



Technische Universität München

**Arbeitsberichte des Lehrstuhls für Forstliche Wirtschaftslehre
an der Technischen Universität München**

**Treibhausgasbilanz von Lkw-Rohholztransporten
in Deutschland unter Berücksichtigung einer Er-
höhung des zulässigen Gesamtgewichts**

Christine Obkircher
Endrik Lengwenat
Dr. Denny Ohnesorge

München, Freising im Mai 2013

Diese Studie entstand im Rahmen einer Abschlussarbeit am Lehrstuhl für Forstliche Wirtschaftslehre der Technischen Universität München (TUM) in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft Rohholzversorger (AGR).

Die in den Arbeitsberichten geäußerten Meinungen und Inhalte spiegeln nicht notwendigerweise die des Lehrstuhls oder der Mitarbeiter wider.

Die Schriften sind nur eingeschränkt begutachtete Berichte.

Hinweise zu den Autoren:

Christine Obkircher

Goltzstraße 51

10781 Berlin

gu92gos@mytum.de

Endrik Lengwenat

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am

Lehrstuhl für Forstliche Wirtschaftslehre

Hans-Carl-vonCarlowitz-Platz 2

85354 Freising-Weihenstephan

lengwenat@tum.de

Dr. Denny Ohnesorge

Geschäftsführer

Arbeitsgemeinschaft Rohholzverbraucher e.V.

Dorotheenstr. 54

10117 Berlin

denny.ohnesorge@rohholzverbraucher.de

I. Kurzfassung (Abstract)

Die deutsche Holzindustrie erleidet auf Grund niedriger zulässiger Gesamtgewichte bei Lkw-Transporten einen Wettbewerbsnachteil im Vergleich zu anderen Staaten Europas. Besonders im Hinblick auf die letztlich stark angestiegenen Dieselpreise wird daher schon länger eine Anpassung bzw. Erhöhung der zulässigen Gewichtsgrenzen gefordert. Die Bundesregierung lehnt ein Heraufsetzen jedoch ab, weil sie erhöhte Kosten für Straßenbau- und -erhaltungsmaßnahmen fürchtet. Dabei könnte mit einer Gewichtserhöhung, neben der Reduktion an Transportkosten, auch Treibhausgasemissionen eingespart werden und so ein positiver Beitrag zur momentanen Klimadebatte geleistet werden. Eine wissenschaftliche Erhebung liegt zum Thema jedoch nicht vor. Die vorliegende Studie soll daher prüfen, wie sich Treibhausgase des Holztransportsektors mit einer Erweiterung des zulässigen Gesamtgewichts entwickeln würden.

Grundlage der Berechnung stellt DIN 16258 „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)“ dar. Im Rahmen der Kalkulation wurde ermittelt, dass eine Erhöhung der Gesamtgewichte in einer Reduzierung des absoluten Kraftstoffverbrauchs sowie in einer Minderung der CO₂- und Treibhausgasemissionen resultiert. Der Mehrverbrauch durch die erhöhte Ladung fällt dagegen, selbst bei der Betrachtung unterschiedlicher Szenarien, nicht maßgeblich ins Gewicht. Aus Sicht des Klimaschutzes wäre eine Anhebung der Gesamtgewichte daher sehr begrüßenswert.

Wie sich Straßenschäden und -beseitigungsmaßnahmen entwickeln, wurde im Rahmen der Studie nicht überprüft. Weitere positive Aspekte der Gewichtsanhebung liegen jedoch in der Sicherstellung einer optimalen Holzversorgung und Rentabilität sowie einer positiven Beeinflussung des derzeitigen Dienstleistersterbens.

II. Inhaltsverzeichnis

I.	KURZFASSUNG (ABSTRACT)	II
II.	INHALTSVERZEICHNIS	III
1	EINLEITUNG	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	TRANSPORTE IN DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE „HOLZ“	5
2.1	Definition und Systemgrenze.....	5
2.2	Das Transportgut Holz.....	5
2.3	Die Abnehmer bzw. Verwerter des Rohholzes.....	7
2.4	Der Rohholztransport in Deutschland	9
2.4.1	Fahrzeuge	10
2.4.2	Transportdistanzen	11
2.4.3	Auslastung und Leerfahrten.....	13
2.4.4	Zulässiges Gesamtgewicht.....	13
3	GRUNDLAGEN VON ÖKO- UND TREIBHAUSGASBILANZEN	17
3.1	Treibhauseffekt und Treibhauspotenzial	18
3.2	Treibhausgasbilanzen von Ländern	19
3.3	Treibhausgasbilanzen von Unternehmen.....	19
3.4	Treibhausgasbilanzen von Produkten.....	20
3.5	Treibhausgasbilanzen von logistischen Prozessen	21
4	METHODISCHER ANSATZ DER ARBEIT	22
4.1	Grundlagen der Berechnung	22
4.2	Ermittlung der Energieverbräuche.....	23
4.2.1	Ermittlung des Durchschnittsverbrauchs pro 100 Kilometer.....	24
4.2.2	Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs	27

4.2.3	Ermittlung des absoluten Energieverbrauchs	27
4.2.4	Ermittlung des Energieverbrauchs durch Leerfahrten	29
4.3	Auswahl des Emissionsfaktors.....	29
4.3.1	Berücksichtigung der Tank-to-Wheel Emissionen	30
4.3.2	Berücksichtigung der Well-to-Wheel Emissionen	30
4.3.3	Berücksichtigung weiterer Treibhausgase	32
4.3.4	Berücksichtigung von Biokraftstoffen	33
5	ERGEBNIS	34
5.1	Durchschnittsverbrauch pro 100 Kilometer	34
5.2	Spezifischer Energieverbrauch	36
5.3	Absoluter Energieverbrauch	37
5.4	CO ₂ und Treibhausgasemissionen.....	40
5.5	Sensitivitätsanalyse	42
6	DISKUSSION	45
7	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	50
8	FAZIT	51
III.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	52
IV.	TABELLENVERZEICHNIS.....	53
V.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	54
VI.	LITERATURVERZEICHNIS.....	56
VII.	ANHANG	62

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Das Straßenverkehrsnetz im Transitland Deutschland steht vor großen Herausforderungen. Der Bedarf an einem leistungsfähigen Gütertransport nimmt in einer global vernetzten Weltwirtschaft stetig zu. Den Hauptteil des künftigen Verkehrswachstums wird nach Einschätzung des Statistischen Bundesamtes die Straße einnehmen (StBA, 2013). Die seitens des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen für die Bundesverkehrswegeplanung 2003 (BMVBS, 2003) beauftragten Institute errechneten im Integrationsszenario für 2015 eine Transportleistung von 401 Milliarden Kilometer im Güterfernverkehr. Bereits im Jahr 2012 wurde dieses Ziel mit einer Transportleistung von 453,9 Milliarden Kilometer um 13 Prozent überschritten (StBA, 2013). Mit der höheren Transportleistung ist ein Anstieg der transportbedingten Treibhausgasemissionen verbunden (BMVBS, 2003).

Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, die transportbedingten Treibhausgasemissionen zu reduzieren (BMWi/BMU 2010). Angesichts des prognostizierten Verkehrswachstums, sollte es wirtschafts- und umweltpolitische Zielsetzung sein, den Straßengüterverkehr möglichst effizient zu organisieren. Eine intakte Infrastruktur ist ebenso erforderlich wie ein modernes Verkehrsmanagement und innovative Logistiksysteme. Einen wichtigen Beitrag zu einer effizienten Organisation des Straßengüterverkehrs kann beispielweise eine bessere Auslastung der Nutzfahrzeuge durch eine Anhebung des zulässigen Gesamtgewichts leisten. Verbunden mit dieser Maßnahme, ist mit einer Reduzierung von transportbedingten Treibhausgasemissionen zu rechnen (BDI; LINDEMANN 2005; AGR 2013).

Die nationalen Vorgaben zu Fahrzeuggesamtgewichten richten sich nach der durch die Europäische Union (EU) veröffentlichten Richtlinie 96/53/EG¹ (EG, 1996). Die zulässigen Gewichte und Abmessungen von Nutzfahrzeugen sind in Deutschland in der Straßenverkehrszulassungsverordnung (StVZO) geregelt.

Holztransporte sind, wie alle anderen Lkw-Transporte auf deutschen Straßen, derzeit auf ein Maximalgewicht von 40 Tonnen beschränkt. Im europäischen Vergleich befinden sich zulässige Gesamtgewichte damit am unteren Ende der Skala. In den Niederlanden, Belgien, Italien und Dänemark beträgt die Gewichtsgrenze 44, 48 bzw. 50 Tonnen. In Finnland und Schweden dürfen bis zu 60 Tonnen transportiert werden. In Österreich kann trotz besonderer Topographie die 44-Tonnen-Regelung praktiziert werden und in Frankreich werden unter bestimmten Bedingungen 52

Tonnen mit 5 Achsen und 57 Tonnen mit 6 Achsen befördert (DEVT0907450D 2009). Nachbarstaaten Deutschlands erlauben somit weit höhere Ladekapazitäten, was, im Vergleich zu geringeren Frachtkosten und somit zu einem Wettbewerbsnachteil für deutsche Holzspediteure führt.

Durch die geringen zulässigen Gesamtgrenzen ist der Transport von schweren Massengütern in Deutschland dadurch geprägt, dass trotz gewichtsmäßiger Vollauslastung das Volumen der Fahrzeuge nur selten voll ausgeschöpft wird. Die meisten Massengüter werden daher eher per Bahn oder Binnenschiff transportiert. Beispielsweise werden nur 14 Prozent des Transportaufkommens der Kohle, 35 Prozent der Erze und Metallabfälle sowie 52 Prozent des Eisens und Stahls per Lkw befördert (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 2005). Das Massengut Rohholz wird im Gegensatz dazu, aufgrund eines geringen durchschnittlichen Einkaufsradius von etwa 82 km (BORCHERDING 2007) vieler holzbearbeitenden Betriebe und einen vergleichsweise hohen Umschlagskostenanteil, zu ca. 90 Prozent unimodal per Lkw transportiert (DETTENDORFER 2008; WEGENER ET AL. 2004; BORCHERDING 2007).

Zur Verbesserung der Wettbewerbssituation innerhalb der EU fordert die deutsche Holzindustrie daher eine Anhebung der Gewichtsgrenzen auf 52 Tonnen (AGR 2012). Auch die Charta für Holz (2004), die gemäß Koalitionsvertrag umgesetzt werden soll, sieht eigentlich eine Verbesserung der Logistik mit Hilfe einer europaweiten Angleichung der Transportbedingungen für Holz vor. Gemäß ZEISLER (2011) wäre eine Gewichtserhöhung besonders im Hinblick auf die letztlich stark gestiegenen Dieselpreise sinnvoll, welche die Dienstleistung des Holztransports heute kaum mehr rentabel macht und 2009 zu einem Dienstleistersterben von 10 bis 15 Prozent führte.

Die Bundesregierung lehnt eine Heraufsetzung der festgelegten zulässigen Gesamtgewichte jedoch ab, weil sie eine erhebliche Belastung der öffentlichen Haushalte mit Mehrausgaben für den Straßenbau befürchtet (DEUTSCHER BUNDESTAG 2004). Dabei erfüllen die im Holztransport eingesetzten Fahrzeuge bereits überwiegend die technischen Anforderungen, die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, 2006) in der Studie zu den „Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes“ für eine Minimierung der Straßenbelastung empfohlen wird.

Die in der Vergangenheit nach Windwurfkatastrophen von den zuständigen Landesbehörden erteilten Erlaubnisse, mit denen das zulässige Gesamtgewicht abweichend von § 34 StVZO weitgehend auf 44 Tonnen festgelegt wurden, seien nur „wegen der Notlage der Forstbetriebe, der Gefahr der Vernichtung des Sturmholzes

sowie drohender Folgeschäden durch Borkenkäfer vertretbar und zeitlich befristet“ gewesen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2004 S.18).

Wie die transportbedingten Treibhausgasemissionen bei steigendem Transportaufkommen verringert und der innereuropäischen Wettbewerbsverzerrung im Holztransport begegnet werden kann, bleibt nach wie vor eine ungelöste Frage.

1.2 Zielsetzung

Eine wissenschaftliche Untersuchung zu den möglichen Effekten auf transportbedingte Treibhausgasemissionen durch die Anhebung des zulässigen Gesamtgewichts liegt für den Holztransport noch nicht vor. Mit Hilfe der vorliegenden Studie soll daher untersucht werden, wie sich eine Erhöhung der zulässigen Gesamtgewichte auf den Kraftstoffverbrauch der Holzfahrzeuge und resultierende Treibhausgasemissionen auswirken. Da bereits in Ausnahmefällen regelmäßig bis 44 Tonnen genehmigt werden und Gewichte bis ca. 48 Tonnen mit den meisten der heute eingesetzten Holz-Lkw technisch realisierbar sind (VORHER ET AL. 2005; STECKEL 2007), werden als mögliche Gewichtsgrenzen 44 und 48 Tonnen betrachtet. Zur exemplarischen Darstellung wird darüber hinaus ein Grenzgewicht von 52 Tonnen betrachtet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Bevor auf die Berechnung der Emissionen eingegangen wird, beschäftigt sich Kapitel 2 mit den Transporten der deutschen Holz- und Forstwirtschaft inklusive Definition und Einordnung der Arbeit. Zur Bestimmung der Transportleistung des Sektors, werden die Abnehmer von Rohholz sowie deren durchschnittlichen Einzugsradien betrachtet. Des Weiteren werden typische Fahrzeuge und deren Kraftstoffverbrauch sowie rechtliche Restriktionen im internationalen Vergleich dargestellt.

In Kapitel 3 werden die Grundlagen von Öko- und Treibhausgasbilanzen erläutert und der methodische Ansatz der Arbeit nach Norm DIN 16258 näher betrachtet. Nach Darstellung des methodischen Ansatzes bei der Ermittlung der Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen in Kapitel 4 folgen die Ergebnisse der Berechnung in Kapitel 5. Betrachtet werden Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge, Transportleistung der Branche sowie resultierende Treibhausgasemissionen je nach Gewichtsgrenze inklusive Sensitivitätsanalyse. Kapitel 6 diskutiert die Ergebnisse und

setzt sie unter anderem in den Kontext deutscher Klimaschutzziele. Des Weiteren werden methodische Schwachstellen und Alternativen aufgezeigt. In Kapitel 7 werden Handlungsempfehlungen gegeben. Zum Ende der Arbeit folgt in Kapitel 8 ein Fazit.

2 Transporte in der Wertschöpfungskette „Holz“

2.1 Definition und Systemgrenze

Unter Holztransporten versteht man sowohl die Holzbringung, also das Rücken des Holzes vom Fällort zum Waldweg, als auch der Ferntransport der Ware zu den Werken der Holzbe- und verarbeitenden Industrie (HAFNER 1964). Dazu gehört das Befördern von Rund- bzw. Waldholz, Ganzbäumen mit Kronen, Sägenebenprodukten wie Hackschnitzel, Sägespäne und Sägemehl, Schwarten und Spreißel sowie Alt- bzw. Restholz und schließlich Halbfertigprodukte wie Schnittholz (BORCHERDING 2007). Die vorliegende Arbeit befasst sich ausschließlich mit dem Ferntransport von Rohholz per Lkw, also dem Transport von Stamm- und Industrieholz vom Holzpolter zu den Werken der ersten Bearbeitungsstufe. Der Transport von Energieholz, sowie Fertig- und Halbfertigprodukten wird auf Grund hoher Komplexität nicht weiter betrachtet.

2.2 Das Transportgut Holz

Das Hauptziel der heimischen Holz- und Forstwirtschaft ist die Produktion von hochwertigem Stammholz für die stoffliche Verwertung (KALTSCHMITT 2009). In bestimmten Zeitabständen werden Durchforstungsmaßnahmen durchgeführt, um kranke und/oder konkurrierende Bäume zu entfernen. Jährlich fällt daher eine bestimmte Rohholzmenge an, die von Holztransportern in die Werke der Verarbeitung befördert werden müssen.

Abbildung 2.1 zeigt die Entwicklung und Verteilung des Gesamteinschlages nach Holzarten zwischen den Jahren 1996 und 2010. Nach der amtlichen Statistik lag die Holzernte im Jahr 2007 auf Grund des Orkan „Kyrill“, mit einer Schadholzmenge von 31,3 Mio. m³ (SEINTSCH 2010), besonders hoch. Auffällig ist außerdem, dass ein Großteil des Einschlages auf Nadelhölzer entfällt. Die Warengruppe Fichte, Tanne, Douglasie und sonstige Nadelhölzer werden mit einem durchschnittlichen Anteil von rund 78 Prozent am meisten geerntet.

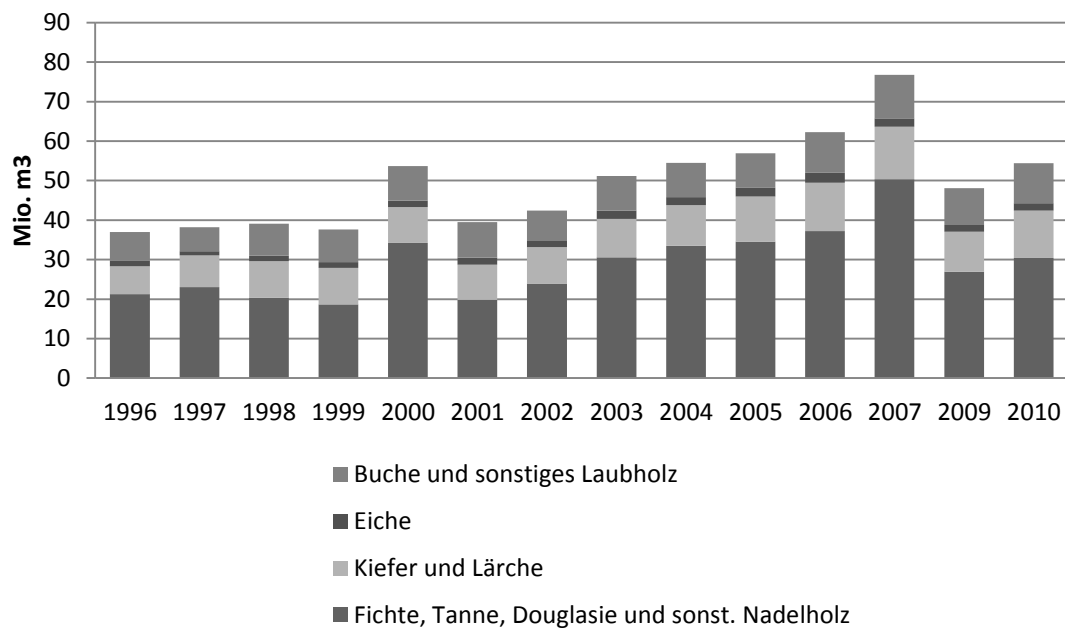


Abbildung 2.1: Einschlag nach Holzartengruppen zwischen 1996 und 2010 in Deutschland

(BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2011)

Das eingeschlagene Rohholz wird gemäß Holzmarktbericht in verschiedene Rohholzgruppen unterschieden. Im Jahr 2010 wurden beispielsweise 55 Prozent Stammholz, 23 Prozent Industrieholz, 17 Prozent Energieholz und 5% nicht verwertetes Holz eingeschlagen (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2011). Dabei bezeichnet die Kategorie „nicht verwertetes Holz“ Holzbestandteile wie Äste, Zweige und Rinde, die nach dem Fällen im Wald zurückbleiben (ROEWER 2009).

Bei Waldenergieholz handelt es sich um Reisig und Zapfen, Hackschnitzel, Späne, Sägemehl und Rinde (BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT 2004), dessen Verarbeitung vorrangig direkt im Wald erfolgt (LECHNER u. BECKER 2004). Die Biomasse wird dabei meist nur über kurze Strecken bis zu 15 km befördert. Der Transport wird daher hauptsächlich mit Hilfe von land- oder forstwirtschaftlichen Fahrzeugen durchgeführt (KALTSCHMITT 2009) und Lkw kommen nur selten zum Einsatz.

