

VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 27

Ressourceneffizienz in Handel und Logistik



© PantherMedia/perig76

VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 27: Ressourceneffizienz in Handel und Logistik

Autor:

Tim Kestner, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zadek, Lehrstuhl für Logistik am Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM) der Fakultät für Maschinenbau der Universität Magdeburg, für seine fachliche Unterstützung.

Die Kurzanalyse wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)

Bülowsstraße 78

10783 Berlin

Tel. +49 30-27 59 506-0

Fax +49 30-27 59 506-30

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Titelbild: PantherMedia/perig76

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:
Kurzanalyse Nr. 27

Ressourceneffizienz
in Handel und Logistik

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	9
2 HANDEL UND LOGISTIK	12
2.1 Einordnung von Handel und Logistik	12
2.2 Entwicklungen und Trends von Handel und Logistik	16
2.3 Grüne Logistik	19
3 RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER INTRALOGISTIK UND DEM LAGERWESEN	22
3.1 Effiziente Fördertechnik	22
3.2 Automatisierung & Digitalisierung in der Intralogistik	29
3.3 Ressourceneffiziente Handels- und Logistikgebäude	37
4 RESSOURCENEFFIZIENZ IM TRANSPORTWESEN	41
4.1 Möglichkeiten des ressourceneffizienten Transports	41
4.2 Maßnahmen am Fuhrpark	42
4.2.1 Alternative Antriebstechnologien und Fahrzeuge	42
4.2.2 Nutzung Regenerativer Kraftstoffe	47
4.2.3 Modifikationen an Lieferfahrzeugen	49
4.3 Effiziente Tourenplanung und Flottenmanagement	57
4.4 Digitalisierung im Transportwesen	63
4.5 Effiziente Logistik in Gewerbegebieten	67
5 RESSOURCENEFFIZIENZ IM VERPACKUNGSWESEN	73
6 FAZIT	81
7 DOKUMENTATION DES FACHGESPRÄCHS	83
7.1 Programm des Fachgesprächs „Ressourceneffizienz in Handel und Logistik“	83
7.2 Dokumentation des Fachgesprächs	83

7.3	Ausgewählte Aspekte der Kurzanalyse Nr. 27	84
7.4	Verpackung - Schutz und Verschwendung zugleich	87
7.5	Diskussion - Teil 1	90
7.6	Transportverpackungen in der digitalen Welt der Logistik: Potenziale für Ressourceneffizienz?!	92
7.7	Digitalisierung in Handel und Logistik - Wie digitale Geschäftsmodelle Ressourcen einsparen und ökonomische Chancen bieten	95
7.8	Diskussion - Teil 2	98
7.9	Zusammenfassung	101
	LITERATURVERZEICHNIS	103

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Untersuchungsrahmen der Kurzanalyse	10
Abbildung 2: Supply-Chain-Typen im Handel	13
Abbildung 3: Umsatzentwicklung in der Logistik in Deutschland (Stand Januar 2020)	16
Abbildung 4: Jährliches Umsatzvolumen im Online-Handel in Deutschland	17
Abbildung 5: Rahmenbedingungen der Grünen Logistik	20
Abbildung 6: Typische Effizienz-Kennwerte von Bandförderanlagen	24
Abbildung 7: Aerodynamisch verbesserter Anhänger	52
Abbildung 8: Prototyp des aerodynamisch optimierten Sattelzugs Aero Liner	53
Abbildung 9: Luftleit-Klappen am Heck eines Fahrzeugs	54
Abbildung 10: „Trucksack“ am Heck eines Lkw	56
Abbildung 11: Auslastung von Lkw im Langstreckentransport	75

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Vergleich ausgewählter Grenzwerte 4-poliger Elektromotoren	25
Tabelle 2:	Maßnahmen in Richtung Nullemissionsgebäude	39
Tabelle 3:	Vor- und Nachteile von ausgewählten Power-Fuels	49

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AR	Augmented Reality
BBM	Bedarfsbestandsmanagement
BI	Business Intelligence System
BKM	Bedarfskapazitätsmanagement
BVL	Bundesvereinigung Logistik
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control
CCU	Carbon Capture and Utilisation (CO ₂ -Abscheidung und Verwendung)
CLFT	Connected Lightweight Future Truck
CNL	Council für nachhaltige Logistik
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂-äq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EE	Erneuerbare Energien
EnEV	Energieeinsparverordnung
ERP	Enterprise Resource Planning
Fraunhofer IML	Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT	Internet of Things
KEP	Kurier-Express-Paket-Dienstleister
KI	Künstliche Intelligenz
kW	Kilowatt

kWp	Kilowatt peak (Leistungsmaximum)
LCV	Long Combination Vehicle (langes Kombifahrzeug)
LNG	Liquid Natural Gas (flüssiges Erdgas)
M2M	Machine to Machine (von Maschine zu Maschine)
NFC	Near Field Communication (Nahfeldkommunikation)
OEM	Original Equipment Manufacturer
PP	Polypropylen
PV	Photovoltaik
RFID	Radio Frequency Identification (Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen)
SCM	Supply Chain Management
TWh	Terawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
V2I	Vehicle to Infrastructure (von Fahrzeug zu Infrastruktur)
V2V	Vehicle to Vehicle (von Fahrzeug zu Fahrzeug)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VR	Virtual Reality
WMS	Warehouse Management System

1 EINLEITUNG

Logistische Prozesse sind in der Wirtschaft in sämtlichen Zweigen und Branchen elementar wichtig, sei es zur Lagerung und Warenverteilung innerhalb des Unternehmens (Intralogistik) oder zum Warenaustausch mit anderen Unternehmen oder Endkunden (Transportlogistik und Supply Chain Management). Der Handel und die Logistikbranche zählen in Deutschland zu den umsatzstärksten Wirtschaftszweigen und haben nicht nur deshalb für die deutsche Wirtschaft eine enorme Bedeutung. Insgesamt wurde durch Handel und Logistik in 2017 in Deutschland ein Umsatz von ca. 2,35 Billionen Euro erwirtschaftet (vgl. Kapitel 2.1).

Sowohl im Handel als auch in der Logistikbranche werden große Mengen natürlicher Ressourcen, insbesondere Rohstoffe und Energie, verbraucht. Dabei spielt der Transport von Waren eine bedeutende Rolle, aber auch andere Faktoren wie der Bau und Betrieb von Handels- und Logistikimmobilien, die dort vorhandene Lager- und Fördertechnik sowie die Produktion und der Einsatz von verschiedensten Verpackungen und Ladehilfsmitteln.

Die vorliegende Kurzanalyse hat zum Ziel, Unternehmen aus Handel und Logistik Anregungen zu ressourceneffizienter Gestaltung von Geschäftsprozessen zu geben. Die hierin vorgestellten Strategien, Maßnahmen und Praxisbeispiele sollen auch dabei helfen, zusätzliche Potenziale bezüglich Ressourceneffizienz zu erschließen.

Mit Ressourceneffizienz ist gemäß VDI-Richtlinie 4800 (Blatt 1)¹ das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz gemeint. Gesteigert werden kann die Ressourceneffizienz sowohl durch Materialeinsparungen als auch die Verringerung des Energiebedarfs.

Der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Analyse umfasst die in Abbildung 1 dargestellten Elemente der Versorgungskette. Enthalten sind darin sowohl logistische Prozesse von produzierenden Unternehmen als auch des Groß- und Einzelhandels. Zudem werden die notwendigen Transportpro-

¹ Vgl. VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

zesse sowie die zum Handel und zur Logistikbranche zugehörigen Immobilien auf Ressourceneffizienzpotenziale untersucht. Übergeordnete Strategien und Maßnahmen wie beispielsweise zur Automation und Digitalisierung ergänzen die Betrachtung der beiden Bereiche. Vorgelagerte Prozesse wie die Rohstoffgewinnung und nachgelagerte Prozesse nach Auslieferung an den Kunden werden nicht betrachtet. Um Maßnahmen hinsichtlich der Ressourceneffizienz umfänglich beurteilen zu können, spielen die Auswirkungen auf den gesamten Lebensweg des veränderten Produktsystems eine entscheidende Rolle.²

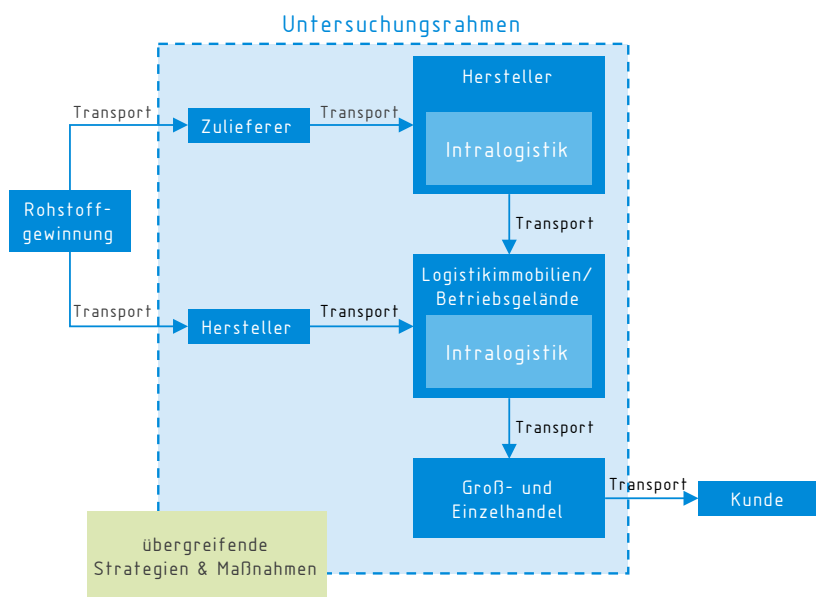


Abbildung 1: Untersuchungsrahmen der Kurzanalyse

Im einleitenden Kapitel wird zunächst eine Übersicht über die wirtschaftliche Bedeutung von Handel und Logistik in Deutschland gegeben (Kapitel 2.1). Im Anschluss werden aktuelle Trends und voraussichtliche Entwicklungen aufgezeigt, um abschätzen zu können, welche Themen für den hier

² Weiterführende Informationen: VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

betrachteten Untersuchungsrahmen zukünftig an Relevanz gewinnen (Kapitel 2.2). Die sogenannte Grüne Logistik nimmt dabei eine entscheidende Rolle ein und wird daher in einem eigenen Kapitel behandelt (Kapitel 2.3).

Kapitel 3, 4 und 5 befassen sich mit dem Kern der Kurzanalyse. Hier werden eine Auswahl konkreter Ressourceneffizienzmaßnahmen für Handel und Logistik aufgezeigt und deren Potenziale diskutiert. Konkrete Beispiele aus der Praxis (blau hinterlegt) sollen erfolgreiche Ansätze zeigen und Anstöße für eigene Wege bieten. Der Hauptteil ist in die drei Bereiche Intralogistik/Lagerwesen (Kapitel 3), Transportwesen (Kapitel 4) und Verpackungswesen (Kapitel 5) unterteilt. Dabei liegt der Fokus stets auf Aspekten, in denen noch ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz vorhanden ist.

Automatisierung und Digitalisierung sind in der heutigen Industrie nicht mehr wegzudenken und finden auch in dieser Kurzanalyse ihren Platz. Außerdem können Kooperationen von Unternehmen, Anpassungen des Fuhrparks und effiziente Tourenplanung zur Ressourcenschonung beitragen, diese werden neben weiteren Themen dargestellt.

2 HANDEL UND LOGISTIK

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die wirtschaftliche Bedeutung von Handel und Logistik und zeigt wichtige Entwicklungen und Trends auf. Abschließend wird auf die Thematik der Grünen Logistik eingegangen, die mittlerweile zu einem festen Begriff geworden ist und zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

2.1 Einordnung von Handel und Logistik

Unter Handel wird allgemein der Austausch von Gütern und Dienstleistungen verstanden. Welche Unternehmen daran beteiligt sind, spielt dabei zunächst keine Rolle. Beziehen Unternehmen Waren von anderen Marktteilnehmern, die sie für gewöhnlich nicht selbst be- oder verarbeiten, und vertreiben diese weiter an Dritte, so wird dies als Handel bezeichnet.³ In der vorliegenden Kurzanalyse sollen unter dem Begriff des Handels vorwiegend die Wirtschaftszweige des Einzel- und Großhandels verstanden werden.

Logistik wird von der Bundesvereinigung Logistik (BVL) wie folgt definiert: „Logistik ist die ganzheitliche Planung, Steuerung, Koordination, Durchführung und Kontrolle aller unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Informations- und Güterflüsse. Supply Chain Management (SCM), die intelligente Planung und Steuerung von Wertschöpfungsketten, wird synonym verwendet.“⁴

Wirtschaftliche Bedeutung des Handels

Dem Umsatz nach ist der Handel in Deutschland mit ca. 2,09 Billionen Euro einer der größten Wirtschaftszweige (im Jahr 2017). Gleichzeitig sind im deutschen Handel rund 6,4 Millionen Menschen tätig.⁵ Am Gesamtumsatz des deutschen Handels zeigt sich bereits die enorme Bedeutung für die deutsche Wirtschaft. Zum Vergleich: Der Bausektor erzielte 2017 einen Umsatz von ca. 260 Milliarden Euro mit rund 2,3 Millionen Beschäftigten.⁶

³ Vgl. Schneider, W. (2019).

⁴ Bundesvereinigung Logistik (2019).

⁵ Vgl. Statistisches Bundesamt (2020).

⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2019).

Je nachdem, wie die Aufgaben zwischen Produzenten, Großhandel und Einzelhandel verteilt sind, lassen sich im Handelsgewerbe fünf verschiedene Supply-Chain-Typen herausstellen (siehe Abbildung 2). Da insbesondere die großen Einzelhandelskonzerne vermehrt direkt beim Produzenten bestellen, kommt die mehrstufige Struktur immer seltener zum Einsatz. Durch den zunehmenden Internethandel gewinnt der Direktvertrieb stark an Bedeutung. Im Lebensmittelhandel ist die Ausprägung des Direktvertriebs etwas geringer als in den anderen Bereichen. Auch der Vertrieb über sogenannte Flagship-Stores nimmt stetig zu. So werden Verkaufsfilialen bezeichnet, die der Hersteller direkt betreibt. Auch etablierte Online-Händler eröffnen bereits solche Stores, teils als Self-Service-Stores in großen Städten. Bei der vertikalen Integration handelt es sich um den Vertrieb von für die Handelsunternehmen produzierten Eigenmarken.⁷

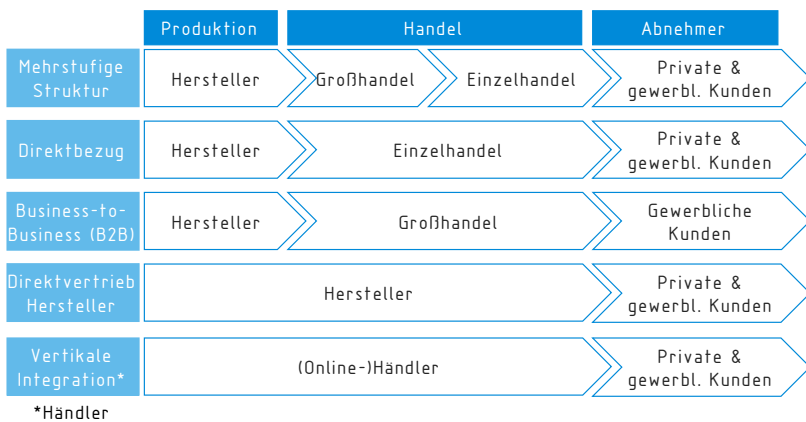


Abbildung 2: Supply-Chain-Typen im Handel⁸

Eine besondere Bedeutung kommt im Handel der Logistik zu, die auch als Handelslogistik bezeichnet wird. Unterteilen lässt sich diese vor allem in die Bereiche Beschaffungslogistik, Lagerlogistik, Distributionslogistik und Filiallogistik. Die unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche resultieren insbesondere aus der Vielfältigkeit der Handelsunternehmen und deren gewünschten

⁷ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 10.

⁸ Basierend auf Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 9.

Warenströmen. Auch Wertschöpfungsschritte wie Qualitätskontrolle, Montage oder Just-in-Time-Lieferung können zur Aufgabe von Logistikunternehmen zählen. Im Handel wird das querschnittsorientierte Supply Chain Management mit durchgängigen Lieferketten und einem Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) zunehmend wichtiger - nicht zuletzt durch die zunehmende Digitalisierung und damit einhergehende Informationslogistik. Durch die große Bandbreite möglicher Waren stellen sich der Logistik besondere Herausforderungen (z. B. durch Sperrgut, Tiefkühlware u. a.). Die Logistik muss weiterhin gewährleisten, dass sie auch in einem sich ständig verändernden Umfeld mit vielen Variablen verlässlich funktioniert und möglichst kurze Lieferzeiten einhält. Für den Handel ist eine funktionierende Logistikbranche von unerlässlichem Wert.⁹

Die enorme Relevanz der Handelslogistik wird bei der Betrachtung der Kosten deutlich. Im Jahr 2011 betrug die Gesamtkosten für die deutsche Handelslogistik geschätzte 64 Mrd. Euro und somit ca. 30 % der gesamt verursachten Logistikkosten von 223 Mrd. Euro in Deutschland. Die Logistik der Automobilindustrie hatte im gleichen Jahr nur einen Anteil von 11 % an den Gesamtkosten.¹⁰

In der strategischen Ausrichtung von Handelsunternehmen wird jedoch oft anderen Bereichen wie dem Einkauf oder Vertrieb eine größere Bedeutung eingeräumt. Dabei kann die Logistik eine geschäftsentscheidende Funktion einnehmen, wenn im Unternehmen ein umfassendes Supply Chain Management betrieben wird. Eine möglichst enge Kooperation von Logistik und anderen Bereichen wie Ein-¹¹ und Verkauf ist für das Unternehmen dann von besonderem Vorteil.¹²

⁹ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 5.

¹⁰ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 16.

¹¹ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014).

¹² Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 16.

Wirtschaftliche Bedeutung der Logistik

Mit über drei Millionen Beschäftigten und einem Jahresumsatz von ca. 279 Mrd. Euro lag die Logistikbranche 2019 auf Platz drei der größten Wirtschaftszweige in Deutschland. Noch umsatzstärker sind nur die Automobilwirtschaft und der Handel. Im Jahr 2017 wurde durch Transport und Lagerung sowie die Steuerung von Waren- und Informationsflüssen in der Logistik ein Gesamtumsatz von ca. 267 Mrd. Euro erzielt. Der Wert des gesamten europäischen Logistikmarktes wurde 2017 mit 1.050 Mrd. Euro (2017) beziffert. Auf Deutschland entfiel davon etwa ein Viertel. Abbildung 3 zeigt die zeitliche Entwicklung der letzten Jahre bezüglich des Umsatzes in der Logistik in Deutschland. Dort ist klar zu erkennen, dass beide Werte im Zeitraum von 2015 bis 2019 einem stetigen Wachstum unterlagen.¹³

Doch nicht alle Prozesse, die in der Logistik stattfinden, sind unmittelbar als solche zu erkennen. Neben dem Transport von Gütern zählen auch Planung, Steuerung und Umsetzung von intralogistischen Leistungen, also Prozesse innerhalb des Unternehmens, dazu. Etwas mehr als die Hälfte der logistischen Prozesse findet in diesem Bereich statt. Der Großteil der rund 60.000 Unternehmen, die in Deutschland logistische Dienstleistungen vollbringen, wird den kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) zugeordnet. Allein durch die hohe Beschäftigtenzahl und die Wichtigkeit der Versorgungsfunktion ist die Logistik für Deutschland als Wirtschaftsfaktor eine treibende Kraft. Zusätzlich gewährleistet eine höchst effiziente Logistik, dass deutsche Unternehmen auch weiterhin lohnenswert im Inland produzieren können. Außerdem wird durch die Logistik ermöglicht, Waren effektiv und effizient zu exportieren und somit einen florierenden Außenhandel zu treiben.¹⁴

¹³ Vgl. Bundesvereinigung Logistik (2020).

¹⁴ Vgl. Bundesvereinigung Logistik (2020).

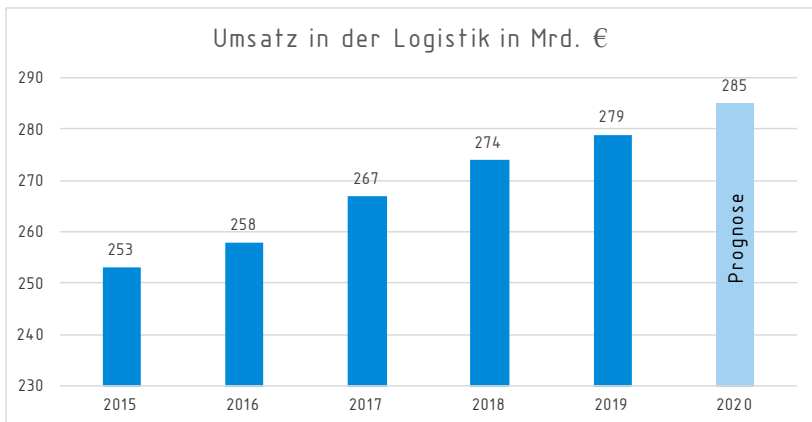


Abbildung 3: Umsatzentwicklung in der Logistik in Deutschland (Stand Januar 2020)¹⁵

2.2 Entwicklungen und Trends von Handel und Logistik

Neue Anforderungen erzeugen Handlungsbedarf

Externe Faktoren können einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung des Handels und der Handelslogistik nehmen. Aktuell wird vor allem die Digitalisierung mit dem einhergehenden, schnell wachsenden Online-Handel und der vermehrten Nutzung des mobilen Internets als Herausforderung für Handel und Logistik angesehen. Hinzu kommt der demografische Wandel mit Veränderungen bezüglich der Kundennachfrage und eventueller personeller Engpässe.¹⁶

Für das Jahr 2021 wird das Umsatzvolumen im deutschen Online-Handel auf ca. 80 Mrd. Euro geschätzt.¹⁷ Das entspräche einer Vervierfachung gegenüber 2010 (vgl. Abbildung 4). Allein für Elektronikprodukte soll das Umsatzvolumen dann bereits bei 23 Mrd. Euro liegen. Der Online-Handel hat damit höhere Wachstumsraten zu verzeichnen als alle anderen Branchen. Um den Bedarf an nachgefragten Produkten bedienen zu können, gewinnt die Logistik in ihrer Rolle als Dienstleister mehr denn je an Bedeutung.¹⁸

¹⁵ Vgl. Bundesvereinigung Logistik (2020).

¹⁶ Vgl. KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2016), S. 13 ff.

¹⁷ Vgl. KOMSA Kommunikation Sachsen AG (2018), S. 5.

¹⁸ Vgl. KOMSA Kommunikation Sachsen AG (2018), S. 5.

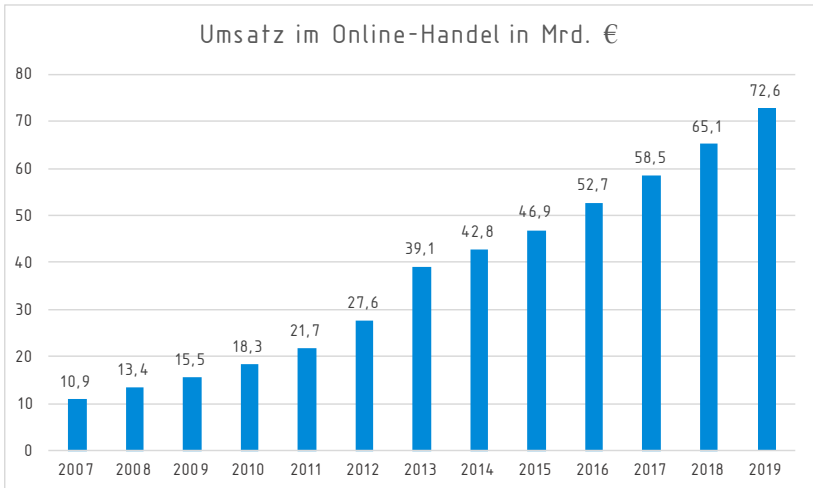


Abbildung 4: Jährliches Umsatzvolumen im Online-Handel in Deutschland¹⁹

Neue Konzepte sind dringend nötig, um den sich verändernden Anforderungen gerecht zu werden. Dies gilt ebenfalls in Hinsicht auf die steigenden Verbraucheranforderungen und den zunehmenden Druck durch sich erhöhende Kosten. Nicht zu vernachlässigen ist der Wunsch nach Nachhaltigkeit, der mehr und mehr Einzug in Handel und Logistik hält. Um den zukünftigen Herausforderungen gewachsen zu sein, ist es von entscheidender Bedeutung, schon frühzeitig adaptive Veränderungen vorzunehmen und durch Innovationsfähigkeit die vorhandenen Chancen zu ergreifen.²⁰

Logistikexperten betonten bereits in einer Studie aus 2014 die Relevanz des Trends zur Grünen Logistik als Bestandteil einer nachhaltigen Unternehmensführung.²¹ Die Interviews mit den Experten zeigten deutlich, dass die wirtschaftliche Umsetzbarkeit der Maßnahmen als entscheidendes Erfolgskriterium nachhaltiger Logistik und Ressourcenschonung gewertet wird. In einer Studie aus 2013 konnten bereits Maßnahmen gezeigt werden, die von ökologischem und gleichzeitig wirtschaftlichem Nutzen für die Logistik

¹⁹ Basierend auf Rabe, L. (2020).

²⁰ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötzel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 5.

²¹ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötzel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 33 f.

sind.²² Allerdings werden auch Maßnahmen beschrieben, die zwar ökologisch sehr vorteilhaft, aber mit deutlichen Mehrkosten für die Unternehmen verbunden sind. Steigende Logistikkosten, vor allem durch externe Faktoren, und der dadurch entstehende Kostendruck wurden von Experten als Trend beschrieben.²³ Auch unterstrichen die Befragten die zunehmenden Probleme, die sich aus dem demografischen Wandel ergeben.

Im Jahr 2017 konnten 15 Trends im Rahmen einer Studie²⁴ ausgemacht werden, die den Logistikmarkt zukünftig beeinflussen werden. Demnach werden vor allem Kostendruck, Individualisierung und Komplexität der logistischen Prozesse zunehmen. Der Ruf nach Transparenz in der Wertschöpfungskette als auch nach stärkerer Vernetzung der Handels- und Logistikprozesse ist ebenfalls als aktuelle Entwicklung aufgezeigt. Die methodisch gleiche Studie wurde bereits im Jahr 2012 durchgeführt. Beim Vergleich der Ergebnisse aus den Jahren 2012 und 2017 wird deutlich, dass der Trend zur Nachhaltigkeit erheblich an Relevanz gewonnen hat. Eine herausragende Rolle wird der Digitalisierung von Geschäftsprozessen zugesprochen.²⁵

Digitalisierung in der Logistik

Im Bereich Logistik und Supply Chain Management sind aktuell Enterprise-Resource-Planning-(ERP-)Systeme und Warehouse Management Systeme (WMS) am weitesten verbreitet. Derzeit wird ihnen im Bereich der Managementsysteme auch die höchste Bedeutung zugeschrieben.²⁶

In den nächsten Jahren werden die prädiktive Analyse, der mobile Zugriff auf Daten sowie die Lieferkettenüberwachung mittels Sensorik eine zunehmende Rolle spielen. Die genannten Konzepte und Techniken sind optimal miteinander kombinierbar und ergänzen sich gegenseitig. Insbesondere die prädiktive Analyse bietet durch Prozessoptimierung (beispielsweise durch intelligente, unternehmensübergreifende Transportkooperationen) ein hohes Ressourceneinsparpotenzial für die Praxis (siehe dazu auch Kapitel 4.3). Derzeitig werden neue Technologien entwickelt, die das Potenzial haben, die

²² Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötzel, M. und Brock, M. (2013).

²³ Vgl. Seeck, S.; Groß, W.; Bötzel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014), S. 33 f.

²⁴ Vgl. Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. von; Hackius, N. und Maurer, T. (2017), S. 8.

²⁵ Vgl. Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. von; Hackius, N. und Maurer, T. (2017), S. 8.

²⁶ Vgl. Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. von; Hackius, N. und Maurer, T. (2017), S. 8.

