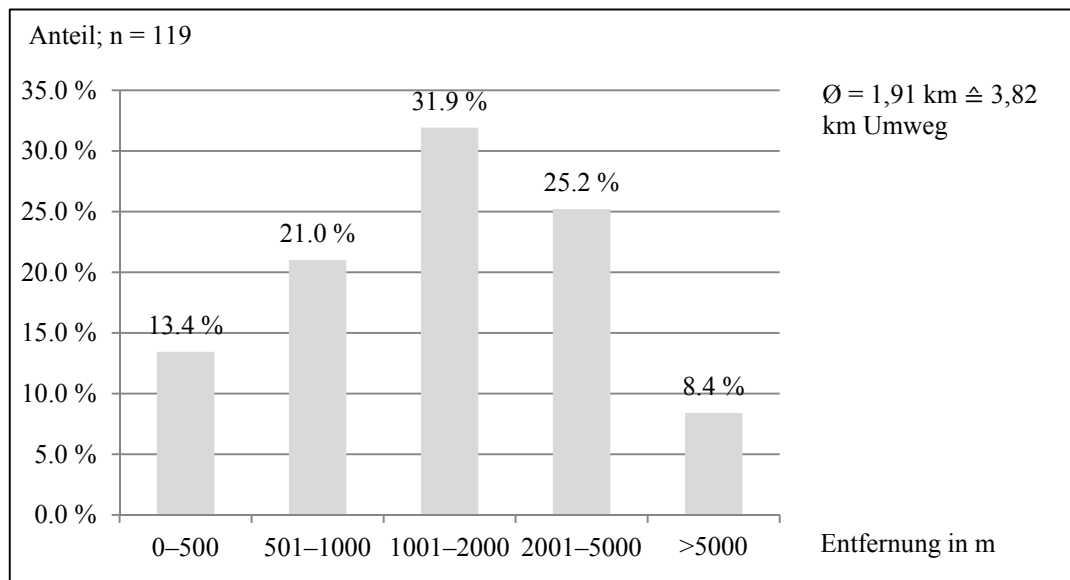


Abbildung 2 : Wohnortentfernung zur Packstation

Für die ökologische Betrachtung ist entscheidend, ob und wie Wege kombiniert werden. Lediglich 24 Teilnehmer (20,2 %) sind ausschließlich aufgrund der Packstation-Nutzung unterwegs. 95 Befragte (79,8 %) geben an, Wege zu kombinieren. Als Kombinationsgrund nennen 70 Teilnehmer (73,7 %) „Arbeit“, 14 (14,7 %) „Einkauf“, 4 (4,2 %) „Uni“, 2 (2,1 %) „Besuch“ und 7 (7,4 %) „sonstige Gründe“.⁴³

⁴¹ Umweltbundesamt, 2014.

⁴² Department for Environment Food & Rural Affairs, 2014.

⁴³ Aufgrund zweier Doppelnennungen beziehen sich die prozentualen Angaben auf 121 Antworten.

