

Abschlussbericht



**Energiebedarfs- und
Emissionsvergleich von
LKW, Bahn und Schiff
im Güterfernverkehr**



PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

Bildnachweis:

Großes Bild LKW: Ivan Kruk, fotolia.com, 2010

Kleines Bild Bahn und Schiff: DB AG/Stefan Klink, 2006

Titel der Studie

Energiebedarfs- und Emissionsvergleich von LKW, Bahn und Schiff im Güterfernverkehr

Datum der Veröffentlichung: 9.7.2010

Autoren:

Dr. Michael Spielmann

Dr. Michael Faltenbacher

Alexander Stoffregen

Diana Eichhorn



PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

PE INTERNATIONAL GmbH

Hauptstraße 111 – 113
70771 Leinfelden – Echterdingen

Telefon +49 (0) 711 341817 – 0

Fax +49 (0) 711 341817 – 25

E-Mail info@pe-international.com

Internet www.pe-international.com



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
Nomenklatur	8
Zusammenfassung	10
1 Einleitung	12
1.1 Ausgangslage	12
1.2 Kommunizierte Zahlen und Datenquellen	13
1.2.1 CO ₂ -Emissionsberechnung Verkehrsrundschau	13
1.2.2 CO ₂ -Emissionsberechnung nach EcoTransIT	15
2 Ziel und Umfang	16
2.1 Ziel	16
2.2 Umfang	16
2.2.1 Geografischer Untersuchungsrahmen:	16
2.2.2 Betrachtete Emissionen	16
2.2.3 Lebenszyklusansatz	17
3 Methodik und Vorgehen	18
3.1 Umweltindikatoren Verkehrsträger	19
3.2 Umweltindikator Transporteffizienz	19
3.3 Umweltauswirkungen spezifischer Transportdienstleistungen	20
4 Die Verkehrsträger	21
4.1 LKW	21
4.1.1 Kraftstoffverbräuche und direkte Emissionen	21
4.1.2 Lebenszyklusemissionen: Kraftstoffbereitstellung und Gesamtemissionen	22
4.2 Güterzug	25
4.2.1 Spezifischer Energieverbrauch	25
4.2.2 Lebenszyklusemissionen: Strombereitstellung und Gesamtemissionen	25
4.3 Binnenschiff	27
4.3.1 Kraftstoffverbräuche und direkte Emissionen	28
4.3.2 Lebenszyklusemissionen: Kraftstoffbereitstellung und Gesamtemissionen	29
5 Intermodaler Vergleich	30
5.1 Relationsauswahl	30
5.2 Transport von schweren Gütern	30
5.2.1 Fahrspiel Transport von schwerem Schüttgut	30
5.2.2 Fahrspiele Containertransport von schweren Stückgütern	32



5.2.2.1	Fahrspiel 1: Transport Motoren und Getriebeteilen von Stuttgart nach Bremen.....	32
5.2.2.2	Fahrspiel 2: Transport von Motoren und Getriebeteilen von Stuttgart nach Rastatt	33
5.2.3	Sensitivitätsanalysen für den Transport schwerer Stückgüter im Container.....	34
5.2.3.1	Sensitivitätsanalyse 1: Einfluss der Vor- & Nachlaufdistanz bei verschiedenen Zuglängen auf den Vergleich Bahn-LKW	34
5.2.3.2	Sensitivitätsanalyse 2: Einfluss des Leerwaggonanteils bei verschiedenen Zuglängen auf den Vergleich Bahn-LKW	35
5.2.4	Verallgemeinerungen zum Containertransport von Schwergütern	36
5.3	Transport von leichten Gütern.....	38
5.3.1	Transport von Dämmstoffen (Volumenlimitiertes Gut)	38
5.3.2	Sensitivitätsanalyse: Einfluss Wagentyp und Zuglänge	39
6	Zukünftige Entwicklungen	42
6.1	Entwicklung Bahnstrommix und Auswirkungen auf THG Emissionen	42
6.2	Zukünftige Entwicklungen LKW und Bahn im Transport schwerer Güter	44
6.3	Zukünftige Entwicklungen LKW und Bahn im Transport leichter Güter	46
6.4	Betrachtung limitierte Emissionen am Beispiel Dämmstofftransport.....	48
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	49
7.1	Analyse der Validität von Ergebnissen aus aktuellen Studien	49
7.2	Neuberechnung mit aktuellen Daten und spezifischen Annahmen.....	50
7.3	Quantifizierbare Betrachtung von Zukunftsszenarien	50
	Literaturverzeichnis.....	52
	Anhang A Sensitivitätsanalyse.....	54
	Anhang B Kritische Würdigung	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Vergleich der CO ₂ -Emissionen LKW vs. Bahn, gemäß Verkehrsrundschau 42/2009.....	14
Abbildung 1-2:	Vergleich der CO ₂ -Emissionen LKW vs. Bahn mit EcoTransIT Standardwerten.....	15
Abbildung 3-1:	Berechnungsstufen, Bezugsgrößen und wesentliche Einflussfaktoren	19
Abbildung 4-1:	Kraftstoffverbrauchswerte aus verschiedenen Studien von 40 t LKWs bei voller Auslastung.	21
Abbildung 4-2:	Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung.	23
Abbildung 4-3:	NO _x -Emissionen der Kraftstoffbereitstellung.....	23
Abbildung 4-4:	Gesamt- THG Emissionen je Fzghm (direkte Betriebsemissionen in der Nutzung und indirekte Emissionen aus der Treibstoffbereitstellung).	24
Abbildung 4-5:	Kraftstoffverbrauch (kg Diesel/Schiffshkm).....	27
Abbildung 4-6:	Lebenszyklusemissionen Binnenschiff – Aufteilung zwischen Bereitstellung und Nutzung des Dieselmotorkraftstoffes	29
Abbildung 5-1:	Vergleich der THG-Emissionen beim Transport von schwerem Schüttgut von Stuttgart nach Rotterdam.....	31
Abbildung 5-2:	Vergleich der THG-Emissionen beim Transport von schwerem Stückgut im Werksverkehr von Stuttgart nach Bremen.	32
Abbildung 5-3:	Vergleich der THG-Emissionen beim Transport von schwerem Stückgut im Werksverkehr von Stuttgart nach Rastatt. Beim Zug sind Hauptlauf (blau) und Vorlauf (rot) dargestellt.	33
Abbildung 5-4:	THG-Emissionen in Abhängigkeit von Vor-und Nachlauf und Zuglänge	35
Abbildung 5-5:	THG in Abhängigkeit von Leerwaggonanteil (beladen = 16 W.) und Vor-und Nachlauf.....	36
Abbildung 5-6:	Vergleich der THG Emissionen beim Containertransport von Schwergütern.....	37
Abbildung 5-7:	THG-Emissionen für den Transport von Dämmstoff von Stuttgart nach Rotterdam.	39
Abbildung 5-8:	THG-Emissionen für den Transport leichten Transportgutes in Abhängigkeit von Zuglänge und Wagentyp.	40
Abbildung 6-1:	Zusammensetzung des DB Strommixes im Vergleich zu Strommixszenarien aus BMU Leitstudie.	42



Abbildung 6-2:	Treibhausgasemissionen der Strombereitstellung Ist-Zustand und Szenarien für die künftige Entwicklung.....	43
Abbildung 6-3:	Vergleich zukünftige spezifische THG-Emissionen von Bahn (500 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter.....	45
Abbildung 6-4:	Vergleich zukünftige spezifische THG-Emissionen von Bahn (1000 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter.....	45
Abbildung 6-5:	Vergleich zukünftige spezifische THG-Emissionen von Bahn und LKW beim Transport von leichten Gütern.....	47
Abbildung 6-6:	Vergleich zukünftige spezifische NO _x - und PM Emissionen beim Transport von Dämmstoff mit LKW, Bahn und Schiff	48
Abbildung 7-1:	Vergleich der THG Emissionen bei Containertransport von schweren Stückgütern; LKW + 10% Kraftstoffverbrauch.....	54
Abbildung 7-2:	Vergleich zukünftige spezifische THG von Bahn (500 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter; LKW + 10% Kraftstoffverbrauch.....	55
Abbildung 7-3:	Vergleich zukünftige spezifische THG von Bahn (1000 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter; LKW + 10% Kraftstoffverbrauch.....	55



Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Umweltindikatoren für den Verkehrsträger LKW (40 t, vollbeladen).....	22
Tabelle 4-2: Umweltindikatoren für den Bahnstrommix	26



Nomenklatur

BGL	Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V.
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Bt	Bruttotonnen: Bezeichnung für das gesamte Zuggewicht einschließlich Lok, Wagen und Ladung
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ e	CO ₂ Äquivalente (Berücksichtigung der Kyotogase mit ihrem jeweiligen Äquivalenzfaktors, entsprechend der Vorgabe des Intergovernmental Panel on Climate Change. Dazu zählen insbesondere Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Schwefelhexafluorid.)
EU 27	Europäische Union, aus 27 Staaten bestehender Staatenverbund
Fzg.km	Fahrzeug Kilometer.
ggü.	gegenüber
GHG	Siehe THG
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr
LKW	Lastkraftwagen, steht im Rahmen der Studie für schwere Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40t
N ₂ O	Lachgas, Distickstoffoxid – ein treibhauswirksames Gas.
NExBTL	Bei NExBTL handelt es sich um ein auf hydriertem Pflanzenöl (hier Palmöl aus Malaysia) basierendem Dieselmotorkraftstoff, die z.B. eine erhöhte Cetanzahl gegenüber herkömmlichen Dieselmotorkraftstoff aufweisen. Die Technologie zur Herstellung stammt von NesteOil (Finnland)
NO _x	Sammelbezeichnung für Stickstoffoxide
PED	Primärenergiebedarf
PM 2,5	Partikel Emissionen mit einem Durchmesser von <2,5 µm
SF ₆	Schwefelhexafluorid
TEU	Twenty foot equivalent unit (20 ft Containeräquivalent)
THG	Treibhausgasemissionen in CO ₂ Äquivalenten (Kyotogase: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SF ₆ und halogenierte Kohlenwasserstoffe)
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen (Hierbei handelt es sich vor allem um Kohlendioxid (CO ₂), Methan (CH ₄), Lachgas (N ₂ O) so-



	wie SF6. Treibhausgasemissionen werden als CO ₂ e (Kohlendioxid-Äquivalente) zusammen gefasst.
tkm	Tonnenkilometer. Verkehrsleistung im Güterverkehr: Transport einer Tonne (1 t) eines Gutes über eine Distanz vom 1 Kilometer (1 km).
VBD	Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V.
VDA	Verband der Automobilindustrie
Wh	Wattstunde: Einheit für geleistete Arbeit und Energieinhalt



Zusammenfassung

Die wachsenden Anforderungen an den Klimaschutz stellen für den Verkehrsbereich gleich in zweierlei Hinsicht eine enorme Herausforderung dar. Mit 23% der CO₂-Emissionen in Europa (EU27) ist der Verkehr einer der großen Verursacher von Treibhausgasen und steht damit vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels in besonderer Verantwortung, die Treibhausgas (THG)-Emissionen deutlich zu senken. Da das in den letzten Jahren stark angestiegene Güteraufkommen allen Prognosen nach weiter deutlich zu nehmen, muss es das vordringlichste Ziel sein, Wachstum und CO₂-Emissionen im Verkehrssektor zu entkoppeln.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung ist es zwingend erforderlich im Verkehrssektor aus Sicht des Klimaschutzes die bestmögliche Transportlösung zu nutzen. Bisher galt gemeinhin, dass im Güterverkehr die Bahn grundsätzlich immer besser abschneide als der LKW und somit die Schiene in jedem Fall der Straße vorzuziehen sei. In vergleichenden Studien schneidet die Bahn gegenüber dem LKW um den Faktor 2 bis 5 besser ab. Allerdings werfen diese Studien auch Fragen auf. So werden unter anderem nicht alle Treibhausgase in die Berechnung mit einbezogen, was die Aussagekraft im Hinblick einer ganzheitlichen Betrachtung der Klimaauswirkungen deutlich reduziert. Ferner bleiben Optimierungserfolge der letzten Jahre unberücksichtigt und werden zum Teil Kraftstoffverbräuche und Auslastungsgrade angenommen, die nicht mehr der Realität entsprechen. So finden sich in gängiger Literatur beispielsweise weiterhin Durchschnittsverbräuche eines LKW (40 t) grösser 40 l je 100 km. Hersteller- und Anwenderstudien haben gezeigt, dass heute bereits ein Wert von 30 l pro 100 km durchaus realistisch ist.

Darüber hinaus findet eine differenzierte Betrachtung nicht immer statt. Beim Bahntransport sind etwa Zuglänge und Wagentyp von entscheidender Bedeutung, sie werden aber in heutigen Vergleichen nicht ausreichend fallspezifisch berücksichtigt. Genau dies ist aber erforderlich, um situationsbezogen die ökologisch beste Alternative zu identifizieren.

Die im Auftrag der Automobilindustrie durchgeführten differenzierten Vergleichsberechnungen zwischen LKW, Bahn und teilweise auch Schiff ermöglichen es, ein genaueres und differenziertes Bild über die ökologischen Auswirkungen der jeweiligen Verkehrsträger zu zeichnen und die spezifischen Vorteile jedes Transportmittels darzulegen.

Eindeutige Vorteile bezüglich der THG-Emissionen zeigt die Bahn (und auch das Schiff) beim Transport schwerer Schüttgüter; zum Beispiel Eisenspäne. Bahn und Schiff sind für derartige Transporte die idealen Verkehrsträger wohingegen der LKW keine ökologische Alternative darstellt.

Ein anderes Bild ergibt sich beim Transport von schwerem Stückgut im Container. Hier liegen die THG Emissionen von LKW und Bahn in derselben Größenordnung. Es zeigt sich, dass das Ergebnis des Vergleichs sensitiv hinsichtlich der Wahl der Rahmenbedingungen für die betrachtete Transportaufgabe ist.

Betrachtet man lange Ganzzüge (z.B. 20 beladene Wagen, ohne Leerfahrten und Vor- und Nachlauf) zeigt die Bahn gegenüber dem Lkw die niedrigeren THG Emissionen. Werden aus Produktionsgründen kürzere Züge erforderlich (Beispiel Werksverkehr Stuttgart-Rastatt) schneidet der LKW gegenüber der Bahn günstiger ab. Von Bedeutung sind dabei auch die Betrachtung des Anteils der Leerwagen und der Vor- und Nachlaufstrecken des



Zuges, also wie weit die Güter beim Schienentransport auf der Gesamtstrecke noch vorher und nachher auf der Straße transportiert werden müssen. Machen diese vor- und nachgelagerten Strecken etwa 10% der Gesamtdistanz aus, weist der LKW gegenüber einem Ganzzug von 15 oder weniger Wagen bessere THG-Werte auf.

Bei einer generellen Betrachtung des Containertransportes, unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Auslastung und einem durchschnittlichen Leerfahrtenanteil, kann konstatiert werden, dass die Bahn mit langen Zügen (40 Wagen), wie sie für den internationalen Kombiverkehr repräsentativ sind, die bessere Alternative ist und niedrigere Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) aufweist. Bei kürzeren Zügen (20 Wagen), die beispielhaft für den nationalen Kombiverkehr stehen können, liegen LKW und Bahn in vergleichbaren Größenordnungen.

Zu vergleichbaren Ergebnissen führt der Transport leichterer Güter, das heißt, wenn nicht das Gewicht sondern das Volumen der begrenzende Faktor ist. Bahn und LKW liegen in Abhängigkeit vom Wagentyp bei Zuglängen zwischen 5 und 15 Wagen gleich auf. Der Wagentyp ist hier ein maßgeblicher Faktor. Beim Einsatz von Schiebetürwagen weist der LKW nur bei Kurzzügen unter 6 Wagen bessere THG-Emissionen auf. Bei Containerwagen liegt der LKW noch bei 15 Wagen gleichauf und bei Schüttgutwagen schneidet er sogar noch bei 20 Wagen besser ab.

Mit Blick auf zukünftige Entwicklungen im Verkehrssektor sind für vergleichende Analysen insbesondere der künftige Bahnstrommix, die Nutzung von Biokraftstoffen, neue Fahrzeugkonzepte (z.B. EuroCombi) und strengere Abgasnormen (Euro VI) von entscheidender Relevanz. Da hier zum Teil noch große Unsicherheiten bestehen, können nur Bandbreiten verschiedener Szenarien abgebildet werden. Diese zeigen allerdings, dass ein ökologisch betrachtet besserer Strommix (steigender Anteil erneuerbarer Energien bis 2020) nicht unweigerlich die Ergebnisse zu Ungunsten des LKW verschiebt. Dagegen können ein hoher Biokraftstoffanteil und der Einsatz von EuroCombi-Fahrzeugen die Emissionsbilanz des LKW weiter verbessern.

Die detaillierten Untersuchungen zeigen auf, dass pauschale Aussagen nicht länger getroffen werden können und wenig Aussagekraft haben. Kein Verkehrsträger kann im Güterverkehr per se als die ökologisch beste Lösung bezeichnet werden. Die Ergebnisse geben Aufschluss darüber in welchen Einzelfällen tendenziell der LKW, die Bahn oder das Schiff das geeignetste Transportmittel ist. Diese differenzierte Betrachtung ist auch notwendig, um transportbezogen die klimagünstigste Alternative wählen zu können. Klimawandel und stark wachsendes Güteraufkommen erfordern zwingend die Wahl der bestmöglichen Lösung anstatt länger an pauschalen Aussagen mit geringer Aussagekraft festzuhalten.



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In der aktuellen Diskussion über den Klimawandel steht der Verkehrssektor unter besonders kritischer Betrachtung. Mit 23% der CO₂-Emissionen in Europa (EU27) trägt er in hohem Maße zur Emission von Treibhausgasen bei. Zudem nehmen die CO₂-Emissionen im Verkehr anders als in anderen Sektoren weiterhin zu¹. Aufgrund des prognostizierten Wachstums des Güteraufkommens in Deutschland² und Europa ist auch mit einer weiter steigenden Relevanz des Transportsektors bei den Treibhausgasen, zumindest unter den momentanen Rahmenbedingungen, zu rechnen.