Logistik und das Lieferkettenmanagement maßgeblich zu verändern, sobald sie technologisch ausgereift sind. Dazu zählen vor allem Drohnen, Augmented Reality und Blockchain.²⁷

2.3 Grüne Logistik

Die sogenannte Grüne Logistik hat zum Ziel, durch Realisierung sowohl ökonomischer als auch ökologischer Effizienzmaßnahmen Logistikunternehmen zu nachhaltigem Handeln zu befähigen. Durch eine entsprechende Ausrichtung und Anpassung der Unternehmensprozesse sollen umweltgerechte und ressourceneffiziente Logistikprozesse geschaffen werden.²⁸

Nach Definition von Deckert & Fröhlich (2014) bezeichnet die Grüne Logistik „die Ausrichtung der Logistikfunktionen an den Zielen der ökologischen Nachhaltigkeit. Ziele sind dabei Ressourcenschonung, d. h. verbesserte Ressourceneffizienz, und Umweltverträglichkeit, d. h. verminderte Auswirkung von Emissionen.“ Die Funktionen der Logistik werden von den Autoren in die Bereiche Lagerung, Transport und Verpackung unterteilt.²⁹

Der Themenkomplex der umweltschonenden Logistikdienstleistungen findet zunehmend Aufmerksamkeit in Wirtschaft und Öffentlichkeit. Im Logistiksektor wird dieser Bereich als eine der wichtigsten zukünftigen Herausforderungen angesehen. Eine planvolle, umweltfreundliche Ausrichtung der logistischen Leistungen macht zudem den Zukauf von CO₂-Zertifikaten unnötig, wodurch Kosten gesenkt werden. Um die Prinzipien der Grünen Logistik umsetzen zu können, sind Aufgeschlossenheit und Kooperationsbereitschaft wesentliche Voraussetzungen. Akteure aus allen Stufen der Wertschöpfungskette sollten dabei zusammenarbeiten, von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling. Neben Großbetrieben sind vor allem auch die kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) gefordert, da diese in Deutschland einen großen Anteil der Wertschöpfung ausmachen. Um die deutsche Logistikbranche umweltschonend und nachhaltig zu gestalten, ist ein breites Bewusstsein für die Thematik sehr wichtig. Die Bereitschaft, den Aufwand

²⁷ Vgl. Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. von; Hackius, N. und Maurer, T. (2017), S. 8.

²⁸ Vgl. Schmidt S. (2019), S. 227 ff.

²⁹ Vgl. Deckert, C. und Fröhlich, C. (2014), S. 14.

und die eventuellen Kosten der Maßnahmen zu tragen, ist letztendlich von entscheidender Bedeutung für eine erfolgreiche Umsetzung.³⁰

Mögliche Ansatzpunkte bieten sich durch nachhaltiges Transport-, Lagerhaus- und Verpackungsmanagement. Im Bereich des Transportmanagements können beispielsweise die Anzahl der Transporte, Transportmengen und die Transportschädlichkeit vermindert werden, um die Logistik umweltschonender zu gestalten. Das nachhaltige Lagerhausmanagement bietet beispielsweise Möglichkeiten zur umweltfreundlichen Lagerung und zur Reduzierung von Lagerfläche. Mit Maßnahmen des nachhaltigen Verpackungsmanagements lassen sich u. a. Verpackungsmaterialien einsparen und Recyclinganteile erhöhen. Weitere Möglichkeiten für die einzelnen Bereiche der Grünen Logistik sind in Abbildung 5 beispielhaft aufgezeigt.³¹

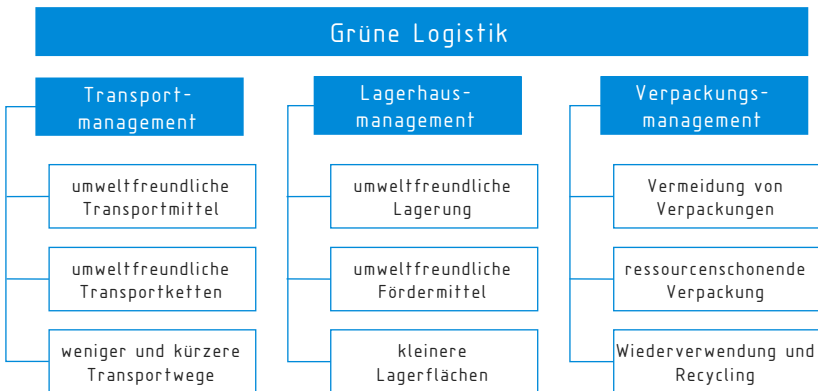


Abbildung 5: Rahmenbedingungen der Grünen Logistik³²

³⁰ Vgl. Schmidt S. (2019), S. 227 ff.

³¹ Vgl. Deckert, C. und Fröhlich, C. (2014), S. 13.

³² Basierend auf Deckert, C. und Fröhlich, C. (2014), S. 15.

Welche Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung sich in der Logistik und im Handel bieten, stellt der nachfolgende Abschnitt (Kapitel 3) dar.

Es werden sowohl bereits praktizierte Maßnahmen als auch Trends und Zukunftsvisionen aufgezeigt. Praxisbeispiele (in blau hinterlegten Kästen) geben Anstöße zur Umsetzung eigener Maßnahmen und zeigen bereits vorhandene Möglichkeiten auf.

3 RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER INTRALOGISTIK UND DEM LAGERWESEN

Unter Intralogistik versteht man laut Definition des VDMA „die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlages in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen“³³. Die wesentlichen Elemente des modernen Lagerwesens sind die Planung und Gestaltung der intralogistischen Prozesse, die Auswahl von Förder-, Lager-, Handlings- und Sensortechnik, die Sicherstellung eines einwandfreien Informationsflusses sowie die optimale Steuerung der Systemkomponenten.³⁴

3.1 Effiziente Fördertechnik

In der Logistik kommen fördertechnische Anlagen in diversen Bereichen zum Einsatz. Dazu zählen beispielsweise Systeme zur Lagerung, Kommissionierung, Sortierung und Verteilung von Waren sowie Förderanlagen in der Verpackungstechnik und bei Umschlagprozessen.³⁵

Der Wahl des Förderantriebs von Anlagen kommt eine besondere Bedeutung zu. Ca. 67 % des industriellen Stroms in Deutschland werden durch elektrische Antriebe verbraucht.³⁶ Durch den Einsatz von energieeffizienten Motoren wird nicht nur weniger Strom benötigt und somit die Umwelt geschont. Es können auch Kosten gesenkt werden, da für die Lebenszykluskosten neben den Wartungskosten vor allem die Energiekosten während der Betriebszeit eine große Rolle spielen. Die Anschaffungskosten fallen dabei weniger ins Gewicht.³⁵

Die Effizienz von Fördertechnik lässt sich u. a. durch folgende Maßnahmen verbessern:

- (a) Verwendung von hocheffizienten Elektromotoren (für bestimmte Anwendungsfälle)

³³ Vgl. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2020).

³⁴ Vgl. Thomas, S. (2013).

³⁵ Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 32.

³⁶ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2010), S. 3.

- (b) Minimierung von Reibungsverlusten innerhalb der Förderanlage
- (c) Nutzung von Synchronantrieben, Stirnkegelradgetrieben und Frequenzumrichtern
- (d) Anpassung von Fördergeschwindigkeit und Verringerung der Spitzenleistung der Anlage

Weitere Maßnahmen, auf die im Folgenden nicht näher eingegangen wird, sind Leichtbau in der Fördertechnik (insbesondere bei Regalbediengeräten), Rekuperation von Energie und Rückspeisung ins Netz (wenn betrieblich möglich) oder Zwischenspeicherung in Supercaps, Zwischenkreiskopplung von Antrieben (Rekuperation eines Antriebes wird für Energiebedarf eines anderen Antriebes verwendet, z. B. Hub- und Fahrwerkantrieb beim Regalbediengerät), intelligente Steuerung der Antriebe zur Ausnutzung der Rekuperation durch Zwischenkreiskopplung sowie die Nutzung energieeffizienter Lagerstrategien unter Berücksichtigung isoenergetischer Lagerfächer.^{37, 38, 39, 40}

In Abbildung 6 werden typische Wirkungsgrade bzw. Reibungskoeffizienten von Komponenten eines Bandförderers gezeigt. Anhand der Spannweite der Werte ist zu erkennen, in welchen Bauteilen eine Effizienzsteigerung am wirkungsvollsten zu realisieren ist. Die Leistungskennwerte der im Unternehmen vorhandenen Anlagen können auch als Richtwerte zur Einordnung der vorhandenen Energieeffizienz dienen und eventuelle Verbesserungspotenziale aufzeigen.

³⁷ Zadek, H. (16. April 2020).

³⁸ Vgl. Schulz, R.; Monecke, J. und Zadek, H. (2012a).

³⁹ Vgl. Schulz, R.; Monecke, J. und Zadek, H. (2012b).

⁴⁰ Vgl. Siegel, A.; Turek, K.; Schmidt, T.; Schulz, R. und Zadek, H. (2013).

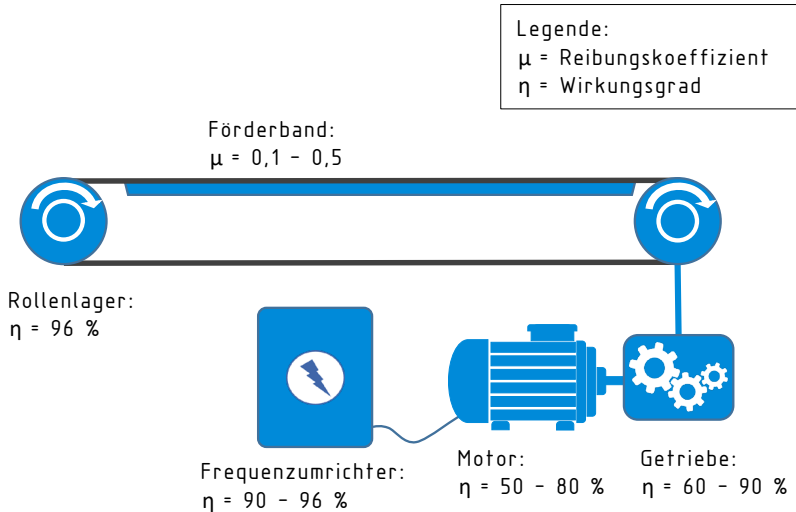


Abbildung 6: Typische Effizienz-Kennwerte von Bandförderanlagen⁴¹

(a) Verwendung von hocheffizienten Elektromotoren

Elektromotoren werden hinsichtlich der Versorgungsspannung in Gleichstrom- und Wechselstrommotoren unterschieden. Letztere lassen sich weiter unterteilen in Synchron- und Asynchron-Drehstrommotoren. In der Industrie sind Niederspannungs-Drehstrom-Asynchronmotoren am häufigsten vertreten.⁴²

2010 wurde die Norm IEC 60034-31:2010 veröffentlicht und 2014 aktualisiert. Seitdem werden Elektromotoren im Leistungsbereich von 0,12 kW bis 1000 kW durch die Norm IEC 60034-30-1:2014 in die Effizienzklassen IE1, IE2, IE3 und IE4 unterschieden, wobei letztere Klasse den höchsten Wirkungsgrad aufweist. In der nächsten Aktualisierung der Norm ist die Aufnahme einer weiteren Effizienzklasse (IE5) geplant.⁴³

⁴¹ In Anlehnung an: Forbo Siegling GmbH (2019), S. 5.

⁴² Vgl. TU Berlin und TU Hamburg-Harburg (2014).

⁴³ Vgl. elektro.net (2018).

Die Anforderungen an Elektromotoren hinsichtlich Energieeffizienz sind seit 2011 in der ErP-Durchführungsverordnung Nr. 640/2011/EG geregelt. Demnach dürfen seit Beginn 2015 Asynchronmotoren in der Leistungsklasse bis 5,5 kW nur noch mit der Effizienzklasse IE2 oder höher eingesetzt werden. In der Leistungsklasse über 7,5 kW sind lediglich noch Motoren mit IE3 oder besser zugelassen. Werden diese Elektromotoren jedoch mit einer Drehzahlregelung (z. B. mittels Frequenzumformer) versehen, reichen die Effizienzanforderungen aus der Klasse IE2 aus. Der zweite Teil dieser Norm (IEC 60034-30-2) wird zurzeit erarbeitet und soll die Effizienzanforderungen für Elektromotoren regeln, die mit variabler Spannung und Frequenz versorgt werden (beispielsweise Synchronmotoren).⁴⁴

In Tabelle 1 sind beispielhaft einige Nenngrenzwerte für den Wirkungsgrad von Elektromotoren je nach Bemessungsleistung aufgeführt. Die dortigen Werte gelten für eine 4-polige Maschine. In der IEC 60034-2-1 ist festgelegt, dass sich der Bemessungswirkungsgrad und die Wirkungsgradklassen auf den Betrieb bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C beziehen.⁴⁵

Tabelle 1: Vergleich ausgewählter Grenzwerte 4-poliger Elektromotoren⁴⁶

	Nenngrenzwerte für den Wirkungsgrad in %			
Bemessungsleistung in kW	IE1	IE2	IE3	IE4
0,55	70,0	77,1	80,8	83,9
1,10	75,0	81,4	84,1	87,2
3,00	81,5	85,5	87,7	90,4
30,00	90,7	92,3	93,6	94,9
200,00	94,0	95,1	96,0	96,7

Die Effizienzklasse eines Elektromotors kann in der Regel dem Typenschild entnommen werden. In den Produktdokumentationen müssen zudem weiterführende Angaben zum Wirkungsgrad der Motoren aufgeführt sein.

Bei möglichst konstantem (Dauer-)Betrieb von Fördertechnik wie z. B. Rollenbahnen ist der Einsatz von wenigen größeren Elektromotoren mit hoher

⁴⁴ Vgl. elektro.net (2018).

⁴⁵ Vgl. elektro.net (2018).

⁴⁶ Basierend auf elektro.net (2018).

Nennleistung zumeist effizienter als der vieler kleinerer Motoren, da die größeren Motoren in der Regel höhere Wirkungsgrade aufweisen.⁴⁷

Bei Fördertechnik mit vielen Start-/Stopp-Bewegungen und hohen Beschleunigungswerten sind energieeffiziente Antriebe teils sogar energetisch schlechter als ältere Energieklassen, da sie (im Gegensatz zum Dauerbetrieb) nicht im Leistungsoptimum agieren.⁴⁸

(b) Minimierung von Reibungsverlusten innerhalb der Förderanlage

Die inneren Reibkräfte in Förderanlagen spielen eine Rolle bei Umlenkungen, Gurtabtragungen und anderen Bauteilen, bei denen Reibung in wesentlichem Ausmaße auftritt. Durch Verringerung der Reibwiderstände von Bauteilen einer Förderanlage benötigen die Elektromotoren weniger Strom, um das Transportziel zu erreichen, was die Energieeffizienz der Anlage erhöht. Zudem ist die Abnutzung der einzelnen Bauteile geringer. Dies führt zu einer Verlängerung der Lebensdauer der Bauteile und damit auch zu einer verlängerten Lebensdauer der Förderanlagen. Da im gesamten Lebenszyklus der Anlagen weniger Bauteile ausgetauscht werden müssen, erhöht sich die Materialeffizienz. Außerdem werden Wartungs- und Reparaturintervalle verlängert, was zusätzlich Kosten einspart.⁴⁹

Besonders reibungsarmes Transportband⁵⁰

Ein innovatives Transportband eines deutschen Unternehmens bietet durch besonders niedrige Reibung zwischen Bandunterseite und Gleitstisch eine Energieeinsparung an der Gesamtanlage von bis zu 50 %. Die spezielle Beschichtung des Laufseitengewebes sorgt dafür, dass eine Gleitschicht entsteht, die in ihrer Wirkung mit dem permanenten Einsatz eines trockenen Schmiermittels zu vergleichen ist. Durch den reduzierten Reibungskoeffizienten auf der Laufseite verringert sich, bezogen auf eine feste Förderlänge, die benötigte Antriebsleistung.

⁴⁷ Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 32.

⁴⁸ Zadek, H. (16. April 2020).

⁴⁹ Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 33.

⁵⁰ Vgl. Forbo Siegling GmbH (2019).

(c) Nutzung von Synchronantrieben, Stirnkegelradgetrieben und Frequenzumrichtern

Einsatz von Synchronantrieben

Im Vergleich zu Asynchronmotoren weisen Synchronmotoren zumeist einen höheren elektrischen Wirkungsgrad auf. Einige Hersteller gehen von einem um 20 % verringerten Energiebedarf aus. Zwar liegen die Investitionskosten meist über denen von Asynchronmaschinen, allerdings können sich durch die höhere Energieeffizienz und den geringeren Instandhaltungsbedarf die erhöhten Anschaffungskosten für Synchronmotoren schnell amortisieren. Momentan kommen Synchronmotoren für Fördertechnik noch recht selten zum Einsatz. Sollten die Strompreise weiter ansteigen, wird sich diese Antriebstechnik zunehmend rentieren.⁵¹

Einsatz von Stirnkegelradgetrieben

Werden niedrigere oder höhere Drehzahlen benötigt, als die Synchronmotoren liefern können, kommen Getriebe zum Einsatz. Bei Verringerung der Drehzahl kann so gleichzeitig das Drehmoment erhöht werden. Getriebe sind jedoch mit energetischen Übertragungsverlusten behaftet. Mechanische Energie wird dabei in Wärme umgewandelt. Die Verluste entstehen vor allem durch Reibung, Verzahnung und Abdichtung zwischen Motor und Getriebe. Im Allgemeinen stehen die Getriebevarianten Stirnrad-, Kegelrad-, Stirnkegelrad und Schneckengetriebe zur Verfügung. Mit etwa 95 % weisen Stirnkegelradgetriebe den höchsten Wirkungsgrad auf. Am wenigsten effizient sind hingegen die Schneckengetriebe mit Wirkungsgraden zwischen 50 % und 90 %.⁵²

⁵¹ Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 33 ff.

⁵² Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 33 ff.

Einsatz von Frequenzumrichtern bzw. -umformern

In Förderanlagen sind anstelle von kontinuierlicher Bewegung oft auch zyklische Beschleunigung und Bremsung nötig. Die Energieverluste können sich deutlich verringern, wenn die elektrischen Antriebsmotoren mit Frequenzumrichtern gekoppelt werden. Die Umrichter gewährleisten, dass den Motoren nur die momentan tatsächlich benötigte Energie zur Verfügung gestellt wird. Dabei erfolgt eine nahezu verlustfreie Regelung von Drehzahl und Drehmoment. Wird keine Frequenzregelung vorgenommen, muss der Motor mit höherer Nennleistung laufen, um die Leistung für das erforderliche Anfahrmoment sicherzustellen. Durch den Frequenzumrichter kann die Effizienz des Motors erhöht werden, sodass eine niedrigere Nennleistung benötigt wird. Energiewandler bieten zudem die Möglichkeit, Bremsenergie zu verstromen und zurück ins Netz zu leiten. Die Drehzahlregelung sichert nicht nur einen geringeren Energiebedarf, sondern führt auch zu verringerter Bauteilabnutzung, wodurch sich die Instandhaltungskosten reduzieren. Zudem wird die Lärmbelastung minimiert. Effizienzsteigerungen können Frequenzumrichter vor allem dann bewirken, wenn die Betriebslasten drehzahlabhängig sind. Eine gewisse minimale Jahresbetriebsdauer sollte jedoch sichergestellt sein. Laufen Anlagen die meiste Zeit bei Volllast, machen Frequenzumrichter wenig Sinn. Ein hocheffizienter Elektromotor kann in einem solchen Fall deutlich kostengünstiger sein als die Nutzung von Frequenzumrichtern. Unterliegen die Förderanlagen einer hohen Auslastung, sind die Amortisationszeiten für Frequenzumrichter in der Regel dennoch recht kurz. In manchen Fällen können sie sogar nur wenige Monate betragen.⁵³ Für hoch ausgelastete Regalbediengeräte lohnen sich Frequenzumrichter zu meist, da hier starke Schwankungen in den Betriebslasten und Bremsungen vorliegen.⁵⁴

(d) Anpassung von Fördergeschwindigkeit und Verringerung der Spitzenleistung der Anlage

Um einen effizienten und ressourcenschonenden Betrieb zu gewährleisten, ist es ratsam, die benötigte Nennleistung der Motoren an den vorhandenen Leistungsanforderungen der Anlage festzumachen. Oft wird zur Festlegung

⁵³ Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 33 ff.

⁵⁴ Zadek, H. (16. April 2020).

der benötigten Leistung die jährliche Spitzenlast genutzt und eine Abschätzung für die Entwicklung dieses Wertes für die zukünftigen Jahre vorgenommen. Möglicherweise kann die Last des Spitzentages durch sinnvolles Umstrukturieren der energieintensiven Prozesse reduziert werden, sodass von vornherein eine geringere Nennleistung für die Motoren benötigt wird. Bei weniger stark fluktuierendem Leistungsbedarf können die Anlagen mit verringerter Geschwindigkeit laufen und die höchste benötigte Leistung abgesenkt werden. Diese Maßnahmen bedingen meist einen höheren Investitions- und Steuerungsaufwand, führen aber auch zu geringeren Energiekosten und verlängern die Lebensdauer der Anlagen.⁵⁵

Durch intelligente Zwischenkreiskopplung von Antrieben und energieeffiziente Lager- und Betriebsstrategien können trotz leicht verringerter Fördergeschwindigkeiten bis zu 50 % der sonst erforderlichen Energie eingespart werden – ohne gravierenden Verlust der Durchsatzleistung.^{56, 57, 58}

3.2 Automatisierung & Digitalisierung in der Intralogistik

Das Internet der Dinge in der Intralogistik

Im Zuge intralogistischer Arbeitsabläufe entstehen kontinuierlich große Mengen an Daten. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Warenein- und -ausgang, Ein- und Auslagerung, Kommissionierung sowie das Retourenmanagement. Prozesse der Intralogistik lassen sich erheblich effizienter ausführen, wenn Softwaresysteme wie ERP (Enterprise Resource Planning), WMS (Warehouse Management Systeme) oder Datenbanken genutzt und mit den intralogistischen Anlagen (Fördertechnik wie Hochregallager, Tassensortier, automatisiertes Kleinteillager) gekoppelt werden. Entscheidend für die Logistikbranche sind vor allem sogenannte Execution Systeme, die die operativen Prozesse flexibel disponieren und steuern. Aus der Produktion sind diese unter dem Begriff Manufacturing Execution Systems (MES)

⁵⁵ Vgl. Hochschule Osnabrück (2011), S. 34.

⁵⁶ Vgl. Schulz, R.; Monecke, J. und Zadek, H. (2012a).

⁵⁷ Vgl. Schulz, R.; Monecke, J. und Zadek, H. (2012b).

⁵⁸ Vgl. Siegel, A.; Turek, K.; Schmidt, T.; Schulz, R. und Zadek, H. (2013).

bekannt. In der Logistik wird dann meist vom Logistikleitstand (innerbetrieblich) oder vom Supply Chain Execution System (außerbetrieblich) gekoppelt mit einem Supply Chain Event Management gesprochen. Letzteres dient dem gezielten Controlling der Lieferketten mit Frühwarnsystem.⁵⁹

Im Zeitalter der Digitalisierung gewinnen die Materialflussanalyse und -optimierung zunehmend an Bedeutung. Die Möglichkeiten durch die Digitalisierung sind nicht zuletzt durch die Weiterentwicklung und den Preisverfall der Sensorik enorm gestiegen bei gleichzeitig geringerem Aufwand für die Datengewinnung.⁶⁰ Eine Chance zur Bewältigung dieser Aufgabe stellt das Internet der Dinge (IoT) dar. Mithilfe des IoT lassen sich Daten- und Materialflüsse sichtbar machen und leicht verständlich darstellen. Als Folge des verbesserten Prozessverständnisses können Optimierungspotenziale in der Prozessabwicklung erkannt und Maßnahmen zur Prozess- und Maschinenoptimierung besser durchgeführt werden. In der Intralogistik lassen sich Produkte, Bauteile, Maschinen, Menschen und Transportmittel miteinander vernetzen und Prozesse dadurch effizient und störungsarm gestalten. Die Vernetzung der Systemkomponenten im Gesamtsystem führt zunehmend auch zu autonomen, dezentralen Teilsystemen, die sich selbstständig organisieren und steuern. Durch geringere Fehlerquoten entsteht weniger Ausschuss, was zu weniger Materialverschwendung und damit zur Schonung natürlicher Ressourcen führt. Trotz zunehmender Automatisierungstendenzen ist die menschliche Arbeitskraft in einigen Bereichen in Handel und Logistik immer noch unabdingbar. Kommissionieraufgaben lassen sich beispielsweise bisher nur schwerlich von Robotern ausführen, da diese beim Greifen und Handhaben von Waren noch Probleme mit den unterschiedlichen Verpackungsgrößen und -beschaffenheiten haben.⁶¹

Lagerbetrieb mithilfe von Augmented Reality

Mithilfe von Augmented Reality (AR) werden dem Nutzer auf einer Datenbrille zahlreiche hilfreiche Informationen im Blickfeld bzw. Display eingeblendet. Beispielsweise zeigt die Brille dem Nutzer den optimalen Weg bis zum gewünschten Artikel an oder gibt Informationen zu Menge, Größe und

⁵⁹ Zadek, H. (16. April 2020).

⁶⁰ Zadek, H. (16. April 2020).

⁶¹ Vgl. Thomas, S. (2019).

Gewicht des nächsten benötigten Picks beim Kommissionieren. Anschließend kann dem verwaltenden Managementsystem (ERP bzw. WMS) per Spracheingabe oder über ein mobiles Datengerät (Smartphone o. Ä.) die Entnahme der Ware gemeldet werden. Die beim Kommissionieren entnommenen Waren bzw. deren Lagerfächer lassen sich auch direkt mit der AR-Brille scannen und die zugehörigen Daten an das WMS übermitteln. Der Kommissionierprozess kann dadurch effizienter gestaltet werden. Unnötige Wegstrecken werden vermieden und die Fehlerrate wird gesenkt. Zusätzlich sind alle notwendigen und für die Prozessverbesserung hilfreichen Daten im übergeordneten System erfasst.⁶²

Fahrerlose Transportsysteme und Transportroboter

Durch die Nutzung von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) lassen sich sowohl Transportschäden minimieren als auch Personalkosten einsparen. Sinkt die Häufigkeit von Transportschäden, wird letztlich ressourceneffizienter gearbeitet, da sich Materialverluste verringern. Weiterhin reduzieren sich die Fahr- und Wartezeiten dank des stetigen Datenaustauschs und der routenoptimierten Steuerung der autonomen Transporteinheiten durch das Transportsystem. Ein durchgängiger und zügiger Materialfluss ist sichergestellt, wodurch die eventuell vorgelagerte Produktion profitiert. Transportroboter sind inzwischen für sämtliche intralogistische Aufgaben erhältlich, sei es zum Transportieren kleiner Behälter oder Befördern von Paletten mit tonnenschwerer Beladung.⁶³ Herausforderungen in diesem Bereich bestehen bei der Weiterentwicklung automatisierter Transportsysteme hin zu autonomen Systemen, die selbstständig Bedarfe erkennen, Hindernisse umfahren und nach aktueller Verkehrssituation selbst den besten Weg durch die Fabrik ermitteln.⁶⁴

Effizientes Informationsmanagement

Sowohl ein Bedarfsbestandsmanagement (BBM) als auch ein Bedarfskapazitätsmanagement (BKM) können behilflich sein, Lagervorräte mit den benötigten bzw. nachgefragten Waren zu vergleichen und für einen gewissen

⁶² Vgl. Thomas, S. (2019).

⁶³ Vgl. Thomas, S. (2019).

⁶⁴ Zadek, H. (16. April 2020).

Zeitraum zu prognostizieren. Dadurch kann vermieden werden, dass es aufgrund von Engpässen zu kostspieligen Sonderbestellungen oder Eillieferungen kommt oder sogar Produktionsstillstände verursacht werden. Können Transportwege vermieden und Transportmittel besser ausgelastet werden, verringert sich der Kraftstoff- bzw. Energiebedarf. Außerdem spart dies Zeit und Kosten. Auch Stillstandszeiten in der Produktion sind mit hohen Kosten und zusätzlichem Energieaufwand verbunden. Durch Just-in-Time-Lieferungen und zügige Transportabwicklungen können die Stillstandszeiten möglichst gering gehalten werden. Ein effizientes Informationsmanagement und transparente Logistikprozesse ermöglichen weiterhin, den Zeit- und Energieaufwand sowie fehlerbehaftete Lieferungen zu reduzieren.⁶⁵

Die Situation, dass Auftragsbücher bereits im Voraus um mehrere Monate gefüllt sind, findet sich jedoch immer seltener. Flexibilität ist gefordert, die Bestände bzw. Vorräte entsprechend der Nachfrage zu steuern. Das bedarf einer schnellen Informationsweitergabe aus dem Point-of-Sale nicht nur an den OEM, sondern gleichzeitig an seine Hauptlieferanten und einer schnellen Lieferkette von den Lieferanten zum OEM. Je besser und rascher diese Prozesse funktionieren, umso weniger Bestände (Reichweiten) müssen in den Lagern vorgehalten werden.⁶⁶

Neue Nutzungsmöglichkeiten und Anwendungen

Ankleidbare Elektronik

Für logistische Prozesse werden sogenannte Wearable Electronics, also ankleidbare Elektronik, zukünftig eine Rolle spielen. Logistikunternehmen können dadurch Prozesse effizienter gestalten. Beispielsweise beschleunigen RFID-Armbänder (RFID Wristbands) das Kommissionieren durch automatisches Scannen der Ware und geben ein akustisches Signal bei fehlerhafter Kommissionierung.⁶⁷ Dadurch werden Fehllieferungen und unnötige Transporte vermieden, sodass indirekt Ressourcen geschont werden. Für die digitale Erfassung und Verarbeitung von Daten aus logistischen Prozessen

⁶⁵ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c).

⁶⁶ Zadek, H. (16. April 2020).

⁶⁷ Vgl. Richter, K.

