

# Analyse des Einsatzes von Lang-Lkw im Hinblick auf seine Klimaeffekte

 im Auftrag von LUBW und Daimler AG



# Analyse des Einsatzes von Lang-Lkw im Hinblick auf seine Klimaeffekte

 im Auftrag von LUBW und Daimler AG

- HERAUSGEBER** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe  
[www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- Daimler AG  
Mercedesstraße 137, 70327 Stuttgart  
[www.daimler.com](http://www.daimler.com)
- BEARBEITUNG** Hans-Paul Kienzler (Prognos AG, Düsseldorf)  
Dr. Theresa Gutberlet (Prognos AG, Düsseldorf)  
Alexander Labinsky (Prognos AG, Düsseldorf)  
Dr. Michael Faltenbacher (thinkstep AG, Leinfelden-Echterdingen)  
Dr. Stefan Eckert (thinkstep AG, Leinfelden-Echterdingen)
- REDAKTION** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Referat 33 – Luftqualität
- Daimler AG  
External Affairs, Emissions & Safety Commercial Vehicles
- STAND** September 2017

Die zur Darstellung der verschiedenen Lang-Lkw-Typen genutzten Piktogramme sind Eigentum der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und wurden für diesen Bericht zur Verwendung freigegeben.

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW oder der Daimler AG unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>7</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
1.1 Ausgangssituation	9
1.2 Bearbeitungsschritte	10
<b>2 LOGISTISCHE RANDBEDINGUNGEN</b>	<b>13</b>
2.1 Logistische Abläufe bei der Daimler AG beim Lang-Lkw-Einsatz und im Bahnverkehr	13
2.2 Fachgespräche zum Lang-Lkw-Einsatz in der Transportwirtschaft	16
<b>3 METHODIK DER NACHFRAGEMODELLIERUNG</b>	<b>21</b>
3.1 Fahrzeugkonfiguration	21
3.2 Potentialermittlung	23
3.3 Verkehrsumlegung	28
3.4 Intramodale Verlagerung (konventionelle Lkw zu Lang-Lkw)	31
3.5 Intermodale Verlagerung (Bahn zu Lang-Lkw)	35
<b>4 METHODIK DER TREIBHAUSGASBILANZIERUNG</b>	<b>37</b>
4.1 Treibhausgasemissionen Straßengüterverkehr	38
4.1.1 Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch	38
4.1.2 Ermittlung und Validierung der Kraftstoffverbräuche für konventionelle Lkw und Lang-Lkw für Daimler-Verkehre auf Basis HBEFA	40
4.1.3 Verbrauchssimulation konventionelle Lkw und Lang-Lkw durch Daimler	45
4.1.4 Anzuwendende Verbrauchsfunktionen	46
4.1.5 Verbrauchsentwicklung Lkw bis 2030	49
4.1.6 Leerfahrten	50
4.1.7 Treibhausgas-Emissionsfaktoren Straße	51
4.2 Treibhausgasemissionen Schienengüterverkehr	56
4.2.1 Stromverbrauch im Schienengüterverkehr	56
4.2.2 Verbrauchsentwicklung Bahn bis 2030	57
4.2.3 Treibhausgas-Emissionsfaktoren Bahn	58
<b>5 TREIBHAUSGASBILANZ DAIMLER-VERKEHRE</b>	<b>61</b>
5.1 Auswertung der Sendungsdaten der Daimler-Relationen	61

5.2	Berechnung der Treibhausgasemissionen der Daimler-Verkehre am Beispiel Treuen – Sindelfingen	64
5.3	Ergebnisübersicht Treibhausgasbilanz aller Daimler-Lang-Lkw-Verkehre	66
5.3.1	THG-Bilanz Eingangsfahrten	66
5.3.2	Konzeptvergleich: THG-Bilanz bei gleicher Ladungsdichte und vollständiger Volumenauslastung	68
5.3.3	THG-Bilanz Ein- und Ausgangsfahrten	68
5.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	69
<b>6</b>	<b>SZENARIO 2010</b>	<b>71</b>
6.1	Intramodale Verlagerung 2010	71
6.1.1	Verlagerungsrechnung	71
6.1.2	Treibhausgasbilanz der intramodalen Verlagerung	72
6.2	Intermodale Verlagerung 2010	73
6.2.1	Verlagerungsrechnung	73
6.2.2	Treibhausgasbilanz der intermodalen Verlagerung	75
6.3	THG-Gesamtbilanz (intermodal und intramodal) 2010	76
<b>7</b>	<b>SZENARIO 2030</b>	<b>77</b>
7.1	Intramodale Verlagerung 2030	77
7.1.1	Verlagerungsrechnung	77
7.1.2	Treibhausgasbilanz der intramodalen Verlagerung	78
7.2	Intermodale Verlagerung 2030	79
7.2.1	Verlagerungsrechnung	79
7.2.2	Treibhausgasbilanz der intermodalen Verlagerung	80
7.2.3	Lang-Lkw im Vor-/Nachlauf zum Kombinierten Verkehr	81
7.3	THG-Gesamtbilanz (intermodal und intramodal) 2030	83
<b>8</b>	<b>BEWERTUNG DER SZENARIEN</b>	<b>85</b>
8.1	Verlagerungsrechnung	85
8.1.1	Ergebnisvergleich der Szenarien	85
8.1.2	Vergleich mit anderen Studien	86
8.2	THG-Bilanz	87
8.2.1	Ergebnisvergleich der Szenarien	87
8.2.2	Vergleich mit anderen Studien	88

8.3	Weitere Umweltwirkungen: Stickoxid- und Partikelemissionen	89
8.4	Abgeleitete politische Maßnahmen und Instrumente	90
<b>9</b>	<b>SCHLUSSBETRACHTUNG</b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b>ANHÄNGE</b>	<b>95</b>
10.1	Auswirkungen von Verbesserungen des Bahnverkehrs im Mittleren Neckarraum auf Verkehre der Daimler AG	95
10.2	Leitfaden Fachgespräche	98
10.3	Fallstudien	104
10.4	Verkehrszellenspezifische Potentialfaktoren	108
10.5	Sendungsdaten der Daimler-Relationen	116
10.6	Höhenprofile der Daimler-Relationen	122
10.7	Validierung Verbrauchsdaten Daimler-Verkehre	124
10.8	Verbrauchsbestimmung nach weiteren Verbrauchsfunktionen	126
10.9	Verbrauchssimulation für konventionelle und Lang-Lkw	129
10.10	Berechnung des Umwegfaktors	132
10.11	Treibhausgasbilanz intermodale Verlagerung 2030 mit DE Mix „100“ und DE Mix 100% Erneuerbare Energien	133
10.12	Sensitivitätsanalyse	135
10.13	Kurzbetrachtung zum Lang-Lkw Typ 1	138
10.14	Kritische Würdigung der DEKRA	139
	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>145</b>
	<b>GLOSSAR</b>	<b>147</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>151</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>153</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>155</b>





# Zusammenfassung

Im Rahmen eines fünfjährigen Feldversuchs durften von 2012 bis 2016 Lang-Lkw auf deutschen Straßen versuchsweise eingesetzt werden. Zeitgleich fand eine von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragte wissenschaftliche Begleitung statt, um Erkenntnisse über die Auswirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw zu gewinnen. Da sich während des laufenden Feldversuchs in Baden-Württemberg neue Fragestellungen ergaben, die vom bundesweiten Feldversuch nicht in der gewünschten Tiefe untersucht wurden, entschlossen sich das Land Baden-Württemberg und die Daimler AG zu einer gemeinsamen, zusätzlichen Untersuchung, deren Ergebnisse im vorliegenden Bericht festgehalten sind. Das Hauptaugenmerk des Auftrags liegt in der Beantwortung der Frage, wie der Lang-Lkw auf die existierenden Transportketten im Güterverkehr wirkt und, darauf aufbauend, welche Klimaeffekte sich durch den Einsatz von Lang-Lkw ergeben.

Um diese Fragen zu beantworten, wurden die folgenden Schritte durchgeführt: Anhand von Fachgesprächen wurde zuerst der Einsatz von Lang-Lkw in der realen Betriebsabwicklung untersucht. Diese Ergebnisse dienten zur kreisscharfen Ermittlung der tatsächlich für den Transport mit Lang-Lkw in Frage kommenden Gütermengen (das Potential). Anhand einer Verkehrsumlegung wurden für das Potential die Kosten für den Transport mit verschiedenen Verkehrsträgern ermittelt und unter Anwendung einer Kreuzpreiselastizität die tatsächliche Verlagerung auf den Lang-Lkw (die Nachfrage) berechnet. Dies schloss neben der Betrachtung der intramodalen Verlagerung (konventioneller Lkw auf Lang-Lkw) auch die Untersuchung der intermodalen Verlagerungseffekte (Schiene auf Lang-Lkw) mit ein. Alle Berechnungen beziehen sich auf den Einsatz von Lang-Lkw des Typ 2 und Typ 3; der Typ 1 wurde in einem Exkurs betrachtet.

Gleichzeitig wurde anhand einer im Rahmen der Studie durchgeführten Treibhausgasbilanzierung der bereits durch die Daimler AG durchgeführten Lang-Lkw-Transporte sowie weiterer Erkenntnisse aus den Fachgesprächen erstmals eine gegenüber konventionellen Lkw differenzierte Verbrauchsfunktion für den Lang-Lkw ermittelt. Diese diente gemeinsam mit den Treibhausgas-Emissionsfaktoren der Kraftstoffbereitstellung und, im Fall des Transports auf der Schiene, des Bahnstromes sowie den im Rahmen der Nachfrageermittlung gewonnenen Daten als Grundlage für eine Treibhausgasbilanzierung des Güterverkehrs mit und ohne Lang-Lkw für die Jahre 2010 und 2030.

Obwohl die Untersuchung somit einem anderen Ansatz als die Begleitstudie der BASt zum Feldversuch folgt, kommt sie zu ähnlichen Ergebnissen: Der Verlagerungseffekt von konventionellen Lkw auf Lang-Lkw ist relativ gering, der von der Bahn auf die Straße kaum wahrnehmbar. Da aber der Lang-Lkw gegenüber dem konventionellen Lkw auf einer gegebenen Relation eine deutlich wahrnehmbare Treibstoffeinsparung erzielt, ergibt sich in der Summe eine leicht positive Treibhausgasbilanz durch den Einsatz von Lang-Lkw im Vergleich zum Basisszenario ohne Lang-Lkw.



# 1 Einleitung

## 1.1 AUSGANGSSITUATION

Vom 01.01.2012 bis zum 31.12.2016 führte das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Aktionsplans Güterverkehr und Logistik einen bundesweiten Feldversuch für den Einsatz von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit bis zu 25,25 m Länge (Lang-Lkw oder kurz LLkw) durch. Diese Fahrzeuge dürfen genauso wie konventionelle Lkw (kurz: kLkw) ein zulässiges Gesamtgewicht von 40 t (bzw. 44 t im Vor- und Nachlauf<sup>1</sup> zum Kombinierten Verkehr oder kurz KV)<sup>2</sup> nicht überschreiten. Eine Übersicht über die im Rahmen des Feldversuchs zugelassenen Fahrzeuge findet sich in der Abbildung 1. Als gesetzliche Grundlagen für den Feldversuch dienen die Richtlinie 96/53/EG [EU 1996] der Europäischen Union sowie die Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge, die festlegt, auf welchen Straßenabschnitten Lang-Lkw eingesetzt werden dürfen [Bund 2016]. Für die wissenschaftliche Begleitung beauftragte das BMVI die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), die ihre Ergebnisse 2014 in einem Zwischenbericht [BASt 2014] sowie 2016 in einem Abschlussbericht [BASt 2016b] dargelegt hat. Weitere Ergebnisse aus dem wissenschaftlichen Untersuchungsprogramm zum Feldversuch wurden in [DEKRA 2014], [DEKRA 2014a], [Förg & Süßmann 2016], [KIT 2016], [TCI Röhling 2015], [TCI Röhling et al. 2016], [TU Dresden und DTV 2015] und [TU München 2014] veröffentlicht.



Abbildung 1: Übersicht über die im Rahmen des Feldversuchs zugelassenen Lang-Lkw-Typen nach [BASt Typ1-5]. Bilder: BASt.

Im Rahmen des Feldversuchs kamen in Baden-Württemberg jedoch Fragestellungen auf, die in diesen BASt-Berichten nicht in der gewünschten Detailtiefe behandelt wurden. Daraus entstand eine Kooperation aus Wirtschaft und Politik, die in einer gemeinsamen Beauftragung für die vorliegende Studie durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), das damalige Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (heute Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg) und die Daimler AG mündete. Ziel ist eine Untersuchung der Klimaeffekte des Einsatzes von Lang-Lkw. Dazu soll aufbauend auf den Grundlagen-Untersuchungen zu Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw der BASt aufgezeigt werden, wie viele und welche Transporte unter realen logistischen Anforderungen und Rahmenbedingungen per Lang-Lkw durchgeführt werden und für diese eine Treibhausgas (THG)-Bilanzierung erstellt werden. Basisjahr für diese Analysen ist das Jahr 2010. Prognosehorizont ist das Jahr 2030 in

<sup>1</sup> Fachbegriffe werden im Glossar erläutert.

<sup>2</sup> Zur Vereinfachung im Folgenden mit „40 (44) t“ abgekürzt.

Anlehnung an die Analyse- und Prognosehorizonte zum Bundesverkehrswegeplan (kurz: BVWP) 2030 [BVU et al. 2014].

Um einen weiteren Mehrwert gegenüber der Untersuchung der BAST zu erzielen, wurden eine andere Vorgehensweise für die Verlagerungsrechnung sowie andere Szenarien gewählt. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse der beiden Studien ist somit nur auf der Basis einzelner vergleichbarer Eckwerte möglich (siehe hierzu Kapitel 8.1.2). Da sich beide Studien dennoch auf den gleichen Prognosehorizont beziehen, können sie sich ergänzen und in ihren Aussagen stützen.

## 1.2 BEARBEITUNGSSCHRITTE

Die vorliegende Studie wurde in mehreren aufeinander aufbauenden Phasen erarbeitet. Das Vorgehen wird in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

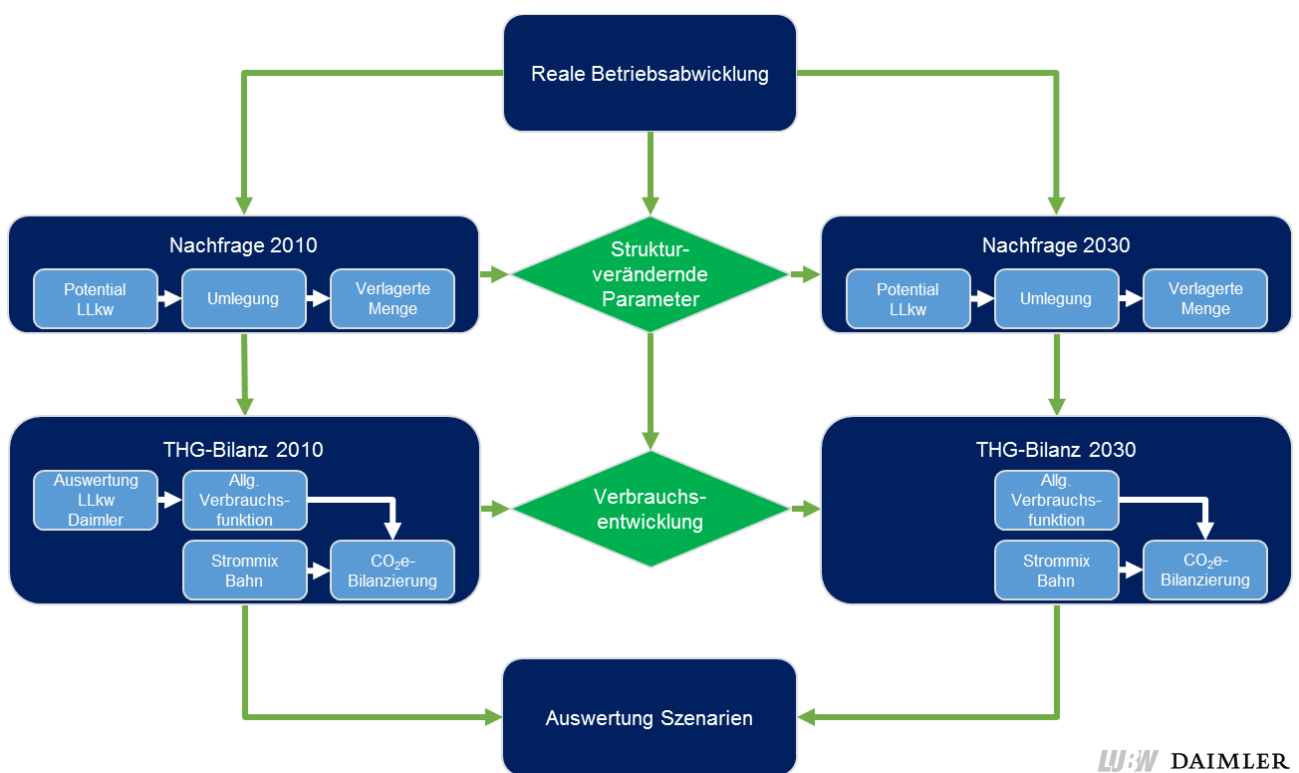


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Bearbeitungsschritte

In einer ersten Phase wurden die Randbedingungen der bereits im Feldversuch durchgeführten Fahrten mit dem Lang-Lkw analysiert, um die **reale Betriebsabwicklung** beschreiben zu können. Dafür wurden zuerst von der Daimler AG bereitgestellte Einsatzdaten ausgewertet und Fachgespräche mit unternehmenseigenen Logistikern sowohl zum Einsatz von Lkw als auch zur Organisation der Bahntransporte der Daimler AG geführt, wobei ein Fokus auf etwaige Verlagerungshemmnisse durch Kapazitätsengpässe im Mittleren Neckarraum und eventueller Ausbaubedarfe gelegt wurde. Die wichtigsten Ergebnisse der Gespräche werden im Kapitel 2.1 dargestellt. Zusätzlich wurde in strukturierten Fachdiskussionen der Einsatz von Lang-Lkw durch Teilnehmer und Nicht-Teilnehmer am Feldversuch erhoben. Die zusammengefassten Ergebnisse dieser Gespräche finden sich im Kapitel 2.2.

In der nächsten Phase wurden die Lang-Lkw-affinen Güter, die Filterkriterien zur Ermittlung der **Nachfrage 2010** nach Transporten mit dem Lang-Lkw sowie plausible Fahrzeugabmessungen festgelegt. Dabei wurde auf den Ergebnissen aus den Fachdiskussionen aufgebaut sowie Fachliteratur ausgewertet und eigene Analysen durchgeführt. Die Erkenntnisse dienen als Eingangsgrößen für die Ermittlung der potentiellen Nachfrage nach Transporten mit Lang-Lkw aus der Gesamtnachfrage, die durch die Verflechtungsmatrizen 2010 der Bundesverkehrswegeplanung (im weiteren „Basismatrizen 2010“) repräsentiert wird. Durch Umlegung auf ein erweitertes Fernstraßennetzmodell im Fall der konventionellen Lkw bzw. auf das Positivnetz im Fall der Lang-Lkw wurden die Fahrzeugkilometer (kurz: Fzghm) sowie Tonnenkilometer (kurz: tkm) als Eingangsgrößen für die Treibhausgasbilanzierung ermittelt. Dabei wurde sowohl die Verlagerung vom konventionellen Lkw auf den Lang-Lkw (intramodale Verlagerung) als auch die durch den Lang-Lkw induzierte Verlagerung von der Schiene auf die Straße (intermodale Verlagerung) bestimmt. Diese Schritte werden im Kapitel 0 beschrieben.

Anschließend wurde die **Treibhausgasbilanzierung 2010** durchgeführt. Dafür wurde zuerst eine gesonderte Auswertung der im Auftrag der Daimler AG durchgeführten Lang-Lkw-Verkehre vorgenommen. Anhand einer detaillierten Auswertung von Verbrauchsdaten aus unterschiedlichen Quellen wurden in Kapitel 4 für drei unterschiedliche Topografieklassen Verbrauchsfunktionen für konventionelle und Lang-Lkw abgeleitet. Dies ermöglichte den relationsbezogenen Vergleich der Treibhausgasemissionen, die sich aus dem Transport der jeweils versendeten Güter entweder mit konventionellen Lkw oder mit Lang-Lkw ergeben. Die Ergebnisse dieser THG-Bilanzierung finden sich im Kapitel 5. Anhand der ermittelten Verbrauchsfunktionen für konventionelle und Lang-Lkw für Strecken mit mittlerem topografischen Anspruch konnten die deutschlandweiten Treibhausgasemissionen des Transports der verschiedenen untersuchten Gütergruppen sowohl im Fall ohne als auch im Fall mit Lang-Lkw bestimmt werden. Damit war es möglich, die Klimaeffekte der durch Lang-Lkw induzierten Verlagerung im Straßen- und im Schienengüterverkehr für das Bezugsjahr 2010 zu bestimmen. Die für die Treibhausgasbilanzierung verwendete Methodik ist im Kapitel 4 beschrieben, die Ergebnisse im Kapitel □.

Zusätzlich zur Treibhausgasbilanzierung 2010 wurde ein Szenario für das Jahr 2030 gerechnet. Dafür wurden strukturverändernde Parameter identifiziert und operationalisiert, die die für 2010 gewählten Randbedingungen und somit die **Nachfrage 2030** beeinflussen. Diese Veränderungen sind an den entsprechenden Stellen im Kapitel 0 aufgeführt und erläutert. Anschließend wurde analog zur zweiten Phase die Nachfrage ermittelt, die Verkehre umgelegt sowie die Verlagerung von konventionellen Lkw zu Lang-Lkw sowie von der Schiene auf die Straße berechnet.

Für die anschließende **Treibhausgasbilanzierung 2030** wurden die vor dem Hintergrund der zu erwartenden Effizienzsteigerungen für 2030 anzusetzenden Kraftstoffverbräuche für konventionelle und Lang-Lkw sowie der Energiebedarf im Schienenverkehr definiert. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Bestimmung der Nachfrage 2030 wurde anhand dieser Kraftstoff- bzw. Energieverbräuche analog zur Treibhausgasbilanzierung 2010 die Treibhausgasbilanz für das Szenario 2030 bestimmt. Die Ergebnisse finden sich im Kapitel 7.


In der letzten Phase erfolgte die **Auswertung der Szenarien** sowie aus den Ergebnissen abgeleitete Vorschläge für politische Maßnahmen und Instrumente. Diese Phase wird im Kapitel 0 beschrieben.

Während aller Phasen fand eine enge Abstimmung mit den Auftraggebern statt, um diese über Zwischenergebnisse zu informieren und die nächsten Schritte gemeinsam abzustimmen. Aus diesem Grunde möchten sich die Bearbeiter an dieser Stelle ausdrücklich für die gute und unkomplizierte Zusammenarbeit bedanken.

Zusätzlich wurden sowohl erste Zwischenergebnisse für 2010 als auch die finalen Ergebnisse für die beiden Szenarien 2010 und 2030 in zwei Sitzungen einem Projektbeirat vorgestellt und anschließend diskutiert. Dabei wurden Anmerkungen und Hinweise aus dem Gremium aufgenommen und für die Bearbeitung des Projekts berücksichtigt. Der Projektbeirat versteht sich dabei als rein beratendes Gremium; die in diesem Bericht gezogenen Schlussfolgerungen sind daher keineswegs als gemeinsame Schlussfolgerungen der beteiligten Beiratsmitglieder zu deuten. Eine Übersicht über die Institutionen, die an den Sitzungen teilgenommen haben, gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Mitglieder des Projektbeirats

Institution
ADAC Württemberg e.V.
DB Schenker
Gemeindetag Baden-Württemberg
Große-Vehne Transporte und Speditions GmbH
IHK Rhein-Neckar
Städtetag Baden-Württemberg
VCD Baden-Württemberg
Verband des Württembergischen Verkehrsgewerbes
Verband Spedition und Logistik Baden-Württemberg

 DAIMLER

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden zudem verschiedene Maßnahmen zur Plausibilisierung der Ergebnisse ergriffen. So wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die sich im Kapitel 8.1 findet. Zusätzlich erfolgte eine Überprüfung der Methodik und der Ergebnisse der durchgeführten Treibhausgasbilanzierung durch die DEKRA Assurance Services GmbH. Der Kurzbericht zu den Resultaten dieser kritischen Würdigung finden sich im Anhang 10.14.

## 2 Logistische Randbedingungen

Um den derzeitigen Einsatz von Lang-Lkw in der Logistik zu verstehen und daraus die Eingangsparameter für die Nachfragemodellierung und Verlagerungsrechnung ableiten zu können, wurden Fachgespräche mit der Logistikabteilung der Daimler AG sowie mehr als 20 Transportunternehmen durchgeführt.

### 2.1 LOGISTISCHE ABLÄUFE BEI DER DAIMLER AG BEIM LANG-LKW-EINSATZ UND IM BAHNVERKEHR

In einem ersten Gespräch am 13.07.2016 wurden mit den Daimler-Logistikern die Charakteristiken der Lang-Lkw-Einsätze für die Daimler AG diskutiert, die verfügbaren Daten und deren Struktur erläutert, sowie die Modalitäten der Datenübergabe festgelegt. Die Daten zu den Daimler-Verkehren wurden im Wesentlichen in die reale Betriebsabwicklung sowie in die Treibhausgasbilanzierung 2010 der Daimler-Verkehre eingespeist. Darüber hinaus standen die Daimler-Logistiker für Fragen und Diskussionen zu Einzelaspekten zur Verfügung.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus diesen Gesprächen waren, dass die Lang-Lkw bei der Daimler AG aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen ausschließlich in genau geplanten Rundläufen, überwiegend in Punkt-zu-Punkt-Verkehren, und mit im Hinblick auf die Ladungsdichte geeigneten Produkten eingesetzt werden. Sowohl Hin- als auch Rückfahrt werden beladen durchgeführt, d.h. Leerfahrten kommen im Regelbetrieb nicht vor. Auf der Rückfahrt werden häufig leere Ladungsträger transportiert. Als Richtwert für einen Auslastungs-Schwellenwert wurden ca. 85% Mindestauslastung (bezogen auf das Volumen) genannt.

In zusätzlichen Gesprächen mit Bahnlogistikern der Daimler AG wurden die derzeitigen Hemmnisse für eine Bahnverlagerung und der Ausbau der Schienenkapazitäten im Mittleren Neckarraum zur Beseitigung von Verlagerungshemmnissen intensiv diskutiert (die derzeitige Abwicklung der Bahntransporte von Daimler ist im Anhang 10.1 dargestellt). Grundsätzlich wurde hervorgehoben, dass Daimler für jeden Transport prüft, ob eine Abwicklung auf der Bahn möglich und sinnvoll ist.

Das Unternehmen wickelt seine Bahnverkehre im sogenannten „Railnet“ (siehe auch Abbildung 25 auf Seite 95) ab. Drehscheibe für dieses auf die „Südwerke“ (Sindelfingen, Untertürkheim, Rastatt, Mannheim (EvoBus) und Neu-Ulm (EvoBus)) ausgerichtete Eisenbahnnetz sind der Rangierbahnhof (Wagenladungsverkehr) und das KV-Terminal in Kornwestheim. Im gesamten auf die Südwerke bezogenen Railnet werden nach Angaben der Daimler AG im KV die folgenden Mengen pro Arbeitstag transportiert:

- 54 Wechselbehälter zwischen Hamburg und den Südwerken
- 60 Wechselbehälter zwischen Kölleda und den Südwerken
- 32 Wechselbehälter zwischen den Südwerken und Kecskemét (Ungarn)

Im Einzelwagen- und Wagengruppenverkehr werden pro Arbeitstag die folgende Anzahl von Wagen transportiert:

- 34 Wagen zwischen Bremen und Sindelfingen
- 26 Wagen zwischen den EvoBus-Werken in Mannheim und Neu-Ulm
- 36 Wagen zwischen Sindelfingen und Rastatt

Somit beträgt das Bahnaufkommen der Daimler-Verkehre von und zu den Südwerken insgesamt 5-6 Züge pro Arbeitstag. Hierin sind die Transporte von Neufahrzeugen, die zu einem großen Teil ebenfalls auf der

Bahn abgewickelt werden, nicht enthalten. Inklusiv der Neuwagentransporte werden insgesamt bereits mehr als 50% der Daimler-Verkehre aus dem Werk Sindelfingen über die Bahn abgewickelt. Nach Angaben der Daimler-Logistiker beträgt der Bahnanteil mit Stand April 2017 ca. 17% im Eingang und ca. 41% im Ausgang.

Die Entscheidung, die Bahn zu nutzen, hängt davon ab, ob in der Gesamtschau die gesamte Transportkette mit der Bahn darstellbar ist. Die Kriterien, die Daimler anlegt, werden im Folgenden diskutiert:

- **Beidseitige Gleisanschlüsse** beim Empfänger und Versender sind eine wesentliche Voraussetzung für eine Verlagerung auf die Bahn. In den Werken Neu-Ulm, Mannheim, Rastatt, Sindelfingen, Bremen, Köllda, Kecskemét (Ungarn) sind Gleisanschlüsse vorhanden. In Hamburg und Untertürkheim ist aufgrund der baulichen Situation kein Gleisanschluss verfügbar. In Untertürkheim hat Daimler, angrenzend an das eigentliche Werksgelände im Gelände des Stuttgarter Hafens, ein trimodales Umschlagzentrum aufgebaut, das Straße, Schiene und Wasserstraße miteinander verbindet. Dieses Versandzentrum bedient sowohl die Schwesterwerke in Europa im Werksverbund, als auch die Überseewerke. Überwiegend werden dort Motoren, Getriebe und Aggregate kommissioniert und transporttechnisch abgewickelt.
- Für eine Bahnverlagerung sind **stabile Mengen** notwendig. Mindestmengen gibt es als eindeutiges Kriterium nicht, da diese vom gesamten Bahnverkehrsaufkommen auf einer Relation abhängen. Auf den gut frequentierten Strecken in Nord-Süd-Richtung gibt es schon für geringe Mengen ein wirtschaftliches Angebot der Bahn. Auf den weniger starken Ost-West-Verbindungen muss die Menge für 0,5 – 0,75 Züge ausreichen, um ein zum Lkw konkurrenzfähiges Preisangebot von der Bahn zu erhalten.
- Hinsichtlich der **Angebotsqualität** gilt grundsätzlich, dass die Haus-zu-Haus-Transportzeiten der Bahn vergleichbar zum Lkw sein sollten. Üblicherweise bedeutet dies eine Verbindung mit Nachtsprung (Zustellung am Folgetag) zwischen Abholung und Zustellung. Auf längeren Relationen ist eine Verbindung am übernächsten Tag akzeptabel. Die Gründe hierfür sind, dass mit längeren Transportzeiten die Zahl der gebundenen Ladungsträger und das Risiko, dass die Wagen eventuell vorhandene Anschlüsse verpassen, steigen. Derzeit ist die Angebotsqualität zufriedenstellend und Verspätungen treten nur ab und zu auf. Solange die Verspätung nicht mehr als ca. 4 Stunden beträgt, kann dies noch aufgefangen werden. Über alle Bahntransporte hinweg ist eine maximale Verspätung von 30 Min. in 99,5% der Fälle tolerabel, welche auch in den meisten Fällen erreicht wird.
- Das Kriterium **Transportdistanz** ist nicht fest definiert. Beispielsweise beträgt die Entfernung zwischen Sindelfingen und Rastatt nur ca. 80 km. Der Ganzzug zwischen diesen beiden Standorten ist hochrentabel. Die in der Literatur immer wieder genannte Mindestentfernung von 500 km für einen Bahntransport ist ein theoretischer Durchschnittswert, der sich für die Beurteilung von Einzelrelationen bestenfalls als Richtwert eignet.
- Da Daimler bei den Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) die Transportleistung einkauft, wirken sich **unpaarige Transportströme** nur mittelbar aus. Im Falle von starken Unpaarigkeiten auf einer Relation ist das Preisangebot der EVU in den allermeisten Fällen nicht konkurrenzfähig zum Lkw-Transport. Eine Folge davon ist, dass derzeit nur Verkehre im Daimler-Railnet per Bahn transportiert werden. In diesen Fällen kann Daimler mit eigenen Mengen oder mit der Rückführung von leeren Ladungsträgern die Paarigkeit herstellen.
- Der maximal akzeptable **Preisunterschied** zwischen dem Lkw-Transport und einem Bahntransport liegt nach Angaben von Daimler im hohen einstelligen Bereich (7 – 9%). Ein höherer Bahnpreis ist deshalb akzeptabel, weil Daimler eine Mischkalkulation über das gesamte Railnet durchführt und geringfügig höhere Bahnpreise auf einzelnen Relationen durch wettbewerbsfähigere Relationen ausgleichen kann.



Die laufenden Erhöhungen der Trassenpreise in Verbindung mit den geringen Dieselpreisen verringern allerdings zunehmend die Wettbewerbsfähigkeit der Bahn.

- Zu den **Kapazitäten im Bahnverkehr im Mittleren Neckarraum** wurden von Daimler die folgenden Engpässe genannt:

Der Bahnhof Kornwestheim hat die Kapazitätsgrenze erreicht, was sowohl für den Rangierbahnhof (im Eigentum der DB Netz AG) als auch für das Terminal (im Eigentum der DUSS, Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene-Straße mbH) gilt. Derzeit ist eine weitgehend reibungslose Abwicklung der Transporte noch gewährleistet. Die erwartete Verkehrszunahme in den kommenden Jahren wird diese Situation aber deutlich verschärfen und möglicherweise auf Grund von dann eintretenden Verschlechterungen der Bedienungsqualität zu Rückverlagerungen auf die Straße führen. In diesem Fall wird dann auch geprüft, ob die Transporte mit Lang-Lkw durchführbar sind. Die derzeit mit der Bahn transportierten Güter (im Wesentlichen Pressteile, Komponenten, Motoren, Achsen und Getriebe) sind jedoch wegen ihrer hohen Grenzladungsdichte nicht für den Lang-Lkw geeignet.

Es bestehen zudem Engpässe im Zu- und Ablauf der Wagen zwischen Kornwestheim und Sindelfingen; dies ist u.a. durch den Rückbau von Rangier- und Abstellgleisen im Bahnhof Sindelfingen durch die DB Netz AG im Zusammenhang mit dem S-Bahn-Ausbau bedingt. Das Problem wird dadurch verschärft, dass die Losgrößen immer kleiner werden, was tendenziell die Nachfrage nach flexiblen Einzelwagen- bzw. Wagenladungsverkehren verstärkt. Dieser benötigt jedoch eine ausreichende Anzahl von Zugbildungsgleisen in den Bahnhöfen. Aufgrund der engen Platzverhältnisse im Werk in Sindelfingen können dort keine Zugbildungsgleise mit ausreichender Länge gebaut werden.

Ein weiteres Problem der Bahnverkehre im Raum Sindelfingen sind die Lärmemissionen. Aufgrund des Lärmschutzes ist eine Nachtbelieferung des Werkes in Sindelfingen nicht möglich, was dazu führt, dass die Bahnbelieferung tagsüber abgewickelt werden muss. Durch die hohe Kapazitätsauslastung des Schienennetzes im Mittleren Neckarraum mit Güterzügen und Personenzügen des Nah- und Fernverkehrs wirkt sich dies zunehmend negativ auf die Angebotsqualität aus. Die derzeit laufende Umrüstung der Güterwagen auf LL-Sohle (sog. „Flüsterbremsen“) könnte dieses Problem lösen, da diese das Aufrauen der Radreifen – eine der wesentlichen Lärmquellen des Bahnverkehrs – verhindern.

Zusammengefasst stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar: Entsprechend den Anforderungen von Daimler an die Angebotsqualität müssen genau definierte Rahmenbedingungen eingehalten werden, damit ein Bahntransport sinnvoll und wirtschaftlich ist. In der Diskussion mit den Logistikern der Daimler AG wurden als wichtigste Kriterien beidseitige Gleisanschlüsse und die preisliche Wettbewerbsfähigkeit der Bahn genannt.

Die bisherigen Ausführungen beziehen sich zwar auf die Bahnverkehre von Daimler, können erfahrungsgemäß und aufgrund der Ergebnisse der zusätzlichen Fachgespräche (siehe Kapitel 2.2) aber auch auf andere potentielle Bahnverlader übertragen werden, da die Entscheidung, mit der Bahn zu transportieren, immer anhand der oben diskutierten Kriterien erfolgt.

Die Einzelfallentscheidung, ob – und welche – Ausbaumaßnahmen im Mittleren Neckarraum zu mehr Bahnverlagerung führen würde, kann in diesem Rahmen nur schwer allgemeingültig beantwortet werden, da alle Verlader zwar nach denselben Kriterien entscheiden, die örtlichen und logistischen Gegebenheiten jedoch sehr unterschiedlich und daher Vergleiche zwischen einzelnen Unternehmen kaum möglich sind. Hinzu kommt, dass eine isolierte Verbesserung des Bahnverkehrs in einzelnen Räumen zwar eine notwendige, aber noch keine hinreichende Bedingung für eine Verlagerung auf die Bahn ist, denn die Verlader entscheiden – wie auch die Daimler-Logistiker betonen – immer mit Blick auf die gesamte Haus-zu-Haus Transportkette.

Ein Beispiel mag dies verdeutlichen: Der Neubau eines Terminals führt nur dann zu Mehrverkehren für die Bahn, wenn gewährleistet ist, dass die Züge, die in diesem Terminal beginnen oder enden, so in das Fernverkehrsnetz eingebunden sind, dass wettbewerbsfähige Haus-zu-Haus-Transportzeiten zu wettbewerbsfähigen Transportkosten angeboten werden können. Hierbei spielt die Diskussion um den Zusammenhang mit dem Lang-Lkw nur eine untergeordnete Rolle, vielmehr geht es um die allgemeine Betrachtung der Angebotsqualität der Schiene. Erst wenn der Lang-Lkw in preislicher und zeitlicher Hinsicht wettbewerbsfähiger ist als die Bahn und gleichzeitig eine Reihe von Bedingungen erfüllt sind (beispielsweise für den Lang-Lkw geeignete Gutarten oder paarige Umläufe, die eine hohe Auslastung in beide Richtungen garantieren), können Mengen von der Bahn auf den Lang-Lkw verlagert werden.

Trotz dieser generellen Einschränkungen können die folgenden Maßnahmen als notwendige Bedingungen für eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Bahn herausgearbeitet werden:

- Erhöhung der Kapazität in Kornwestheim (sowohl des Rangierbahnhofs als auch des Terminals), um die zu erwartenden Mengensteigerungen auch zukünftig abwickeln zu können.
- Erhalt von Ausweich- und Überholgleisen sowie Gleisanschlüssen, um eine höhere Flexibilität der Bahntransporte zu erreichen.
- Die Erweiterung bzw. der Neubau von Terminals in Plochingen und Lahr sowie im Stuttgarter Hafen, um die Daimler-Werke in Untertürkheim und Rastatt mit kurzen Vor- und Nachläufen auf der Straße zu erreichen. Ob diese Investitionen allein durch Daimler-Verkehre zu rechtfertigen sind, kann allerdings in diesem Untersuchungsrahmen nicht beantwortet werden.

## 2.2 FACHGESPRÄCHE ZUM LANG-LKW-EINSATZ IN DER TRANSPORTWIRTSCHAFT

Zusätzlich zu den Gesprächen mit der Daimler AG wurde auch eine Reihe von Fachgesprächen mit Transportunternehmen (Nutzer als auch Nicht-Nutzer von Lang-Lkw) durchgeführt. Schwerpunkte der Gespräche waren die Einsatzcharakteristiken für Lang- und konventionelle Lkw, Vor- und Nachteile von Lang-Lkw im Vergleich zu konventionellen Lkw, konkrete Fallstudien, für den Lang-Lkw geeignete Gutarten sowie die Möglichkeiten und Grenzen der Verlagerung dieser Verkehre auf die Bahn. Hauptziel war die Erhebung der benötigten Daten für Fallstudien zur realen Betriebsabwicklung beim Einsatz von Lang-Lkw. Zum Vergleich wurden die Daten sowohl für den Einsatz von Lang-Lkw wie auch konventionellen Lkw abgefragt<sup>3</sup>.

Zur Rekrutierung der Teilnehmer an den Fachdiskussionen wurden zwei Wege beschritten. Einerseits wurden die Teilnehmer am bundesweiten Feldversuch von der BAST angeschrieben und um eine Teilnahme gebeten. Nicht-Teilnehmer am Feldversuch wurden hingegen von den Auftraggebern LUBW und Daimler angeschrieben und um Teilnahme gebeten.

Grundsätzlich war eine hohe Teilnahmebereitschaft vorhanden (siehe Tabelle 2) und eine ebenso hohe Bereitschaft, für die Fallstudien konkrete Daten zu Gewichten, Verbräuchen und Ladungen zur Verfügung zu stellen. Diese wurden vertraulich und anonym verwendet, um einen Rückschluss auf die teilnehmenden Unternehmen und ihre Kunden zu verhindern.

---

<sup>3</sup> Der Leitfaden, der den Teilnehmern vor den Fachgesprächen zugeschickt wurde, findet sich in Anhang 10.2


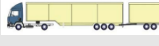



Tabelle 2: Teilnahmestatistik Fachgespräche

<b>Kontaktierte Unternehmen</b>	28
<b>Durchgeführte Fachgespräche</b>	21
<b>Davon:</b>	
<b>Teilnehmer am Feldversuch</b>	19
<b>Nicht-Teilnehmer</b>	2

LUBW DAIMLER

In der Tabelle 3 findet sich eine Übersicht über die von den befragten Unternehmen eingesetzten sowie die genannten Vor- und Nachteile beim Einsatz der verschiedenen im Rahmen des Feldversuchs zugelassenen Lang-Lkw-Typen.

Tabelle 3: Nutzung der verschiedenen Lang-Lkw-Typen bei den befragten Unternehmen. Bilder: BAST.

Typ	 Lang-Lkw-Typ 1	 Lang-Lkw-Typ 2	 Lang-Lkw-Typ 3	 Lang-Lkw-Typ 4	 Lang-Lkw-Typ 5
<b>Nutzung<sup>4</sup></b>	22%	33%	61%	0%	0%
<b>Ø Nutzlast</b>	25 t	18-24 t	15-18,5 t	k.A.	k.A.
<b>Von den Befragten genannte Vorteile</b>	Leichte Beladung (nur eine Tür)	Flexible Einsatzmöglichkeiten	Beste Fahreigenschaften	k.A.	k.A.
<b>Von den Befragten genannte Nachteile</b>	Nur als Lang-Lkw einsetzbar	Windanfällig; schwer kurvengängig	Teurer Dolly (lohnt nur bei Perspektive für Lang-Lkw)	Nur als Lang-Lkw einsetzbar	k.A.

LUBW DAIMLER

Die qualitativen Ergebnisse der Expertendiskussionen zum Lang-Lkw-Einsatz können wie folgt zusammengefasst werden:

- Lang-Lkw werden im Hinblick auf die begrenzenden Parameter Volumen und/oder Ladefläche möglichst voll beladen auf festen Relationen als regelmäßige Linienfahrten mit mindestens einem festen wochentäglichen Rundlauf eingesetzt. Es werden derzeit keine ad-hoc-Verkehre und keine Dreiecksfahrten (etwa zur Aufnahme von Rückladung) durchgeführt. Nach den Aussagen der Gesprächsteilnehmer ist eine Volumenauslastung unter Einhaltung des zulässigen Gesamtgewichts von mindestens 85% auf der Hin- und Rückfahrt Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz der Lang-Lkw.
- Die Initiative, einen Lang-Lkw einzusetzen, geht in der Regel vom Transporteur aus (allerdings oft in enger Absprache mit dem Kunden). Generell sind Kosteneinsparungen der wichtigste Grund für den Umstieg auf den Lang-Lkw, vereinzelt aber auch der Kundenwunsch nach möglichst großer CO<sub>2</sub>-Einsparung.
- Lang-Lkw werden häufig als Grundlastträger eingesetzt. Parallel zum Lang-Lkw werden konventionelle Lkw eingesetzt, um Mengenschwankungen abfangen oder im Fall von Streckensperrungen auf andere Routen ausweichen zu können.

<sup>4</sup> Mehrfachnennungen waren möglich

- Touren werden so geplant, dass möglichst keine durch das Positivnetz (siehe Abbildung 4 auf der Seite 29) erzwungenen Umwege gefahren werden müssen. Mehrere Befragte gaben an, im Falle einer Freigabe aller Bundesautobahnen (BAB) weitere Touren auf den Lang-Lkw umstellen zu wollen.
- Die Parkplatzsituation wird in der Praxis als eher unproblematisch beschrieben. Allerdings sind viele der aufgenommenen Fahrten so geplant, dass die Pausen auf dem Betriebshof des Kunden bzw. an festen Orten stattfinden, wo Begegnungsverkehre (Fahrer- bzw. Fahrzeugwechsel) leicht organisiert werden können.
- Aufgrund der hohen Verantwortung und der geforderten Berufserfahrung von mindestens 5 Jahren werden Lang-Lkw-Fahrer von einigen Firmen besser vergütet als Fahrer, die nur auf konventionelle Lkw eingesetzt werden.

Aus den Interviews wurden Fallstudien abgeleitet, die dem Anhang 10.3 entnommen werden können.

In den Fachgesprächen wurden zusätzlich die Meinungen der Interviewpartner zu möglichen strukturverändernden Parametern abgefragt, die den Logistikmarkt bis 2030 verändern könnten. Ziel war es, einen ersten Eindruck aus Sicht von im Markt agierenden Akteuren zu gewinnen, welche Trends einen Einfluss auf die Marktstruktur 2030 haben können.

Dafür wurden die Teilnehmer sowohl gefragt, ob eine Reihe von vorgegebenen Trends für den Lang-Lkw gegenüber dem konventionellen Lkw vorteilhaft wären, als auch um eine Einschätzung für die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens in den nächsten Jahren gebeten. Anhand dieser Antworten war eine Abbildung der Antworten in einem Koordinatensystem möglich (siehe Abbildung 3). Dabei zeigte sich, dass allgemeinen Logistik-Trends, deren Eintreten als am wahrscheinlichsten eingeschätzt wurden (Fahrermangel, steigende Dieselpreise und steigende Anteile des Online-Handels) gleichzeitig auch als besonders vorteilhaft für den Lang-Lkw eingeschätzt wurden.

Die Ergebnisse aus dieser Befragung zu den strukturverändernden Parametern decken sich dabei mit den Erkenntnissen aus anderen Untersuchungen wie z. B. [Prognos et al. 2016] und [Ecory et al. 2015]. Allerdings fallen die Einschätzungen bezüglich der Auswirkung für den Lang-Lkw je nach Hintergrund des Befragten unterschiedlich aus: Während beispielsweise zunehmend kleinere Sendungsgrößen bei Kurier-, Express-, Paket- (KEP-) Transporteuren eher positiv aufgenommen wurden, da mit diesem Trend eine Zunahme von Paket-sendungen zwischen großen Hubs verbunden wird, wurde dieser Trend von Transporteuren anderer Volumengüter wie z. B. Haushaltsgeräten aufgrund der damit wahrgenommenen schlechteren Planbarkeit der Auslastung negativer wahrgenommen.

Auf die Frage, welche weiteren den Lang-Lkw begünstigenden Trends erwartet werden, wurden zusätzlich die folgenden drei Entwicklungen aufgeführt, die ebenfalls den Einsatz von Lang-Lkw fördern könnten:

- Die Zunahme von Hub-Hub-Verkehren, da diese, wie bereits gezeigt, ideal für den Einsatz von Lang-Lkw sind.
- Die zunehmende Verkehrsdichte, der durch den Einsatz von Lang-Lkw entgegengewirkt werden kann (da die Inanspruchnahme von Verkehrsraum durch ca. zwei verlängerte Fahrzeuge geringer ist als durch drei konventionelle Fahrzeuge).
- Die vermehrte Nachfrage nach „Green Logistics“-Lösungen, die möglichst klimaschonende Transportketten fordert.

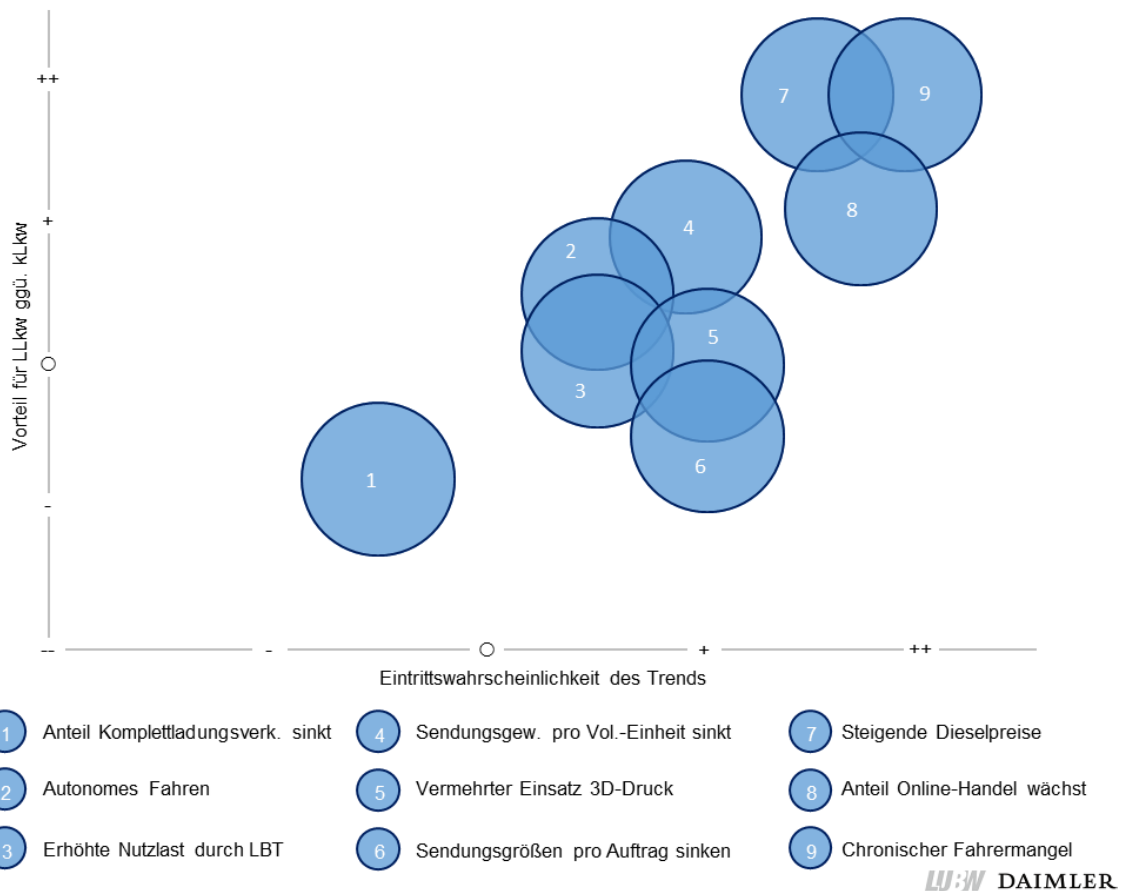


Abbildung 3: Aggregierte Einschätzung der Befragten in den Fachgesprächen zur Wahrscheinlichkeit des Eintretens der genannten Trends und inwiefern diese für den Lang-Lkw vorteilhaft sind (--: sehr klein; ++: sehr groß)

Als den Lang-Lkw benachteiligend wurden hingegen die Auflagen und Folgen aus den Rahmenbedingungen des Feldversuchs gesehen, namentlich die Beschränkung auf das Positivnetz, daraus entstehende Umwegverkehre sowie die Beschränkung des zulässigen Gesamtgewichts auf 40 (44) t.

Aus den weiteren offenen Fragen waren insbesondere die beiden folgenden Erkenntnisse von Interesse:

- Die meisten Befragten sehen für den Lang-Lkw nur ein Potential als Nischenanwendung im Vor- und Nachlauf zum KV aufgrund des schwierigeren Handlings und der Begrenzung des zulässigen Gesamtgewichts auf 44 t; diese Meinung wird auch von Unternehmen geteilt, die den Lang-Lkw bereits im KV-Vorlauf einsetzen.
- Es herrscht unter den Befragten Uneinigkeit, ob durch einen flächendeckenden Lang-Lkw-Einsatz die Transportpreise generell sinken würden oder nicht. Dabei erwarten diejenigen, die von einem weiteren Sinken der Transportpreise ausgehen, in der Folge entweder eine Marktkonsolidierung im Transportgewerbe und/oder aber eine Anpassung der Preise pro Palettenstellplatz für Fahrten mit dem Lang-Lkw (also eine Weitergabe der eingesparten Kosten an den Kunden). Ob diese Wirkung eintritt, ist allerdings von der Marktmacht der jeweiligen Verhandlungspartner abhängig.



# 3 Methodik der Nachfragemodellierung

Die Erkenntnisse aus den Fachgesprächen mit Logistikern der Daimler AG und der Transportunternehmen bildeten eine wichtige Grundlage zur Modellierung der aktuellen und zukünftigen Nachfrage für den Lang-Lkw in Deutschland. Aus den Aussagen der Fachexperten konnten beispielsweise Filterkriterien abgeleitet werden, die bestimmen, welche Verkehre auf den Lang-Lkw verlagerbar sind. Sie werden in den folgenden Unterkapiteln detailliert erläutert und betreffen

- die Gütergruppe,
- die Verbindung von Quelle und Ziel durch das Positivnetz und eventuelle Umwege im Vergleich zum konventionellen Lkw; und
- die Höhe des jährlichen Aufkommens.

Die Höhe des verlagerbaren Potentials für den Lang-Lkw wurde anhand der Filterkriterien aus den Verkehrsverflechtungsmatrizen des Straßengüterverkehrs (intramodale Verlagerung) und des Schienengüterverkehrs (intermodale Verlagerung) des aktuellen BVWP 2030 [BVU et al. 2014] ermittelt. Die Basismatrizen 2010 bilden dabei die Grundlage für das Szenario 2010. Die Prognosematrizen 2030 sind die Datengrundlage für das Szenario 2030.

Aus dem verlagerbaren Potential werden nur solche Transporte tatsächlich verlagert, für die der Lang-Lkw das kostengünstigere Transportmittel darstellt. In der Verlagerungsrechnung wurde daher auch die Angebotsseite der Verkehre, also die Transportkosten anhand der geeigneten Fahrzeugkonfigurationen, der sich daraus ergebenden Verbräuche, der Personal- und anderer Kosten modelliert. Diese Schritte werden ebenfalls in den folgenden Unterkapiteln dargestellt.

Um Wiederholungen zu vermeiden werden Unterschiede zwischen den Annahmen für das Szenario 2010 und das Szenario 2030 an den entsprechenden Stellen erläutert und kein eigenes Methodenkapitel für das Szenario 2030 verfasst.





## 3.1 FAHRZEUGKONFIGURATION

In einem ersten Schritt wurden aus der Vielzahl der möglichen Fahrzeugkonfigurationen zunächst für die Berechnung der Gesamtnachfrage geeignete Durchschnittsfahrzeuge festgelegt. Mit den Auftraggebern wurde vereinbart, dass Lang-Lkw-Typ 2 (Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsenanhänger, in Anlehnung an die Reihenfolge von Sattelaufleger und -anhänger auch „lang-kurz“ bezeichnet) und Lang-Lkw-Typ 3 (Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhängen, analog „kurz-lang“ bezeichnet) sowie die bundesweit am meisten eingesetzten konventionellen Lkw Typ 98 (Sattelkraftfahrzeug) und Typ 42 (Motorwagen mit Zentralachsenanhänger, in dieser Studie auch „Gliederzug“ genannt) in der Untersuchung berücksichtigt werden sollten<sup>5</sup>. Für diese wurde in Fachgesprächen mit der Transportindustrie und den Fahrzeugherstellern die maximal mögliche Anzahl an Palettenstellplätzen erfragt. Die so ermittelten Kenngrößen sind in Tabelle 4 dargestellt.

---

<sup>5</sup> Codierung der Lkw-Typen erfolgt nach der „Klassifizierung nach Silhouette und Achskonfiguration“ der BAST [TLS 2012].

Tabelle 4: Maximal mögliche Palettenstellplätze für die in der Untersuchung genutzten Durchschnittsfahrzeuge (Piktogramme konventionelle Lkw aus [Wellner et al. 2015], S. 78; Piktogramme Lang-Lkw nach [BASt Typ 2-3])

Lkw-Typ	Anordnung	Palettenstellplätze	Anmerkungen
Lang-Lkw Typ 2 (lang-kurz)	 Sattelanhänger: 17x 2 Paletten Anhänger: 8x 2 Paletten + 1x 3 Paletten	53	Bei Einsatz eines Megatrailers
Lang-Lkw Typ 3 (kurz-lang)	 Motorwagen: 5x 3 Paletten + 2x 2 Paletten Sattelanhänger: 17x 2 Paletten	53	Bei Einsatz eines Megatrailers
konv. Lkw Typ 98 (Sattelanhänger)	 Sattelanhänger: 17x 2 Paletten	34	Bei Einsatz eines Megatrailers
konv. Lkw Typ 42 (Gliederzug)	 Motorwagen: 5x 3 Paletten + 2x 2 Paletten Anhänger: 8x 2 Paletten + 1x 3 Paletten	38	Lichte Ladeflächenlänge min. 7,5 m

LUBW DAIMLER

Nach der Festlegung der Palettenstellplätze wurden in einem nächsten Schritt die Leergewichte und damit die Nutzlast der Fahrzeugkombinationen festgelegt. Aus den Gesprächen mit den Fahrzeugherstellern, den Fachgesprächen sowie der einschlägigen Literatur ergab sich, dass die Nutzlast durch Zusatzausrüstung wie Palettenkästen, Achsaggregaten, Materialstärke, Einrichtungen zur Kranung von Sattelanhängern etc. stark beeinflusst werden, was zu relativ großen Schwankungen der Leergewichte führt. Daher wurden durchschnittliche Gewichte der einzelnen Teilkomponenten festgelegt und daraus Leergewicht und Nutzlast für Durchschnittsfahrzeuge bestimmt, die der Tabelle 5 entnommen werden können.

Tabelle 5: Festlegungen der Leergewichte der Lang-Lkw und der Vergleichsfahrzeuge für das Szenario zum Feldversuch 2010 in kg

Lkw-Typ	Lang-Lkw Typ 2 (lang-kurz)	Lang-Lkw Typ 3 (kurz-lang)	konv. Lkw Typ 98 (Sattelaufleger)	konv. Lkw Typ 42 (Gliederzug)
Sattelzugmaschine	7.800	-	7.800	-
Motorwagen	-	12.000	-	12.000
Sattelanhänger	7.200	7.200	7.200	-
Anhänger	5.900	-	-	5.900
Dolly	-	3.400	-	-
Leergewicht	<b>20.900</b>	<b>22.600</b>	<b>15.000</b>	<b>17.900</b>
Nutzlast	<b>19.100</b>	<b>17.400</b>	<b>25.000</b>	<b>22.100</b>

LUBW DAIMLER

Zusätzlich wurden auch die durchschnittlichen Volumina der Teilkomponenten festgelegt, um das maximal zur Verfügung stehende Ladevolumen zu bestimmen. Diese sind in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Festlegungen der Ladevolumina der Lang-Lkw und der Vergleichsfahrzeuge für das Szenario zum Feldversuch 2010 in m<sup>3</sup>

Lkw-Typ	Lang-Lkw Typ 2 (lang kurz)	Lang-Lkw Typ 3 (kurz-lang)	konv. Lkw Typ 98 (Sattelaufleger)	konv. Lkw Typ 42 (Gliederzug)
Motorwagen	-	57	-	57
Sattelanhänger	100	100	100	-
Anhänger	57	-	-	57
Ladevolumen	<b>157</b>	<b>157</b>	<b>100</b>	<b>114</b>

LUBW DAIMLER



Diese Gewichts- und Volumenfestlegungen wurden größtenteils auch für das Szenario 2030 beibehalten. Hintergrund dessen ist, dass es zwar einige Faktoren gibt, die eine Zunahme des Leergewichts erwarten lassen (aerodynamische Anbauten, alternative Antriebe sowie Leichtlaufreifen), diese werden jedoch durch andere Faktoren wieder ausgeglichen (beispielsweise die Möglichkeit eines höheren zulässigen Gesamtgewichts bei der Nutzung alternativer Antriebe oder Leichtbautrailer). Einzig bei Lang-Lkw Typ 3 wurde eine Änderung vorgenommen: Aufgrund der Erkenntnisse zur Ladungsdichte aus Kapitel 2.2 kann prinzipiell in vielen Fällen auf eine Achse verzichtet werden, ohne dass die zulässige Achslast überschritten wird. Dies bringt einen Nutzlastgewinn von 700 kg. Da es wahrscheinlich ist, dass dieser Gewichtsvorteil in Zukunft genutzt werden wird, erhöht sich somit die Nutzlast für den Lang-Lkw Typ 3 im Jahr 2030 auf 18.100 kg.

Für den Kombinierten Verkehr wurden einige abweichende Annahmen getroffen. Diese werden in Kapitel 3.5 aufgeführt und erläutert.

### 3.2 POTENTIALERMITTLUNG

Für die Potentialermittlung musste bestimmt werden, in welchen der 20 NST-2007-Güterabteilungen<sup>6</sup> (vgl. Tabelle 8) Lang-Lkw-geeignete Gutgruppen zu finden sind. Dabei ist zu beachten, dass Lang-Lkw aufgrund der Beschränkung auf 40 (44) t zulässiges Gesamtgewicht bei einem gegenüber konventionellen Lkw erhöhten Leergewicht (z. B. durch den bei Typ 3 genutzten Dolly) nur für leichte Volumengüter geeignet sind. Dies wird in Tabelle 7 beispielhaft durch eine Umrechnung der Nutzlast in die durchschnittlichen Paletten-gewichte bei voller Zuladung für die betrachteten Lkw-Modelle dargestellt. Diese stellen somit die Grenz-gewichte pro Palettenstellplatz dar, die nicht überschritten werden können, sofern der Lang-Lkw im Hinblick auf die maximal zur Verfügung stehenden Palettenstellplätze sowie die einzuhaltenden maximalen Achslas-ten voll ausgelastet werden soll.

Tabelle 7: Nutzlast und durchschnittliche maximale Gewichte pro Palettenstellplatz bei voller Zuladung für verschiedene Lkw-Typen

Lkw-Typ	Nutzlast (vgl. Tabelle 5)	Palettenstellplätze (vgl. Tabelle 4)	Ø max. Palettengewicht
Lang-Lkw Typ 2	19.100 kg	53	360 kg
Lang-Lkw Typ 3	17.400 kg	53	328 kg
konv. Lkw Typ 98	25.000 kg	34	735 kg
konv. Lkw Typ 42	22.100 kg	38	582 kg

LUBW DAIMLER

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Gewichte pro Palettenstellplatz der 20 NST-2007-Güterabteilungen wurde auf Erkenntnisse aus Vorgängerstudien, z. B. [K+P Transport 2012], zurückgegriffen sowie Palet-tengewichte für geeignete Güter aus den einzelnen Gütergruppen im Rahmen einer Internetrecherche ermit-telt. Anhand der so ermittelten Werte wurden auf 50 kg gerundete Durchschnittsgewichte für die einzelnen Güterabteilungen bestimmt (siehe Tabelle 8). Allerdings sind die Güterabteilungen sehr heterogen und wei-

<sup>6</sup> Die Güterabteilungen der NST-2007 dienen der statistischen Klassifizierung von Gütern in der Verkehrsstatistik und sollen eine Vergleichbarkeit der Güterverkehrsstatistik der verschiedenen europäischen Länder bei gleichzeitiger Kompatibilität mit der z. B. in der Produktionsstatistik genutzten Gütergliederung der CPA-2008 ermöglichen. Eine Übersicht über die NST-2007-Güterabteilungen, die zugehörigen Gütergruppen sowie den regulatorischen Rahmen findet sich in [DESTATIS 2008].

Tabelle 8: Durchschnittliche Palettengewichte der NST-2007-Güterabteilungen sowie Eignung für den Transport mit Lang-Lkw

NST-2007-Güterabteilung	Ø Palettengewicht	Transportmenge Straße *	Transportmenge Schiene *	Grundsätzliche Eignung
01 Landwirtschaftliche Erzeugnisse	350 kg	2010: 147 Mio. t 2030: 164 Mio. t	2010: 4,6 Mio. t 2030: 6,0 Mio. t	Aufgrund Gewicht tlw. geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
02 Kohle, Erdöl, Erdgas	450 kg	2010: 6 Mio. t 2030: 2 Mio. t	2010: 31,0 Mio. t 2030: 12,5 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen nicht geeignet
03 Erze, Steine, Erden	650 kg	2010: 837 Mio. t 2030: 859 Mio. t	2010: 38,7 Mio. t 2030: 46,6 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen nicht geeignet
04 Nahrungs- und Genussmittel	300 kg	2010: 276 Mio. t 2030: 329 Mio. t	2010: 0,9 Mio. t 2030: 1,9 Mio. t	Aufgrund Gewicht tlw. geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
05 Textilien, Bekleidung, Lederwaren	300 kg	2010: 11 Mio. t 2030: 14 Mio. t	2010: 0,0 Mio. t 2030: 0,2 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen geeignet
06 Holz, Papier, Druckerezeugnisse	400 kg	2010: 108 Mio. t 2030: 126 Mio. t	2010: 3,3 Mio. t 2030: 4,9 Mio. t	Aufgrund Gewicht nur tlw. geeignet, auch wenn aufgrund logistischer Anforderungen prinzipiell geeignet
07 Mineralerzeugnisse	700 kg	2010: 90 Mio. t 2030: 64 Mio. t	2010: 37,2 Mio. t 2030: 35,4 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen nicht geeignet
08 Chemische Erzeugnisse, Gummiwaren, Kunststoffwaren	350 kg	2010: 110 Mio. t 2030: 121 Mio. t	2010: 21,2 Mio. t 2030: 26,3 Mio. t	Aufgrund Gewicht tlw. geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
09 Sonstige Mineralerzeugnisse	500 kg	2010: 269 Mio. t 2030: 290 Mio. t	2010: 9,9 Mio. t 2030: 11,5 Mio. t	Aufgrund Gewicht nicht geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
10 Metalle und Metallerzeugnisse	550 kg	2010: 118 Mio. t 2030: 134 Mio. t	2010: 48,0 Mio. t 2030: 52,6 Mio. t	Aufgrund Gewicht nicht geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
11 Maschinen und Ausrüstung	250 kg	2010: 47 Mio. t 2030: 58 Mio. t	2010: 0,5 Mio. t 2030: 0,9 Mio. t	Aufgrund Gewicht tlw. geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
12 Fahrzeuge	400 kg	2010: 62 Mio. t 2030: 78 Mio. t	2010: 6,1 Mio. t 2030: 9,8 Mio. t	Aufgrund Gewicht tlw. geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen nicht geeignet
13 Möbel, Spielwaren, sonstige Erzeugnisse	250 kg	2010: 12 Mio. t 2030: 14 Mio. t	2010: 0,0 Mio. t 2030: 0,2 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen geeignet
14 Sekundärrohstoffe und Abfälle	450 kg	2010: 235 Mio. t 2030: 239 Mio. t	2010: 11,7 Mio. t 2030: 13,0 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen nicht geeignet
15 Post, Pakete	300 kg	2010: 30 Mio. t 2030: 36 Mio. t	2010: 0,0 Mio. t 2030: 0,0 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen geeignet
16 Geräte und Material für die Güterbeförderung	200 kg	2010: 66 Mio. t 2030: 82 Mio. t	2010: 2,1 Mio. t 2030: 4,4 Mio. t	Aufgrund Gewicht geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen tlw. nicht geeignet
17 Nichtmarktbestimmte Güter	350 kg	2010: 33 Mio. t 2030: 40 Mio. t	2010: 0,0 Mio. t 2030: 0,0 Mio. t	Aufgrund Gewicht tlw. geeignet; aufgrund logistischer Anforderungen nicht geeignet
18 Sammelgut	300 kg	2010: 83 Mio. t 2030: 103 Mio. t	2010: 0,9 Mio. t 2030: 1,5 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen geeignet
19 Nicht identifizierbare Güter	300 kg	2010: 20 Mio. t 2030: 26 Mio. t	2010: 25,5 Mio. t 2030: 42,4 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen tlw. geeignet
20 Sonstige Güter	400 kg	2010: 0 Mio. t 2030: 0 Mio. t	2010: 0,0 Mio. t 2030: 0,0 Mio. t	Aufgrund Gewicht und logistischer Anforderungen nicht geeignet

\* Eigene Auswertung nach [BVU et al. 2014]

LUBW DAIMLER

sen zudem teilweise besondere logistische Anforderungen auf (z. B. Transport in Tanks oder mit Spezialaufbauten), sodass alleine vom Durchschnittsgewicht noch nicht auf die grundsätzliche Eignung für den Lang-Lkw geschlossen werden konnte. Daher wurde im Rahmen der Fachgespräche den Interviewpartnern eine Reihe von möglicherweise für den Lang-Lkw interessanten Gütergruppen genannt und deren grundsätzliche Eignung diskutiert. Aufbauend auf den Antworten wurden somit die Güterabteilungen weiter differenziert und ihre vollständige, teilweise oder nicht vorhandene Eignung für den Lang-Lkw festgelegt, die für die einzelnen Güterabteilungen ebenfalls der Tabelle 8 entnommen werden können. Die Palettengewichte wur-

den unverändert auch für die Berechnung des Szenarios 2030 verwendet, da keine verlässlichen Aussagen zu etwaigen Gewichtsveränderungen bis 2030 getroffen werden können.