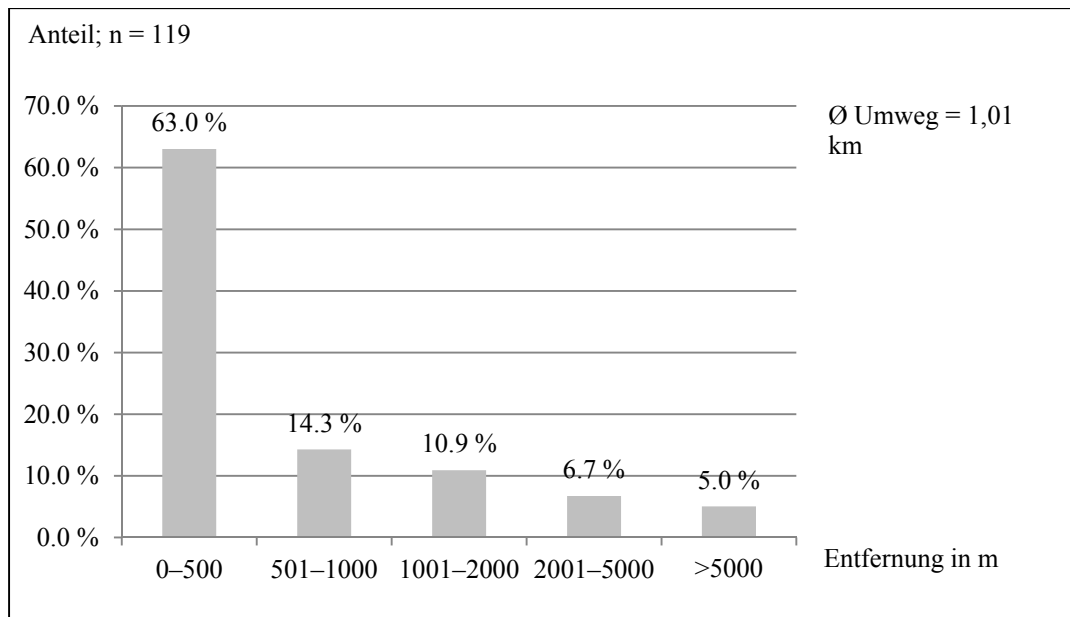


Abbildung 3: Umweg bei Abholung

Für die Gegenüberstellung der Heimzustellung ist die Betrachtung aller Teilnehmer nicht zweckmäßig. Personen, welche Sendungen i. d. R. nur abgeben oder Packstationen aufgrund einer Fehlzustellung nutzen, dienen nicht dem Vergleich.⁴⁴ Da die Nutzung einer Packstation nicht wohnortgebunden ist, gilt Gleiches für Personen, welche mehr als 5 km von der Packstation entfernt wohnen.⁴⁵ Aufgrund der Eingrenzung und der Wegekombination verringert sich der tatsächlich für die Packstation-Nutzung zurückgelegte Weg von durchschnittlich 3,82 km auf 1,01 km pro Kunde. Insgesamt beläuft sich der Umweg für 102 berücksichtigte Nutzer auf 103,25 km.

Basierend auf den relevanten Datensätzen der Befragung simulieren die Autoren eine adäquate Heimzustellrunde mit 102 Knoten.⁴⁶

⁴⁴ Andernfalls ist eine Vergleichbarkeit nicht gegeben. Genannte Personenkreise widersprechen dem Ziel der Untersuchung, Standardheimzustellung mit der Nutzung von Packstationen als Erstzustellung vergleichen zu wollen.

⁴⁵ Da sich 5 km Entfernung in jede Richtung erstrecken können, beläuft sich die Gesamtausdehnung der Runde auf 10 km, was bereits in etwa der Ausdehnung des Bamberger Stadtgebiets entspricht. Vgl. Stadtverwaltung Bamberg, 2014.

⁴⁶ In der Literatur variiert die Anzahl der Stopps im Food-Bereich zwischen 32 und 60 und im non-Food-Bereich zwischen 70 und 150 pro Tour, sodass diese Anzahl als realistischer Vergleichswert angenommen wird. Vgl. Song et al., 2009, S. 6; Punakivi / Yrjölä / Holmström, 2001, S. 432; Edwards / McKinnon / Cullinane, 2009, S. 19; Edwards et al., 2009, S. 103.