Stamm- bzw. Derbholz bezeichnet Rundholz mit einem Durchmesser über 7 cm (MANTAU 2012). Unterschieden wird dabei in Langholz zwischen 7 und 22 sowie Kurzholz zwischen 3 und 5 Meter Länge (KALTSCHMITT 2009). Verwendung findet Stammholz hauptsächlich in der Sägeindustrie.

Industrieholz bezeichnet im Gegensatz dazu Rohholz, das nicht als Vollholz oder Schnittholz weiterverarbeitet wird, sondern mechanisch zerkleinert oder chemisch aufgeschlossen wird (KREUSCH 2012). Verwendung findet es in der Holz- und Zellstoffindustrie sowie in der Holzwerkstoffindustrie (MANTAU 2012). Stamm- und Industrieholz werden beide über weitere Strecken in die Werke der Bearbeitung befördert und sind somit die Rohholzarten, die vorrangig per Lkw transportiert werden müssen. Die durchschnittlichen Transportentfernungen werden in Kapitel 2.4.2 dargestellt.

2.3 Die Abnehmer bzw. Verwerter des Rohholzes

Wie erläutert, zählen zu den Abnehmern des eingeschlagenen Stamm- und Industrieholzes vor allem die holzbearbeitende Industrie – im Wesentlichen die Säge- und Holzwerkstoffindustrie sowie die Holz- und Zellstoffherzeugung. Gemäß Holzmarktbericht des Statistischen Bundesamtes (StBA) (2011) wurden im Jahr 2010 54,4 Millionen Kubikmeter Rohholz eingeschlagen. Das StBA differenziert die Angaben dabei unter anderem in Sorten und Holzarten. So wurden der Industrie danach 29,8 Millionen Kubikmeter Stammholz und 12,7 Millionen Kubikmeter Industrieholz zur Verfügung gestellt.

Im Jahr 2012 veröffentlichte das Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg (MANTAU, 2012) die aktuelle Holzrohstoffbilanz Deutschlands. Die Wissenschaftler errechneten für 2010 einen Stammholzverbrauch in Höhe von 37,3 Mio. Kubikmeter. Deutsches Stammholz wird fast ausschließlich an die heimische Sägeindustrie geliefert (MANTAU 2009). Der restliche Bedarf wird aus Nachbarstaaten importiert.

Die Daten des Statistischen Bundesamtes geben nur die über die amtliche Statistik erfassten Mengen wieder, weshalb sich Abweichungen zum errechneten Verbrauch ergeben. Insbesondere im Kleinprivatwald wird die tatsächlich eingeschlagene Holzmenge nicht erfasst, sondern nur – mehr oder weniger genau – geschätzt. Für die weitere Betrachtung des Bedarfs der Holzindustrie wird daher auf die Studie der Universität Hamburg verwiesen.

Die Holz- und Zellstoffherstellung benötigte 2010 laut MANTAU (2012) 10,6 Mio. Kubikmeter Holz, wobei nur 6,8 Mio. Kubikmeter des Bedarfs mit Waldholz gedeckt wurden. Die Differenz kommt durch den Einsatz von Sägenebenprodukten zustande.

Der dritte große Abnehmer von Rohholz ist die Holzwerkstoffindustrie mit ihren Furnier-, Spanplatten- und Sperrholzwerken. Auf sie entfiel in 2010 ein Verbrauch in

Höhe von 16,9 Millionen Kubikmeter Rohholz. Etwa 7,7 Mio. Kubikmeter können dem Waldholz zugerechnet werden. Der restliche Bedarf in Höhe von 9,2 Millionen Kubikmetern wird in Form von Sägenebenprodukten und Altholz aufgebracht (ebenda). Darüber hinaus wird in der Holzwerkstoffindustrie in geringerem Umfang zunehmend Waldhackschnitzel eingesetzt. Der Transport des geernteten Industrieholzes erfolgt somit etwa zu 50 Prozent an die Werke Holz- und Zellstoffherstellung sowie zu 50 Prozent an die Holzwerkstoffindustrie.

Die große Mehrheit der Stammholztransporte wird von der Sägeindustrie auf Grund mangelnder Werkseingangswaagen in Festmetern (Fm) abgerechnet (OHNESORGE 2012; BORCHERDING 2007). Der Festmeter gibt dabei das aus Stammlänge und Stammdurchmesser errechnete Volumen ohne Rinde an (LOHMANN 2003). Die Ermittlung des Volumens kann zum einen bei der Aufarbeitung im Wald erfolgen. Zum anderen gibt es die Möglichkeit der sogenannten Werkeingangsvermessung, bei der das Volumen der einzelnen Stämme automatisch vor der Verarbeitung bestimmt wird. Ein Ladungsgewicht wird in der Sägeindustrie in der Regel nicht bestimmt (OHNESORGE 2012).

Industrieholz wird hingegen, auf Grund der häufig mit großen Waldbesitzern vereinbarter Abrechnungseinheit Tonne-Atro (tA), am Werkseingang gewogen. Die Einheit Tonne-Atro bezeichnet den absolut trockenen Zustand von Rohholz (BORCHERDING 2007). Bei Einfahrt ins Werk wird das Gesamtgewicht des Lkw erfasst und eine repräsentative Stichprobe zur Bestimmung der durchschnittlichen Holzfeuchte genommen. Nach Entladung fährt der Lkw wieder über die Waage und das Leergewicht wird bestimmt. Aus den genannten Daten wird das Gewicht der Ladung in Tonne-Atro ermittelt. Werkseingangswagen sind in der Holz- und Zellstoff- sowie auch in der Holzwerkstoffindustrie die Regel (OHNESORGE 2012).

Während die Tonne-Atro somit die typische Abrechnungseinheit für die Ware „Rohholz“ darstellt, werden Holztransporte häufig in der Einheit Tonne-Lutro (tL) abgerechnet (BORCHERDING 2007). Die Tonne-Lutro bezeichnet den Zustand „lufttrocken“ und entspricht der tatsächlich transportierten Ladung in Tonnen. Für Holztransporteure ist dies die relevante Einheit, da die maximale Zuladung der Lkw gesetzlich geregelt ist. Nach BORCHERDING (2007) und OHNESORGE (2012) werden Transportdienstleistungen in letzter Zeit jedoch zunehmend in der Einheit Tonne-Atro abgerechnet. Dies hat den Anreiz für Transporteure, abgelagertes und trockenes Waldholz zuerst in die Werke der Bearbeitung zu befördern (BORCHERDING 2007).

Der Vollständigkeit halber wird noch die Abrechnungseinheit Raummeter (Rm) erwähnt. Der Raummeter bezeichnet das Volumen des auf dem Lkw aufgeschichteten

Holzes inklusive Hohlräume und Rinde. Es wird vor allem für geringwertigere Sortimente mit kürzeren Längen bis zu 3 Meter verwendet (BORCHERDING 2007).

2.4 Der Rohholztransport in Deutschland

Der Transport von Rohholz kann grundsätzlich auf verschiedene Arten erfolgen. In der Regel handelt es sich um einen gebrochenen Transport mit mehreren Verkehrsträgern, der mit dem Vortransport zum Polterplatz beginnt und mit der Holzabfuhr z.B. per Lkw zum Abnehmer fortgesetzt wird. Beim Ferntransport besteht grundsätzlich die Möglichkeit zum Straßen-, Schiffs- oder Bahntransport. Verschiedene Erhebungen belegen aber die dominierende Rolle des Lkw.

DETTENDORFER (2008) ermittelte in seiner Studie, dass die deutsche Sägeindustrie ca. 93 Prozent des Rohholzes unimodal per Lkw bezieht. Die Holzwerkstoffindustrie beschafft im Gegensatz dazu ca. 96% des Rohholzes und rund 100% der Sägenebenprodukte per Lkw. Lediglich bei der Altholzbeschaffung der Holzwerkstoffindustrie spielte die Kombination der Transportmittel Lkw und Bahn mit 11% und Lkw und Schiff mit 30% eine größere Rolle (DETTENDORFER 2008).

WEGENER ET AL. (2004) ermittelten im Rahmen einer Befragung von holzbearbeitenden Unternehmen in Süddeutschland einen Lkw-Anteil am Rundholztransportaufkommen von 87,77 Prozent und einen Bahnanteil von 11,47 %. BORCHERDING (2007) geht sogar von einem Lkw-Anteil von 99,4 Prozent aus, da auf Grund mangelnder Verladebahnhöfe nur in den seltensten Fällen eine direkte Verladung des geernteten Holzes auf Bahn oder Binnenschiff möglich ist. Außerdem muss zumindest eine Teilladung immer per Lkw befördert werden und nur wenige Abnehmer verfügen über eigene Binnenschiff- oder Gleisanschlüsse. Des Weiteren ist die Verladung im kombinierten Verkehr mit mehreren Verkehrsmitteln nicht durch den Wechsel von Behältern, sondern durch den Umschlag einzelner Stämme gekennzeichnet. So fallen an Schnittstellen des kombinierten Verkehrs erhebliche Umschlagkosten an, was den Transport per Bahn oder Binnenschiff erst ab hohen Entfernungen rentabel macht. Gemäß BODELSCHWINGH (2006) lohnen sich multimodale Transporte erst ab Distanzen von über 250 km. Die durchschnittlichen Distanzen bei Holztransporten liegen allerdings deutlich niedriger (siehe Kapitel 2.4.2).

Auch in anderen europäischen Staaten zeigt sich eine dominierende Rolle des Lkw bei Holztransporten. Gemäß BORCHERDING (2007) liegt der Lkw-Anteil in Finnland bei 80 %, in Großbritannien bei 95 %, in Österreich bei 80 Prozent und in Schweden bei 88,91 %.

Nachdem der Lkw somit das Haupttransportmittel für Rohholz darstellt, wird im Folgenden näher auf die Fahrzeuge, deren Kraftstoffverbrauch sowie die durchschnittlichen Transportdistanzen in Deutschland eingegangen. Außerdem wird ein Überblick über die rechtlichen Restriktionen im Zusammenhang mit zulässigen Gesamtgewichten im internationalen Vergleich gegeben.

In Deutschland werden Holztransporte fast ausschließlich von selbständigen Transportunternehmen im Auftrag der holzbearbeitenden Industrie durchgeführt (BORCHERDING 2007). Nur in Ausnahmefällen besitzen die Unternehmen selbst eigene Holztransporter. Bei den Fuhrbetrieben handelt es sich mehrheitlich um kleine Familienbetriebe, die sich auf den Transport von Rundholz spezialisiert haben. Nach einer Erhebung von BODELSCHWINGH (2006) gehören durchschnittlich knapp drei Fahrzeuge zu einem Betrieb.

2.4.1 Fahrzeuge

Grundsätzlich handelt es sich bei den Fahrzeugen des Rundholztransports um dieselbetriebene Spezialfahrzeuge, die von speziell geschulten Arbeitnehmern bedient werden (BORCHERDING 2007). Die Gesamtanzahl der Holz-Lkw in Deutschland kann derzeit nur geschätzt werden und liegt zwischen 1.700 und 2.400 Lkw (ebenda).

Tabelle 2.1 zeigt die derzeit gängigsten Holztransporter und technische Details auf Grundlage einer Erhebung von BORCHERDING aus dem Jahr 2007. Im Rahmen der Studie wurden 120 Unternehmen mit 261 Fahrzeuge befragt.

Es wird ersichtlich, dass der Großteil der Lkw eigene Ladekräne besitzt. Nur 4 Prozent der Fahrzeuge entfallen auf Trailer ohne Kran. Die Nutzlast bezeichnet die maximal mögliche Zuladung und ist nicht zu verwechseln mit dem Gesamtgewicht, welches die Summe des ungeladenen Lastwagens plus Nutzlast darstellt. Auf Grund des fehlenden Ladekrans liegt die Nutzlast bei Trailerfahrzeugen am höchsten. Der geringe Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu Kranfahrzeugen ist darauf zurückzuführen, dass Trailer keine eigenen Ladetätigkeiten durchführen und an dieser Stelle somit kein Kraftstoffverbrauch anfällt.

Tabelle 2.1 Technische Eigenschaften der gängigen Holztransporter

Fahrzeug	Anteil	Nutzlast (t)	Ø Ges. Verbrauch (l/100km)	Ø Fahr-Verbrauch (l/100km)
Glieder- bzw. Kurzholzzug mit Kran	44%	20-23	51,01	45,00
Langholzzug mit Kran	33%	20-22	54,07	45,00
Sattelauflieger mit Kran	19%	17-20	53,38	45,00
Trailer ohne Kran	4%	24-27	38,82	38,82

(BORCHERDING 2007)

Informationen zum durchschnittlichen Fahrverbrauch der Kranfahrzeuge entsprechen FleetBoard-Daten und stammen von Spediteuren aus der Praxis. Unterschieden wird zwischen durchschnittlichem Gesamtverbrauch und Fahrverbrauch, d.h. ohne den Kraftstoffverbrauch, der während Ladetätigkeiten im Stehen verbraucht wird. Demnach liegt der Verbrauch von Glieder- und Langholzzügen im fahrenden Zustand jeweils bei 45 Liter pro 100 Kilometer (KÖHLER 2011).

Im Vergleich zu normalen Straßenfahrzeugen liegt der Verbrauch von Holzfahrzeugen generell ca. 30 Prozent höher (KORTEN u. HEINDL 2008; BORCHERDING 2007). Standard-Lkw derselben Größe verbrauchen im Schnitt 34 Liter pro 100 Kilometer (INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG u. STUDIENGESELLSCHAFT FÜR DEN KOMBINIERTEN VERKEHR E.V. 2002). Wesentliche Gründe dafür sind eigene Be- und Entladetätigkeiten sowie der spritintensive Allradantrieb von Holzfahrzeugen. Außerdem besteht auf Waldwegen ein erhöhter Rollwiderstand im Vergleich zum normalen Straßenverkehr. Höhere Luftwiderstände durch Kran und Aufbau können eine weitere Ursache für den erhöhten Verbrauch sein (BORCHERDING 2007).

2.4.2 Transportdistanzen

Im Rahmen der Treibhausgasberechnung müssen zu überwindende Transportentfernungen berücksichtigt werden. Auf Basis der Literatur werden im folgenden Abschnitt die durchschnittlichen Distanzen von Rohholztransporten dargestellt (Tabelle 2.2). Die verfügbaren Daten gehen dabei stark auseinander und weichen zum Teil mehr als 100% voneinander ab. Gründe dafür sind die meist regionalweiten Studien, bei welchen oft nur wenige Holzunternehmen befragt wurden (SEINTSCH 2011).

Tabelle 2.2: Transportentfernungen bei der Rohholzbeschaffung der Sägewerke, Holzwerkstoffindustrie, Zellstoff- und Papierindustrie nach verschiedenen Datenquellen

Bezugsjahr	Quelle	durchschn. Entfernung/Fahrt (km)		
		Forst- Säge- werk	Forst- Holz- werkstoff- industrie	Forst- Zell- stoff- und Pa- pierindustrie
2000	Borcherding (2007)	82	80	x
2001	Bodelschwingh (2006)	82	x	196
2006	Korten (2009)	103	172	97
2004	Wegener et al. (2004)	144	165	115
2007	Dettendorfer (2008)	84	74	154

(SEINTSCH 2011)

BORCHERDING (2007) gibt einen internationalen Literaturüberblick zu den durchschnittlichen Entfernungen im Rundholztransport differenziert nach Verkehrsmitteln. Dabei zeigt sich ebenfalls eine erhebliche Spanne der durchschnittlichen Entfernungen zwischen den einzelnen Studien. Zusätzlich zum Literaturüberblick führte BORCHERDING (2007) 2004 eine schriftliche Befragung von 120 Transportunternehmen zu deren Lkw-Rohholztransporten durch.

Im Rahmen der Studie von BODELSCHWINGH (2006) werden zwei Sägewerke und ein Papierwerk befragt. Die Erhebung ergibt Daten zu 267 Fahrzeugen von 88 Fuhrunternehmen.

Im Rahmen der Arbeit von KORTEN (2009) wurden acht Rundholzspeditionen aus der Region Augsburg mit 39 Lkw und 8.646 Rundholztouren in der zweiten Jahreshälfte 2006 interviewt. Einsatzgebiet der Transportunternehmen war Süddeutschland mit Schwerpunkt Bayern.

Im Jahr 2004 wurden von WEGENER ET AL. (2004) 41 süddeutsche und österreichische Unternehmen der Holz- und Papierbranche zu deren Transportverhalten bei der Rundholzbeschaffung befragt. Erfasst wurde dabei eine Transportmenge von 6,3 Mio. Kubikmeter Holz und Holzprodukten.

DETTENDORFER (2008) befragte im Jahr 2007 139 Unternehmen aus der Sägewerkeindustrie, 22 Werke der Holzwerkstoffindustrie und acht Standorte der Holzstoff- und Zellstoffindustrie zum Transportverhalten bei der Rohholzbeschaffung. Darüber hinaus liefert DETTENDORFER (2008) Informationen zum Transportverhalten der Sägewerkeindustrie.

2.4.3 Auslastung und Leerfahrten

Da im Rahmen der Treibhausgasbilanzierung der gesamte Fernverkehr der Holzbranche betrachtet wird, sind ebenfalls Leerfahrten (LF) sowie Auslastungen (AL) der Transporte von Interesse.

In Deutschland ist das Gut Holz generell durch relativ hohe Transportkosten gekennzeichnet. Gründe dafür sind – neben geringeren Tonnagen verglichen mit anderen europäischen Staaten - hohe Lohnkosten mit vergleichsweise geringen Arbeitszeiten sowie teure Kraftstoffe (GOTHE u. HAHNE 2005). Je nach transportiertem Sortiment schwankt der Transportkostenanteil, so fällt er bei hochwertigen Furnierhölzern kaum ins Gewicht, bei geringwertigen Industrieholzsortimenten ist er jedoch von erheblicher Bedeutung (BORCHERDING 2007). Nach RÖSLER (1999) liegt der Anteil an den Rundholzkosten frei Werk bei 34 Prozent und übertrifft damit beispielsweise Österreich mit 30 Prozent (WIED 2003) oder Schweden mit 10-15% (WALTER u. CARLSSON 1998).

Ein effizienter Transport ist somit gerade in Deutschland oft wettbewerbsentscheidend und eine hohe Auslastung kann vorausgesetzt werden. Verschiedene Quellen gehen sogar von regelmäßigen Überladungen aus. In Rahmen einer Studie für den Fachverband der Sägeindustrie in Österreich ermittelte KIENZLER ET AL. (2000) beispielsweise ein durchschnittliches Gesamtgewicht 45,1 Tonnen. BORCHERDING (2007) rechnet in seiner Kalkulation mit einer durchschnittlichen Überladung von 5 Tonnen. Für Großbritannien gehen CONRADIE ET AL. (2004) von Überladungen in Höhe von ca. 10 Prozent aus. Bei Massengütern, wie Holz, kann laut KRANKE ET AL. (2011) generell von gewichtsmäßigen Vollaustausung ausgegangen werden, während das Volumen nur selten voll ausgeschöpft wird.

Leerfahrten fallen bei Holztransporten relativ häufig an. Gemäß BORCHERDING (2007) sind Rundholztransporte auf Grund ihrer besonderen Struktur fast zwangsläufig unpaarige Transporte aus den Wäldern zur Industrie. Rücktransporte sind daher nur in seltenen Fällen möglich. Der Leerfahrtenanteil liegt in der Holzbranche zwischen 43 und 48 Prozent (BODELSCHWINGH 2006; KORTEN u. EBERHARDINGER 2008).