Um die Eignung der Güterabteilungen in ein Potential zu übersetzen, wurden für diese jeweils „Potentialfaktoren“ bestimmt. Dabei wurde einer Güterabteilung ein Potentialfaktor von 1,00 zugewiesen, wenn sie vollständig Lang-Lkw-affin ist; ist sie vollständig für den Transport per Lang-Lkw ungeeignet, so wurde ihr ein Potentialfaktor von 0,00 zugewiesen; ist sie hingegen teilweise Lang-Lkw-affin, wurden den in [BVU et al. 2014] definierten Verkehrszellen (alle deutschen Landkreise zum 31.12.2010 sowie die deutschen Seehäfen) jeweils spezifische Potentialfaktoren zugewiesen. Daraus ergaben sich folgende Festlegungen:

- Für die bereits in der Tabelle 8 als für den Transport per Lang-Lkw ungeeignet identifizierten Güterabteilungen *NST02*, *NST03*, *NST07*, *NST09*, *NST10*, *NST12*, *NST14*, *NST17* und *NST20* wird ein Potentialfaktor von 0,00 angenommen.
- Für die in der Tabelle 8 als vollumfänglich für den Transport per Lang-Lkw geeignet identifizierten Güterabteilungen *NST05*, *NST13*, *NST15* und *NST18* wird ein Potentialfaktor von 1,00 angenommen.
- Die Güterabteilung *NST01* (Landwirtschaftliche Erzeugnisse) weist prinzipiell von den Befragten in den Fachinterviews als Lang-Lkw-geeignet eingeschätzte Gütergruppen auf. Aus logistischen Gründen (z. B. Aufkommensspitzen zur Erntezeit, Gewicht zusätzlicher Kühlaggregate, europäische Transportnetze, spezielle Aufbauten) ist ein Einsatz von Lang-Lkw unter den in den Fachgesprächen herausgearbeiteten Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb wie feste Relationen und mindestens ein wochentäglicher Umlauf sowie den aus den Rahmenbedingungen des Feldversuchs gegebenen Einschränkungen bei der Nutzlast und beim Streckennetz schwer vorstellbar, weswegen ein Potentialfaktor von 0,00 angenommen wird.
- Für die Güterabteilungen *NST04*, *NST06*, *NST08* und *NST11* wurden mit Hilfe einer Unternehmensdatenbank sowie begleitender Internetrecherche die Produktionsstandorte inklusive Beschäftigtenzahlen in der Herstellung der Lang-Lkw-affinen Gütergruppen identifiziert und auf Basis der durch DESTATIS erfolgenden vierteljährlichen Produktionserhebung im verarbeitenden Gewerbe [DESTATIS 2016] sowie den von der Bundesagentur für Arbeit zur Verfügung gestellten Anzahlen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach der Klassifikation der Berufe [BfA 2016a] bzw. nach Wirtschaftsabteilung [BfA 2016b] plausible verkehrszellenspezifische Potentialfaktoren festgelegt<sup>7</sup>. Eine Übersicht über die jeweiligen Potentialfaktoren nach Verkehrszelle findet sich im Anhang 10.4.
- Ein Sonderfall ist die Güterabteilung *NST16* (Geräte und Material für die Güterbeförderung), in welcher bspw. Fahrten mit Leercontainern oder Fahrten mit anderen leeren Transportgefäßen erfasst werden. Aus den Fachgesprächen ergab sich, dass viele Umläufe aus einer Hinfahrt mit Ladung und einer Rückfahrt, bei der z. B. leere Ladungsträger mitgeführt werden, bestehen. Daher ist diese Güterabteilung prinzipiell für den Lang-Lkw geeignet. Um das Potential aber nicht zu überschätzen (niemand wird einen Lang-Lkw nur für den Transport leerer Transportbehälter anschaffen), wurde folgendes Verfahren entwickelt: Wenn zwischen zwei Verkehrszellen bereits Lang-Lkw-Verkehre stattfinden, können bis zu 50% des da-

---

<sup>7</sup> Aufgrund der Datenlage war eine Bestimmung der Potentialfaktoren für Mecklenburg-Vorpommern nur auf Ebene der Landkreise nach der Kreisreform 2011 möglich, weswegen allen in dieser Reform zusammengefassten Verkehrszellen die gleichen Potentialfaktoren zugewiesen wurden (Demmin wurde dabei vereinfachend in seiner Gesamtheit als Bestandteil des LK Mecklenburgische Seenplatte behandelt). Darüber hinaus wurde bei Verkehrszellen, die Seehäfen entsprechen, vereinfachend die gleichen Potentialfaktoren wie bei der Verkehrszelle, in der der Hafen liegt, angenommen.

bei auf der Hinfahrt transportierten Gütervolumens aus der Güterabteilung NST16 als Rückladung aufgenommen werden, sofern ein Aufkommen der Güterabteilung NST16 in der Gegenrichtung vorhanden ist. Zusätzlich wurde für Verkehrszellen, die Seehäfen enthalten, ein Potentialfaktor von 1,00 angenommen, um den Transport von leeren See-Containern im Hafenhinterlandverkehr abzubilden, der prinzipiell mit Lang-Lkw durchgeführt werden kann.

- Die Güterabteilung *NST19* (nicht identifizierbare Güter) entspricht Gütern in Containern und Wechselbehältern. Da diese einen Querschnitt des gesamten Marktes widerspiegeln, wurde für diese Güterabteilung vereinfachend angenommen, dass der Anteil der Lang-Lkw-affinen Güter in dieser Güterabteilung dem Anteil der Lang-Lkw-affinen Güter an der Gesamtmenge aller Güterabteilungen außer der NST19 entspricht.

Für das Jahr 2030 wurden die Potentialfaktoren größtenteils beibehalten, da sich die in den Fachgesprächen als relevant identifizierten Trends (siehe Kapitel 2.2, S. 19, Abbildung 3) in den meisten Fällen gegenseitig aufwiegen. In zwei Fällen wurden jedoch Änderungen vorgenommen:

- Für die Güterabteilung *NST08* (Chemische Erzeugnisse, Kunststoffwaren, Gummiwaren) konnten zwar die Zunahme von Hub-Hub-Verkehren sowie der Gewichtsreduktion der Fahrzeuge durch Leichtbauweise als für den Lang-Lkw positiv einzuschätzende Trends identifiziert werden, gleichzeitig wirken sich jedoch neben den kleineren Sendungsgrößen zwei weitere Faktoren nachteilig aus: Durch die zunehmende Verwendung additiver Verfahren (3D-Druck) in der Fertigung von Kunststoffteilen wird tendenziell der Anteil an Kunststoffpulvern zunehmen, während der zu transportierende Anteil an fertigen Kunststoffteilen zurückgehen wird. Zudem kann [Prognos 2015], basierend auf der Entwicklung der realen Bruttowertschöpfung bis 2030, eine Verschiebung der Wertschöpfung innerhalb der Güterabteilung zugunsten chemischer Grundprodukte, die aus logistischen Gründen nicht Lang-Lkw-affin sind, entnommen werden. Aus diesem Grund wurden die verkehrszellenspezifischen Potentialfaktoren der Güterabteilung für das Jahr 2030 um -0,05 verringert. Die so ermittelten Werte können dem Anhang 10.4 entnommen werden.
- Die Güterabteilung *NST19* (nicht identifizierbare Güter) wurde anhand der veränderten Potentialfaktoren sowie der sich geänderten Verhältnisse der Güterabteilungen am Gesamtvolumen neu berechnet.

Tabelle 9 auf der Seite 27 zeigt noch einmal zusammengefasst die Potentialfaktoren nach Güterabteilungen, auf deren Grundlage das Gesamtpotential ermittelt wird.

Für die nur teilweise Lang-Lkw-affinen Güterabteilungen ergab sich dabei das Problem, dass mit Ausnahme der Güterabteilung NST16 (Geräte und Material für die Güterbeförderung) einige Gütergruppen innerhalb der Güterabteilungen aus Gewichtsgründen nicht für den Lang-Lkw in Frage kommen. Daher wurde für diese Güterabteilungen neben dem durchschnittlichen Palettengewicht über die gesamte Abteilung jeweils ein durchschnittliches Palettengewicht für die Lang-Lkw-affinen Produktgruppen bestimmt. Dafür wurden aufbauend auf den für die Identifizierung der durchschnittlichen Palettengewichte über die ganze Güterabteilung genutzten Informationen die durchschnittlichen Palettengewichte nur für diese Lang-Lkw-affinen Produktgruppen einer Güterabteilung bestimmt. Dieses wurde in die folgende Gleichung eingesetzt:

$$P_{kLkw,i} = \frac{P_{ges,i} - P_{LLkw,i} \cdot A_{LLkw,i}}{A_{kLkw,i}}$$

wobei:

$P_{kLkw,i}$ : durchschnittl. Palettengewicht der im konventionellen Lkw transportierten Produktgruppen der Güterabteilung  $i$

$P_{ges,i}$ : durchschnittl. Palettengewicht der gesamten Güterabteilung  $i$

$P_{LLkw,i}$ : durchschnittl. Palettengewicht Lang-Lkw-affiner Produktgruppen der Güterabteilung  $i$

$A_{LLkw,i}$ : Anteil Lang-Lkw-affiner Produktgruppen an Gütervolumen Güterabteilung  $i$

$A_{kLW,i}$ : Anteil der im konventionellen Lkw transportierter Produktgruppen an Gütervolumen Güterabteilung  $i$

Die Anteile der Lang-Lkw-affinen Produktgruppen am Gütervolumen der Güterabteilungen wurden dabei aus den Gewichtsangaben in [DESTATIS 2016] abgeleitet.

Tabelle 9: Potentialfaktoren der NST-2007-Güterabteilungen

NST-2007-Güterabteilung	Potentialfaktor 2010	Anpassung für 2030
01 Landwirtschaftliche Erzeugnisse	0,00	Nein
02 Kohle, Erdöl, Erdgas	0,00	Nein
03 Erze, Steine, Erden	0,00	Nein
04 Nahrungs- und Genussmittel	verkehrszellenspezifisch <sup>8</sup>	Nein
05 Textilien, Bekleidung, Lederwaren	1,00	Nein
06 Holz, Papier, Druckerzeugnisse	verkehrszellenspezifisch	Nein
07 Mineralölerzeugnisse	0,00	Nein
08 Chem. Erzeugnisse, Gummi-, Kunststoffwaren	verkehrszellenspezifisch	Ja (Potential sinkt)
09 Sonstige Mineralerzeugnisse	0,00	Nein
10 Metalle und Metallerzeugnisse	0,00	Nein
11 Maschinen und Ausrüstung	verkehrszellenspezifisch	Nein
12 Fahrzeuge	0,00	Nein
13 Möbel, Spielwaren, sonstige Erzeugnisse	1,00	Nein
14 Sekundärrohstoffe und Abfälle	0,00	Nein
15 Post, Pakete	1,00	Nein
16 Geräte und Material für die Güterbeförderung	Als Rückladung oder im Hafenhinterlandverkehr	Nein
17 Nichtmarktbestimmte Güter	0,00	Nein
18 Sammelgut	1,00	Nein
19 Nicht identifizierbare Güter	0,20	Ja (Neuberechnung: 0,22)
20 Sonstige Güter	0,00	Nein

 DAIMLER

Die so ermittelten durchschnittlichen Palettengewichte für die im konventionellen Lkw zu transportierenden Güter wurden anschließend auf 5 kg genau gerundet. Damit wurde sichergestellt, dass das durchschnittliche Gesamtgewicht pro Güterabteilung konstant bleibt, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass es sich bei im Lang-Lkw zu transportierenden Gütern um Volumengüter handelt. Die so ermittelten Palettengewichte können der Tabelle 10 entnommen werden.

<sup>8</sup> Eine Übersicht über die verkehrszellenspezifischen Potentialfaktoren findet sich im Anhang 10.4

Tabelle 10: Angenommene Palettengewichte für konventionelle bzw. Lang-Lkw für Güterabteilungen mit teilweiser Eignung für den Lang-Lkw

NST-2007-Güterabteilung	Anteil Lang-Lkw-affiner Güter	Ø Palettengewicht Lang-Lkw	Anteil konv. Lkw-affiner Güter	Ø Palettengewicht konv. Lkw	Ø Palettengewicht ges.
<b>04 Nahrungs- und Genussmittel</b>	46%	200 kg	54%	380 kg	300 kg
<b>06 Holz, Papier, Druckerzeugnisse</b>	2%	250 kg	98%	405 kg	400 kg
<b>08 Chem. Erzeugnisse, Gummi-, Kunststoffwaren</b>	39%	250 kg	61%	415 kg	350 kg
<b>11 Maschinen und Ausrüstung</b>	50%	250 kg	50%	550 kg	400 kg
<b>19 Nicht identifizierbare Güter</b>	20%	250 kg	80%	310 kg	300 kg

LUBW DAIMLER

### 3.3 VERKEHRSUMLEGUNG

Ein Transport kann nur dann mit Lang-Lkw durchgeführt werden, wenn Quelle und Ziel über das Positivnetz miteinander verbunden sind. Das Straßennetzmodell in Abbildung 4 zeigt das Positivnetz mit dem Stand der 6. Änderungsverordnung auf Kreisebene in Deutschland, wie es von der BASt als Shapefile zur Verfügung gestellt wurde<sup>9</sup> [BASt 2016a]. Blau eingefärbt sind alle Kreise, durch die Streckenabschnitte des Positivnetzes verlaufen. Ausschließlich diese Kreise sind mögliche Quellen und Ziele verlagerbarer Verkehre im Szenario 2010. Nicht berücksichtigt wird dabei, ob es in diesen Kreisen im Rahmen des Feldversuchs tatsächlich für Lang-Lkw möglich ist, Ladung aufzunehmen oder abzuladen. Grund hierfür ist die geographische Tiefe der Daten für die Potentialermittlung. Da die Verkehrsverflechtungsmatrizen des BVWP [BVU et al. 2014] Aufkommen nach Quelle und Ziel auf Kreisebene abbilden, lässt sich das Potential für Lang-Lkw nicht genauer innerhalb der Kreise verorten und damit auch nicht bestimmen, ob innerhalb eines Kreise Unterschiede im Anschluss an das Positivnetz bestehen.

Für die Nachfrageuntersuchung im Szenario 2010 wurden nur Mengen aus den Basismatrizen der Verkehrsprognose herangezogen, bei denen die Quell- und Zielzellen jeweils über das Positivnetz miteinander verbunden sind<sup>10</sup>. Die Umlegung der Lang-Lkw erfolgte nur auf das derzeit gültige Positivnetz, während die konventionellen Lkw auf das Gesamtnetz (vgl. Abbildung 5) umgelegt wurden. Aus den Fachgesprächen wurde ein maximaler Umwegfaktor für Lang-Lkw-Fahrten ermittelt, der in der Größenordnung von ca. 15% liegt, was sehr gut mit den für die Daimler-Verkehre ermittelten Werten korrespondiert (s. Kapitel 5.3). Gemeint ist damit die maximale Länge der Strecke, die ein Lang-Lkw zusätzlich fahren könnte, bevor der Kostenvorteil des Fahrzeugs dadurch wieder aufgewogen wird. Das bedeutet, dass der Lang-Lkw ab einem Umweg von 15% im Vergleich zur Strecke des konventionellen Lkw keinen Kostenvorteil mehr bietet. Mengen, deren Transport mit dem Lang-Lkw auf dem Positivnetz eine Route mit größerem Umweg erfordern würde, wurden aus diesem Grund nicht im Potential für den Lang-Lkw berücksichtigt.

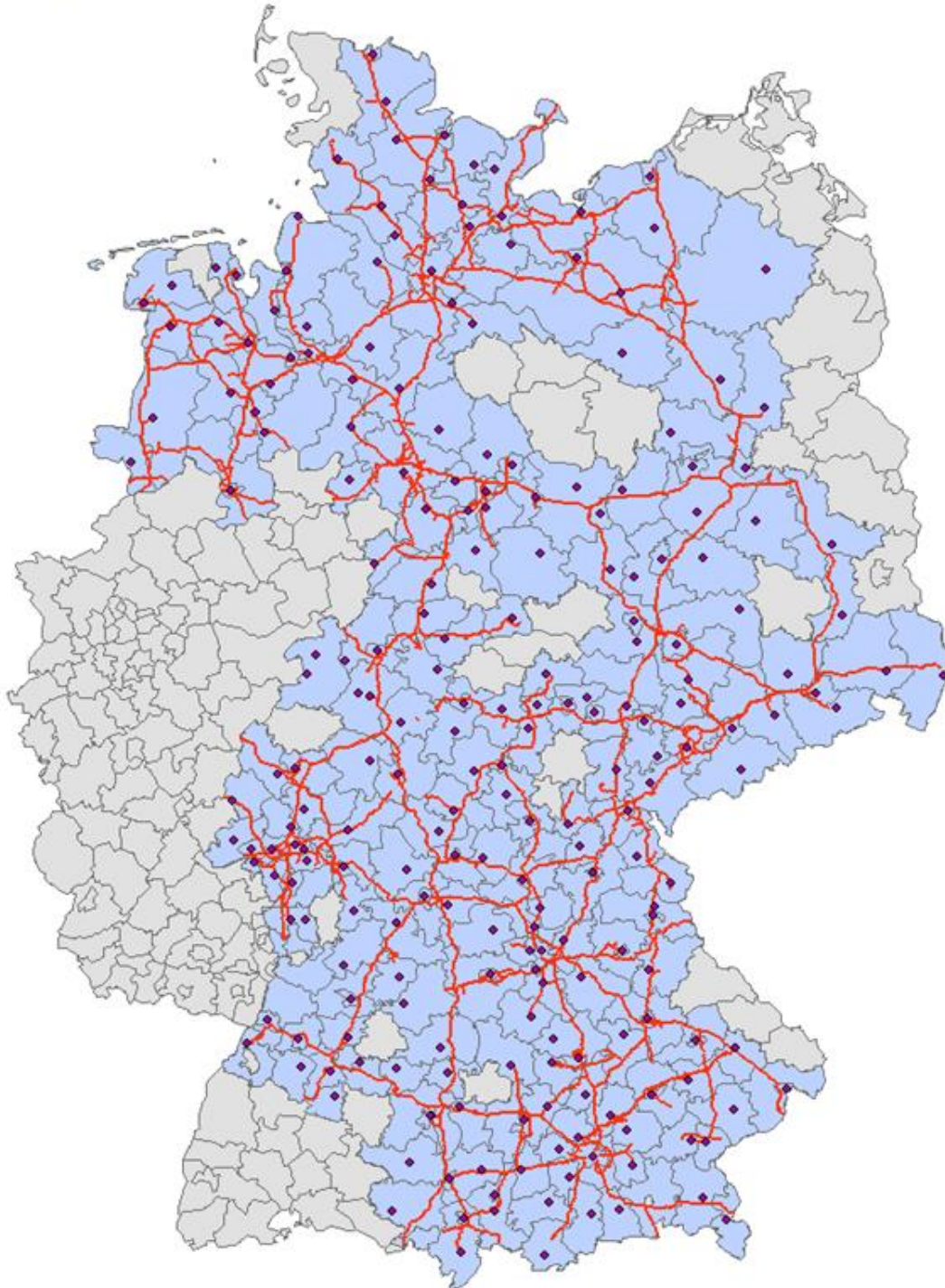
<sup>9</sup> Um die Ermittlung von Transportstrecken auf dem Positivnetz durchzuführen, wurde der Shapefile von Prognos bearbeitet. Dabei wurde sichergestellt, dass alle in der 6. Veränderungsordnung enthaltenen Anschlüsse im Shapefile durch die verwendete GIS Software ArcGIS erkennbar sind.

<sup>10</sup> Bei der Ermittlung des Potentials für die intermodale Verlagerung aus dem Kombinierten Verkehr müssen die Quellzelle des Vorlaufs und die Zielzelle des Nachlaufs über das Positivnetz verbunden sein.



## Legende

- ◆ ausgewählte Kreissitze
- Positivnetz nach der 6. VÄ
- ausgewählte Kreise
- Kreise

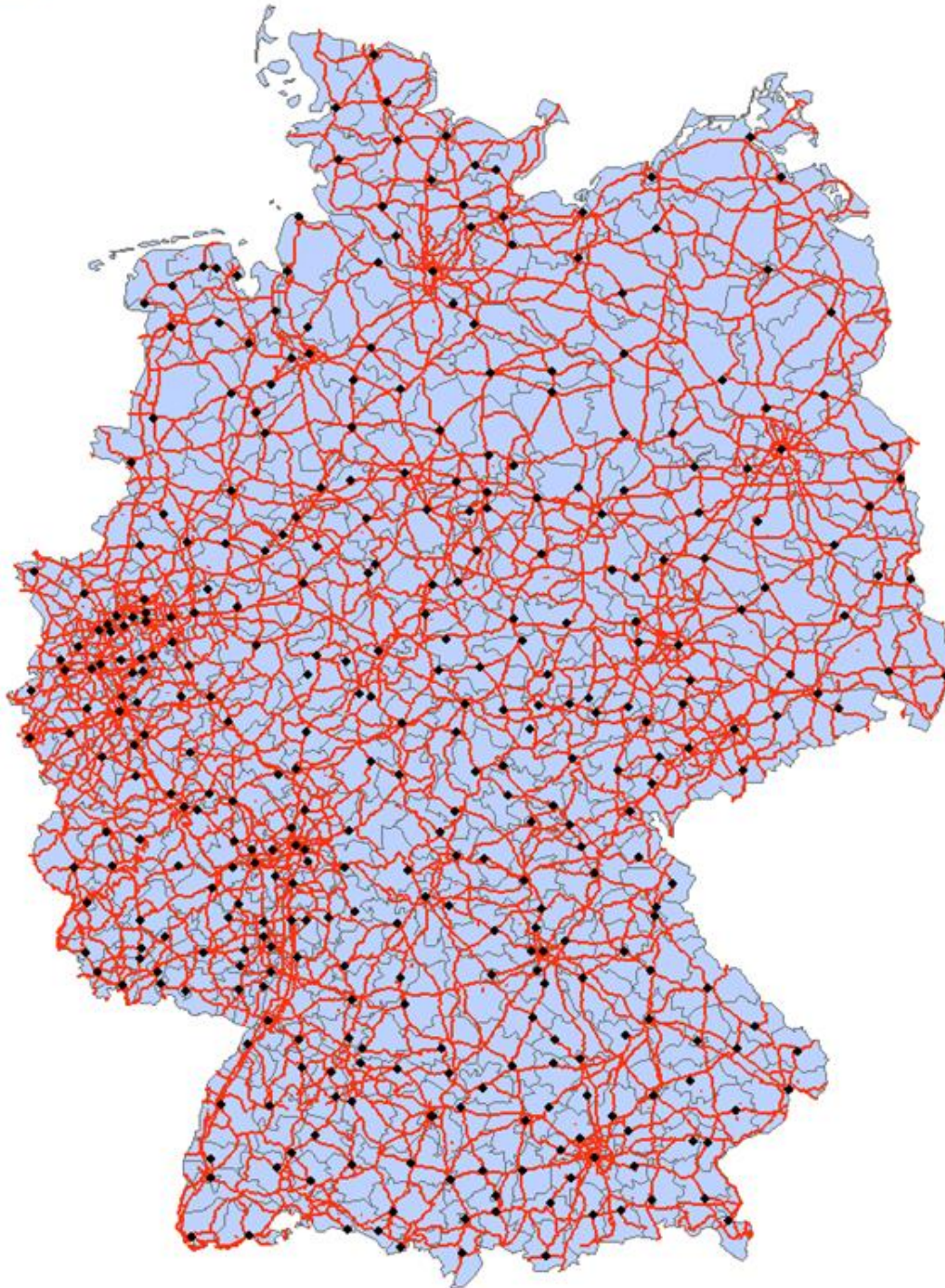


LUBW DAIMLER

Abbildung 4: Straßennetzmodell des Positivnetzes (Eigene Darstellung auf Basis von [BASt 2016])

## Legende

- ◆ Kreissitze
- Erweitertes Fernstraßennetz
- Kreise



LUBW DAIMLER

Abbildung 5: Straßennetzmodell des Gesamtnetzes [Prognos 2016]



Abbildung 5 zeigt das Gesamtnetz, das für Transporte mit konventionellen Lkw genutzt werden kann. Das Gesamtnetz umfasst alle Bundesautobahnen, alle Bundesstraßen und wesentliche Straßen des nachgeordneten Netzes<sup>11</sup>, die für den überregionalen Verkehr von Bedeutung sind [Prognos 2016]. In dieser Abbildung sind alle Kreise in Deutschland blau eingefärbt, um zu verdeutlichen, dass sie durch das Gesamtnetz erschlossen sind. Für das Szenario 2030 wird davon ausgegangen, dass auch Transporte mit Lang-Lkw dieses Gesamtnetz benutzen können. In dieser Zukunftsbetrachtung entfällt damit auch der Zwang zu Umwegen für den Lang-Lkw im Vergleich zur direkten Route mit dem konventionellen Lkw.

### 3.4 INTRAMODALE VERLAGERUNG (KONVENTIONELLE LKW ZU LANG-LKW)

Um zu bestimmen, welcher Anteil des verlagerbaren Potentials tatsächlich mit dem Lang-Lkw transportiert wird, wurde der Kostenvorteil des Transports mit dem Lang-Lkw im Vergleich zum konventionellen Lkw bestimmt und mithilfe einer Preiselastizität Quelle/Ziel- und güterabteilungsspezifisch die Verlagerung berechnet. Die restlichen Mengen aus dem Potential, die nicht auf den Lang-Lkw verlagert werden, werden weiterhin mit konventionellen Lkw transportiert. Zum Vergleich wurde außerdem ein sogenanntes Basisszenario (ohne den Einsatz von Lang-Lkw) gerechnet, in dem das Potential für den Lang-Lkw ausschließlich mit konventionellen Lkw transportiert wird.

Zur Berechnung der intramodalen Verlagerung vom konventionellen auf den Lang-Lkw wurde ein bestehendes Kostenmodell aus [Prognos et al. 2016a] angewandt, das für konventionelle Lkw entwickelt wurde und auf Gesamtkosten von 1,11 €/Fzgkm für den konventionellen Lkw kommt. Dieser Kostensatz wurde in der Sitzung des Projektbeirats diskutiert und von den anwesenden Praktikern aus dem Transportgewerbe bestätigt. Für den Lang-Lkw wurden die folgenden Annahmen aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Fachgesprächen für das Szenario 2010 modifiziert:

- Ein um 18% höherer mittlerer Kraftstoffverbrauch für Lang-Lkw. Unter Berücksichtigung von Leerfahrten wurde ein mittlerer Verbrauch von 33,8 l/100 km im Vergleich zu 29,5 l/100 km für konventionelle Lkw angenommen.
- 5% höhere Fahrerlöhne für Lang-Lkw-Fahrer.
- 60% höhere Kosten für Reifen gegenüber konventionellen Lkw aufgrund der höheren Achszahl.
- Um 27.000 € erhöhte Anschaffungskosten für den Dolly beim Lang-Lkw Typ 3 und damit ein um 22% höherer Anschaffungspreis für eine Lang-Lkw-Kombination des Typs 3, der mit entsprechend höheren Zins- und Abschreibungskosten einhergeht.

Hiernach ergab sich für den Lang-Lkw ein im Vergleich zum konventionellen Lkw um 11% erhöhter Kostensatz von 1,22 € pro Kilometer. In der Tabelle 11 sind die beiden Kostensätze und deren Bestandteile einander gegenübergestellt. Hierin beinhalten die direkten Kosten alle variablen und fixen Kosten (ohne Fahrerkosten) und die Strukturkosten die Verwaltungskosten.

Die Kostensätze je Fzgkm liegen damit am unteren Rand der im BASt-Bericht „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung“ [TCI Röhling 2015] genannten Spannbreiten von 1,13 € bis

---

<sup>11</sup> Die wesentlichen Straßen des nachgeordneten Netzes umfassen Autobahnzubringer, Landstraßen und andere Durchgangsstraßen, sofern sie wichtig für die Anbindung der Kreissitze an das Fernstraßennetz sind.

2,50 € pro Fzgkm<sup>12</sup>. Der für die Verlagerungsrechnung bedeutsame relative Kostenunterschied zwischen konventionellen Lkw und Lang-Lkw liegt bei 11% und damit ebenfalls in der Spannweite der zitierten BAST-Untersuchung, die im Mittel 17,5% nennt (allerdings ebenfalls mit einer sehr großen Spannweite von 5% bis 40%). In der Summe erscheinen die mit dem Kostenmodell ermittelten Fzgkm-Kostensätze realistisch, berücksichtigt man, dass derzeit im Straßengüterfernverkehr Marktpreise um 1,00 €/Fzgkm erzielt werden.

Tabelle 11: Kosten pro Fzgkm für konventionelle und Lang-Lkw im Szenario 2010

Kostenkomponenten	Kosten pro Fzgkm konventionelle Lkw	Kosten pro Fzgkm Lang-Lkw
Direkte Kosten	0,61 €	0,71 €
Fahrerkosten	0,37 €	0,38 €
Strukturkosten	0,13 €	0,13 €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>1,11 €</b>	<b>1,22 €</b>

LUBW DAIMLER

Die Verladung des ermittelten Potentials auf konventionelle und Lang-Lkw geschieht anhand der Palettenstellplatzgewichte der im Potential enthaltenen Güterabteilungen sowie der Anzahl der Palettenstellplätze und der Nutzlast der Fahrzeuge. Das ermittelte Potential jeder Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination wird getrennt voneinander verladen, wobei immer dann eine zusätzliche Fahrt notwendig wird, wenn bei der Beladung des ersten Fahrzeugs entweder alle Palettenstellplätze bereits belegt sind oder die Nutzlast erreicht ist. Das bedeutet, dass auf einer Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination immer alle Fahrzeuge mit Ausnahme der letzten Fahrt voll beladen sind<sup>13</sup>.

Anhand der so ermittelten Fahrleistung, die notwendig ist, um das Potential einer Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination zu transportieren, werden die Fahrtkosten und, je nachdem welches Fahrzeug kostengünstiger ist, auch die Verlagerung berechnet.

Beim Einsatz von Lang-Lkw wird im Szenario 2010 von einem Mischverhältnis entsprechend der Teilnahme am Feldversuch von 80% Typ 3 und 20% Typ 2 ausgegangen. Im Szenario 2030 wird aufgrund der in Kapitel 2.2 gewonnenen Einschätzungen der Interviewpartner sowie den in [TCI Röhling et al. 2016] dargelegten Erkenntnissen aus dem Feldversuch davon ausgegangen, dass sich der Typ 2 aufgrund seiner ungünstigeren Eigenschaften nicht am Markt durchsetzen wird und zu 100% Fahrzeuge des Typ 3 eingesetzt werden. Da beide Fahrzeugtypen 53 Palettenstellplätze besitzen, ändert sich hierdurch die volumenbezogene Ladungsgrenze nicht. Allerdings steigt die durchschnittliche Nutzlast des Lang-Lkw im Szenario 2030 bei nun ausschließlicher Nutzung des Typ 3 durch den Entfall einer Achse von 17,74 t (Szenario 2010) auf 18,1 t (siehe Kapitel 3.1). Für konventionelle Lkw wird ein gleichbleibendes Mischverhältnis von 70% Sattelkraftfahrzeugen und 30% Gliederzügen angenommen, das 35,2 Palettenstellplätze und eine Nutzlast von 24,13 t aufweist.

Bezogen auf den Palettenstellplatz ergeben sich – unter Annahme der in den Gesprächen mit Daimler und anderen Fachgesprächen genannten Auslastung von 85% (siehe Kapitel 2) – Kostensätze von 0,04 € pro

<sup>12</sup> Wie im folgenden Kapitel 3.5 noch gezeigt wird, ist der Extremwert von 2,50 € vermutlich dadurch zu erklären, dass es sich hierbei um einen Einsatz des LLkw im Vor- und Nachlauf zum Kombinierten Verkehr handelt.

<sup>13</sup> Leerfahrten werden bei dieser Ermittlung der Fahrleistung nur anhand der Güterabteilung *NST16* erfasst, da die Kosten auf der Basis der jährlichen Fahrleistung pro Lkw (ca. 120.000 km) errechnet wurden, in dem der Leerfahrtenanteil enthalten ist.

Stellplatzkilometer für den konventionellen Lkw und 0,03 € pro Stellplatzkilometer für den Lang-Lkw. Dieser Wert entspricht dem im BAST-Bericht genannten Wert.

Für das Szenario 2030 wurden folgende Annahmen getroffen, die die Kostensätze beeinflussen:

- Die Dieselpreise steigen bis 2030 um 1,57% p.a. pro Liter an. Diese Annahme stützt sich auf [EWI et al. 2014].
- Die Zeitreihe zur Lohnentwicklung von Berufskraftfahrern in [MAIS 2015] zeigen, dass die Fahrerlöhne inflationsbereinigt seit 1990 um ca. 1,5% p.a. angestiegen sind. Aufgrund des zunehmenden Fahrer Mangels ist nicht davon auszugehen, dass dieser Trend aufhören wird, weswegen er bis zum Jahr 2030 fortgeschrieben wurde.
- Steigende Kraftstoffeffizienz führt zu niedrigeren spezifischen Verbräuchen für das Jahr 2030 von 23 l/100 km für konventionelle bzw. von 26 l/100 km für Lang-Lkw<sup>14</sup>. Die Ursachen für den Rückgang (u.a. Optimierung von Zugmaschine und Sattelanhänger, Leichtlaufreifen) werden in Kapitel 4.1.5 detailliert beschrieben.
- Es wurde eine zusätzliche Spreizung zwischen der Lkw-Maut und den Trassenpreisen im Schienengüterverkehr zulasten der Lkw-Maut von 0,02 €/km bis 2030 angesetzt, um die zu erwartende Zunahme der Einpreisung externer Kosten sowie Zinseffekte abzubilden. Die Höhe des Betrags wurde anhand eines Abgleichs der Entwicklungen der Mautsätze sowie der Trassenpreise seit Einführung der Lkw-Maut abgeschätzt<sup>15</sup>. Dabei wurde von den fixierten Sätzen für 2010 ausgegangen. Diese betragen 0,155 €/km (Maut für Lkw mit min. 5 Achsen und der besten Schadstoffklasse) bzw. 2,68€/Trassenkilometer (durchschnittlicher Trassenpreis SGV Standard laut [BNetzA 2015, S. 40]).

Auf einen Inflationsaufschlag wurde verzichtet, da dieser alle Kostensätze gleichermaßen betreffen würde und somit zu keiner relativen Veränderung zwischen den einzelnen Kostensätzen führen würde. Ebenso wurde die Annahme des Praxiseinsatzes von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen und der damit verbundenen Rückwirkungen auf die Einsatzeffizienz sowie die Personalkosten des Fahrpersonals mit den Auftraggebern diskutiert und letztlich darauf verzichtet.

Aus den genannten Annahmen ergaben sich die in Tabelle 12 dargestellten Kostensätze für konventionelle bzw. Lang-Lkw für das Szenario 2030.

Tabelle 12: Kosten pro Fzgkm für konventionelle und Lang-Lkw im Szenario 2030

Kostenkomponenten	Kosten pro Fzgkm konventionelle Lkw	Kosten pro Fzgkm Lang-Lkw
Direkte Kosten	0,66 €	0,75 €
Fahrerkosten	0,46 €	0,48 €
Strukturkosten	0,13 €	0,13 €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>1,27 €</b>	<b>1,38 €</b>

 LUBW DAIMLER

<sup>14</sup> Es wurde vereinfachend auf eine zuladungsgewichtsabhängige Verbrauchsfunktion verzichtet, da in der Realität bei Preiskalkulationen ebenfalls auf einen durchschnittlichen Verbrauch zurückgegriffen wird.

<sup>15</sup> Zur Entwicklung der Trassenpreise in der Kategorie „SGV Standard“ siehe [BNetzA 2015, S. 40]

Zur Berechnung der Verlagerung wurden zusätzlich Preiselastizitäten genutzt. Dieser in den Wirtschaftswissenschaften verbreitete Ansatz beruht auf der Annahme, dass die Nachfrage nach einem Produkt oder einer Dienstleistung unterschiedlich stark auf eine Preisänderung reagiert. Ausschlaggebend für die Reaktion ist, ob das Produkt durch ein ähnliches ersetzbar ist oder ganz darauf verzichtet werden kann. Reagiert die Nachfrage sehr stark auf eine Preisänderung, so wird sie als elastisch beschrieben, bei einer geringen Reaktion ist die Nachfrage unelastisch.

Für den Lang-Lkw ist das Konzept der Kreuzpreiselastizität wichtig, mit dem sich berechnen lässt, wie stark die Nachfrage nach einem Produkt (Lang-Lkw) auf Veränderungen im Preisunterschied zu einem Substitut dieses Produktes (konventioneller Lkw) reagiert. Mithilfe der entsprechenden Kreuzpreiselastizität lässt sich also abschätzen, wie stark die Nachfrage auf den Kostenvorteil von Lang-Lkw im Vergleich zu konventionellen Lkw reagiert und Transporte tatsächlich auf den Lang-Lkw verlagert werden. Die Formel, nach der die Kreuzpreiselastizität berechnet wird, kann so umgestellt werden, dass sich aus dem identifizierten Potential und den Transportkosten mit dem konventionellen Lkw und mit dem Lang-Lkw für jede Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination aus den Verkehrsverflechtungsmatrizen die Verlagerung berechnen lässt.

$$\varepsilon_{LLkw,kLkw} = \frac{X_{LLkw}}{X_{kLkw}} \cdot \frac{C_{LLkw} - C_{kLkw}}{C_{kLkw}}$$

$$\Leftrightarrow X_{LLkw} = \varepsilon_{LLkw,kLkw} \times \frac{C_{LLkw} - C_{kLkw}}{C_{kLkw}} \times X_{kLkw}$$

wobei:

- $\varepsilon_{LLkw,kLkw}$ : Kreuzpreiselastizität des Lang-Lkw in Bezug zum konventionellen Lkw
- $X_{LLkw}$ : Nachfrage für den Lang-Lkw
- $X_{kLkw}$ : Nachfrage für den konventionellen Lkw (entspricht dem Potential für den Lang-Lkw)
- $C_{LLkw}$ : Preis des Lang-Lkw
- $C_{kLkw}$ : Preis des konventionellen Lkw

In der verkehrswissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl von Elastizitäten, die je nach empirischer Grundlage im Schwankungsbereich von -0,1 bis -0,9 liegen. Da noch keine empirisch hergeleiteten Kreuzpreiselastizitäten für die Verlagerung von konventionellen auf Lang-Lkw vorliegen, müssen Untersuchungen zur intermodalen Verlagerung zwischen Schienen- und Straßengüterverkehr den ersten Ansatzpunkt liefern. Hier zeigen statistische Untersuchungen aus verschiedenen europäischen Ländern eine Kreuzpreiselastizität von ca. -0,4 [significance/CE Delft 2010]. Allerdings ist davon auszugehen, dass eine intramodale Verlagerung vom konventionellen Lkw zum Lang-Lkw leichter ist, als etwa vom Lkw zur Bahn oder zum Binnenschiff, sodass für die Verlagerungsrechnung eine leicht höhere Elastizität von -0,6 angesetzt wurde.

Abschließend wurde eine Minimalgrenze von 50 Fahrten pro Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination pro Jahr festgelegt. Ist die auf den Lang-Lkw verlagerte Menge aus einer Güterabteilung auf einer bestimmten Quelle-Ziel-Relation kleiner als die Zuladung von 50 voll beladenen Lang-Lkw pro Jahr, so wird diese Güterabteilung auf dieser Relation nicht verlagert. Diese Annahme dient dazu, in solchen Fällen eine Verlagerung auszuschließen, in denen die Entwicklung und Umsetzung eines Lang-Lkw-Einsatzes aufgrund unzureichender passender Nachfrage nicht realistisch ist. Die Annahme spiegelt auch das Ergebnis aus den Fachgesprächen zum Lang-Lkw-Einsatz, dass Lang-Lkw generell nur für regelmäßige Linienverkehre eingesetzt werden (siehe auch Kapitel 2.2).

### 3.5 INTERMODALE VERLAGERUNG (BAHN ZU LANG-LKW)

Zur Berechnung der intermodalen Verlagerungen wurde ebenfalls auf ein bei der Prognos AG vorhandenes Kostenmodell zurückgegriffen, das differenzierte Kostensätze für alle Bahn-Produktionssysteme (Kombinierter Verkehr, Einzelwagen, Ganzzug) liefert. Dieses Modell wurde für einen Schienennetzbetreiber entwickelt und in der Zwischenzeit aktualisiert. Für die hier vorliegende Untersuchung wurden nur die Produktionssysteme Kombiniertes Verkehr (KV) und Einzelwagen betrachtet. Grundüberlegung ist, dass Ganzzugverkehre aufgrund ihres Kostenvorteils nicht für die Verlagerung auf den Lang-Lkw in Frage kommen. In der Modellierung wurden daher alle Aufkommen von 30.000 t/Jahr und mehr auf einer Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination aus dem Potential für die Verlagerung vom Schienengüterverkehr auf den Lang-Lkw entfernt, da sich ab dieser Grenze Ganzzugverkehre lohnen. Das Modell kommt zu den in Tabelle 13 dargestellten Kostensätzen (Preisbasis 2010).

Tabelle 13: Kostensätze Bahn nach Produktionsarten 2010

Produktionsart	Einheit	Kosten
Wagenladungsverkehr	€/tkm	0,0953
KV (ohne Vor- und Nachlauf und Umschlag)	€/tkm	0,0523
Vorlauf und Nachlauf zum KV mit konv. Lkw	€/Fzgkm	2,38
Umschlag im KV	€/Kranung	30,00

LUBW DAIMLER

Beim Vergleich der Kosten im KV ist zu berücksichtigen, dass im Kostenmodell der Bahn der Vor- und Nachlauf auf der Straße und der Umschlag im Terminal nicht enthalten sind. In der Realität werden die Kosten des Vor- und Nachlaufs auf Stundenbasis in Abhängigkeit von der Anzahl der möglichen Umläufe pro Tag berechnet. Eine Vergleichsrechnung unter den in Tabelle 14 dargestellten Annahmen kommt zu dem Ergebnis, dass ein konventioneller Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV Kosten in Höhe von 2,38 €/Fzgkm<sup>16</sup> (anstatt 1,11 € im Straßengüterverkehr) verursachen würde.

Tabelle 14: Kostensätze Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV (Beispielrelation)

Annahme	Einheit	Wert
Vor- und Nachlaufentfernung	km	35
Mögliche Umläufe pro Tag	Anzahl	3
TEU <sup>17</sup> pro Umlauf	Anzahl	2
Netto-Netto Tonnen pro TEU	t	10
Umsatz pro Fahrzeug und Tag	€	500
Umsatz pro Umlauf	€	166,67
Kosten im Vor- und Nachlauf zum Kombinierten Verkehr	€/Fzgkm	2,38

LUBW DAIMLER

Im Szenario 2030 steigen die Kosten für den Einsatz (konventioneller) Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV auf 2,52 €/Fzgkm. Grund dafür sind vor allem steigende Personalkosten und die Annahme, dass der Dieselpreis bis 2030 ansteigen wird. Anhand beispielhafter Relationen wird zusätzlich zum Szenario 2030 gezeigt,

<sup>16</sup> Siehe hierzu auch Fußnote 12

<sup>17</sup> Twenty-foot Equivalent Unit; 20-Fuß-ISO-Container

wie sich die Verlagerung von der Bahn zum Lang-Lkw verändern würde, wenn der Lang-Lkw auch im Vor- und Nachlauf zum KV eingesetzt würde. Hierfür wird ein analog abgeleiteter Kostensatz von 2,63 €/Fzgkm für den Lang-Lkw im Einsatz zum KV verwendet (anstatt 2,52 € für den konventionellen Lkw).

Bei der Verladung des ermittelten Potentials auf konventionelle und Lang-Lkw wird, wie im vorherigen Unterkapitel beschrieben, jeweils berücksichtigt, wie hoch das Palettenstellplatzgewicht ist, wie viele Palettenstellplätze und wieviel Nutzlast im Fahrzeug zur Verfügung stehen. Dabei wird im Vor- und Nachlauf zum KV eine nach oben angepasste Nutzlast der konventionellen Lkw von 25,64 t verwendet. Bei der Verlagerung aus dem KV auf den Lang-Lkw stehen aufgrund der verwendeten Container nur 52 statt 53 Palettenstellplätze zur Verfügung.

Für die Verlagerungsrechnung und die Treibhausgasbilanzierung wurde als Standard-Ladeinheit ein „45 feet palletwide“-Wechselbehälter angenommen. Dieser entspricht von seinen Abmessungen (insbesondere Ladefläche) dem Standardsattelanhänger im Straßenverkehr und wird im kontinentalen und im Short-Sea-Verkehr häufig eingesetzt. Vor dem Hintergrund, dass im kontinentalen Kombinierten Verkehr der Anteil der Sattelanhänger in Taschenwagen kontinuierlich mit hohen Zuwachsraten wächst, kann angenommen werden, dass sich dieser Behälter in Zukunft für die hier besonders interessierenden Volumenverkehre zum Standardbehälter im kontinentalen KV entwickeln wird, da er die Vorteile (Abmessungen/Standardisierung) des Sattelanhängers ohne den Nachteil des hohen Tara-Gewichts (Achsgregat) bietet.

Im interkontinentalen maritimen Verkehr wird diese Behälterart jedoch keine Rolle spielen, da die großen Containerschiffe auf die Standardmaße des ISO-Containers ausgelegt sind. Aufgrund der großen Volumina, die nach einer Schiffsankunft in den Seehäfen konzentriert aufkommen und möglichst schnell in das Hinterland transportiert werden müssen, ist dieser Markt für eine Verlagerung auf den Lang-Lkw eher weniger geeignet und wird ein typischer Markt für Container-Ganzzüge und das Binnenschiff bleiben. Allenfalls in der Zustellung von Containern im nahen Umkreis um die Seehäfen (*loco*-Verkehre) und bei besonders zeitkritischen Einzelfällen wird der Lkw eingesetzt. Durch die geringe Anzahl der Palettenstellplätze im 20-Fuß- und 40-Fuß-ISO-Container und damit der für Lang-Lkw nachteiligen Ladungsdichte ist hier ein weiterer Grund für ein geringes Verlagerungspotential zu sehen.

Zur Berechnung der verlagerten Menge aus dem Schienengüterverkehr wurde ebenfalls der Ansatz der Kreuzpreiselastizitäten gewählt, der bereits im Unterkapitel zur intramodalen Verlagerung beschrieben wurde. Der Meta-Studie von Gerard de Jong et al. [significance/CE Delft 2010] folgend, wird bei der intermodalen Verlagerungsrechnung eine Kreuzpreiselastizität von -0,4 verwendet.

## 4 Methodik der Treibhausgasbilanzierung

Entsprechend der Aufgabenstellung der Studie erfolgte die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) durch den Einsatz von Lang-Lkw in verschiedenen Bezugsräumen (Lang-Lkw-Verkehre für die Daimler AG und Lang-Lkw-Verkehre innerhalb Deutschlands für die Zeithorizonte 2010 und 2030). Die THG-Emissionen wurden Well-to-Wheel (WtW) bestimmt, d. h. es wurden sowohl die Emissionen durch den Kraftstoffverbrauch im Verbrennungsmotor als auch aus den Vorketten zur Her- und Bereitstellung des Kraftstoffs angerechnet. Analog wurden im Fall des elektrifizierten Bahnverkehrs die Erzeugung und Bereitstellung des verwendeten Bahnstroms berücksichtigt. Dabei wurden jeweils sowohl der aktuelle Stand als auch die veränderten Rahmenbedingungen im Jahr 2030 berücksichtigt. Die Bilanzierung beschränkte sich auf den reinen Kraftstoff- bzw. Stromverbrauch und beinhaltete nicht die Herstellung der Verkehrsträger und Verkehrswege, da der hiervon zu erwartende Beitrag in Bezug auf die THG-Bilanz als gering einzuschätzen ist<sup>18</sup>.

Im Ergebnis der intra- und intermodalen Vergleiche wurden die absoluten THG-Emissionen für die betrachteten Transportleistungen (Summe der Gütertransporte  $x$  über die Strecken  $y$ ) je Verkehrsträger für ein Jahr ermittelt und bewertet. Die THG-Emissionen wurden weiterhin als spezifische Größe bezogen auf die Transportleistung berechnet, die sich mittels der folgenden drei Bezugsgrößen ausdrücken lässt:

- Massenbezogen in kg CO<sub>2</sub>e<sup>19</sup> je Tonnenkilometer (tkm),
- Volumenbezogen in kg CO<sub>2</sub>e je Kubikmeterkilometer (m<sup>3</sup>km),
- Ladeflächenbezogen in kg CO<sub>2</sub>e je Palettenstellplatzkilometer (Stellplatzkm).

Die Treibhausgasbilanzierung erfolgte dann wie in Abbildung 6 dargestellt in zwei Schritten:

1. Verkehrsträgerbezogen: Abbildung technischer (z. B. Konfiguration Aufbauten und Anhänger, Waggontyp, Leergewicht) und streckenspezifischer (z. B. Straßentyp, Längsneigungsverteilung) Parameter für den Verbrauch und die THG-Emissionen. Weitere Einflussgröße für die THG-Bilanz war die Bereitstellung des eingesetzten Energieträgers (Diesel oder, im Fall des Transports auf der Schiene mit Elektrotraktion, Strom)
2. Transportleistungs-/transportaufgabenbezogen: Bei der transportleistungsbezogenen THG-Bilanz bzw. bei der Ermittlung der absoluten THG-Emissionen für eine konkrete Transportaufgabe sind weitere logistische Aspekte zu berücksichtigen (z. B. Auslastung, Anteil Leerfahrten, Distanz im Haupt- sowie im Kombinierten Verkehr Vor- und Nachlauf, transportierte Gütermenge)

---

<sup>18</sup> Zur Veranschaulichung eine kurze überschlägige Rechnung für einen Lkw: abgeschätzte THG-Emissionen aus der Herstellung eines Sattelkraftfahrzeugs mit ca. 14 t Leergewicht: ~ 25 t CO<sub>2</sub>e; THG-Emissionen aus dem Betrieb bei einer angenommenen Laufleistung von 1 Mio. km (inkl. Dieselpreparierung): ~ 900 t CO<sub>2</sub>e → der Anteil der Fahrzeugherstellung beträgt ca. 3% [eigene Berechnungen auf Basis Volvo, 2010]. Für den Verkehrsträger Schiene ist aufgrund der deutlichen längeren Nutzungsdauer von Lok und Waggon kein höherer Anteil der Fahrzeugherstellung zu erwarten. Die jeweilige Streckeninfrastruktur (Straße, Gleiskörper) lässt aufgrund der hohen Nutzung ebenfalls keine relevanten Beiträge erwarten.

<sup>19</sup> Die THG-Emissionen werden in Masse an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (kg CO<sub>2</sub>e) gemessen. Die klimarelevante Wirkung einzelner Schadstoffe wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) oder auch Schadstoffgruppen wie chlorierte und fluorierte Kohlenwasserstoffe (CKW, FCKW) wird anhand von der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) im 5. Assessment Report [IPCC 2014] festgelegten Äquivalenzfaktoren quantifiziert. Kohlendioxid dient dabei als Referenzwert, daher wird kg CO<sub>2</sub>e als Referenzeinheit verwendet.

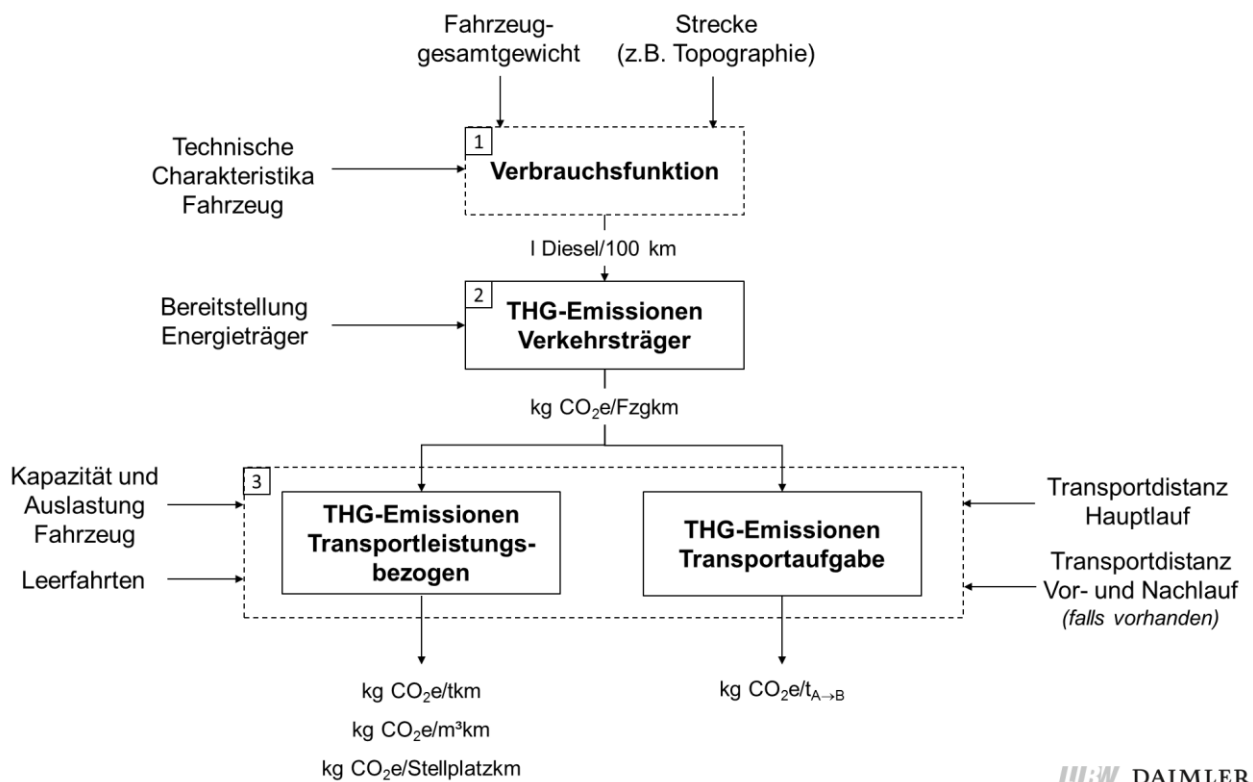


Abbildung 6: THG-Bilanzierung – Berechnungsschritte, Bezugsgrößen und wesentliche Einflussfaktoren

#### 4.1 TREIBHAUSGASEMISSIONEN STRAßENGÜTERVERKEHR

Für die Bestimmung der straßenverkehrsbedingten THG-Emissionen ist, wie ausgeführt, der Kraftstoffverbrauch maßgeblich. Für die untersuchten Daimler-Verkehre konnte dabei sowohl für die konventionellen als auch für die Lang-Lkw unmittelbar auf die realen Verbrauchsdaten der Spediteure zurückgegriffen werden. Diese Möglichkeit bestand für die in den Szenarien 2010 und 2030 betrachteten Transporte nicht. Für die Nachfragemodellierung wurden, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, Durchschnittsfahrzeuge festgelegt. Diese gingen z. T. noch in unterschiedlichen Flottenzusammensetzungen und Ausführungen als mittlere konventionelle bzw. Lang-Lkw in die intra- und intermodalen Verlagerungsrechnungen 2010 und 2030 ein (siehe Kapitel 3.4 und 3.5). Daher war für die Szenarien 2010 und 2030 ein generisches Berechnungsverfahren erforderlich, das es ermöglicht den Kraftstoffverbrauch des Transports der einzelnen betrachteten Gutarten mit der jeweiligen Fahrzeugkonfiguration auf möglichst allgemeingültige Weise zu bestimmen.

Weiterhin waren für drei der insgesamt elf untersuchten Daimler-Relationen keine Daten zu konventionellen Lkw-Transporten verfügbar. Daher war es bei diesen Relationen ebenfalls notwendig, den Kraftstoffverbrauch der konventionellen Lkw generisch abzuschätzen.

##### 4.1.1 EINFLUSSFAKTOREN AUF DEN KRAFTSTOFFVERBRAUCH

Wesentliche Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch bei Lkw bzw. Kraftfahrzeugen allgemein sind entsprechend der Fahrwiderstandsgleichung [Appel et al. 2013] unter anderem:

- das Fahrzeuggewicht,
- die Längsneigung, d. h. die Steigung oder das Gefälle der Strecke,
- die Verkehrssituation, die üblicherweise durch die (Durchschnitts-)Geschwindigkeit beschrieben wird.



Den Einfluss des Fahrzeuggewichtes und der Topografie auf den Verbrauch eines Kraftfahrzeuges veranschaulicht Abbildung 7 am Beispiel eines Euro VI-Sattelkraftfahrzeuges mit 40 t zulässigem Gesamtgewicht. Die Linien zeigen den weitestgehend linearen Zusammenhang zwischen Kraftstoffverbrauch und Fahrzeuggesamtgewicht für verschiedene Steigungsklassen. Das Handbuch Emissionsfaktoren (kurz HBEFA) stellt ein Standardwerk dar, das für die Ermittlung des Energiebedarfs und den mit dem motorisierten Straßenverkehr verbundenen Emissionen im deutschsprachigen bzw. europäischen Raum herangezogen wird. Es wird von INFRAS gemeinsam mit der TU Graz und weiteren Partnern im Auftrag mehrerer europäischer Umweltbehörden (u. a. das deutsche und österreichische Umweltbundesamt, die französische ADEME) herausgegeben und lag zum Zeitpunkt der Berichtserstellung in der Version 3.2 vor.

Im HBEFA werden in Bezug auf die Topografie sieben Steigungsklassen unterschieden: -6%, -4%, -2%, 0%, 2%, 4%, 6%. Zur Berechnung des mittleren Verbrauchs für eine gegebene Topografie (z. B. Längsneigung +/-2%) wurden die Verbräuche der Steigungsstrecken (+2%) mit den Verbräuchen der korrespondierenden Gefälleabschnitte (-2%) gemittelt. Die resultierenden Verbrauchsfunktionen für Autobahnabschnitte mit unterschiedlicher Längsneigung sind in Abbildung 7 dargestellt. Der Einfluss der Steigungsklassen in Kombination mit der Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauchs vom Fahrzeuggewicht ist dabei anhand der unterschiedlichen Geradensteigungen gut zu erkennen.

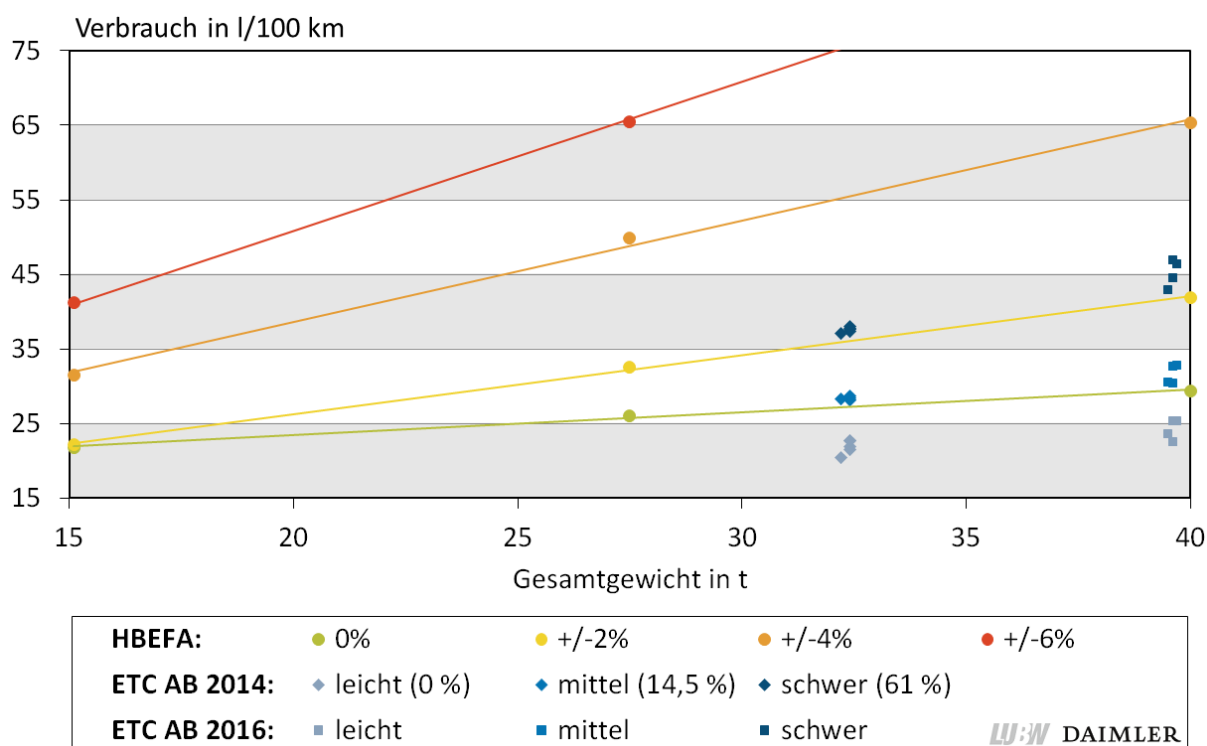


Abbildung 7: Verbrauchsfunktionen für verschiedene Steigungsklassen für einen Euro VI-Lkw (zul. Gesamtgewicht 40 t) im Fernverkehr nach [HBEFA 2014] und Verbrauchsdaten Autobahn ETC 2014 und 2016 [DVZ 2014 und KFZ Anzeiger 2016]

Darüber hinaus enthält Abbildung 7 zum Vergleich Verbrauchsdaten, die im Rahmen der von mehreren europäischen Fachzeitschriften durchgeführten European Truck Challenge (ETC) aus den Jahren 2014 und 2016 [DVZ 2014 und KFZ Anzeiger 2016] für unterschiedlich anspruchsvolle Autobahnabschnitte ermittelt wurden<sup>20</sup>. Aus der Übersicht wird bereits ersichtlich, dass mit modernen Fahrzeugen zumindest bei entspre-

<sup>20</sup> Für eine genauere Beschreibung von DVZ und ETC wird auf Anhang 10.8 verwiesen.

chend kraftstoffsparender Fahrweise deutlich niedrigere Verbräuche erzielt werden können als sich dies nach den HBEFA-Verbrauchsdaten ergibt.

Eine dezidierte Berücksichtigung der Verkehrssituation (z. B. flüssiger, gebundener oder stockender Verkehr) war im Rahmen der Studie nicht vorgesehen. Bei den im nächsten Kapitel folgenden Verbrauchsbestimmungen, die auf HBEFA beruhen, wurde standardmäßig ein Mix an Verkehrssituation angenommen, der den im HBEFA für den deutschen Autobahn-Durchschnitt hinterlegten Fahrleistungsanteilen entspricht und daher als repräsentativ angesehen wird.

Weitere Faktoren, die ebenfalls den Kraftstoffverbrauch beeinflussen sind z. B.:

- Fahrer
- Witterung (Außentemperatur, Wind)
- Bereifung
- Ggf. vorhandene Fahrerassistenzsysteme wie z. B. vorausschauender Tempomat (Predictive Powertrain Control PPC oder vergleichbar), Eco-Rolling
- Ggf. eingesetzte aerodynamische Aufbau- und Anbauteile<sup>21</sup>
- Motorisierung/Euro-Normstufe
- Für Lang-Lkw: Positivnetz (ggf. Umwegverkehr und damit höherer Kraftstoffbedarf<sup>22</sup>)

Diese Faktoren wurden in dieser Studie weitestgehend implizit über die von den Spediteuren bereitgestellten Verbrauchsdaten (wie z. B. Fahrer, Witterung, Motorisierung und Assistenzsysteme) berücksichtigt. Explizit betrachtet wurden die Bereifung (siehe Kapitel 4.1.5 zur Verbrauchsentwicklung Lkw bis 2030) und die auftretenden Umwegverkehre bei Lang-Lkw (siehe Anhang 10.10 zur Bestimmung des Umwegfaktors).

#### **4.1.2 ERMITTLUNG UND VALIDIERUNG DER KRAFTSTOFFVERBRÄUCHE FÜR KONVENTIONELLE LKW UND LANG-LKW FÜR DAIMLER-VERKEHRE AUF BASIS HBEFA**

Mit den HBEFA-Verbrauchsfunktionen für die verschiedenen Steigungsklassen liegen bereits generische Funktionen vor, die zur allgemeingültigen Bestimmung von mittleren Kraftstoffverbräuchen herangezogen werden können. Die HBEFA-Verbrauchsfunktionen wurden daher auf elf im Auftrag von Daimler sowohl mit konventionellen als auch mit Lang-Lkw durchgeführten Relationen angewendet. Zur Validierung wurden diese anschließend mit den realen Verbrauchswerten der beteiligten Speditionen abgeglichen. Dabei wurde zunächst die vereinfachende Annahme unterstellt, dass der Verbrauch primär gewichtsabhängig ist und damit ein Lang-Lkw und ein konventioneller Lkw bei gleichem Fahrzeuggewicht denselben Verbrauch aufweisen.

---

<sup>21</sup> Es gab keine Hinweise, dass solche Komponenten eingesetzt wurden.

<sup>22</sup> Zur besseren Unterscheidung wird in dieser Studie zwischen dem (streckenbezogenen) Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) und dem Kraftstoffbedarf als Bezeichnung für den absoluten Kraftstoffverbrauch (in l) unterschieden.

Tabelle 15: Übersicht der Fahrzeugkonfigurationen für die betrachteten Daimler-Lang-Lkw-Verkehre

Relation	Transportierte Güter	Lkw-Typ	Lkw Details	Mittlere Zuladung (t)	Mittleres Fahrzeuggesamtwicht (t)	Anzahl Fahrten (Ein- und Ausgang)	
1	Schönfels - BLG Bremen *	SCR-Tanks	LLkw	Typ 2 6 Achsen	8,8	28,7	58 (29/29)
			kLkw	N/A (nicht vorhanden)	6,2	21,8	-
2	Schönfels - Werk Bremen	SCR-Tanks	LLkw	Typ 3 8 Achsen	11,7	36,1	196 (98/98)
			kLkw	Megatrailer	7,1	23,1	58 (12/46)
3	Schmölln - Werk Bremen *	Querträger	LLkw	Typ 2 6 Achsen	15,1	36,8	50 (25/25)
			LLkw	Typ 3 6 Achsen	15,2	36,1	48 (24/24)
			kLkw	N/A	10,7	26,3	-
4	Bautzen - Werk + BLG Bremen	Abdeckung Radlauf	LLkw	Typ 2 7 Achsen	13,4	35,4	578 (289/ 289)
			kLkw	Megatrailer bzw. Jumbo-Gliederzug	10,6	26,1	574 (425/149)
5	Landau – Sindelfingen *	Gehäuse Mittelkonsole	LLkw	Typ 3 8 Achsen	16,1	38,6	127 (64/63)
			kLkw	N/A	11,4	27,0	-
6	Plattling - Sindelfingen	Verkleidung A-/C-Säule, Radeinbau	LLkw	Typ 3 8 Achsen	13,7	35,8	301 (151/150)
			kLkw	Megatrailer 5 Achsen	10,3	25,3	206 (98/108)
7	Fulda - Werk Bremen	Rohbau Seitenwand	LLkw	Typ 2 7 Achsen	9,8	30,7	88 (44/44)
			kLkw	Megatrailer 5-Achsen	7,1	21,7	265 (142/123)
8	Bautzen - Sindelfingen	Motorabdeckungen, Radlaufverkleidungen	LLkw	Typ 3 8 Achsen	15,2	37,7	202 (102/100)
			kLkw	Megatrailer (5 Achsen) Jumbo-Gliederzug	10,8	26,1	82 (68/14)
9	Treuen - Sindelfingen	Verkleidung Fenster-rahmen etc.	LLkw	Typ 3 6 Achsen	16,0	36,9	419 (206/213)
	Treuen - Sindelfingen (über Nürnberg)		kLkw	Megatrailer 5 Achsen	10,7	25,9	112 (69/43)
10	Schmölln - Sindelfingen	Querträger	LLkw	Typ 3 6 Achsen	15,0	35,9	50 (25/25)
			kLkw	Megatrailer (5 Achsen), Jumbo-Gliederzug	10,8	26,5	35 (15/20)
11	Bautzen - Rastatt	Abdeckungen, Luftkanal, Blenden etc.	LLkw	Typ 3 6-Achsen	15,8	36,8	450 (225/225)
			LLkw	Typ 3 7-Achsen	13,0	35,3	444 (222/222)
			kLkw	Jumbo-Gliederzug 4 Achsen	9,6	27,2	114 (57/57)

\* keine Daten für konventionelle Lkw verfügbar  
 kLkw: konventioneller Lkw  
 LLkw: Lang-Lkw



### Bestimmung der Fahrzeuggesamtwichte

Zur Bestimmung der HBEFA-Kraftstoffverbräuche für die Daimler-Relationen wurde anhand der Sendungsdaten zunächst das jeweilige mittlere Fahrzeuggesamtwicht bestimmt. Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die betrachteten Daimler-Lang-Lkw-Verkehre: die Relation, die transportierten Güter, die eingesetzten Fahrzeugtypen, die mittlere Zuladung, das daraus resultierende Fahrzeuggesamtwicht und die jeweils zugrundeliegende Datenbasis<sup>23</sup>.