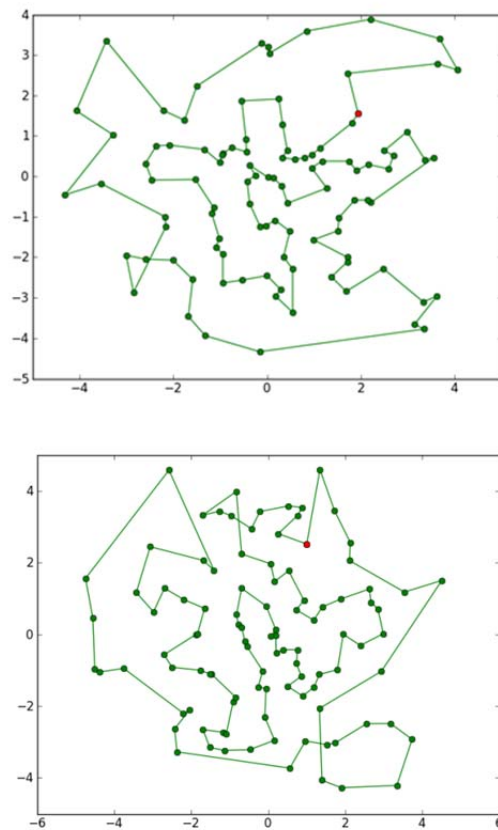


Abbildung 4: Beispielsimulationen

Um ein möglichst valides Ergebnis für die Streckenlänge zu erhalten, werden mehrere Durchgänge gestartet und bei jedem Schritt über alle Ergebnisse hinweg der Mittelwert gebildet. Dieses Verfahren wiederholt sich, bis die über zehn Durchläufe gleitende prozentuale Veränderung des Mittelwertes geringer als 0,05 % ausfällt. Nach 71 Durchläufen ermittelt das Verfahren eine durchschnittliche Wegstrecke von 73,90 km (720 m pro Sendung). Dieses Ergebnis beantwortet die erste Forschungsfrage:

- *Das Packstation-Konzept verringert nicht den Gesamtweg der Erstzustellung. Konträr dazu verlängert sich die Gesamtwegstrecke um ca. 40 %.*

Vergleich der Gesamtemissionen

Während bei der Standardheimzustellung die gesamte Wegstrecke von einem Van zurückgelegt wird, entscheiden Packstation-Nutzer über die Art der Abholung. 65,5 % der Befragten nutzen dafür das Auto. 14,3 % kommen zu Fuß, 11,8 % mit dem Fahrrad, 5,0 % mit dem Zug, 2,5 % mit dem Bus und 0,8 % nutzen ein Motor-

rad. Den mithilfe der entsprechenden Transportmodi zurückgelegten Umweg stellen folgende Tabellen dar.⁴⁷

Ausgehend von dem vorgestellten Modell werden durch das Packstation-Konzept 13,60 kg CO₂e bzw. pro Nutzer 133 g CO₂e emittiert. Im Falle einer Heimzustellung ohne Fehlzustellungen entstehen 18,54 kg CO₂e bzw. pro Nutzer 182 g CO₂e.

Transportmodus	Wegstrecke	Emissionsfaktor	Emissionen (Gesamt)
zu Fuß	9,60 km	0 kg CO ₂ e/km	0 kg CO ₂ e
Fahrrad	21,30 km	0 kg CO ₂ e/km	0 kg CO ₂ e
Bus	4,00 km	0,03524 kg CO ₂ e/km	0,14096 kg CO ₂ e
Motorrad	1,00 km	0,11891 kg CO ₂ e/km	0,11891 kg CO ₂ e
Auto	67,35 km	0,19811 kg CO ₂ e/km	13,34271 kg CO ₂ e
Gesamt	103,25 km	-	13,60258 kg CO ₂ e
Pro Nutzer	-	-	0,13335 kg CO ₂ e

Tabelle 3: Emissionen der Packstation-Zustellung

Transportmodus	Wegstrecke	Emissionsfaktor	Emissionen (Gesamt)
Zustell-Van	73,90 km	0,25092 kg CO ₂ e/km	18,54299 kg CO ₂ e
Gesamt	73,90 km	-	18,54299 kg CO ₂ e
Pro Nutzer	-	-	0,18179 kg CO ₂ e

Tabelle 4: Emissionen der Heimzustellung ohne Fehlzustellung

Allerdings steigen die Emissionen bei der Heimzustellung mit zunehmender Fehlzustellungsquote. Die Werte liegen insgesamt zwischen 18,54 kg und 29,67 kg CO₂e.