Aus heutiger Sicht wird ein Großteil des Wachstums des Gütertransports auf der Straße stattfinden³. Als eine Strategie zur Reduzierung der CO₂- bzw. Treibhausgasemissionen wird häufig die weitere Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene diskutiert. Diese Forderung beruht auf den Ergebnissen gängiger Transportstudien, in denen die Bahn in der Regel signifikant niedrigere CO₂-Emissionen je Transportleistung aufweist als der LKW. So sind laut DB Schenker⁴ die spezifischen CO₂-Emissionen für LKW gegenüber der Bahn um etwa einen Faktor 4 höher. Ein noch größerer Vorteil ergibt sich aus einer UBA Studie⁵, worin die Bahn um etwa einen Faktor 5 hinsichtlich der CO₂-Emissionen besser bewertet wird. In Abschnitt 1.2 werden zwei weitere häufig zitierte Quellen näher beschrieben. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die zugrunde liegenden Quellen zur Berechnung von CO₂-Emissionen im Gütertransportsektor in der Regel von Bahnen (UIC) oder Umweltbehörden (UBA) geprägt sind.

Die Ergebnisse dieser Studien werden seitens der Bahn aktiv zugunsten eines weiteren Ausbaus der öffentlich finanzierten Bahninfrastruktur genutzt.

Dies spiegelt sich in der Entwicklung der Gleisanschlüsse wider. So ist für den Zeitraum 2005/2006 eine Zunahme von 3% zu beobachten. Im Zeitraum 1999–2006 hingegen gab es einen signifikanten Rückgang von 29%⁶.

¹ EEA: Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009, EEA Report No 9/2009, page 34. Copenhagen, 2009

² Ickert: Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Progrtrans, im Auftrag des BMVBS. Basel, 2007.

³ ITP/BVU: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Im Auftrag des BMVBS. München/Freiburg, 2007.

⁴ Rausch, Dr. K.-F: Ökonomie und Ökologie sind kein Widerspruch – Das „Green Logistics Network“ von DB Schenker. DB Mobility Logistics AG. Vortrag auf DVZ-Forum "Green Logistics". Hamburg, 2009

⁵ Gohlisch G. et al.: Umweltauswirkungen der Binnenschifffahrt. Internationales Verkehrswesen (57) 4/2005. S.150-156. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg 2005.

⁶ Kochsiek, J.: Strategien für zukunftsfähige Gleisanschlussverkehre –Informieren, Kombinieren, Kooperieren. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Forum NRW-Rail#tec 2007. Dortmund, November 2007.



Darüber hinaus ist ein Trend in der Logistikbranche zu beobachten, demnach bei öffentlichen Ausschreibungen neben den Kosten auch die resultierenden CO₂-Emissionen ausgewiesen werden müssen. Zum Teil versucht die Transportbranche das Thema CO₂-Reduktion in Form von „CO₂-neutrale Dienstleistung“ zu vermarkten. Auch in den Medien wird das Thema regelmäßig adressiert. So diskutiert z.B. die Zeitschrift Capital CO₂-Emissionen als zukünftige globale Währung⁷.

Fazit:

- Es besteht ein steigender Bedarf an quantitativen Informationen zu CO₂/THG Emissionen und anderen umweltwirksamen Emissionen.
- Heutige Quellen sind in der Regel von den Bahngesellschaften bzw. Umweltbehörden geprägt.

1.2 Kommunizierte Zahlen und Datenquellen

Stellvertretend für die Vielfalt an kommunizierten Verkehrsträgervergleichen zwischen Bahn und LKW werden an dieser Stelle die Ergebnisse einer kürzlich in der Verkehrsrundschau veröffentlichten Serie⁸ sowie eine Berechnung aus dem weitverbreiteten Tool EcoTransIT⁹ vorgestellt.

1.2.1 CO₂-Emissionsberechnung Verkehrsrundschau

In Abbildung 1-1 ist ein Vergleich Bahn- und LKW-Transport dargestellt, wie er in der Ausgabe 42/2009 der Verkehrsrundschau veröffentlicht wurde. Offensichtlich schneidet die Bahn selbst im Vergleich mit einem „gut ausgelasteten“ LKW eindeutig besser ab (Faktor 2). Im Falle des „schlecht ausgelasteten“ LKW sind die CO₂ Emissionen fast 7 mal höher.

⁷ Capital, „CO₂ - die neue Währung“ Online: <http://www.capital.de/politik/100026641.html>, 30.11.2009

⁸ Verkehrsrundschau: Serie CO₂-Berechnung. Teil 1&2: Alle Daten und Fakten zur Berechnung des LKW- & Bahn-Footprints. Verkehrsrundschau (42&43/2009). Springer Verlag. München, 2009.

⁹ EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.

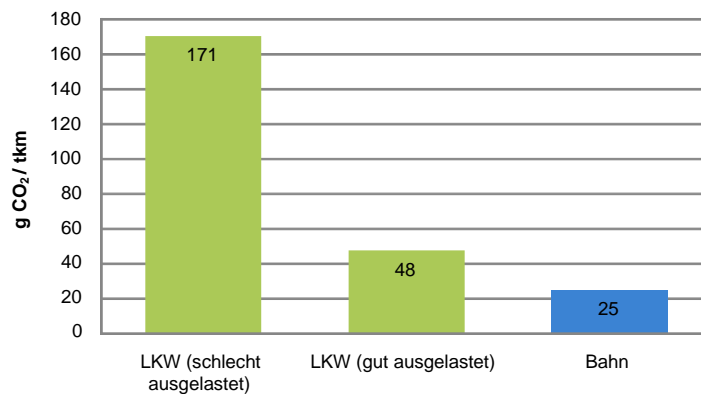


Abbildung 1-1: Vergleich der CO₂-Emissionen LKW vs. Bahn, gemäß Verkehrsrundschau 42/2009

Die dargestellten Werte resultieren aus folgenden Annahmen:

- LKW: Grundannahmen: 40 t LKW, max. Zuladung: 25 t; Verbrauch (bei 100% Auslastung): 31,4 l/100 km; Distanz ~ 800 km
 - Fall 1: „Schlecht ausgelastet“: 7 Paletten á 500 kg, woraus sich eine massenbezogene Auslastung von 14% ergibt.
 - Fall 2: „Gut ausgelastet“: die 7 Paletten werden einem bereits mit 11,5 t Tonnen beladenen LKW zugeladen. Danach ergibt sich ein Gesamtgewicht der Zuladung von 15 t, was einer massenbezogenen Auslastung von 60% entspricht.
- Bahn: 7 Paletten á 500 kg werden mit einem sogenannten Durchschnittszug transportiert. Die Berechnung erfolgt mit Hilfe von EcoTransIT. Berechnungsgrundlage bildet das Gesamtgewicht des Zuges (Waggons plus Ladung, ohne Lok) mit 1000 Brutto-Tonnen. Hinzu kommt die Annahme, dass es sich um ein Volumengut handelt. Angaben zu Waggontyp, Kapazität etc. sind nicht dokumentiert.

1.2.2 CO₂-Emissionsberechnung nach EcoTransIT

In Abbildung 1-2 ist ein Vergleich zwischen Bahn und LKW beim Transport schwerer Güter dargestellt, wie er sich bei einer Berechnung mit den Standardwerten von EcoTransIT ergibt¹⁰.

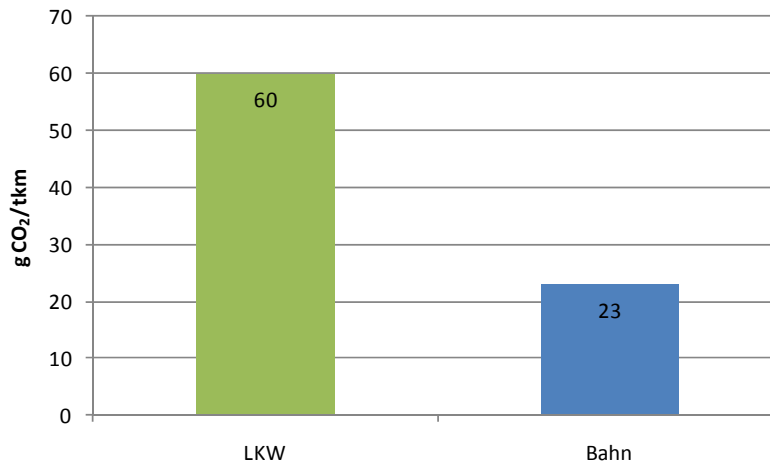


Abbildung 1-2: Vergleich der CO₂-Emissionen LKW vs. Bahn mit EcoTransIT Standardwerten

Die dargestellten Werte resultieren aus folgenden Annahmen:

- LKW: 40 t LKW mit einem angenommenen durchschnittlichen Verbrauch gemäß HBEFA von ~ 39 l/100 km¹¹. Die Auslastung beträgt 100% und der Leerfahrtenanteil beträgt 60%. Daraus ergibt sich eine theoretische Gesamtauslastung von 63%.
- Bahn: Das Gesamtgewicht des Zuges (Waggons plus Ladung, ohne Lok) wird mit 1000 Brutto-Tonnen angenommen. Für die Waggons wird in EcoTransIT ein fixes Leergewicht von 23 t und eine Kapazität von 61 t angenommen. Die Auslastung für schwere Güter beträgt 100%¹² mit einem Leerfahrtenanteil von 80%. Daraus ergibt sich eine theoretische Gesamtauslastung von 56%

Fazit

- Offensichtlich schneidet hier die Bahn im Vergleich zum LKW grundsätzlich deutlich besser ab.
- Aber:
 - Die Begriffswahl und Randbedingungen in der Verkehrsrundschau sind kritisch zu hinterfragen.
 - Die EcoTransIT Annahme zum Kraftstoffverbrauch und Leerfahrtenanteil vom LKW erscheint aus heutiger Sicht zu hoch.

¹⁰ EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.

¹¹ Im EcoTransIT Hintergrundbericht von 2008 wird darauf hingewiesen, dass zur Berechnung der Verbrauchswerte für den Lkw auf HBEFA zurückgegriffen wurde. Ein genauer Treibstoffverbrauch in l/100 km ist allerdings in diesem Bericht nicht dokumentiert. Bei Testrechnungen mit dem online Rechner unter www.ecotransit.org (Stand: Mai 2009) wurden zudem höhere Werte ermittelt. Der hier angegebene Wert von 60g CO₂/tkm ist dem Hintergrundbericht entnommen.

¹² Bei der angenommenen Auslastung ergibt sich somit eine Zuglänge von 12 Waggons.



2 Ziel und Umfang

2.1 Ziel

Der Auftraggeber ist an einem ökologischen Vergleich von Verkehrsträgern im Güterverkehr interessiert. Im Einzelnen sollen Treibhausgasemissionen und andere relevante Emissionen des Straßengüterfernverkehrs, des Schienenverkehrs sowie der Binnenschifffahrt untersucht und miteinander verglichen werden.

Ziel der Studie ist die Überprüfung der Hypothese: „Die Bahn ist im Güterfernverkehr grundsätzlich die ökologisch bessere Lösung als der LKW“. Dazu werden die folgenden Punkte betrachtet:

- Analyse der Validität von Ergebnissen aus aktuellen Studien
- Neuberechnung mit aktuellen Daten und spezifischen Annahmen (Logistik und Transportmittel bezogen)
- Quantifizierbare Betrachtung von Zukunftsszenarien

2.2 Umfang

2.2.1 Geografischer Untersuchungsrahmen:

Die Untersuchung bezieht sich auf Deutschland unter Einbeziehung inländischer Anteile bei grenzüberschreitenden und Transit-Verkehren.

Wichtige Randbedingungen sind die Auslastungsgrade der einzelnen Verkehrsträger, die für die Energie- bzw. Kraftstoffversorgung zu Grunde liegende Energiebereitstellung sowie gegebenenfalls Umwegverkehre und Vor- und Nachlauf.

2.2.2 Betrachtete Emissionen

Der wesentliche Ergebnisparameter sind die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen). Hierbei handelt es sich vor allem um CO₂, CH₄ und N₂O sowie SF₆. Treibhausgasemissionen werden als CO₂e (Kohlendioxid-Äquivalente) zusammengefasst.

Allerdings ist die alleinige Betrachtung von Treibhausgasen nicht geeignet, um die Umweltfreundlichkeit einer Dienstleistung ganzheitlich zu bewerten. Es gilt klimabezogene Optimierungen nicht auf Kosten anderer Umweltkategorien durchzuführen. Deshalb werden im Rahmen dieser Studie weitere, typische umweltschädliche Emissionen des Verkehrs in die Betrachtung einbezogen:

- NO_x-Emissionen
- Partikel (PM_{2.5}-Emissionen)



2.2.3 Lebenszyklusansatz

Die Grundlage der Untersuchung bilden die Emissionen des Fahrbetriebs selbst sowie die vorgeschalteten Stufen zur Bereitstellung der Energieträger (alle Verkehre) und der Stromerzeugung.

Die Untersuchung basiert auf einem ganzheitlichen Ansatz, d.h. es werden neben den Fahrbetriebsemissionen auch die Emissionen aus der Bereitstellung der Energieträger bzw. Kraftstoffe berücksichtigt.



3 Methodik und Vorgehen

Für den intermodalen Vergleich verschiedener Verkehrsträger werden in der gängigen Literatur verschiedene Bezugsgrößen verwendet.

Häufig werden Vergleiche anhand allgemeiner Umweltindikatoren durchgeführt (z.B. kg CO₂/tkm). Um spezielle logistische Aspekte mit in den Vergleich einfließen zu lassen, wird teilweise noch ein weiterer Berechnungsschritt durchgeführt und absolute Emissionen für beispielhaft ausgewählte Transportrelationen berechnet.

In dieser Studie werden Verkehrsträgervergleiche sowohl auf Basis von spezifischen Umweltindikatoren als auch anhand beispielhaft ausgewählter Transportrelationen durchgeführt. Grundlage für diese Vergleiche sind Annahmen zu technischen Charakteristika der Verkehrsträger und spezifische Rahmenbedingungen hinsichtlich der Verkehrssituationen.

Um einen transparenten Vergleich zu ermöglichen, wird im Rahmen dieser Studie die Simulation in drei Berechnungsstufen unterteilt.

- Umweltindikator Fahrzeug: Abbildung technischer und verkehrsspezifischer Funktionen für Verbrauch und Emissionen
- Umweltindikator Transporteffizienz: Berücksichtigung allgemeiner logistischer Aspekte (durchschnittliche Auslastungen & Anteil Leerfahrten)
- Umweltauswirkungen spezifischer Transportdienstleistungen: Berücksichtigung spezieller logistischer Aspekte für ausgewählte Fahrbeispiele (Distanz Vor-, Haupt- und Nachlauf)

In Abbildung 3-1 sind diese Stufen und die wesentlichen Einflussfaktoren illustriert.

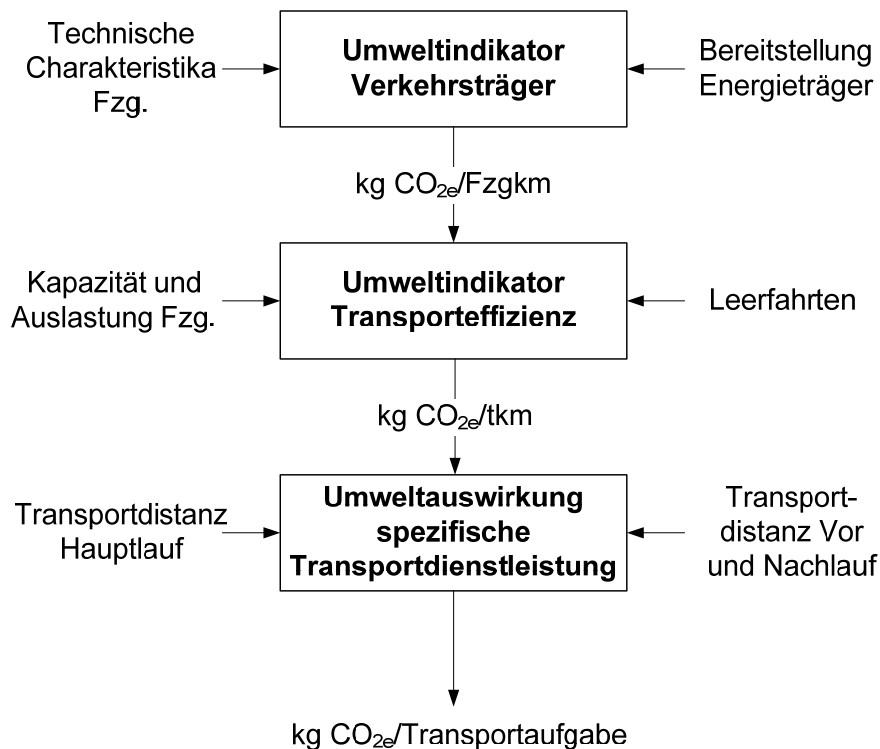


Abbildung 3-1: Berechnungsstufen, Bezugsgrößen und wesentliche Einflussfaktoren

3.1 Umweltindikatoren Verkehrsträger

In einem ersten Schritt werden sogenannte Umweltindikatoren für die betrachteten Verkehrsträger separat entwickelt. Diese Umweltindikatoren geben die Umweltauswirkung eines Verkehrsträgers bezogen auf einen Fahrzeugkilometer (Fzgkm) an. Wichtige Einflussgrößen bei der Berechnung sind:

- Technische Charakteristika des Fahrzeuges wie Kraftstoffverbrauch, Abgasnachbehandlung etc.
- Fahrprofil / Verkehrssituation (Topographie, durchschnittliche Geschwindigkeit etc.)
- Bereitstellung der Kraftstoffe (LKW & Binnenschiff) bzw. des Stroms (bei der Bahn)

Diese Umweltindikatoren und wesentlichen Annahmen werden in Kapitel 4 erläutert.

3.2 Umweltindikator Transporteffizienz

Umweltindikatoren zur Transporteffizienz (z.B. $\text{kg CO}_2/\text{tkm}$) basieren auf dem „Umweltindikator Verkehrsträger“. Zusätzlich werden hier noch durchschnittliche Annahmen hinsichtlich Kapazität (Masse, Volumen) und Zuladung (Auslastung) der Verkehrsträger einbezogen. Zudem beinhaltet dieser Indikator auch noch durchschnittliche Annahmen zum Leerfahrtenanteil.



3.3 Umweltauswirkungen spezifischer Transportdienstleistungen

Dier Berechnung von Umweltauswirkungen spezifischer Transportdienstleistungen basieren ebenfalls auf dem „Umweltindikator Verkehrsträger“. Zusätzlich zu den Annahmen zu Auslastung und Leerfahrtenanteil werden im Vergleich der Verkehrsträger die tatsächlichen Transportdistanzen für den Hauptlauf sowie Vor-/ Nachlauf im Kombiverkehr in die Berechnung einbezogen.

