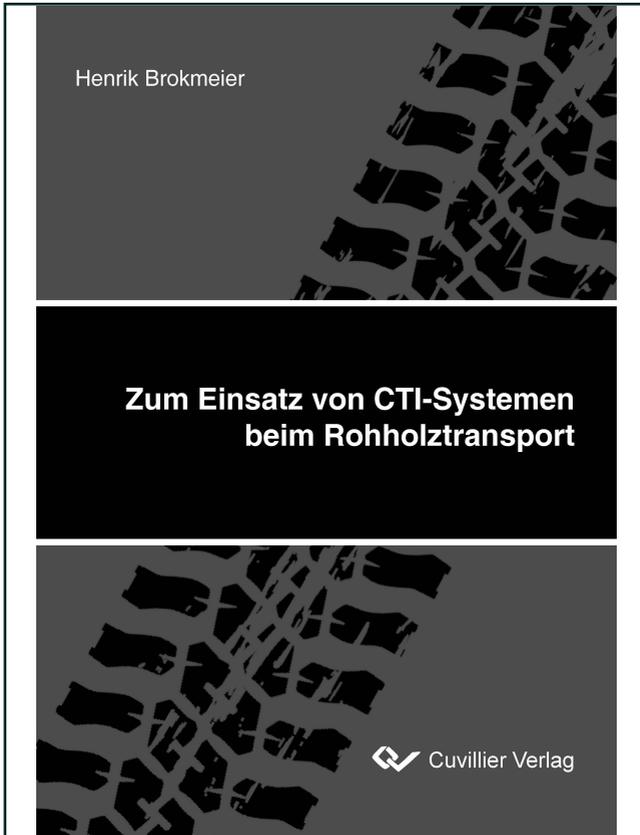




Henrik Brokmeier (Autor)
**Zum Einsatz von CTI-Systemen beim
Rohholztransport**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6314>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



1 Einführung

1.1 Rohholztransport in Deutschland

Im Jahr 2010 wurden in Deutschland 3.120,2 Mio. t Güter auf der Straße transportiert. Wird die dabei zurückgelegte Transportentfernung berücksichtigt, betrug die mit dem LKW erbrachte Transportleistung im innerdeutschen Verkehr 434,0 Mrd. tkm. Damit entfiel 70 % der Verkehrsleistung beim Gütertransport innerhalb der Bundesrepublik auf den LKW (BGL, 2011A, B). Prognosen sagen für die Zukunft ein weiter steigendes Güteraufkommen voraus. So gehen beispielsweise ITP UND BVU (2007) für den Zeitraum 2004 - 2025 von einer Zunahme des Güterverkehrs in Deutschland (Verkehrsleistung) um 71 % aus. Dass dem Gütertransport auf der Straße dabei weiterhin die größte Bedeutung zukommen wird (vgl. BGL, 2010A), ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass der LKW insbesondere beim Transport von Sammelgütern und auf kurzen Strecken durch seine Flexibilität konkurrenzlos und oftmals bei Transporten, die mit Bahn oder Binnenschiff besorgt werden, im Vor- und/oder Nachlauf unentbehrlich ist.

Dem LKW kommt beim Rohholztransport, bei dem die Ladestellen nahezu ausnahmslos im Wald liegen und immer wenigstens ein Teil des Transportwegs mit ihm besorgt werden muss (vgl. ZEISLER ET AL., 2011), eine noch größere Bedeutung zu als beim allgemeinen Güterverkehr. Im Jahr 2003 belief sich die Transportleistung des LKW beim Rohholztransport beispielsweise nach den Berechnungen von BORCHERDING (2007) auf der Grundlage von Güterverkehrs- und Holzeinschlagsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes bzw. Statistischen Bundesamtes auf 81 %. Andere Stellen gehen davon aus, dass „[...] der Binnenverkehr mit Rohholz in Deutschland [...]“ in Jahren ohne nennenswerte Schadereignisse „[...] zu rd. 90 % per LKW erledigt“ wird (MUNLV NRW, 2010).

Der Güterkraftverkehr auf der Straße wird durch § 1 Abs. 1 des Güterkraftverkehrsgesetzes (GüKG) als „[...] die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gesamtgewicht als 3,5 Tonnen haben“ definiert. Befördert ein Unternehmen seine Güter für eigene Zwecke, wird der Transport als Werkverkehr bezeichnet. Von gewerblichem Güterkraftverkehr spricht der Gesetzgeber dagegen, wenn der Transport durch externe Unternehmen besorgt wird (§ 1 Abs. 2 - 4 GüKG). Nach Angaben des Bundesverbandes Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e.V. gibt es in Deutschland rund 51.000 Unternehmen (Stand: 01.01.2011), die mit nahezu 375.000 LKW (Stand: 31.10.2009) gewerblichen Güterkraftverkehr betreiben. Sie beschäftigen fast 600.000 Menschen, von denen nahezu 80 % als Fahrer tätig sind (Stand: 31.10.2009). In über der Hälfte der Unternehmen sind maximal fünf, in fast einem Drittel 6 - 19 Mitarbeiter und lediglich in 4 % der Unternehmen 50 oder mehr Beschäftigte tätig (BGL, 2011c). Zu der Anzahl der Unternehmen des Holztransport-Gewerbes, der Anzahl ihrer Beschäftigten oder ihrer Fahrzeugausstattung liegen keine gesicherten bundesweiten Zahlen vor. Die Schätzungen bezüglich der Unternehmensanzahl gehen teilweise weit auseinander und liegen nach BORCHERDING (2007) zwischen 1.000 und 1.750 Unternehmen. Gleich-

ches gilt für die Schätzungen zur Fahrzeugausstattung. Demnach verfügen die deutschen Holztransportunternehmen über 1.700 - 2.400 LKW, die beim Rohholztransport eingesetzt werden (BORCHERDING, 2007). VON BODELSCHWINGH (2006) ermittelte bei seiner Befragung eine Ausstattung von durchschnittlich knapp drei LKW je Unternehmen, wobei über die Hälfte der Betriebe über lediglich ein oder zwei Fahrzeuge verfügte. Es handelte sich überwiegend „[...] um kleine Familienbetriebe, die sich auf den Transport von Rundholz spezialisiert haben“ (VON BODELSCHWINGH, 2006). Davon, dass der Rohholztransport überwiegend in den Händen kleiner Familienunternehmen liegt, berichtet beispielsweise auch BORCHERDING (2007) mit dem Verweis auf unterschiedliche, in Fachzeitschriften erschienene, Unternehmensportraits. Demzufolge dürften die Holztransportunternehmen hierzulande gemäß der EU-Definition zum überwiegenden Teil zu den Kleinstunternehmen und nur in geringfügigem Umfang zu den kleinen Unternehmen zählen¹ (vgl. BROKMEIER ET AL., 2009).