Fehlzustellungsquote	Heimzustellung		Zustellung per Packstation		Δ Emissionen
	Wegstrecke	Gesamtemissionen	Wegstrecke	Gesamtemissionen	
0 %	73,90 km	18,54 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-27 %
2 %	75,38 km	18,91 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-28 %
10 %	81,29 km	20,40 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-33 %
20 %	88,68 km	22,25 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-39 %
30 %	96,07 km	24,11 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-44 %
40 %	103,46 km	25,96 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-48 %
50 %	110,85 km	27,81 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-52 %
60 %	118,24 km	29,67 kg CO ₂ e	103,25 km	13,60 kg CO ₂ e	-54 %

Tabelle 5: Emissionen der Heimzustellung

⁴⁷ Aufgrund der technischen bzw. infrastrukturellen Limitation ist eine Bewältigung des Umwegs mithilfe des Zugs ausgeschlossen.

Die Ergebnisse verdeutlichen unterschiedliche Emissionsausstöße. Dies beantwortet die zweite und grundlegende Forschungsfrage:

- *Das Packstation-Konzept verringert die transportbedingten Emissionen je nach angenommenem Zustellfehler der Heimzustellung um 27 % bis 54 %.*

Qualitative Zusatzinformationen

Weiterhin erlauben die Ergebnisse eine Charakterisierung der Packstation-Nutzer. Als Hauptgründe für die Nutzung nennen sie die Unerreichbarkeit zu Hause und die Flexibilität bei der Abholung.⁴⁸ Bei der Wahl des Versenders achten sie nicht auf ein umweltfreundliches Image.⁴⁹ Sie erkennen keinen ökologischen Nutzen des Packstation-Konzepts.⁵⁰

3.3 Ableitung von Schlüsselfaktoren

Die erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass Packstationen einen Beitrag für eine grünere Logistik leisten. Die Effektstärke hängt jedoch von den externen Rahmenbedingungen ab, auf deren Einfluss nachfolgende Ausführungen eingehen.

Wegstrecke der Heimzustellung: Kundendichte

Im vorliegenden Beispiel ohne Fehlzustellung werden pro Kunde durchschnittlich 725 m zurückgelegt und dadurch 182 g CO₂e emittiert. Edwards/McKinnon/Cullinane (2009) stellen Szenarien mit höherer Kundendichte vor. In der effizienten Tour werden durchschnittlich 644 m pro Kunde zurückgelegt und 161 g CO₂e emittiert. In der Zentrumstour sind es durchschnittlich 366 m und 91 g CO₂e pro Kunde. Wird weiterhin von einem durchschnittlichen Umweg von 1,01 km pro Paketabholung an Packstationen ausgegangen, verringert sich der positive Umwelteffekt. In diesen Fällen dürfen höchstens 80,7 % bzw. 45,9 % der Kunden für die Abholung das Auto nutzen, um überhaupt einen positiven Effekt zu erreichen.

- *Je höher die Kundendichte bei Heimzustellungen, desto niedriger der Effekt.*

⁴⁸ Unter Berücksichtigung einer möglichen Mehrfachauswahl nennen 47,0 % Unerreichbarkeit und 39,5 % Flexibilität bei der Abholung als Hauptnutzungsgrund.

⁴⁹ Die Aussage „Ich achte bei der Auswahl des Versenders auf ein möglichst umweltfreundliches Image.“ beantworten die Befragten wie folgt: 47,5 % „nein“, 22,0 % „eher nein“, 6,8 % „neutral“, 16,9 % „eher ja“, 6,8 % „ja“.

⁵⁰ Die Aussage „Ich nehme Packstationen als umweltfreundlichere Alternative zur Heimzustellung wahr.“ Beantworten die Befragten wie folgt: 33,9 % „nein“, 15,3 % „eher nein“, 22,0 % „neutral“, 13,6 % „eher ja“, 15,3 % „ja“.