4 Die Verkehrsträger

4.1 LKW

4.1.1 Kraftstoffverbräuche und direkte Emissionen

Im deutschsprachigen Raum wird für die Berechnung direkter LKW-Fahrzeugemissionen bezogen auf die Fahrleistung (z.B. CO₂/Fzgkm) in der Regel das HBEFA¹³ / PHEM¹⁴ als Datengrundlage verwendet. Das HBEFA bietet spezifische Fahrzeugemissionen für verschiedene Parametervariationen wie; Straßentyp, Verkehrssituation, Gewichtsklasse, Euro-Norm etc. HBEFA Daten, beruhend auf bestimmten Parametereinstellungen, werden auch in anderen Studien zum Vergleich von Gütertransportarten verwendet, z.B. EcoTransIT¹⁵.

In Abbildung 4-1 sind Kraftstoffverbrauchsdaten aus verschiedenen Quellen illustriert. Neben HBEFA Daten sind hier vor allem auch LKW-Herstellerdaten beruhend auf Testfahrten und Simulationen dokumentiert.

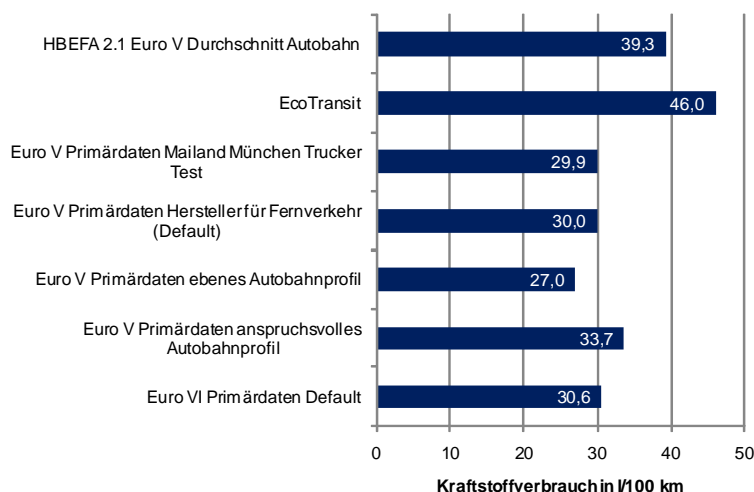


Abbildung 4-1: Kraftstoffverbrauchswerte aus verschiedenen Studien von 40 t LKWs bei voller Auslastung.¹⁶

Es zeigt sich, dass die Kraftstoffverbräuche des LKW-Transports basierend auf den vorhandenen Tools (HBEFA und EcoTransIT) deutlich höher sind, als die Werte aus Herstellermessungen, bzw. Messfahrten unabhängiger Fachzeitschriften.

Damit sind natürlich auch die heute kommunizierten CO₂-Emissionen höher (siehe Kapitel 1.2).

¹³ UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Hausberger, S. et al: Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA) des Straßenverkehrs, TU Graz. Version 2.1. Berlin, 2004

¹⁴ Hausberger, S.: Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions. VKM-THD Mitteilungen; Heft/Volume 82; Verlag der Technischen Universität Graz; ISBN 3-901351-74-4. Graz, 2003

¹⁵ EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.

¹⁶ HBEFA Daten beruhen auf Verkehrssituation „Durchschnitt Autobahn“; EcoTransit Online Rechner (unter www.ecotransit.org, Zugriff Mai 2009) und eigenen Berechnungen. Primärdaten Trucker Test aus Untersuchungen „Grüne Welle am Brenner“ in Trucker Magazin 8/2009, S.32-41; Primärdaten Hersteller: Daten von VDA-Mitgliedern aus Simulationsrechnungen und mit Verbrauchsfahrten validiert. Euro 6 Wert basiert auf VDA-Annahme 2% Mehrverbrauch. Die Primärdaten basieren auf der Nutzung eines aerodynamisch optimierten Aufliegers, wie er am Markt erhältlich ist.



Im Rahmen dieser Studie wird für die Berechnungen ein Verbrauch von 30 l/100 km eines vollbeladenen 40 t Euro V LKWs angenommen. Für einen Euro VI LKW wird ein leicht höherer Verbrauch von 30,6 l/100 km angenommen. Die Daten für NO_x und Partikelemissionen wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und decken sich für Euro V gut mit den Daten, die im HBEFA verfügbar sind. Die verwendeten Umweltindikatoren für den Verkehrsträger LKW sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Umweltindikatoren für den Verkehrsträger LKW (40 t, vollbeladen)

	THG-Emissionen (g CO ₂ e/Fzgkm)	Stickoxidemissionen (g NO _x /Fzgkm)	Partikelemissionen (g PM _{2,5} /Fzgkm)
Euro V	800	2,64	0,03
Euro VI	816	0,58	0,016

Fazit:

- Für die Berechnungen in dieser Studie wird ein Kraftstoffverbrauch von 30 l/100 km bei voller (100%) Massenauslastung angenommen.
- Die Treibhausgasemissionen bei voller Auslastung liegen bei 800 g CO₂e/Fzgkm
- Spezifische NO_x-/PM-Emissionen werden mit 2,6 g/Fzgkm bzw. 0,03 g/Fzgkm für einen Euro V und 0,5 g/Fzgkm bzw. 0,016 g/Fzgkm für einen Euro VI LKW angenommen.

4.1.2 Lebenszyklusemissionen: Kraftstoffbereitstellung und Gesamtemissionen

In Abbildung 4-2 sind die Treibhausgasemissionen (in kg CO₂e) der Kraftstoffbereitstellung bezogen auf einen Liter (1 l) Diesel mit 36 MJ/l Energieinhalt¹⁷, einem sogenannten Dieseläquivalent, dargestellt. Neben dem konventionellen Diesel werden die Emissionen der Bereitstellung eines aktuellen Diesels (mit 6,25 %¹⁸ Beimischung von Biokraftstoff entsprechend des Beimischungsanteils (ab 2010) des aktualisierten Biokraftstoffquotengesetzes¹⁹) dargestellt. Aufgrund ihres Zukunftspotentiales werden in dieser Studie ausschließlich Biokraftstoffe der 2. Generation am Beispiel NExBTL²⁰ berücksichtigt. Abbildung 4-2 illustriert auch die Emissionen, welche durch die Bereitstellung eines rein biogenen Diesels (wiederum NExBTL) entstehen.

- Konventionelle Dieselpreparierung: Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette (Bohrloch bis Tankstelle)²¹

¹⁷ Bezogen auf Heizwert (H_w)

¹⁸ Bezogen auf Energieinhalt

¹⁹ Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften. BioKraftQuG; BT-Drs 16/2709. Berlin 2006 und Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen. Berlin 2009.

²⁰ Bei NExBTL handelt es sich um ein auf hydriertem Pflanzenöl (hier Palmöl aus Malaysia) basierten Dieselkraftstoff, der z.B. eine erhöhte Cetanzahl gegenüber herkömmlichen Dieselkraftstoff aufweist. Die Technologie zur Herstellung stammt von NesteOil (Finnland)

²¹ PE/LBP: GaBi 4 Software und Datenbanken zur Ökobilanzierung. Echterdingen 1992-2008. Bezugsjahr ist 2006.

- NExBTL aus Palmöl: Herkunftsland Malaysia aus zertifiziertem Anbau, d.h. es findet keine Brandrodung für die Gewinnung von Anbauflächen statt, Transport über Tanker (~45 % der THG Emissionen stammen aus der Kultivierung der Palmölrucht).²²

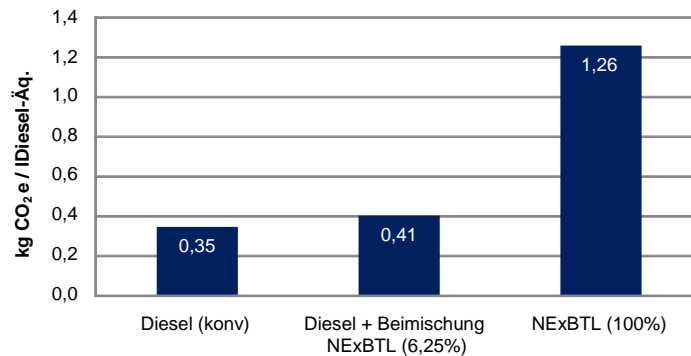


Abbildung 4-2: Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung.

Analog zeigt Abbildung 4-3 die NO_x-Emissionen der Kraftstoffbereitstellung.

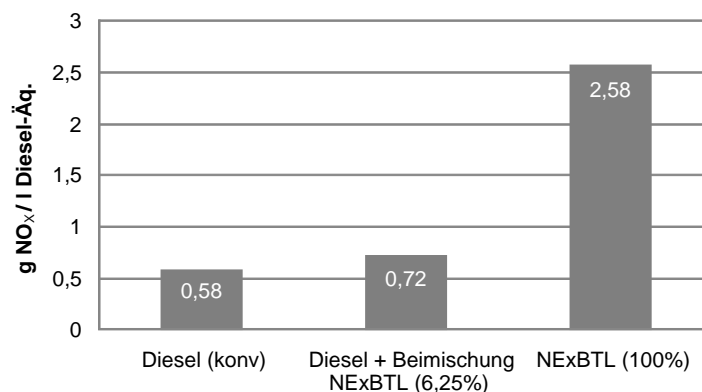


Abbildung 4-3: NO_x-Emissionen der Kraftstoffbereitstellung.

Abbildung 4-4 zeigt die gesamten THG Emissionen je Fzghm, d.h. die direkten Betriebsmissionen und indirekte Emissionen aus der Kraftstoffbereitstellung.

Bei der Nutzung von konventionellem Diesel hat die Kraftstoffbereitstellung einen Anteil von 12% an den gesamten THG Emissionen. Dieser Wert erhöht sich leicht, bei einer Zumischung von 6,25% Biokraftstoff auf 14%.

Diese Steigerung beruht auf der Tatsache, dass die Bereitstellung von Biokraftstoffen zunächst mit höheren THG Emissionen gegenüber konventionellem Diesel aus Erdöl verbunden ist (siehe Abbildung 4-2). Der Vorteil der Verwendung von Biokraftstoffen ergibt sich bei ganzheitlicher Betrachtung von Bereitstellung und Nutzung.

²² Daten basieren auf IFEU: An Assessment of Energy and Greenhouse Gases of NExBTL, Heidelberg, 2006 und eigenen Berechnungen 2009. Annahme: CH₄ Emissionen: vorwiegend aus Verrottung Pflanzenrückstände nach Ölmühle, Annahme keine CH₄ Verwertung. N₂O aus Anbau Ölantage. Bezugsjahr ist 2005.

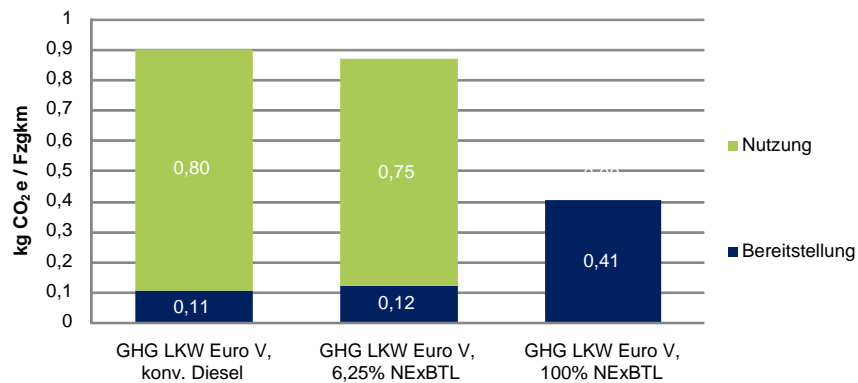


Abbildung 4-4: Gesamt- THG Emissionen je Fzgkm (direkte Betriebsemissionen in der Nutzung und indirekte Emissionen aus der Treibstoffbereitstellung).

Die ausschließliche (100%) Nutzung von NExBTL führt zu einer Halbierung der THG Emissionen, da gemäß den Spezifikationen der EU-Renewable Energy Directive²³ die CO₂ Emissionen aus der Verbrennung von Biokraftstoffen als CO₂ neutral, d.h. mit dem Wert Null angesetzt werden.

Fazit:

- Die Kraftstoffbereitstellung hat einen Anteil von 14% an den gesamten THG Emissionen bei der Nutzung von konventionellem Diesel.
- Die Bereitstellung von Biokraftstoffen ist zunächst mit höheren THG Emissionen gegenüber konventionellem Diesel verbunden. Ein Vorteil der Verwendung von Biokraftstoffen ergibt sich bei ganzheitlicher Betrachtung von Bereitstellung und Nutzung

²³ European Parliament and Council: Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. Brussels 2009



4.2 Güterzug

Im Rahmen dieser Studie wird nur die Elektrotraktion von Güterzügen betrachtet²⁴. Folglich sind THG Emissionen und andere relevante Emissionen in die Umwelt nur von indirekter Natur und berechnen sich aus den folgenden Parametern:

- Spezifischer Energieverbrauch (z.B. kWh/tkm)
- Emissionen aus der Strombereitstellung (z.B. g CO₂e/kWh)

4.2.1 Spezifischer Energieverbrauch

Grundlage zur Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs des Bahntransports ist der Energieverbrauch pro gezogene Bruttotonne [Wh/Bt]. Daraus lässt sich der spezifische Energieverbrauch per tkm (E_s) folgendermaßen berechnen:

$$E_s = E_{Bt} / (\text{Zuladung (t)} / \text{Zuggewicht (Bt)})$$

Daten zum Energieverbrauch pro gezogene Bruttotonne (E_{Bt}) basieren auf EcoTRANSIT. Die Datenherkunft und Qualität ist schwer einzuschätzen. Es handelt sich offensichtlich nicht um Primärdaten neueren Datums. Die Quellenkette reicht bis Anfang der 90er Jahre²⁵.

4.2.2 Lebenszyklusemissionen: Strombereitstellung und Gesamtemissionen

Für den Strom werden die Emissionsfaktoren (z.B. g CO₂e/kWh) entsprechend dem von der DB AG bzw. ifeu angegebenen Faktor für die Bereitstellung des Bahnstromes verwendet. Die Bahn betreibt ein eigenes niederfrequentes Stromnetz dessen Energieträgermix sich gegenüber dem deutschen Strom-Mix durch einen höheren Anteil erneuerbare Energieträger auszeichnet. Daher weist der Bahnstrom-Mix etwas geringere CO₂-Emissionen gegenüber dem „allgemeinen“ deutschen Strom-Mix auf. Berücksichtigt sind ebenfalls die Energieträgerbereitstellung aus den verschiedenen Förderländern für die unterschiedlichen Energieträger (Stein- und Braunkohle, Erdgas etc.) und deren Umwandlung in deutschen Kraftwerken.

²⁴ Der Anteil der Dieseltraktion wurde vernachlässigt, da sie in Deutschland mit einem Anteil von 4% nur eine untergeordnete Rolle spielt. (DB Schenker – Klimaschutz durch CO₂ freien Transport. Berlin, 2009)

²⁵ W. Simon, U. Desel: Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr – Ermittlung und Vergleich der spezifischen Energieverbräuche, Verkehrswissenschaftliches Institut RWTH Aachen, Aachen, 1986

W. Bialonski, P. Vanck et al: Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr – Ermittlung und Vergleich der spezifischen Energieverbräuche, Verkehrswissenschaftliches Institut RWTH Aachen, Aachen, 1990

OMIT-Operationel metode til opgørelse af emissioner fra godstransport; Trafikministeriet Danmark, Padborg 2001. In dieser Studie sind auch höhere Verbrauchsdaten zu finden.



In dieser Studie wird für die Bereitstellung des Bahnstroms ein Wert von 641 g CO₂e/kWh²⁶ zugrundegelegt. Die verwendeten Umweltindikatoren für den Bahnstrommix sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Tabelle 4-2: Umweltindikatoren für den Bahnstrommix

	THG-Emissionen (g CO ₂ e/kWh)	Stickoxidemissionen (g NO _x /kWh)	Partikelemissionen (g PM _{2,5} /kWh)
Bahnstrommix	641	0,52	0,018

Bezugsjahr für die Bereitstellung des Bahnstroms ist das Jahr 2005.

Fazit:

- Emissionen der Bahnstrom Bereitstellung entsprechend EcoTransIT
- Berücksichtigung der THG Emissionen, nicht nur CO₂-Emissionen

²⁶ Wert basiert auf den CO₂ Wert (592 g CO₂/kWh) für den deutschen Bahnstrom Mix 2005 aus ifeu: EcoTransIT – Environmental methodology and data. Heidelberg 2008 und eigenen Berechnungen für die restlichen THG Gase.

4.3 Binnenschiff

In der Abbildung 4-5 sind die Kraftstoffverbrauchswerte aus verschiedenen Literaturquellen für zwei repräsentative Schiffstypen dargestellt. Die exemplarischen Angaben beziehen sich auf eine 100%-ige Auslastung bei Fahrt auf einem staugeregelten Fluss. Für die Betrachtungen in dieser Studie werden die VBD²⁷ Daten und die Emissionskennwerte nach Planco²⁸ verwendet, da diese Daten am detailliertesten zur Verfügung stehen. In ARTEMIS²⁹ wird nicht zwischen Tal und Bergfahrt unterschieden, in EcoTransIT wird eine begrenzte Anzahl von Transportsituationen (Berg-/Talfahrt auf fließendem und staugeregeltem Fluß) abgebildet.³⁰

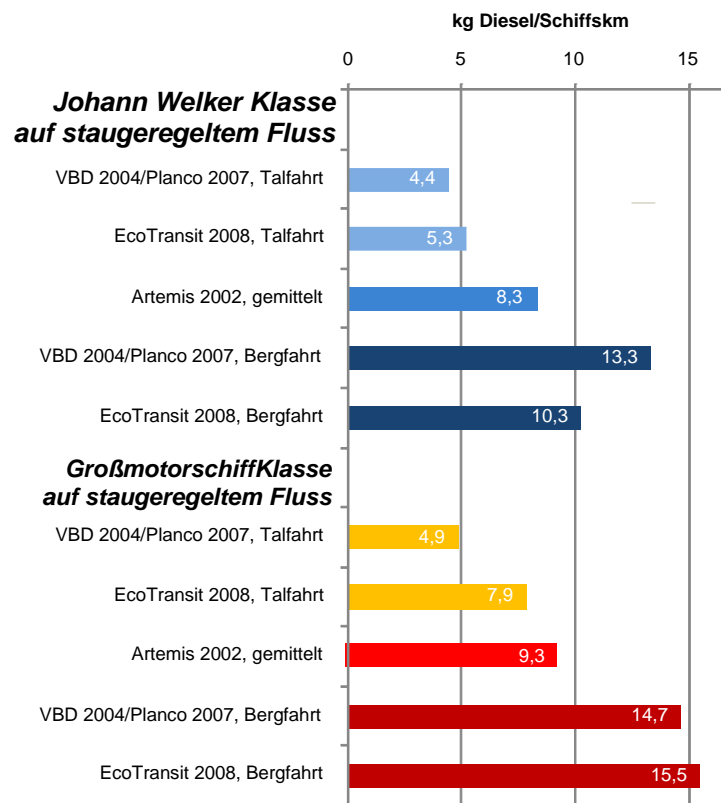


Abbildung 4-5: Kraftstoffverbrauch (kg Diesel/Schiffskm)

²⁷ P. Engelkamp, V. Renner, W. Bialonski: Technische und wirtschaftliche Konzepte für flußangepaßte Binnenschiffe, Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschiffahrt Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg, 2004

²⁸ PLANCO Consulting GmbH, Bundesanstalt für Gewässerkunde: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, Essen und Koblenz, 2007

²⁹ Paul Boulter and Ian McCrae TRL Limited et al., ARTEMIS: Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems, European Commission Brüssel, 2002

³⁰ EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.