Eine Besonderheit beim Rohholztransport ist, dass größtenteils andere Fahrzeuge als beim allgemeinen Güterkraftverkehr eingesetzt werden. Die LKW müssen in diesem speziellen Einsatzbereich auch abseits des öffentlichen Straßennetzes unter wechselnden und teils schwierigen Wegebedingungen bewegt werden. Sie sind deshalb in der Regel mit grobprofilierten Reifen bestückt und verfügen teilweise über Allradantrieb, der neben der robusteren Bauweise im Vergleich zu einem Straßenfahrzeug zu einer höheren Eigenmasse führt. Darüber hinaus verfügen klassische Rohholztransporter über einen fahrzeugeigenen Ladekran, der einerseits eine autarke Beladung im Wald und gegebenenfalls die eigenständige Entladung an der Entladestelle bzw. die Zug- oder Schiffsbeladung ermöglicht, andererseits aber auch die Nutzlast weiter verringert (vgl. KRIEGHOFF, 2003; BORCHERDING, 2007).

Klassische Fahrzeuge zum Transport von Kurzholz sind die sogenannten Kurzholzzüge oder Kurzholzgliederzüge. Diese Fahrzeugkombinationen bestehen in der Regel aus einem dreiachsigen Zugfahrzeug mit einem Ladekran am Heck und einem überwiegend zweiachsigen, teilweise aber auch dreiachsigen Anhänger. Während mit dem Zugfahrzeug Holzlängen von bis zu 6 m befördert werden können, ermöglicht der Anhänger den Transport von Holz mit einer Länge von bis zu 8 m (KRIEGHOFF, 2003). Obwohl nach KORTEN UND EBERHARDINGER (2010) Kurzholzzüge in Leichtbauweise mit einer Eigenmasse von 13 - 15 t erhältlich sind, bewegte sich die Fahrzeugmasse der Kurzholzgliederzüge, die im Rahmen unterschiedlicher Fallstudien zum Rohholztransport am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der Technischen Universität München erfasst wurden, größtenteils zwischen 18 und 22 t (KORTEN UND EBERHARDINGER, 2010).

Im Gegensatz zu Kurzholzzügen bieten Sattelzüge den Vorteil, dass sie sowohl zum Transport von Kurz- als auch von Langholz eingesetzt werden können. Die Zugmaschine einer speziell beim Rohholztransport eingesetzten Kombination ist ein dreiachsiger, seltener zwei-

¹ Nach EU-Definition (2003/361/EG) zählen Unternehmen mit weniger als zehn Beschäftigten und einem Umsatz oder einer Bilanzsumme bis 2 Mio. Euro zu den Kleinstunternehmen, Unternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten und einem Umsatz oder einer Bilanzsumme von maximal 10 Mio. Euro zu den kleinen Unternehmen und Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten und einem Umsatz bis 50 Mio. Euro oder einer Bilanzsumme bis 43 Mio. Euro zu den mittleren Unternehmen.

achsiger LKW, der mit einem hinter dem Führerhaus montierten Ladekran ausgestattet ist. Der Aufbau des zwei- oder dreiachsigen Sattelauflegers umfasst sechs oder acht verstellbare Rungenschemel. Mit teleskopierbaren Sattelauflegern lassen sich Holzlängen zwischen 2,5 (teilweise 2 m) und 20 m befördern. Die Eigenmasse von Teleskop-Sattelfahrzeugen beträgt im Leerzustand in der Regel 21 - 22 t. Bei nicht verstellbaren Trailern, die zum Transport von Stämmen mit Maximallängen von 15 m ausgelegt sind, bewegt sie sich im Leerzustand überwiegend zwischen 20 und 21 t. Die zum Transport von Langholz eingesetzten Langholzzüge bestehen in der Regel aus einem dreiachsigen LKW, der mit einem hinter dem Führerhaus montierten Ladekran ausgestattet ist. Als Anhänger werden überwiegend zweiachsige Selbstlenkknachläufer eingesetzt. Mit einem solchen Spezialfahrzeug lässt sich Holz mit Längen von 6 - 20 m transportieren. Die Fahrzeugmasse hängt von der Bauweise, insbesondere der Aufbauten und des Ladekrans, ab und beträgt in der Regel 18 - 20 t (KRIEGHOFF, 2003).

§ 34 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) normiert die zulässigen Gesamtmassen für Einzelfahrzeuge und Fahrzeugkombinationen, die beim Transport von Gütern auf der Straße eingesetzt werden. Für dreiachsige Kraftfahrzeuge ist beim innerdeutschen Transport eine Gesamtmasse von 26 t zulässig (Abs. 5 Nr. 2b). Verfügt ein Einzelfahrzeug über mehr als drei Achsen steigt die zulässige Gesamtmasse auf 32 t (Abs. 5 Nr. 3 und Nr. 4). Für Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge (Fahrzeugkombinationen), die mit mindestens fünf Achsen ausgestattet sind, gilt eine zulässige Gesamtmasse von 40 t (Abs. 6 Nr. 5). Sie erhöht sich beim Transport von 40 Fuß ISO-Containern im Vor- und Nachlauf des kombinierten Verkehrs gemäß EU-Richtlinie 92/106/EWG² mit Sattelkraftfahrzeugen (dreiachsige Sattelzugmaschine mit zwei- oder dreiachsigem Auflieger) auf 44 t (Abs. 6 Nr. 6). Eine Besonderheit beim Transport von Rohholz ist, dass im Falle von Großschadereignissen gesetzliche Möglichkeiten bestehen, verschiedene Maßnahmen zu treffen, um die Transportkapazitäten in den betroffenen Bundesländern kurzfristig zu erweitern. Hierzu zählt insbesondere auch die temporäre Erhöhung der zulässigen Gesamtmasse für Fahrzeugkombinationen, die bei der Abfuhr des Sturmholzes eingesetzt werden, auf bis zu 46 t (ANONYMUS, 2010).