(z. B. das Scannen von QR-Codes) lassen sich bereits aus dem privaten Bereich bekannte Geräte (z. B. Smartphones) einsetzen.⁶⁸

Prädiktive Wartung und Instandhaltung

Auch im Bereich der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen der Intralogistik (z. B. Förderanlagen) bietet die Digitalisierung großes Verbesserungspotenzial. So können beispielsweise durch Sensorik der momentane Auslastungsgrad, die Abnutzung von Maschinenteilen oder Temperaturwerte gemessen und ausgewertet werden. Mithilfe individualisierter Anwendungssoftware innerhalb einer Cloud lassen sich die Daten verwalten und anwendungsfreundlich aufbereiten. So können rechtzeitig anhand der Entwicklung der Messwerte Prognosen für zu erwartende Ausfälle, Fehler oder Überlastungen gegeben und diesen vorgebeugt werden. Ersatzteile lassen sich dadurch frühzeitig bestellen. Der Austausch der Anlagenteile wird dann in einer planmäßigen Stillstandszeit vorgenommen, ohne dass notwendige Kapazitäten ausfallen. Auch werden folgenschwere Prozessfehler verringert, die zu Materialschäden führen. Die Digitalisierung von Maschinen und Anlagen bietet gleichzeitig einen ökonomischen Vorteil, da sich die Instandhaltungskosten reduzieren. Instandhaltungsmaßnahmen müssen nur dann durchgeführt werden, wenn sie auch wirklich notwendig sind, da der Zustand der Anlagenteile im Optimalfall genau bewertet werden kann.⁶⁹

Digitaler Zwilling

„Digitale Zwillinge sind digitale Repräsentanzen von Dingen aus der realen Welt. Sie beschreiben sowohl physische Objekte als auch nicht physische Dinge wie z. B. Dienste, indem sie alle relevanten Informationen und Dienste mittels einer einheitlichen Schnittstelle zur Verfügung stellen.“ So lautet die Definition nach Kuhn (2017). Ein digitaler Zwilling kann in einigen Fällen bereits erzeugt werden, noch bevor eine Entsprechung in der realen Welt vorhanden ist. Algorithmen helfen dabei, das reale Abbild optimal zu modellieren. Mithilfe von Simulationsmodellen werden beispielsweise funktionale

⁶⁸ Vgl. Schenk, M. und Behrendt, F. (2014), S. 25 f.

⁶⁹ Vgl. Schenk, M. und Behrendt, F. (2014), S. 25 f.

oder physische Eigenschaften eines digitalen Zwillings erprobt oder dargestellt.⁷⁰

Für digitale Zwillinge bieten sich in der Logistik zahlreiche Einsatzmöglichkeiten an jeder Stelle der Wertschöpfungskette. Beispielsweise kann mit Hilfe von IoT-Sensoren der Standort von Containern überwacht und diese können gleichzeitig auf Schäden oder Verschmutzung kontrolliert werden. Die erhobenen Daten werden, unterstützt mithilfe des maschinellen Lernens, durch den digitalen Zwilling des Containernetzes verarbeitet. Die zusätzlichen Daten erlauben anschließend eine Effizienzsteigerung des Container-einsatzes.⁷¹

Weiterhin ist es durch digitale Zwillinge sogar möglich, komplette logistische Netzwerke wie z. B. Lagerhäuser zu optimieren. Dabei wird ein 3D-Modell des Standortes bzw. der Anlage erstellt und dieses mit Bestands- und Betriebsdaten gefüllt. Anschließend kann das System den Zustand von Maschinen und die Verfügbarkeit von Produkten wiedergeben, Vorhersagen über zukünftige Lagerbestände treffen sowie sogar eigenständig Entscheidungen zu Lieferungen fällen. Das Prinzip ist in gleichem Maße für jede Größe von Logistikzentren und -netzen anwendbar.⁷²

Digitale Zwillinge können auch genutzt werden, um das Verhalten und die Eignung neuer Materialien in Verpackungen oder ganzer Verpackungssysteme vorherzusagen und zu verstehen. Es können beispielsweise Temperatur-, Vibrations- und Stoßbelastungen modelliert werden. Ein digitaler Zwilling eines bereits vorhandenen Produktes lässt sich als Datenquelle zur Beschreibung seiner Geometrie nutzen. Die Daten können aber auch durch 3D-Scanner und Computer-Vision-Technologien generiert werden. Produkt- und Verpackungsdaten könnten in Kombination dazu beitragen, dass Unternehmen in der Lage sind, ihre Verpackungs- und Transporteffizienz zu steigern, sei es durch eine automatisierte Verpackungsauswahl oder eine optimierte Verpackungsstrategie für Behälter.⁷³

⁷⁰ Vgl. Kuhn, T. (2017).

⁷¹ Vgl. Pieringer, M. (2019).

⁷² Vgl. Pieringer, M. (2019).

⁷³ Vgl. Dohrmann, K.; Gesing, B. und Ward, J. (2019), S. 22.

Ein digitaler Zwilling von Lagerhäusern kann im laufenden Lagerbetrieb kontinuierlich mit Daten gespeist werden, welche aus unterschiedlichen Automatisierungstechnologien stammen. Dazu gehören auf Drohnen basierende Bestandszählssysteme, fahrerlose Transportsysteme, Systeme zur Kommissionierung von Waren durch Personen sowie automatische Ein- und Auslagerungsgeräte. Mithilfe digitaler Zwillinge wird die Leistung dieser Automatisierungstechnologien weiter verbessert werden können. Der Einsatz von Sensordaten, Simulations- und Überwachungstechnologien trägt dabei zur Senkung des Energieverbrauchs bei, ohne den Durchsatz verringern zu müssen.⁷⁴

Auch bei der Verminderung von Materialverschwendung im Lagerbetrieb kann ein digitaler Zwilling helfen, indem umfassende Daten zur Bewegung von Inventar, Ausrüstung und Personal gesammelt und ausgewertet werden. Überfüllte, zu stark frequentierte Lagerhausflure, geringe Produktivität, Kommissionierungsfehler des Personals und vieles mehr lassen sich dadurch feststellen und durch geschickte Umplanung zukünftig vermeiden.

Bevor Änderungen in der Realität vorgenommen werden, kann eine Simulation mit Hilfe digitaler Zwillinge die verantwortlichen Führungspersonen dazu befähigen, die potenziellen Auswirkungen von Prozess- oder Anlagenänderungen zu testen und zu bewerten.⁷⁵

Datensammlung und Vernetzung von Systemkomponenten

Zukünftig werden eine dezentrale Vernetzung und die direkte Vernetzung von Prozessbeteiligten in Wertschöpfungsketten eine größere Rolle spielen. Identifikations- und Sensorsysteme machen es möglich, Maschinen und Anlagendaten zu sammeln und prozessfördernd zu nutzen. Dabei können einzelne Bestandteile der Wertschöpfungskette vollkommen autonom miteinander kommunizieren. Beispiele dafür sind die Kommunikationskanäle von Maschine zu Maschine (machine to machine, M2M), von Fahrzeug zu Fahrzeug (vehicle to vehicle, V2V) sowie von Fahrzeug zu Infrastruktur (vehicle to infrastructure, V2I). Mithilfe von Technologien wie RFID (Radio frequency identification) und NFC (Near field communication), Barcodes und visueller

⁷⁴ Vgl. Dohrmann, K.; Gesing, B. und Ward, J. (2019), S. 23.

⁷⁵ Vgl. Dohrmann, K.; Gesing, B. und Ward, J. (2019), S. 25.

Identifizierung lassen sich Informationen über den momentanen und künftigen Zustand von Maschinen, Transportmitteln, Anlagen und Warenbeständen sammeln. Kabellose Kommunikationssysteme auf Basis von WLAN, Funk, LTE u. Ä. gestatten eine Vielzahl möglicher Vernetzungsstrukturen. Die Steuerung der beteiligten Anlagen und Prozesse erfolgt in Echtzeit, entweder zentral oder dezentral. Eine dezentrale Vernetzung und Steuerung weisen angesichts der größer werdenden Informationsmenge gewisse Vorteile auf. Durch Ausnutzung von Schwarmintelligenz und Cloud-Computing können die situativ besten Entscheidungen zur Prozesssteuerung getroffen werden. Ressourcen kommen somit zur richtigen Zeit, am richtigen Ort und in der richtigen Menge zum Einsatz, wodurch Verschwendung minimiert wird. Dank der Möglichkeit zur dezentralen Vernetzung sind Wertschöpfungsprozesse auch bei sehr kleinen Losgrößen effizient und mit geringem Steuerungsaufwand realisierbar.

Für die Industrie 4.0 ist dies mit der einhergehenden Individualisierung ein bedeutender, entwicklungsfördernder Vorteil.⁷⁶

Warehouse Management Systeme

Mit Warehouse Management ist für gewöhnlich die Steuerung, Kontrolle und Optimierung von Lager- und Distributionssystemen gemeint. Unter die Lagerverwaltung werden im Allgemeinen die Mengen- und Lagerplatzverwaltung, Fördermittelsteuerung und -disposition gefasst. Ein Warehouse Management System (WMS) beinhaltet diese Funktionen ebenfalls, geht allerdings noch darüber hinaus. So gehören zu einem WMS auch umfassende Methoden und Maßnahmen zur Überwachung von Systemzuständen sowie eine Fülle an Betriebs- und Optimierungsstrategien. Ein WMS soll die Steuerung und Optimierung innerbetrieblicher Lagersysteme übernehmen. Die VDI-Richtlinie 3601 gibt ausführlich Auskunft darüber, was ein WMS alles leisten muss, damit es als solches bezeichnet werden kann.⁷⁷

⁷⁶ Vgl. Schenk, M. und Behrendt, F. (2014), S. 26.

⁷⁷ Vgl. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (2020).

Ressourcen sparen durch intelligente Warenwirtschaft^{78, 79}

In der Blechwarenfabrik Limburg verwaltet ein Warehouse Management System (WMS) die Lagerbestände in den automatischen Hochregallagern. Das System weiß zu jedem Zeitpunkt, welche Ware sich auf welchem Ladungsträger befindet. Dadurch gibt es in der Fabrik keine undefinierten Lager und keine unnötigen Bestände mehr. So werden die Flächen effizienter genutzt. Außerdem steuert das WMS die Materialbewegungen im Lager durch fahrerlose Transportsysteme. Dies führt zu weniger Transportschäden, die zuvor durch die manuelle Handhabung entstanden. Dank dieser Maßnahmen spart die Blechwarenfabrik Limburg jedes Jahr ca. 100 t Weißblech ein.

Das WMS ist zusätzlich an das Business-Intelligence-(BI-)System gekoppelt. Mit dessen Hilfe wird gesteuert, wann die Lagerwaren bewegt werden. Dies geschieht je nach Verfügbarkeit von Strom aus der unternehmenseigenen Photovoltaik-Anlage. Die Warenströme im Hochregallager werden somit vom WMS auf das solare Stromangebot abgestimmt. Das erhöht den Anteil des solaren Eigenstromverbrauches.

Zusammen mit weiteren Digitalisierungs- und Energieoptimierungsmaßnahmen spart das Unternehmen jährlich in etwa 500.000 Euro Material- und Energiekosten. Zudem verringern die Maßnahmen den jährlichen Ausstoß des Unternehmens von Treibhausgasen um mehr als 2.600 Tonnen CO₂-Äquivalente.

3.3 Ressourceneffiziente Handels- und Logistikgebäude

Im Jahr 2013 betrug die von Logistikimmobilien belegte Fläche in Deutschland schätzungsweise etwa 330 Mio. m². Es ist davon auszugehen, dass sich die Fläche bis 2020 nicht maßgeblich verändert hat. Bei einer gesamten Gebäudefläche von ca. 24.800 Mio. m² ergibt sich ein prozentualer Anteil der Logistikgebäude an der Gesamtgebäudefläche in Deutschland von ca. 1,3 %.⁸⁰

⁷⁸ Vgl. Unternehmergezine 3/4 2019, S. 62.

⁷⁹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019a).

⁸⁰ Vgl. Rüdiger, D. (2019), S. 10.

Aus dem Energieverbrauch der Logistikimmobilien in Deutschland lassen sich direkte Rückschlüsse auf die Menge der Treibhausgasemissionen dieser Gebäude ziehen. Laut einer Schätzung des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) betrug der Endenergieverbrauch der deutschen Logistikimmobilien im Jahr 2013 insgesamt ca. 21,4 TWh.⁸¹ Auf Großhandelsimmobilien entfielen dabei ca. 15,2 TWh, auf Gebäude für Spedition und Lagerung etwa 5,0 TWh und auf Kühlhäuser die übrigen 1,2 TWh. Am gesamten Endenergieverbrauch des GHD-Sektors (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) betrug der Anteil der Logistikimmobilien 2013 ungefähr 5,5 %.⁸²

Aus den zuvor genannten Daten berechnet sich der durchschnittliche Endenergiebedarf deutscher Logistikimmobilien zu rund 65 kWh/m². Der Vergleichswert der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV)⁸³ liegt für die entsprechende Gebäudekategorie bei 30 bis 35 kWh/m². Dabei werden jedoch nur die Verbräuche der Gebäudetechnik berücksichtigt und fördertechnische Anlagen, Informations- und Kommunikationstechnische Systeme (IKT-Systeme) u. Ä. außen vor gelassen.⁸⁴

Logistikimmobilien haben, wie die oben aufgeführten Zahlen beweisen, einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an den Treibhausgasemissionen des GHD-Sektors. Durch Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Bereich Logistikimmobilien lässt sich somit allgemein ein wichtiger Beitrag zum Klima- und Umweltschutz leisten.

Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Gebäuden

Die in Tabelle 2 dargestellten Maßnahmen sind zur Realisierung von Gebäuden in Richtung Nullemissionsgebäude von entscheidender Bedeutung. We-

⁸¹ Vgl. Fraunhofer ISI (2015).




⁸² Vgl. Rüdiger, D. (2019), S. 24.

⁸³ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (21. November 2013).

⁸⁴ Vgl. Rüdiger, D. (2019), S. 24.

sentlich sind dabei drei Kategorien: Verminderung von Ressourcenverbrauch, Substitution von fossilen durch regenerative Energiequellen und Kompensation von Treibhausgasemissionen.^{85, 86}

Tabelle 2: Maßnahmen in Richtung Nullemissionsgebäude⁸⁷

Maßnahmen in Richtung Nullemissionsgebäude		
Ressourceneffizienz	Regenerative Energiequellen	Kompensationsmaßnahmen
		
<ul style="list-style-type: none"> • Energie- und Materialbedarf verringern • optimierte Gebäudehülle • effiziente Anlagentechnik • Wassermanagement • Recyclingfähigkeit der Baustoffe • Abfälle minimieren 	<ul style="list-style-type: none"> • fossile durch erneuerbare Energieträger ersetzen • Photovoltaik (PV), Blockheizkraftwerk (BHKW), Windkraft, Erdwärme, Wärmepumpen, Biomasse, • Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Einkauf von Ökostrom • „Nur-Strom-Gebäude“ • Wärmespeicher • Nah- und Fernwärmenetze 	<ul style="list-style-type: none"> • freiwillige Emissionszertifikate • Vermeidung von Emissionen, z. B. Bau eines Windparks, • oder Bindung von Klimagasen, z. B. durch Aufforstung • „Verified Emission Reductions“ (VER) • „Ablasshandel“ vermeiden

Das folgende Beispiel des Elobau Logistikzentrums in Leutkirch (Deutschland) zeigt deutlich, wie die Realisierung einer ressourcenschonenden Logistikimmobilie gelingen kann.

Logistikzentrum als Plusenergiegebäude⁸⁸

Das Unternehmen Elobau hat 2015 im baden-württembergischen Allgäu ein ökologisch vorbildliches Logistikzentrum eingeweiht. Das überwiegend aus dem nachhaltigen Werkstoff Holz bestehende Energie-Plus-Gebäude liefert dem Unternehmen mit der gebäudeintegrierten Photovoltaik-(PV-)Anlage mehr Energie, als darin benötigt wird. PV-Module auf dem

⁸⁵ Weiterführende Informationen unter:

<https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/nullemissionsgebäude/>

<https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/prozessketten/produktionsinfrastruktur/>

⁸⁶ Weitere Informationen: Zadek, H. (2011).

⁸⁷ VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019b).

⁸⁸ Vgl. Transsolar Energietechnik GmbH (2020).

Dach liefern mit einer Fläche von 1.400 m² Solarenergie in Form von Strom.

Dank der reinen Holzkonstruktion ist die im Bau integrierte sogenannte graue Energie auf ein Minimum reduziert. Damit ist jene Energiemenge gemeint, die für den gesamten Lebenszyklus des Werkstoffs aufgewendet wurde, also von der Rohstoffgewinnung über den Transport und Verkauf bis hin zur Entsorgung.

Bei der Warenanlieferung mittels Last- oder Lieferwagen wird der Be- und Entladebereich des Gebäudes thermisch vom Außenbereich abgetrennt. Thermische Energieverluste werden durch diese Maßnahme enorm verringert. Mittels Gebäudesimulation wurden während der Planung des Gebäudes die Dämmsysteme sowie die Heiz- und Kühlsysteme auf das Optimum ausgelegt. Auf eine Lüftungsanlage konnte für das Logistikzentrum verzichtet werden. Stattdessen sichert die zeitgesteuerte Nachtlüftung in Kombination mit intelligenter Positionierung von Fenstern und Oberlichtern den nötigen Luftaustausch.

Weiterhin wird sehr wenig Energie zur Beleuchtung benötigt, da die Tageslichtnutzung optimiert wurde. Verglasungen im Sheddach der Halle und nachführbare Lamellen zur Verschattung helfen dabei, das natürliche Licht perfekt zu steuern. Das wenig benötigte LED-Kunstlicht wird über eine automatische Steuerung an das Lichtangebot im Tagesverlauf angepasst.

Geheizt wird die Logistikhalle mit Hilfe von Deckenstrahlplatten, die Büros mit Konvektoren. Ein Biogaskessel, der über das Werksnetz mit Biogas aus Speiseresten versorgt wird, liefert die nötige Wärmeenergie. Die Wärmeversorgung des Gebäudes ist daher überaus primärenergieeffizient gestaltet. Im Vergleich zu den Vorgaben der neuesten EnEV benötigt das Gebäude nur ca. 10 % der Energie des Referenzgebäudes.

Beim Vergleich aller Verbräuche (inkl. Nutzerstrom) mit den Energiegewinnen der PV-Anlage (225 kW_p) ergibt sich ein Energieüberschuss in Höhe des 2,6-Fachen des Bedarfes. Das Logistikzentrum ist also kein Energieverbraucher, sondern ein Energielieferant - ein wahres Energie-Plus-Gebäude.

4 RESSOURCENEFFIZIENZ IM TRANSPORTWESEN

4.1 Möglichkeiten des ressourceneffizienten Transports

An erster Stelle der Maßnahmen zur Realisierung ressourceneffizienter Transporte sollten die Vermeidung und Verminderung von Transporten sowie die Herabsetzung der Transportschädlichkeit stehen. Letzteres bezeichnet den Grad der Umweltbelastung, der durch den Transport hervorgerufen wird.⁸⁹

Eine vollständige Vermeidung von Transporten ist nur in sehr wenigen Fällen umsetzbar. Im Bereich Handel und Logistik ist diese Maßnahme daher kaum von Bedeutung.

Der Transportaufwand lässt sich vor allem durch eine Steigerung der Transportauslastung vermindern. Leerfahrten sollten so weit wie möglich vermieden werden. Die Auslastung des Transportvolumens der einzelnen Transporteinheiten kann erhöht werden, indem durch Frachtbündelung die Materialströme optimal zusammengefasst werden. Einsetzbare Maßnahmen sind beispielsweise die Reduzierung der Anzahl von Spediteuren, die Bildung paariger Verkehre (Auslastung der Speditionsfahrzeuge auf dem Hin- und Rückweg) oder sogenannte Milk Runs (sequenzielle Warenlieferung und Warenannahme ähnlich den Milchlieferungen in den USA an Privathaushalte). Auch Modifikationen an Lieferfahrzeugen (siehe Kapitel 4.2.3) sind denkbare Effizienzsteigerungsmaßnahmen, die bereits von manchen Unternehmen in die Praxis umgesetzt wurden.⁹⁰

Eine Verringerung der Transportschädlichkeit ist vor allem durch Maßnahmen am Fuhrpark und die Nutzung umweltfreundlicher Transportmittel realisierbar. Besondere Bedeutung kommt dabei den alternativen Kraftstoffen und neuartigen Antriebstechnologien zu. Im Lkw-Bereich sind Weiterbildungen für Fahrer sowie die Nutzung von Fahrassistenzsystemen mögliche

⁸⁹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c).

⁹⁰ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c).

Maßnahmen zur Effizienzsteigerung. Die Maßnahmen führen zu Kraftstoffeinsparungen und verringern die Umweltschädlichkeit der einzelnen Transportfahrten.⁹¹

4.2 Maßnahmen am Fuhrpark

Durch geeignete Maßnahmen am Fuhrpark von Logistik- und Handelsunternehmen lassen sich Ressourcen und Kosten einsparen. Alternative Antriebstechnologien, die Nutzung von regenerativ erzeugtem Kraftstoff und weitere Maßnahmen wie beispielsweise aerodynamisch optimierte Lkw sind dabei mögliche Ansatzpunkte.

4.2.1 Alternative Antriebstechnologien und Fahrzeuge

Vieles spricht dafür, dass alternative Antriebstechnologien für Kraftfahrzeuge eine bedeutendere Rolle spielen werden. Schärfere gesetzliche Regulierungen zur Verminderung von Emissionen, schwindende Reserven fossiler Energieträger, aber auch die technologische Weiterentwicklung treiben die Nutzung neuer Fahrzeugantriebe im Bereich von Handel und Logistik voran. Die Europäische Union hat sich durch das „Weißbuch Verkehr“⁹² beispielsweise das Ziel gesetzt, ab dem Jahr 2030 die Logistik in Städten vollkommen CO₂-neutral zu gestalten.

Ersatztechnologien für den klassischen Verbrennungsmotor sind auf dem Vormarsch. In Forschung und Entwicklung sowie in der praktischen Anwendung dominieren aktuell elektrische Antriebe das Geschehen. Zur Energieversorgung der Elektromotoren kommen oftmals Batterien zur Anwendung. Aber auch Fahrzeuge mit Brennstoffzellen sind bereits erfolgreich im Einsatz, beispielsweise Transportfahrzeuge der Intralogistik wie Gabelstapler.⁹³ Weitere ökologisch vorteilhafte Alternativen bieten sich mit Gasmotoren, z. B. bei Nutzung von Erdgas, Biogas oder sogenanntem Windgas. Letzteres bezeichnet Wasserstoffgas, das mithilfe von Strom aus Windenergie erzeugt wird.⁹⁴

⁹¹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c).

⁹² Vgl. Schenk, M. und Behrendt, F. (2014), S. 25.

⁹³ Vgl. Linde Material Handling (2016).

⁹⁴ Vgl. Greenpeace Energy eG (kein Datum).

Nachfolgend werden einige alternative Antriebstechnologien kurz beschrieben und deren Potenziale aufgezeigt.

Brennstoffzellen-Antriebe

In Brennstoffzellen wird üblicherweise Wasserstoff mit Sauerstoff in Kontakt gebracht und aus der chemischen Reaktion elektrische Energie gewonnen. In Verbindung mit einem elektrischen Antrieb kann so ein Transportmittel entstehen, welches im Betrieb als emissionsfrei angesehen werden kann. Wie hoch die tatsächlichen Umweltwirkungen bzw. Verringerungen insgesamt ausfallen, muss im Einzelfall untersucht werden. Entscheidend ist der gesamte Lebensweg des jeweiligen Transportsystems. Auskunft darüber können unter anderem Ökobilanzierungen geben. Aus Erprobungen ist ersichtlich, dass ein Brennstoffzellenantrieb für Nutzfahrzeuge bisher nur in Verbindung mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor wirklich praxistauglich ist. Das erforderliche Zusatzgewicht für die Brennstoffzellentechnologie und die geringe Reichweite von ca. 250 km stehen dem Durchbruch dieser Antriebsvariante momentan noch im Wege. Hinzu kommt die bislang mangelhafte Infrastruktur zur Betankung mit Wasserstoff.⁹⁵ Aktuell (Anfang 2020) sind in Deutschland 87 Wasserstofftankstellen vorhanden. Bis 2021 sollen es bereits 130 sein.⁹⁶

Hybridantriebe

Hybridantriebe können eine gute Alternative zum klassischen Dieselmotor bieten. Dabei wird ein Elektromotor in Verbindung mit einem konventionellen Verbrennungsmotor genutzt. Der Elektromotor liefert ein hohes Drehmoment zum Anfahren, während der Verbrennungsmotor bei höheren Geschwindigkeiten zum Einsatz kommt. Insbesondere für kleinere Verteiler-Lkw mit ständigen Anfahr- und Bremsvorgängen ermöglichen Hybridantriebe potenziell Effizienzsteigerungen.⁹⁷

⁹⁵ Vgl. Lohre, D.; Bernecker, T. und Gotthardt, R. (2011), S. 31 f.

⁹⁶ Vgl. Oel, S. (2020).

⁹⁷ Vgl. Lohre, D.; Bernecker, T. und Gotthardt, R. (2011), S. 32.

Elektrische Antriebe

Auch rein elektrische Antriebe stehen bereits für den Gütertransport zur Verfügung; sowohl im Bereich der Intralogistik als auch im außerbetrieblichen Transportwesen. Häufigster Anwendungsbereich ist vorerst der innerstädtische Verteilerverkehr. Nach Angaben der Vereinten Nationen wird für das Jahr 2050 mit einer Weltbevölkerung von ca. 9,7 Mrd. Menschen gerechnet, wovon in etwa 70 % in Städten leben werden.⁹⁸ Der Gütertransport in Städten wird also zunehmen. Gleichzeitig wachsen die Anforderungen an die Umweltfreundlichkeit des Transportes, sowohl durch gesetzliche Regelungen als auch Ansprüche der Konsumenten. Für das Transportwesen und die Logistikbranche ist es daher von Bedeutung, auf diese Entwicklungen angemessen zu reagieren.⁹⁹ Der Wirkungsgrad moderner Elektromotoren liegt sichtbar über dem von Verbrennungsmotoren, wodurch diese deutlich effizienter arbeiten und hohe energetische Einsparpotenziale aufweisen.¹⁰⁰

Elektrische Lkw für die Innenstadt-Logistik¹⁰¹

Im Rahmen des österreichischen Council für nachhaltige Logistik (CNL) wird momentan ein elektrisch angetriebenes Transportfahrzeug für den alltäglichen Einsatz in der Innenstadt-Logistik getestet. Insgesamt neun Unternehmen aus Handel und Logistik sind an dem Test des MAN eTruck beteiligt, der mit Kühlkoffern, Getränkeaufbauten und Wechselcontainern ausgestattet ist. Zusätzlich ist auch eine Sattelzugkombination in der Erprobung. Der Lkw-Hersteller möchte die aus dem Projekt gewonnene Erfahrung für die Entwicklung weiterer elektrisch angetriebener Lkw nutzen.

Nicht nur der Antrieb des Lkw funktioniert rein elektrisch. Auch Servolenkung, Luftkompressor und Klimaanlage werden von den Batterien mit Strom versorgt. Die Aufladung der Batterien geschieht dabei normalerweise in der Nacht. Es kann aber auch zwischengeladen werden, z. B. während der Ruhepause eines Fahrers oder Be- und Entladung des Laderaums.

⁹⁸ Vgl. <https://population.un.org/wpp/>

⁹⁹ Vgl. Gaul, M. (2018).

¹⁰⁰ Vgl. Business Metropole Ruhr GmbH (2019), S. 49.

¹⁰¹ Vgl. Gaul, M. (2018).

Das Opportunity-Charging steigert die Möglichkeiten der Touren- und Einsatzplanung der Lkw.

Ein weiteres Beispiel eines vollelektrischen Lkw ist der Mercedes-Benz eTruck. Auch dieser Transporter ist darauf ausgelegt, die Versorgung mit Lebensmitteln und täglichen Bedarfsgütern zu gewährleisten. Der Truck, mit einem zulässigen Gesamtgewicht von maximal 26 t, basiert auf einem konventionellen dreiachsigen Verteiler-Lkw. Anstatt eines herkömmlichen Antriebsstranges verfügt der eTruck über Elektromotoren zum Antrieb der Hinterachse direkt neben den Radnaben. Die elektrische Energie erhalten die Motoren aus mehreren Modulen von Lithium-Ionen-Batterien, mit deren Hilfe eine Reichweite von bis zu 200 km realisiert werden kann. Für einen durchschnittlichen Tageseinsatz im Verteilerbetrieb ist dies in der Regel vollkommen ausreichend. Ab 2021 soll der Lkw in Großserie produziert werden.

Viele Unternehmen sind schon heute gewillt, umweltfreundlich zu agieren. In zahlreichen Online-Shops kann sich der Kunde bereits für den klimaneutralen Versand entscheiden. Um diesen Dienst sicherstellen zu können, rüsten die Logistikpartner zunehmend ihren Fuhrpark mit emissionsneutralen Transportern aus. Alternative Antriebstechniken werden erprobt und die effizientesten Zustellungsmodelle ermittelt.

Unternehmen wie UPS und Hermes führen bereits vollelektrische Fahrzeuge in ihren Transportflotten. Als Teil ihrer Nachhaltigkeitsstrategie erwägen die Logistikunternehmen zudem verschiedene Zustellmodelle. So werden beispielsweise Mikrodeposits mit dem Einsatz von Lastenfahrrädern als Lieferkonzept kombiniert.¹⁰²

Zu den neuesten Entwicklungen am Markt gehört die nachhaltige Paketzustellung durch elektrisch angetriebene Drohnen. Inwiefern dieses Konzept Zukunft hat, bleibt noch abzuwarten. Erste Erprobungen im realen Betrieb sind jedoch bereits angelaufen. Das zeigt das Beispiel vom SEAT-Werk im spanischen Martorell.