4.3.1 Kraftstoffverbräuche und direkte Emissionen

Der spezifische Kraftstoffbedarf für Binnenschiffe nach VBD³¹ wird mit 0,2 kg Diesel/kWh Motorleistung beschrieben. Daraus berechnet sich ein Kraftstoffverbrauch von:

1. Kraftstoffverbrauch [kg/h] = spez. Kraftstoffverbrauch [kg/kWh] * installierte Antriebsleistung [kW] * Nutzungsgrad der Antriebsleistung [%]

Der Nutzungsgrad der Antriebsleistung hängt dabei von der befahrenen Wasserstraße und von der Auslastung des Schiffes ab. Die Auslastung des Schiffes definiert sich dabei über die tatsächliche Lademenge (bedingt tatsächlichen Tiefgang)/ max. Lademenge (max. Tiefgang). Dabei zeigt sich, dass insbesondere das Großmotorschiff auf kleineren Flüssen stark in der Ladekapazität begrenzt ist durch Tiefgangbeschränkungen oder verringerte Brückendurchfahrtshöhen. Über die Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße berechnet sich die Fahrtgeschwindigkeit gegenüber Land. Die VBD-Studie gibt dazu durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeiten für ausgewählten Schiffstypen auf Flüssen, staugeordneten Flüssen und Kanälen an. Die tatsächliche Geschwindigkeit ggü. Land hängt davon ab, ob das Schiff flussaufwärts oder flussabwärts fährt und berechnet sich folgendermaßen:

2. Flussabwärts (mit dem Strom): Geschwindigkeit ggü. Land = Schiffsgeschwindigkeit + Strömungsgeschwindigkeit des Gewässers
3. Flussaufwärts (gegen den Strom): Geschwindigkeit ggü. Land = Schiffsgeschwindigkeit - Strömungsgeschwindigkeit des Gewässers

Der Dieselverbrauch bezogen auf gefahrene Schiffskm berechnet sich demnach aus:

4. Brennstoffverbrauch [kg/km] = Brennstoffverbrauch [kg/h] / Geschwindigkeit ggü. Land [km/h]

Der Kraftstoffverbrauch bezogen auf die Transportleistung tkm ergibt sich aus:

5. Brennstoffverbrauch [kg/tkm]= (Brennstoffverbrauch leer [kg/km] * Auslastung + Brennstoffverbrauch leer [kg/km]) / (Auslastung * max. Tragfähigkeit)

Die direkten Emissionen berechnen sich nach Planco 2007³² für CO₂ mit 630 g/kWh, für NO_x mit 8,81 g/kWh (Johann Welker) und 8,89 g/kWh (Großmotorschiff), für Partikel mit 0,1 g/kWh (Johann Welker) und 0,13 g/kWh (Großmotorschiff). Die verwendeten Emissionskennwerte beziehen sich dabei auf das technische Optimum bei Gütermotorschiffen in Deutschland in 2006.

Fazit:

- Der spezifische Verbrauch wird in allen Quellen ähnlich (180-200g/ kWh) angegeben. Variationen ergeben sich aus benötigter Motorleistung in Abhängigkeit von Fahrtrichtung und Flußtyp.
- Eine 100%-ige Auslastung des Großmotorschiffs ist oft nicht möglich wegen Wasserwegsbeschränkungen bzgl. Tiefgang und/ oder Brückendurchfahrtshöhe.

³¹ P. Engelkamp, V. Renner, W. Bialonski: Technische und wirtschaftliche Konzepte für flußangepaßte Binnenschiffe, Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschifffahrt Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg, 2004

³² PLANCO Consulting GmbH, Bundesanstalt für Gewässerkunde: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, Essen und Koblenz, 2007

4.3.2 Lebenszyklusemissionen: Kraftstoffbereitstellung und Gesamtemissionen

Die Abbildung 4-6 zeigt das Lebenszyklus-Schadstoffprofil eines Großmotorschiffes bei 60% Auslastung (1800 t bei 2,50 m Tiefgang), auf der Talfahrt (staugeregelter Fluss) mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit ggü. Land von 18 km/h. Dabei zeigt sich deutlich, dass die direkten Emissionen aus der Dieselerbrennung den größten Teil der Gesamtemissionen verursachen. Die Berücksichtigung der Dieselerbrennung für das Binnenschiff erfolgt analog der Dieselerbrennung für LKW wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben.

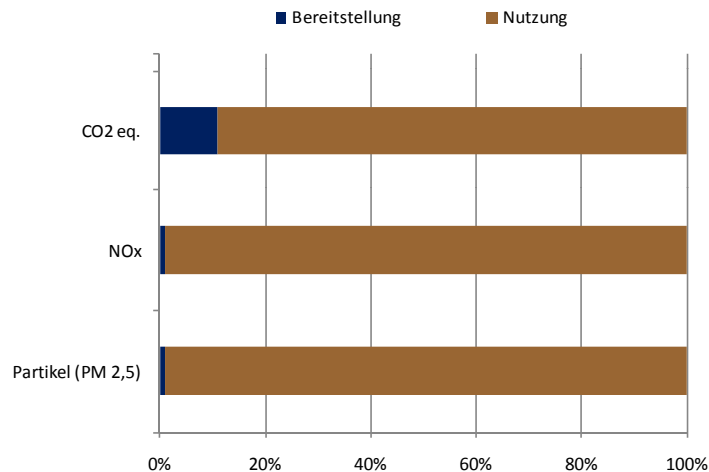


Abbildung 4-6: Lebenszyklusemissionen Binnenschiff – Aufteilung zwischen Bereitstellung und Nutzung des Dieselerkraftstoffes³³

Fazit:

- Ab 2010 Verwendung „Straßenverkehrs-Diesel“ (10 ppm Schwefel, 6,25% Biokraftstoffanteil).
- Anteile für die Dieselerbrennung bei PED und THG Emissionen analog LKW.

³³ Emissionsdaten aus PE/ LBP: GaBi 4 Software und Datenbanken zur Ökobilanzierung. Echterdingen 1992-2008 (Kraftstoffbereitstellung) und PLANCO Consulting GmbH, Bundesanstalt für Gewässerkunde: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, Essen und Koblenz, 2007 (Betriebsemissionen)



5 Intermodaler Vergleich

5.1 Relationsauswahl

Der Vergleich der Verkehrsträger wird exemplarisch an ausgewählten Transportrelationen, im weiteren Verlauf auch Fahrspiel genannt, durchgeführt. Die dargestellten Beispiele wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt. Ziel der Auswahl ist es ein möglichst weites Spektrum an verschiedenen Transportdienstleistungen darzustellen und zu vergleichen. Ein besonderer Schwerpunkt wurde dabei auf den Containertransport gelegt.

Grundsätzlich wird in der Studie unterschieden zwischen

- Transport von schweren Gütern
- Transport von leichten Gütern

Die Relationen sind so gewählt, dass sie zumindest von Bahn und LKW bedient werden können. In ausgewählten Fällen wurde auch der Schifftransport mit einbezogen.

Bei einigen Relationen wurde, um die Vergleichbarkeit der Verkehrsträger zu gewährleisten, bei den Bahn- und Binnenschifftransporten jeweils Nach- bzw. Vorlauf per LKW berücksichtigt. Es sei an dieser Stelle nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die ausgewählten Relationen in der Realität nicht von allen drei Verkehrsträgern bedient werden, da üblicherweise der kostengünstigste Transport zum Einsatz kommt.

Die Bezugsgröße wird für jeden Fall explizit angegeben. Im Fall, dass zwischen den Verkehrsträgern auf den jeweiligen Relationen teils signifikante Entfernungsunterschiede bestehen, werden für den Verkehrsträger-übergreifenden Vergleich die Gesamtemissionen für den definierten Transportfall angegeben.

Für die Bereitstellung der Kraftstoffe und den Betrieb der einzelnen Verkehrsträger werden die entsprechend in Kapitel 4 vorgestellten Werte und Zusammenhänge verwendet.

5.2 Transport von schweren Gütern

5.2.1 Fahrspiel Transport von schwerem Schüttgut

Der Vergleich der THG – Emissionen von schwerem³⁴ Schüttgut wird anhand des folgenden Beispiels illustriert und diskutiert:

Fahrspiel: Transport von Gusseisenspänen (Schüttdichte 2 t/m³), 1800 t von Stuttgart nach Rotterdam

Der Transport von schwerem Schüttgut (z.B. Gusseisenspäne) ist aus ökonomischen Gründen prädestiniert für den Transport mit der Bahn oder dem Binnenschiff. Der Vergleich mit dem LKW ist also eher von theoretischem Interesse.

Da zwischen den Verkehrsträgern signifikante Entfernungsunterschiede bestehen, werden für den Verkehrsträger übergreifenden Vergleich die Gesamtemissionen für den definierten Transportfall angegeben.

³⁴ Der Begriff „schweres Gut“ bezieht sich in dieser Studie auf die Dichte des transportierten Gutes. Ein Gut mit einer Dichte von 2 t/m³ (z.B. Eisenspäne, Sand, Eisenerz) wird als schwer bezeichnet während ein Gut mit einer Dichte < 0,2 t/m³ (z.B. Dämmstoff, Aluminiumspäne, Hackschnitzel) im Sinne der Einteilung als „leichtes Gut“ bezeichnet wird.

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Keine Berücksichtigung von Leerfahrten
 - Kein Vor- und Nachlauf
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: 40 t zulässiges Gesamtgewicht, 100% Auslastung; Distanz: 615 km
 - Bahn: 27 Schüttgutwaggons; 100% Auslastung; Distanz: 700 km
 - Schiff: 60% Auslastung (wegen Tiefgangbeschränkung Neckar)³⁵; Distanz: 785 km³⁶

In Abbildung 5-1 werden die THG-Emissionen der ausgewählten Verkehrsträger für den Transport von 1800 t Eisenspänen illustriert.

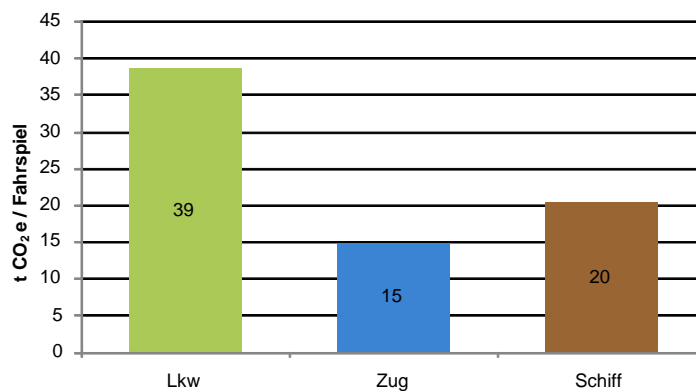


Abbildung 5-1: Vergleich der THG-Emissionen beim Transport von schwerem Schüttgut von Stuttgart nach Rotterdam.

Beim Transport von schwerem Schüttgut werden die Vorteile von Bahn und Binnenschiff gegenüber dem LKW deutlich. Während Bahn und Binnenschiff in etwa gleich aufliegen, zeigt der LKW mehr als doppelt so hohe THG-Emissionen. Das gute Abschneiden der Bahn gegenüber dem LKW ist vor allem auf die Parameter Zuglänge und den Waggontyp zurückzuführen. So kann für schwere Schüttgüter ein Schüttgutwagen mit 66 t Nutzlast eingesetzt werden.

Bei der Modellierung wurde darauf Wert gelegt, dass äquivalente Mengen transportiert werden. Das Großmotorschiff kann bei einer Tiefgangbeschränkung von 2,5 m auf dem Neckar nur 1800 t Ladung an Bord nehmen. Dadurch ergibt sich nur eine Auslastung von 60%. Daraus resultieren höhere THG-Emissionen für das Binnenschiff.

³⁵ Es erfolgt keine weitere Zuladung von Gütern auf dem Rhein ab Mannheim, auch wenn das theoretisch möglich wäre. Diese Annahme wurde getroffen um den Vergleich zwischen den einzelnen Verkehrsträgern mit konstanten Transportmengen zu ermöglichen. Das Binnenschiff ist damit in diesem Fahrspiel nicht optimal ausgelastet. Würde in Mannheim die Zuladungskapazität von 3000t ausgeschöpft werden, würden sich die THG Emissionen des Schifftransports um ca. 20% reduzieren.

³⁶ Es ist zu berücksichtigen, dass für den Verkehrsträger Schiff hier vom energetisch, und damit auch umweltlich, günstigeren Fall der Talfahrt ausgegangen wird. Eine Mittelung der Berg- und Talfahrt würde zu einem fast doppelt so hohem Kraftstoffverbrauch und damit THG Emissionen führen. Diese Relation gilt auch näherungsweise für limitierte Emissionen wie NO_x und Partikel.

5.2.2 Fahrspiele Containertransport von schweren Stückgütern

Der Vergleich der THG-Emissionen von schweren Stückgütern, transportiert im Container, wird anhand der folgenden Beispiele illustriert und diskutiert:

- Fahrspiel 1: Transport Motoren und Getriebeteilen von Stuttgart nach Bremen
- Fahrspiel 2: Transport von Motoren und Getriebeteilen von Stuttgart nach Rastatt

Bezugsgröße: Da zwischen den Verkehrsträgern Entfernungsunterschiede bestehen, werden für den Verkehrsträger-übergreifenden Vergleich die Gesamtemissionen für den definierten Transportfall angegeben.

5.2.2.1 Fahrspiel 1: Transport Motoren und Getriebeteilen von Stuttgart nach Bremen

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Keine Berücksichtigung von Leerfahrten
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: 30 l/100 km (bei Vollausslastung, Durchschnittswert für diese Studie); Distanz: 633 km; Auslastung: 84% bezogen auf die maximale effektive Zuladung von Fracht (Sattelaufleger)
 - Bahn: Ganzzug (20 Wagen); Distanz: 628 km; Wechselbrücken, die jeweils mit ca. 10,5 t Ladung gefüllt sind (92% bezogen auf die maximale effektive Zuladung von Fracht); Vorlauf Bahntransport: 2 km LKW

In Abbildung 5-2 werden die THG-Emissionen des Fahrspiel 1 für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch gegenüber gestellt.

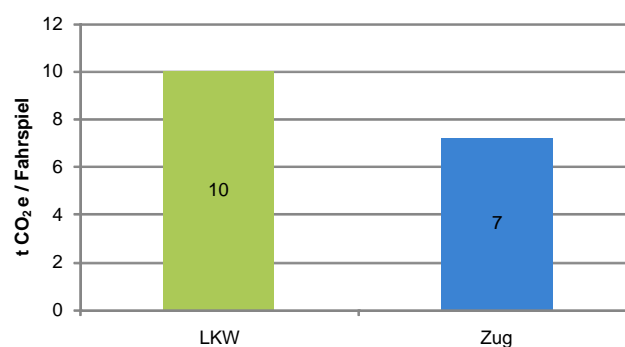


Abbildung 5-2: Vergleich der THG-Emissionen beim Transport von schwerem Stückgut im Werksverkehr von Stuttgart nach Bremen.

Das Fahrbeispiel illustriert die Vorteile der Bahn gegenüber LKW bei einem Transport in langen Ganzzügen ohne Leerwagenanteil. Verwendung von längeren Containerwagen (3 statt 2 TEU Ladekapazität) bringt weitere Reduktion der THG Emissionen für die Bahn um ca. 10%. Es zeigt sich aber auch, dass die Unterschiede zwischen Bahn und LKW bei weitem nicht so dramatisch sind, wie häufig kommuniziert.

5.2.2.2 Fahrspiel 2: Transport von Motoren und Getriebeteilen von Stuttgart nach Rastatt

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - 220 t, just-in-sequence Lieferung (2x je Arbeitstag)
 - Keine Berücksichtigung von Leerfahrten
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: Kraftstoffverbrauch: 2 Fälle unterschieden:
 - a) 30 l/100 km (bei Vollauslastung Durchschnittswert für diese Studie)
 - b) 36 l/100 km (Realverbrauch für die gefahrene Strecke und tatsächliche Auslastung, anspruchsvolles Streckenprofil)
 - Distanz: 115 km; Auslastung: 83% (Sattelaufleger)
 - Bahn: Distanz: 108 km; Auslastung: 73% (40 ft Container); 6 Wagen; Vorlauf Bahntransport: 2 km LKW

In Abbildung 5-3 werden die THG-Emissionen für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch gegenüber gestellt.

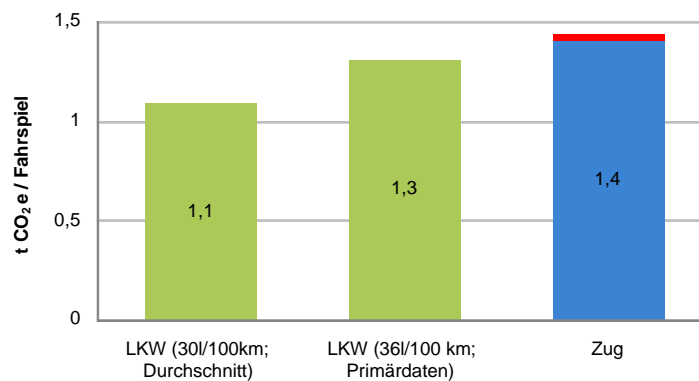


Abbildung 5-3: Vergleich der THG-Emissionen beim Transport von schwerem Stückgut im Werksverkehr von Stuttgart nach Rastatt. Beim Zug sind Hauptlauf (blau) und Vorlauf (rot) dargestellt.