Für die drei Relationen, für die keine Sendungsdaten für konventionelle Lkw vorlagen (Schönfels – BLG Bremen, Schmölln – Werk Bremen, Landau – Sindelfingen, in Tabelle 15 mit \* gekennzeichnet), wurde das Sendungsgewicht anhand des durchschnittlichen Verhältnisses zwischen dem mittleren Sendungsgewicht, das je Relation mit Lang-Lkw und konventionellen Lkw transportiert wurde, abgeschätzt. Dies ermöglichte, dass im weiteren Verlauf der Untersuchungen auch für diese Relationen, zumindest näherungsweise, die THG-Bilanz bestimmt werden konnte.

### Ermittlung der Höhenprofile

Anschließend wurde mittels einer Webapplikation das Höhenprofil und somit der topografische Anspruch für jede Relation ermittelt<sup>24</sup>. Auf Basis ihres Höhenprofils wurde eine Segmentierung der Strecken in die im HBEFA verwendeten sieben Steigungsklassen (-6% bis +6%) vorgenommen. Als zusammenfassender Wert für den topografischen Anspruch einer Strecke wurde der Steigungsanteil als Summe der Anteile an Steigungsstrecken mit mehr als ±3% Neigung (Summe der Anteile in den Klassen -6%, -4%, +4% und +6%) definiert<sup>25</sup>. Tabelle 16 gibt einen Überblick über die Daimler-Relationen nach aufsteigendem Steigungsanteil.

Tabelle 16: Überblick topografischer Anspruch je Strecke

Gruppe	Relation	Steigungsanteil [%] ( $\Sigma >3\%/<-3\%$ )
Flach (Ø 1,3%)	Schönfels – BLG Bremen	0,9
	Schönfels – Werk Bremen	0,9
	Schmölln – Werk Bremen	1,9
Mittel (Ø 5,9%)	Bautzen – Werk + BLG Bremen	3,7
	Plattling – Sindelfingen	7,2
	Landau – Sindelfingen	7,4
Bergig (Ø 16,8%)	Fulda – Werk Bremen	16,1
	Bautzen – Sindelfingen	16,3
	Treuen – Sindelfingen (Lang-Lkw-Route)	16,6
	Treuen – Sindelfingen (konv. Lkw-Route über Nürnberg)	17,7
	Bautzen – Rastatt	16,7
	Schmölln – Sindelfingen (Lang-Lkw-Route)	17,7
	Schmölln – Sindelfingen (konv. Lkw Route über B505)	17,9

LUBW DAIMLER

<sup>23</sup> Die Analyse der Sendungsdaten für die Daimler-Relationen ist in Anhang 10.5 detailliert dargestellt.

<sup>24</sup> Das Vorgehen zur Ermittlung der Höhenprofile ist in Anhang 10.6 näher beschrieben.

<sup>25</sup> Es wurde eine Abgrenzung der Neigungsklassen beim jeweiligen Mittelwert unterstellt. In die Neigungsklasse -4% bzw. 4% fallen somit alle Strecken mit mehr als -3% bzw. 3% Steigung.

Um den Einfluss der Topografie in der THG-Bilanz der Daimler-Verkehre zu berücksichtigen, wurde anhand des so erhaltenen Steigungsanteils eine Gruppierung der Relationen vorgenommen. Dies ermöglichte, die Relationen einer Topografiegruppe gemeinsam zu betrachten und so eine repräsentative Verbrauchsfunktion je Topografiegruppe zu bestimmen. Die Strecken wurden entsprechend ihres topografischen Anspruchs in flache (Steigungsanteil < 2%), mittlere (Steigungsanteil 3,5 – 7,5%) und bergige Strecken (Steigungsanteil > 15%) eingeteilt. Damit ergaben sich folgende Bandbreiten und Durchschnittswerte bezüglich des topografischen Anspruchs, ausgedrückt über den streckenbezogenen Steigungsanteil mit Steigungen < -3% bzw. > 3%:

- Flach: 3 Relationen, Steigungsanteil 0,9 – 1,9%, Ø 1,3%
- Mittel: 3 Relationen, Steigungsanteil 3,7 – 7,4%, Ø 5,9%
- Bergig: 5 Relationen, Steigungsanteil 16,1 – 17,9%, Ø 16,8%

Die auf Basis des HBEFA berechneten Verbrauchsdaten für die Relationen der Daimler-Lang-Lkw-Verkehre, untergliedert in die drei Topografiegruppen sind in Abbildung 8 dargestellt. Mit Hilfe der topografiegruppenspezifischen Verbrauchsfunktionen ließen sich auch für die drei Relationen ohne Daten für konventionelle Lkw die Kraftstoffverbräuche abschätzen.

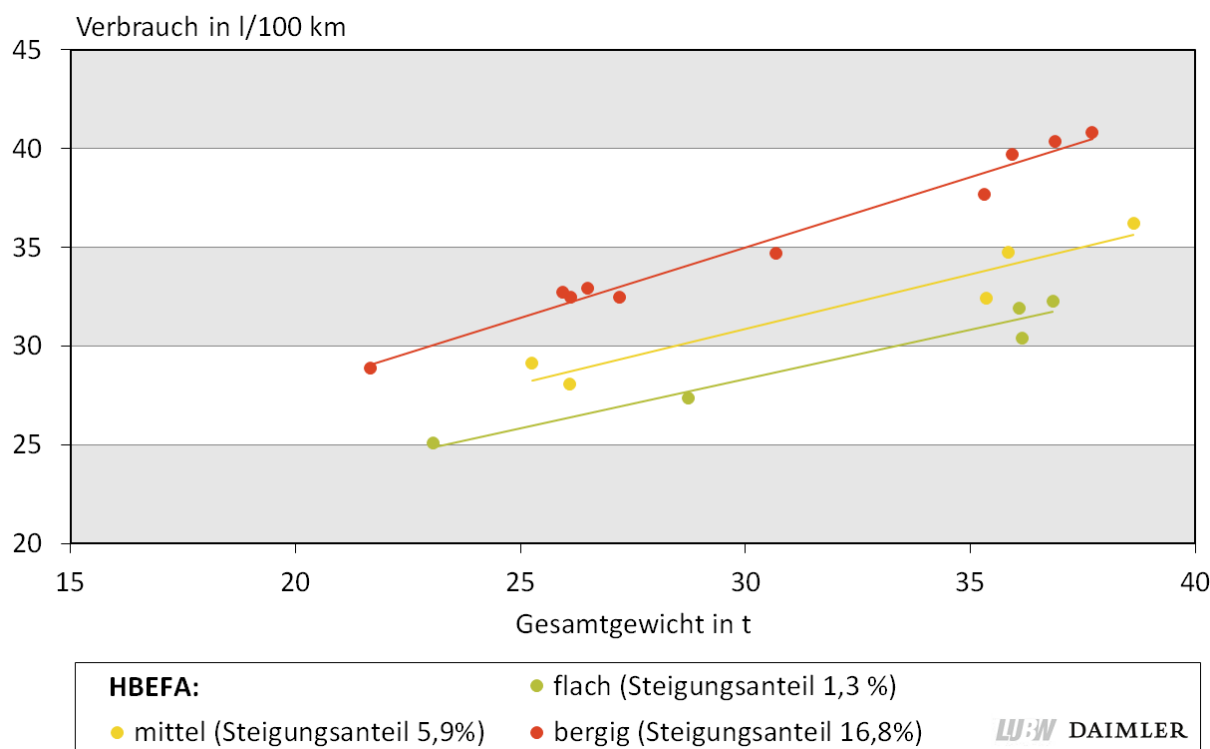


Abbildung 8: Verbrauchsdaten für die Daimler-Verkehre nach HBEFA für konventionelle Lkw und Lang-Lkw, unterteilt nach Topografiegruppen, alle Fahrten

#### Validierung der mit HBEFA ermittelten Verbrauchswerte

Die Validierung der mit HBEFA ermittelten Verbrauchswerte mit den Verbrauchsangaben der beteiligten Speditionen erfolgte individuell für die drei Topografiegruppen. Für die Lang-Lkw wurden von den meisten Spediteuren mittlere Verbrauchswerte zur Verfügung gestellt, die über einen längeren Zeitraum von mehreren Wochen bis zu 12 Monaten ermittelt wurden. Von einigen Spediteuren konnte zusätzlich der mittlere Verbrauch je Kalenderwoche über einen Zeitraum von mehreren Wochen bereitgestellt werden. Da die

Lang-Lkw jeweils nur auf einer bestimmten Relation eingesetzt werden, waren damit relationspezifische Verbräuche verfügbar.

Die eingesetzten konventionellen Sattel- und Gliederzüge bedienen üblicherweise nur Überhang- oder Ersatzverkehre, die in der Regel nicht mit einer vergleichbaren Regelmäßigkeit wie die Lang-Lkw-Fahrten auftreten. Vor und nach diesen Fahrten werden die konventionellen Lkw auch auf anderen Relationen eingesetzt. Somit standen für die konventionellen Lkw nur zum Teil relationspezifische Verbrauchswerte zur Verfügung. In diesen Fällen wurde der von den Speditionen ersatzweise angegebene Verbrauchs-Richtwert auf das über alle Fahrten im Erfassungszeitraum gemittelte Gesamtgewicht bezogen. Diese Daten sind somit in ihrer Repräsentativität eingeschränkt, können aber zumindest als Anhaltswerte dienen. Tabelle 47 im Anhang 10.7 gibt eine relationsbezogene Übersicht über die jeweiligen Gewichtsdaten, die nach HBEFA berechneten Verbrauchsdaten und die von den Spediteuren bereitgestellten Verbrauchsdaten.

In Abbildung 9 werden für die einzelnen Topografiegruppen die Verbrauchsangaben der Spediteure (in blau) den mit HBEFA für die jeweilige Strecke und das jeweilige Fahrzeuggesamtgewicht berechneten Werten (in orange) sowie den in den DVZ-Tests und im ETC ermittelten Verbrauchswerten (siehe Anhang 10.8) gegenübergestellt.

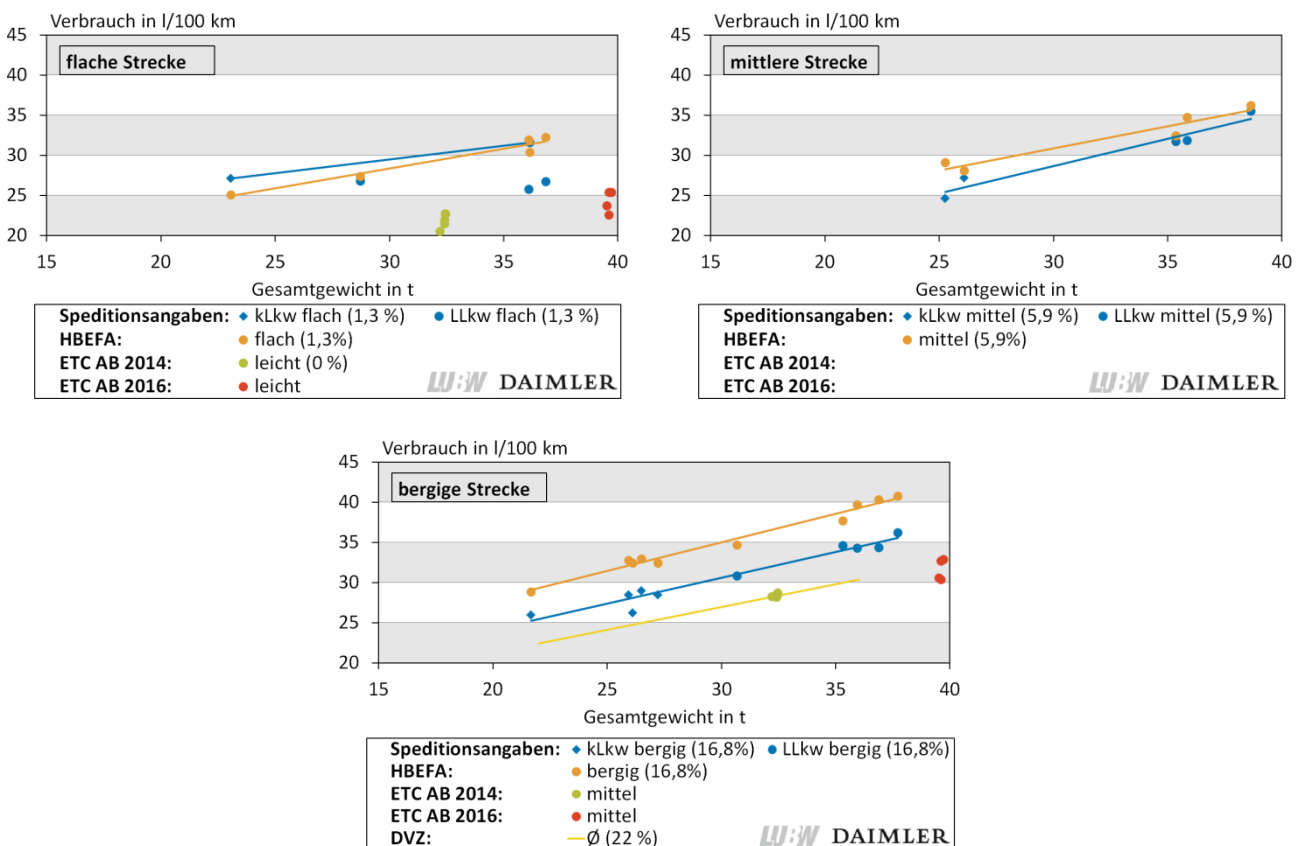


Abbildung 9: Validierung der Verbrauchsdaten für alle Daimler-Verkehre nach HBEFA mit Spediteursangaben, unterteilt in die Topografiegruppen flach, mittel und bergig für konventionelle Lkw (kLkw) und Lang-Lkw (LLkw)

Für die **Strecken mit flacher Topografie** zeigt sich für drei der fünf verfügbaren Datenpunkte eine relativ gute Übereinstimmung der Verbrauchswerte nach Speditionsangaben und den nach HBEFA berechneten. Zwei Lang-Lkw-Verbrauchswerte fallen allerdings im Vergleich zu den HBEFA-Werten um ca. 6 l/100 km niedriger aus. Sie stammen vom gleichen Spediteur und betreffen eine Relation, die mit einem Typ 2- und

einem Typ 3-Lang-Lkw bedient wird. Auf Nachfrage wurden die Angaben vom Spediteur bestätigt. Weitere Daten standen aus den ETC-Tests 2014 und 2016 zur Verfügung und weisen für die flachen Streckenabschnitte der ETC-Teststrecke erheblich niedrigere Verbräuche auf. Wird eine lineare Trendlinie über die nach HBEFA berechneten Verbräuche aufgetragen, so liegen die Mittelwerte der ETC-Verbräuche beim jeweiligen Fahrzeuggewicht ca. 7,6 (2014) bzw. 8,8 l/100 km (2016) darunter.

Bei den **mittleren Strecken** liegen die Speditionswerte im Durchschnitt und auch bezogen auf die Einzelwerte unter den nach HBEFA berechneten Werten. Bei 36 t beträgt die Differenz, basierend auf den linearen Trendlinien der Verbrauchsdaten, ca. 1,6 l/100 km bezogen auf die Speditionsangaben. Für die beiden konventionellen Lkw, die entsprechend ein niedrigeres Fahrzeuggewicht aufweisen (gemittelt 25,7 t), liegt der Unterschied zwischen den HBEFA- und den Spediteurswerten bei knapp 3 l/100 km.

Für die **bergigen Strecken** lagen die meisten Datenpunkte vor. Neben 5 Relationen der Daimler-Lang-Lkw-Verkehre stehen Daten aus den beiden ETC-Tests (Messdaten von 5 bzw. 4 Fahrzeugen) und aus den regelmäßigen für die DVZ durchgeführten Einzeltests der DVZ (10 Fahrzeuge mit 2 Zuladungen) zur Verfügung. Die Strecken von ETC und DVZ entsprechen sich weitestgehend<sup>26</sup>, was sich auch in der sehr guten Übereinstimmung der Verbrauchswerte zeigt. Es ist soweit eine relativ klare Dreiteilung zu erkennen: Die mit HBEFA bestimmten Verbrauchswerte liegen am höchsten, die von den Speditoren angegebenen Werte liegen weitestgehend konstant zwischen 4 – 5 l/100 km darunter. Die ETC- und DVZ-Werte liegen mit 7 – 9 l/100 km unter den mit HBEFA berechneten Werten nochmals niedriger. Dies entspricht in etwa dem Verbrauchsunterschied zwischen HBEFA und DVZ/ETC, wie er auch für die flachen Strecken beobachtet wurde.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs auf Basis des HBEFA tendenziell zu überhöhten Verbrauchswerten führt und diese Überschätzung mit steigendem topografischen Anspruch der untersuchten Strecken zunimmt. Die im Rahmen der DVZ- und ETC-Tests ermittelten Verbräuche können aufgrund der angestrebten, möglichst einheitlichen Testbedingungen mit z. B. erfahrenen Fahrern mit guter Streckenkenntnis, Ausschluss von Stausituationen etc. hingegen eher als das aktuell erreichbare Optimum für Lkw-Verbräuche angesehen werden.

#### 4.1.3 VERBRAUCHSSIMULATION KONVENTIONELLE LKW UND LANG-LKW DURCH DAIMLER

Die im Kapitel 4.1.2 vorgenommene Analyse der Verbrauchsdaten erfolgte unter der vereinfachenden Annahme, dass Lang-Lkw und konventionelle Lkw bei gleichem Fahrzeuggewicht einheitliche Verbräuche aufweisen. Aufgrund der schlechteren aerodynamischen Eigenschaften und des erhöhten Rollwiderstands durch die höhere Anzahl an Achsen bzw. Reifen ist jedoch zu erwarten, dass der Lang-Lkw auch bei identischem Fahrzeuggewicht einen höheren Verbrauch im Vergleich zum konventionellen Lkw aufweist.

Diese Annahme wurde anhand von Simulationsrechnungen durch die Daimler AG überprüft. Hierzu wurde auf vier unterschiedlichen Fahrzyklen jeweils der Verbrauch des konventionellen Lkw (Sattelaufleger) und der beiden Lang-Lkw-Typen entsprechend der in dieser Studie festgelegten Konfiguration (siehe Tabelle 5 und Tabelle 6) berechnet. Bei den vier Zyklen handelt es sich um den ACEA-Longhaul-Zyklus sowie drei Testzyklen von Fachzeitschriften (Grünig, Zeitzen und Wildhage), die bereits in der Simulationsumgebung von Daimler vorhanden waren. Vom topografischen Anspruch her fallen der ACEA- sowie der Grünig-

---

<sup>26</sup> Für den ETC-Test 2014 musste die Strecke aufgrund der Sperrung einer Autobahnausfahrt etwas verkürzt werden.

Zyklus in die mittlere, der Zeitzten- und der Wildhage-Zyklus in die bergige Topografiegruppe<sup>27</sup>. Abbildung 10 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse der Kraftstoffverbrauchssimulation, auf der linken Seite für die mittlere Topografiegruppe und auf der rechten Seite für die bergige Topografiegruppe.

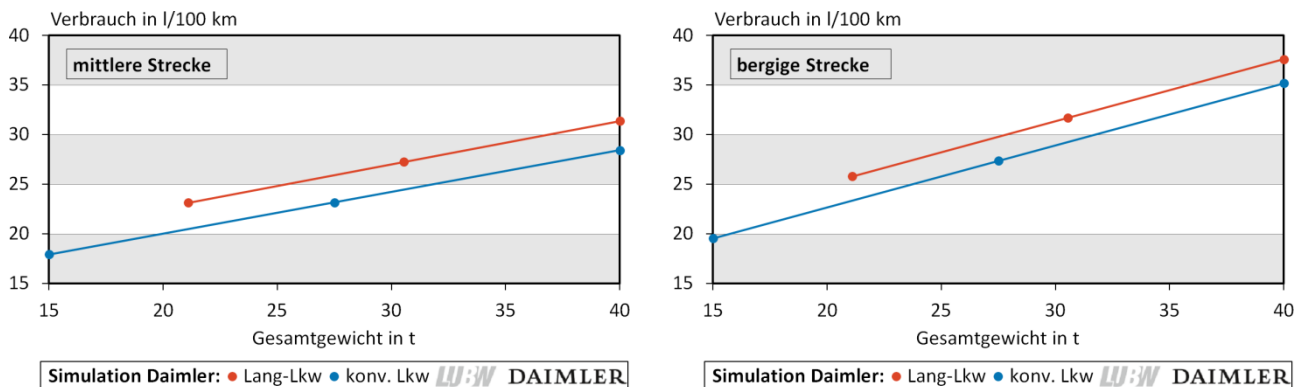


Abbildung 10: Ergebnisse der Daimler-Kraftstoffverbrauchssimulation für Lang-Lkw und konventionelle Lkw auf mittleren Strecken (ACEA/Grünig; links) sowie auf bergigen Strecken (Wildhage, Zeitzten; rechts)

Im Ergebnis der Simulation bestätigte sich, dass der Lang-Lkw unter sonst gleichen Bedingungen und bei identischem Fahrzeuggewicht einen höheren Kraftstoffverbrauch als die konventionellen Lkw aufweisen. Im Mittel liegt der Mehrverbrauch des Lang-Lkw bei ca. 11% für mittlere bzw. 8% für bergige Strecken. Die beiden Lang-Lkw-Typen (Typ 2 und 3) weisen dabei praktisch identische Verbräuche auf und konnten daher in Abbildung 10 zusammengefasst werden. Eine ausführliche Darstellung der Simulation und ihrer Ergebnisse erfolgt in Anhang 10.9.

#### 4.1.4 ANZUWENDEnde VERBRAUCHSFUNKTIONEN

Damit stehen vier Datenquellen zur Verfügung: Verbrauchsangaben der Spediteure für die elf Daimler-Relationen, dazu korrespondierend die mit HBEFA berechneten Verbrauchswerte für die Strecken, Verbräuche aus DVZ/ETC-Tests sowie die Simulationsergebnisse von Daimler. Auf Basis dieser Datenquellen wurde für die weitere Berechnung der THG-Bilanz eine mittlere Verbrauchsfunktion je Topografiegruppe (flach, mittel, bergig) ermittelt. Dabei werden unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Simulation für Lang-Lkw und konventionelle Lkw separate Verbrauchsfunktionen erstellt, wobei entsprechend der verfügbaren Simulationsergebnisse für mittlere und bergige Strecken zunächst diese beiden Topografiegruppen betrachtet wurden.

##### Mittlere Topografie

Mit Blick auf die Lage der auf Basis der Simulation ermittelten linearen Verbrauchsfunktion für mittlere Strecken (rote und schwarze gestrichelte Linie in Abbildung 11) ist zu erkennen, dass die simulierte Verbrauchsfunktion sowohl für Lang-Lkw als auch für konventionelle Lkw unter den Verbrauchswerten liegen, die die Spediteure für die in diese Topografiegruppe fallenden Relationen angegeben haben. Um hier eine bessere Übereinstimmung zu erreichen, wurde eine Anpassung der Verbrauchsfunktionen aus der Simulation vorgenommen. Hierzu wurden die beiden Verbrauchsfunktionen für Lang-Lkw und konventionelle Lkw

<sup>27</sup> Der topografische Anspruch der Testzyklen liegt bezogen auf den Steigungsanteil als Summe der Anteile an Steigungsstrecken mit mehr als  $\pm 3\%$  Neigung für die Zyklen ACEA Longhaul und Grünig (Verkehrsrundschau/Trucker) bei 5,3% bzw. 9,9% und für Zeitzten (Eurotransport/Fernfahrer/LastAutoOmnibus) und Wildhage (DVZ) bei 22,7% bzw. 24,2%



unter Beibehaltung der Steigung<sup>28</sup> angehoben. Als Stützpunkt diente dabei der Mittelwert der verfügbaren Speditionswerte, jeweils für Lang-Lkw und konventionelle Lkw. Im Ergebnis ergaben sich die als durchgezogene Linien dargestellten Verbrauchsfunktionen für Lang-Lkw (in rot) und konventionelle Lkw (in schwarz). Durch die Verwendung der Mittelwerte der Speditionsangaben für Lang-Lkw und konventionelle Lkw ergab sich eine Reduktion des ursprünglich in der Simulation ermittelten Mehrverbrauchs des Lang-Lkw gegenüber dem konventionellen Lkw von 11% auf 7%. Im Vergleich zu den mit HBEFA ermittelten Kraftstoffverbräuchen liegen die mit der für konventionelle Lkw festgelegten Kraftstoffverbrauchsfunktion ungefähr 2,5 – 3,5 l/100 km niedriger<sup>29</sup>.

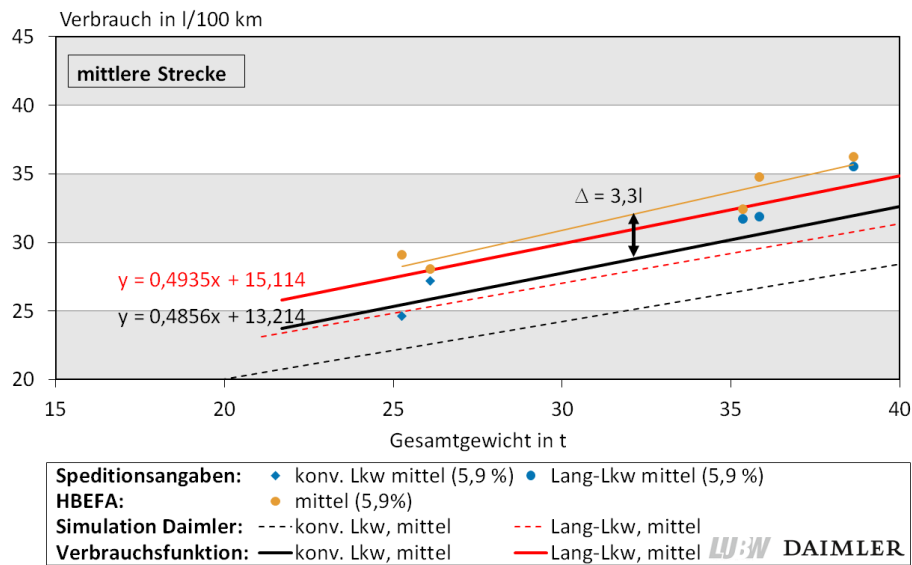


Abbildung 11: Anzuwendende Verbrauchsfunktion für mittlere Strecken

### Bergige Topografie

Für die bergigen Strecken wurde analog vorgegangen. Hier wurde zunächst die Funktion für die konventionellen Lkw festgelegt. Stützpunkte waren wiederum die Mittelwerte der verfügbaren Speditionswerte für konventionelle Lkw (siehe Abbildung 12). Die Verwendung des Mittelwerts der Speditionsangaben für die Lang-Lkw würde bei den bergigen Strecken ebenfalls eine Reduktion des in der Simulation ermittelten Mehrverbrauchs des Lang-Lkw ergeben und zwar von 8% auf 2%. Diese Reduktion erschien den Autoren allerdings unverhältnismäßig hoch. Daher wurde für mittlere und bergige Strecken eine Vereinheitlichung des Mehrverbrauchs der Lang-Lkw vorgenommen, d.h. für bergige Strecken wurde der Mehrverbrauch ebenfalls mit 7% angesetzt. Damit wurden die Verbräuche der Lang-Lkw auf bergigen Strecken zwar tendenziell überschätzt, im Sinne einer konservativen Bestimmung der THG-Emissionen der Lang-Lkw wurde dies aber als angemessen angesehen.

Im Vergleich zu den in den ETC 2014 und 2016 gemessenen Verbrauchswerten für konventionelle Lkw liegen die in dieser Studie ermittelten Verbräuche gut 3,5 l/100 km höher. Ein Erklärungsansatz für diesen Verbrauchsunterschied ist, dass die ETC-Werte zwar unter realen, aber doch idealisierten Einsatzbedingungen gemessen werden. So kommen beispielsweise sehr erfahrene Fahrer mit genauer Streckenkenntnis zum

<sup>28</sup> Die jeweilige Steigung der linearen Verbrauchsfunktion gibt den Mehrverbrauch je Tonne Fahrzeuggewicht an, d. h. eine Steigung von 0,49 bedeutet einen Mehrverbrauch von 0,49 l/100 km pro Tonne Fahrzeuggewicht.

<sup>29</sup> In Abbildung 11 ist der Verbrauchsunterschied (3,3 l/100 km) zu HBEFA für ein Fahrzeuggewicht von 32,5 t beispielhaft eingetragen (Doppelpfeil)

Einsatz und die Messwerte enthalten voraussichtlich auch keine Verbrauchsdaten, die einen erhöhten Stauanteil aufweisen. Führt man wiederum einen Vergleich mit den auf Basis des HBEFA ermittelten Verbrauchsdaten durch, so ergibt sich mit der festgelegten Kraftstoffverbrauchsfunktion ein im Schnitt ca. 5 l/100 km niedrigerer Verbrauch für konventionelle Lkw<sup>30</sup>.

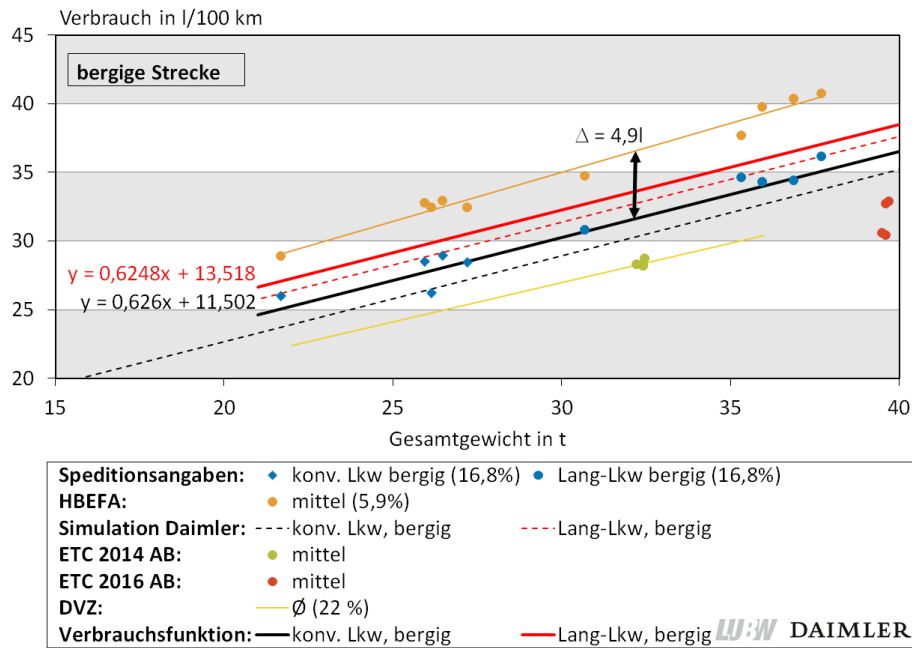


Abbildung 12: Anzuwendende Verbrauchsfunktion für bergige Strecken

### Flache Topografie

Bei den Daimler-Relationen mit flacher Topografie war die Datenlage uneinheitlicher. Zum einen ergab sich, wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, bei den Lang-Lkw eine Streuung über die Relationen hinweg und zum anderen lag für die konventionellen Lkw nur für eine Relation eine Verbrauchsangabe vor (Abbildung 13).

Analog zu den vorherigen Topografiegruppen wurde als Stützpunkt für die Lang-Lkw-Verbrauchsfunktion wiederum der Mittelwert der Verbrauchsangaben der Spediteure gewählt. Die Steigung der Verbrauchsfunktion wurde aus Relationen abgeleitet, für die sowohl Verbrauchsdaten von konventionellen Lkw als auch von Lang-Lkw vorlagen. Als Mehrverbrauch für den Lang-Lkw gegenüber dem konventionellen Lkw wurde in Übereinstimmung mit den mittleren und bergigen Topografien ein Wert von 7% angenommen. Dies ermöglichte zumindest eine näherungsweise Berechnung der Verbräuche für die flachen Daimler-Relationen. Die generierten Ergebnisse unterliegen allerdings im Vergleich zu den anderen beiden Topografiegruppen einer höheren Unsicherheit.

Im Vergleich zu den mit HBEFA bestimmten Verbrauchswerten ergab sich auf Basis der definierten Verbrauchsfunktion für konventionelle Lkw in Abhängigkeit vom Fahrzeuggewicht im Mittel ein um ca. 4 l/100 km niedrigerer Verbrauch<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> In Abbildung 12 ist der Verbrauchsunterschied (4,9 l/100 km) zu HBEFA für ein Fahrzeuggewicht von 32,5 t beispielhaft eingetragen (Doppelpfeil)

<sup>31</sup> In Abbildung 13 ist der Verbrauchsunterschied (4,3 l/100 km) zu HBEFA für ein Fahrzeuggewicht von 32,5 t beispielhaft eingetragen (Doppelpfeil).

Die relationsspezifische Berücksichtigung der Topografie erfolgte ausschließlich für die Daimler-Verkehre (Kapitel 5). Bei der deutschlandweiten Analyse der Lang-Lkw-Verlagerungen war dies bei über 12.000 Quelle-Ziel-Relationen vom Umfang her im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Für die THG-Bilanzen der Nachfrageszenarien 2010 und 2030 wurde daher für konventionelle und Lang-Lkw durchgehend die jeweilige Verbrauchsfunktion für mittlere Strecken verwendet.

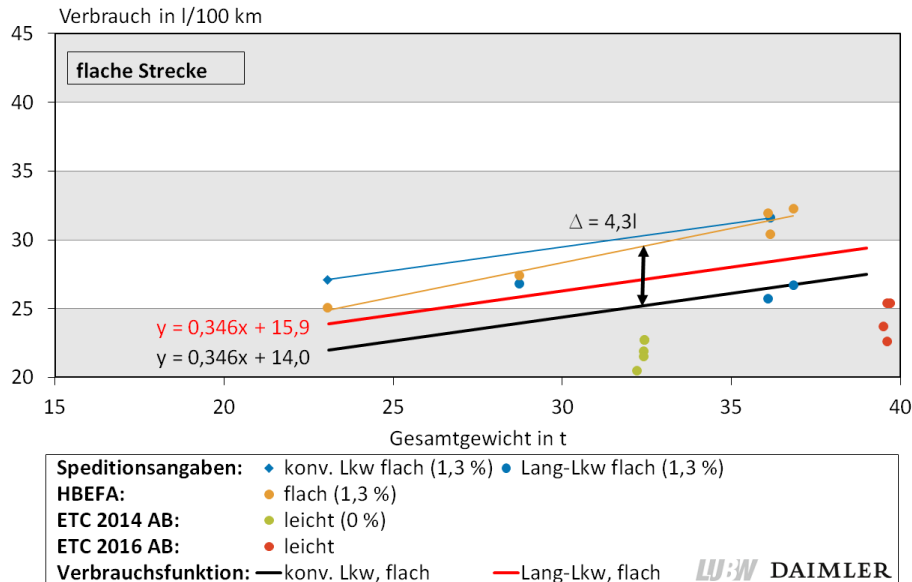


Abbildung 13: Anzuwendende Verbrauchsfunktion für flache Strecken

#### 4.1.5 VERBRAUCHSENTWICKLUNG LKW BIS 2030

Die Kraftstoffverbräuche von Lkw sind in den letzten Jahren deutlich gesunken, daher waren ausgehend von den aktuellen Verbräuchen sowohl für konventionelle als auch für Lang-Lkw Annahmen hinsichtlich der Verbrauchsentwicklung für das Szenario 2030 zu treffen. Da der Kraftstoffverbrauch unmittelbar die THG-Emissionen bestimmt, waren die für 2030 anzusetzenden Verbräuche ein zentraler Punkt für die THG-Bilanz 2030. Die Festlegungen erfolgten auf Basis der historischen Entwicklung in den vergangenen 20 Jahren sowie Annahmen zur Marktdurchdringung neuer, verbrauchssenkender Technologien, die mit Experten der Daimler AG sowie mit den Auftraggebern intensiv diskutiert und abgestimmt wurden. Folgende verbrauchsreduzierende Techniken wurden in Zusammenarbeit mit der Daimler AG ausgewählt und für alle Lkw (konventionelle Lkw und Lang-Lkw) berücksichtigt:

- Die Optimierung der Sattelanhänger führt zu einer Verbrauchsreduktion um 6%
- Die Optimierung der Zugmaschine führt zu einer Verbrauchsreduktion um 6%
- Leichtlaufreifen für Sattelzugmaschine und -anhänger führen zu einer Verbrauchsreduktion um 5%

Für Lang-Lkw wurde ein zusätzliches kombiniertes Minderungspotential aus verschiedenen Einzelmaßnahmen definiert:

- Die weitere Optimierung des Gesamtzuges (Achsenentfall<sup>32</sup>, verbesserte Aerodynamik<sup>33</sup>) führt zu einer Verbrauchsreduktion um 4%

<sup>32</sup> Die hier dargestellte Verbrauchsreduktion resultiert aus der Verringerung von Rollwiderstand und Schleppverlust und berücksichtigt nicht das dadurch um 700 kg verringerte Leergewicht der LLkw. Dieses geht über die Verbrauchsfunktion unmittelbar in die Verbrauchsberechnung für 2030 ein.

<sup>33</sup> Optimierungspotential insbesondere zwischen Lastkraftwagen und Sattelanhänger bzw. Sattel- und Zentralachsanhänger.

Der Einsatz eines GPS-gestützten Tempomats (z. B. PPC) mit einem Reduktionspotential von 4 – 5% wurde im hier relevanten Güterfernverkehr bereits als Stand der Technik angesehen. Dies spiegelt wider, dass Lkw im Fernverkehr nach etwa 4 – 5 Jahren ersetzt werden, so dass daher generell von einer vergleichsweise jungen Fahrzeugflotte ausgegangen werden kann, deren Fahrzeuge nach kurzer Zeit dem jeweils neuesten Stand der Technik entsprechen. Die Annahme des durchgehenden Einsatzes aller o. g. Techniken in der gesamten Flotte erscheint daher gerechtfertigt. Die gesamte Verbrauchsreduktion bis 2030 ergibt sich multiplikativ aus den Einzelminderungen für konventionelle Lkw zu 16,1% und für Lang-Lkw zu 19,4%.

Im Vergleich zu der Verbrauchsreduzierung in der Vergangenheit erscheinen die getroffenen Annahmen plausibel. So ergibt sich z. B. aus dem Vergleichstest zwischen einem Mercedes-Benz Actros Baujahr 1996 (Euro II) und einem Mercedes-Benz Actros Baujahr 2016 (Euro VI) nach [Fernfahrer 11/2016] über die letzten 20 Jahre eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um 22%.

#### 4.1.6 LEERFAHRTEN

Bei der intra- und intermodalen Verkehrsverlagerung wurde, soweit möglich, eine volumenmäßige Vollausslastung sowohl der konventionellen als auch der Lang-Lkw angenommen und lediglich überzählige Paletten in einem weiteren, nicht volumenvollen Lkw transportiert<sup>34</sup>. Es wurde jedoch berücksichtigt, dass bei Lkw in der Praxis ein gewisser Anteil Leerfahrten (Streckenanteil ohne Ladungstransport) auftritt. Da sich der Kraftstoffverbrauch gemäß den anzuwendenden Verbrauchsfunktionen auf die jeweilige Netto-Transportleistung im beladenen Zustand bezieht, war hier noch der Leerfahrten-Verbrauch entsprechend aufzuschlagen.

Gemäß der in Kapitel 3.1 beschriebenen Annahmen werden für konventionelle Lkw die Typen 98 (Sattelkraftfahrzeug) und 42 (Motorwagen mit Zentralachsenanhänger) angenommen (siehe Tabelle 4). Der Leerfahrtenanteil der deutschen Lkw dieser beiden Ausführungen beträgt 20,1% bezogen auf die zurückgelegte Gesamtstrecke [KBA 2015]. Dabei war jedoch zu berücksichtigen, dass es in der Praxis zahlreiche Transporte gibt, bei denen die Rückfahrt ohne Ladung erfolgt. Beispiele hierfür sind Schüttgut- und Flüssigtransporte oder auch Kühltransporte, für die in der Regel kaum oder gar keine vergleichbaren Rückladungen verfügbar sind. Diese Gutarten kommen entsprechend den Ausführungen in Kapitel 3.2 für eine Verlagerung auf den Lang-Lkw jedoch nicht in Frage, da neben dem Kriterium der entsprechend geringen Ladungsdichte nur dann Güter auf den Lang-Lkw verlagert werden, wenn eine Rückladung vorliegt und damit die höheren Betriebskosten gedeckt werden können. Es erschien daher gerechtfertigt, für die als potentiell verlagerbaren Gutarten einen deutlich geringeren Leerfahrtenanteil anzunehmen. In Abstimmung mit Spediteuren, z. B. im Projektbeirat, wurde dieser Wert mit der Hälfte der durchschnittlichen Leerfahrten von den Autoren festgelegt. Für die konventionellen Lkw ergab sich damit ein Leerfahrtenanteil von 10%, der sowohl für 2010 als auch für 2030 übernommen wurde. Dieser Wert entspricht von der Größenordnung her auch dem Leerfahrtenanteil im Fernverkehr, der im Jahr 2014 bei 10,5% lag [BGL 2017].

Wie bereits erwähnt, werden nach übereinstimmender Aussage der beteiligten Speditionen Leerfahrten bei Lang-Lkw aufgrund der deutlich höheren Kosten soweit irgendwie möglich vermieden, so dass für diese ein noch geringerer Leerfahrtenanteil anzusetzen war. Unter der Annahme, dass sich auch beim Einsatz von Lang-Lkw Leerfahrten nicht völlig vermeiden lassen, wurde der Leerfahrtenanteil der Lang-Lkw für das

---

<sup>34</sup> Hingegen ergibt sich bei den Daimler-Verkehren die reale Auslastung anhand der tatsächlichen Beladung

Szenario 2010 mit der Hälfte der Leerfahrten der konventionellen Lkw angenommen, entsprechend 5%<sup>35</sup>. Mit einer weiteren Verbreitung der Lang-Lkw im Jahr 2030 wurde unterstellt, dass sich die Paarigkeit nicht mehr so konsequent umsetzen lässt und der Leerfahrtenanteil beim Lang-Lkw ansteigt, aber aufgrund des Kostendruckes immer noch etwas geringer gegenüber dem konventionellen Lkw sein wird. Entsprechend wurde der Leerfahrtenanteil auf 75% der Leerfahrten des konventionellen Lkw, respektive 7,5%, erhöht.

Der anteilige Verbrauch der Leerfahrten wurde auf die jeweiligen Strecken mit Ladung (Transportstrecken) umgelegt. Der Kraftstoffverbrauch unter Berücksichtigung von Leerfahrten  $Verbr_{Lf}$  lässt sich wie folgt darstellen:

$$Verbr_{Lf} = Verbr_{bel} + \left( \frac{Lf}{1 - Lf} \right) Verbr_{leer}$$

mit:

- $Verbr_{bel}$  Kraftstoffverbrauch im beladenen Zustand
- $Verbr_{leer}$  Kraftstoffverbrauch im unbeladenen Zustand
- $Lf$  Leerfahrtenanteil bezogen auf die Gesamtstrecke

Durch die Berücksichtigung eines Leerfahrtenanteils von 10% erhöhte sich z. B. der Verbrauch der konventionellen Lkw bei einer mittleren Zuladung von 8,96 t um gut 9% von 25,3 l/100 km auf 27,6 l/100 km (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Verbrauchszunahme bei Lkw durch Berücksichtigung von Leerfahrten im Jahr 2010

	Leergewicht (t)	Zuladung (t) *	Gesamtgewicht (t)	Verbrauch ohne Leerfahrten (l/100 km)	Leerfahrtenanteil (bez. auf Gesamtstrecke) (%)	Verbrauch incl. Leerfahrten (l/100 km)	Veränderung Verbrauch (%)
<b>kLkw</b>	15,87	8,96	24,83	25,3	10,0%	27,6	9,2%
<b>LLkw</b>	22,26	12,24	34,50	32,1	5,0%	33,5	4,3%

\* Mittlere Zuladung der konv. Lkw anhand Verlagerungspotential 2010, der Lang-Lkw anhand verlagerter Fahrten

kLkw: konventioneller Lkw; LLkw: Lang-Lkw

LUBW DAIMLER

Die Bestimmung des Kraftstoffbedarfs für die Verlagerungsszenarien 2010 und 2030 erfolgte jeweils unter Berücksichtigung des spezifischen Leerfahrtenanteils der Lkw.

#### 4.1.7 TREIBHAUSGAS-EMISSIONSFAKTOREN STRASSE

Die Treibhausgasbilanz eines Lkw ergibt sich, wie zu Beginn des Kapitels 4 erläutert, aus den während der chemischen Umwandlung im Verbrennungsmotor entstehenden Treibhausgasen (praktisch ausschließlich CO<sub>2</sub>) zuzüglich der Treibhausgasemissionen, die im Zuge der Bereitstellung des Kraftstoffes entstehen. In der Literatur werden diese beiden Elemente der THG-Bilanz entsprechend den Abschnitten der Energie-wandlungskette auch mit den Begriffen „vom Tank zum Rad“ (Englisch Tank-to-Wheel, kurz TtW) und „von der Quelle bis zum Tank“ (Englisch Well-to-Tank, kurz WtT) bezeichnet (siehe Abbildung 14).

<sup>35</sup> Mit 6% Leerfahrtenanteil ergibt sich aus [TCI Röhling et al. 2016] ein sehr ähnlicher Wert, wobei dieser auf die Fahrtenzahl bezogene Wert nur bedingt mit dem hier verwendeten streckenbezogenen Wert vergleichbar ist und zudem auch Fahrten mit Leercontainern beinhaltet.

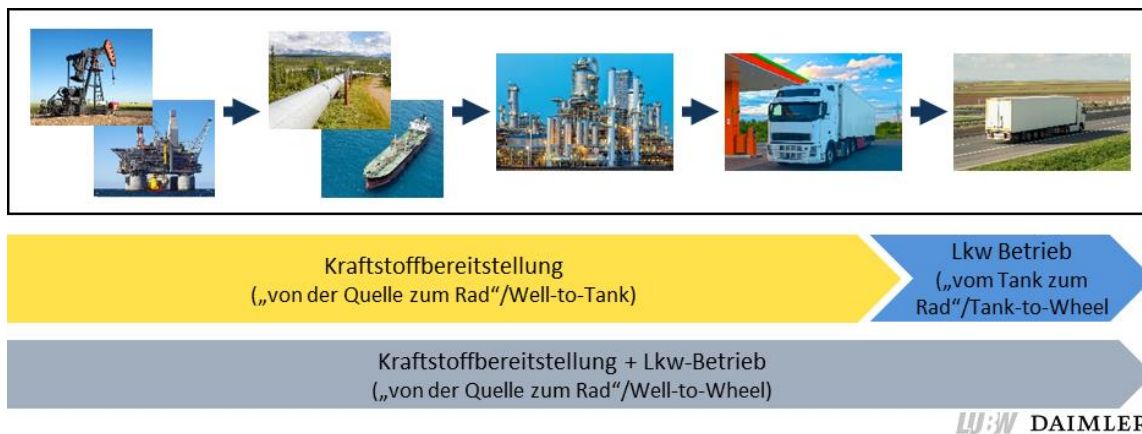


Abbildung 14: Elemente der Treibhausgasbilanz (Bildmaterial: iStock.com: mysticenergy, Vladimirovic, Kanoke\_46, stanley45, Bim, BIG\_TAU, paulbranding)

### Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung (Well-to-Tank)

Die mit der Bereitstellung des in Deutschland verbrauchten Dieselkraftstoffs verbundenen Treibhausgasemissionen werden über detaillierte Prozessmodelle zur Herstellung von erdölbasierten Dieselkraftstoff und Biodiesel ermittelt [thinkstep 2017]. Dabei wird die gesamte Prozesskette entsprechend Abbildung 15 berücksichtigt.

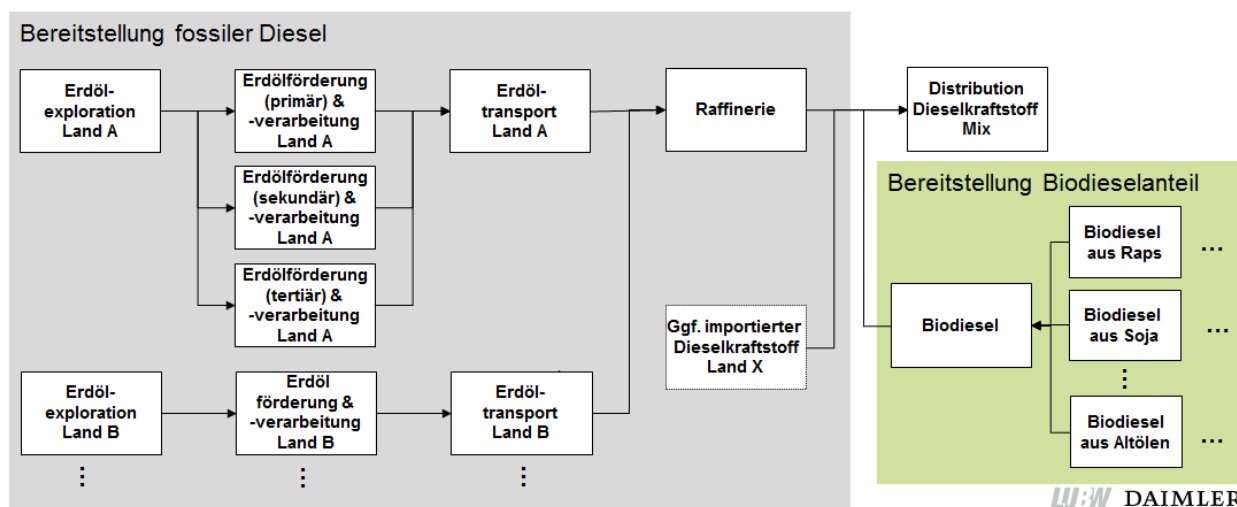


Abbildung 15: Vereinfachte Prozesskette der Dieselkraftstoffbereitstellung

Im Fall von fossilem Erdöl werden die Erdölförderung je Land und Fördertechnologie (Primär-, Sekundär-, Tertiärförderung), die Transporte zur Raffinerie, die Verarbeitung in der Raffinerie zu Dieselkraftstoff entweder in Deutschland oder Drittländern sowie der Transport des Kraftstoffs zum Verbraucher mit Hilfe der Ökobilanzsoftware GaBi [thinkstep 2017] bestimmt. Bezugsjahr ist dabei das Jahr 2015 und für das Zukunftsszenario das Jahr 2030. Das Zukunftsszenario basiert auf der AutoFuel-Studie von E4Tech, die im Auftrag von mehreren europäischen Kraftfahrzeug- und Kraftstoffherstellern erstellt wurde [E4Tech 2013] sowie Untersuchungen zur Bereitstellung von konventionellem Diesel im Jahr 2030 [thinkstep 2011].

Entsprechend der nationalen Umsetzung der Europäischen Kraftstoffqualitätsrichtlinie (98/70/EG) über das Biokraftstoffquotengesetz und in der Folge des Gesetzes zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen galt bis 2014 eine energetische Beimischungsverpflichtung<sup>36</sup>. Mit Beginn 2015 wurde die Beimischungspflicht durch eine Treibhausgasminderungsquote in Höhe von 3,5%, die bis 2020 auf 6% ansteigt, abgelöst. Sie ist über Herkunftsnachweise entsprechend der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) zu belegen. In der 2009 verabschiedeten Biokraft-NachV sind auch die in der Erneuerbaren-Energie-Richtlinie der Europäischen Kommission (2009/28/EG) vorgeschriebenen Nachhaltigkeitskriterien (z. B. THG-Mindestminderungsquoten, Schutz von Flächen mit hoher biologischer Vielfalt und hohem Kohlenstoffbestand) beinhaltet.

Der THG-Bilanz werden für die Bezugsjahre 2015 und 2030 die in Abbildung 16 gezeigten Kraftstoffzusammensetzungen zugrunde gelegt.

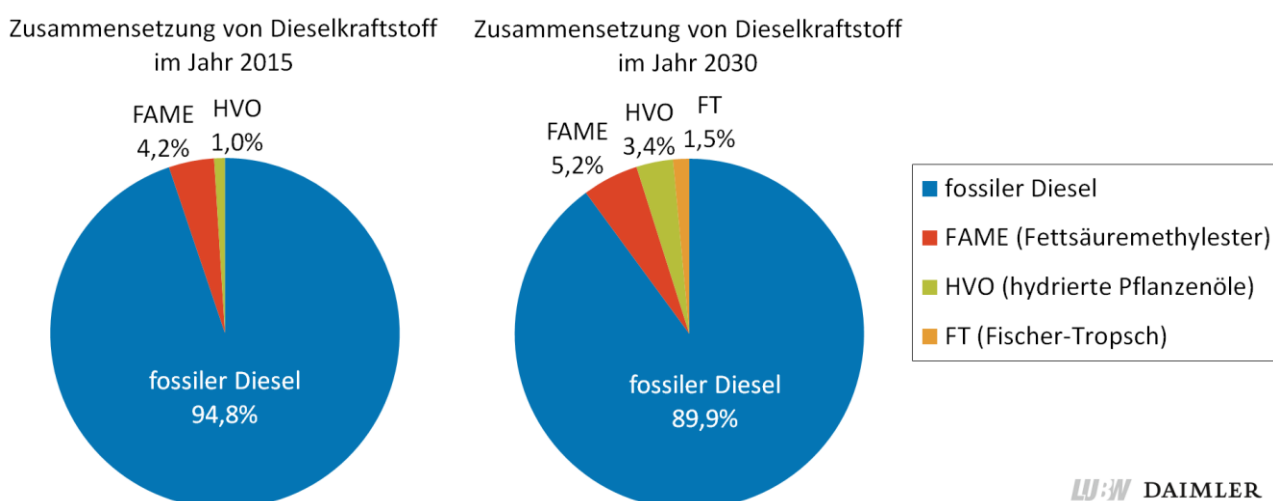


Abbildung 16: Zusammensetzung Dieseldieselkraftstoff 2015 und 2030 (auf Basis Heizwert) ([BLE 2016], [E4Tech 2013], [thinkstep 2011], eigene Berechnungen)

Analog zum fossilen Diesel werden die THG-Emissionen des zugemischten Biodieselanteils entsprechend der Kraftstoffart entweder auf Basis von Fettsäuremethylester (FAME) oder hydriertem Pflanzenöl (HVO) ermittelt. Im Jahr 2015 setzte sich der Bioanteil im Dieseldieselkraftstoff zu 84% aus FAME und zu 16% aus HVO zusammen [FNR 2016]. Ausgangsstoffe für FAME waren mit abnehmender Bedeutung Raps, Abfall-/Reststoffe, Palmöl und Soja. HVO stammte überwiegend aus Palmöl und nur zu einem geringen Anteil aus Abfall-/Reststoffen (siehe Abbildung 17 links). Für 2030 wurde auf Basis der Auto Fuel Studie [E4Tech 2013] und eigener Berechnungen der in Abbildung 17 rechts dargestellte Ressourcenmix verwendet, der sowohl für die FAME- als auch HVO-basierten Kraftstoffanteile verwendet wurde. Der 1,5%ige Anteil an Biokraftstoff der 2. Generation wird auf Basis eines aus Holz mittels Fischer-Tropsch-Synthese (FT) gewonnenen Dieseldieselkraftstoffs abgebildet (siehe Abbildung 17 rechts).

Für die THG-Bilanzierung werden die eingesetzten Ressourcen, d. h. im Fall von Agrarerzeugnissen die Anbau-, Ernte- und Verarbeitungsprozesse sowie die jeweils erforderlichen Transportprozesse, berücksich-

<sup>36</sup> Fossilen Kraftstoffen war ein Energieanteil von 6,25% Biokraftstoffen beizumischen.



tigt. Im Fall der Nutzung von Abfall- und Reststoffen als Ausgangsstoff wird die Herstellung von FAME und HVO aus Altspeiseölen betrachtet.

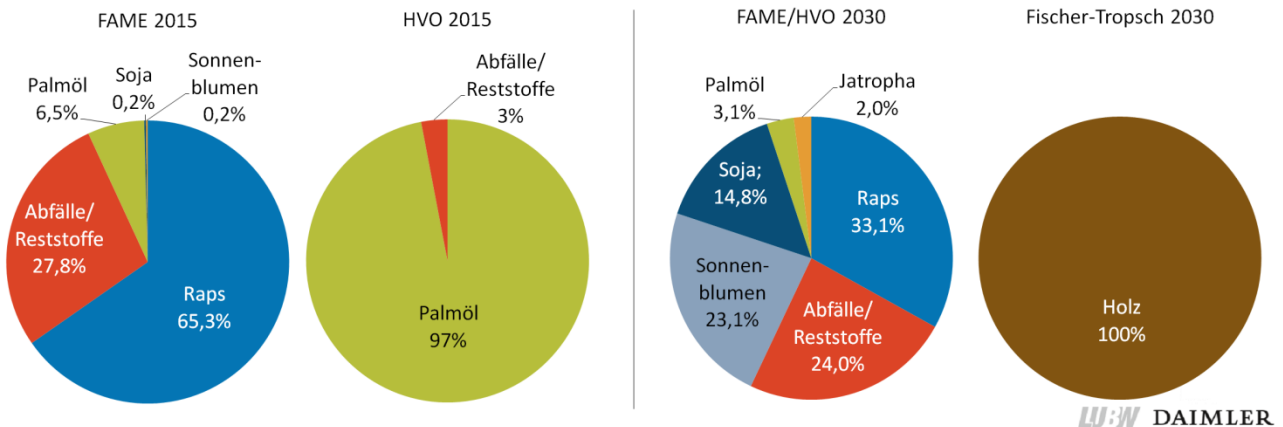


Abbildung 17: Ausgangsstoffe Biodieselanteil (nach [BLE 2016])

In Abbildung 18 sind die THG-Emissionen der Kraftstoffbereitstellung bezogen auf einen Liter Kraftstoff dargestellt. Neben dem konventionellen Diesel werden die Emissionen der Bereitstellung folgender Dieselmotorkraftstoffe mit den Ausgangsstoffen entsprechend Abbildung 17 dargestellt:

- Biodiesel basierend auf Fettsäuremethylester (FAME):
  - Herkunftsland des Rapses ist zu ca. 2/3 Deutschland, der Rest stammt weitestgehend aus EU-Staaten.
  - Herkunftsland des Palmöls ist Malaysia.
  - Die Allokation der Emissionen auf die Beiprodukte (z. B. Glycerin) erfolgt nach ihrem Marktwert<sup>37</sup>.
  - Basierend auf den Daten der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) zu den im Jahr 2015 erzielten ausgangsstoffspezifischen THG-Emissionseinsparungen für FAME und HVO [BLE 2016] und einem Abgleich mit den in der EU Richtlinie 2009/28/EG [EU 2009] angegeben typischen THG-Reduktionen je Ausgangsstoff wurden bei der THG-Bilanzierung keine THG-Emissionen aus direkten Landnutzungsänderungen angenommen. THG-Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen blieben entsprechend der EU-Richtlinie 2009/28/EG und ihrer Überarbeitung 2015/1513 Annex V [EU 2009, EU 2015] ebenfalls unberücksichtigt<sup>38</sup>.
- Biodiesel aus hydrierten Pflanzenölen (HVO):
  - Herkunftsland des Palmöls ist Malaysia.

<sup>37</sup> Bei der Ökobilanzierung ist es entsprechend der ISO 14044 ein übliches Vorgehen, bei einem Prozess mit mehreren Produkten eine Allokation (Zuteilung) der In- und Outputs auf die verschiedenen Produkte vorzunehmen. Das bedeutet, dass die eingesetzten Ressourcen und Energieträger sowie die Emissionen in Luft, Wasser und Boden nach einem definierten Verteilungsschlüssel den Produkten zugeordnet werden. Bei FAME wird als Verteilungsschlüssel für die den Beiprodukten zuzuordnenden Emissionsanteile der Marktwert herangezogen, bei HVO der Energieinhalt.

<sup>38</sup> Im Rahmen der Überarbeitung der EU-Richtlinie 2009/28/EG im Jahr 2015 [EU 2015] wurden vorläufige Schätzwerte für die THG-Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen angegeben, die jedoch bei der Bestimmung der THG-Einsparungen entsprechend Annex V der Richtlinie unberücksichtigt bleiben (siehe auch Fußnote 43).



- Die Allokation der Emissionen zwischen Palmöl und Palmkernen erfolgt nach Marktwert, bei der Palmölhydrierung nach dem Energieinhalt der entstehenden Produkte (HVO, Rohbenzin, Propan).
- THG-Emissionen aus Landnutzungsänderungen wurden analog zu FAME-Kraftstoffen nicht berücksichtigt.
- Dieselmix mit Anteilen an FAME und HVO entsprechend des Bezugsjahres. Auf volumetrischer Basis beträgt der Bioanteil im Dieselmix in Deutschland in 2015 5,6%<sup>39</sup> (B6) und in 2030 10,8%<sup>40</sup> (B11).

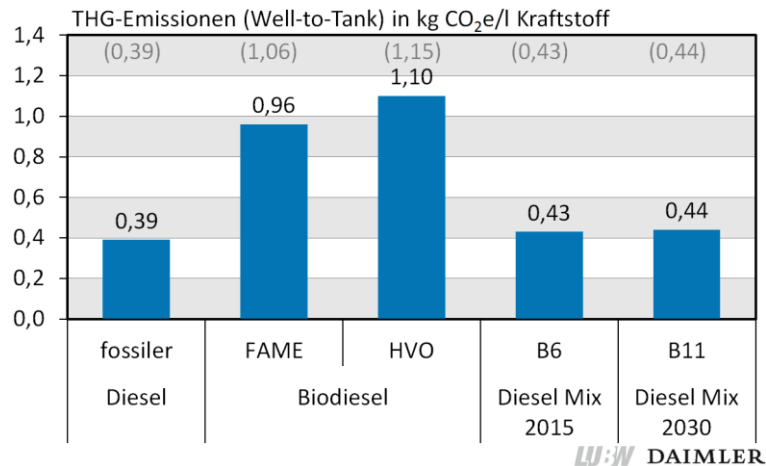


Abbildung 18: Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung („Well-to-Tank“). Da die Kraftstoffe je Liter einen unterschiedlichen Energieinhalt aufweisen<sup>41</sup>, ist für eine bessere Vergleichbarkeit in Klammern noch der jeweilige Treibhausgaswert je Liter fossilem Diesel mit 35,9 MJ/l Energieinhalt, dem sogenannten Liter Diesel-Äquivalent, dargestellt.

#### THG-Emissionen der Energiewandlung (Tank-to-Wheel) und gesamte THG-Emissionen (Well-to-Wheel)

Der THG-Emissionsfaktor für den Kraftstoffverbrauch (direkte Emissionen aus der Verbrennung im Dieselmotor, Tank-to-Wheel) ergibt sich entsprechend der [DIN 2013] für rein fossilen Dieselmix mit 2,67 kg CO<sub>2</sub>e/l. Entsprechend den Spezifikationen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (2009/28/EG) werden die THG-Emissionen aus der Verbrennung von Biokraftstoffen als klimaneutral<sup>42</sup>, d. h. mit dem Wert Null angesetzt. Entsprechend ergibt sich unter Berücksichtigung des Biokraftstoffanteils von 5,6 Vol.% im Jahr 2015 bzw. 10,8 Vol.% im Jahr 2030 Tank-to-Wheel-Emissionen von 2,52 kg CO<sub>2</sub>e/l B6-Dieselmix bzw. 2,38 kg CO<sub>2</sub>e/l B11-Dieselmix.

Abbildung 19 zeigt die gesamten THG-Emissionen je Liter verbrauchtem Kraftstoff, d. h. die direkten Betriebsemissionen (roter Balkenanteil) und indirekten Emissionen aus der Kraftstoffbereitstellung (blauer Balkenanteil).

<sup>39</sup> Basierend auf eigenen Berechnungen nach BAFA, FNR und BLE, 2016. D.h., dass die vorgegebene THG-Minderungsquote von 3,5% mit einer Beimischung von 5,6 Vol.% Diesel biogenen Ursprungs erreicht wird und die nach EN 590 mögliche Beimischung von bis zu 7 Vol.% FAME nicht ausgeschöpft wird.

<sup>40</sup> Da HVO und FT-Kraftstoffe als sogenannte Drop-in Kraftstoffe genutzt werden können, bedarf es für die hier angenommene Zusammensetzung des Dieselmix in 2030 keiner Anpassung der aktuellen Motorenfreigabe für Dieselmix mit einem FAME-Anteil von bis zu 7 Vol.%.

<sup>41</sup> Ein Liter FAME-Biodiesel enthält beispielsweise 32,8 MJ/l, 1 Liter HVO-Biodiesel 34,3 MJ/l.

<sup>42</sup> CO<sub>2</sub>-neutral aufgrund des in der eingesetzten Biomasse gebundenen CO<sub>2</sub>.

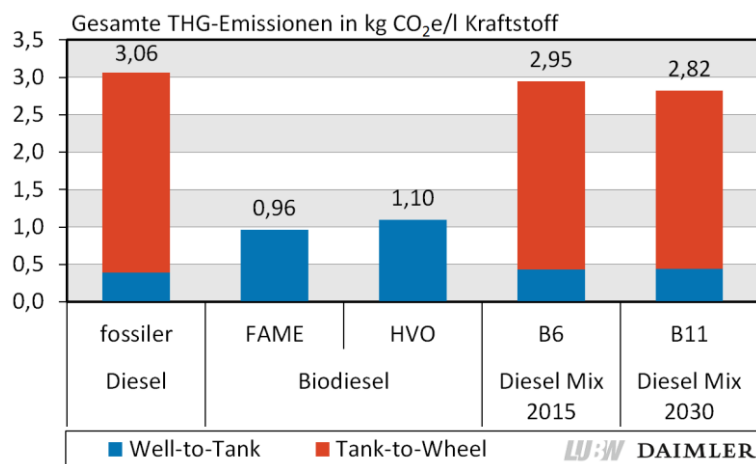


Abbildung 19: Gesamte THG-Emissionen je Liter Kraftstoff (direkte Betriebsemissionen in der Nutzung und indirekte Emissionen aus der Kraftstoffbereitstellung).

Je nach Biokraftstoff-Anteil hat die Bereitstellung einen Anteil an den THG-Emissionen von 13% (fossiler Diesel), 14% bzw. 16% (B6 bzw. B11) bis 100% (FAME und HVO), womit der Anteil der Kraftstoffbereitstellung mit steigendem Biokraftstoffanteil steigt. Dies beruht auf der Tatsache, dass die Bereitstellung von Biokraftstoffen gegenüber konventionellem Diesel aus Erdöl zunächst mit höheren THG-Emissionen verbunden ist (siehe Abbildung 18). Der Vorteil der Verwendung von Biokraftstoffen ergibt sich erst bei ganzheitlicher Betrachtung von Bereitstellung und Nutzung.

In Summe ergeben sich somit für den in dieser Studie verwendeten B6- und B11-Dieselmotorkraftstoff ein Well-to-Wheel-THG-Faktor in Höhe von 2,95 kg CO<sub>2</sub>e/l B6-Diesel und 2,82 kg CO<sub>2</sub>e/l B11-Diesel<sup>43</sup>.

## 4.2 TREIBHAUSGASEMISSIONEN SCHIENENGÜTERVERKEHR

Für die Bestimmung der schienenverkehrsbedingten THG-Emissionen ist der Stromverbrauch maßgeblich, da 85% des Schienengüterverkehrs mit Elektrotraktion durchgeführt werden [DB 2016].

### 4.2.1 STROMVERBRAUCH IM SCHIENENGÜTERVERKEHR

Beim Schienengüterverkehr wurde gemäß der Berechnung des Verlagerungspotentials mit den dort angenommenen Randbedingungen zwischen Wagenladungsverkehr und Kombiniertem Verkehr unterschieden (siehe Kapitel 3.5):

- Kombiniertes Verkehr (KV): Hauptlauf per Bahn, Vor- und Nachlauf mit konventionellen Lkw (Sattelanhänger mit 45-Fuß-Wechselbehälter)
- Wagenladungsverkehr (WLV): Gesamtstrecke als WLV, Bereitstellung der Wagen vernachlässigt, da bei den Lkw die Anfahrt zum Lade-Ort ebenfalls nicht berücksichtigt wird

<sup>43</sup> In [EU 2015] wurden vorläufige Schätzwerte für die THG-Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen angegeben. Der Mittelwert für Biokraftstoffe aus Ölpflanzen liegt bei 55 g CO<sub>2</sub>e/MJ Biokraftstoff [EU 2015]. Berücksichtigt man diesen Wert zusätzlich zu den in Abbildung 18 dargestellten Werten, ergeben sich für Biodiesel (FAME und HVO) bei einer Well-to-Wheel-Betrachtung THG-Emissionen, die in etwa vergleichbar sind mit denen von fossilem Diesel, d.h. die 4% (für B6) bzw. 8% (für B11) THG-Einsparung gegenüber fossilem Diesel würde bei Inkludierung der abgeschätzten THG-Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen entfallen. Der derzeit gültigen Rechtslage nach Biokraft-NachV folgend wird jedoch im Rahmen dieser Studie auf eine Berücksichtigung der THG-Emissionen aus indirekter Landnutzungsänderung verzichtet.

Im Gegensatz zu den Leerfahrten bei Lkw können (komplette) Leerfahrten bei Güterzügen für die hier relevanten Güterabteilungen ausgeschlossen werden<sup>44</sup>. Daher wurde bei den Schienengütertransporten statt Leerfahrten ein entsprechender Anteil an Leerwagen<sup>45</sup> für jeden Zug berücksichtigt. Als Leerwagenanteil wurde sowohl im Wagenladungsverkehr als auch im Kombinierten Verkehr ein Anteil von 20% angesetzt [EWI 2016]. Durch die Berücksichtigung der Leerwagen bei der Zugzusammenstellung geht der zusätzliche Stromverbrauch für ihren Transport direkt in die Ermittlung des Fahrstrombedarfs ein.