Umweg der Abholung: Netzdichte der Packstationen und Wegekombination

Vergleichbar mit der Kundendichte bei der Heimzustellung hat die Erreichbarkeit der Packstationen einen wesentlichen Einfluss auf den ökologischen Effekt. Zum einen entstehen im Durchschnitt mehr Emissionen, je länger der Weg ist. Da lediglich 24 Befragte keinen Weg kombinieren, können auf Basis der zu geringen Stichprobe keine Aussagen über den Zusammenhang zwischen Wegstrecke und Transportmodus für das vorliegende Modell getroffen werden. Dennoch ist davon auszugehen, dass ein kürzerer Weg die Wahrscheinlichkeit für eine Abholung per Fahrrad oder zu Fuß erhöht.

Abgesehen von der Netzdichte hat auch die Standortwahl einen wesentlichen Einfluss auf den Umweg und den Anteil derjenigen, welche Wege verknüpfen. 79,8 % der Befragten kombinieren die Abholung mit einer anderen Strecke. Vor diesem Hintergrund werden Packstationen an strategisch wichtigen Orten, wie Bahnhöfen oder Gewerbegebieten bzw. größeren Einkaufsmöglichkeiten, platziert.

- *Je niedriger der Umweg der Abholung, desto höher der Effekt.*

Emissionsfaktoren: Transportmoduswahl bei Heimzustellung und Abholung

Trotz der 28,4 % kürzeren Wegstrecke der Heimzustellung werden selbst bei komplett erfolgreicher Belieferung 36 % mehr CO₂e emittiert. Der Grund dafür liegt in den verschiedenen Emissionsfaktoren. Mit durchschnittlich 251 g CO₂e/km erzielt ein Standardzustellfahrzeug im vorgestellten Modell die schlechtesten Werte. Technologische Entwicklungen oder die Verwendung alternativer Zustellmittel verringern die Emissionen der Heimzustellung. Die Realisierung einer vollkommen emissionsfreien Zustellung, wie es DPDHL aktuell in einem Pilotprojekt in Bonn umsetzt,⁵¹ würde den ökologischen Vorteil des Packstation-Konzepts eliminieren. Auf der anderen Seite ließe sich die modellierte CO₂e-Einsparung noch erhöhen, sofern mehr Personen auf weniger umweltbelastende Transportmodi zurückgreifen.

- *Je niedriger der Emissionsfaktor der Heimzustellung, desto niedriger der Effekt.*
- *Je niedriger der Emissionsfaktor der Abholung, desto höher der Effekt.*

Fehlzustellungsquote und -handling

Im vorgestellten Modell schwanken die Emissionen pro Heimzustellung in Abhängigkeit der Fehlzustellungsquote zwischen 182 und 291 g CO₂e. Dieser Effekt ist bei weiteren Zustellversuchen noch höher. Das Packstation-Konzept begegnet diesem Problem, da i. d. R. eine Erstzustellung gelingt. Dennoch ist der Einspareffekt nied-

⁵¹ Vgl. Deutsche Post AG, 2014b.

riger, wenn wenig oder keine Heimzustellversuche misslingen. Dies wird mithilfe logistischer Lösungsansätze, wie Zeitfenster, Wunschabgabeorte oder Paketboxen, angestrebt.

- *Je niedriger die Anzahl der Mehrfachzustellungen, desto niedriger der Effekt.*
- *Je niedriger die Fehlzustellungsquote der Heimzustellung, desto niedriger der Effekt.*