Für das betrachtete Fallbeispiel zeigt sich, selbst bei einem erhöhten Verbrauch von 36 l/100km für den LKW schneidet die Bahn bei den THG-Emissionen schlechter ab. Der Kraftstoffverbrauch von 36 l/100km für den LKW beruht auf dem tatsächlich gemessenen Verbrauch für das anspruchsvolle Fahrprofil zwischen Stuttgart und Raststatt. Die Treibhausgasemissionen für den Bahntransport beruhen hingegen auf einen angenommenen Durchschnittswert des Energieverbrauchs für Deutschland. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wird an dieser Stelle auch der Transport mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 30 l/100 km dargestellt. In diesem Fall schneidet der LKW gegenüber der Bahn noch besser ab.

Fazit:

- Der Transport von schwerem Stückgut im Container mit einem kurzen Ganzzug (z.B. aus Produktionsplanungsgründen) hat höhere THG Emissionen als der LKW.

5.2.3 Sensitivitätsanalysen für den Transport schwerer Stückgüter im Container

In diesem Abschnitt soll der Einfluss von Vor- und Nachlauf sowie Leerwaggon-Anteil auf den Vergleich Bahn-LKW in zwei Sensitivitätsanalysen untersucht werden.

- Sensitivitätsanalyse 1: Einfluss der Vor- & Nachlaufdistanz bei verschiedenen Zuglängen auf den Vergleich Bahn-LKW
- Sensitivitätsanalyse 2: Einfluss des Leerwaggonanteils bei verschiedenen Zuglängen auf den Vergleich Bahn-LKW

Neben den genannten Sensitivitätsanalysen wird eine Untersuchung des Einflusses des Kraftstoffverbrauchs des LKW im Anhang A durchgeführt

5.2.3.1 Sensitivitätsanalyse 1: Einfluss der Vor- & Nachlaufdistanz bei verschiedenen Zuglängen auf den Vergleich Bahn-LKW

Die Grundannahmen der Sensitivitätsanalyse beruhen auf dem Fahrspiel Stuttgart - Raststatt. Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Für keinen der betrachteten Verkehrsträger wird ein Leerfahrtenanteil angenommen (d.h. es wird nur eine Fahrtstrecke Stuttgart – Raststatt betrachtet.)
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: 30 l/100 km bei Vollauslastung; 79% Auslastung; max. Zuladung 23 t
 - Bahn: Ganzzug ohne Leerwaggons, 73% Auslastung

Bezugsgröße: Für den Verkehrsträger-übergreifenden Vergleich werden die Emissionen bezogen auf eine Tonne transportiertes Gut angegeben (d.h. es wird die Modellannahme getroffen, Hauptlauf für LKW und Bahn = 1km)

In Abbildung 5-4 werden die THG-Emissionen je transportierter Tonne für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch dargestellt.

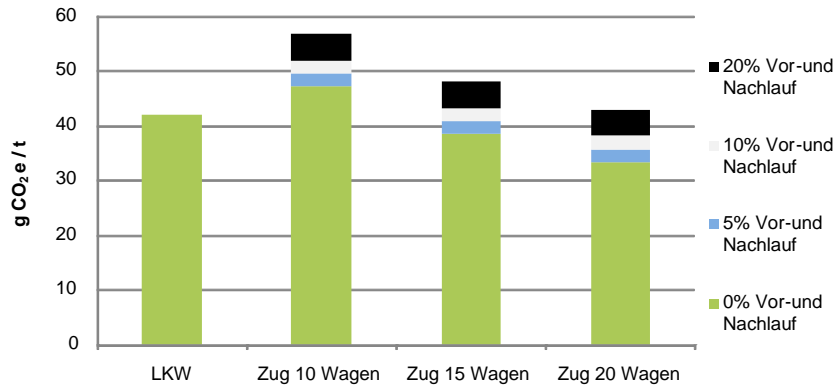


Abbildung 5-4: THG-Emissionen in Abhängigkeit von Vor- und Nachlauf und Zuglänge

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass weder für die Bahn noch für den LKW ein Leerfahrtenanteil berücksichtigt wurde. Unter dieser Annahme, d.h. Bahn und LKW unterscheiden sich nicht im Leerfahrtenanteil, können die folgenden Aussagen hinsichtlich des Einflusses von Vor- und Nachlauf in Abhängigkeit der Zuglänge getroffen werden:

- Ganzzug mit 10 Waggons: Hier zeigt die Bahn bei direktem Bahnanschluss am Start- und Zielort bereits höhere Emissionen als der LKW.
- Ganzzug mit 15 Waggons: Hier liegen LKW und Bahn ungefähr gleich auf bei einem Vor- und Nachlaufanteil von 5%. Bei einem Vor- und Nachlaufanteil größer 10% der Hauptlaufdistanz zeigt der LKW einen besseren THG-Wert.
- Ganzzug mit 20 Waggons: Unter der Annahme eines Leerfahrtenanteil von Bahn und LKW mit jeweils 0% schneidet die Bahn bei einem Vor- und Nachlaufanteil bis zu 10% besser ab als der LKW. Bei einem langem Vor- und Nachlauf von etwa 20% der Hauptlaufdistanz liegen LKW und Bahn gleichauf.

5.2.3.2 Sensitivitätsanalyse 2: Einfluss des Leerwaggonanteils bei verschiedenen Zuglängen auf den Vergleich Bahn-LKW

Die Grundannahmen der Sensitivitätsanalyse beruhen auf dem Transport von Zulieferteilen rund um das Einzugsgebiet des Güterbahnhofes Wuppertal-Langerfeld (innerdeutscher Transport) ins Daimler Werk nach Stuttgart Untertürkheim.

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Vor- und Nachlauf wird nicht betrachtet.
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:

- LKW: 30 l/100 km; 80% Auslastung; max. Zuladung 25,7 t
- Bahn: Ganzzug mit 16 Wagen; 80% Auslastung³⁷

Bezugsgröße: Für den Verkehrsträger-übergreifenden Vergleich werden die Emissionen bezogen auf eine Tonne transportiertes Gut angegeben (d.h. es wird die Modellannahme getroffen, Hauptlauf für LKW und Bahn = 1km)

In Abbildung 5-5 werden die THG-Emissionen je Tonne für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch dargestellt.

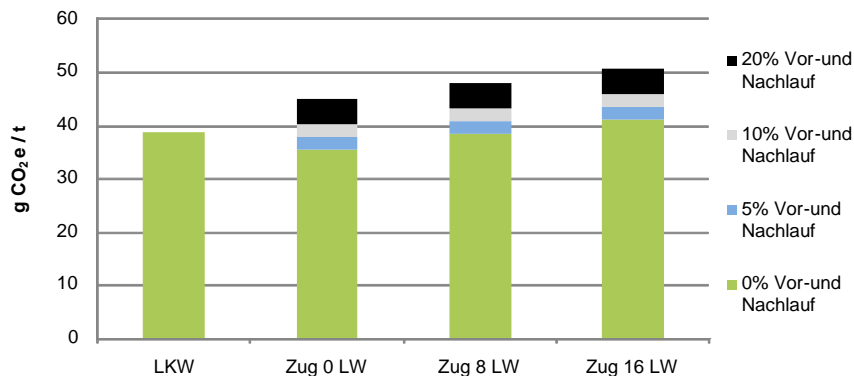


Abbildung 5-5: THG in Abhängigkeit von Leerwaggonanteil (beladen = 16 W.) und Vor- und Nachlauf

Es zeigt sich, dass unter der Annahme von 0% Vor- und Nachlaufanteil der Bahn der LKW ab ~50% Leerwaggonanteil (16 Wagen) eine bessere THG-Bilanz aufzeigt. Bezieht man Vor- und Nachlauf mit ein, wird der Breakeven-Punkt bereits bei einem geringeren Leerwaggonanteil erreicht. Bei einem Anteil von 10% am Hauptlauf, weist die Bahn gegenüber dem LKW bereits ohne Leerwaggon leicht höhere THG-Emissionen auf.

Fazit:

- Anzahl der Waggons und Vor- & Nachlaufdistanz sind entscheidende Faktoren beim Vergleich der Verkehrsträger.
- Ab etwa 50% Leerwagenanteil (16 Wagen) zeigt der LKW eine bessere Performance als der Zug.

5.2.4 Verallgemeinerungen zum Containertransport von Schwergütern

An dieser Stelle wird abschließend zum Thema Containertransport von schwerem Stückgut ein allgemeiner Vergleich angestellt.

Da es sich hierbei um keine fallspezifische Verkehrsrelation handelt, werden für den verkehrszweigübergreifenden Vergleich die Emissionen bezogen auf einen Tonnenkilometer (tkm) angegeben.

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

³⁷ Durchschnittszug des Verbandes Kombiverkehr angenommen (16 Waggons mit je zwei TEUs à 9,1t)

- Allgemeine Annahmen:
 - Container sind massenmässig voll beladen mit 26 t Gesamtgewicht
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: 10% Leerfahrtenanteil nach BGL³⁸⁾
 - Kraftstoffverbrauch: 30 l/100 km
 - Bahn: 100% Auslastung und 80% Leerfahrtenanteil nach EcoTransIT³⁹⁾
 - Hinsichtlich der Zuglänge/gewicht werden zwei Fälle betrachtet:
 - a) Ganzzug mit 500 Bt, 20 Wagen
 - b) und Ganzzug mit 1000 Bt, 40 Wagen

In Abbildung 5-6 werden die THG-Emissionen je tkm für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch dargestellt.

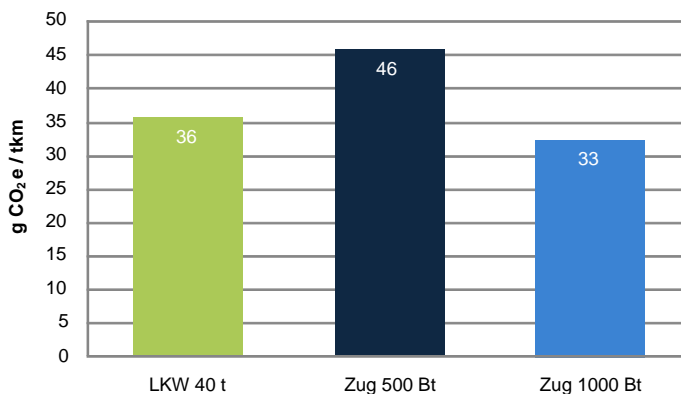


Abbildung 5-6: Vergleich der THG Emissionen beim Containertransport von Schwergütern

Der 500 Bt-Zug kann in erster Näherung als repräsentativ für den nationalen Kombiverkehr betrachtet werden. Gemäß eigenen Berechnungen auf Basis der Transportleistung von Kombiverkehr in 2008⁴⁰⁾ liegt das durchschnittliche Zuggewicht bei ca. 560 Bt. Die Ergebnisse zeigen, dass im Vergleich mit einem durchschnittlichen inländischen Containerzug der LKW besser abschneidet.

³⁸⁾ Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL): Verkehrswirtschaftliche Zahlen (VWZ) 2007-08. Frankfurt a.M. 2009.

³⁹⁾ EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.

⁴⁰⁾ Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr mbH & Co KG: Geschäftsbericht 2008. Frankfurt a.M. 2009 und eigene Berechnungen. Validiert mit DB Schenker/ DB Intermodal: „Im Takt quer durch Europa“, railways Nr. 02/09. Mainz 2009.



Der 1000 Bt-Zug kann in erster Näherung als repräsentativ für den internationalen Kombiverkehr betrachtet werden. Gemäß eigenen Berechnungen auf Basis der Verkehrsleistungen im internationalen Kombiverkehr⁴¹ liegt das durchschnittliche Zugegewicht bei 930 Bt. Der Vergleich zwischen LKW und dem 1000 Bt Zug zeigt, dass Zug und LKW in etwa gleichauf liegen.

Fazit:

- Bei kurzen Zügen (~500 Bt), wie sie z.B. im nationalen Kombiverkehr zum Einsatz kommen, schneidet der LKW besser ab als der Zug.
- Bei längeren Zügen (~1000 Bt) liegen Bahn und LKW etwa auf Augenhöhe.

5.3 Transport von leichten Gütern

5.3.1 Transport von Dämmstoffen (Volumenlimitiertes Gut)

Der Vergleich der THG-Emissionen von leichten, volumenlimitierten Gütern wird anhand des folgenden Beispiels illustriert und diskutiert:

Fahrspiel: Transport von 240 t Dämmstoff (Schüttdichte 0,08 t/m³) von Stuttgart nach Rotterdam

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Keine Berücksichtigung von Leerfahrten
 - 100% Volumenauslastung je Verkehrsträger
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: Massenmäßige Auslastung von 32%; Volumenaufleger (95 m³) Distanz: 619 km.
 - Bahn: Massenmäßige Auslastung von 41,6%; Wagentyp: Hbbills 311 mit 140 m³; Zug mit 19 Wagen; Distanz: 700 km
 - Binnenschiff: Massenmäßige Auslastung von 8%⁴². Schiffstyp: Großmotorschiff; Distanz: 785 km.

Bezugsgröße: Da zwischen den Verkehrsträgern Entfernungsunterschiede bestehen, werden für den Verkehrsträger übergreifenden Vergleich die Gesamtemissionen für den definierten Transportfall angegeben.

⁴¹ Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr mbH & Co KG: Geschäftsbericht 2008. Frankfurt a.M. 2009 und eigene Berechnungen. Validiert mit Hupac Facts & Figures 2009.

⁴² Diese geringe massenmäßige Auslastung ergibt sich aus dem Transport eines Dämmmaterials in 40 ft Containern auf dem Neckar (Tiefgang und Durchfahrtshöhen Beschränkungen) und Rhein. Das heißt, man geht von einer Volumenauslastung aus, so dass alle Containerstellplätze auf dem Schiff besetzt sind. Diese Auslastung ergibt aus der Vorgabe dieselben Gütermengen zu transportieren um einen Verkehrsträgervergleich zu ermöglichen.

In Abbildung 5-7 werden die THG-Emissionen des untersuchten Fahrspiels für die ausgewählten Verkehrsträger illustriert.

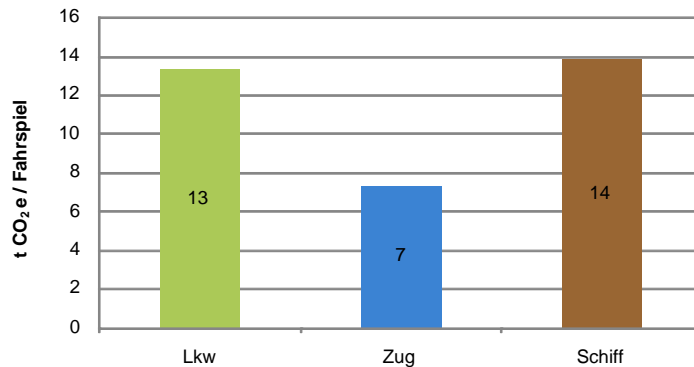


Abbildung 5-7: THG-Emissionen für den Transport von Dämmstoff von Stuttgart nach Rotterdam.

Aufgrund des gewählten optimalen Waggontyps zeigt die Bahn deutlich geringere THG-Emissionen als LKW und Binnenschiff (Faktor 2). Die beiden letzteren Verkehrsträger liegen gleich auf.

Der Einfluss der Wahl des Wagentyps auf die THG-Bilanz wird im nächsten Abschnitt untersucht.

Fazit:

- Für Volumengüter ist der LKW wettbewerbsfähig mit Schiff
- Weiteres Potenzial für LKW mit 25,25 m (40t zGG) Fahrzeug

5.3.2 Sensitivitätsanalyse: Einfluss Wagentyp und Zuglänge

In diesem Abschnitt soll der Einfluss des Wagentyps sowie Zuglänge auf den Vergleich Bahn-LKW untersucht werden.

Fahrspiel: Transport von Dämmstoff mit einer Schüttdichte 0,08 t/m³

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - 100% Volumenauslastung für alle Verkehrsträger.
 - Für keinen der betrachteten Verkehrsträger wird ein Leerfahrtenanteil angenommen
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: Es werden zwei Typen unterschieden:
 - a) LKW- Volumenaufleger; Ladevolumen: 95 m³



- b) LKW 40 ft Container High Cube; Ladevolumen: 76,3m³
- o Bahn: Es werden drei Wagentypen unterschieden:
 - a) Schiebetürwagen Hbbills 311; Ladevolumen 140 m³, bei der angenommenen Schüttdichte ergibt sich daraus eine Massenauslastung von 42%; zur Orientierung ein Zuggewicht: von ~500 Bt wird bei 17 Wagen erreicht.
 - b) Containerwagen Lgs 580 mit 40 ft Seecontainer High Cube; Ladevolumen 76,3m³, bei der angenommenen Schüttdichte ergibt sich daraus eine Massenauslastung von 28%, zur Orientierung: ein Zuggewicht von ~500 Bt wird bei 27 Wagen erreicht.
 - c) Schüttgutwagen Tagos 896, Ladevolumen 75 m³, bei der angenommenen Schüttdichte ergibt sich daraus eine Massenauslastung von 9% Massenauslastung, zur Orientierung: ein Zuggewicht von ~500 Bt wird bei 17 Wagen erreicht.

Bezugsgröße: Da es sich hierbei um keine fallspezifische Verkehrsrelation handelt, werden für den verkehrsträgerübergreifenden Vergleich die Emissionen bezogen auf einen Tonnenkilometer (tkm) angegeben.

In Abbildung 5-8 werden die THG-Emissionen für die ausgewählten Verkehrsträger in Abhängigkeit von Zuglänge (Anzahl der Waggons: 5/10/15/20) und Wagentyp grafisch dargestellt.