¹⁰² Vgl. Thomas, S. (2018).

Auslieferung von Fahrzeugteilen per Drohne¹⁰³

Eine Produktionsstätte für Automobilteile im spanischen Martorell wird seit Juli 2019 von Drohnen mit Lenkrädern und Airbags beliefert. Dabei verbinden die fliegenden Kleintransporter das 2 km entfernte Logistikzentrum von Sesé in Abrera mit dem Automobilwerk in Martorell. Für die Auslieferung der Fahrzeugteile benötigen sie lediglich 15 Minuten, während der Transport per Lkw ca. 90 Minuten dauert. Die Drohnen werden rein elektrisch angetrieben und durch ausschließlich regenerativ erzeugten Strom aufgeladen. Somit spart die Nutzung des Luftweges auf diese Weise nicht nur wertvolle Zeit. Gleichzeitig sind auch die CO₂-Emissionen gegenüber dem Straßentransport geringer und wichtige Ressourcen wie Rohöl werden geschont.

Die Drohnenflüge werden aus Sicherheitsgründen von der spanischen Agentur für Flugsicherheit (AESA) kontrolliert. In der aktuellen Testphase werden nur wenige Flüge pro Tag durchgeführt. Das Projekt zeigt schon jetzt, dass die Nutzung von Drohnen ein großes Potenzial zur ressourceneffizienteren Auslieferung von Waren birgt und zudem die Wettbewerbsfähigkeit steigern kann.

Erdgas-Antriebe

Auch bei erdgasbetriebenen Transportfahrzeugen werden Fortschritte bezüglich der Ressourceneffizienz erzielt, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Effizienzsteigerungen bei erdgasbetriebenen Lkw¹⁰⁴

Zwei bereits 2017 veröffentlichte Baureihen eines Lkw-Herstellers weisen eine um 7 % verbesserte Kraftstoffeffizienz und ein um mindestens 100 kg verringertes Fahrzeuggewicht im Vergleich zum jeweiligen Vorgängermodell auf. Dadurch kann die Nutzlast erhöht und die Effizienz zusätzlich gesteigert werden. Entscheidend bei der Entwicklung des neuen Trucks war die Verringerung der Motordrehzahl bei gleichzeitiger Erhöhung des maximalen Drehmoments, das schon bei 900 Umdrehungen pro Minute

¹⁰³ Vgl. Endres, M. (2019).

¹⁰⁴ Vgl. Gaul, M. (2018).

zur Verfügung steht. Die neuen Fahrzeugmodelle wurden dank ihrer Effizienz im Straßentransport zum „International Truck of the Year 2018“ gekürt.

Effizienter Gasmotor für Nutzfahrzeuge¹⁰⁵

Ein Hersteller von Lkw-Motoren präsentierte im November 2017 mit dem Euro-6-Gasmotor OC13 eine Weltneuheit im Bereich der gasbetriebenen Nutzfahrzeuge. Der Motor lässt sich sowohl für den Langstreckenverkehr als auch für Baustellenfahrzeuge einsetzen. Durch die erreichbare Leistung von 410 PS ist der 13-Liter-Gasmotor konkurrenzfähig mit Dieselmotoren der gleichen Größenordnung. Mit flüssigem Erdgas (LNG) betrieben erzielt ein 40-Tonnen-Sattelzug eine Reichweite von bis zu 1.100 km. Die Variante mit Doppeltanks schafft sogar 1.600 km. Dabei wird der CO₂-Ausstoß zwischen 15 und 90 % gegenüber dem des konventionellen Diesel-Reihensechszylinders des Herstellers reduziert.

Der Einschätzung von Experten zufolge wird der konventionelle Dieselantrieb in der Transportlogistik in absehbarer Zeit weiterhin den Markt dominieren. Nichtsdestotrotz verbreiten sich die alternativen Antriebskonzepte zunehmend und zeigen neue Möglichkeiten zu mehr Ressourceneffizienz im Transportsektor auf.¹⁰⁶

4.2.2 Nutzung Regenerativer Kraftstoffe

Für den Straßentransport können alternative Kraftstoffe (wie z. B. Power Fuels) einen großen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung leisten. Bis 2030 soll gegenüber 1990 der CO₂-Ausstoß des Verkehrssektors um 40 bis 42 % gesenkt werden. In den letzten Jahren ist der Schwerlaststraßenverkehr in Deutschland stark angestiegen und verur-

¹⁰⁵ Vgl. Gaul, M. (2018).

¹⁰⁶ Vgl. Gaul, M. (2018).

sacht mittlerweile rund 25 % der verkehrsbedingten klimaschädlichen Emissionen.¹⁰⁷ Gemessen an 2010 wird bis 2030 von einem Zuwachs der Verkehrsleistung von ca. 38 % ausgegangen. Vor allem beim Straßen- und Schienentransport ist mit einem deutlichen Anstieg der Transportleistung [tkm/a] zu rechnen.¹⁰⁸

Für den Schwerlaststraßenverkehr ist in naher Zukunft von keinen wesentlichen Effizienzsteigerungen in der konventionellen Antriebstechnik auszugehen. Ein Umstieg auf klimafreundliche Kraftstoffe ist daher von entscheidender Bedeutung. Der Gütertransport auf der Straße ist gekennzeichnet durch große Transportstrecken und knappe Zeitfenster. Kraftstoffe für diesen Bereich sollten deshalb hohe Energiedichten aufweisen, um eine rasche Betankung und die nötigen Reichweiten gewährleisten zu können. Umweltfreundlich hergestellte Kraftstoffe wie Power Fuels sind für diese Anwendung hervorragend geeignet.¹⁰⁹ In der Theorie stellt zwar aktuell die Elektromobilität die energieeffizienteste Antriebsform dar, im Lkw-Fernverkehr kann jedoch in naher Zukunft von keinem maßgeblichen Einsatz dieser Technologie ausgegangen werden, da noch keine ausreichenden technischen Lösungen vorhanden sind. Auch ist die Infrastruktur zum Aufladen von Akkus mit Strom bzw. zum Betanken von Brennstoffzellen mit Wasserstoff noch längst nicht in ausreichendem Maße verfügbar. Power Fuels als sogenannte CCU-Treibstoffe (Carbon Capture and Utilisation) können hingegen in bereits existierenden Tankstellen angeboten werden.¹¹⁰

Power Fuels für den Schwerlaststraßenverkehr

Bei der Herstellung der sogenannten Power Fuels wird Strom aus erneuerbaren Energien (EE-Strom) genutzt, um daraus emissionsarme synthetische Kraftstoffe zu erzeugen. Mit Hilfe von Power-to-X-Technologien wird durch Elektrolyse von Wasser elementarer Wasserstoff gewonnen. Für den Betrieb der Elektrolyse kommt idealerweise ausschließlich EE-Strom zum Einsatz. Zur weiteren Nutzung des Wasserstoffs bestehen mehrere Möglichkeiten. Er

¹⁰⁷ Vgl. Wilms, S.; Lerm, V.; Schäfer-Stradowsky, S.; Sandén, J.; Jahnke, P. und Taubert, G. (2018), S. 9 ff.

¹⁰⁸ Vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2019).

¹⁰⁹ Vgl. Wilms, S.; Lerm, V.; Schäfer-Stradowsky, S.; Sandén, J.; Jahnke, P. und Taubert, G. (2018), S. 9 ff.

¹¹⁰ Vgl. RWE (2019).

kann sowohl direkt als Kraftstoff genutzt werden (in Brennstoffzellen oder anderen Wasserstoffmotoren) oder als Basis zur Herstellung anderer Power Fuels dienen. Dabei werden weitere Gase wie CO₂ oder Stickstoff hinzugefügt und in unterschiedlichen Prozessen zu Kraftstoffen wie Diesel oder Methanol weiterverarbeitet. Für die meisten der weiterverarbeiteten Power Fuels bestehen im Gegensatz zu Wasserstoff schon verwendbare Versorgungsstrukturen (z. B. Tankstellen), was einen großen Vorteil darstellt. Bei der Herstellung alternativer Kraftstoffe unter Verwendung von CO₂ kann das andernfalls klimaschädliche Gas entweder aus Biogas- und Industrieanlagen oder auch direkt aus der Außenluft entnommen werden. Dadurch wäre es möglich, einen geschlossenen Kreislauf zu generieren, ohne schädliche Klimafolgen zu erzeugen. Verfahren, um diese Methode wirtschaftlich zu betreiben, werden aktuell noch erforscht.¹¹¹

In Tabelle 3 sind die wesentlichen Vor- und Nachteile beim Einsatz der alternativen Kraftstoffe Wasserstoff, synthetisches Methan und synthetischer Diesel aufgezeigt.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von ausgewählten Power-Fuels¹¹²

Wasserstoff	Synthetisches Methan	Synthetischer Diesel
Vorteile	Vorteile	Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> • keine CO₂- und lokalen Schadstoffemissionen • Brennstoffzelle mit hohem Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> • keine CO₂- und lokalen Schadstoffemissionen • Nutzung vorhandener Fahrzeuge und Infrastruktur möglich (für CNG) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung vorhandener Motoren und Infrastruktur möglich • kann durch Beimischung sukzessive fossile Diesel ersetzen
Nachteile	Nachteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Versorgungs- und Tankstelleninfrastruktur kaum ausgebaut 	<ul style="list-style-type: none"> • für Flüssigerdgas (engl.: Liquefied natural gas (LNG)) noch kein Tankstellennetz vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> • keine wesentlichen Effizienzsteigerungen der Motoren zu erwarten

4.2.3 Modifikationen an Lieferfahrzeugen

Die Ressourceneffizienz von Transportprozessen kann auch durch Modifikationen an den Lieferfahrzeugen erhöht werden. Möglichkeiten bieten sich

¹¹¹ Vgl. Wilms, S.; Lerm, V.; Schäfer-Stradowsky, S.; Sandén, J.; Jahnke, P. und Taubert, G. (2018), S. 9 ff.

¹¹² Basierend auf Wilms, S.; Lerm, V.; Schäfer-Stradowsky, S.; Sandén, J.; Jahnke, P. und Taubert, G. (2018), S. 11.

beispielsweise mit Multitemperaturkonzepten, aerodynamischen Verbesserungen oder dem Fahrzeugleichtbau.

Multitemperaturkonzepte für Lkw

Durch die Unterteilung der Transportladeflächen bei Lkw in unterschiedliche Temperaturbereiche lassen sich Produkte mit abweichenden Temperaturanforderungen (Tiefkühlware, Kühlware etc.) innerhalb eines Transportvorgangs ausliefern. Das hat den Vorteil, dass Fahrten eingespart werden können, sodass sich die flottenbezogenen Fahrtkilometer reduzieren. Dies wiederum führt zu verringertem Kraftstoffbedarf und niedrigerer Abnutzungsrate der Fahrzeugkomponenten (Reifen, Motor, Getriebe etc.), sodass letztlich weniger Material verbraucht wird. Das schont Ressourcen und steigert die Wirtschaftlichkeit.

Multitemperaturkonzept für Lkw-Laderaum¹¹³

Mithilfe der beim Unternehmen Lekkerland eingeführten Multitemperatur-Logistik werden nachhaltige Bündelungseffekte in den Logistikabläufen erreicht. Vor Umsetzung der Maßnahme wurden die Kunden für verschiedene Sortimente mit mehreren unterschiedlichen Lkw beliefert. Um den Lieferprozess effizienter zu gestalten, ließ der Konzern spezielle Mehrkammerfahrzeuge entwickeln, die mit flexibel verstellbaren Temperaturzonen ausgerüstet sind: einen ungekühlten Bereich (über 7 °C), einen Bereich für Frischeprodukte (0 - 7 °C) und einen Tiefkühlbereich (unter -18°C). Dabei kommen bis zu elf quer und längs verschiebbare Wände im Lkw-Transportraum zum Einsatz, die eine bedarfsgerechte Anpassung der jeweiligen Transportvolumina ermöglichen. 2012 erfolgte schließlich die Umstellung von der Mehr-Stopp- auf die Ein-Stopp-Belieferung mit Sortimenten verschiedener Temperaturanforderungen. Dazu wurden auch die Touren für insgesamt 61.400 Kunden neu geplant.

Pro Jahr werden durch die Umstellung insgesamt 260.000 Stopps und 3,4 Mio. Fahrtkilometer und Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 2.000 t CO₂-äq eingespart. Die Liefermenge konnte zudem erhöht werden. Im Verhältnis zur Liefermenge beträgt die Kilometerreduzierung ca. 10 %.

¹¹³ Vgl. Lekkerland Deutschland GmbH & Co. KG (2013).

Zusätzlich zur Umstellung auf Mehrkammerfahrzeuge sind die Lkw mit Telematik-Tools zur Kommunikation in Echtzeit ausgerüstet. Sensoren in den Kühlbereichen des Frachtraums messen kontinuierlich die Temperatur. Die Daten werden vom Lkw in regelmäßigen Abständen mittels Mobilfunknetz an einen zentralen Server gesendet. Treten unerwünschte Temperaturabweichungen auf, löst der Server einen Alarm an die Geschäftsstelle und die Kommunikationsgeräte des Fahrers aus. Zudem wird der Vorgang in einem Protokoll automatisch dokumentiert. Mithilfe des Alarmierungssystems kann somit frühzeitig auf einen Temperaturabfall reagiert werden. Eventuell nötige Gegenmaßnahmen lassen sich dadurch rechtzeitig einleiten. So muss weniger Lieferware entsorgt werden. Das schont Ressourcen.

Aerodynamisch optimierte Lkw

Eine weitere Maßnahme zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Lieferfahrzeugen liegt in der Verbesserung der aerodynamischen Fahrzeugeigenschaften. Laut Angaben des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) hat der aerodynamische Widerstand einen Anteil von mehr als 20 % an den Gesamtenergieverlusten eines Lkw.¹¹⁴

Bei einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von 100.000 km und einem Gesamtgewicht von 40 t benötigt ein Lastzug ca. 30.000 l Diesel pro Jahr und stößt dabei Treibhausgase in Höhe von rund 786 kg CO₂-Äquivalenten (CO_{2-äq}) aus. Dass ein strömungsoptimiertes Fahrzeugdesign nicht nur bei Pkw, sondern auch bei Lkw zu erheblichen Kraftstoffeinsparungen führen kann, zeigt sich beim sogenannten Teardrop-Anhänger im folgenden Beispiel.¹¹⁵

Widerstandsarme Anhänger¹¹⁶

Der von Tränen inspirierte Teardrop-Anhänger führt laut Herstellerangaben dank seiner aerodynamisch verbesserten Form zu einer Verbrauchersparnis von bis zu 15 % gegenüber herkömmlichen Lastzügen.

¹¹⁴ Vgl. Öngüner, E. (2019).

¹¹⁵ Vgl. Mayer, H. W. (2019).

¹¹⁶ Vgl. Mayer, H. W. (2019).

Aufgrund der nach hinten abfallenden Dachkante bietet der Anhänger weniger Luftwiderstand als seine quaderförmige Entsprechung. In England sind beim Logistikunternehmen DHL bereits über 1.100 solcher Teardrop-Trailer im Einsatz. Auch das deutsche Unternehmen Active Cars GmbH verwendet seit 2019 einen einachsigen 18-Tonnen-Teardrop-Auflieger mit 88 m^3 Nutzvolumen zum Transport von Airbus-Komponenten zwischen Hamburg und Toulouse. Im Gegensatz zum Hersteller verspricht sich Active Cars allerdings eine etwas geringere Kraftstoffeinsparung von 6 bis 10 %. Die unterschiedlichen Erwartungen resultieren vor allem aus der Tatsache, dass die zulässige Maximalhöhe von Lkw in England 4,90 m beträgt, wohingegen sie in Kontinentaleuropa auf 4,00 m beschränkt ist. Bei der geringeren Maximalhöhe des Anhängers wirkt sich die Absenkung der Dach- und Seitenlinie weniger vorteilhaft auf die Aerodynamik aus. Zusätzlich wird das Ladevolumen stärker eingeschränkt, da die Höhe des Hängerendes maximal 3,22 m betragen darf. Aus ersten Praxiserfahrungen lässt sich immerhin eine durchschnittliche Kraftstoffersparnis in Kontinentaleuropa von rund 5 % erreichen. Ein gewöhnlicher Lastzug, wie oben beschrieben, würde somit jährlich ca. 1.500 l Diesel weniger verbrauchen und 39,3 kg $\text{CO}_2\text{-äq}$ an Treibhausgasemissionen vermeiden.



Abbildung 7: Aerodynamisch verbesserter Anhänger (© DHL Freight GmbH)

Neben der strömungstechnischen Optimierung des Anhängers bzw. Aufliegers existieren bereits Projekte zur aerodynamisch optimierten Gestaltung ganzer Lkw, wie das folgende Beispiel zeigt.

Aerodynamisch optimierter Sattelzug¹¹⁷

Eine noch weitergehende Optimierung des aerodynamischen Fahrzeugdesigns gelang den beteiligten Projektpartnern bei dem sogenannten Aero Liner, einem erstmals auf der IAA 2012 vorgestellten Prototyp eines durchgängig optimierten Lastzuges.¹¹⁸ Sowohl Zugmaschine als auch Auflieger sind bis ins letzte Detail so gestaltet, dass der Luftwiderstand möglichst gering ausfällt. Dadurch soll laut Herstellerangaben eine Kraftstoff- und CO₂-Ersparnis von bis zu 25 % resultieren.

Das Ladevolumen entspricht dem eines herkömmlichen Lastzuges. Jedoch ist der Aero Liner mit 20,40 m deutlich länger, als die EU es derzeitig mit der Richtlinie 96/53/EG zulässt. Demnach darf ein Lkw-Sattelzug eine Länge von 16,50 m nicht überschreiten. Anhänger sind auf eine maximale Länge von 12 m beschränkt, Gespanne dürfen nicht länger als 18,75 m sein.¹¹⁹ Der Aero Liner bleibt also vorerst (zumindest in Europa) ein Prototyp ohne Straßenzulassung.



Abbildung 8: Prototyp des aerodynamisch optimierten Sattelzugs Aero Liner (© MAN Truck & Bus SE)

¹¹⁷ Vgl. Mayer, H. W. (2019).

¹¹⁸ siehe auch: <https://www.youtube.com/watch?v=dSuDb-49rM4> und <https://www.youtube.com/watch?v=a8Kw1ZPe4Ho>

¹¹⁹ Vgl. Rat der Europäischen Union (25. Juli 1996).

Es gibt in Deutschland die Möglichkeit, eine Ausnahmegenehmigung auf Dauer (drei bzw. sechs Jahre) zu beantragen, sodass auch Fahrzeuge mit einer Gesamtlänge von bis zu 22 m eine Straßenzulassung erhalten. Darüber hinaus dürfen sich genehmigte Lang-Lkw in Deutschland auf einem ausgewählten Anteil des Straßennetzes (Positivnetz) bewegen.¹²⁰

Deutlich leichter umzusetzen sind die nachrüstbaren Luftleitelemente, die in den folgenden zwei Beispielen vorgestellt werden.

Luftleitelemente an Lkw-Heck und -Seiten

Wie der Luftwiderstand von Lkw nachträglich verbessert werden kann, zeigt das Beispiel eines Herstellers aus den USA. Mit dem „Opti Flow Tail System“ wird der Luftstrom am Heck des Lastzuges vorteilhaft gelenkt. Dazu werden vier faltbare Kunststoffelemente an die Flügeltüren des Anhängers angebracht.



Abbildung 9: Luftleit-Klappen am Heck eines Fahrzeugs¹²¹

Luftleitelemente namens Opti Flow Side Wings sorgen weiterhin aufgrund ihrer besonderen Form für eine Verzögerung des Luftstroms. Der Luftwiderstand verringert sich, da der Staudruck an den Achsen und Rädern

¹²⁰ Zadek, H. (16. April 2020).

¹²¹ Bildquelle: <https://www.wabco-auto.com/apac/News-Events/Media-Center#/media/1/11>

sinkt. Der Hersteller gibt an, dass der Kraftstoffverbrauch mithilfe der beiden Systeme insgesamt um bis zu 7 % geringer ausfällt.

„Trucksack“ verbessert Aerodynamik und spart Kraftstoff ¹²²

Ein weiteres Beispiel aus diesem Bereich bietet die Entwicklung namens Trucksack des Unternehmens Trailer Dynamics GmbH aus Aachen. Dabei handelt es sich um ein System zur Senkung des Luftwiderstands von Fahrzeugen. Durch einen luftgefüllten Sack am Heck des Fahrzeugs wird die aerodynamische Form von Fahrzeugen mit eckigem Heck verbessert. Die Form wurde basierend auf biologischen Vorbildern entwickelt. Unter Testbedingungen führt der Einsatz des „Trucksack“ zu einer Kraftstoffersparnis von bis zu 22 %. Ab einer Geschwindigkeit von 65 km/h wird das System automatisch ausgefahren. Beim Unterschreiten dieser Geschwindigkeit saugt sich das System wieder leer und liegt flach am Heck an. Bei der Beladung des Fahrzeugs kann der Trucksack einfach auf das Dach hochgezogen oder in einer anderen Variante zusammen mit der Hecktür zur Seite geklappt werden. Das Aufblasen und Entleeren des Sacks geschehen mithilfe einer aktiven Staudüse und Venturidüse bzw. eines Entlüfters. Dazu ist allein der Fahrtwind nötig. Das Gewicht des gesamten Systems beträgt weniger als 100 kg.

¹²² Vgl. Trailer Dynamics GmbH (2020).



Abbildung 10: „Trucksack“ am Heck eines Lkw (© Alpha Team GmbH)

Leichtbau für effizientere Nutzfahrzeuge

Während eine geringere Fahrzeugmasse beim Pkw für gewöhnlich direkt in einem niedrigeren Kraftstoff- bzw. Stromverbrauch resultiert, ist der Sachverhalt beim Lkw etwas anders. Verringert sich die Fahrzeugmasse eines Nutzfahrzeugs, kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die eingesparte Masse in Form von Transportgut im Laderaum ausgeglichen wird. Auch dies führt zu einer Steigerung der Ressourceneffizienz. Das zusätzliche Transportgewicht reduziert bei gleichbleibendem Gesamtgewicht den spezifischen Kraftstoffverbrauch des Transportgutes, also die benötigte Energie pro kg Nutzlast. Bezogen auf die gesamte Lieferflotte eines Unternehmens wären somit weniger Fahrten notwendig, da pro Fahrt mehr transportiert wird. Alternativ kann auch die gleiche Frachtmenge mit weniger Fahrzeugen ausgeliefert werden, sodass sich die Fahrzeugflotte verkleinern lässt. Das spart weitere materielle und energetische Ressourcen, die sonst für die Herstellung der Fahrzeuge anfielen. Auch aus wirtschaftlicher Sicht kann eine solche Maßnahme sehr rentabel sein. Laut Heimann et al. (2019) ist die Amortisationszeit einer Investition in gewichtssparende Nutzfahrzeuge zu meist relativ kurz. Natürlich kann diese von Fall zu Fall sehr unterschiedlich sein und muss individuell ermittelt werden. Zudem kann die Reduzierung

der benötigten Fuhrparkgröße eine Antwort auf den vorherrschenden Fahrermangel darstellen.¹²³

Connected Lightweight Future Truck¹²⁴

In einem Projekt namens Connected Lightweight Future Truck (CLFT) konnte ein Leichtbau-Fahrwerkkonzept für einen schweren 4×2-Fernverkehr-Lkw entwickelt werden, das insgesamt 110 kg Fahrzeuggewicht einspart. Dies wurde durch eine intelligente Neugestaltung der Fahrwerksysteme und -komponenten erreicht. Die Hinter- und Vorderachse inklusive Lenkung sind zusammen mit dem angepassten Dämpfungssystem zu einem neuartigen Leichtbau-Lkw-Fahrwerk kombiniert. Laut Angaben des Herstellers ließe sich das Konzept bereits in der Serienfertigung realisieren.

4.3 Effiziente Tourenplanung und Flottenmanagement

Transportkooperationen

Steigt das Transportvolumen von Logistikdienstleistern, kann durch eine bessere Routenplanung und eine höhere Ausnutzung der Lkw-Ladeflächen die Transporteffizienz im Allgemeinen verbessert werden. Aufgrund einer gesteigerten Effizienz wiederum verringern sich die schädlichen Emissionen.

Transportkooperation in der Praxis¹²⁵

Im Rahmen einer Studie gingen zwei unabhängige Automobilzulieferer eine Transportkooperation ein, um ihre Versorgungsstrukturen zu optimieren. Die Logistikzentren und -netzwerke der beiden Unternehmen wurden dabei zusammengelegt und zentral koordiniert. Die transportbezogenen Emissionen konnten durch die gesteigerte Ausnutzung der täglichen Lieferungen vom Logistikzentrum zur Produktionsstätte um 27 % reduziert werden. Zusätzlich verringerten sich die Gesamtkosten der Transporte um 7 %. Die durchschnittliche Transportauslastung in den einzelnen

¹²³ Vgl. Heimann, J.; Müller, I.; Neu, A. und Stieglitz, A. (2019).

¹²⁴ Vgl. Heimann, J.; Müller, I.; Neu, A. und Stieglitz, A. (2019).

¹²⁵ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötzel, M. und Brock, M. (2013), S. 28.

Netzwerken lag zuvor bei lediglich 33 %. Durch die Kooperation konnte die Auslastung auf 49 % erhöht werden. Erreicht wurde dies dank der gestiegenen Anzahl möglicher Routen und der Auswahl des jeweils nächstgelegenen Logistikzentrums. Auf diese Weise wurden die zurückgelegten Transportkilometer um 54 % verringert. Die Lage der Umschlagzentren blieb bei der Kooperation unverändert, lediglich die Transportfrequenz und die Routen wurden angepasst.

Weitere Effizienzsteigerungen wären durch eine Umverteilung bzw. Neuansiedlung von Transportzentren erzielbar. Dies würde allerdings eine noch engere Zusammenarbeit der einzelnen Zulieferer erfordern.¹²⁶

Intermodale Transporte und Nutzung von Lang-Lkw

Unter intermodalen Transporten wird die Nutzung mehrerer verschiedener Transportmedien für die Zustellung eines Guts vom Auslieferungs- bis zum Zielort verstanden. Dabei können sowohl Land-, Wasser- als auch Luftwege in Betracht kommen. An Land kann außerdem zwischen Straßen- und Schienentransport unterschieden werden. Ein Lang-Lkw bzw. EuroCombi (engl. auch LCV, Long Combination Vehicle) bezeichnet eine überlange Kombination von Lkw-Motorwagen oder Sattelzugmaschine und mehreren Aufliegern und/oder Anhängern.¹²⁷ Die maximal zulässige Gesamtlänge eines Lang-Lkw beträgt 25,25 m bei einem zulässigen Gesamtgewicht von maximal 44 t im Vor- und Nachlauf beim Kombinierten Verkehr.¹²⁸

Intermodale Transporte

In einer Untersuchung von Gross et al. (2013) wurde für den Europäischen Raum verglichen, wie sich die Nutzung von intermodalen Transportnetzen und Lang-Lkw im Vergleich zu einem Transport mit herkömmlichen Lkw auswirkt.¹²⁹ Dabei wurde festgestellt, dass in beiden Fällen der Ausstoß von schädlichen Emissionen reduziert werden konnte. Das Ausgangsszenario bezieht sich auf den ausschließlichen Transport in Standard-Lkw-Anhängern. In der zugrundeliegenden Studie erhöhten sich die Transportkosten für den

¹²⁶ Vgl. Wimmer, T. und Grotemeier, C. (2018).

¹²⁷ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötel, M. und Brock, M. (2013), S. 44.

¹²⁸ Vgl. Verband der Automobilindustrie e.V. (2019).

¹²⁹ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötel, M. und Brock, M. (2013), S. 44.

intermodalen Verkehr im Vergleich zum Ausgangsszenario um 76 %. In Hinblick auf schädliche Emissionen schnitt der intermodale Transport nur auf sehr langen Transportstrecken besser ab als der herkömmliche Lkw-Transport und auch nur, wenn die Distanz zwischen Logistikzentrum und Umladestation nicht zu groß war. Voraussetzung ist stets, dass das Transportvolumen ausreichend groß ist, um Effizienz durch eine hohe Auslastung der Transportmedien zu gewährleisten. In der Studie wurde für den Umstieg auf einen intermodalen Verkehr ein Treibhausgas-Einsparpotenzial von insgesamt ca. 39 % ermittelt.¹³⁰

Nutzung von Lang-Lkw

Da das mögliche Gesamtgewicht und -volumen der Transportgüter bei Lang-Lkw höher liegt als bei herkömmlichen Lkw, sind insgesamt weniger Lieferungen nötig, um die gleiche Menge zu transportieren. In der zuvor erwähnten Studie führte der Einsatz von Lang-Lkw zu einer Kosteneinsparung von ca. 25 % und zu einer Emissionsminderung (in CO₂-äq) von knapp 17 % gegenüber dem Basisszenario.¹³¹

Aus ökologischer Sicht ist zwar eindeutig der intermodale Transport vorzuziehen, da jedoch die Kosten bei dieser Variante insgesamt stark ansteigen, scheint der Transport per Lang-Lkw praktikabler und realistischer. Letzterer weist nicht nur ökologische, sondern auch wirtschaftliche Vorteile für die Transportunternehmen auf.