2.4.4 Zulässiges Gesamtgewicht

Rundholztransporte unterliegen verschiedenen rechtlichen Restriktionen. Dazu zählen Vorschriften zu Gesamtgewichten, Höchstgeschwindigkeiten, Abmessungen sowie zu Lenk- und Ruhezeiten. Darüber hinaus gibt es geltende Richtlinien zur

Limitierung von Luftschadstoffemissionen, sogenannte Abgasnormen. Da die Studie sich mit einer Erhöhung der zulässigen Gewichtsgrenze befasst, wird im Folgenden explizit auf das zulässige Gesamtgewicht (zGG) eingegangen.

Die zulässigen Gewichte von Fahrzeugen in Deutschland regelt § 34 StVZO. Seit 1986 dürfen demnach Fahrzeugkombinationen mit mehr als 4 Achsen ein Maximalgewicht von bis zu 40 Tonnen befördern. Eine Ausnahme stellt der kombinierte Verkehr dar, der im Umkreis von Umschlagbahnhöfen, See- und Binnenhäfen Lasten bis zu 44 Tonnen erlaubt (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ 2012).

Nachdem 1965 das Gesamtgewicht von 32 auf 38 Tonnen und 1986 von 38 auf 40 Tonnen erhöht wurde, wurde in den letzten Jahren immer wieder eine weitere Erhöhung seitens der Holzindustrie gefordert (BORCHERDING 2007). Häufiges Argument war der Wettbewerbsnachteil, den die deutsche Holzindustrie im Vergleich zu anderen Nachbarstaaten erleidet. Zwar wurde das maximal zulässige Gesamtgewicht 1996 durch die EU Direktive 96/53/EC in Verbindung mit der Direktive 2002/7/EC vom 18.02.2002 europaweit harmonisiert, jedoch räumt sie den Mitgliedsstaaten das Recht ein, für Fahrzeuge im nationalen Verkehr abweichende Höchstgewichte zuzulassen (BORCHERDING 2007). Tabelle 2.3 zeigt die zulässigen Gewichte verschiedener europäischer Staaten.

Es zeigt sich, dass gerade waldreiche Staaten, sowie einige Nachbarländer Deutschlands unter bestimmten Umständen höhere Gesamtgewichte zulassen. Finnland und Schweden beispielsweise erlauben Transporte bis zu 60 Tonnen, Norwegen und die Niederlande erlauben bis zu 50 Tonnen. In Tschechien und Dänemark sind 48 Tonnen auf 6 Achsen genehmigt, in Belgien, Luxemburg, Italien und Großbritannien bis zu 44 Tonnen. In Frankreich können gemäß Artikel 51 der französischen Straßenverkehrsordnung in Ausnahmefällen bis zu 48 Tonnen transportiert werden. Gemäß BORCHERDING (2007) sind frankreichweit theoretisch sogar bis zu 72 Tonnen erlaubt, diese können jedoch in der Praxis auf Grund vieler Restriktionen nicht erreicht werden. Hauptgrund dafür sind drohende Straßenschäden, die mit den erhöhten Gewichten einhergehen. Maximal machbar sind derzeit unter bestimmten Umständen bis zu 57 Tonnen (VORHER ET AL. 2005). Durch das erhöhte Gewicht in einigen Nachbarländern stellt sich in etwa eine Verdoppelung der Ladekapazität gegenüber deutschen Verhältnissen ein (BODELSCHWINGH 2006). Gemäß

VORHER ET AL. (2005) sind in einem so extrem transportkostenintensiven Bereich wie der Holzindustrie diese Unterschiede oft wettbewerbsentscheidend.

Tabelle 2.3: Zulässige Gesamtgewichte einiger EU Staaten

Land	Maximal zulässiges Gesamtgewicht (t)	Anmerkungen
Deutschland	40	In Ausnahmefällen (Sturmwurf) genehmigen Länder bis zu 46 Tonnen
Frankreich	40	Für Langholz 48 Tonnen, beim Rundholz allgemein theoretisch bis zu 72 Tonnen, in der Praxis auf Grund vieler Restriktionen jedoch nur 40 Tonnen
Griechenland	40	
Irland	40	Unter bestimmten Bedingungen bis zu 44 Tonnen
Lettland	40	
Litauen	40	
Polen	40	
Schweiz	40	
Slowenien	40	
Spanien	40	
Österreich	44	6 Achsen mit Rungenaufbau
Belgien	44	ab 5 Achsen
Großbritannien	44	3+3 Achsen unter bestimmten Bedingungen
Italien	44	
Luxemburg	44	
Dänemark	48	3+3 Achsen
Tschechien	48	3+3 Achsen
Niederlande	50	
Norwegen	50	
Finnland	60	bei 7 Achsen
Schweden	60	

(nach BORCHERDING 2007)

Zwar sieht die Charta für Holz (2004), die gemäß Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung umgesetzt werden soll, eine Verbesserung der Logistik mit Hilfe einer europaweiten Angleichung der Transportbedingungen für Holz vor, bis heute wurde zum Thema jedoch keine Einigung gefunden. In einer Stellungnahme über die Zukunft der Forstwirtschaft von 2004 gibt die Bundesregierung in diesem Zusammenhang an: „Die Bundesregierung lehnt die Heraufsetzung der in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) festgelegten zulässigen Gesamtgewichte ab, weil dies eine erhebliche Belastung der öffentlichen Haushalte mit Mehrausgaben für den Straßenbau zur Folge hätte. Straßen und Brückenbauwerke sind auf die in den §§ 32, 34 StVZO festgelegten Maße und Gewichte ausgelegt [...]. Schädigungen der Straße (akut sowie langfristig) erfolgen überproportional mit der eingeleiteten Flächenpressung und Belastungsfrequenz. [...] Erhöht sich der Anteil solcher Fahrzeuge am Gesamtverkehr, verursacht dies dem Straßenbaulastträger

deutlich höhere Erhaltungsausgaben. Die in der Vergangenheit [...] erteilten Erlaubnisse, mit denen das zulässige Gesamtgewicht abweichend von § 34 StVZO weitgehend auf 44 Tonnen festgelegt wurde, waren nur wegen der Notlage der Forstbetriebe, der Gefahr der Vernichtung des Sturmholzes sowie drohender Folgeschäden durch Borkenkäfer vertretbar und zeitlich befristet“ (DEUTSCHER BUNDESTAG 2004 S. 18).

3 Grundlagen von Öko- und Treibhausgas-bilanzen

In der vorliegenden Studie werden CO₂ und Treibhausgase der deutschen Rohholztransportbranche berechnet. Zum Verständnis werden im Folgenden die Grundlagen von Öko- und Treibhausgasbilanzen erläutert.

Unter einer Ökobilanz versteht man gemäß ISO 14040 und 14044 die Summierung und Bewertung aller umweltrelevanten Stoff- und Energieströme sowie aller umweltrelevanten Wirkungen eines Systems. Nach STRIEGEL (2000) ist die Ökobilanzierung eine standardisierte Methode, die es erlaubt, die mit einem Produkt, einem Verfahren oder einer Dienstleistung verknüpften Umweltlasten ganzheitlich zu erfassen, zu quantifizieren und im Zusammenhang der gegebenen Fragestellung auszuwerten. Prinzipiell kann jede Umweltwirkung in die Untersuchung mit eingeschlossen werden. Tabelle 3.1 zeigt einige oft verwendete Kategorien.

Tabelle 3.1: Mögliche Umweltproblemfelder und Wirkungskategorien nach ISO 14040 und 14044

Umweltproblemfeld	Wirkungskategorien
Ressourcenverbrauch	Mineralische Rohstoffe, Wasserentnahme
Energie	Energie, erneuerbar sowie nicht erneuerbar
Treibhauseffekt	Treibhauspotenzial
Eutrophierung	Eutrophierungspotenzial
Versauerung	Versauerungspotenzial
Photooxidantienbildung	VOC, NMVOC
Abfall	Siedlungsabfall, Sonderabfall, Radioaktiver Abfall
Ökotoxizität	Wirkfrachtpotenzial Wasser und Atmosphäre

(nach ISO 14044)

Während die Ökobilanzierung verschiedene Umweltkategorien betrachtet, befasst sich eine Treibhausgasbilanz ausschließlich mit dem Umweltproblemfeld Treibhauseffekt und der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial.

3.1 Treibhauseffekt und Treibhauspotenzial

Der Treibhauseffekt ist ein natürliches Phänomen, der sich prinzipiell in einem Gleichgewicht befindet. Emissionsverursachende Prozesse, wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe, führen jedoch zu einem zusätzlichen, anthropogenen Treibhauseffekt, wodurch sich die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre erhöht und zu steigenden Temperaturen führt. Kohlenstoffdioxid (CO_2) ist neben Wasserdampf das wichtigste Treibhausgas. Sein Anteil zum Treibhauseffekt wird gemäß IPCC (2007) auf 20% beziffert (KRANKE ET AL. 2011).

CO_2 wurde im Kyoto-Protokoll als Referenzwert für die Klimawirksamkeit der anderen Treibhausgase festgelegt. Das Treibhauspotenzial (international Global Warming Potential, GWP) gibt die Wirkung der Treibhausgase als ein vielfaches von CO_2 an. Je nach Lebensdauer und Schädlichkeit der Kyoto-Gase wird deren Treibhauspotenzial in CO_2 -Äquivalenten (CO_2e) ausgedrückt (KRANKE ET AL. 2011).

Tabelle 3.2 zeigt das GWP aller im Kyoto-Protokoll berücksichtigten Treibhausgase. Neben natürlichen Gasen wie Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O), und Methan (CH_4) berücksichtigt das Abkommen auch durch den Menschen verursachte Treibhausgase wie Schwefelhexafluorid (SF_6), Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFC) und Perfluorcarbone (PFC).

Tabelle 3.2: Treibhausgase gemäß Kyoto-Protokoll und deren GWP

Treibhausgas	Formel	Potenzial (bezogen auf 100 Jahre)
Kohlendioxid	CO_2	1
Methan	CH_4	21
Distockstoffoxid (Lachgas)	N_2O	310
Teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe	HFC	> 1.430
Perfluorierte Kohlenwasserstoffe	PFC	> 6.500
Schwefelhexafluorid	SF_6	23.900

(SEKRETARIAT DER KLIMARAHMENKONVENTION 1998)

3.2 Treibhausgasbilanzen von Ländern

Das Kyoto-Protokoll legte 1997 erstmals verbindliche Reduktionsziele für Industrienationen fest. Annex-I-Staaten verpflichteten sich damals für eine Emissionsreduktion um 5,2 Prozent zwischen 2008 und 2012 gegenüber dem Level von 1990 (SEKRETARIAT DER KLIMARAHMENKONVENTION 1998). Zur Überprüfung der Kyoto-Verpflichtungen ist es nötig, Treibhausgasbilanzen für komplette Länder zu erstellen. Dies erfolgt mit Hilfe nationaler Inventarberichte (National Inventory Report, NIR), mit den „Guidelines for National Systems“ der Europäischen Kommission als Berechnungsgrundlage. Bei der Erfassung der Emissionen müssen verschiedene Quellegruppen mit einbezogen werden, beispielsweise die Sektoren „Energie“, „Industrieprozesse“, „Lösemittel und andere Produktverwendung“, „Landwirtschaft“, „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ und „Abfall und Abwasser“. Der Verkehr unterliegt dem Sektor Energie (KRANKE ET AL. 2011).

3.3 Treibhausgasbilanzen von Unternehmen

Zum Aufzeigen von Emissionsminderungspotenzialen sowie zur Stärkung von Image und Marken werden seit einigen Jahren auch Umweltbilanzen von Unternehmen erstellt. Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen auf Unternehmensebene existieren keine verbindlichen Vorgaben. Viele Unternehmen orientieren sich an den Richtlinien des Greenhouse Gas Protocol (GHG-Protocol), einem weltweit anerkanntem Standard zur Erfassung von Treibhausgasen von Unternehmen und Organisationen (KRANKE ET AL. 2011). Auf Basis der GHG-Protocol-Version von 2004 wurde im Jahr 2006 die ISO Norm 14064 „Spezifikation mit Anleitung zur quantitative Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene“ entwickelt (ebenda). Beide Standards unterscheiden direkte Emissionen (Scope 1), indirekte Emissionen durch die Bereitstellung von Strom, Fern- und Prozesswärme (Scope 2), und sonstige indirekte Emissionen (Scope 3). Die Standards stellen es Unternehmen frei, ob Scope 3 Emissionen einbezogen werden. Außerdem fordern GHG-Protocol und ISO 14064 im Bereich Logistik und Transporten lediglich Treibhausgase der unternehmenseigenen Fuhrparks auszuweisen. Da der Großteil der logistischen Prozesse aber oftmals von Dienstleistern durchgeführt wird, spiegeln Unternehmensbilanzen nur einen Teil der logistischen Emissionen wieder (ebenda).

3.4 Treibhausgasbilanzen von Produkten

Emissionsbilanzen von Produkten werden heutzutage erstellt, um „den Kunden eines Unternehmens verlässliche Daten über die Klimawirksamkeit des von ihm gekauften und genutzten Gutes mitzuteilen“ (KRANKE ET AL. 2011 S. 42). Unterschieden wird dabei zwischen Treibhausgasen, die bei der Nutzung des Produktes anfallen, sowie den Emissionen, die den kompletten Lebenszyklus widerspiegeln (ebenda).

Emissionen der Nutzungsphase von Produkten hängen hauptsächlich vom Energieverbrauch ab und werden in Form von Energielabels dokumentiert. Grundlage für die Vergabe der Labels ist die Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung. Messungen basieren auf der Norm EN 153:1995 und der Richtlinie 94/2/EG (STULGIES 2004).

Lebenszyklusemissionen betrachten demgegenüber die komplette Wertschöpfungskette eines Produkts. Zum sogenannten Product Carbon Footprint (PCF) zählen unter anderem Emissionen, die durch Rohstoffgewinnung, sowie durch Herstellung, Transport und Verkauf der Produkte entstehen. Je nach Berechnungsgrundlage werden teilweise auch die Emissionen des Gebrauchs und Entsorgung des Produktes mit eingerechnet (KRANKE ET AL. 2011).

Grundlagen für die Berechnung von PCFs bieten beispielsweise ISO 14040 und 14044 sowie der britische Standard „Specification for the assessment of the lifecycle greenhouse gas emissions of goods and services“ (PAS 2050). Beide Normen werden als sehr flexibel eingeschätzt (KRANKE ET AL. 2011), sind jedoch sehr allgemein gehalten und führen auf Grund der Verwendung unterschiedlicher Datensätze oft zu unterschiedlichen Ergebnissen (LINDHOLM 2010).

Für die Berechnung von Treibhausgasemissionen bei Rundholztransporten könnte grundsätzlich nach ISO 14040 und 14044 vorgegangen werden. Die Norm definiert „Product“ als „any goods or services“ und beinhaltet ausdrücklich auch Transporte (ISO 14044). Die Normen zur Ökobilanzierung bieten jedoch keine transportspezifischen Berechnungsgrundlagen. Gemäß SCHMIED (2009) besteht daher gerade für die Erstellung von Treibhausgasbilanzen logistischer Prozesse ein erhöhter Standardisierungsbedarf.

3.5 Treibhausgasbilanzen von logistischen Prozessen

In 2008 gründete die Europäische Kommission ein Expertengremium, bestehend aus 70 Experten aus 13 Ländern (COTTIGNIES 2010), welches sich mit der Erarbeitung einer europäischen Norm zum Thema Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Verbindung mit Transporten beschäftigt (SCHMIED u. KNÖRR 2011).

Der erste Entwurf der DIN prEN 16258-2011 „Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen“ wurde im April 2011 veröffentlicht, die endgültige Fassung ist seit März 2013 verfügbar. Die Logistikbranche und das Ökoinstitut sahen bereits den Normentwurf als verlässliche Berechnungsgrundlage an (SCHMIED u. KNÖRR 2011). Bis zur Veröffentlichung der Endfassung wurde die Methodik an sich nicht mehr verändert, lediglich spezielle Umrechnungs- und Emissionsfaktoren wurden angepasst.

Während die ISO-Normen zur Ökobilanz, wie erläutert, einen Rahmen mit Anforderungen und Richtlinien an die verwendeten Daten schaffen, beschreibt DIN 16258-2011 Systemgrenzen, Datenquellen und Methodik der Treibhausgasberechnung. DIN 16258 enthält eine detaillierte Methodik zur Berechnung von Energieverbrauch und resultierenden Treibhausgasemissionen speziell von Gütertransporten. Darüber hinaus enthält die Norm Angaben zu Umrechnungs- und Emissionsfaktoren, sowie Vorgaben zur Deklaration, d.h. in welcher Form die Werte an Dritte zu kommunizieren sind. Eine Treibhausgasbilanz nach DIN 16258 scheint somit für die vorliegende Studie sehr geeignet. Das folgende Kapitel befasst sich daher näher mit der Methodik der Norm sowie der Anwendung auf die betrachtete Problemstellung.

4 Methodischer Ansatz der Arbeit

4.1 Grundlagen der Berechnung

CO₂ entsteht bei Rohholztransporten, wie bei allen anderen Transporten, bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (KRANKE ET AL. 2011). Im Verbrennungsmotor der Fahrzeuge reagiert der Kohlenstoff des Diesels mit dem Sauerstoff aus der Luft, wobei sich jedes Kohlenstoffatom (C) mit zwei Sauerstoffatomen (O₂) verbindet. Die entstehende Menge CO₂ hängt im Wesentlichen von der Menge der Kohlenstoffatome im Kraftstoff ab. Bei Diesel liegt der Anteil zwischen 86 und 87 Prozent (ebenda).

Grundprinzip der Treibhausgasberechnung ist somit, dass Energieverbräuche mit Hilfe von Emissionsfaktoren in Kohlendioxid umgerechnet werden (ebenda). Für die Berechnung wird die vom Normentwurf vorgeschlagene Grundformel (Formel 1) verwendet:

$$\text{Formel 1: } \mathbf{EMCO_2 = FCO_2 * EV}$$

EMCO₂ = Emissionen von CO₂ in kg

FCO₂ = CO₂ Umrechnungsfaktor in CO₂ je Liter

EV = absoluter Energieverbrauch in Liter

(DIN 16258)

Emissionsfaktoren sind in der Norm selbst enthalten, aber lassen sich auch speziellen Datenbanken, wie beispielsweise dem Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Ecoinvent oder dem Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) entnehmen. Sie sind für verschiedene Systemgrenzen verfügbar. Die Auswahl des Emissionsfaktors und dessen Systemgrenzen werden in Kapitel 4.3 beschrieben.

Im Vergleich zu Emissionsfaktoren hängt der Energieverbrauch von Rohholzfahrzeugen von unterschiedlichen Faktoren ab. Generell schreibt die Norm für die Ermittlung der Energieverbräuche vor, Berechnungen vorrangig mit gemessenen Verbrauchswerten durchzuführen. Wenn keine Verbrauchsmessungen vorliegen kann alternativ mit Durchschnittsmessungen für eine betrachtete Relation oder für eine ganze Fahrzeugflotte gerechnet werden (KRANKE ET AL. 2011).

Für den Energieverbrauch von Rohholztransporten stehen kaum verlässliche Daten zur Verfügung. Default-Werte, also Vorgabewerte für Lkw Verkehre z.B. aus Fahrzeugtests der Verkehrsrundschau oder HBEFA, konnten nicht verwendet werden, da sich Kraftstoffverbräuche von Holztransporten gegenüber normalen Lkw Transporten stark unterscheiden. Es ist daher angebracht, Energieverbräuche auf Basis von branchenspezifischen Durchschnittswerten zu berechnen.

4.2 Ermittlung der Energieverbräuche

Um den absoluten Energieverbrauch der Transporte ermitteln zu können, muss gemäß DIN 16258 der spezifische Energieverbrauch, d.h. der Verbrauch eines Fahrzeugs pro Tonnenkilometer (tkm), mit der Transportleistung der Branche multipliziert werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie ist es daher notwendig, spezifische Energieverbräuche der unterschiedlichen Fahrzeuggrößen zu ermitteln. Sie wurden mit Hilfe des Durchschnittsverbrauchs, unter Einbezug der Nutzlast (NL) berechnet. Außerdem ist es nötig, die zu befördernde Transportleistung zu bestimmen.

