

# **Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten**

**Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**bast**

# Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten

## Schlussbericht

Klaus-Peter Glaeser  
Ulf Zander  
Rolf Kaschner  
Christian-Kurt Roder  
Markus Lerner  
Andreas Hegewald  
Ulrich Löhe

Bergisch Gladbach  
Juli 2008

<b>1</b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>BEFAHRBARKEIT VON VERKEHRSANLAGEN</u></b>	<b>2</b>
2.1	UNTERSUCHTE LASTZUGKOMBINATIONEN	2
2.2	BO-KRAFTKREIS	5
2.3	BEFAHRBARKEIT VON KLEINEN KREISVERKEHREN	7
2.4	BEFAHRBARKEIT VON EINMÜNDUNGEN	9
2.5	BEFAHRBARKEIT VON RASTANLAGEN	12
2.6	MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER BEFAHRBARKEIT VON VERKEHRSANLAGEN	13
2.6.1	FAHRZEUGSEITIGE MAßNAHMEN	13
2.6.2	INFRASTRUKTURELLE MAßNAHMEN	15
2.7	FLÄCHENBEDARF NEUER LASTZUGKOMBINATIONEN GEGENÜBER DEM STANDARDBEMESSUNGSFAHRZEUG	16
2.8	MESSUNG VERSUS SIMULATION	18
2.9	ZUSAMMENFASSUNG	18
<b>3</b>	<b><u>BEEINFLUSSUNG DES VERKEHRSABLAUFES</u></b>	<b>19</b>
3.1	AUTOBAHNEN UND AUTOBAHNÄHNLICHE STRAßEN	19
3.2	EINMÜNDUNGEN UND KREUZUNGEN IM NACHGEORDNETEN STRAßENNETZ	20
3.3	STATIONÄRE BEOBACHTUNGEN	21
3.4	ZUSAMMENFASSUNG	21
<b>4</b>	<b><u>AUSWIRKUNGEN AUF DIE ERHALTUNGSKOSTEN VON BRÜCKENBAUWERKEN</u></b>	<b>22</b>
4.1	AUSGANGSLAGE	22
4.2	KOSTENSCHÄTZUNG FÜR ERSATZNEUBAU BZW. ERTÜCHTIGUNGSMABNAHMEN	22
4.2.1	ALLGEMEINES	22
4.2.2	BRÜCKENBESTAND	22
4.2.3	GROBKOSTENSCHÄTZUNG	23
4.3	ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG UND AUSBLICKE	27
<b>5</b>	<b><u>EINSPARUNGEN VON TREIBSTOFF UND EMISSIONEN</u></b>	<b>30</b>
5.1	INTERNATIONALE ERFAHRUNGEN	30
5.1.1	SCHWEDEN UND FINNLAND	30
5.1.2	NIEDERLANDE	32
5.2	NATIONALE ERFAHRUNGEN	33
5.2.1	ERGEBNISSE DES PILOTVERSUCHS IN NIEDERSACHSEN	34
5.2.2	ERGEBNISSE DES PILOTVERSUCHS IN BADEN-WÜRTTEMBERG	35
5.3	ZUSAMMENFASSUNG UND VERGLEICH DER VERKEHRSTRÄGER	37
<b>6</b>	<b><u>FAHRZEUGTECHNIK</u></b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG</u></b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b><u>LITERATUR</u></b>	<b>43</b>



# 1 Einleitung

Ständig steigende Verkehrsleistungen setzen die Infrastruktur der Bundesrepublik Deutschland fortwährend wachsenden Belastungen aus: Sowohl die Anzahl der insbesondere die Verkehrsverbindungen des Bundesfernstraßennetzes nutzenden Fahrzeuge als auch die auf ihnen abgewickelte Transportleistung ist in der Vergangenheit beständig angestiegen, und nichts deutet darauf hin, dass dieser Trend in Zukunft unterbrochen werden wird. Die aus dieser Entwicklung entstehenden zusätzlichen Aufwendungen für häufiger durchzuführende Erhaltungsmaßnahmen wie auch für den Ausbau des Netzes erfordern finanzielle Mittel in einem Umfang, den aufzubringen der Staat mitsamt seinen Bürgern kaum noch fähig oder auch gewillt ist.