In jüngerer Vergangenheit stellten Veränderungen bei den Rahmenbedingungen die Güterkraftverkehrs-Unternehmen und mit ihnen auch das Holztransport-Gewerbe vor besondere Herausforderungen und werden dies auch in der Zukunft tun. In diesem Zusammenhang ist auf die Entwicklung der Treibstoff- und Personalkosten, den beiden Kostenarten, die den größten Anteil der Gesamtkosten beim Güterkraftverkehr ausmachen, hinzuweisen (EHMER ET AL., 2008). So stiegen die Preise für Dieselkraftstoff innerhalb der letzten zehn Jahre mit einem zwischenzeitlichen Allzeithoch im Laufe des Jahres 2008 und der anschließenden vor-

² Bei kombiniertem Verkehr im Sinne der EU-Richtlinie 92/106/EWG handelt es sich um Transporte, bei denen der Vor- und Nachlauf auf der Straße und der Hauptlauf per Bahn oder Schiff durchgeführt und die Ladeeinheit (mit der Fracht) umgeladen wird. Beim Bahntransport muss der Straßenzu- und -ablauf zum bzw. vom nächstgelegenen geeigneten Umschlagsbahnhof erfolgen, beim Transport auf dem Wasserweg innerhalb eines Umkreises von maximal 150 km Luftlinie um den Binnen- oder Seehafen. Die Streckenlänge des Hauptlaufs muss dabei mehr als 100 km Luftlinie betragen.

übergehenden Entspannung um 80 % (Vergleichsmonat Januar; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2012B). Bei den Personalkosten hat die Harmonisierung der Sozialvorschriften im Straßenverkehr durch die damit einhergehenden Änderungen bei den Lenk- und Ruhezeiten und die Einführung des digitalen Tachographen für zusätzliche Belastungen gesorgt. Darüber hinaus führte die seit 2005 erhobene streckenbezogene LKW-Maut und ihre stufenweise Erhöhung zu einer Zunahme der Abgabenbelastung beim Fahrzeugeinsatz in Deutschland (vgl. EHMER ET AL., 2008; KORTEN UND HEINDL, 2009; BGL, 2010B). Eine weitere Herausforderung für die Branche ist der durch die Altersstruktur der Fahrer für die Zukunft zu erwartende, steigende Bedarf an Kraftfahrern (EHMER ET AL., 2008; ZEISLER ET AL., 2011). Außerdem gibt es keine Kraftfahrerausbildung, die auf die besonderen Anforderungen beim Rohholztransport ausgerichtet ist, so dass die Kraftfahrer in den Betrieben zusätzlich angelernt werden müssen, wodurch den Unternehmen des Holztransport-Gewerbes weitere Kosten entstehen (ZEISLER ET AL., 2011).

Aufgrund der Homogenität reiner Transportleistungen konkurrieren die Unternehmen der Transportbranche primär über den Preis miteinander. Der steigende Preisdruck führt dazu, dass die Insolvenzgefahr für die Unternehmen der Transportbranche, bei denen die Insolvenzquote bereits vergleichsweise hoch ist, weiter zunimmt. Dabei sind insbesondere „kleine“ Unternehmen gefährdet, zu denen, wie oben bereits dargestellt wurde, auch der überwiegende Teil der Holztransportunternehmen zählt. Sie können bedingt durch ihre schwache Marktposition die gestiegenen Kosten nicht oder nur anteilig an ihre Kunden weitergeben und profitieren im Gegensatz zu großen Unternehmen aufgrund der geringen Unternehmensgröße nicht von Skalen- und Effizienzvorteilen (EHMER ET AL., 2008; BROKMEIER ET AL., 2009). Dass der Konsolidierungsdruck in der Transportbranche zunimmt (EHMER ET AL., 2008), ist auch im Holztransport-Gewerbe spürbar. ZEISLER ET AL. (2011) sprechen sogar von einem „Diensteleistersterben“ und gehen davon aus, dass alleine im Jahr 2009 ca. 10 - 15 % der Dienstleistungsunternehmen in diesem Bereich vom Markt verschwanden. Auch wenn „[...] die 2009 angelaufene Insolvenzwellen [...]“ im Jahr 2012 weiter abschwelen dürfte, sieht sich das Holztransport-Gewerbe bedingt durch nicht steigende Transportpreise und die rechtlichen Rahmenbedingungen trotz guter Auftragslage und besserer Kapazitätsauslastung weiterhin in einer schwierigen Situation (BURKHARDT, 2012).

Bestrebungen, die zulässige Gesamtmasse für LKW, die beim Holztransport eingesetzt werden, permanent auf 44 t anzuheben, könnten zu einer Verbesserung der Situation des Holztransport-Gewerbes führen (vgl. KIENZLER ET AL., 2000A). Darüber hinaus ließe sich durch diese Maßnahme auch der Wettbewerbsnachteil der Holzindustrie bei der Rohstoffbeschaffung gegenüber anderen EU-Mitgliedsländern, in denen abweichend zur EU-Richtlinie 96/53/EG eine Gesamtmasse von teilweise bis zu 60 t beim Güterkraftverkehr auf der Straße zulässig ist, wettmachen oder zumindest minimieren (vgl. BACKMAN UND NORDSTRÖM, 2002; RAMBERG, 2004; BROKMEIER, 2005; KORTEN UND EBERHARDINGER, 2010). Befürchten einige Stellen, dass eine Erhöhung der zulässigen Gesamtmasse von LKW eine Güterverlagerung auf die Straße zur Folge hat (vgl. UMWELTBUNDESAMT, 2007), sehen andere darin unter bestimmten Voraussetzungen eine Chance, um die Wettbewerbsfähigkeit anderer Verkehrsträger zu verbessern.