Die Kosten beim intermodalen Transport steigen insbesondere aufgrund der erforderlichen zusätzlichen Umschlagleistungen zwischen Vorlauf und Hauptlauf sowie Hauptlauf und Nachlauf. Diese Kosten könnten mit zunehmender Automatisierung bei Umschlagprozessen sowie dem Transport auf dem Hauptlauf kompensiert werden, da dann nicht unerhebliche Personalkosten wegfallen. Voraussetzung dafür ist allerdings eine durchgehende Modernisierung der Verkehrsinfrastruktur.¹³²

¹³⁰ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötzel, M. und Brock, M. (2013), S. 44.

¹³¹ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötzel, M. und Brock, M. (2013), S. 44.

¹³² Zadek, H. (16. April 2020).

Verringerung der Lieferhäufigkeit

Durch die Reduzierung der Anlieferung von vier auf zwei Tage pro Woche konnten in einem Beispielszenario bis zu 23 % der Kosten und 25 % CO₂-Emissionen eingespart werden. Die geringere Anzahl von Lieferungen pro Woche führt insgesamt zu kürzeren Handhabungs- und Fahrzeiten, wodurch sich die Kosten speziell in einem Land mit hohen Lohnkosten wie Deutschland stark reduzieren. Die durchschnittliche Ausnutzung der Lkw-Ladeflächen erhöhte sich zudem in dem Beispiel von 43 auf 55 %. Dies zeigt, dass prinzipiell große Einsparpotenziale durch die Verringerung der Lieferhäufigkeit bestehen. Durch die zusätzliche Flexibilisierung der Lieferzeitfenster könnte dieses Potenzial noch weiter ausgeschöpft werden (siehe dazu auch unten *Erweiterung der Lieferzeitfenster*). Die zurückgelegte Gesamt-Transportdistanz konnte im untersuchten Beispiel um ein Viertel verringert werden. Da sich außerdem die Wartezeit sowie die Be- und Entladezeit insgesamt verkürzen, steigt die Liefereffizienz. Für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahme bedarf es allerdings auch der Berücksichtigung der jeweiligen Optionen beteiligter Parteien. Beispielsweise ist die Umsetzung nur möglich, wenn in den belieferten Waren- bzw. Lagerhäusern auch ausreichend Regal- bzw. Lagerplatz vorhanden ist. Weiterhin ist der zusätzliche Personal- und Zeitaufwand zur Be- und Entladung der einzelnen Lieferungen einzukalkulieren, da pro Liefertag ein höheres Warenvolumen anfällt.¹³³

Erweiterung der Lieferzeitfenster

Werden Lieferzeitfenster ausgeweitet, können mit einem Rundlauf mehr Kunden beliefert werden. Das führt dazu, dass sich die zurückgelegte Transportstrecke um bis zu 15 % verringert, während sich die Auslastung der Fahrzeuge erhöht. In beispielhaften Modellrechnungen gehen Gross et al. (2013) von einer möglichen Emissionsminderung in Höhe von bis zu 16 % bei gleichzeitiger Lieferkostenreduzierung von 5 bis 11 % aus. Bereits eine Ausweitung der Lieferzeitfenster um 30 Minuten führte in der Modellrechnung zu 6 % weniger Emissionen bei einer Reduzierung der Lieferkosten um 5 %.¹³⁴

¹³³ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötel, M. und Brock, M. (2013), S. 58.

¹³⁴ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötel, M. und Brock, M. (2013), S. 60.

Die Kostenreduktion kann in dem Fall durch niedrigere Lieferpreise an die Auftraggeber weitergereicht werden. Eine gewisse Flexibilität in der Gestaltung der Lieferkette sowie der Wille zur Kooperation und zum Datenaustausch können dann sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile für die beteiligten Parteien bieten.

Für die Planung von Transportprozessen sind die Lieferfristen und Anlieferungszeitfenster (beispielsweise von Handelsunternehmen) eine wichtige Bedingung. Um die Zeitvorgaben einhalten zu können, werden die Transportfahrzeuge oft nicht voll beladen. Daraus folgen eine unzureichende Ausnutzung der verfügbaren Transportkapazitäten und zusätzlich benötigte Wegstrecken, die nicht nur zu erhöhten Transportkosten, sondern auch zu unnötigen Umweltbelastungen führen. Für die belieferten Unternehmen stellt eine Ausweitung und/oder Flexibilisierung der Lieferzeitfenster jedoch eine höhere Anforderung an die Anzahl von gleichzeitig benötigtem Personal für eine eventuell nur kurze Zeitspanne dar. Weiterhin ziehen die räumlichen Kapazitäten der Anlieferungszone und des Lagers sowie die Verkehrssituation mögliche Engpässe für die Umsetzung nach sich. Bei der Planung zur Erweiterung der Lieferzeitfenster sollten diese Aspekte ebenfalls berücksichtigt werden.¹³⁵

Entlastung des innerstädtischen Lieferverkehrs

Kunden haben zunehmend höhere Erwartungen an die Termintreue der Auslieferung sowie die Zustellfähigkeit hinsichtlich Wunschort und -zeit ihrer Bestellungen. Um die veränderten Anforderungen erfüllen zu können, muss vor allem die städtische Logistikinfrastruktur dichter und dezentraler werden, als sie es bisher ist.¹³⁶

Ein Projekt zur Umstrukturierung des innerstädtischen Lieferverkehrs in Stuttgart zeigt mögliche Ansätze und Einsparpotenziale auf.

¹³⁵ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötzel, M. und Brock, M. (2013), S. 60.

¹³⁶ Vgl. Kässer, M.; Müller, T.; Kley, F.; Wee, D.; Hannemann, D.; Diedrich, D.; Rothkopf, M.; Neuhaus, F.; Küchler, S.; Hausmann, L.; Wojciak, J.; Höflinger, N. und Raiber, S. (2016), S. 29 f.

Pilotprojekt zum innerstädtischem Lieferverkehr in Stuttgart¹³⁷

2016 starteten die Stadt Stuttgart und das Fraunhofer IAO zu diesem Thema ein gemeinschaftliches Projekt namens „logSPACE“. Dabei handelt es sich um ein innovatives Logistikkonzept, das Zustellungen zu Fuß (mit Handkarren) und per Lastenrad beinhaltet. Die bestellten Pakete werden aus zwei nahegelegenen Depots direkt in die Innenstadt geliefert. Das Besondere dabei ist, dass die Depots aus normalen Lkw-Anhängern bestehen. Diese werden täglich vom Verteilzentrum außerhalb der Stadt in die Nähe der Fußgängerzone gefahren und über eine mobile Treppe den Paketboten zugänglich gemacht. Die leeren Anhänger werden später wieder in das Verteilzentrum gebracht, wo sie während der Nachtschicht neu mit Paketen beladen werden. Diese Methode erlaubt es dem Paketzusteller im Vergleich zum vorherigen Verfahren, auf 80 % der Lastkraftwagen zu verzichten, die zuvor im Innenstadtbereich unterwegs waren. Der Servicelevel ist dabei konstant geblieben. Die wenigen weiterhin eingesetzten Lkw liefern die großen Pakete aus, die zu Fuß oder per Lastenrad nicht transportiert werden können.

Problematisch ist, dass unterschiedliche KEP-Dienstleister (Kurier-Express-Paket-Dienstleister) täglich in dieselben Bezirke und Quartiere fahren – oftmals nur wenige Minuten später. Zielführender sind Lösungsansätze, bei denen die Zustellung dienstleisterübergreifend gebündelt wird und nur ein Zusteller sämtliche Pakete im Quartier oder Bezirk ausliefert. Das reduziert Emissionen und belastet die Infrastruktur deutlich weniger. Wie ein derartiger Ansatz gelingen kann, wird am Institut für Logistik und Materialflusstechnik der Universität Magdeburg seit 2019 in einem Forschungs- und Pilotprojekt namens „Paket-KV-MD2: Nachhaltiger Paketdienst durch kombinierten Verkehr auf der letzten Meile mit Mikro-Depots in Magdeburg“ untersucht.¹³⁸

¹³⁷ Vgl. Kässer, M.; Müller, T.; Kley, F.; Wee, D.; Hannemann, D.; Diedrich, D.; Rothkopf, M.; Neuhaus, F.; Küchler, S.; Hausmann, L.; Wojciak, J.; Höflinger, N. und Raiber, S. (2016), S. 29 f.

¹³⁸ Zadek, H. (16. April 2020).

4.4 Digitalisierung im Transportwesen

Digitalisierung im Überblick

Die Digitalisierung findet mittlerweile in vielfältiger Form Erwähnung in zahlreichen Medien. Dennoch ist bisher keine anerkannte Definition vorhanden. Anhand von cyber-physischen Systemen lässt sich jedoch gut beschreiben, was die Digitalisierung letztlich ausmacht. Cyber-physische Systeme vernetzen die gegenständliche mit der virtuell-digitalen Welt. Mithilfe von Mikroelektronik in realen Objekten (z. B. Fahrzeugen, Containern, Behältern, Produkten und Verpackungen) können diese eindeutig identifiziert werden und mittels Sensorik Daten erfassen. Die Daten können automatisch mit anderen Objekten ausgetauscht und verarbeitet werden (Vernetzung von cyber-physischen Systemen). Aus den gesammelten Datensätzen kann mithilfe von Big-Data-Analytics-Methoden Wissen generiert werden, das ohne diese Technologie vermutlich verborgen bliebe. Cloud- und Mobile-Computing sorgen dafür, dass die benötigten Daten jederzeit und allerorts abgerufen werden können. Für Prozesse bieten die Strategien und Maßnahmen der Digitalisierung die Möglichkeit zu gesteigerter Transparenz, Flexibilität und Effizienz.¹³⁹

Digitalisierte Transportlogistik

Die optimierte Steuerung überbetrieblicher Transporte mithilfe von cyber-physischen Systemen wird auch als Transportlogistik 4.0 bezeichnet. Sowohl bei der Be- und Entladung als auch im Rahmen der Beauftragung des Transportprozesses werden Daten gesammelt, analysiert und daraus ein digitales Abbild geschaffen. Im Anschluss lassen sich daraus Maßnahmen zur unternehmensübergreifenden Effizienzsteigerung ableiten. Informationen aus IT-Systemen, Kameras und Sensoren unterstützen dabei zusätzlich. Die Transportlogistik 4.0 zielt auf eine effiziente, dezentral gesteuerte und flexible Transportabwicklung ab.¹⁴⁰

Allein durch eine optimierte Routenführung können durchschnittlich 5 % Treibstoff eingespart werden. Mit Hilfe eines Systems namens „idle alert“ gelang es einem Logistikunternehmen, verfügbare Lkw schneller ausfindig

¹³⁹ Vgl. Pflaum, A.; Schwemmer, M.; Gundelfinger, C. und Naumann, V., S. 6 f.

¹⁴⁰ Vgl. Pflaum, A.; Schwemmer, M.; Gundelfinger, C. und Naumann, V., S. 9.

zu machen und die Routen aller Fahrzeuge dementsprechend anzupassen, wodurch pro Lkw monatlich ca. 75 l Kraftstoff eingespart werden.¹⁴¹

Die Transportlogistik 4.0 dient weiterhin der Verbesserung von Stückgut-Kooperationen der Logistikdienstleister. Dabei arbeiten für gewöhnlich kleine und mittelständische, regional agierende Speditionen zusammen und ermöglichen ihren Kunden eine national oder international flächendeckende Versorgung mit Gütern. Die Transportplanung erfolgt hier unternehmensübergreifend. Durch den Abgleich von Aufträgen und vorhandenen Frachtraumkapazitäten aller Kooperierenden, evtl. sogar unter Einbeziehung von Prognosen, lassen sich ideale Transportzusammensetzungen planen. Dank der Möglichkeiten der Digitalisierung liefert eine rasche Übertragung von Daten die notwendigen Informationen an alle Beteiligten, beispielsweise über eine Cloud. Ein Entscheidungsunterstützungssystem wählt nahezu in Echtzeit durch entsprechende Algorithmen die ideale Option zur Transportabwicklung. Die somit optimierte Steuerung von Transportnetzen führt zur Verringerung von Leerfahrten und zu niedrigeren Kosten für alle Beteiligten.¹⁴²

In etwa jeder vierte Lkw-Transport in Deutschland ist eine Leerfahrt. Durchschnittlich beträgt die Transportauslastung von Lkw hierzulande nur zwischen 50 und 70 %. Bei Nutzung der bereits am Markt verfügbaren Systeme der digitalen Transportlogistik (Sensorik, Software, Datenübertragungstechnologien) könnte die Auslastung schon heute zwischen 80 und 95 % betragen, wodurch deutlich weniger Lkw zum Warentransport nötig wären und Ressourcen gespart würden.¹⁴³

Kapazitätssteigerung von Verkehrsträgern

Telematik und neuartige Navigationslösungen wie die Vehicle-to-Vehicle-Communication (V2V) und Vehicle-to-Infrastructure-Communication (V2I) bieten den technischen Ansatzpunkt für die Online-Planung und -Steuerung logistischer Prozesse. Diese werden dadurch beschleunigt. Einer dezentralen und autonomen Verkehrsleitung mithilfe von Telematik wird zukünftig eine

¹⁴¹ Vgl. Schiller, T.; Maier, M. und Büchle, M. (2017), S. 14.

¹⁴² Vgl. Pflaum, A.; Schwemmer, M.; Gundelfinger, C. und Naumann, V., S. 28 f.

¹⁴³ Vgl. Kramer, S. (2015).

größere Bedeutung zukommen. Maßnahmen zur Sicherstellung des flüssigen Verkehrsstroms können durch ausgiebige, ortsgenaue Echtzeitdaten unterstützt werden. Behilflich sind dabei u. a. das Dynamic Pricing, selektive Überholverbote und individuelle Geschwindigkeitsvorgaben. Durch diese Maßnahmen wird die Kapazität der Straßen als Verkehrsträger erhöht. Große Potenziale ergeben sich durch Telematik-, V2V- und V2I-Technologien auch im Bereich des Schienentransports. Dort lassen sich geringere Zugabstände realisieren als bei der momentan üblichen Blockstreckensteuerung, wodurch die Auslastung des Verkehrsträgers Schiene erhöht werden kann. Der Umwelt kommt dies besonders zugute, da der Schienentransport (insbesondere im elektrischen Betrieb) gegenüber dem Lkw-Transport geringere Umweltbelastungen verursacht.¹⁴⁴

Truck Platooning

Die digitale Sammlung und Verarbeitung von Echtzeit-Lkw-Daten (genauer Standort, Abstand zum nächsten Fahrzeug etc.) mithilfe diverser Technologien (Radar, Kameras, GPS) sowie der individuelle Datenaustausch zwischen den einzelnen Fahrzeugen per V2V-Kommunikation erlauben die Vernetzung mehrerer Lkw zum sogenannten Truck Platooning.¹⁴⁵ Dabei fahren mehrere Lkw vollkommen autonom in sehr geringem Abstand (unter 1 Sek.) und werden zu einem gemeinsam agierenden Lkw-Konvoi verbunden. Alle steuernden Funktionen der einzelnen Lkw (außer die des Führungsfahrzeugs) werden vom Fahrassistenzsystem namens CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) übernommen. Der Fahrer hat nach der Aktivierung des Systems nur noch eine Kontrollfunktion. Alle folgenden Fahrzeuge reagieren entsprechend dem Verhalten des Führungsfahrzeugs. Wenn dieses bremst, beschleunigt oder die Spur wechselt, tun dies die restlichen Lkw des Konvois automatisch ebenso. Sollte ein anderes Fahrzeug einfädeln wollen, so wird der Abstand automatisch vergrößert, bis es den Konvoi wieder verlässt. Insbesondere die Fahrzeuge hinter dem Führungs-Lkw profitieren durch den geringen Abstand von einem reduzierten Luftwiderstand und verringern dadurch ihren Kraftstoffverbrauch.¹⁴⁶ In einer Untersuchung aus dem Jahr 2013 mit Experimenten wird von einer Kraftstoffeinsparung der Fahrzeuge

¹⁴⁴ Vgl. Schenk, M. und Behrendt, F. (2014), S. 27 f.

¹⁴⁵ Vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=I-xMdybBzUY>

¹⁴⁶ Vgl. Stehbeck, F. (2018).

innerhalb des Konvois von bis zu 22 % ausgegangen. Aufgrund des reduzierten Luftdrucks und der geringeren Turbulenzen am Heck soll sogar das Führungsfahrzeug bis zu 10 % Kraftstoff einsparen können.¹⁴⁷ Rein technisch ist das Platooning bereits heute möglich. Es müssen jedoch noch europaweite Regulierungen geschaffen und ein herstellerübergreifendes System entwickelt werden. Sind diese Herausforderungen gemeistert, hat das Platooning das Potenzial, den Güterverkehr ein großes Stück umweltfreundlicher zu gestalten.

Autonome Disponierung

Die automatisierte Transportplanung liefert einen entscheidenden Beitrag in Richtung selbstorganisierter und intelligenter Logistik. Das folgende Beispiel veranschaulicht, wie die autonome Disponierung in der Praxis gelingen kann.

Autonome Disponierung mittels Software in Echtzeit^{148, 149}

Ein Unternehmen aus Hamburg hat im Rahmen eines Forschungsprojekts eine Software auf den Markt gebracht, mit deren Hilfe ohne manuelles Zutun optimale Tourenpläne generiert werden. Die eingesetzten Transportfahrzeuge senden mittels Telematik ihre genauen Standorte an die Zentrale. Dort berechnet ein evolutionärer Algorithmus, basierend auf dem Abgleich aktueller Verkehrs- und Auftragsdaten, in Echtzeit die ideale Route. Bei drohender Nichteinhaltung von Lieferfristen oder gesetzlichen Ruhezeiten nimmt die Software automatisch Umplanungen vor. Über mobile Endgeräte wird der Fahrer über die Änderungen informiert. Das System hilft nicht nur, Verspätungen zu reduzieren, sondern verkürzt auch die insgesamt gefahrenen Wegstrecken. Dadurch wird der Verkehrsfluss auf den Straßen positiv beeinflusst, Kraftstoff eingespart und die Menge an CO₂-Emissionen verringert.

¹⁴⁷ Vgl. Tsugawa, S. (2013).

¹⁴⁸ Vgl. Walter, M. (2018).

¹⁴⁹ Vgl. Hamacher, M. (2018).

4.5 Effiziente Logistik in Gewerbegebieten

Unternehmensübergreifende Synergien

In Gewerbe- und Industriegebieten ist es möglich, durch Vernetzung und Kooperation der ansässigen Unternehmen Synergien zu erzeugen und die Ressourceneffizienz dadurch insgesamt zu steigern. Im Bereich der Logistik können beispielsweise Transportkooperationen geschaffen und somit Anlieferungen jeglicher Art gebündelt werden. So können z. B. Einkaufsgemeinschaften das Transportaufkommen zum Gewerbegebiet verringern. Wenn Lieferzeiten abgestimmt werden, kann die Transportauslastung der einzelnen Lkw erhöht werden, sodass insgesamt weniger Lkw benötigt werden. Weiterhin sind gemeinsame Abfallwirtschaftskonzepte möglich, die die Transportkilometer für die Abfallentsorgung minimieren und Abfall einsparen. Der Abfall des einen Unternehmens kann unter Umständen sogar einem anderen Unternehmen im Gewerbegebiet als Sekundärrohstoff dienen. Dies lässt sich jedoch nur durch überbetriebliche Zusammenarbeit herausfinden und umsetzen.¹⁵⁰

Das zumeist größte Hindernis ist die notwendige Kommunikation zwischen den einzelnen Unternehmen eines Gewerbegebiets. Vernetzungsmöglichkeiten werden oft aufgrund fehlender zeitlicher und personeller Kapazitäten nicht genutzt.¹⁵¹

Netzwerkmanagement

Um Kooperationsmöglichkeiten auszumachen und Kooperationen in die Wege zu leiten und zu steuern, sind Netzwerkmanager von großem Nutzen. Sie organisieren gemeinsame Treffen und koordinieren die überbetriebliche Kommunikation. Mithilfe der Netzwerkmanager können zudem gemeinsame Energie- und Materialeinkäufe, die Nutzung eines gemeinsamen Fuhrparks, eine Abfallbündelung sowie die Weiterverwertung von Roh- und Reststoffen bewerkstelligt werden.¹⁵²

¹⁵⁰ Vgl. Sauerborn, K.; Schlump, C. und Keller, A. (2013), S. 33 ff.

¹⁵¹ Vgl. Sauerborn, K.; Schlump, C. und Keller, A. (2013), S. 33 ff.

¹⁵² Vgl. Sauerborn, K.; Schlump, C. und Keller, A. (2013), S. 33 ff.

Ressourceneffizientes Management des Gewerbegebiets

Zur Steigerung der Ressourceneffizienz eines gesamten Gewerbegebiets können die folgenden Maßnahmen als Ansatzpunkte dienen:^{153, 154}

- Gründung einer Interessengemeinschaft,
- Entwicklung von Kooperationen in gewerbegebietstypischen Entscheidungsfeldern (Einkaufsgemeinschaft, Abfallentsorgung, gemeinsame Nutzung des Bahnanschlusses),
- Entwicklung von betrieblichen Synergien sowie horizontalen oder vertikalen Netzwerken, z. B. Unternehmen gleicher oder verschiedener Produktionsstufen eines Produktes,
- gemeinsame Nutzung von Fuhrpark, Lagerstätten und Logistik.

Optimierte Verkehrssteuerung

Das Ziel der optimierten Verkehrssteuerung ist die Verringerung des Verkehrsaufkommens und der durch den Verkehr verursachten Umweltbelastungen. Dabei ist sowohl der Verkehr innerhalb des Gewerbegebiets gemeint als auch der Personen- und Lieferverkehr von und zu den einzelnen Unternehmen. Mögliche Maßnahmen zur Optimierung sind^{155, 156}:

- direkte Anbindung des Gewerbegebiets an die Autobahn (Verkehrsverringerung),
- Kombination von Anlieferung und Abtransport im Gebiet (Verkehrsverringerung),
- Reduzierung von Verkehrsflächen,
- Nutzung des Bahnanschlusses,

¹⁵³ Vgl. Freudenau, H.; Hennings, G.; Rinke, B.; Siebert, S. und Ziegler-Hennings, C. (2014), S. 40.

¹⁵⁴ Vgl. Folz, A. und Lauerburg, K. (2010), S. 122 ff.

¹⁵⁵ Vgl. Freudenau, H.; Hennings, G.; Rinke, B.; Siebert, S. und Ziegler-Hennings, C. (2014), S. 41.

¹⁵⁶ Vgl. Bondzio, L.; Silius, A. und Scheit, M. (2010).

- Auslegung der Betriebszeiten auf ÖPNV-Anbindung,
- Ordnung des ruhenden Verkehrs (gemeinsame Parkplatznutzung, mehrgeschossige Parkhäuser),
- Anschluss an Radwegeverbindungen,
- Reduktion des Kraftstoffeinsatzes und Umstellung auf alternative Kraftstoffe.

Das nachfolgend beschriebene Vorhaben des Unternehmensnetzwerks Motzener Straße¹⁵⁷ zeigt anschaulich auf, wie eine Bündelung von Transporten durch Unternehmenskooperationen zur Verringerung von Umweltbelastungen beitragen könnte.

Projekt: Bündelung der Stückgutverkehre des Unternehmensnetzwerks Motzener Straße e.V. (Berlin)

Das Unternehmensnetzwerk Motzener Straße ist eine seit 2005 bestehende Initiative von Unternehmen des gleichnamigen Industriegebiets. Durchschnittlich durchqueren momentan pro Tag ca. 800 Lkw das Gewerbe- und Industriegebiet, wovon in etwa 50 % Ziel- und Quellverkehr darstellen. Die hohe Verkehrsbelastung führt teils zu räumlichen Engpässen und Konflikten mit den Anwohnern. Vom Güterverkehrszentrum (GVZ) in Großbeeren werden durch Speditionen und Fuhrparkunternehmer sperrige Waren, Stückgut und Pakete nach Berlin geliefert. Derzeit erfolgen die Stückgutlieferungen für die Unternehmen der Motzener Straße in der Regel noch individuell an den jeweiligen Empfänger. Eine Bündelung von Verkehr und logistischen Prozessen findet nicht statt. Unzureichend ausgeschöpfte Transportvolumina von Lkw sind daher an der Tagesordnung. Das führt zu Ressourcenverschwendung und unnötig hohem Verkehr auf den Straßen. Auch die Substanz der Zubringerstraßen wird dadurch in erhöhtem Maße beansprucht, da mehr Lkw unterwegs sind als eigentlich nötig. Das Unternehmensnetzwerk strebt nun an, die Liefer- und Warenströme im Projektgebiet deutlich zu reduzieren. Dazu

¹⁵⁷ Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung steht das Projekt noch kurz vor der Machbarkeitsanalyse, welche voraussichtlich im August 2020 abgeschlossen werden soll.

wird erwägt, in einem zentralen Lager im GVZ Großbeeren von einem Dienstleister Stückgutsendungen für unterschiedliche Empfänger der Motzener Straße entgegennehmen, sammeln und anschließend gebündelt ausliefern zu lassen. Dadurch ließe sich die Transportauslastung der Lkw verbessern. Die Zustellung könnte zudem durch emissionsarme Fahrzeuge erfolgen (beispielsweise mit Elektromotoren). Empfängerwünsche wie bestimmte Lieferzeiten und Restriktionen (z. B. benötigte Hebebühnen und Rampen) sollen ebenfalls berücksichtigt werden.

Unternehmensübergreifende Nutzung von Einrichtungen

Werden Parkplätze und -häuser, Kantinen, Sport- und Freizeiteinrichtungen gemeinsam genutzt, verringert dies einerseits Kosten und gewährleistet andererseits eine effizientere Nutzung durch höhere Auslastung. Ein weiterer entscheidender Vorteil der gemeinsamen Nutzung ist die Reduzierung von Flächenversiegelung. Dies kann beispielsweise durch zentrale Lkw-Stellplätze mit Serviceeinrichtungen (Versorgungs- und Waschräume für Lkw-Fahrer) und Rampenmanagement sowie durch ein gemeinsames Parkraum- und Flottenmanagement erreicht werden.¹⁵⁸

Maßnahmen für ressourcenschonenden Liefer- und Personenverkehr

Zur Umsetzung eines umweltschonenden und fortschrittlichen Liefer- und Personenverkehrs in Industrie- und Gewerbegebieten können folgende Maßnahmen hilfreich sein¹⁵⁹:

- Zentrale Lage von Parkplätzen für Lkw und möglichst gute Einbindung in das Rampenmanagement der Unternehmen. Dadurch wird der Flächenbedarf im Straßenraum sowie auf dem Betriebsgelände der Unternehmen reduziert.
- Kostenintensive Serviceeinrichtungen können gemeinsam betrieben werden (z. B. E-Mobil-Ladeeinrichtungen, Lkw-Fahrerservice, Versorgungs- und Waschräume für Lkw-Fahrer).

¹⁵⁸ Vgl. Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald (2015), S. 12.

¹⁵⁹ Vgl. Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald (2015), S. 18 ff.

- Die Nähe zum öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV) erleichtert es den Mitarbeitern, ihren Arbeitsplatz umweltfreundlich zu erreichen, und vergrößert den Personenkreis an potenziellen Arbeitskräften aufgrund eines größeren Einzugsgebiets.
- Mithilfe von Carsharing und intelligentem Flottenmanagement wird der Flächenbedarf für Parkplätze verringert und es werden Betriebskosten eingespart.
- Situativ angepasste Mobilitäts- und Logistikkonzepte (Rampenmanagement, Kreislaufsysteme für Verpackungen und Transport) können zu weiterer Ressourcenschonung führen.

Transportkooperationen

Vor allem in der Transportlogistik sind durch Kooperationen große Einsparungen sowohl von Kosten als auch von Energie und Material erreichbar. Ziel von Kooperationen ist es, die Ladekapazitäten von Logistikdienstleistern vollkommen auszuschöpfen sowie die Transportwege und die Zahl der Ladevorgänge zu reduzieren.¹⁶⁰

Am Beispiel einer Transportkooperation zweier großer Lebensmittelhersteller in Deutschland zeigt sich, dass die Zusammenarbeit die Transportlogistik effizienter, kostengünstiger und umweltschonender machen kann. Das Beispiel lässt sich auf die Kooperation von Unternehmen innerhalb von Gewerbegebieten direkt übertragen.

¹⁶⁰ Vgl. LPV GmbH (2011).

Transportkooperationen reduzieren Kosten und CO₂-Emissionen¹⁶¹

Bereits 2010 startete ein Lebensmittelhersteller eine Kooperationsoffensive namens „Agenda 2017“ und setzte sich damit für mehr Zusammenarbeit im Logistikbereich der Konsumgüterindustrie ein. Bei der Kooperation mit einem direkten Wettbewerber wurden eine gemeinschaftliche Lagerhaltung und Auslieferung mithilfe eines externen Logistikdienstleisters realisiert. Die Lager- und Transportkosten konnten dank der Kooperation um 20 % reduziert werden. Außerdem wurden gemeinsame Liefertage vereinbart und die Bestellsysteme vereinheitlicht, wodurch sich die Anzahl der nötigen Rampenkontakte um 4.000 Kontakte pro Jahr und die Transportkilometer um 720.000 km pro Jahr verringerten. Das spart nicht nur Kraftstoff, sondern auch CO₂-Emissionen. Da der Logistikdienstleister zudem bereits über Lkw mit Hybrid-Antrieb verfügte, konnten die CO₂-Emissionen noch weiter reduziert werden.