Neben der Möglichkeit zur Verlagerung von weiteren Transporten auf die Schiene und die Wasserwege werden zur Linderung des weiteren Verkehrsanstiegs auf den Straßen derzeit verschiedene Konzepte neuartiger Schwerverkehrsfahrzeuge ins Gespräch gebracht. Allen diesen Fahrzeugkonzepten ist gemein, dass durch eine Vergrößerung des Ladevolumens und/oder des zulässigen Gesamtgewichts eine Reduzierung der auf dem Straßennetz verkehrenden Fahrzeuge erreicht werden soll. Als positiv wird darüber hinaus angeführt, dass auf diese Weise auch eine Verringerung der Schadstoffemissionen sowie ein wirtschaftlicher Vorteil erreicht werden kann.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat sich dieses Themas bereits im Jahr 2005 angenommen und eine Arbeitsgruppe gegründet, die sich seither mit den Auswirkungen dieser Fahrzeugkonzepte auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes beschäftigt. Ende 2006 legte diese Gruppe einen ersten Bericht [2] vor, der sich mit den technischen Fragestellungen hinsichtlich einer möglichen Straßen- und Brückenschädigung, der Befahrbarkeit und Nutzung der Verkehrsanlagen, einer Beeinflussung der Verkehrsstärke und des Verkehrsablaufes, der Verkehrssicherheit äußert. Darüber hinaus wurde ein Katalog fahrzeugtechnischer Ausstattungen entworfen und Aussagen zur Eignung von Fahrzeugführern für diese neuartigen Fahrzeuge formuliert.

Zwischenzeitliche Entwicklungen bei den Fahrzeugkombinationen haben nun dazu geführt, dass durch veränderte Ausstattungsmerkmale insbesondere hinsichtlich der Kurvenlaufeigenschaften und der Befahrbarkeit von unterschiedlichen Straßengeometrien Verbesserungen eingetreten sind. Die in diesem Bericht vorgestellten Untersuchungen beschäftigen sich deshalb mit diesen Neuerungen und stellen die Auswirkungen auf die Befahrbarkeit dar.

Darüber hinaus werden in diesem Bericht neue Ergebnisse aus Beobachtungen zu den Auswirkungen auf den Verkehrsablauf, aus Messungen von Treibstoffverbräuchen sowie aus Berechnungen zu den erforderlichen Erhaltungsaufwänden von Brückenbauwerken vorgestellt.

## 2 Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen

### 2.1 Untersuchte Lastzugkombinationen

Der besseren Verständlichkeit halber wird im Folgenden von „neuen Lastzugkombinationen“ gesprochen, wenngleich sich bei einzelnen Varianten nur die Maße von bestehenden Lastzugkombinationen ändern (z.B. Sattelzug mit verlängertem Auflieger).

Abseits von Ausnahmeverordnungen gibt es derzeit für Güterkraftfahrzeuge wie auch für andere Fahrzeuge Höchstmaße für Länge, Breite, Höhe, Achslasten und maximal zulässiges Gesamtgewicht. Die Länge ist für Sattelzüge auf 16,50 m und für Gliederzüge (Lkw mit Anhänger) auf 18,75 m beschränkt. Das zulässige Gesamtgewicht ist für beide auf 40 t limitiert.

Die derzeitig neu in die Diskussion eingebrachten Lastzugkombinationen sehen die Überschreitung der derzeit maximal zulässigen Fahrzeuglängen und/oder zulässigen Gesamtgewichte vor. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die in der vorliegenden Untersuchungen getesteten Lastzugkombinationen, die zum Untersuchungszeitpunkt im Rahmen von Pilotversuchen eingesetzt wurden. Das zulässige Gesamtgewicht der untersuchten Fahrzeuge war für die Pilotversuche auf 40 t beschränkt.

Der **Sattelzug mit Tandemachsanhänger** besteht aus einem Sattelzug (Sattelzugmaschine und Auflieger) und einen an den Auflieger angehängten Tandemachsanhänger. Die Fahrzeuglänge beträgt 25,25 m. Die Besonderheit des im Rahmen dieser Untersuchung getesteten Fahrzeuges ist, dass sich ab einer Geschwindigkeit von 30 km/h die 3. Achse des Aufliegers absenkt. Dies bedeutet, dass in Knotenpunkten, welche in der Regel mit einer Geschwindigkeit von < 30 km/h befahren werden, die 3. Achse des Aufliegers geliftet ist. Dadurch wird der Drehpunkt des Aufliegers weiter nach vorne verlagert. Dies hat zur Folge, dass bei Kurvenfahrten der Kuppelungspunkt des Anhängers stärker ausschwenkt und somit weniger Fläche auf der Kurveninnenseite benötigt wird.