So könnte nach MUNLV NRW (2010) beispielsweise eine Änderung der Vorschriften für den kombinierten Verkehr in Form einer Erhöhung der zulässigen Gesamtmasse von Rohholztransportern beim Vorlauf des Schiffsverkehrs auf 44 t eine Möglichkeit darstellen, den Transport von Rohholz auf dem Wasserweg zu fördern.

Für die Holztransportunternehmen könnten höhere Gesamtmassen unabhängig davon, ob sie uneingeschränkt oder lediglich im Vor- und/oder Nachlauf des kombinierten Verkehrs zugelassen werden, dazu beitragen, den Nachteil einer höheren Eigenmasse von klassischen Rohholztransportern im Vergleich zu „normalen“ Straßen-LKW zu vermindern. Um eine höhere Nutzlast zu erreichen, bietet sich allerdings auch der Einsatz anderer Fahrzeugkonzepte an. So werden beim Rohholztransport neben den bereits vorgestellten klassischen Rohholztransportern in den letzten Jahren beispielsweise verstärkt auch Sattelzüge für den „normalen“ Straßenbetrieb eingesetzt (vgl. SCHMIDT-LANGENHORST, 2003; BORCHERDING, 2007; KORTEN UND EBERHARDINGER, 2010). Die Eigenmasse derartiger Fahrzeugkombinationen aus Sattelzugmaschine und Trailer mit Rungenaufbau liegt bei ca. 15 t. Die Reduzierung der Fahrzeugmasse folgt aus der Einsparung des Ladekrans und der leichteren, auf die reine Straßennutzung ausgelegten Bauweise (KRIEGHOFF, 2003). Neben einer höheren Nutzlast liegen weitere Vorteile in den geringeren Anschaffungskosten und dem geringeren Treibstoffverbrauch auf der Straße. Allerdings können diese Fahrzeuge aufgrund der geringeren Geländegängigkeit nicht unter allen Bedingungen eingesetzt werden und sind auf eine Fremdbeladung angewiesen (vgl. SCHMIDT-LANGENHORST, 2003; WITTE, 2003; BORCHERDING, 2007). Mit dem VALMETrailer, dem LogRac-Containersystem und dem Einsatz von Wechselbrücken beim Rohholztransport wurden in der jüngeren Vergangenheit weitere Konzepte untersucht, bei denen die Ladeeinheiten ebenfalls fremdbeladen werden (vgl. STRUNK, 2003; VON BODELSCHWINGH, 2004B; FENZ UND STAMPFER, 2005; FREITAG, 2011).

Neben innovativer Fahrzeugtechnik und entsprechenden Logistikkonzepten wird bei der Holzabfuhr insbesondere der Navigation im Wald ein großes Optimierungspotential eingeräumt (vgl. HAUCK, 2003; STÖCKER ET AL., 2004; ZEISLER ET AL., 2011). Durch eine Navigationslösung, die neben dem öffentlichen Straßennetz auch die Waldwege beinhaltet, lassen sich die Abfuhrvorbereitungen vereinfachen und die Suchfahrten im Wald minimieren, durch die für die Holztransportunternehmen zusätzliche Kosten entstehen (vgl. STRUNK, 2005). Die Nav-Log GmbH hat als Grundlage für Navigationslösungen eine bundesweit einheitliche Datenbasis geschaffen, die in der Zukunft weiter verbessert werden soll (SCHNITZLER, 2010). Eine funktionsfähige Navigationslösung kann in Kombination mit einer entsprechenden Software auch im Bereich der Auftragsabwicklung und dem Flottenmanagement hilfreich sein und so die Abfuhr sowie deren Überwachung und Abrechnung weiter optimieren (vgl. LEMM ET AL., 2006; KORTEN UND HEINDL, 2009). In diesem Bereich wird in der Verwendung der RFID (Radio Frequency Identification)-Technologie ein weiteres Optimierungspotential gesehen. Nach KORTEN UND KAUL (2008) kann die Markierung von Rohholz mittels Transpondern in der Forst- und Holzwirtschaft *„[...] dazu beitragen, den Informationsfluss und die Steuerung der Warenflüsse deutlich zu verbessern“*. Um den beim Rohholztransport besonders hohen Leerfahrtenan-

teil zu verringern, können auch Frachtenbörsen oder Kooperationen mehrerer Unternehmen auch gekoppelt mit einer betriebsübergreifenden Tourenplanung, die sich dabei beispielsweise auf Planungssoftware stützen kann, weitere Optimierungsansätze darstellen (vgl. KARLSSON ET AL., 2006; CARLSSON UND RÖNNQVIST, 2007; KORTEN UND HEINDL, 2009; LANGE UND SONNTAG, 2009).

Bei der Holzindustrie ist insbesondere in den Bereichen, in denen geringwertige Sortimente verarbeitet werden, eine Konzentration auf wenige Standorte mit hohen Kapazitäten zu beobachten (vgl. MANTAU ET AL., 2002). Die aufgezeigten Trends im Bereich der Rohholzlogistik können zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Holzflusses zu ihrer Versorgung beitragen. Grenzen ergeben sich dabei jedoch durch die nicht beeinflussbaren Witterungsbedingungen. Aufgrund ihres großen Einflusses auf die Beschaffenheit des teilweise nicht ausreichend ausgebauten bzw. befestigten Waldwegenetzes sehen sich die Unternehmen des Holztransport-Gewerbes daher oftmals mit der Problematik sehr schlechter Wegeverhältnisse konfrontiert (vgl. BORCHERDING, 2007; ZEISLER ET AL., 2011).

1.2 Einfluss des Reifenfülldrucks

Überwiegend in Skandinavien und Nordamerika beim Rohholztransport gesammelte Erfahrungen zeigen, dass ein Absenken des Reifenfülldrucks bei Holztransport-LKW unter schwierigen Wegebedingungen zu einer Erhöhung der Fahrzeugmobilität führt (vgl. ASHMORE UND SIROIS, 1987; TAYLOR, 1987; BRADLEY, 1993; STUROS ET AL., 1995; BLAIR UND BRADLEY, 2005; GRANLUND, 2006B). Bei niedrigem Fülldruck verformt sich der Reifen stärker als bei hohem Reifeninnendruck. Es vergrößert sich die Aufstandsfläche des Rades, der sogenannte Latsch, und damit auch die den Boden kontaktierende Stollenzahl (vgl. DÖLL, 1998; TOBISCH, 2001; BURK UND WEISE, 2005; DISERENS, 2009 sowie Abbildung 1 und 2). Die darin begründete Traktionssteigerung auf weichen Untergründen kann zu einer Verlängerung der Abfuhrperiode beim Rohholztransport beitragen. Davon profitiert aufgrund einer steigenden Versorgungssicherheit und sinkender Logistikkosten neben den Holztransportunternehmen in erster Linie auch die Holzindustrie (vgl. TAYLOR, 1987; GRANLUND, 1998; BRADLEY, 2006).