Entscheidende Voraussetzung für eine funktionierende Kooperation im Bereich der Transportlogistik sind das Vertrauen unter den beteiligten Partnern sowie ein Übereinkommen in Hinblick auf die geforderten Qualitätsanforderungen. Für den Anfang sollte eine Zusammenarbeit auf maximal vier Partnerunternehmen beschränkt werden, um die Komplexität nicht unnötig in die Höhe zu treiben. Vorteilhaft sind weiterhin ähnliche Kundenstrukturen, Produkte und Absatzmengen. Ein Hemmnis zur Realisierung von Kooperationen liegt in der Notwendigkeit zum Austausch von sensiblen Informationen wie Kundendaten, Kosten, Mengen und Preisen. Um dieses Hemmnis abzubauen, kann ein externer Logistikberater nützlich sein. Dieser kann die Gemeinsamkeiten aufdecken, alle entscheidenden Informationen ermitteln, vertraulich verarbeiten und mit den vorhandenen Daten Kooperationspotenziale herausstellen.¹⁶²

¹⁶¹ Vgl. LPV GmbH (2011).

¹⁶² Vgl. LPV GmbH (2011).

5 RESSOURCENEFFIZIENZ IM VERPACKUNGSWESEN

Entscheidend für ein nachhaltiges, umweltfreundliches Verpackungsmanagement sind vor allem der effiziente Einsatz von Material bei der Verpackungsherstellung bzw. -verwendung sowie eine umweltgerechte Abfallentsorgung. Im Einflussbereich der Logistik liegen insbesondere die Transport- und Umverpackungen. Im Verpackungsgesetz (VerpackG) von 2019 ist die Rücknahmepflicht für Transport- und Umverpackungen geregelt. Bis dato galt die Verpackungsverordnung, welche nun vom VerpackG abgelöst wurde. Im Handel sind weiterhin auch die Produkt-, Service- und Versandverpackungen zu optimieren.¹⁶³ Für ein umweltgerechtes Verpackungsmanagement lässt sich – entsprechend Kreislaufwirtschaftsgesetz – eine Rangfolge für Maßnahmen definieren (in der Wichtigkeit abnehmend):¹⁶⁴

- (1) Vermeidung von Verpackungen,
- (2) Verringerung von Verpackungsmenge und -schädlichkeit,
- (3) Wiederverwendung durch Mehrwegsysteme,
- (4) Recycling von Verpackungsmaterial.

Wiederverwendbare Transportverpackungen vs. Einwegsysteme

In der Mehrweglogistik werden zum Transport von Gütern wiederverwendbare Transportverpackungen (beispielsweise faltbare Kunststoffbehälter) eingesetzt, die mittels Rückführlogistik vielfach zur Anwendung kommen. In der Einweglogistik werden die Transportverpackungen nur einmalig verwendet und dann entsorgt.

Vor einer Entscheidung für das jeweils passende Transportkonzept sollten auch die ökologischen Vor- und Nachteile der beiden Varianten beachtet werden. Eine Studie von Gross et al. (2013) zu dem Thema, die sich auf den Transport per Lkw bezieht, beschreibt, dass bei kurzen Transportdistanzen und sehr schweren Gütern die Umweltbilanz von wiederverwendbaren

¹⁶³ Definitionen in: Seyring, N. und Kaeding-Koppers, A. (2019), S. 5.

¹⁶⁴ Vgl. Deckert, C. und Fröhlich, C. (2014), S. 16.

Transportboxen vorteilhaft ausfällt, sofern diese faltbar sind. In diesem Szenario wäre ein Wechsel zur Einwegverpackung weder ökologisch noch wirtschaftlich von Vorteil. Durch das Falten leerer Boxen wird beim Rücktransport weniger Volumen benötigt und somit die Auslastung des Lkw erhöht.¹⁶⁵

Bevor eine Entscheidung zur geeigneten Transportverpackung getroffen wird, sollte hinsichtlich der Umweltwirkungen eine ausführliche Analyse durchgeführt werden. Dabei sollten die Eigenschaften und der gesamte Lebenszyklus der Verpackung berücksichtigt werden. Auch die zu erwartende Lebensdauer von Mehrwegverpackungen wirkt sich entscheidend auf die verursachten Umwelteinflüsse aus. Werden außer das Treibhauspotenzial noch weitere Umweltwirkungen berücksichtigt, wie beispielsweise der Flächenverbrauch, die Versauerung von Böden oder der Ozonabbau, kann eine ökologische Beurteilung von Verpackungsoptionen deutlich fundierter getroffen werden. Eine ökologische Analyse und Bewertung besitzen jedoch in der Regel keine allgemeine Gültigkeit, sondern müssen von Einzelfall zu Einzelfall jeweils neu erstellt werden. Zur Beurteilung der potenziellen Umweltauswirkungen eines Produktsystems über den gesamten Lebensweg ist in den Normen DIN EN ISO 14040 bzw. 14044 ein standardisiertes Verfahren beschrieben. Die VDI-Richtlinie 4800¹⁶⁶ ist insbesondere bei der Bewertung des Ressourcenverbrauchs hilfreich.

Effizientes Verpackungsdesign

In Abbildung 11 ist die durchschnittliche Auslastung von Langstrecken-transporten per Lkw in Europa im Jahr 2004 zu sehen. Demnach wurden die Transporter in vielen Fällen nicht effizient genutzt. Die innerdeutschen Lkw-Transporte wiesen auch im Jahr 2015 eine durchschnittliche Auslastung von lediglich 50 bis 70 % auf.¹⁶⁷

¹⁶⁵ Vgl. Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötel, M. und Brock, M. (2013), S. 49.

¹⁶⁶ Siehe dazu VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

¹⁶⁷ Vgl. Kramer, S. (2015).

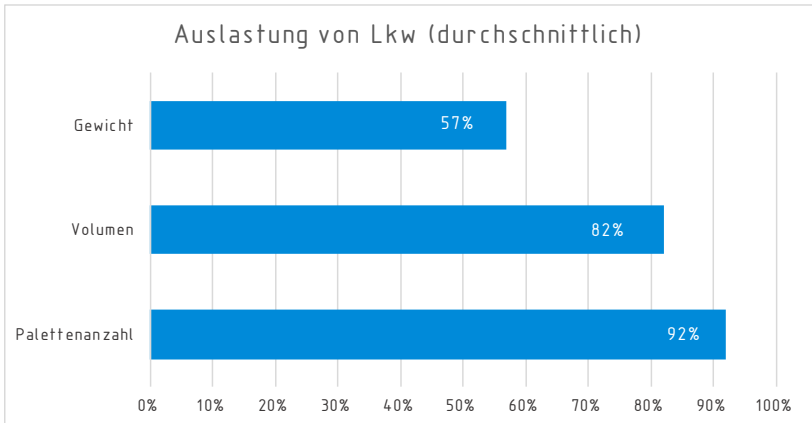


Abbildung 11: Auslastung von Lkw im Langstreckentransport¹⁶⁸

Die limitierenden Faktoren bei der Beladung der Lkw sind vor allem die Menge der Transportpaletten sowie das Ladevolumen. Bezüglich des transportierten Gewichts könnten die Fahrzeuge im Allgemeinen noch stärker ausgelastet werden.

Eine optimierte Verpackungsgestaltung verbessert die Form der Transportgüter und erhöht somit die mögliche Packdichte im Lkw. Dadurch wird auch das Ladungsgewicht gesteigert und die Auslastung der Ladefläche verbessert. Ein Beispiel dazu, wie dies in der Praxis umgesetzt werden kann, zeigt die ressourcenschonende Verpackung von Teelichtern.

Ressourcenschonende Verpackung von Teelichtern¹⁶⁹

Einem Möbelunternehmen gelang es im Zeitraum von 2006 bis 2009, die produktbezogenen Transportemissionen je Kubikmeter Transportgut um 12,4 % zu senken. Dies ist vor allem dem optimierten Verpackungsdesign zu verdanken. Dabei wurden die Verpackungen so gestaltet, dass sie möglichst klein und dicht angeordnet sind, um optimal auf Standardpaletten verladen werden zu können.

Am Beispiel der Teelicht-Verpackung wird dies besonders deutlich:

¹⁶⁸ Basierend auf Lumsden, K. (2004).

¹⁶⁹ Vgl. Schönberger, H.; Galvez Martos, J. und Styles, D. (2013), S. 256.

Um ineffiziente Produktverpackungen ausfindig zu machen, startete das Unternehmen einen Wettbewerb unter den Angestellten, die sogenannte Air Hunting Competition. Dabei wurde unter anderem die Verpackung von Teelichtern als ineffizient identifiziert, bei der jeweils 100 Kerzen lose in einem Beutel verpackt waren.

Anstelle der losen Verpackungsweise wurden die Teelichter in fünf Schichten mit jeweils 4 x 5 Stück gestapelt. Dadurch konnte das Verpackungsvolumen um 30 % reduziert werden. Jede Palette kann nun mit 360 anstatt 250 Päckchen beladen werden. Für den internationalen Versand der Teelichter werden anstelle der zuvor 60.000 benötigten Paletten nur noch 42.000 Paletten pro Jahr benötigt. Zusätzlich verbrauchen die Teelichter dank der neuen Verpackung weniger Regalvolumen. Auch die Handhabungskosten sind gesunken.

Ein vollbeladener 40-Fuß-Container mit Paletten je 360 Packungen Teelichter würde 22 t wiegen und damit das maximal zulässige Transportgewicht überschreiten. Um dieses Problem zu umgehen, hat das Unternehmen beschlossen, die Teelichter zusammen mit spezifisch leichteren Produkten wie Kopfkissen und Matratzen zu versenden. Unterstützt wird dies durch ein gebündeltes und intelligent koordiniertes Versorgungsnetz¹⁷⁰.

Durch ein optimiertes Verpackungsdesign wird die Packdichte in Transportbehältern gesteigert. Dadurch verbessert sich die Effizienz im Bereich Logistik mit einer einhergehenden Reduzierung der Transportvorgänge und der Umweltauswirkungen der logistischen Aktivitäten. Im Beispiel der Teelichter führte eine nur leicht veränderte Produktverpackung zu einer 30%igen Verringerung des benötigten Transportvolumens.

Ein Film des VDI ZRE mit dem Titel „Weniger ist mehr – Verpackungsmaschinen, die Verpackungsmaterial einsparen“ zeigt unter anderem, wie es einem Unternehmen gelang, bei der Umverpackung von Getränkeflaschen durch Verbesserung des Verpackungsdesigns und -prozesses 75 % Material und 95 % Energie gegenüber dem vorherigen Verfahren einzusparen.¹⁷¹

¹⁷⁰ Weitere Informationen: Schönberger, H.; Galvez Martos, J. und Styles, D. (2013), S. 270.

¹⁷¹ Vgl. https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=oeKrTFyrnVE&feature=emb_logo

Weitere Gute-Praxis-Beispiele liefert ein Discounter:

Verpackungsmaterial einsparen im Einzelhandel¹⁷²

Bei gleichbleibendem Inhalt wurde die Verpackung von Cashewnüssen um 20 % verkleinert. Da nun auf einer Palette mehr Ware gleichzeitig transportiert werden kann, wird nicht nur Kunststoff, sondern auch CO₂ eingespart. Zusätzlich konnte der Discounter die Recyclingfähigkeit erhöhen, indem in der neuen Verpackung ein Mono-PP-Verbund anstatt Metallisierungen zum Einsatz kommt.

Weiterhin wurde die Foliendicke der Plastikverpackungen für Toast um 25 % verringert, wodurch pro Jahr ca. 50 t Kunststoff eingespart werden.

Bei der Kommissionierung von Obst und Gemüse wird anstelle von Verpackungsfolie (Stretchfolie) eine Kordel um die Transportkisten gewickelt, um diese zusammenzuhalten. Dadurch werden 85 % des vorherigen Folienverbrauchs eingespart. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von rund 428.000 kg Kunststoff.

Um Verbesserungen im Verpackungsdesign und dadurch vermiedene Umweltbelastungen beziffern zu können, bieten sich unterschiedliche Indikatoren an. So kann beispielsweise eine verbesserte Packdichte gemessen werden in:

- eingesparte kg CO₂-Äquivalente pro tkm (Tonnen-Kilometer) oder
- eingesparte kg CO₂-Äquivalente pro ausgelieferter Tonne Transportgut.

Es ist durchaus denkbar, dass ein verändertes Verpackungsdesign, das eine geringere Packdichte ermöglicht, in anderen Bereichen erhöhte Umweltbelastungen erzeugt, beispielsweise, wenn das Material der Verpackung geändert wird. Um diesen Effekt zu prognostizieren und ggf. zu vermeiden, kann eine Lebensweganalyse¹⁷³ oder eine vergleichbare Abschätzung der Umweltauswirkungen der neuen Verpackung hilfreich sein.

¹⁷² Vgl. Lidl Deutschland (2018), S. 5.

¹⁷³ Weitere Informationen unter: <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/leitfaden-ressourceneffizienz/analyse/detailanalyse-lebensweg/>

Verpackungen auf biologischer Basis

Umweltfreundliche Verpackungen sollten in ihrer Herstellung möglichst geringe Mengen Ressourcen verbrauchen, sich gut recyceln lassen und nach der Gebrauchszeit ökologisch verwertbar sein. Die Natur liefert mit der Bananenschale ein perfektes Beispiel für eine solche Verpackung. Aber auch Papier und Pappe werden aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt und lassen sich gut recyceln sowie verwerten. Relativ neu sind Verpackungen aus biobasierten Kunststoffen, die zu einem Großteil aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und in der Herstellung meist nur geringe Mengen Ressourcen verbrauchen. Außerdem sind viele biobasierte Kunststoffsorten in kurzen Zeiträumen biologisch zersetzbar.¹⁷⁴ Beachtet werden sollte allerdings, dass die Verpackung in der erforderlichen Zeitspanne kompostierbar ist. Wenn diese zu lang ist, blockieren die Materialien den Zersetzungsprozess in herkömmlichen Kompostieranlagen und müssen oft aufwändig aussortiert werden.

In einer Internet-Datenbank zu biobasierten Verpackungsmaterialien, erstellt vom Büro Lebensmittelkunde & Qualität, Dr. Alexander Beck, lassen sich die Materialien anhand von Nachhaltigkeitsbewertungsfaktoren bezüglich ihrer Umweltverträglichkeit einstufen. Der Nutzer der kostenlos verfügbaren Datenbank kann die unterschiedlichen Kunststoffe auf ihre technische Eignung prüfen und miteinander vergleichen. Abrufbar ist die Datenbank auf der Internetseite der Assoziation ökologischer Lebensmittelhersteller e.V. (AÖL).¹⁷⁵

Weniger und besser recycelbare Verpackungen

In den vergangenen Jahren ist das Transportvolumen im Versandhandel stark angestiegen und damit auch der Verpackungsverbrauch innerhalb der Branche. Die Menge an Papierverpackungen im Distanzhandel hat sich von 1996 bis 2017 mehr als versechsfacht. Versandverpackungen steigern das Verpackungsaufkommen vornehmlich aus folgenden drei Gründen: Sie werden zusätzlich zur Primärverpackung eingesetzt, das Gewicht der Versandverpackung ist höher als jenes der Verpackung im Einzelhandel oder die

¹⁷⁴ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

¹⁷⁵ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

zusätzlichen Umweltbelastungen werden nicht durch den Wegfall an Trageaschen ausgeglichen.¹⁷⁶

Verpackungen lassen sich in unterschiedliche Kategorien einordnen. Nachfolgend sind die einzelnen Kategorien aufgeführt und mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Recyclingfähigkeit genannt.¹⁷⁷

Produktverpackungen

- möglichst wenig unterschiedliche Materialien (idealerweise Monomaterial-Verpackung) einsetzen,
- die einzelnen Materialschichten sollten leicht zu trennen sein (sowohl für den Kunden bei der Abfalltrennung als auch für die Unternehmen in der Abfallbehandlung),
- Verpackungen sollten vollständig entleert werden können, sodass kein unnötiger Abfall entsteht und die Verunreinigung der Abfälle gering gehalten wird,
- Kunststoffverpackungen möglichst hell gestalten; schwarze oder sehr dunkle Kunststoffe sind in der automatischen Abfallsortierung aufgrund der optischen Verfahren schlecht zu sortieren,
- Bedruckung von Verpackungen auf ein Minimum reduzieren und Metallic-Aufdrucke vermeiden,
- verwendete Kleber und Farben sollten möglichst wasserlöslich und nicht hitzebeständig sein, um sie besser abtrennen zu können,
- wenn möglich, Etiketten vermeiden, andernfalls aus dem gleichen Material wie das der Verpackung selbst herstellen und so klein wie möglich gestalten,
- wasserlösliche Etiketten verwenden, die sich auch gut von der restlichen Verpackung lösen lassen.

¹⁷⁶ Vgl. Umweltbundesamt (2019).

¹⁷⁷ Vgl. Seyring, N. und Kaeding-Koppers, A. (2019), S. 7.

Serviceverpackungen

- Verpackung vermeiden oder Mehrwegsysteme benutzen,
- Verpackungsmaterial und -größe an das Produkt und die Anforderungen optimal anpassen,
- Monomaterialverpackungen ohne Etiketten verwenden,
- Weiterverwendung von Serviceverpackungen (auch für andere Zwecke).

Transport- und Versandverpackungen

- Menge an Füllmaterial so gering wie möglich halten,
- umweltschonende Füllmaterialien verwenden (beispielsweise Recyclingpapier, Material auf Holz- oder Strohbasis, kompostierbares Material aus Weizenstärke),
- auch hier möglichst Kartons u. Ä. aus Monomaterial ohne unnötig große Etiketten verwenden.

6 FAZIT

Der Handel und die Logistikbranche zählen in Deutschland zu den umsatzstärksten Wirtschaftszweigen und weisen weiterhin Wachstumstendenzen auf.¹⁷⁸ Sowohl im Handel als auch in der Logistikbranche werden große Mengen natürlicher Ressourcen, insbesondere Rohstoffe und Energie, verbraucht. Durch geeignete Strategien und Maßnahmen können Unternehmen dem entgegensteuern und ressourceneffizienter agieren. Die vorliegende Kurzanalyse zeigt mögliche Ansätze dazu auf. Außerdem verdeutlicht sie anhand der Beispiele aus der Praxis, dass ressourceneffizientes Handeln zu meist nicht nur umweltfreundlich, sondern oft auch von wirtschaftlichem Vorteil ist.

Im Bereich der Intralogistik und des Lagerwesens bestehen hohe Einsparpotenziale, beispielsweise durch die Optimierung von Förderanlagen. Ca. 67 % des industriellen Stromverbrauchs in Deutschland werden durch elektrische Antriebe verursacht.¹⁷⁹ Eine Anlagen- und Prozessoptimierung bietet daher enormes Potenzial zur Reduzierung des Strombedarfs und der Betriebskosten.

Auch die Digitalisierung stellt zahlreiche Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz bereit. Mithilfe von Digitalisierungs- und Energieoptimierungsmaßnahmen spart ein beschriebenes Unternehmen jährlich in etwa 500.000 Euro Material- und Energiekosten. Zudem verringern die Maßnahmen den jährlichen Ausstoß von Treibhausgasen um mehr als 2.600 t CO₂-Äquivalente (vgl. S. 36).

Logistikimmobilien haben einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an den Treibhausgasemissionen des GHD-Sektors. Durch Maßnahmen zur Steigerung der Gebäudeeffizienz lässt sich ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz leisten. So schaffte es ein Unternehmen, ein Logistikzentrum als Plusenergiegebäude zu errichten, und erzeugt auf regenerative Weise mehr Energie, als für das Gebäude benötigt wird (vgl. S. 38 ff.).

¹⁷⁸ Vgl. Bundesvereinigung Logistik (2020).

¹⁷⁹ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2010), S. 3.

Weiterhin bestehen große Effizienzsteigerungspotenziale im Bereich des Transportwesens. Die Nutzung regenerativer Kraftstoffe, alternative Antriebe und weitere Modifikationen an den Lieferfahrzeugen sind neben vielen weiteren mögliche Ansatzpunkte. Beispielsweise gelang es einem Logistikunternehmen mithilfe eines Multitemperaturkonzepts für Lkw-Laderäume, jährlich 260.000 Stopps und 3,4 Mio. Fahrkilometer zu vermeiden (siehe S. 50 ff.). Mithilfe adaptiver Luftleitelemente zur Verbesserung des aerodynamischen Profils können bis zu 22 % Kraftstoff eingespart werden (vgl. S. 51 ff.)

Auch durch effiziente Tourenplanung und ein Flottenmanagement lassen sich Ressourcenverbrauch und Kosten reduzieren. Dank der gesteigerten Anzahl möglicher Routen und der Auswahl des jeweils nächstgelegenen Logistikzentrums gelang es durch eine Transportkooperation von zwei unabhängigen Automobilzulieferern die zurückgelegten Transportkilometer um 54 % zu verringern. Digitalisierungstechnologien weisen auch in diesem Bereich ein hohes Zukunftspotenzial auf und stehen für viele Anwendungen bereits heute zur Verfügung (vgl. S. 63 ff.).

Sowohl für den Handel als auch für Logistikunternehmen ergeben sich zudem zahlreiche Möglichkeiten, Verpackungsmaterial einzusparen, dies bei Produktverpackungen als auch bei Service- und Transportverpackungen. Für den Transport von Teelichtern beispielsweise konnte das Verpackungsvolumen um 30 % verringert werden, indem das Verpackungsdesign angepasst wurde (vgl. S. 74 ff.).

Die Kurzanalyse zeigt, dass zahlreiche Möglichkeiten bestehen, um in Handel und Logistik Material und Kosten einzusparen. Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien sind auf dem Vormarsch. Unternehmen, insbesondere KMU, können diese und andere technologische Neuerungen sowie diverse Effizienzmaßnahmen nutzen, um Ressourceneffizienzpotenziale zu erschließen und davon zu profitieren.

7 DOKUMENTATION DES FACHGESPRÄCHS

7.1 Programm des Fachgesprächs „Ressourceneffizienz in Handel und Logistik“

Berlin, 29. September 2020

Moderation: Dr. Christof Oberender, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Top 1 Vorstellung ausgewählter Aspekte der Kurzanalyse Nr. 27: „Ressourceneffizienz in Handel und Logistik“, Tim Kestner, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Top 2 Verpackung - Schutz und Verschwendung zugleich, Jessika Kunsleben, Effizienz-Agentur NRW

Top 3 Diskussion zum Themenbereich

Top 4 Transportverpackungen in der digitalen Welt der Logistik: Potenziale zur Ressourceneffizienz?!, Dr. Volker Lange, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)

Top 5 Digitalisierung in Handel und Logistik - Wie digitale Geschäftsmodelle Ressourcen einsparen und ökonomische Chancen bieten, Florian Lange, Bitkom e.V.

Top 6 Diskussion zum Themenbereich

7.2 Dokumentation des Fachgesprächs

Das Fachgespräch wurde am 29. September 2020 durch das VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit durchgeführt. Mit Gesprächsteilnehmern aus dem Bundesumweltministerium, aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft wurden Chancen und Herausforderungen für Handel und Lo-

gistik diskutiert, die sich bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Ressourceneffizienz ergeben. Die Schwerpunkte der Veranstaltung lagen im Bereich ressourcenschonender Verpackungen sowie bei Ressourceneffizienzpotenzialen der Digitalisierung.

7.3 Ausgewählte Aspekte der Kurzanalyse Nr. 27

Zu Beginn stellte Herr Kestner vom VDI Zentrum Ressourceneffizienz wesentliche Grundlagen der Ressourceneffizienz zusammengefasst vor. Dazu ging er zunächst auf die natürlichen Ressourcen (Rohstoffe, Energieressourcen, Wasser, Luft, Fläche und Boden, Ökosystemdienstleistungen) ein und erklärte, was darunter verstanden wird. Anschließend wurde Ressourceneffizienz gemäß VDI 4800 Blatt 1¹⁸⁰ als der Nutzen eines Produktes oder einer Dienstleistung gegenüber dem dafür nötigen Aufwand definiert. Weiterhin wurden Strategien und Maßnahmen vorgestellt, wie Unternehmen ihre Ressourceneffizienz erhöhen können. Dabei spielen vor allem die Produktentwicklung, der Produktionsprozess sowie das Umfeld der Produktion eine wesentliche Rolle. Zu letzterem zählen auch der Transport sowie die Lagerhaltung und die Verpackung von Produkten. Diese Themen waren für das Fachgespräch von besonderer Bedeutung. Die Vorstellung eines linearen Produktlebenszyklus im Vergleich zum Idealfall der Kreislaufführung schloss den Grundlagenteil ab.

Nachfolgend wurde den Teilnehmenden eine Übersicht über die Themen der Kurzanalyse „Ressourceneffizienz in Handel und Logistik“ gegeben. Nach der Einleitung (Kapitel 1) folgen in Kapitel 2 eine Übersicht und Einordnung von Handel und Logistik in den wirtschaftlichen Zusammenhang. Weiterhin werden aktuelle Entwicklungen und Trends aufgezeigt, bevor näher auf die „Grüne Logistik“ eingegangen wird. Kapitel 3 stellt wesentliche Themen der Ressourceneffizienz in der Intralogistik und im Lagerwesen vor. Dazu gehören effiziente Fördertechnik, Automatisierung und Digitalisierung sowie ressourceneffiziente Handels- und Logistikgebäude. In Kapitel 4 werden zahlreiche Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Transportwesen aufgezeigt. Abschließend gibt Kapitel 5 einen Überblick über mögliche

¹⁸⁰ VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

Maßnahmen im Bereich Verpackungswesen. Ein Fazit stellt die Kernpunkte der Kurzanalyse zusammenfassend dar.

Im Abschnitt „Überblick zu Handel und Logistik“ des Vortrags von Herrn Kestner wurden der Jahresumsatz und die Beschäftigtenzahl des deutschen Handels dem Baugewerbe gegenübergestellt, um die große wirtschaftliche Bedeutung des Handels in Deutschland aufzuzeigen. In 2017 erwirtschaftete dieser Sektor einen Jahresumsatz von ca. 2,09 Billionen Euro mit insgesamt ca. 6,4 Millionen Beschäftigten. Die Rolle des Handels innerhalb der Logistik wurde ebenfalls an Zahlen verdeutlicht. Die Handelslogistik hat in Deutschland einen Anteil von etwa 30 % an den Gesamtkosten der Logistik. Die aktuell größten Trends in der Logistik ergeben sich aus einer Studie mit Expertenbefragung der Bundesvereinigung Logistik (BVL). Demnach ist eine Zunahme des Kostendrucks, der Individualisierung von Transporten und Produkten sowie der Komplexität der Logistikprozesse zu beobachten.

Die Grüne Logistik bezeichnet nach Definition von Deckert und Fröhlich¹⁸¹ „die Ausrichtung der Logistikfunktionen an den Zielen der ökologischen Nachhaltigkeit. Ziele sind dabei Ressourcenschonung, d. h. verbesserte Ressourceneffizienz, und Umweltverträglichkeit, d. h. verminderte Auswirkung von Emissionen.“

Ein hervorragendes Beispiel zur Digitalisierung der Intralogistik gibt die Blechwarenfabrik Limburg. Ein Warehouse Management System (WMS) steuert dort die Lagerbestände in den automatischen Hochregallagern. Das System hat zu jedem Zeitpunkt Informationen darüber, welche Ware sich auf welchem Ladungsträger befindet. Dadurch gibt es in der Fabrik keine undefinierten Lager und keine unnötigen Bestände mehr. So werden auch die Flächen effizienter genutzt. Außerdem steuert das WMS die Materialbewegungen im Lager durch fahrerlose Transportsysteme. Dies führt zu weniger Transportschäden, die zuvor durch die manuelle Handhabung entstanden waren. Dank dieser Maßnahmen spart die Blechwarenfabrik Limburg jedes Jahr ca. 100 t Weißblech ein.

¹⁸¹ Deckert, C. und Fröhlich, C. (2014).

In einem weiteren Praxisbeispiel wurden die Logistikzentren und -netzwerke von zwei Unternehmen zusammengelegt und werden nun zentral koordiniert. Dadurch konnten die Transportkilometer um 54 % und die transportbezogenen Emissionen um 27 % verringert werden. Dies war nur dank der gestiegenen Anzahl verfügbarer Routen und der Auswahl des jeweils nächstgelegenen Logistikzentrums möglich.

Bezüglich des Verpackungswesens wurde betont, dass die Transportauslastung auch aufgrund unzureichend optimierter Verpackungen im deutschen Straßentransport noch zu niedrig liegt. Die volumetrische Auslastung ist dabei mit durchschnittlich 82 % deutlich höher als die gewichtsbezogene Auslastung mit durchschnittlich nur 57 %.¹⁸² Die genannten Daten stammen zwar bereits aus dem Jahr 2004, jedoch zeigen auch andere Quellen, dass sich an dieser Situation nicht viel geändert hat, wie beispielsweise ein Artikel des Tagesspiegel aus 2015 mit dem Titel „Ein Viertel aller Lkw fährt leer durch die Gegend“.¹⁸³

Weiterhin wurde die sogenannte Air-Hunting-Competition eines Möbelherstellers vorgestellt. Um ineffiziente Produktverpackungen ausfindig zu machen, startete das Unternehmen einen Wettbewerb unter den Angestellten. Dabei wurde unter anderem die Verpackung von Teelichtern als ineffizient identifiziert, bei der jeweils 100 Kerzen lose in einem Beutel verpackt waren. Anstelle der losen Verpackungsweise wurden die Teelichter in Schichten gestapelt. Dadurch konnte das Verpackungsvolumen um 30 % reduziert werden.