Der **6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger** ist ein 6x2 Lkw mit einem starren oder gelenkten Dolly-Anhänger und einen darauf aufgesattelten Auflieger. Diese 25,25 m lange Fahrzeugkombination ähnelt optisch dem Gliederzug und unterscheidet sich von diesem nur durch den längeren Sattelaufleger. Bei dem im Rahmen der Untersuchung getesteten Fahrzeug war die 3. und 8. Fahrzeugachse als Lenkachse ausgeführt.

Eine weitere Lastzugkombination ist die **Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern**. Diese Lastzugkombination besteht aus einer Sattelzugmaschine und einem Auflieger welcher über eine fest verbaute zweite Sattelkupplung verfügt, auf der ein weiterer Sattelaufleger aufliegt. Das im Rahmen der Untersuchung getestete Fahrzeug verfügt über insgesamt 10 Achsen, von denen drei als Lenkachsen konzipiert waren (6., 7. und 10. Achse), und hat eine Länge von 23,00 m.

Sattelzug mit Tandemachsanhänger



Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern



6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern



Sattelzug mit verlängerten Auflieger



Abbildung 2.1: Lastzugkombinationen

Tabelle 2.1: Abmessungen und Eigenschaften der getesteten Lastzugkombinationen

Lastzugkombination	Länge	Achsan- zahl	Lenkachsen	Liftachsen
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	25,25 m	7	-	5
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	25,25 m	8	3/8	-
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	23,00 m	10	6/7/10	2/6/7/8/10
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	25,25 m	7	-	-
Sattelzug mit verlängerten Auflieger	17,80 m	7	-	-

Beim **6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern** werden an einen 6x2 Lkw zwei Tandemachsanhänger mit jeweils einer starren Deichsel angehängen. Die Gesamtlänge beträgt 25,25 m. Aufgrund der geringen Achszahl ist das zul. Gesamtgewicht auf 48t beschränkt, diese Lastzugkombination ist daher besonders für Volumentransporte geeignet. Auf die Verwendung von Lenkachsen wurde bei dem getesteten Fahrzeug verzichtet.

Ein weiterer Vorschlag zur Vergrößerung des Ladevolumens ist der **Sattelzug mit verlängerten Auflieger**. Diese neue Lastzugkombination sieht vor, die Ladelänge so weit zu vergrößern, dass die Gesamtlänge des Zuges von heute 16,50 m auf 17,80 m erhöht wird. Die im Vergleich zu herkömmlichen Aufliegern zusätzliche Länge von 1,30 m wird durch einen verlängerten Radstand sowie durch die Verlängerung des Fahrzeughecks hinter dem Dreiachsaggregat um 1,00 m erreicht.

Bezüglich der Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen stellt sich die Frage, ob die neuen Lastzugkombinationen die Anforderungen der Geometrie bestehender Straßen einhalten können. Maßgebend ist im Wesentlichen der Flächenbedarf bei Ein- und Abbiegevorgängen an Knotenpunkten. Für diese Fragestellung wurde untersucht, wie groß der Flächenbedarf der neuen Lastzugkombinationen ist, beziehungsweise welche geometrischen Kennwerte die neuen Lastzugkombinationen für eine sichere Straßenbenutzung benötigen.

Um weitergehende Aussagen zu den Kurvenlaufeigenschaften der neuen Lastzugkombinationen und damit zu der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen durch diese Fahrzeuge treffen zu können, wurden zunächst Schleppkurven<sup>1</sup> für verschiedene Straßengeometrien durch Ver-