Es wurde daher wie folgt vorgegangen: Im ersten Schritt der Berechnung wurde der Kraftstoffverbrauch pro 100 Kilometer eines vollbeladenen Fahrzeugs mit verschiedenen Höchstgewichten ermittelt. Als mögliche Grenzgewichte wurde 40, 44, 48 und 52 Tonnen gewählt. Grundsätzlich erhöht sich der Verbrauch eines Fahrzeugs mit zunehmendem Gesamtgewicht (KRANKE ET AL. 2011), gleichzeitig führt zusätzliche Ladung zu einem geringeren Verbrauch pro beförderte Einheit.

Mit Hilfe des Verbrauchs der verschiedenen Fahrzeuggrößen (GG 40t, 44t, 48t, 52t) wurde daher in einem zweiten Schritt der Verbrauch je beförderter Einheit berechnet. Dieser sogenannte spezifische Energieverbrauch wurde pro Tonne ermittelt. Mit Hilfe des spezifischen Verbrauchs und der jährlichen Verkehrsleistung, die 2010 im Holzsektor erbracht wurde, ließ sich im dritten Schritt der absolute Verbrauch für die gesamte Branche ermitteln. Der absolute Energieverbrauch wurde dabei je nach Gewichtsgrenze berechnet und Leerfahrten wurden, wie von der Norm gefordert, mit einbezogen. In den folgenden Unterkapiteln werden die drei Schritte im Detail erläutert.

Die Norm fordert grundsätzlich die Energieverbräuche in der Einheit Megajoule (MJ) auszuweisen, damit bei der Berechnung ganzer Transportketten eine gemeinsame physikalische Einheit vorliegt (KRANKE ET AL. 2011). Innerhalb der vorliegenden Studie werden jedoch keine Transportketten, sondern ausschließlich der Lkw-

Ferntransport von Rundholz betrachtet, eine einheitliche physikalische Größe (Liter) liegt somit bereits vor. Die Berechnung der Treibhausgase erfolgt daher über die Verbrauchseinheit Liter. Der Vollständigkeit halber und da von der Norm gefordert, werden Energieverbräuche zusätzlich in Megajoule ausgewiesen, beispielsweise für zukünftige Vergleiche mit Bahntransporten. Dafür fordert DIN 16258 die Berechnung des Endenergieverbrauchs sowie des Primärenergieverbrauchs.

Der Endenergieverbrauch bzw. Tank-to-Wheel Energieverbrauch berücksichtigt die ermittelten Energiemengen, die bei der Herstellung der Kraftstoffe anfallen, ohne produktionsbedingte Energieverbräuche (KRANKE ET AL. 2011). Die Umrechnung erfolgt dann über den unteren Heizwert und beträgt laut Norm 35,9 MJ pro Liter. Der Primärenergieverbrauch oder Well-to-Wheel Energieverbrauch berücksichtigt dazu auch indirekte Energieverbräuche und Verluste, die bei der Dieselherstellung anfallen. Der Umrechnungsfaktor dafür beträgt gemäß DIN 16258 41,1 MJ pro Liter. In den folgenden Tabellen werden Energieverbräuche in Liter und Megajoule angegeben. Weitere Berechnungsschritte erfolgen jedoch ausschließlich auf Basis der Einheit Liter.

4.2.1 Ermittlung des Durchschnittsverbrauchs pro 100 Kilometer

Da der durchschnittliche Verbrauch grundsätzlich linear mit dem Gesamtgewicht ansteigt (KRANKE ET AL. 2011; MCCORMACK 1990), war es nötig, den Kraftstoffverbrauch pro 100 Kilometer für die verschiedenen Zuladungen zu ermitteln. Mittels Formel 2 lässt sich der Kraftstoffverbrauch für jedes beliebige Nutzlast-Gewicht berechnen:

$$\text{Formel 2: } EV_{Lkw(m)} = EV_{leer} + (EV_{voll} - EV_{leer}) * m / NL_{max}$$

$EV_{Lkw(m)}$ = Energieverbrauch des Lkw bei Zuladung m in Liter /100 km

EV_{leer} = Energieverbrauch in Liter /100 km des Lkw bei Nutzlast = 0 Tonnen

EV_{voll} = Energieverbrauch in Liter /100 km des Lkw bei Nutzlast = max

m = Gewicht der Zuladung

NL_{max} = maximale Nutzlast des Lkw in Tonnen

(DIN 16258)

Laut Norm kann für den Energieverbrauch ein linien-, routen- oder flottenspezifischer Durchschnittswert verwendet werden, wenn der Verbrauch einzelner Fahr-

zeuge nicht zur Verfügung steht. Als flottenspezifischer Kraftstoffverbrauch wurde daher der durchschnittliche Verbrauch von Kranzügen mit 40 Tonnen Gesamtgewicht berechnet. Wie in Kapitel 2.4.1 erläutert, sind diese in der Holzbranche am weitesten verbreitet und kommen in 96 Prozent der Fälle zum Einsatz. Nach Rücksprache mit Spediteuren liegt der durchschnittliche Fahrverbrauch von Kranfahrzeugen bei 45 Liter pro 100 Kilometer (KÖHLER 2011). Ladetätigkeiten sind in dem Wert nicht mit inbegriffen und werden im Rahmen der Studie nicht betrachtet.

Um den Verbrauch je nach Zuladung berechnen zu können, wird jedoch nicht der Durchschnittsverbrauch, sondern der Verbrauch für die Beladezustände „leer“ und „voll“ benötigt. Diese konnten für Holztransport weder aus der Literatur, noch mit Hilfe der Fahrtschreiber der Spediteure ermittelt werden. Für die vorliegende Studie werden entsprechende Werte daher mit Hilfe einer Energieverbrauchsgerade graphisch ermittelt (siehe Abbildung 4.1).

Generell steigt der Verbrauch von Fahrzeugen linear sowie unterproportional mit dem Gesamtgewicht an (MCCORMACK 1990; KRANKE ET AL. 2011). Zur Erstellung einer Verbrauchsgerade reichen also zwei Werte aus. Abbildung 4.1 zeigt die Verbrauchsgerade eines Standard-40-Tonnens. Die Verbräuche verschiedener Ladestände wurden HBEFA entnommen. Gemäß KRANKE ET AL. (2011) handelt es sich dabei um eine detaillierte Datenquelle, die von den meisten Umweltinstituten anerkannt ist und bei deren Emissionsberechnungen verwendet wird. Für die Berechnung wurde der Verbrauch eines Euro 5 Sattelzugs mit Abgasrückführung (AGR), bei Fahrten außerorts ohne Autobahn, verwendet. Zu den in der Studie verwendeten Transportrouten stehen keine Details (bspw. zu Topographie) zur Verfügung. In HBEFA wurde daher ein Wert für die durchschnittliche Topographie „hügelig“, mit einer durchschnittlichen Steigung von 1 Prozent gewählt.

Der Verbrauch von Holzfahrzeugen liegt generell etwas höher als der von Standard-Lkw derselben Größe (siehe Kapitel 2.4.1). Die grüne Gerade soll zeigen, wo der Verbrauch von Holz-Lkw theoretisch liegen könnte. Mit Hilfe des durchschnittlichen Fahrverbrauchs von 45 Liter pro 100 Kilometer und verschiedenen Annahmen zu Nutzlast, Auslastung und Leerfahrten (siehe Tabelle 5.1) wurde sie an die Gerade des Standard-Lkw angeglichen. Ausgegangen wurde davon, dass die Steigung beider Geraden gleich ist und sich der Verbrauch der Holzfahrzeuge analog dem von Standard-Lkw entwickelt. Auf mögliche Änderungen in der Steigung der Verbrauchskurve, also einer differenzierten Zunahme des Dieserverbrauchs pro Nutzlast bzw. Gesamtgewicht wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse in Kapitel 5.5 eingegangen. Folgende Annahmen wurden getroffen:

Nutzlast:

Die Nutzlast der Holz-Lkw liegt im Vergleich zu Standard-Lkw derselben Klasse meistens niedriger, denn Holztransporter haben auf Grund eigener Ladekräne ein erhöhtes Eigengewicht (siehe Kapitel 2.4.1). Während Standard-Lkw über Leergewichte von durchschnittlich 15 Tonnen verfügen (INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG u. STUDIENGESELLSCHAFT FÜR DEN KOMBINIERTEN VERKEHR E.V. 2002), beträgt das Eigengewicht von Holzfahrzeugen durchschnittlich 20 Tonnen (BORCHERDING 2007; BODELSCHWINGH 2006; KÖHLER 2011). Bei Verschiebung der Verbrauchsgeraden musste daher darauf geachtet werden, dass sich der durchschnittliche Verbrauch von 45 Liter pro 100 Kilometer auf eine Nutzlast von 20 Tonnen bezieht.

Auslastung:

Da das Gut Holz durch vergleichsweise hohe Transportkosten sowie einem harten Wettbewerb gekennzeichnet ist (BORCHERDING 2007), ist die Branche generell auf einen effizienten Transport angewiesen. Die durchschnittliche Auslastung ist daher als sehr hoch anzusehen. Verschiedene Quellen gehen sogar von erheblichen Überladungen von durchschnittlich 5 Tonnen aus (siehe Kapitel 2.4.3). Für den Durchschnittsverbrauch von 45 Liter pro 100 Kilometer wurde daher eine Vollauslastung von 100 Prozent vorausgesetzt.

Leerfahrten:

Rundholztransporte sind auf Grund ihrer besonderen Struktur fast zwangsläufig unpaarige Transporte aus den Wäldern zur Industrie und Rücktransporte sind nur in den seltensten Fällen möglich. In der Holzbranche liegt der Leerfahrtenanteil zwischen 43 und 48 Prozent (siehe Kapitel 2.4.3). Für den Durchschnittsverbrauch von 45 Liter pro 100 Kilometer wurde der von BODELSCHWINGH (2006) ermittelte durchschnittliche Leerfahrtenanteil von 46 Prozent angenommen. Wie von DIN 16258 gefordert, wurden Leerfahrten und Auslastung des Fahrzeugs mittels Formel 3 zu einem Gesamtauslastungsfaktor (GAF) kombiniert.

$$\text{Formel 3: } \mathbf{AL}_{(\text{inkl. LF})} = 100 \% * \mathbf{AL} / 100 \% + \mathbf{LF}$$

(DIN 16258)

Zusammengefasst wird also angenommen, dass ein Verbrauch von 45 Liter pro 100 Kilometer einer Auslastung von 100 %, einem Leerfahrtenanteil von 46 Prozent sowie einer Nutzlast von 20 Tonnen entspricht. Mit Hilfe dieser Faktoren wurde das Gesamtgewicht berechnet, das durchschnittlich bei 45 Liter pro 100 Kilometer ge-

tragen wird. Somit war es möglich, die Gerade des Standard-Lkw zu verschieben und die Verbräuche für sämtliche Gesamtgewichte abzulesen (siehe Kapitel 5.1).

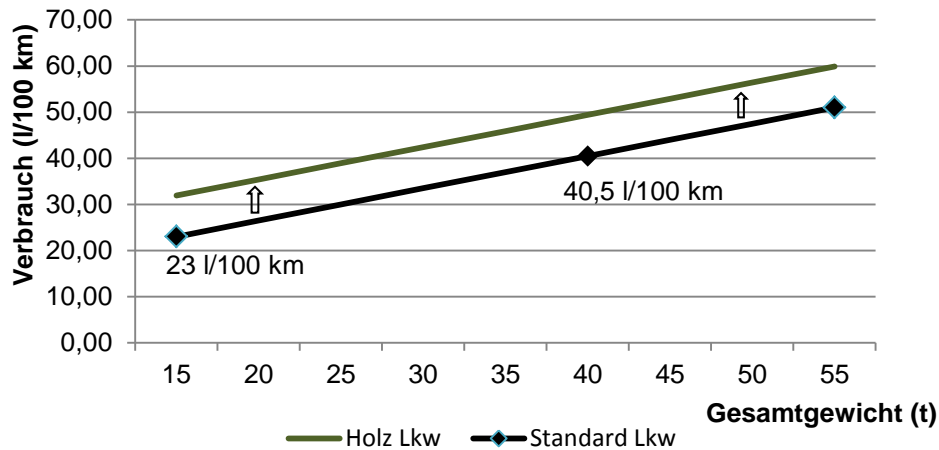


Abbildung 4.1: Angepasste Verbrauchskurven von Standard- und Holztransport-Lkw
(eigene Abbildung)

4.2.2 Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs

Mit Hilfe des Durchschnittsverbrauchs bei verschiedenen Gesamtgewichten/Nutzlasten (20/0, 40/20, 44/24, 48/28 und 52/32 Tonnen) wurde im Anschluss der spezifische Energieverbrauch der unterschiedlichen Gewichtsgrenzen je Tonnenkilometer ermittelt. Der spezifische Energieverbrauch gibt dabei an, wie viel Diesel für den Transport einer Tonne Holz pro Kilometer nötig ist. Für die Berechnung wurde Formel 4 verwendet:

$$\text{Formel 4: } E_{\text{spez (Lkw)}} = \text{EV}_{\text{Lkw (m)}} / m / 100$$

$E_{\text{spez (Lkw)}}$ = Spezifischer Energieverbrauch in Liter / tkm

$\text{EV}_{\text{Lkw (m)}}$ = Energieverbrauch des Lkw bei Zuladung m in Liter /100 km

m = Gewicht der Zuladung

(DIN 16258)

4.2.3 Ermittlung des absoluten Energieverbrauchs

Zur Berechnung des absoluten Energieverbrauchs der Holzbranche wurde der spezifische Kraftstoffverbrauch mit der Transportleistung der Branche multipliziert. Un-

ter der Transportleistung versteht man die Tonnenkilometer, die innerhalb eines Jahres befördert werden. Sie berechnet sich mit Hilfe der zu befördernden Tonnen Rohholz sowie der zurückgelegten Strecke im Kilometer.

Zu befördernde Tonnen Rohholz wurden mit Hilfe der Daten von MANTAU (2012) (siehe Kapitel 2.2). Der Transport von Energieholz wurde nicht betrachtet, da zum Energieholzmarkt kaum realistische Zahlen bzw. nur mit einer großen Spanne vorliegen. In den restlichen Sortimentstypen „Stammholz“ und „Industrieholz“ wurden gemäß MANTAU (2012) folgende Volumina verwertet (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Stamm- und Industrieholzverbrauch in Deutschland

	Stammholz (Fm)	Industrieholz (Fm)	Summe
Kiefer	6.992.810	5.240.757	12.233.566
Fichte	26.801.382	5.323.234	32.124.616
Buche	2.850.037	3.505.293	6.355.330
Eiche	655.772	430.716	1.086.488
Gesamt	37.300.000	14.500.000	51.800.000

Quelle: Mantau (2012), StBA (2011)

Die Zwischeninventur der zweiten Bundeswaldinventur (BW12) aus dem Jahr 2009 zeigte, dass die Holzeinschlagstatistik des Statistischen Bundesamtes den tatsächlichen Einschlag um etwa 30 Prozent (bei Buchenholz bis zu 40 %) unterschätzt (POLLEY ET AL. 2009). Ursache hierfür sind beispielsweise die nicht von der Holzeinschlagstatistik erfassten Mengen im Klein- und Privatwald, aber auch die nur unzureichend erfasste Menge des an Kleinabnehmer verkauften Energieholzes (OHNESORGE 2012). Der tatsächliche Einschlag liegt entsprechend höher. Zur Berechnung der Transportleistung wurden die Ergebnisse der Holzrohstoffbilanz herangezogen, da vereinfacht davon ausgegangen wurde, dass die verbrauchten Rohholzmengen auch transportiert wurden. Eventuell längere Transporte bei importiertem Rohholz blieben in der Annahme jedoch unberücksichtigt. Da derzeit jedoch keine genaue Aussage getroffen werden kann, welche der an Kleinabnehmer abgesetzte Mengen über Speditionen laufen, und welche über sonstige Kleintransporte, wurden diese Zahlen in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Da für die Studie nicht das Volumen, sondern das Gewicht der Güter von Interesse ist, mussten Volumina mit den entsprechenden baumartenspezifischen Umrechnungsfaktoren (siehe Anhang I) in Tonnen-Lutro umgerechnet werden.

Für die Transportentfernungen wurden Annahmen auf Grundlage einer Studie von DETTENDORFER (2008) getroffen. Die Erhebung betrachtet das gesamte Bundesgebiet und sämtliche Bereiche der Holzbranche. Darüber hinaus ist sie die aktuellste der verfügbaren Studien (siehe Kapitel 2.4.2). Da das eingeschlagene Stammholz fast ausschließlich von der heimischen Sägeindustrie verbraucht wird (MANTAU 2009), wurde für Stammholz der durchschnittliche Einzugsradius von Sägewerken angenommen. Er beträgt im Schnitt 84 Kilometer (DETTENDORFER 2008).

Industrieholz wird, wie in Kapitel 2.2 erläutert, etwa zu gleichen Teilen von der Zell- und Holzstoffindustrie sowie von der holzbearbeitenden Industrie bezogen (MANTAU 2012). Für die Transportleistung von Industrieholz wurde daher mit der Durchschnittsentfernung von 74 Kilometer (Holzwerkstoffindustrie) bzw. 154 Kilometer (Zellstoff- und Papierindustrie) gerechnet.

4.2.4 Ermittlung des Energieverbrauchs durch Leerfahrten

Bei den Transportentfernungen handelt es sich um einfache Entfernungen, ohne Rückfahrten. Wie gemäß DIN Norm gefordert, wurde daher zusätzlich der Kraftstoffverbrauch berechnet, der während Leerfahrten anfällt. Er wurde für die unterschiedlichen Nutzlasten mit Hilfe von Formel 5 berechnet:

$$\text{Formel 5: } E_{\text{Leerfahrten}} = EV_{\text{Lkw (leer)}} * (VL / NL) * (D*2)*LF$$

$E_{\text{Leerfahrten}}$ = Energieverbrauch der Leerfahrten in Liter

$EV_{\text{Lkw (leer)}}$ = Energieverbrauch des leeren Lkw bei Gesamtgewicht/Nutzlast = 20/0) in Liter /100 km

VL = Verkehrsleistung in tkm

NL = Nutzlast in Tonnen

D = Entfernung je nach Einzugsradius

LF = Leerfahrten in %

(eigene Berechnung)

4.3 Auswahl des Emissionsfaktors

Wie bereits in Kapitel 4.1 erläutert, besteht das Grundprinzip der Treibhausgasberechnung in der Umrechnung der Energieverbräuche in CO₂-Äquivalente mit Hilfe von Emissionsfaktoren. Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger sind in

der Regel bekannt und können Datenbanken wie GEMIS, Ecoinvent, HBEFA oder direkt aus DIN 16258 entnommen werden.

Die Umrechnungsfaktoren sind für unterschiedliche Systemgrenzen verfügbar. Im Folgenden wird betrachtet, welche Systemgrenzen bei der Auswahl berücksichtigt wurden.

4.3.1 Berücksichtigung der Tank-to-Wheel Emissionen

Wie von DIN 16258 verlangt, wurden in die Berechnung direkte, sogenannte Tank-to-Wheel Emissionen (TTW) mit einbezogen. „Tank-to-Wheel bedeutet, dass die Emissionen eines Fahrzeugs berücksichtigt werden, die vom Kraftfahrzeug (tank) ausgehend entstehen, um das Fahrzeug in Bewegung zu versetzen (wheel = Rad)“ (KRANKE ET AL. 2011 S.65). Mit Hilfe der TTW-Emissionen wurden also die Gase berechnet, die bei der reinen Verbrennung des Kraftstoffs anfallen.

Der Emissionsfaktor von 2,63 Kilogramm CO₂ pro Liter (kg CO₂/l) wurde GEMIS entnommen. Er lässt sich folgendermaßen berechnen: Ein Liter Diesel wiegt ca. 0,835 kg und besitzt einen Kohlenstoffanteil von 86,7 %. Die Kohlenstoffmasse pro Liter Diesel beträgt demnach 0,724 kg. Da jedes Kohlenstoffatom 12 und jedes Sauerstoffatom 16 Atomeinheiten wiegt, entsteht CO₂ mit einem Atomgewicht von 44 Atomeinheiten. Unterstellt man eine vollständige Verbrennung, entsteht aus einem Liter Diesel 2,63 kg CO₂.

4.3.2 Berücksichtigung der Well-to-Wheel Emissionen

Neben den TTW-Emissionen verlangt DIN 16258 außerdem die Berechnung von indirekten Emissionen. Indirekte Emissionen entstehen bei Transporten prinzipiell bei allen vor- und nachgelagerten Prozessen im Zusammenhang mit der Herstellung des Kraftstoffs, der Fahrzeuge sowie der Verkehrsinfrastruktur. Da für die meisten indirekten Bereiche bisher noch keine verlässlichen Emissionsdaten zur Verfügung stehen, fordert DIN 16258 lediglich die Berücksichtigung der sogenannten Well-to-Wheel Emissionen (WTW). „Well-to-Wheel bedeutet, dass zusätzlich zu den Tank-to-Wheel Emissionen die Emissionen berücksichtigt werden, die zur Herstellung der Antriebsenergie für Fahrzeuge notwendig sind. Und das vom Ursprung der Energiequelle (= well) bis zum Antrieb der Räder des Fahrzeugs (= wheel)“ (KRANKE ET AL. 2011 S. 65). Zu den WTW-Emissionen zählen demnach sämtliche Emissionen, die bei der Gewinnung des Rohöls, dem Transport des Rohöls zur Raffinerie, der Herstellung des Kraftstoffs sowie dem Transport des Kraftstoffes zur Tankstelle an-

fallen (KRANKE ET AL. 2011). Alle weiteren in Abbildung 4.2 aufgezeigten indirekten Emissionsquellen werden, wie von der Norm gefordert, und im Rahmen der Berechnung nicht betrachtet.

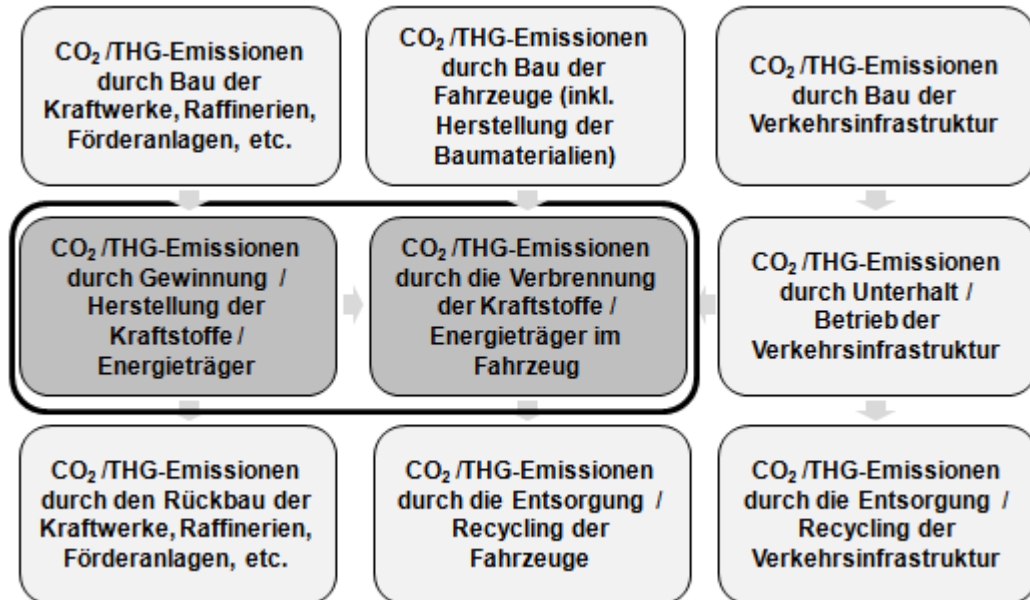


Abbildung 4.2: Überblick über die berücksichtigten Bereiche der Vorkette

(KRANKE ET AL. 2011)

Während bei der reinen Verbrennung von einem Liter Diesel 2,63 kg CO₂ freigesetzt werden, entstehen unter Berücksichtigung der Herstellung der Kraftstoffe CO₂ Emissionen in Höhe von 3,19 kg pro Liter Diesel (DIN 16258). Der Emissionsfaktor $F_{CO_2(WTW)}$ beträgt somit 3,19 kg CO₂/l. Da gemäß Norm TTW- und WTW-Emissionen separat ausgewiesen werden müssen, werden zur Berechnung Formel 6 und Formel 7 verwendet:

$$\text{Formel 6: } EM_{CO_2(TTW)} = F_{CO_2(TTW)} * EV$$

$$\text{Formel 7: } EM_{CO_2(WTW)} = F_{CO_2(WTW)} * EV$$

EM = TTW- bzw. WTW-Emissionen in Kilogramm CO₂

F = TTW- bzw. WTW-Umrechnungsfaktor in CO₂ pro Liter

EV = Energieverbrauch in Liter

(DIN 16258)

4.3.3 Berücksichtigung weiterer Treibhausgase

Die Norm schreibt des Weiteren vor, nicht nur CO₂ Emissionen, sondern weitere Treibhausgase wie Methan und Lachgas in der Treibhausgasbilanz zu berücksichtigen. Treibhausgase werden daher in Form von CO₂-Äquivalenten ausgewiesen.

Während CO₂ Emissionen direkt mit Hilfe des Kraftstoffverbrauchs ermittelt werden können, hängen die übrigen verbrennungsbedingten Treibhausgase vom Verkehrsmittel, Fahrzeuggröße und der Abgasminderungstechnik ab (KRANKE ET AL. 2011). Bei Holz- und anderen Gütertransporten fällt CH₄ vor allem bei unvollständiger Verbrennung von Kohlendioxid an. N₂O wird aus dem Stickstoff der Verbrennungsluft gebildet, dessen Entstehung wiederum durch Abgaskatalysatoren begünstigt wird (KRANKE ET AL. 2011). Weil CH₄ und N₂O neben CO₂ aber nur in sehr geringen Mengen entstehen, werden sie, wie in der Norm gefordert, mit Hilfe eines mittleren Umrechnungsfaktors zu den kraftstoffbedingten CO₂ Emissionen hinzuaddiert. Gemittelt über alle Lkw Fahrzeugflotten in Deutschland ergibt sich für Diesel ein Aufschlag von 1,05 Prozent (KRANKE ET AL. 2011). Der Emissionsfaktor $F_{\text{THG(TTW)}}$ beträgt demnach 2,67 kg CO₂e/l.

Die weiteren Treibhausgase der Kraftstoffherstellung hängen im Vergleich dazu nicht vom Verkehrsmittel und Abgasstandard ab (KRANKE ET AL. 2011). Es gibt somit einen festen Aufschlag pro Liter, welcher gemäß GEMIS für Diesel bei 1,6 Prozent liegt. Der Emissionsfaktor $F_{\text{THG(WTW)}}$ beträgt demnach 3,24 kg CO₂e/l.

Laut Norm müssen in der Berechnung TTW- und WTW-Treibhausgase separat ausgewiesen werden. Zur Berechnung wurden daher Formel 8 und Formel 9 verwendet:

$$\text{Formel 8: } \mathbf{EM_{\text{THG(TTW)}} = F_{\text{THG(TTW)}} * EV}$$

$$\text{Formel 9: } \mathbf{EM_{\text{THG(WTW)}} = F_{\text{THG(WTW)}} * EV}$$

EM = TTW- bzw. WTW-Emissionen in Kilogramm CO₂e

F = TTW- bzw. WTW-Umrechnungsfaktor in CO₂e je Liter

EV = Energieverbrauch in Liter

(DIN 16258)

4.3.4 Berücksichtigung von Biokraftstoffen

Desweiteren in Treibhausgasbilanzen mit einzubeziehen sind gemäß DIN Norm die Anteile von Biodiesel am konventionellen Diesel. In Deutschland liegt der Biodieselanteil derzeit bei 6,2 Prozent (KRANKE ET AL. 2011).

Treibhausgasemissionen von Biodiesel hängen grundsätzlich davon ab, welche Rohstoffe genutzt werden (z. B. Raps, Sojabohne, Palmöl, Weizen), welcher Herstellungsprozess angewandt wird und wo die Rohstoffe angebaut werden (KRANKE ET AL. 2011). Außerhalb der Mineralölkonzerne ist nicht bekannt, welche Arten von Biodiesel dem konventionellen Diesel beigemischt werden. Eine exakte Ermittlung der Treibhausgase für Biodiesel ist daher nicht möglich.

Richtlinie 2009/30/EG legt fest, dass die beigemischten Biokraftstoffe WTW-Emissionen um mindestens 35 Prozent reduzieren müssen. Wenn die Art des Rohstoffs nicht bekannt ist, darf gemäß DIN Norm daher von einer Emissionsminderung von 35 Prozent ausgegangen werden. In der Norm ist jedoch nicht formuliert, worauf sich die prozentuale Emissionsminderung bezieht. Fraglich ist, ob sie sich auf den CO₂-Äquivalent-Wert pro Liter, pro Kilogramm oder auf den Energieinhalt und damit auf den Heizwert bezieht.

Für die Berechnung wird dafür nach EU-Richtlinie vorgegangen, welche die Minderung auf den Heizwert bezieht. Demnach dürfen WTW-Emissionen von Biodiesel nicht mehr als 54,5 g CO₂/MJ betragen (AMT FÜR VERÖFFENTLICHUNGEN 2009). Legt man die Heizwerte (37,24 MJ/kg, bzw. 32,74 MJ/l) und Dichte (0,879 kg/l) von Biodiesel zu Grunde, entspricht der Emissionsfaktor $F_{\text{THG(WWT)}}$ 1,78 kg CO₂e/l (KRANKE ET AL. 2011).

Da sich die vorliegende Studie ausschließlich mit Transporten innerhalb Deutschlands beschäftigt, werden für die Berechnung Umrechnungsfaktoren inklusive einem Biodieselanteil von 6 Prozent verwendet (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: CO₂- und Treibhausgasumrechnungsfaktoren bei einem Biodieselanteil von 6 %

F TTW CO₂	F WTW CO₂	F TTW THG	F WTW THG
kg CO ₂ /l	kg CO ₂ /l	kg CO ₂ e/l	kg CO ₂ e/l
2,46	3,02	2,50	3,16

(DIN 16258)

5 Ergebnis

Mit Hilfe der vorliegenden Studie wurden die Treibhausgase berechnet, die 2010 beim Transport von Stamm- und Industrieholz emittiert wurden. Dazu wurde die Transportleistung, in der Einheit tkm, mit dem spezifischen Verbrauch der Fahrzeuge in l/tkm multipliziert, wodurch sich der gesamte benötigte Diesel ermitteln ließ. Anfallende Leerfahrten wurden bei der Berechnung berücksichtigt.

Mit Hilfe der Treibhausgase aus 2010 wurden drei verschiedene Szenarien betrachtet. Durch die unterschiedlichen Gewichtsgrenzen von 44, 48 und 52 Tonnen ergaben sich drei unterschiedliche Gesamtdieselvebräuche für ein und dieselbe Verkehrsleistung. Diese wurde wiederum mit Emissionsfaktoren multipliziert. Ziel der Studie war es, die anfallenden Treibhausgase der unterschiedlichen Gewichtsgrenzen miteinander zu vergleichen und mögliche Einsparungen aufzuzeigen, die aus einer Erhöhung der Gesamtgewichte resultieren.

5.1 Durchschnittsverbrauch pro 100 Kilometer

Da der Durchschnittsverbrauch von Lkw mit zunehmender Ladung ansteigt (siehe Kapitel 4.2.1), war es im ersten Schritt nötig, die durchschnittlichen Verbräuche der vier verschiedenen Gesamtgewichte (40, 44, 48 und 52 Tonnen) zu ermitteln. Zusätzlich dazu wurde der Verbrauch ohne Ladung, bei einem Gesamtgewicht von 20 Tonnen berechnet.

Der Kraftstoffverbrauch von Holztransporten liegt generell höher als der von Standard-Lkw (siehe Kapitel 2.4.1 und 4.2.1). Verbrauchsdaten aus der Literatur liegen nicht vor. Der Verbrauch der verschiedenen Fahrzeuggrößen wurde daher mit Hilfe einer Verbrauchsgerade ermittelt. Die Verbrauchsgerade der Holz-Lkw wurde in Anlehnung an einen Standard 40-Tonner erstellt und mit Hilfe branchenspezifischer Nutzlast, Auslastung und Leerfahrten aus Tabelle 5.1 angeglichen (siehe Kapitel 4.2.1).

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 beschrieben, wurde davon ausgegangen, dass die Steigung der Verbrauchsgeraden, also die Zunahme des Dieselvebrauchs pro Tonne Nutzlast, bei beiden Geraden gleich ist. Die Steigung verdeutlicht einen Mehrverbrauch von 0,7 Liter je zusätzlich geladene Tonne. Mit Hilfe der Daten wurde die Verbrauchsgerade aus Abbildung 5.1 erstellt.

Tabelle 5.1: Branchenspezifische Annahmen der Berechnung

Ø Verbrauch	Ø AL	Ø LF	Ø NL	Ø GAF	Ø GG
l/100 km	%	%	t	%	t
45	100	46	20	68,5	33,7

(eigene Tabelle)

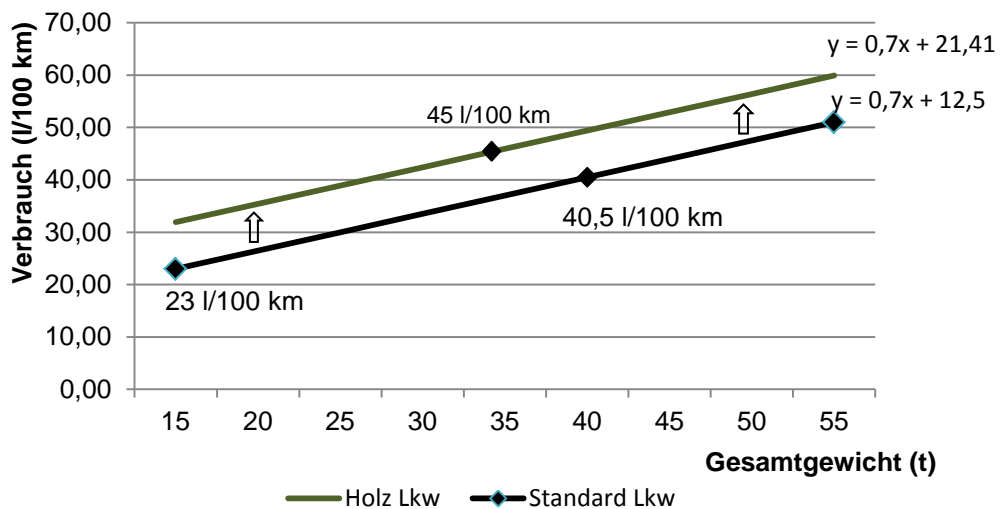


Abbildung 5.1: Angepasste Verbrauchskurven von Standard- und Holztransport-Lkw (eigene Abbildung)

Tabelle 5.2: Durchschnittsverbrauch je nach Gesamtgewicht bzw. Nutzlast

GG/NL	EV _{TTW}	EV _{WTW}	EV
t	MJ/100 km	MJ/100 km	l/100 km
20/0	1271,22	1455,35	35,41
40/20	1773,82	2030,75	49,41
44/24	1874,34	2145,83	52,21
46/26	1924,60	2203,37	53,61
48/28	1974,86	2260,91	55,01
50/30	2025,12	2318,45	56,41
52/32	2075,38	2375,99	57,81

(eigene Berechnung)

Mit Hilfe der Geraden wurden die Verbräuche der unterschiedlichen Fahrzeuggrößen berechnet. Wie von der Norm gefordert, wurden die Verbräuche in Liter, sowie der Primärenergieverbrauch und Endenergieverbrauch in Megajoule angegeben (siehe Kapitel 4.2). Tabelle 5.2 zeigt die Durchschnittsverbräuche der Fahrzeuge je nach Gesamtgewicht. Es wird ersichtlich, dass der Durchschnittsverbrauch je nach Gesamtgewicht unterschiedlich ausfällt und mit steigender Gewichtsgrenze zunimmt.

5.2 Spezifischer Energieverbrauch

Der spezifische Energieverbrauch wurde ermittelt, um den Verbrauch der Fahrzeuge pro Tonne und Kilometer darzustellen. Zur Berechnung wurde der Durchschnittsverbrauch pro 100 Kilometer der verschiedenen Fahrzeuge durch die jeweilige Nutzlast dividiert (siehe Kapitel 4.2.2). Dabei wurden die Werte aus Tabelle 5.3 ermittelt.

Tabelle 5.3: Spezifischer Verbrauch je nach Gesamtgewicht bzw. Nutzlast

GG/NL	E_{spez} (TTW)	E_{spez} (WTW)	E_{spez}
t	MJ/tkm	MJ/tkm	l/tkm
40/20	0,887	1,015	0,025
44/24	0,781	0,894	0,022
46/26	0,740	0,847	0,021
48/28	0,705	0,807	0,020
50/30	0,675	0,773	0,019
52/32	0,649	0,742	0,018

(eigene Berechnung)

Es zeigt sich, dass der spezifische Verbrauch, im Vergleich zum durchschnittlichen Verbrauch, mit ansteigender Nutzlast abnimmt. Je höher das Gesamtgewicht bzw. die Nutzlast, desto geringer ist der spezifische Energieverbrauch pro tkm.

5.3 Absoluter Energieverbrauch

Der absolute Energieverbrauch wurde mit Hilfe des spezifischen Verbrauchs sowie der Transportleistung berechnet. Es war dafür nötig, die Transportleistung des Holzsektors zu bestimmen. Die Transportleistung wurde mit Hilfe der zu transportierenden Volumina, baumartenspezifischen Umrechnungsfaktoren (siehe Anhang I), sowie mit zu bewältigenden Distanzen ermittelt (siehe Kapitel 4.2.3). Tabelle 5.4 und Tabelle 5.5 zeigen die Transportleistung für Stamm- und Industrieholz aus dem Jahr 2010.

Die gesamte Transportleistung für Stamm- und Industrieholz betrug 2010 demnach 4.195 Mio. tkm. Der Transport von Energieholz wurde in der Berechnung nicht betrachtet (siehe Kapitel 4.2.3). Mit Hilfe der Transportleistung sowie den spezifischen Energieverbräuchen konnte der gesamte Dieselverbrauch je nach Gesamtgewicht ermittelt werden (Tabelle 5.6, Abbildung 5.2). Außerdem ist aus Tabelle 5.6 der Kraftstoffverbrauch der anfallenden Leerfahrten ersichtlich. Ausgewiesen wurden die Werte dabei in der Einheit Liter und Megajoule. Berechnungsgrundlagen dazu befinden sich in Kapitel 4.2.3 und 4.2.4.

Tabelle 5.4: Transportleistung für Stammholz

	Fm	tL	km	tkm
Kiefer	6.992.810	5.827.342	84	489.496.700
Fichte	26.801.382	22.334.485	84	1.876.096.740
Buche	2.850.037	3.166.708	84	266.003.453
Eiche	655.772	728.636	84	61.205.387
	37.300.001	32.057.170		2.692.802.280

(eigene Berechnung)

Tabelle 5.5: Transportleistung für Industrieholz

	Fm	tL	km	tkm
Kiefer	5.240.757	4.367.298		
Fichte	5.323.234	4.436.028		
Buche	3.505.293	3.894.770		
Eiche	430.716	478.573		
	14.500.000	13.176.669		
TL der holzbearbeitenden Industrie		6.588.335	74	487.536.759
TL der Zell- und Holzstoffindustrie		6.588.335	154	1.014.603.526
Gesamt				1.502.140.285

(eigene Berechnung)

Tabelle 5.6: Absoluter Energieverbrauch in Liter (für beladene und ungeladene Fahrten)

GG/NL	BELADEN	UNBELADEN	GESAMT _{TTW}	GESAMT _{WTW}	GESAMT
t	Mio. Liter	Mio. Liter	Mio. MJ	Mio. MJ	Mio. Liter
40/20	103,64	68,33	6.174	7.068	171,97
44/24	91,26	56,94	5.320	6.091	148,20
46/26	86,50	52,56	4.992	5.715	139,06
48/28	82,42	48,81	4.711	5.393	131,22
50/30	78,88	45,55	4.467	5.114	124,43
52/32	75,78	42,71	4.254	4.870	118,49

(eigene Berechnung)

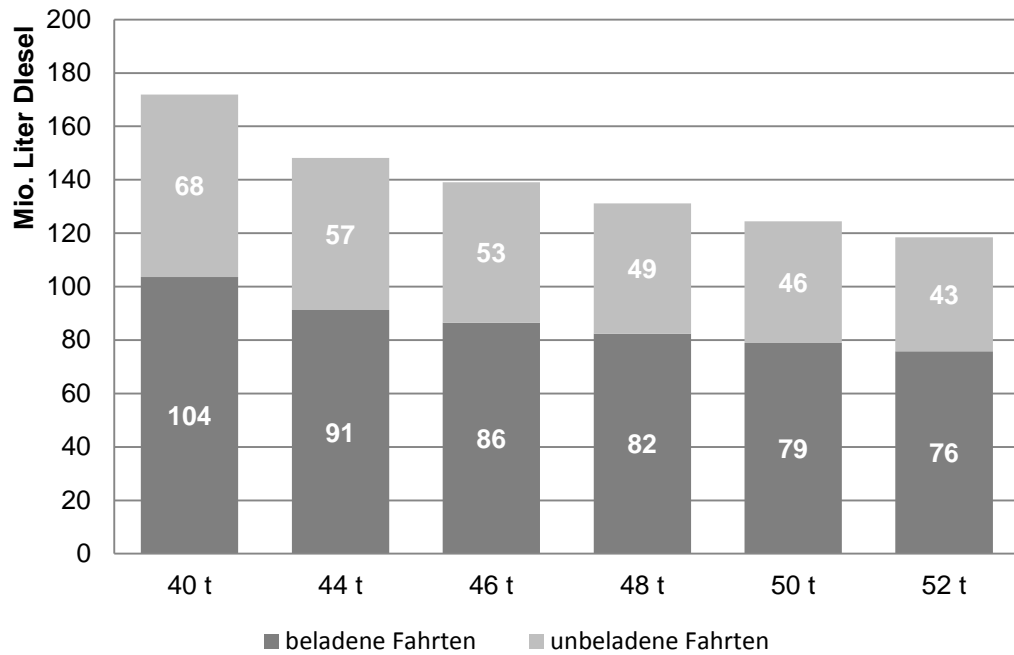


Abbildung 5.2: Kraftstoffverbrauch nach Gesamtgewicht (bei beladenen und unbeladenen Fahrten)
(eigene Abbildung)

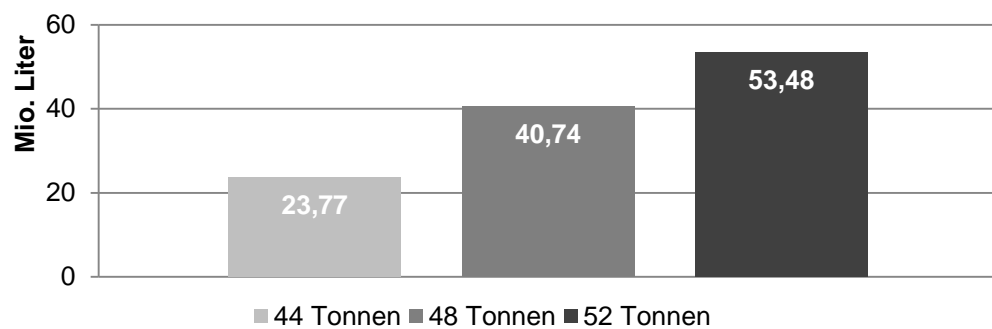


Abbildung 5.3: Kraftstoffeinsparung im Vergleich zum derzeit zulässigen Gesamtgewicht
(eigene Abbildung)

Gemäß Abbildung 5.2 nimmt der absolute Verbrauch der Fahrzeuge bei konstanter Transportleistung und zunehmender Ladung insgesamt ab. Es sind pauschal weniger Fahrten nötig und der absolute Kraftstoffverbrauch wird reduziert. Kraftstoffeinsparungen gegenüber Fahrzeugen mit 40 Tonnen Gesamtgewicht zeigt Abbildung 5.3. Bei einem Gewicht von 44 Tonnen liegt die jährliche Einsparung bei 23,77 Mio. Liter. Bei 48 Tonnen beträgt die Einsparung 40,74 Mio. Liter und bei 52 Tonnen 53,48 Mio. Liter. Verglichen mit dem Energieverbrauch bei 40 Tonnen entspricht dies einer Einsparung von 13,8 Prozent (44 t), 23,69 Prozent (48 t) bzw. 31,1 Prozent (52 t).

5.4 CO₂ und Treibhausgasemissionen

Mit Hilfe des absoluten Kraftstoffverbrauchs und den Emissionsfaktoren für CO₂ (TTW), CO₂ (WTW), THG (TTW) und THG (WTW) wurden CO₂ und alle weiteren Treibhausgasemissionen berechnet (siehe Kapitel 4.3). Unter Berücksichtigung des in Deutschland üblichen Biodieselanteils von 6 Prozent wurden Emissionen aus Tabelle 5.7 bzw. Abbildung 5.4 ermittelt.

Tabelle 5.7: CO₂ und Treibhausgasemissionen der Holztransportbranche

GG (t)	CO ₂ (TTW) t CO ₂	CO ₂ (WTW) t CO ₂	THG (TTW) t CO ₂ e	THG (WTW) t CO ₂ e
40/20	423.036	519.337	429.914	543.412
44/24	364.569	447.561	370.497	468.309
46/26	342.082	419.955	347.645	439.423
48/28	322.808	396.292	328.056	414.663
50/30	306.103	375.785	311.080	393.205
52/32	291.486	357.841	296.226	374.429

(eigene Berechnung)

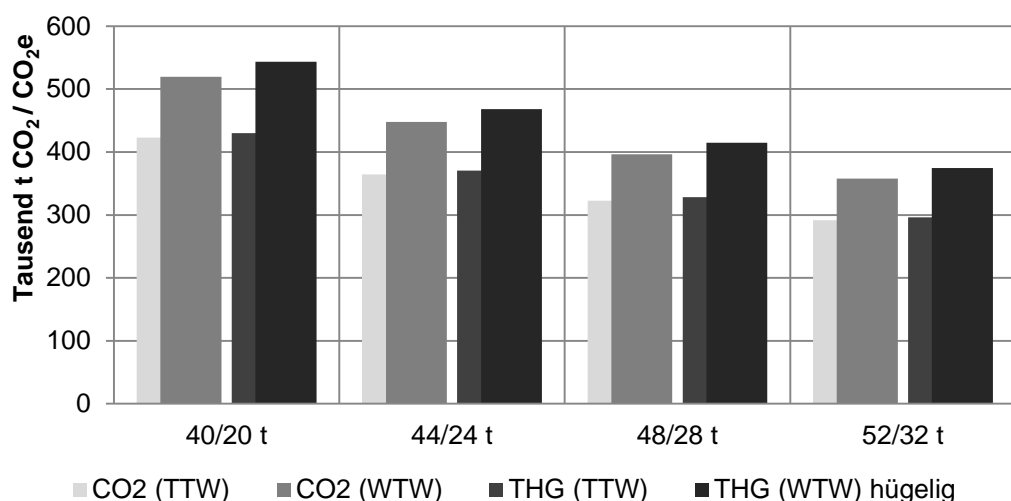


Abbildung 5.4: CO₂ und Treibhausgasemissionen je nach Gesamtgewicht bzw. Nutzlast

(eigene Abbildung)

Gemäß der getroffenen Annahmen verursachte der Transport von Stamm- und Industrieholz im Jahr 2010 somit 543.412 Tonnen WTW-Treibhausgase, 429.914 Tonnen TTW-Treibhausgase, 519.337 WTW-CO₂ Emissionen sowie 423.036 TTW-CO₂ Emissionen. Entscheidend sind dabei WTW-Treibhausgase, da sie neben Verbrennungsemissionen auch Treibhausgase berücksichtigen, die bei der Herstellung von Diesel anfallen (siehe Kapitel 4.3.2). Darüber hinaus inkludieren sie neben CO₂- auch Methan- und Lachgas-Emissionen (siehe Kapitel 4.3.3) und fallen daher am höchsten aus.

Die ermittelten Daten zeigen außerdem, dass Gesamtreibhausgase mit zunehmendem Gesamtgewicht abnehmen. Holztransporte mit einer Gewichtsgrenze von 44, 48 bzw. 52 Tonnen verursachen demnach jährlich weniger Emissionen, als Transporten mit 40 Tonnen. Abbildung 5.5 vergleicht die aktuellen Treibhausgase bei einem Gesamtgewicht von 40 Tonnen mit den Emissionen, die im Zusammenhang mit 44, 48 und 52 Tonnen emittiert werden würden.

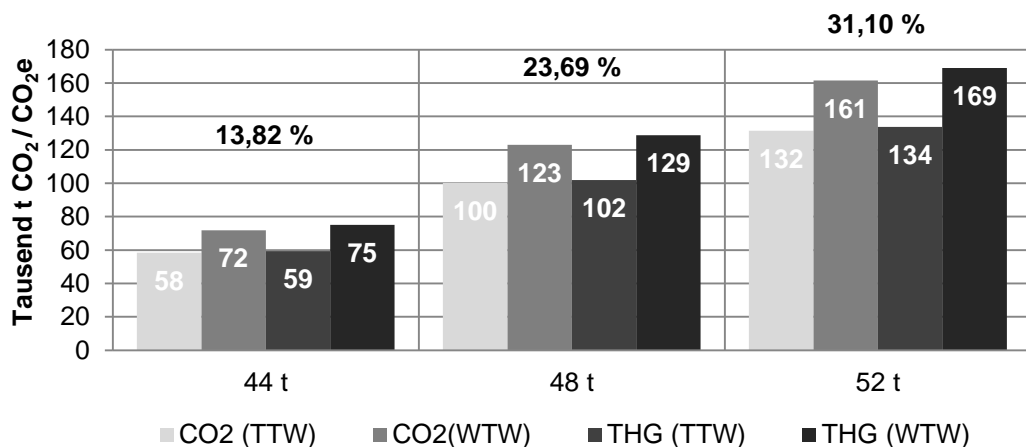


Abbildung 5.5: Treibhausgaseinsparung im Vergleich zum derzeit zulässigen Gesamtgewicht (eigene Abbildung)

Gemäß Abbildung 5.5 reduziert eine Gewichtsgrenze von 44 Tonnen transportbedingte WTW-Treibhausgase jährlich um etwa 75.000 Tonnen CO₂. TTW-Treibhausgase sind um ca. 59.000 Tonnen CO₂e geringer als bei Transporten mit 40 Tonnen Gesamtgewicht. WTW-CO₂ Emissionen verringern sich um rund 72.000 Tonnen CO₂ und TTW-CO₂ Emissionen um ca. 58.000 Tonnen. Durch eine Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichts auf 44 Tonnen könnten jährlich somit etwa 14 Prozent der aktuellen holztransportbedingten Emissionen eingespart werden.

Bei einer Gewichtsgrenze von 48 Tonnen wäre die Einsparung noch höher und läge für WTW-Treibhausgase bei etwa 129.000 Tonnen CO₂e. Gegenüber dem derzeit zulässigen Gesamtgewicht von 40 Tonnen könnte eine Gewichtsgrenze von 48 Tonnen demnach etwa 24 Prozent der derzeitigen Treibhausgase einsparen.

Die größte Emissionsminderung von rund 169.000 Tonnen WTW-Treibhausgasen würde sich bei einer Gewichtsgrenze von 52 Tonnen ergeben. Insgesamt können dadurch rund 31 Prozent der Gesamtemissionen eingespart werden. Die prozentuale Emissionsreduktion entspricht dabei gleichzeitig den Kraftstoffeinsparungen aus Abbildung 5.3.

5.5 Sensitivitätsanalyse

Der Verbrauch von Lkw hängt neben der Beladung bzw. Gewicht von weiteren Faktoren ab. Einfluss haben beispielsweise Fahrtgeschwindigkeit, Fahrverhalten oder Wirkungsgrad des Motors. Einen großen Einfluss auf den Verbrauch hat außerdem die Topographie der gefahrenen Strecke. Zu den verwendeten Routen stehen allerdings keine Daten zur Verfügung und somit auch nicht zur Topographie. Für die Berechnung wurde daher eine mittlere Topographie mit einer durchschnittlichen Steigung von 1 Prozent („hügelig“) gewählt.

Prinzipiell könnten Holztransporte aber auch vorwiegend auf flachen oder bergigen Strecken stattfinden. Dementsprechend würden auch die Verbrauchsgerade sowie resultierende Gesamtemissionen anders verlaufen. Der methodische Ansatz entspricht somit eher einem Versuchsaufbau. Um den ermittelten Werten eine größere Breite zu geben, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Energieverbräuche bzw. Emissionen wurden zusätzlich auf Basis flacher bzw. bergiger Topographie berechnet.

Gemäß der Verbrauchsdaten aus HBEFA verlaufen Verbrauchsgeraden von Sattelmaschinen, je nach Topographie, mit einer Steigung zwischen 0,496 und 0,888. Abbildung 5.6 zeigt den Verlauf des Verbrauchs der Holzfahrzeuge nach Topographien „flach“ (durchschnittlich 0% Steigung), „hügelig“ (durchschnittlich 1% Steigung) und „bergig“ (durchschnittlich 2% Steigung) im Zusammenhang mit Gesamtgewicht bzw. Nutzlast.

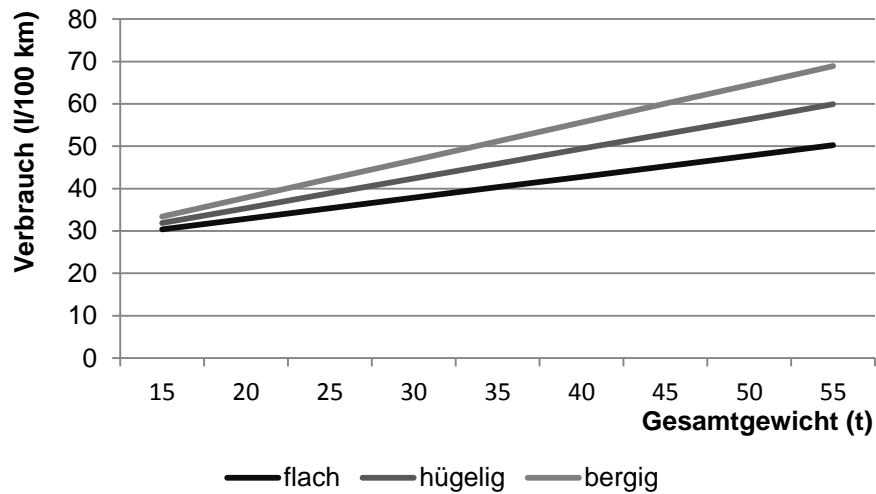


Abbildung 5.6: Verbrauchskurve je nach Topographie

(eigene Abbildung)

Gemäß Abbildung 5.6 ist das Verhältnis zwischen Durchschnittsverbrauch und Gesamtgewicht bei flacher Topographie geringer als bei hügeliger Topographie. Bei bergiger Topographie ist der Zusammenhang am höchsten. Pro Tonne Nutzlast ist hier ein Mehrverbrauch von 0,888 l/100 km zu verzeichnen. Dementsprechend sind die Werte, die für Treibhausgase auf Grundlage von bergiger Topographie berechnet wurden, am höchsten (Abbildung 5.7).

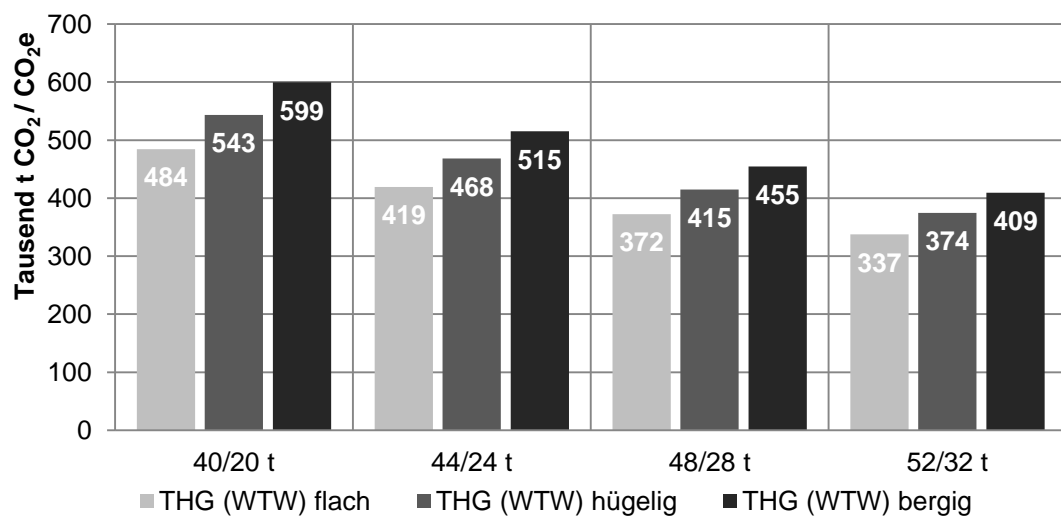


Abbildung 5.7: Treibhausgasemissionen je nach Topographie

(eigene Abbildung)

Gemäß Abbildung 5.7 verursachen Holztransporte bei flacher Topographie die geringsten Treibhausgasemissionen. Bei einem Gesamtgewicht von 40 Tonnen und einem flachem Längsneigungsprofil werden jährlich Emissionen in Höhe von 484.000 Tonnen CO₂e emittiert. Sie liegen damit ca. 11 Prozent unter den Werten von Transporten, die auf Basis hügeliger Topographie berechnet wurden. Treibhausgase, welche mit Hilfe der Daten zu bergiger Topographie berechnet werden, betragen demgegenüber etwa 599.000 Tonnen CO₂e und liegen damit 10 Prozent über den Ausgangsemissionen.

Insgesamt sinken die Emissionen mit steigendem Gesamtgewicht unabhängig von der Topographie. Da Treibhausgase auf Basis von bergigem Längsneigungsprofil für jedes Gesamtgewicht jeweils am höchsten ausfallen, liegt entsprechend auch die Treibhausgaseinsparung bei bergiger Topographie am höchsten (siehe Abbildung 5.8). Abbildung 5.8 zeigt außerdem, dass Emissionseinsparungen mit steigender Gewichtsgrenze zunehmen.

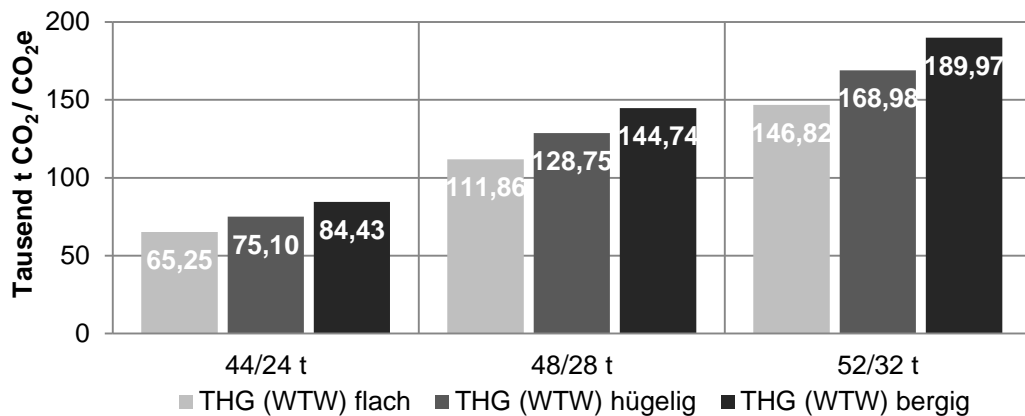


Abbildung 5.8: Treibhausgaseinsparung je nach Topographie

(eigene Abbildung)

6 Diskussion

Wie in Kapitel 5 ersichtlich, führt eine Erhöhung der Gewichtsgrenzen zu einer Reduzierung des absoluten Kraftstoffverbrauchs sowie einer Minderung der transportbedingten CO₂- und Treibhausgasemissionen. Der Mehrverbrauch durch die erhöhte Ladung fällt dagegen nicht maßgeblich ins Gewicht. Je nach Grenzgewicht fallen eingesparte Treibhausgase unterschiedlich aus und erhöhen sich mit steigendem Gesamtgewicht.

Der durchschnittliche Verbrauch der Fahrzeuge nimmt mit steigendem Gesamtgewicht zu (Tabelle 5.2). Ein Fahrzeug mit 40 Tonnen verbraucht durchschnittlich 45 l/100 km (KÖHLER 2011) und liegt damit ca. 29 Prozent über dem Verbrauch eines Standard-Lkw. Dies deckt sich in etwa mit den Berechnungen von BORCHERDING (2007), in dessen Erhebung der Verbrauch von Holzfahrzeugen etwa 34 Prozent über dem von Standard-Lkw liegt. Die Abweichung lässt sich dadurch erklären, dass der von BORCHERDING (2007) verwendete Verbrauch Ladetätigkeiten berücksichtigt, während die 45 l/100 km lediglich den Verbrauch des Fahrzeugs im fahrenden Zustand betrachten. DIN 16258 fordert eigentlich den Energieverbrauch durch Be- und Entladung zu berücksichtigen, da aber auch die Verbrauchsgerade der Standard-Lkw keine Ladetätigkeiten beinhaltet (siehe Kapitel 4.2.1) und die Berechnung daran angelehnt wurde, werden in der vorliegenden Studie Ladetätigkeiten ebenfalls nicht berücksichtigt. Bei der Interpretation der Daten muss daher bedacht werden, dass in der Treibhausgasberechnung die Emissionen der Fahrzeuge im fahrenden Zustand betrachtet wurden.

Der spezifische Verbrauch der Fahrzeuge, also der Verbrauch pro Tonne und Kilometer, nimmt im Vergleich zum Durchschnittsverbrauch mit ansteigender Nutzlast ab (siehe Tabelle 5.3). Je höher das Gesamtgewicht bzw. die Nutzlast, desto geringer ist der spezifische Energieverbrauch pro tkm. Für 40-Tonnen Fahrzeuge wurde in Kapitel 5.2 ein spezifischer Verbrauch von 0,022 l/tkm ermittelt. Verglichen mit Daten aus der Literatur ergeben sich ähnliche Werte. Der Deutsche Speditions- und Logistikverband (DSL) (2011) empfiehlt für die Berechnung von Treibhausgasen beim Transport von Massengütern einen spezifischen Verbrauch von 0,020 l/tkm zu verwenden. SCHWAIGER und ZIMMER (2001) ermittelten in ihrer vergleichenden Analyse von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Waldoperationen in Europa einen spezifischen Verbrauch von 0,022. Dieser Wert beinhaltet allerdings neben Holztransporten auch Fäll- und Schlepparbeiten. Der Wert für den reinen Holztransport liegt bei 0,013 und stammt aus dem Jahr 1984. Die genauen Berech-

nungsgrundlagen dazu stehen nicht zur Verfügung. Nachdem sich der ermittelte Wert jedoch zumindest mit der aktuellen DSLV-Studie deckt, kann er als repräsentativ angesehen werden.

Der absolute Verbrauch der Fahrzeuge nimmt bei konstanter Transportleistung und zunehmender Ladung insgesamt ab (siehe Abbildung 5.2). Für Transporte mit einem Gesamtgewicht von 44 Tonnen ergibt sich eine Einsparung von 13,82 %. 23,69 Prozent beträgt die Reduktion bei 48 Tonnen und 31,10 Prozent bei 52 Tonnen. Selbiges gilt für die resultierenden Treibhausgase, die mit Hilfe des absoluten Energieverbrauchs sowie einem Emissionsfaktor berechnet wurden. STECKEL (2007) ermittelte in seiner Studienarbeit in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) eine Absenkung des Dieserverbrauchs und CO₂ Emissionen zwischen 16 und 18 Prozent bei einem Gesamtgewicht von 45 Tonnen. Für ein Gesamtgewicht von 50 Tonnen berechnete STECKEL (2007) eine Einsparung zwischen 24 und 28 %, je nach Topographie.

Im Rahmen der momentanen Klimaschutzdebatte setzte sich die Bundesregierung das Ziel, transportbedingte Treibhausgase bis 2020 um 30 Mio. Tonnen CO₂ gegenüber 2005 zu verringern (UMWELTBUNDESAMT 2010). Eine Erhöhung der Gewichtsgrenzen bei Holztransporten könnte dazu einen Beitrag leisten. Setzt man die berechneten Einsparungen an CO₂ WTW Emissionen in diesen Kontext, ergeben sich folgende Beiträge zur geplanten Minderung:

44 Tonnen:	0,24 %
48 Tonnen:	0,41 %
52 Tonnen:	0,54 %

Betrachtet man demgegenüber lediglich den Straßenverkehr, ohne die Emissionen des Flug- und Bahnverkehrs, ergeben sich noch höhere prozentuale Einsparungen. Die Gesamtemissionen des Straßenverkehrs, die jährlich im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar ausgewiesen werden, betragen im Jahr 2009 144,6 Mio. Tonnen CO₂ (UMWELTBUNDESAMT 2011). Unter den getroffenen Annahmen (WTW CO₂ Emissionen) hat der Holztransport daran derzeit einen Anteil von 0,36 Prozent und würde sich mit erhöhten zulässigen Gewichtsgrenzen folgendermaßen entwickeln:

44 Tonnen:	0,31 %
48 Tonnen:	0,27 %
52 Tonnen:	0,25 %

In Kapitel 5.5 wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um Unsicherheiten bezüglich Topographie aufzuzeigen. Treibhausgasemissionen und deren Einsparung würden bei vorwiegend flacher Topographie geringer ausfallen als auf Basis hügeliger Topographie (siehe Abbildung 5.7 und Abbildung 5.8). Bei bergiger Topographie würden Emissionen höher ausfallen als bei Hügeliger, ebenso wie die resultierende Treibhausgasreduktion.

Bei einer abweichenden Topographie würde sich auch der Beitrag zur geplanten Treibhausgasreduzierung im Verkehrssektor verändern. Für Emissionsberechnungen basierend auf flacher bzw. Topographie wird eine Erhöhung der Gewichtsgrenzen die geforderte Minderung von 30 Mio. Tonnen CO₂ insgesamt mit niedrigeren Werten in die Berechnung eingehen. Extremere Topographien resultieren zwar in höheren Emissionen, gleichzeitig steigt auch der Beitrag zu den deutschen Klimaschutzzielen.

flache Topographie:	bergige Topographie:
44 Tonnen: 0,22 %	44 Tonnen: 0,28 %
48 Tonnen: 0,37 %	48 Tonnen: 0,48 %
52 Tonnen: 0,49 %	52 Tonnen: 0,63 %

Es bleibt anzumerken, dass die ermittelten Treibhausgasemissionen nur einen Teil der rohholztransportbedingten Emissionen darstellen. Berechnet wurden lediglich die Emissionen, die beim Transport von Stamm- und Industrieholz, zwischen Wald und Werk anfallen. Der Holzrohstoffmarkt umfasst darüber hinaus jedoch noch Sägenebenprodukte, Waldhackschnitzel, Rinde, Schwarzlauge, Altholz, Landschaftspflegeholz und Holz der EnergieproduktHersteller (MANTAU 2012). Der Holzsektor beinhaltet außerdem noch Halbwaren wie Schnittholz sowie Fertigwaren. Die Stamm- und Industrieholzmengen (inkl. anhaftender Rinde), welche an die Säge-, Holzwerkstoff sowie Holz- und Zellstoffindustrie geliefert werden, entsprechen einem Anteil am gesamten Rohholzaufkommen von rund 42 und am Waldholzaufkommen von etwa 65 Prozent (eigene Berechnungen nach MANTAU 2012). Bei der Interpretation der Daten muss daher beachtet werden, dass die ermittelten Treibhausgase lediglich ca. 65 Prozent der Transporte von Waldholz abdecken und die Emissionen des gesamten Rohholztransportsektors dementsprechend höher liegen. Auch die Entwicklung der zukünftig geernteten und transportierten Holzmenge ist unklar. Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, schwankt die Holzernte von Jahr zu Jahr teilweise erheblich. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass bei aufkommenden

Orkanen teils erhebliche Schadh Holz mengen anfallen, die auf Grund drohender Folgeschäden schnellstmöglich aus dem Wald befördert werden müssen.

Grundsätzlich soll die Güterverkehrsleistung auf deutschen Straßen um bis zu 59 Prozent ansteigen (BÜHLER 2006) und auch in der Holzindustrie wird mit einer erhöhten Nachfrage gerechnet (ZEISLER 2011), mittelfristig kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auf Grund zunehmender Nutzungseinschränkungen in Deutschland das aus inländischem Holzeinschlag stammende Holzaufkommen zurückgeht (OHNESORGE 2012). Inwiefern die Nachfrage durch zusätzliche Importe gedeckt werden kann, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie beispielsweise der Nachfrageentwicklung in europäischen Nachbarländern oder der Kapazitätsentwicklung der Energie- und Holzwirtschaft in Deutschland. Im Energiesektor ist mit einer erheblichen Nachfragesteigerung zu rechnen, wobei hier künftig vor allem Hackgut eine Rolle spielen wird (OHNESORGE 2012). Die ermittelten Treibhausgasemissionen spiegeln demnach lediglich die derzeitige Situation wieder. In wie weit sie für die kommenden Jahre übertragbar ist, hängt hauptsächlich von der zu befördernden Menge Rohholz ab, aber auch von zukünftigen Entwicklungen der Fahrzeugemissionen.

Gegner von Gewichtserhöhungen thematisieren häufig die drohenden Straßenschäden, die im Zusammenhang mit der erhöhten Flächenpressung und Belastungsfrequenz zu erwarten sind. Die Bundesregierung rechnet beispielsweise mit einer erheblichen Belastung der öffentlichen Haushalte mit Mehrausgaben für den Straßenbau (DEUTSCHER BUNDESTAG 2004). Andere Kritiker erwarten auf Grund erhöhter Baumaßnahmen oder Verkehrsverlagerung insgesamt sogar steigende Emissionen im Zusammenhang mit erhöhten zulässigen Gewichtsgrenzen (vgl. bspw. STOCK 2007; UMWELTBUNDESAMT 2007).

Wenn zulässige Gesamtgewichte lediglich im Holzsektor erhöht werden würden, könnten resultierende Emissionen durch Verkehrsverlagerung oder Straßenerhaltungsmaßnahmen minimiert werden (VORHER ET AL. 2005). Wie weiter oben erwähnt, hat der Holztransport in Deutschland unter den getätigten Annahmen einen Anteil von lediglich 0,36 Prozent am gesamten Straßenverkehr. Es wäre also lediglich ein geringer Teil der in Deutschland eingesetzten Lkw mit erhöhten Gewichtsgrenzen ausgestattet. Auch eine Verkehrsverlagerung von der Schiene auf die Straße wäre kaum zu befürchten. Holz ist auf Grund hoher Umschlagkosten auf den Transport per Lkw angewiesen und wird im Vergleich zu anderen Massengütern schon heute zu etwa 90 Prozent per Lkw transportiert (siehe Kapitel 2.4).

Darüber hinaus sind Transporte bis 48 Tonnen mit den meisten der heute eingesetzten Holzfahrzeuge technisch realisierbar (VORHER ET AL. 2005). Gemäß den Berechnungen von STECKEL (2007) sind Holztransporte unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Achslasten bei 6-achsigen Gliederzügen sogar bis zu einem Gesamtgewicht von 50 Tonnen möglich. In wie fern die Fahrzeuge dabei umgebaut bzw. aufgerüstet werden müssten, wurde jedoch nicht erhoben. Es bleibt daher zu prüfen, ob durch Umbaumaßnahmen zusätzliche Treibhausgasemissionen zu erwarten wären.

Im Zusammenhang mit Überladungen als problematisch anzusehen ist, dass Straßen und Brücken auf die derzeit zugelassenen Maße und Gewichte ausgelegt sind und schwerere Lkw deutliche Straßenschäden verursachen können (DEUTSCHER BUNDESTAG 2004). Kritischer Faktor für Straßenschäden ist jedoch weniger das erhöhte Gesamtgewicht, sondern eher das Gewicht pro Achse, sowie die Bereifung der Fahrzeuge. Beispielsweise hat eine derzeit übliche 11,5 Tonnen Antriebsachse mit insgesamt 12 Reifen eine rund 50 Prozent höhere Straßenbelastung als ein 6-Achser mit Zwillingsbereifung und 47 Tonnen Gesamtgewicht (BRINKROLF 2011). Desweiteren ist Einfachbereifung etwa 1,5- bis 2-mal schädlicher als Zwillingsbereifung (ebenda). Bei mindestens 6 Achsen und Zwillingsbereifung wäre somit selbst ein Gesamtgewicht von 48 Tonnen weniger schädlich als ein 40 Tonner auf 5 Achsen.

Einen positiven Beitrag könnten erhöhte Gesamtgewichte hinsichtlich dem derzeit stattfindenden Dienstleistersterben in der Holztransportbranche leisten (ZEISLER 2011). Die letztlich stark angestiegenen Dieselpreise machen den Holztransport heute kaum mehr rentabel und bieten Spediteuren wenig Investitionsmöglichkeiten und Handlungsspielraum (ebenda). Auch die problematische Personalsituation, mit vielen Fahrern über 50 Jahren und wenigen Nachwuchskräften erhöht die zukünftige Gefahr einer suboptimalen Versorgung der Sägewerke und Holzindustrie (ebenda). Durch erhöhte Gesamtgewichte könnten Transportpreise wieder steigen, der Holztransport wäre wieder rentabel und eine optimale Versorgung wäre gesichert. Wie der Markt im Detail im Zusammenhang mit erhöhten Gesamtgewichten reagieren würde, bleib dabei noch zu prüfen.

7 Handlungsempfehlung

In der vorliegenden Studie wurden sämtliche Emissionen berechnet, die beim Transport von Stamm- und Industrieholz in Deutschland im Jahr 2010 emittiert wurden und es wurde berechnet, wie sich Emissionen im Zuge einer Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichts entwickeln würden. Insgesamt führt eine Anhebung der Gewichtsgrenzen zu einer Reduzierung transportbedingter Treibhausgasemissionen. Eine Erhöhung der zulässigen Gesamtgewichte im Rahmen der STVZO wäre damit besonders hinsichtlich der deutschen Klimaschutzziele eine begrüßenswerte Maßnahme und könnte zur geplanten Emissionsminderung der Bundesregierung einen wesentlichen Beitrag leisten. Je höher dabei die Gewichtsgrenze, desto höher die Treibhausgaseinsparung sowie der Beitrag zu den deutschen Klimaschutzzielen. Aus Sicht des Klimaschutzes wären demnach Gewichtsgrenzen von 52 Tonnen zu empfehlen.

Erwartete Emissionen durch die Beseitigung von Straßenschäden könnten minimiert werden, wenn sich Gewichtsanhebungen lediglich auf den Holzsektor beschränken würden. Eine geringe zusätzliche Belastung wäre außerdem durch eine erhöhte Achsenanzahl begünstigt. Eine wissenschaftliche Erhebung liegt dazu jedoch nicht vor und der Zusammenhang bleibt zu überprüfen. Wie in Kapitel 6 erwähnt, hat der Holztransport in Deutschland lediglich einen Anteil von 0,36 Prozent am gesamten Straßenverkehr. Außerdem wäre eine Verkehrsverlagerung von der Schiene auf die Straße im Sektor Holz kaum zu befürchten. Es wäre demnach sehr zu empfehlen, Gewichtsgrenzen lediglich für die Holzbranche zu erhöhen.

Zusätzlich könnten sich erhöhte Gesamtgewichte hinsichtlich des derzeit stattfindenden Dienstleistersterbens im Transportsektor Holz durchaus positiv auswirken. Die hohen Transportpreise könnten wieder angepasst werden und eine optimale Versorgung der Sägewerke und Holzindustrie sichergestellt werden (siehe Kapitel 6). Die genaue Reaktion des Holzmarktes bleibt jedoch ebenfalls noch zu überprüfen.

8 Fazit

Die deutsche Holzindustrie erleidet auf Grund niedriger zulässiger Gesamtgewichte bei Lkw-Transporten einen Wettbewerbsnachteil im Vergleich zu anderen Staaten Europas. Besonders hinsichtlich der letztlich stark angestiegenen Dieselpreise wird daher schon länger eine Anpassung bzw. Erhöhung der derzeit zulässigen Gewichtsgrenzen gefordert. Die Bundesregierung lehnte eine Heraufsetzung der Gesamtgewichte jedoch ab, weil dies erhöhte Kosten für den Straßenbau bedeuten könnte.

Verschiedene Quelle erwarten, dass im Zuge einer Gewichtserhöhung neben Transportkosten auch transportbedingte Treibhausgasemissionen reduziert werden könnten. Eine wissenschaftliche Erhebung lag zu dem Thema jedoch nicht vor. In der vorliegenden Studie wurde daher überprüft, wie sich Treibhausgase des Holztransportsektors im Rahmen einer Erweiterung des zulässigen Gesamtgewichts entwickeln würden.

Wie erwartet, führen, unter den getroffenen Annahmen, zusätzliche Ladekapazitäten zu weniger Lkw-Fahrten, sowie zu einem reduzierten Kraftstoffverbrauch und geringeren Gesamtemissionen bei Holztransporten. Der Mehrverbrauch durch die erhöhte Ladung fällt dagegen, selbst bei Betrachtung von verschiedenen Szenarien, nicht maßgeblich ins Gewicht. Besonders in Anbetracht der deutschen Klimaschutzziele wäre eine Erhöhung der Gewichtsgrenzen daher sehr begrüßenswert.

In wie weit sich höhere Gesamtgewichte auf Straßenbeläge und deren Erhaltungsmaßnahmen auswirken würden, kann derzeit nur abgeschätzt werden. Wenn Gesamtgewichte lediglich für Holztransporte erhöht werden würden und gleichzeitig eine höhere Achsenanzahl gefordert wäre, könnten zu erwartende Straßenerhaltungsmaßnahmen sowie resultierende Emissionen minimiert werden. Weitere positive Aspekte der Gewichtsanhebung bestünden in der Sicherstellung einer optimalen Holzversorgung und Rentabilität sowie einer Beeinflussung des derzeitigen Dienstleistersterbens. Die genauen Zusammenhänge bleiben dabei noch zu prüfen.

III. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2.1: EINSCHLAG NACH HOLZARTENGRUPPEN ZWISCHEN 1996 UND 2010 IN DEUTSCHLAND.....	6
ABBILDUNG 4.1: ANGEPASSTE VERBRAUCHSKURVEN VON STANDARD- UND HOLZTRANSPORT-LKW	27
ABBILDUNG 4.2: ÜBERBLICK ÜBER DIE BERÜCKSICHTIGTEN BEREICHE DER VORKETTE	31
ABBILDUNG 5.1: ANGEPASSTE VERBRAUCHSKURVEN VON STANDARD- UND HOLZTRANSPORT-LKW	35
ABBILDUNG 5.2: KRAFTSTOFFVERBRAUCH NACH GESAMTGEWICHT (BEI BELADENEN UND UNBELADENEN FAHRTEN)	39
ABBILDUNG 5.3: KRAFTSTOFFEINSPARUNG IM VERGLEICH ZUM DERZEIT ZULÄSSIGEN GESAMTGEWICHT	39
ABBILDUNG 5.4: CO ₂ UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN JE NACH GESAMTGEWICHT BZW. NUTZLAST.....	40
ABBILDUNG 5.5: TREIBHAUSGASEINSPARUNG IM VERGLEICH ZUM DERZEIT ZULÄSSIGEN GESAMTGEWICHT	41
ABBILDUNG 5.6: VERBRAUCHSKURVE JE NACH TOPOGRAPHIE.....	43
ABBILDUNG 5.7: TREIBHAUSGASEMISSIONEN JE NACH TOPOGRAPHIE	43
ABBILDUNG 5.8: TREIBHAUSGASEINSPARUNG JE NACH TOPOGRAPHIE	44

IV. Tabellenverzeichnis

TABELLE 2.1 TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN DER GÄNGIGEN HOLZTRANSPORTER	11
TABELLE 2.2: TRANSPORTENTFERNUNGEN BEI DER ROHHOLZBESCHAFFUNG DER SÄGEWERKE, HOLZWERKSTOFFINDUSTRIE, ZELLSTOFF- UND PAPIERINDUSTRIE NACH VERSCHIEDENEN DATENQUELLEN.....	12
TABELLE 2.3: ZULÄSSIGE GESAMTGEWICHTE EINIGER EU STAATEN.....	15
TABELLE 3.1: MÖGLICHE UMWELTPROBLEMFELDER UND WIRKUNGSKATEGORIEN NACH ISO 14040 UND 14044.....	17
TABELLE 3.2: TREIBHAUSGASE GEMÄß KYOTO-PROTOKOLL UND DEREN GWP	18
TABELLE 4.1: STAMM- UND INDUSTRIEHOLZVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND.....	28
TABELLE 4.2: CO ₂ - UND TREIBHAUSGASUMRECHNUNGSFAKTOREN BEI EINEM BIODIESELANTEIL VON 6 %.....	33
TABELLE 5.1: BRANCHENSPEZIFISCHE ANNAHMEN DER BERECHNUNG	35
TABELLE 5.2: DURCHSCHNITTsverbrauch JE NACH GESAMTGEWICHT BZW. NUTZLAST.....	35
TABELLE 5.3: SPEZIFISCHER VERBRAUCH JE NACH GESAMTGEWICHT BZW. NUTZLAST.....	36
TABELLE 5.4: TRANSPORTLEISTUNG FÜR STAMMHOLZ.....	37
TABELLE 5.5: TRANSPORTLEISTUNG FÜR INDUSTRIEHOLZ	38
TABELLE 5.6: ABSOLUTER ENERGIEVERBRAUCH IN LITER (FÜR BELADENE UND UNGELADENE FAHRTEN)	38
TABELLE 5.7: CO ₂ UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER HOLZTRANSPORTBRANCHE.....	40

V. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
%	Prozent
§	Paragraph
a	Jahr
AL	Auslastung
BMU	Bundesumweltministerium
bspw.	Beispielsweise
BWI2	Zweite Bundeswaldinventur
bzw.	Beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	Circa
CH ₄	Methan
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	CO ₂ Äquivalent
DIN	Deutsches Institut für Normung
EU	Europäische Union
Fm	Festmeter
GAF	Gesamtauslastungsfaktor
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GG	Gesamtgewicht
GHG-Protocol	Greenhouse Gas Protocol
GRI	Global Reporting Initiative
GWP	Global Warming Potential
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
HFC	Fluor-Kohlenwasserstoffe
i.A.	im Auftrag
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organisation for Standardisation
km	Kilometer
l	Liter
LF	Leerfahrten
Lkw	Lastkraftwagen
m ³	Kubikmeter
max.	maximal
Mio.	Millionen
MJ	Magajoule
N ₂ O	Distickstoffoxid
NIR	National Inventory Report

NL	Nutzlast
Ø	Durchschnitt
O ₂	Sauerstoff
PCF	Product Carbon Footprint
PFC	Perfluorcarbone
prEN	Draft European Standard
Rm	Raummeter
s.o.	siehe oben
SF ₆	Schwefelhexafluorid
StBA	Statistisches Bundesamt
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
t	Tonnen
tA	Tonne-Atro
THG	Treibhausgas
tkm	Tonnenkilometer
tL	Tonne-Lutro
TL	Transportleistung
TTW	Tank-to-Wheel
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WG	Working Group
WTW	Well-to-Wheel
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht

VI. Literaturverzeichnis

AGR (2013) Positionspapier zum zulässigen Gesamtgewicht von Rohholztransporten in Deutschland. Arbeitsgemeinschaft Rohholzverbraucher e.V. in Zusammenarbeit mit der Deutschen Säge- und Holzindustrie e.V., Berlin

AMT FÜR VERÖFFENTLICHUNGEN (2009) Richtlinie 2009/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikationen für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG

BDI (2008) Effizienzsteigerungen im Straßengüterverkehr: BDI-Position zur Diskussion über die Anpassung der Vorgaben zu Abmessungen und Gewichten im Straßengüterverkehr. Berlin

BODELSCHWINGH, E. VON (2006) Analyse der Rundholzlogistik in der Deutschen Forst- und Holzwirtschaft – Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management. Dissertation. Technische Universität München

BORCHERDING, M. (2007) Rundholztransportlogistik in Deutschland – eine transaktionskostenorientierte empirische Analyse. Dissertation. Universität Hamburg

BRINKROLF, J. (2011) Gigaliner, Megaliner, 60-Tonner - einige Fakten zu Straßenschäden. Rheda-Wiedenbrück. Online verfügbar unter <http://www.brinkrolf.com/lkw/index.htm> (01.04.2012)

BÜHLER, G. (2006) Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr - Eine Analyse ordnungs- und preispolitischer Maßnahmen. Berlin

BAST (2006) Schlussbericht zu den Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), 2. Aufl., Langfassung. Bergisch Gladbach 2006

BUNDESAMT FÜR UMWELT; WALD UND LANDSCHAFT (2004) Branchenprofil der Wald- und Holzwirtschaft 2001. Bern

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (2012) Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung §34. StVZO

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2011) Holzmarktbericht 2010 - Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2010. Bonn

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ; ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2004) Verstärkte Holznutzung – Charta für Holz. Berlin

BMVBS (2003) Bundesverkehrswegeplan 2003. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.). Berlin
<http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/34254/publicationFile/10825/bundesverkehrswege-plan-2003-beschluss-der-bundesregierung-vom-02-juli-2003.pdf>

- BMWi/BMU (2010) Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung,
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf (letzter Abruf: 6. Mai 2013)
- CONRADIE, I.; GREENE, W.; CLUTTER, M. (2004) The Impact of a Mill Policy to Discourage Overweight Log Trucks. In: *Southern Journal of Applied Forestry* (28), S. 132–136
- COTTIGNIES, M. (2010) Measuring energy consumption and GHG emissions of transport services. CEN CENELEC meeting Brussels. Brüssel
- DETTENDORFER, K. (2008) Holzhandelsvolumen der Transportsysteme und Kostenstrukturen. Diplomarbeit. Universität Hamburg
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2004) Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Georg Schirmbeck, Peter H. Carstensen, Albert Deß, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der CDU/CSU. Berlin. Online verfügbar unter <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/15/023/1502398.pdf> (01.04.2012)
- DEVT0907450D (2009) Décret n° 2009-780 du 23 juin 2009 relatif au transport de bois ronds et complétant le code de la route, article 1, section 4, Transports de bois ronds, Art.R. 433-12. Dekret zur Verordnung Verordnung vom 29. Juni 2009 über den Transport von Rundholz (Amtsblatt Nr. 0155 vom 7. Juli 2009, Seite 11234, Punkt 8)
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020787852&dateTexte=&categorieLien=id>>
- DIN 16258 (2011) Methode zur Berechnung und Deklaration von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen
- EG (1996) Richtlinie zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr, <http://www.euro-combi.de/dwl/EU-Richtlinie%2096-53.pdf> (Stand: 12.02.2013)
- GOTHE, D.; HAHNE, U. (2005) Regionale Wertschöpfung durch Holz-Cluster - Best-Practice Beispiele regionaler Holz-Cluster aus den Bereichen Holzenergie, Holzhaus- und Holmöbelbau. In: *Wald-Arbeitspapiere (Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft)* (11), S. 1–50
- HAFNER, F. (1964) Der Holztransport -Handbuch für Rückung, Lagerung, Ladeverfahren u. Haupttransport. Wien
- HBEFA 3.1 (2011) Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, im Auftrag der Umweltbundesämter von Deutschland, Schweiz und Österreich sowie weiterer Länder. Bern
- INSTITUT FÜR ENERGIE UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG; STUDIENGESELLSCHAFT FÜR DEN KOMBINIERTEN VERKEHR E.V. (2002) Vergleichende Analyse von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr und Kombinierten Verkehr Straße/Schiene. Genf, Frankfurt am Main

- IPCC (2007) Fourth Assessment Report – Climate Change 2007 – Mitigation of Climate Change
- ISO 14064 (2006) Greenhouse gases - Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
- ISO 14044 (2006) Umweltmanagement, Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen
- KALTSCHMITT, M. (2009) Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Dordrecht, Heidelberg, London, New York
- KIENZLER, H.-P.; MANNS, S.; SELZ, T. (2000) Auswirkungen von erhöhten zulässigen Gesamtgewichten für Rundholztransporte - Schlussbericht zu einer Untersuchung im Auftrag des Fachverbands der Sägeindustrie Österreichs. Freiburg im Breisgau
- KÖHLER, J. (Abteilungsleiter Sägenebenprodukte und Holzlogistik, Zellstoff Stendal Holz GmbH) (2011). E-Mail. Arneburg
- KORTEN, S.; EBERHARDINGER, A. (2008) Entwicklungen für den Rundholztransport - Flexible Fahrzeugtechnik und Optimierte Verfahren bieten interessante Ansatzpunkte für eine wirkungsvolle Kostenreduktion. In: *Logistik - Holz kommt in Fahrt* (65), S. 16–18
- KORTEN, S.; HEINDL, U. (2008) Mehr Effizienz beim Rundholztransport - Betriebsübergreifende Tourenplanung führt zu weniger Leerfahrten. In: *Logistik - Holz kommt in Fahrt* (65), S. 12–13
- KORTEN, S. (2009) Optimierung des Rundholztransportes durch betriebsübergreifende Tourenplanung - Abschlussbericht AiF-Projekt Nr. 15027. München
- KRANKE, A.; SCHMIED, M.; SCHÖN, A. (2011) CO₂-Berechnung in der Logistik - Datenquellen, Formeln, Standards. München
- KREUSCH, M. (2012) Industrieholz-Sortimente: Das Schleifholz/Papierholz. Bonn. Online verfügbar unter <http://www.wald-prinz.de/industrieholz-sortimente-das-schleifholz-papierholz/401> (01.04.2012)
- LECHNER, H.; BECKER, G. (2004) Bündelung von Ast- und Kronenmaterial – Eine Lösung zur effizienten Bioenergiebereitstellung in Mitteleuropa? Freiburg im Breisgau
- LINDEMANN, K. (2005) Das innovative Nutzfahrzeugkonzept - BDI-Position zur Diskussion über flexiblere Längen- und Gewichtsvorgaben im Lkw-Verkehr. Berlin
- LINDHOLM; E.-L. (2010) Energy Use and Environmental Impact of Roundwood and Forest Fuel Production in Sweden. Doktorarbeit. Swedish University of Agricultural Sciences
- LOHMANN, U. (2003) Holz-Lexikon - L-Z. Leinfelden-Echterdingen
- MANTAU, U.(2009) Holzrohstoffbilanz Deutschland - Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. In: *vTI Agriculture and Forestry Research Sonderheft* (327), S. 27–36

- MANTAU, U. (2012) Holzrohstoffbilanz Deutschland - Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012
- MCCORMACK, R. (1990) Measuring and evaluating log truck performance in a variety of operating conditions. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University
- NETZWERK FÜR LADUNGSSICHERUNG (2012) Gefährliche Überladung von Langholz-Lkw. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.lasiportal.de/seminarschulungen/bilder/mangelhafte-ladungssicherung/langholztransporter-gefaehrliche-ueberladung.php> (11.04.2011)
- OHNESORGE, D. (Geschäftsführer Arbeitsgemeinschaft Rohholzverbraucher e.V.) (2012) E-Mail. Berlin
- ÖKO-INSTITUT; GESAMTHOCHSCHULE KASSEL (2011) Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS)
- POLLEY, H.; HENNING, P.; SCHWITZGEBEL, F. (2009) Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung in Deutschland - Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventurbasis. In: *AFZ-DerWald* (20), S. 1076–1078
- RÖSLER, S. (1999) Die optimale Logistikkette - Wie können Holztransport und Holzhandel besser in die Logistikkette integriert werden? In: *Forsttechnische Informationen* (10), S. 85-87
- ROEWER, U. (2009) Nicht verwertete inländische Entnahme biotischer Rohstoffe. Erfurt. Online verfügbar unter http://www.ugrdl.de/pdf/m_rohstoffentnahme_4.pdf (01.04.2012)
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2005) Umwelt und Straßenverkehr - Umweltverträglicher Verkehr - Sondergutachten. Berlin. Online verfügbar unter http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2005_SG_Umwelt_und_Strassenverkehr.pdf?__blob=publicationFile. (01.04.2012)
- SCHMIED, M.; KNÖRR, W. (2011) Leitfaden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik. Bonn. Online verfügbar unter http://www.btl-bb.de/fileadmin/login/bilder/dokumente/Downloads/110401_DSLV-Leitfaden_Berechnung_von_THG-Emissionen_in_Spedition_und_Logistik.pdf (01.04.2012)
- SEINTSCH, B. (2010) Holzbilanzen 2006 bis 2009 für die Bundesrepublik Deutschland – Arbeitsbericht. Hamburg
- SEINTSCH, B. (2011) Stellung der Holzrohstoffe in der Kostenstruktur des Holz- und Papiergewerbes in Deutschland - Arbeitsbericht. Hamburg
- SEKRETERIAT DER KLIMARAHMENKONVENTION (1998) Das Protokoll von Kyoto - Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn
- Biedermann, A. (2011) Klimaschutzziele in den deutschen Bundesländern. Masterarbeit an der Fernuniversität Hagen. Umweltbundesamt (Hrsg.) Dessau-Roßlau <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4146.pdf>; (Stand: 14.02.2013)

- StBA (2011) Holzmarktbericht 2010. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) Bonn; <http://berichte.bmelv-statistik.de/FHB-0120005-2010.pdf> (letzter Abruf 6. Mai 2013)
- StBA (2013) Statistisches Bundesamt (Destatis), Pressemitteilung vom 7. Februar 2013 – 46/13, Seite 2; https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2013/02/PD13_046_463pdf.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 13.02.2013)
- STECKEL, A. (2007) Ökonomische und ökologische Betrachtungen hinsichtlich der Auswirkungen von Gewichtsveränderungen bei LKW Holztransporten am Beispiel des Landes Sachsen-Anhalt. Diplomarbeit. Fachhochschule Eberswalde
- STOCK, R. (2007) Die Supertrucks – Belastung statt Entlastung - Eine kritische Betrachtung aus der Sicht des ADAC. München
- STULGIES, S. (2004) Energielabel und Darstellung der Messmethoden für Kühl- und Gefriergeräte. Vortrag. Universität Bonn
- STRIEGEL, G. (2000) Entwicklung von Methodenbausteinen für die Ökobilanzierung technischer Verfahren am Beispiel von zwei Fallstudien. Dissertation. Friedrich-Schiller-Universität Jena
- UMWELTBUNDESAMT (2007) Länger und schwerer auf Deutschlands Straßen - Tragen Riesen-Lkw zu einer nachhaltigen Mobilität bei? Berlin
- UMWELTBUNDESAMT (2010) CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland - Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Dessau-Roßlau
- UMWELTBUNDESAMT (2011) Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2009. Dessau-Roßlau
- VerkehrsRundschau (2011) Jährlich erscheinende Verbrauchstabelle für Lkw Transporte 2011. München
- VORHER, W.; ILÄNDER, H.; SALM-SALM, M. zu (2005) Stärkung der Forst- und Holzwirtschaft durch die neue Bundesregierung - Mitteilung an die Bundestagsfraktionen von CDU/CSU, SPD, FDP und Bündnis 90 Die Grünen. Wiesbaden
- WALTER, F.; CARLSSON, D. (1998) New system for optimizing transport. In: *SkogForsk News* (22), S. 1
- WEGENER, G.; ZIMMER, B.; NEBEL, B.; BIEDENKOPF, S.; BERGER, G.; SCHEIBENPFLUG, B. (2004) Analyse der Transportketten von Holz, Holzwerkstoffen und Restholzsortimenten als Grundlage für produktbezogenen Ökobilanzen. München, Kuchl
- WIED, H. (2003) Die zukünftige Rolle des Spediteurs im Holztransport. Graz
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD); WORLD RESOURCE INSTITUT (WRI) (2004) The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard
- ZEISLER, C. (2011) Holzlogistik - Diskrepanz zwischen Anspruch und Realität. TH Wildau. Hundisburg
- ZIMMER, B.; SCHWAIGER, H. (2001) A Comparison of Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Forest Operations in Europe. In: *Energy, Carbon*

and other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products - Achievements of the Working Group of the COST Action E9 (Discussion Paper 10), S. 33–54

VII. Anhang

Anhang I: Umrechnung von Tonne-Atro, Festmeter und Raummeter in Tonne-Lutro

	Fichte und Tanne	Sonst. Nadelholz	Buche	Eiche
tL	1,000	1,000	1,000	1,000
tA	0,565	0,571	0,600	0,643
Fm o.R.	1,200	1,200	0,900	0,900
Rm o.R.	2,000	2,000	1,500	1,500

(nach LOHMANN 2003)

Anhang II: Holzbilanz 2010 gemäß Mantau (Jahr 2010)

Rostoff- herkunft	Holzsorten	Mio. m ³	% v. □	% v. □	Mio. m ³	Verwen- dungssektor	Verwen- dungsart
Waldholz	Stammholz	37,3	27,5	0,0	37,3	Sägeindustrie	stofflich (che- misch- tech- nisch)
	Sonstiges Derbholz	36,5	26,9	0,0	16,9	Holzwerkstoffe	
	Waldrestholz	8,0	5,9	0,0	10,6	Holzschliff & Zellstoff	
	Rinde	4,7	3,4	0,0	2,3	Sonst. stoffl. Nutzung	
	Zwischen- summe	86,4	64,4	49,5	67,1	Zwischen- summe	
Lan- schafts- pflege- material, KUP	Landschaftpfle- ge-holz	4,5	3,3	0,0	33,9	Hausbrand	energe- tisch
	Kurzumtriebs- plantagen	0,0		0,0	22,6	Energetisch > 1 MW	
Sekun- därroh- stoffe & Koppel- produkte	Sägeneben- produkte	15,0	11,1	0,0	7,1	Energetisch < 1 MW	
	Altholz	14,0	10,3	0,0	4,6	Energiepro- dukt-hersteller	
	Sonst. Indus.- Restholz	5,8	4,3	0,0	0,1	Sonst. energ. Verwerter	
	Holzenergie- produkte	4,6	3,4				
	Schwarzlauge	3,6	2,7				
	Zwischen- summe	47,5	35,6	50,4	68,3	Zwischen- summe	
Bilanzausgleich		1,5	0,0	0,0	0,0	Bilanzausgleich	
Summe Holzaufkommen		135,4	100,0	100,0	135,4	Summe Holzverwendung	