4 Schlussbetrachtung und Ausblick

Mit der Simulation und den anschließend eruierten Erfolgsfaktoren liefert der Artikel eine Basis für die Bewertung des Packstation-Konzepts und des dahinter stehenden Kundenverhaltens auch über das gewählte Beispiel hinaus. In der Gesamtbeurteilung wird deutlich, dass das Packstation-Konzept gegenüber einer Standardheimzustellung nicht automatisch ökologisch vorteilhaft ist, da sich die durch Zusteller und Abholer insgesamt zurückzulegende Wegstrecke verlängert. Vielmehr spielt das Kundenverhalten eine entscheidende Rolle. Die erhobenen Daten verdeutlichen, dass die kundenseitig genutzten ökologisch vorteilhafteren Transportmittel (z. B. Fahrrad) und die Integration der Abholung in bestehende Touren (z. B. Abholung auf dem Weg zur Arbeit) dazu führen, dass der CO₂-Ausstoß insgesamt abnimmt. Kundenseitiges Bewusstsein für die Möglichkeit der positiven ökologischen Beeinflussung bietet daher hohes Potenzial für die Reduktion transportbedingter Emissionen. Aus Unternehmenssicht ist dieses mithilfe kommunikativer Mittel oder ökonomischer Anreize bedingt steuerbar. Nagel (2011) weist in diesem Zusammenhang auf eine mögliche Suffizienzstrategie hin, wonach Kunden über deren Eigenverantwortung und über Handlungsalternativen aufgeklärt werden müssen.⁵² Konträr dazu nehmen bisher lediglich 28,9 % der Befragten das Konzept als umweltfreundlich war. Keiner der Teilnehmer verzichtet aus ökologischen Gründen auf die Heimzustellung. Nur 23,7 % der Befragten achten auf ein möglichst umweltfreundliches Image des Versenders. Bezogen auf das Packstation-Konzept sollte dem Kunden stärker verdeutlicht werden, dass nur durch seine Mithilfe und die Wahl umweltfreundlicher Transportmodi (zu Fuß, mit dem Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel etc.) Emissionen eingespart werden.

Da sich die Ergebnisse lediglich auf einen begrenzten Kreis von Packstation-Nutzern beziehen, ist eine Überprüfung an weiteren Beispielen zweckmäßig. Zudem kann die Berücksichtigung nichtstofflicher bzw. indirekter Emissionen oder spezieller Einflussfaktoren auf das Kundenverhalten die Ergebnisse schärfen. Unter Beachtung des Nachhaltigkeitsdreiecks ist eine detaillierte Betrachtung ökonomischer und sozialer Folgen des Packstation-Konzepts vielversprechend. Aus Sicht der prakti-

⁵² Vgl. Nagel, 2011, S. 50f.

schen Anwendung können die Schlüsselfaktoren dazu verwendet werden, weitere Handlungsalternativen zu analysieren, um gegebenenfalls im kundenindividuellen Fall die ökonomisch und ökologisch zweckmäßigste Lösung anbieten zu können.

5 Literaturverzeichnis

- Allen, J.; Anderson, S.; Browne, M.; Jones, P. (2000): A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows - Report 3: Making urban goods and service operations more sustainable: policy measures and company initiatives, London.
- Anderson, S.; Allen, J.; Browne, M. (2005): Urban logistics - how can it meet policy makers' sustainability objectives?, in: *Journal of Transport Geography* 13 (1), S. 71–81.
- Baumgartner, R.J.; Biedermann, H. (2009): Öko-Effizienz als Beitrag zur Nachhaltigkeit?, in: Baumgartner, R.J.; Biedermann, H.; Zwainz, M. (Hrsg.): *Öko-Effizienz: Konzepte, Anwendungen und Best Practices*, München; Mering, S. 9–26.
- Boyer, K.K.; Frohlich, M.T.; Tomas, G.; Hult, M. (2005): *Extending the supply chain - How cutting-edge companies bridge the critical last mile into customers' homes*, New York.
- Boyer, K.K.; Prud'homme, A.M.; Chung, W. (2009): The last mile challenge - Evaluating the effects of customer density and delivery window patterns, in: *Journal of business logistics* 30 (1), S. 185–201.
- Browne, M.; Allan, J.; Nemoto, T.; Visser, J.; Wild, D. (2008): City Access Restrictions and the Implications for Goods Deliveries, in: Taniguchi, E.; Thompson, R.G. (Hrsg.): *Innovations in city logistics*, New York, S. 17–35.
- Dell'Amico, M.; Hadjidimitriou, S. (2012): Innovative Logistics Model and Containers Solution for Efficient Last Mile Delivery, in: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 48, S. 1505–1514.
- Department for Environment Food & Rural Affairs (2014): Greenhouse Gas Conversion Factor Repository, <http://www.ukconversionfactorscarbonsmart.co.uk/>, Stand: 11.06.2014.
- Deutsche Post AG (2008): Erste und letzte Meile - Den „PUDOs“ gehört die Zukunft, <http://www.dhl-discoverlogistics.com/cms/de/course/technologies/reinforcement/first.jsp>, Stand: 09.05.14.
- Deutsche Post AG (2009): Erfolgskurs der DHL Packstation ungebremst, http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2009/erfolgskurs_der_packstation_ungebremst.html, Stand: 16.06.14.
- Deutsche Post AG (2010): *Delivering tomorrow - Zukunftstrend Nachhaltige Logistik*, Bonn.
- Deutsche Post AG (2014a): Alle Services zum Paketempfang - natürlich kostenlos: DHL Packstation,