suchsfahrten ermittelt. Da es nicht möglich war, Knotenpunkte im Rahmen der Untersuchung für Versuchsfahrten zu sperren, wurden die Messfahrten auf einem abgesperrten Testgelände durchgeführt. Auf diesem wurden ausgewählte Straßengeometrien mittels Absteckverfahren eingemessen, die Fahrbahnränder mit Signalfarbe abmarkiert und zur Verdeutlichung mit Pylonen abgesteckt. Die Messfahrten wurden von einem erfahrenen Testfahrer jeweils nach zwei bis vier Probefahrten durchgeführt. Der Fahrer wurde instruiert, die Fahraufgabe zügig – d.h. nicht schnell, aber ohne abzusetzen – durchzuführen. Für die Bewertung ist dabei zu beachten, dass der Fahrer bei den Messfahrten neben der Aufgabe der Durchfahrung der vorgegebenen Straßengeometrie keine weiteren Aufgaben (z.B. Beachtung des Gegen- oder Querverkehrs, Einschätzung von Geschwindigkeiten und Zeitlücken, Beachtung von Fußgängern und Radfahrern) zu bewältigen hatte.

Für jede Lastzugkombination und Straßengeometrie wurden jeweils 3 Messfahrten durchgeführt. Die Ermittlung der bei den Messfahrten überstrichenen Flächen erfolgte mittels Tropfwasser aus Wasserflaschen, welche analog Abbildung 2.3 an die Lastzugkombinationen angebracht wurden. Beim Befahren der Straßengeometrien wurden die Wasserflaschen geöffnet und die äußere Hüllkurve an vorher definierten und markierten Messquerschnitten eingemessen und dokumentiert. Zusätzlich zu den Messquerschnitten wurde auch das Überstreichen bzw. Überfahren von Flächen im Seitenraum eingemessen und dokumentiert.

Die Auswertung der aufgenommenen Messpunkte erfolgte in AutoCAD, mit welchem die aufgenommenen Messpunkte mit Hilfe einer Kurvenlinie zu einer Schleppkurve verbunden wurden. Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde von den 3 Messfahrten diejenige verwendet, welche nicht die min./max. Messwerte abbildet.

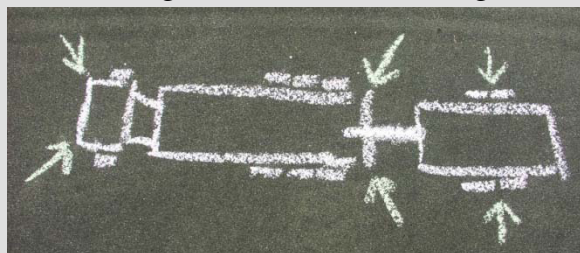
<sup>1</sup> Die Schleppkurve eines Fahrzeuges beschreibt die Fläche, die von dem Fahrzeug während einer Kurvenfahrt überstrichen wird. Maßgebende Parameter für die Berechnung von Schleppkurven sind die Fahrzeugabmessungen, die Achsabstände sowie die Lage der Fahrzeugknickpunkte und letztendlich die gewählte Leitlinie.



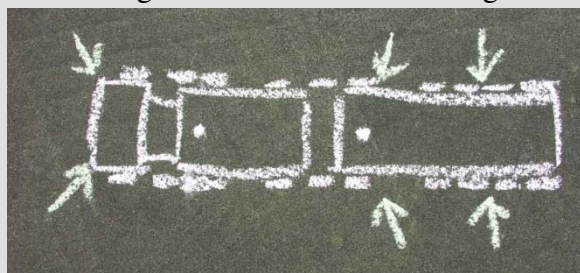
Abbildung 2.2: Fotodokumentation der Messmethode

Bei der Interpretation der Messergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die ermittelten Maße die tatsächlich vom Fahrzeug überstrichenen Flächen begrenzen. Dies bedeutet, dass weder Bewegungsspielräume noch Sicherheitsräume berücksichtigt sind. Des Weiteren hat die Geschicklichkeit und Routine des Fahrers einen erheblichen Einfluss auf die Fahrlinie. Je nach Fahrgeschwindigkeit, Lenkgeschwindigkeit und Lenkeinschlag während der Kurvenfahrt entstehen sehr unterschiedlich überstrichene Flächen.