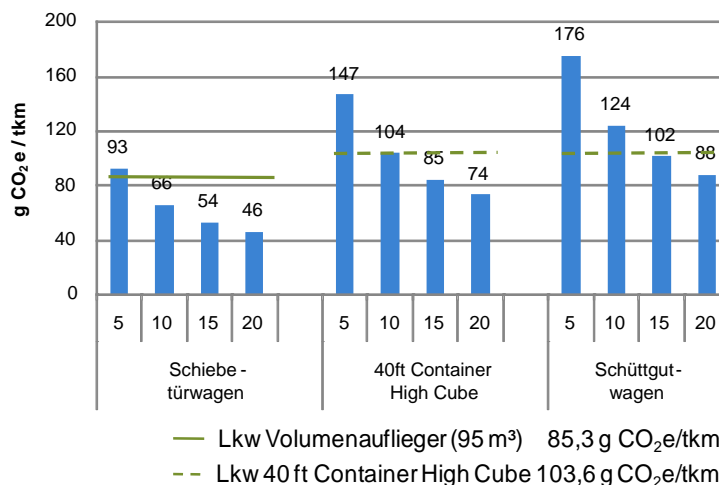


Abbildung 5-8: THG-Emissionen für den Transport leichten Transportgutes in Abhängigkeit von Zuglänge und Wagentyp.



Es zeigt sich, dass der Schiebetürwagen die optimale Wahl für den Transport von leichten Volumengütern ist. Allerdings liegt der LKW (Volumenaufleger) bei Kurzzügen von 6 Waggons gleich auf. Beim Einsatz von Containern, liegen LKW (Volumenaufleger) und Bahn bei einem Zug mit ~15 Wagen gleichauf. Bei Kurzzügen zeigt der LKW geringere THG-Emissionen. Bei einem Transport im Schüttgutwagen schneidet der LKW (Volumenaufleger) auch gegenüber einem Zug von 20 Wagen besser ab.

Fazit:

- LKW: CO₂e-Emissionen bis ca. 100 g/tkm für Volumengüter
- In Abhängigkeit vom Wagentyp sind LKW und Bahn vergleichbar bei Zuglängen von 5-15 Wagen (gegenüber ~20 Wagen bei schweren Gütern)

6 Zukünftige Entwicklungen

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen absehbarer möglicher Veränderungen für die verschiedenen Verkehrsträger auf den ökologischen Vergleich untersucht. Hierbei werden die folgenden Schwerpunkte gesetzt:

- Veränderungen im Bahnstrommix
- Mögliche Erhöhung der Biokraftstoffzumischung im Diesel
- Einführung des EuroCombi
- Umsetzung zukünftiger Abgasnormen (Euro VI)

6.1 Entwicklung Bahnstrommix und Auswirkungen auf THG Emissionen

Die Abschätzung der Entwicklung des zukünftigen Bahnstrommixes orientiert sich an einer vom BMU in Auftrag gegebenen Studie⁴³. Diese Studie beschäftigt sich mit der Entwicklung der Stromerzeugung vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der Kernenergienutzung sowie des Ausbaus der erneuerbaren Energie zur Erreichung der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands. Die Bahn weist in 2005 mit 27%⁴⁴ einen zum deutschen Strommix vergleichbaren Anteil (26%⁴⁵) an Kernenergie auf. Ähnliches gilt für den Anteil erneuerbarer Energien 11% (DB Mix) gegenüber 10% (deutscher Strommix). Abbildung 6-1 zeigt die Zusammensetzung der Strommixe nach Energieträger.

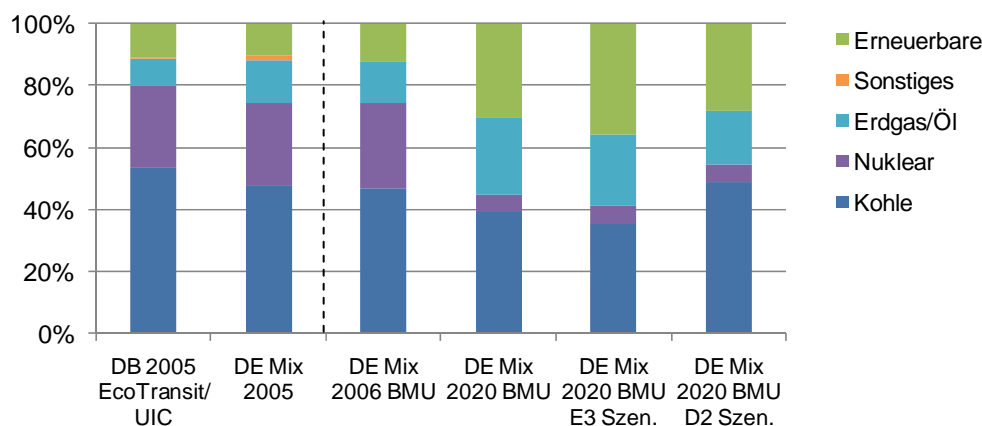


Abbildung 6-1: Zusammensetzung des DB Strommixes im Vergleich zu Strommixszenarien aus BMU Leitstudie.

Die in der BMU Studie prognostizierte Entwicklung des deutschen Strommixes von 2006 bis 2020 (unter der Prämisse des 2002 beschlossenen Kernkraftausstiegs, siehe Abbildung 6-1) legt die Annahme nahe, dass auch der DB-Strommix neben dem sinkenden Kernkraftanteil (in der BMU Studie auf rund 6% in 2020) höhere Anteile an erneuerbaren

⁴³ Nitsch, J.: „Leitstudie 2008“ - Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. im Auftrag des BMU, DLR. Stuttgart, 2008 und eigene Berechnungen

⁴⁴ EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.

⁴⁵ International Energy Agency: IEA Statistics – Electricity Information, Paris, 2007. Dieser Strom Mix wurde aus zeitlichen Konsistenzgründen zusätzlich zum deutschen Strom Mix 2006, der als Ausgangspunkt in der BMU Studie verwendet wurde, angegeben.

Energien aufweisen wird. Gemäß des Leitszenarios 2008 wird mit einem Anteil von 30% erneuerbaren Energien in 2020 gerechnet. Für die vorliegende Studie werden die Entwicklung des zukünftigen Bahnstrommixes und die Auswirkung auf den Vergleich mit dem LKW, anhand der zwei Extremszenarien der BMU-Studie betrachtet:

- Szenario E3 (höhere Energieeffizienz, verstärkter Ausbau erneuerbarer Energien (EE) mit einem Anteil von 36%, Kernkraftanteil 6%, Kohleanteil 35%, Rest Gas/Heizöl)
- Szenario D2 (verstärkte Kohlenutzung (49% Anteil), 28% Anteil EE, Nuklear konstant bei 6%)

In Abbildung 6-2 sind die Ergebnisse des Ist-Zustandes (Bahnstrommix und deutscher Strommix für 2006 nach BMU), des BMU Leitszenarios für 2020 sowie der beiden Extremszenarien dargestellt.

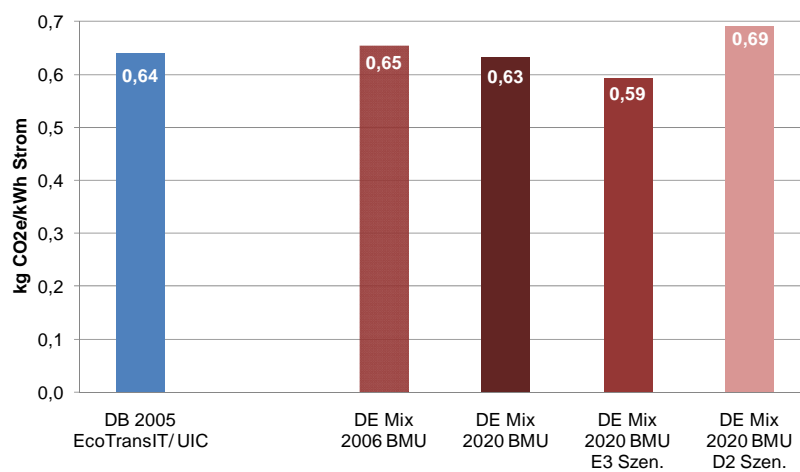


Abbildung 6-2: Treibhausgasemissionen der Strombereitstellung Ist-Zustand und Szenarien für die künftige Entwicklung.

Für das Basisszenario weist der Strommix 2020 bezüglich der THG-Emissionen eine Veränderung von -3% im Vergleich mit den THG-Emissionen des Jahres 2006 auf. Für die Extremszenarien zeigt sich eine Reduzierung von -10% (E3) bzw. eine Zunahme von +6% (D2).

Generell hat es sich die Deutsche Bahn entsprechend ihrer Klimaschutzstrategie 2020⁴⁶ zum Ziel gesetzt, gegenüber dem Referenzjahr 2006 die THG Emissionen des Unternehmens um 20% zu senken. Die Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien ist dabei ein Baustein im Maßnahmenkatalog der DB AG, wobei zu klären ist wie diese Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien zustande kommt.

Fazit:

- Zukünftige Entwicklung: THG-Emissionen des zukünftigen Bahnstrommixes bleiben in etwa konstant.

⁴⁶ Westenberger, P.: Die Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie der Deutschen Bahn AG, DB AG. Sustainable Mobility Leadership Forum. Berlin, 24. März 2009



6.2 Zukünftige Entwicklungen LKW und Bahn im Transport schwerer Güter

Der Vergleich der zukünftigen THG-Emissionen von Bahn und LKW beim Transport von schweren Gütern wird anhand des folgenden Beispiels illustriert und diskutiert:

Fahrspiel: Transport von Wechselcontainern

Bezugsgröße: Da es sich hierbei um keine fallspezifische Verkehrsrelation handelt, werden für den Verkehrsträger-übergreifenden Vergleich die Emissionen bezogen auf einen Tonnenkilometer (tkm) angegeben.

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Transport im Wechselcontainer
 - Keine Berücksichtigung von Vor- und Nachlauf
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: 100% Auslastung und 10% Leerfahrtenanteil; Kraftstoffverbrauch: 30 l/100 km; Für die Kraftstoffbereitstellung werden zwei Fälle unterschieden:
 - a) Diesel mit 6,25% Beimischung von NExBTL (Business-as-usual Szenario)
 - b) Diesel mit 20% Beimischung von NExBTL
 - Bahn: 100% Auslastung und 80% Leerfahrtenanteil; Änderung des Strommixes:
 - a) Heutiger Mix⁴⁷
 - b) Best Case Szenario (E3)⁴⁸
 - c) Worst Case Szenario (D2)

⁴⁷ nach UIC 2007/ifeu 2008. Bezugsjahr 2005

⁴⁸ Nach BMU Leistudie, Nitsch 2008

In Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 werden die THG-Emissionen je tkm für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch gegenüber gestellt.

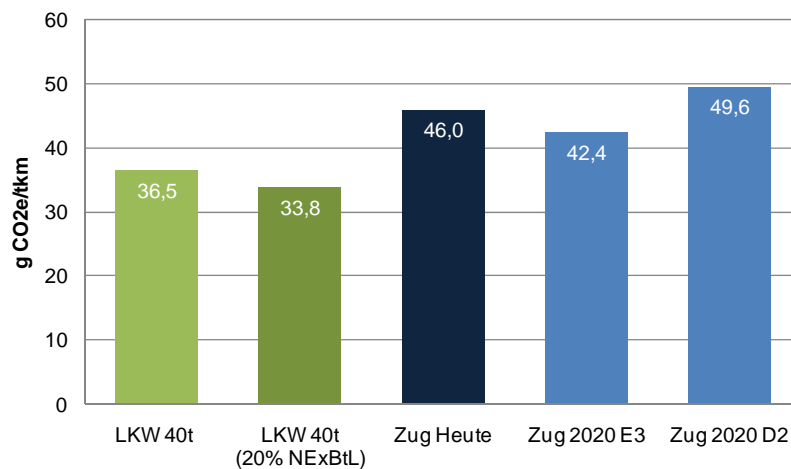


Abbildung 6-3: Vergleich zukünftige spezifische THG-Emissionen von Bahn (500 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter.

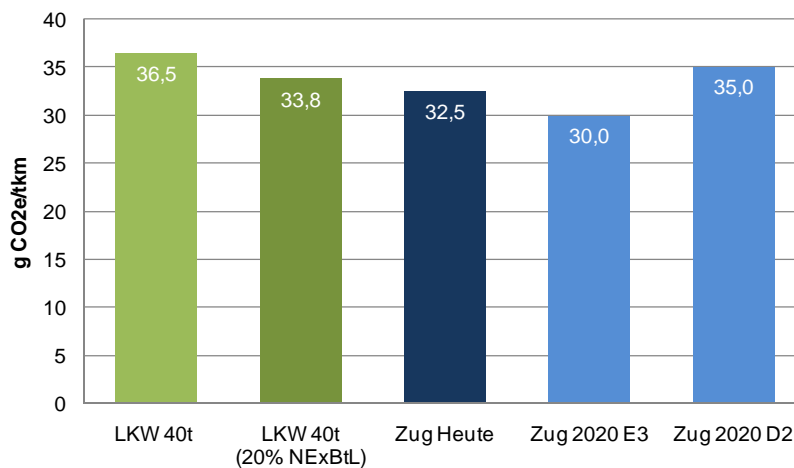


Abbildung 6-4: Vergleich zukünftige spezifische THG-Emissionen von Bahn (1000 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter.

Im Containertransport zeigt der LKW in allen Zukunftsszenarien die besseren THG-Werte als ein 500Bt Zug (560 Bt Durchschnitt für nationalen Kombiverkehr). Durch eine mögliche Erhöhung des Biokraftstoffanteils vergrößert sich der Abstand zwischen Bahn und LKW noch weiter.

Verglichen mit einem 1000 Bt Zug (Abbildung 6-4) liegen Bahn und LKW in etwa gleichauf.

Fazit:

- Der LKW ist auch unter der Annahme einer Verbesserung des zukünftigen Bahnstrommixes eine Alternative zum Bahntransport.



6.3 Zukünftige Entwicklungen LKW und Bahn im Transport leichter Güter

Der Vergleich der zukünftigen THG-Emissionen von Bahn und LKW beim Transport von leichten Gütern wird anhand des folgenden Beispiels illustriert und diskutiert:

Fahrspiel: Transport eines Gutes mit 120 kg/m^3 z.B. Kühlschrank

Besonderes Augenmerk in diesem Vergleich liegt auf dem sog. EuroCombi, welcher zur Zeit von ausgewählten Speditionen getestet wird⁴⁹. Der EuroCombi erreicht eine optimale Auslastung (d.h. Volumen- und Massenauslastung 100%) bei einem Transportgut mit einer Dichte von $\sim 120 \text{ kg/m}^3$ (z.B. Kühlschrank) Bei einer Guttdichte $> 120 \text{ kg/m}^3$ ist keine volle Volumennutzung möglich.

Bezugsgröße: Da es sich hierbei um keine fallspezifische Verkehrsrelation handelt, werden für den Verkehrsträger übergreifenden Vergleich die Emissionen bezogen auf einen Tonnenkilometer (tkm) angegeben.

Zur Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Allgemeine Annahmen:
 - Keine Berücksichtigung von Leerfahrten
- Verkehrsträgerspezifische Annahmen:
 - LKW: Es werden drei Fälle unterschieden:
 - a) Konventioneller LKW; Diesel mit 7% Beimischung von NExBTL
 - b) EuroCombi Länge 25,25 m und max. Volumen von 150 m^3 .
 - c) EuroCombi 20% Beimischung von NExBTL
 - Bahn: Es werden 2 Szenarien betrachtet:
 - a) Bahnstrom 2020: verstärkte Steinkohlenutzung (BMU Szenario D2); Wagentyp: Schüttgutwaggon
 - b) Bahnstrom 2020: verstärkter Ausbau erneuerbare Szenario (BMU Szenario E3); Wagentyp: Schiebetürwagen

⁴⁹ Herstellerangaben sowie Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr 2007: Zwischenbericht des niedersächsischen Pilotprojekts „Giga Liner“

In Abbildung 6-5 werden die THG-Emissionen für die ausgewählten Verkehrsträger grafisch gegenüber gestellt.

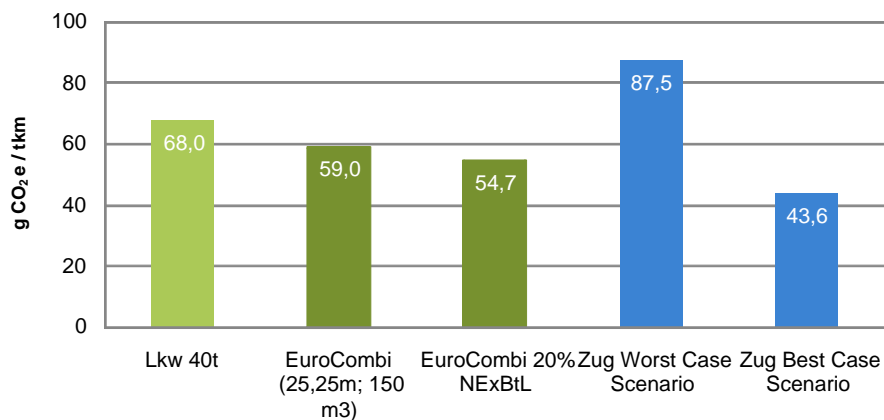


Abbildung 6-5: Vergleich zukünftige spezifische THG-Emissionen von Bahn und LKW beim Transport von leichten Gütern

Durch die Einführung des EuroCombis wird auch bei der Nutzung von konventionellem Kraftstoff eine deutliche Senkung der THG-Emissionen erreicht. Bei einer Erhöhung der Beimischung von NExBTL von 7% auf 20% wird eine weitere Reduktion der THG-Emissionen von ~10% erreicht.

Dadurch nähert sich der LKW auch dem günstigen Strommixszenario (verstärkter Ausbau erneuerbare Energien) für die Bahn stark an.

Fazit:

- LKW liegt innerhalb der Bandbreite möglicher CO₂e-Emissionen der Bahn Szenarien
- Einführung des EuroCombi & erhöhter Anteil an Biokraftstoffen können signifikante Verbesserungen für LKW bringen

6.4 Betrachtung limitierte Emissionen am Beispiel Dämmstofftransport

Die Einführung der Euro VI-Norm⁵⁰ für schwere Nutzfahrzeuge zum 31.12.2012 bedeutet eine Absenkung der Emissionsgrenzwerte für NO_x und PM Emissionen um 80% bzw. 50% gegenüber der seit 2008 geltenden Euro V-Norm. Aktuell liegen noch keine aktuellen Messwerte für Euro VI Konzepte vor. Es bestand jedoch die Möglichkeit zur Nutzung von aktuellen Simulationen⁵¹ für ein gemittelttes Streckenprofil wie es im Fahrspiel Stuttgart-Rotterdam vorliegt.