Die Steigerung der Kontaktfläche zwischen Rad und Boden (vgl. Abbildung 1) führt zu einem weiteren Vorteil: Der Kontaktflächendruck sinkt (VOLK UND SCHNAPP, 2003; UPPENKAMP, 2004; EBEL, 2006; JACKE UND EBEL, 2006B, C). Dadurch kommt es beispielsweise bei der Befahrung land- oder forstwirtschaftlich genutzter Böden zu einer nachweisbaren Reduzierung von Verdichtungsschäden (BREDBERG UND WÄSTERLUND, 1983; BECKER ET AL., 1986; RAPER ET AL., 1995; ARVIDSSON UND RISTIC, 1996; BAILEY ET AL., 1996; ADAMS, 2002; ARVIDSSON UND KELLER, 2007). Dieser Effekt ist im Hinblick auf das Verringern der befahrungsbedingten Erhöhung des Feinporanteils im Boden als ökologischer Vorteil und durch die Reduzierung möglicher monetärer Verluste aufgrund von Ertragseinbußen auf stark verdichteten Flächen auch als ökonomischer Vorteil anzusehen (vgl. VOLK, 2007). Beim Rohholztransport kommt diesem Aspekt zwar kei-

ne Bedeutung zu, allerdings führt die erhöhte Aufstandsfläche hier in Verbindung mit der Traktionssteigerung dazu, dass die Beanspruchung des Wegekörpers infolge der Befahrung mit Holztransport-LKW sinkt. Von diesem Effekt kann der Waldwegeträger durch Kosteneinsparungen beim Neubau von Wegen und bei deren Instandhaltung bzw. Instandsetzung profitieren (vgl. TAYLOR, 1987; GRAU, 1993; STUROS ET AL., 1995; BRADLEY, 1997).

Abbildung 1 verdeutlicht ein weiteres technisches Optimierungspotential, das aus einem niedrigen Reifeninnendruck auf weichen, verformbaren Untergründen resultiert. Der weich aufgepumpte Reifen wird in Fahrtrichtung gegen den aufgeschobenen Boden gedrückt und dadurch verformt, so dass sein virtueller Durchmesser steigt und er weniger in den Boden einsinkt. Dadurch erfährt der Reifen einen geringeren Rollwiderstand (vgl. LACH, 1996; JACKE, 1999; WEISE, 2002), was wiederum ebenfalls eine Traktionssteigerung bedingt und zu einer Reduzierung des Treibstoffverbrauchs und damit zu einem ökologischen und ökonomischen Vorteil führt (vgl. BURK UND WEISE, 2005).

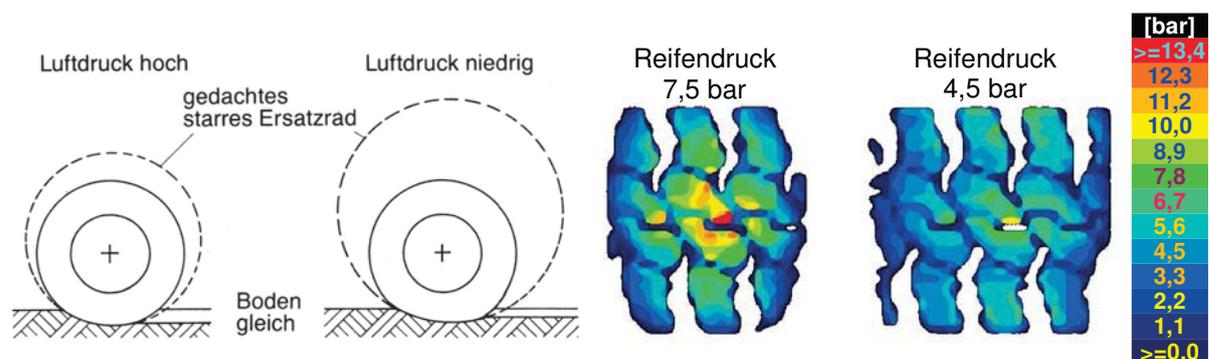


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Auswirkungen des Reifenfülldrucks auf die Aufstandsfläche und Spurtiefe auf weichem, verformbarem Untergrund (verändert nach RENIUS, 1985)

Abbildung 2: Beispiel für die Auswirkung des Reifenfülldrucks auf die Aufstandsfläche und die Kontaktflächenverteilung (Bridgestone-Modell L355 - 315/80 R 22.5 - Auflast: 23,3 kN; vgl. Kapitel 2)

Die aufgezeigten Vorteile niedriger Reifenfülldrucke sind auf die Befahrung harter, unverformbarer Untergründe wie beispielsweise feste Wege- bzw. Straßenbeläge nicht ohne weiteres übertragbar. Bedingt die größere Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche zwar auch hier eine Erhöhung der Traktion, führt ein Absenken des Fülldrucks ansonsten allerdings zu zahlreichen Nachteilen. Beispielsweise bleibt auf harten, unverformbaren Untergründen die oben beschriebene virtuelle Vergrößerung des Raddurchmessers aus und der Rollwiderstand steigt, woraus ein höherer Treibstoffverbrauch des Fahrzeugs resultiert (vgl. JACKE, 1999; CHANG ET AL., 2003; GOODYEAR, 2003; BURK UND WEISE, 2005; NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES, 2006). Durch die höheren Geschwindigkeiten, die auf harten Untergründen gefahren werden (können), steigt auch die Beanspruchung des Reifens. Im Falle der Druckabsenkung unter eine reifenspezifische Grenze kommt es zu einer Druckmehrerung im Bereich der Flanken. Diese Asymmetrie hat im Fahrbetrieb ein intensives Durch-

walken der zentralen Karkasse zur Folge, woraus bereits nach einer geringen Laufleistung eine Beschädigung des Reifens resultieren kann (vgl. JACKE UND EBEL, 2006B, D).