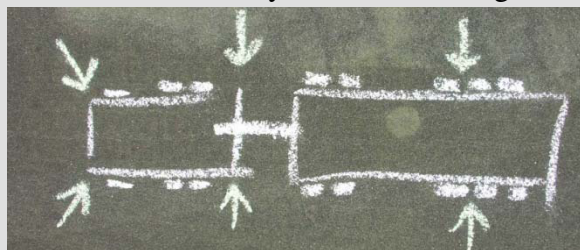
Sattelzug mit Tandemachsanhänger



Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern



6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

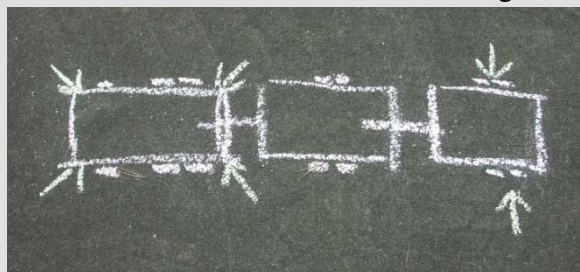


Abbildung 2.3: Position der Wasserflaschen

Diese Abweichungen von der im Idealfall zu erwartenden Fahrlinie werden im Straßenentwurf durch die Berücksichtigung von seitlichen Bewegungsspielräumen berücksichtigt. Für Lastkraftwagen werden 0,25 m seitlicher Bewegungsspielraum für die Geradeausfahrt angesetzt, für Kurvenfahrten ist dieser Wert auf beidseitig jeweils 0,50 m zu erhöhen, um Variationen der Kurvenfahrt und Lenktoleranzen auszugleichen. Je nach Fahrweise, z.B. langsame Fahrweise bei der Befahrung von Parkständen können die Bewegungsspielräume in Ausnahmefällen reduziert werden.

Zusätzlich zu den realen Befahrungen der ausgewählten Straßenelemente wurden dieselben Straßengeometrien als Grundlage für die



Schleppkurvenermittlung per Simulation verwendet. Ziel war der Vergleich der Ergebnisse beider Verfahren sowie um zu einem späteren Zeitpunkt Schleppkurven für weitere Straßengeometrien mittels Simulation zu bestimmen. Als Software wurde die AutoCAD-Applikation AUTOTURN verwendet.

Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse sind folgende Hinweise zu berücksichtigen. Die Abmessungen der Fahrzeuge wurden analog der Fahrzeuge, die im Rahmen der Messfahrten genutzt wurden, in die Simulation übertragen. In AUTOTURN ist es jedoch bisher noch nicht möglich, mehrere Lenkachsen zu simulieren. Das bedeutet, dass in der Simulation bei den beiden Lastzugkombinationen *6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger* und *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* jeweils nur die letzte Fahrzeugachse gelenkt wird. Weiterhin ist es in AUTOTURN nicht möglich, bei benutzerspezifischen Fahrzeugen die Achsabstände eines Fahrzeugelements flexibel zu wählen. Daher weichen diese bei der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* in der Simulation von denen vom Messfahrzeug bei der Realfahrt ab. Dies bedeutet für beide Lastzugkombinationen, dass diese bei der Simulation schlechtere Kurvenlaufeigenschaften als in der Realität besitzen.

Bei der *Sattelzugmaschine mit Tandemachsanhänger* wurde in Abbildung 2.4 auf die Darstellung der 3. Achse des Aufliegers verzichtet, da diese bei Kurvenfahrten geliftet ist.

## 2.2 BO-Kraftkreis

Der zulassungsrelevante Parameter für die Kurvenlaufeigenschaften von Kraftfahrzeugen ist die Einhaltung des BO-Kraftkreises (§32d StVZO). Demnach müssen Kraftfahrzeuge und Lastzugkombinationen so gebaut und eingerichtet werden, dass bei einer Kreisfahrt von  $360^\circ$ , die überstrichene Ringfläche mit einem äußeren Radius von 12,50 m keine größere Breite als 7,20 m hat. Zudem darf beim Einfahren aus der tangierenden Geraden in den Kreis kein Teil der Lastzugkombination diese Gerade um mehr als 0,80 m nach außen überschreiten.

Nachfolgend sollen die Ergebnisse der Messung von allen hier getesteten Lastzugkombinationen, ausgenommen vom *Sattelzug mit verlängertem Auflieger*, dargestellt werden.