Für Binnenschiffe tritt in 2014 die EG Stufe IV⁵² in Kraft. Diese bedeutet eine Reduktion der NO_x/PM um 96% bzw. 79% gegenüber dem Stand von 2006 (siehe Kapitel 4.3).

Abbildung 6-6 zeigt, dass die Verschärfungen der Emissionsstandards eine zunehmende Angleichung der Schadstoffemissionen der drei Verkehrsträger l

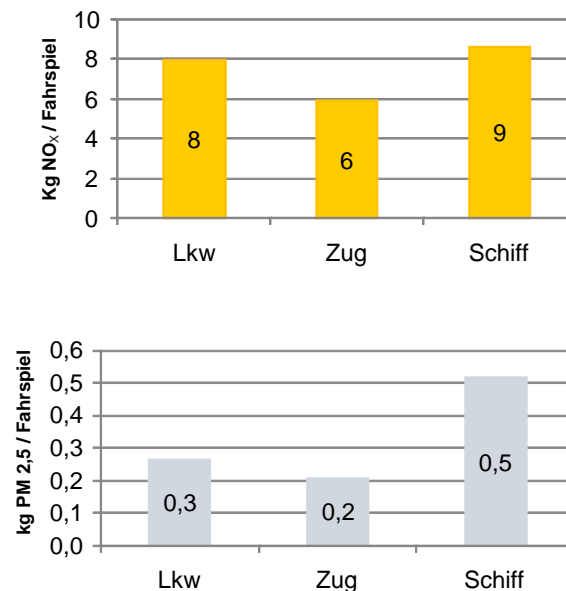


Abbildung 6-6: Vergleich zukünftige spezifische NO_x- und PM Emissionen beim Transport von Dämmstoff mit LKW, Bahn und Schiff

Fazit:

- Durch das Inkrafttreten der Euro VI-Norm für LKW in 2012/13 und der EG IV Stufe für Binnenschiffe in 2014 findet für alle drei Verkehrsträger eine zunehmende Angleichung der limitierten Schadstoffemissionen statt

⁵⁰ European Parliament: Regulation (EC) No. 595/2009 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI). Brussels 2009

⁵¹ bereitgestellt vom VDA Arbeitskreis Nutzfahrzeuge

⁵² European Parliament: Directive 2004/26/EC amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery



7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen des Projekts sind die Treibhausgasemissionen und andere relevante Emissionen des Straßengüterfernverkehrs, des Schienenverkehrs sowie der Binnenschifffahrt untersucht und miteinander verglichen worden.

Das übergeordnete Ziel der Studie ist die Überprüfung der Hypothese, welche sich aus den Ergebnissen verschiedener Studien ergibt: „Die Bahn ist grundsätzlich die ökologisch bessere Lösung als der LKW im Güterfernverkehr“.

Dazu wurden die folgenden Punkte betrachtet:

- Analyse der Validität von Ergebnissen aus aktuellen Studien
- Neuberechnung mit aktuellen Daten und spezifischen Annahmen (Logistik und Transportmittel bezogen)
- Quantitative Betrachtung von zukünftigen Entwicklungen bei den Verkehrsträgern

7.1 Analyse der Validität von Ergebnissen aus aktuellen Studien

Eine Analyse der aktuellen Studien hat gezeigt, dass die in der Öffentlichkeit diskutierten Vergleiche (v.a. EcoTransIT) auf einer Reihe von Annahmen für den LKW beruhen, die als nicht mehr aktuell einzustufen sind. Hervorzuheben sind hier:

- deutlich höhere Verbrauchswerte beim LKW (+30-50% gegenüber aktuellen LKW-Hersteller- und Nutzerangaben, sowie Testergebnisse von Fachzeitschriften)
- höhere Zahl an Leerfahrten für den LKW hinterlegt (60% statt 10% bei Massengütern).

Zudem ist die Ausweisung von CO₂-Emissionen statt Treibhausgasen in CO₂e methodisch nicht mehr haltbar. Bezieht man weitere Treibhausgasemissionen wie z.B. Methan mit ein, führt dies zu einer Erhöhung der THG-Emissionen im Bahntransport, da z.B. Methanemissionen in der Strombereitstellung in Deutschland mit 5% eine durchaus relevante Größe darstellen. Beim Diesel-LKW spielen Methanemissionen dagegen eine untergeordnete Rolle. Somit kommt es durch Reduzierung allein auf die CO₂-Emissionen in einem Vergleich Bahn vs. LKW zu zusätzlichen Vorteilen des Bahntransports.

Desweiteren werden bei den Vergleichsrechnungen für den Bahntransport generelle Annahmen für wichtige Einflussgrößen getroffen, die in der Realität nicht immer angemessen sind. Dies betrifft u.a.:

- die Anzahl der Waggons (Zuglänge)
- eingesetzter Waggontyp
- Länge des Vor- und Nachlaufs

Es hat sich gezeigt, dass für den Bahntransport alle Berechnungen in den aktuellen Studien auf EcoTransIT beruhen. EcoTransIT ist momentan hinsichtlich der Wahl des Waggontyps und Zuglänge nicht ausreichend flexibel für eine Einzelfallbetrachtung von Logistikkonzepten.



7.2 Neuberechnung mit aktuellen Daten und spezifischen Annahmen

Die Neuberechnungen haben gezeigt, dass die Pauschalaussage, „die Bahn ist grundsätzlich umweltfreundlicher als der LKW“, so nicht haltbar ist. Es bedarf einer Einzelfallbetrachtung der Transportdienstleistung.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Vergleiche, beruhend auf aktualisierten Daten und logistisch angepassten Annahmen, lassen sich die folgenden Aussagen ableiten:

Bahn ist tendenziell besser

- Im Transport von schweren Schüttgütern: z.B. Eisenspäne
- Im Containertransport schwerer Güter bei Ganzzügen mit mehr als 20-25 Waggons (abhängig von Leerfahrtenanteil)
- Im Transport von leichten Volumengütern bei Zuglängen größer 5-15 Waggons abhängig von Güterwagenwahl, 25,25 m LKW Konzept verringert diesen Abstand (für Transportgüter mit einer Dichte kleiner 200 kg/m³, z.B. Dämmstoff, Weißware)
- Bei Schifftransporten ist die Zuladungsbegrenzung aufgrund Tiefgangs- bzw. Durchfahrtsbeschränkungen entscheidend

LKW und Bahn liegen etwa gleich auf

- Wenn Züge eingesetzt werden, in der Größenordnung des durchschnittlichen Zuggewichts im nationalen Kombiverkehr (560 Bt)
- Bei einem Leerwaggonanteil eines Zuges (~ 1000 Bt) von etwa 25 - 50%

LKW ist tendenziell besser

- Wenn bei schweren Gütern aus logistischen Erfordernissen kurze Züge mit weniger als 10 Waggons benötigt werden
- Bei Zügen (voll beladen, ohne Leerwagen und Leerfahrtenanteil) mit einer Länge bis ca. 15 Waggons, wenn Vor- und Nachlauf mehr als 10% des Hauptlaufs betragen

7.3 Quantifizierbare Betrachtung von Zukunftsszenarien

Die großen Variablen, im Vergleich LKW vs. Bahn in der Zukunft sind:

- Entwicklung des zukünftigen Strommixes der Bahn
- Einsatz von alternativen Kraftstoffen, wie z.B. Beimischungsquote von Biokraftstoffen
- Einsatz von alternativer Fahrzeuggeometrie, wie z.B. der EuroCombi mit einer Länge von 25,25 m.

Die Variabilität in der Entwicklung des Strommixes wurde anhand einer Szenariobetrachtung adressiert. Es zeigt sich, dass die Annahme steigender THG-Emissionen des zukünftigen Bahnstrommixes (aufgrund Kernenergieausstieg) nur bedingt haltbar ist. Auf der anderen Seite ist die angestrebte Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Bahn um 20% bis 2020 anhand der existierenden BMU-Szenarien nicht alleine über den zu erwartenden Strommix erreichbar.



Beim Vergleich mit dem LKW zeigt sich, dass der LKW, auch unter der Annahme einer Verbesserung des zukünftigen Bahnstrommixes, für den Containertransport von schweren Gütern eine echte Alternative zum Bahntransport ist.

Durch die Einführung des EuroCombi und eines erhöhten Anteils an Biokraftstoffen ist mit einer signifikante Verbesserung der THG-Bilanz speziell für leichte Güter mit einer Dichte $< 200 \text{ kg/m}^3$ zu rechnen.

Fazit:

- Pauschalaussage „Bahn ist grundsätzlich umweltfreundlicher als LKW“ ist so nicht haltbar.
- Es bedarf einer Einzelfallbetrachtung der Transportdienstleistung.



Literaturverzeichnis

- ARTEMIS 2002 Paul Boulter and Ian McCrae TRL Limited et al., ARTEMIS: Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems, European Commission Brüssel, 2002
- BGL 2009 Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL): Verkehrswirtschaftliche Zahlen (VWZ) 2007-08. Frankfurt a.M. 2009.
- Capital 2009 Capital, „CO₂ - die neue Währung“ Online: <http://www.capital.de/politik/100026641.html>, 30.11.2009
- DB Schenker 2009 DB Schenker – Klimaschutz durch CO₂ freien Transport. Berlin, 2009
- DB Schenker 2009 DB Schenker/ DB Intermodal: „Im Takt quer durch Europa“, railways Nr. 02/09. Mainz 2009
- Deutscher Bundestag 2009 Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften. BioKraftQuG; BT-Drs 16/2709. Berlin 2006 und Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen. Berlin 2009.
- EC 2004 European Parliament: Directive 2004/26/EC amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery
- EC 2009 European Parliament: Regulation (EC) No. 595/2009 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI). Brussels 2009
- EcoTransIT 2008 EcoTransIT: Werkzeug zur Quantifizierung der Emissionen des Güterverkehrs. Entwickelt von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, / Rail Management Consultants GmbH (RMCon). <http://www.ecotransit.org/>. Hannover, 2000-2008.
- EEA 2009 EEA, Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009, EEA Report No 9/2009, page 34. Copenhagen, 2009
- EU 2009 European Parliament and Council: Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. Brussels 2009
- GaBi 2006 PE International/ LBP: GaBi 4 Software und Datenbanken zur Ökobilanzierung. Echterdingen 1992-2008. Bezugsjahr ist 2006.
- Gigaliner 2007 Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr 2007: Zwischenbericht des niedersächsischen Pilotprojekts „Giga Liner“
- Gohlisch 2005 Gohlisch G. et al.: Umweltauswirkungen der Binnenschifffahrt. Internationales Verkehrswesen (57) 4/2005. S.150-156. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg 2005.
- Hausberger 2003 Hausberger, S.: Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions. VKM-THD Mitteilungen; Heft/Volume 82; Verlag der Technischen Universität Graz; ISBN 3-901351-74-4. Graz, 2003
- Hupac 2009 Hupac Facts & Figures 2009



- Ickert 2007 Ickert, L. et al: Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Prograns, im Auftrag des BMVBS. Basel, 2007
- IEA 2007 International Energy Agency: IEA Statistics – Electricity Information, Paris, 2007.
- IFEU 2006 IFEU: An Assessment of Energy and Greenhouse Gases of NExBTL, Heidelberg, 2006
- ITP/BVU 2007 ITP/BVU: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Im Auftrag des BMVBS. München/Freiburg, 2007.
- Kochsiek 2007 Kochsiek, J.: Strategien für zukunftsfähige Gleisanschlussverkehre – Informieren, Kombinieren, Kooperieren. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Forum NRW-Rail#tec 2007. Dortmund, November 2007.
- Kombiverkehr 2009 Kombiverkehr Deutsche Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr mbH & Co KG: Geschäftsbericht 2008. Frankfurt a.M. 2009
- Nitsch 2008 Nitsch, J: „Leitstudie 2008“ - Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. im Auftrag des BMU, DLR. Stuttgart, 2008
- OMIT 2001 OMIT-Operational metode til opgørelse af emissioner fra godstransport; Trafikministeriet Danmark, Padborg 2001.
- Planco 2007 PLANCO Consulting GmbH, Bundesanstalt für Gewässerkunde: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, Essen und Koblenz, 2007
- Rausch 2009 Rausch, Dr. K.-F: Ökonomie und Ökologie sind kein Widerspruch – Das „Green Logistics Network“ von DB Schenker. DB Mobility Logistics AG. Vortrag auf DVZ-Forum "Green Logistics". Hamburg, 2009
- RWTH 1986 W. Simon, U. Desel: Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr – Ermittlung und Vergleich der spezifischen Energieverbräuche, Verkehrswissenschaftliches Institut RWTH Aachen, Aachen, 1986
- RWTH 1990 W. Bialonski, P. Vanck et al: Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr – Ermittlung und Vergleich der spezifischen Energieverbräuche, Verkehrswissenschaftliches Institut RWTH Aachen, Aachen, 1990
- UBA 2004 UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Hausberger, S. et al: Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA) des Straßenverkehrs, TU Graz. Version 2.1. Berlin, 2004
- VBD 2004 P. Engelkamp, V. Renner, W. Bialonski: Technische und wirtschaftliche Konzepte für flußangepaßte Binnenschiffe, Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschiffahrt Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg, 2004
- VDA 2009 VDA Arbeitskreis Nutzfahrzeuge, 2009
- Verkehrsrundschau 2009 Verkehrsrundschau: Serie CO2-Berechnung. Teil 1&2: Alle Daten und Fakten zur Berechnung des LKW- & Bahn-Footprints. Verkehrsrundschau (42&43/2009). Springer Verlag. München, 2009.
- Westenberger 2009 Westenberger, P.: Die Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie der Deutschen Bahn AG, DB AG. Sustainable Mobility Leadership Forum. Berlin, 24. März 2009

Anhang A Sensitivitätsanalyse

Eine der wesentlichen Annahmen dieser Studie ist der Verbrauch des Lkw, da dieser direkt proportional die Treibhausgasemissionen des LKW basierten Transports bestimmt. Im Rahmen der Studie wurde er entsprechend Kapitel 4.1.1 mit 30 l/100 km für einen vollbeladenen (40t) Euro V bzw. 30,6 l/100km für einen vollbeladenen Euro VI LKW angesetzt.

Um die Stabilität bzw. die Sensitivität der in der Studie gezogenen Schlussfolgerungen hinsichtlich des angenommen Kraftstoffverbrauchs zu überprüfen, wird der Verbrauch um 10% gesteigert. Das heißt der Verbrauch beträgt 33 l/100km für einen Euro V LKW und 33,7l/100km für einen EURO VI LKW, jeweils vollbeladen.

Der Einfluss des angepassten Kraftstoffverbrauchs wird am Beispiel Containertransports von schweren Stückgütern dargestellt. Die anderen im Rahmen der Studie betrachteten Fahrspiele wurden ebenfalls mit einem 10% höheren Kraftstoffverbrauch betrachtet. Es ergaben sich hierbei ähnliche Zusammenhänge wie nach folgend für den Containertransport schwerer Güter.

Der angepasste Verbrauch des LKW wird zunächst auf den verallgemeinerten Vergleich des Containertransports von schweren Stückgütern (siehe Kapitel 5.2.4) angewendet. Es gelten ansonsten die gleichen Randbedingungen wie in Kapitel 5.2.4 beschrieben. Dabei ergeben sich Treibhausgasemissionen je Tonnenkilometer wie in Abbildung 7-1 dargestellt.

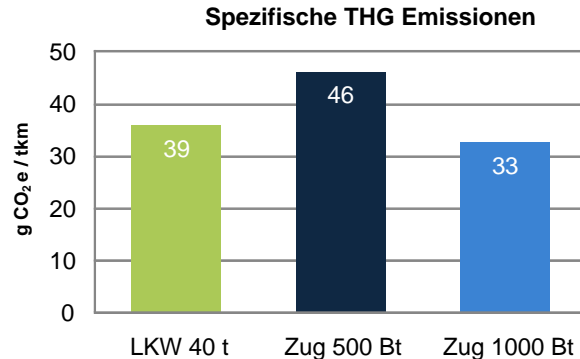


Abbildung 7-1: Vergleich der THG Emissionen bei Containertransport von schweren Stückgütern; LKW + 10% Kraftstoffverbrauch

Es zeigt sich das der LKW gegenüber kurzen Zügen (500 Bt) weiterhin Vorteile hat, während sich bei längeren Zügen Vorteile für die Bahn ergeben.

Im Hinblick auf die zukünftigen Entwicklung wird der Einfluss des höheren Kraftstoffverbrauchs anhand der folgenden beiden Abbildung wiederum für den Transport von schweren Stückgüter im Container dargestellt. Die Abbildung entsprechen den Abbildungen 6-3 und 6-4, nur eben mit einem 10% höheren Kraftstoffverbrauch für den LKW, sowohl für den Euro VI LKW mit 6,25% Biokraftstoffanteil (Lkw 40t) und dem Euro VI LKW mit 20 % Biokraftstoffanteil (Lkw 40 t (20% NExBtl)).

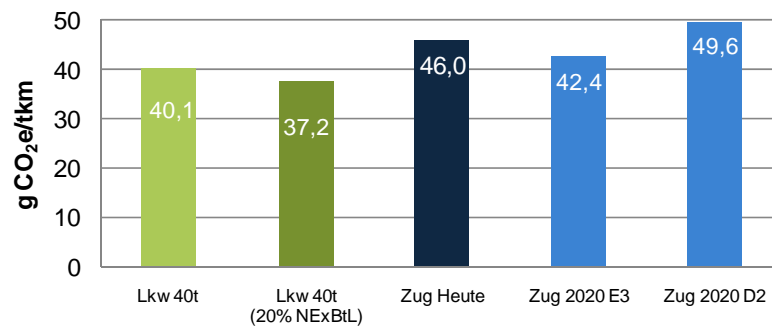


Abbildung 7-2: Vergleich zukünftige spezifische THG von Bahn (500 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter; LKW + 10% Kraftstoffverbrauch

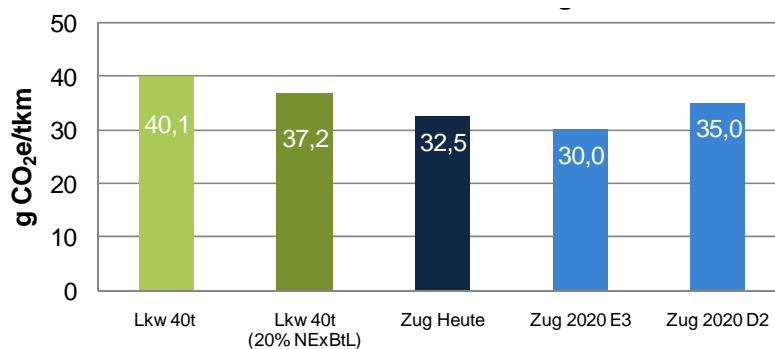


Abbildung 7-3: Vergleich zukünftige spezifische THG von Bahn (1000 Bt Zug) und LKW beim Transport schwerer Güter; LKW + 10% Kraftstoffverbrauch

Für einen Zug mit 500 Bt zeigt der LKW unverändert für alle Szenarien die bessere THG Performance während für einen 1000 Bt Zug die Bahn nun Vorteile aufweist.