Es wurde für den WLW und den KV jeweils ein durchschnittlicher Zug (Referenzzug) mit 23 beladenen Wagen spezifiziert. Dabei wurde unterstellt, dass 18 der Wagen durchschnittlich beladen sind, während mit fünf Wagen Lang-Lkw-fähige Güter mit ihrem jeweiligen Palettengewicht transportiert werden. Weiterhin wurde jeder Zug um den Anteil an Leerwagen (rechnerisch 4,6 Wagen) der jeweiligen Wagenklasse verlängert.

- Für den KV wurden 23 Tragwagen Typ Sgkms 698 (Tragwagen mit vier Radsätzen für Großcontainer und Jumbo-Wechselbehälter) mit 45‘palletwide High Cube Containern mit 33 Palettenstellplätzen angenommen. Als durchschnittliche Beladung der 18 Wagen wurden 13,5 t angenommen [EWI 2016]. Insgesamt entstand so ein Referenzzug für den kombinierten Verkehr mit 547 m Länge und rund 1000 t Bruttogewicht.
- Im WLW setzte sich der Referenzzug aus 23 Schiebetürwagen Typ Hbbills 310 (Güterwagen mit zwei Radsätzen und Aluminiumschiebewänden) mit je 45 Palettenstellplätzen zusammen, wovon 18 Wagen mit durchschnittlich 18,4 t<sup>46</sup> beladen waren. Der resultierende Zug im WLW hat eine Länge von 495 m und ebenfalls etwa 1000 t Brutto-Gesamtgewicht, wobei er um 1 – 2% leichter ausfällt als der KV-Referenzzug.

Die Bestimmung des Stromverbrauchs *SV* in Abhängigkeit vom Brutto-Gesamtgewicht des Zuges *GWT* erfolgte nach [EWI 2016] zu:

$$SV = 1200 \cdot GWT^{-0,62}$$

Der resultierende Stromverbrauch im KV liegt je nach Gewicht der verlagerbaren Güter zwischen 0,0595 und 0,0538 kWh/tkm (für 200 bzw. 400 kg/Palettenstellplatz) bezogen auf die Netto-Zuladung. Der Stromverbrauch je Tonne Netto-Zuladung im WLW beträgt je nach Gewicht der verlagerbaren Güter zwischen 0,0434 und 0,0394 kWh/tkm (für 200 bzw. 400 kg/Palettenstellplatz). Die Werte enthalten wie oben dargestellt auch bereits den zusätzlichen Stromverbrauch für die Leerwagen. Der Strombedarf für den Schienengütertransport wurde anhand des so ermittelten Fahrstromverbrauchs relationsspezifisch je nach Palettengewicht der verlagerbaren Güter bestimmt.

#### 4.2.2 VERBRAUCHSENTWICKLUNG BAHN BIS 2030

Entsprechend des angenommenen technischen Fortschritts bei den Lkw wird auch für die Bahn eine Effizienzsteigerung angenommen. Dabei wurde von einer jährlichen Verbrauchsminderung um 0,7% ausgegan-

<sup>44</sup> Demgegenüber kommt es bei Transporten mit Spezialwaggons wie z. B. einem Kohle-Zug auch zu kompletten Leerfahrten, wenn dieser unbeladen wieder zurück vom Entladeort (z. B. Kraftwerk) fährt.

<sup>45</sup> Leere Wagen sind Wagen ohne jegliche Ladung. Dies schließt auch den Transport von Leercontainern aus, die in der BVWP als eigene Gütergruppe erfasst werden und daher unter Ladung fallen.

<sup>46</sup> 18,4 t entsprechen der mittleren Zuladung im KV von 13,5 t hochgerechnet auf die größere Anzahl an Palettenstellplätzen.

gen<sup>47</sup>. Da der im Szenario 2010 verwendete Strombedarf auf Zahlen von 2009 beruht [EcoTransit World 2016], ergibt die Effizienzsteigerung in den 20 Jahren bis 2030 in der Summe eine Reduktion des Energiebedarfs um insgesamt 13,1%.

#### 4.2.3 TREIBHAUSGAS-EMISSIONSFAKTOREN BAHN

Zur Bestimmung der THG-Emissionen des Schienengüterverkehrs war die Bestimmung des relevanten Bahn-Strommixes erforderlich. Für DB Schenker als Logistik-Tochterunternehmen der Deutschen Bahn lagen veröffentlichte Informationen zum eingesetzten Strommix für das Jahr 2013 vor [DB Mobility Logistics 2014]. Aus Abbildung 20 ist zu erkennen, dass dieser im Vergleich zum Strommix des Gesamtkonzerns Deutsche Bahn<sup>48</sup> einen etwas geringeren Anteil an erneuerbaren Energien (EE) aufwies. Weiterhin lag der EE-Anteil sowohl im DB Schenker- als auch im DB-Mix höher als im deutschen Strommix für das Jahr 2013. Analog verhält es sich für das Bezugsjahr 2015 [DB 2016a], das im Sinne eines einheitlichen Bezugsjahres gewählt wurde. Die erneuerbare Energie wurde überwiegend aus Wasserkraft und zu einem geringen Teil aus Windenergie gewonnen [DB 2016a].

Für den zukünftigen Bahn-Strommix im Untersuchungsjahr 2030 wurden drei Szenarien angenommen, um eventuell unterschiedliche Entwicklungen der Zusammensetzung des Bahn-Strommixes aufzuzeigen. Die ersten beiden Szenarien basieren auf [Nitsch 2015]: Im ersten Szenario (S1) wurde unterstellt, dass der von der Bundesregierung vorgegebene Ausbaukorridor bis 2025 eingehalten wird. Im zweiten Szenario (S2) wurde entsprechend des von der DB in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie formulierten Ziels von einem reinen EE-Strommix im Jahr 2050 ausgegangen. Das dritte Szenario (S3) betrachtet einen Strommix, der bereits im Jahr 2030 ausschließlich auf erneuerbaren Energien basiert.

Entsprechend ergab sich in den Szenarien S1 – S3 der in Abbildung 20 dargestellte Anteil an erneuerbaren Energien. Die Zusammensetzung des Strommixes S3 basiert dabei auf dem EE-Mix aus dem Szenario S1.

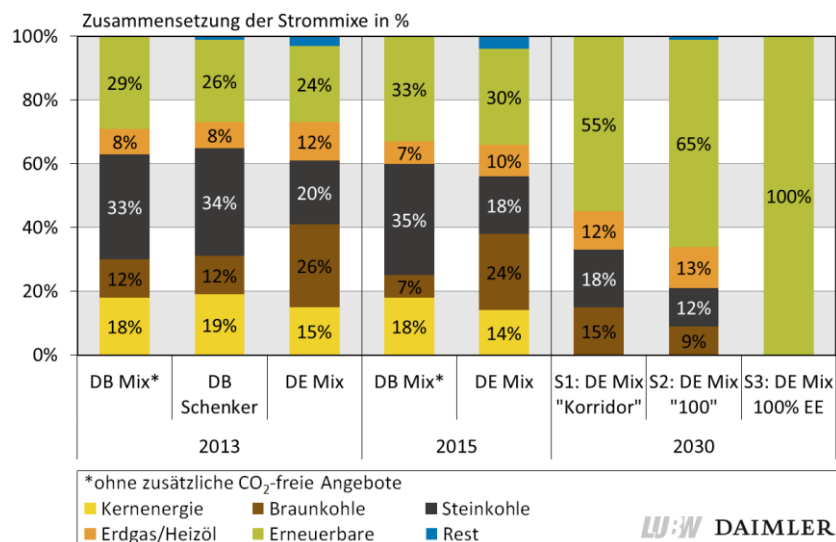


Abbildung 20: Zusammensetzung der verwendeten Bahn-Strommixe

<sup>47</sup> Basierend auf Angaben der DB [Kettner 2009] und Annahmen für den BVWP.

<sup>48</sup> Ohne CO<sub>2</sub>-freie Angebote der DB, z. B. im Personenfernverkehr.

Auf Basis der unterschiedlichen Strommix-Zusammensetzungen wurden die in Abbildung 21 gezeigten THG-Faktoren ermittelt. Für das Jahr 2030 ergab sich damit gegenüber 2015 eine Reduktion der spezifischen THG-Emissionen um 15% (S1), 36% (S2) bzw. 91% (S3).

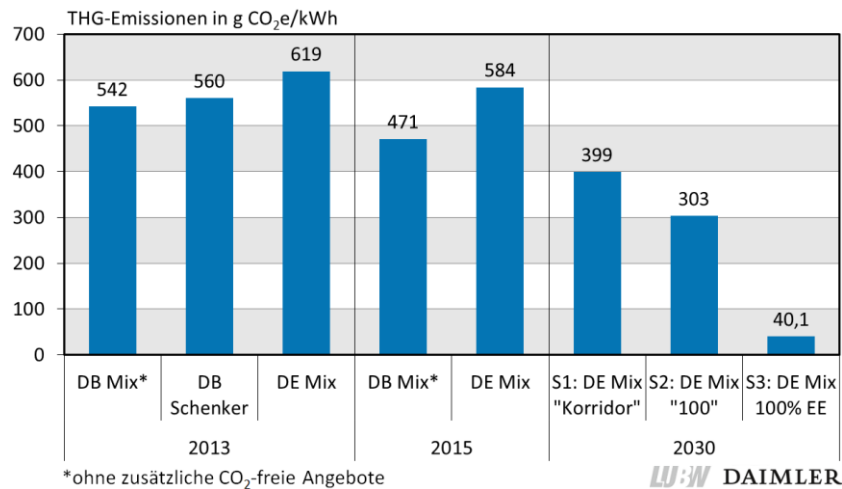


Abbildung 21: THG-Emissionen der verwendeten Bahn-Strommixe

Zur Berechnung der THG-Emissionen des Bahngüterverkehrs in den Verlagerungsszenarien wurde für das Szenario 2010 der THG-Emissionsfaktor für den DB-Mix 2015 von 471 g CO<sub>2</sub>e/kWh verwendet, für das Szenario 2030 der für den DE Mix „Korridor“ (S1) von 399 g CO<sub>2</sub>e/kWh. In Anhang 10.11 wurde in einer gesonderten Betrachtung die THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung 2030 zusätzlich mit dem DE MIX 2030 „100“ (S2) und dem DE Mix 100% EE (S3) mit den THG-Emissionsfaktoren 303 bzw. 40,1 g CO<sub>2</sub>e/kWh berechnet.



# 5 Treibhausgasbilanz Daimler-Verkehre

Für die THG-Bilanz der Daimler-Lang-Lkw-Verkehre waren zunächst die Sendungsdaten je Relation auszuwerten (siehe Kapitel 5.1), da sich aus ihnen die wesentlichen Eingangsdaten für die THG-Bilanz ergaben, z. B. Fahrzeuggewicht, massen- und volumenbezogene Zuladung, erforderliche Umwegverkehre für die Lang-Lkw aufgrund des derzeitigen Positivnetzes etc.

Die Ergebnisse der THG-Bilanzierung werden in Kapitel 5.2 zunächst anhand der Relation Treuen – Sindelfingen beispielhaft dargestellt und anschließend in Kapitel 5.3 für alle Daimler-Lang-Lkw-Relationen.

## 5.1 AUSWERTUNG DER SENDUNGSDATEN DER DAIMLER-RELATIONEN

Von der Daimler AG wurden Sendungsdaten von insgesamt elf Relationen in die Werke Bremen<sup>49</sup>, Sindelfingen und Rastatt zur Verfügung gestellt, auf denen im Rahmen des Feldversuchs Lang-Lkw eingesetzt wurden.

Tabelle 18 zeigt am Beispiel der Relation Bautzen – Rastatt die durchgeführte Auswertung der Fahrtdaten. Transportiert wurden Abdeckungen, Radlaufverkleidungen, Luftkanäle und Blenden. Während der 12 Monate, für die Daten vorlagen, kamen zwei Lang-Lkw des Typs 3 in unterschiedlichen Konfigurationen zum Einsatz, einmal als 6- und einmal als 7-Achser. Dies veranschaulicht nochmals die unterschiedlichen Konfigurationsmöglichkeiten, nicht nur hinsichtlich der verschiedenen Lang-Lkw-Typen (Typ 1- 5), sondern auch innerhalb eines Lang-Lkw-Typs. Durch eine verringerte Achszahl lässt sich die mögliche Zuladung zum Teil um 1,4 t und mehr erhöhen.

Tabelle 18: Auswertung der Fahrtdaten am Beispiel der Relation Bautzen – Rastatt

Parameter	Lang-Lkw 1	Lang-Lkw 2	konventioneller Lkw
Lkw-Typ	Typ 3 (kurz-lang) 6 Achsen	Typ 3 (kurz-lang) 7 Achsen	Jumbo-Gliederzug
Erfassungszeitraum	12 Monate (Aug 15 – Jul 16)		
Fahrten je Arbeitstag [n/AT bei 240 AT/a]	1,7	1,7	0,5
Streckenlänge Umlauf [km]	1.330	1.330	1.300
Transportvolumen Ø (max.) [m³]	145,9 (157)	149,1 (157)	113,5 (114)
Auslastung Ø (Ein-/ Ausgang) [Vol.%]	93% (94% / 92%)	95% (95% / 95%)	100% (100% / 100%)
Zuladung Ø (max.) [t]	15,8 (19)	13,0 (17,6)	9,64 (22,4)
Auslastung Ø (Ein-/ Ausgang) [Gew.%]	83% (91% / 75%; Δ 3 t)	74% (83% / 65%; Δ 3,2 t)	43% (47% / 39%; Δ 1,9 t)
Ladungsdichte Ø (Ein-/ Ausgang) [kg/m³]	108 (117 / 99,5)	87,1 (98,3 / 75,9)	84,9 (93,3 / 76,6)
Jährliche Transportmenge [t/a]	6.571	5.320	1.068

 DAIMLER

<sup>49</sup> Inklusive Teileversand über BLG in Bremen

Das Transportvolumen ist auf der Ein- und Ausgangsfahrt in das bzw. aus dem Werk Rastatt weitgehend konstant. Da auf der Ausgangsfahrt die leeren Bauteilträger zurück zum Lieferanten gebracht werden, ergibt sich für Lang-Lkw und konventionelle Lkw ein entsprechender Gewichtsunterschied zwischen Ein- und Ausgangsfahrt von ca. 3 bzw. 2 t. Der Umwegverkehr für den Lang-Lkw beträgt auf dieser Strecke für einen Rundlauf 30 km. Das entspricht bei einer Gesamtstrecke von 1.300 km für den konventionellen Lkw einer Verlängerung der Fahrstrecke aufgrund der derzeitigen Struktur des Positivnetzes für den Lang-Lkw um ca. 2%.

Die Analyse der weiteren Sendungsdaten und die Herleitung der für die THG-Bilanzierung erforderlichen Angaben für die einzelnen Relationen wird detailliert in Anhang 10.5 beschrieben. Tabelle 19 fasst die Mittelwerte bzw. Bandbreiten für die wesentlichen Kenngrößen der eingesetzten Lang-Lkw auf den elf ausgewerteten Relationen zusammen.

Tabelle 19: Mittelwerte aus Auswertung aller Fahrtdaten der Lang-Lkw auf allen Daimler-Relationen, im Rundlauf

Relation	Datenerfassungsdauer	Fzg. typ	Anzahl Achsen	Streckenlänge Rundlauf [km]	Umwegverkehr [%]	Mittl. Ladevolumen [m³]	Vol.-auslastung [%]	mittlere Zuladung [t]	Mas-senauslastung [%]	La-dungsdichte [kg/m³]	Anzahl Fahrten [#]	Transportierte Menge [t/a]
<b>Mittelwert</b>	Ø 7										Ø 420	Ø 5.831
<b>(arithmet.)</b>	Mon.	2 / 3	6 – 8	Ø 935	Ø 0-5%	Ø 139	Ø 89%	Ø 13,7	Ø 75	Ø 99,3	Σ 5.456	Σ 75.806

LUBW DAIMLER

Werden das Ladungsvolumen, die Ladungsdichte und die Zuladung betrachtet, ist anhand des in Tabelle 18 dargestellten Beispiels Bautzen – Rastatt bereits zu erkennen, dass die genannten logistischen Parameter bei der Abwicklung konkreter Transportaufgaben zwischen den eingesetzten Fahrzeugtypen in der Praxis variieren. Gleichzeitig gehen aber die in der Literatur beschriebenen vergleichenden Analysen von Lang-Lkw und konventionellen Lkw üblicherweise von vollständig vergleichbaren Randbedingungen aus, d. h. gleiche Ladungsdichte bei idealerweise vollständiger Ausnutzung des Ladevolumens auf derselben Streckenlänge. Dieses Vorgehen ist für den grundsätzlichen Vergleich und die Bewertung der prinzipiellen Leistungsfähigkeit der beiden Fahrzeugkonzepte auch korrekt. Im Ergebnis führt ein solcher Vergleich zu der zusammenfassenden Aussage „2 Lang-Lkw ersetzen 3 konventionelle Lkw“ und den ermittelten Kraftstoff- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparpotentialen von 15 – 25%, z. B. nach [BASt, 2016].

Wie das Beispiel und die nachfolgende Analyse ausgewählter Lang-Lkw-Verkehre von Daimler zeigen, ist die tatsächliche Umsetzung des (idealen) „2 : 3“-Verhältnisses von Lang-Lkw zu konventionellen Lkw in der Praxis anspruchsvoll und, zumindest bisher, noch nicht auf jeder Relation der Daimler-Verkehre vollständig gelungen. Tabelle 20 zeigt für ausgewählte Relationen die auf Volumen, Masse und Ladungsdichte bezogenen Ladungsverhältnisse, sowohl für alle Fahrten, d.h. im Rundlauf, als auch separat für die Eingangs- und Ausgangsfahrten.

Bei der Analyse der Daten ist zu berücksichtigen, dass die Daten teilweise nur relativ kurze Zeiträume abdecken und dass sich die Lang-Lkw-Transporte zwischen Lieferant und Werk meist auch erst einspielen müssen, d. h. es wurde eine Optimierungskurve durchlaufen. Auf der anderen Seite veranschaulichen sie aber auch den logistischen Alltag, der nicht immer eine vollständige Optimierung aller Parameter zulässt. Ein wesentlicher Einflussfaktor bei den Daimler Verkehren ist, dass auf den Ausgangsfahrten, d. h. dem Rückweg zum Lieferanten, leere Ladungsträger transportiert werden. Dies führt oftmals zu einer niedrigeren Zu-



ladung bei der Rückfahrt. Teilweise sind die Ladungsträger auch zusammenklappbar, so dass das Ladungsvolumen für die Ausgangsfahrten reduziert werden konnte.

Tabelle 20: Übersicht Ladungsverhältnisse von Lang-Lkw zu konventionellen Lkw für ausgewählte Daimler-Relationen

Relation	Datenerfassungszeitraum	Volumenbezogen			Massebezogen			Ladungsdichtebezogen	
		Alle Fahrten	Eingang	Ausgang	Alle Fahrten	Eingang	Ausgang	Eingang	Ausgang
Schönfels - Werk Bremen *	5 Monate	3,1 : 2 (157%)	3,2 : 2 (160%)	3,1 : 2 (157%)	3,3 : 2 (166%)	3,1 : 2 (153%)	3,1 : 2 (156%)	0,95 : 1	0,99 : 1
Bautzen - Werk + BLG Bremen	21 Monate	2,7 : 2 (134%)	2,9 : 2 (146%)	2,5 : 2 (123%)	2,5 : 2 (126%)	2,8 : 2 (138%)	2 : 2 (98%)	0,95 : 1	0,8 : 1
Plattling – Sindelfingen	9 Monate	3,1 : 2 (153%)	3,1 : 2 (154%)	2,9 : 2 (147%)	2,6 : 2 (132%)	2,5 : 2 (124%)	2,8 : 2 (140%)	0,81 : 1	0,95 : 1
Fulda - Werk Bremen	2 Monate	2,8 : 2 (140%)	3 : 2 (149%)	2,6 : 2 (130%)	2,7 : 2 (137%)	2,9 : 2 (146%)	2,6 : 2 (129%)	0,98 : 1	0,99 : 1
Treuen - Sindelfingen	13 Monate	2,9 : 2 (145%)	3 : 2 (149%)	2,9 : 2 (143%)	3 : 2 (149%)	3,1 : 2 (156%)	2,8 : 2 (139%)	1,05 : 1	0,97 : 1
Bautzen - Rastatt	12 Monate	2,6 : 2 (130%)	2,6 : 2 (130%)	2,6 : 2 (129%)	3 : 2 (149%)	3 : 2 (150%)	3 : 2 (148%)	1,16 : 1	1,15 : 1
<b>Mittelwert alle Relationen</b>		Ø 2,8 : 2 (141%)	Ø 3 : 2 (148%)	Ø 2,7 : 2 (134%)	Ø 2,8 : 2 (142%)	Ø 2,9 : 2 (144%)	Ø 2,6 : 2 (129%)	Ø 0,98:1	Ø 0,96:1

grün: Auslastung nahezu optimal ( $\geq 3$ )

rot: Auslastung nicht optimal ( $\leq 2,6$ )<sup>50</sup>

LUBW DAIMLER

Wie aus Tabelle 20 ersichtlich wird, sind bei den gezeigten Daimler-Lang-Lkw-Verkehren die meisten Eingangsfahrten bezüglich ihrer Auslastung schon nahe am Zielwert von 3 : 2 (grün markiert) bzw. haben ihn im Fall der Volumenauslastung im Mittel bereits über alle Relationen erreicht. Bei der Ausgangsfahrt zeigt sich, dass es hier noch Optimierungspotential gibt. Hier liegt das Verhältnis bei 2,7 : 2 bzw. 2,6 : 2 für Volumen- bzw. Masseauslastung. Beispielhaft ausgedrückt bedeutet dies, dass auf Ausgangsfahrten im Mittel rund 23 m<sup>3</sup> an Laderaum bei Lang-Lkw ungenutzt bleiben bzw. dass bei einer angenommenen max. Zuladung des Lang-Lkw von 18 t rund 2,5 t mehr Ladung aufgenommen werden könnten.

Die vollständige Auswertung für alle Daimler-Relationen findet sich in Tabelle 46 im Anhang 10.5.

Vor dem Hintergrund der Analyse der logistischen Randbedingungen (siehe auch Anhang 10.5) erfolgt die nachfolgende THG-Bilanzierung zunächst auf Basis der Eingangsfahrten, da hier mehrheitlich die Ladungsverhältnisse im Bereich 3:2 liegen und damit dem dem Lang-Lkw Konzept zugrundeliegenden Ladungsverhältnis entsprechen. Dies ermöglicht eine Gegenüberstellung von Lang-Lkw und konventionellen Lkw unter weitgehend vergleichbaren Randbedingungen. Im Sinne des eingangs erläuterten Konzeptvergleichs von Lang-Lkw und konventionellen Lkw unter weiter angeglichenen Randbedingungen erfolgte die Betrachtung anschließend mit angenommener gleicher Ladungsdichte und vollständiger Ausnutzung des Ladevolumens bei beiden Lkw-Typen. Die restlichen Randbedingungen (Fahrzeugspezifikation inkl. Leergewichte und

<sup>50</sup> Die Einordnung „Auslastung nicht optimal“ ab einem Auslastungsverhältnis von 2,6 ist eine Festlegung der Autoren dieser Studie. Sie leitet sich aus einer Korrelationsanalyse der erzielten Reduktion in Bezug auf die gewichts- und volumenspezifischen THG-Emissionen je Relation ab (siehe Tabelle 46). Lag die Reduktion eines der spezifischen THG-Werte im Bereich 10% oder darunter, wurde die Relation als nicht optimal ausgelastet eingestuft. Dies war mehrheitlich bei einem Ladungsverhältnis von 2,6 und darunter der Fall.

Umwegverkehre) wurden dabei beibehalten. Abschließend wurde die THG-Bilanz aggregiert für die Ein- und Ausgangsfahrten erstellt.

## 5.2 BERECHNUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER DAIMLER-VERKEHRE AM BEISPIEL TREUEN – SINDELFIN-GEN

Die Ermittlung der THG-Emissionen für die Daimler-Relationen wird zunächst am Beispiel der Relation Treuen – Sindelfingen dargestellt. Die Grundlage bilden entsprechend den Detailauswertungen zu den Ladungsverhältnissen (siehe Anhang 10.5) die Daten der Eingangsfahrten auf dieser Relation, die für Lang-Lkw und konventionelle Lkw getrennt ausgewertet wurden. Der Kraftstoffverbrauch wird mittels der anzuwendenden Verbrauchsfunktion (in diesem Fall für bergige Strecken, siehe Kapitel 4.1.4) bestimmt. Bezogen auf die mittlere Zuladung bzw. das mittlere Ladevolumen ergeben sich mit dem in Kapitel 4.1.7 hergeleiteten Emissionsfaktor von insgesamt 2,95 kg CO<sub>2</sub>e/l Kraftstoff (WtW) die spezifischen THG-Emissionen. In Tabelle 21 sind die Resultate von Lang-Lkw und konventionellen Lkw für die Eingangsfahrten der Beispielrelation gegenübergestellt. Da die konventionellen Lkw meist nur für Überhangfahrten eingesetzt wurden, ist deren jährliche Fahr- und Transportleistung entsprechend geringer.

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Fahrparameter und resultierenden spezifischen THG-Emissionen von Lang-Lkw und konventionellen Lkw für die Relation Treuen – Sindelfingen (Eingangsfahrten)

Parameter	Lang-Lkw	konv. Lkw	Hinweis
Streckenlänge einfach (km)	420	400	
Mittlere Zuladung (t)	16,1	10,3	Vgl. Abbildung 22 a
Mittleres Transportvolumen (m <sup>3</sup> )	139,03	96,12	
Mittlere massenbezogene Auslastung (%)	85%	42%	
Mittlere volumenbezogene Auslastung (%)	94%	99%	
Fahrten je Arbeitstag (n/d)	0,84	0,22	
Fahrten je Jahr (n/a)	200	54	
Kraftstoffverbrauch gem. Verbrauchsfunktion bergig (l/100 km)	36,7	27,5	Vgl. Abbildung 22 b
Jahresfahrleistung (extrapoliert) (km/a)	84.198	21.543	
Jahrestransportleistung (extrapoliert) [tkm/a)	1.358.950	222.758	
Jahreskraftstoffbedarf (extrapoliert) [l/a]	30.878	5.925	
Gewichtsbezogener spezifischer Kraftstoffverbrauch (l/tkm)	0,0227	0,0266	Vgl. Abbildung 22 c
Volumenbezogener spezifischer Kraftstoffverbrauch (l/m <sup>3</sup> km)	0,0025	0,0028	
Gewichtsbezogene spezifische THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/tkm)	67,0	78,4	Vgl. Abbildung 22 d
Reduktion gewichtsbezogene spezifische THG-Emissionen	15%		Vgl. Abbildung 22 d
Volumenbezogene spezifische THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> km)	7,33	8,20	
Reduktion volumen- und palettenstellplatzbezogene spezifische THG-Emissionen	11%		

LUBW DAIMLER

Anhand dieser Daten können nun die durch den Einsatz von Lang-Lkw jährlich eingesparten THG-Emissionen ermittelt werden. Bezugspunkt hierfür sind die hypothetisch erforderlichen Fahrten mit konventionellen Lkw, um die aktuell von den Lang-Lkw erbrachte Transportleistung (hochgerechnet auf ein Jahr) zu erbringen. Die in Tabelle 21 dargestellten Mittelwerte der real durchgeführten Transporte dienen dabei als Berechnungsgrundlage. Das Ergebnis für den Einsatz der Lang-Lkw auf der Relation Treuen – Sindelfingen ist in Abbildung 22 dargestellt.

Für den Transport von hochgerechnet jährlich rund 3.200 t Gütern (z. B. Fensterrahmenverkleidungen) benötigen die Lang-Lkw aufgrund ihrer um 56% höheren Zuladung (Abbildung 22a) 36% weniger Fahrten (Abbildung 22e). Auch wenn dies durch den um ein Drittel höheren Kraftstoffverbrauch teilweise kompensiert wird (Abbildung 22b), sinkt der relative Verbrauch bezogen auf die Transportleistung um 15% bzw. 11,4 g CO<sub>2</sub>e/tkm (Abbildung 22c+d). Der jährliche Kraftstoffbedarf der Lang-Lkw liegt mit 30.878 l rund 10% unter dem der konventionellen Lkw von 34.424 l (Abbildung 22f), was einer Reduktion der THG-Emissionen um ca. 10,5 t CO<sub>2</sub>e/a entspricht (Abbildung 22g). Bezogen auf die Transportleistung liegt die Einsparung bei 15% bzw. 11,4 g CO<sub>2</sub>e/tkm. Der Unterschied bei der relativen Einsparung ergibt sich durch den Umwegverkehr, der für diese Strecke aufgrund des Positivnetzes anfällt. Durch die in Baden-Württemberg nicht für Lang-Lkw freigegebene A6 ist die vom Lang-Lkw zurückzulegende Distanz um 20 km bzw. 5% länger, entsprechend reduziert sich die THG-Einsparung für diese Relation.

Werden für die THG-Bilanzierung dieselbe Ladungsdichte und dieselbe Volumenauslastung für Lang-Lkw und konventionelle Lkw zugrunde gelegt, die bei 109,5 kg/m<sup>3</sup> bzw. 99% liegen, ergibt sich eine spezifische volumenbezogene THG-Einsparung von 16% und eine massenbezogene spezifische THG-Einsparung von 12%. Aufgrund der jetzt höheren Volumenauslastung des Lang-Lkw erhöht sich die volumenbezogene Einsparung leicht um 1%-Punkt, während sich die massenbezogene Einsparung um 3%-Punkte vermindert. Dies rührt daher, dass der konventionelle Lkw nun aufgrund der vereinheitlichten Randbedingungen eine etwas höhere Ladungsdichte aufweist.

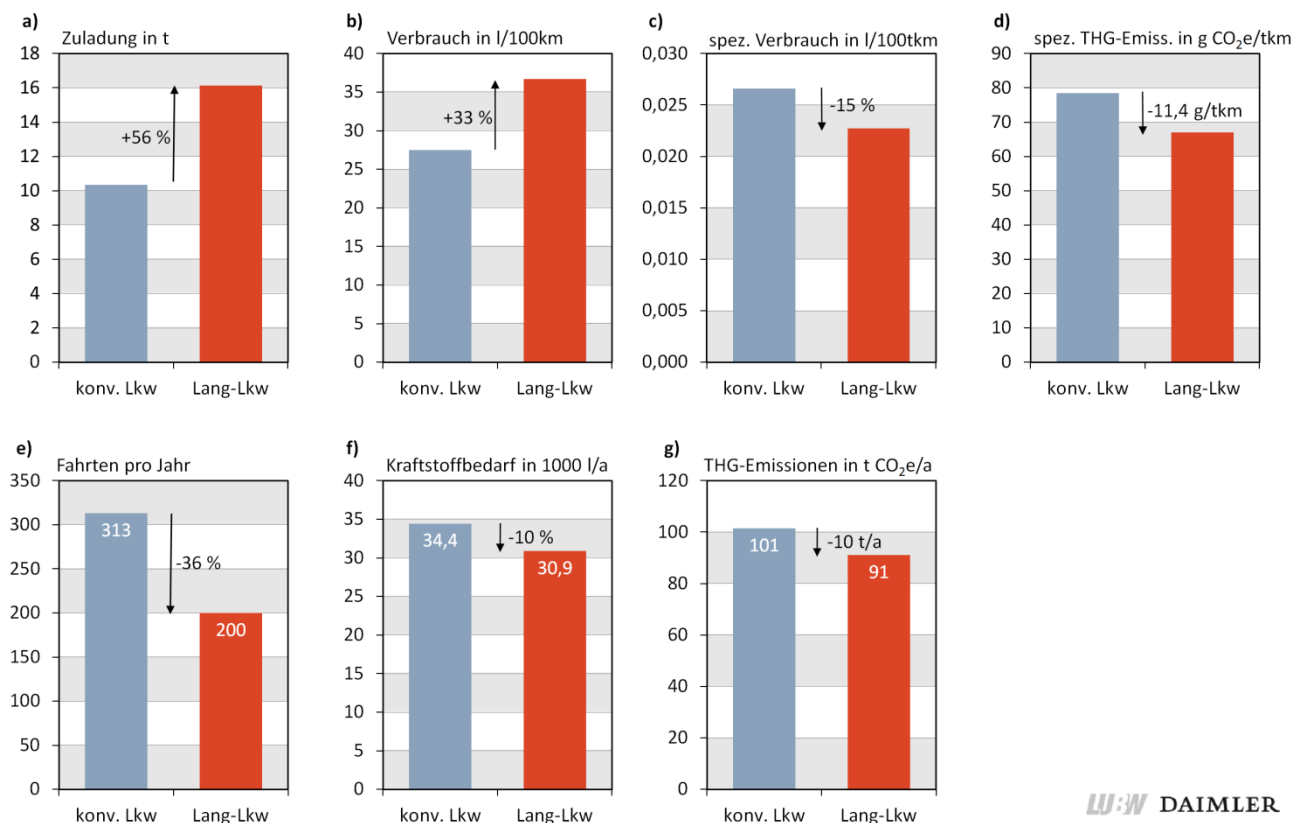


Abbildung 22: Vergleichende Darstellung der Auswirkungen des Lang-Lkw-Einsatzes für die Relation Treuen – Sindelfingen (Eingangsfahrt). Die prozentualen Minderungen des gewichtsbezogenen spezifischen bzw. jährlichen Kraftstoffbedarfs und der jeweils resultierenden THG-Emissionen sind identisch, daher sind bei den THG-Emissionen die Absolut-Beträge angegeben.

Werden abschließend alle Fahrten berücksichtigt, d. h. alle nach der Plausibilitätsprüfung vorliegenden Ein- und Ausgangsfahrten mit den jeweils beobachteten Randbedingungen für Ladevolumen und -masse, ergibt sich eine spezifische volumen- bzw. massenbezogene THG-Minderung von 9% bzw. 11%. Dies ist auf die in Summe nicht ganz optimalen Randbedingungen bei den Ausgangsfahrten zurückzuführen. So liegt das Ladungsverhältnis für die Ausgangsfahrten volumenbezogen bei 2,9 : 2 und massebezogen bei 2,8 : 2. Insgesamt ergibt sich eine THG-Minderung durch den Einsatz von Lang-Lkw auf der Relation Treuen – Sindelfingen von 13,8 t. Diese liegt aufgrund der Berücksichtigung von Ein- und Ausgangsfahrten über der Einsparung, die sich aus der THG-Bilanz nur der Eingangsfahrten ergibt, die relative Minderung fällt aber aus den genannten Gründen mit 7% statt 10% geringer aus.

### 5.3 ERGEBNISÜBERSICHT TREIBHAUSGASBILANZ ALLER DAIMLER-LANG-LKW-VERKEHRE

#### 5.3.1 THG-BILANZ EINGANGSFAHRTEN

Die THG-Bilanzierung der gesamten Daimler-Lang-Lkw-Verkehre erfolgte wie für die Beispielrelation zunächst auf Basis der Eingangsfahrten. Für jede Relation wurde anhand der mit Lang-Lkw real erbrachten Transportleistung ein Vergleich der THG-Emissionen mit den THG-Emissionen der dadurch ersetzten Fahrten mit konventionellen Lkw vorgenommen. Sofern verschiedene Lang-Lkw-Varianten auf einer Relation im Einsatz waren, wurden diese entsprechend ihrer jeweiligen Transportleistung berücksichtigt. Für die (hypothetischen) Fahrten mit konventionellen Lkw wurden jeweils die Fahrparameter unterstellt, wie sie sich aus den Praxisdaten der Ersatzverkehre ergaben.

Für drei Relationen standen keine Daten zu Ersatzverkehren zur Verfügung, da sämtliche Transporte im Betrachtungszeitraum mit Lang-Lkw abgewickelt wurden. In diesen Fällen wurden folgende verfügbare Daten der anderen Relationen herangezogen:

- Durchschnittliches Leergewicht der konventionellen Lkw
- Durchschnittliches Transportvolumen der konventionellen Lkw
- Durchschnittliches Zuladungsverhältnis von konventionellen Lkw zu Lang-Lkw, bezogen auf die Zuladung der Lang-Lkw für die Relation
- Streckenlänge der Lang-Lkw für die Relation

Mit Hilfe dieser Parameter können sämtliche weiteren für die Auswertung und Erstellung der THG-Bilanz erforderlichen Werte angenähert werden.

Tabelle 22 weist die Ergebnisse der durchgeführten Analyse der Klimaeffekte des Lang-Lkw-Einsatzes auf den Daimler-Relationen einschließlich des jeweils resultierenden Umwefaktors aus. Als Umwefaktor wird die relative Mehrdistanz bezeichnet, die ein Lang-Lkw aufgrund seines geringeren gewichtsbezogenen spezifischen Verbrauchs fahren kann, um für eine gegebene Transportaufgabe denselben Kraftstoffbedarf wie ein konventioneller Lkw aufzuweisen (die Berechnung des Umwefaktors erfolgt nach Anhang 10.10).

Bei der Kraftstoffersparnis ist zu beachten, dass diese nicht unmittelbar aus der vermiedenen Fahrleistung abgeleitet werden kann, sondern dies die Differenz zwischen dem Kraftstoffbedarf für die Lang-Lkw-Transporte und dem hypothetischen Kraftstoffbedarf für die dadurch ersetzten Fahrten mit konventionellen Lkw darstellt, wobei die unterschiedlichen Verbräuche der Lkw-Typen zu berücksichtigen sind.

Tabelle 22: Vermiedene Fahrleistungen und THG-Emissionen durch den Einsatz von Lang-Lkw auf den untersuchten Daimler-Relationen (Eingangsfahrten)

Relation	Vermiedene Fahrten [n/a]	Vermiedene Fahrleistung [km/a]	Kraftstoffersparnis [l/a]	Kraftstoffersparnis [%]	THG-Minderung [kg CO <sub>2</sub> /a]	Red. volumenspez. THG-Emissionen [%]	Red. gewichtsspez. THG-Emissionen [%]	Umwegfaktor [%]
Schönfels – BLG Bremen *	71	32.586	3.771	16%	11.118	19%	16%	20%
Schönfels – Werk Bremen	118	27.557	2.862	16%	8.438	20%	16%	19%
Schmölln – Werk Bremen *	210	94.328	9.912	14%	29.220	16%	14%	16%
Bautzen – Werk + BLG Bremen	60	15.977	1.093	7%	3.224	13%	7%	8%
Landau – Sindelfingen *	96	32.795	2.641	9%	7.787	12%	9%	10%
Fulda – Werk Bremen	101	19.013	1.641	11%	4.838	14%	11%	13%
Bautzen – Sindelfingen	118	35.628	2.918	10%	8.602	11%	10%	11%
Treuen – Sindelfingen	112	44.980	3.547	10%	10.455	11%	15%	11%
Schmölln – Sindelfingen	81	38.995	2.284	5%	6.732	9%	5%	5%
Bautzen – Rastatt	201	134.721	15.873	14%	46.794	2%	15%	16%
<b>Summe/Mittelwert</b>	<b>1.175</b>	<b>476.580</b>	<b>46.543</b>	<b>11,3%</b>	<b>137.208</b>	<b>12,5%</b>	<b>11,9%</b>	<b>12,9%</b>

\* Da keine Daten für konventionelle Lkw für diese Relationen vorlagen, wurde der Mittelwert aus den übrigen Daten zu konventionellen Lkw für diese Relationen als Abschätzung angesetzt, um diese Relationen auch in der THG-Bilanz berücksichtigen zu können.

LUBW DAIMLER

Auffallend sind die mit weniger als 10% vergleichsweise geringen Minderungen des Kraftstoffverbrauchs und somit der THG-Emissionen für die Relationen Schmölln – Sindelfingen, Bautzen – Bremen und Landau – Sindelfingen:

- **Schmölln – Sindelfingen:**  
Im Fall der Relation Schmölln – Sindelfingen kommt als konventioneller Lkw ein Jumbo-Gliederzug zum Einsatz, der im Vergleich zum Standard-Megatrailer ein höheres Ladungsvolumen aufweist (114 m<sup>3</sup> statt 100 m<sup>3</sup>), dadurch verringert sich die THG-Einsparung mit dem Lang-Lkw entsprechend.
- **Bautzen – Bremen:**  
Auf der Relation Bautzen – Bremen ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Ladungszusammenstellung für den konventionellen Lkw eine etwas höhere Volumenauslastung (85% für konventionelle Lkw vs. 79% für Lang-Lkw) und eine höhere Ladungsdichte (110 vs. 104 kg/m<sup>3</sup>) gegenüber dem Lang-Lkw. Dies führt in der Summe dazu, dass die Reduktion der massenbezogenen THG-Emissionen mit 7% entsprechend gering ausfällt. Die volumenbezogene THG-Einsparung entspricht mit 13% wiederum der im Mittel über alle Relationen hinweg auf den Eingangsfahrten erzielten THG-Reduktion.
- **Landau – Sindelfingen:**  
Da für die Relation Landau – Sindelfingen keine Daten zu konventionellen Lkw vorlagen, beruht die THG-Berechnung für diese Relation auf abgeleiteten Werten entsprechend der oben beschriebenen Vorgehensweise. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Volumenzuladung des Lang-Lkw ergibt sich eine etwas unterdurchschnittliche THG-Einsparung.
- **Bautzen – Rastatt:**  
Hier fällt die volumenbezogene THG-Einsparung mit 2% sehr niedrig aus. Auf dieser Relation kommt analog zur Relation Schmölln – Sindelfingen ein Jumbo-Gliederzug als konventioneller Lkw zum Ein-

satz. Aus diesem Grund ergibt sich ein niedriges volumenbezogenes Ladungsverhältnis von 2,6 : 2 (siehe Tabelle 46 in Anhang 10.5) und dadurch die niedrige volumenbezogene THG-Reduktion.

Die Relation Plattling – Sindelfingen wurde hier nicht ausgewertet, da zumindest für die Eingangsfahrten aufgrund der stark voneinander abweichenden Ladungsdichte für die Fahrten mit Lang-Lkw und konventionellen Lkw ( $109 \text{ kg/m}^3$  für konventionelle Lkw vs.  $89 \text{ kg/m}^3$  für Lang-Lkw) keine direkte Vergleichbarkeit der mit Lang-Lkw bzw. konventionellen Lkw durchgeführten Fahrten gegeben ist. Dies lag vermutlich an einer unterschiedlichen Ladungszusammenstellung bei Lang-Lkw Fahrten gegenüber den mit konventionellen Lkw durchgeführten Transporten, generell sind die gleichen Güterarten (Kunststoffverkleidungen) transportiert worden. Werden für diese Relation die Ausgangsfahrten betrachtet, ergibt sich eine THG-Reduktion von 7%, die wiederum innerhalb der Bandbreite der in Tabelle 22 gezeigten Ergebnisse liegt. Diese Ergebnisse veranschaulichen erneut den Einfluss der logistischen Randbedingungen auf die tatsächlich erzielbaren THG-Einsparungen.

### 5.3.2 KONZEPTVERGLEICH: THG-BILANZ BEI GLEICHER LADUNGSDICHTE UND VOLLSTÄNDIGER VOLUMENAUSLASTUNG

Die im vorangegangenen Kapitel ermittelten Ergebnisse veranschaulichen den Einfluss der logistischen Randbedingungen auf die tatsächlich erzielbaren THG-Einsparungen. Entsprechend wurde die THG-Bilanzierung für die Eingangsfahrten nochmals durchgeführt, diesmal aber mit (bezogen auf die jeweilige Relation) gleicher Ladungsdichte und Volumenauslastung für konventionelle Lkw und Lang-Lkw, Umwegverkehre wurden dabei weiterhin berücksichtigt. Es zeigt sich, dass bei gleichen logistischen Randbedingungen der Lang-Lkw auf den Eingangsfahrten der Daimler-Relationen ein Einsparpotential von 14 – 16% aufweist (Tabelle 23). Dieses liegt nochmals rund 3% über den zuvor dargestellten Werten, die auf den im Realbetrieb erhobenen Daten beruhen.

Tabelle 23: Vermiedene Fahrleistungen und THG-Emissionen durch den Einsatz von Lang-Lkw auf den untersuchten Daimler-Relationen bei gleicher Ladungsdichte und Volumenauslastung (Eingangsfahrten)

Relation	Vermiedene Fahrten [n/a]	Vermiedene Fahrleistung [km/a]	Kraftstoffersparnis [%]	THG-Minderung [kg CO <sub>2</sub> e/a]	Reduktion volumenspez. THG-Emissionen [%]	Reduktion gewichtsspez. THG-Emissionen [%]	Umfwegfaktor [%]
Summe/Mittelwert	1.480	586.846	14,5%	176.028	16,3%	15,1%	17,3%

 LUBW DAIMLER

### 5.3.3 THG-BILANZ EIN- UND AUSGANGSFAHRTEN

Abschließend wurde die THG-Bilanzierung der Daimler-Verkehre ein weiteres Mal durchgeführt, nun aber unter Berücksichtigung der Ein- und Ausgangsfahrten sowie der realen, auf jeder Relation ermittelten Sendungs- und Streckendaten. Hieraus ergaben sich im Mittel eine Kraftstoffeinsparung von ca. 10% bzw. 103.000 l Diesel/a und eine relative THG-Reduktion von 10-11% (massen- bzw. volumenbezogen) bzw. 302 t CO<sub>2</sub>e/a. Die relativen THG-Einsparungen auf den Ein- und Ausgangsfahrten liegen aufgrund der in Anhang 10.5 beschriebenen, nicht immer optimalen Ladungsverhältnissen gerade auf den Ausgangsfahrten ca. 1 – 3%-Punkte unter den in Tabelle 22 ermittelten Werten. Auf 12 Monate extrapoliert wurden rund 2.000 Fahrten bzw. 879.000 Fahrzeugkilometer durch die Daimler-Lang-Lkw-Verkehre vermieden. Der zulässige Umwegfaktor beträgt bei Berücksichtigung der Ein- und Ausgangsfahrten ca. 12%.

#### 5.3.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Zusammenfassend ergeben sich auf Basis der Analyse der untersuchten Daimler-Lang-Lkw-Verkehre folgende Ergebnisse und Kernaussagen bezogen auf die Eingangsfahrten (Werte in Klammern: Ein- und Ausgangsfahrten):

- Lang-Lkw transportieren auf den untersuchten Relationen im Mittel ein etwa 1,5 (1,4)-fach größeres Volumen als konventionelle Lkw, d. h. 2 Lang-Lkw ersetzen 3 (2,8) konventionelle Lkw.
- Lang-Lkw weisen auf Basis der ermittelten Verbrauchsfunktionen im Mittel einen um 29% (27%) höheren Kraftstoffverbrauch pro Fzgkm als konventionelle Lkw auf.
- Auf den untersuchten Relationen werden jährlich 1.175 (2.267) Lkw-Fahrten vermieden. Dies entspricht einer vermiedenen Fahrleistung von ca. 477.000 (879.000) Fzgkm/a.
- Durch Lang-Lkw ergibt sich bei Berücksichtigung gleicher logistischer Randbedingungen für Lang-Lkw und konventionelle Lkw im Mittel eine erzielbare Reduktion des Kraftstoffbedarfs gegenüber konventionellen Lkw um 15%. Bei Berücksichtigung der tatsächlich beobachteten Randbedingungen der Lang-Lkw-Verkehre bei Daimler ergibt sich für den Untersuchungszeitraum eine Reduktion von 10 – 11%. Dies entspricht im Fall der Ein- und Ausgangsfahrten einer jährlichen Kraftstoffeinsparung von 103.000 l Diesel/a und einer THG-Vermeidung von 302 t CO<sub>2</sub>e/a.
- Unter gleichen logistischen Randbedingungen liegen beim Lang-Lkw im Mittel die volumen- und palettenstellplatzbezogenen THG-Emissionen bis zu 15% niedriger, die spezifischen massebezogenen THG-Emissionen sinken um bis zu 16%. Unter Berücksichtigung der realen Einsatzrandbedingungen liegen die Werte für die Eingangsfahrten bei 11–13% und für die Ein- und Ausgangsfahrten bei 10-11%.
- Lang-Lkw können THG-neutral einen Umweg von bis zu 17% in Kauf nehmen.





# 6 Szenario 2010

Das Szenario 2010 bildet die Rahmenbedingungen des Feldversuchs nach der 6. Änderungsverordnung ab. Die wichtigste Annahme ist, dass Lang-Lkw nur auf dem in dieser Verordnung definierten Positivnetz fahren dürfen (vgl. Abbildung 4, S. 29). Die verwendeten Lang-Lkw sind die im Feldversuch am häufigsten vertretenen Fahrzeuge des Typ 3 (80%) und Typ 2 (20%). Das Szenario 2010 unterscheidet sich insoweit vom Feldversuch, als dass angenommen wird, dass der Lang-Lkw bereits eine etablierte Alternative zu den Verkehrsmitteln konventionelle Lkw und Bahn darstellt. Dies bedeutet implizit, dass nicht nur die am Feldversuch teilnehmenden Unternehmen Lang-Lkw-Transporte durchführen dürfen, sondern der Einsatz des Lang-Lkw im Rahmen der 6. Änderungsverordnung allen Unternehmen offensteht. Die Entscheidung, den Lang-Lkw einzusetzen, wird im Modell in erster Linie über das Ausmaß des Kostenvorteils gegenüber den anderen Transportmitteln getroffen. Nichtpreisliche Faktoren, die die Verkehrsmittelwahl beeinflussen, sind zum einen über die Potentialermittlung nach Güterabteilung sowie Quellen und Ziele der Verkehre berücksichtigt und werden zum anderen über den Preiselastizitätenansatz und die zusätzliche Minimalgrenze von 50 Lang-Lkw-Fahrten pro Jahr für eine Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination modelliert (siehe Kapitel 3.4 und 3.5).

Die THG-Bilanz wurde jeweils durch den Vergleich der THG-Emissionen im Basisszenario mit denen im Verlagerungsszenario erstellt. Berücksichtigt wurden die Well-to-Wheel-Emissionen durch den Dieserverbrauch der konventionellen und der Lang-Lkw mit den in den Kapiteln 0 und 4 dargestellten Randbedingungen und Emissionsfaktoren. Für alle Relationen wurde dabei die Verbrauchsfunktion für mittlere Steigung, differenziert für konventionelle und Lang-Lkw, zugrunde gelegt.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Untersuchungsergebnisse aus den Verlagerungsrechnungen und aus der Treibhausgasbilanzierung des Szenarios 2010 dargestellt.

## 6.1 INTRAMODALE VERLAGERUNG 2010

### 6.1.1 VERLAGERUNGSRECHNUNG

Das Potential für Transporte mit dem Lang-Lkw umfasst rund 100 Mio. t, wie Tabelle 24 zeigt, und wurde anhand der für den Lang-Lkw geeigneten Güterabteilungen, einer existierenden Verbindung von Quelle und Ziel über das Positivnetz und des maximalen Umwegs für den Lang-Lkw von 15% im Vergleich zum konventionellen Lkw aus den Basismatrizen 2010 der BVWP-Verkehrsprognose berechnet. Im Basisszenario ohne den Einsatz von Lang-Lkw wird eine Fahrleistung von 2,19 Mrd. Fzghm benötigt, um dieses Potential mit konventionellen Lkw zu transportieren.

Im Szenario zum Feldversuch werden von diesem Potential 8,91 Mio. t (9% der Potentialmenge) auf den Lang-Lkw verlagert; die restlichen 91,09 Mio. t werden mit konventionellen Lkw transportiert. Mit dieser Aufteilung ergibt sich entsprechend der Umlegungen auf das Straßennetz (siehe Kapitel 3.3, Verkehrsumlegung) eine Verkehrsleistung von 1,27 Mrd. tkm mit Lang-Lkw und 16,90 Mrd. tkm mit konventionellen Lkw. Die leicht erhöhte Gesamtverkehrsleistung von 18,17 Mrd. tkm im Szenario zum Feldversuch (d. h. mit Lang-Lkw) im Vergleich zu 18,10 Mrd. tkm im Basisszenario (d. h. ohne Lang-Lkw) ergibt sich aus den Umwegverkehren, die der Lang-Lkw teilweise aufgrund des Positivnetzes fahren muss. Mit Hilfe der im Kapitel 0 (Nachfragemodellierung) dargestellten jeweiligen Nutzlast und der Anzahl der zur Verfügung ste-

henden Palettenstellplätze ergeben sich aus der Verkehrsleistung Fahrleistungen in Höhe von 0,106 Mrd. Fzggkm mit Lang-Lkw und 2,03 Mrd. Fzggkm mit konventionellen Lkw. Im Vergleich zum Basisszenario, in dem das gesamte Potential von 100 Mio. t mit konventionellen Lkw transportiert wird, wird dadurch eine Ersparnis von 0,054 Mrd. Fzggkm erreicht.

Tabelle 24: Intramodale Verlagerung (Szenario 2010)

	Gütermenge (Mio. t)	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mrd. Fzggkm)
<b>Basisszenario (ohne Einsatz von Lang-Lkw)</b>			
Lang-Lkw	0,00	0,00	0,00
Konventioneller Lkw	100,00	18,10	2,19
<b>Gesamt</b>	100,00	18,10	2,19
<b>Szenario zum Feldversuch (mit Einsatz von Lang-Lkw)</b>			
Lang-Lkw	8,91	1,27	0,106
Konventioneller Lkw	91,09	16,90	2,03
<b>Gesamt</b>	100,00	18,17	2,136
<b>Ersparnis</b>			0,054

LUBW DAIMLER

Um diese Ersparnis einzuordnen, kann sie auf die gesamten im Straßengüterverkehr geleisteten Fahrzeugkilometer bezogen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass entsprechend des Untersuchungsdesigns die relevante Vergleichsgröße die Inlandsfahrleistung ist. In den Statistiken beispielsweise des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA) wird jedoch die Inländerfahrleistung ausgewiesen, d. h. die Fahrleistung aller in Deutschland registrierten Lkw einschließlich der Fahrleistung der deutschen Lkw im Ausland. In der Berichterstattung zur Verkehrsverflechtungsprognose wird die Inländerfahrleistung schwerer Nutzfahrzeuge (größer 3,5 t Nutzlast) im Basisjahr 2010 mit 29,8 Mrd. Fzggkm ausgewiesen [Tab. 6-3 in BVU et al. 2014, S. 334]. Der World Transport Report [Prognos 2015a] gibt die Inlandsfahrleistung im Jahr 2010 mit 36,5 Mrd. Fahrzeugkilometern an. Hierin sind kleine Lkw nicht enthalten. Bezogen auf die Inlandsfahrleistung von 36,5 Mrd. Fzggkm würden im Szenario 2010 54 Mio. Fzggkm (= 0,15%) der Fahrleistung eingespart.

#### 6.1.2 TREIBHAUSGASBILANZ DER INTRAMODALEN VERLAGERUNG

Die Ergebnisse der THG-Bilanz für die intramodale Verlagerung im Szenario 2010 sind in Tabelle 25 zusammengefasst. Durch die Verlagerung kommt es zu einem um 7,3 Mio. l/a verringerten Kraftstoffbedarf, was in einer Minderung der THG-Emissionen um 21.656 t CO<sub>2</sub>e/a resultiert. Bezogen auf die verlagerten Transporte entspricht dies einer Reduktion um 17%. Umgelegt auf die Transportleistung bzw. das Transportvolumen sind sowohl die massen- als auch die volumenbezogenen spezifischen THG-Emissionen beim LLkw 18% geringer als beim konventionellen Lkw.

Die eingesparte Fahrleistung entspricht einer Reduktion der Fahrtenzahl mit beladenen Lkw um 381.688 Fahrten/a. Im Falle einer Verlagerung werden damit im Schnitt über alle Relationen mit Verlagerung 34% der zuvor mit konventionellen Lkw erforderlichen Fahrten eingespart. Dazu kommen aufgrund der verringerten Fahrtenzahl und des geringeren Leerfahrtenanteils der Lang-Lkw jährlich 84.066 vermiedene Leerfahrten pro Jahr, so dass sich in Summe die Zahl der Lkw-Fahrten um 465.754/a verringert.

Für eine Einordnung der THG-Minderung durch die intramodale Verlagerung wurde diese auf die Gesamtemissionen schwerer Nutzfahrzeuge in Deutschland bezogen. Diese können für 2010 mit 39,27 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a<sup>51</sup> abgeschätzt werden [UBA 2010]. Bezogen auf diesen Gesamtwert stellt das Ergebnis eine Reduktion um 0,06% dar.

Tabelle 25: THG-Bilanz der intramodalen Verlagerung und Veränderung der spezifischen THG-Emissionen (Szenario 2010)

	Änderung Kraftstoffbedarf (l/a)	Änderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)	THG-Emissionen		
			massenbez. (g CO <sub>2</sub> e/tkm)	volumenbez. (g CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> km)	stellplatzbez. (g CO <sub>2</sub> e/ Stellpl.km)
<b>konventionelle Lkw (Basisfall)</b>			101	7,7	22,7
<b>Lang-Lkw (verlagerte Fahrten)</b>	-7.345.926	-21.656	82	6,3	18,6
<b>Bezogen auf verlagerte Fahrten</b>		-17%	-18%		-18%
<b>Bezogen auf Gesamtemissionen schwerer Nutzfahrzeuge</b>		-0,06%			

LUBW DAIMLER

## 6.2 INTERMODALE VERLAGERUNG 2010

### 6.2.1 VERLAGERUNGSRECHNUNG

Das Ergebnis der intermodalen Verlagerung ist in Tabelle 26 und Tabelle 27 zusammengefasst. Das Potential für Transporte mit dem Lang-Lkw umfasst 0,96 Mio. t aus dem Wagenladungsverkehr und 3,973 Mio. t aus dem Kombinierten Verkehr (KV) und wurde anhand der für den Lang-Lkw geeigneten Güterabteilungen, einer existierenden Verbindung von Quelle und Ziel über das Positivnetz und des Ausschlusses von Ganzzugverkehren (jährliches Aufkommen über 30.000 t auf einer Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination) aus den Basismatrizen 2010 der Verkehrsverflechtungsprognose berechnet. Nicht berücksichtigt wird hierbei die Möglichkeit, Lang-Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV einzusetzen (siehe dazu die beispielhafte Betrachtung in Kapitel 7.2.3).

Von dem Potential aus dem Wagenladungsverkehr werden 0,036 Mio. t auf den Lang-Lkw verlagert (Tabelle 26). Die restlichen 0,926 Mio. t werden weiterhin im Wagenladungsverkehr transportiert. Durch diese Aufteilung ergibt sich eine Verkehrsleistung von 0,0076 Mrd. tkm mit Lang-Lkw und 0,313 Mrd. tkm mit der Bahn. Der aus Tabelle 26 ersichtliche Unterschied in der Gesamtverkehrsleistung zwischen dem Szenario zum Feldversuch und dem Basisszenario ergibt sich aus den Unterschieden in den Streckenlängen im Straßen- und Schienenverkehr.

Durch die Aufteilung auf einzelne Lkw anhand der Nutzlast und der Anzahl der zur Verfügung stehenden Palettenstellplätze ergeben sich 0,00049 Mrd. Fzggkm mit Lang-Lkw. Die Verkehrsleistung der Bahn ist mit 0,313 Mrd. tkm um 0,009 Mrd. tkm geringer als im Basisszenario ohne Einsatz von Lang-Lkw, wo sie bei

<sup>51</sup> In der Quelle sind lediglich die CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgewiesen. Da diese jedoch sowohl im Verkehr als auch bei der Strombereitstellung den weit überwiegenden Anteil der THG-Emissionen ausmachen, wurden sie näherungsweise mit diesen gleichgesetzt. Für den Wert 2010 wurden die Angaben für 2005 und 2020 linear interpoliert.

0,322 Mrd. tkm liegt. Eine Berechnung der eingesparten Fahrzeugkilometer ist im Gegensatz zur intramodalen Verlagerung nicht sinnvoll, da bei der Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr, je nach verlagerte Menge, einzelne Wagen im Schienengüterverkehr eingespart werden, nicht aber ganze Züge.

Tabelle 26: Intermodale Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr (Szenario 2010)

	Gütermenge (Mio. t)	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mrd. Fzgkm)
<b>Basisszenario</b>			
Lang-Lkw	0,00	0,00	0,00
Bahn Wagenladungsverkehr	0,96	0,322	n.a.
<b>Gesamt</b>	0,96	0,322	n.a.
<b>Szenario zum Feldversuch</b>			
Lang-Lkw	0,036	0,0076	0,00049
Bahn Wagenladungsverkehr	0,926	0,313	n.a.
<b>Gesamt</b>	0,962	0,3206	n.a.

LUBW DAIMLER

Von dem Potential aus dem KV von 3,973 Mio. t werden 0,0103 Mio. t auf den Lang-Lkw verlagert (Tabelle 27). Die restlichen 3,963 Mio. t werden im KV mit der Bahn und konventionellen Lkw im Vor- und Nachlauf (VL und NL) transportiert. Dadurch entsteht eine Verkehrsleistung von 0,0022 Mrd. tkm mit Lang-Lkw und 2,09 Mrd. tkm mit der Bahn. Im Vor- und Nachlauf fallen 0,112 Mrd. tkm mit konventionellen Lkw an.

Tabelle 27: Intermodale Verlagerung aus dem Kombinierten Verkehr (Szenario 2010)

	Gütermenge (Mio. t)	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mrd. Fzgkm)
<b>Basisszenario</b>			
Lang-Lkw	0,00	0,00	0,00
Bahn KV	3,973	2,10	n.a.
konv. Lkw im VL/NL zum KV	3,973	0,113	0,0164
<b>Gesamt</b>	3,973	2,213	n.a.
<b>Szenario zum Feldversuch</b>			
Lang-Lkw	0,0103	0,0022	0,00015
Bahn KV	3,963	2,09	n.a.
konv. Lkw im VL/NL zum KV	3,963	0,112	0,0163
<b>Gesamt</b>	3,973	2,2042	n.a.

LUBW DAIMLER

Um die Ergebnisse der intermodalen Verlagerungsrechnung in ihrer Größe einzuordnen, können sie mit der Verkehrsleistung im gesamten Schienengüterverkehr in Deutschland verglichen werden. In der Berichterstattung zur Verkehrsverflechtungsprognose wird die Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr auf dem Gebiet Deutschlands mit 107,6 Mrd. tkm im Jahr 2010 angegeben [Tab. 0-3 in BVU et al. 2014, S. 8]. Durch die Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr und aus dem KV auf Lang-Lkw entfallen davon 0,019 Mrd. tkm (= 0,018%). Dem gegenüber stehen 0,0088 Mrd. tkm, die im Straßenverkehr durch den Nettoeffekt von zu-

sätzlichen Fahrten mit Lang-Lkw und wegfallenden Fahrten mit konventionellen Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV entstehen.

### 6.2.2 TREIBHAUSGASBILANZ DER INTERMODALEN VERLAGERUNG

Für die THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung wurden die kombinierten Well-to-Wheel-Emissionen des Dieserverbrauchs durch die Lkw und des Stromverbrauchs durch den Bahntransport berücksichtigt. Durch die Verlagerung kommt es zu einem um 1.427 MWh/a höheren Energiebedarf<sup>52</sup> (1.327 MWh/a durch die Verlagerung vom WLW und 99 MWh/a durch die Verlagerung vom KV zum Lang-Lkw, vgl. Tabelle 28). Dies entspricht bezogen auf die verlagerten Transporte einer Zunahme um durchschnittlich 179%, wobei der Energieverbrauch bei den vom WLW verlagerten Fahrten um 358% und bei den vom KV verlagerten Fahrten um 23% steigt.

Tabelle 28: THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung (Szenario 2010)

	Veränderung Energieverbrauch (MWh/a)			Veränderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)		
	Durch Verlagerung vom WLW	Durch Verlagerung vom KV	Gesamt	Durch Verlagerung vom WLW	Durch Verlagerung vom KV	Gesamt
<b>Lang-Lkw (verlagerte Fahrten)</b>	1.327	99	1.427	331	5	337
<b>Bezogen auf verlagerte Fahrten</b>	+358%	+23%	+179%	+190%	+3%	+103%

LUBW DAIMLER

Die THG-Emissionen nehmen insgesamt um rund 337 t CO<sub>2</sub>e/a zu, dabei kommt es rechnerisch durch die Verlagerung vom WLW zu einer Zunahme um 331 t CO<sub>2</sub>e/a und vom KV zum Lang-Lkw von 5 t CO<sub>2</sub>e/a (siehe Tabelle 28)<sup>53</sup>. Relativ beträgt die Zunahme bezogen auf die verlagerten Transporte im WLW 190% und im KV 3%, für die intermodale Verlagerung insgesamt kommt es zu einer Steigerung um 103%.

Für die Ermittlung der spezifischen massen- und volumenbezogenen THG-Emissionen wurde aufgrund der weit größeren Verlagerungswirkung lediglich der WLW berücksichtigt. Hier ergibt sich eine Zunahme der THG-Emissionen je Tonnenkilometer um 237% und je Volumenkilometer um 283% (vgl. Tabelle 29). Die Zunahme je Stellplatzkilometer ist in diesem Fall aufgrund des unterschiedlichen Volumen-/Stellplatz-Verhältnisses von Eisenbahnwagen und Lang-Lkw nicht ganz identisch und beträgt 287%.

Um die THG-Zunahme der intermodalen Verlagerung einzuordnen, wurde das Ergebnis auf die THG-Emissionen des Schienengüterverkehrs bezogen, die 2010 etwa 3,1 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a betragen [UBA 2010]. Im Verhältnis dazu beträgt die Erhöhung durch die intermodale Verlagerung 0,01%.

<sup>52</sup> Der Kraftstoffbedarf wurde mit dem Faktor 9,89 kWh/l Diesel in das Energieäquivalent umgerechnet und zum Strombedarf addiert.

<sup>53</sup> Die geringe THG-Zunahme im KV ist auf Inkonsistenzen im BVWP zurückzuführen, da zwei nicht praxisgerechte KV-Verbindungen mit einem Vorlauf von mehr als 200 km auf LLkw verlagert werden, bei denen es durch die Verlagerung zu einer THG-Minderung kommt. Auch beim WLW ist eine Relation enthalten, bei der fast 170 km Bahnstrecke durch nur 24 km mit LLkw ersetzt wird, und die ebenfalls in einer Energie- und TGH-Einsparung resultiert. Werden diese Verbindungen außer Acht gelassen, ergibt sich ein um 1.506 MWh/a höherer Energiebedarf (1.331 MWh/a im WLW, 176 MWh/a im KV) und eine Zunahme der THG-Emissionen um 374 t CO<sub>2</sub>e/a (WLW 337 t CO<sub>2</sub>e/a, KV 37 t CO<sub>2</sub>e/a). Um die Einheitlichkeit der Methodik zu gewährleisten werden die rechnerisch ermittelten Zahlen verwendet.

Tabelle 29: Veränderung der spezifischen THG-Emissionen bei der Verlagerung im Wagenladungsverkehr (Szenario 2010)

Verlagerung im Wagenladungsverkehr	massenbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/tkm)	volumenbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> km)	stellplatzbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/Stellpl.km)
Bahn (Basisfall)	19,8	1,7	5,1
Lang-Lkw (verlagerte Fahrten)	66,9	6,6	19,6
Bezogen auf verlagerte Fahrten	237%	283%	287%

LUBW DAIMLER

### 6.3 THG-GESAMTBILANZ (INTERMODAL UND INTRAMODAL) 2010

In der Gesamtbilanz der intra- und intermodalen Verlagerung werden durch den Einsatz der Lang-Lkw 71.225 MWh/a an Energie und 21.319 t CO<sub>2</sub>e/a an THG-Emissionen eingespart (vgl. Tabelle 30). Die bei der intramodalen Verlagerung erzielte Energieeinsparung bzw. THG-Reduktion wird durch die Zunahme bei der intermodalen Verlagerung somit um 2,0% bzw. 1,6% reduziert. Bezieht man die THG-Gesamtbilanz auf die kombinierten THG-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge und des Schienengüterverkehrs, die sich 2010 auf 42,33 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a beliefen [UBA 2010], entspricht dies einer Minderung um 0,05%.

Tabelle 30: Vergleich der Auswirkungen von intra- und intermodaler Verlagerung

	Veränderung Energieverbrauch (MWh/a)	Veränderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)
Intramodale Verlagerung	-72.651	-21.656
Intermodale Verlagerung	+1.427	+337
Verhältnis inter-/intramodale Verlagerung	2,0%	1,6%
Summe inter-/intramodal	-71.225	-21.319

LUBW DAIMLER

# 7 Szenario 2030

Das Szenario 2030 betrachtet den Einsatz des Lang-Lkw in der Zukunft. Der wichtigste Unterschied im Vergleich zum Szenario 2010 besteht in der Annahme, dass das Positivnetz auf das gesamte Fernstraßennetz in Deutschland ausgeweitet wird. Zum einen können dadurch Verkehre etwa in Nordrhein-Westfalen, das nicht am Feldversuch zu Lang-Lkw teilgenommen hat, ebenfalls auf Lang-Lkw verlagert werden. Zum anderen entfallen Umwege im Vergleich zu konventionellen Lkw, die im Szenario 2010 einen bedeutenden Hinderungsgrund für eine intramodale Verlagerung dargestellt haben. Aufgrund der Erfahrungen im Feldversuch wird außerdem davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 ausschließlich Lang-Lkw des Typs 3 eingesetzt werden. Darüber hinaus gibt es kleinere Veränderungen im Potential durch strukturelle Veränderungen bei den Aufkommen, die durch eine Anpassung der verkehrszellenspezifischen Potentialfaktoren berücksichtigt sind (siehe Kapitel 3.2). Bei den Transportkosten spielen vor allem die Entwicklungen des Dieselpreises und der Fahrerlöhne eine Rolle (siehe Kapitel 3.4 und 3.5).