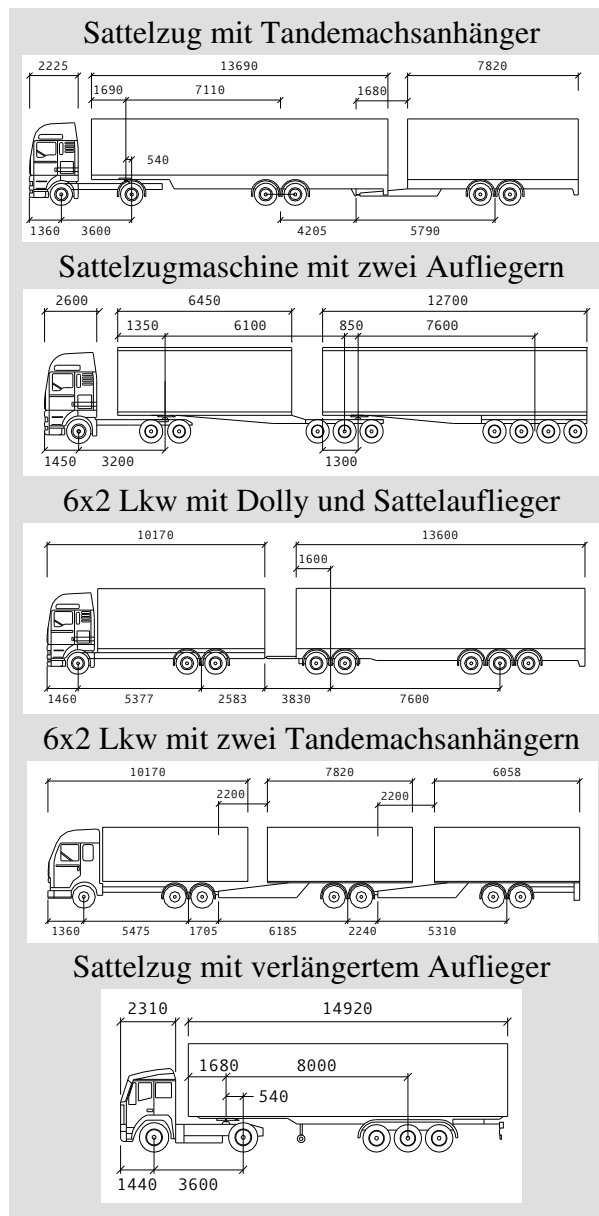


Abbildung 2.4: Lastzugkombinationen mit Abmessungen (aus AUTOTURN)

Die *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* erfüllt im Gegensatz zu den anderen getesteten Lastzugkombinationen die Anforderungen des BO-Kraftkreises (siehe Tabelle 2.2). Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* im Gegensatz zu den anderen Lastzugkombinationen eine geringe Fahrzeuglänge aufweist und des Weiteren über mehrere

Lenkachsen verfügt. Der *Sattelzug mit Tandemachsanhänger* und der *6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger* überschreiten die innere Ringfläche des BO-Kraftkreises geringfügig. Dagegen überschreitet der *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* die innere Ringfläche des BO-Kraftkreises deutlich. Der Grenzwert für das Ausschermmaß wird von allen Lastzugkombinationen eingehalten, wobei der Auflieger des *Sattelzuges*

mit Tandemachsanhänger am stärksten ausschert.

Wie jedoch weiterführende Untersuchungen gezeigt haben, können die Messergebnisse im BO-Kraftkreis leicht beeinflusst werden. So führen höhere Geschwindigkeiten zu einem deutlich besseren Ergebnis (siehe Tabelle 2.3). Eine Begründung dafür ist die stärkere Zentrifugalkraft, welche die Auflieger bzw. Anhänger stärker in Richtung Kurvenaußenseite zieht.

Ebenfalls untersucht wurde der Einfluss des Fahrzeuggewichts auf die Ergebnisse im BO-Kraftkreis. Es wurde vermutet, dass sich die Kurvenlaufeschaften mit steigendem Fahrzeuggewicht aufgrund der höheren Haftkraft verbessern. Es konnte jedoch nur eine geringfügige Verbesserung nachgewiesen werden, da sich die Wirkung der Lenkachse durch die höhere Haftkraft nur geringfügig besser entfalten kann.

Einen weiteren entscheidenden Einfluss auf die Schleppkurve bzw. auf die Einhaltung des BO-Kraftkreises hat der Umstand, ob eine Fahrzeugachse geliftet oder abgesenkt ist. Eine vergleichende Untersuchung der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* mit gelifteter und abgesenkter 7. