

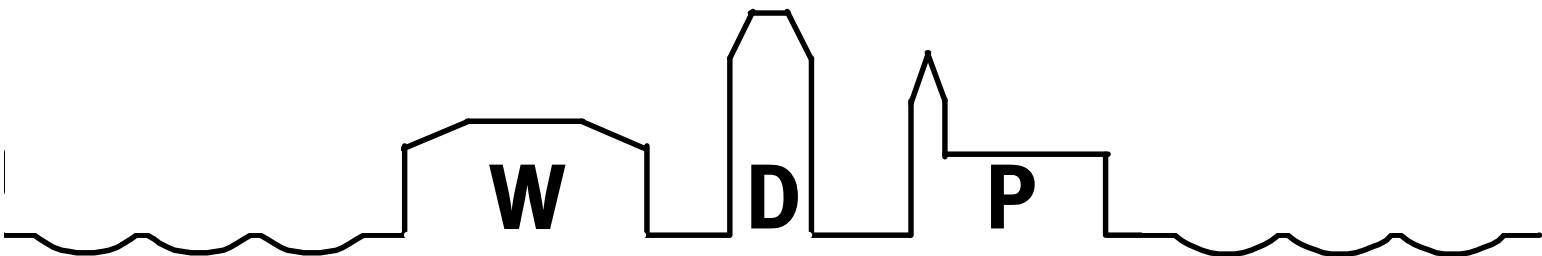


Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Wismar Business School

Frederik Schirdewahn

Analyse der Effizienz einzelner Maßnahmen
zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes
in der Transportlogistik

Heft 04/2013



Wismarer Diskussionspapiere / Wismar Discussion Papers

Die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Wismar, University of Applied Sciences – Technology, Business and Design bietet die Präsenzstudiengänge Betriebswirtschaft, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsrecht sowie die Fernstudiengänge Betriebswirtschaft, Business Consulting, Business Systems, Facility Management, Quality Management, Sales and Marketing und Wirtschaftsinformatik an. Gegenstand der Ausbildung sind die verschiedenen Aspekte des Wirtschaftens in der Unternehmung, der modernen Verwaltungstätigkeit, der Verbindung von angewandter Informatik und Wirtschaftswissenschaften sowie des Rechts im Bereich der Wirtschaft.

Nähere Informationen zu Studienangebot, Forschung und Ansprechpartnern finden Sie auf unserer Homepage im World Wide Web (WWW): <http://www.wi.hs-wismar.de/>.

Die Wismarer Diskussionspapiere/Wismar Discussion Papers sind urheberrechtlich geschützt. Eine Vervielfältigung ganz oder in Teilen, ihre Speicherung sowie jede Form der Weiterverbreitung bedürfen der vorherigen Genehmigung durch den Herausgeber.

Herausgeber: Prof. Dr. Hans-Eggert Reimers
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Hochschule Wismar
University of Applied Sciences – Technology, Business and Design
Philipp-Müller-Straße
Postfach 12 10
D – 23966 Wismar
Telefon: ++49/(0)3841/753 7601
Fax: ++49/(0)3841/753 7131
E-Mail: hans-eggert.reimers@hs-wismar.de

Vertrieb: Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Hochschule Wismar
Postfach 12 10
23952 Wismar
Telefon: ++49/(0)3841/753-7468
Fax: ++49/(0) 3841/753-7131
E-Mail: Silvia.Kaetelhoen@hws-wismar.de
Homepage: <http://cms.hws-wismar.de/service/wismarer-diskussions-brpapiere.html>

ISSN 1612-0884

ISBN 978-3-942100-09-0

JEL-Klassifikation K32, L92, Q51

Alle Rechte vorbehalten.

© Hochschule Wismar, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, 2013.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Zielsetzung der Arbeit	4
1.2	Abgrenzung der Arbeit	5
1.3	Methodik und Vorgehensweise	6
2	CO₂-Emissionen in der Transportlogistik	6
2.1	Transportlogistik als Auslöser negativer ökologischer Effekte	7
2.2	Politische Ansätze zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen in der Transportlogistik	10
2.2.1	Verkehrsvermeidung	11
2.2.2	Verkehrsverlagerung (Modal Shift)	11
2.2.3	Technische Optimierung	12
2.3	Monitoring der CO ₂ -Emissionen	12
2.4	Die wichtigsten Verkehrsmittel der Transportlogistik im Vergleich	14
3	Untersuchung ausgewählter Maßnahmen zur Reduzierung der Klimabelastung innerhalb der Transportlogistik	18
3.1	LKW-Maut als Instrument zur Güterverkehrsverlagerung	19
3.1.1	Entwicklung des Anteils des Straßengüterverkehrs am Gesamtgüterverkehr	19
3.1.2	Gründe für das Scheitern der Verlagerungsfunktion der LKW-Maut	21
3.1.3	Bewertung	25
3.2	Verstärkter Konsum regional erzeugter Lebensmittel	26
3.2.1	Vergleich CO ₂ -Footprint regionaler und non-regionaler Lebensmittel	27
3.2.2	Bedeutung des Einkaufsweges des Endkunden	32
3.2.3	Bewertung	34
3.3	Verstärkter Einsatz von Elektro- und Hybridantrieben	35
3.3.1	Abgrenzung der betrachteten Fahrzeugklasse	35
3.3.2	Diesel-, Elektro- und Hybridfahrzeuge im CO ₂ -Emissionsvergleich	37
3.3.3	Sensitivitätsanalyse für den Elektroantrieb	43
3.3.4	Bewertung	45
3.4	Regelmäßige und vorzeitige Erneuerung des Fuhrparks	46
3.4.1	Entwicklung des Treibstoffverbrauches	47
3.4.2	Ermittlung des optimalen Ersatzzeitpunktes	47
3.4.3	Bewertung	50
4	Resümee	52
	Literaturverzeichnis	54
	Autorenangaben	59

1 Einleitung

Verkehr ermöglicht Mobilität, Flexibilität, Handel und Produktion sowie das Partizipieren am wirtschaftlichen und sozialen Leben. Neben diesen Annehmlichkeiten ist der Verkehr jedoch auch gleichermaßen Auslöser negativer Effekte. Luftverschmutzung, Klimaerwärmung, Lärm und die Schädigung von Gesundheit, Natur und Landschaft können mit dem Verkehr in Verbindung gebracht werden (vgl. Umweltbundesamt 2004: 2).

Insbesondere der Klimawandel stellt eine globale Bedrohung dar, deren gesamte Ausmaße nur schwer begriffen werden können. Der Verkehrssektor und hiervon wiederum zu erheblichen Anteilen der Güterverkehr ist in diesem Zusammenhang für rund ein Viertel aller klimaschädlichen Treibhausgasemissionen, und hier insbesondere Kohlenstoffdioxid (CO₂), verantwortlich (vgl. Souren 2012: 137). Der sich hieraus ergebende Handlungsbedarf ist in das Bewusstsein von Politik und Wirtschaft getreten, so dass die Klimapolitik mittlerweile zu einem festen Bestandteil internationaler Abkommen und des politischen Programmes der deutschen Bundesregierung geworden ist. Ein bedeutsamer Schritt im internationalen Klimaschutz wurde mit der Ratifizierung des 2005 in Kraft getretenen Kyoto-Protokolls getan. Hierin verpflichteten sich die unterzeichnenden Staaten zu einer umfangreichen Reduzierung der Treibhausgasemissionen (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002: 3). Sich anschließende Folgeabkommen tragen zur weiteren, kontinuierlichen Reduzierung der Treibhausgasausstöße bei. Zur Erfüllung der gesetzten Ziele verfolgt die deutsche Bundesregierung ein umfangreiches Klimaschutzprogramm, welches neben dem Personenverkehr auch den gewerblichen Güterverkehr betrifft. Um die festgeschriebenen Ziele innerhalb dieser Klimaschutzpolitik zu erreichen, existieren Strategien mit konkreten Maßnahmen, die für eine nachhaltige Entwicklung im Bereich der Gütertransporte sorgen sollen (vgl. Souren 2012: 138f.). Der Güterverkehr muss sich somit nicht mehr nur ökonomischen Anforderungen stellen, sondern zusätzlich in einem immer stärker durch ökologische Erfordernisse geprägtem Wettbewerbsumfeld agieren.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Die in Kapitel 1 vorgestellten Sachverhalte bilden den Rahmen für die vorliegende Ausarbeitung. Die in Folge des Klimawandels stetig ansteigende globale Durchschnittstemperatur bedingt, dass ein entschlossenes Handeln unausweichlich wird, um die heutigen Lebensbedingung auch für nachfolgende Generationen zu erhalten (vgl. Stern 2009: 46).

Die Maßnahmen der Regierung zur Reduktion der CO₂-Emissionen sind dabei vielfältig und ihre Wirkungsweise selten trivial. Dennoch werden viele der Maßnahmen weitläufig als wirkungsvoll angesehen, ohne dass Effekte und

Potential tatsächlich bekannt sind. Den Aussagen von Politik und Wirtschaft wird nur allzu häufig ohne kritisches Hinterfragen vertraut.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einzelne dieser Ansätze zur CO₂-Reduktion innerhalb der Transportlogistik hinsichtlich ihrer tatsächlichen Wirkung zu untersuchen. Es stellt sich die Frage, ob diese so effizient zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen, wie es von Politik und Wirtschaft behauptet wird. Es wird die These formuliert, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen zum Teil deutlich weniger effizient sind als weitläufig angenommen und ihnen oftmals die hohe klimafreundliche Wirkung zu Unrecht zugesprochen wird. Innerhalb der zur Überprüfung gewählten Ansätze soll diese These bestätigt oder widerlegt werden.

1.2 Abgrenzung der Arbeit

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist eine gasförmige Verbindung aus einem Kohlenstoff- und zwei Sauerstoffatomen, die weder Farbe noch Geruch aufweist. Sie entsteht bei Oxidations- oder Verbrennungsprozessen von fossilen Energieträgern (vgl. Schmötzer 2012: 47 f.). Neben weiteren Gasen wie Methan (CH₄) oder Lachgas/Distickstoffoxid (N₂O) stellt Kohlenstoffdioxid das gemeinhin wohl bekannteste Treibhausgas dar. Es ist mit einem mengenmäßigen Anteil von rund 87 % maßgeblich für die Verstärkung des Treibhauseffektes und als Konsequenz hieraus für die globale Klimaerwärmung verantwortlich.¹ Dieser Zusammenhang ist zwar weitläufig anerkannt, konnte jedoch bislang noch nicht zweifelsfrei bewiesen werden.

Der Begriff der Logistik ist in der Literatur nicht eindeutig definiert. Vielmehr existieren je nach Betrachtungsweise unterschiedliche Definitionsansätze. Es kann zwischen einem fluss-, lebenszyklus- und dienstleistungsorientierten Verständnis der Logistik unterschieden werden (vgl. Pfohl 2010: 12 ff.). Für den innerhalb der Arbeit betrachteten Umfang soll ein flussorientierter Ansatz genügen. Hiernach umfasst die Logistik „[...] alle Tätigkeiten, durch die die raumzeitliche Gütertransformation und die somit zusammenhängenden Transformationen hinsichtlich der Gütermengen und –sorten, der Güterhandhabungseigenschaften sowie der logistischen Determiniertheit der Güter geplant, gesteuert, realisiert oder kontrolliert werden. Durch das Zusammenwirken dieser Tätigkeiten soll ein Güterfluss in Gang gesetzt werden, der einen Lieferpunkt mit einem Empfangspunkt möglichst effizient verbindet“ (Pfohl 2010: 12). Effizient bezeichnet in diesem Zusammenhang, dass das richtige Produkt, im richtigen Zustand, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort zu minimalen Kosten bereitgestellt wird (vgl. Pfohl 2010: 12).

Der im Titel der vorliegenden Arbeit genannte Begriff der Transportlogistik soll verdeutlichen, dass lediglich der außerbetriebliche Gütertransport Gegenstand der Untersuchung ist. Es werden nur solche Maßnahmen betrach-

¹ Vgl. Angaben des Umweltbundesamt 2012.

tet, die die reine Raumüberbrückung zwischen Liefer- und Empfangspunkt betreffen. Weiterhin erfolgt eine Fokussierung auf die Hauptverkehrsträger im Güterverkehr, da hier die größten Einsparpotentiale zu realisieren sind.

1.3 Methodik und Vorgehensweise

Im ersten Kapitel erfolgt die Einführung in die vorliegende Arbeit. Neben der Einleitung und der Darlegung der Zielsetzung erfolgt eine Definition der Begriffe Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Logistik sowie die Abgrenzung der Transportlogistik zur allgemeinen Logistik.

Der Einleitung folgt im zweiten Kapitel ein theoretischer Grundlagenteil, der grundlegende Informationen zum Sachverständnis erörtert. Dieser stützt sich auf wissenschaftliche Literatur und Forschungsergebnisse. Neben der detaillierten Darstellung der negativen ökologischen Effekte durch die CO₂-Emissionen des Güterverkehrs werden die sich daraus ergebenden Forderungen zur Minderung durch die Politik erörtert. Im Anschluss wird ein Überblick über aktuelle Richtlinien und Normen zur Messung der Emissionen angeboten. Das Kapitel schließt mit einem Vergleich der drei bodengebundenen Hauptverkehrsträger des Güterverkehrs in Deutschland: dem LKW, der Bahn und dem Binnenschiff.

Das dritte Kapitel beinhaltet die eigentliche Untersuchung von vier exemplarisch ausgewählten Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen des Güterverkehrs. Hierzu wird eine differenzierte Analyse der Verlagerungswirkung der LKW-Maut, des verstärkten Zurückgriffs auf regional erzeugte Lebensmittel, des Einsatzes von Hybrid- und Elektrofahrzeugen innerhalb der Straßengüterverkehre und der vorzeitigen Erneuerung des LKW-Fuhrparks vorgenommen. Maßnahmenbezogen erfolgt eine Einleitung in die Thematik, an die sich die eigentliche Untersuchung des Sachverhaltes anschließt. Geschlossen wird jede der vier Untersuchungen mit einer Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer tatsächlichen Wirkung, um die gestellte Forschungsfrage zu beantworten. Neben umfangreichen eigenen Berechnungen wird in diesem Kapitel auf Ergebnisse vergleichbarer Studien zurückgegriffen. Weiterhin dienen wissenschaftliche Quellen und Herstellerangaben als Informationsbasis für die einzelnen Berechnungen. Werte, für die keine verlässlichen Daten ermittelt werden konnten, wurden bestmöglich geschätzt. Komplexe Berechnungen innerhalb der einzelnen Untersuchungen werden im Anhang dargestellt.

Das abschließende vierte Kapitel fasst die Ergebnisse des Hauptteils (Kapitel 3) in einem Resümee zusammen und bildet gemeinsam mit der Einleitung den Rahmen der vorliegenden Arbeit.

2 CO₂-Emissionen in der Transportlogistik

Internationale und nationale Klimaziele und Umweltschutzgesetzgebungen sorgen dafür, dass die Reduktion der Treibhausgasemissionen immer mehr in

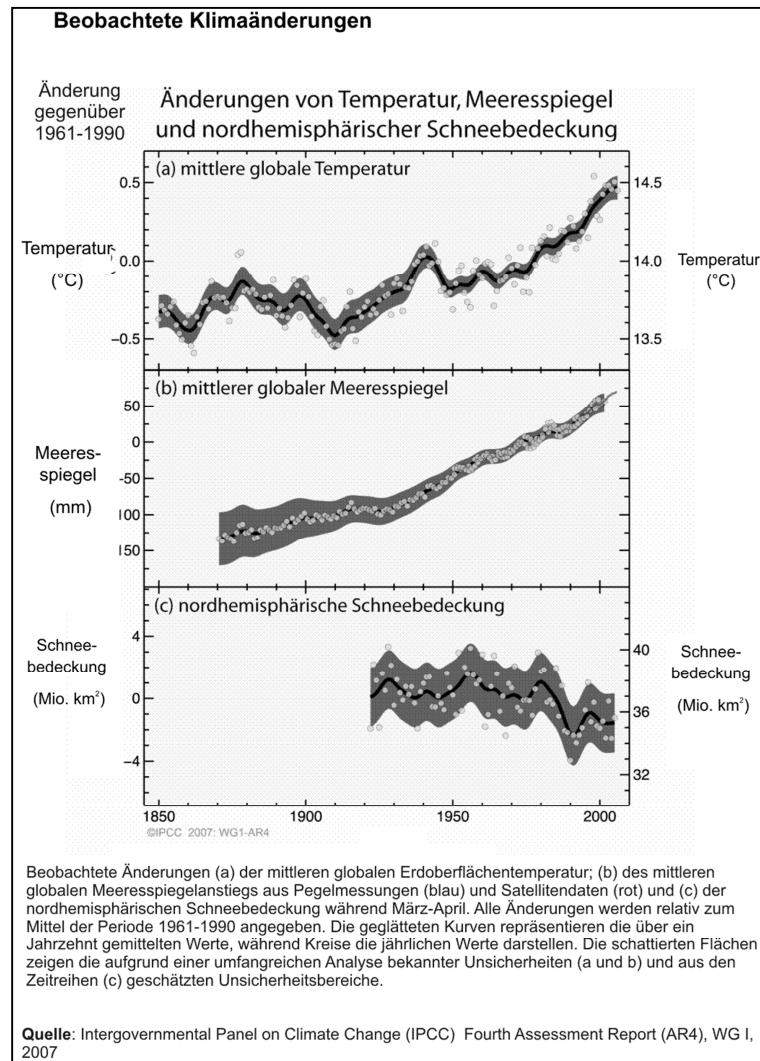
den Fokus rückt (vgl. IHK Stuttgart 2011: 5). Innerhalb des Güterverkehrs entstehen sowohl direkte als auch indirekte Treibhausgasemissionen, deren Reduktion Ziel der Klimapolitik ist, um den Anstieg der Temperatur zu begrenzen. Neben der reinen Analyse, wo und in welcher Höhe diese klimaschädlichen Gase auftreten, ist die Entwicklung und Etablierung einheitlicher Messmethoden notwendig. Nur so können später die politischen Vorgaben definiert, umgesetzt und ihr Erfolg gemessen werden.

2.1 *Transportlogistik als Auslöser negativer ökologischer Effekte*

Der Transport von Gütern ist Auslöser für direkte und indirekt negative ökologische Belastungen der Umwelt. Zu den direkten Belastungsfaktoren lassen sich hierbei alle Auswirkungen zählen, die durch den eigentlichen Transport entstehen. Dies sind insbesondere die Schadstoffemissionen der Transportmittel, welche durch den Verbrauch von Kraftstoff bzw. Energie entstehen. Die indirekten Belastungen hingegen werden nicht durch die Transportleistung selbst hervorgerufen, sondern durch Aufwände, die zur Ermöglichung des Transports nötig sind – zum Beispiel Schaffung und Erhalt der nötigen Infrastrukturen und die Herstellung, Wartung und Entsorgung der Transportmittel (vgl. Fiedler 2010: 30 f.). Die auftretenden ökologischen Effekte lassen sich hierbei in Luftschadstoffemissionen, Ressourcenverbrauch, Flächenverbrauch und Lärmemissionen unterscheiden (vgl. Fiedler 2010: 31 ff.).

Zu den **Luftschadstoffemissionen** zählen neben Feinstaub und weiteren diversen gasförmigen Emissionen, die an dieser Stelle nicht näher betrachtet werden sollen, auch die Treibhausgase. Diesen wird eine direkte Korrelation zur globalen Klimaerwärmung zugesprochen. Als sichtbare und spürbare Auswirkungen der durch die Treibhausgase unterstützten, gestiegenen Durchschnittstemperatur werden das verstärkte Auftreten von Wetterextremen wie Hitzeperioden oder Naturkatastrophen angeführt (vgl. Umweltbundesamt 2010: 9). Des Weiteren kann seit Jahren ein Anstieg der Meeresspiegel sowie ein Rückgang der Schneedeckengröße beobachtet werden (*Abbildung 1*).

Abbildung 1: Klimaänderungen und ihre Auswirkungen

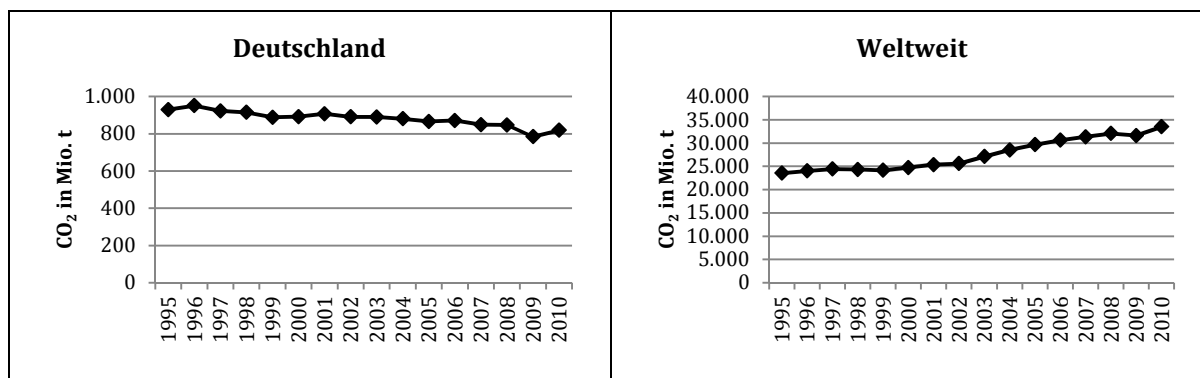


Quelle: Umweltbundesamt (2007).

Insgesamt fallen rund 25 % der gesamten CO₂-Emissionen im Verkehrssektor an. Den größten Anteil hieran trägt der individuelle Personenverkehr, während der Güterverkehr und hievon wiederum zu großen Teilen der Straßengüterverkehr für 5 – 7% der Gesamtemissionen verantwortlich ist (vgl. Souren 2012: 137). Während der gesamte Kohlenstoffdioxidausstoß zumindest in der Bundesrepublik seit 1990 deutlich gesunken ist, steigt er weltweit kontinuierlich an (Abbildung 2) (vgl. Statista 2012: 5). Die Belastung durch den Güterverkehr ist jedoch von dieser positiven Entwicklung losgelöst. Trotz Effizienzverbesserungen der Fahrzeuge sowie einer kontinuierlichen Erhöhung der Auslastung ist der CO₂-Ausstoß des Güterverkehrs auf Grund des stetig steigenden Transportaufkommens in Deutschland zwischen 1990 und 2008 von 28,7 Mio. t CO₂ auf 43,9 Mio. t CO₂ angewachsen (vgl. Umweltbundesamt 2009: 46 sowie Fiedler 2010: 32). Verstärkt wird dieser Effekt durch die knapper werdenden Infrastrukturkapazitäten insbesondere im Straßengüter-

verkehr, so dass Kraftstoffeinsparungen durch die Entwicklung verbrauchsärmerer Motoren von verstärkt auftretenden Staus in Form von ungenutzter Energie kompensiert werden (vgl. Bretzke und Barkawi 2012: 27).

Abbildung 2: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland und der Welt (1995-2010)



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Statista (2012: 5ff.).

Neben den für diese Ausarbeitung bedeutenden CO₂-Emissionen beeinflusst die Transportlogistik den allgemeinen **Ressourcenverbrauch** negativ. Für jeden Transport ist der Einsatz von Energie unerlässlich. Diese wird, je nach Transportmittel, aus unterschiedlichen Quellen bezogen. Die Bahn wird sowohl mit Strom als auch Dieselkraftstoff angetrieben, LKW und Binnenschiffe nutzen vornehmlich Diesel. Auch wenn die Energiequellen differieren, so wird doch jedes der genannten Transportmittel durch, nicht erneuerbare Ressourcen betrieben. Weitere fossile Ressourcen werden darüber hinaus für den Auf- und Ausbau der nötigen Infrastrukturen (Straßenbau, Bau von Bahntrassen u.ä.) genutzt. Auch die Produktion und Verwertung der Transportmittel beeinflussen den Ressourcenverbrauch negativ. Das steigende Güterverkehrsaufkommen kann demnach kaum ohne einen gesteigerten Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen bewältigt werden.

Die Durchführung von Transporten setzt infrastrukturelle Gegebenheiten voraus, die zu einem **Flächenverbrauch** führen. Der Bau von Schienentrasen, Straßen und Flussverbindungen schädigt die Umwelt nachhaltig und zum Teil irreversibel. Durch die Bebauung wird das Land in seiner Funktion als Lebensraum für Tiere und Pflanzen oder auch als Klimaregulator stark eingeschränkt, beispielsweise dann, wenn für Straßen Bäume, die zum CO₂-Ausgleich beitragen, abgeholzt werden müssen (vgl. Fiedler 2010: 33 ff.).

Unter **Lärmemissionen** ist der lokal austretende, unerwünschte und teilweise gesundheitsschädliche Schall der Transportmittel zu verstehen. In wiefern dieser als Belästigung empfunden wird, ist zwar vom subjektiven Empfinden des Einzelnen abhängig, jedoch kann durch das steigende Verkehrsaufkommen von einer gestiegenen Belastung für den Menschen ausgegangen werden.

Der Transport von Gütern ist also zweifelsfrei Auslöser diverser negativer ökologischer Effekte (im weiteren Verlauf werden hierunter lediglich die klimaschädlichen Treibhausgasemissionen verstanden). Hierbei stellen insbesondere die klimaerwärmenden CO₂-Emissionen eine globale Bedrohung dar, die zielgerichtetes Handeln erfordern. Als ein bedeutender Verursacher muss daher auch die Logistik ihren Beitrag zu einer Reduzierung beitragen.

2.2 *Politische Ansätze zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Transportlogistik*

Klimaschutz ist ein globales Problem, das nur gemeinsam im Verbund betrieben zu Erfolgen führen kann. Wie bereits im einführenden Abschnitt erwähnt, konnte ein entscheidender Schritt für den Schutz des Weltklimas mit dem 2005 in Kraft getretenen Kyoto-Protokoll getan werden, in dem sich die unterzeichnenden Staaten zu einer Reduzierung der gesamten Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2008 bis 2012 um mindestens 5 % unter das Niveau von 1990 verpflichteten (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002: 3). Hieran aufbauend sollte auf der Kopenhagener Konferenz 2009 ein Folgeabkommen geschlossen werden. Dort konnte jedoch keine Einigung über das weitere Vorgehensziel werden, so dass das im sogenannten „Copenhagen Accord“ erwähnte Ziel, die Erderwärmung auf weniger als 2°C zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen, nicht verbindlich beschlossen werden konnte. Im Rahmen der Weltklimakonferenz 2010 in Cancún/Mexiko konnte man sich nach langen Verhandlungen am 10. Dezember im Rahmen eines verbindlichen, umfangreichen Maßnahmenpaketes doch noch auf das „2-Grad-Ziel“ einigen (vgl. Koch 2012: 9). Ein Anstieg um 2°C mag auf den ersten Blick nicht besorgniserregender erscheinen. Wie verheerend jedoch solch ein vermeintlich „kleiner“ Temperaturanstieg sein kann, wird greifbar, wenn man bedenkt, dass die Durchschnittstemperatur während der letzten Eiszeit nur rund 5° C unter der heute geltenden angesiedelt war (vgl. Stern 2009: 21).

Im Rahmen dieser Klimaziele sind die technologiestarken Regionen und Länder gefordert, steigende Emissionen von technologisch weniger gut entwickelten Wachstumsstaaten zu kompensieren. Im Bewusstsein um diese Verantwortung haben sich die Führungsspitzen der EU verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20% gegenüber 1990 zu verringern.² Die Bundesrepublik Deutschland als eine der weltweit wirtschaftlich und technologisch stärksten Nationen ist aufgefordert, eine Vorbild- und Führungsrolle einzunehmen (vgl. Stern 2009: 7). Vor dem Hintergrund dieser hat sich die Bundesrepublik das nationale Ziel einer Reduktion um 40% gegen-

² Vgl. Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2010.

über 1990 gesetzt.³

Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, sind politische Eingriffe in den Verkehrssektor aufgrund seines großen Anteils an den Gesamtemissionen kaum zu vermeiden. Die Bundesregierung hat hierzu einen ordnungspolitischen Rahmen vorgegeben, der von allen Wirtschaftsteilnehmern nachhaltiges Handeln fördert und einfordert (vgl. Koch 2012: 291). Konkret wurden hierzu vier Ziele definiert, die die Bundesregierung mit Ihrer Strategie im Bereich Verkehr und Mobilität verfolgt:

- Entkopplung von Wirtschafts- und Verkehrswachstum,
- Erhöhung der Anteile umweltfreundlicher Verkehrsträger am Modal Split,
- Senkung der verkehrsbezogenen Treibhausgase und Schadstoffe,
- Limitierung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme (vgl. Souren 2012: 138 sowie Umweltbundesamt 2004: 4 f.).

Zur Erreichung dieser Ziele lassen sich folgende Maßnahmen unterscheiden:

2.2.1 Verkehrsvermeidung

Zur Verkehrsvermeidung werden im Rahmen einer Raumordnungsstrategie die Siedlungs-, Produktions- und Infrastrukturen dahingehend angepasst, dass sich die Entfernung zwischen Start und Ziel von Transportstrecken verringern. Weiterhin kann die Subventionierung regionaler Wirtschaftskreisläufe zu einer Reduzierung der Verkehre beitragen, da Güter nur noch über deutlich kürzere Strecken transportiert werden müssen oder bestimmte Transportschritte überflüssig werden (vgl. Umweltbundesamt 2010: 12). Da jeder Transport unweigerlich mit Emissionen verknüpft ist, wird hierdurch eine Reduktion der CO₂-Emissionen realisiert.

2.2.2 Verkehrsverlagerung (Modal Shift)

Durch eine Verlagerung der Transporte auf Verkehrsträger mit geringeren CO₂-Emissionswerten soll eine Reduzierung der Gesamtemissionen erreicht werden. Dies setzt eine gezielte Förderung der ökologisch zu präferierenden Transportmittel (Bahn und Schiff) voraus, damit diese eine attraktive Infrastruktur bieten können, welche zum einen ausreichend Kapazitäten besitzt und zum anderen die individuellen Kundenbedürfnisse befriedigen kann. Gleichzeitig muss die ökologische Vorteilhaftigkeit durch eine stetige Effizienzsteigerung zu den ökologisch nachteiligen Verkehrsträgern beibehalten werden. Eine monetäre Belastung der CO₂-intensiven Transportmittel LKW und Flugzeug (siehe 2.4) soll weiterhin den Verlagerungseffekt verstärken. Eine Erhöhung der LKW-Maut stellt ein Beispiel für eine solche Handlungsalternative

³ Vgl. Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2010.

dar. Aber auch eine höhere Besteuerung der Kraftstoffe ist denkbar (vgl. Souren 2012: 138 f. sowie Umweltbundesamt 2010: 12 f.).

2.2.3 *Technische Optimierung*

Mit einer staatliche Förderung von Forschungsaktivitäten im Bereich der Effizienzsteigerung von Antriebskonzepten oder Aerodynamik, dem Erlass von verbindlichen Richtlinien (z.B. Abgasnormen) und ähnlichen Maßnahmen soll erreicht werden, dass Transportmittel ökologisch nachhaltig verbessert werden und einen Teil zur Reduzierung der Klimabelastung beitragen. Auch die Verteuerung von CO₂-intensiven Transportarten (z.B. Öko-Steuern auf Kraftstoff) sorgt für Investitionen in ökologisch sinnvollere Transportmittel (vgl. Souren 2012: 139 sowie Umweltbundesamt 2010: 13).

2.3 *Monitoring der CO₂-Emissionen*

Gemäß dem Grundsatz „Man kann nur managen, was man auch messen kann“ ist für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen ein vorangehendes präzises und verlässliches Messen dieser erforderlich. Hierzu existieren sowohl auf Unternehmensebene (Corporate CarbonFootprint - CCF) als auch auf Produktebene (ProductCarbonFootprint - PCF) Standards und Normen, auf die Unternehmen bei der Bilanzierung ihrer Emissionen zurückgreifen können. Der sogenannte „CarbonFootprint“ bezeichnet dabei die Gesamtheit an entstehenden Treibhausgasemissionen (IHK Stuttgart 2011:41). Neben dem wohl bekanntesten Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂) umfasst der CarbonFootprint mit Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) noch fünf weitere Treibhausgase (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002: 22). Diese werden anhand ihrer Klimaschädlichkeit (GWP – „Global Warming Potential“) verglichen zur Basis von CO₂ in CO₂-Äquivalente (im weiteren Verlauf als CO₂e bezeichnet) umgerechnet (vgl. IHK Stuttgart 2011: 41).

Neben der unternehmens- und produktbezogenen Betrachtung existiert mit der Norm EN 16258 seit März 2013 erstmalig auch ein Standard zur Bilanzierung der Emissionen, die während des eigentlichen Transportes anfallen. Dies kann insbesondere für die Transportlogistik bedeutsam sein. Diese Europäische Norm, deren Anwendung freiwillig ist, umfasst erstmals Begriffe, Leitlinien, Berechnungsmethoden und –beispiele sowie Festlegungen zur Deklaration, die Transparenz und Vergleichbarkeit einzelner Transporte schaffen sollen.⁴

⁴ Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V., 2013.

Tabelle 1: Vergleich aktueller Normen und Standards zur Messung von Treibhausgasemissionen

	Unternehmens- klimabilanzen (CCF)	Produktklima- bilanzen (PCF)	Bilanzen von Transportdienst- leistungen
Normen und Standards	ISO 14064-1 sowie GHG Protocol	PAS 2050; GHG Protocol; ISO Norm (Entwicklung); (ISO 14040 ff.)	Norm EN 16258
Systemgrenzen	Aktivitäten des eige- nen Unternehmen verpflichtend; Ein- bezug von Subunter- nehmern freiwillig	Gesamte Wertschöp- fungskette, unab- hängig ob eigene oder Fremdprozesse	Gesamte Transport- kette, unabhängig ob eigene Fahrzeuge oder Fahrzeuge von Subdienstleistern je- doch keine Um- schlagsvorgänge, keine Berücksichti- gung von Herstel- lung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruk- turen
Umweltkenn- größen	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente)	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente)	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente) + Energieverbrauch
Emissionen durch Herstellung von Energieträgern (z.B. Diesel)	Herstellung von selbst verbrauchten Strom: ja; andere Energieträger: frei- willig	müssen berücksich- tigt werden	müssen berücksich- tigt werden
Zulässige Metho- den zur Allokati- on der Emissio- nen auf Einzel- sendungen	keine Vorgaben	möglichst physische Größen (z. B. Ge- wicht), aber auch monetäre Größen zu- lässig	nur physische Grö- ßen (bevorzugt Ge- wicht; aber auch An- zahl Paletten, Lade- meter, TEU etc.)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an DSLV Deutscher Speditions- und Logistikerband e.V. (2013: 20 ff).

Mit den angesprochenen Normen und Richtlinien ist ein wichtiger Schritt für eine Vergleichbarkeit der Treibhausgasemissionen einzelner Unterneh-

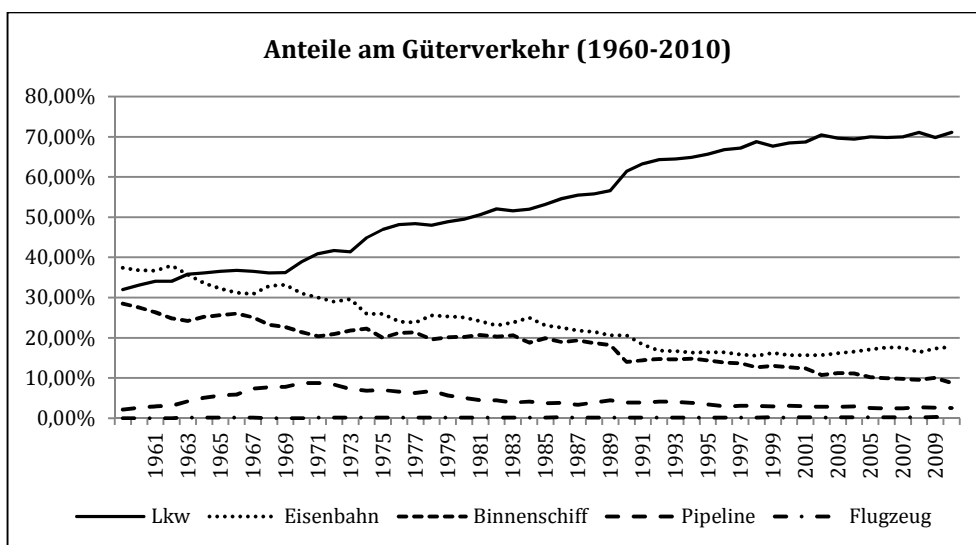
men, Produkte und Dienstleistungen getan. In der Praxis können jedoch noch immer Entscheidungsspielräume im Bezug auf die unterschiedlichen Größen zur Allokation auf Einzelsendungsebene oder aber auch qualitative Unterschiede der verwendeten Daten und verschiedene (externe) Quellen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2012: 22).

2.4 Die wichtigsten Verkehrsmittel der Transportlogistik im Vergleich

Nachfolgend werden die gängigsten Verkehrsmittel der außerbetrieblichen Transportlogistik miteinander verglichen. Hierbei sollen neben ökologischen Kennzahlen ebenso relevante Aspekte wie Netzqualität oder spezifische Eigenschaften wie Flexibilität oder Massenleistungsfähigkeit gegenüber gestellt werden, um eine Informationsgrundlage für den Hauptteil der Arbeit (Kapitel 3) zu schaffen. Die einzelnen Kennzahlen und Charakteristika werden an dieser Stelle nicht näher erläutert, sondern bei Bedarf innerhalb der einzelnen Untersuchungen im Hauptteil der Arbeit weiter ausgeführt.

In Deutschland wird der außerbetriebliche Gütertransport hauptsächlich durch die drei Verkehrsträger LKW, Eisenbahn und Binnenschiff abgewickelt. Die weiteren Transporte beispielsweise per Rohrleitungen oder Flugzeug sollen in der nachfolgenden Übersicht nicht näher betrachtet werden, da sie einen vernachlässigbaren Anteil von 2,6% bzw. 0,21% am Gesamtgütertransportaufkommen innerhalb Deutschlands besitzen (Abbildung 3) (vgl. Umweltbundesamt 2012: 6).

Abbildung 3: Entwicklung des Modal Split im Güterverkehr nach Anteilen an der Transportleistung in tkm (1960-2010)



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. (2011).

1960 wurde der Güterverkehr in Deutschland noch zu annähernd gleichen Anteilen auf der Straße, Schiene und Binnenschiffahrtswegen abgewickelt. Bis zum heutigen Tag erfolgte einestetigen Entwicklung hin zu einer deutlichen Dominanz des Straßengüterverkehrs, dessen Anteil an der gesamten Transportleistung nunmehr rund 71,2% beträgt. Der Transport per Eisenbahn und Binnenschiffahrt spielt mit 17,5% bzw. 8,5% aktuell eine deutlich geringere Rolle als noch in der Vergangenheit. Bei Betrachtung der Beförderungsmenge wird die Dominanz des LKW noch deutlicher. Hier besitzt er einen Anteil von 83% an der Gesamtmenge.

Die durchschnittliche Transportentfernung hingegen ist mit rund 136,5 km beim Straßengüterverkehr am geringsten. Dies resultiert insbesondere aus den kurzstreckigen „Letzte-Meile“-Verkehren zum Endkunden, die fast ausschließlich von LKW durchgeführt werden, da Schiene und Binnenschiffahrt nur in den seltensten Fällen eine direkte Anbindung von Sender zum Empfänger bieten (vgl. Shell Deutschland Oil GmbH 2010: 17).

Abbildung 4: Vergleich der Hauptverkehrsträger im innerdeutschen Güterverkehr

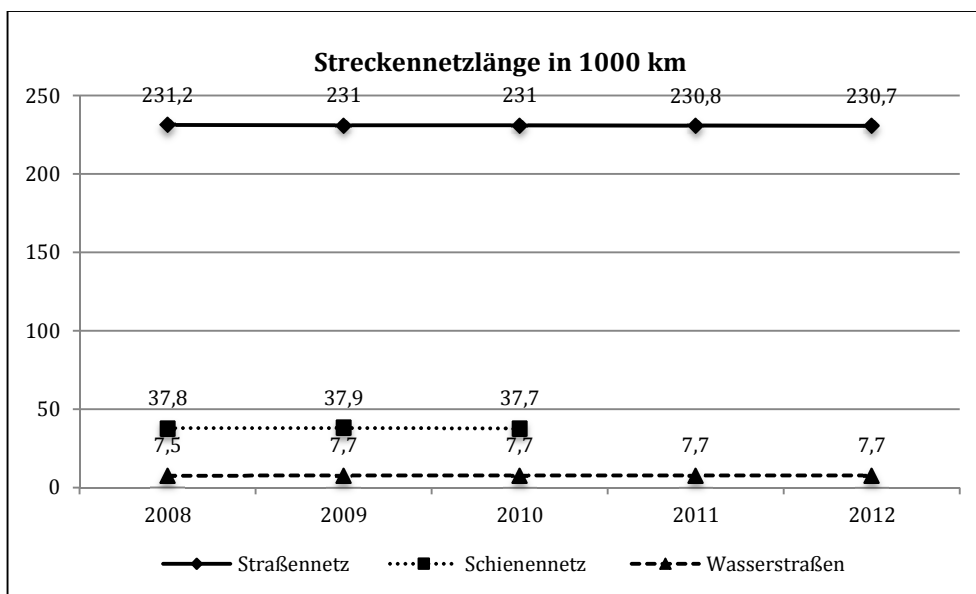
	Straßengüterverkehr	Eisenbahnverkehr	Binnenschiffahrt
Beförderungsleistung in Mrd. tkm (2011)	460	113,3	55
Modal Split in % bezogen auf tkm	71,2%	17,5%	8,5%
Beförderungsmenge in Mio. t (2011)	3369	374,7	222
Modal Split in % bezogen auf t	83,0%	9,2%	5,5%
Durchschnittliche Transportentfernung 2011 in km	136,5	302,4	247,7
Treibhausgase als CO ₂ e in g/tkm	97,5	23,4	33,4
Streckennetz in 1000 km (2011)	231	37,7	7,7
Investitionen in das Streckennetz in Mrd. €	5,4	4,06	0,89
Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	50	10-18 (Einzelwagenverkehr)	6
Flexibilität	++	o	-
Dienstleistungsqualität	+	o	+
Kundenorientierung	+	o	o
Verfügbarkeit	+	o	o
Massenleistungsfähigkeit	-	++	++
Infrastrukturknappheit	o	o	-
Energieverbrauch	+o	-	-
Umweltverträglichkeit	-o	+o	+
++ sehr hoch + hoch +o hoch bis mittel o mittel -o gering bis mittel - gering -- sehr gering			

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Destatis –Statistisches Bundesamt a; Destatis – Statistisches Bundesamt b; Shell Deutschland Oil GmbH (2010, S. 16 f.); Umweltbundesamt (2012, S. 14) und Fraunhofer ATL unter Mitwirkung von KPMG (2008, S. 53 f.).

Die im Rahmen dieser Ausarbeitung wichtigste Kennzahl ist der Treibhausgasausstoß pro Tonnenkilometer. Dieser weist bei dem LKW (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) mit ca. 97,5 g CO₂e/tkm (vgl. Umweltbundesamt 2012: 14)den eindeutig höchsten Wert auf. Dies ist insbesondere in Verbindung mit

dem deutlich gewachsenen Anteil der Straßengüterverkehre kritisch zu bewerten und erklärt die Bestrebungen der Politik, gegensteuernde Maßnahmen zu etablieren. Eisenbahn- und Binnenschiffverkehrsverkehr präsentieren sich hier mit ca. 23,4 CO₂e/tkm bzw. 33,4 g CO₂e/tkm deutlich klimafreundlicher (Umweltbundesamt 2012: 14). Die Angaben unterscheiden sich in der Quellenlage zum Teil deutlich (vgl. Souren 2012: 139; Umweltbundesamt 2010: 12 sowie Verband der Automobilindustrie 2008: 6). Dies kann an einer unterschiedlichen Datierung der verwendeten Daten liegen, oder aber auch an einem unterschiedlichen Betrachtungsumfang. Auch spielt im elektrisch angetriebenen Schienengüterverkehr die Zusammensetzung des verwendeten Stromes eine entscheidende Rolle.

Abbildung 5: Entwicklung der Streckennetzlänge (2008-2012)

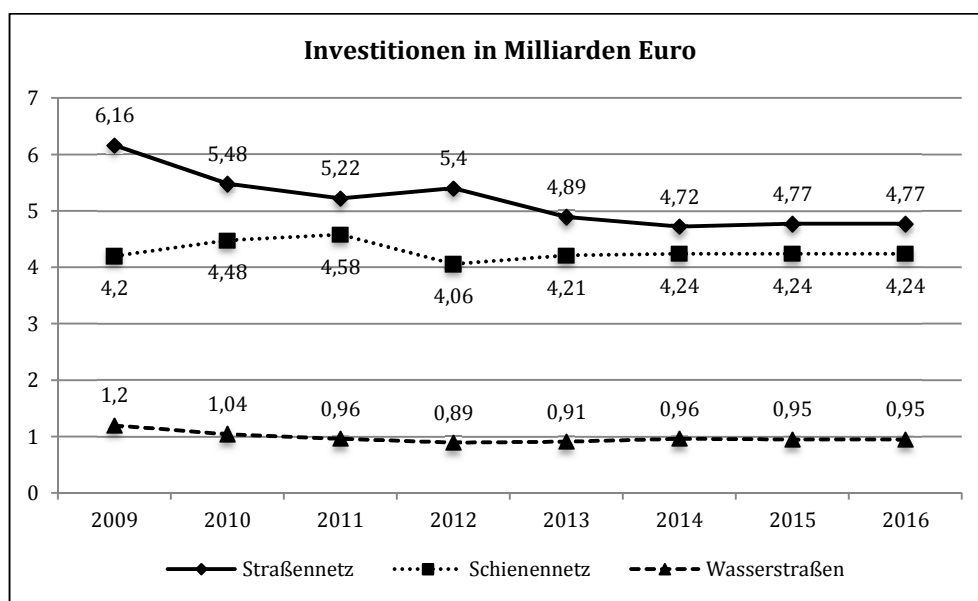


Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Destatis – Statistisches Bundesamt (2012).

Die Länge und der Zustand der Streckennetze kann für die Wahl des Verkehrsträgers ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen, insbesondere dann, wenn das Ziel außerhalb der wirtschaftlichen Ballungsräume liegt. Das am weitesten ausgebaute Straßennetz weist hierbei mittlerweile erhebliche Mängel auf (vgl. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung BGL e.V. 2012: 19). Da mit einem weiterhin stark ansteigenden Güterverkehrsaufkommen zu rechnen ist, das zu großen Teilen vom Straßenverkehr getragen werden wird, besteht hier dringender Handlungsbedarf (vgl. ProTrans AG 2007: 4). Der Investitionsplan der Bundesrepublik Deutschland sieht trotz dieser Situation, eine Kürzung der Bundesausgaben für Bundesfernstraßen von aktuell 5,4 Mrd. € auf rund 4,77 Mrd. € in 2016 vor (Abbildung 6). Die minimalen Anhebungen der Investitionen in die Schienenverkehrs- und Binnen-

schiffahrtswege werden hier vermutlich keine Abhilfe schaffen.⁵ Über alle Verkehrsmittel hinweg lässt sich eine zur allgemeinen Entwicklung des Transportaufkommens stagnierende oder sogar geringfügig gegenläufige Entwicklung feststellen. Investitionen und auch die Länge der Streckennetze sind gleichbleibend oder sogar rückläufig, während gleichzeitig das Güterverkehrsaufkommen kontinuierlich steigt.

Abbildung 6: Getätigt und geplante Investitionen des Bundes in die Verkehrswege (2009-2016)



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Statista(2012).

In einem Wirtschaftsumfeld, das fortschreitend durch immer kürzere Belieferungszeiten bestimmt wird („Über-Nacht-Belieferung“ diverser Versandhäuser, „24h-Reperaturservice“ u.ä.), spielt die Transportgeschwindigkeit nicht selten eine wichtige Rolle. Hier belegt der LKW mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 50 km/h die Spitzenposition. Die Bahn erreicht im Einzelwagenverkehr durch Umlade- und Rangiervorgänge lediglich Geschwindigkeiten von 10-18 km/h (vgl. Fraunhofer ATL unter Mitwirkung von KPMG 2008: 53 f.). Im Ganz- und Direktzugverkehr können deutlich höhere Geschwindigkeiten erzielt werden, jedoch hat der Personenverkehr in Konfliktsituationen Vorfahrt (vgl. Koch 2012: 76). Binnenschiffe erreichen noch geringere Durchschnittsgeschwindigkeiten. Schleusen und schwankende Pegelstände sorgen dafür, dass oftmals nur ca. 6 Kilometer pro Stunde zurückgelegt werden(vgl. Fraunhofer ATL unter Mitwirkung von KPMG 2008: 53 f.).

Weiterhin ermöglichen ein dichtes Streckennetz sowie eine sehr geringe Abhängigkeit von festen Fahrplänen dem LKW, sehr flexibel und kundenorientiert agieren zu können. Durch die hohen verfügbaren Transportkapazitäten

⁵ In Anlehnung an Material von Statista, 2012.

im LKW-Verkehr können Transportaufträge auch mit geringem Planungsvorlauf realisiert werden, wohingegen die Kapazitäten bei der Bahn und der Binnenschifffahrt nur selten kurzfristig erweitert werden können. Infolge fester Fahrpläne kann ein zeitnaher Transport mit diesen Transportmitteln nicht immer gewährleistet werden (vgl. Bretzke und Barkawi 2012: 214 f.). Große Nachteile besitzt der Straßengüterverkehr jedoch im Bereich der Massenleistungsfähigkeit. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Transportkapazitäten können nur eine kleine Menge Güter pro Fahrzeug transportiert werden. Hier bietet die Bahn durch Zuglängen bis zu 700m (vgl. Koch 2012: 74) und die Binnenschifffahrt deutlich mehr Kapazitäten pro Verkehrseinheit.

Ein gravierendes Problem des Straßengüterverkehrs besteht in der Zunahme von Staus. Durch das massive Wachstum des Verkehrsaufkommens bietet die genutzte Infrastruktur vielerorts nur noch begrenzt Reserven, so dass die Kapazitätsgrenze auf hochfrequentierten Streckenabschnitten überstiegen wird. Für den Schienenverkehr gilt dies jedoch in einem ähnlichen Maße (vgl. Umweltbundesamt 2010: 16). Die Infrastruktur der Binnenschifffahrt hingegen bietet durchaus noch Kapazitätsreserven (vgl. Fraunhofer ATL unter Mitwirkung von KPMG 2008: 41).

Eng gekoppelt an die Treibhausgasemissionen sind der Energieverbrauch und die Umweltverträglichkeit. Daher verwundert es nicht, dass auch in diesen Kategorien der LKW im direkten Vergleich am schlechtesten abschneidet. Der LKW benötigt im Verhältnis relativ viel Energie pro tkm, um Güter zu transportieren, woraus eine geringe Umweltverträglichkeit resultiert – in nahezu allen Bereichen (vgl. Souren 2012: 141 f.).

3 Untersuchung ausgewählter Maßnahmen zur Reduzierung der Klimabelastung innerhalb der Transportlogistik

Wie bereits in Kapitel 2.2 angesprochen, existieren, meist ausgelöst durch politische Handlungen, unterschiedliche Ansätze, um den CO₂e-Ausstoß im Güterverkehr zu reduzieren. Inwieweit die einzelnen Maßnahmen jedoch tatsächlich zu einer Reduzierung beitragen können und wie praktikabel sie in der Praxis sind, bleibt jedoch meist unerwähnt. Daher sollen folgende vier Ansätze zur Reduktion des CO₂e-Ausstoßes beispielhaft untersucht werden, um aufzeigen zu können, ob das zu erwartende Resultat kongruent zum beworbenen SOLL-Ergebnis einer CO₂e-Reduzierung ist:

- Verkehrsverlagerung durch die LKW-Maut
- Verkehrsvermeidung durch die Förderung des Konsums regionaler Lebensmittel
- Nutzung technischer Neuerung mit dem Einsatz von Hybrid- und Elektrofahrzeugen
- Nutzung technischer Neuerungen durch die regelmäßige Erneuerung des Fuhrparks mit abgasärmeren Fahrzeugen

3.1 LKW-Maut als Instrument zur Güterverkehrsverlagerung

Mit der zum 1. Januar 2005 eingeführten streckenbezogenen Nutzungsgebühr für in- und ausländische LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 12 Tonnen, die als LKW-Maut bezeichnet wird, verfolgt die Bundesregierung vielfältige Ziele.