1.3 Die CTI-Technologie

Die im vorangegangenen Kapitel aufgezeigten Auswirkungen des Reifeninnendrucks verdeutlichen, dass der optimale Fülldruck in Abhängigkeit vom Untergrund, dem Beladungszustand und der Fahrzeuggeschwindigkeit variiert. Wird permanent der optimale Reifeninnendruck gefahren, lassen sich weitere Vorteile wie ein geringerer Reifenverschleiß sowie niedrigere Reparaturkosten und eine geringere Ganzkörpervibrationsbelastung des Fahrers erwarten (vgl. BROWN UND SESSIONS, 1999; GRANLUND, 2006B; BROKMEIER ET AL., 2009).

Reifendruckregelanlagen, sogenannte Central Tire Inflation (CTI)-Systeme, bieten die Möglichkeit den Reifeninnendruck in Abhängigkeit von Untergrund, Geschwindigkeit und/oder Beladungszustand anzupassen und von den oben beschriebenen Vorteilen zu profitieren.³ Erstmals eingesetzt wurde die CTI-Technologie bereits während des zweiten Weltkriegs (CZAKO, 1974; WARNER, 1994; BRADLEY, 2008). Nachdem zunächst ausschließlich die militärische Nutzung im Vordergrund stand, begann in den frühen 1980er Jahren parallel zu den Entwicklungen im militärischen Bereich auch das Interesse an CTI-Lösungen für zivile Nutzfahrzeuge, insbesondere auch im Einsatzfeld Rohholztransport, zu wachsen. In dieser Zeit startete der Forest Service des US-amerikanischen Landwirtschaftsministeriums (USDA Forest Service) mit den ersten von zahlreichen Untersuchungen zum Einsatz von CTI-Systemen beim Holztransport (GREENFIELD, 1992, 1993; USDA FOREST SERVICE, 1993).

Im benachbarten Kanada setzte die Verwendung von CTI-Systemen in diesem Einsatzfeld in den späten 1980er Jahren ein. Das Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC) beteiligte sich dabei aktiv an der Systementwicklung, der Implementierung und der Untersuchung möglicher Einsparpotentiale (VINCENT, 1998). Die Etablierung der CTI-Technologie im Bereich des Rohholztransports schritt in Kanada jedoch relativ langsam voran und beschränkte sich zunächst auf den Westen des Landes (BRADLEY, 2008). 1996 begann die Eastern Division des FERIC mit der Entwicklung eines CTI-Systems für den Einsatz im östlichen Teil Kanadas. Ende 1997 bzw. Anfang 1998 startete dann der Einsatz der ersten Prototypen in den kanadischen Provinzen Nova Scotia und Ontario (VINCENT, 1998). Mitte der 2000er Jahre waren nach GRANLUND (2006B) im gesamten nordamerikanischen Raum bereits etwa 2.500 LKW in den unterschiedlichen zivilen Einsatzbereichen mit einem CTI-System ausgestattet. Auch wenn keine offiziellen Zahlen vorliegen, dürfte hier der weltweit größte Absatzmarkt im Bereich ziviler Nutzfahrzeuge liegen.

³ Für den Begriff Central Tire Inflation-System werden in der Folge die Abkürzungen CTI-System oder CTIS verwendet. Während von einigen Autoren für moderne Reifendruckregelanlagen im zivilen Bereich der Begriff TPCS (Tire Pressure Control System) benutzt wird (vgl. BRADLEY, 2008), wird im Zuge dieser Arbeit nicht zwischen CTIS und TPCS differenziert.

In Europa kommt Schweden die Vorreiterrolle beim Einsatz der CTI-Technologie im Bereich des Rohholztransports zu. Die Nordeuropäer setzten sich bereits in den 1990er Jahren mit den Effekten eines angepassten Reifendrucks bei Holztransport-LKW auseinander (vgl. ANDERSSON UND GRANLUND, 1994; GRANLUND, 1998; GRANLUND UND ANDERSSON, 1998; GRANLUND ET AL., 1999) und führten in den 2000er Jahren ein von der schwedischen Forschungseinrichtung Skogforsk fachlich begleitetes Projekt zur Implementierung der Technologie durch. Dabei wurden zwölf Holztransport-LKW mit CTI-Systemen ausgestattet (GRANLUND, 2006A, B). Darüber hinaus beschäftigte man sich in weiteren nord- und mitteleuropäischen Ländern mit der Thematik oder führte bereits Untersuchungen zum Einfluss des Reifendrucks beim Rohholztransport durch (vgl. OWENDE ET AL., 2001; RIEPPO, 2006; BURKE, 2007; ARMSTRONG, 2008; MUNRO, 2008; MUNRO UND MACCULLOCH, 2008; VERMEULEN UND VERWIJS, 2009).

Auch für den europäischen Markt liegen keine offiziellen Zahlen über die Anzahl der LKW, die mit einem CTI-System ausgestattet sind, vor. Eigenen Angaben zufolge hat der kanadische Hersteller Tire Pressure Control International Ltd. (TPC) in Europa bereits fast 200 LKW (größtenteils Rohholztransporter) mit CTI-Systemen ausgerüstet (Stand: Mai 2012). Nach Schweden kommt dabei Schottland als Absatzmarkt derzeit die größte Bedeutung zu. Daneben wurden CTI-Systeme nach England, Finnland, Lettland und Portugal verkauft (GRANLUND, 2012).

Neben TPC sind sechs weitere Hersteller bekannt, die CTI-Systeme für LKW anbieten. Zu diesen Herstellern gehört neben Eaton Dana und CM Automotive Systems, Inc. aus den USA, Innovative Transport Equipment Ltd. aus Neuseeland, AIR CTI aus Australien, Syegon aus Frankreich, mit der PTG Reifendruckregelsysteme GmbH aus Neuss (PTG) auch ein deutscher Anbieter (vgl. GRANLUND, 2006A; RITCHIE, 2008; VERMEULEN UND VERWIJS, 2009).