Auch bei einer 10% Steigerung des Kraftstoffverbrauchs des LKW zeigt sich, dass die Emissionen für den Containertransport von schweren Stückgut in ähnlichen Bereichen liegen und die Unterschiede zwischen Bahn und LKW sind wesentlich geringer wie in gängigen Transportstudien wiedergeben. Dort wurde von 2- bis 5fach höheren Emissionen während hier die Unterschiede im Bereich von 30% oder weniger liegen.

Fazit:

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass auch bei einer Steigerung des Kraftstoffverbrauchs von 10% die Aussagen dieser Studien ihre Gültigkeit behalten.



Anhang B Kritische Würdigung

Treibhausgasemissionen im Güterferntransport

Prüfung in Anlehnung an ISO 14040–44

DEKRA Industrial GmbH
Nachhaltigkeitsmanagement
22/06/2010

AUSGANGSSITUATION

Bei der zu prüfenden Studie handelt es sich um eine vergleichende Untersuchung der Treibhausgasemissionen aus dem Güterferntransport in Deutschland. Betrachtet werden die Verkehrsträger Lkw, Bahn und Binnenschiff. Auf Basis bestehender Studien sowie neuer Daten wurde ein Vergleich für heutige Randbedingungen sowie auch eine Betrachtung für 2020 erarbeitet. Es werden verschiedene konkrete Transportfälle betrachtet. Betrachtete Einflussfaktoren sind Verbrauch, Auflieger-/Waggontyp, Vor- und Nachlauf, Zuglänge, Energieträgerbereitstellung etc.

Neben den Treibhausgasemissionen findet auch eine Betrachtung von NO_x und PM statt. Die Bereitstellung der Kraftstoffe/Energieträger – Diesel (B7), konventioneller Diesel, NExBTL (B100), Strom – ist ebenfalls Teil des Betrachtungsumfanges.

Die Studie wurde zwar nicht nach ISO 14040–44 durchgeführt. Die Ergebnisse sind jedoch zur Veröffentlichung bestimmt. Der Auftraggeber wünscht daher, die ermittelten Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs von einer sachkundigen Stelle überprüfen zu lassen. Daher wird die Prüfung der Daten und Methoden, soweit sinnvoll, in Anlehnung an ISO 14040–44 durchgeführt. Ansonsten erfolgen Plausibilitätskontrollen der Daten, soweit auf Grundlage des vorgelegten Berichtes nachvollziehbar.

PRÜFUNG

● Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Motivation und Ziel der Studie

In Europa trägt der Verkehrssektor mit 23% der CO₂-Emissionen einen erheblichen Teil zu Emissionen von Treibhausgasen bei. Prognosen zu Folge wird der Transportsektor an Relevanz zunehmen. Die Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene wird aktuell dabei häufig als Strategie zur Reduzierung der CO₂- bzw. Treibhausgasemissionen in Betracht gezogen.

Anlass dieser Studie ist, dass bisher dem LKW deutlich höhere CO₂-Emissionen im Vergleich mit Bahn oder Schiff zugeordnet werden. Die vorliegende Studie will daher einen Diskussionsbeitrag liefern, der zu einer Neubewertung des LKW als Alternative im Gütertransport führt.

Untersuchungsrahmen

Zeitlich: Die Studie wurde im Zeitraum April 2009 bis Februar 2010 durchgeführt und bezieht sich auf verfügbare Daten für LKW, Schiff und Bahn.

Geografisch: Die Studie bezieht sich auf Deutschland.

Betrachtete Emissionen: Treibhausgase (THG, insbesondere CO₂, wobei weitere Treibhausgase wie CH₄ und N₂O als Kohlendioxid-Äquivalente CO₂e einbezogen werden) sowie NO_x- und Partikel-Emissionen.

Bezugsgrößen

Als Bezugsgrößen der Berechnungen liegen Angaben zu den einzelnen Verkehrsträgern, der Transporteffizienz sowie den spezifischen Transportdienstleistungen zu Grunde.

Für die Verkehrsträger flossen in die Berechnung unter anderem Kraftstoffverbrauch, Fahrprofil bzw. Verkehrssituation sowie Bereitstellung von Kraftstoffs bzw. Strom ein.

In Bezug auf die Transporteffizienz werden Annahmen zur Kapazität und Auslastung der Transportfahrzeuge sowie Transportdistanzen für den Haupt-, Vor- und Nachlauf in beispielhaften Relationen hinzugefügt.

Basierend auf diesen Einflussgrößen wird jeweils die spezifische THG-Emission als gCO₂e/tkm bzw. kgCO₂e/Transportaufgabe berechnet.

Systemgrenzen

Die Studie basiert auf einem ganzheitlichen Ansatz. Es werden die Emissionen des Fahrbetriebes selbst sowie die Emissionen zur Bereitstellung der Energieträger bzw. Kraftstoffe berücksichtigt. Die Berechnungsstufen, Bezugsgrößen und wesentlichen Einflussfaktoren sind auf S. 18/19 der Studie dargestellt.

● Datenlage

Die Berechnungen wurden in Excel durchgeführt. Einige Primärdaten wurden GaBi 4 entnommen (z.B. Strom- und Dieselvorketten).

Verkehrsträger

▪ Kraftstoffverbrauch und Emissionen LKW

Bisher wird für den LKW gemeinhin ein Diesel-Kraftstoffverbrauch von 39-46 L/100km angenommen. Aufgrund derzeit aktuell verfügbarer Daten wird in dieser Studie hingegen ein Verbrauch von 30 L/100km als realistischer angesehen.

Der Verbrauchswert von 30 L/100km stammt von Fahrzeugherstellern aus Simulationsrechnungen, validiert durch Verbrauchsfahrten durchgeführt von Herstellern und Fachzeitschriften. Für den Euro VI-Standard nimmt der VDA einen Mehrverbrauch von 2% an.

Davon ausgehend werden die direkten CO₂-Emissionen bezogen auf die Fahrleistung berechnet. Die Daten für NO_x und Partikelemissionen sind Angaben des VDA.

Emissionsangaben zum EuroCombi für die Zukunftsszenarien beruhen auf Herstellerangaben und Angaben des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, 2007. Emissionswerte zum Euro VI Konzept sind aktuellen Simulationswerten von Nutzfahrzeugherstellern entnommen, die mit den Emissionswerten aus dem Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA, 2004) des Umweltbundesamtes abgeglichen wurden.

▪ Kraftstoffverbrauch und Emissionen Binnenschiff

Im Rahmen der Studie wurden ausschließlich Großmotorschiffe betrachtet und zwar auf Neckar und Rhein, d.h. auf staugeregeltem und frei fließenden Gewässern. Die Höhe des Kraftstoffverbrauchs für Binnenschiffe stammt von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau (VBD), 2004. Die Emissionskennwerte wurden von der PLANCO Consulting GmbH, 2007 verwendet und bilden das technische Optimum bei Gütermotoren in Deutschland in 2006 ab.

Emissionswerte für die Zukunftsszenarien entsprechend der EG Stufe IV für Binnenschiffe beruhend auf den Angaben der Richtlinie 2004/26/EG.

▪ Energieverbrauch Güterzug

Die Werte für den Energieverbrauch wurden dem Transportinformationstool EcoTransIT entnommen. Die Dokumentation deutet darauf hin, dass die Daten von Anfang der 90er Jahre stammen.

Energieträger

Vorkettendaten zur Bereitstellung von Diesel für die Verkehrsträger stammen aus der Datenbank GaBi 4 (Bezugsjahr 2006). Das gilt ebenfalls für den Ansatz einer Beimischung von Biodiesel (6,25% bzw. 20% energiebezogen).

Der Bahnstrommix beruht auf Daten der Bahn für das Jahr 2005. Annahmen zur Zusammensetzung des zukünftigen Bahnstrommix orientieren sich an einer Studie im Auftrag des BMU von 2008.

● Berechnungsmethode

Vorgehensweise

Die Grunddaten für die einzelnen Verkehrsträger (Transportleistung und spezifischer Kraftstoff- bzw. Stromverbrauch) wurden umgerechnet in Emissionen bezogen auf die ausgewählten beispielhaften Fahrspiele. Dabei wurden weitere Parameter (Transporteffizienz und Logistik-Randbedingungen) festgelegt.

In Rahmen von Zukunftsszenarien wurden folgende Parametervariationen untersucht: Zusammensetzung des Bahnstrommixes, Erhöhung der Biokraftzumischung im Diesel, Einführung des EuroCombi und Umsetzung zukünftiger Abgasnormen.

Symmetrie der Daten

Die Studie beruht gemäß Darlegung auf den derzeit bestverfügbaren Daten. Es wäre wünschenswert das bei EcoTransIT eine bessere Möglichkeit zur Differenzierung der logistischen Randbedingungen zur Unterstützung von Szenarioanalysen bestünde.

- LKW: Euro V bzw. Euro VI (Zukunftsszenario);
- Bahn: Verbrauchswerte aus EcoTransIT, Daten zur Strombereitstellung von 2005;
- Schiff: aktuelle Daten und Stand der Technik (Zukunftsszenario).

Anmerkung: Zur Abschätzung der Einflussgröße Stromverbrauch Bahn auf die Ergebnisse wäre ein Szenario für diesen Parameter zu empfehlen.

Der Auftragnehmer hat in Absprache mit dem Auftraggeber die Verbrauchsdaten für den Verkehrsträger Bahn unverändert aus EcoTransIT übernommen, da diese Daten von verschiedenen europäischen Bahnbetreibern bereitgestellt wurden. Variiert wurden ausschließlich logistische Randbedingungen (z.B. Wagentyp).

Szenarien bzw. Fahrspiele

Die betrachteten Parameter zur Transporteffizienz umfassen die Kapazität (Masse, Volumen), die Auslastung sowie den Leerfahrtenanteil. Bei den dargestellten Fahrspielen werden die Distanzen für den Transport von schweren und leichten Gütern für den Hauptlauf sowie für den Vor und Nachlauf variiert. Die Fahrspiele wurden so gewählt, dass möglichst ein weites Spektrum verschiedener Transportdienstleistungen abgebildet werden kann. Das Augenmerk liegt auf dem Containertransport als bedeutendster Transportleistung.

Sensitivitätsanalysen bezüglich dem Transport von schweren und leichten Gütern wurden für folgende Parameter durchgeführt:

- Transport schweres Stückgut in Containern – Einfluss von Vor- und Nachlauf sowie Leerwagenanteil und Zuglänge (zwei Analysen);
- Transport leichte Güter: Einfluss von Zuglänge und Wagentyp.

Weitere Annahmen

In dieser Studie wurden nur Güterzüge mit elektrischem Antrieb betrachtet. Nach Angaben von DB Schenker 2009 liegt der Anteil an Dieselantrieb in Deutschland bei ca. 4% und kann daher vernachlässigt werden. Für den Zug und das Binnenschiff werden fallweise Vor- und Nachlauf mit dem LWK angenommen zur Vergleichbarkeit der Verkehrsträger. Die Annahmen sind transparent dokumentiert.

● Plausibilitätsprüfung

Direkte und indirekte Emissionen

LKW direkte Emissionen

Euro V LKW 40 t vollbeladen

$800 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{Fzgkm} \sim 30 \text{ l}/100\text{km} * 2,665 \text{ CO}_2/\text{lDiesel} \rightarrow \text{OK}$

Euro V LKW 40 t vollbeladen

$816 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{Fzgkm} \sim (30 \text{ l}/100 \text{ km} * 2,665 \text{ CO}_2/\text{lDiesel}) + 2 \% \rightarrow \text{OK}$

LKW Gesamtemissionen

Für die Gesamtemissionen liegen die direkten Emissionen in der Nutzung bei 0,75 kgCO₂e/Fzgkm und die indirekten zur Dieselpreparierung bei 0,12 kgCO₂e/Fzgkm.

$0,75 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{Fzgkm} \sim 0,8 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{Fzgkm} - 6\% \rightarrow \text{OK}$

$0,12 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{Fzgkm} \sim 0,41 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{lDiesel} * 0,3 \text{ lDiesel}/\text{Fzgkm} \rightarrow \text{OK}$

Güterzüge

Für die Bereitstellung des Bahnstroms wird ein Wert von 641 gCO₂e/kWh angenommen. Dieser Faktor liegt über dem angegebenen Wert der deutschen Bahn mit 592 gCO₂/kWh. Diese Erhöhung ergibt sich durch die Ergänzung durch das THG Gas CH₄.

$641 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{kWh} \sim 592 \text{ gCO}_2/\text{kWh} + 42,6 \text{ CO}_2\text{e} \rightarrow \text{OK}$

Binnenschiff (indirekte und direkte Emissionen)

Der spezifische Kraftstoffverbrauch wird in dieser Studie mit 200 g/kWh angenommen. Mit diesem Wert wird der Kraftstoffverbrauch (kg/h) errechnet, der den Rückschluss auf direkte Emissionen zulässt. Sie wurden auf 630 gCO₂/kWh nach PLANCO 2007 berechnet.

Fahrspiel schwere Stückgüter – Fall 2

Zug

1,4 tCO₂e/Fahrspiel ~ 89,95 Wh/tkm * (113 t*2) * 108 km * 0,641 kgCO₂e/kWh → OK

LKW

1,1 tCO₂e/Fahrspiel ~ 12*0,28 l/Fzghm * (2,665*0,9375 + 0,41kg CO₂/l Diesel) * 115
→ OK

Fahrspiel leichte Güter

Zug

7 tCO₂e/Fahrspiel ~ 72,4 Wh/tkm * 225 t * 700 km * 0,641 kgCO₂e/kWh → OK

LKW

13 tCO₂e/Fahrspiel ~ 30 LKW * 800 gCO₂ * 619 km → OK

Schiff

14 tCO₂e/Fahrspiel ~ [(47,5 l/h * 200/18 km/h + 155,8 l/h * 578/25,8 km/h) +
0,42 kgCO₂e/kgDiesel] * 3,175 kgCO₂e/kgDiesel → OK

● Ergebnisse und Interpretation

Die Schlussfolgerungen der Studie stützen sich angemessen auf die vorgelegten Berechnungen und Ergebnisse.

So wird insbesondere offenkundig, dass die bisherigen Ansätze zum durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch des LKW zu einer deutlich zu nachteiligen Bewertung führen, während aktuell als repräsentativ angesehene Werte eine ökologische Wettbewerbsfähigkeit durchaus erwarten lassen.

Ferner wird gezeigt, dass für den Bahntransport wesentliche Einflussgrößen oft durch zu generelle Annahmen abgebildet werden. Hier besteht mithin Bedarf an einer Einzelfallbetrachtung von Logistikkonzepten.

Die Autoren der Studie verknüpfen die Schlussfolgerung, dass eine verallgemeinerte Aussage zur generellen Bevorzugung eines Verkehrsträgers nicht möglich erscheint, mit einem Dialogangebot.

KRITISCHE WÜRDIGUNG

Die Studie Treibhausgasemissionen im Güterverkehr im Auftrag der deutschen Automobilindustrie vergleicht den Energie- und Emissionsbedarf von LKW, Bahn und Schiff im Gütertransport auf beispielhaften Strecken in Deutschland. Auf Basis bestehender Studien sowie neuer Daten wurde ein Vergleich bezogen auf die heutige Datenlage sowie auch eine Betrachtung für 2020 erarbeitet. Es werden verschiedene konkrete Transportfälle betrachtet. Betrachtete Einflussfaktoren sind unter anderem Verbrauch, Auflieger-/Waggontyp, Vor- und Nachlauf, Zuglänge und Energieträgerbereitstellung.

Neben den Treibhausgasemissionen findet auch eine Betrachtung von NO_x und PM statt. Die Bereitstellung der Kraftstoffe/Energieträger – Dieselkraftstoffe, Strom – ist ebenfalls Teil des Betrachtungsumfanges.

Die errechneten Werte wurden von unabhängigen Dritten auf Zielsetzung und Untersuchungsrahmen, Datenlage und Berechnungsmethodik geprüft und lassen folgende Würdigung der Studie zu:

- Die Datenlage ist für die Zwecke der Studie angemessen und hinreichend aktuell. Die Daten für LKW und Schiff stammen aus aktuellen unabhängigen Quellen. Die Daten für die Bahn hingegen bedürfen einer Differenzierung in Bezug auf logistische Randbedingungen
- Die Berechnungsmethoden sind an ISO 14040–44 angelehnt und für das Erkenntnisinteresse der Studie sachgerecht angewendet. Stichprobenartige Kontrollrechnung bestätigen die Ergebnisse.
- Die Schlussfolgerungen stützen sich auf die ermittelten Ergebnisse und sind angemessen formuliert.

Auf Grundlage dieser Studie erscheint der LKW in der Tat, in aktuell verfügbaren Studien, als grundsätzlich zu pessimistisch bewertet; die vorgelegten Berechnungen lassen eine ökologische Wettbewerbsfähigkeit für den LKW (bezüglich Treibhausgasemissionen) erwarten. Auch wird die Notwendigkeit einer Ermittlung aktueller Grunddaten für alle Verkehrsträger offenkundig. Die Autoren empfehlen zu Recht eine Einzelfallbetrachtung für den Vergleich verschiedener Verkehrsträger. Die Studie ist als Dialogbeitrag geeignet, die Entwicklung von Daten und Werkzeugen für spezifische und faire Vergleiche in der Güterlogistik zu fördern.

ANHANG

Das Punktschema zur Prüfung

- Kritischer Punkt – Zwingend notwendig, um die Konformität mit der ISO zu erreichen, oder um nicht den Erfolg der Studie zu beeinträchtigen
- Optionale Verbesserung – Sollte in Betracht gezogen werden, um formale Aspekte der ISO-konformen Berichterstattung zu erfüllen und die kritische Überprüfung zu erleichtern oder zu verbessern.
- Bestanden – die Konformität mit der ISO liegt vor
- Ausschluss - Punkt nicht in den Anwendungsbereich der ISO