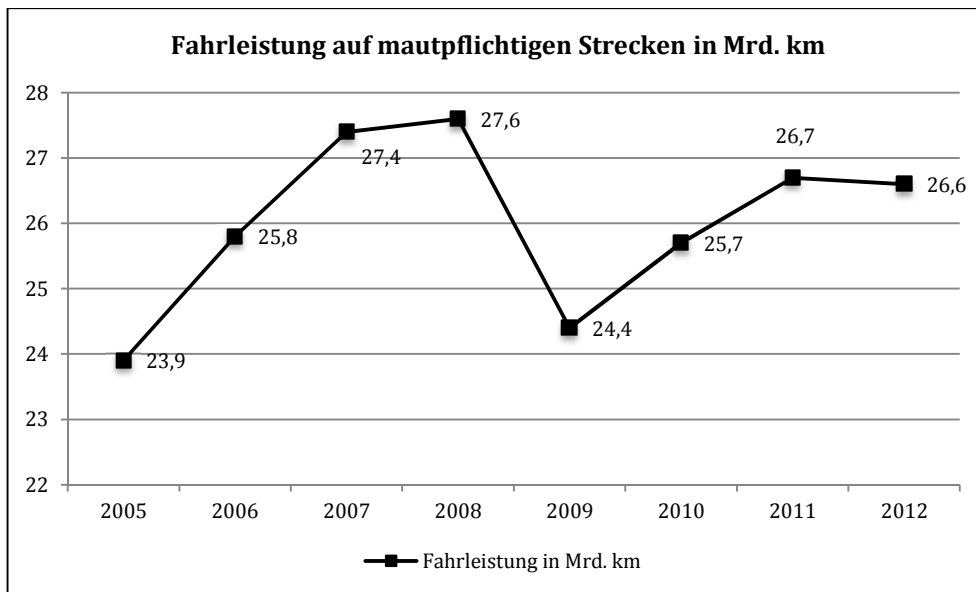
Durch die Maut sollen die Kosten für den Betrieb und Erhalt von Autobahnen verursachergerecht erhoben werden, da die Belastung der Fahrbahn durch einen schweren LKW um bis zu 60.000mal höher ausfällt als die durch einen PKW. Die so gewonnenen finanziellen Mittel sollen genutzt werden, um die allgemeine Straßeninfrastruktur weiter auszubauen und langfristig zu erhalten. Durch die monetäre Belastung soll weiterhin eine Anreizwirkung zur effizienteren Nutzung der LKW und Förderung der Entwicklung neuer Technologien geschaffen werden. Neben diesen Zielen wird mit der LKW-Maut vom Bund außerdem eine Verlagerung von Straßengütertransporten auf die klimafreundlicheren Alternativen des Gütertransportes auf der Schiene oder dem Binnen-seeweg verfolgt. Durch eine solche Verlagerung soll eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen erreicht werden (vgl. Kapitel 2.2).

Nachfolgend soll daher untersucht werden, in wie weit die LKW-Maut durch eine verkehrsverlagernde Wirkung tatsächlich zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beiträgt.

3.1.1 Entwicklung des Anteils des Straßengüterverkehrs am Gesamtgüterverkehr

Seit der Einführung der LKW-Maut sind die gefahrenen Kilometer auf mautpflichtigen Straßen bis zur weltweiten Finanzkrise in 2009 und dem damit verbundenen Einbruch der Wirtschaftsleistung, der auch den Logistiksektor betroffen hat, kontinuierlich bis zu einem Höchstwert von 27,6 Mrd. Kilometer/Jahr im Jahr 2008 gestiegen. Seit dem Einbruch auf 24,4 Mrd. Kilometer in 2009 wächst die Fahrleistung wieder an und wies in 2012 mit 26,6 Mrd. Kilometer einen Wert auf, der nur minimal unter der Vorjahresleistung von 26,7 Mrd. Kilometer lag (*Abbildung 7*) (vgl. Bundesamt für Güterverkehr 2012: 1). Bezogen auf die absolute Fahrleistung der LKW auf deutschen Autobahnen hat die Maut demnach bisher keinen nennenswerten Einfluss ausgeübt. Auch die Mauterhöhungen in 2007 und 2009 führten zu keiner deutlichen Reduktion des LKW Verkehrsaufkommens.

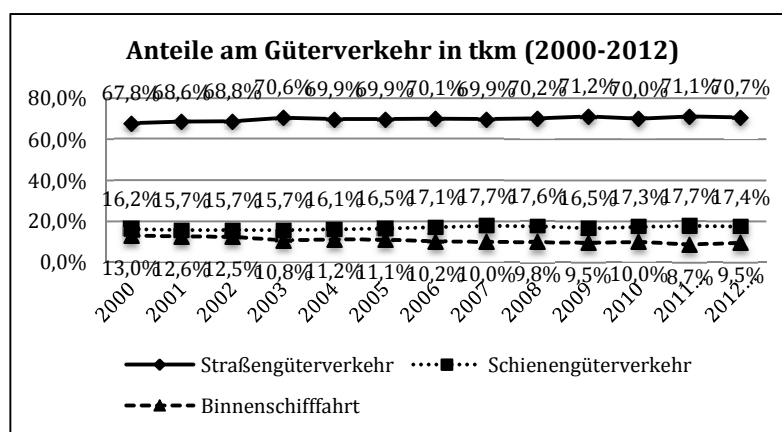
Abbildung 7: Entwicklung der Fahrleistung von mautpflichtigen Fahrzeugen auf gebührenpflichtigen Strecken



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bundesamt für Güterverkehr (2012: 1).

Bei der Betrachtung der noch aussagekräftigeren Entwicklung der Anteile am Modal Split der einzelnen Verkehrsträger (*Abbildung 8*) kann bestätigt werden, dass der LKW trotz der zusätzlichen Kosten durch die Maut seine tragende Rolle im Güterverkehr beibehalten hat. Der leichte Anteilanstieg des Schienengüterverkehrs wird zu einem großen Teil durch einen Rückgang der Binnenschifffahrt kompensiert. Eine signifikante Abnahme des Straßen-güterverkehrs lässt sich auch hier nicht eindeutig belegen. Die LKW-Maut scheint somit das Ziel der Verlagerung von LKW-Transporten auf die ökonomisch vorteilhafteren Verkehrsträger Schienenverkehr und Binnenschifffahrt bisher nicht zu erfüllen.

Abbildung 8: Modal Split der drei Hauptverkehrsträger im deutschen Güterverkehr (2000-2012)



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Statista (2012) sowie Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin (2011: 246 f.).

Zur Erklärung der gescheiterten Verlagerung wird oftmals ein Ausweichen der LKW-Verkehre auf Bundesstraßen angeführt, auf denen die LKW-Maut, die bis zum 1. August 2012 nur auf Bundesautobahnen galt, keine Rolle spielt. Mit der Ausweitung der Maut im Sommer 2012 wurden jedoch rund 1100 km Bundesstraßen ebenfalls für mautpflichtig erklärt.⁶ Grundsätzlich ist das Umgehen von mautpflichtigen Streckenabschnitten auf einem Großteil der Routen ohne größere Probleme möglich, da das alternative Straßennetz in Deutschland ein Befahren mit LKW erlaubt. Wie aus dem „Bericht über Verkehrsverlagerungen auf das nachgeordnete Straßennetz in Folge der Einführung der Lkw-Maut“ (vgl. Deutscher Bundestag 2013: 2 ff.) der Bundesregierung hervorgeht, kann jedoch keine allgemeine Verlagerung der mautpflichtigen LKW auf mautfreie Strecken festgestellt werden. Verlagerungen finden größtenteils nur dort statt, wo das Straßennetz die zusätzlichen Verkehre ohne bedeutenden Zeitverlust aufnehmen kann und wenn der Umweg zu einer deutlichen Reduzierung der Fahrstrecke führt. Es lässt sich jedoch keine einheitliche Steigerung des Verkehrsaufkommens auf mautfreien Bundesstraßen feststellen, die für eine systematische Umgehung der LKW-Maut sprechen würde. Das Argument der verkehrsverlagernden Wirkung der Maut kann somit entkräftet werden.

In der Folge lässt sich auch eine ökologische Wirkung durch eine Verkehrsverlagerung kaum bestätigen, da sich eine signifikante Reduzierung des LKW-Verkehrs zugunsten der ökologisch sinnvollerer Verkehrsträger Bahn und Binnenschiff zu diesem Zeitpunkt abzeichnet.

3.1.2 Gründe für das Scheitern der Verlagerungsfunktion der LKW-Maut

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass ein Wechsel der bisher eingesetzten Transportmittel nur dann vollzogen wird, wenn sich bei gleichbleibenden Kosten ökologische Vorteile ergeben oder aber, wenn die ökologischen Vorteile so hoch bewertet werden, dass sie die Opportunitätskosten eines Wechsels übersteigen – letzten Endes muss ein Wirtschaftsteilnehmer rentabel agieren.

Doch warum führen die erhöhten Kosten des Transportes auf der Straße durch die LKW-Maut bis dato zu keiner Veränderung des Modal Split? Ist eine sinnvolle Substitution des LKW durch Bahn oder Schiff tatsächlich nicht möglich oder erscheint die Belastung durch die LKW-Maut bisher nicht hoch genug, so dass der Transport per LKW mit seinen individuellen Vorteilen noch immer ökonomische Vorteile birgt?

Aufgrund seines dichten Streckennetzes und der damit verbundenen Möglichkeit, überall Güter zu laden und zu entladen, hat der LKW nach wie vor enorme Flexibilitätsvorteile (vgl. Shell Deutschland Oil GmbH 2010: 16 f.).

⁶ Vgl. Angaben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012.

Diese bedingen, dass er auf vielen Transportstrecken schwer substituiert werden kann. Selbst bei der Abwicklung von Transporten mit Bahn oder Binnenschiff ist meistens eine Ergänzung durch den LKW erforderlich. Infolge des weniger dichten Netz der Be- und Entladestellen von Bahn und Binnenschiff müssen auch dort im Vor- oder Nachlauf häufig größere Distanzen mit dem LKW zurückgelegt werden, um den eigentlichen Hauptlauf auf dem ökologisch sinnvollerem Transportmittel zu ermöglichen (vgl. Koether 2012: 190). Dieser Umweg kostet nicht nur Zeit, sondern kann je nach Länge auch potentielle ökonomische Vorteile von Bahn und Schiff vollständig eliminieren (vgl. Verband der Automobilindustrie 2008: 105). Dies spiegelt auch die unter Punkt 2.4 angegebenen durchschnittlichen Transportentfernung wieder, bei der der LKW wie bereits angesprochen im Schnitt die kürzesten Strecken zurücklegt.

Schiene und Binnenschifffahrt stellen somit eher auf längeren Strecken und in solchen Fällen, in denen die Transportdauer eine nachrangige Bedeutung besitzt, eine (ökonomisch sinnvolle) Alternative zum LKW dar. Auf diesen langen Strecken können weiterhin Zeitnachteile aufgeholt werden, da beispielsweise Wochenendfahrverbote und Staus diese Verkehrsträger nicht beeinflussen und Umschlagsvorgänge einen wesentlich kleineren Anteil an der gesamten Transportzeit halten. Neben der Entfernung, die der Transport zurücklegen muss, spielt die Güterart eine weitere wichtige Rolle. Auf der Schiene und dem Wasserweg dominiert die Beförderung von Massengütern und Rohstoffen, während der Großteil an Stück-, Express- und Eilgütern über die Straße abgewickelt wird. Diese Verteilung ist hauptsächlich darin begründet, dass die Transportmittel Bahn und Binnenschiff für die Beförderung von Stück-, Express- und Eilgütern eine zu geringe Flexibilität aufweisen (vgl. Koch 2012: 75 ff.). In der Regel fahren sowohl Güterzug als auch Binnenschiff nach festen Fahrplänen (teilweise nur wenige Abfahrten pro Woche), die ein flexibles Reagieren auf Marktveränderungen deutlich erschweren (vgl. Wannewetsch 2010: 420 sowie Bretzke und Barkawi 2012: 214 f). Daher werden mehrheitlich zeitunkritische Rohstoffe und Massengüter auf diesen Verkehrswegen transportiert. Die Binnenschifffahrt bietet zusätzlich eine deutlich niedrigere Transportgeschwindigkeit - Transporte innerhalb der Landesgrenzen können in einigen Fällen mehr als 3 Tage in Anspruch nehmen (vgl. Koch 2012: 80).

Der Transport per Schiene stellt aufgrund der höheren Netzdichte und der ähnlichen Geschwindigkeit die realistischere Alternative zum Straßengüterverkehr dar. Um jedoch ernsthafte Marktanteile zu gewinnen, muss der Schienengüterverkehr zwangsläufig in das Hoheitsgebiet des Straßengüterverkehrs vorstoßen und sich den dortigen neuen, flexibilitätsgeprägten Herausforderungen, die der Transport von Stück-, Express- und Eilgütern birgt, stellen (vgl. Bretzke und Barkawi: 2012: 215).

Für eine Verlagerung auf die Wasserstraße divergieren die Leistungsprofile

für den Großteil der beförderten Güter zu stark, was eine breite Alternativnutzung eher unwahrscheinlich erscheinen lässt.

Ungeachtet dieser Hemmnisse soll ein kleines Rechenbeispiel verdeutlichen, in welchem Maße die LKW-Maut den Transport auf der Straße verteuern müsste, um überhaupt zu einer Verlagerung auf die Schiene oder, wenn auch bedeutend seltener, auf den Binnenseeweg zu führen. Hierfür wird angenommen, dass die aktuell getätigten Transporte per LKW ökonomisch vorteilig sind und dass erst ab einer Erhöhung der Gesamtkosten um 10% alternative Transportwege wie Bahn oder Binnenschiff gesucht werden (vgl. Transcare AG 2006: 29).

Im Weiteren wird zwischen folgenden Versandoptionen unterschieden, bei denen der reine Transport auf der Straße, der durch die Maut beeinflusst wird, unterschiedlich große Anteile an den Gesamtkosten verursacht:

Tabelle 2: Anteil der Transportkosten an den Gesamtkosten unterschiedlicher Versandoptionen

Versandoption	Prozess	Anteil des Transportes an den Gesamtkosten
Paket	Abholen – Umschlagen – Transport – Umschlagen – Zustellen	10 %
Palette (Kommissionierpalette)	Abholen – Umschlagen – Transport – Umschlagen – Zustellen	20 %
Palette (Vollpalette)	Abholen – Umschlagen – Transport – Umschlagen – Zustellen	30 %
Teilladung (LTL) ⁷	Abholen – Zuladen – Transport – Teilladung – Entladen	50 %
Komplettladung (FTL) ⁸	Beladen – Transport – Entladen	75 %

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Transcare AG (2006: 28 f.).

Als Ausgangswert für die Transportkosten im Straßenverkehr werden Transportkosten von 1,25 €/km inklusive Maut angesetzt (es wird hierbei von Mautkosten in Höhe von 0,164 €/km für das Jahr 2012 ausgegangen) (vgl. Rhenus AG & Co. KG 2012: 5). Eine Erhöhung der Gesamtkosten um 10 %

⁷ (LTL) – Lessthantruckload: Bezeichnet eine nicht kompletten LKW-Ladung, so dass weiter Lade- und Entladestellen angefahren werden um die Auslastung des LKW zu erhöhen.

⁸ (FTL) – Fulltruckload: Bezeichnet eine komplette LKW-Ladung. In der Regel erfolgt eine Fahrt direkt zum Entladeort ohne Umschlagsvorgänge.

würde demnach eine Mauterhöhung um 0,13 € voraussetzen.

Bei einer Mauterhöhung um 25% oder 0,31 €/km wird lediglich im Bereich FLT und LTL eine Gesamtkostenerhöhung erreicht, die zu einer potentiellen Verlagerung führen könnte (*Abbildung 9*). Dies entspricht bei der im Jahre 2012 gezahlten Durchschnittsmaut einer Erhöhung um 189 %. Insbesondere im Bereich der Paket- und Palettenladungen besitzt der reine Transport einen relativ kleinen Anteil an den Gesamtkosten. Hier überwiegen die Handlingkosten; ein Verlagerungseffekt stellt sich erst ab einer Mauterhöhung um 0,63 €/km bzw. 1,25 €/km ein. Die LKW-Maut weist somit in den Bereichen, in denen momentan Straßengüterverkehr deutlich dominiert und die für eine Verlagerung nicht unbeachtet bleiben dürfen, die kleinste Auswirkung auf.

Um einen spürbaren flächendeckenden Effekt zu haben, müsste die LKW-Maut im Schnitt auf über 0,80 €/km steigen. Theoretisch ist eine solche Erhöhung möglich. Da die sich ergebenden Mehrkosten vom Spediteur getragen werden müssten, jedoch aufgrund von Marktmachtstellungen selten vollständig an den Auftraggeber weiterberechnet werden können, besitzt dieses Gedankenspiel keine praktische Relevanz (vgl. Bretzke und Barkawi 2012: 176).

Abbildung 9: Einfluss einer Mauterhöhung auf die unterschiedlichen Transportsegmente

Aktueller LKW Transportkostensatz pro km:		1,25 €					
inklusive Durchschnittsmautsatz von:		0,16 €					
Erhöhung der Transportkosten um...		10%	25%	50%	75%	100%	
auf...		1,38 €	1,56 €	1,88 €	2,19 €	2,50 €	
entspricht einer Mauterhöhung um...		0,13 €	0,31 €	0,63 €	0,94 €	1,25 €	
auf...		0,29 €	0,48 €	0,79 €	1,10 €	1,41 €	
Auswirkung auf die Gesamtkosten	Paket	10%	1,0%	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%
	Palette (Kommissionierpalette)	20%	2,0%	5,0%	10,0%	15,0%	20,0%
	Palette (Vollpalette)	30%	3,0%	7,5%	15,0%	22,5%	30,0%
	LTL	50%	5,0%	12,5%	25,0%	37,5%	50,0%
	FTL	75%	7,5%	18,8%	37,5%	56,3%	75,0%
						Erwägung alternativer Transportwege, da Erhöhung der Gesamtkosten >10 %	

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung in Anlehnung an Transcare AG (2006: 29).

Zusammenfassend lässt sich bis hierher feststellen, dass die LKW-Maut von den Akteuren des Straßengüterverkehrs gemeinhin akzeptiert und es zu keiner systematischen großflächigen Umgehung mautpflichtiger Straßen kommen wird. Eine mautbedingte Verlagerung auf die Alternativen Schiene und Binnenschifffahrt scheitert auch aus anderen Gründen. Aufgrund ihres deutlich kleineren Streckennetzes, dessen Kopplung an natürliche Gegebenheiten (Binnenschifffahrt) und die erwähnten festen Fahrpläne können sie gerade im Bereich der höherwertigen Konsumgüter, die als Stück-, Express- und Eilgüter auftreten oftmals keine echte Alternative zum flexiblen LKW bieten (vgl. Shell Deutschland Oil GmbH 2010: 16). Dies wurde auch in einer Studie von Prof. Dr. Paul Wittenbrink bestätigt. Hiernach wurden als Hauptgründe für ei-

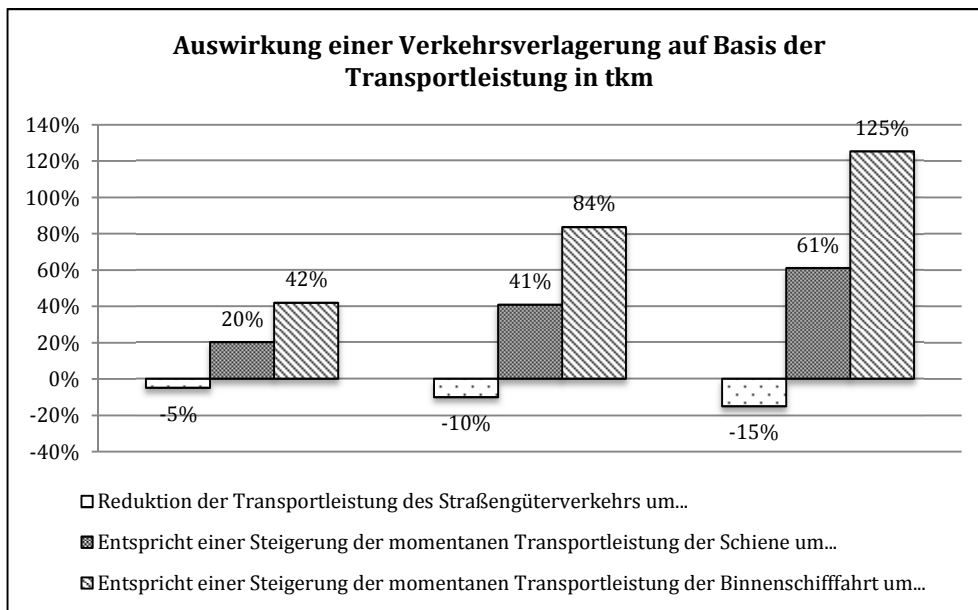
ne Meidung des Schienengüterverkehrs die systembedingte geringere Schnelligkeit und Flexibilität (74,7%), das Fehlen eines Gleisanschlusses (53%) und der zu geringe Kundenservice (47,6%) genannt (Mehrfachnennung waren erlaubt) (vgl. Wittenbrink 2008: 7). Dieser Umstand wird sich, sofern die Schwachpunkte von Bahn und die Binnenschifffahrt nicht behoben werden, aufgrund der prognostizierten Güterstrukturentwicklung zukünftig weiter verstärken (vgl. Fraunhofer ATL unter Mitwirkung von KPMG 2008: 17). Auch ist der Transport aufgrund von Umschlags- und möglichen Rangiervorgängen auf kurzen Strecken deutlich langsamer und komplizierter. Wie die Beispielsrechnung weiterhin zeigt, kann eine Verlagerung nur mit unverhältnismäßig hohen Mautsätzen erzwungen werden.

3.1.3 *Bewertung*

Obwohl grundsätzlich mit weiteren Erhöhungen der Mautsätze sowie Ausweitungen des mautpflichtigen Straßennetzes zu rechnen ist, wird sich hieraus kaum eine Veränderung im Modal Split ergeben. Dies ist auch in der Zukunft nach Aussagen von Experten der Wirtschaftsberatungen PricewaterhouseCoopers AG, Prograns AG u.a. generell nicht zu erwarten (vgl. PricewaterhouseCoopers 2010: 7). Vielmehr müssen alle Verkehrsträger und -wege gleichermaßen weiterentwickelt und ausgebaut werden, um die prognostizierten Güteraufkommen in gewohnter Weise abwickeln zu können (vgl. Bundesverband Güterverkehr, Logistik und Entsorgung BGL e.V. 2012: 36). Dass die gewünschte, umfangreiche Reduzierung des Straßengüterverkehrs zu Gunsten der Transporte auf Schiene und Schiff zu Kapazitätsengpässen führen könnte, zeigt *Abbildung 10* deutlich. So würde eine Verlagerung von 10 % der Transportleistung des Straßengüterverkehrs im Jahre 2012 einen Steigerungsbedarf der momentanen Transportleistung um 41% im Schienenverkehr oder 84% im Binnenschifffahrtverkehr hervorrufen. Die ausführlichen Berechnungen hierzu sind *Anlage 1* zu entnehmen. Da insbesondere das Schienennetz schon heute auf einigen Strecken eine Auslastung von über 100% (vgl. Umweltbundesamt 2010: 52 ff. sowie Bretzke 2012: 72) trägt und der unter Punkt 2.4 angesprochene Investitionsplan auch keine umfassenden Erweiterungen des Schienennetzes zulässt, ist es fraglich, ob eine Verlagerung des Straßengüterverkehrs mit der heutigen und zukünftig zu erwartenden Infrastruktur des Schienennetzes möglich ist. In einem Bericht des Umweltbundesamtes wird unter den momentanen Bedingungen eine Kapazitätsgrenze von rund 130 Mrd. tkm genannt. Größere Transportleistungen des Schienennetzes können ohne ein aktives Handeln von Betreiber und Bund nicht erbracht werden, da schon heute einige Knotenpunkte nahe der absoluten Belastungsgrenze genutzt werden (Umweltbundesamt 2010: 16). Auch für die deutlich weniger attraktive Alternative der Binnenschifffahrt muss davon ausgegangen werden, dass kurzfristig solche Volumensteigerungen realisierbar sind. Der umfangreiche Einsatz von LKW lässt sich folglich auch in Zukunft nicht vermeiden.

Zusammenfassend lässt sich die eingangs formulierte These, nach der nicht alle formulierten Maßnahmen zu einer deutlichen CO₂-Reduzierung führen, bestätigen. Auch wenn die LKW-Maut vielfach als Verlagerungsinstrument bezeichnet wird, kann ihr in diesem Zusammenhang eine lediglich unbefriedigende Wirkung bescheinigt werden. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen können die oftmals langsamen und unflexiblen Verkehrsmittel Bahn und Binnenschiff die vom Auftraggeber gewünschte Leistung oftmals nur unzureichenderbringen. Weiterhin zeigt sich, dass die LKW-Maut für einen Großteil der Sendungen einen sehr geringen Einfluss auf die Gesamtkosten besitzt und somit eine Verlagerung nur schwer auslösen wird. Abschließend kann darüber hinaus festgestellt werden, dass eine umfassende Verlagerung der Verkehre, gerade auf den Hauptverkehrsrouten, aus Kapazitätsgründen kaum erfolgen kann. Somit fehlt eine Grundvoraussetzung für eine Verlagerung auf alternative Transportmittel und -wege.

Abbildung 10: Auswirkung einer Verkehrsverlagerung vom LKW auf Bahn und Binnenschiff



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis der in Kapitel 2.4 genannten Beförderungsleistung, 2013.

Erst wenn diese Beschränkungen entfallen und die Transportalternativen eine größere Flexibilität und Attraktivität aufweisen, kann die LKW-Maut eine verlagernde Wirkung erzielen und ggf. ein Instrument zur effizienten CO₂-Reduzierung darstellen.

3.2 *Verstärkter Konsum regional erzeugter Lebensmittel*

Wenn wir heutzutage unsere Lebensmitteleinkäufe tätigen, beeindruckt uns die Vielfalt des Warenangebotes kaum noch. Was oftmals jedoch für Verwun-

derung sorgt, ist die Herkunft der Produkte. So haben viele der angepriesenen Waren eine beträchtliche Transportstrecke hinter sich. Äpfel aus Österreich oder Neuseeland, Rindfleisch aus Argentinien, Salat aus Spanien, obwohl doch auch in Deutschland die Möglichkeiten bestehen, diese Produkte anzubauen bzw. zu produzieren. Unter der Vernachlässigung ökonomischer Vorteile erscheint es aus ökologischer Sicht auf den ersten Blick wenig sinnvoll, Produkte über weite Strecken zu transportieren, wenn sie auch regional erzeugt werden können, da jeder Transport eine zusätzliche Umweltbelastung durch CO₂ verursacht. Eine Minimierung der Transporte müsste somit zwangsläufig zu einer Reduzierung der CO₂-Belastung führen.

Kann tatsächlich durch den verstärkten Erwerb regional erzeugter Produkte und der damit verbundenen kürzeren Transportstrecke ein sinnvoller Beitrag zur CO₂-Reduktion geleistet werden? Aktuell konsumiert jeder Bundesbürger im Schnitt ca. 500 kg Lebensmittel pro Jahr (exklusive Getränke) woraus sich eine Pro-Kopf-Emission von ca. 2,1 t CO₂e ergibt.⁹

Zunächst muss jedoch definiert werden, was unter „regional erzeugt“ zu verstehen ist. Die Quellenlage liefert hierzu keine einheitliche, scharfe Definition. Allgemeingültig kann jedoch von regional gesprochen werden, wenn Erzeugung und Konsum der Güter in räumlicher Nähe zueinander erfolgen und keine weitreichenden Transporte durchgeführt werden (vgl. Müller-Lindenhaut 2012: 8).

3.2.1 Vergleich CO₂-Footprint regionaler und non-regionaler Lebensmittel

Die Annahme, dass der Konsum regional erzeugter Produkte zu einer geringeren CO₂-Belastung führt, ist nur dann uneingeschränkt zu bestätigen, wenn alle produktionsabhängigen Effekte betrachtet werden und die Produktionsmethoden der verglichenen Lebensmittel identisch sind. Bestehen hierin Unterschiede, so ist eine so allgemeingültige Aussage nicht mehr möglich. Ist die überregionale oder internationale Produktion deutlich emissionsärmer, so kann die Mehrbelastung der längeren Transporte hierdurch ggf. kompensiert werden und die ökologisch sinnvollere Alternative darstellen (vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH 2009: 1).

Es existiert bereits eine Vielzahl an Studien und Berichten, die sich mit der angesprochenen Thematik auseinandersetzen (vgl. Blanke & Burdick 2005; Demmeler & Burdick, 2005; Schröder, 2007; IFEU, 2009; Lagerberg-Fogelberg, & Carlsson-Kanyama, 2006 u. a.) und auf die sich nachfolgend zum Teil bezogen wird.

Wie bereits unter Punkt 2.3 dargestellt, existieren zur Aufstellung von Klimabilanzen einzelner Produkten unterschiedliche Normen und Standards,

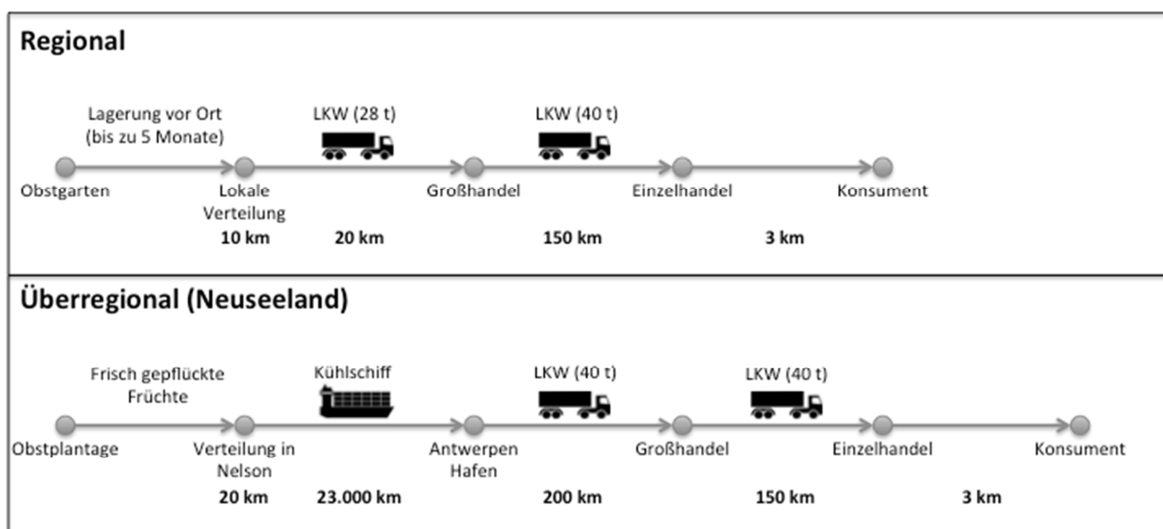
⁹ In Anlehnung an Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

beispielsweise die international anerkannten Normen ISO 14040 ff., PAS 2050. Normen wie die ISO 14040 ff. beinhalten jedoch zum Teil Vorgaben für das Aufstellen einer vollständigen Ökobilanz und betrachten weit mehr Faktoren als den CO₂-Footprint (vgl. Grünberg u.a. 2010: 57). Aus diesen Wahlmöglichkeiten resultiert, dass innerhalb der existierenden Studien kein einheitlicher Standard bezüglich der Berechnung oder der zu inkludierenden Prozessschritte existiert. Vielmehr legt jede Studie eigene Systemgrenzen fest und nutzt unterschiedliche Quellen für nicht selbst erhobene Daten. Hierdurch ergeben sich signifikante Abweichungen der ermittelten Treibhausgas-Emissionen für vergleichbare Produkte über die unterschiedlichen Studien hinweg. Einen detaillierten Überblick über die Ergebnisse mehrerer Studien, aufgeschlüsselt nach Produkten, liefern hierzu Grünberg, Nieberg und Schmidt (2010) auf Seite 57 ff.

Der Ansatz der CO₂-Einsparung durch den Konsum regional erzeugter Güter basiert auf der Überlegung, dass hierdurch die zum Teil sehr weiten Transporte entfallen, was ohne Zweifel zu einer Verminderung von Treibhausgasemissionen führen würden. In der Praxis besitzen die Transporte jedoch nur ein sehr geringer Anteil an den ernährungsbedingten Gesamtemissionen (vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH 2009: 8 ff. sowie Wiegmann 2005: 36). Grünberg, Nieberg und Schmidt geben basierend auf den Untersuchungen von Kjer et al. und Taylor einen Durchschnittswert zwischen 3,8% und 8% an (vgl. Grünberg 2010: 66). Es spielen demnach neben den Transporten andere Faktoren eine signifikantere Rolle. Bereits an dieser Stelle kann somit in Frage gestellt werden, ob der Konsum regionaler Lebensmittel zwangsläufig zu einer wesentlichen Reduzierung des Treibhausgasausstoßes führt.

Eine Reihe an Studien stellt zumindest für einige Produkte Gegenteiliges fest. So sorgte beispielsweise eine Forschungsarbeit von Schlich für Schlagzeilen wie „[...] "Energiebilanz bei Lebensmitteln – warum Apfelsaft aus Übersee mit geringerem Energieaufwand produziert werden kann" (Deutschlandfunk 11.11.2003), "Es darf auch mal exotischer sein! Schluss mit dem schlechten Gewissen beim Einkauf von Waren aus Neuseeland oder Südafrika" (die Tageszeitung, 11.11.2003) oder "Wein aus Chile – der Umwelt zuliebe?" (Süddeutsche Zeitung, 14.11.2003) (vgl. Demmeler u.a. 2005: 1).

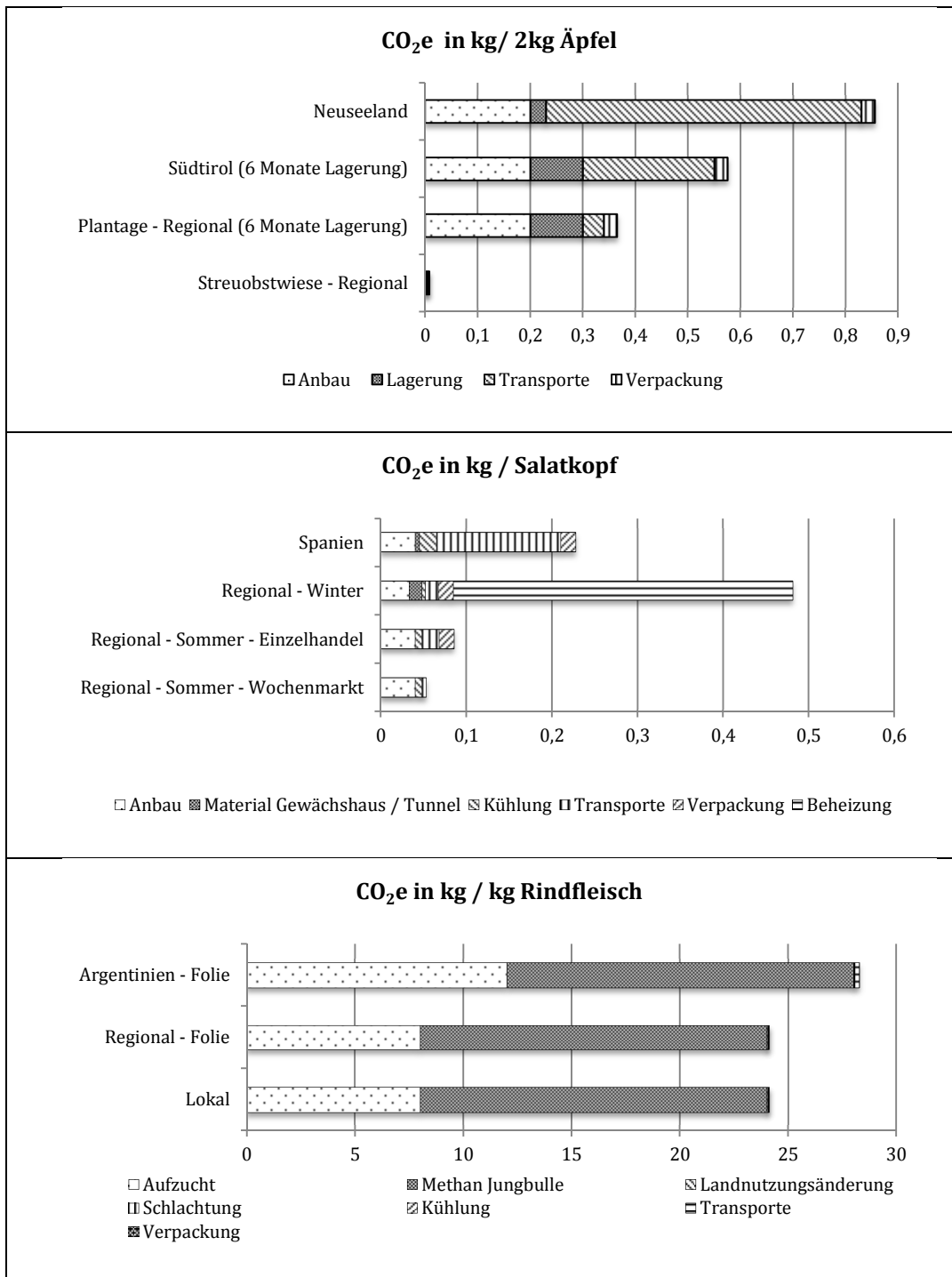
Abbildung 11: Vergleich der Prozessschritte von der Erzeugung bis zum Kunden am Beispiel von Äpfeln

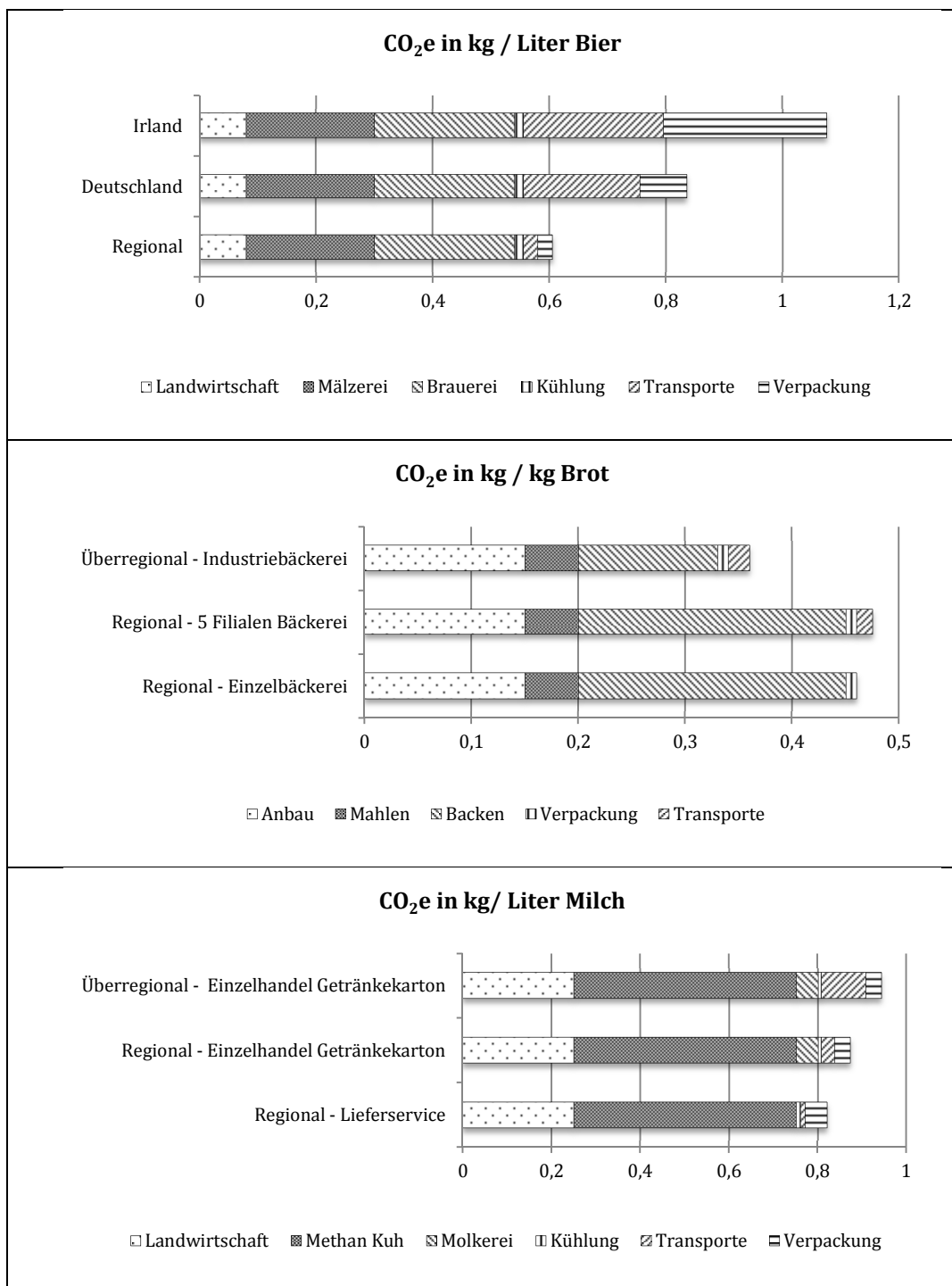


Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Umweltbundesamt(2012: 16 f.).

In der Tat kann der Import selbst „von sehr weit her“ zu einer reduzierten Treibhausgasbelastung führen. Aus der Studie des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2009) geht beispielsweise hervor, dass der Import von Kopfsalat aus Spanien in den Wintermonaten zu einer besseren CO₂e-Bilanz führt als der Verzehr eines deutschen Produktäquivalents. Selbiges gilt für die überregionale Produktion von Brot. Innerhalb der Studie, die im Auftrag der Universität Rostock durchgeführt wurde, wird der komplette Lebenszyklus regionaler und non-regionaler Produkte inklusive aller Input- und Outputflüsse, Nebenprodukte und deren Nutzen sowie Transporte bis zum Endkunden nachvollzogen und die zugehörigen Klimawirkungen bilanziert (vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH 2009: 3 ff.). Die Ergebnisse der Studie werden nachfolgend ohne Berücksichtigung des Einkaufsweges des Endkunden dargestellt (Abbildung 13), da hierauf in Kapitel 3.2.2 separat eingegangen wird.

Abbildung 12 : CO₂-Footprint regionaler und überregionaler Lebensmittel





Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an die Ergebnisse der Studie des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH(2009: 11 ff.).

Die dargestellten Resultate stellen hierbei lediglich individuelle Einzelergebnisse dar, die sich nicht beliebig auf andere Produkte oder spezifische Unternehmen übertragen lassen. Jedoch wird deutlich, dass auch überregionale Produkte zu geringeren Emissionen führen können und dass die Transporte an den Gesamtemissionen einen Anteil besitzen, der so gering ausfällt, dass dieser wie am Beispiel von Kopfsalat und Brot gezeigt zum Teil durch andere Einflussgrößen überkompensiert werden kann. Für Salat ist beispielsweise

ausschlaggebend, dass in Wintermonaten in Deutschland eine Beheizung der Gewächshäuser nötig ist, um Frostschäden zu verhindern (vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH 2009: 16 f.). Der hierbei anfallende hohe Energieaufwand verursacht zusätzliche CO₂e-Emissionen. Brot hingegen kann in überregionalen Großbäckereien deutlich energieeffizienter produziert werden, so dass die zusätzlich anfallenden Transporte aus ökonomischer und ökologischer Sicht lohnenswert sind (vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH 2009: 36 f.).

Weiterhin können dem ökologisch vorteilhaften Konsum von regionalen Gütern die genutzten Transportmittel oder aber auch die Produktivität der eingesetzten Produktionssysteme gegenüberstehen. Gerade in sehr kleinen Betrieben werden oftmals kleine Fahrzeuge zum Transport eingesetzt (vgl. Wiegmann u.a. 2005: 37). Dies führt pro kg transportierter Lebensmittel zu einem deutlich höheren CO₂e-Ausstoß. Darüber hinaus können auch zusätzliche Fahrten anfallen, wenn beispielsweise eine Kühlung der Lebensmittel (z.B. bei saisonal wachsenden Lebensmitteln) nicht beim Erzeuger möglich ist und hierfür externe Kühllager genutzt werden müssen (vgl. TU München Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss, Logistik, Markt und Wirtschaft – Gesellschaft für Marktforschung und Unternehmensberatung, trilogIQam, LogistikHEUTE 2009: 47). Verstärkt wird dies durch eine oftmals sehr viel geringere Auslastung der eingesetzten Transportsysteme (vgl. Wiegmann u.a. 2005: 37). Weiterhin spielt die Produktivität bei der Erzeugung eine weitere wichtige Rolle. Oftmals sind regionale Betriebe verhältnismäßig klein und produzieren als Konsequenz deutlich ineffizienter als überregionale Großbetriebe. Dies hat deutlich höhere Energieaufwendungen pro Outputenheit zur Folge und hiermit in der Regel auch höhere Treibhausgasemissionen (vgl. Schlich und Fleissner 2003: 3 f.).

3.2.2 Bedeutung des Einkaufsweges des Endkunden

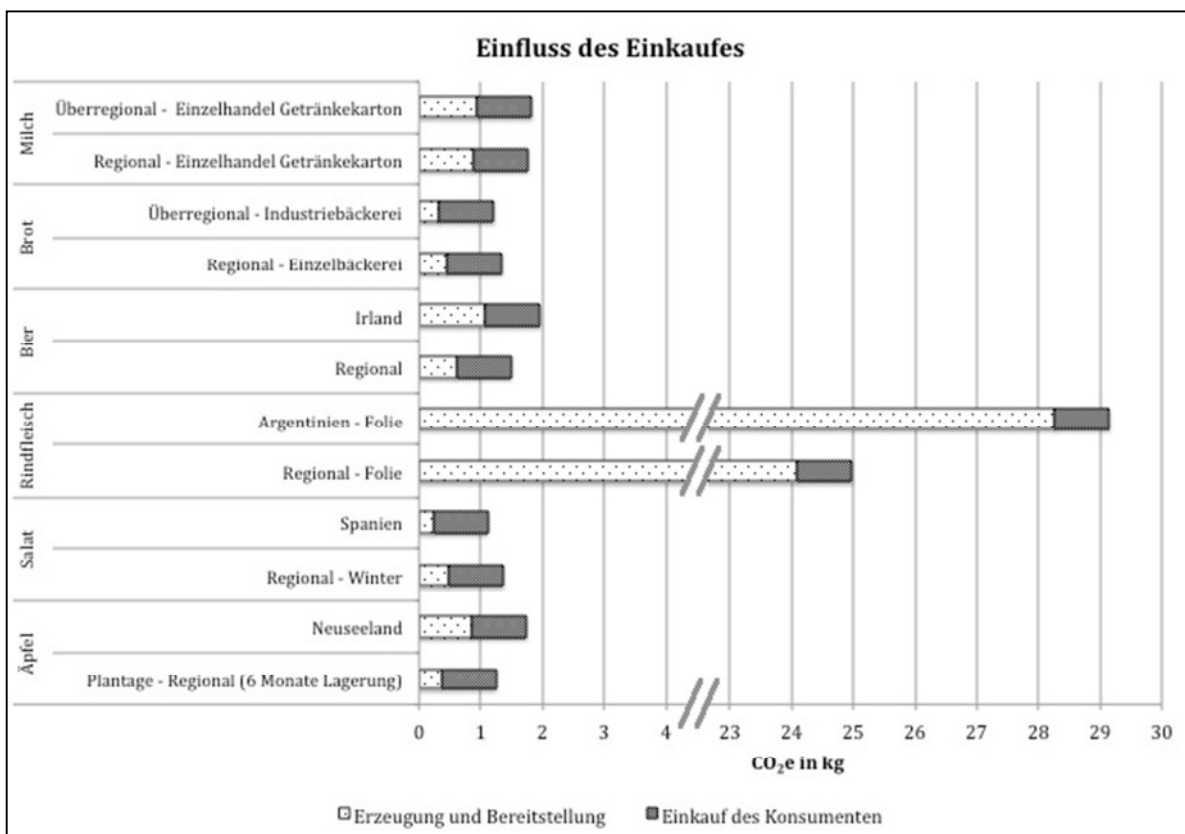
Bisher wurde lediglich der Weg bis hin zum Handel beschrieben. Für den kompletten PCF ist aber auch der Einkaufsweg des Endkunden relevant. Dieser Punkt soll an dieser Stelle gesondert betrachtet werden.

In der Regel erfolgt ein Einkauf mit dem Auto, dem Fahrrad oder zu Fuß. Während der Einkauf mit dem Fahrrad oder zu Fuß emissionsfrei erfolgt, verursacht die Einkaufsfahrt mit dem PKW klimaschädliche CO₂-Emissionen. Der gemittelte Ausstoß von CO₂e beträgt bei neu zugelassenen PKW in Deutschland ca. 147 g/km (Stand 2011). Für ältere Fahrzeuge gelten hier zum Teil deutlich höhere Durchschnittswerte. Bei einer angenommenen Einkaufsstrecke von 6 km (3 km Hin- und 3 km Rückweg) folgt hieraus eine Freisetzung von rund 882 g CO₂e. Die Emissionen für Produktion und Entsorgung des Fahrzeuges werden an dieser Stelle vernachlässigt, da davon ausgegangen werden kann, dass das Fahrzeug bereits im Haushalt vorhanden ist und auch anderweitig verwendet wird. *Abbildung 13* zeigt, welchen Einfluss die Ein-

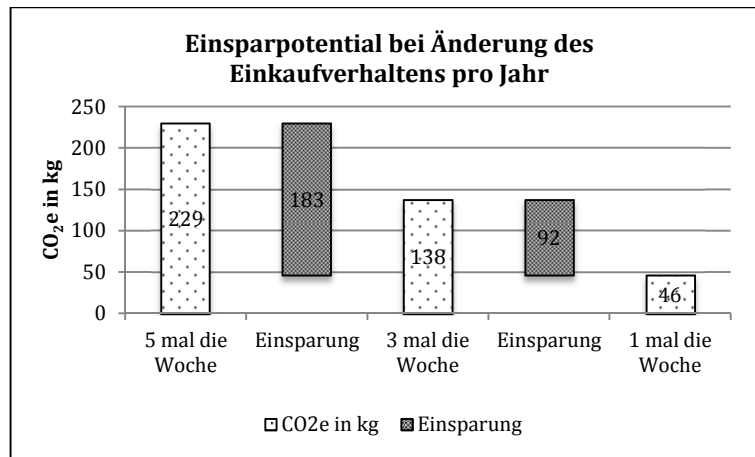
kauffahrt mit dem Auto für ausgewählte Lebensmittel (Mengeinheiten bezogen auf die in 3.2.1 genannten Größen) auf die CO₂-Bilanz der Produkte ausübt.

Zum Teil verursacht der Einkaufsweg des Endverbrauchers eine größere Klimabelastung als die gesamte Vorkette bis zum Einzelhandel. Wenn veraltete Fahrzeuge eingesetzt werden, die einen höheren CO₂-Ausstoß verursachen als das hier betrachtete Neufahrzeug, verstärkt sich dieser Effekt noch. Hieraus lässt sich ableiten, dass ein Zusammenfassen mehrerer kleiner Einkäufe zu geringeren Treibhausgasemissionen führt. Demnach können mit einem großen Wocheneinkauf im Gegensatz zu fünf kleineren Einkäufen pro Woche rund 183 kg CO₂e/Jahr eingespart werden, wie *Abbildung 14* zeigt. Bei einer Reduzierung von drei auf eine Einkaufsfahrt werden immer noch 92 kg CO₂e/Jahr eingespart. Die detaillierte Berechnung der einzelnen Werte ist *Anlage 2* zu entnehmen.

Abbildung 13: Bedeutung des Einkaufsweges des Konsumenten für die CO₂-Klimabilanz von Lebensmitteln



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis der Ergebnisse der Studie des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH(2009: 11 ff.)

Abbildung 14: Einsparpotential durch die Bündelung von Einkäufen

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

Dies zeigt, dass das Einkaufsverhalten des Endkunden eine nicht unerhebliche Rolle spielt. Aus ökologischen Gründen ist es somit unter Umständen zielführender, Einkäufe zu bündeln oder diese mithilfe schadstofffreien Transportformen (zu Fuß, per Fahrrad) zu erledigen, als sich mit der komplexen und nicht immer eindeutigen Thematik des Konsums regionaler Lebensmittel zu befassen.

3.2.3 Bewertung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Konsum regional erzeugter Lebensmittel nicht zwangsläufig zu einer geringeren CO₂-Bilanz führen muss, wie die Beispiele Kopfsalat und Brot und auch weitere Studien für andere Produkte zeigen. Das Gegenteil kann jedoch ebenso wenig bestätigt werden. Vielmehr hängt ein möglicher Klimavorteil regionaler Produkte von einer kaum überschaubaren Anzahl an Einflussgrößen ab. Das oftmals angeführte Argument der geringeren Transportstrecken kann dabei größtenteils entkräftet werden, da die Transporte in den meisten Fällen nur einen sehr geringen Anteil an der produktbezogenen Gesamtemission besitzen. Andere Faktoren, wie beispielsweise die Emissionen von Vorprodukten oder der eingesetzten Fahrzeuge sowie die Größe und Effizienz des Produktionsbetriebes tragen oftmals den größten Teil und sind daher als entscheidende Größen zu betrachten. Aufgrund dieser Umstände kann die Frage, ob sich das regionale Produkt tatsächlich als klimafreundlicher darstellt als das importierte Äquivalent, nie allgemein, sondern allenfalls für ein spezifisches Produkt eines bestimmten Betriebes beantwortet werden.

Es kann jedoch im Normalfall davon ausgegangen werden, dass der Konsum von Gütern, die per Flugzeug importiert werden müssen, um den Verderb der Ware zu verhindern, für eine erhebliche Klimabelastung sorgt, da Flugzeuge einen im Vergleich sehr hohen CO₂-Ausstoß verursachen (vgl. Grünberg

u.a. 2010: 66). Hier lohnt sich der Konsum der regionalen Alternative, sofern verfügbar. Jedoch stellen diese Empfehlungen auch nur Tendenzen dar und sind keinesfalls als allgemeingültig zu betrachten.

Als Nebenergebnis der Untersuchung konnte zusätzlich aufgezeigt werden, dass auch eine Änderung des Einkaufsverhaltens zum Teil signifikante Einsparungen erzielen kann.

3.3 *Verstärkter Einsatz von Elektro- und Hybridantrieben*

In der Automobilindustrie stellen insbesondere Hybridantriebe ein aktuelles Thema und auch ein „Zugpferd“ in der Vermarktung von besonders umweltfreundlichen Fahrzeugen dar. So erreichen selbst Hochleistungssportwagen mit Hybridantrieb aufgrund besonderer, zugelassener Messmethoden einen CO₂-Ausstoß von unter 100 g/km.¹⁰ Elektrofahrzeuge werden oftmals sogar als „Zero-Emission“- Fahrzeuge beworben, wodurch suggeriert wird, dass das Fahren in solchen Fahrzeugen emissionsfrei sei.

Im Bereich des Straßengüterverkehrs spielen solche alternativen Antriebe aktuell keine bedeutende Rolle. Mittlerweile haben einige der LKW- und Kleintransporterhersteller zwar Fahrzeuge mit Elektro- oder Hybridantrieben in ihre Produktpalette aufgenommen oder investieren gegenwärtig in deren Entwicklung, jedoch sind insgesamt lediglich rund 148 LKW mit Hybrid- und 2.389 LKW mit Elektroantrieb über alle Fahrzeugklassen in Deutschland zugelassen. Bei insgesamt knapp 2,6 Mio. zugelassenen LKW kann daher aktuell von keinem signifikanten Einsatz gesprochen werden (vgl. Kraftfahrt Bundesamt 2013: 30).

Nachfolgend soll untersucht werden, ob die alternativen Antriebe von Hybrid- oder Elektrofahrzeugen tatsächlich zu einer Senkung der CO₂e-Emissionen im Güterverkehrssektor beitragen können. Die ökonomischen Nachteile infolge der höheren Anschaffungskosten solcher Fahrzeugmodelle stellen sich aktuell noch immer als gravierend dar (vgl. Shell Deutschland Oil GmbH 2010: 46), sollen bei nachfolgender Betrachtung jedoch nicht berücksichtigt werden, da lediglich eine mögliche ökologische Vorteilhaftigkeit Gegenstand der Untersuchung ist.

3.3.1 *Abgrenzung der betrachteten Fahrzeugklasse*

Die bauartspezifischen Merkmale der Antriebsformen sorgen dafür, dass ein Einsatz grundsätzlich nicht in allen Bereichen sinnvoll erscheint. Insbesondere im Fernverkehr ist der Einsatz von Elektro- oder Hybridfahrzeugen bisher kaum mit Vorteilen, da hier keine großen Einsparungen möglich sind (vgl. Verband der Automobilindustrie 2008: 21).

Transporte im Fernverkehr sind durch lange Fahrtstrecken mit gleichblei-

¹⁰ In Anlehnung an Angaben der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, 2013.

bender und hoher Geschwindigkeit gekennzeichnet. Reine Elektroantriebe bieten hingegen je nach Kapazität der Akkus auf dem heutigen technischen Stand eine Reichweite von rund 120 - 150 km, bevor ein erneutes Aufladen erforderlich ist. Für eine volle Ladung der Akkuzellen muss das Fahrzeug dabei rund 8 Stunden stehen und ist somit in dieser Zeit nicht produktiv (vgl. Iveco Magirus 2012: 4). Auch der Hybridantrieb kann im Fernverkehr sein Potential nicht voll entfalten, da der Elektroantrieb aufgrund der gleichbleibenden Fahrgeschwindigkeit nur selten zum Einsatz kommt und die meiste Zeit lediglich der Verbrennungsmotor die Antriebsenergie liefert. Im Gegenzug dazu reduziert das zusätzliche Gewicht des Akkus und des Elektromotors die mögliche Zuladung und erhöht den Durchschnittsverbrauch.

Folglich ist ein Einsatz der Fahrzeuge grundsätzlich eher im Nahverkehr sinnvoll. Durch das häufige Stoppen und Beschleunigen kann der Hybridantrieb einen signifikanten Teil der benötigten Leistung liefern und somit den Kraftstoffverbrauch um bis zu 20 % reduzieren.¹¹ Aus diesem Grund beschränkt sich der nachfolgende Vergleich lediglich auf Kurzstreckentransporte, die sowohl von Diesel-, Hybrid- und Elektrofahrzeugen abgewickelt werden können. Wie aus Kapitel 2.4 hervorgeht, entspricht die durchschnittliche Transportentfernung bei Straßengütertransporten annähernd der Reichweite von Elektrofahrzeugen, so dass ein Großteil der Transporte theoretisch mit diesen alternativen Antrieben geleistet werden könnte.

Für die Untersuchung wird die Fahrzeugklasse der Transporter (z.B. Mercedes Sprinter, VW Crafter u.ä.) gewählt, die z.B. im Auslieferungsverkehr der Paketdienstleister häufig zum Einsatz kommt. Für deutlich größere Fahrzeuge sind derzeit noch keine Elektrolösungen verfügbar, so dass sich der Vergleich auf die angesprochenen kleineren Fahrzeuge beschränkt. Bei den beispielhaft gewählten Fahrzeugen handelt es sich um Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 3,5 t, die bereits am Markt im Einsatz sind oder sich zumindest in der Erprobung befinden. Stellvertretend für das Dieselfahrzeug wird ein Mercedes Sprinter 316 CDI, für das Hybridfahrzeug der Mercedes Sprinter Hybrid (Vorserien Testfahrzeug) und für das Elektrofahrzeug der Iveco Daily Electric 35s gewählt. Für die weitere Berechnung wird, sofern verfügbar, auf die vorhandenen Daten der Hersteller zurückgegriffen. Nicht zugängliche Daten werden anhand von vergleichbaren Fahrzeugen geschätzt.

¹¹ Vgl. Angaben der Mercedes Benz AG.

Abbildung 15: Gegenüberstellung von Diesel-, Hybrid- und Elektrotransporter

Hersteller	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Iveco
Modell	Sprinter 316 CDI	Sprinter Hybrid	Daily Electric 35s
Antrieb	Dieselaggregat	Dieselaggregat + PlugIn Hybrid	Elektroantrieb
Leistung	120 kW	80 kW (Diesel) + 70kW (Elektro)	60 kW
Tankinhalt	75l	nicht bekannt	-
Akkuart	-	Lithium Ionen	Natrium-Nickelchlorid
Akkukapazität	-	14 kWh	63,6 kWh
Reichweite	900 km	Elektrisch: 30 km insgesamt: ohne Angabe	Elektrisch: 120 km*
Ladungsverlust	-	-	10%
Verbrauch (unbeladen)	8,3 l/100km	7,1 l/100km	nicht bekannt
Verbrauch (beladen)	10,8 l/100km	9,2 l/100km	58,3 kWh/100km
CO ₂ Faktor	3.174 g/l	3.174 g/l	559 g/kWh
Laufleistung in km	200.000	200.000	130.000

* im beladenen Zustand

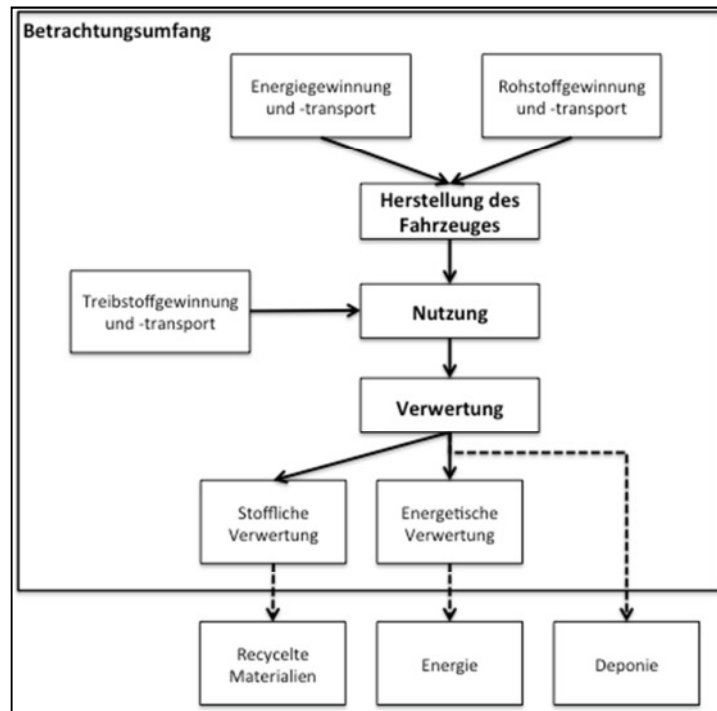
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, in Anlehnung an Mercedes Benz AG, Mercedes Benz AG, a, Kranke (2010: 38); Umweltbundesamt (2012); de Haan & Zah (2013:75) und Iveco Magirus AG (2012).

3.3.2 Diesel-, Elektro- und Hybridfahrzeuge im CO₂-Emissionsvergleich

Für eine Bewertung der mit den Fahrzeugtypen verbundenen CO₂-Emissionen ist eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus notwendig. Anders als vielfach in den Medien und Fahrzeugwerbungen kommuniziert, reicht eine Betrachtung der Emissionen in der Phase der Nutzung allein nicht aus. Unterschiede in der Produktion und Entsorgung der Fahrzeuge beeinflussen die CO₂-Bilanz der Fahrzeuge ebenso und dürfen daher nicht vernachlässigt werden.

Der Lebenszyklus der Fahrzeuge lässt sich grundsätzlich in die drei Phasen Herstellung, Nutzung und Verwertung (zum Teil mit vor- oder nachgelagerten Prozessen) unterscheiden, die allesamt zu einer Emission von CO₂-Äquivalenten führen. Eine Übersicht über den Betrachtungsumfang der nachfolgenden Untersuchung gibt *Abbildung 16*. Die einzelnen Berechnungen der Emissionswerte können innerhalb *Anlage 3* nachvollzogen werden.

Abbildung 16: Systemgrenzen Lebenszyklusbetrachtung des Transporters



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bachner(2011: 41 f.).

Herstellung:

Mit der Produktion der Fahrzeuge entstehen erstmalig Treibhausgasemissionen, die den Fahrzeugen direkt oder indirekt zugerechnet werden können. Hierbei sind nicht nur die direkt durch die Produktion entstehenden Emissionen zu berücksichtigen, sondern ebenso die bei der Bereitstellung der Vorprodukte und Förderung der Rohstoffe entstehenden Emissionen.

Für die Herstellung des Sprinter Dieselfahrzeuges wird von einer Emission von ca. 9,8 t CO₂e ausgegangen (inkl. der Emissionen von Energiegewinnung und –transport sowie Rohstoffgewinnung und –transport) (vgl. Volkswagen AG 2010: 8 ff.).¹²

Die Hybridvariante des Mercedes Sprinters unterscheidet sich von der Dieselfersion durch einen kleineren Verbrennungsmotor und den zusätzlichen Elektromotor sowie Akku. Da hierzu keine präzisen Daten zur Verfügung standen, wird angenommen, dass durch den kleineren Verbrennungsmotor und den zusätzlich vorhandenen Elektromotor in der Produktion ca. 1.000 kg mehr CO₂e freigesetzt werden. Für die Batterie wird zusätzlich ein Ausstoß von 6,0 kg CO₂e/kg Batteriegewicht angesetzt (vgl. de Haan und Zah2013: 33). Aus einer Energiedichte von 100 Wh/kg für Lithium-Ionen Akkumulatoren (vgl.

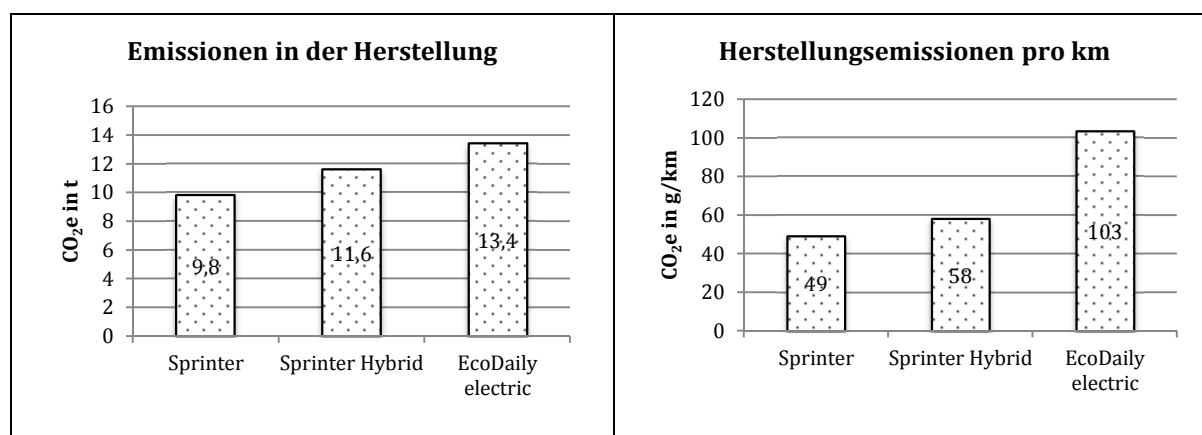
¹² Der VW Transporter emittiert bei der Herstellung 8,4 t CO₂e bei einem Leergewicht von 1.710 kg. Bei einer angenommenen gleichen Materialzusammensetzung des Mercedes Sprinters, der ein Leergewicht von ca. 2.000 kg hat wurde der Emissionswert linear interpoliert.

de Haan und Zah 2013: 31) folgt ein Akkugewicht von ca. 140 kg und damit verbunden ein CO₂-Ausstoß von 840 kg CO₂e. Insgesamt kommt das Hybridfahrzeug demnach auf Emissionen von ca. 11,6 t CO₂e.

Das Elektrofahrzeug von Iveco hingegen kommt ganz ohne Verbrennungsmotor aus. Den Antrieb übernimmt ein Elektromotor mit 60 kW. Es wird davon ausgegangen, dass der Elektromotor zu einer ähnlichen CO₂e-Freisetzung in der Produktion führt, wie das Diesellaggregat des Mercedes Sprinters 316 CDI. Die große Batterie führt jedoch zu einem erheblichen CO₂-Ausstoß. Aus ihrer Kapazität von 63,6 kWh und einer vergleichbaren Energiedichte von 100 Wh/kg resultiert ein Akkugewicht von ca. 636 kg und damit verbunden eine CO₂-Emission in Höhe von 3,8 t CO₂e – unter der Annahme, dass bei der Herstellung einer Natrium-Nickelchlorid Akkuzelle ähnlich viel CO₂e entsteht, wie es bei Lithium-Ionen Akkuzellen der Fall ist. Die Gesamtemissionen der Produktion des Elektrofahrzeugs beträgt somit rund 13,4 t CO₂e.

Setzt man die berechneten CO₂-Gesamtemissionen der Produktion ins Verhältnis zur Laufleistung der Fahrzeuge, so lassen sich die Emissionen pro Kilometer berechnen. So sorgt die Herstellung der Fahrzeuge beim Dieselfahrzeug für Emissionen von 49 g CO₂e/km, beim Hybridfahrzeug für 58 g CO₂e/km und beim Elektrofahrzeug für 103 g CO₂e/km.

Abbildung 17: CO₂e-Emissionen der Transporter-Herstellung nach Fahrzeugtyp



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung, 2013.

Nutzung

Ein Großteil der Emissionen entsteht während der Nutzungsphase. Hierbei sind neben den Treibstoff-/ Energieverbräuchen der Fahrzeuge auch die bei der Bereitstellung der nötigen Energieträger (Dieselkraftstoff oder Strom) entstehenden Emissionen relevant. Für die Verbräuche werden im Rahmen dieser Ausarbeitung die Herstellerangaben verwendet.

Der Mercedes Sprinter weist laut Herstellerangaben einen Verbrauch von

ca. 8,3 l Dieselkraftstoff pro 100 km im unbeladenen Zustand auf.¹³ Für ein beladenes Fahrzeug wird ein durchschnittlicher Mehrverbrauch von 2,5 l/100km angesetzt.¹⁴ Bei einem Verbrauch von 10,8 l/100km entspricht dies einem Verbrauch von 0,108 l/km. In Verbindung mit einer Freisetzung von 3.174 g CO₂e/l Dieselkraftstoff (Verbrennung im Motor und Vorproduktion) (vgl. Kranke 2010: 38) werden so 343 g CO₂e/km emittiert.

Das Hybridmodell des gleichen Fahrzeuges wird laut Hersteller mit einem rund 10%-20% niedrigeren Verbrauch beworben.¹⁵ In diesem Beispiel soll mit einem Mittelwert von 15% gerechnet werden. Es wird daher ein Verbrauch von 9,2 l/100km bzw. 0,092 l/km im beladenen Zustand angesetzt. Mit dem gleichen Umrechnungsfaktor von 3.174 g CO₂e/l entspricht dies einem Treibhausgasausstoß von 292 g CO₂e/km.

Das Elektrofahrzeug Iveco EcoDailyelectric 35s erzielt mit einer Batteriekapazität von 63,6 kWh (3 x 21,2 kWh) laut Herstellerangaben eine Reichweite von 120 km (vgl. Iveco Magirus 2012: 3). Es wird hierbei angenommen, dass zusätzlicher Stromverbrauch durch Fahrzeugkomponente wie Heizungen u.ä. in die Reichweitenangabe bereits einbezogen worden sind. Es lässt sich demnach ein Energieverbrauch von rund 0,53 kWh/km errechnen. Bei der Ladung der Batterie entstehen jedoch zu berücksichtigende Ladeverluste, da ein Teil der zugeführten Energie nicht gespeichert wird und als Abwärme verloren geht. In der Praxis kann von Ladungsverlusten in Höhe von 5 -15 % ausgegangen werden (vgl. de Haan und Zah 2013: 75). Für dieses Beispiel soll ein angenommener Mittelwert von 10 % genutzt werden, so dass eine volle Ladung der Batterie rund 69,9 kWh erfordert. Da bei Elektrofahrzeugen die Emissionen nicht bei der Nutzung des Fahrzeuges entstehen, sondern vorgelagert bei der Stromerzeugung, müssen diese ausdrücklich berücksichtigt werden. Um die CO₂e-Belastung zu errechnen, wird von dem aktuellen deutschen Strom-Mix mit Emissionen von rund 559 g CO₂e/kWh bei der Stromerzeugung ausgegangen.¹⁶ Eine volle Ladung der Batterie verursacht folglich 39,1 kg CO₂e-Ausstoß. Bei einem Energieverbrauch von 0,583 kWh/km resultiert dies in 326 g CO₂e/km ((63,6 kWh Batteriekapazität + 10 % Ladungsverluste)/120 km Reichweite * 559 g CO₂e/kWh Emissionen der Stromerzeugung).

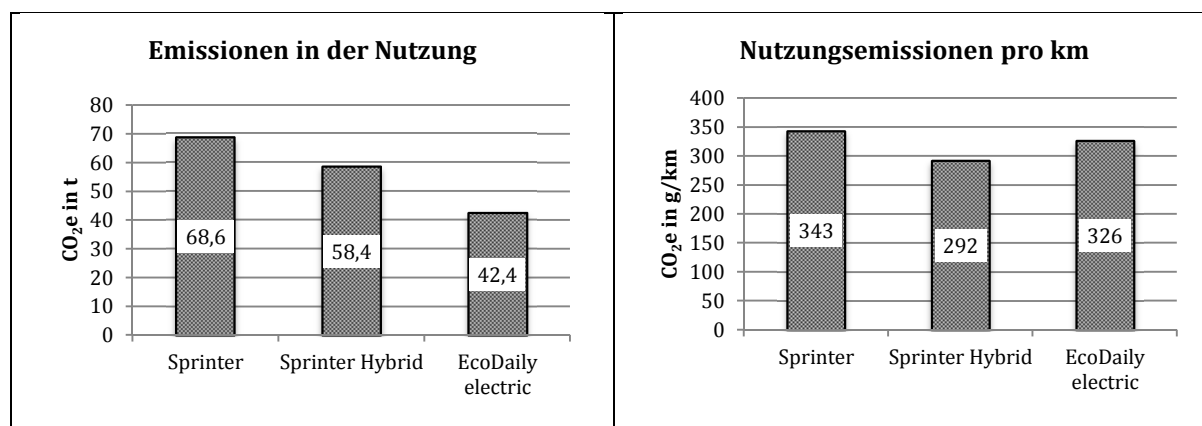
¹³ Vgl. Angaben der Mercedes Benz AG.

¹⁴ Vgl. Realwerte von www.spritmonitor.de

¹⁵ Vgl. Angaben der Mercedes Benz AG.

¹⁶ In Anlehnung an Veröffentlichungen des Umweltbundesamt, 2012.

Abbildung 18: CO₂e-Emissionen der Transporter-Nutzung nach Fahrzeugtyp



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

Entgegen des Images eines sehr umweltfreundlichen Antriebes verursacht der Elektroantrieb in der Nutzung deutlich höhere Emissionen als der Hybridantrieb. Dies hängt jedoch direkt von dem zur Ladung genutzten Strom-Mix ab (vgl. Kapitel 3.3.3). Je höher der Anteil von regenerativen Energieträgern ausfällt bzw. je geringer die mit der Stromerzeugung verbundenen klimaschädlichen Emissionen ausfallen, desto geringer wird der CO₂-Ausstoß in der Nutzung.

Verwertung

Mit der Entsorgung bzw. Verwertung der einzelnen Fahrzeugbestandteile nach Erreichen der maximalen Nutzungsdauer endet der Lebenszyklus der Fahrzeuge. Bei der Demontage und der mechanischen und/oder thermischen Weiterverarbeitung der einzelnen Werkstoffe erfolgt eine direkte oder indirekte Freisetzung von CO₂e. Laut EU Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments muss die Verwertung mindestens 85% des Fahrzeuggewichtes betragen.¹⁷ Die Wiederverwendung recycelter Werkstoffe und die damit verbundene CO₂e-Gutschrift für Folgeprodukte soll im Rahmen dieser Betrachtung aus Komplexitätsgründen nicht berücksichtigt werden.

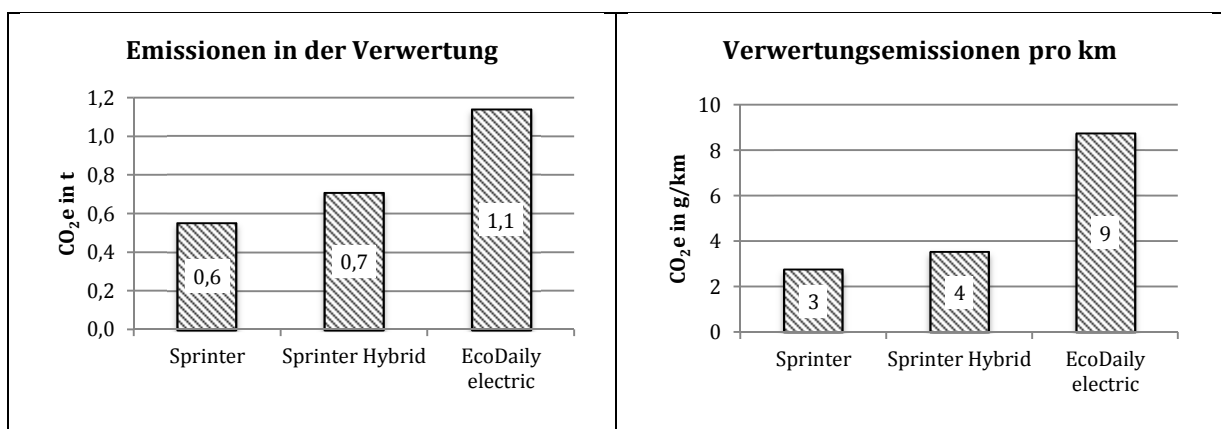
Die Verwertung des Fahrzeuges besitzt den eindeutig kleinsten Anteil am Gesamtlebenszyklus. Laut VW Umweltprädikat für den Transporter entstehen bei der Verwertung weniger als 1 Prozent der Gesamtemissionen des kompletten Lebenszyklus (vgl. Volkswagen AG 2010: 10). Die Magisterarbeit von Gabriel Bachner bestätigt diese Werte (vgl. Bachner 2011: 66). Basierend auf der Untersuchung von Bachner wird angenommen, dass bei der Entsorgung der Akkuzellen der Hybrid- und Elektrofahrzeuge gegenüber dem Dieselfahrzeug zusätzlich CO₂e emittiert wird. Für das Dieselfahrzeug wird für die Ver-

¹⁷ Vgl. Europäisches Parlament, 2000, Artikel 7 (2) b.

wertung ein prozentualer Anteil von 0,7 % an den Gesamtemissionen geschätzt, für das Hybridfahrzeug 1 % und für das Elektrofahrzeug aufgrund des deutlich größeren Akkus 2%. Dies entspricht CO₂e-Emissionen in Höhe von 0,6 t, 0,7 t und 1,1 t für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen.

Es wird zwischen einer stofflichen Verwertung und einer energetischen/thermischen Verwertung unterschieden.¹⁸ Der geringe, nicht verwertbare Anteil, der auf der Deponie entsorgt wird, fällt nicht mehr in den Betrachtungsumfang dieser Arbeit.

Abbildung 19: CO₂e-Emissionen der Transporter-Verwertung nach Fahrzeugtyp



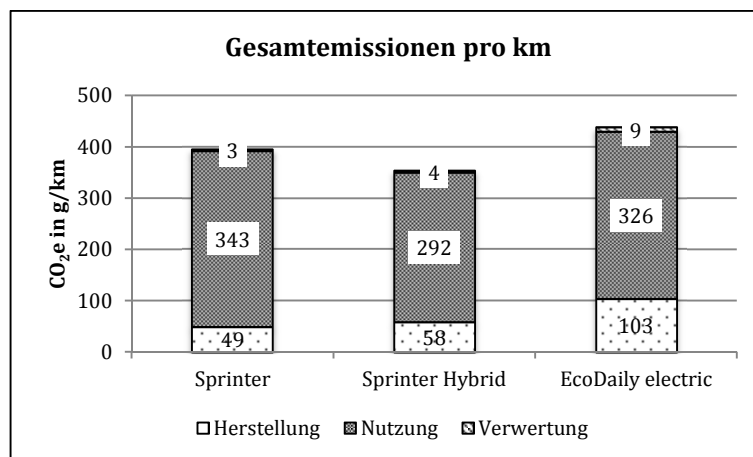
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

In der Addition von Herstellung, Nutzung und Verwertung nimmt das Elektrofahrzeug mit 56,9 t CO₂e die Spitzenposition ein. Dies resultiert jedoch aus der deutlich geringeren Laufleistung des Fahrzeuges von nur 130.000 km. Karosserie und Antrieb können durchaus größere Laufleistungen erreichen, jedoch ist nach ca. 130.000 km oder umgerechnet 1.000 Ladezyklen die Lebenserwartung des Akkumulators erreicht und in der Konsequenz ein Austausch nötig (vgl. Iveco Magirus AG 2012: 5). Hierfür wird von 3,8 t CO₂e-Emissionen für einen Austausch-Akku ausgegangen. Werden diese Emissionen anteilig für 70.000 km berücksichtigt, so dass eine zu Diesel- und Hybridfahrzeugen identische Laufleistung entsteht, so fallen durch den Austausch der Akkumulatoren zusätzlich rund 2 t CO₂e an. Auf eine Laufleistung von 200.000 km heruntergerechnet bedeutet dies rund 10 g CO₂e/km zusätzliche Emission. Die Emissionen in der Herstellung (13,4 t CO₂e) und der Verwertung (1,1 t CO₂e) müssen ebenfalls auf die nun höhere Laufleistung umgelegt werden. So fallen bei einer Laufleistung von 200.000 km rund 67 g CO₂e/km in der Herstellung und 6 g CO₂e/km in der Verwertung an. Die während der Nutzung entstehenden Ausstöße werden unverändert mit 326 g CO₂e/km angegeben. In der Addition der einzelnen Größen entstehen damit rund 409 g

¹⁸ Vgl. Angaben des Umweltbundesamtes, 2010.

CO₂e/km und somit noch immer mehr als bei der Nutzung eines herkömmlichen Dieselantriebs. Daher wird diese Möglichkeit nicht vertiefend betrachtet.

Abbildung 20: CO₂e-Gesamtemissionen der Transporter pro km



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

Bei der Betrachtung der Emissionen pro gefahrenen Kilometer über die gesamte Lebensdauer werden, wie *Abbildung 20* zeigt, mit einem Hybridantrieb ca. 354 g CO₂e/km ausgestoßen. Das konventionelle Fahrzeug mit alleinigem Diesel Verbrennungsmotor emittiert 395 g CO₂e/km und das Fahrzeug mit Elektroantrieb erreicht den Höchstwert von 438 g CO₂e/km.

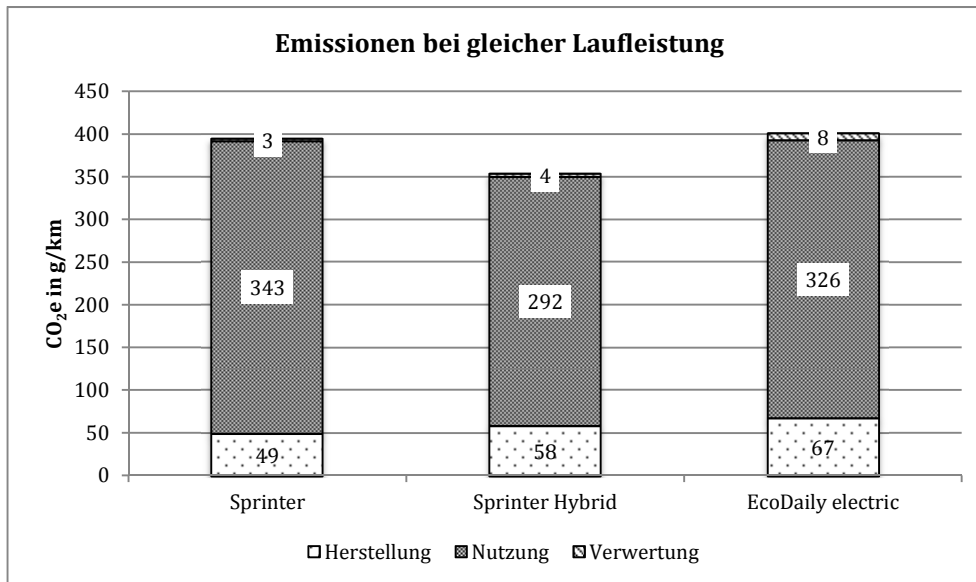
3.3.3 Sensitivitätsanalyse für den Elektroantrieb

Um eine Einschätzung über mögliche ökologische Potentiale des Elektroantriebs geben zu können, sollen nachfolgend zwei Szenarien hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen auf den CO₂e-Ausstoß betrachtet werden.

Angleichen der Nutzungsdauer von Elektrofahrzeugen auf eine Laufleistung von 200.000 km

Unter der Annahme, dass sich die Haltbarkeit der eingesetzten Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen in naher Zukunft erhöhen wird und vergleichbare Laufleistungen zum Diesel- oder Hybridantrieb erreicht werden können, ergibt sich folgende CO₂e-Belastung pro km:

Abbildung 21: *CO₂e-Gesamtemissionen bei einer Angleichung der maximalen Laufleistung des Elektrofahrzeugs*



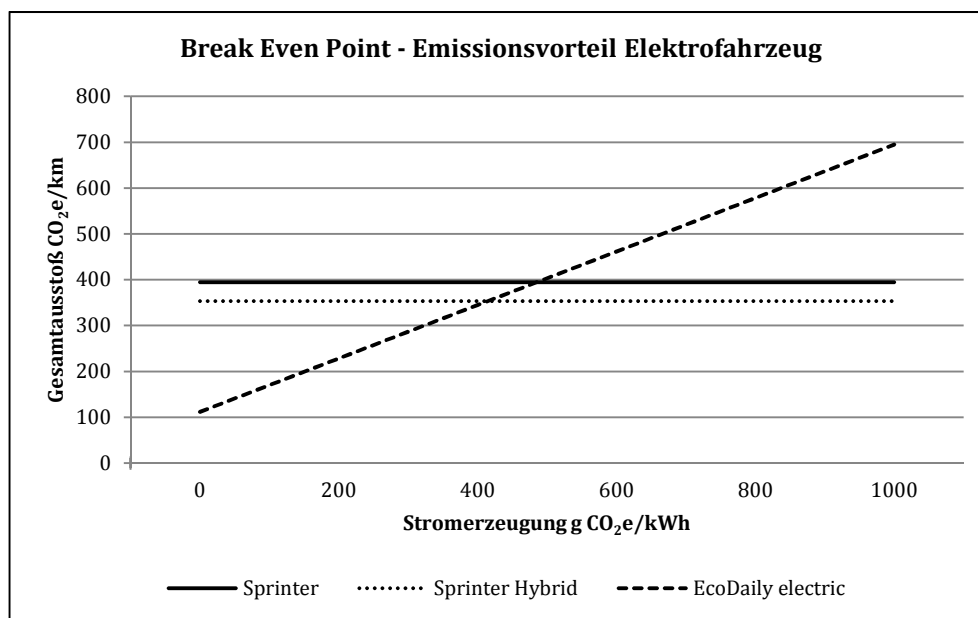
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

Wie ersichtlich, verursacht der Elektroantrieb selbst bei einer vergleichbaren Laufleistung und ansonsten gleichbleibenden Bedingungen zur Ausgangssituation noch die höchsten CO₂e-Belastungen für die Umwelt mit einem Ausstoß von 401 g CO₂e/km (Berechnung siehe *Anlage 4*). Der verhältnismäßig geringe Einfluss einer Erhöhung der Laufleistung resultiert daraus, dass die Emissionen in der Nutzung pro Kilometer, die einen Großteil der Gesamtemissionen ausmachen, von dieser Änderung unbeeinflusst bleiben. Eine höhere Laufleistung als ein Fahrzeug mit Dieselantrieb erscheint unrealistisch und soll an dieser Stelle nicht weiter verfolgt werden. Die alleinige Erhöhung der Lebensdauer der Batterie führt somit nicht zu einem ökologischen Vorteil des Elektrofahrzeuges.

Veränderung des genutzten Strom-Mix

Wie bereits angedeutet, hängen die Emissionen in der Nutzung des Elektrofahrzeuges neben dem Energieverbrauch direkt von der Herkunft des Stroms zum Laden der Akkuzellen ab. Anders als beim Dieselmotorkraftstoff können hier die Emissionswerte für den Energieträger stark schwanken, je nach Zusammensetzung aus fossilen und regenerativen Energieträgern. Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Energiewende hin zu einem größeren Anteil regenerativer und damit weniger CO₂e-intensiver Energieträger soll untersucht werden, wann der Einsatz eines Elektrofahrzeuges unter ökologischen Aspekten sinnvoll wird.

Abbildung 22: Strom-Mix: Break Even Point der ökologischen Vorteilhaftigkeit von Elektrofahrzeugen



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

Bei einer Reduzierung der CO₂-Emissionen pro erzeugter kWh auf 485 g CO₂e (Dieselfahrzeug) bzw. 415 g CO₂e (Hybridfahrzeug) wird unter ansonsten gleichbleibenden Bedingungen der Break Even Point für einen ökologischen Vorteil der Elektrofahrzeuge über Diesel- bzw. Hybridfahrzeuge erreicht (siehe *Anlage 5* und *Anlage 6*). Wird jedoch Strom mit noch geringeren Emissionswerten genutzt, kann der Elektroantrieb deutliche ökologische Vorteile bieten.

3.3.4 Bewertung

Das Elektrofahrzeug kann unter den getroffenen Annahmen und bei einer Ladung mit dem gemittelten deutschem Strom-Mix aktuell keine ökologischen Vorteile zum Diesel- oder Hybridfahrzeug bieten. Die oftmals als „Zero-Emission“ beworbenen Fahrzeuge weisen im direkten Vergleich über den gesamten Lebenszyklus zumindest unter den untersuchten Fahrzeugen den höchsten CO₂-Ausstoß pro Kilometer auf.

Unter der Annahme, dass die Prognose von 409 g CO₂e/kWh Emissionen bis 2020 in der Stromerzeugung erreicht werden (vgl. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung IER, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung RWI, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung ZEW 2010: 107) und bei Vernachlässigung anderer Einflussfaktoren wird der Spritverbrauch der Dieselfahrzeuge auf rund 9,4 l/100km sinken. Dies entspricht einer Effizienzsteigerung von ca. 2%/Jahr. Für die Hybridfahr-

zeuge hingegen müsste sich der Verbrauch von aktuell 9,2 l/100km auf 9,1 l/100km reduzieren (Berechnungen hierzu unter *Anlage 7*). Demnach weist der Hybridantrieb schon heute die Emissionswerte auf, die das Elektrofahrzeug erst mit dem prognostizierten Strom-Mix von 2020 erreicht. Sollte keine herausragende Effizienzsteigerung der Antriebstechnik auftreten, besitzen Elektroantriebe demnach auch in der Zukunft nur begrenzt ökologisches Potential, wenn der gewöhnliche Strom zum Laden der Akkumulatoren verwendet wird. Wird jedoch Ökostrom mit deutlich geringeren Emissionen in der Stromerzeugung verwendet, kann der Elektroantrieb zu deutlichen ökologischen Vorteilen führen. Die Nutzung wird jedoch weiterhin insbesondere durch die Nachteile der hohen Anschaffungskosten, geringerer möglicher Zuladung und geringerer Reichweiten stark eingeschränkt. Interessant ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass während der Nutzung keine direkten Emissionen entstehen. Dies kann z.B. zur Emissionsreduktion (CO₂e, Feinstaub, Lärm, etc.) in Innenstädten beitragen.

Hybridantriebe hingegen bieten schon heute insbesondere im Bereich der Verteilverkehre Potentiale zur CO₂e-Reduktion und können somit als effiziente Alternative zum vorherrschenden Dieselantrieb angesehen werden, da sie ca. 10% weniger klimaschädliches CO₂ pro km emittieren. Nachteile des reinen Elektroantriebes wie geringe Reichweite oder geringe Zuladung durch das Gewicht der schweren Akkus entfallen oder sind vernachlässigbar. Durch die zusätzliche Technik ist jedoch auch ein Hybridfahrzeug noch deutlich teurer in der Anschaffung als ein vergleichbares Dieselfahrzeug und aufgrund der höheren Komplexität auch anfälliger für Reparaturen.

3.4 *Regelmäßige und vorzeitige Erneuerung des Fuhrparks*

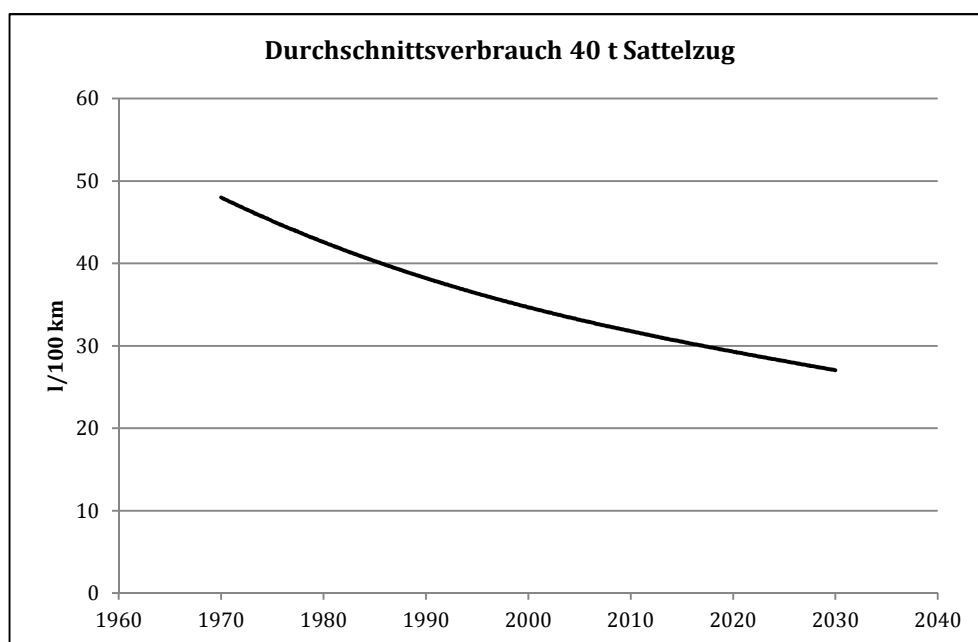
Technische Verbesserungen in der Antriebstechnologie oder Aerodynamik sorgen regelmäßig für verbrauchsärmere Fahrzeuge. Die direkte Kopplung des CO₂-Ausstoßes an den Treibstoffverbrauch lässt hierbei die Überlegung zu, dass möglicherweise das regelmäßige Ersetzen der Fahrzeuge, auch deutlich vor dem Erreichen der angegebenen maximalen Laufleistung, eine Reduzierung der entstehenden Treibhausgase ermöglicht. Diese Überlegung wird zusätzlich durch laufende Emissionsrichtlinien der Regierung forciert, da die jeweils neuesten Fahrzeuge beispielsweise geringere Mautsätze verursachen. Die Politik schafft somit eine Anreizwirkung zum Austausch der Fahrzeuge. Hierbei müssen jedoch neben den Emissionen während der Nutzung auch die Produktion der neuen Fahrzeuge und die Verwertung der Altfahrzeuge berücksichtigt werden. Ob der Minderverbrauch an Treibstoff bei entsprechend hohen Laufleistungen, wie sie im gewerblichen Güterverkehr üblich sind, diese Mehrbelastung überkompensieren kann und somit zu einer Reduktion des Treibhausgasausstoßes führt, soll nachfolgend anhand eines Beispiels überprüft werden.

3.4.1 *Entwicklung des Treibstoffverbrauches*

Effizientere Motoren, verbesserte Aerodynamik und auch die Weiterentwicklung der Reifen führt zu einem sinkenden Treibstoffverbrauch der eingesetzten Fahrzeuge. Dieser wird jedoch durch regelmäßige Abgasemissionsgesetzgebungen zum Teil signifikant negativ beeinflusst, da die hierfür notwendigen technischen Änderungen am Fahrzeug gegenläufig zur möglichen Verbrauchsreduktion wirken. Dennoch konnte seit Ende der sechziger Jahre der Verbrauch im Bereich der 40t – Lastzüge um mehr als 30% reduziert werden (vgl. Verband der Automobilindustrie 2008: S: 8 f.). Auch für die Zukunft ist mit einer ansteigenden Effizienz zu rechnen, die langfristig auch weitere Abgasemissionsbeschränkungen übersteigen wird. So geht eine von dem Verband der Automobilindustrie in Auftrag gegebene Studie von einer zukünftigen Effizienzsteigerung von ca. 0,8% p.a. aus (vgl. PE International AG 2011: 37).

Es wird hierbei davon ausgegangen, dass auch in Zukunft der Dieselantrieb als Antriebstechnik im Straßengüterverkehr dominieren wird und eine kontinuierliche Weiterentwicklung stattfindet. Der abnehmende Grenzertrag innerhalb der Effizienzsteigerung hat zur Folge, dass die absoluten Veränderungen des Durchschnittsverbrauches kleiner werden.

Abbildung 23: *Entwicklung und Prognose des Durchschnittsverbrauchs in l/100km eines 40 t Sattelzug (1967-2030)*



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Verband der Automobilindustrie(2008: 8) sowie PE International AG (2011: 37).

3.4.2 *Ermittlung des optimalen Ersatzzeitpunktes*

Um die ökologischen Auswirkungen einer regelmäßigen Erneuerung des

Fuhrparks aufzuzeigen, wird als Beispiel eine Sattelzugmaschine für einen 40 t Lastzug mit Dieselantrieb gewählt, der im Jahre 2013 in den Dienst genommen wurde. Für diese wird eine durchschnittliche Laufleistung von 125.000 km pro Jahr angenommen. Der Verbrauch errechnet sich anhand des Basiswertes von durchschnittlich 31 l Diesel/100 km¹⁹ im Jahre 2013 und der bereits genannten jährlichen Effizienzsteigerung von 0,8 %. Als Emissionswert wird der bereits bekannte Wert von 3,174 kg CO₂e/l Diesel zugrunde gelegt. Für die Sattelzugmaschine wird weiterhin von einem Leergewicht von 8,7 t ausgegangen.²⁰ Hieraus lassen sich entsprechend die nötigen Aufwendungen für die Produktion und Verwertung ableiten. Diese werden mit 35 t CO₂e für die Produktion bzw. 3 t CO₂e für die Verwertung, bezogen auf das Basisjahr Jahr 2013, festgesetzt.²¹ Es wird weiterhin von einer Effizienzsteigerung und damit verbundenen Emissionsreduzierungen in den Bereichen Produktion und Verwertung von 0,5% pro Jahr ausgegangen. Mögliche Einsparpotentiale durch die Verwendung verwerteter Materialien bei der Sattelzugmaschinenproduktion bleiben unberücksichtigt.

Für die Berechnung des Treibhausgasausstoßes wird zwischen folgenden Szenarien unterschieden:

- Ersetzen der Sattelzugmaschine nach ca. 2,0 Mio. km
- Ersetzen der Sattelzugmaschine nach ca. 1,5 Mio. km
- Ersetzen der Sattelzugmaschine nach ca. 1,0 Mio. km
- Ersetzen der Sattelzugmaschine nach ca. 0,75 Mio. km
- Ersetzen der Sattelzugmaschine nach ca. 0,5 Mio. km
- Ersetzen der Sattelzugmaschine nach ca. 0,25 Mio. km

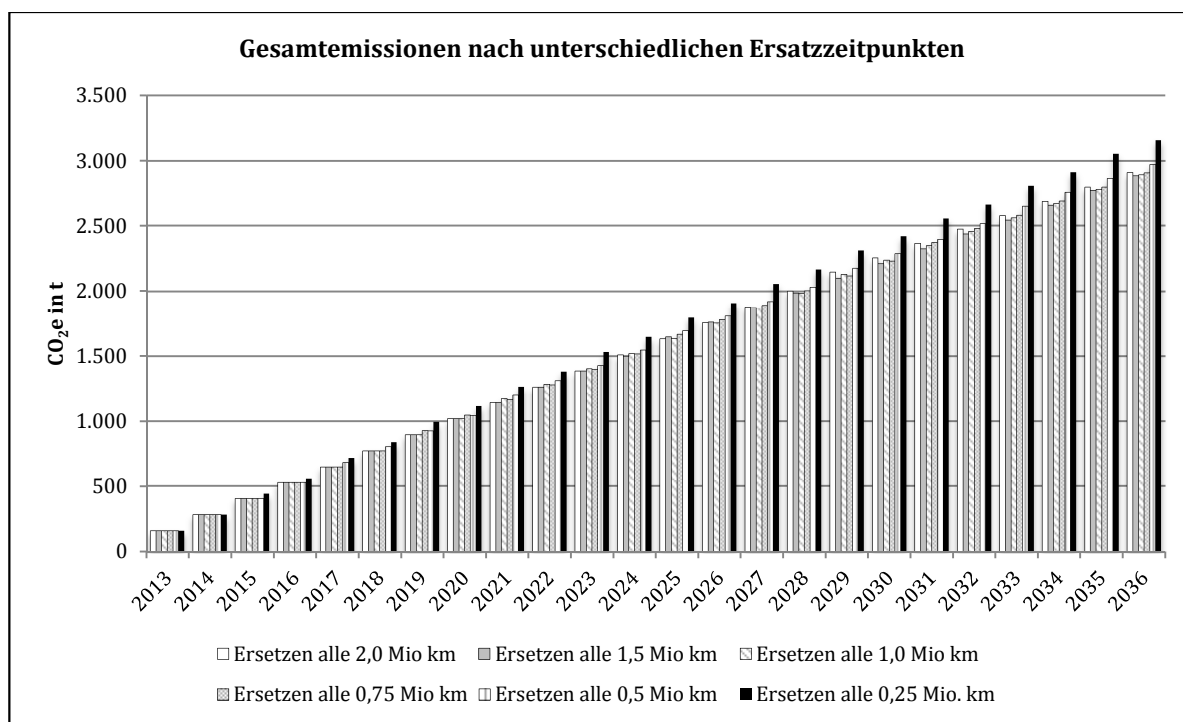
Hierbei stellt die Option 1 mit einem Austausch nach ca. 2,0 Mio. km lediglich einen Vergleichswert dar. Von den Herstellern werden je nach Motorisierung bis zu 1,5 Mio. km Laufleistung genannt (vgl. MAN Truck & Bus AG 2011: 18). Es wird daher von einer standardmäßigen Laufleistung zwischen 1,0 und 1,5 Mio. km ausgegangen. Somit stellen die Optionen 4-6 eine Reduzierung des Austauschintervalls dar und werden auf ihre Zweckdienlichkeit hin untersucht.

¹⁹ Vgl. Angaben des Verbandes der Automobilindustrie sowie Realwerte von www.spritmonitor.de.

²⁰ In Anlehnung an Angaben der Mercedes Benz AG.

²¹ Basierend auf der Angabe von VW von 8,4 t CO₂e für die Produktion eines 1,71 t schweren Transporters erfolgt eine Hochrechnung auf Basis des Leergewichts von 8,7 t. Dieser errechnete Wert wird um geschätzte positive Skaleneffekte von 42,7 auf 35 vermindert. Der Wert von 3 t CO₂e für die Entsorgung stellt einen Schätzwert dar.