Die PTG produziert als einziger der aufgezählten Hersteller CTI-Systeme in der sogenannten 2-Leiter-Technik. Hierbei wird neben der eigentlichen Arbeitsleitung eine weitere Luftleitung mit einem geringeren Strömungsquerschnitt als Steuerleitung an den Reifen geführt. Ein Sitzventil mit Rückschlagsicherung führt dazu, dass das Radventil nicht nur nach Beendigung des Regelvorgangs geschlossen wird, sondern bedingt auch das automatische Schließen des Ventils bei einem Druckabfall in der Steuerleitung. So schließt das Radventil auch im Falle einer Leckage im System und erhöht auf diese Weise die Betriebssicherheit des CTI-Systems (vgl. TIGGES, 1991; BROKMEIER ET AL., 2009).

Unabhängig davon, ob die 1- oder die 2-Leiter-Technik eingesetzt wird, hängt die Führung der Luftleitungen entscheidend davon ab, ob das Fahrzeug für die Ausstattung vorbereitet bzw. bereits ab Werk mit einem CTI-System ausgestattet wird oder es sich um eine Nachrüstung handelt. Weiterhin ist für die Leitungsführung bedeutsam, ob es sich bei den auszustattenden Achsen um angetriebene oder nicht angetriebene Achsen handelt. Wenn ein Fahrzeug nachträglich mit einem CTI-System ausgestattet wird, ist eine innenliegende Leitungsführung, das heißt die Luftleitungen werden beispielsweise durch hohlgebohrte Radnaben an den Achsen oder gebohrte Achsschenkel von der Innenseite des Fahrzeugs an die Reifen geführt, nur an nicht angetriebenen Achsen denkbar. Ansonsten müssen die Luft-

leitungen von außen über die Radkästen an die Reifen geführt werden. Unabhängig davon, ob die Leitungsführung von der Innen- oder Außenseite erfolgt, werden hier Drehdurchführungen eingesetzt, um die Luftleitungen an die drehenden Räder zu führen und dort an den Radventilen anschließen zu können (vgl. Abbildung 3).

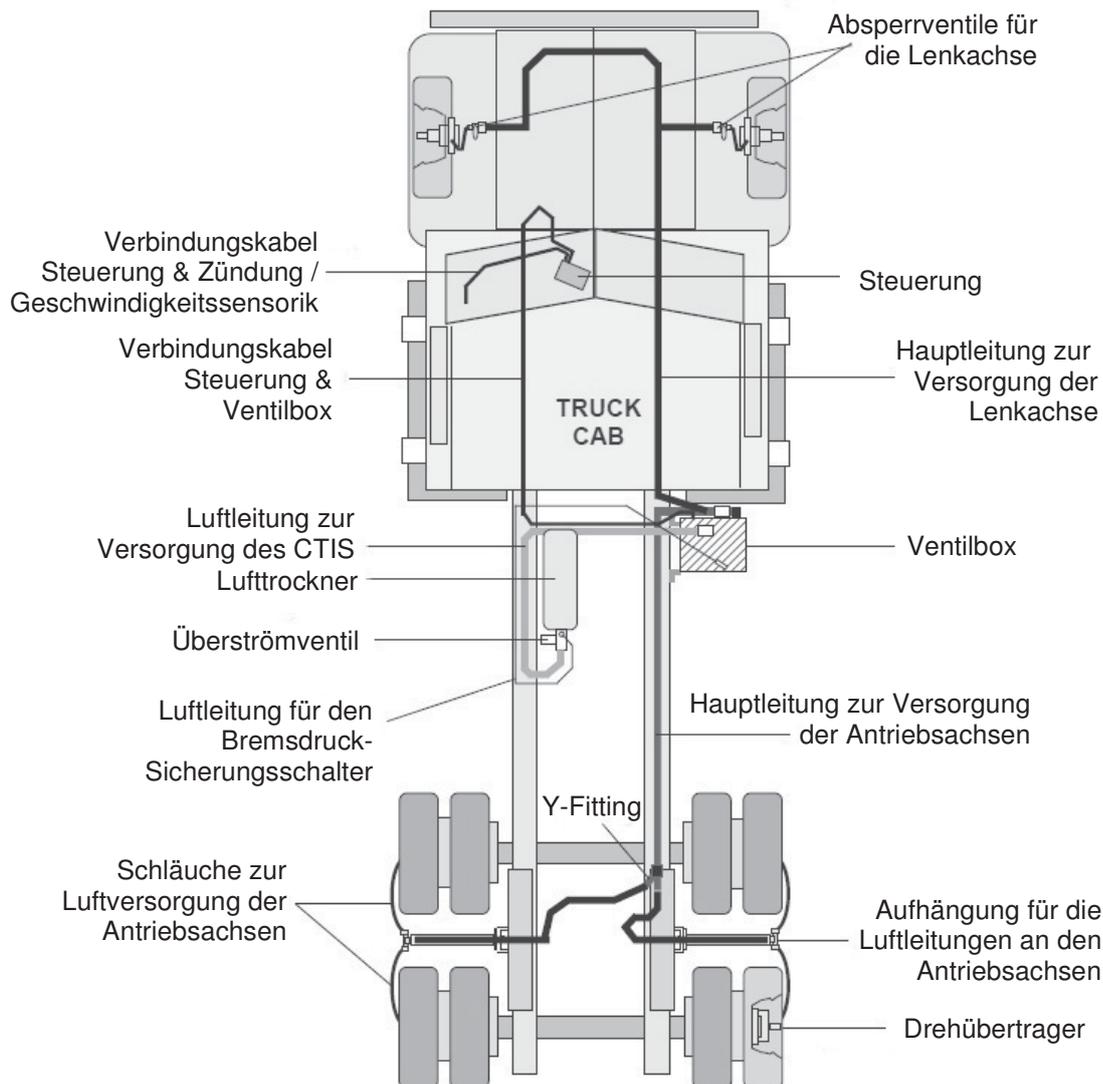


Abbildung 3: Schematischer Überblick über ein CTI-System des Herstellers TPC für LKW (verändert nach TPC, 2011A)

Die Luftversorgung von (entsprechenden) CTI-Systemen wird in der Regel über den fahrzeugeigenen Kompressor und gegebenenfalls unterstützend über zusätzliches Luftkesselvolumen gewährleistet (vgl. CZAKO, 1974; WARNER, 1994). Folglich muss das Fahrzeug über eine Druckluftbremsanlage verfügen. Die Befülldauer hängt dabei entscheidend von der Kompressorleistung des Fahrzeugs und gegebenenfalls des vorhandenen bzw. erweiterten

Luftkesselvolumens am Fahrzeug ab. Zur Gewährleistung des für die Bremsanlage des Fahrzeugs benötigten Mindestdrucks wird ein Überströmventil verbaut (vgl. Abbildung 3).