In den folgenden Unterkapiteln werden die Untersuchungsergebnisse aus den Verlagerungsrechnungen und aus der THG-Bilanzierung des Szenarios 2030 dargestellt.

## 7.1 INTRAMODALE VERLAGERUNG 2030

### 7.1.1 VERLAGERUNGSRECHNUNG

Das Potential für Transporte mit dem Lang-Lkw umfasst 415 Mio. t (Tabelle 31) und wurde anhand der für den Lang-Lkw geeigneten Güterabteilungen aus den Prognosematrizen 2030 der Verkehrsverflechtungsprognose herausgefiltert. Die Vervierfachung des Potentials für Lang-Lkw im Vergleich zum Szenario 2010 erklärt sich zum einen durch die Zunahme der Transportaufkommen im gesamten Binnenverkehr in Deutschland und insbesondere in den für Lkw geeigneten Güterabteilungen und zum anderen durch die Erweiterung des Positivnetzes. Insbesondere Verkehre mit und durch Nordrhein-Westfalen fallen dabei ins Gewicht.

Tabelle 31: Intramodale Verlagerung (Szenario 2030)

	Gütermenge (Mio. t)	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mrd. Fzgkm)
<b>Basisszenario (ohne Einsatz von Lang-Lkw)</b>			
Lang-Lkw	0,00	0,00	0,00
Konventioneller Lkw	415,00	82,52	10,00
<b>Gesamt</b>	<b>415,00</b>	<b>82,52</b>	<b>10,00</b>
<b>Szenario zum Feldversuch (mit Einsatz von Lang-Lkw)</b>			
Lang-Lkw	41,60	6,92	0,581
Konventioneller Lkw	373,40	75,60	9,15
<b>Gesamt</b>	<b>415,00</b>	<b>82,52</b>	<b>9,731</b>
<b>Ersparnis</b>			<b>0,269</b>

LUBW DAIMLER

Von diesem Potential werden 41,6 Mio. t mit dem Lang-Lkw, die restlichen 373,4 Mio. t mit konventionellen Lkw transportiert. Nach der Umlegungsrechnung ergibt sich eine Verkehrsleistung von 6,92 Mrd. tkm mit Lang-Lkw und 75,6 Mrd. tkm mit konventionellen Lkw. Nach der Umrechnung der Verkehrsleistung auf Fahrleistungen anhand der jeweiligen Nutzlast und der Anzahl zur Verfügung stehender Palettenstellplätze ergeben sich 0,581 Mrd. Fzgkm mit Lang-Lkw und 9,15 Mrd. Fzgkm mit konventionellen Lkw. Im Vergleich zum Basisszenario, in dem das gesamte Potential von 415 Mio. t mit konventionellen Lkw transportiert wird, wird dadurch eine Ersparnis von 0,269 Mrd. Fzgkm erreicht.

Um diese Ersparnis einzuordnen, kann sie wiederum auf die gesamten im Straßengüterverkehr geleisteten Fahrzeugkilometer bezogen werden. Die Inländerfahrleistung mit schweren Nutzfahrzeugen (über 3,5 t Nutzlast) wird laut der Berichterstattung zur Verkehrsverflechtungsprognose 36,7 Mrd. Fzgkm im Jahr 2030 betragen [Tab. 6-3 in BVU et al. 2014, S. 334]. Die Inlandsfahrleistung wird im World Transport Report [Prognos 2015a] mit 41,2 Mrd. Fzgkm im Jahr 2030 prognostiziert. Bezogen auf die letztere Größe ergibt sich durch die intramodale Verlagerung auf den Lang-Lkw eine Ersparnis von 0,269 Mrd. Fzgkm (= 0,65%) im Jahr 2030. Verglichen mit dem Wachstum des Straßengüterverkehrs in Deutschland insgesamt, steigt die Fahrleistung der Lang-Lkw im Szenario 2030 relativ zum Szenario 2010 aufgrund des viel höheren Potentials stark an. Da die Lang-Lkw-Transporte ein kleines Segment darstellen, bleibt die eingesparte Fahrleistung im Vergleich zur Gesamtfahrleistung trotzdem gering.

#### 7.1.2 TREIBHAUSGASBILANZ DER INTRAMODALEN VERLAGERUNG

Analog zur THG-Bilanz für das Szenario 2010 wurde die THG-Bilanz für 2030 erstellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 32 zusammengefasst. Durch die Verlagerung verringert sich der Kraftstoffbedarf um 40,3 Mio. l/a und die THG-Emissionen um 113.428 t CO<sub>2</sub>e/a. Dies entspricht bezogen auf die verlagerten Transporte einer Reduktion um 20%. Auch die spezifischen auf die Transportleistung und das Transportvolumen bezogenen THG-Emissionen sind beim Einsatz der Lang-Lkw um 20% geringer.

Entsprechend der im Szenario 2030 im Vergleich zu 2010 deutlich höheren Ersparnis an Fahrleistung (siehe oben) werden mit 1.789.083 Fahrten/a auch deutlich mehr Fahrten mit Beladung vermieden. Im Falle einer Verlagerung wird dabei wie im Szenario 2010 die Anzahl der Fahrten um durchschnittlich 34% reduziert. Durch die verringerte Fahrtenzahl und dem immer noch geringeren Leerfahrtenanteil der Lang-Lkw ergeben sich zusätzlich 296.448 vermiedene Leerfahrten pro Jahr, so dass insgesamt 2.085.531 Lkw-Fahrten/a weniger anfallen.

Tabelle 32: THG-Bilanz der intramodalen Verlagerung und Veränderung der spezifischen THG-Emissionen (Szenario 2030)

	Änderung Kraftstoffbedarf (l/a)	Änderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)	THG-Emissionen		
			massenbez. (g CO <sub>2</sub> e/tkm)	volumenbez. (g CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> km)	stellplatzbez. (g CO <sub>2</sub> e/Stellpl.km)
<b>konventionelle Lkw (Basisfall)</b>			81	6,1	18
<b>Lang-Lkw (verlagerte Fahrten)</b>	-40.251.333	-113.428	65	4,9	15
<b>Bezogen auf verlagerte Fahrten</b>		-20%	-20%		-20%
<b>Bezogen auf Gesamtemissionen schwerer Nutzfahrzeuge</b>		-0,24%			



Für 2030 ergeben sich nach [UBA 2010] für die schweren Nutzfahrzeuge in Deutschland THG-Emissionen von 46,80 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a. Darauf bezogen ergibt sich durch die intramodale Verlagerung eine THG-Reduktion um 0,24%.

## 7.2 INTERMODALE VERLAGERUNG 2030

### 7.2.1 VERLAGERUNGSRECHNUNG

Das Potential für Transporte mit dem Lang-Lkw umfasst 2,418 Mio. t aus dem Wagenladungsverkehr und 14,2 Mio. t aus dem KV (Tabelle 33) und wurde anhand der für den Lang-Lkw geeigneten Güterabteilungen und dem Ausschluss von Ganzzugverkehren (jährliches Aufkommen über 30.000 t auf einer Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination) aus den Prognosematrizen 2030 der Verkehrsverflechtungsprognose berechnet.

Tabelle 33: Intermodale Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr (Szenario 2030)

	Gütermenge (Mio. t)	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mrd. Fzgkm)
<b>Basisszenario</b>			
Lang-Lkw	0,00	0,00	0,00
Bahn Wagenladungsverkehr	2,418	0,903	n.a.
<b>Gesamt</b>	<b>2,418</b>	<b>0,903</b>	<b>n.a.</b>
<b>Szenario zum Feldversuch</b>			
Lang-Lkw	0,046	0,0119	0,00078
Bahn Wagenladungsverkehr	2,372	0,888	n.a.
<b>Gesamt</b>	<b>2,418</b>	<b>0,8999</b>	<b>n.a.</b>

LUBW DAIMLER

Von dem Potential aus dem Wagenladungsverkehr werden 0,046 Mio. t auf den Lang-Lkw verlagert (Tabelle 33). Die restlichen 2,372 Mio. t werden weiterhin im Wagenladungsverkehr transportiert. Durch diese Aufteilung ergibt sich eine Verkehrsleistung von 0,0119 Mrd. tkm mit Lang-Lkw und 0,888 Mrd. tkm mit der Bahn. Der aus Tabelle 33 ersichtliche Unterschied in der Gesamtfahrleistung zwischen dem Szenario zum Feldversuch und dem Basisszenario ergibt sich aus den Unterschieden in den Streckenlängen im Straßen- und Schienenverkehr.

Durch die Aufteilung auf einzelne Lkw anhand der Nutzlast und der Anzahl der zur Verfügung stehenden Palettenstellplätze ergeben sich 0,00078 Mrd. Fzgkm mit Lang-Lkw. Die Verkehrsleistung der Bahn ist mit 0,888 Mrd. tkm um 0,015 Mrd. tkm geringer als im Basisszenario ohne Einsatz von Lang-Lkw, wo sie bei 0,903 Mrd. tkm liegt. Eine Berechnung der eingesparten Fahrzeugkilometer ist im Gegensatz zur intramodalen Verlagerung wie auch im Szenario 2010 nicht sinnvoll, da bei der Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr, je nach verlagerter Menge, einzelne Wagen im Schienengüterverkehr gestrichen werden, nicht aber ganze Züge. Bei der Berechnung der THG-Bilanz wird detailliert beschrieben, wie sich die intermodale Verlagerung auf die Emissionen aus dem Schienengüterverkehr auswirkt.

Von dem Potential aus dem KV von 14,2287 Mio. t werden 0,0287 Mio. t mit Lang-Lkw transportiert (Tabelle 34). Die restlichen 14,2 Mio. t werden im KV mit der Bahn und konventionellen Lkw im Vor- und

Nachlauf transportiert. Dadurch entsteht eine Verkehrsleistung von 0,00482 Mrd. tkm mit Lang-Lkw und 7,04 Mrd. tkm mit der Bahn. Im Vor- und Nachlauf fallen 0,468 Mrd. tkm mit konventionellen Lkw an.

Tabelle 34: Intermodale Verlagerung aus dem Kombinierten Verkehr (Szenario 2030)

	Gütermenge (Mio. t)	Verkehrsleistung (Mrd. tkm)	Fahrleistung (Mrd. Fzgkm)
<b>Basisszenario</b>			
Lang-Lkw	0,00	0,00	0,00
Bahn KV	14,2287	7,05	n.a.
konv. Lkw im VL/NL zum KV	14,2287	0,471	0,0644
<b>Gesamt</b>	14,2287	7,521	n.a.
<b>Szenario zum Feldversuch</b>			
Lang-Lkw	0,0287	0,00482	0,00035
Bahn KV	14,2	7,04	n.a.
konv. Lkw im VL/NL zum KV	14,2	0,468	0,0642
<b>Gesamt</b>	14,2287	7,04482	n.a.

LUBW DAIMLER

Um die Ergebnisse der intermodalen Verlagerungsrechnung in ihrer Größe einzuordnen, können sie wiederum mit der Verkehrsleistung im gesamten Schienengüterverkehr in Deutschland verglichen werden. Im Bericht zur Verkehrsverflechtungsprognose wird die Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr auf dem Gebiet Deutschlands mit 153,7 Mrd. tkm im Jahr 2030 angegeben [Tab. 0-3 in BVU et al. 2014, S. 8]. Durch die Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr und aus dem KV auf den Lang-Lkw entfallen davon 0,025 Mrd. tkm (= 0,016%). Demgegenüber stehen 0,0197 Mrd. tkm, die im Straßenverkehr durch den Nettoeffekt von zusätzlichen Fahrten mit Lang-Lkw und wegfallenden Fahrten mit konventionellen Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV entstehen. Berücksichtigt man diese Mehrleistung im Straßengüterverkehr, werden durch die intermodale Verlagerung von der Schiene auf den Lang-Lkw insgesamt 0,0053 Mrd. tkm eingespart, was 0,0004% der Gesamttransportleistung von 837,6 Mrd. tkm entspricht.

### 7.2.2 TREIBHAUSGASBILANZ DER INTERMODALEN VERLAGERUNG

Auch die THG- Bilanzierung der intermodalen Verlagerung erfolgte analog zum Szenario 2010. Im Szenario 2030 steigt der Energiebedarf durch die intermodale Verlagerung um 1.804 MWh/a, davon 1.657 MWh/a durch die Verlagerung vom WLW und 147 MWh/a durch die Verlagerung vom KV (vgl. Tabelle 35). Dies entspricht, bezogen auf die verlagerten Fahrten, einer Zunahme von 295% beim WLW, 18% beim KV und im Mittel 129%.

Die Zunahme der THG-Emissionen beträgt rund 419 t CO<sub>2</sub>e/a, wovon 408 t CO<sub>2</sub>e/a auf den WLW und 10 t CO<sub>2</sub>e/a auf den KV entfallen (siehe Tabelle 35). Die relative Zunahme bezogen auf die verlagerten Transporte liegt bei 182% im WLW und 4% im KV, insgesamt bei 85%<sup>54</sup>.

<sup>54</sup> Wie im Szenario 2010 sind auch hier Relationen enthalten, die bei Verlagerung auf den LLkw zu einer Minderung des Energieverbrauchs bzw. der THG-Emissionen führen. Dies betrifft erneut zwei WLW-Verbindungen, die durch den LLkw deutlich verkürzt werden, sowie sechs KV-Verbindungen, bei denen das Verhältnis der LLkw-Streckenlänge zur KV-Gesamtstrecke aus Vor- und Nachlauf sowie Bahnstrecke wenig praxisgerecht ist. Unter Vernachlässigung dieser Relationen liegt der Energiebedarf

Tabelle 35: THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung (Szenario 2030)

	Veränderung Energieverbrauch (MWh/a)			Veränderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)		
	Durch Verlagerung vom WLW	Durch Verlagerung vom KV	Gesamt	Durch Verlagerung vom WLW	Durch Verlagerung vom KV	Gesamt
<b>Lang-Lkw (verlagerte Fahrten)</b>	1.657	147	1.804	408	10	419
<b>Bezogen auf verlagerte Fahrten</b>	+295%	+18%	+129%	+182%	+4%	+85%

LUBW DAIMLER

Auch für 2030 wurde zur Ermittlung der massen- und volumenbezogenen spezifischen THG-Emissionen lediglich die Verlagerung im WLW berücksichtigt, da diese über 90% der verlagerten Güter betrifft. Die Zunahme der massenspezifischen THG-Emissionen beläuft sich danach auf 263% (vgl. Tabelle 36). Die Zunahme der volumenspezifischen THG-Emissionen ist mit 311% wie im Szenario 2010 etwas niedriger als die der stellplatzspezifischen mit 315%.

Tabelle 36: Veränderung der spezifischen THG-Emissionen bei der Verlagerung im Wagenladungsverkehr (Szenario 2030)

Verlagerung im Wagenladungsverkehr	massenbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/tkm)	volumenbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> km)	stellplatzbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/Stellpl.km)
<b>Bahn (Basisfall)</b>	14,6	1,3	3,7
<b>Lang-Lkw (verlagerte Fahrten)</b>	53,1	5,1	15,2
<b>Bezogen auf verlagerte Fahrten</b>	263%	311%	315%

LUBW DAIMLER

Im Jahr 2030 belaufen sich die THG-Emissionen des Schienengüterverkehrs auf 4,1 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a [UBA 2010], so dass die Zunahme durch die intermodale Verlagerung 0,01% beträgt.

Um die Auswirkungen eines höheren Anteils an erneuerbaren Energien auf die THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung zu verdeutlichen, wurde die Bilanzierung unter ansonsten identischen Randbedingungen auch mit dem DE MIX 2030 „100“ (siehe Kapitel 4.2.3) durchgeführt. Die entsprechenden Ausführungen finden sich in Anhang 10.11.

### 7.2.3 LANG-LKW IM VOR-/NACHLAUF ZUM KOMBINIERTEN VERKEHR

Nicht betrachtet wurde bis zu dieser Stelle der Einsatz des Lang-Lkw im KV, wo bei geeigneten logistischen Rahmenbedingungen der Lang-Lkw-Einsatz im Vor- und Nachlauf einer Verlagerung von der Bahn auf die Straße ggf. entgegenwirken würde. Die Möglichkeit, den Lang-Lkw im KV einzusetzen, wird in Tabelle 37 beispielhaft an drei Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombinationen aus den Verkehrsverflechtungsmatrizen 2030 des BVWP gezeigt.

---

um 2.050 MWh/a höher (1.748 MWh/a im WLW, 302 MWh/a im KV) und die THG-Zunahme beträgt 499 t CO<sub>2</sub>e/a (437 t CO<sub>2</sub>e/a im WLW, 62 t CO<sub>2</sub>e/a im KV). Auch hier werden zur Wahrung einer einheitlichen Methodik die rechnerisch ermittelten Zahlen verwendet.

Bei den betrachteten drei Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombinationen wird unter Einsatz von konventionellen Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV ein gewisser Anteil des Potentials auf den Lang-Lkw verlagert. Beim Transport von chemischen Erzeugnissen von Bremen nach Hamburg werden zum Beispiel unter der Annahme eines Vor-/Nachlaufs zum Terminal mit konventionellen Lkw 1.862 t des Potentials von 6.626 t mit Lang-Lkw befördert, wie die erste Spalte von Tabelle 37 zeigt. Durch den Einsatz von Lang-Lkw im KV verringern sich die Kosten im Vor- und Nachlauf auf dieser Relation, so dass mit 1.192 t ein geringerer Anteil des Potentials von der Bahn zum Lang-Lkw verlagert wird, wie der untere Teil der Tabelle zeigt. Bei den beiden weiteren Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombinationen mit den Relationen Wolfsburg – Hamburg und Nürnberg – Schweinfurt verringert sich der Kostenvorteil des Lang-Lkw gegenüber dem KV so sehr, dass eine Verlagerung ganzer Transportketten auf die Straße bei den niedrigeren Potentialmengen von 2.729 t und 3.891 t überhaupt nicht mehr in Frage kommt. Diese Beispiele deuten an, dass dort, wo die in Kapitel 2.2 beschriebenen logistischen Rahmenbedingungen den Einsatz von Lang-Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV erlauben, die Verlagerung weg von der Schiene noch geringer ausfallen wird, als es im Ergebnis des Szenarios 2030 dargestellt ist.

Tabelle 37: Intermodale Verlagerung beim Einsatz von Lang-Lkw im KV anhand von Beispielen

	<b>Bremen – Hamburg</b> <b>Chemische Erzeugnisse</b> <b>(NST 04)</b>	<b>Wolfsburg - Hamburg</b> <b>Geräte zur Güterbef.</b> <b>(NST 16)</b>	<b>Nürnberg – Schweinfurt</b> <b>Sammelgut</b> <b>(NST 18)</b>
<b>Potential für den Lang-Lkw</b>	<b>6.626 t</b>	<b>2.729 t</b>	<b>3.891 t</b>
<b>Verlagerung aus dem KV mit konventionellen Lkw im VL/NL</b>			
<b>Lang-Lkw</b>	1.862 t 16.073 Fzgkm	542 t 8.944 Fzgkm	1.131 t 7.970 Fzgkm
<b>Bahn KV</b>	4.764 t 690.815 tkm	2.187 t 395.698 tkm	2.760 t 322.838 tkm
<b>konv. Lkw im VL/NL zum KV</b>	4.764 t 14.493 Fzgkm	2.187 t 13.590 Fzgkm	2.760 t 7.362 Fzgkm
<b>Verlagerung aus dem KV mit Lang-Lkw im VL/NL</b>			
<b>Lang-Lkw</b>	1.192 t 10.333 Fzgkm	0 t	0 t
<b>Bahn KV</b>	5.435 t 788.010 tkm	2.729 t 493.867 tkm	3.891 t 455.188 tkm
<b>Lang-Lkw im VL/NL zum KV</b>	5.435 t 10.305 Fzgkm	2.729 t 10.561 Fzgkm	3.891 t 6465 Fzgkm

LUBW DAIMLER

Die sich durch den Einsatz von Lang-Lkw im Vor-/Nachlauf zum KV ergebende Veränderung der THG-Bilanz der drei Relationen ist in Tabelle 38 dargestellt. Es sind jeweils die im Falle der Verlagerung vom KV resultierenden THG-Emissionen quantifiziert: Im oberen Teil der Tabelle wurden wie in den bisherigen Überlegungen konventionelle Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV angenommen, im unteren Teil hingegen Lang-Lkw. Im Falle der Relation Bremen – Hamburg reduzieren sich durch die geringere Verlagerung beim Einsatz der Lang-Lkw im KV die THG-Emissionen um 10% von 36,3 auf 32,6 t CO<sub>2</sub>e/a. Bei den beiden anderen Strecken, bei denen mit Lang-Lkw im Vor- und Zulauf keine Verlagerung mehr stattfindet, beträgt die THG-Reduktion ca. 20%. Damit führt die geringere Verlagerungswirkung beim Einsatz von Lang-Lkw im KV zu einer entsprechend deutlichen Minderung der THG-Emissionen.

Tabelle 38: THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung beim Einsatz von Lang-Lkw im KV anhand von Beispielen

	Bremen – Hamburg Chemische Erzeugnisse (NST 04)	Wolfsburg - Hamburg Geräte zur Güterbeförderung (NST 16)	Nürnberg – Schweinfurt Sammelgut (NST 18)
<b>THG-Emissionen der Verlagerung aus dem KV mit konventionellen Lkw im VL/NL (t CO<sub>2</sub>e/a)</b>			
LLkw	12,6	6,8	6,5
Bahn KV	13,9	8,2	6,3
kLkw im VL/NL zum KV	9,8	8,9	5,1
<b>Summe</b>	<b>36,3</b>	<b>23,9</b>	<b>17,9</b>
<b>THG-Emissionen der Verlagerung aus dem KV mit Lang-Lkw im VL/NL (t CO<sub>2</sub>e/a)</b>			
Lang-Lkw	8,1	--	--
Bahn KV	15,8	10,2	8,9
LLkw im VL/NL zum KV	8,6	8,5	5,6
<b>Summe</b>	<b>32,6</b>	<b>18,7</b>	<b>14,5</b>
<b>Veränderung (%)</b>	<b>-10%</b>	<b>-22%</b>	<b>-19%</b>

kLkw: konventioneller Lkw; LLkw: Lang-Lkw

 LUBW DAIMLER

### 7.3 THG-GESAMTBILANZ (INTERMODAL UND INTRAMODAL) 2030

Im Szenario 2030 verringern sich in der Gesamtbilanz aus intra- und intermodaler Verlagerung der Energieverbrauch um 396.281 MWh/a und die THG-Emissionen um 113.009 t CO<sub>2</sub>e/a (Tabelle 39). Die aus der intramodalen Verlagerung resultierende Minderung des Energieverbrauchs wird durch die Zunahme bei der intermodalen Verlagerung um 0,5% verringert, die THG-Minderung um 0,4%. Die kombinierten THG-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge und des Schienengüterverkehrs im Jahr 2030 betragen nach [UBA 2010] 50,9 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a, so dass die intra- und intermodale Verlagerung in der Gesamtbilanz hier zu einer Reduktion um 0,22% führen.

Tabelle 39: Vergleich der Auswirkungen von intra- und intermodaler Verlagerung

	Veränderung Energieverbrauch (MWh/a)	Veränderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)
<b>Intramodale Verlagerung</b>	-398.086	-113.428
<b>Intermodale Verlagerung</b>	+1.804	+419
<b>Verhältnis inter-/intramodale Verlagerung</b>	0,5%	0,4%
<b>Summe inter-/intramodal</b>	<b>-396.281</b>	<b>-113.009</b>

 LUBW DAIMLER



# 8 Bewertung der Szenarien

## 8.1 VERLAGERUNGSRECHNUNG

### 8.1.1 ERGEBNISVERGLEICH DER SZENARIEN

Aus den Verlagerungsrechnungen der beiden Szenarien 2010 und 2030 geht hervor, dass der Lang-Lkw nur für einen begrenzten Markt als Transportmittel in Frage kommt. Das verlagerbare Potential aus dem Straßengüterverkehr übersteigt auch mit der Ausweitung des Positivnetzes auf alle Fernstraßen in Deutschland im Szenario 2030 nicht 415 Mio. t bei einem Gesamtaufkommen von 3.639 Mio. t im Straßengüterverkehr [Tab. 0-3 in BVU et al. 2014, S. 8]. Damit sind nur 11% des prognostizierten Aufkommens überhaupt verlagerbar. Das verlagerbare Potential aus dem Schienengüterverkehr liegt mit insgesamt 16,6 Mio. t im Szenario 2030 bei etwa 4% des gesamten prognostizierten Aufkommens von 443,7 Mio. t im Schienengüterverkehr [Tab. 0-3 in BVU et al. 2014, S. 8].

Im Szenario 2010 ist das verlagerbare Potential noch deutlich geringer mit 100 Mio. t aus dem Straßengüterverkehr und 4,93 Mio. t aus dem Schienengüterverkehr. Bezogen auf die entsprechenden Gesamtaufkommen im Güterverkehr von 3.116,1 Mio. t auf der Straße und 358,9 Mio. t auf der Schiene [Tab. 0-3 in BVU et al. 2014, S. 8] machen diese Potentialmengen nur 3% bzw. 1,4% aus. Wichtigster Grund für den geringeren Anteil des verlagerbaren Potentials am Gesamtaufkommen ist die Einschränkung des Positivnetzes, wodurch unter anderem Verkehre mit den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz ausgeschlossen sind.


Tatsächlich verlagert werden von diesen Potentialen im Szenario 2030 41,6 Mio. t vom Straßengüterverkehr mit konventionellen Lkw und 0,07 Mio. t vom Schienengüterverkehr (0,04 Mio. t aus dem Wagenladungsverkehr und 0,03 Mio. t aus dem KV), wie Tabelle 40 zeigt. Im Szenario 2010 finden noch deutlich geringere Verlagerungen von 8,91 Mio. t aus dem Straßengüterverkehr und 0,05 Mio. t aus dem Schienengüterverkehr (0,04 Mio. t aus dem Wagenladungsverkehr und 0,01 Mio. t aus dem KV) statt.

In beiden Szenarien liegt damit die intramodale Verlagerung bei etwa 10% des verlagerbaren Potentials und weniger als 1% des Gesamtaufkommens. Bei der intermodalen Verlagerung werden in beiden Szenarien weniger als 1% des Potentials verlagert, was weniger als 0,02% des Gesamtaufkommens entspricht. Dementsprechend niedrig sind die Einsparungen, die der Einsatz des Lang-Lkw bei der Fahrleistung in Deutschland ermöglicht. Im Szenario 2030 mit erweitertem Positivnetz liegt die Einsparung durch die intramodale Verlagerung vom konventionellen Lkw auf den Lang-Lkw bei 0,269 Mrd. Fzgkm. Dies entspricht 0,65% der Inlandsfahrleistung von 41,2 Mrd. Fzgkm [Prognos 2015] oder 0,73% der Inländerfahrleistung [Tab. 6-3 in BVU et al. 2014, S. 334].

Die wesentlich geringere Verlagerung vom Schienengüterverkehr auf den Lang-Lkw im Vergleich zur intramodalen Verlagerung von konventionellen Lkw wirft die Frage auf, warum die Ergebnisse so unterschiedlich sind. Zum einen ist das verlagerbare Potential im Schienengüterverkehr wesentlich geringer als im Straßenverkehr, da das Gesamtaufkommen auf der Schiene geringer ist und schwere Güter, die typischerweise auf der Schiene transportiert werden, nicht für den Lang-Lkw geeignet sind.

Tabelle 40: Ergebnisse aus der intramodalen und intermodalen Verlagerung in den Szenarien 2010 und 2030

	Potential (Mio. t)	davon per Lang-Lkw (Mio. t)	resultierende Fahrleistung (Mrd. Fzgkm)	davon durch Lang-Lkw (Mrd. Fzgkm)	Veränderung THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a) *
<b>2010 Intramodal</b>					
Basisfall	100,00	0	2,19	0	-
Versuchsfall	100,00	8,91 (9%)	2,14	0,11 (5%)	-21.656 (-17%/-0,06%)
<b>2010 Intermodal</b>					
Basisfall	4,93	0	Bahn: 4,30 Mrd. tkm Lkw: 0,02 Mrd. Fzgkm	0	-
Versuchsfall	4,93	0,05 (1%)	Bahn: 4,27 Mrd. tkm Lkw: 0,02 Mrd. Fzgkm	0,0005 (<1%)	+337 (+103%/+0,01%)
<b>2030 Intramodal</b>					
Basisfall	415,00	0	10,00	0	-
Versuchsfall	415,00	41,6 (10%)	9,73	0,58 (6%)	-113.428 (-20%/-0,24%)
<b>2030 Intermodal</b>					
Basisfall	16,60	0	Bahn: 7,95 Mrd. tkm Lkw: 0,06 Mrd. Fzgkm	0	-
Versuchsfall	16,60	0,07 (<1%)	Bahn: 7,93 Mrd. tkm Lkw: 0,07 Mrd. Fzgkm	0,0008 (<1%)	+419 (+85%/+0,01%)

\* Einsparung bezogen auf (verlagerte Fahrten/Gesamtemissionen schwerer Nutzfahrzeuge); bei intermodaler Verlagerung inkl. Gesamtemissionen Schienengüterverkehr 

Zum anderen ist die Bahn für viele Transporte, auch bei verlagerbarem Potential mit Lang-Lkw-affinen Güterabteilungen, der günstigere Verkehrsträger. Besonders im KV werden generell nur solche Transporte verlagert, die relativ lange Vor- und Nachlaufstrecken haben und bei denen durch die Verlagerung auf den Lang-Lkw die Gesamtstrecke des Transportes verringert wird. Diese Beobachtung wirft die Frage auf, ob ein günstigerer Lang-Lkw zu einer merklich höheren intermodalen Verlagerung führen würde. Um dem nachzugehen, wurde analysiert, wie sich die verlagerte Menge aus dem Schienengüterverkehr verändern würde, wenn die Kosten für den Lang-Lkw sanken. Bei einer Kostenreduktion des Lang-Lkw um 14% von 1,38 €/Fzgkm auf 1,19 €/Fzgkm würde sich die verlagerte Menge aus dem Wagenladungsverkehr von 0,046 Mio. t auf 0,103 Mio. t verdoppeln (vgl. Anhang 10.12). Eine Vervierfachung der verlagerten Menge auf 0,194 Mio. t wird erst erreicht, wenn die Lang-Lkw-Kosten um 26% auf 1,02 €/Fzgkm sanken. Bei dieser Kostenreduktion würde sich die verlagerte Menge aus dem KV von 0,0287 Mio. t auf 0,0967 Mio. t etwa verdreifachen. Diese Betrachtungen zeigen, dass auch eine starke Kostenreduktion des Lang-Lkw, die in ihrem Umfang aufgrund steigender Lohn- und Energiekosten nicht als realistisch eingeschätzt werden kann, nicht zu einer Explosion der Verlagerung vom Schienengüterverkehr auf die Straße führen würde. Auch hier wäre die THG-Bilanz weiterhin positiv.

### 8.1.2 VERGLEICH MIT ANDEREN STUDIEN

Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise beider Studien sind die vorliegenden Ergebnisse nicht direkt vergleichbar mit den Resultaten aus dem Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt [Tabelle 2 in BASt 2016, S. 37]. Dort wird im Szenario B a) (ohne Einsatz des Lang-Lkw Typ 1) ein intramodales Potential von 1.179 Mio. Lkw-km<sup>55</sup> im Jahr 2030 errechnet. Durch die intramodale Verlagerung entsteht eine Fahrleistung von 93,9 Mio. Lkw-km mit Lang-Lkw; 1.040,9 Mio. Lkw-km verbleiben mit konventionellen

<sup>55</sup> Entspricht der in dieser Studie verwendeten Einheit Fzgkm



Lkw. Aus diesen Angaben lässt sich eine Ersparnis von 44,2 Mio. Lkw-km (= 3,7%) bezogen auf das Potential errechnen. Bezogen auf den Gesamtgüterverkehr auf der Straße, den die Autoren mit 37.402 Mio. Lkw-km beziffern, liegt die Einsparung bei 0,12%.

Das intermodale Potential für den Lang-Lkw wird im Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt mit 390 Mio. Lkw-km im Jahr 2030 beziffert, von denen 3,9 Mio. Lkw-km tatsächlich verlagert werden. Die sich daraus ergebende Einsparung lässt sich ohne zusätzliche Informationen zur Veränderung der Fahrleistung im Schienenverkehr nicht berechnen.

Es lässt sich zusammenfassend sagen, dass beide Studien zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen des verlagerbaren Potentials kommen. Nach der vorliegenden Studie ist das Potential für die intramodale Verlagerung im Jahr 2030 mit 10 Mrd. Fzgm etwa neun Mal so hoch wie in der Studie der BASt mit 1,179 Mrd. Lkw-km [Tabelle 2 in BASt 2016, S. 37]. Beim Potential für die intermodale Verlagerung ist dieser direkte Vergleich nicht möglich, da die hier genutzte Berechnung sich auf die Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr bezieht und eine Umrechnung in Lang-Lkw-Äquivalente, wie sie im Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt vorgenommen wurde [Tabelle 2 in BASt 2016, S. 37], nicht ohne detailliertere Informationen möglich ist.

In der Einschätzung der tatsächlich verlagerten Menge liegen die Studien nicht so weit auseinander. Der Fahrleistung von 70,2 Mio. Lkw-km mit Lang-Lkw (ohne Typ 1) im Jahr 2014 im Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt [Tabelle 2 BASt 2016, S. 37] stehen aus dieser Untersuchung insgesamt 106,6 Mio. Fzgm mit dem Lang-Lkw gegenüber. Man kann also von einer vergleichbaren Größenordnung sprechen. Für das Jahr 2030 prognostiziert der Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt eine Fahrleistung von 97,8 Mio. Lkw-km mit Lang-Lkw [Tabelle 2 in BASt 2016, S. 37], während die vorliegende Studie mit 581 Mio. Fzgm darüber liegt. Die Annäherung der Studienergebnisse bei den tatsächlich verlagerten Mengen kann unter Umständen aus den unterschiedlichen Herangehensweisen nicht nur bei der Definition des Potentials, sondern auch bei der Verlagerungsrechnung selbst erklärt werden. Während in der BASt-Studie die Verlagerung einzelner Fahrten mit einem Verkehrsmittelwahlmodell und feinräumig modellierten Aufkommenspunkten ermittelt wird [TCI Röhling et al. 2016], wird in dieser Studie aufgrund der nur aggregiert vorliegenden Daten zu den Transportaufkommen auf Kreisebene ein Elastizitätenansatz verfolgt.

Beide Studien, der Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt und diese Untersuchung, haben gemeinsam, dass sowohl das Potential als auch die tatsächlich verlagerte Menge der intermodalen Verlagerung von der Schiene auf den Lang-Lkw im Vergleich zu der intramodalen Verlagerung sehr gering ausfällt. Im Abschlussbericht zum Feldversuch der BASt führt die Verlagerung im Jahr 2014 zu 1,8 Mio. zusätzlichen Lkw-km, die vom Schienengüterverkehr auf den Lang-Lkw verlagert werden, und 2030 zu 3,9 Mio. Lkw-km. In der vorliegenden Studie stehen dem im Jahr 2010 0,64 Mio. und im Jahr 2030 1,13 Mio. zusätzliche Fzgm aufgrund der Verlagerung vom Wagenladungsverkehr und vom KV zum Lang-Lkw gegenüber.

## 8.2 THG-BILANZ

### 8.2.1 ERGEBNISVERGLEICH DER SZENARIEN

Auch bezüglich der THG-Bilanz werden zunächst die hier berechneten Szenarien verglichen, die die oben dargestellten Verlagerungsmengen widerspiegeln. So folgt aus der intramodalen Verlagerung 2010 eine THG-Minderung von weniger als 22 kt CO<sub>2</sub>e/a, während im Jahr 2030 aufgrund der deutlich größeren verla-

gerten Transportleistung über 113 kt CO<sub>2</sub>e/a eingespart werden. Die Reduktion der massen- und volumen-spezifischen THG-Emissionen durch den Lang-Lkw im Vergleich zum konventionellen Lkw ist für beide Szenarien vergleichbar, wobei sich die angenommenen Effizienzsteigerungen in den niedrigeren massen- und volumenbezogenen spezifischen Emissionsfaktoren beider Lkw-Typen niederschlagen.

Entsprechend ihrer deutlich geringeren Verlagerungswirkung beträgt die Zunahme der THG-Emissionen durch intermodale Verlagerung im Szenario 2010 nur gut 0,3 kt CO<sub>2</sub>e/a und damit 1,6% der Emissionen, die durch die intramodalen Verlagerungen eingespart werden. Im Szenario 2030 nehmen die intermodalen Verlagerungsmengen deutlich weniger zu als die der intramodalen Verlagerung. Entsprechend moderat fällt die mit der intermodalen Verlagerung verbundene Zunahme des Energieverbrauchs und der daraus resultierenden THG-Emissionen im Jahr 2030 aus. Die dann um gut 0,4 kt CO<sub>2</sub>e/a höheren THG-Emissionen entsprechen nur noch 0,4% der bei der intramodalen Verlagerung eingesparten Emissionen. Die THG-Bilanz des Lang-Lkw-Einsatzes wird daher in beiden Szenarien nahezu ausschließlich von der positiven THG-Bilanz der intramodalen Verlagerung dominiert. Anhand der masse- und volumenbezogenen Emissionen lässt sich jedoch deutlich erkennen, dass bezogen auf die verlagerten Fahrten die intermodale Verlagerung von der Schiene auf die Straße jeweils eine signifikante Zunahme der spezifischen THG-Emissionen um den Faktor 3,4 – 4,2 bedeutet. Die etwas höhere Zunahme im Jahr 2030 resultiert dabei aus dem dann höheren Anteil erneuerbarer Energien am Strommix des Schienengüterverkehrs, der die Verbrauchsminderung der Lang-Lkw mehr als kompensiert.

In der Gesamtbetrachtung von intra- und intermodaler Verlagerung kommt es somit zu einer Minderung der THG-Emissionen um gut 21 kt CO<sub>2</sub>e/a im Jahr 2010 und rund 113 kt CO<sub>2</sub>e/a im Jahr 2030. Im Verhältnis zu den gesamten THG-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge und des Schienengüterverkehrs, für die eine Zunahme von 42,33 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a im Jahr 2010 auf 50,9 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a im Jahr 2030 prognostiziert wird [UBA 2010], bedeutet dies eine THG-Reduktion um 0,05% im Jahr 2010 und – korrelierend mit der deutlich höheren THG-Einsparung – 0,22% im Jahr 2030.

### 8.2.2 VERGLEICH MIT ANDEREN STUDIEN

Die vorliegenden Ergebnisse zur THG-Bilanz lassen sich kaum mit den Ergebnissen vergleichen, die im Rahmen des Feldversuchs der BAST von [TCI Röhling et al. 2016] ermittelt wurden. Dort wurden die Emissionen anhand der in HBEFA<sup>56</sup> hinterlegten Emissionsfaktoren je Transportträger generisch über die abgewinkelte Verkehrs- bzw. Transportleistung ermittelt, wobei keine Unterscheidung zwischen konventionellen und Lang-Lkw erfolgte. Weiterhin blieb die in der vorliegenden Studie vorgenommene Differenzierung nach Transportgewicht, die Fortschreibung der Emissionsfaktoren durch die Effizienzverbesserung der Lkw sowie die Veränderung des Strommixes der Bahn unberücksichtigt. Als Resultat werden in [TCI Röhling et al. 2016] deutlich geringere Einsparungen quantifiziert. Die dort ausgewiesene THG-Einsparung von knapp 34 kt CO<sub>2</sub>e/a im Szenario B (ohne Typ 1) für 2030 liegt in einer vergleichbaren Größenordnung wie die mit der vorliegenden Studie für das Jahr 2010 ermittelte Einsparung von gut 21 kt CO<sub>2</sub>e/a, jedoch um mehr als den Faktor drei unter der für 2030 mit Ausweitung des Positivnetzes berechneten THG-Einsparung von 113 kt CO<sub>2</sub>e/a. Beide Studien weisen aber in allen Szenarien eine Verringerung der THG-Emissionen durch den

---

<sup>56</sup> Die Emissionsberechnung in [TCI Röhling et al. 2016] basiert auf TREMOD, dem wiederum HBEFA zugrunde liegt.

Einsatz der Lang-Lkw aus<sup>57</sup>, auch wenn sich die Höhe des berechneten Einsparpotentials signifikant unterscheidet.

### 8.3 WEITERE UMWELTWIRKUNGEN: STICKOXID- UND PARTIKELEMISSIONEN

Auftragsgemäß wurden in der vorliegenden Studie die Klimawirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw untersucht. Im Rahmen der Beiratssitzung wurde seitens des Beirates der Wunsch geäußert, auch das derzeit vor allem für Kommunen sehr aktuelle Thema der Feinstaub- und Stickoxidemissionen zumindest qualitativ für den Lang-Lkw zu beleuchten.

Bei den Lang-Lkw kommen entsprechend der Anforderungen an die Sicherheitsausstattung für diese Fahrzeuge durchgängig moderne Fahrzeuge zum Einsatz, die der Euro VI-Norm entsprechen. Dies bestätigte sich während der Fachgespräche und der Auswertungen zu den Daimler-Lang-Lkw-Verkehren. Die derzeit gültige Abgasnorm Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge wird entsprechend verschiedener Messungen von unabhängiger Stelle im Realbetrieb weitgehend eingehalten [ICCT 2016, TÜV Nord 2017].

Grundsätzlich verhalten sich die transportleistungsbezogenen Schadstoffemissionen ähnlich wie die THG-Emissionen: Aufgrund der durch das größere Ladevolumen erhöhten Transportleistung der Lang-Lkw ergeben sich je m<sup>3</sup>km bzw. tkm niedrigere spezifische Emissionswerte.

Bei den Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>) ist sogar tendenziell eine höhere Reduktion im Vergleich zu den THG-Emissionen zu erwarten, da hier nicht wie beim Kraftstoffverbrauch und damit den THG-Emissionen ein linearer Anstieg der Emissionen mit steigendem Fahrzeuggewicht zu beobachten ist. Vielmehr ist gemäß [HBEFA 2014] für einen konventionellen Lkw mit einem Gesamtgewicht von 40 t auf Autobahnen und Außerortsstrecken, auf denen der Lang-Lkw voraussichtlich mehrheitlich eingesetzt wird, ein relativ konstantes Emissionsniveau zu beobachten (siehe Abbildung 23 links). Das heißt, dass die spezifischen NO<sub>x</sub>-Emissionen bei steigender Zuladung etwas stärker abnehmen als die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe Abbildung 23 rechts). Entsprechend ist zu erwarten, dass der ermittelte Mehrverbrauch der Lang-Lkw keine relevanten Auswirkungen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen hat.

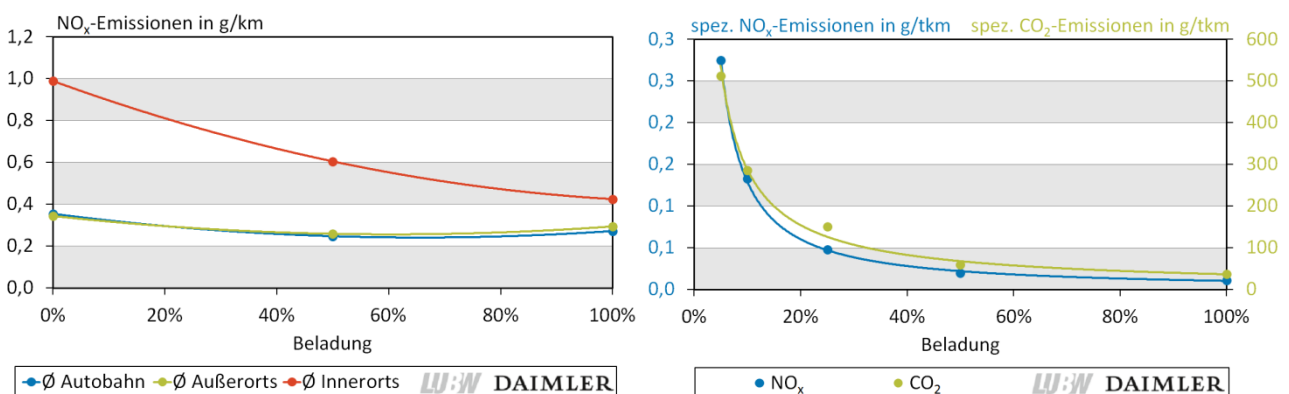


Abbildung 23: Absolute (links) und spezifische (rechts) NO<sub>x</sub>-Emissionen eines konventionellen 40-Tonnen-Lkw der Norm Euro VI nach [HBEFA 2014]

<sup>57</sup> Auch in den hier nicht diskutierten BAST-Szenarien unter Einbezug des LLkw Typ 1 kommt es zu einer Reduktion der THG-Emissionen.

Bei den Partikelemissionen (PM) ist wiederum ein den THG-Emissionen ähnlicher Emissionsverlauf zu erkennen, d. h. mit steigendem Fahrzeuggewicht und damit steigender Leistungsabgabe des Motors steigen die PM-Emissionen an (siehe Abbildung 24). Allerdings fällt der Anstieg der PM-Emissionen zwischen leerem und voll beladenem Fahrzeug mit +10-15% (je nach Streckentyp) deutlich geringer aus als beim Kraftstoffverbrauch bzw. den CO<sub>2</sub>-Emissionen (+49-70%). Insofern ist auch bei den Partikelemissionen eine Reduktion der spezifischen PM-Emissionen beim Einsatz von Lang-Lkw gegenüber dem Transport mit konventionellen Lkw zu erwarten.

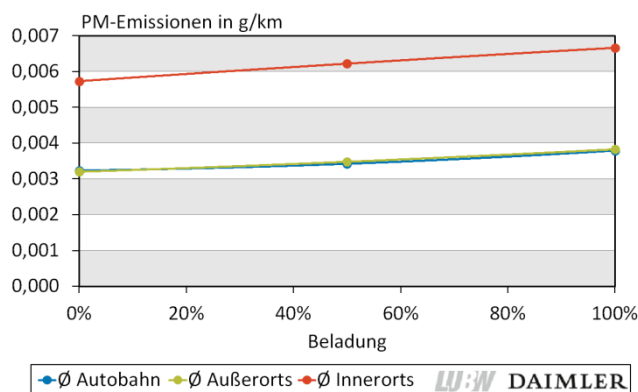


Abbildung 24: PM-Emissionen eines konventionellen 40-Tonnen-Lkw der Norm Euro VI nach [HBEFA 2014]

#### 8.4 ABGELEITETE POLITISCHE MAßNAHMEN UND INSTRUMENTE

Aus den Ergebnissen der Nachfrage- und Treibhausgasberechnungen können Empfehlungen für Maßnahmen und Instrumente abgeleitet werden, um die Treibhausgasbilanz bei einem Einsatz von Lang-Lkw positiv zu halten. Grundsätzlich lassen sich die bisherigen Erkenntnisse wie folgt zusammenfassen:

- In Rahmen der im Feldversuch zugelassenen Abmessungen und Gewichte ist der Lang-Lkw nur für bestimmte Güter, die ein maximales Gewicht pro Palettenstellplatz von ca. 350 – 400 kg bzw. die maximale Ladungsdichte ca. 120 kg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten, geeignet. Die Untersuchung hat gezeigt, dass ein wirtschaftlicher Einsatz von Lang-Lkw nur für leichte Volumengüter möglich ist.
- Darüber hinaus hat die Analyse der realen Betriebsabwicklung ergeben, dass Lang-Lkw-Fahrten heute nur dann durchgeführt werden, wenn es sich um Punkt-zu-Punkt-Verkehre mit Rückladung handelt.
- Trotz des grundsätzlich höheren Verbrauchs des Lang-Lkw (33,4 l/100 km) im Vergleich zu konventionelle Lkw (26,9 l/100 km)<sup>58</sup> ergibt sich bei seinem Einsatz eine palettenstellplatz- und transportleistungsspezifische Kraftstoffeinsparung von fast 18% und damit eine entsprechende Treibhausgasminderung.
- Da Lang-Lkw-Fahrten auf das aktuelle Positivnetz beschränkt sind, sind in Einzelfällen Umwegfahrten für den Lang-Lkw zwischen Quelle- und Ziel erforderlich, während konventionelle Lkw die Quellen und Ziele auf dem kürzesten Weg verbinden können.

Aus diesen Zusammenhängen lässt sich nachvollziehbar ableiten, dass eine der Maßnahmen, die Treibhausgasbilanz des Lang-Lkw positiv zu halten, ist:

<sup>58</sup> Jeweils identisches Palettengewicht (230 kg) und Vollaustattung, aktuelle Verbrauchswerte.

<b>M1</b>	<b>Das Positivnetz so zu gestalten, dass Umwegfahrten vermieden werden.</b>
-----------	---

Die bisherige Praxis bei der Erweiterung des Positivnetzes ist, dass Unternehmen neu aufzunehmende Strecken bei den jeweiligen Landesbehörden einreichen. Formal ist der Bund für die Festlegung des Positivnetzes zuständig, die Länder prüfen jedoch die neu aufzunehmenden Strecken. Es wird vorgeschlagen, im Rahmen dessen eine Prüfung der Umwege vorzunehmen.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Unternehmen aus Kostengründen die neuen Strecken so kalkulieren, dass der Kostenvorteil für einen Lang-Lkw im Vergleich zu konventionellen Lkw nicht dadurch zunichtegemacht wird, dass der Lang-Lkw Umwege von mehr als ca. 15% fahren muss. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Schwellwert, der sich aus dem Kostenvorteil des Lang-Lkw ergibt und dem Schwellwert, der sich aus der Treibhausgasbilanz ergibt. Ersterer ist abhängig von rein betriebswirtschaftlichen Überlegungen (Betriebs- und Vorhaltekosten der Fahrzeuge, Auslastungsgrad etc.), während letzterer von fahrzeugspezifischen Verbräuchen, in Abhängigkeit der Streckencharakteristika, abhängt.

Daher kann empfohlen werden, dass die Unternehmen bei der Streckenbeantragung einen Nachweis mitliefern, dass der Lang-Lkw keine die Schwellwerte überschreitenden Umwege fahren muss. Dies ist mit den heute für die Tourenplanung eingesetzten Softwareprodukten zumindest für den betriebswirtschaftlichen Schwellwert unmittelbar möglich. Alternativ wäre für den Schwellwert, der sich aus der Treibhausgasbilanz ergibt, ein Nachweis z. B. anhand Gleichung (7) aus Anhang 10.10 möglich. Danach hängt der aus THG-Sicht maximal zulässige Umwegfaktor ausschließlich vom Kraftstoffverbrauch und der Zuladung der eingesetzten konventionellen Lkw und Lang-Lkw ab. Da die jeweilige Zuladung dem Spediteur bekannt ist, lässt sich anhand des resultierenden Gesamtgewichts mittels der hier entwickelten Verbrauchsfunktionen der Kraftstoffverbrauch einfach bestimmen. Da eine Streckendifferenzierung nach Topografie nicht ohne weiteres möglich ist, wären jedoch vereinfacht die Funktionen für mittlere Strecken anzuwenden (siehe Kapitel 4.1.4).

Wie bereits weiter oben dargestellt, ist die Treibhausgasbilanz des Lang-Lkw umso positiver, je besser dieser – sowohl auf der Hin- als auch der Rückfahrt – ausgelastet ist. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, bzw. Transparenz zu schaffen, käme als Maßnahme in Frage:

<b>M2</b>	<b>Ein Monitoring des Auslastungsgrades hinsichtlich der Ladungsdichte einzuführen.</b>
-----------	---

Diese Maßnahme wurde mit dem Projektbeirat diskutiert und von den anwesenden Praktikern als schwierig umsetzbar kritisiert, weil sie mit hohem Aufwand für die Dokumentation verbunden ist. Darüber hinaus wurde argumentiert, dass es im eigenen Interesse der Unternehmen liegt, den Lang-Lkw-Einsatz möglichst kostengünstig zu planen und für einen hohen Auslastungsgrad zu sorgen und somit ein „Selbstmonitoring“ stattfindet. Es erscheint jedoch denkbar, dass entsprechende Datenanforderungen in die Berichtspflicht an das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) aufgenommen werden. Die konkrete Ausgestaltung dieser Maßnahme und deren rechtliche Prüfung ist jedoch nicht Gegenstand dieser Studie.

Im Projektbeirat wurde ebenfalls diskutiert,

<b>M3</b>	<b>Gefahrgut in Form von Stückgut vom Beförderungsverbot auszunehmen.</b>
-----------	---

Dies wurde damit begründet, dass eigentlich für den Lang-Lkw geeignete Stückguttransporte nicht wirtschaftlich durchgeführt werden können, weil Gefahrgut-Stückgüter nicht mit dem Lang-Lkw transportiert werden dürfen und daher keine für den Lang-Lkw ausreichende Auslastung des jeweiligen Transports erreicht wird. Allerdings ist das Gefahrgutverbot für Lang-Lkw ein wesentlicher Aspekt, um die Akzeptanz des Lang-Lkw zu erhöhen. Eine Öffnung für Gefahrgut-Stückgüter würde diesen Sicherheitsaspekt entkräften.

Ein weiterer Schwerpunkt der Diskussion war die

<b>M4</b>	<b>Uneingeschränkte Zulassung des Lang-Lkw Typs 1 (verlängerter Sattelanhänger) auf dem gesamten Straßennetz in Deutschland.</b>
-----------	--

Hierfür wurde eine Reihe von Begründungen angegeben:

- Hohe Flexibilität des Typ 1 gegenüber Typ 2/3 für das Transportunternehmen
- Kaum zusätzliche Beanspruchung des Straßenraums und der Umschlags- und Parkflächen, da die Fahrzeuglänge noch unter der zulässigen Länge des Standardgliederzuges liegt
- Geringe zusätzliche Investitionskosten im Vergleich zum Standard-Sattelzug
- Erhöhte Ladungsdichte im Vergleich zu Typ 2/3 (~220 kg/m<sup>3</sup> vs. ~120 kg/m<sup>3</sup>)

Der Typ 1 ist ein Fahrzeug, das aufgrund seiner Charakteristik eine Neuberechnung der Verlagerungspotentiale erfordern würde und u.a. aus diesem Grund nicht in den Fokus dieser Studie gestellt wurde. Aus den Gesprächen mit den Transportunternehmen kann davon ausgegangen werden, dass der Typ 1 zu hohen intramodalen Verlagerungen führt. Die Auswirkungen einer Zulassung des Typ 1 auf die intermodalen Verlagerungen und letztlich auf die Treibhausgasbilanz müssten vertieft untersucht werden. Im Anhang 10.13 findet sich aber eine Kurzbetrachtung zum Typ 1 einschließlich einer groben THG-Bilanz.

## 9 Schlussbetrachtung

Die hier vorliegende Studie bietet gegenüber der Vielzahl von Vorgängerstudien zwei entscheidende methodische Verbesserungen: Zum einen die sehr intensive Betrachtung der überhaupt für den Lang-Lkw geeigneten Gutarten, zum anderen die sehr tiefe Betrachtung der THG-Bilanzen.

Ohne die in den entsprechenden Kapiteln dieses Berichts ausführlich dargestellten Ergebnisse zu wiederholen, können zwei Kernaussagen zu den Ergebnissen getroffen werden:

- Die intramodalen Verlagerungen von konventionellen Lkw zu Lang-Lkw führen zu einer Verringerung des Lkw-Verkehrs und damit zu einer Verringerung der CO<sub>2e</sub>-Emissionen. Damit kann im Ergebnis der Lang-Lkw grundsätzlich als positiv für die THG-Bilanz gesehen werden. Die immer wieder kolportierte Faustformel „2 Lang-Lkw-Fahrten ersetzen 3 konventionelle Lkw-Fahrten“ kann in weiten Teilen bestätigt werden. Allerdings ist durch die Gewichtsbeschränkung auf 40 (44) t der wirtschaftliche Einsatz des Lang-Lkw auf wenige Gutarten beschränkt. Somit wird der Lang-Lkw ein Nischenprodukt bleiben, das in geeigneten Märkten zu einer nicht zu vernachlässigenden Verkehrsreduktion und damit zu einer ebenfalls nicht zu vernachlässigbaren Emissionsreduktion führt, aber bezogen auf den gesamten Straßengüterfernverkehr keine wesentlichen Entlastungen mit sich bringt.
- In Bezug auf die intermodalen (Rück-)Verlagerungen von der Schiene auf die Straße kann kein wesentlicher Effekt durch die Einführung des Lang-Lkw festgestellt werden, da auch hier die Begrenzung des wirtschaftlichen Einsatzes auf spezielle Nischengutarten greift. Aufgrund der geringen intermodalen Verlagerungen kann auch nicht von einem Spiral-Effekt im Einzelwagenverkehr ausgegangen werden, wie er in anderen Untersuchungen nachgewiesen wurde (die jedoch von anderen Annahmen ausgingen).

Diese Kernaussagen gelten auch für das Szenario 2030, das von einer weitgehenden Öffnung des deutschen Straßennetzes ausgeht.

Diese Aussagen sind allerdings dann zu relativieren, wenn – hypothetisch – die Gewichtsbeschränkungen fallen würden und Lang-Lkw mit höheren Gesamtgewichten zugelassen würden.

Darüber hinaus ist auch zu berücksichtigen, dass diese Untersuchung eine Zulassung des Lang-Lkw im grenzüberschreitenden Verkehr bewusst ausgeschlossen hat. Für einen europaweiten Einsatz von Lang-Lkw würden zwar dieselben logistischen „Zwangspunkte“ gelten, d.h. auch in diesem Fall wären nur bestimmte Gutarten für einen Lang-Lkw-Transport geeignet, allerdings wäre das verlagerbare Potential deutlich höher.





# 10 Anhänge

## 10.1 AUSWIRKUNGEN VON VERBESSERUNGEN DES BAHNVERKEHRS IM MITTLEREN NECKARRAUM AUF VERKEHRE DER DAIMLER AG

In Abbildung 25 ist das Daimler Rail Net mit Bezug zu den Produktionsstandorten in Baden-Württemberg (sog. „Südwerke“) inklusive der Transportmengen dargestellt. Grundsätzlich ist Kornwestheim (Rangierbahnhof und KV-Terminal) die „Drehscheibe“ für die Bahnverkehre. Im Rangierbahnhof finden Fern-Fern-Umstellungen statt, wie beispielsweise Wagen aus Hamburg, die in Züge nach Kecskemét (Ungarn) eingestellt werden. Ebenso werden Fern-Nah-Umstellungen (Hamburg – Kornwestheim – Sindelfingen) durchgeführt. Die Übergangszeiten im Rangierbahnhof sind vergleichsweise gut optimiert: Im Durchschnitt betragen sie 2 – 3 Stunden.

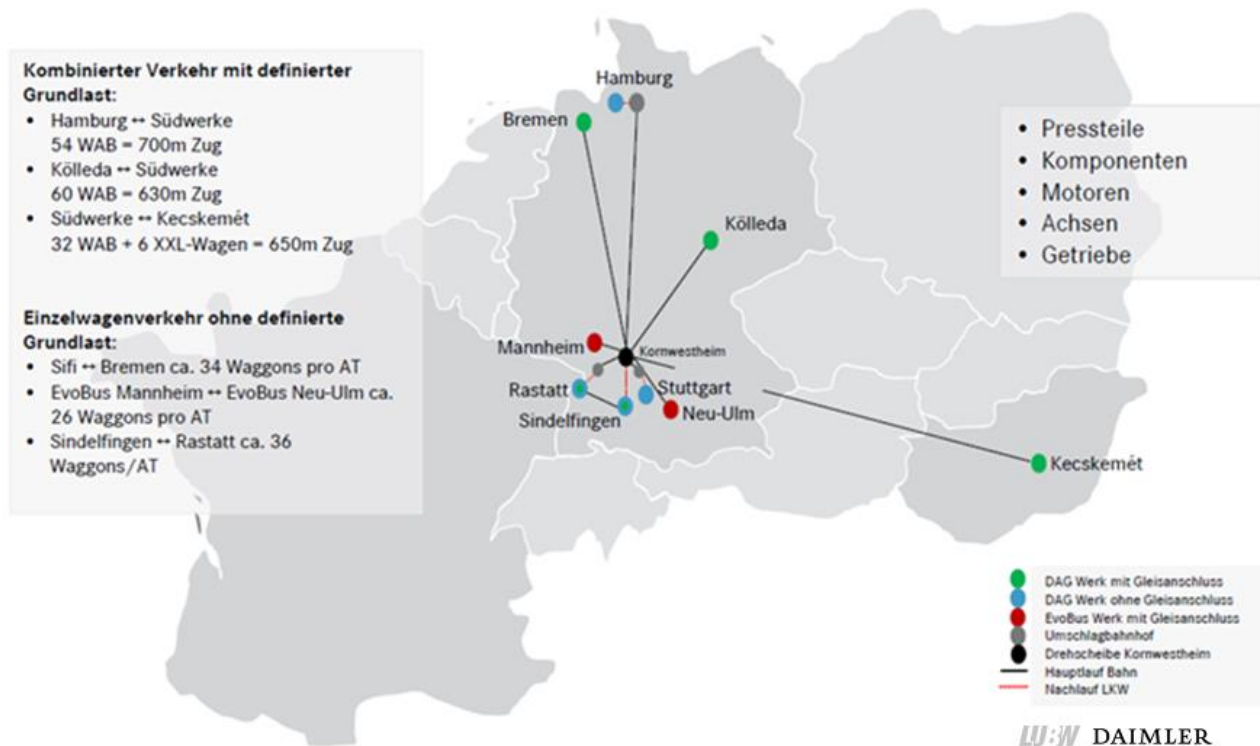


Abbildung 25: Daimler Rail Net 2016

Die intermodalen Ladeeinheiten (v. a. Wechselbehälter) werden im Umschlagbahnhof Kornwestheim vom Zug auf Lkw umgeschlagen und auf der Straße in die Südwerke transportiert bzw. von den Südwerken auf die Züge umgeschlagen. Insgesamt beträgt das Umschlagsvolumen pro Arbeitstag ca. 150 Wechselbehälter.

In den Gesprächen wurden vier Bahntransporte (jeweils zwei existierende und zwei in Vorbereitung befindliche) genauer spezifiziert (siehe folgende Tabelle 41).

Tabelle 41: Ladungsdichten der Beispieltransporte von Daimler

Relation	Produktgruppe	Ladungsdichte
Hamburg - Sindelfingen	Achskomponenten	190 kg/m <sup>3</sup>
Kölleda - Bremen	Motoren	210 kg/m <sup>3</sup>
Kuppenheich - Kecskemét	Presswerkumfänge	200 kg/m <sup>3</sup>
Hamburg - Sindelfingen	Bauteile	150 kg/m <sup>3</sup>
<b>Grenz-Ladungsdichte für Lang-Lkw-Transporte</b>		ca. 122 kg/m <sup>3</sup>

LUBW DAIMLER

Wird die theoretische Grenz-Ladungsdichte für einen Lang-Lkw-Transport von ca. 122 kg/m<sup>3</sup> berücksichtigt, zeigt sich, dass auf der Schiene im Kombinierten Verkehr meist schwerere, nicht für den Lang-Lkw geeignete Produktgruppen transportiert werden, deren mittlere Ladungsdichte zwischen 150 und 210 kg/m<sup>3</sup> liegt. Von ihrer Ladungsdichte noch am ehesten für den Lang-Lkw geeignet sind die Bauteile von Zulieferern von Hamburg nach Sindelfingen.

Daher wurde für die Verkehre Hamburg – Sindelfingen beispielhaft eine Treibhausgasbilanz für den KV-Transport im Vergleich zum Transport mit konventionellen Lkw erstellt (siehe Tabelle 42 bzw. Abbildung 26).

Tabelle 42: Treibhausgasbilanz für den KV-Transport im Vergleich zum Transport mit konventionellen Lkw auf der Relation Hamburg – Sindelfingen

Parameter	Wert
<b>Bahntransport</b>	
Bahndistanz	670 km
Vor- und Nachlauf (Straße)	51 km
Zuglänge	700 m (= 37 Wagen)
<b>Transport mit konventionellen Lkw (Megatrailer)</b>	
Distanz	664 km
<b>THG-Einsparung</b>	
Einsparung pro Fahrt	376 kg CO <sub>2</sub> e
Einsparung pro Jahr (120 Fahrten)	45,5 t CO <sub>2</sub> e

LUBW DAIMLER

Die spezifischen Emissionen Lkw – KV berechnen sich mit den genannten Eingangsdaten zu 58,3 (konventionelle Lkw) gegenüber 16,8 g CO<sub>2</sub>e/tkm (KV). Damit verursacht der Transport per KV rund 70% weniger THG-Emissionen als der Transport per Lkw. Dies zeigt die Einsparpotentiale im KV, allerdings immer unter der Voraussetzung, dass ein entsprechend langer und gut ausgelasteter Zug eingesetzt werden kann. Der Energieverbrauch für den Hauptlauf mit der Schiene wurde [EWI 2016] entnommen.

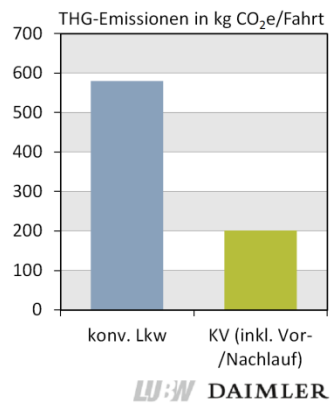


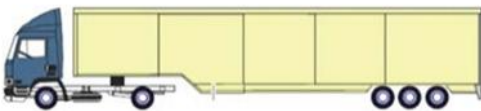
Abbildung 26: Treibhausgasemissionen im Vergleichsbeispiel Hamburg – Sindelfingen

## 10.2 LEITFADEN FACHGESPRÄCHE

Unternehmen		
Adresse		
Kontaktperson		
Tel.	Email	
Teilnahme am Feldversuch Lang-Lkw		
Datum Interview	Uhrzeit	
Interviewer		

LUBW DAIMLER

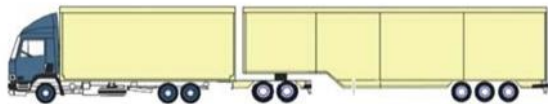
1. Bietet der Lang-Lkw Ihrer Meinung nach Vorteile im Vergleich zu den Standard-Lkw-Typen? Falls ja, welche Vorteile sind das?
2. Hat der Lang-Lkw Ihrer Meinung nach Nachteile im Vergleich zu den Standard-Lkw-Typen? Falls ja, welche Nachteile sind das?
3. Welche Mehrinvestitionen erfordert der Einsatz des Lang-Lkw durch Sie?
  - a. Fahrzeuganschaffung:
  - b. Infrastruktur:
  - c. Personal:
4. Welchen Lang-Lkw Typ nutzen Sie/würden Sie nutzen? Warum haben Sie sich für diese(n) speziellen Typ(en) entschieden? Was spricht gegen den Einsatz der anderen Typen?



Typ 1: Sattelzugmaschine mit Sattelanhängen (Sattelkraftfahrzeug) bis zu einer Gesamtlänge von 17,80 Metern (Bild: BAST)



Typ 2: Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Bild: BAST)



Typ 3: Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhängen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Bild: BAST)



Typ 4: Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhängen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Bild: BAST)



Typ 5: Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu einer Gesamtlänge von 24,00 Metern (Bild: BAST)

5. Wie hoch muss das Volumen bzw. die Ladefläche auf die einfache Fahrt oder den Roundtrip bezogen mindestens ausgelastet sein, damit die Fahrt mit dem Lang-Lkw kostengünstiger ist, als mit einem Standard-Lkw?
6. Wie planen Sie den Personal- und Fahrzeugeinsatz für den Lang-Lkw? Unterscheidet sich diese Planung von der für den Standard-Lkw?
7. Für welche Gutarten ist der Lang-Lkw aus Ihrer Erfahrung heraus generell geeignet?

Frische Lebensmittel (Fleisch, Fisch, Obst, Gemüse, Milchprodukte, Eier):	
Verarbeitete Lebensmittel (TK, Konserven etc.):	
Abgepackte Mahlerzeugnisse (Mehl, Tiernahrung etc.):	
Sonstige Nahrungsmittel und Genusswaren (Backwaren, Tabakwaren etc.):	
Schnittblumen:	
Textilien und Bekleidung:	
Leder und Lederwaren:	
Pharmazeutische Produkte:	
Abgepackte chemische Produkte (Farben, Pestizide etc.):	
Seifen, Körperpflegemittel, Waschmittel, Reinigungsmittel:	
Gummiwaren:	
Kunststoffwaren:	
Glas und Glaswaren:	
Elektrogeräte:	
Kabel:	
Werkzeug- und andere Maschinen:	
Möbel:	
Sonstige Konsumgüter (Spielwaren, Sportgeräte etc.):	
Post (Briefe, Päckchen, Postwurfsendungen etc.):	
Pakete:	
Sammelgut:	
Sonstige (bitte benennen):	

 LUBW DAIMLER

## Fallstudie

Wählen Sie eine Fahrt aus, die Sie mit dem Lang-Lkw und möglichst auch mit einem Standard-Lkw gefahren sind. Bitte erläutern Sie uns Ihre Entscheidung, den Lang-Lkw auf dieser Fahrt einzusetzen und schildern Sie uns den betrieblichen Ablauf der Fahrt. Selbstverständlich werden wir Ihre Angaben so anonymisieren, dass ein Rückschluss auf Ihr Unternehmen bzw. Ihren Kunden nicht möglich ist.

### Lang-Lkw:

#### *Disposition*

1. Organisator der Fahrt (Eigene Dispo oder Kunde):
2. Wechselgrund auf Lang-Lkw (z. B. Kundenwunsch, Personaleinsparung, Ersatzinvestition stand so wieso an):
3. Beladeort:  
Entladeort:  
Distanz (km):
4. Eingesetzter Lang-Lkw-Typ:  
Zugfahrzeug/Motorwagen (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
Trailer (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
Anhänger (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
ggf. Dolly (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
Maximale Nutzlast der Fahrzeugkombination (in Tonnen):  
Maximales Volumen (in m<sup>3</sup>):
5. Fahrthäufigkeit (Fahrten pro Woche) der ausgewählten Fahrt:
6. Welche zeitlichen Anforderungen gibt es an den Transport:  
Länge des Zeitfensters für die Ankunft am Entladeort:  
Welche Rückfallebenen gibt es im Fall von vorhersehbaren Zeitverzögerungen (Baustellen auf dem Positivnetz, Wartung Lang-Lkw etc.):
7. Welchen Zeitbedarf veranschlagen Sie für die einzelnen Aktivitäten des Roundtrips:

- a. Leerfahrt zum Beladeort:
- b. Beladung
- c. Fahrt zum Entladeort:
- d. Entladung:
- e. Ggf. Fahrt zum Aufnahmeort der Rückladung:
- f. Ggf. Aufnahme Rückladung:
- g. Ggf. Rückfahrt zum Entladeort der Rückladung:
- h. Ggf. Entladung am Entladeort der Rückladung:
- i. Leerfahrt zum Betriebshof:

#### *Streckenverlauf*

8. Streckenbeschreibung von Betriebshof zu Betriebshof (entweder als GPX- oder CSV-Datei oder via Autobahnkreuze mit Angabe der Entfernungen):
9. Gibt es ungünstige infrastrukturelle Bedingungen?  
*Durch das Positivnetz erzwungene Umwege* - Um wieviel länger ist der Weg mit Lang-Lkw im Vergleich zum direkten Weg mit Standard-Lkw:  
*Steigungen* - Auf welchen Streckenabschnitten:  
*Fehlende für Lang-Lkw geeignete Parkplätze* - Wo:  
*Stauanfällige Streckenabschnitte* - Auf welchen Streckenabschnitten:  
*Sonstige*:
10. Welche Erfahrungen haben Sie mit Streckensperrungen gesammelt? Durfte der Lang-Lkw Umleitungsstrecken benutzen?

#### *Auslastung*

Wichtig: Bitte geben Sie an, ob die Auslastung bzw. Zuladung mit oder ohne Ladungsträger angegeben ist.

11. Hinfahrt:
  - a. Gutarten und genutzte Ladungsträger:
  - b. Mengenauslastung (in Tonnen oder in % in Bezug auf die Nutzlast):  
 Volumenauslastung (in m<sup>3</sup> oder % auf das Nutzvolumen):  
 Auslastung in Bezug auf die Ladefläche/Ladelänge (in m<sup>2</sup>/m oder % der Nutzfläche):  
 Welche dieser Größen ist der limitierende Faktor:
12. Rückfahrt:
  - a. Gutarten und genutzte Ladungsträger:
  - b. Mengenauslastung (in Tonnen oder in % in Bezug auf die Nutzlast):  
 Volumenauslastung (in m<sup>3</sup> oder % auf das Nutzvolumen):  
 Auslastung in Bezug auf die Ladefläche/Ladelänge (in m<sup>2</sup>/m oder % der Nutzfläche):  
 Welche dieser Größen ist der limitierende Faktor:
13. Wenn zutreffend: Zwischenfahrt zur Aufnahme von Rückladung:
  - a. Gutarten und genutzte Ladungsträger:
  - b. Mengenauslastung (in Tonnen oder in % in Bezug auf die Nutzlast):  
 Volumenauslastung (in m<sup>3</sup> oder % auf das Nutzvolumen):  
 Auslastung in Bezug auf die Ladefläche/Ladelänge (in m<sup>2</sup>/m oder % der Nutzfläche):  
 Welche dieser Größen ist der limitierende Faktor:

#### *Operatives*

14. Vorteile durch Einsatz Lang-Lkw bei dieser konkreten Fahrt:

15. Dieselverbrauch:

- a. Verbrauch in Liter Hinfahrt:
- b. Verbrauch in Liter Rückfahrt:
- c. Falls Sie die Daten erhoben haben: Wie stark schwankt der Verbrauch in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren (z. B. Fahrer, Witterung, Jahreszeit etc.)? Was ist der Haupteinflussfaktor für die Verbrauchsschwankung:

Standard-Lkw:

*Disposition*

1. Wird die gerade geschilderte Fahrt fallweise auch mit Standard-Lkw durchgeführt bzw. wurde diese Fahrt früher mit Standard-Lkw durchgeführt? Wenn ja, welche Abweichungen gibt es hinsichtlich von Streckenführung, Fahrzeug-/Personaleinsatz etc.:
2. Zugfahrzeug (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
Trailer (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
Anhängen (Hersteller, Typ, Leergewicht):  
Maximale Nutzlast der Fahrzeugkombination (in Tonnen):  
Maximales Volumen (in m<sup>3</sup>):  
Fahrthäufigkeit (Fahrten pro Woche):
3. Welchen Zeitbedarf veranschlagen Sie für die einzelnen Aktivitäten des Roundtrips:
  - a. Leerfahrt zum Beladeort:
  - b. Beladung
  - c. Fahrt zum Entladeort:
  - d. Entladung:
  - e. Ggf. Fahrt zum Aufnahmeort der Rückladung:
  - f. Ggf. Aufnahme Rückladung:
  - g. Ggf. Rückfahrt zum Entladeort der Rückladung:
  - h. Ggf. Entladung am Entladeort der Rückladung:
  - i. Leerfahrt zum Betriebshof:

*Streckenverlauf*

4. Streckenbeschreibung von Betriebshof zu Betriebshof (entweder als GPX- oder CSV-Datei oder via Autobahnkreuze mit Angabe der Entfernungen):

*Auslastung*

Wichtig: Bitte geben Sie an, ob die Auslastung mit oder ohne Ladungsträger angegeben ist

5. Hinfahrt:
  - a. Mengenauslastung (in Tonnen oder in % in Bezug auf die Nutzlast):  
Volumenauslastung (in m<sup>3</sup> oder % auf das Nutzvolumen):  
Auslastung in Bezug auf die Ladefläche/Ladelänge (in m<sup>2</sup>/m oder % der Nutzfläche):  
Welche dieser Größen ist der limitierende Faktor:
6. Rückfahrt:
  - a. Mengenauslastung (in Tonnen oder in % in Bezug auf die Nutzlast):  
Volumenauslastung (in m<sup>3</sup> oder % auf das Nutzvolumen):  
Auslastung in Bezug auf die Ladefläche/Ladelänge (in m<sup>2</sup>/m oder % der Nutzfläche):  
Welche dieser Größen ist der limitierende Faktor:

7. Wenn zutreffend: Zwischenfahrt zur Aufnahme von Rückladung:
  - a. Mengenauslastung (in Tonnen oder in % in Bezug auf die Nutzlast):  
Volumenauslastung (in m<sup>3</sup> oder % auf das Nutzvolumen):  
Auslastung in Bezug auf die Ladefläche/Ladelänge (in m<sup>2</sup>/m oder % der Nutzfläche):  
Welche dieser Größen ist der limitierende Faktor:

*Operatives*

8. Dieserverbrauch:
  - a. Verbrauch in Liter Hinfahrt:
  - b. Verbrauch in Liter Rückfahrt
  - c. Falls Sie die Daten erhoben haben: Wie stark schwankt der Verbrauch in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren (z. B. Fahrer, Witterung, Jahreszeit etc.):

*Können wir noch eine zweite Fahrt (andere Relation, andere Gutart) in der gleichen Weise aufnehmen?*

**Strukturverändernde Parameter**

1. Bitte geben Sie uns eine Einschätzung, wie sich die Wettbewerbsfähigkeit des Lang-Lkw gegenüber dem Standard-Lkw im Speziellen und zwischen Straßen- und Schienengüterverkehr im Allgemeinen bei den von Ihnen transportierten Gütern verändern würden, wenn die genannten Trends längerfristig anhalten. Bitte geben Sie zusätzlich an, für wie wahrscheinlich Sie den Eintritt der genannten Szenarien halten:

Trend	Änderung der Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich		Einschätzung Wahrscheinlichkeit --: sehr unwahrscheinlich; ++: sehr wahrscheinlich
	Lang-Lkw gegenüber Standard-Lkw	Straßengüterverkehr gegenüber Schienengüterverkehr	
Dieselpreise steigen	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Chronischer Fahrermangel	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Autonomes Fahren im Straßengüterverkehr	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Erhöhte Nutzlast durch Leichtbautechnik im Fzgbau	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Vermehrte Nutzung 3D-Druck in der Ersatzteillogistik	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Anteil Online-Handel wächst	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Kleinere Sendungsgrößen pro Auftrag	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Niedrigere Sendungsgewichte pro Volumeneinheit	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Anteil der Komplettladungsverkehre sinkt	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++
Das Positivnetz wird auf alle BAB ausgeweitet	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++	-- - ○ + ++

**LUBW DAIMLER**

2. Fallen Ihnen weitere Trends ein, die den Einsatz des Lang-Lkw in den von Ihnen transportierten Gütergruppen beeinflussen:
  - a. Trends, die für den Lang-Lkw sprechen:
  - b. Trends, die gegen den Lang-Lkw sprechen:
3. Es gibt Überlegungen, für Lang-Lkw einen gegenüber dem Standard-Lkw erhöhten Mautsatz einzuführen. Wie hoch dürfte dieser Mautsatz maximal über dem Mautpreisniveau für Standard-Lkw liegen, damit sich der Einsatz von Lang-Lkw noch lohnt:
4. Können Sie sich vorstellen, dass logistische Prozesse in Zukunft auf die Möglichkeiten und Restriktionen von Lang-Lkw abgestimmt werden? Wenn ja: Welche Prozesse wären das? Welche Auswirkungen hätte dies auf den Transportmarkt:
5. Für wie wahrscheinlich halten Sie es, dass sich der Lang-Lkw zur Standardlösung im Vor- und Nachlauf zum Kombinierten Verkehr (KV) entwickelt? Glauben Sie, dass durch die Möglichkeit des



Einsatzes von Lang-Lkw der KV eine attraktivere Alternative zum Straßentransport für die von Ihnen transportierten Güter wird:

6. Gibt es Ihrer Meinung nach andere (Nischen-)Anwendungen, in denen der Lang-Lkw seine Vorteile voll ausspielen kann und sehr wahrscheinlich zur Standardlösung werden könnte:
7. Halten Sie es für wahrscheinlich, dass die Transportpreise durch den Einsatz von Lang-Lkw bei den von Ihnen transportierten Gütern oder sogar im Gesamtmarkt sinken werden? Welche Auswirkungen hätte dies auf die von Ihnen bedienten Marktsegmente:

*Vielen herzlichen Dank für Ihre Auskunftsbereitschaft und Mitwirkung an unserem Forschungsprojekt! Wenn Sie an den Ergebnissen der Studie interessiert sind, so können Sie uns dies mitteilen – wir werden Sie dann informieren, sobald der Schlussbericht vorliegt.*

### 10.3 FALLSTUDIEN

Im Rahmen der Fachgespräche wurden Daten zu tatsächlich mit dem Lang-Lkw gefahrenen Verkehren erhoben. Dabei wurden sowohl Angaben zu der Durchführung mit dem Lang-Lkw wie auch vergleichbare Angaben zur vorherigen oder parallelen Bedienung mit konventionellen Lkw abgefragt. Diese wurden zu Fallstudien verdichtet, um ein genaues Bild zu bekommen, in welchen Fällen ein Lang-Lkw-Einsatz in der Praxis in Frage kommt. Diese Fallstudien werden hier in anonymisierter Form wiedergegeben, um keinen Rückschluss auf die Unternehmen sowie ihre Kunden zuzulassen. Aus diesem Grund werden auch keine gefahrenen Distanzen genannt, sondern nur eine Einteilung in Regionalverkehr (bis 150 km pro Richtung) sowie Fernverkehr vorgenommen. Die Klarnamen der NST-Güterabteilungen können Tabelle 8 auf Seite 24 entnommen werden.

#### Fallstudie 1

*Distanz:* Fernverkehr bis 300 km  
*Transportgüter:* NST18 (hin & rück)  
*Häufigkeit:* 5 Roundtrips/Woche  
*Lang-Lkw-Typ:* Typ 3  
*Besonderheiten:* Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	17 t	25 t
<b>Ladegewicht</b>	16 t	17 t
<b>Ø Verbrauch</b>	38 l/100 km	33 l/100 km
<b>Volumen</b>	150 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Ladefläche	Ladefläche

**LUBW** DAIMLER

#### Fallstudie 2

*Distanz:* Fernverkehr über 300 km  
*Transportgüter:* NST08 (hin); NST16 (rück)  
*Häufigkeit:* 15 Roundtrips/Woche  
*Lang-Lkw-Typ:* Typ 2  
*Besonderheiten:* ca. 28 km Umweg ggü. konv. Lkw

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	18 t	25 t
<b>Ladegewicht</b>	14 t	8 t
<b>Ø Verbrauch</b>	20 l/100 km	26 l/100 km
<b>Volumen</b>	180 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Ladefläche	Ladefläche

**LUBW** DAIMLER

#### Fallstudie 3

*Distanz:* Regionalverkehr  
*Transportgüter:* NST08 (hin & rück)  
*Häufigkeit:* 40 Roundtrips/Woche  
*Lang-Lkw-Typ:* Typ 1  
*Besonderheiten:* Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	25 t	26 t
<b>Ladegewicht</b>	23/2 t	k.A.
<b>Ø Verbrauch</b>	27 l/100 km	27 l/100 km
<b>Volumen</b>	k.A.	k.A.
<b>Begrenzender Faktor</b>	Ladefläche	Ladefläche

**LUBW** DAIMLER

### Fallstudie 4

Distanz: Fernverkehr über 300 km  
 Transportgüter: NST08 (hin); NST16 (rück)  
 Häufigkeit: 25-30 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 2  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	23/24,5 t	24 t
<b>Ladegewicht</b>	23/24,5 t	24 t
<b>Ø Verbrauch</b>	24 l/100 km	27 l/100 km
<b>Volumen</b>	k.A.	k.A.
<b>Begrenzender Faktor</b>	Gewicht	Gewicht

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 5

Distanz: Regionalverkehr  
 Transportgüter: NST08 (hin & rück)  
 Häufigkeit: 20-22 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 2  
 Besonderheiten: Vor-/Nachlauf KV

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	28 t	30 t
<b>Ladegewicht</b>	3-28 t	3-30 t
<b>Ø Verbrauch</b>	31 l/100 km	30 l/100 km
<b>Volumen</b>	3 TEU	2 TEU
<b>Begrenzender Faktor</b>	Gewicht	Gewicht

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 6

Distanz: Fernverkehr bis 300 km  
 Transportgüter: NST19 (hin); NST16 (rück)  
 Häufigkeit: 10 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: ca. 12 km Umweg ggü. konv. Lkw

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	15 t	25 t
<b>Ladegewicht</b>	3-15 t	3-25 t
<b>Ø Verbrauch</b>	34 l/100 km	31 l/100 km
<b>Volumen</b>	3 TEU	2 TEU
<b>Begrenzender Faktor</b>	Ladefläche	Ladefläche

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 7

Distanz: Fernverkehr bis 300 km  
 Transportgüter: NST04 (hin); NST16 (rück)  
 Häufigkeit: 8 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 2  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	18 t	23 t
<b>Ladegewicht</b>	6-8 t	4-5 t
<b>Ø Verbrauch</b>	25 l/100 km	24 l/100 km
<b>Volumen</b>	84 Rollbehälter	54 Rollbehälter
<b>Begrenzender Faktor</b>	Ladefläche	Ladefläche

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 8

Distanz: Regionalverkehr  
 Transportgüter: NST06 (rück)  
 Häufigkeit: 30 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: Leerfahrten

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	15 t	21 t
<b>Ladegewicht</b>	11 t	7 t
<b>Ø Verbrauch</b>	38 l/100 km	32 l/100 km
<b>Volumen</b>	150 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Volumen	Ladefläche

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 9

Distanz: Fernverkehr über 300 km  
 Transportgüter: NST08 (hin); NST16 (rück)  
 Häufigkeit: 5 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	17 t	16 t
<b>Ladegewicht</b>	10 t	7 t
<b>Ø Verbrauch</b>	32 l/100 km	28 l/100 km
<b>Volumen</b>	150 m <sup>3</sup>	120 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Ladefläche	Ladefläche

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 10

Distanz: Fernverkehr bis 300 km  
 Transportgüter: NST16 (hin); NST11 (rück)  
 Häufigkeit: 10 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 2  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	19 t	25 t
<b>Ladegewicht</b>	12/19 t	10/12 t
<b>Ø Verbrauch</b>	30 l/100 km	28 l/100 km
<b>Volumen</b>	144 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Volumen	Volumen

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 11

Distanz: Fernverkehr bis 300 km  
 Transportgüter: NST06 (hin & rück)  
 Häufigkeit: 3-5 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 2  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	21 t	24 t
<b>Ladegewicht</b>	9/21 t	6/24 t
<b>Ø Verbrauch</b>	36 l/100 km	29 l/100 km
<b>Volumen</b>	k.A.	k.A.
<b>Begrenzender Faktor</b>	Volumen	Volumen

LUBW DAIMLER

### Fallstudie 12

Distanz: Fernverkehr bis 300 km  
 Transportgüter: NST15 (hin & rück)  
 Häufigkeit: 10 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	17 t	21 t
<b>Ladegewicht</b>	3-13 t	3-21 t
<b>Ø Verbrauch</b>	30 l/100 km	24 l/100 km
<b>Volumen</b>	140 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Volumen	Volumen

 LUBW DAIMLER

### Fallstudie 13

Distanz: Fernverkehr über 300 km  
 Transportgüter: NST11 (hin & rück)  
 Häufigkeit: 5 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	18 t	25 t
<b>Ladegewicht</b>	11/15 t	7/9 t
<b>Ø Verbrauch</b>	31 l/100 km	29 l/100 km
<b>Volumen</b>	160 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Volumen	Volumen

 LUBW DAIMLER

### Fallstudie 14

Distanz: Fernverkehr über 300 km  
 Transportgüter: NST19 (hin & rück)  
 Häufigkeit: 13 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: ca. 65 km Umweg ggü. konv. Lkw

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	17 t	25 t
<b>Ladegewicht</b>	12 t	9 t
<b>Ø Verbrauch</b>	34 l/100 km	28 l/100 km
<b>Volumen</b>	150 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Volumen	Volumen

 LUBW DAIMLER

### Fallstudie 15

Distanz: Fernverkehr über 300 km  
 Transportgüter: NST04, NST18 (hin & rück)  
 Häufigkeit: 5 Roundtrips/Woche  
 Lang-Lkw-Typ: Typ 3  
 Besonderheiten: Keine

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Nutzlast</b>	13 t	22 t
<b>Ladegewicht</b>	12 t	8 t
<b>Ø Verbrauch</b>	35 l/100 km	31 l/100 km
<b>Volumen</b>	130 m <sup>3</sup>	90 m <sup>3</sup>
<b>Begrenzender Faktor</b>	Gewicht	Volumen

 LUBW DAIMLER

10.4 VERKEHRSZELLENSPEZIFISCHE POTENTIALFAKTOREN

Verkehrszelle		Potentialfaktoren							
		2010				2030			
		NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11
1001	Flensburg, Kreisfreie Stadt	0,30	0,00	0,35	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00
1002	Kiel, Landeshauptstadt, Kreisfreie Stadt	0,75	0,00	0,20	0,20	0,75	0,00	0,15	0,20
1003	Lübeck, Hansestadt, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,45	1,00	0,45	0,00	0,40	1,00
1004	Neumünster, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,20	0,05	1,00	0,00	0,15	0,05
1051	Dithmarschen, Landkreis	0,40	0,00	0,10	0,20	0,40	0,00	0,05	0,20
1053	Herzogtum Lauenburg, Landkreis	0,70	0,00	0,20	0,00	0,70	0,00	0,15	0,00
1054	Nordfriesland, Landkreis	0,75	0,00	0,30	0,20	0,75	0,00	0,25	0,20
1055	Ostholstein, Landkreis	0,55	0,00	0,30	0,05	0,55	0,00	0,25	0,05
1056	Pinneberg, Landkreis	0,60	0,00	0,65	0,50	0,60	0,00	0,60	0,50
1057	Plön, Landkreis	0,25	0,00	1,00	0,40	0,25	0,00	0,95	0,40
1058	Rendsburg-Eckernförde, Landkreis	0,45	0,00	0,30	0,25	0,45	0,00	0,25	0,25
1059	Schleswig-Flensburg, Landkreis	0,70	0,00	0,30	0,20	0,70	0,00	0,25	0,20
1060	Segeberg, Landkreis	1,00	0,00	0,65	0,40	1,00	0,00	0,60	0,40
1061	Steinburg, Landkreis	0,10	0,00	0,40	0,20	0,10	0,00	0,35	0,20
1062	Stormarn, Landkreis	0,35	0,00	0,35	0,30	0,35	0,00	0,30	0,30
1118	Seehafen Brunsbüttel	0,40	0,00	0,10	0,20	0,40	0,00	0,05	0,20
1128	Seehafen Flensburg	0,30	0,00	0,35	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00
1138	Seehafen Kiel	0,75	0,00	0,20	0,20	0,75	0,00	0,15	0,20
1148	Seehafen Puttgarden	0,55	0,00	0,30	0,05	0,55	0,00	0,25	0,05
1158	Seehafen Lübeck-Travemünde	0,45	0,00	0,45	1,00	0,45	0,00	0,40	1,00
2000	Hamburg	1,00	0,00	0,45	0,25	1,00	0,00	0,40	0,25
2118	Seehafen Hamburg	1,00	0,00	0,45	0,25	1,00	0,00	0,40	0,25
3101	Braunschweig, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,20	0,15	1,00	0,00	0,15	0,15
3102	Salzgitter, Kreisfreie Stadt	0,00	0,00	0,45	0,05	0,00	0,00	0,40	0,05
3103	Wolfsburg, Kreisfreie Stadt	0,30	0,00	0,40	0,00	0,30	0,00	0,35	0,00
3151	Gifhorn, Landkreis	0,70	0,00	0,20	0,00	0,70	0,00	0,15	0,00
3152	Göttingen, Landkreis	0,80	0,00	0,40	0,85	0,80	0,00	0,35	0,85
3153	Goslar, Landkreis	0,25	0,00	0,10	0,20	0,25	0,00	0,05	0,20
3154	Helmstedt, Landkreis	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
3155	Northeim, Landkreis	0,15	0,00	0,10	0,20	0,15	0,00	0,05	0,20
3156	Osterode am Harz, Landkreis	0,30	0,00	0,40	0,00	0,30	0,00	0,35	0,00
3157	Peine, Landkreis	0,50	0,00	0,25	0,10	0,50	0,00	0,20	0,10
3158	Wolfenbüttel, Landkreis	0,75	0,00	0,85	0,20	0,75	0,00	0,80	0,20
3241	Hannover, Region	0,80	0,00	0,65	0,40	0,80	0,00	0,60	0,40
3251	Diepholz, Landkreis	0,45	0,00	0,20	0,10	0,45	0,00	0,15	0,10
3252	Hamel-Pyrmont, Landkreis	0,55	0,00	0,40	0,40	0,55	0,00	0,35	0,40
3254	Hildesheim, Landkreis	0,35	0,00	0,25	0,10	0,35	0,00	0,20	0,10
3255	Holzminde, Landkreis	0,45	0,00	0,60	1,00	0,45	0,00	0,55	1,00
3256	Nienburg (Weser), Landkreis	0,25	0,00	0,40	0,00	0,25	0,00	0,35	0,00
3257	Schaumburg, Landkreis	0,10	0,00	0,20	0,05	0,10	0,00	0,15	0,05
3351	Celle, Landkreis	0,55	0,00	0,35	0,05	0,55	0,00	0,30	0,05
3352	Cuxhaven, Landkreis	0,35	0,00	0,15	0,00	0,35	0,00	0,10	0,00
3353	Harburg, Landkreis	1,00	0,00	0,55	0,30	1,00	0,00	0,50	0,30
3354	Lüchow-Dannenberg, Landkreis	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
3355	Lüneburg, Landkreis	0,55	0,00	0,10	0,35	0,55	0,00	0,05	0,35
3356	Osterholz, Landkreis	1,00	0,00	0,30	0,00	1,00	0,00	0,25	0,00
3357	Rotenburg (Wümme), Landkreis	0,55	0,00	0,50	0,30	0,55	0,00	0,45	0,30
3358	Soltau-Fallingb., Landkreis	0,35	0,00	0,60	0,15	0,35	0,00	0,55	0,15
3359	Stade, Landkreis	0,50	0,00	0,20	0,05	0,50	0,00	0,15	0,05
3360	Uelzen, Landkreis	0,35	0,00	0,60	0,20	0,35	0,00	0,55	0,20
3361	Verden, Landkreis	0,40	0,00	0,45	0,15	0,40	0,00	0,40	0,15
3401	Delmenhorst, Kreisfreie Stadt	0,65	0,00	0,20	0,10	0,65	0,00	0,15	0,10
3402	Emden, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00	0,00	0,05
3403	Oldenburg (Oldenburg), Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,15	0,30	0,45	0,00	0,10	0,30
3404	Osnabrück, Kreisfreie Stadt	0,75	0,00	0,70	0,00	0,75	0,00	0,65	0,00
3405	Wilhelmshaven, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
3451	Ammerland, Landkreis	0,85	0,00	0,55	0,10	0,85	0,00	0,50	0,10

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)



Verkehrszelle		Potentialfaktoren							
		2010				2030			
		NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11
3452	Aurich, Landkreis	0,85	0,00	0,15	0,25	0,85	0,00	0,10	0,25
3453	Cloppenburg, Landkreis	0,35	0,00	0,20	0,05	0,35	0,00	0,15	0,05
3454	Emsland, Landkreis	0,60	0,00	0,75	0,05	0,60	0,00	0,70	0,05
3455	Friesland, Landkreis	0,45	0,00	0,25	0,10	0,45	0,00	0,20	0,10
3456	Grafschaft Bentheim, Landkreis	0,50	0,00	0,50	0,25	0,50	0,00	0,45	0,25
3457	Leer, Landkreis	0,60	0,00	0,50	0,20	0,60	0,00	0,45	0,20
3458	Oldenburg, Landkreis	1,00	0,00	0,45	0,15	1,00	0,00	0,40	0,15
3459	Osnabrück, Landkreis	0,50	1,00	0,55	0,10	0,50	1,00	0,50	0,10
3460	Vechta, Landkreis	0,35	0,00	0,50	0,00	0,35	0,00	0,45	0,00
3461	Wesermarsch, Landkreis	0,90	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00
3462	Wittmund, Landkreis	0,65	0,00	0,45	0,25	0,65	0,00	0,40	0,25
3518	Seehafen Papenburg	0,60	0,00	0,75	0,05	0,60	0,00	0,70	0,05
3528	Seehafen Emden	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00	0,00	0,05
3538	Seehafen Wilhelmshaven	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
3548	Seehafen Nordenham	0,90	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00
3558	Seehafen Brake	0,90	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00
3568	Seehafen Cuxhaven	0,35	0,00	0,15	0,00	0,35	0,00	0,10	0,00
3578	Seehafen Stade	0,50	0,00	0,20	0,05	0,50	0,00	0,15	0,05
4011	Bremen, Kreisfreie Stadt	0,95	0,00	1,00	0,15	0,95	0,00	1,00	0,15
4012	Bremerhaven, Kreisfreie Stadt	0,55	0,00	0,25	0,10	0,55	0,00	0,20	0,10
4118	Seehafen Bremen	0,95	0,00	1,00	0,15	0,95	0,00	1,00	0,15
4128	Seehafen Bremerhaven	0,55	0,00	0,25	0,10	0,55	0,00	0,20	0,10
5111	Düsseldorf, Kreisfreie Stadt	1,00	0,25	0,15	0,10	1,00	0,25	0,10	0,10
5112	Duisburg, Kreisfreie Stadt	0,50	0,00	0,20	0,10	0,50	0,00	0,15	0,10
5113	Essen, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	1,00	0,20	1,00	0,00	1,00	0,20
5114	Krefeld, Kreisfreie Stadt	0,20	0,00	0,15	0,05	0,20	0,00	0,10	0,05
5116	Mönchengladbach, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,25	0,40	0,45	0,00	0,20	0,40
5117	Mülheim an der Ruhr, Kreisfreie Stadt	0,95	0,00	0,70	0,10	0,95	0,00	0,65	0,10
5119	Oberhausen, Kreisfreie Stadt	0,25	0,00	0,05	0,15	0,25	0,00	0,00	0,15
5120	Remscheid, Kreisfreie Stadt	0,30	0,00	0,30	0,25	0,30	0,00	0,25	0,25
5122	Solingen, Kreisfreie Stadt	0,10	0,00	1,00	0,05	0,10	0,00	1,00	0,05
5124	Wuppertal, Kreisfreie Stadt	0,80	0,60	0,05	0,30	0,80	0,60	0,00	0,30
5154	Kleve, Kreis	0,30	0,00	0,15	0,05	0,30	0,00	0,10	0,05
5158	Mettmann, Kreis	0,60	0,00	0,35	0,15	0,60	0,00	0,30	0,15
5162	Neuss, Kreis	0,40	0,65	0,40	0,30	0,40	0,65	0,35	0,30
5166	Viersen, Kreis	0,80	0,00	0,35	0,35	0,80	0,00	0,30	0,35
5170	Wesel, Kreis	0,65	0,00	0,30	0,15	0,65	0,00	0,25	0,15
5314	Bonn, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,45	0,65	1,00	0,00	0,40	0,65
5315	Köln, Kreisfreie Stadt	0,90	0,00	0,45	0,10	0,90	0,00	0,40	0,10
5316	Leverkusen, Kreisfreie Stadt	0,15	0,00	0,30	0,05	0,15	0,00	0,25	0,05
5334	Aachen, Städteregion	0,65	0,00	0,45	0,25	0,65	0,00	0,40	0,25
5358	Düren, Kreis	0,40	0,30	0,25	0,05	0,40	0,30	0,20	0,05
5362	Erfthkreis	0,75	0,00	0,15	0,15	0,75	0,00	0,10	0,15
5366	Euskirchen, Kreis	0,05	1,00	0,10	0,10	0,05	1,00	0,05	0,10
5370	Heinsberg, Kreis	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,00	0,20	0,25
5374	Oberbergischer Kreis	0,35	0,00	0,60	0,10	0,35	0,00	0,55	0,10
5378	Rheinisch-Bergischer Kreis	0,60	0,00	0,50	0,25	0,60	0,00	0,45	0,25
5382	Rhein-Sieg-Kreis	0,95	0,00	0,40	0,25	0,95	0,00	0,35	0,25
5512	Bottrop, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,35	0,00	0,45	0,00	0,30	0,00
5513	Gelsenkirchen, Kreisfreie Stadt	0,40	0,00	0,15	0,05	0,40	0,00	0,10	0,05
5515	Münster, Kreisfreie Stadt	0,85	0,00	0,15	0,15	0,85	0,00	0,10	0,15
5554	Borken, Kreis	0,65	0,00	0,50	0,05	0,65	0,00	0,45	0,05
5558	Coesfeld, Kreis	0,55	0,00	0,50	0,10	0,55	0,00	0,45	0,10
5562	Recklinghausen, Kreis	0,80	0,00	0,35	0,15	0,80	0,00	0,30	0,15
5566	Steinfurt, Kreis	0,80	0,00	0,70	0,05	0,80	0,00	0,65	0,05
5570	Warendorf, Kreis	0,85	0,00	0,45	0,05	0,85	0,00	0,40	0,05
5711	Bielefeld, Kreisfreie Stadt	0,25	0,00	0,80	0,15	0,25	0,00	0,75	0,15
5754	Gütersloh, Kreis	0,65	0,00	0,65	0,45	0,65	0,00	0,60	0,45
5758	Herford, Kreis	1,00	0,00	0,45	0,30	1,00	0,00	0,40	0,30

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

LU:W DAIMLER

Verkehrszelle		Potentialfaktoren							
		2010				2030			
		NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11
5762	Höxter, Kreis	0,40	0,00	0,50	0,35	0,40	0,00	0,45	0,35
5766	Lippe, Kreis	0,40	0,00	0,60	0,65	0,40	0,00	0,55	0,65
5770	Minden-Lübbecke, Kreis	1,00	0,65	0,55	0,30	1,00	0,65	0,50	0,30
5774	Paderborn, Kreis	0,70	0,00	0,55	0,30	0,70	0,00	0,50	0,30
5911	Bochum, Kreisfreie Stadt	0,90	0,00	0,60	0,05	0,90	0,00	0,55	0,05
5913	Dortmund, Kreisfreie Stadt	0,25	0,00	0,10	0,35	0,25	0,00	0,05	0,35
5914	Hagen, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,20	0,05	1,00	0,00	0,15	0,05
5915	Hamm, Kreisfreie Stadt	0,55	0,00	0,15	0,55	0,55	0,00	0,10	0,55
5916	Herne, Kreisfreie Stadt	0,75	0,00	0,55	0,05	0,75	0,00	0,50	0,05
5954	Ennepe-Ruhr-Kreis	0,35	0,00	0,55	0,05	0,35	0,00	0,50	0,05
5958	Hochsauerlandkreis	0,30	1,00	0,85	0,25	0,30	1,00	0,80	0,25
5962	Märkischer Kreis	0,60	0,00	1,00	0,20	0,60	0,00	0,95	0,20
5966	Olpe, Kreis	0,70	0,00	0,40	0,15	0,70	0,00	0,35	0,15
5970	Siegen-Wittgenstein, Kreis	0,50	0,00	0,70	0,15	0,50	0,00	0,65	0,15
5974	Soest, Kreis	0,60	0,00	0,55	0,40	0,60	0,00	0,50	0,40
5978	Unna, Kreis	0,60	0,00	0,20	0,30	0,60	0,00	0,15	0,30
6411	Darmstadt, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,70	0,40	1,00	0,00	0,65	0,40
6412	Frankfurt am Main, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,35	0,30	1,00	0,00	0,30	0,30
6413	Offenbach am Main, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,25	0,45	1,00	0,00	0,20	0,45
6414	Wiesbaden, Landeshauptstadt, Kreisfreie Stadt	0,70	0,00	0,35	0,65	0,70	0,00	0,30	0,65
6431	Bergstraße, Landkreis	0,60	0,00	0,25	0,30	0,60	0,00	0,20	0,30
6432	Darmstadt-Dieburg, Landkreis	0,10	0,00	0,20	0,40	0,10	0,00	0,15	0,40
6433	Groß-Gerau, Landkreis	0,65	1,00	0,20	0,10	0,65	1,00	0,15	0,10
6434	Hochtaunuskreis	0,35	0,00	0,35	0,45	0,35	0,00	0,30	0,45
6435	Main-Kinzig-Kreis	0,35	0,00	0,65	0,35	0,35	0,00	0,60	0,35
6436	Main-Taunus-Kreis	0,30	0,00	0,35	0,40	0,30	0,00	0,30	0,40
6437	Odenwaldkreis	1,00	0,00	0,40	0,75	1,00	0,00	0,35	0,75
6438	Offenbach, Landkreis	0,35	0,00	0,65	0,40	0,35	0,00	0,60	0,40
6439	Rheingau-Taunus-Kreis	0,50	0,00	0,55	0,65	0,50	0,00	0,50	0,65
6440	Wetteraukreis	0,45	0,00	0,50	0,25	0,45	0,00	0,45	0,25
6531	Gießen, Landkreis	0,60	0,20	0,60	0,40	0,60	0,20	0,55	0,40
6532	Lahn-Dill-Kreis	0,50	0,00	0,50	0,30	0,50	0,00	0,45	0,30
6533	Limburg-Weilburg, Landkreis	0,50	0,00	0,20	0,40	0,50	0,00	0,15	0,40
6534	Marburg-Biedenkopf, Landkreis	0,50	0,00	0,50	0,05	0,50	0,00	0,45	0,05
6535	Vogelsbergkreis	0,20	0,00	0,65	0,05	0,20	0,00	0,60	0,05
6611	Kassel, Kreisfreie Stadt	0,30	0,00	0,10	0,05	0,30	0,00	0,05	0,05
6631	Fulda, Landkreis	0,45	0,00	0,15	0,25	0,45	0,00	0,10	0,25
6632	Hersfeld-Rotenburg, Landkreis	0,60	0,00	0,05	0,15	0,60	0,00	0,00	0,15
6633	Kassel, Landkreis	0,40	0,00	0,20	0,25	0,40	0,00	0,15	0,25
6634	Schwalm-Eder-Kreis	0,35	0,00	1,00	0,40	0,35	0,00	1,00	0,40
6635	Waldeck-Frankenberg, Landkreis	0,50	0,00	0,15	0,00	0,50	0,00	0,10	0,00
6636	Werra-Meißner-Kreis	0,25	0,40	0,95	0,05	0,25	0,40	0,90	0,05
7111	Koblenz, Kreisfreie Stadt	0,80	0,80	0,30	0,10	0,80	0,80	0,25	0,10
7131	Ahrweiler, Landkreis	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,00	0,35	0,40
7132	Altenkirchen (Westerwald), Landkreis	0,15	0,00	0,25	0,15	0,15	0,00	0,20	0,15
7133	Bad Kreuznach, Landkreis	0,50	0,00	0,40	0,25	0,50	0,00	0,35	0,25
7134	Birkenfeld, Landkreis	1,00	0,00	0,55	0,40	1,00	0,00	0,50	0,40
7135	Cochem-Zell, Landkreis	0,80	0,00	0,75	0,15	0,80	0,00	0,70	0,15
7137	Mayen-Koblenz, Landkreis	0,45	1,00	0,15	0,05	0,45	1,00	0,10	0,05
7138	Neuwied, Landkreis	0,50	0,60	0,20	0,10	0,50	0,60	0,15	0,10
7140	Rhein-Hunsrück-Kreis	0,10	0,00	0,55	0,05	0,10	0,00	0,50	0,05
7141	Rhein-Lahn-Kreis	0,30	0,00	0,40	0,15	0,30	0,00	0,35	0,15
7143	Westerwaldkreis	0,70	0,00	0,55	0,15	0,70	0,00	0,50	0,15
7211	Trier, Kreisfreie Stadt	0,70	0,00	0,00	0,20	0,70	0,00	0,00	0,20
7231	Bernkastel-Wittlich, Landkreis	0,55	0,00	0,35	0,00	0,55	0,00	0,30	0,00
7232	Bitburg-Prüm, Landkreis	0,65	0,00	0,45	0,00	0,65	0,00	0,40	0,00
7233	Daun, Landkreis	0,50	0,00	0,45	0,25	0,50	0,00	0,40	0,25
7235	Trier-Saarburg, Landkreis	0,60	0,00	0,30	0,00	0,60	0,00	0,25	0,00
7311	Frankenthal (Pfalz), Kreisfreie Stadt	0,05	0,00	1,00	0,10	0,05	0,00	1,00	0,10

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)



Verkehrszelle		Potentialfaktoren							
		2010				2030			
		NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11
7312	Kaiserslautern, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,10	0,20	1,00	0,00	0,05	0,20
7313	Landau in der Pfalz, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,00	0,40	1,00	0,00	0,00	0,40
7314	Ludwigshafen am Rhein, Kreisfreie Stadt	0,20	0,00	0,00	0,05	0,20	0,00	0,00	0,05
7315	Mainz, Kreisfreie Stadt	0,25	0,40	0,35	0,30	0,25	0,40	0,30	0,30
7316	Neustadt an der Weinstraße, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,20	0,00	1,00	0,00	0,15	0,00
7317	Pirmasens, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,50	0,00	1,00	0,00	0,45	0,00
7318	Speyer, Kreisfreie Stadt	0,65	0,00	0,45	0,00	0,65	0,00	0,40	0,00
7319	Worms, Kreisfreie Stadt	0,20	0,00	0,15	0,25	0,20	0,00	0,10	0,25
7320	Zweibrücken, Kreisfreie Stadt	0,30	0,00	0,60	0,00	0,30	0,00	0,55	0,00
7331	Alzey-Worms, Landkreis	0,85	0,00	0,05	0,10	0,85	0,00	0,00	0,10
7332	Bad Dürkheim, Landkreis	0,10	0,00	0,40	0,15	0,10	0,00	0,35	0,15
7333	Donnersbergkreis	0,15	0,00	0,45	0,10	0,15	0,00	0,40	0,10
7334	Germersheim, Landkreis	0,45	0,00	0,30	0,15	0,45	0,00	0,25	0,15
7335	Kaiserslautern, Landkreis	0,10	0,00	0,45	0,05	0,10	0,00	0,40	0,05
7336	Kusel, Landkreis	0,85	0,00	0,25	0,10	0,85	0,00	0,20	0,10
7337	Südliche Weinstraße, Landkreis	0,20	0,00	0,40	0,15	0,20	0,00	0,35	0,15
7338	Ludwigshafen, Landkreis	0,25	0,00	0,25	0,05	0,25	0,00	0,20	0,05
7339	Mainz-Bingen, Landkreis	0,50	0,00	0,05	0,30	0,50	0,00	1,00	0,30
7340	Südwestpfalz, Landkreis	0,50	0,00	0,40	0,10	0,50	0,00	0,35	0,10
8111	Stuttgart, Landeshauptstadt, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,45	0,10	0,45	0,00	0,40	0,10
8115	Böblingen, Landkreis	0,85	0,00	0,65	0,30	0,85	0,00	0,60	0,30
8116	Esslingen, Landkreis	0,65	0,00	0,45	0,20	0,65	0,00	0,40	0,20
8117	Göppingen, Landkreis	0,10	0,00	0,45	0,45	0,10	0,00	0,40	0,45
8118	Ludwigsburg, Landkreis	0,65	0,00	0,40	0,40	0,65	0,00	0,35	0,40
8119	Rems-Murr-Kreis	0,35	0,00	0,50	0,40	0,35	0,00	0,45	0,40
8121	Heilbronn, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	1,00	0,30	0,35	0,00	1,00	0,30
8125	Heilbronn, Landkreis	0,10	0,00	0,40	0,20	0,10	0,00	0,35	0,20
8126	Hohenlohekreis	0,20	0,20	0,45	0,35	0,20	0,20	0,40	0,35
8127	Schwäbisch Hall, Landkreis	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	0,15	0,20
8128	Main-Tauber-Kreis	0,10	0,00	0,25	0,45	0,10	0,00	0,20	0,45
8135	Heidenheim, Landkreis	0,45	0,00	0,60	0,55	0,45	0,00	0,55	0,55
8136	Ostalbkreis	0,40	0,00	0,45	0,15	0,40	0,00	0,40	0,15
8211	Baden-Baden, Kreisfreie Stadt	0,75	0,00	0,10	0,40	0,75	0,00	0,05	0,40
8212	Karlsruhe, Kreisfreie Stadt	0,50	0,00	0,35	0,35	0,50	0,00	0,30	0,35
8215	Karlsruhe, Landkreis	0,35	0,00	0,45	0,40	0,35	0,00	0,40	0,40
8216	Rastatt, Landkreis	0,20	0,00	0,60	0,05	0,20	0,00	0,55	0,05
8221	Heidelberg, Kreisfreie Stadt	0,15	0,00	0,10	0,70	0,15	0,00	0,05	0,70
8222	Mannheim, Universitätsstadt, Kreisfreie Stadt	0,65	1,00	0,70	0,25	0,65	1,00	0,65	0,25
8225	Neckar-Odenwald-Kreis	0,15	0,00	0,55	0,10	0,15	0,00	0,50	0,10
8226	Rhein-Neckar-Kreis	0,65	0,10	0,30	0,20	0,65	0,10	0,25	0,20
8231	Pforzheim, Kreisfreie Stadt	0,05	0,00	0,25	0,20	0,05	0,00	0,20	0,20
8235	Calw, Landkreis	0,30	0,00	0,50	0,30	0,30	0,00	0,45	0,30
8236	Enzkreis	0,15	0,00	0,50	0,25	0,15	0,00	0,45	0,25
8237	Freudenstadt, Landkreis	0,55	0,00	0,35	0,65	0,55	0,00	0,30	0,65
8311	Freiburg im Breisgau, Kreisfreie Stadt	0,65	0,00	0,35	0,60	0,65	0,00	0,30	0,60
8315	Breisgau-Hochschwarzwald, Landkreis	0,70	0,00	1,00	0,25	0,70	0,00	1,00	0,25
8316	Emmendingen, Landkreis	0,90	0,00	0,25	0,25	0,90	0,00	0,20	0,25
8317	Ortenaukreis	0,90	0,00	0,35	0,15	0,90	0,00	0,30	0,15
8325	Rottweil, Landkreis	0,45	0,00	0,50	0,20	0,45	0,00	0,45	0,20
8326	Schwarzwald-Baar-Kreis	0,35	0,00	0,50	0,40	0,35	0,00	0,45	0,40
8327	Tuttlingen, Landkreis	0,30	0,00	0,25	0,20	0,30	0,00	0,20	0,20
8335	Konstanz, Landkreis	0,25	0,10	0,10	0,40	0,25	0,10	0,05	0,40
8336	Lörrach, Landkreis	0,20	0,00	0,45	0,30	0,20	0,00	0,40	0,30
8337	Waldshut, Landkreis	0,90	0,00	0,25	0,15	0,90	0,00	0,20	0,15
8415	Reutlingen, Landkreis	0,85	0,00	0,55	0,25	0,85	0,00	0,50	0,25
8416	Tübingen, Landkreis	0,85	0,00	0,60	0,15	0,85	0,00	0,55	0,15
8417	Zollernalbkreis	0,50	0,00	0,40	0,35	0,50	0,00	0,35	0,35
8421	Ulm, Universitätsstadt, Kreisfreie Stadt	0,85	0,00	0,30	0,15	0,85	0,00	0,25	0,15
8425	Alb-Donau-Kreis	0,15	0,00	0,65	0,20	0,15	0,00	0,60	0,20

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

 LU:W DAIMLER

Verkehrszelle	Potentialfaktoren								
	2010				2030				
	NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11	
8426	Biberach, Landkreis	0,50	0,00	0,05	0,75	0,50	0,00	0,00	0,75
8435	Bodenseekreis	0,55	0,00	1,00	0,35	0,55	0,00	1,00	0,35
8436	Ravensburg, Landkreis	0,70	0,00	0,20	0,05	0,70	0,00	0,15	0,05
8437	Sigmaringen, Landkreis	0,30	0,00	0,60	0,05	0,30	0,00	0,55	0,05
9161	Ingolstadt, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,35	0,00	0,45	0,00	0,30	0,00
9162	München, Landeshauptstadt, Kreisfreie Stadt	0,50	0,00	0,95	0,30	0,50	0,00	0,90	0,30
9163	Rosenheim, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	0,40	0,90	0,35	0,00	0,35	0,90
9171	Altötting, Landkreis	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
9172	Berchtesgadener Land, Landkreis	0,50	0,00	0,65	0,15	0,50	0,00	0,60	0,15
9173	Bad Tölz-Wolfratshausen, Landkreis	0,25	0,00	1,00	0,45	0,25	0,00	1,00	0,45
9174	Dachau, Landkreis	0,10	0,40	0,45	0,50	0,10	0,40	0,40	0,50
9175	Ebersberg, Landkreis	0,70	0,00	0,60	0,65	0,70	0,00	0,55	0,65
9176	Eichstätt, Landkreis	0,95	0,00	0,15	0,25	0,95	0,00	0,10	0,25
9177	Erding, Landkreis	0,20	0,00	0,95	0,35	0,20	0,00	0,90	0,35
9178	Freising, Landkreis	0,35	0,00	0,50	0,10	0,35	0,00	0,45	0,10
9179	Fürstenfeldbruck, Landkreis	0,75	0,00	0,70	1,00	0,75	0,00	0,65	1,00
9180	Garmisch-Partenkirchen, Landkreis	0,20	0,00	0,45	0,20	0,20	0,00	0,40	0,20
9181	Landsberg a. Lech, Landkreis	0,50	0,00	0,95	0,35	0,50	0,00	0,90	0,35
9182	Miesbach, Landkreis	0,70	0,00	0,20	0,45	0,70	0,00	0,15	0,45
9183	Mühldorf a. Inn, Landkreis	0,20	0,00	0,40	0,10	0,20	0,00	0,35	0,10
9184	München, Landkreis	1,00	0,00	0,35	0,45	1,00	0,00	0,30	0,45
9185	Neuburg-Schrobenhausen, Landkreis	0,20	0,00	0,40	0,10	0,20	0,00	0,35	0,10
9186	Pfaffenhofen a.d. Ilm, Landkreis	0,25	0,00	0,40	0,05	0,25	0,00	0,35	0,05
9187	Rosenheim, Landkreis	0,30	0,00	0,20	0,35	0,30	0,00	0,15	0,35
9188	Starnberg, Landkreis	0,85	0,00	0,35	1,00	0,85	0,00	0,30	1,00
9189	Traunstein, Landkreis	0,50	0,00	0,40	1,00	0,50	0,00	0,35	1,00
9190	Weilheim-Schongau, Landkreis	0,40	0,00	0,00	0,10	0,40	0,00	0,00	0,10
9261	Landshut, Kreisfreie Stadt	0,95	0,00	0,00	0,60	0,95	0,00	0,00	0,60
9262	Passau, Kreisfreie Stadt	0,15	0,00	0,00	0,10	0,15	0,00	0,00	0,10
9263	Straubing, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,00	0,25	0,45	0,00	0,00	0,25
9271	Deggendorf, Landkreis	0,10	0,00	0,65	0,10	0,10	0,00	0,60	0,10
9272	Freyung-Grafenau, Landkreis	0,20	0,00	0,50	0,30	0,20	0,00	0,45	0,30
9273	Kelheim, Landkreis	0,10	0,00	0,40	0,20	0,10	0,00	0,35	0,20
9274	Landshut, Landkreis	0,40	0,00	0,00	0,75	0,40	0,00	0,00	0,75
9275	Passau, Landkreis	0,60	0,00	0,25	0,10	0,60	0,00	0,20	0,10
9276	Regen, Landkreis	0,05	0,00	0,05	0,45	0,05	0,00	0,00	0,45
9277	Rottal-Inn, Landkreis	0,50	0,00	1,00	0,20	0,50	0,00	1,00	0,20
9278	Straubing-Bogen, Landkreis	0,55	0,00	0,45	0,10	0,55	0,00	0,40	0,10
9279	Dingolfing-Landau, Landkreis	0,30	0,00	0,00	0,05	0,30	0,00	0,00	0,05
9361	Amberg, Kreisfreie Stadt	0,05	0,00	0,50	0,00	0,05	0,00	0,45	0,00
9362	Regensburg, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	0,00	0,50	0,35	0,00	0,00	0,50
9363	Weiden i.d.OPf., Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,15	0,10	1,00	0,00	0,10	0,10
9371	Amberg-Sulzbach, Landkreis	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9372	Cham, Landkreis	0,55	0,00	0,30	0,85	0,55	0,00	0,25	0,85
9373	Neumarkt i.d.OPf., Landkreis	0,90	0,00	0,35	0,30	0,90	0,00	0,30	0,30
9374	Neustadt a.d.Waldnaab, Landkreis	0,25	0,00	0,85	0,20	0,25	0,00	0,80	0,20
9375	Regensburg, Landkreis	0,20	0,00	0,25	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00
9376	Schwandorf, Landkreis	0,45	0,00	0,35	0,35	0,45	0,00	0,30	0,35
9377	Tirschenreuth, Landkreis	0,75	0,00	0,45	0,00	0,75	0,00	0,40	0,00
9461	Bamberg, Kreisfreie Stadt	0,60	0,00	0,35	0,15	0,60	0,00	0,30	0,15
9462	Bayreuth, Kreisfreie Stadt	0,05	0,00	0,00	0,15	0,05	0,00	0,00	0,15
9463	Coburg, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	0,65	0,05	0,35	0,00	0,60	0,05
9464	Hof, Kreisfreie Stadt	0,65	0,00	0,05	0,25	0,65	0,00	0,00	0,25
9471	Bamberg, Landkreis	0,40	0,00	0,25	0,20	0,40	0,00	0,20	0,20
9472	Bayreuth, Landkreis	0,20	0,00	1,00	0,10	0,20	0,00	1,00	0,10
9473	Coburg, Landkreis	0,40	0,00	0,55	0,00	0,40	0,00	0,50	0,00
9474	Forchheim, Landkreis	0,40	0,00	0,45	0,15	0,40	0,00	0,40	0,15
9475	Hof, Landkreis	0,25	0,00	0,70	0,00	0,25	0,00	0,65	0,00
9476	Kronach, Landkreis	0,40	0,00	0,50	0,20	0,40	0,00	0,45	0,20

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

 DAIMLER

Verkehrszelle		Potentialfaktoren							
		2010				2030			
		NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11
9477	Kulmbach, Landkreis	0,70	0,00	0,10	0,10	0,70	0,00	0,05	0,10
9478	Lichtenfels, Landkreis	0,30	0,00	0,05	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00
9479	Wunsiedel i.Fichtelgebirge, Landkreis	0,15	0,00	0,35	0,60	0,15	0,00	0,30	0,60
9561	Ansbach, Kreisfreie Stadt	0,65	0,00	0,60	0,00	0,65	0,00	0,55	0,00
9562	Erlangen, Kreisfreie Stadt	0,60	0,00	0,25	0,00	0,60	0,00	0,20	0,00
9563	Fürth, Kreisfreie Stadt	1,00	0,00	0,35	0,05	1,00	0,00	0,30	0,05
9564	Nürnberg, Kreisfreie Stadt	0,55	0,00	0,30	0,20	0,55	0,00	0,25	0,20
9565	Schwabach, Kreisfreie Stadt	0,40	0,00	0,35	0,20	0,40	0,00	0,30	0,20
9571	Ansbach, Landkreis	0,45	0,00	0,25	0,10	0,45	0,00	0,20	0,10
9572	Erlangen-Höchstädt, Landkreis	0,20	0,00	0,05	0,05	0,20	0,00	0,00	0,05
9573	Fürth, Landkreis	0,05	0,00	0,45	0,35	0,05	0,00	0,40	0,35
9574	Nürnberger Land, Landkreis	0,50	0,00	0,55	0,25	0,50	0,00	0,50	0,25
9575	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim, Landkreis	0,60	0,00	0,25	0,00	0,60	0,00	0,20	0,00
9576	Roth, Landkreis	0,45	0,00	0,65	0,10	0,45	0,00	0,60	0,10
9577	Weißenburg-Gunzenhausen, Landkreis	0,20	0,00	0,30	0,05	0,20	0,00	0,25	0,05
9661	Aschaffenburg, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	0,25	0,05	0,35	0,00	0,20	0,05
9662	Schweinfurt, Kreisfreie Stadt	0,10	0,00	0,30	0,00	0,10	0,00	0,25	0,00
9663	Würzburg, Kreisfreie Stadt	0,75	0,00	0,65	0,00	0,75	0,00	0,60	0,00
9671	Aschaffenburg, Landkreis	0,30	0,00	0,30	0,10	0,30	0,00	0,25	0,10
9672	Bad Kissingen, Landkreis	0,70	0,00	0,60	0,00	0,70	0,00	0,55	0,00
9673	Rhön-Grabfeld, Landkreis	0,40	0,00	0,00	0,50	0,40	0,00	0,00	0,50
9674	Haßberge, Landkreis	0,20	0,00	0,95	0,35	0,20	0,00	0,90	0,35
9675	Kitzingen, Landkreis	1,00	0,00	0,20	0,55	1,00	0,00	0,15	0,55
9676	Miltenberg, Landkreis	0,40	0,00	0,25	0,55	0,40	0,00	0,20	0,55
9677	Main-Spessart, Landkreis	0,85	0,00	0,90	1,00	0,85	0,00	0,85	1,00
9678	Schweinfurt, Landkreis	0,30	0,00	0,95	1,00	0,30	0,00	0,90	1,00
9679	Würzburg, Landkreis	0,30	0,00	0,40	0,25	0,30	0,00	0,35	0,25
9761	Augsburg, Kreisfreie Stadt	0,80	0,00	0,50	0,15	0,80	0,00	0,45	0,15
9762	Kaufbeuren, Kreisfreie Stadt	0,00	0,00	0,55	0,45	0,00	0,00	0,50	0,45
9763	Kempten (Allgäu), Kreisfreie Stadt	0,75	0,00	0,80	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00
9764	Memmingen, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,20	0,50	0,45	0,00	0,15	0,50
9771	Aichach-Friedberg, Landkreis	0,35	0,00	0,95	0,15	0,35	0,00	0,90	0,15
9772	Augsburg, Landkreis	0,70	0,00	0,25	0,55	0,70	0,00	0,20	0,55
9773	Dillingen a.d.Donau, Landkreis	0,15	0,00	0,35	0,45	0,15	0,00	0,30	0,45
9774	Günzburg, Landkreis	0,40	0,00	0,20	0,15	0,40	0,00	0,15	0,15
9775	Neu-Ulm, Landkreis	0,70	0,00	0,70	0,70	0,70	0,00	0,65	0,70
9776	Lindau (Bodensee), Landkreis	1,00	0,00	0,65	0,20	1,00	0,00	0,60	0,20
9777	Ostallgäu, Landkreis	0,30	0,00	0,30	0,25	0,30	0,00	0,25	0,25
9778	Unterallgäu, Landkreis	0,30	0,00	0,95	0,05	0,30	0,00	0,90	0,05
9779	Donau-Ries, Landkreis	0,70	0,00	0,40	0,05	0,70	0,00	0,35	0,05
9780	Oberallgäu, Landkreis	0,60	0,00	0,60	0,40	0,60	0,00	0,55	0,40
10041	Saarbrücken, Stadtverband	0,20	0,00	0,65	0,10	0,20	0,00	0,60	0,10
10042	Merzig-Wadern, Landkreis	0,50	0,00	0,85	0,00	0,50	0,00	0,80	0,00
10043	Neunkirchen, Landkreis	0,35	0,00	0,20	0,00	0,35	0,00	0,15	0,00
10044	Saarlouis, Landkreis	0,95	0,00	0,45	0,00	0,95	0,00	0,40	0,00
10045	Saarpfalz-Kreis	0,55	0,00	0,00	0,15	0,55	0,00	0,00	0,15
10046	St. Wendel, Landkreis	0,25	0,00	1,00	0,00	0,25	0,00	1,00	0,00
11000	Stadt Berlin	0,45	0,05	0,50	0,35	0,45	0,05	0,45	0,35
12051	Brandenburg an der Havel, Kreisfreie Stadt	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00
12052	Cottbus, Kreisfreie Stadt	0,15	0,00	0,00	0,05	0,15	0,00	0,00	0,05
12053	Frankfurt (Oder), Kreisfreie Stadt	0,00	0,00	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25
12054	Potsdam, Kreisfreie Stadt	0,30	0,00	0,00	0,20	0,30	0,00	0,00	0,20
12060	Barnim, Landkreis	0,45	0,00	0,85	0,10	0,45	0,00	0,80	0,10
12061	Dahme-Spreewald, Landkreis	0,45	0,00	0,30	0,15	0,45	0,00	0,25	0,15
12062	Elbe-Elster, Landkreis	0,20	0,00	0,70	0,15	0,20	0,00	0,65	0,15
12063	Havelland, Landkreis	0,05	0,00	0,55	1,00	0,05	0,00	0,50	1,00
12064	Märkisch-Oderland, Landkreis	0,65	0,00	0,50	0,10	0,65	0,00	0,45	0,10
12065	Oberhavel, Landkreis	0,35	0,00	0,15	0,10	0,35	0,00	0,10	0,10
12066	Oberspreewald-Lausitz, Landkreis	0,30	0,00	0,05	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

 DAIMLER

Verkehrszelle	Potentialfaktoren								
	2010				2030				
	NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11	
12067	Oder-Spree, Landkreis	0,40	0,00	0,10	0,10	0,40	0,00	0,05	0,10
12068	Ostprignitz-Ruppin, Landkreis	0,30	0,00	0,60	0,05	0,30	0,00	0,55	0,05
12069	Potsdam-Mittelmark, Landkreis	0,45	0,00	0,20	0,20	0,45	0,00	0,15	0,20
12070	Prignitz, Landkreis	0,40	0,00	0,10	0,00	0,40	0,00	0,05	0,00
12071	Spree-Neiße, Landkreis	0,40	0,00	0,15	0,10	0,40	0,00	0,10	0,10
12072	Teltow-Fläming, Landkreis	1,00	0,00	0,75	0,20	1,00	0,00	0,70	0,20
12073	Uckermark, Landkreis	0,25	0,00	0,10	0,05	0,25	0,00	0,05	0,05
13001	Greifswald, Kreisfreie Stadt	0,90	0,00	0,70	0,25	0,90	0,00	0,65	0,25
13002	Neubrandenburg, Kreisfreie Stadt	0,50	0,00	0,60	0,05	0,50	0,00	0,55	0,05
13003	Rostock, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	0,05	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
13004	Schwerin, Kreisfreie Stadt	0,35	0,00	0,75	0,00	0,35	0,00	0,70	0,00
13005	Stralsund, Kreisfreie Stadt	0,45	0,00	0,95	0,00	0,45	0,00	0,90	0,00
13006	Wismar, Kreisfreie Stadt	0,25	0,00	0,55	0,10	0,25	0,00	0,50	0,10
13051	Bad Doberan, Kreis	0,55	0,00	0,20	0,05	0,55	0,00	0,00	0,05
13052	Demmin, Kreis	0,50	0,00	0,60	0,05	0,50	0,00	0,65	0,05
13053	Güstrow, Kreis	0,55	0,00	0,20	0,05	0,55	0,00	0,15	0,05
13054	Ludwigslust, Kreis	0,50	0,60	0,30	0,20	0,50	0,60	0,25	0,20
13055	Mecklenburg-Strelitz, Kreis	0,50	0,00	0,60	0,05	0,50	0,00	0,55	0,05
13056	Müritz, Kreis	0,50	0,00	0,60	0,05	0,50	0,00	0,55	0,05
13057	Nordvorpommern, Kreis	0,45	0,00	0,95	0,00	0,45	0,00	0,90	0,00
13058	Nordwestmecklenburg, Kreis	0,25	0,00	0,55	0,10	0,25	0,00	0,50	0,10
13059	Ostvorpommern, Kreis	0,90	0,00	0,70	0,25	0,90	0,00	0,65	0,25
13060	Parchim, Kreis	0,50	0,60	0,30	0,20	0,50	0,60	0,25	0,20
13061	Rügen, Kreis	0,45	0,00	0,95	0,00	0,45	0,00	0,90	0,00
13062	Uecker-Randow	0,90	0,00	0,70	0,25	0,90	0,00	0,65	0,25
13118	Seehafen Wismar	0,25	0,00	0,55	0,10	0,25	0,00	0,50	0,10
13128	Seehafen Rostock	0,35	0,00	0,05	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00
13138	Seehafen Stralsund	0,45	0,00	0,95	0,00	0,45	0,00	0,90	0,00
13148	Seehafen Sassnitz-Mukran	0,45	0,00	0,95	0,00	0,45	0,00	0,90	0,00
14511	Chemnitz, Stadt	0,25	0,00	0,10	0,05	0,25	0,00	0,05	0,05
14521	Erzgebirgskreis	0,20	0,40	0,35	0,05	0,20	0,40	0,30	0,05
14522	Mittelsachsen	0,55	0,20	0,30	0,20	0,55	0,20	0,25	0,20
14523	Vogtlandkreis	0,30	0,00	0,35	0,20	0,30	0,00	0,30	0,20
14524	Zwickau	0,25	0,00	0,50	0,00	0,25	0,00	0,45	0,00
14612	Dresden, Stadt	0,30	0,00	0,50	0,75	0,30	0,00	0,45	0,75
14625	Bautzen	0,50	1,00	0,60	0,15	0,50	1,00	0,55	0,15
14626	Görlitz	0,90	0,00	0,30	0,05	0,90	0,00	0,25	0,05
14627	Meißen	0,30	0,00	0,15	0,40	0,30	0,00	0,10	0,40
14628	Sächsische Schweiz-Osterzgebirge	0,40	0,00	0,50	0,55	0,40	0,00	0,45	0,55
14713	Leipzig, Stadt	0,55	0,00	0,30	0,10	0,55	0,00	0,25	0,10
14729	Leipzig	0,65	0,00	0,25	0,10	0,65	0,00	0,20	0,10
14730	Nordsachsen	0,55	0,00	0,30	0,05	0,55	0,00	0,25	0,05
15001	Dessau-Roßlau, Stadt	0,30	0,00	0,55	0,00	0,30	0,00	0,50	0,00
15002	Halle (Saale), Stadt	0,90	0,00	0,35	0,05	0,90	0,00	0,30	0,05
15003	Magdeburg, Landeshauptstadt	0,60	0,00	0,15	0,00	0,60	0,00	0,10	0,00
15081	Altmarkkreis Salzwedel	0,90	0,00	0,55	0,00	0,90	0,00	0,50	0,00
15082	Anhalt-Bitterfeld	0,20	0,00	0,35	0,10	0,20	0,00	0,30	0,10
15083	Börde	0,25	0,00	0,50	0,10	0,25	0,00	0,45	0,10
15084	Burgenlandkreis	0,25	0,00	0,55	0,00	0,25	0,00	0,50	0,00
15085	Harz	0,35	0,00	0,30	0,10	0,35	0,00	0,25	0,10
15086	Jerichower Land	0,45	0,00	0,20	0,20	0,45	0,00	0,15	0,20
15087	Mansfeld-Südharz	0,60	0,00	1,00	0,15	0,60	0,00	1,00	0,15
15088	Saalekreis	0,20	1,00	0,30	0,10	0,20	1,00	0,25	0,10
15089	Salzlandkreis	0,70	0,00	0,35	0,10	0,70	0,00	0,30	0,10
15090	Stendal	0,40	1,00	0,10	0,10	0,40	1,00	0,05	0,10
15091	Wittenberg	0,30	0,00	0,20	0,15	0,30	0,00	0,15	0,15
16051	Erfurt, Landeshauptstadt	0,65	0,00	0,20	0,30	0,65	0,00	0,15	0,30
16052	Gera, Stadtkreis	0,90	0,00	0,15	0,50	0,90	0,00	0,10	0,50
16053	Jena, Stadtkreis	0,60	0,00	0,25	1,00	0,60	0,00	0,20	1,00

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

Verkehrszelle	Potentialfaktoren							
	2010				2030			
	NST04	NST06	NST08	NST11	NST04	NST06	NST08	NST11
16054 Suhl, Stadtkreis	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,15
16055 Weimar, Stadtkreis	0,40	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00
16056 Eisenach, Stadtkreis	0,15	0,00	0,15	0,05	0,15	0,00	0,10	0,05
16061 Eichsfeld, Kreis	0,60	0,00	0,25	0,00	0,60	0,00	0,20	0,00
16062 Nordhausen, Kreis	0,80	0,00	0,25	0,00	0,80	0,00	0,20	0,00
16063 Wartburgkreis	0,15	0,00	0,25	0,30	0,15	0,00	0,20	0,30
16064 Unstrut-Hainich-Kreis	0,30	0,00	0,40	0,00	0,30	0,00	0,35	0,00
16065 Kyffhäuserkreis	0,30	0,00	0,30	0,15	0,30	0,00	0,25	0,15
16066 Schmalkalden-Meiningen, Kreis	0,60	0,00	0,65	0,35	0,60	0,00	0,60	0,35
16067 Gotha, Kreis	0,20	0,00	0,30	0,05	0,20	0,00	0,25	0,05
16068 Sömmerda, Kreis	0,70	0,00	0,25	0,20	0,70	0,00	0,20	0,20
16069 Hildburghausen, Kreis	0,00	0,00	0,60	0,20	0,00	0,00	0,55	0,20
16070 Ilm-Kreis, Kreis	0,40	0,00	0,50	0,15	0,40	0,00	0,45	0,15
16071 Weimarer Land, Kreis	0,45	0,00	0,65	0,35	0,45	0,00	0,60	0,35
16072 Sonneberg, Kreis	0,05	0,00	0,35	0,25	0,05	0,00	0,30	0,25
16073 Saalfeld-Rudolstadt, Kreis	0,30	0,00	0,50	0,25	0,30	0,00	0,45	0,25
16074 Saale-Holzland-Kreis	0,45	0,00	0,30	0,50	0,45	0,00	0,25	0,50
16075 Saale-Orla-Kreis	0,65	0,00	0,60	0,45	0,65	0,00	0,55	0,45
16076 Greiz, Kreis	0,15	0,00	0,45	0,05	0,15	0,00	0,40	0,05
16077 Altenburger Land, Kreis	0,40	0,00	0,55	0,30	0,40	0,00	0,50	0,30

LUBW DAIMLER

## 10.5 SENDUNGSDATEN DER DAIMLER-RELATIONEN

In diesem Kapitel wird die Auswertung der von der Daimler AG zur Verfügung gestellten Sendungsdaten hinsichtlich der logistischen Parameter der Relationen detailliert beschrieben. Die Analyse basiert auf Daten von insgesamt elf Relationen in die Werke Bremen<sup>59</sup>, Sindelfingen und Rastatt, auf denen im Rahmen des Feldversuchs Lang-Lkw eingesetzt wurden. Besonderes Augenmerk wurde auf die unmittelbare Gegenüberstellung des Einsatzes der Lang-Lkw im Vergleich zu konventionellen Lkw auf derselben Relation gelegt.

Auf jeder Relation fanden üblicherweise fünf Rundläufe je Woche (entsprechend zwei Fahrten pro Arbeitstag) statt, wovon im Einzelfall auch abgewichen wurde. Die Sendungsdaten enthielten für jede Fahrt Angaben zum jeweiligen Transportmittel sowie dem Sendungsgewicht und -volumen (siehe Tabelle 43).

Tabelle 43: Angaben zu den einzelnen Fahrten am Beispiel Treuen – Sindelfingen (Auszug)

Erfassungsdatum	Lkw-Typ	Sendungsgewicht [kg]	Volumen [m³]	Lademeter [m]	Gewichtsauslastung [%]	Volumenauslastung [%]	Lademeterauslastung [%]	Ladungsdichte [kg/m³]
16.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	14.682	155,8	20,00	84	100	94	94,3
16.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.631	142,5	20,18	98	91	95	116,7
17.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.430	149,9	20,68	97	96	97	109,6
17.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.991	145,5	20,18	100	93	95	116,8
18.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	15.086	145,5	20,18	89	93	95	103,7
18.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	15.651	138,2	19,18	92	88	90	113,2
21.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.828	155,8	20,68	99	100	97	108,0
21.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.411	139,6	19,48	97	89	92	117,5
22.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.430	149,9	20,68	97	96	97	109,6
22.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	13.710	135,3	18,68	81	86	88	101,3
23.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.404	149,9	20,68	96	96	97	109,4
23.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.651	145,4	20,38	98	93	96	114,5
24.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.858	155,8	20,68	97	100	97	108,2
24.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.245	148,4	20,98	96	95	99	109,5
29.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.901	155,8	21,18	99	100	100	108,5
29.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	14.261	116,2	16,18	84	74	76	122,7
30.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.162	149,9	20,68	93	96	97	107,8
30.03.2016	Lang-Lkw Typ 3	16.141	132,3	18,48	95	84	87	122,0

LUBW DAIMLER

Weitere Daten, die von den Spediteuren zur Verfügung gestellt wurden, umfassen die technische Spezifikation der eingesetzten Lang-Lkw und konventionellen Lkw wie Leergewicht, Fahrzeugtyp und Achszahl (siehe Tabelle 44) sowie die jeweilige Streckenführung (siehe Abbildung 27). Die Streckenführung für konventionelle Lkw verläuft im dargestellten Fall von Heilbronn über die A6 und Nürnberg, während die Lang-Lkw aufgrund der Nicht-Freigabe des Abschnitts Heilbronn – Feuchtwangen ca. 20 km Umweg (5%) über Würzburg und Bamberg in Kauf nehmen müssen. Das aktuelle Positivnetz und ggf. abweichende Transportrouten der Lang-Lkw werden somit durch die Betrachtung der jeweils tatsächlich gefahrenen Strecke berücksichtigt.

<sup>59</sup> Inklusive Teileversand über BLG in Bremen



Tabelle 44: Beispielhafte Angaben zu den technischen Spezifikationen der eingesetzten Lang-Lkw (Bilder: BAST)

Lang-LKW - Equipment 1									
<input type="checkbox"/>	Kurz - Lang (Typ 3)							Motorleistung in KW	330 KW
<input type="checkbox"/>	Lang - Kurz (Typ 2)							Euro-Norm	Euro 6
							Predictive Powertrain Control	Ja	
		Kennzeichen	Hersteller	Eigengewicht in kg	Nutzlast in kg	Innenlänge in m	Innenhöhe in m	Innenbreite in m	
1. Zugmaschine:		BA - E 6525	Mercedes-Benz						
2. Aufbau (WAB) Zugmaschine/ Zentralachsanhänger:		BA - E 9645	Kotschenreuther						
3. Megatrailer (inkl. Niederflerkupplung):		BA - E 9533	Kotschenreuther			13,60	3,00	2,48	
Dollyachse:									
Summe Gewicht Equipment:				21.720					
Zulässiges Gesamtgewicht:				40.000					
Nutzlast:				18.280					
Anzahl Achsen der gesamten Kombination:		6							
Lang-LKW - Equipment 2									
<input type="checkbox"/>	Kurz - Lang (Typ 3)							Motorleistung in KW	310 / 330 KW
<input type="checkbox"/>	Lang - Kurz (Typ 2)							Euro-Norm	Euro 6
							Predictive Powertrain Control	Ja	
		Kennzeichen	Hersteller	Eigengewicht in kg	Nutzlast in kg	Innenlänge in m	Innenhöhe in m	Innenbreite in m	
1. Zugmaschine:		BA-E 6647	Mercedes-Benz						
2. Aufbau (WAB) Zugmaschine/ Zentralachsanhänger:									
3. Megatrailer (inkl. Niederflerkupplung):		BA-E 9583	Kotschenreuther			13,60	3,00	2,48	
Dollyachse:		BA-E 9743	Fliegl						
Summe Gewicht Equipment:				20.920					
Zulässiges Gesamtgewicht:				40.000					
Nutzlast:				19.080					
Anzahl Achsen der gesamten Kombination:		6							

LUBW DAIMLER

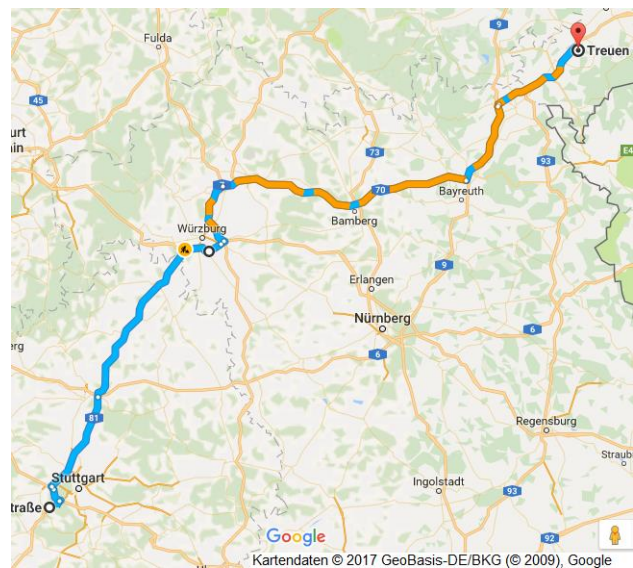
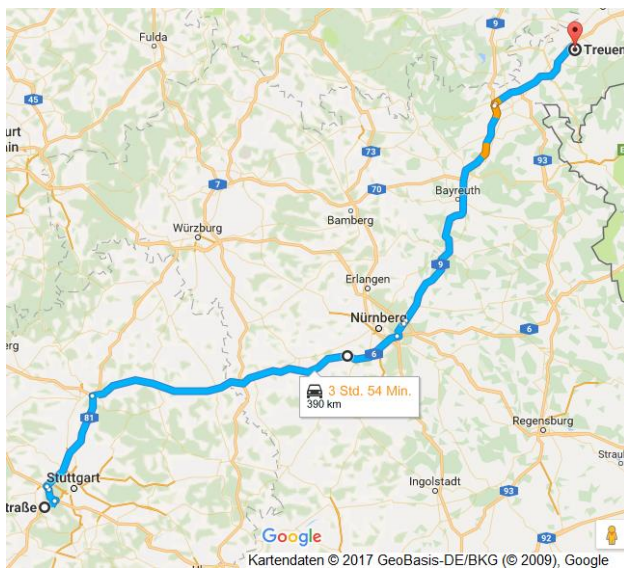


Abbildung 27: Routenführung konventioneller Lkw (links) und Lang-Lkw (rechts) am Beispiel Treuen – Sindelfingen

Die erhaltenen Rohdaten wurden statistisch ausgewertet und in diesem Zuge auf Plausibilität geprüft. Einzelne unplausible Datensätze (z. B. stark abweichende Ladungsdichte oder zu hohe und damit unzulässige Gewichts- und/oder Volumenangaben) wurden von der weiteren Datenauswertung ausgeschlossen. Bei einer größeren Anzahl an unplausiblen Datensätzen erfolgte eine Rücksprache mit der Logistikabteilung von Daimler, in dessen Zuge auftretende Unstimmigkeiten geklärt wurden.

Entsprechend der Auswertung der Beispielrelation Bautzen – Rastatt sind in Tabelle 45 die wesentlichen Kenngrößen für die auf den elf ausgewerteten Relationen eingesetzten Lang-Lkw zusammengefasst. Über

alle Ein- und Ausgangsfahrten weisen die Lang-Lkw eine volumenbezogene Auslastung von durchschnittlich 89% bei einer mittleren Zuladung von 13,7 t auf. Umwegverkehre ergeben sich lediglich für zwei Relationen. Die jeweilige Streckenverlängerung beträgt 2% (Bautzen – Rastatt) bzw. 5% (Treuen – Sindelfingen). Werden die untersuchten Verkehre auf ein Jahr hochgerechnet, ergeben sich über 5.400 Fahrten mit knapp 76.000 t Ladung.

Tabelle 45: Übersicht über die Auswertung aller Fahrtdaten der Lang-Lkw aller Daimler-Relationen im Rundlauf

Relation	Transportiertes Gut	Datenerfassungsdauer	Fzg. typ	Anzahl Achsen	Streckenlänge Rundlauf [km]	Umwegverkehr [km]	Mittl. Ladevolumen [m³]	Vol.-auslastung [%]	mittlere Zuladung [t]	Masenauslastung [%]	Ladungsdichte [kg/m³]	Anzahl Fahrten/ a* [#]	Transportierte Menge* [t/a]
Schönfels - BLG Bremen	SCR-Tanks	2 Monate	2	6	922	-	127,4	81%	8,75	44%	68,7	324	2.833
Schönfels - Werk Bremen	SCR-Tanks	5 Monate	3	8	934	-	150,8	96%	11,7	75%	77,6	448	5.242
Schmölln - Werk Bremen	Querträger	5 Wochen	2 / 3	6	900	-	154,4	98%	15,1	83%	97,9	960	14.534
Bautzen - Werk + BLG Bremen	Abdeckung Radlauf	21 Monate	2	7	1.058	-	114,2	73%	13,4	74%	117,2	316	4.231
Landau - Sindelfingen	Gehäuse Mittelkonsole	4 Monate	3	8	680	-	133,3	85%	16,1	92%	121,1	442	7.125
Plattling - Sindelfingen	Verkleidung A-/C-Säule, Radeinbau	9 Monate	3	8	702	-	150,1	96%	13,7	77%	91	388	5.301
Fulda - Werk Bremen	Rohbau Seitenwand	2 Monate	2	7	754	-	125,0	80%	9,8	51%	78,2	406	3.968
Bautzen - Sindelfingen	Motorabdeckungen, Radlaufverkleidungen	6 Monate	3	8	1.210	-	113,6	72%	15,2	87%	133,5	466	7.072
Treuen - Sindelfingen	Verkleidung Fensterrahmen etc.	13 Monate	3	6	840	+40 (+5%)	139,0	89%	16,0	84%	114,8	401	6.399
Schmölln - Sindelfingen	Querträger	5 Wochen	3	6	960	-	153,2	98%	15,0	79%	98,0	480	7.210
Bautzen - Rastatt	Abdeckungen, Luftkanal, Blenden etc.	12 Monate	3	6 / 7	1.330	+30 (+2%)	147,5	94%	14,4	78%	97,8	825	11.891
<b>Mittelwert (arithmet.)</b>		Ø 7 Mon.		6 – 8	Ø 935	0-5%	Ø 139	Ø 89%	Ø 13,7	Ø 75%	Ø 99,3	Ø 420 Σ 5.456	Ø 5.831 Σ 75.806

\* auf ein Kalenderjahr hochgerechnet

LUBW DAIMLER

Während für die Lang-Lkw je Relation und Richtung zwischen 24 und 289 Datensätze zur Verfügung standen, war die Datenlage bei konventionellen Lkw heterogener. Dies liegt darin begründet, dass auf den betrachteten Relationen die konventionellen Lkw als sogenannte Überhang- oder Ersatzfahrzeuge zum Einsatz kamen, d. h. ein konventioneller Lkw fuhr entweder nur dann, wenn zusätzliche Gütermengen zu transportieren waren oder ein Lang-Lkw nicht zur Verfügung stand. In vier Fällen gab es auch die Situation, dass auf der jeweiligen Relation von den konventionellen Lkw nicht durchgängig Rundläufe durchgeführt wurden. In drei Fällen (Bautzen – Werk + BLG Bremen, Bautzen – Sindelfingen, Treuen – Sindelfingen) wurden mehrheitlich Eingangsfahrten durchgeführt, d. h. nach Ablieferung der Ware im Werk wurde das Fahrzeug für andere Transporte und/oder Relationen genutzt. In einem Fall (Schönfels – Werk Bremen) ergab sich der umgekehrte Fall, d. h. es wurden wesentlich mehr Ausgangs- als Eingangsfahrten durchgeführt, auf denen leere Teileträger transportiert wurden. So standen für die konventionellen Lkw je nach Relation und Rich-



tung Daten von 12 – 425 Fahrten zur Verfügung, für drei Relationen (Schönfels – BLG Bremen, Schmölln – Werk Bremen und Landau – Sindelfingen) waren keine Daten für konventionelle Lkw verfügbar.

### Ladungsverhältnisse Lang-Lkw zu konventionellen Lkw für alle Daimler-Relationen

Eine detaillierte Übersicht der volumen-, masse- und ladungsdichtebezogenen Ladungsverhältnisse auf den einzelnen Relationen, sowohl für alle Fahrten, d. h. im Rundlauf, als auch separat für die Eingangs- und Ausgangsfahrten, findet sich in Tabelle 46. Da für die Relationen Schönfels – BLG Bremen, Schmölln – Werk Bremen und Landau – Sindelfingen keine Daten für konventionelle Lkw vorlagen, wurden hier die mittlere Massen- und Volumenzuladung der übrigen Relationen angenommen. Dieser Ansatz wurde gewählt, um diese Relationen ebenfalls in der THG-Bilanz zu berücksichtigen. Die Ergebnisse für diese drei Relationen sind daher allerdings nur als Abschätzungen zu verstehen und deswegen ausgegraut dargestellt.

Tabelle 46: Übersicht Ladungsverhältnisse von Lang-Lkw zu konventionellen Lkw für alle Daimler-Relationen

Relation	Daten- erfassungs- zeitraum	Volumenbezogen			Massebezogen			Ladungsdichte bezogen	
		Alle Fahrten	Ein- gang	Aus- gang	Alle Fahrten	Ein- gang	Aus- gang	Ein- gang	Aus- gang
(Schönfels - BLG Bremen) *	2 Monate	2,8 : 2 (141%)	3 : 2 (148%)	2,7 : 2 (133%)	2,8 : 2 (142%)	2,9 : 2 (144%)	2,5 : 2 (126%)	0,97 : 1	0,95 : 1
Schönfels - Werk Bremen *	5 Monate	3,1 : 2 (157%)	3,2 : 2 (160%)	3,1 : 2 (157%)	3,3 : 2 (166%)	3,1 : 2 (153%)	3,1 : 2 (156%)	0,95 : 1	0,99 : 1
(Schmölln - Werk Bremen) *	5 Wochen	2,8 : 2 (141%)	3 : 2 (148%)	2,6 : 2 (132%)	2,8 : 2 (142%)	2,9 : 2 (144%)	2,5 : 2 (125%)	0,97 : 1	0,95 : 1
Bautzen - Werk + BLG Bre- men	21 Monate	2,7 : 2 (134%)	2,9 : 2 (146%)	2,5 : 2 (123%)	2,5 : 2 (126%)	2,8 : 2 (138%)	2 : 2 (98%)	0,95 : 1	0,8 : 1
(Landau – Sindelfingen) *	4 Monate	2,8 : 2 (141%)	3 : 2 (148%)	2,6 : 2 (132%)	2,8 : 2 (142%)	2,9 : 2 (144%)	2,5 : 2 (125%)	0,97 : 1	0,95 : 1
Plattling – Sindel- fingen	9 Monate	3,1 : 2 (153%)	3,1 : 2 (154%)	2,9 : 2 (147%)	2,6 : 2 (132%)	2,5 : 2 (124%)	2,8 : 2 (140%)	0,81 : 1	0,95 : 1
Fulda - Werk Bre- men	2 Monate	2,8 : 2 (140%)	3 : 2 (149%)	2,6 : 2 (130%)	2,7 : 2 (137%)	2,9 : 2 (146%)	2,6 : 2 (129%)	0,98 : 1	0,99 : 1
Bautzen – Sindelfingen	6 Monate	2,5 : 2 (127%)	3 : 2 (151%)	2 : 2 (101%)	2,8 : 2 (140%)	3 : 2 (151%)	1,8 : 2 (91%)	1 : 1	0,9 : 1
Treuen - Sindel- fingen	13 Monate	2,9 : 2 (145%)	3 : 2 (149%)	2,9 : 2 (143%)	3 : 2 (149%)	3,1 : 2 (156%)	2,8 : 2 (139%)	1,05 : 1	0,97 : 1
Schmölln - Sindelfingen	5 Wochen	2,9 : 2 (143%)	2,9 : 2 (145%)	2,9 : 2 (143%)	2,8 : 2 (139%)	2,7 : 2 (134%)	2,8 : 2 (139%)	0,96 : 1	0,95 : 1
Bautzen - Rastatt	12 Monate	2,6 : 2 (130%)	2,6 : 2 (130%)	2,6 : 2 (129%)	3 : 2 (149%)	3 : 2 (150%)	3 : 2 (148%)	1,16 : 1	1,15 : 1
<b>Mittelwert alle Relationen</b>		Ø 2,8 : 2 (141%)	Ø 3 : 2 (148%)	Ø 2,7 : 2 (134%)	Ø 2,8 : 2 (142%)	Ø 2,9 : 2 (144%)	Ø 2,6 : 2 (129%)	Ø 0,98:1	Ø 0,96:1

grün: Auslastung nahezu optimal (>3)

rot: Auslastung nicht optimal (<2,6)

Grau: Daten unvollständig, abgeschätzt

\* Da keine Daten für konventionelle Lkw für diese Relationen vorlagen, wurde der Mittelwert aus den übrigen Daten für konventionelle Lkw für diese Relationen als Abschätzung angesetzt, um diese Relationen auch in der THG-Bilanz berücksichtigen zu können.

**LUBW** DAIMLER

Gerade die Relationen mit niedrigeren Kraftstoffersparnissen liegen im Bereich 2,5 : 2 bis 2,8 : 2 bei massenbezogener (z. B. Plattling – Sindelfingen) bzw. volumenbezogener Zuladung (Bautzen – Rastatt):

- Plattling – Sindelfingen: Ursache für die „nur“ 2% Kraftstoffersparnis ist in erster Linie die um 15 kg/m<sup>3</sup> höhere Ladungsdichte bei konventionellen Lkw. Das Verhältnis der Ladungsdichte von Lang-Lkw zu

konventionellen Lkw liegt massenbezogen bei 2,6 : 2.1. Bei gleicher Ladungsdichte läge der Lang-Lkw bei einer Kraftstoffersparnis von 14%, volumenbezogen liegt die Einsparung des Lang-Lkw bereits bei 16%.

- Bautzen – Rastatt: Grund für die „nur“ 3% volumenbezogene Einsparung liegt im hohen Ladevolumen der konventionellen Lkw (Jumbozug mit 114 m<sup>3</sup>). Dadurch liegt das volumenbezogene Verhältnis bei 2,6:2, massebezogen liegt die Kraftstoffeinsparung bei 15%.

Für die folgenden Relationen ergeben sich ebenfalls Abweichungen der logistischen Parameter bei der Rückfahrt:

- Fulda – Werk Bremen: Beispielhaft wird diese Relation nochmals näher betrachtet (siehe Abbildung 28). Die Lang-Lkw und konventionellen Lkw weisen auf der Ein- und Ausgangsfahrt jeweils ähnliche Ladungsdichten auf. Auf der Eingangsfahrt wird über alle Fahrten hinweg volumenbezogen das 3 : 2-Verhältnis zwischen konventionellen Lkw und Lang-Lkw erreicht, auch wenn auf dem Lang-Lkw dabei ca. 30 m<sup>3</sup> und auf dem konventionellen Lkw ca. 20 m<sup>3</sup> Ladevolumen ungenutzt bleiben. Auf der Ausgangsfahrt ergibt sich für den konventionellen Lkw allerdings ein Anstieg der volumenbezogenen Zuladung um knapp 10 m<sup>3</sup> (+11%). Entsprechend der vergleichbaren Ladungsdichte sinkt das Ladungsverhältnis sowohl volumen- als auch massenbezogen auf 2,6 : 2. Grund dafür ist vermutlich, dass beim konventionellen Lkw aus einer anderen Tour Bauteilträger übernommen werden, dies korreliert auch mit der um 15% geringen Anzahl an Ausgangsfahrten im Vergleich zu den erfassten Eingangsfahrten. Dies erfolgt beim Lang-Lkw offensichtlich nicht, auch wenn es zuladungsmäßig machbar wäre. Dies veranschaulicht das speziell auf den Ausgangsfahrten, zumindest rein rechnerisch, vorhandene Potential. Die Herausforderung, die Anhebung des Potentials mit den logistischen Anforderungen des Produktionsalltags zu vereinbaren, ist jedoch nicht zu unterschätzen.

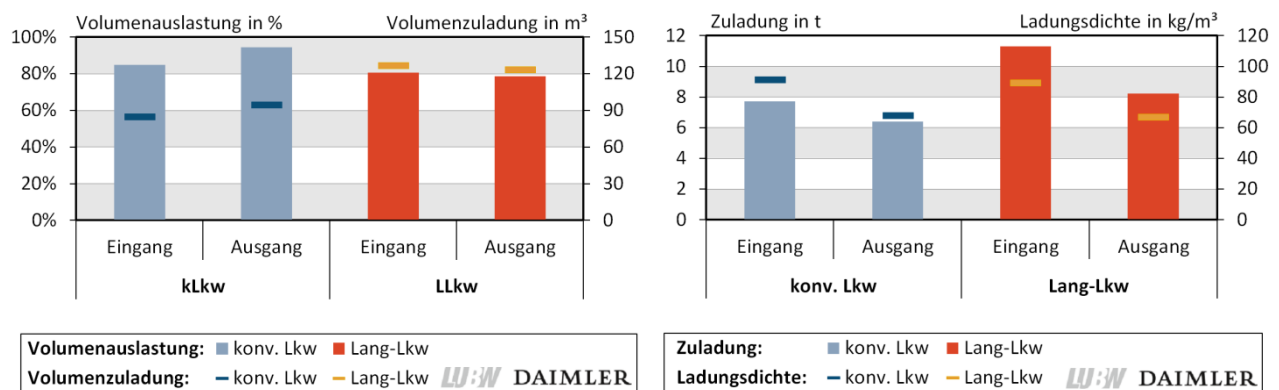


Abbildung 28: Auswertung Fahrdaten Fulda – Werk Bremen, Ein- und Ausgangsfahrten Lang-Lkw-konventionelle Lkw

- Bautzen – Bremen: Die Ladungsdichte auf der Rückfahrt erhöht sich aufgrund der beim Transport zusammengeklappten Teileträger überproportional auf für Lang-Lkw ungünstiges Niveau (Lang-Lkw: + 38% auf 144 kg/m<sup>3</sup>). Gleichzeitig steigt die Ladungsdichte beim konventionellen Lkw um 49% auf 165 kg/m<sup>3</sup>, d.h. die Kraftstoffersparnis des Lang-Lkw wird nochmals reduziert. Die Ladungsverhältnisse für die Rückfahrt liegen dementsprechend nur noch bei 2,5 : 2 (vol. bezogen) bzw. 2:2 (massebezogen).
- Bautzen – Sindelfingen: Für die Ausgangsfahrten ergibt sich ein signifikanter Anstieg der Ladungsdichte auf der Rückfahrt durch den Transport zusammengeklappter Ladungsträger (beim Lang-Lkw um 64% auf 174 kg/m<sup>3</sup>, beim konventionellen Lkw um 81% auf 193 kg/m<sup>3</sup>), dadurch sind die Rücktransporte je-

weils weitestgehend massenausgelastet. Das massebezogene Ladungsverhältnis fällt auf  $1,8 : 2$ , d.h. der konventionelle Lkw weist eine höhere Zuladung auf im Vergleich zum Lang-Lkw.

- Schönfels – Werk Bremen: Das Ladungsverhältnis ist sehr gut ( $3,1-3,3 : 2$  masse- und volumenbezogen). Für den konventionellen Lkw liegen vier Mal mehr Ausgangsfahrten vor, diese sind gegenüber den Eingangsfahrten durch eine reduzierte Ladungsdichte gekennzeichnet. Dadurch ergibt sich in der gemeinsamen Betrachtung aller Ein- und Ausgangsfahrten eine überproportionale Reduktion der mittleren Zuladung des konventionellen Lkw. Durch diese Reduktion der mittleren Zuladung ergibt sich ein Anstieg des massebezogenen Ladungsverhältnisses zwischen Lang-Lkw und konventionellen Lkw, das mit  $3,3 : 2$  noch über den jeweils separat bestimmten Ladungsverhältnissen für Ein- bzw. Ausgangsfahrt liegt. Dies ist primär ein mathematisches Problem, das sich immer dann einstellen kann (nicht muss), wenn es größere Unterschiede in der Anzahl der verfügbaren Ein- und Ausgangsfahrten gibt. Auf diesen Sachverhalt wurde bei der Auswertung der Fahrtdaten entsprechend besonders geachtet.

## 10.6 HÖHENPROFILE DER DAIMLER-RELATIONEN

Zur Ermittlung der Höhenprofile der untersuchten Relationen der Daimler-Lang-Lkw-Verkehr wurden die jeweils gefahrenen Strecken auf Basis der Streckenangaben der Speditionen in einer Webapplikation zur Bestimmung von Höhenprofilen [Basler & Partner, 2016] abgebildet. Für eine detaillierte Auflösung des Höhenprofils wurde die Auflösung so gewählt, dass Höhenpunkte in Abständen von ca. 250 m erhalten wurden. Die Abbildung 29 zeigt beispielhaft den Streckenabschnitt Osterburken – Dreieck Leonberg der A81 und das dazugehörige Höhenprofil.



Abbildung 29: Autobahnabschnitt Osterburken – Dreieck Leonberg (A 81) mit Höhenprofil nach [Basler & Partner, 2016]

Die Höhenangaben basieren auf einem digitalen Geländemodell, welches die natürliche Erdoberfläche repräsentiert, und entsprechen damit im Hinblick auf Bauwerke wie Brücken und Tunnel nicht der tatsächlichen Topografie der gefahrenen Autobahn. Die in Abbildung 29 rot markierten Stellen betreffen das Jagsttal bei Widdern (1), sowie die Erhebungen der Hölzener Ebene (2) und des Engelbergs (3) bei Leonberg. An diesen Stellen wird das Höhenprofil der Autobahn durch eine Brücke bzw. zwei Tunnel verstetigt. Mittels Luftaufnahmen (Google Maps) und weiteren Quellen (z. B. [RP BW 2016]) wurden die markanten Punkte in den Höhenprofilen auf Bauwerke und etwaige Fehler überprüft und, wo erforderlich, manuell korrigiert.

Um die auch nach dieser Korrektur weiterhin zu großen Schwankungen der Steigung in den Höhenprofilen zu kompensieren, wurde neben der beschriebenen manuellen Bereinigung von Bauwerken noch eine Glättung der Höhendaten<sup>60</sup> durchgeführt, mit deren Hilfe die ‚Unstetigkeiten‘ im Höhenprofil minimiert wurden.

Das Ergebnis der beschriebenen Bearbeitung für den obigen Autobahnabschnitt wird in Abbildung 30 gezeigt. Darin sind die drei markierten Stellen in ihrer ursprünglichen Ausprägung bei der Erstellung des Höhenprofils auf Basis der Rohdaten zu erkennen (blaue Linie) sowie der bereinigte Verlauf des Autobahnprofils nach der Bearbeitung (rote Linie)<sup>61</sup>.

<sup>60</sup> Glättung durch Mittelung der Höhenangabe von jeweils zwei benachbarten Datenpunkten

<sup>61</sup> Neben diesen markanten Ausschlägen wurden auch kleinere Spitzen (wie z. B. zwischen (1) und (2)) überprüft und ggf. nachbearbeitet, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

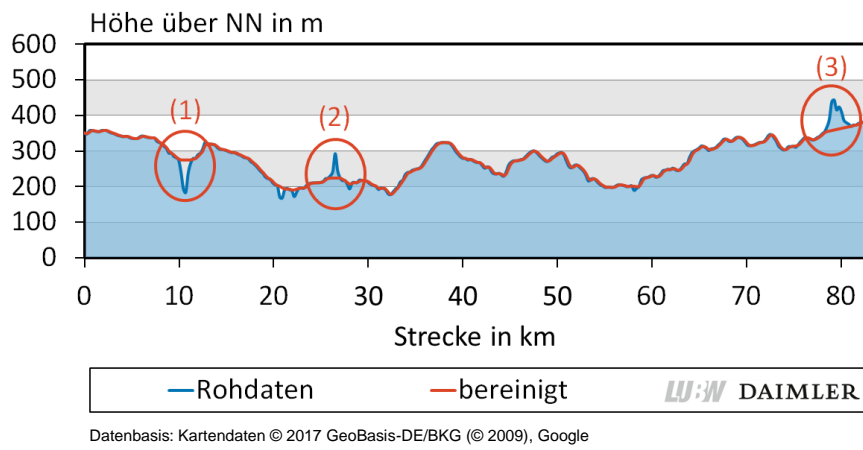


Abbildung 30: Höhenprofil auf Basis Rohdaten nach [Basler & Partner, 2016] und bereinigter Höhendaten für den Autobahnabschnitt Osterburken – Dreieck Leonberg (A81)

## 10.7 VALIDIERUNG VERBRAUCHSDATEN DAIMLER-VERKEHRE

Tabelle 47 fasst die Gewichtsdaten und die von den Spediteuren bereitgestellten Verbrauchsdaten sowie die für die einzelnen Relationen mit HBEFA ermittelten Verbrauchsdaten zusammen. Hinweise zur Datenherkunft bzw. zu einer gegebenenfalls eingeschränkten Datenqualität finden sich in der Kommentarspalte. Dabei bedeuten:

- KW-bezogene Angabe: Der Verbrauch wurde anhand mittlerer Gewichts- und Verbrauchsdaten aus mehreren Kalenderwochen über die Verbrauchsfunktion ermittelt;
- Mittelwert: Der Verbrauch wurde anhand unterschiedlicher Einzelangaben gemittelt;
- Richtwert: Es handelt sich um eine relationsunspezifische Verbrauchsangabe der Spedition;
- Berechnet: Es waren keine Daten verfügbar. Es wurde eine hypothetische Zuladung anhand der Zuladungsverhältnisse von Lang-Lkw zu konventionellen Lkw der restlichen Relationen angenommen, anhand deren der Verbrauch bestimmt wurde.

Tabelle 47: Übersicht über den Kraftstoffverbrauch der betrachteten Daimler-Lang-Lkw-Verkehre

Relation	Lkw Typ	Lkw Details	Mittl. Fahrzeugesamtw. (t)	Kraftstoffverbrauch nach HBEFA (l/100 km)	Kraftstoffverbrauch lt. Spediteur (l/100 km)	Erfassungszeitraum	Kommentar	
1	Schömfels - BLG Bremen	LLkw	Typ 2 6 Achsen	28,7	27,4	26,8	Jun/ Jul 16	Mittelwert
		kLkw	N/A (nicht vorhanden)	(21,8)		-		Berechnet
2	Schömfels - Werk Bremen	LLkw	Typ 3 8 Achsen	36,1	30,4	31,6	Apr- Jun 16	KW-bezogene Angaben
		kLkw	Megatrailer	23,1	25,1	27,1	Jun 2016	Richtwert
3	Schmölln - Werk Bremen	LLkw	Typ 2 6 Achsen	36,8	32,3	26,7	Jun/ Jul 16	KW-bezogene Angaben
		LLkw	Typ 3 6 Achsen	36,1	31,9	25,8	Jun/ Jul 16	
		kLkw	N/A	(26,3)		-		Berechnet
4	Bautzen - Werk + BLG Bremen	LLkw	Typ 2 7 Achsen	35,4	32,4	31,7	Mrz – Jun 16	KW-bezogene Angaben
		kLkw	Megatrailer bzw. Jumbo-Gliederzug	26,1	28,1	27,2	Mrz – Jun 16	KW-bezogene Angaben
5	Landau - Sindelfingen	LLkw	Typ 3 8 Achsen	38,6	36,2	35,5	Sep – Dez 15	KW-bezogene Angaben
		kLkw	N/A	(27,0)		-		Berechnet
6	Plattling - Sindelfingen	LLkw	Typ 3 8 Achsen	35,8	34,7	31,9	Okt 15 – Mai 16	KW-bezogene Angaben
		kLkw	Megatrailer 5 Achsen	25,3	29,1	24,6	Okt 15 – Mai 16	KW-bezogene Angaben
7	Fulda - Werk Bremen	LLkw	Typ 2 7 Achsen	30,7	34,7	30,9	Mai –Jul 16	KW-bezogene Angaben
		kLkw	Megatrailer 5-Achsen	21,7	28,9	26,0	Mai - Jul 16	KW-bezogene Angaben
8	Bautzen - Sindelfingen	LLkw	Typ 3 8 Achsen	37,7	40,8	36,2	Jul - Dez 15	Mittelwert
		kLkw	Megatrailer (5 Achsen), Jumbo-Gliederzug	26,1	32,5	26,2	Nov. 15	Richtwert
9	Treuen - Sindelfingen (über Nürnberg)	LLkw	Typ 3 6 Achsen	36,9	40,4	34,4	Jul - Dez 15	Mittelwert
		kLkw	Megatrailer 5 Achsen	25,9	32,8	28,5	Jul 16	Richtwert
10	Schmölln - Sindelfingen	LLkw	Typ 3 6 Achsen	35,9	39,7	34,3	Jun – Jul 15	Mittelwert
		kLkw	Megatrailer (5 Achsen), Jumbo-Gliederzug	26,5	33,0	29,0	Sep – Dez 15	Richtwert
11	Bautzen - Rastatt	LLkw	Typ 3 7-Achsen	36,8	37,7	34,6	Aug – Dez 15	Mittelwert
		kLkw	4-Achs Jumbo-Gliederzug	35,3	32,5	28,5	Jun 16	Richtwert

KW: Kalenderwoche; kLkw: konventioneller Lkw; LLkw: Lang-Lkw

LUBW DAIMLER

## 10.8 VERBRAUCHSBESTIMMUNG NACH WEITEREN VERBRAUCHSFUNKTIONEN

Zur Plausibilisierung der von den Speditionen gemeldeten Kraftstoffverbräuche bzw. unter der Maßgabe, für die durchzuführende Treibhausgasbilanzierung auf nationaler Ebene eine möglichst repräsentative mittlere Kraftstoffverbrauchsfunktion herzuleiten, wurden folgende weitere Quellen für Verbrauchsdaten in die Analyse zur Ermittlung der Kraftstoffverbräuche (siehe Kapitel 4.1.2) miteinbezogen:

- Map&Guide, ein von der PTV Planung Transport Verkehr AG herausgegebener Routenplaner für Lkw, der auch die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs und der THG-Emissionen ermöglicht [PTV 2016]
- Verbrauchsdaten aus den von H. J. Wildhage seit 2012 für die Deutsche Verkehrs Zeitung (DVZ) und im Rahmen des European Trucker Challenges (ETC) 2014 durchgeführten Fahrzeugtests von Sattelzugmaschinen [DVZ 2012 – 2016]

### *PTV Map&Guide*

Die Anwendung PTV Map&Guide [PTV 2016] weist für eine gewählte Lkw-Konfiguration bei der Routenplanung auch den resultierenden Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen aus. Nach Angaben von PTV beruht auch die Map&Guide-Verbrauchsermittlung auf HBEFA, wird jedoch spezifisch angepasst.

Anhand einer repräsentativen Lkw-Konfiguration (Sattelkraftfahrzeug mit 3+2 Achsen, Leergewicht: 14,5 t, Euro VI mit Abgasrückführung) wurde jeweils mit zwei verschiedenen Beladungszuständen eine Routenberechnung für die Daimler-Relationen durchgeführt und die dabei ausgewiesenen Verbrauchsangaben mit den Werten nach HBEFA verglichen. Es zeigte sich, dass die Ergebnisse für flache Strecken relativ nahe beieinanderliegen, wohingegen sich für mittlere und bergige Strecken mit PTV Map&Guide ein deutlich geringerer Verbrauch als nach HBEFA ergibt. Gemäß den Darstellungen in den Kapiteln 4.1.2 bis 4.1.3 entsprechen geringere Verbräuche als nach HBEFA dem erreichten technischen Fortschritt. Der mit PTV Map&Guide ermittelte Minderverbrauch im Vergleich zu HBEFA erwies sich jedoch als nicht systematisch, und in Einzelfällen ergaben sich mit PTV Map&Guide auch höhere Verbräuche als nach HBEFA, wodurch die mit PTV Map&Guide generierten Verbrauchsangaben nicht nachvollzogen werden konnten<sup>62</sup>.

Da keine detaillierten Angaben zur verwendeten Korrektur verfügbar waren und seitens PTV auch auf Nachfrage keine weiteren Erläuterungen zur angewendeten Methodik gemacht wurden, wurde die Verbrauchsrechnung über PTV Map&Guide als ungeeignet für die weitere Bilanzierung eingestuft, auch wenn die Anwendung grundsätzlich einen plausibel erscheinenden Anhaltspunkt für eine Verbrauchsabschätzung liefert.

### **DVZ Lkw-Tests und ETC**

#### *DVZ Lkw-Tests*

Die Deutsche Verkehrs Zeitung (DVZ) veröffentlicht regelmäßig Testberichte von Sattelzugmaschinen, die auf einer festgelegten Teststrecke unter definierten Rahmenbedingungen (z. B. überprüfbares Sattelanhängergewicht) durchgeführt werden [DVZ 2012 – 2016]. Die Teststrecke ist 188,5 km lang mit einer Autobahnstrecke von 154 km und wird mit verschiedenen Auslastungen mehrfach zurückgelegt. Bei der Teststrecke

---

<sup>62</sup> Bei der Überprüfung von PTV Map&Guide hinsichtlich der Sensitivität der Eingabeparameter wurde zudem ersichtlich, dass sich abweichendes Leergewicht, Achszahl und Art der NO<sub>x</sub>-Minderung zumindest für das angenommene Fahrzeug nicht auf den Verbrauch auswirken. Dies entspricht jedoch insofern der Realität der Speditionsangaben, als im vorliegenden Ansatz die Streckentopografie als Hauptkriterium zur Differenzierung herangezogen und dabei verschiedene Lkw-Konfigurationen zusammenfassend betrachtet wurden.



handelt es sich um eine topografisch sehr anspruchsvolle Strecke mit zahlreichen Steigungen, für die mittels der Höhenprofilanalyse ein Steigungsanteil von 19,7% ermittelt wurde.

Durch Auswertung verschiedener Testberichte konnten Verbrauchsfunktionen von insgesamt zehn verschiedenen Zugmaschinen ermittelt werden. Es zeigte sich, dass der Verbrauch für die verschiedenen Modelle für eine gegebene Auslastung um 3 – 3,5 l/100 km (10 – 15%) variiert. Die aus den Verbräuchen aller Modelle gemittelte Verbrauchsfunktion ist in Abbildung 31 dargestellt. Aufgrund der sehr konsistenten Werteverteilung der verschiedenen Testfahrten werden die Verbrauchsdaten als valide Datenbasis eingestuft.

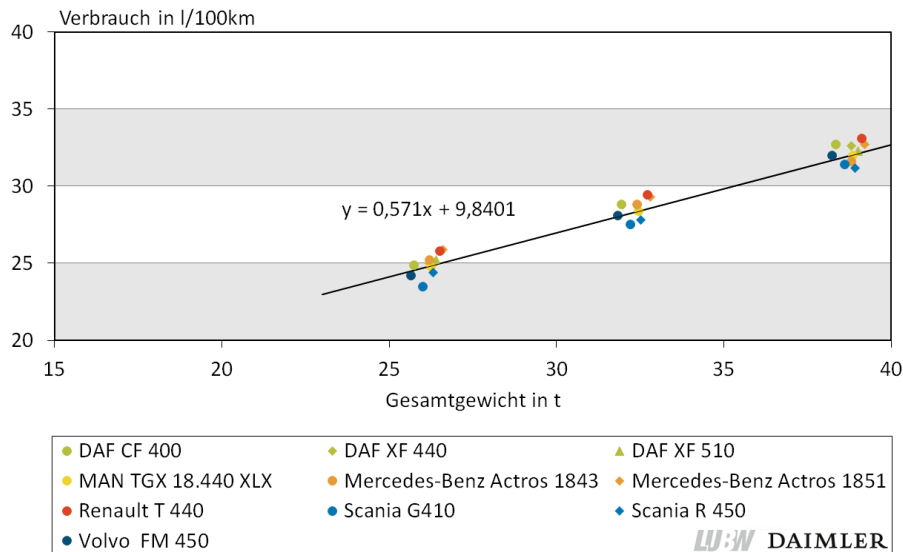


Abbildung 31: Gemittelte Verbrauchsfunktion für zehn Zugmaschinen nach DVZ-Test

### European Truck Contest (ETC)

Beim European Truck Contest (ETC) werden ebenfalls auf einer vorgegebenen Strecke die Verbräuche für mehrere Sattelzugmaschinen verschiedener Hersteller unter möglichst vergleichbaren Randbedingungen erfasst (identische Zuladung, Fahrerwechsel, temperaturkorrigierte Kraftstoffdatenerfassung etc.). Als Autobahnabschnitt für den ETC wurde ein Teilabschnitt der DVZ-Teststrecke gewählt, der aufgrund der Verkürzung einen nochmals höheren Steigungsanteil aufweist. Im Gegensatz zu den DVZ-Tests erfolgten jedoch dezidierte Verbrauchsangaben für verschiedene Autobahnabschnitte mit unterschiedlichem topografischem Anspruch. Die Autobahnstrecke wurde dabei kilometerweise in drei Kategorien (leicht, mittel und schwer) eingeteilt und für jede dieser Kategorien der Kraftstoffverbrauch separat ermittelt und ausgewiesen. Die Autobahnkategorien wurden anhand der Fahrpraxis ermittelt (z. B. in welchem Gang eine Steigung befahren werden kann) und sind daher nicht direkt mit dem hier verwendeten Steigungsanteil vergleichbar. Über eine detaillierte Analyse der ETC-Strecke wurden die Streckenkilometer und ihre Kategorisierung nachvollzogen, und es konnten die folgenden Steigungsanteile für die verschiedenen ETC-Autobahnkategorien ermittelt werden:

- ETC Autobahn leicht: Steigungsanteil 0%
- ETC Autobahn mittel: Steigungsanteil 14,5%
- ETC Autobahn schwer: Steigungsanteil 61%
- ETC Autobahn Durchschnitt: Steigungsanteil 22%

Für den ETC 2014 [DVZ 2014] und 2016 [Kfz-Anzeiger 2016] liegen jeweils detaillierte Verbrauchsangaben für fünf bzw. vier verschiedene Zugmaschinen vor. Im Gegensatz zu den regulären DVZ-Tests lagen für den ETC nur Verbrauchswerte für eine mittlere (2014) bzw. volle (2016) Auslastung vor, so dass hier keine Verbrauchsfunktion erstellt werden konnte. In Abbildung 32 wurden daher die Verbrauchswerte der vermessenen Zugmaschinen aus dem ETC der mittleren Verbrauchsfunktion nach DVZ sowie den HBEFA-Funktionen für die drei Steigungsklassen der Daimler-Relationen gegenübergestellt.

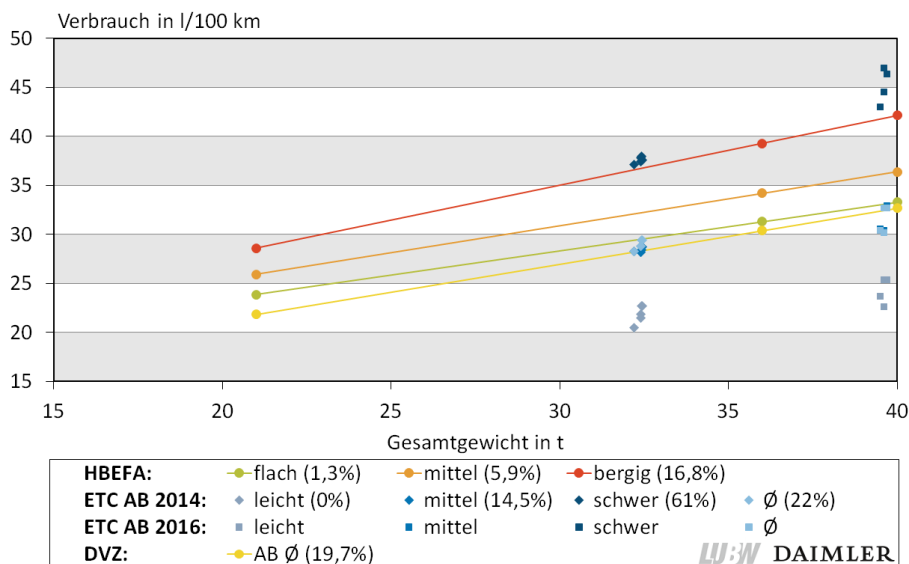


Abbildung 32: Verbrauch nach DVZ-Tests, ETC und HBEFA im Vergleich

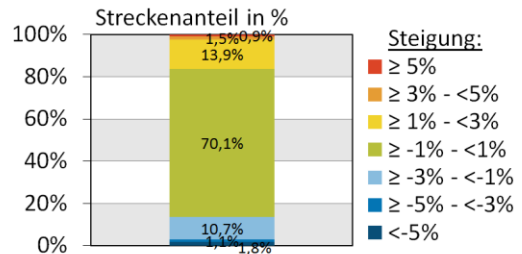
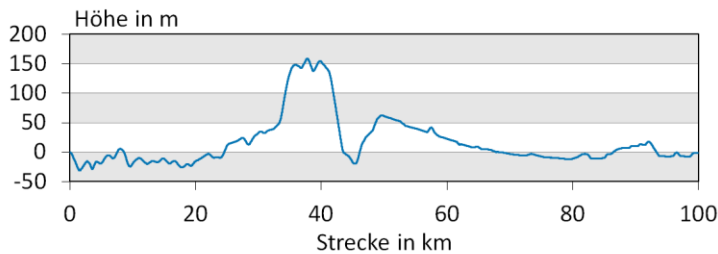
Es zeigte sich, dass die ETC-Verbrauchswerte für den Durchschnitt Autobahn (2014) und mittlere Autobahn (2014 und 2016) die Verbräuche der DVZ-Tests bestätigen. Die ETC-Verbräuche für leichte bzw. schwere Strecken lagen jeweils deutlich unter bzw. über dem Verbrauch für mittlere Strecken, wobei die Verbrauchswerte der 2014 und 2016 vermessenen Zugmaschinen jeweils eng beieinanderlagen und ein konsistentes Bild aufzeigen.

Im Vergleich zu HBEFA wurde deutlich, dass die ETC/DVZ-Verbräuche signifikant geringer ausfielen, so dass die DVZ-Verbrauchsfunktion für die anspruchsvolle Teststrecke (Steigungsanteil 19,7%) noch unter der HBEFA-Funktion für flache Strecken (Steigungsanteil 1,3%) lag. Neben der absoluten Höhe fiel auch der gewichtsabhängige Mehrverbrauch, d. h. die Steigung der Geraden, nach DVZ niedriger aus: Für die DVZ-Teststrecke lag dieser mit 0,57 l/100 km je Tonne Fahrzeuggewicht (siehe auch Abbildung 31) immer noch leicht unter dem von HBEFA für mittlere und somit einfachere Strecken.

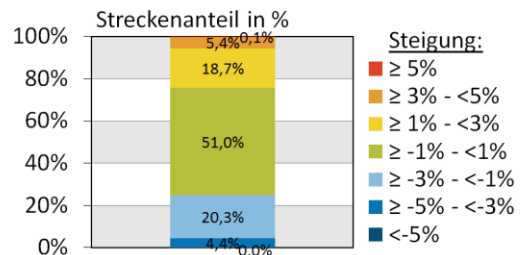
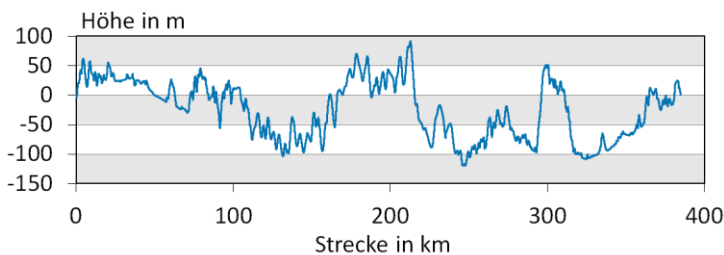
### 10.9 VERBRAUCHSSIMULATION FÜR KONVENTIONELLE UND LANG-LKW

Aufgrund der schlechteren aerodynamischen Eigenschaften und des erhöhten Rollwiderstands durch die höhere Anzahl an Achsen bzw. Reifen ist zu erwarten, dass der Lang-Lkw auch bei identischem Fahrzeuggewicht einen höheren Verbrauch als der konventionelle Lkw aufweist. Um diesen Sachverhalt näher zu untersuchen, erfolgte durch die Simulationsabteilung der Daimler AG eine Simulation des Kraftstoffverbrauchs für vier unterschiedliche, in der Simulationsumgebung von Daimler bereits verfügbare Fahrzyklen [Daimler 2016]. Bei den vier Zyklen handelt es sich um den ACEA-Longhaul-Zyklus sowie drei Testzyklen von Fachzeitschriften (Grünig, Zeitzen und Wildhage). Der ACEA-Zyklus ist ein generischer Zyklus, der die Anforderungen des mittleren Europäischen Straßengüterfernverkehrs abbildet. Die drei Testzyklen der Fachzeitschriften sind gewählte „Teststrecken“, die von den Testern als repräsentativ erachtet werden, aber naturgemäß nur einen Teil der Wirklichkeit abbilden können. Für einen relativen Vergleich von Verbräuchen des Lang-Lkw und des konventionellen Lkw sind sie beispielsweise aber gut nutzbar.

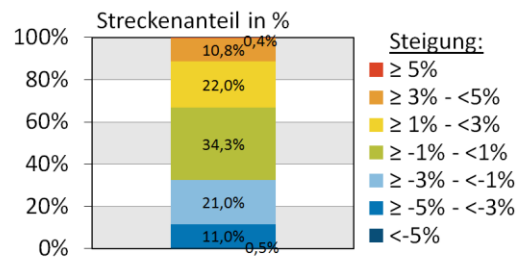
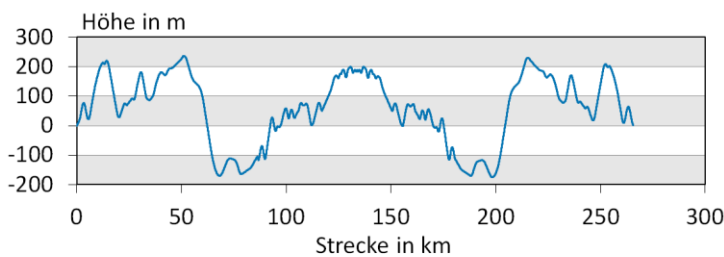
**ACEA Longhaul-Zyklus (Steigungsanteil: 5,3%):**



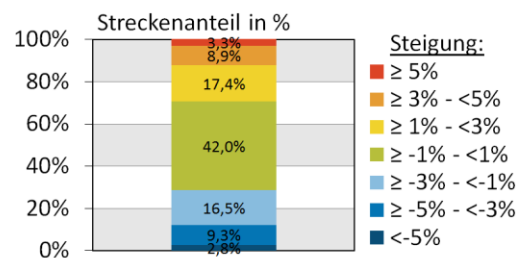
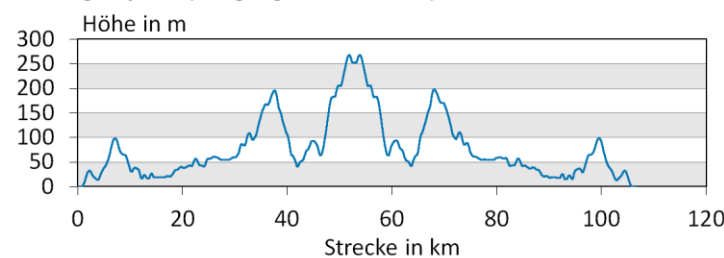
**Grünig-Zyklus (Steigungsanteil: 9,9%):**



**Zeitzen-Zyklus (Steigungsanteil: 22,7%):**



**Wildhage-Zyklus (Steigungsanteil: 24,2%):**



LUBW DAIMLER

Abbildung 33: Höhenprofile und Steigungsklassen der von Daimler für die Verbrauchssimulation verwendeten Fahrzyklen

Vom topografischen Anspruch her fallen der ACEA- sowie der Grünig-Zyklus in die mittlere, der Zeitzten- und der Wildhage-Zyklus in die bergige Topografiegruppe<sup>63</sup>. Abbildung 33 gibt einen Überblick über die in der Simulation verwendeten vier Testzyklen einschließlich der Steigungsanteile entsprechend den sieben Steigungsklassen von -6% bis +6% aus HBEFA.

Bei der Simulation wurde die EcoRoll-Funktion<sup>64</sup> berücksichtigt, der vorausschauende Tempomat (bei Daimler mit PPC bezeichnet)<sup>65</sup> hingegen nicht. Diese Funktion bringt laut Herstellerangaben bis zu 5% Verbrauchseinsparung. Die Zugmaschine bzw. der Motorwagen war mit Leichtlaufreifen ausgestattet, für Dolly und Sattelanhänger wurden Standardreifen angenommen. Die Fahrzeuggewichte entsprechen den Angaben in Tabelle 5.

Im Ergebnis bestätigt sich die These des unterschiedlichen Kraftstoffverbrauches von Lang-Lkw und konventionellen Lkw bei identischem Fahrzeuggewicht. Die Abbildung 34 zeigt die in Abhängigkeit des Fahrzeuggewichtes ermittelten Verbrauchsfunktionen für die vier betrachteten Fahrzyklen.

Es ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen den Lang-Lkw-Typen 2 und 3 auf den simulierten Strecken jeweils vernachlässigbar ist. Werden jeweils für die zwei Zyklen einer Topografiegruppe (mittlere Strecken in der Abbildung links, bergige Strecken rechts) der Durchschnitt gebildet, ergeben sich die in Abbildung 34 unten dargestellten Verbrauchsfunktionen für Lang-Lkw und konventionelle Lkw. Der Verbrauchsunterschied zwischen Lang-Lkw und konventionellen Lkw beträgt für die mittleren Strecken 9 – 13% bzw. 2,5 – 3,1 l/100km, für die bergigen Strecken fällt er mit 6 – 10% bzw. 2,5 l/100 km etwas niedriger aus. Im Mittel liegt der Mehrverbrauch des Lang-Lkw bei ca. 11% für mittlere bzw. 8% für bergige Strecken. Die absoluten Verbrauchswerte für vollausgelastete Lang-Lkw und konventionelle Lkw (40 t Fahrzeuggesamtgewicht) finden sich in Tabelle 48 oben. Werden die mittleren Fahrzeuggewichte für den Lang-Lkw (36 t) und den konventionellen Lkw (25 t) zugrunde gelegt, die sich aus den Sendungsdaten für die elf Daimler-Relationen errechnen, ergeben sich die in Tabelle 48 unten dargestellten Verbräuche.

---

<sup>63</sup> Der topografische Anspruch der Testzyklen liegt bezogen auf den Steigungsanteil als Summe der Anteile an Steigungsstrecken mit mehr als  $\pm 3\%$  Neigung für die Zyklen ACEA-Longhaul und Grünig (Verkehrsrundschau/Trucker) bei 5,3% bzw. 9,9% und für Zeitzten (Eurotransport/Fernfahrer/LastAutoOmnibus) und Wildhage (DVZ) bei 22,7% bzw. 24,2%.

<sup>64</sup> Auskopplung des Motors in Gleitphasen, um ein längeres freies Rollen des Lkw zu ermöglichen mit dem Ziel, Kraftstoff zu sparen.

<sup>65</sup> Predictive Power Train Control: Durch Verknüpfung des Getriebes mit GPS-Kartenmaterial können Schaltzeitpunkte und Tempomatgeschwindigkeit vorausschauend in eine an die Topografie angepasste Fahrweise integriert werden, um Kraftstoff zu sparen.

Tabelle 48: Simulierte Verbräuche von Lang-Lkw und konventionellen Lkw im Vergleich

	Lang-Lkw	konv. Lkw
<b>Vollausgelastet (40 t Fahrzeugesamtgewicht)</b>		
Verbrauch bei mittlerer Topografie	31,4 l/100 km	28,4 l/100 km
Verbrauch bei bergiger Topografie	37,6 l/100 km	35,2 l/100 km
<b>Durchschnitt der elf Daimler-Relationen</b>		
Mittlere Zuladung	13,7 t	9,6 t
Mittleres Fahrzeuggewicht	35,5 t	25,2 t
Verbrauch bei mittlerer Topografie	29,4 l/100 km	22,2 l/100 km
Verbrauch bei bergiger Topografie	34,8 l/100 km	25,9 l/100 km

LUBW DAIMLER

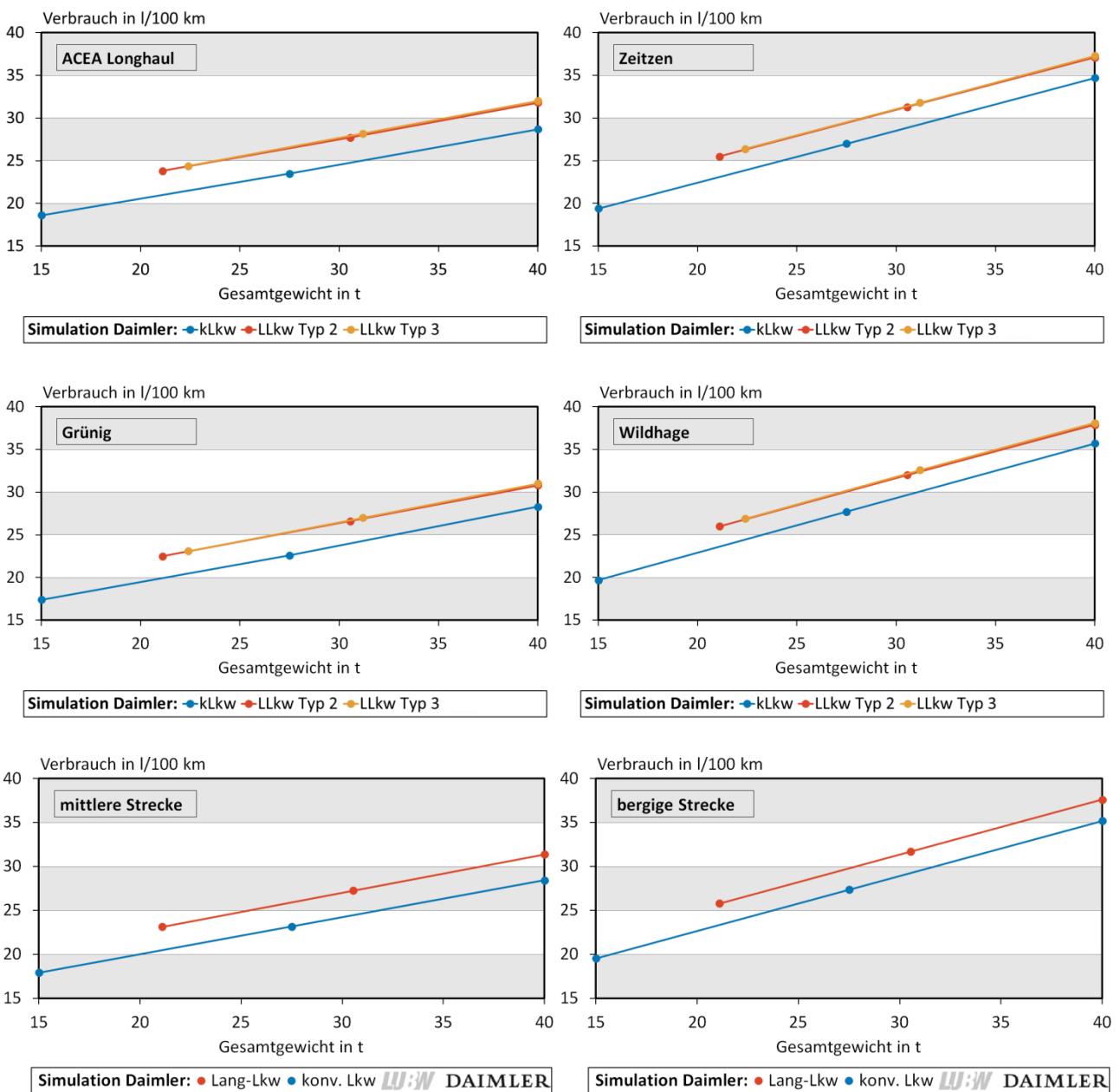


Abbildung 34: Ergebnisse der Daimler-Kraftstoffverbrauchssimulation für Lang-Lkw (LLkw) und konventionelle Lkw (kLkw) in den vier verschiedenen Fahrzyklen; links: mittlere Strecken, rechts: bergige Strecken

#### 10.10 BERECHNUNG DES UMWEGFAKTORS

Als Umwegfaktor  $U$  wird die relative Mehrdistanz bezeichnet, die ein Lang-Lkw aufgrund seines geringeren gewichtsbezogenen spezifischen Verbrauchs fahren kann, um denselben Kraftstoffbedarf wie ein konventioneller Lkw für eine gegebene Transportaufgabe (Sendungsgewicht) aufzuweisen. Der Umwegfaktor ist der Prozentwert des Verhältnisses der Lang-Lkw-Strecke zur Strecke mit konventionellen Lkw:

$$U[\%] = \left( \frac{S_{LLkw}[km]}{S_{kLkw}[km]} - 1 \right) \cdot 100[\%] \quad (1)$$

mit:

$F$	Fahrtenzahl in [n]
$KB$	Kraftstoffbedarf in [l]
$KSV$	Kraftstoffverbrauch in [l/100 km]
$S$	Strecke in [km]
$SendGew$	Sendungsgewicht in [t]
$U$	Umwegfaktor in [%]
$Z$	Zuladung in [t]

Der Kraftstoffbedarf  $KB$  für die Transportaufgabe berechnet sich nach:

$$KB[l] = KSV \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right] \cdot S[km] \cdot F[n] \quad (2)$$

Die Fahrtenzahl ergibt sich aus Sendungsgewicht und Zuladung:

$$F[n] = \frac{SendGew[t]}{Z[t]} \quad (3)$$

Bei identischem Kraftstoffbedarf von Lang-Lkw und konventionellen Lkw gilt:

$$KB_{LLkw}[l] = KB_{kLkw}[l] \quad (4)$$

Einsetzen von (2) und (3) ergibt:

$$KSV_{LLkw} \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right] \cdot S_{LLkw}[km] \cdot \frac{SendGew[t]}{Z_{LLkw}[t]} = \frac{KSV_{kLkw}}{100} \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right] \cdot S_{kLkw}[km] \cdot \frac{SendGew[t]}{Z_{kLkw}[t]} \quad (5)$$

Das Streckenverhältnis und damit der Umwegfaktor ergeben sich nach Umstellen und Kürzen zu:

$$\frac{S_{LLkw}}{S_{kLkw}} = \frac{KSV_{kLkw}}{KSV_{LLkw}} \cdot \frac{Z_{LLkw}}{Z_{kLkw}} \quad (6)$$

Nach Einsetzen in (1) folgt:

$$U[\%] = \left( \frac{KSV_{kLkw}}{KSV_{LLkw}} \cdot \frac{Z_{LLkw}}{Z_{kLkw}} - 1 \right) \cdot 100[\%] \quad (7)$$

Entsprechend dieser Formel wurde der Umwegfaktor für die betrachteten Daimler-Relationen berechnet. Die Ergebnisse sind im Kapitel 5.3 zusammen mit den Ergebnissen der THG-Bilanz in der Ergebnisübersicht dargestellt.

## 10.11 TREIBHAUSGASBILANZ INTERMODALE VERLAGERUNG 2030 MIT DE MIX „100“ UND DE MIX 100% ERNEUERBARE ENERGIEN

Die THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung 2030 wurde in zwei weiteren Varianten mit einem Strommix mit einem um 10% höheren Anteil an erneuerbaren Energien sowie einem Strommix, der ausschließlich auf erneuerbaren Energien beruht (DE Mix „100“ und DE Mix 100% EE, siehe Kapitel 4.2.3).

### *DE Mix „100“ (S2)*

Durch den erhöhten Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix (65%) sinkt der THG-Emissionsfaktor für den eingesetzten Bahnstrom von 399 g CO<sub>2</sub>e/kWh auf 303 g CO<sub>2</sub>e/kWh (siehe Abbildung 21). Alle sonstigen Randbedingungen blieben unverändert.

Durch den veränderten Emissionsfaktor sind die per Bahn durchgeführten WLV- und KV-Transporte nun mit geringeren THG-Emissionen behaftet, so dass sich eine Verlagerung auf den Lang-Lkw entsprechend negativer auf die THG-Bilanz auswirkt. Mit dem Strommix „100“ beträgt die Zunahme der THG-Emissionen aufgrund der intermodalen Verlagerung insgesamt 499 t CO<sub>2</sub>e, was einer Zunahme von 19% im Vergleich zur Berechnung mit dem Strom-Mix 2030 „Korridor“ in Kapitel 4.2.3 entspricht (siehe Tabelle 49). Davon entfallen 462 t CO<sub>2</sub>e (+13%) auf Verlagerungen vom WLV auf den Lang-Lkw und 37 t CO<sub>2</sub>e (+255%) auf Verlagerungen vom KV auf den Lang-Lkw<sup>66</sup>.

Das Verhältnis der THG-Zunahme durch intermodale Verlagerung relativ zur THG-Minderung durch intramodale Verlagerung ändert sich mit 0,4% nur geringfügig. In der Summe aus intra- und intermodaler Verlagerung ergibt sich mit dem Strommix „100“ eine THG-Reduktion um 112.929 t CO<sub>2</sub>e, was im Vergleich zu den 113.009 t CO<sub>2</sub>e mit dem Strommix „Korridor“ eine Verringerung um 0,1% darstellt (siehe Tabelle 49).

### *DE Mix 100% EE (S3)*

In dieser Variante des Szenario 2030 werden die Auswirkungen des Einsatzes von Strom aus rein erneuerbaren Energien (EE) im Schienenverkehr auf die Ergebnisse des Szenarios 2030 untersucht. Hierbei überlagern sich zwei Effekte. Zum einen liegen die THG-Emissionen des Schienengüterverkehrs für diese Variante deutlich niedriger, da die THG-Emissionen eines ausschließlich auf EE basierenden Bahnstrommixes mit 40,1 g CO<sub>2</sub>e/kWh rund eine Größenordnung unter denen des in Kapitel 4.2.3 angesetzten Strommixes „Korridor“ mit 55% EE-Anteil (399 g CO<sub>2</sub>e/kWh, siehe Abbildung 21) liegen. Zum anderen ist bei einem rein auf erneuerbaren Energien basierenden Strommix von erhöhten Stromkosten auszugehen. Aus einem im Auftrag des BMU erstellten Gutachtens unter Mitwirkung der DB Netze [IWES 2011] ergeben sich für die Beschaffung von Strom aus 100% erneuerbaren Energien für die Deutsche Bahn angenommene Mehrkosten in der Größenordnung von ca. 1 ct/kWh<sup>67</sup>. Diese Kostenerhöhung führt, wie in Tabelle 49 aufgeführt, zu einer Erhöhung der Verlagerung von Transporten von der Schiene auf den LLkw in Höhe von 2.638 t (77.355 t statt 74.716 t im Szenario 2030 mit Strommix „Korridor“), d.h. zu einem Anstieg von 3,5%, da sich ein zusätzlicher Kostenvorteil für den Lang-Lkw gegenüber dem Schienengüterverkehr durch die höheren Bahnstromkosten ergibt.

<sup>66</sup> Die überproportionale Zunahme im KV ergibt sich rechnerisch aufgrund der bereits in Kapitel 6.2.2 beschriebenen nicht praxisgerechten Relationen. Unter Vernachlässigung dieser Verbindungen ergibt sich eine Zunahme der THG-Emissionen im KV um 82 t CO<sub>2</sub>e, was gegenüber 62 t CO<sub>2</sub>e mit dem Strommix „Korridor“ einer Steigerung um 32% entspricht.

<sup>67</sup> Abhängig von den gewählten Randbedingungen und dem gewählten Zeithorizont liegen die aus der Studie abgeleiteten Mehrkosten zwischen 0,3 ct/kWh und 2,4 ct/kWh.