Abbildung 24: CO₂e-Gesamtemissionen eines 40 t Sattelzug in Abhängigkeit der Erneuerungsintervalle



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, 2013.

Es wird dabei als Ersatzzeitpunkt jeweils das Jahresende gewählt und davon ausgegangen, dass ein aktuelles Fahrzeug verfügbar ist, welches die jeweils möglichen Einsparpotentiale voll ausschöpft. Es wird für alle betrachteten Szenarien ein Austausch der Auflieger nach der üblichen Nutzungsdauer angenommen, so dass dieser keinen Einfluss auf das Rechenbeispiel hat. Bei einer Betrachtung des Zeitraumes über eine Gesamtleistung von rund 3.000.000 km/ 24 Jahre ergibt sich hierbei folgendes Bild (detaillierte Berechnung unter *Anlage 8*):

Wie ersichtlich liegen die Ergebnisse auch nach einer Laufleistung von 3 Millionen Kilometern zum Großteil noch relativ dicht beieinander.

- Ersetzen nach ca. 2,0 Mio. km: 2.911 t CO₂e
- Ersetzen nach ca. 1,5 Mio. km: 2.888 t CO₂e
- Ersetzen nach ca. 1,0 Mio. km: 2.893 t CO₂e
- Ersetzen nach ca. 0,75 Mio. km: 2.909 t CO₂e
- Ersetzen nach ca. 0,5 Mio. km: 2.972 t CO₂e
- Ersetzen nach ca. 0,25 Mio. km: 3.157 t CO₂e

Die Extremvarianten einer sehr kurzen bzw. sehr langen Nutzungsdauer bieten demnach keine Vorteile und fallen im Gegensatz zu einer „normalen“ Nutzungsdauer von 1 – 1,5 Mio. km ab. Wird der LKW bereits nach rund 250.000 km ersetzt, was unter den getroffenen Annahmen einer Nutzungsdauer von 2 Jahren entsprechen würde, so beträgt in diesem Fall die Abweichung rund

10% zu einem Ersatz zwischen 1,0 und 1,5 Mio. km. Pro Jahr würde somit durch ein Fahrzeugtausch in diesen extrem kurzen Intervallen ein Mehr an Emissionen von ca. 11,1 t pro Fahrzeug entstehen. Die möglichen Einsparungen durch verbrauchsärmere Fahrzeuge können den Mehraufwand für Produktion und Verwertung der Fahrzeuge nicht kompensieren. Der ökologisch günstigste Effekt ist demnach bei einem Austausch der des Fahrzeugs nach ca. 1 – 1,5 Mio. km zu erzielen.

Damit ein Austausch der Fahrzeuge bereits nach 500.000 km die größten positiven ökologischen Effekte unter ansonsten gleichbleibenden Bedingungen erzielt, müsste sich der Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge pro Jahr um ca. 15 % reduzieren.

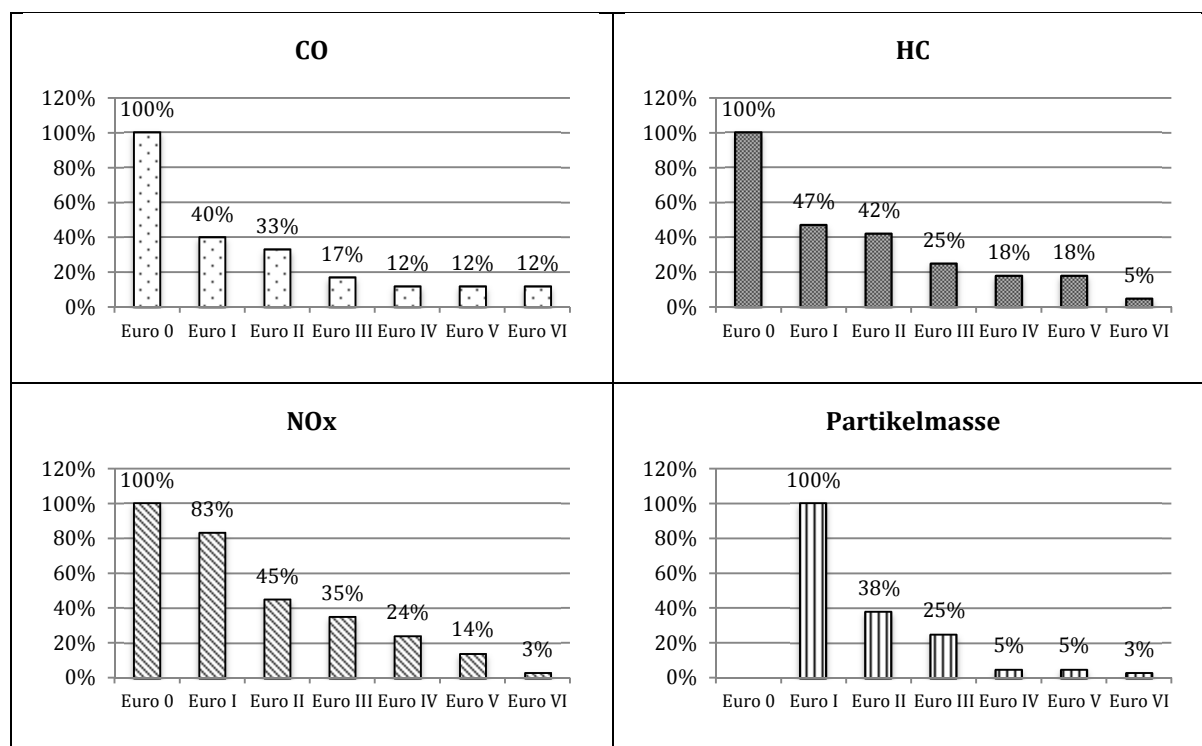
3.4.3 Bewertung

Wie die vorangehende Beispielsberechnung zeigt, führt eine Verkleinerung der Intervalle zum Austausch der Fahrzeuge zu keiner Verringerung der Gesamtemissionen, sondern lässt diese unter den getroffenen Annahmen sogar deutlich ansteigen.

Lohnenswert wird eine vorzeitige Erneuerung der Fahrzeuge unter ökologischen Aspekten nur dann, wenn neue Technologien zu einer deutlich größeren Verringerung des Treibstoffbedarfes führen, als in diesem Szenario angenommen wurde. In der Praxis können für die ökologische Attraktivität neuer Fahrzeuge darüber hinaus noch weitere Faktoren eine Rolle spielen. Insbesondere der Schadstoffausstoß von Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Stickstoffoxiden (NO_x), Feinstaub (Partikelmasse) u.ä. wird laufend durch die Hersteller als Reaktion auf neue Richtlinien (z.B. EURO Abgasnormen) aus der Politik minimiert. Da dies nicht Bestandteil der Untersuchung ist, soll darauf jedoch nicht vertiefend eingegangen werden.

Unabhängig davon kann zunehmender Reparaturaufwand gegen Ende des Lebenszyklus eine vorzeitige Erneuerung der Fahrzeuge erfordern. Die potentiellen, durch die Wartung und Reparatur anfallenden Emissionen wurden jedoch an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Abbildung 25: Entwicklung der Grenzwerte für Schadstoffemissionen der EURO-Abgasnormen



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Verband der Automobilindustrie(2008: 7).

Zusammenfassend kann unter getroffenen Annahmen ein vorzeitiges Ersetzen der Fahrzeuge nach 250.000 km/2 Jahren, 500.000 km/4 Jahren oder 750.000 km/6 Jahren als kontraproduktive Maßnahme zur Reduktion der Treibhausgasemissionen angesehen werden. Der Anreizwirkung seine Fahrzeuge im Rahmen der EURO-Abgasnormen, die bisher in vier- bis fünfjährigen Abständen erschienen sind,²² zu erneuern, sollte demnach nicht gefolgt werden. Das zugrunde gelegte Rechenmodell hat dabei nicht den Anspruch auf eine vollständige Abbildung der Realität, kann aber aufzeigen, dass unter den getroffenen realitätsnahen Annahmen eine Nutzung der Fahrzeuge bis zur vom Hersteller angegebenen Laufleistung den größten positiven Nutzen auf den CO₂-Ausstoß ausübt. Verkürzte Zyklen zur Erneuerung der LKW können daher unter den getroffenen Annahmen als tendenziell ineffiziente Möglichkeit zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes bezeichnet werden. Verändern sich jedoch die Parameter, z.B. höhere Effizienzsteigerungen in der Produktion und Verwertung oder ein deutlich reduzierter Treibstoffverbrauch, so kann ein früherer Austausch der Fahrzeuge sinnvoll werden. Damit ein Austausch nach beispielsweise 500.000 km unter ökologischen Aspekten sinnvoll wird, müssen sich die Einflussgrößen aber deutlich stärker ändern, als für die Zukunft prognostiziert.

²² Vgl. Angaben des Umweltbundesamtes 2012.

4 Resümee

Dass die Logistik ihren Beitrag zur Reduzierung der weltweiten Treibhausgasemissionen leisten muss, ist kaum zu bestreiten. Politik und Wirtschaft stehen hierbei jedoch keiner leichten Aufgabe gegenüber, denn ein wachsendes Transportaufkommen sorgt dafür, dass strukturelle oder technologische Maßnahmen in der Transportlogistik zur Reduktion der Treibhausgase noch effizienter werden müssen, um die CO₂-Gesamtbelastung tatsächlich nennenswert zu reduzieren. Insbesondere der im Vergleich zur Bahn oder Binnenschifffahrt deutlich klimaschädlichere Straßengüterverkehr mit seinem kontinuierlich gewachsenen Anteil an der Gesamtverkehrsleistung sorgt für einen Großteil der Emissionen und ist daher Ausgangspunkt vieler Bestrebungen zur Reduktion eben dieser.

Das Kernziel der Arbeit bestand in der Überprüfung der tatsächlichen Wirkung der vielfältigen Ansätze von Politik und Wirtschaft zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Zu diesem Zweck wurden vier Beispiele ausgewählt, die anhand umfangreicher Literaturrecherchen sowie eigener Berechnungen auf ihre Effizienz zur Emissionsminderung überprüft wurden.

Zusammenfassend kann die in der Einleitung aufgestellte These, dass die Maßnahmen oftmals weitaus weniger zur Reduzierung der CO₂-Emission beitragen als behauptet, zumindest für die untersuchten Maßnahmen als weitestgehend bestätigt angesehen werden. Die Ergebnisse müssen jedoch differenziert betrachtet werden.

Eine **Verlagerungsfunktion der LKW-Maut** konnte trotz Erhöhung und Ausweitung nicht bestätigt werden. Anders als sich vielleicht vermuten ließe, findet jedoch kein systematisches Umgehen der Maut statt. Vielmehr wird die Verlagerungsfunktion aus anderen Gründen gehemmt. Festzustellen ist, dass ein Ausweichen auf die ökologisch sinnvolleren Verkehrsträger Bahn und Binnenschiff und die damit angestrebte Reduzierung der CO₂-Emissionen oftmals daran scheitert, dass die nötige Infrastrukturdichte gerade bei kürzeren Transporten fehlt. Weiterhin können weder Bahn noch Binnenschiff derartig flexibel und schnell agieren wie der LKW, was angesichts der heutigen Marktsituation oftmals unabdingbar ist. Abgeschwächt wird die Verlagerungswirkung zusätzlich dadurch, dass die Maut auf die Transportarten, die hauptsächlich durch den LKW übernommen werden, einen geringen Einfluss auf die Gesamtkosten ausübt. Die aufgestellte These kann somit für die ökologische Funktion der LKW-Maut bestätigt werden. Da kein deutlicher Verlagerungseffekt auftritt, sorgt die Maut auch nicht für eine effiziente Reduzierung der CO₂-Emissionen.

Durch den **Konsum lokal erzeugter Lebensmittel** können zwar Transporte vermieden oder verringert werden, jedoch muss hierdurch nicht zwangsläufig die in Gänze betrachtete CO₂-Bilanz der Produkte geringer ausfallen. Es konnte gezeigt werden, dass Produktivitätsvorteile in der Erzeugung und der gerin-

ge Anteil der Transporte an der Gesamtemission pro Lebensmitteleinheit unter Umständen dafür sorgen, dass importierte Güter zum Teil ökologisch sinnvoller sind. Andererseits wurde festgestellt, dass der Konsum bestimmter regionaler Güter zu geringeren Emissionen führen kann. Für den Endkunden ist aufgrund der vielen Einflussfaktoren jedoch kaum nachvollziehbar, bei welchem Produkt sich der Griff zum regionalen Erzeugnis lohnt. Die aufgestellte These, dass die innerhalb der Arbeit untersuchten Ansätze weit weniger zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen als weitläufig angenommen, kann für den Konsum regionaler Lebensmittel daher weder bestätigt noch widerlegt werden.

Der **Einsatz alternativer Antriebsarten** im Straßengüterverkehr, speziell im Bereich der Transporter, kommt zu einem unerwarteten Ergebnis. Der reine Elektroantrieb sorgt hier über die Gesamtlebensdauer des Fahrzeuges für die höchste Klimabelastung pro Kilometer, zumindest dann, wenn die Batterien mit dem durchschnittlichen deutschen Strom-Mix geladen werden. Dies steht im deutlichen Kontrast zu dem sauberen Image, mit dem Elektrofahrzeuge in der Wirtschaft und Politik beworben werden. Wird jedoch Strom mit einem hohen Anteil an regenerativer Energie genutzt, so kann der Elektroantrieb vorteilhaft werden. Für den Hybridantrieb konnten schon heute Vorteile zum reinen Dieselantrieb festgestellt werden. Die These, dass die Maßnahmen zur CO₂-Reduktion eine geringe Effizienz besitzen, lässt sich für den Einsatz von Hybrid- und Elektroantriebe daher nicht uneingeschränkt bestätigen. Unter den getroffenen Annahmen und Bedingungen bietet der Hybridantrieb in jedem Fall große, ökologische Vorteile zum Dieselantrieb und kann als effizienter CO₂-Reduktionsansatz verstanden werden. Das Elektrofahrzeug muss hingegen mit Strom aus bestimmten Quellen geladen werden, um ökologische Vorteile zu bieten. Diese können jedoch, je nach Emissionen der Stromerzeugung signifikant sein und auch zur effizienten Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen.

Das **Ersetzen der Fahrzeuge in kürzeren Intervallen** führt zu einer Steigerung der CO₂e-Emissionen. Dadurch, dass den potentiellen ökologischen Vorteilen in der Nutzung von neuen Fahrzeugen die zusätzlichen Aufwendungen für die Produktion und Verwertung der Fahrzeuge gegenübergestellt werden müssen, kommt es in der Gesamtrechnung zu einer höheren Klimabelastung durch den vorzeitigen Austausch der LKW. Die Verbrauchsvorteile können die zusätzlichen Aufwendungen für die Verwertung der alten Fahrzeuge und Produktion der neuen Fahrzeuge nicht kompensieren. Das regelmäßige Zurückgreifen auf die jeweils technologisch neusten und emissionsärmsten Fahrzeuge ist demnach nicht nur ineffizient, sondern sorgt sogar für einen erhöhten CO₂-Ausstoß. Die in der Einleitung aufgestellte These kann daher für diese Maßnahme voll bestätigt werden. Im Rahmen des Fuhrpark-Managements lohnt es sich folglich, die Fahrzeuge bis zu ihrer angegebenen Laufleistung zu nutzen und nicht schon vorzeitig durch neue Fahrzeuge zu er-

setzen.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Maßnahmen zeigen deutlich, dass es sinnvoll ist, sich mit der Thematik tiefer zu befassen. Nicht alle betrachteten Maßnahmen tragen tatsächlich zu einer signifikanten Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei. Der vorzeitige Austausch von LKW führt gar zu einer erhöhten Klimabelastung. Der Einsatz alternativer Antriebstechniken bietet hingegen zum Teil große Vorteile. Um jedoch trotz des wachsenden Transportaufkommens eine Reduktion des CO₂-Gesamtausstoßes zu ermöglichen, bedarf es wohl in allen Bereichen weiterer Effizienzsteigerungen. Die Reduktion der Emissionen in der Transportlogistik bleibt daher weiterhin eine anspruchsvolle Aufgabe für alle Beteiligten.

Literaturverzeichnis

- Bachner, G.** (2011): Magisterarbeit - Eine vergleichende Treibhausgas-Lebenszyklusanalyse von Automobilen mit elektrischem Antrieb und Verbrennungskraftmaschine mit einer Anwendung in der Verkehrspolitik. Abgerufen am 13.05.2013 von https://online.unigraz.at/kfu_online/wbLdb2.downloadDocument?pLstNr=282089&pLstSchichtNr=8490089&pDocStoreNr=323580.
- Blanke, M. M./ Burdick, B.** (2005): Food (miles) for Thought - Energy Balance for Locally-grown versus Imported Apple Fruit. in: Environmental Science and Pollution Research, 12 (3), S. 125 -127. Abgerufen am 13.06.2013 von <ftp://ftp.fao.org/paia/organicag/ofs/FoodMiles-Thought.pdf>.
- Bretzke, W.-R./Barkawi, K.** (2012): Nachhaltige Logistik (2. Auflage), Berlin Heidelberg.
- Bundesamt für Güterverkehr** (2012): Mautstatistik Jahrestabellen 2012. Abgerufen am 07.05.2013 von http://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Lkw-Maut/Jahrestab_12_11.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** (kein Datum): Essen und Klimaschutz. Abgerufen am 14.05.2013 von <http://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen/produkte-und-umwelt/produktbereiche/lebensmittel/>.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** (2012): Produktbezogene Klimaschutzstrategien – ProductCarbonFootprint verstehen und nutzen. Abgerufen am 12.05.2013 von http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/KS_Strategien_barierefrei.pdf.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** (2010): Strategie „Europa 2020“. Abgerufen am 09.05.2013 von <http://www.bmu.de/themen/europa-international/europa-und-umwelt/europa-2020/>.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit** (2002): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Abgerufen am 08.05.2013 von <http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/protodt.pdf>.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung** (kein Datum a): Lkw-Maut: innovativ, ökologisch und gerecht. Abgerufen am 05.05.2013 von <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/lkw-maut-innovativ-oekologisch-und-gerecht.html>.

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung** (kein Datum b): Lkw-Maut auf Bundesfernstraßen wird zum 1. August 2012 auf vier- und mehrstreifigen Bundesstraßen erhoben. Abgerufen am 10.05.2013 von <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/lkw-maut-bundesstrassen.html>.
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V.** (2012): BGL Jahresbericht 2011. Abgerufen am 30.05.2013 von <http://www.bgl-ev.de/images/downloads/ueber/jahresbericht/bgl-jahresbericht.pdf>.
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V.** (2011): Modal-Split im Güterverkehr 1950-2010 nach Tonnenkilometern. Abgerufen am 14.05.2013 von http://www.bgl-ev.de/images/daten/verkehr/modalsplitkm_tabelle.pdf.
- de Haan, P./Zah, R.** (2013): Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz (1. Auflage), Zürich.
- Demmeler, M./Burdick, B.** (2005): Energiebilanz von regionalen Lebensmitteln. In AgrarBündnis (Hrsg.), in: Der kritische Agrarbericht 2005 (S. 182 – 188), Hamm.
- Demmeler, M./Heißenhuber, A./ Jungbluth, N./Burdick, B./ Gensch, C.-O.** (2005): Ökologische Bilanzen von Lebensmitteln aus der Region – Diskussion der Ergebnisse einer Forschungsstudie. Abgerufen am 27.05.2013 von <http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/demmeler-2005-natur+landschaft.pdf>.
- Destatis - Statistisches Bundesamt** (kein Datum a): Verkehrsmittelbestand und Infrastruktur. Abgerufen am 14.05.2013 von <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/UnternehmenInfrastrukturFahrzeugbestand/Tabellen/Verkehrsinfrastruktur.html>.
- Destatis – Statistisches Bundesamt** (kein Datum b): Verkehrsleistung. Abgerufen am 14.05.2013 von <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/Gueterbefoerderung.html>.
- Deutscher Bundestag** (2013): Bericht über Verkehrsverlagerungen auf das nachgeordnete Straßennetz in Folge der Einführung der Lkw-Maut. Abgerufen am 07.05.2013 von <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/120/1712028.pdf>.
- Deutsches Institut für Normung e.V.** (2012): Berechnung von Treibhausgasen in der Logistik. Abgerufen am 12.05.2013 von <http://www.din.de/cmd?level=tpl-artikel&bcrumblevel=1&cmstextid=176656&languageid=de>.
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin** (2011): Verkehr in Zahlen 2010/2011 (1. Auflage). (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hrsg.), Hamburg.
- Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG** (2013): 918 Spyder – Performance und Effizienz in einzigartiger Kombination. Abgerufen am 06.06.2013 von <http://www.porsche.com/germany/aboutporsche/pressreleases/?pool=germany&id=2013-05-16>.
- DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V.** (2013): Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258. Abgerufen am 12.05.2013 von <http://www.spediteure.de/de/binary/1529/1575/page/download.xml>.
- Europäisches Parlament** (2000): Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. Abgerufen am 15.04.2013 von <http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/altfahrzeugeurichtlinie.pdf>.
- Fiedler, K.** (2010): Green Logistics – Logistikunternehmen im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie (1. Auflage). Saarbrücken: VDM Verlag.
- Fraunhofer ATL unter Mitwirkung von KPMG** (2008): Wirtschaftliche Rahmenbedingungen des Güterverkehrs – Studie zum Vergleich der Verkehrsträger im Rahmen des

- Logistikprozesses in Deutschland. Abgerufen am 07.06.2013 von http://www.kpmg.de/docs/Wirtschaftliche_Rahmenbedingungen_des_Gueterverkehrs.pdf
- Grünberg, J./ Nieberg, H./ Schmidt, T. G.** (2010): Treibhausgasbilanzierung von Lebensmitteln (CarbonFootprints): Überblick und kritische Reflektion. (J. H. Thünen-Institut, Hrsg.), in: *Landbauforschung vTIAgricultureandForestry Research* (60), S. 53-72.
- ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH** (2009): Ökologische Optimierung regional erzeugter Lebensmittel: Energie□ und Klimagasbilanzen. Abgerufen am 07.06.2013 von http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/Langfassung_Lebensmittel_IFEU_2009.pdf.
- Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart** (2011): Praxisleitfaden zur IHK-Studie „Grüne Logistik“ - Umsetzungsbeispiele und Handlungsempfehlungen aus der Praxis. Abgerufen am 02.06.2013 von http://www.stuttgart.ihk24.de/linkableblob/1640710/2./data/Praxisleitfaden_Gruene_Logistik-data.pdf.
- Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart** (2011 a): Grüne Logistik - Ein Gewinn für Verlagerer und Logistikdienstleister. Abgerufen am 12.05.2013 von http://www.stuttgart.ihk24.de/linkableblob/1923084/4./data/Grundlagenteil_der_IHK_Studie_Gruene_Logistik-data.pdf.
- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)/ Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI)/ Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)** (2010): Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030 - Energieprognose 2009. Abgerufen am 16.05.2013 von http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB_Energieprognose-2009.pdf.
- Iveco Magirus AG** (kein Datum): Daily Electric - Vorteile für den Kunden. Abgerufen am 01.05.2013 von http://web.iveco.com/germany/neufahrzeuge/pages/elektroantrieb_daily_electrik_motoren.aspx.
- Iveco Magirus AG** (2012): Der neue Daily Electric. Abgerufen am 25.05.2013 von http://web.iveco.com/germany/collections/catalogues/Documents/tutti_prodotti/Stralis/Daily_Electric.pdf.
- Koch, S.** (2012): *Logistik: Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit*, Berlin Heidelberg.
- Koether, R.** (2012): *Distributionslogistik - Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit*, Wiesbaden.
- Kraftfahrt Bundesamt** (2013): Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen 1. Januar 2013. Abgerufen am 07.06.2013 von http://www.kba.de/ckn_030/nn_269000/SharedDocs/Publikationen/FZ/2013/fz13_2013__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz13_2013__pdf.pdf.
- Kraftfahrt Bundesamt** (2012): Fahrzeugzulassungen (FZ) Neuzulassungen von Nutzfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach technischen Daten (Größenklassen, Motorisierung, Fahrzeugklassen und Aufbauarten) Jahr 2011. Abgerufen am 22.04.2013 von http://www.kba.de/nn_191094/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/2011/fz26__2011__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz26_2011__pdf.pdf.
- Kranke, A.** (2010): So ermitteln Sie den CO₂-Fußabdruck. in: *VerkehrsRUNDschau* (51-52), S. 36-38.
- Lagerberg-Fogelberg, C./Carlsson-Kanyama, A.** (2006): Environmental assessment of

- foods- an LCA inspired approach. In F. Christian, & A. Carlsson-Kanyama (Hrsg.), in: Environmental information in the food supply system (S. 55 - 81). Stockholm.
- Müller-Lindenlauf, Dr. M.** (2012): CO₂-Fußabdruck und Umweltbilanz regionaler Lebensmittel. Abgerufen am 07.06.2013 von http://www.lel-bw.de/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/alr/pdf/1/120322_beitrag_mller-lindenlauf.pdf.
- MAN Truck & Bus AG** (kein Datum): Effizienz im Fernverkehr - Der neue MAN TGX. Abgerufen am 14.05.2013 von http://www.mantruckandbus.de/man/media/de/content_medien/doc_1/11011_Fernverkehr_App_D.pdf.
- Mercedes Benz AG** (kein Datum): Mercedes-Benz Sprinter mit Hybrid-Antrieb. Abgerufen am 17.05.2013 von <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-656174-49-818450-1-0-0-818457-0-0-11694-656637-0-1-0-0-0-0.html>.
- Mercedes Benz AG** (kein Datum a): Fahrzeugvergleich Sprinter 316 - 316 CDI. Abgerufen am 03.04.2013 von http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/van/home/new_vans/models/sprinter_906/panel_van_/data/engines.html.
- Mercedes Benz AG** (kein Datum b): Datenblatt Mercedes-Benz Actros 2540 L 6x2.
- PE International AG** (2011): Energiebedarfs- und Emissionsvergleich von LKW, Bahn und Schiff im Güterfernverkehr – Aktualisierung 2011. Abgerufen am 13.06.2013 von <http://www.vda.de/de/downloads/1075/?PHPSESSID=g4j31d9pr9vll2hmq79ak6ku16>
- Pfohl, H.-C.** (2010): Logistiksysteme - Betriebswirtschaftliche Grundlagen (8.Auflage), Berlin Heidelberg.
- Plassmann, K./ Edwards-Jones, G.** (2009): Where does the carbon footprint fall? Developing a carbon map of food production. Abgerufen am 07.06.2013 von <http://pubs.iied.org/pdfs/16023IIED.pdf>.
- PricewaterhouseCoopers** (2010): Transportation & Logistics 2030 - Volume 1: How will supply chains evolve in a energy-constrained, low-carbon world. Abgerufen am 07.06.2013 von http://www.pwc.com/en_GX/gx/psrc/pdf/transportation_and_logistics_2030_volume_1.pdf.
- ProgTrans AG** (2007): Schlussbericht - Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Abgerufen am 07.06.2013 von <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/30886/publicationFile/>.
- Rhenus AG & Co. KG** (kein Datum): LKW-MAUT in Deutschland. Abgerufen am 15.05.2013 von http://www.wsa-stuttgart.wsv.de/downloadbereich/pdf/lkw_schiff.pdf.
- Schlich, E. H./ Fleissner, U.** (2003): Comparison of Regional Energy Turnover with Global Food. Abgerufen am 07.06.2013 von http://eurift.eu/file.php/Comparison_of_Regional_Energy_Turnover_with_Global_fo-2005-10-27/Comparison_of_Regional_Energy_Turnover_with_Global_food.pdf.
- Schmötzer, W.** (2012): Klimaerwärmung - natürliche, anthropogene, kosmische - Ursachen und Fakten (1. Auflage). Berlin: Pro Business GmbH.
- Schröder, S.** (2007): Vergleichende Energiebilanzierung der regionalen und überregionalen Produktion von Wein und Äpfeln (Dissertation). Gießen
- Shell Deutschland Oil GmbH** (2010): Shell LKW-Studie - Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030. Abgerufen am 08.06.2013 von <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell/static/deu/downloads/publications-2010truckstudyfull.pdf>.