https://www.paket.de/pkp/appmanager/pkp/desktop?_nfpb=true&_nfxr=false&_pageLabel=P2000278071372418853047, Stand: 11.06.2014.

- Deutsche Post AG (2014b): Deutsche Post DHL makes Bonn a model city for carbon-free delivery vehicles, http://www.dpdhl.com/en/media_relations/events/carbon_neutral_delivery.html, Stand: 11.06.2014.
- Dyckhoff, H. (2000): Umweltmanagement - Zehn Lektionen in umweltorientierter Unternehmensführung, Berlin et al.
- Edwards, J.B.; McKinnon, A. C.; Cullinane, S. L. (2009): Carbon Auditing the 'Last Mile': Modelling the Environmental Impacts of Conventional and Online Non-food Shopping, Logistics Research Centre, Edinburgh.
- Edwards, J.B; McKinnon, A.C.; Cherrett, T.; McLeod, F.; Song, L. (2009): The impact of failed home deliveries on carbon emissions: are collection / delivery points environmentally-friendly alternatives?, 14th Annual Logistics Research Network Conference, 9th - 11th September 2009, Cardiff.
- Eisenkopf, A. (2008): Logistik und Umwelt, in: Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl., Berlin, S. 1017–1050.
- Fernie, J.; McKinnon, A. C. (2009): The development of e-tail logistics, in: Fernie, J.; Sparks, L. (Hrsg.): Logistics & retail management - Emerging issues and new challenges in the retail supply chain, 3. Aufl., London; Philadelphia, S. 207–232.
- Gevaers, R.; van de Voorde, E.; Vanelander, T. (2011): Characteristics and typology of the last mile logistics from an innovation perspective in an urban context, in: Macharis, C.; Melo, S. (Hrsg.): City Distribution and Urban Freight Transport - Multiple Perspectives, Cheltenham; Northampton, S. 56–72.
- Günther, E. (2008): Ökologieorientiertes Management, Stuttgart.
- Hardtke, A.; Prehn, M. (2001): Perspektiven der Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Erfolgsstrategie, Wiesbaden.
- Kämäräinen, V.; Saranen, J.; Holmström, J. (2001): The reception box impact on home delivery efficiency in the e-grocery business, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 31 (6), S. 414–426.
- Kersten, W.; Allonas, C.; Brockhaus, S.; Wagenstetter, N. (2010): Green logistics: an innovation for logistics products?, in: Blecker, T.; Kersten, W.; Lüthje, C. (Hrsg.): Innovative process optimization methods in logistics - Emerging trends concepts and technologies, Berlin, S. 369–386.
- Kersten, W.; Brockhaus, S.; Berlin, S. (2011): Implementierungsansätze für eine grünere Logistik - Ökoeffiziente Logistik mittels Target Costing, in: Industrie Management 27 (6), S. 57–60.
- Kraus, S. (1997): Distributionslogistik im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie, Nürnberg.
- McKinnon, A.C.; Tallam, D. (2003): Unattended delivery to the home: an assessment of the security implications, in: International Journal of Retail & Distribution Management 31 (1), S. 30–41.