In Summe führt dies zu einer Zunahme der THG-Emissionen aufgrund der Verlagerung von WLK und KV auf LLK um 342 t CO<sub>2</sub>e bzw. 82% gegenüber der Berechnung des Szenarios 2030 mit dem Strommix „Korridor“ (55% EE-Anteil) (siehe Tabelle 49).

In Relation zu den THG-Einsparungen aus der intramodalen Verlagerung machen die Mehremissionen durch die Verlagerung von Gütern von der Schiene auf die Straße nach wie vor weniger als 1 % aus. Insgesamt ergibt sich für diese Variante eine THG-Reduktion von 112.667 t CO<sub>2</sub>e durch den Einsatz von Lang-LKw. Im Vergleich zur Gesamteinsparung an THG-Emissionen aus intra- und intermodaler Verlagerung unter Zugrundelegung des Strommix „Korridor“ werden 0,3% weniger eingespart, d.h. die Relevanz der zu erwartenden Verlagerung an Transporten im Szenario 2030 von der Schiene auf den Lang-LKw ist in allen untersuchten Varianten als gering einzuschätzen.

Tabelle 49: Ergebnisse für das Szenario 2030 mit drei unterschiedlichen Strommischen

	Verlagerte Menge (Mio. t/a)	THG-Emissionen (t CO <sub>2</sub> e/a)	Verhältnis THG inter- /intramodale Verlagerung	Summe THG-Emissionen inter-/intramodale Verlage- rung (t CO <sub>2</sub> e/a)
<b>Intramodale Verlagerung</b>				
kLk auf LLk	41,6	-113.428		
<b>Intermodale Verlagerung</b>				
WLK+ KV auf LLk (verlagerte Fahrten) mit S1: DE Mix „Korridor“ (55% EE)	0,0747	419	0,4%	-113.009
WLK+ KV auf LLk (verlagerte Fahrten) mit S2: DE Mix „100“ (65% EE)	0,0747 (± 0%)	499 (+ 19%)	0,4%	-112.929 (-0,1%)
WLK+ KV auf LLk (verlagerte Fahrten) mit S3: DE Mix 100% EE	0,0774 (+ 3,5%)	761 (+ 82%)	0,7%	-112.667 (-0,3%)

 DAIMLER



## 10.12 SENSITIVITÄTSANALYSE

Um zu untersuchen, wie sich eine Änderung der zentralen Eingangsgrößen der Verlagerungsrechnung und der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung auf die Ergebnisse der Szenarien auswirken, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Im Einzelnen wurde der Effekt einer Veränderung der Lang-Lkw-Kostensätze und einer Veränderung der Kreuzpreiselastizitäten um jeweils  $\pm 5\%$  auf die verlagerte Menge vom konventionellen Lkw und von der Schiene auf den Lang-Lkw und damit die Fahrleistungen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen in beiden Szenarien analysiert.<sup>68</sup> Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 50 und Tabelle 51 abgebildet. Die in den Tabellen angegebenen prozentualen Änderungen beziehen sich auf das jeweilige Ausgangsszenario und weisen aus, wie sich die Verlagerung auf den Lang-Lkw mit der Variation der Rahmenbedingungen verändert.

Tabelle 50: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für das Szenario 2010

	Verlagerte Menge (Mio. t/a)	THG-Änderung (kt CO <sub>2</sub> e/a)
<b>Intramodale Verlagerung</b>		
Lang-Lkw (verlagerte Fahrten, vgl. Kap. 6.1)	8,9	-21,7
+5% Lang-Lkw-Kosten	7,3 (-18%)	-17,5 (+19%)
-5% Lang-Lkw-Kosten	10,6 (+19%)	-26,0 (-20%)
+5% Kreuzpreiselastizität	9,5 (+7%)	-23,2 (-7%)
-5% Kreuzpreiselastizität	8,3 (-7%)	-20,2 (+7%)
<b>Intermodale Verlagerung</b>		
Lang-Lkw (verlagerte Fahrten, vgl. Kap 6.2)	0,046	+0,3
+5% Lang-Lkw-Kosten	0,031 (-17%)	+0,2 (-29%)
-5% Lang-Lkw-Kosten	0,059 (+25%)	+0,5 (+60%)
+5% Kreuzpreiselastizität	0,049 (+5%)	+0,3 (+5%)
-5% Kreuzpreiselastizität	0,043 (-7%)	+0,3 (-7%)

LUBW DAIMLER

Beide Eingangsgrößen – Lang-Lkw-Kostensätze und Kreuzpreiselastizität – beeinflussen, welcher Anteil des für den Lang-Lkw geeigneten Potentials tatsächlich auf den Lang-Lkw verlagert wird. Der Zusammenhang zwischen Lang-Lkw-Kostensätzen und verlagerter Menge ist nicht durch eine analytische Funktion allgemein beschreibbar, da die Verlagerung für jede Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination auch von der Anzahl der eingesparten Fahrleistung mit Lang-Lkw, der Erfüllung der 50 Fahrten/Jahr-Mindestgrenze und der Verteilung der verlagerten Menge auf einzelne Fahrten (Mindestauslastung des Lang-Lkw von 85% bezogen auf Palettenstellplätze oder Nutzlast) abhängt. In Fällen, in denen die zu verlagernde Menge einer Quelle-Ziel-Güterabteilung-Kombination knapp unterhalb der Mindestgrenze von 50 Fahrten/Jahr liegt und damit keine Verlagerung stattfindet, kann eine geringe Abnahme der Lang-Lkw-Kostensätze oder eine Erhöhung

<sup>68</sup> Im vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg parallel beauftragten „Klimaschutzszenario“ werden ebenfalls Annahmen zu Transportpreisen und ihrer Entwicklung gemacht. Aufgrund unterschiedlicher Ziele und Herangehensweisen der beiden Untersuchungen sind die Annahmen aus dem Klimaschutzszenario aber nur schwer mit denen aus dem vorliegenden Bericht vergleichbar. Grundsätzlich wird im Klimaschutzszenario angenommen, dass die Transportpreise auf der Straße ansteigen und diejenigen auf der Schiene abnehmen. In der vorliegenden Sensitivitätsanalyse würde dies am ehesten dem prozentualen Anstieg der LLkw-Kosten um +5% entsprechen. Die Ergebnisse dieses Teils der Sensitivitätsanalyse entsprechen somit qualitativ den Bedingungen des Klimaschutzszenarios.

der Kreuzpreiselastizität zu einem Sprung von Null verlagerten Fahrten zu über 50 verlagerten Fahrten führen.

Wird die Veränderung der verlagerten Menge im Einzelnen betrachtet, so fällt auf, dass die Reaktion auf eine Änderung der Lang-Lkw-Kosten um 5% in allen Fällen überproportional ausfällt. Bei der intramodalen Verlagerung schwankt die Reaktion zwischen -18% bei einer Erhöhung der Lang-Lkw-Kostensätze um 5% im Szenario 2010 und +19% bei einer Reduktion der Lang-Lkw-Kostensätze um -5% ebenfalls im Szenario 2010 (Tabelle 50). Im Szenario 2030 sind die Änderungen weniger extrem (Tabelle 51). Bei der intermodalen Verlagerung fallen die Reaktionen größer aus mit +28% bei einer Reduktion der Lang-Lkw-Kostensätze um 5% und -29% bei einer Anhebung um 5% im Szenario 2030 (Tabelle 51).

Tabelle 51: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für das Szenario 2030

	Verlagerte Menge (Mio. t/a)	THG-Änderung (kt CO <sub>2</sub> e/a)
<b>Intramodale Verlagerung</b>		
Lang-Lkw (verlagerte Fahrten, vgl. Kap. 7.1)	41,6	-113,4
+5% Lang-Lkw-Kosten	34,5 (-17%)	-93,2 (+18%)
-5% Lang-Lkw-Kosten	48,9 (+18%)	-134,3 (-18%)
+5% Kreuzpreiselastizität	44,4 (+7)	-121,3 (-7%)
-5% Kreuzpreiselastizität	38,9 (-7%)	-105,7 (+7%)
<b>Intermodale Verlagerung</b>		
Lang-Lkw (verlagerte Fahrten, vgl. Kap. 7.2)	0,075	+0,4
+5% Lang-Lkw-Kosten	0,053 (-29%)	+0,1 (-66%)
-5% Lang-Lkw-Kosten	0,096 (+28%)	+0,7 (+69%)
+5% Kreuzpreiselastizität	0,081 (+8%)	+0,5 (+11%)
-5% Kreuzpreiselastizität	0,068 (-9%)	+0,4 (-12%)

LUBW DAIMLER

Die Reaktionen in der verlagerten Menge auf eine Veränderung der Kreuzpreiselastizitäten liegen zwischen -7% und -9% bei einer Reduktion der Elastizität um 5% und zwischen +5% und +8% bei einer Erhöhung der Elastizität um 5%. Das Modell reagiert also weniger stark auf eine Veränderung der angewandten Elastizitäten als auf eine Anhebung oder Absenkung der Lang-Lkw-Kostensätze. Während eine Änderung der Kreuzpreiselastizitäten um 5% eine in etwa gleich große Änderung bei der verlagerten Menge bewirkt, ist die Reaktion auf eine Änderung der Lang-Lkw-Kostensätze in allen Fällen überproportional. Grund für diesen Unterschied in der Sensitivität des Modells sind die unterschiedlichen Rollen der beiden Eingangsgrößen in der Verlagerungsrechnung, die anhand der Formel der Kreuzpreiselastizität aufgezeigt werden können (siehe auch Kapitel 3.4):

$$\varepsilon_{LLkw, kLkw} = \frac{X_{LLkw}}{X_{kLkw}} \cdot \frac{C_{LLkw} - C_{kLkw}}{C_{kLkw}}$$

$$\Leftrightarrow X_{LLkw} = \varepsilon_{LLkw, kLkw} \times \frac{C_{LLkw} - C_{kLkw}}{C_{kLkw}} \times X_{kLkw}$$

wobei:

$\varepsilon_{LLkw,kLkw}$ : Kreuzpreiselastizität des Lang-Lkw in Bezug zum konventionellen Lkw

$X_{LLkw}$ : Nachfrage für den Lang-Lkw

$X_{kLkw}$ : Nachfrage für den konventionellen Lkw (entspricht dem Potential für den Lang-Lkw)

$C_{LLkw}$ : Preis des Lang-Lkw

$C_{kLkw}$ : Preis des konventionellen Lkw

Die Kreuzpreiselastizität  $\varepsilon_{LLkw,kLkw}$  bestimmt das Verhältnis der Nachfrage für den Lang-Lkw, also der verlagerten Menge, zum Kostenunterschied zwischen Lang-Lkw und konventionellen Lkw, wie die umgebaute Formel in der zweiten Zeile zeigt. Erhöht sich  $\varepsilon_{LLkw,kLkw}$ , steigt der Anteil der verlagerten Menge daher proportional an. Die Kostensätze finden sich nicht direkt in der Formel, sondern sind Bestandteil für die Berechnung der Preise, wie folgende Formel zeigt:

$$C_{LLkw} = \text{Kostensatz}_{LLkw} \times \text{Fahrleistung}_{LLkw}$$

Wie stark eine Senkung der Kostensätze für den Lang-Lkw auf die verlagerte Menge wirkt, hängt also auch davon ab, wie sehr sich die Fahrleistung mit Lang-Lkw von der Fahrleistung mit konventionellen Lkw unterscheidet. Da der Lang-Lkw nur dann einen Kostenvorteil bietet, wenn Fahrten eingespart werden, ist die Fahrleistung mit Lang-Lkw im Fall einer Verlagerung geringer als mit konventionellen Lkw.

### 10.13 KURZBETRACHTUNG ZUM LANG-LKW TYP 1

Für die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Studie wurden ausschließlich die Lang-Lkw-Typen 2 und 3 berücksichtigt (siehe Kapitel 3.1). Auf Anregung aus dem Projektbeirat wurde zusätzlich eine beispielhafte Darstellung der möglichen THG-Einsparung mit dem Lang-Lkw Typ 1 durchgeführt.

Als Vergleichsbasis wurde ein konventioneller Megatrailer mit 15,0 t Leergewicht und 100 m<sup>3</sup> Ladevolumen gewählt, der mit 9,58 t (entsprechend der mittleren Zuladung der konventionellen Lkw aus den Daimler-Relationen) beladen ist. Für den Lang-Lkw Typ 1 wurde ein Leergewicht von 15,6 t angesetzt. Durch den 1,3 m längeren Trailer verfügt er über ein Ladevolumen von 109,7 m<sup>3</sup>, womit er rund 10% mehr Ladung als der Megatrailer aufnehmen kann. Entsprechend wurde die mittlere Beladung mit 10,54 t angenommen.

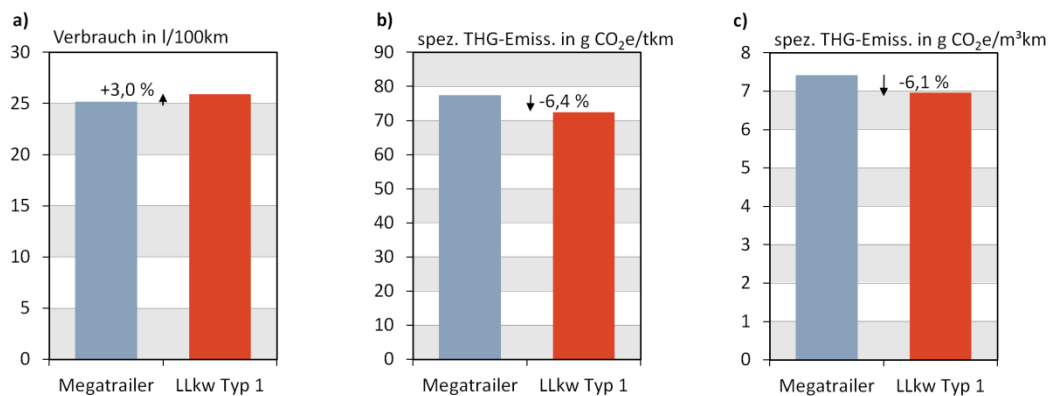
Für die Verbrauchsberechnung wurde für beide Lkw auf die in Kapitel 4.1.4 hergeleitete Verbrauchsfunktion für Autobahnen mit mittlerer Topografie zurückgegriffen. Da sich der Unterschied zwischen Megatrailer und Typ 1 auf den verlängerten Trailer reduziert, erschien es gerechtfertigt, für beide Lkw-Typen die Verbrauchsfunktion für konventionelle Lkw anzuwenden.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für den Lang-Lkw Typ 1 ein um 3% höherer Verbrauch, jedoch sinken aufgrund der höheren Beladung der spezifische Verbrauch und somit die spezifischen THG-Emissionen je tkm um 6,4% und je m<sup>3</sup>km um 6,1%. Tabelle 52 fasst die Eingangsdaten und Ergebnisse des Vergleichs zusammen, die in Abbildung 35 nochmals grafisch dargestellt sind.

Tabelle 52: Vergleich der möglichen THG-Minderung mit dem Lang-Lkw Typ 1 im Vergleich zum Megatrailer

	Zuladung (t)	Gesamtgewicht (t)	Kraftstoff- verbrauch (l/100 km)	Massenbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/tkm)	Volumenbez. THG-Emissionen (g CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> km)
<b>Lang-Lkw Typ 1</b>	10,54	26,14	25,9	72,5	7,0
<b>konv. Lkw (Megatrailer)</b>	9,58	24,58	25,1	77,4	7,4
<b>Verhältnis (Lang-Lkw Typ 1 / konv. Lkw)</b>	+10,0%	+6,3%	+3,20%	-6,4%	-6,1%

LUBW DAIMLER



LUBW DAIMLER

Abbildung 35: Ergebnisse Vergleich Lang-Lkw (LLkw) Typ 1 mit konventionellen Lkw (Megatrailer)



# Analyse des Einsatzes von Lang-Lkw im Hinblick auf seine Klimaeffekte

Kritische Würdigung der Studie  
Auftrags-Nr.: A16081020

Landesanstalt für Umwelt,  
Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg  
und Daimler AG

Geprüft durch:  
DEKRA Assurance Services  
GmbH  
13.07.2017

# PRÜFBERICHT

## Hintergrund und Vorgehen

---

Gegenstand dieser kritischen Würdigung ist die **Studie zum Einsatz von Lang-Lkw (LLkw) im Hinblick auf seine Klimaeffekte**. Die Studie wurde von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) und der Daimler AG beauftragt und von den Projektpartnern Prognos AG und thinkstep AG bearbeitet.

Die Zielsetzung der Studie besteht in der Analyse der Auswirkungen des Einsatzes von LLkw auf existierende Transporte mit konventionellen Lkw (kLkw) und Güterzügen auf der Schiene und die daraus entstehenden Klimaeffekte im Sinne der Messung von Treibhausgasemissionen.

Die kritische Würdigung der Studie hat folgende Zielsetzungen:

- Formale Prüfung der Vorgehensweise und der Dokumentation in Anlehnung an DIN EN 16258<sup>1</sup>;
- Sachliche Prüfung der Datenquellen, Annahmen und Berechnungen in Bezug auf Transparenz, Plausibilität und Datenqualität.

Die kritische Würdigung wurde wie folgt durchgeführt:

- Die Projektpartner Prognos AG und thinkstep AG haben den Berichtsentwurf der Studie vorgelegt und Vorgehensweise, Methodik, Hintergründe und Ergebnisse im Rahmen eines Treffens vorgestellt.
- DEKRA hat eine detaillierte Prüfung des Berichtes durchgeführt und daraufhin Fragen und Kommentaren an die Projektpartner übermittelt.
- Die Projektpartner haben offene Fragen im Rahmen einer Web-Konferenz erläutert und eine überarbeitete Version des Abschlussberichtes vorgelegt. Die hier vorliegende Kritische Würdigung bezieht sich auf die Endfassung des Berichtes.

---

<sup>1</sup> DIN EN 16258 (2013): Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen.

## Kritische Würdigung

Die Vorgehensweise der Studie wird ausführlich und transparent dargestellt (Kap. 1):

1. Klärung der Rahmenbedingungen und Analyse der realen Betriebsabwicklung von Transporten mit LLkw mittels Auswertung von Informationen des Feldversuchs<sup>2</sup>, bereitgestellten LLkw-Einsatzdaten der Daimler AG sowie strukturierten Fachdiskussionen mit Interessenvertretern der Logistikbranche.
2. Ermittlung des Potenzials der tatsächlich für den LLkw verfügbaren Gütermengen.
3. Auswertung von intramodalen (von kLkw auf LLkw) und intermodalen (von Schiene auf LLkw) Verlagerungseffekten. Zur Berechnung der Mengen an transportierten Gütern über die entsprechenden Distanzen wurden Fachgespräche zur realen Betriebsabwicklung ausgewertet, eine Verkehrsumlegung auf die in Frage kommenden Verkehrsträger vorgenommen und anhand der Kreuzpreiselastizität<sup>3</sup> die tatsächliche Verlagerung ermittelt.
4. Erstellung der Treibhausgasbilanz für die von der Daimler AG im Rahmen des Feldversuchs sowie der deutschlandweit durchgeführten LLkw-Transporte. Dazu wurden die spezifischen Verbräuche für LLkw, kLkw und Bahntransporte und die entsprechenden Treibhausgas-Emissionsfaktoren (Well-to-Wheel) ermittelt.
5. Szenarioauswertungen der Treibhausgasemissionen für 2010 und perspektivisch für 2030.
6. Interpretation der Ergebnisse und Ableitung von Schlussfolgerungen und Vorschlägen.

Die Methodik zur Ermittlung des Potenzials und der tatsächlichen Nachfrage nach Transporten mit Lang-Lkw (LLkw) ist plausibel und beruht auf glaubwürdigen Quellen. Die Methode zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen (THG) folgt den gängigen Normen der Ökobilanzierung (ISO 14040 und 14044), des Carbon Footprinting (ISO 14067) sowie der speziellen Norm zur Ermittlung von THG im Logistikbereich (DIN EN 16258). Zur Ermittlung der spezifischen Verbräuche von LLkw, konventionellen Lkw (kLkw) und der Bahntransporte sowie der relevanten THG-Emissionsfaktoren wurden ebenfalls umfangreiche Quellen herangezogen und analysiert. Dies gilt insbesondere für die zugrunde gelegten Dieserverbrauchsfunktionen für LLkw und kLkw.

Die in Kap. 2.1 dargestellten Anforderungen bzw. Einschränkungen sowohl von LLkw- als auch Bahntransporten sind nachvollziehbar und basieren auf detaillierten Erfahrungen der Logistikexperten der Daimler AG. Ergänzend dazu werden auch die Einschätzungen weiterer Fachexperten – insbesondere bzgl. der derzeitigen Bedingungen und zu erwartenden zukünftigen Entwicklungen des Einsatzes von LLkw – als fundiert und überzeugend bewertet (Kap. 2.2). Neben konkreten Daten (z.B. Strecken, auf denen LLkws eingesetzt wurden, Auslastungen, Gutarten, Verbräuche) lieferten die Gespräche wichtige praktische Hinweise und Filterkriterien zur Ermittlung

<sup>2</sup> In einer 5-jährigen Testphase (2012-2016) wurden LLkw auf deutschen Straßen eingesetzt. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) führte eine wissenschaftliche Begleitforschung zu diesem Feldversuch durch.

<sup>3</sup> Die Kreuzpreiselastizität beschreibt das Verhältnis einer prozentualen Änderung der Nachfrage nach einem Gut (hier: kLkw bzw. Schienentransport) zur prozentualen Veränderung des Preises eines anderen Gutes (hier LLkw).



der konkreten Nachfrage nach LLkw-Transporten. Die Erkenntnisse basieren auf über zwanzig Interviews, die gemäß eines stringenten und detaillierten Gesprächsleitfadens geführt wurden.

Die grundsätzliche Logik der Nachfragemodellierung (Kap. 3), bei der nicht nur das theoretische Verlagerungspotenzial, sondern die tatsächlichen inter- und intramodalen Verlagerungseffekte abgeschätzt werden, erscheint den Prüfern als richtungsweisender und realitätsnaher Ansatz. Somit werden nämlich nicht nur die nachfrageorientierte Verlagerungswirkung, sondern auch die Angebotsseite und damit die konkreten Kosten der unterschiedlichen Transportmöglichkeiten mit einbezogen. Im Zuge der Überprüfung der einzelnen Annahmen und Festlegungen beurteilen die Prüfer die folgenden als nachvollziehbar und glaubwürdig:

- **Lkw-Auswahl und -konfiguration** bzgl. Typen LLkw und kLkw, Palettenstellplätze, Nutzlast und Ladevolumen (Kap. 3.1);
- **Potenzialermittlung gemäß NST-2007-Güterabteilungen** (Kap. 3.2): Die Ermittlung der einzelnen Potenzialfaktoren und des daraus resultierenden realistischen Potenzials für den Einsatz von LLkw basiert auf einer sehr aufwändigen und fundierten Analyse der einzelnen Gütergruppen in Kombination mit relevanten Mengen und Transportdistanzen zwischen einzelnen Verkehrszellen bzw. angemessenen Filterkriterien. An einer Stelle wurde das Vorgehen im Bericht noch anschaulicher beschrieben und anhand eines Beispiels verdeutlicht.
- **Auswirkungen des Positivnetzes auf die Verkehrsumlegung** (Kap. 3.3): Die zentrale Annahme eines maximalen Umwegfaktors von 15% erscheint nachvollziehbar und entspricht den über Daten der Daimler AG ermittelten Ergebnissen. Die hohe Relevanz des Positivnetzes für die Ergebnisse wird anhand der Kartendarstellung des Straßennetzmodells gut sichtbar.
- **Intramodale Verlagerung** (Kap. 3.4): Die zur Berechnung der intramodalen Verlagerung relevanten Faktoren wie insbesondere die Kosten pro Fahrzeugkilometer und die Kreuzpreiselastizität sind transparent hergeleitet und beruhen auf glaubwürdigen Quellen, Experteneinschätzungen oder nachvollziehbaren Analysen. Aufgrund der Sensitivität dieser Annahmen wurden zusätzliche Auswertungen vorgenommen, in denen sowohl die Kosten als auch die Elastizitäten um jeweils 5% erhöht bzw. gesenkt wurden (Anhang 10.12). Die entsprechenden Auswirkungen sind plausibel und erleichtern somit die Interpretation der Ergebnisse für das Ausgangsszenario.
- **Intermodale Verlagerung** (Kap. 3.5): Analog zur intramodalen Verlagerung sind auch die Annahmen zur Bestimmung der intermodalen Verlagerung schlüssig. Wieder spielen die Kosten für kombinierten Verkehr (KV) und Einzelwagen und die Kreuzpreiselastizität die entscheidende Rolle, welche über die erwähnten Sensitivitätsanalysen plausibilisiert wurden.

Die vorgenannten Schritte wurden durch komplexe Datenbankabfragen in einer Statistik-Software und Matrizenauswertungen realisiert. Die Vorgehensweise und Zwischenergebnisse dieser Auswertung wurden den Prüfern in einer Web-Konferenz erläutert.



Die THG-Emissionen wurden gemäß der Empfehlungen aus DIN EN 16258 von Well-to-Wheel (= Well-to-Tank + Tank-to-Wheel) und sowohl transportleistungsbezogen (pro Tonnenkilometer, Volumenkilometer und Stellplatzkilometer) als auch transportaufgabenbezogen errechnet. Dabei wurden alle klimarelevanten Substanzen mit ihren spezifischen Äquivalenzfaktoren gemäß neuester IPCC-Daten berücksichtigt.

Besonderes Augenmerk wurde zunächst auf die **Bestimmung der Kraftstoffverbräuche von kLkw und LLkw** gelegt (Kap. 4.1.1–4.1.4), wobei insbesondere die jeweilige Topographie der Strecken (flach, mittel, bergig) berücksichtigt wurde. Für die Ermittlung der Verbrauchsfunktion in Abhängigkeit der Zuladung bzw. des Gesamtgewichtes wurde auf vier unterschiedliche Datenquellen abgestellt, insbesondere das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA), erhobene Daten der Deutschen Verkehrszeitung (DVZ) bzw. der European Truck Challenge (ETC), Primärdaten von Spediteuren für Daimler-Verkehre und Ergebnisse von Simulationen durch die Daimler AG. Diese Quellen wurden detailliert analysiert und ausgewertet und führten schließlich zur Festlegung der für die Studie geltenden Verbrauchsfunktionen. Es zeigte sich, dass der LLkw aufgrund von aerodynamischen Nachteilen und der höheren Achszahl einen höheren Verbrauch pro Gesamtgewicht aufweist. Das Vorgehen ist übersichtlich beschrieben und führt aus Sicht der Prüfer zu sehr robusten und verlässlichen Verbrauchswerten.

In Hinblick auf die Veränderung der Verbräuche für das Szenario 2030 (Kap. 4.1.5) orientierten sich die Projektbearbeiter an vergangenheitsbezogenen Effizienzsteigerungen sowie an zu erwartenden technischen Weiterentwicklungen. Diese wurden im Expertenkreis besprochen, mit anderen Werten abgeglichen und validiert. Ähnlich erfolgte die Analyse der Leerfahrtenanteile bzw. Auslastungsfaktoren für kLkw und LLkw bzgl. ihrer Auswirkungen auf die Verbrauchsfunktionen (Kap. 4.1.6).

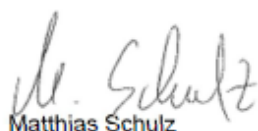
Bei der im nächsten Arbeitsschritt durchgeführten **Bestimmung der Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Diesel und den Lkw-Betrieb** (Kap. 4.1.7) kann sich der Projektpartner thinkstep auf seine umfassenden Erfahrungen und Datenquellen aus langjähriger Ökobilanzierungs- bzw. Datenbank-Entwicklungspraxis stützen. Die Berechnung der Emissionsfaktoren für die Dieselpreparierung für 2010 und 2030 berücksichtigt sowohl den Anteil fossilen Diesel als auch von Biodiesel aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen und die entsprechenden Herstellungsverfahren. Dieses Vorgehen ist als spezifischer und somit genauer anzusehen als der Ansatz gemäß DIN EN 16258 und wird daher von den Prüfern als zusätzliches Qualitätsmerkmal der Studie betrachtet. Die Emissionsfaktoren für die Tank-to-Wheel Emissionen sind gemäß geeigneter Quellen definiert und entsprechen insofern den Anforderungen der DIN EN 16258.

Ganz ähnlich beruhen auch die **Emissionsfaktoren für den für den Bahntransport verwendeten Strommix** (Kap. 4.2) auf detaillierten Analysen und glaubwürdigen Referenzen, die insbesondere Auskunft über den Anteil des Stroms aus erneuerbaren Quellen für 2010 und 2030 liefern. Für alle verwendeten Emissionsfaktoren wurden Plausibilitätschecks seitens der Prüfer durchgeführt.

In Kap. 5 der Studie werden die THG-Emissionen zunächst exemplarisch für eine Relation der Daimler LLkw-Verkehre aufgezeigt, um das Vorgehen bei der Berechnung für den Leser verständlicher aufzubereiten. Im Anschluss werden die THG-Reduktionen für alle Relationen der Daimler LLkw-Verkehre berechnet, indem diese von den THG-Emissionen abgezogen werden, die bei dem hypothetischen Einsatz von kLkw entstanden wären. Die THG-Berechnungen wurden auf Plausibilität untersucht: es zeigten sich keine erkennbaren Fehler; Anmerkungen nach der ersten Durchsicht konnten vollständig geklärt werden. Die am Ende des Kapitels formulierten Interpretationen und Schlussfolgerungen übersetzen die Berechnungsergebnisse in angemessener Weise und stellen die wesentlichen Punkte deutlich heraus.

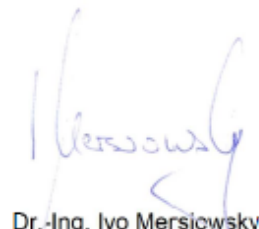
Den Szenarien 2010 (Kap. 6) und 2030 (Kap. 7) liegen jeweils Verlagerungsrechnungen gemäß den Prognosen des Bundesverkehrswegeplans zugrunde. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass für 2010 ein Positivnetz unter Ausschluss u.a. der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz besteht, während für 2030 von einer Öffnung auf das gesamte Fernstraßennetz ausgegangen wird. Ausgehend von den Modelldaten zur intra- und intermodalen Verlagerung werden die damit einhergehenden Effekte in Bezug auf Verkehrs- und Fahrleistung sowie THG-Emissionen transparent dargestellt. Die Auswertung der Szenarien (Kap. 8) erscheint sachgerecht und angemessen: So wird das sehr begrenzte verlagerbare Potenzial deutlich herausgestellt. Zumal durch den Bezug zum Gesamtaufkommen an Verkehrs- und Fahrleistung sowie THG-Emissionen erscheint der Beitrag des LLkw als zwar positiv, jedoch verschwindend gering. Soweit dies aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweisen möglich ist, nehmen die Autoren der Studie auch den Abgleich mit den Befunden der BAST-Untersuchung vor und stellen zumindest hinsichtlich der tatsächlich verlagerten Mengen und der qualitativen Verringerung von THG-Emissionen eine befriedigende Übereinstimmung fest.

Insgesamt kommt diese Studie demnach zu dem Schluss, dass intramodale Verlagerungen vom kLkw zum LLkw zu einer Verringerung des Lkw-Verkehrs und der damit einhergehenden THG-Emissionen führen. Die Entlastung durch den LLkw als Nischenprodukt ist bezogen auf den gesamten Straßengüterfernverkehr als eher gering einzuschätzen. Auch wird durch die sehr geringfügige intermodale Verlagerung von der Schiene auf die Straße ein nochmals deutlich geringerer Effekt durch die Einführung des LLkw erwartet. Diese Schlussfolgerungen werden durch die vorgelegten Daten, Modelle und Berechnungen schlüssig gestützt und von den Prüfern mitgetragen.



Matthias Schulz

Schulz Sustainability Consulting



Dr.-Ing. Ivo Mersicowsky

Quindium GbR

im Auftrag der DEKRA Assurance Services GmbH, Stuttgart

# Abkürzungsverzeichnis

<b>40 (44) t</b>	Maximales zulässiges Gesamtgewicht von 40 Tonnen im Straßengüterverkehr bzw. von 44 Tonnen im Vor- und Nachlauf des kombinierten Verkehrs
<b>BAB</b>	Bundesautobahn
<b>BASt</b>	Bundesanstalt für Straßenwesen
<b>BMVI</b>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
<b>BVWP</b>	Bundesverkehrswegeplan
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent
<b>CPA</b>	<i>Classifications of products by activity</i> ; Statistische Güterklassifikation der EU in Verbindung mit den Wirtschaftszeigen
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>EVU</b>	Eisenbahnverkehrsunternehmen
<b>Fzgkm</b>	Fahrzeugkilometer
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i> ; Internationale Organisation für Normung
<b>KBA</b>	Kraftfahrt-Bundesamt
<b>KEP</b>	Kurier-Express-Paket-Dienst
<b>kLkw</b>	konventioneller Lkw
<b>KV</b>	Kombinierter Verkehr
<b>LBT</b>	Leichtbautechnik
<b>Lkw</b>	Lastkraftwagen
<b>LLkw</b>	Lang-Lkw
<b>NL</b>	Nachlauf
<b>NST</b>	<i>Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport</i> ; Einheitliche Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik der EU. Siehe auch im Glossar unter <i>NST-2007</i>
<b>SGV</b>	Schienengüterverkehr
<b>TEU</b>	<i>Twenty-foot Equivalent Unit</i> ; 20-Fuß-Standardcontainer
<b>THG</b>	Treibhausgas
<b>tkm</b>	Tonnenkilometer
<b>VL</b>	Vorlauf
<b>WLV</b>	Wagenladungsverkehr (inkl. Einzelwagenverkehr)



# Glossar

Verweise auf andere Einträge sind durch ↗ gekennzeichnet

**Ausgangsfahrt:** Rückfahrt vom Montagewerk zum Zulieferer (wird im Werk als Ausgang erfasst)

**Bundesverkehrswegeplan:** Integriertes ↗verkehrsträgerübergreifendes Gesamtverkehrskonzept, das die Aufstellung aller geplanten Investitionen (Neubau, Ausbau, Erneuerung und Erhaltung) des Bundes in die Verkehrsinfrastruktur für den Planungszeitraum enthält und als Grundlage für die Ausbaugesetze der jeweiligen bundeseigenen Infrastruktur (Fernstraßen, Schienenwege, Wasserstraßen) dient. Die Kurzform ist BVWP.

**CPA-2008:** Statistische Güterklassifikation der EU in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen, die z. B. in der Produktionsstatistik verwendet wird. Während eine Umschlüsselung der Unterkategorien der CPA-2008 in eine entsprechende ↗Gütergruppe der ↗NST-2007 möglich ist, ist aufgrund der geringeren Ausdifferenzierung der umgekehrte Weg nicht möglich.

**Dolly:** Ein kurzer Anhänger, der zum Ankuppeln eines ↗Sattelanhängers dient.

**Eingangsfahrt:** Fahrt vom Zulieferer zum Montagewerk (wird im Werk als Eingang erfasst)

**Einzelwagen(verkehr):** Betriebskonzept für den Schienengüterverkehr, bei dem einzelne Güterwagen oder Wagengruppen verschiedener Kunden in einem Rangierbahnhof zu einem Zug zusammengestellt werden. Am Zielbahnhof wird der Zug wieder in Einzelwagen oder Wagengruppen aufgeteilt, die anschließend dem jeweiligen Empfänger zugestellt werden. Vergleiche auch ↗Ganzzug.

**Ganzzug:** Betriebskonzept für den Schienengüterverkehr, bei dem ein Güterzug ohne das An- und Abkoppeln weiterer Einzelwagen oder Wagengruppen zwischen Start- und Zielbahnhof verkehrt. Vergleiche auch ↗Einzelwagen(verkehr).

**Gliederzug:** Eine Kombination aus einem ↗Motorwagen und einem Anhänger. Auch Lastzug genannt.

**Güterabteilung:** Oberste Ebene der statistischen Güterklassifizierung ↗NST-2007. Die Güterabteilungen dienen der Klassifizierung von Gütern in der Verkehrsstatistik und sollen eine Vergleichbarkeit der Güterverkehrsstatistik der verschiedenen europäischen Länder bei gleichzeitiger Kompatibilität mit der z. B. in der Produktionsstatistik genutzten Gütergliederung der ↗CPA-2008 ermöglichen. Jede Güterabteilung ist weiter in verschiedene ↗Gütergruppen unterteilt.

**Gütergruppe:** Unterste Ebene der statistischen Güterklassifizierung ↗NST-2007. Sie dienen der weiteren Differenzierung der 20 ↗Güterabteilungen. Während eine Umschlüsselung der Unterkategorien der ↗CPA-2008 in eine entsprechende Gütergruppe der ↗NST-2007 möglich ist, ist aufgrund der geringeren Ausdifferenzierung der umgekehrte Weg nicht möglich.

**Hauptlauf:** Bezeichnung für den Transport zwischen zwei  $\nearrow$ KV-Terminals auf der Schiene im  $\nearrow$ Kombinierten Verkehr. Vergleiche auch  $\nearrow$ Vor- und  $\nearrow$ Nachlauf.

**Hub:** Zentraler Güterumschlagsplatz, in dem ausgehende Güter aus dem Einzugsgebiet gebündelt und verschickt und eingehende Güter kommissioniert und ins Einzugsgebiet verteilt werden.

**Hub-Hub-Verkehr:** Verbindungsfahrt zwischen zwei  $\nearrow$ Hubs.

**Intermodal:** Zwei oder mehr  $\nearrow$ Verkehrsträger betreffend.

**Intramodal:** Einen  $\nearrow$ Verkehrsträger betreffend.

**Jumbo-Gliederzug:** Spezielle Bauform eines  $\nearrow$ Gliederzugs mit 38 – 40 Palettenstellplätzen und einer lichten Ladehöhe von drei Metern. Dadurch steht je nach Ausführung ein Ladevolumen von über 110 m<sup>3</sup> zur Verfügung. In der vorliegenden Studie wurde von einem Ladevolumen von 114 m<sup>3</sup> (2 Jumbowechselbrücken mit jeweils 57 m<sup>3</sup> Ladevolumen) ausgegangen.

**Kombinierter Verkehr:**  $\nearrow$ Intermodaler Verkehr, bei dem der überwiegende Teil der zurückgelegten Strecke mit der Eisenbahn, dem Binnen- oder einem Seeschiff bewältigt wird, der Transport zu und von den entsprechenden Zugangspunkten der genannten  $\nearrow$ Verkehrsträger aber auf der Straße erfolgt. Im vorliegenden Bericht ist mit dem Begriff ausschließlich eine Transportkette aus Straßenverkehr und Eisenbahn gemeint. Die Kurzform ist KV. Der Straßentransport zu bzw. von den Zugangspunkten wird als Vor- bzw. Nachlauf bezeichnet (in diesem Bericht teilweise auch mit den Kurzformen VL bzw. NL).

**Komplettladungsverkehr:** Transport, bei dem das Nutzfahrzeug voll beladen zwischen Start- und Zielpunkt verkehrt und anders als im Sammelverkehr keine weitere Ladung an anderen Orten aufnimmt.

**Kraftstoffbedarf:** Absoluter Verbrauch an Kraftstoff für eine Transportaufgabe (in l), ergibt sich aus dem durchschnittlichen  $\nearrow$ Kraftstoffverbrauch durch Multiplikation mit der zurückgelegten Entfernung.

**Kraftstoffverbrauch:** Streckenbezogener Verbrauch an Kraftstoff (in l/100 km). Dieser ist zu unterscheiden vom  $\nearrow$ Kraftstoffbedarf.

**KV-Terminal:** Ein Güterumschlagsplatz, an dem der Übergang der Güter von der Straße auf die Schiene oder umgekehrt möglich ist. Dient dem  $\nearrow$ Kombinierten Verkehr.

**Ladungsdichte:** Verhältnis der Zuladung eines Nutzfahrzeugs zum zur Verfügung stehenden Ladevolumen.

**Lang-Lkw:** Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit bis zu 25,25 m Länge und einem zulässigen maximalen Gesamtgewicht von 40 (44) t. Im Rahmen des Feldversuchs der BAST wurden insgesamt 5 Typen untersucht, die der Abbildung 1 auf Seite 9 entnommen werden können.

**Mega-trailer:** Spezielle Bauform eines  $\nearrow$ Sattelanhängers mit 34 Palettenstellplätzen und einer lichten Ladehöhe von drei Metern. Dadurch steht ein Ladevolumen von ca. 100 m<sup>3</sup> zur Verfügung.

**Motorwagen:** Ein Lastkraftwagen, der dem Transport von Gütern auf einer fest mit dem Fahrgestell verbundenen Ladefläche dient.

**Nachfrage:** Tatsächlicher Bedarf an einem Gut oder einer Dienstleistung.

**Nachlauf:** Der Straßentransport nach dem *↗Hauptlauf* zwischen einem *↗KV-Terminal* und dem Zielort im *↗Kombinierten Verkehr*. In Deutschland gesetzlich auf maximal 50 km beschränkt. Im Vor- und Nachlauf zum KV darf das zulässige Gesamtgewicht 44 t statt 40 t betragen. Vergleiche auch *↗Vorlauf*.

**NST-2007:** Eine für die Verkehrsstatistik genutzte Güterklassifikation mit 20 *↗Güterabteilungen* in der ersten Ebene sowie 81 *↗Gütergruppen* in der zweiten Ebene. Sie dient der Vergleichbarkeit der Güterverkehrsstatistik der verschiedenen europäischen Länder bei gleichzeitiger Kompatibilität mit der z. B. in der Produktionsstatistik genutzten Gütergliederung der *↗CPA-2008*. Die Definition der NST-2007 kann [DESTATIS 2008] entnommen werden.

**Nutzlast:** Maximal mögliche Zuladung eines Nutzfahrzeugs, ohne dass das zulässige Gesamtgewicht von 40 (44) t überschritten wird.

**Paarigkeit:** Ungefähr gleichgroße *↗Nachfrage* auf Hin- und Rückfahrt eines *↗Rundlaufs*.

**Positivnetz:** Für den Betrieb von *↗Lang-Lkw* freigegebenes Straßennetz. Das im Rahmen des vorliegenden Berichts genutzte Positivnetz nach [BAST 2016] kann Abbildung 4 auf Seite 29 entnommen werden.

**Relation:** Verkehrsverbindung zwischen zwei Orten.

**Rundlauf:** Verkehrsverbindung, die aus einer Hinfahrt von einem Ausgangs- zu einem Zielpunkt sowie der Rückfahrt zurück zum Ausgangspunkt besteht.

**Sattelanhängers:** Ein Fahrzeug ohne eigenen Antrieb zur Beförderung von Gütern, das zur Ankupplung an ein Kraftfahrzeug in der Weise vorgesehen ist, dass ein wesentlicher Teil seines Gewichts und seiner Last von dem Kraftfahrzeug getragen wird. Wird auch als Trailer bezeichnet.

**Sattelkraftfahrzeug:** Eine Kombination aus einer *↗Sattelzugmaschine* und einem *↗Sattelanhängers*. Umgangssprachlich auch Sattelzug genannt.

**Sattelzugmaschine:** Kraftfahrzeug, das zum Ziehen von *↗Sattelanhängers* dient.

**Taschenwagen:** Ein spezieller Güterwagen, der dem Transport von *↗Sattelanhängers* per Bahn dient.

**Trailer:** siehe *↗Sattelanhängers*.

**Umlegung:** Abbildung des durch das Potential (im Kontext des Berichts: Güteraufkommen) zu überwindenden Widerstands (im Kontext des Berichts: Fahrzeit) zwischen zwei Knoten eines Netzwerks.

**Unpaarigkeit:** Das Gegenteil von *↗Paarigkeit*.

**Verbrauchsfunktion:** Funktion, die den Zusammenhang zwischen Fahrzeuggewicht und Kraftstoffverbrauch beschreibt.

**Verflechtungsmatrix:** Tabelle, in der die Beziehung zwischen jedem Eingangsknoten mit jedem Ausgangsknoten dargestellt wird. Im Kontext dieses Berichts handelt es sich bei den Eingangs- und Ausgangsknoten um die Gesamtheit der  $\nearrow$ Verkehrszellen, die Beziehung stellt das Güteraufkommen zwischen den Verkehrszellen dar.

**Verflechtungsprognose:** In [BVU et al. 2014] gegebene Prognose der Verkehrsströme zwischen den einzelnen  $\nearrow$ Verkehrszellen für das Jahr 2030.

**Verkehrsträger:** System, auf oder in dem die Verkehrsleistung erbracht wird (z.B. Straße oder Schiene).

**Verkehrszelle:** Bezeichnung für eine theoretische räumliche Einheit, die als Quelle und Ziel von Verkehrsaufkommen fungiert. In diesem Bericht wird auf Verkehrszellen der  $\nearrow$ Verflechtungsprognose zurückgegriffen. Damit verfügen alle deutschen Kreise und kreisfreien Städte zum Stichtag 31.12.2010 sowie zusätzlich alle Seehäfen über eigene Verkehrszellen. Der Umgang mit der Kreisgebietsreform 2011 in Mecklenburg-Vorpommern wird in Fußnote 7 auf Seite 23 erläutert. Eine Liste aller Verkehrszellen ist in Anhang 10.4 gegeben.

**Verlagerung:** Wechsel eines bestehenden Gütertransports von einem  $\nearrow$ Verkehrsträger auf einen anderen.

**Vorlauf:** Der Straßentransport vor dem  $\nearrow$ Hauptlauf zwischen dem Herkunftsort und einem  $\nearrow$ KV-Terminal im  $\nearrow$ Kombinierten Verkehr. In Deutschland gesetzlich auf maximal 50 km beschränkt. Im Vor- und Nachlauf zum KV darf das zulässige Gesamtgewicht 44 t statt 40 t betragen. Vergleiche auch  $\nearrow$ Nachlauf.

**Wechselbehälter:** Ein austauschbarer Ladungsträger, der sich vom Trägerfahrzeug trennen lässt und anders als Container auf eine optimale Beladung mit Europaletten ausgelegt ist.



# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mitglieder des Projektbeirats .....	12
Tabelle 2:	Teilnahmestatistik Fachgespräche .....	17
Tabelle 3:	Nutzung der verschiedenen Lang-Lkw-Typen bei den befragten Unternehmen .....	17
Tabelle 4:	Maximal mögliche Palettenstellplätze für die in der Untersuchung genutzten Durchschnittsfahrzeuge .....	22
Tabelle 5:	Festlegungen der Leergewichte der Lang-Lkw und der Vergleichsfahrzeuge für das Szenario zum Feldversuch 2010 .....	22
Tabelle 6:	Festlegungen der Ladevolumina der Lang-Lkw und der Vergleichsfahrzeuge für das Szenario zum Feldversuch 2010 .....	22
Tabelle 7:	Nutzlast und durchschnittliche maximale Gewichte pro Palettenstellplatz bei voller Zuladung für verschiedene Lkw-Typen .....	23
Tabelle 8:	Durchschnittliche Palettengewichte der NST-2007-Güterabteilungen sowie Eignung für den Transport mit Lang-Lkw .....	24
Tabelle 9:	Potentialfaktoren der NST-2007-Güterabteilungen .....	27
Tabelle 10:	Angenommene Palettengewichte für konventionelle bzw. Lang-Lkw für Güterabteilungen mit teilweiser Eignung für den Lang-Lkw .....	28
Tabelle 11:	Kosten pro Fzghm für konventionelle und Lang-Lkw im Szenario 2010 .....	32
Tabelle 12:	Kosten pro Fzghm für konventionelle und Lang-Lkw im Szenario 2030 .....	33
Tabelle 13:	Kostensätze Bahn nach Produktionsarten 2010 .....	35
Tabelle 14:	Kostensätze Lkw im Vor- und Nachlauf zum KV (Beispielrelation) .....	35
Tabelle 15:	Übersicht der Fahrzeugkonfigurationen für die betrachteten Daimler-Lang-Lkw- Verkehre .....	41
Tabelle 16:	Überblick topografischer Anspruch je Strecke .....	42
Tabelle 17:	Verbrauchszunahme bei Lkw durch Berücksichtigung von Leerfahrten im Jahr 2010 .....	51
Tabelle 18:	Auswertung der Fahrtdaten am Beispiel der Relation Bautzen – Rastatt .....	61
Tabelle 19:	Mittelwerte aus Auswertung aller Fahrtdaten der Lang-Lkw auf allen Daimler- Relationen, im Rundlauf .....	62
Tabelle 20:	Übersicht Ladungsverhältnisse von Lang-Lkw zu konventionellen Lkw für ausgewählte Daimler-Relationen .....	63
Tabelle 21:	Gegenüberstellung der Fahrparameter und resultierenden spezifischen THG-Emissionen von Lang-Lkw und konventionellen Lkw für die Relation Treuen – Sindelfingen (Eingangsfahrten) .....	64
Tabelle 22:	Vermiedene Fahrleistungen und THG-Emissionen durch den Einsatz von Lang-Lkw auf den untersuchten Daimler-Relationen (Eingangsfahrten) .....	67
Tabelle 23:	Vermiedene Fahrleistungen und THG-Emissionen durch den Einsatz von Lang-Lkw auf den untersuchten Daimler-Relationen bei gleicher Ladungsdichte und Volumenauslastung (Eingangsfahrten) .....	68
Tabelle 24:	Intramodale Verlagerung (Szenario 2010) .....	72
Tabelle 25:	THG-Bilanz der intramodalen Verlagerung und Veränderung der spezifischen THG- Emissionen (Szenario 2010) .....	73
Tabelle 26:	Intermodale Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr (Szenario 2010) .....	74
Tabelle 27:	Intermodale Verlagerung aus dem Kombinierten Verkehr (Szenario 2010) .....	74

Tabelle 28:	THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung (Szenario 2010).....	75
Tabelle 29:	Veränderung der spezifischen THG-Emissionen bei der Verlagerung im Wagenladungsverkehr (Szenario 2010).....	76
Tabelle 30:	Vergleich der Auswirkungen von intra- und intermodaler Verlagerung .....	76
Tabelle 31:	Intramodale Verlagerung (Szenario 2030).....	77
Tabelle 32:	THG-Bilanz der intramodalen Verlagerung und Veränderung der spezifischen THG- Emissionen (Szenario 2030) .....	78
Tabelle 33:	Intermodale Verlagerung aus dem Wagenladungsverkehr (Szenario 2030).....	79
Tabelle 34:	Intermodale Verlagerung aus dem Kombinierten Verkehr (Szenario 2030) .....	80
Tabelle 35:	THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung (Szenario 2030).....	81
Tabelle 36:	Veränderung der spezifischen THG-Emissionen bei der Verlagerung im Wagenladungsverkehr (Szenario 2030).....	81
Tabelle 37:	Intermodale Verlagerung beim Einsatz von Lang-Lkw im KV anhand von Beispielen .....	82
Tabelle 38:	THG-Bilanz der intermodalen Verlagerung beim Einsatz von Lang-Lkw im KV anhand von Beispielen.....	83
Tabelle 39:	Vergleich der Auswirkungen von intra- und intermodaler Verlagerung .....	83
Tabelle 40:	Ergebnisse aus der intramodalen und intermodalen Verlagerung in den Szenarien 2010 und 2030 .....	86
Tabelle 41:	Ladungsdichten der Beispieltransporte von Daimler.....	96
Tabelle 42:	Treibhausgasbilanz für den KV-Transport im Vergleich zum Transport mit konventionellen Lkw auf der Relation Hamburg – Sindelfingen .....	96
Tabelle 43:	Angaben zu den einzelnen Fahrten am Beispiel Treuen – Sindelfingen (Auszug).....	116
Tabelle 44:	Beispielhafte Angaben zu den technischen Spezifikationen der eingesetzten Lang-Lkw ....	117
Tabelle 45:	Übersicht über die Auswertung aller Fahrtdaten der Lang-Lkw aller Daimler-Relationen im Rundlauf .....	118
Tabelle 46:	Übersicht Ladungsverhältnisse von Lang-Lkw zu konventionellen Lkw für alle Daimler-Relationen.....	119
Tabelle 47:	Übersicht über den Kraftstoffverbrauch der betrachteten Daimler-Lang-Lkw-Verkehre ....	125
Tabelle 48:	Simulierte Verbräuche von Lang-Lkw und konventionellen Lkw im Vergleich .....	131
Tabelle 49:	Ergebnisse für das Szenario 2030 mit drei unterschiedlichen Strommischen.....	134
Tabelle 50:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für das Szenario 2010 .....	135
Tabelle 51:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für das Szenario 2030 .....	136
Tabelle 52:	Vergleich der möglichen THG-Minderung mit dem Lang-Lkw Typ 1 im Vergleich zum Megatrailer.....	138

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über die im Rahmen des Feldversuchs zugelassenen Lang-Lkw-Typen.....	9
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Bearbeitungsschritte .....	10
Abbildung 3:	Aggregierte Einschätzung der Befragten in den Fachgesprächen zur Wahrscheinlichkeit des Eintretens der genannten Trends und inwiefern diese für den Lang-Lkw vorteilhaft sind.....	19
Abbildung 4:	Straßennetzmodell des Positivnetzes .....	29
Abbildung 5:	Straßennetzmodell des Gesamtnetzes .....	30
Abbildung 6:	THG-Bilanzierung – Berechnungsschritte, Bezugsgrößen und wesentliche Einflussfaktoren.....	38
Abbildung 7:	Verbrauchsfunktionen für verschiedene Steigungsklassen für einen Euro VI-Lkw (zul. Gesamtgewicht 40 t) im Fernverkehr .....	39
Abbildung 8:	Verbrauchsdaten für die Daimler-Verkehre nach HBEFA für konventionelle Lkw und Lang-Lkw, unterteilt nach Topografiegruppen.....	43
Abbildung 9:	Validierung der Verbrauchsdaten für alle Daimler-Verkehre nach HBEFA mit Spediteursangaben, unterteilt in die Topografiegruppen flach, mittel und bergig.....	44
Abbildung 10:	Ergebnisse der Daimler-Kraftstoffverbrauchssimulation für Lang-Lkw und konventionelle Lkw auf mittleren Strecken.....	46
Abbildung 11:	Anzuwendende Verbrauchsfunktion für mittlere Strecken.....	47
Abbildung 12:	Anzuwendende Verbrauchsfunktion für bergige Strecken .....	48
Abbildung 13:	Anzuwendende Verbrauchsfunktion für flache Strecken .....	49
Abbildung 14:	Elemente der Treibhausgasbilanz .....	52
Abbildung 15:	Vereinfachte Prozesskette der Diesekraftstoffbereitstellung .....	52
Abbildung 16:	Zusammensetzung Diesekraftstoff 2015 und 2030 (auf Basis Heizwert).....	53
Abbildung 17:	Ausgangsstoffe Biodieselanteil.....	54
Abbildung 18:	Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung („Well-to-Tank“).....	55
Abbildung 19:	Gesamte THG-Emissionen je Liter Kraftstoff (direkte Betriebsemissionen in der Nutzung und indirekte Emissionen aus der Kraftstoffbereitstellung).....	56
Abbildung 20:	Zusammensetzung der verwendeten Bahn-Strommixe.....	58
Abbildung 21:	THG-Emissionen der verwendeten Bahn-Strommixe .....	59
Abbildung 22:	Vergleichende Darstellung der Auswirkungen des Lang-Lkw-Einsatzes für die Relation Treuen – Sindelfingen (Eingangsfahrt).....	65
Abbildung 23:	Absolute (links) und spezifische (rechts) NO <sub>x</sub> -Emissionen eines konventionellen 40-Tonnen-Lkw der Norm Euro VI .....	89
Abbildung 24:	PM-Emissionen eines konventionellen 40-Tonnen-Lkw der Norm Euro VI .....	90
Abbildung 25:	Daimler Rail Net 2016.....	95
Abbildung 26:	Treibhausgasemissionen im Vergleichsbeispiel Hamburg – Sindelfingen.....	97
Abbildung 27:	Routenführung konventioneller Lkw (links) und Lang-Lkw (rechts) am Beispiel Treuen – Sindelfingen.....	117
Abbildung 28:	Auswertung Fahrdaten Fulda – Werk Bremen, Ein- und Ausgangsfahrten Lang-Lkw-konventionelle Lkw .....	120
Abbildung 29:	Autobahnabschnitt Osterburken – Dreieck Leonberg (A 81) mit Höhenprofil .....	122

Abbildung 30: Höhenprofil auf Basis Rohdaten nach [Basler & Partner, 2016] und bereinigter Höhendaten für den Autobahnabschnitt Osterburken – Dreieck Leonberg (A81) .....	123
Abbildung 31: Gemittelte Verbrauchsfunktion für zehn Zugmaschinen nach DVZ-Test .....	127
Abbildung 32: Verbrauch nach DVZ-Tests, ETC und HBEFA im Vergleich.....	128
Abbildung 33: Höhenprofile und Steigungsklassen der von Daimler für die Verbrauchssimulation verwendeten Fahrzyklen .....	129
Abbildung 34: Ergebnisse der Daimler-Kraftstoffverbrauchssimulation für Lang-Lkw (LLkw) und konventionelle Lkw (kLkw) in den vier verschiedenen Fahrzyklen.....	131
Abbildung 35: Ergebnisse Vergleich Lang-Lkw (LLkw) Typ 1 mit konventionellen Lkw (Megatrailer) ...	138

# Literaturverzeichnis

- [Appel et al. 2013] Wolfgang Appel, Hermann Brähler, Ulrich Dahlhaus, C. Freudenberg, Thomas Esch, Stephan Kopp, Bernd Rhein, Prof. Dr.-Ing. Stefan Breuer (Hrsg.) und Erich Hoepke (Hrsg.), Nutzfahrzeugtechnik: Grundlagen, Systeme, Komponenten. Vieweg+Teubner | Springer Fachmedien, Wiesbaden 2013
- [Basler + Partner 2016] Ernst Basler + Partner, Automatische Höhenprofilberechnung Version 2.0 (beta), Link: <http://geo.ebp.ch/gelaendeprofil/> (Stand 30.09.2016)
- [BASt 2014] Bundesanstalt für Straßenwesen, Feldversuch mit Lang-Lkw – Zwischenbericht, Bergisch-Gladbach 2014
- [BASt 2016] Bundesanstalt für Straßenwesen, GIS-Daten des Positivnetzes nach der 6. Änderungsverordnung. Bereitgestellt durch Dr. M. Irzik, Bergisch Gladbach, Juli 2016
- [BASt 2016a] Bundesanstalt für Straßenwesen, Rohdaten zur Streckenlängsneigung für das deutsche Bundesautobahnnetz. Bereitgestellt durch Dr. M. Irzik, Bergisch Gladbach, September 2016
- [BASt 2016b] Bundesanstalt für Straßenwesen, Feldversuch mit Lang-Lkw – Abschlussbericht, Bergisch-Gladbach 2016
- [BASt Typ 1] Bundesanstalt für Straßenwesen, Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger (Sattelkraftfahrzeug) bis zu einer Gesamtlänge von 17,80 Metern (Typ 1), Bergisch-Gladbach, ohne Jahr
- [BASt Typ 2] Bundesanstalt für Straßenwesen, Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Typ 2), Bergisch-Gladbach, ohne Jahr
- [BASt Typ 3] Bundesanstalt für Straßenwesen, Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Typ 3), Bergisch-Gladbach, ohne Jahr
- [BASt Typ 4] Bundesanstalt für Straßenwesen, Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Typ 4), Bergisch-Gladbach, ohne Jahr
- [BASt Typ 5] Bundesanstalt für Straßenwesen, Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu einer Gesamtlänge von 24,00 Metern (Typ 5), Bergisch-Gladbach, ohne Jahr
- [BfA 2016a] Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.), Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach ausgewählten Tätigkeiten der Klassifikation der Berufe (KldB 2010). Laufende Aktualisierung. Link: [https://statistik.arbeitsagentur.de/nn\\_217688/Statischer-Content/Rubriken/Beschaeftigung/Beschaefigte/](https://statistik.arbeitsagentur.de/nn_217688/Statischer-Content/Rubriken/Beschaeftigung/Beschaefigte/)

Beschaefigte-nach-Berufen-Klassifizierung-der-Berufe-2010.html (Stand 31.10.2016)

- [BfA 2016b] Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.), Sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen der WZ 2008. Laufende Aktualisierung. Link: [https://statistik.arbeitsagentur.de/nn\\_217696/Statischer-Content/Rubriken/Beschaefigung/Beschaefigte/Beschaefigte-nach-Wirtschaftsabteilungen-Wirtschaftsgruppen.html](https://statistik.arbeitsagentur.de/nn_217696/Statischer-Content/Rubriken/Beschaefigung/Beschaefigte/Beschaefigte-nach-Wirtschaftsabteilungen-Wirtschaftsgruppen.html) (Stand 31.10.2016)
- [BGL 2017] Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung: Entwicklung der Leerkilometer-Anteile deutscher Lkw 1998-2014 (ohne Kabotage). Frankfurt am Main, Januar 2017
- [BLE 2016] Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2015: Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung; Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn 2016
- [BNetzA 2015] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Hrsg.), Marktuntersuchung Eisenbahnen 2015, Bonn 2015
- [Bund 2016] Bundesregierung, Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusnV), 19.12.2011, in der Fassung vom 09.05.2016
- [BVU et al. 2014] BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH, Intraplan Consult GmbH, Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG und Planco Consulting GmbH: Verkehrsverflechtungsprognose 2030, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin 2014
- [Bosch 2003] Robert Bosch GmbH (Hrsg.), Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 25. Auflage, Plochingen 2003
- [Daimler 2016] Sülzer, W., Trentzsch, A.: Fuel Consumption comparison between standard and long truck types, Stuttgart, Oktober 2016
- [DB 2016] Deutsche Bahn (Hrsg.), Railways 01/2016. Kundenmagazin von DB Cargo, Frankfurt/Main 2016
- [DB 2016a] Deutsche Bahn, Die Deutsche Bahn auf dem Weg zum Umweltvorreiter, Präsentation DB Umwelt, April 2016
- [DB Mobility Logistics 2014] DB Mobility Logistics AG, Ökologisch handeln aus Verantwortung und Überzeugung, Umweltbroschüre 2014, Berlin 2014
- [DEKRA 2014] DEKRA Unfallforschung & Crash Test Center, Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Stahl, 2014
- [DEKRA 2014a] DEKRA Unfallforschung & Crash Test Center, Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Beton, 2014
- [DESTATIS 2008] Statistisches Bundesamt (Hrsg.), NST-2007 – Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik, Wiesbaden 2008

- [DESTATIS 2016] Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Produktionswert und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Quartale, Güterverzeichnis (2-/4-Steller). Laufende Aktualisierung. Link: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/link/tabelleErgebnis/42131-0002> (Stand 31.10.2016)
- [DIN 2013] Deutsches Institut für Normung, Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr), Deutsche Fassung EN 16258:2012, Beuth Verlag, Berlin 2013
- [DVZ 2012 – 2016] DVZ (Hrsg.), Fahrberichte (div. Ausgaben), 2012 – 2016
- [DVZ 2014] DVZ (Hrsg.), European Truck Challenge, Themenheft, 2014
- [Ecory et al. 2015] Ecory, Fraunhofer IIS, TCI Röhling Transport Consulting International, protrans und AUEB-RC/Translog, Fact-finding studies in support of the development of an EU strategy for freight transport logistics, Lot 1: Analysis of the EU logistics sector – Final Report, on behalf of the European Commission Contract nr. FV/355/2012/MOVE/ETU/S12.659384, 2015
- [E4Tech 2013] E4Tech, A harmonised Auto-Fuel biofuel roadmap for the EU to 2030. Final report and Appendices, London, November 2013
- [EU 1996] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Gemeinschaften, Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr, 1996
- [EU 2009] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Brüssel 2009
- [EU 2015] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2015/1513 des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2015 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung der Richtlinien 98/70/EG und 2009/28/EG, Brüssel 2015
- [EWI 2016] EcoTransIT World Initiative (EWI) (Hrsg.), Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports - Methodology and Data Update, 2014
- [EWI et al. 2014] EWI, GWS und Prognos AG, Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel/Köln/Osnabrück, 2014
- [Fernfahrer 2016] Exklusiv: Wie sich der Verbrauch in den vergangenen 20 Jahren entwickelt hat, in Fernfahrer – Das internationale Truck-Magazin, 11/2016

- [FNR 2016] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Basisdaten Bioenergie 2016, Gülzow-Prüzen 2016
- [Förg & Süßmann 2016] Förg & Süßmann Ingenieurbüro GbR, Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw, München, 2016
- [HBEFA 2014] Infrac (Hrsg.), Handbuch Emissionsfaktoren, Version 3.2, Basel 2014
- [ICCT 2016] Posada, f. et al.: Costs of emission reduction technologies for heavy duty vehicles. Whitepaper, Washington DC 2016
- [Ingerop et al. 2017] Ingerop, Prognos AG und Teirlog Ingenieura, Feasibility of rolling motorway service at short, medium and long term on the Atlantic Corridor – Synthesis Report, Studie im Auftrag von GEIE·CORREDOR ATLANTIC, 2017
- [IPCC 2014] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Geneva 2014
- [IWES 2011] Fraunhofer IWES (Koordinator), Bahnstrom Regenerativ – Analyse und Konzepte zur Erhöhung des Anteils der Regenerativen Energie des Bahnstroms, Gutachten von Fraunhofer IWES, DB Netze, Becker-Büttner-Held und IKEM, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Förderkennzeichen 0325223, Kassel 2011
- [KBA 2015] Kraftfahrt-Bundesamt, Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD). Gesamtverkehr Januar – Dezember 2014, VD5 (Monatsauswertungen), Flensburg 2015
- [KFZ Anzeiger 2016] KFZ Anzeiger (Hrsg.), European Truck Challenge: Der große Vergleichstest 2016, Themenheft, 2016
- [KIT 2016] Ralf Roos, Matthias Zimmermann, Barbara Köhler (Karlsruhe Institut of Technology KIT), Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf, Karlsruhe 2014
- [K+P Transport 2012] K + P Transport Consultants, Forschungsvorhaben „Einsatz- und Marktpotenzial neuer verbrauchseffizienter Fahrzeugkonzepte“, Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) Schriftenreihe 2040, 2012
- [Kettner 2009] Kettner, J.: Die Umweltstrategie der Deutschen Bahn AG, DB Umweltzentrum, 2009.
- [MAIS 2015] Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Tarif-Lohnentwicklung 1990 bis 2014 – Tarifliche Grundvergütungen in ausgewählten Branchen in Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2015
- [Nitsch 2015] Dr. Joachim Nitsch, SZEN-15: Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Eckdaten des Jahres 2014, Kurzex-pertise für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V., Stuttgart 2015



- [Prognos 2015] Prognos AG, World Report 2015 - Daten, Fakten und Prognosen für 42 Länder, Basel 2015
- [Prognos 2015a] Prognos AG, World Transport Report 2015/2016, Analyses and forecasts of freight transport, Basel 2015
- [Prognos 2016] Prognos AG, Erweitertes Fernstraßennetz auf Basis der GIS Daten zu den Bundesländern von Geofabrik GmbH und OpenStreetMap Contributors, <http://download.geofabrik.de/europe/germany.html> (Stand 13.09.2016)
- [Prognos et al. 2016] Prognos AG, KE Consult und Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung, Verkehrlich-städtebauliche Auswirkungen des Online-Handels - Zwischenbericht, Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2016
- [Prognos et al. 2016a] Prognos AG, Teirlog und Ingérop, Feasibility of rolling motorway service at short, medium and long term on the Atlantic Corridor - Phase C: Business Plan, Studie im Auftrag des Atlantic Corridor, 2016
- [PTV 2016] PTV, PTV Map&Guide Internet (online Anwendung), Karlsruhe 2016.
- [RP BW 2016] Regierungspräsidien Baden-Württemberg 2016, Tunnelbetriebstechnik, <https://rp.baden-wuerttemberg.de/Themen/Verkehr/Seiten/Tunneltechnik.aspx> (Stand 30.09.2016)
- [significance/CE Delft 2010] Significance und CE Delft, Price sensitivity of European road freight transport – towards a better understanding of existing results, Report im Auftrag von Transport and Environment, 2010
- [TCI Röhling 2015] TCI Röhling Transport Consulting International, Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V248, 2015
- [TCI Röhling et al. 2016] TCI Röhling Transport Consulting International und Lehrstuhl Logistikmanagement der Universität St. Gallen, Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw (Schlussbericht). Forschungsberichte zum Feldversuch Lang-Lkw, BASt, 2016
- [thinkstep 2011] thinkstep AG, Umweltbilanzierung der Erdöl- & Kraftstoffherstellung heute, 2020 & 2030, Echterdingen 2011
- [thinkstep 2017] thinkstep AG: GaBi Softwaresystem und Datenbanken für Ganzheitliche Bilanzierung, Echterdingen 1992-2017.
- [TLS 2012] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012. Aufgestellt durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 2012
- [TU Dresden und DTV 2015] Christian Lippold und Alexander Schemmel (TU Dresden) und DTV-Verkehrsconsult GmbH, Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße - Schlussbericht, Dresden 2016
- [TU München 2014] Alexander Süßmann, Armin Förg und Andreas Wenzelis (TU München), Lang-Lkw: Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt, München, 2014

- [TÜV Nord 2017] ika, RWTH Aachen (Koordinator): Beitrag des TÜV Nord zu durchgeführten Emissionsmessungen Nahverkehrsbusse im VRR. Schlussbericht EF-BEL VRR Projekt. FKZ 03EM0603A, gefördert durch BMVI, Aachen 2017
- [UBA 2010] Umweltbundesamt, CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland: Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale - Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes, UBA Texte 05/2010
- [Wellner et al. 2015] Frohmut Wellner und Wolf Uhlig, Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V254, 2015