- Souren, R.** (2012): Ökologisch und ökonomisch nachhaltige Gestaltung logistischer Systeme. In: Corsten, H. & Roth, S. .Nachhaltigkeit - Unternehmerisches Handeln in globaler Verantwortung (S. 133 - 151), Wiesbaden.
- Statista** (2013): Entwicklung der Lkw-Durchschnittsmaut in den Jahren 2005 bis 2012 (in Euro-Cent pro Kilometer). Abgerufen am 15.05.2013 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/76579/umfrage/entwicklung-der-deutschen-lkw-maut/>.
- Statista** (2012): Klimawandel / CO2 - Statista-Dossier 2012. Abgerufen am 06.05.2013 von <http://de.statista.com/statistik/studie/id/6920/dokument/klimawandel-co2-statista-dossier-2012/>.
- Statista** (2012 a): Investitionen des Bundes in verschiedene Verkehrswege in den Jahren 2009 bis 2016 (in Milliarden Euro). Abgerufen am 03.05.2013 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151923/umfrage/investitionen-des-bundes-in-verkehrswege-seit-2006/>.
- Statista** (2012 b): Modal-Split im deutschen Güterverkehr im Zeitraum von 2007 bis 2012 nach Verkehrsträgern (Anteil an der Verkehrsleistung). Abgerufen am 30.05.2013 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/12149/umfrage/gueteraufkommen-nach-verkehrstraegern-in-deutschland-seit-1956/>.
- Statista** (2007): Prognostizierter Anteil der Verkehrsträger an der deutschen Güterverkehrsleistung im Jahr 2030. Abgerufen am 21.05.2013 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/20192/umfrage/prognostizierter-modal-split-der-gueterverkehrsleistung-fuer-2030/>.
- Stern, N.** (2009): Der Global Deal - Wie wir dem Klimawandel begegnen und ein neues Zeitalter von Wachstum und Wohlstand schaffen (Richter, M. Übers.), München.
- Transcare AG** (2006): Einfluss der Lkw-Maut auf den Modal Split im Güterverkehr. (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V., Hrsg.) Abgerufen am 08.06.2013 von http://www.iru.org/cms-filesystem-action?file=mix-publications/Transcare_de.pdf.
- TU München - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik/ Markt und Wirtschaft - Gesellschaft für Marktforschung und Unternehmensberatung/ trilogIQa/LogistikHEUTE** (2009): Change to Green - Handlungsfelder und Perspektiven für nachhaltige Logistik und Geschäftsprozesse (4. Auflage), München.
- Umweltbundesamt** (2012): Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase. Abgerufen am 03.06.2013 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2726>.
- Umweltbundesamt** (2012 a): Daten zum Verkehr - Ausgabe 2012. Abgerufen am 08.06.2013 von <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4364.pdf>.
- Umweltbundesamt** (2012 b): Kraftfahrzeugbestand. Abgerufen am 30.05.2013 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2332>.
- Umweltbundesamt** (2012 c): Entwicklung der spezifischen CO2-Emissionen des deutschen Strommixes. Abgerufen am 24.05.2013 von <http://www.umweltbundesamt.de/umweltdaten/public/document/downloadPrint.do?jsessionid=56D378836357831AEDA7AE6C4263B2C?ident=24885>.
- Umweltbundesamt** (2012 d): Abgasgrenzwerte für LKW und Busse (Fahrzeuge ab 2 610 kg ; Grenzwerte für die Typ- und Serienprüfungen). Abgerufen am 10.06.2013 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=23344>.
- Umweltbundesamt.** (2010): CO2-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland - Mög-

- liche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Abgerufen am 06.05.2013 von <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3773.pdf>.
- Umweltbundesamt** (2010 a): Schienennetz 2025/2030. Abgerufen am 07.06.2013 von <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4005.pdf>.
- Umweltbundesamt** (2010 b): Altfahrzeugaufkommen und -verwertung. Abgerufen am 16.05.2013 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2304>.
- Umweltbundesamt** (2009): Strategien für einen nachhaltigen Güterverkehr. Abgerufen am 08.06.2013 von <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3857.pdf>.
- Umweltbundesamt** (2007): Klimaänderungen. Abgerufen am 16.05.2013 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=23041>.
- Umweltbundesamt** (2004): Hintergrundpapier zu Umwelt und Verkehr – Mobilität nachhaltig gestalten. Abgerufen am 07.05.2013 von www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3571.pdf.
- Verband der Automobilindustrie** (2008): Auto Jahresbericht 2008. Abgerufen am 08.06.2013 von <http://www.vda.de/de/downloads/489/>.
- Verband der Automobilindustrie** (2008 a): Das Nutzfahrzeug - Umweltfreundlich und effizient. Abgerufen am 14.05.2013 von <http://www.vda.de/de/downloads/492/?PHPSESSID=u1j4s748sgvvada9d9kuv657r7>.
- Volkswagen AG** (2010): Der neue Transporter - Umweltprädikat. Abgerufen am 13.05.2013 von http://www.volkswagen.de/content/medialib/vwd4/de/Volkswagen/Nachhaltigkeit/service/download/umweltpraedikate/100202_up_t5_de/_jcr_content/renditions/rendition.file/umweltpraedikate_par_0045_file.pdf
- Wannenwetsch, H.** (2010): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik (4. Auflage), Berlin Heidelberg.
- Wiegmann, K./ Eberle, D. U./ Fritsche, U. R./Hünecke, K.** (2005): Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien . (Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Hrsg.) Abgerufen am 07.06.2013 von http://www.ernaehrungswende.de/pdf/DP7_Szenarien_2005_final.pdf.
- Wittenbrink, P.** (2008): CO2 und Modal Split. Abgerufen am 21.05.2013 von http://www.bme.de/fileadmin/bilder/studien_umfragen/Studie_CO2_und_Modal_Split.pdf.
- www.spritmonitor.de** (2013) Abgerufen am 27.05.2013 von www.spritmonitor.de.

Autorenangaben

Frederik Schirdewahn
 c/o Hochschule Wismar, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
 Philipp-Müller-Straße
 Postfach 12 10
 D - 23952 Wismar
 Telefon: ++49 / (0)3841 / 753 7601
 Fax: ++ 49 / (0)3841 / 753 7131

Anlage 1

Derzeitige Beförderungsleistung des Straßengüterverkehrs in Mio. tkm	460.000		
Derzeitige Beförderungsleistung des Schienengüterverkehrs in Mio. tkm	113.317		
Derzeitige Beförderungsleistung der Binnenschifffahrt in Mio. tkm	55.027		
Reduktion der Transportleistung des Straßengüterverkehrs um...	-5%	-10%	-15%
entspricht einer Reduktion um ... in Mio. tkm	23.000	46.000	69.000
Neues Volumen Straßengüterverkehr in Mio. tkm	437.000	414.000	391.000
Neues Volumen Schienengüterverkehr in Mio. tkm	136.317	159.317	182.317
Entspricht einer Steigerung der momentanen Transportleistung der Schiene um...	20%	41%	61%
oder			
Neues Volumen Binnenschifffahrt in Mio. tkm	78.027	101.027	124.027
Entspricht einer Steigerung der momentanen Transportleistung der Binnenschifffahrt um...	42%	84%	125%

Berechnung

Neues Volumen Schienengüterverkehr in Mio. tkm

Neues Volumen Binnenschifffahrt in Mio. tkm

=Derzeitige Beförderungsleistung Schienengüterverkehr+Reduktion des Straßengüterverkehrs

=Derzeitige Beförderungsleistung Binnenschifffahrt+Reduktion des Straßengüterverkehrs

Anlage 2

Emissionen g CO2e/km	0,147		
	pro Fahrt	Gesamt	
Streckenlänge in km	3	6	
Anzahl Einkäufe pro Woche	5	3	1
Emissionen pro Einkauf in kg CO2e	0,882	0,882	0,882
Emissionen pro Woche in kg CO2e	4,41	2,646	0,882
Wochen/Jahr	52	52	52
Emissionen pro Jahr in kg CO2e	229	138	46
Mögliche Einsparung pro Jahr in kg CO2e	183	92	0

Anlage 4

Hersteller	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Iveco
Modell	Sprinter 316 CDI	Sprinter Hybrid	Daily Electric 35S
Antrieb	Diesellaggregat	Diesellaggregat + PlugIn Hybrid	Elektroantrieb
Leistung	120 kW	80 kW (Diesel) + 70kW (Elektro)	60 kW
Tankinhalt	75l	nicht bekannt	-
Akkuart	-	Lithium Ionen	Natrium-Nickelchlorid
Akkukapazität	-	14 kWh	63,6 kWh
Reichweite	900 km	Elektrisch: 30 km insgesamt: ohne Angabe	Elektrisch: 120 km*
Ladungsverlust	-	-	10%
Verbrauch (unbeladen) in l/100km od. kWh/100km	8,3	7,1	nicht bekannt
Verbrauch (beladen) l/100km od. kWh/100km	10,8	9,2	58,3
CO ₂ Faktor	3.174	3.174	559
Laufleistung in km	200.000	200.000	200.000

* im beladenen Zustand

Hersteller	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Iveco
Modell	Sprinter	Sprinter Hybrid	EcoDaily electric

Herstellung			
absolut (in t)	9,8	11,6	13,4
pro km (in g CO ₂ /km)	49	58	67

Berechnung Herstellung:
 absolut (in t) Übernommen aus Ursprungsberechnung
 pro km (in g CO₂/km) =Herstellung absolut (in t)/Laufleistung in km*1000000

Nutzung			
absolut (in t)	68,6	58,4	65,2
pro km (in g CO ₂ /km)	343	292	326

Berechnung Nutzung:
 absolut (in t) =Verbrauch (beladen)/100*Laufleistung in km*CO₂-Faktor/1000000
 pro km (in g CO₂/km) =Nutzung absolut (in t)/Laufleistung in km*1000000

Verwertung			
Anteil an den Gesamtemissionen	0,7%	1%	2%
absolut (in t)	0,6	0,7	1,6
pro km (in g CO ₂ /km)	3	4	8

Berechnung Verwertung
 absolut (in t) =(Herstellung absolut (in t)+Nutzung absolut (in t))/(1-Anteil an den Gesamtemissionen)*Anteil an den Gesamtemissionen
 pro km (in g CO₂/km) =Verwertung absolut (in t)/Laufleistung in km*1000000

GESAMT			
absolut (in t)	78,9	70,7	80,2
pro km (in g CO ₂ /km)	395	354	401

Anlage 5

Hersteller	Mercedes-Benz	Mercedes-Benz	Iveco
Modell	Sprinter 316 CDI	Sprinter Hybrid	Daily Electric 355
Antrieb	Diesellaggregat	Diesellaggregat + PlugIn Hybrid	Elektroantrieb
Leistung	120 kW	80 kW (Diesel) + 70kW (Elektro)	60 kW
Tankinhalt	75l	nicht bekannt	-
Akkuart	-	Lithium Ionen	Natrium-Nickelchlorid
Akkukapazität	-	14 kWh	63,6 kWh
Reichweite	900 km	Elektrisch: 30 km insgesamt: ohne Angabe	Elektrisch: 120 km*
Ladungsverlust	-	-	10%
Verbrauch (unbeladen) in l/100km od. kWh/100km	8,3	7,1	nicht bekannt
Verbrauch (beladen) l/100km od. kWh/100km	10,8	9,2	58,3
CO ₂ Faktor	3.174	3.174	559
Laufleistung in km	200.000	200.000	130.000

* im beladenen Zustand

Emissionen in der Stromerzeugung in g CO ₂ e/kWh	0	200	400	600	800	1000
-------------------------------------------------------------	---	-----	-----	-----	-----	------

Sprinter

Herstellung in g CO ₂ e/km	49	49	49	49	49	49
Nutzung in g CO ₂ e/km	343	343	343	343	343	343
Verwertung in g CO ₂ e/km	3	3	3	3	3	3
GESAMT	395	395	395	395	395	395

Sprinter Hybrid

Herstellung in g CO ₂ e/km	58	58	58	58	58	58
Nutzung in g CO ₂ e/km	292	292	292	292	292	292
Verwertung in g CO ₂ e/km	4	4	4	4	4	4
GESAMT	354	354	354	354	354	354

EcoDaily electric

Herstellung in g CO ₂ e/km	103	103	103	103	103	103
Nutzung in g CO ₂ e/km	0	116,6	233,2	349,8	466,4	583
Verwertung in g CO ₂ e/km	9	9	9	9	9	9
GESAMT	112	229	345	462	578	695

Alle Werte bis auf den Wert der Nutzung in g CO₂e/km des EcoDaily electric wurden aus der Ursprungsberechnung übernommen

Berechnung EcoDaily electric:

Nutzung in g CO₂e/km:

=Emissionen in der Stromerzeugung*Verbrauch (beladen)/100km

Anlage 6

Hersteller	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Iveco
Modell	Sprinter 316 CDI	Sprinter Hybrid	Daily Electric 355
Antrieb	Dieselaggregat	Dieselaggregat + PlugIn Hybrid	Elektroantrieb
Leistung	120 kW	80 kW (Diesel) + 70kW (Elektro)	60 kW
Tankinhalt	75l	nicht bekannt	-
Akkuart	-	Lithium Ionen	Natrium-Nickelchlorid
Akkukapazität	-	14 kWh	63,6 kWh
Reichweite	900 km	Elektrisch: 30 km insgesamt: ohne Angabe	Elektrisch: 120 km*
Ladungsverlust	-	-	10%
Verbrauch (unbeladen) in l/100km od. kWh/100km	8,3	7,1	nicht bekannt
Verbrauch (beladen) l/100km od. kWh/100km	10,8	9,2	58,3
CO ₂ Faktor	3.174	3.174	559
Laufleistung in km	200.000	200.000	130.000

* im beladenen Zustand

Break Even Point Sprinter

Gesamtemissionen Sprinter in g CO₂/km 395 übernommen aus der Ursprungsberechnung

Berechnung der nötigen Verbräuche für den gleichen Gesamtemissionswert

EcoDaily electric

Ausgangswert Sprinter in g CO₂e/km 395 übernommen aus der Ursprungsberechnung

Herstellung in g CO ₂ e/km	-103	übernommen aus der Ursprungsberechnung
---------------------------------------	------	----------------------------------------

Verwertung in g CO ₂ e/km	-9	übernommen aus der Ursprungsberechnung
--------------------------------------	----	----------------------------------------

Erlaubte Emissionen in der Nutzung in g CO ₂ e/km	283
--------------------------------------------------------------	-----

Erlaubte Emissionen in der Stromerzeugung in g CO ₂ e/kWh	485	=Erlaubte Emissionen in der Nutzung/100km*Verbrauch (beladen)
----------------------------------------------------------------------	-----	---------------------------------------------------------------

Break Even Point Sprinter Hybrid

Gesamtemissionen Sprinter Hybrid in g CO₂/km 354 übernommen aus der Ursprungsberechnung

Berechnung der nötigen Verbräuche für den gleichen Gesamtemissionswert

EcoDaily electric

Ausgangswert Sprinter Hybrid in g CO₂e/km 354 übernommen aus der Ursprungsberechnung

Herstellung in g CO ₂ e/km	-103	übernommen aus der Ursprungsberechnung
---------------------------------------	------	----------------------------------------

Verwertung in g CO ₂ e/km	-9	übernommen aus der Ursprungsberechnung
--------------------------------------	----	----------------------------------------

Erlaubte Emissionen in der Nutzung in g CO ₂ e/km	242
--------------------------------------------------------------	-----

Erlaubte Emissionen in der Stromerzeugung in g CO ₂ e/kWh	415	=Erlaubte Emissionen in der Nutzung/100km*Verbrauch (beladen)
----------------------------------------------------------------------	-----	---------------------------------------------------------------

Anlage 7

Hersteller	Mercedes Benz	Mercedes Benz	Iveco
Modell	Sprinter 316 CDI	Sprinter Hybrid	Daily Electric 35S
Antrieb	Dieselaggregat	Dieselaggregat + PlugIn Hybrid	Elektroantrieb
Leistung	120 kW	80 kW (Diesel) + 70kW (Elektro)	60 kW
Tankinhalt	75l	nicht bekannt	-
Akkuart	-	Lithium Ionen	Natrium-Nickelchlorid
Akkukapazität	-	14 kWh	63,6 kWh
Reichweite	900 km	Elektrisch: 30 km insgesamt: ohne Angabe	Elektrisch: 120 km*
Ladungsverlust	-	-	10%
Verbrauch (unbeladen) in l/100km od. kWh/100km	8,3	7,1	nicht bekannt
Verbrauch (beladen) l/100km od. kWh/100km	10,8	9,2	58,3
CO ₂ Faktor	3.174	3.174	559
Laufleistung in km	200.000	200.000	130.000

* im beladenen Zustand

Prognostizierte Emissionen in der Stromerzeugung in g CO₂e/kWh im Jahr 2020	409
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

EcoDaily electric

Herstellung in g CO ₂ e/km	103	übernommen aus der Ursprungsberechnung
Nutzung in g CO ₂ e/km	238,447	=Emissionen in der Stromerzeugung*Verbrauch (beladen)/100km
Verwertung in g CO ₂ e/km	9	übernommen aus der Ursprungsberechnung
GESAMT	350	übernommen aus der Ursprungsberechnung

Berechnung der nötigen Verbräuche für den gleichen Gesamtemissionswert

Sprinter

Ausgangswert EcoDaily Electric in g CO ₂ e/km	350	
Herstellung in g CO ₂ e/km	-49	übernommen aus der Ursprungsberechnung
Verwertung in g CO ₂ e/km	-3	übernommen aus der Ursprungsberechnung
Erlaubte Emissionen in der Nutzung in g CO ₂ e/km	298	
Erlaubter Verbrauch Diesel in l/100km	9,39	=Erlaubte Emissionen in der Nutzung*100/CO ₂ Faktor

Sprinter Hybrid

Ausgangswert EcoDaily Electric in g CO ₂ e/km	350	
Herstellung in g CO ₂ e/km	-58	übernommen aus der Ursprungsberechnung
Verwertung in g CO ₂ e/km	-4	übernommen aus der Ursprungsberechnung
Erlaubte Emissionen in der Nutzung in g CO ₂ e/km	288	
Erlaubter Verbrauch Diesel in l/100km	9,07	=Erlaubte Emissionen in der Nutzung*100/CO ₂ Faktor

Anlage 8

UW Effizienzsteigerung pro Jahr	0,8%
Prod. + Vera. Effizienzsteigerung pro Jahr:	0,5%
Jahresleistung in km	125.000
Emissionen in kg CO2e/l Diesel	3,174

Berechnung der Klimabelastung LKW

Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Verbrauch in l/100km	31,00	30,75	30,51	30,26	30,02	29,78	29,54	29,31	29,07	28,84	28,61	28,38	28,15	27,93	27,70	27,48	27,26	27,04	26,83	26,61	26,40	26,19	25,98	25,77
Gesamtvverbrauch/Jahr in l	38.750	38.440	38.132	37.827	37.525	37.225	36.927	36.631	36.338	36.048	35.759	35.473	35.188	34.908	34.629	34.352	34.077	33.804	33.534	33.265	32.999	32.735	32.473	32.214

CO2-Emissionen

Produktion in t CO2e	35	34,83	34,65	34,48	34,31	34,13	33,96	33,79	33,62	33,46	33,29	33,12	32,96	32,79	32,63	32,46	32,30	32,14	31,98	31,82	31,66	31,50	31,35	31,19
Nutzung in t CO2e	123	122	121	120	119	118	117	116	115	114	113	113	112	111	110	109	108	107	106	106	106	104	103	102
Verwertung in t CO2e	3	2,99	2,97	2,96	2,94	2,93	2,91	2,90	2,88	2,87	2,85	2,84	2,82	2,81	2,80	2,78	2,77	2,75	2,74	2,73	2,71	2,70	2,69	2,67

Klimabelastung (umwilt)

Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Laufleistung gesamt	125.000	250.000	375.000	500.000	625.000	750.000	875.000	1.000.000	1.125.000	1.250.000	1.375.000	1.500.000	1.625.000	1.750.000	1.875.000	2.000.000	2.125.000	2.250.000	2.375.000	2.500.000	2.625.000	2.750.000	2.875.000	3.000.000
Ersetzen alle 2,0 Mio km	158	281	404	527	650	773	896	1.019	1.142	1.265	1.388	1.511	1.634	1.757	1.880	2.003	2.127	2.250	2.373	2.496	2.619	2.742	2.865	2.988
Ersetzen alle 1,5 Mio km	158	281	404	527	650	773	896	1.019	1.142	1.265	1.388	1.511	1.634	1.757	1.880	2.003	2.127	2.250	2.373	2.496	2.619	2.742	2.865	2.988
Ersetzen alle 1,0 Mio km	158	281	404	527	650	773	896	1.019	1.142	1.265	1.388	1.511	1.634	1.757	1.880	2.003	2.127	2.250	2.373	2.496	2.619	2.742	2.865	2.988
Ersetzen alle 0,75 Mio km	158	281	404	527	650	773	896	1.019	1.142	1.265	1.388	1.511	1.634	1.757	1.880	2.003	2.127	2.250	2.373	2.496	2.619	2.742	2.865	2.988
Ersetzen alle 0,5 Mio km	158	281	404	527	650	773	896	1.019	1.142	1.265	1.388	1.511	1.634	1.757	1.880	2.003	2.127	2.250	2.373	2.496	2.619	2.742	2.865	2.988
Ersetzen alle 0,25 Mio km	158	281	404	527	650	773	896	1.019	1.142	1.265	1.388	1.511	1.634	1.757	1.880	2.003	2.127	2.250	2.373	2.496	2.619	2.742	2.865	2.988

Ersetzen am Ende des Jahres (Zusätzliche Aufwendungen für Verwertung und Produktion werden dem nächsten Jahr zugerechnet)

WDP - Wismarer Diskussionspapiere / Wismar Discussion Papers

- Heft 17/2011: Karsten Gaedt: Bewältigung von Unternehmenskrisen durch Private Equity
- Heft 18/2011: Semantische Wiki-Systeme im Wissensmanagement von Organisationen: Das Kompetenz-Portal der Hochschule Wismar
kompetenz.hs-wismar.de
- Heft 01/2012: Robin Rudolf Sudermann, Arian Middleton, Thomas Frilling: Werteorientierung als relevanter Erfolgsfaktor für Unternehmen im Zeitalter des Societing
- Heft 02/2012: Romy Schmidt: Die Wahrnehmung der Winter-Destination Tirol der Zielgruppe „junge Leute“ in Mecklenburg-Vorpommern
- Heft 03/2012: Roland Zieseniß, Dominik Müller: Performancevergleiche zwischen Genossenschaften und anderen Rechtsformen anhand von Erfolgs-, Liquiditäts- und Wachstumskennzahlen
- Heft 04/2012: Sebastian Kähler, Sönke Reise: Potenzialabschätzung der Regionalflughäfen Mecklenburg-Vorpommerns
- Heft 05/2012: Barbara Bojack: Zum möglichen Zusammenhang von Psychotrauma und Operationsindikation bei Prostatahyperplasie
- Heft 06/2012: Hans-EggertReimers: Early warning indicator model of financial developments using an ordered logit
- Heft 07/2012: Günther Ringle: Werte der Genossenschaftsunternehmen – “Kultureller Kern” und neue Wertevorstellungen
- Heft 08/2012: Harald Mumm: Optimale Lösungen von Tourenoptimierungsproblemen mit geteilter Belieferung, Zeitfenstern, Servicezeiten und vier LKW-Typen
- Heft 01/2013: Dieter Gerdesmeier, Hans-EggertReimers, Barbara Roffia: Testing for the existence of a bubble in the stock market
- Heft 02/2013: AngeBernier, Katharina Kahrs, Anne-Sophie Woll: Landesbaupresi für ALLE? 1. Fortsetzung – Analyse der Barrierefreiheit von Objekten des Landesbaupreises Mecklenburg-Vorpommern 2010/2012
- Heft 03/2013: Günther Ringle: Auf der Suche nach der „richtigen“ Mitgliederförderung