Außerdem wurde im Vortrag hervorgehoben, dass eine Abwägung zwischen Mehrweg- oder Einwegsystemen immer individuell und vom Einzelfall abhängig getroffen werden sollte. Generelle Aussagen zur Vorteilhaftigkeit sind hier kaum möglich. Ökobilanzierungen und vergleichbare Methoden liefern hingegen gute Entscheidungsgrundlagen.

Viele biobasierte Kunststoffsorten sind in relativ kurzen Zeiträumen biologisch zersetzbar. Ein Kunststoff wird als biologisch abbaubar bezeichnet,

¹⁸² Lumsden, K. (2004).

¹⁸³ Kramer, S. (2015).

wenn er innerhalb von zwölf Wochen verrottet. Beachtet werden sollte allerdings, dass die Verpackung in der erforderlichen Zeitspanne kompostierbar ist. Die meisten Kompostieranlagen arbeiten mit einer Zersetzungsdauer von sechs Wochen. Daher blockieren Biokunststoffe oftmals den Zersetzungsprozess in herkömmlichen Kompostieranlagen und müssen aufwändig aussortiert werden.

Abschließend wurden noch Möglichkeiten am Fuhrpark vorgestellt. Durch eine aerodynamische Verbesserung von Lieferfahrzeugen kann beispielsweise der Kraftstoffverbrauch um bis zu 25 % gesenkt werden. Möglichkeiten reichen von aerodynamisch geformten Anhängern über ausklappbare Luftleitelemente bis hin zu komplett strömungsoptimierten Sattelzügen.

Im Fazit wird zusammenfassend dargestellt, dass Unternehmen aus Handel und Logistik durch geeignete Strategien und Maßnahmen ressourceneffizienter agieren können. Beispiele zeigen außerdem, dass Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien auf dem Vormarsch sind und Ressourceneffizienz auch zu einem wirtschaftlichen Vorteil werden kann.

7.4 Verpackung - Schutz und Verschwendung zugleich

Verpackung spielt eine wichtige Rolle in Bezug auf Ressourceneffizienz, da sie Produkte schützt und somit einerseits Ressourcen erhält. Andererseits werden zur Herstellung des Verpackungsmaterials auch natürliche Ressourcen benötigt. Frau Jessika Kunsleben von der Effizienz-Agentur NRW stellte in ihrem Impulsvortrag diesen Zwiespalt dar und zeigte mögliche Verbesserungsansätze für Verpackungen, aber auch deren Grenzen auf.

Durch nachhaltige Innovationen bei der Verpackung kann der Einsatz von Ressourcen effizient gesenkt werden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Verpackung am Ende des Lebenszyklus gesammelt und recycelt werden kann. Dazu ist ein entsprechendes Design der Verpackung nötig, da in der Entwicklungsphase bereits entschieden wird, wie sich das Produkt im weiteren Lebenslauf verhält. Frau Kunsleben betonte, dass ca. 80 % der Umweltauswirkungen und Kosten eines Produktes durch das Design festgelegt werden. Das Denken in Lebenszyklen ist daher ein entscheidender Schlüssel für die Ressourceneffizienz.

Im Modell der linearen Wertschöpfungskette gibt es einen Wertaufbau von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Nutzungsphase. Danach folgt ein ausschließlicher Wertverlust. Im Modell der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) ist dies anders. Vorbild hierzu ist die Natur, die generell keinen Abfall kennt. In der Circular Economy wird unterschieden zwischen Biosphäre und Technosphäre. Produkte und Dienstleistungen sind Teil eines ausgedehnten Wertschöpfungsnetzwerks. Aktuell sind ca. 43 % der Gesamtkosten eines produzierenden Gewerbes Materialkosten.¹⁸⁴ Nur circa 11 % der wiederverwendbaren Stoffe werden der Produktion zurückgeführt.¹⁸⁵

Eco-Design ist ein Gestaltungsansatz für umweltgerechte Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Ziele der Eco-Design-Methodik sind es, die Umweltauswirkungen entlang der Wertschöpfung zu minimieren und die Ressourceneffizienz zu steigern. Prinzipien, die dabei befolgt werden sollten, sind Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Materialeffizienz, Energieeffizienz, Problemstoffarmut, Nutzung alternativer Rohstoffe und Kreislauffähigkeit.

Weiterhin ging Frau Kunsleben auf das Anfang 2019 in Kraft getretene Verpackungsgesetz ein. Das Ziel dieses Gesetzes liegt darin, einen ressourcenschonenden Kreislauf von Verpackungen zu begünstigen. Das Gesetz besagt, dass derjenige, der Verpackungen gewerbsmäßig in Umlauf bringt, die beim Endverbraucher als Abfall anfallen, auch für deren Entsorgung verantwortlich ist. Duale Systeme kümmern sich um die fachgerechte Entsorgung der Verpackungen (gelbe und blaue Tonnen, Altglascontainer) sowie die Sortierung und das Recycling. Das Verpackungsgesetz stellt den rechtlichen Rahmen für lizenzierungspflichtige Unternehmen. In den nächsten Jahren wird die Bundesregierung prüfen, ob Recyclingquoten weiter angehoben werden sollen. Ökologisch vorteilhafte (gut zu recycelnde) Verpackungen sollen zukünftig in der Lizenzierung weniger kosten.

Die sogenannten „10R“ der Circular Economy zeigen Potenziale zur Ressourceneffizienz in der Verpackungsindustrie auf. In absteigender Wichtigkeit sollten die folgenden Prinzipien befolgt werden: Refuse, Reduce, Resell/Re-

¹⁸⁴ VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2015).

¹⁸⁵ Eurostat (2020).

use, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle Materials, Recover (energy), Remine.

Jedoch gibt es auch Grenzen der Ressourceneffizienz im Bereich von Verpackungen. Ein Aspekt ist dabei die beschränkte Trennbarkeit von Materialverbänden. Sind unterschiedliche Verpackungsmaterialien zu sehr miteinander verbunden, ist ein Recycling eventuell nicht mehr möglich. Weitere Grenzen ergeben sich durch die beschränkte Verfügbarkeit von umweltfreundlichen Materialien, Hygienevorschriften sowie wirtschaftliche und ästhetische Aspekte.

Ein gutes Beispiel, wie Ressourceneffizienz in der Verpackungsindustrie erreicht werden kann, gibt die DY-Pack GmbH. Das Unternehmen produziert Papiersäcke für anspruchsvolle Anwendungen. Durch Ressourceneffizienzmaßnahmen können im Unternehmen pro Jahr ca. 30 t Leim, ca. 89 t Papier und Pappe sowie ca. 143 t CO₂-Äquivalente eingespart werden.

Eine mögliche Alternative zu konventionellen Kunststoffen stellen Biokunststoffe dar. Die Entsorgung und das Abbauverhalten in der Natur oder in industriellen Anlagen werden jedoch sehr kontrovers diskutiert. Es besteht ein Konflikt zwischen biologischer Abbaubarkeit und der Vermüllung der Umwelt. Die Umwandlung von Kunststoff durch Mikroorganismen führt zu einem biologischen Abbau. Unter Sauerstoffzufuhr werden die Kunststoffe in Kohlenstoffdioxid, Wasser, mineralische Salze und Biomasse umgewandelt, ohne Sauerstoffzufuhr in Kohlenstoffdioxid, Methan, mineralische Salze und Biomasse. Als kompostierbar gilt der Biokunststoff, wenn der vollständige Abbau in vergleichsweise kurzer Zeit stattfindet. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz sieht die Vermeidung, Wiederverwendung oder das Recycling (werkstofflich, rohstofflich) von Kunststoffen vor. Der biologische Abbau von Kunststoffen ist erst dann vorteilhaft, wenn durch die Eigenschaft der biologischen Abbaubarkeit ein Zusatznutzen entsteht, z. B. wenn es den Verrotungsprozess von biologischem Abfall positiv beeinflussen könnte.

Auch der Verzicht auf Produktverpackungen, wie beispielsweise in sogenannten „Unverpackt-Läden“, wirft Kontroversen auf. Die geltenden Hygienevorschriften müssen erfüllt werden, weshalb ein solches Konzept nicht für

jedes Produkt geeignet ist. Weiterhin gilt es, die Haltbarkeit von Lebensmitteln kenntlich zu machen. Nicht zuletzt spielen auch Aspekte der Wirtschaftlichkeit eine Rolle.

Entlang der Wertschöpfungskette von Produkten bestehen zahlreiche Interessenskonflikte seitens der unterschiedlichen Akteure. Diese ergeben sich vor allem zwischen Verpackungsherstellern, Politik, Handel und Konsumenten in den unterschiedlichsten Ausprägungen. Ein geschicktes Kooperieren ist hierbei von besonderer Bedeutung, um die Ressourceneffizienz im Verpackungsbereich voranzubringen.

7.5 Diskussion - Teil 1

In Bezug auf das Verpackungsgesetz wurde betont, dass die ins Duale System rückgeführten Mengen von Kunststoffabfällen gestiegen sind, wenn auch weniger als allgemein erhofft. Als Fortschritt wurde ebenfalls bezeichnet, dass es mit dem Verpackungsgesetz erstmals einen Katalog gibt, der aufzeigt, welche Verpackungen vor Inverkehrbringung im Dualen System lizenziert werden müssen. Auch seien Verpackungen im Dualen System bereits günstiger geworden und das Verpackungsdesign habe sich allgemein in den letzten Jahren verbessert, da es klare Kriterien für ein umweltfreundliches und effizientes Verpackungsdesign gebe. Materialverbünde werden jedoch als problematisch angesehen. Das Verpackungsmaterial werde teilweise vom Verbraucher nicht richtig erkannt und falsch einsortiert. Außerdem können Materialverbünde schlecht rezykliert werden, da sich die einzelnen Materialien oft nicht mehr sortenrein voneinander trennen lassen oder dies zumindest nicht in wirtschaftlich tragfähiger Weise möglich ist. Es wurde die Forderung vorgebracht, ökologisch vorteilhafte Verpackungen in der Lizenzierung finanziell zu begünstigen, um dadurch Anreize zu schaffen. Die Bewertung bzw. Einstufung der ökologischen Vorteilhaftigkeit könnte mittels Ökobilanzierung oder CO₂-Bilanz erfolgen.

Es wurde die Frage gestellt, worauf sich die aktuellen Recyclingquoten für Verpackungsmaterial beziehen: Diese ergeben sich aus dem Masseverhältnis von dem in die Recyclinganlagen angelieferten (Kunststoff-)Material gegenüber dem daraus verwertbaren Material. Die Recyclingquote zeigt somit, wie gut die (technische) Verwertung innerhalb der Recyclinganlagen vorstangeht und wie viel Fremdmaterial in die jeweiligen Wertströme gelangt.

Auf die Frage zu bereits vorhandenen Ansätzen zur Laderaumkapazitätsplanung wurde auf den folgenden Vortrag von Herrn Dr. Volker Lange verwiesen, ebenso hinsichtlich der Frage nach Digitalisierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Transportauslastung.

Weiterhin kam die Frage nach dem finanziellen Mehraufwand von ökologisch nachhaltigen Verpackungen auf. Es wurde herausgestellt, dass sich dieser kaum verallgemeinert darstellen ließe und individuell sehr verschieden sein kann. Beispielsweise gebe es bereits leicht lösbaren Klebstoff für Materialverbünde. Die wirtschaftlichen Aspekte dazu waren aber in der Diskussionsrunde nicht bekannt.

Ferner wurde die Frage diskutiert, ob Metallverpackungen mit guter Recyclingfähigkeit, aber gewissen anderen Nachteilen, eine denkbare Alternative zu Kunststoffverpackungen, beispielsweise im Lebensmittelbereich, wären. Insbesondere in diesem Bereich seien laut Experten Kunststoffverpackungen jedoch nicht wegzudenken, da sie (auch gegenüber Metallverpackungen) viele Vorteile aufweisen, die jedoch nicht näher erläutert wurden. Auch rezykliertes Plastik sei oft problematisch, da es vielmals schlechtere Eigenschaften als Primärmaterial zeige und oft teurer sei.

Auf die Frage, ob es neben dem Eco-Design spezielle Methoden zur ökologischen Verpackungsentwicklung gebe, wurde geantwortet, dass innovative Geschäftsmodelle als möglicher Ansatz dienen können. Als Beispiel wurde die Nutzung von Pappverpackungen genannt, die faltbar sind und auf Kosten des Absenders an diesen zurückgesendet werden können. Das Eco-Design wurde zudem als bereits sehr guter Ansatz hervorgehoben. Das sogenannte „Triple-Layer-Business-Canvas“ wurde ebenfalls als geeignete Methode genannt, um weitere Lösungen zu finden. Diese Methode dient der Erstellung nachhaltigkeitsorientierter Geschäftsmodelle. Sie erweitert das ursprüngliche Business Model Canvas um zwei Ebenen: eine ökologische Ebene, die auf einer Lebenszyklusperspektive basiert, und eine soziale Ebene, die auf einer Stakeholder-Perspektive beruht.

Des Weiteren wurde diskutiert, welche Rolle der Groß- und Einzelhandel in Bezug auf den umweltgerechteren Einsatz von Verpackungen spielt. In diesem Zusammenhang wurde der Bürgerdialog des neuen Deutschen Ressourceneffizienzprogramms „ProgRess III“ erwähnt, bei dem Verpackungen eine außerordentliche Rolle einnehmen. Dieses Thema wird anscheinend in der

Bevölkerung bereits als sehr dringliche und wichtige Umweltproblematik wahrgenommen. Es wurde nachfolgend ein Pilotprojekt aus Hamburg vorgestellt. Dabei werden online bestellte Produkte in wiederverwendbaren Kunststoffbeuteln, sogenannten „Re-Packs“, ausgeliefert, die dann vom Kunden gefaltet und zurückgesandt werden können.¹⁸⁶ Der Kunde muss den Beutel dazu einfach in den nächstgelegenen Briefkasten einwerfen. Das Porto wird vom Lieferanten übernommen. Angemerkt wurde, dass im Allgemeinen die Rücklaufquoten ein kritischer Punkt solcher Systeme seien. Zudem bestünden in der Regel pauschalisierte Preise für Verpackungssysteme zwischen Händlern und Logistikern, sodass kaum ein Anreiz gegeben sei, die Systeme zu verbessern, da es sich finanziell nicht lohne. Von Bürgern werden sowohl Sanktions- als auch Subventionsmaßnahmen gefordert, um Verpackungen ressourcenschonender zu gestalten und einzusetzen, so hieß es im Teilnehmerkreis.

Die Frage, warum der Kostendruck nicht an den Kunden weitergegeben werde, wurde von einem Experten aus der Wirtschaft beantwortet. Demnach gebe es aktuell nur wenige wirklich ökologisch orientierte E-Commerce-Händler und außerdem zu viele unterschiedliche Verpackungssysteme, so dass es sehr aufwändig und teuer sei, diese Systeme komplett umzustellen. Die beteiligten Akteure müssten hier zunächst große Investitionen tätigen, zu denen sie in der Regel ohne weiteres nicht bereit seien.

7.6 Transportverpackungen in der digitalen Welt der Logistik: Potenziale für Ressourceneffizienz?!

In seinem Impulsvortrag gab Herr Dr. Volker Lange vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) einen Überblick über Transportverpackungen in der „Digitalen Welt“. Damit ist gemeint, dass Verpackungen zukünftig nicht nur als Ladungsträger, sondern gleichzeitig auch als Informationsträger dienen.

Zu Beginn seines Vortrags stellte Herr Dr. Lange den gesellschaftlichen und technologischen Wandel sowie aktuelle Entwicklungen im Bereich Transportverpackungen und Digitalisierung vor. Dazu gehören Themen wie Globalisierung, Individualisierung, demographischer Wandel, Nachhaltigkeit,

¹⁸⁶ Nähere Infos zum Projekt unter: <https://www.originalrepack.com/?lang=de>

Social Media, Urbanisierung, Klimawandel, aber auch Automatisierung, Robotik, Smartphones, Sensortechnik, 3D-Druck, Drohnen, Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR), Autonomie, Big Data und Künstliche Intelligenz (KI) sowie die vierte industrielle Revolution.

Die Digitalisierung ist ein wesentlicher Treiber mit exponentiellen Steigerungsraten. Digitale Geräte wie Smartphones, Tablets u. a. dienen zur Identifikation von Waren sowie als Kommunikationsmittel. Mobile Geräte ermöglichen die Verschmelzung von physischer und virtueller Welt. Social Media tragen zur Vernetzung in neuen Dimensionen mit hoher Einflussnahme bei. Big-Data- und KI-Technologien ermöglichen die Verarbeitung enormer Datenströme und maschinelles Lernen.

Zudem nimmt die Digitalisierung starken Einfluss auf Handel, Dienstleistung und den Konsumenten. Durch „Mobile Commerce“ liegt zwischen Bedürfnis und Befriedigung oft nur ein Klick auf dem (mobilen) elektronischen Gerät. Neben der Individualisierung spielt hier auch die Personalisierung von Produkten eine zunehmend größere Rolle. Durch den sogenannten hybriden Kunden, der zwischen Online- und Offline-Welt wechselt, verändern sich logistische Strukturen. Da die Verpackung vom Handelsformat abhängt, gibt es große Unterschiede bei den Verpackungen je nach Vertriebskanal. Im E-Commerce sind die Handelseinheiten deutlich kleiner als im Einzel- oder Großhandel. Außerdem bevorzugen Kunden verstärkt eine individuelle Übergabe ihrer Lieferungen durch die Abgabe in Paket-Shops, Paketboxen, an ihrem Arbeitsplatz oder Ähnliches.

Innovationen im Verpackungsbereich lassen sich in die drei Bereiche „physisch“, „interaktiv“ und „digital“ einteilen. Zu den physischen Innovationen gehören eine verbesserte Qualitätssicherung und Prüfung, Produktionstechnologien wie der 3D-Druck sowie alternative Verpackungswerkstoffe. Zum Bereich „interaktiv“ zählen Smart Devices, Assistenzsysteme wie AR & VR sowie intelligente Label und Smart Displays. Digitale Innovationen finden sich im Bereich von Big Data und KI, Cloud-Services, Plattformökonomie, IoT-Technologien (Internet of Things) und Sensorik.

Die höchste Priorität zur ökologischen Verbesserung von Verpackungen hat die Vermeidung von unnötigem Verpackungsmaterial. Entscheidend sind

vor allem die Vermeidung und Verminderung von Überverpackungen und Überbeständen, von Luft in der Verpackung und beim Transport, von Beschädigungen, Schwund an der Verpackung und einem Verpackungsmaterialmix mit aufwendigen Recyclingprozessen.

Eine Herausforderung liegt in der Heterogenität von Verpackungen als Ergebnis einer zunehmenden Individualität. Eine enorme Verpackungsvielfalt, fehlende Modularisierung und mangelnde Kompatibilität führen insgesamt zu hohen logistischen Aufwendungen. Eine Standardisierung durch eine modulare Koordination bietet hier viele Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz.

Herr Dr. Lange betonte weiterhin, dass die Entscheidung für ein Einweg- oder Mehrweg-Verpackungssystem immer wieder neu und bezogen auf den Einzelfall getroffen werden muss. Eine generelle Bewertung der Vorteilhaftigkeit ist nicht möglich. Es gibt gute Argumente für beide Verpackungssysteme. Logistische Parameter wie beispielsweise die Lieferentfernung spielen dabei eine entscheidende Rolle.

Eine weitere Herausforderung betrifft die Volumennutzung im Transportfahrzeug. Bei niedrigem Volumennutzungsgrad des Packguts, der Verpackung und der Ladeinheit ergibt sich eine „dreifache“ Art der Verschwendung: ein geringer Volumennutzungsgrad des Packguts in Bezug auf die Verpackung, der Verpackung in Bezug auf die Ladeinheit und der Ladeinheit in Bezug auf den Laderaum. Es sollte stets darauf hingearbeitet werden, die Lagerung und den Transport von „Luft“ zu vermeiden und stattdessen die vorhandenen Volumina bestmöglich zu nutzen.

Das Smart Packaging stellte Herr Dr. Lange am Beispiel der EURO-Palette vor. Funktionen, die eine intelligent bestückte Transportpalette erfüllt, sind die Eindeutigkeit der Zuordnung, die Lokalisierbarkeit, die Identifikation, die Zustandserkennung, die Kommunikation mit entsprechenden elektronischen Geräten und die datentechnische Vernetzung untereinander. Der Referent stellte in diesem Rahmen ein Projekt des Fraunhofer IML zur 2D-Code-Palette vor. Durch einen solchen Code lassen sich die Paletten serialisieren und somit digital erfassen, und zwar sowohl einzeln als auch im Pulk. Zudem können sehr einfach Defekt-Meldungen vorgenommen werden. Mittels IoT

und Sensorik auf den Paletten können Daten zu Standort, Temperatur, Erschütterung, Feuchtigkeit und Ähnlichem erhoben und verarbeitet werden. Auch ein Projekt zur KI-basierten Leergutzählung von Paletten wurde vom Referenten vorgestellt. Das Fraunhofer-Institut hat speziell dafür eine Smartphone-App entwickelt, welche die Paletten mithilfe der angebrachten Codes automatisch erfasst und zählt.

Zusammenfassend wurden die Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Bereich der Transportverpackungen aufgezeigt. Dazu zählen vor allem die eindeutige Zuordnung der Ladungsträger und des Transportguts, die Vermeidung von Ineffizienzen im Logistikprozess, die Reduktion von Beständen, ein optimiertes Leergut-Management, die Schaffung von Transparenz durch echtzeitnahes Tracking und Tracing, die eindeutige Zuweisung von Verantwortlichkeiten sowie das Erkennen von Qualitätsverlusten und Schwund.

7.7 Digitalisierung in Handel und Logistik - Wie digitale Geschäftsmodelle Ressourcen einsparen und ökonomische Chancen bieten

In seinem Impulsvortrag stellte Herr Florian Lange vom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (Bitkom e.V.) die zwei Themenkomplexe „Digitale Ressourceneffizienz in der Logistik“ und „Digitale Ressourceneffizienz im Einzelhandel“ vor und ging dabei auf ausgewählte Aspekte ein.

Zu Beginn zeigte Herr Florian Lange Grundgedanken zu digitaler Ressourceneffizienz auf und erläuterte diese kurz. Er betonte, dass Digitalisierungsmaßnahmen in Unternehmen in der Regel einen ökonomischen und keinen ökologischen Hintergrund haben. Ressourceneffizienz ist oft ein Resultat, aber keine Intention von digitalen Transformationsprozessen.

Möglichkeiten der Digitalisierung bieten sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette und in allen Bereichen der Logistik. Digitalisierungsmaßnahmen können zur Dematerialisierung führen, d. h., es wird weniger Material benötigt, um die gleiche Dienstleistung zu erbringen. Als Folge dessen kann die Digitalisierung zur Dekarbonisierung der Logistik und des Handels beitragen. Der ökologische Effekt von Digitalisierungsmaßnahmen ist jedoch

nicht automatisch positiv und sollte im Einzelfall geprüft werden, um eine ökologische Vorteilhaftigkeit zu gewährleisten.

Bitkom zufolge stimmen nur 15 % der Logistikunternehmen zu, dass einer der größten Vorteile der Digitalisierung in der Logistik die Verminderung von Umweltbelastungen sei. Hier ist also noch viel Aufbauarbeit zu leisten, damit sich die Unternehmen stärker umweltorientiert ausrichten, die umweltbezogenen Vorteile der Digitalisierung erkennen und diese nutzen.

Für die oben genannten Themenkomplexe stellte Herr Lange ausgewählte Aspekte vor und ging dabei jeweils auf mögliche Technologien, den nachhaltigen Einfluss (Impact) und mögliche Anwendungsfälle (Use-Cases) ein.

Das erste der drei vorgestellten Themen der Digitalen Ressourceneffizienz in der Logistik ist die Digital Supply Chain. Dabei geht es um die vollständige Digitalisierung der gesamten Lieferkette mit nahtloser Informationsweitergabe und Echtzeitinformationen. Die ganzheitliche Betrachtung von Lieferketten ist hierbei von besonderer Bedeutung. Die Digital Supply Chain ermöglicht im Idealfall eine papierlose Abwicklung von Logistikprozessen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und führt zur Reduktion von Transport- und Fahrtwegen. Durch eine gesteigerte Transparenz entlang der Lieferkette können Ineffizienzen aufgedeckt werden. In einem Experiment zur Digital Supply Chain des Bitkom-Arbeitskreises „E-Logistics and Digital Supply Chain“ werden aktuell mögliche Anwendungsfälle untersucht und getestet.

Eine Entlastung von Straßen kann letztlich zur Ressourceneffizienz führen, wenn dadurch weniger häufig Reparatur- und Wartungsarbeiten anfallen und Straßen von Anfang an kleiner dimensioniert werden können. Unterstützen können dabei intelligente Konzepte zur sogenannten Last Mile Delivery, sprich der Auslieferung an den Endkunden. Während intelligente Routenplanung und neue Mobilitätskonzepte wie die Auslieferung mit Elektro-Lkw oder E-Bikes bereits zum Einsatz kommen, befinden sich Konzepte zur Auslieferung mithilfe von Drohnen und Transportrobotern noch in der Entwicklungs- und Erprobungsphase. Weitere Nutzen einer effizienten Last Mile Delivery sind die Reduktion von Stehzeiten und Fahrtwegen sowie eine Emissionsreduktion. Aktuelle Projekte in diesem Bereich finden sich

mit dem Greenplan und Cityscooter von DPDHL und Amazon Drone Delivery.

Auch Blockchain-Lösungen können zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen. Eine Blockchain mit Dashboards und internationalen Schnittstellen kann mithilfe von Tracking und Tracing Einblicke in tiefe Dimensionen der eigenen Lieferkette bieten. Zudem können Menschenrechts- und Ökostandardverstöße nachverfolgt und somit das Sorgfaltspflichtengesetz besser eingehalten werden. Insgesamt ermöglichen Blockchain-Technologien eine höhere Transparenz der Lieferkette und dadurch auch die Aufdeckung von Effizienzpotenzialen. Ein aktuelles Praxisbeispiel ist das Food-Trust-Projekt von IBM.

Zum Thema Digitale Ressourceneffizienz im Einzelhandel stellte Herr Lange zunächst das allgemeine Konzept von Smart Shops vor. Diese sollen einen verringerten Energiebedarf, einen verlängerten Gebäude- und Produktlebenszyklus sowie einen Filialen-Vergleich für Nachhaltigkeitsoptimierungen ermöglichen. Erreicht wird dies durch den umfangreichen Einsatz von Sensorik inklusive der Nutzung von IoT-Technologien und intelligenten Licht- und Anlagensteuerungen wie beispielsweise von Kühl-, Heiz- und Lüftungsgeräten.

Auch der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) kann die Ressourceneffizienz im Einzelhandel erhöhen. Ein durch KI unterstütztes Retourenmanagement und Big-Data-Technologien ermöglichen die Reduktion von Überbestellungen und Überproduktion sowie die Optimierung der unternehmenseigenen Supply Chain.

Weiterhin kann die Nutzung von 3D-Druck-Technologien im Einzelhandel zur Ressourceneffizienz in der Erarbeitung von Prototypen beitragen – sei es im Bereich von Verpackungen oder auch direkt in der Produktentwicklung. Im 3D-Druckverfahren lassen sich neue, umweltschonende Produktionsmaterialien einsetzen. Zudem können Kunststoffe, bei Beachtung gewisser Gestaltungsregeln, optimal recycelt und dadurch ein geschlossener Materialkreislauf geschaffen werden.

Abschließend betonte der Referent, dass es nicht die eine Logistik und ebenfalls nicht den Einzelhandel an sich gebe. Vielmehr bestehen vielfältige Facetten mit unterschiedlichen Digitalisierungsgraden. Weiterhin fasste Herr Lange zusammen, dass Digitalisierung und Nachhaltigkeit stets zusammen gedacht werden sollten. Moderne Technologien brauchen allerdings auch große Mengen an Energie. Der Schlüssel zur nachhaltigen Digitalisierung sind daher umweltschonende (regenerative) Energiekonzepte. Digitale Nachhaltigkeitskonzepte sind in der Regel wirtschaftlicher als herkömmliche Geschäftsmodelle und können, bei entsprechender Planung und Anwendung, zur Steigerung der Ressourceneffizienz und somit zum Umweltschutz beitragen.

7.8 Diskussion - Teil 2

Es wurde die Frage diskutiert, welche Digitalisierungstechnologien in Handel und Logistik bereits eingesetzt werden und in welchem Maße. Dazu wurde dargestellt, dass KI-Technologien im Markt schon etabliert sind und zu Kosteneinsparungen führen. Blockchain-Technologien hingegen seien in der Regel noch zu kostenintensiv und würden von den Unternehmen bisher nicht weitreichend eingesetzt. Weiterhin wurde angeführt, dass derzeit nur wenige konkrete Daten über den Einsatz der genannten Technologien vorliegen. Der Transformationsprozess habe jedoch vor allem „in den Köpfen“ noch nicht stattgefunden. Es sei dementsprechend also ein psychologisches Hemmnis zu überwinden, bevor ein wirklicher Durchbruch zu erwarten sei. Andere Länder seien Deutschland in diesem Bereich bereits voraus, während hierzulande noch große Skepsis herrsche. Wichtig sei, zu lernen, mit neuen Technologien umzugehen und Mut zur Innovation zu beweisen. Die Digitalisierung als allgemeiner Trend sei nicht mehr aufzuhalten. Darin waren sich die Diskussionsteilnehmer einig. Momentan befänden wir uns in einer Übergangszeit hin zur umfassenden Industrie 4.0.

Es wurde zudem diskutiert, in welchen Bereichen noch Hemmnisse bestehen, die die Digitalisierungstendenz behindern. Ein wichtiger Aspekt sei die Belegschaft von Unternehmen und ihre starke Heterogenität bezüglich der Affinität gegenüber digitalen Technologien. Es sei sehr wichtig, die Belegschaft im Unternehmen von Beginn an voll und ganz in die Digitalisierungsmaßnahmen einzubinden und die Mitarbeiter auch zu ermutigen, Ideen und

Innovationen selbst miteinzubringen. Letztlich entscheide die Unternehmenskultur über eine erfolgreiche Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung. Das gelte vor allem bezüglich digitaler Technologien. Ein hemmender Faktor sei immer noch die Angst vor Überwachung von Seiten der Belegschaft. Eine zunehmende Datenerhebung liefere zudem mehr Möglichkeiten, diese Daten missbräuchlich zu verwenden. Wichtig sei daher ein vertrauensvoller und gesetzeskonformer Umgang mit erhobenen Daten.

Es wurde die Frage gestellt, ob AR-Systeme und Ähnliches in Handel und Logistik zur Ressourceneffizienz beitragen können. Dabei sei es relevant, dass die Technologien von den Menschen, die diese anwenden, akzeptiert würden und die Management-Ebene für den Einsatz und die Implementierung im Unternehmen offen sei. Technologien wie AR-Brillen, bspw. in der Kommissionierung, könnten die Freiheitsgrade von Mitarbeitern erheblich einschränken. Wichtig sei es, diesen auch die positiven Seiten, also den Nutzen der Technologien, aufzuzeigen.

Zur Steigerung der Datensicherheit und Nachvollziehbarkeit von Prozessen könnten Blockchain-Technologien genutzt werden. Projekte, wie „Food-Trust“ von IBM und weitere vergleichbare, würden bereits zeigen, dass der Einsatz von Blockchain in Handel und Logistik möglich und sinnvoll sei.

Es wurde zudem angemerkt, dass große Defizite im Bereich einheitlicher Datenstandards herrschen. Um den unternehmensübergreifenden und internationalen Austausch digitaler Daten zu erleichtern, sei ein solcher Datenstandard unabdingbar. Die EURO-Transportpalette biete ein gutes Beispiel für eine gelungene Standardisierung im Logistiksektor. Bis Ende 2021 solle, laut Aussage eines Diskussionsteilnehmers, möglichst jede neue EURO-Palette mit einem einmaligen QR-Code versehen sein. Somit könne die Transportpalette digitalisiert erfasst und nachverfolgt werden.

Die Frage, ob Transportkooperationen in der Praxis bereits eine breite Anwendung fänden, wurde in der Diskussionsrunde verneint. Vielmehr sei es schwierig, Transportkooperationen ins Leben zu rufen, da die Unternehmen vor allem daran interessiert seien, sich selbst zu optimieren. Zudem bestehe

eine große Skepsis bezüglich der Datenintegrität eventueller Kooperationspartner.

Auch die Potenziale und Grenzen der Nutzung von 3D-Druck wurden diskutiert. Die COVID-19-Pandemie hat teilweise zu massiven Einschränkungen von Lieferketten geführt. Als Reaktion darauf sind 3D-Druck-Verfahren genutzt worden, um beispielsweise Ersatzteile im Automobilbereich herzustellen. Die Nutzung dieser Technologie habe dadurch wahrscheinlich einen starken Sprung gemacht und werde von nun an auch häufiger eingesetzt. Dies gelte vor allem für kleine Bauteile und geringe Stückzahlen, da die Leistung von 3D-Druckern, im Vergleich zu herkömmlichen Produktionsverfahren, noch stark eingeschränkt sei.

Ein weiteres Thema der Diskussion waren Verpackungen. Dabei wurde herausgestellt, dass es wichtig sei, die ganze Lieferkette von Anfang an, also bereits ab der Produktentwicklung, zu durchdenken, um eine möglichst hohe Ressourceneffizienz zu erreichen. Beispielsweise gebe es einen Händler für Möbel, dessen in China und Indien produzierte Waren bereits dort im Werk so verpackt würden, wie sie direkt an den Endkunden übergeben würden. Dadurch könne unnötiges Verpackungsmaterial eingespart werden.

Es kam die Frage auf, was gebraucht werde, um die Ressourceneffizienz im Bereich Verpackungen zu erhöhen. Darauf wurde erwidert, dass bereits zahlreiche Forschungsvorhaben zu diesem Themenbereich laufen würden, es aber noch an vielen Lösungsansätzen fehle.

Ferner wurde in die Runde gefragt, ob der Schienenverkehr noch ressourceneffizienter gestaltet und wie dieser stärker genutzt werden könne. Darauf wurde geantwortet, dass der Schienenverkehr in Deutschland ursprünglich vorwiegend auf den Personentransport ausgelegt worden sei. Zudem fehle es an Flexibilität, da sehr starre Strukturen vorherrschen würden. Ein weiteres Hemmnis zur stärkeren Nutzung sei die geringe Durchschnittsgeschwindigkeit des Schienenverkehrs von nur ca. 6 km/h im Vergleich zu ca. 50 km/h im Straßentransport.

7.9 Zusammenfassung

Im ersten Impulsvortrag der Veranstaltung wurden ausgewählte Themen der Kurzanalyse Nr. 27 „Ressourceneffizienz in Handel und Logistik“ vorgestellt. Die Schwerpunkte der Präsentation lagen auf Maßnahmen im Verpackungswesen und Digitalisierungstechnologien sowie auf den Themen des Fachgesprächs.

Der zweite Vortrag stellte den Zwiespalt von Verpackungen dar, einerseits eine Schutzfunktion gewährleisten zu müssen und andererseits aber nicht zur Ressourcenverschwendung beizutragen. Es wurden geeignete Maßnahmen zur Reduzierung von Verpackungsmaterial und schädlichen Umweltauswirkungen vorgestellt. Dabei wurde Chancen hervorgehoben, aber auch Grenzen aufgezeigt.

In der anschließenden Diskussion wurden einige relevante Fragen der aktuellen Verpackungsproblematik aufgegriffen. Es wurde auf das Duale System und Recyclingquoten eingegangen, aber auch alternative Verpackungsmaterialien und die Rolle des Groß- und Einzelhandels zur Steigerung von Ressourceneffizienz wurden diskutiert.

Im anschließenden Impulsvortrag zum Themenspektrum Transportverpackungen und Digitalisierung zeigte der Referent diverse Aspekte der momentan stattfindenden Digitalisierung auf und stellte heraus, wie Digitalisierungstechnologien genutzt werden können, um Transporte und Transportverpackungen ressourceneffizienter zu gestalten.

Der vierte und letzte Vortrag widmete sich dem Thema der Digitalisierung in Handel und Logistik und verdeutlichte, wie digitale Geschäftsmodelle Ressourcen einsparen und zudem wirtschaftliche Chancen bieten. Dabei stellte der Referent ressourcenbezogene Aspekte der Digital Supply Chain, der Last Mile Delivery und auch von Blockchain-Technologien vor. Hinzu kamen die Themen Smart Shops, Künstliche Intelligenz und 3D-Druck.

Die abschließende Diskussion wurde hauptsächlich in Bezug auf Digitalisierungstechnologien und deren Ressourceneffizienzpotenzial geführt. Beispielsweise wurde die Frage diskutiert, welche Digitalisierungstechnologien

in Handel und Logistik bereits eingesetzt werden und in welchem Maße. Zudem wurde erörtert, in welchen Bereichen noch Hemmnisse bestehen, die die Digitalisierungstendenzen behindern. Auch zu Datenstandards, Transportkooperationen und Datensicherheit wurde sich ausgetauscht. Trotz des Schwerpunktes der Digitalisierung fand in dieser Diskussionsrunde das Thema Verpackungen erneut Einzug und es wurden Gute-Praxis-Beispiele von Händlern und Logistikern aufgezeigt. Abschließend wurde das Potenzial des deutschen Schienenverkehrs im Vergleich zum Straßentransport diskutiert.

Zusammenfassend lässt sich aus den Vorträgen und Diskussionen herausstellen, dass zwar schon viele Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung im Bereich Handel und Logistik in der Praxis Anwendung finden. Gerade bezüglich Digitalisierungstechnologien und der weiteren Verbesserung von Verpackungssystemen besteht jedoch noch großes Verbesserungspotenzial. Es laufen zahlreiche Forschungsvorhaben und Praxisprojekte zu diesen Themenbereichen. Dies zeigt auch die Relevanz, die diesen Themen seitens Politik und Wirtschaft zugesprochen wird. Der erfolgreiche Einsatz von vielversprechenden, innovativen und ressourcenschonenden Technologien und Maßnahmen hängt allerdings nicht zuletzt auch davon ab, wie wirtschaftlich diese in der Praxis umgesetzt werden können und ob Unternehmen den nötigen Willen zur Umsetzung aufbringen.

LITERATURVERZEICHNIS

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2010):

Untersuchung und Optimierung elektrischer Antriebe [online] [abgerufen am: 27.08.2019], verfügbar unter: https://www.ffe.de/download/berichte/355_IPP/FfE_IPP_Leitfaden_elektrische_Antriebe_highres.pdf

Bondzio, L.; Silius, A. und Scheit, M. (2010): Zero Emission Park – Abschlussbericht Verkehrsplanung [abgerufen am: 24.02.2020], verfügbar unter: <http://www.zeroemissionpark.de/Dokumente/verkehrsplanung.pdf>

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2019):

Prognose der Güterverkehrsentwicklung in Deutschland [online], 25.10.2019 [abgerufen am: 20.04.2020], verfügbar unter: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/94511/>

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (21.11.2013):

Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013 – EnEV Änderung 2013 [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl113067.pdf

Bundesvereinigung Logistik (2019): Logistik Definition [online],

23.07.2019 [abgerufen am: 11.02.2020], verfügbar unter: <https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/logistikdefinitionen>

Bundesvereinigung Logistik (2020): Logistikumsatz und Beschäftigung

[online], 07.01.2020 [abgerufen am: 13.02.2020], verfügbar unter: <https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/umsatz-und-beschaeftigung>

Business Metropole Ruhr GmbH (2019): Ressourceneffiziente Gewerbe-

gebiete [online]: Abschlussbericht 2019 [abgerufen am: 23.01.2020], verfügbar unter: https://business.metropoleruhr.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Downloads/Abschlussbericht_Ressourceneffiziente_Gewerbegebiete_final_web_3.pdf

Deckert, C. und Fröhlich, C. (2014): Green Logistics – Framework zur Steigerung der logistischen Nachhaltigkeit. In: Supply Chain Management, 2, 13 – 17.

Dohrmann, K.; Gesing, B. und Ward, J. (2019): Digital Twins in Logistics – A DHL perspective on the impact of digital twins on the logistics industry [abgerufen am: 21.04.2020], verfügbar unter: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-digital-twins-in-logistics.pdf>

elektro.net (2018): Neue Norm EN 60034-30-1:2014 [online]: Wirkungsgrad-Klassifizierung [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: <https://www.elektro.net/94709/wirkungsgrad-klassifizierung/>

Endres, M. (2019): Zukunftstechnologien: Seat bekommt Fahrzeugteile per Drohne [online] [abgerufen am: 30.10.2019], verfügbar unter: <https://logistik-heute.de/news/zukunftstechnologien-seat-bekommt-fahrzeugteile-drohne-18023.html>

Eurostat (2020): Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe [online] [abgerufen am: 27. Oktober 2020], verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=cei_srm030&plugin=1

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Biobasierte Verpackungen [online] [abgerufen am: 27.04.2020], verfügbar unter: <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/biobasierte-verpackungen/>

Folz, A. und Lauerburg, K. (2010): Zero Emission Park – Abschlussbericht Stoffstrommanagement [abgerufen am: 24.02.2020], verfügbar unter: <http://www.zeroemissionpark.de/Dokumente/Stoffstrommanagement.pdf>

Forbo Siegling GmbH (2019): AMP MISER 2.0 [online]: Die neue Generation Energiesparender Transportbänder [abgerufen am: 04.09.2019], verfügbar unter: https://forbo.blob.core.windows.net/forbo-documents/7510/238_DE.pdf

Fraunhofer ISI (2015): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013 [online] [abgerufen am: 27.02.2020], verfügbar unter: <https://bit.ly/2v13Cq3>

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (2020): Definition WMS/LVS [online] [abgerufen am: 27.02.2020], verfügbar unter: <http://www.warehouse-logistics.com/de/definition-wms-lvs.html>

Freudenau, H.; Hennings, G.; Rinke, B.; Siebert, S. und Ziegler-Hennings, C. (2014): Nachhaltige Entwicklung von Gewerbegebieten im Bestand [online]: Endbericht [abgerufen am: 21.02.2020], verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Studien/2013/EntwicklungGewerbegebiete/Downloads/Endbericht.pdf?__blob=publication-File&v=3.pdf

Gaul, M. (2018): Alternative Antriebe für Lkw [online]: Was die Brummis künftig antreibt [abgerufen am: 28.08.2019], verfügbar unter: <https://www.firmenauto.de/alternative-antriebe-fuer-lkw-was-die-brummis-kuenftig-antreibt-9971739.html>

Greenpeace Energy eG (kein Datum): Unser Windgas im Detail [online] [abgerufen am: 28.08.2019], verfügbar unter: <https://www.greenpeace-energy.de/privatkunden/oekogas/unser-windgas-im-detail.html>

Gross, W.; Zesch, F.; Gelau, T.; Hayden, C.; Bötel, M. und Brock, M. (2013): Costs and Benefits of Green Logistics [online]: 4flow Supply Chain Management Study 2013 [abgerufen am: 16.07.2019], verfügbar unter: https://www.gs1-germany.de/fileadmin/gsl/basis_informationen/4flow_SCM_Study_2013_Costs_and_Benefits_of_Green_Logistics.pdf

Hamacher, M. (2018): OPHEO roadEngine nominiert für den Telematik Award. [online]. Initions Ag [abgerufen am: 20.03.2019], verfügbar unter: <https://www.initions.com/2018/08/14/opheo-roadengine-nominiert-fuer-den-telematik-award/>

Heimann, J.; Müller, I.; Neu, A. und Stieglitz, A. (2019): CLFT - Leichtbau für den schweren Lkw. In: Lightweight Design, 1/2019(1), 46-50. Lightweight Design. doi:10.1007/s35725-018-0073-4

Hochschule Osnabrück (2011): Praxisleitfaden „Grüne Logistik“ [online]: Stand Mai 2011 [abgerufen am: 27.08.2019], verfügbar unter: http://www.hansalinie.eu/uploads/files/leitfaden_gruene_logistik_2012.pdf

Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald (2015): Leitfaden Nachhaltige Gewerbe- und Industriegebiete der Zukunft [online] [abgerufen am: 23.01.2020], verfügbar unter: <https://bit.ly/2HX2Xhk>

Kässer, M.; Müller, T.; Kley, F.; Wee, D.; Hannemann, D.; Diedrich, D.; Rothkopf, M.; Neuhaus, F.; Küchler, S.; Hausmann, L.; Wojciak, J.; Höflinger, N. und Raiber, S. (2016): Delivering Change – Die Transformation des Nutzfahrzeugsektors bis 2025. McKinsey & Company [abgerufen am: 03.02.2020], verfügbar unter: <https://mck.co/32yHRPy>

Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. von; Hackius, N. und Maurer, T. (2017): Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management [online]: Chancen der digitalen Transformation, 2017 [abgerufen am: 17.10.2019], verfügbar unter: <https://bit.ly/2I0D7sL>

KOMSA Kommunikation Sachsen AG (2018): Success is made by innovative changes [online]: Die Bewerbung von KOMSA und LogistikPlan für den Deutschen Logistik-Preis 2018 [abgerufen am: 16.10.2019], verfügbar unter: <https://www.bvl.de/dlp>

KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2016): Trends im Handel 2025 – Erfolgreich in Zeiten von Omni-Business [abgerufen am: 11.02.2020], verfügbar unter: https://einzelhandel.de/images/presse/Studie_Trends_Handel_2025.pdf

Kramer, S. (2015): „Ein Viertel aller Lkw fährt leer durch die Gegend“ [online], 28.10.2015 [abgerufen am: 13.02.2020], verfügbar unter: <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/logistik-ein-viertel-aller-lkw-faehrt-leer-durch-die-gegen/12505110.html>

Kuhn, T. (2017): Digitaler Zwilling [online]. Fraunhofer IESE, 02.11.2017 [abgerufen am: 21.04.2020], verfügbar unter: <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling>

Lekkerland Deutschland GmbH & Co. KG (2013): Lekkerlogistik – Kundenorientierung auf den Punkt gebracht [online] [abgerufen am: 22.01.2020], verfügbar unter: <https://bit.ly/2TkKGzJ>

Lidl Deutschland (2018): Positionspapier für Reduzierung von Verpackungsmaterialien und Lebensmittelverlusten [online] [abgerufen am: 02.03.2020], verfügbar unter: https://www.lidl.de/de/asset/other/Positionspapier_Reduzierung_Verpackungsmaterial_Lebensmittelverluste.pdf

Linde Material Handling (2016): Gabelstapler mit Brennstoffzelle – der H2 IntraDrive von Linde [online]. (YouTube) [abgerufen am: 28.08.2019], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=Rlvevzm8t2U>

- Lohre, D.; Bernecker, T. und Gotthardt, R. (2011):** Praxisleitfaden zur IHK-Studie „Grüne Logistik“ – Umsetzungsbeispiele und Handlungsempfehlungen aus der Praxis. IHK Region Stuttgart, Stuttgart [abgerufen am: 28.08.2019], verfügbar unter: <https://bit.ly/2PwqOZc>
- LPV GmbH (2011):** Gegenseitiges Vertrauen [online], 26.08.2011 [abgerufen am: 26.02.2020], verfügbar unter: <https://lebensmittelpraxis.de/sortiment/3300-gegenseitiges-vertrauen.html>
- Lumsden, K. (2004):** Truck masses and dimensions – Impact on transport efficiency, Gothenburg.
- Mayer, H. W. (2019):** Aerodynamische Trailer sparen viel CO2 [online] [abgerufen am: 28.01.2020], verfügbar unter: <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/aerodynamische-trailer-sparen-viel-co2/>
- Oel, S. (2020):** Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur [online]: Dieses Jahr eröffnet die 100. Wasserstofftankstelle, 20.02.2020 [abgerufen am: 02.03.2020], verfügbar unter: <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/130-wasserstoff-tankstellen-ausbau/>
- Öngüner, E. (2019):** LKW-Aerodynamik [online]. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [abgerufen am: 14.02.2020], verfügbar unter: https://www.dlr.de/as/desktopdefault.aspx/tabid-4702/7791_read-26405/
- Pflaum, A.; Schwemmer, M.; Gundelfinger, C. und Naumann, V.:** Transportlogistik 4.0 [online] [abgerufen am: 29.10.2019], verfügbar unter: <https://www.scs.fraunhofer.de/content/dam/scs/de/dokumente/studien/Transportlogistik.pdf>
- Pieringer, M. (2019):** Internet der Dinge: Digitale Zwillinge verbessern Logistikabläufe [online], 01.07.2019 [abgerufen am: 21.04.2020], verfügbar unter: <https://logistik-heute.de/news/internet-der-dinge-digitale-zwillinge-verbessern-logistikablaeufe-17881.html>
- Rabe, L. (2020):** E-Commerce-Umsatz mit Waren in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019 [online], 22.01.2020 [abgerufen am: 06.03.2020], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/71568/umfrage/online-umsatz-mit-waren-seit-2000/>

Rat der Europäischen Union (25. Juli 1996): RICHTLINIE 96/53/EG.

Richter, K.: „RFID Wristband“ identifies mobile objects during handling operations [abgerufen am: 09.03.2020], verfügbar unter: <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/en/documents/publications/rfid-wristband-identifies-mobile-objects-during-handling-operations-fraunhofer-iff.pdf>

Rüdiger, D. (2019): Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Treibhausgas-Emissionen des Betriebs von Logistikimmobilien, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, ISBN 978-3-8396-1422-8.

RWE (2019): Recyceltes CO2 soll LKW antreiben [online]: RWE synthetisiert Kohlendioxid aus der Stromproduktion zu energiereichem Methanol [abgerufen am: 31.10.2019], verfügbar unter: <https://www.en-former.com/mefco2-synthetischer-kraftstoff-methanol-niederaussem/>

Sauerborn, K.; Schlump, C. und Keller, A. (2013): Mehr Grünes auf der grünen Wiese – Gewerbliche Infrastrukturen umweltschonend gestalten mit Hilfe der EFRE-Förderung [abgerufen am: 21.02.2020], verfügbar unter: https://mobil.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/WWF_Gewerbl_Infrastrukturen_WEB.pdf

Schenk, M. und Behrendt, F. (2014): Wege zur digitalen Logistik. In: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zadek, Prof. E. h. Dr.-Ing. Gerhard Müller, Hon.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Richter, Dipl.-Ing. Holger Seidel, Hg. Sichere und nachhaltige Logistik, S. 21-29.

Schiller, T.; Maier, M. und Büchle, M. (2017): Global Truck Study 2016 – LKW Märkte im Umbruch [abgerufen am: 28.02.2020], verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte%20Global%20Truck%20Study%202016.pdf>

Schmidt S. (2019): Die Rolle der Verpackung in Logistikprozessen [online]: Auswirkungen auf eine Nachhaltige Logistik im Lebensmittelbereich [abgerufen am: 24.10.2019], verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-658-25188-8_13#citeas

Schneider, W. (2019): Definition: Was ist „Handel“? [online] [abgerufen am: 11.02.2020], verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/handel-35491>

Schönberger, H.; Galvez Martos, J. und Styles, D. (2013): Best Environmental Management Practice in the Retail Trade Sector – Learning from frontrunners. Institute for Prospective Technological Studies, Luxemburg.

Schulz, R.; Monecke, J. und Zadek, H. (2012a): Der Einfluss kinematischer Parameter auf den Energiebedarf eines Regalbediengerätes. In: Logistics Journal Proceedings. Logistics Journal Proceedings [abgerufen am: 27.04.2020]. doi:10.2195/lj_Proc_schulz_de_201210_01

Schulz, R.; Monecke, J. und Zadek, H. (2012b): Isoenergetic Shelves of Automatic Small Parts Warehouses. In: NotRev (Logistics Journal nicht referierte Veröffentlichungen). NotRev (Logistics Journal nicht referierte Veröffentlichungen) [abgerufen am: 27.04.2020]. doi:10.2195/lj_NotRev_schulz_en_201210_01

Seeck, S.; Groß, W.; Bötel, M. und Herrmannsdörfer, M. (2014): Logistik im Handel – Strukturen, Erfolgsfaktoren, Trends. Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin; 4flow AG, Schriftenreihe Wirtschaft und Logistik [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: <https://www.bvl.de/dossiers/handelslogistik>

Seyring, N. und Kaeding-Koppers, A. (2019): Recyclingfähige und nachhaltige Verpackungen [online]: Ein Leitfaden für Unternehmen [abgerufen am: 30.01.2020], verfügbar unter: https://www.ihk-muenchen.de/ihk/Leitfaden-Recyclingf%C3%A4hige-und-nachhaltige-Verpackungen_Web.pdf

Siegel, A.; Turek, K.; Schmidt, T.; Schulz, R. und Zadek, H. (2013): Modellierung des Energiebedarfs von Regalbediengeräten und verschiedener Lagerbetriebsstrategien zur Reduzierung des Energiebedarfs.

Statistisches Bundesamt (2019): Kennzahlen der Unternehmen im Baugewerbe 2017 [online], 27.09.2019 [abgerufen am: 13.02.2020], verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Tabellen/kennzahlen-baugewerbe.html>

Statistisches Bundesamt (2020): Wirtschaft [online]: Groß- und Einzelhandel [abgerufen am: 13.02.2020], verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Grosshandel-Einzelhandel/_inhalt.html

Stehbeck, F. (2018): Designing and Scheduling Cost-Efficient Tours by Using the Concept of Truck Platooning. In: Wimmer, T. und Grotemeier, C., Hg. Digitales trifft Reales. Digitalization meets Reality, Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg, S. 229-235. ISBN 978-3-87154-632-7.

Thomas, S. (2013): Intralogistik – Definition [online], 10.07.2013 [abgerufen am: 20.02.2020], verfügbar unter: <https://logistikknowhow.com/geschichtliche-entwicklung/intralogistik-definition-2/>

Thomas, S. (2018): Green Logistic: Wie lässt sich der Onlinehandel nachhaltiger gestalten? [online], 12.06.2018 [abgerufen am: 14.02.2020], verfügbar unter: <https://logistikknowhow.com/e-commerce/green-logistic-wie-laesst-sich-der-onlinehandel-nachhaltiger-gestalten/>

Thomas, S. (2019): Das Internet der Dinge (IoT) und die Intralogistik [online] [abgerufen am: 19.11.2019], verfügbar unter: <https://logistikknowhow.com/it-und-software/das-internet-der-dinge-iot-und-die-int-ralogistik/>

Trailer Dynamics GmbH (2020): Trucksack [online] [abgerufen am: 22.04.2020], verfügbar unter: <http://aachendynamics.de/Produkte/>

Transsolar Energietechnik GmbH (2020): Elobau Logistikzentrum, Leutkirch, Deutschland [online] [abgerufen am: 28.02.2020], verfügbar unter: <https://transsolar.com/de/projects/leutkirch-elobau-logistikzentrum>

Tsugawa, S. (2013): An Overview on an Automated Truck Platoon within the Energy ITS Project. In: IFAC Proceedings Volumes, 46(21), 41-46. ISSN 1474-6670. doi:10.3182/20130904-4-JP-2042.00110

TU Berlin und TU Hamburg-Harburg (2014): Arten von Elektromotoren [online], 25.01.2014 [abgerufen am: 09.03.2020], verfügbar unter: http://blue-eng.km.tu-berlin.de/wiki/Arten_von_Elektromotoren

Umweltbundesamt (2019): Verpackungsabfälle [online], 23.12.2019 [abgerufen am: 28.02.2020], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle>

VDI 4800 Blatt 1:2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2015): So einfach geht Ressourceneffizienz [online]. Der Management-Leitfaden für Ihr Unternehmen [abgerufen am: 27. Oktober 2020], verfügbar unter: https://www.ressourcendeutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/aktuelles/VDI-ZRE-Managementleitfaden-2015.pdf

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019a): Industrie 4.0 am Beispiel – Ressourceneffizienz durch Digitalisierung [online] [abgerufen am: 17.01.2020], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/webvideomagazin/>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019b): Nullemissionsgebäude [online] [abgerufen am: 28.02.2020], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/nullemissionsgebäude/>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019c): Strategien und Maßnahmen – Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen [online]: Effiziente Logistik [abgerufen am: 21.01.2020], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/strategien-massnahmen/VDI-ZRE_Effiziente_Logistik.pdf

Verband der Automobilindustrie e.V. (2019): Fragen und Antworten zum Lang-Lkw [online] [abgerufen am: 11.02.2020], verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/lang-lkw/fragen-und-antworten-zum-lang-lkw.html>

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2020): Was ist eigentlich Intralogistik? [online] [abgerufen am: 20.02.2020], verfügbar unter: <https://foerd.vdma.org/viewer/-/v2article/render/16118581>

Walter, M. (2018): Logistik 4.0: Autonom disponieren [online]. VDI Fachmedien [abgerufen am: 20.03.2019], verfügbar unter: <https://www.logistik-fuer-unternehmen.de/2017/Ausgabe-04-05/Fachteil/Logistik-4.0-Autonom-disponieren>

Wilms, S.; Lerm, V.; Schäfer-Stradowsky, S.; Sandén, J.; Jahnke, P. und Taubert, G. (2018): Heutige Einsatzgebiete für Power Fuels [online]: Factsheets zur Anwendung von klimafreundlich erzeugten synthetischen Energieträgern [abgerufen am: 30.10.2019], verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/181123_dena_PtX-Factsheets.pdf

Wimmer, T. und Grotemeier, C., Hg. (2018): Digitales trifft Reales – Digitalization meets Reality, Hamburg, Deutscher Verkehrs-Verlag, ISBN 978-3-87154-632-7.

Zadek, H., Hg. (2011): Sustainable Logistics - Nachhaltigkeit von Logistikzentren durch Emissionsbewertung, Ressourcenschonung und Energieeffizienz, Hamburg, DVV Media Group Dt. Verkehrs-Verl., Schriftenreihe Wirtschaft & Logistik, ISBN 9783871544507.

Zadek, H. (16. April 2020): Thematischer Kommentar. Schriftlicher Kommentar.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bülowstraße 78
10783 Berlin
Tel. +49 30-2759506-0
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