Bei den CTI-Systemen der unterschiedlichen Hersteller können üblicherweise verschiedene Regelkreise eingerichtet werden. Innerhalb der Regelkreise ist es möglich jeweils separat oder gleichzeitig unterschiedliche Reifendruckeinstellungen anzusteuern. Dabei bilden die Reifen der Vorderachse, der Hinterachsen und des Anhängers in der Regel jeweils einen von drei unterschiedlichen Regelkreisen. Daneben werden aber auch Lösungen mit einem Regelkreis angeboten. In diesem Fall kann in der Regel ausschließlich an der Antriebsachse bzw. an den Antriebsachsen der Reifenfülldruck mit dem CTI-System angepasst werden.

Bei CTI-Systemen im LKW-Bereich werden überwiegend elektronische Steuerungsgeräte eingesetzt. Die Bedienung beschränkt sich dabei in der Regel auf die Auswahl des zu befahrenden Untergrunds und des Beladungszustands bzw. der entsprechend gewählten Voreinstellungen. Typische Auswahlmöglichkeiten für den Normalbetrieb sind bei diesem teilautomatischen Steuerungsansatz mit einer indirekten Sollwertvorgabe „Straße beladen“, „Straße unbeladen“, „Waldweg beladen“ und „Waldweg unbeladen“. Darüber hinaus wird oftmals noch eine zusätzliche Reifendruckeinstellung für Notsituationen eingerichtet. Der „Notmodus“ ist für den kurzzeitigen Einsatz vorgesehen, wenn maximale Traktion erforderlich ist, beispielsweise wenn das Fahrzeug festgefahren wurde (vgl. GREENFIELD UND COHN, 1991; WARNER, 1994; HAAG, 2004; GRANLUND, 2006B). Weiterführende Informationen zur technischen Funktionsweise von CTI-Systemen für LKW und deren Steuerung geben beispielsweise FREI-GANG (1994), VERHOFF UND MITTAL (1994) oder WARNER (1994).

1.4 Zielsetzung der Arbeit

Die bei Untersuchungen in anderen Ländern nachgewiesenen, ergonomischen, ökologischen und ökonomischen Vorteile durch einen angepassten Reifenfülldruck beim Rohholztransport sind auch in Deutschland zu erwarten. Allerdings lassen sich die Erfahrungen aus dem Ausland nicht ohne weiteres auf unsere Verhältnisse übertragen. Gründe dafür sind Unterschiede bezüglich der gängigen Fahrzeugtechnik, der zugelassenen Fahrzeugkombinationen bzw. deren Gesamtmassen sowie im Hinblick auf den Zustand und die Beschaffenheit von Waldwegen und der bei einem Transportzyklus auf Waldwegen durchschnittlich zurückzulegenden Distanz (vgl. BROKMEIER ET AL., 2009).

Aufgrund der Unterschiede bei den Rahmenbedingungen setzte sich die Abteilung Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie der Georg-August-Universität Göttingen (ifa) bei dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Zuge der KMU-Innovationsoffensive Ressourcen- und Energieeffizienz geförderten Verbundprojekt „CTI-Holz“ (Förderkennzeichen 0330867) mit möglichen Einsparpotentialen durch den Einsatz der CTI-Technologie beim Rohholztransport in Deutschland auseinander. Dazu wurde vom Projektpartner PTG ein Kurzholzgliederzug des dritten Verbundpartners, Richard Witte GmbH & Co. KG (Witte),

und damit erstmals in Deutschland ein Holztransport-LKW mit dem Prototyp eines CTI-Systems ausgestattet.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Ergebnisse von Untersuchungen zu einer Vielzahl unterschiedlicher Fragestellungen vorgestellt. Diese wurden im Zuge von Prüfstandsversuchen, bei der Befahrung von Teststrecken und während des Praxisbetriebs in der Untersuchungsregion Norddeutsches Tiefland gewonnen. Dabei stehen im Kapitel 2 zunächst die Versuche zum Einfluss des Fülldrucks auf den Kontaktflächendruck an der Schnittstelle von Reifen und Untergrund und die Verformungseigenschaften von Reifen im Fokus, auf deren Grundlage die Reifendruckeinstellungen für die unterschiedlichen Beladungszustände und Untergründe festgelegt wurden. Danach folgen im Kapitel 3 die Ergebnisse von Versuchsreihen zum Einfluss des Reifeninnendrucks auf das Traktionsverhalten und im Kapitel 4 die Ergebnisse von Treibstoffverbrauchsmessungen. Die Versuche zu den Auswirkungen eines angepassten Reifeninnendrucks auf die Ganzkörpervibrationsbelastung des Fahrers sind Gegenstand des Kapitels 5. Im Kapitel 6 wird auf die Versuchsreihen zum Einfluss des Reifenfülldrucks auf die Beschädigung des Waldwegekörpers infolge der Befahrung eingegangen.

Neben Untersuchungsergebnissen zu den Auswirkungen eines angepassten Reifeninnendrucks beim Rohholztransport fließen auch die Ergebnisse einer Analyse von Holztransportzyklen, die im Kapitel 7 vorgestellt werden, in die abschließende ökonomische Bewertung des CTIS-Einsatzes bei unterschiedlichen Einsatzschwerpunkten in der Versuchsregion ein. Das Ziel des Variantenstudiums im Kapitel 8 ist es, für die Holztransportunternehmen eine Entscheidungshilfe für eine Investition in die CTI-Technologie zu schaffen.