- Mieke, C. (2010): Grüne Logistik, in: Wisu - Das Wirtschaftsstudium, 39 (3), S. 344–347.
- Moder, N. (2010): Standard-Vorgehensweise zur Analyse und Optimierung der Distributionslogistik im Bereich Business to Consumer, Dissertation, Techn. Universität Ilmenau, <http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15410>, Stand: 16.06.14.
- Nagel, A. (2011): Logistik im Kontext der Nachhaltigkeit - Ökologische Nachhaltigkeit als Zielgröße bei der Gestaltung logistischer Netzwerke, Berlin.
- Pope, C.A.; Dockery, D.W. (2006): Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect, in: Journal of the Air & Waste Management Association 56 (6), S. 709–742.
- Punakivi, M.; Saranen, J. (2001): Identifying the success factors in e-grocery home delivery, in: International Journal of Retail & Distribution Management 29 (4-5), S. 156–163.
- Punakivi, M.; Tanskanen, K. (2002): Increasing the cost efficiency of e-fulfilment using shared reception boxes, in: International Journal of Retail & Distribution Management 30 (10), S. 498–507.
- Punakivi, M.; Yrjölä, H.; Holmström, J. (2001): Solving the last mile issue - Reception box or delivery box?, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 31 (6), S. 427–439.
- Quak, H.J. (2008): Sustainability of urban freight transport retail distribution and local regulations in cities, Rotterdam.
- Quak, H.J. (2011): Urban freight transport: the challenge of sustainability, in: Macharis, C.; Melo, S. (Hrsg.): City Distribution and Urban Freight Transport - Multiple Perspectives, Cheltenham; Northampton, S. 37–55.
- Schade, W.; Rothengatter, W. (2005): Research Issues in Transport Economics: Dynamics, Integration and Indirect Effects, in: Böhringer, C.; Lange, A.: Applied Research in Environmental Economics, Heidelberg; New York, S. 155–184.
- Schmidt, M. (2009): Ressourceneffizientes Produzieren in Betrieben, in: Baumgartner, R.J.; Biedermann, H.; Zwainz, M. (Hrsg.): Öko-Effizienz: Konzepte, Anwendungen und Best Practices, München; Mering, S. 145–160.
- Schnedlitz, P.; Lienbacher, E.; Waldegg-Lindl, B.; Waldegg-Lindl, M. (2013): Last Mile: Die letzten – und teuersten – Meter zum Kunden im B2C ECommerce, in: Crockford, G.; Ritschel, F.; Schmieder, U.-M. (Hrsg.): Handel in Theorie und Praxis, Wiesbaden, S. 249–273.
- Song, L.; Cherrett, T.; Guan, W. (2013): Quantifying the Greenhouse Gas Emissions of Local Collection/Delivery Points for Last Mile Deliveries, TRB 2013 Annual Meeting, Washington D.C.
- Song, L.; Cherrett, T.; McLeod, F.; Guan, W. (2009): Addressing the Last Mile Problem - The Transport Impacts of Collection/Delivery Points, in: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2097, S. 9–18.
- Spelthahn, S.; Schlossberger, U.; Steger, U. (1993): Umweltbewusstes Transportmanagement, Bern; Stuttgart; Wien.

Stadtverwaltung Bamberg (2014): Daten & Fakten - Zahlen der Stadt Bamberg 2012, <https://www.stadt.bamberg.de/index.phtml?NavID=1829.19&La=1>, Stand: 11.06.2014.

Umweltbundesamt (2014): PROBAS - Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>, Stand: 12.06.2014.

United Nations (1998): KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, United Nations, Kyoto, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

van Essen, H.; Schrotten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. (2011): External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008, CE Delft; INFRAS; Fraunhofer ISI, Delft.

World Economic Forum (2009): Supply Chain Decarbonization - The Role of Logistics and Transport in Reducing Supply Chain Carbon Emissions, http://www3.weforum.org/docs/WEF_LT_SupplyChainDecarbonization_Report_2009.pdf, Stand: 26.11.13.

Zsifkovits, H.E. (2013): Logistik, Konstanz; München.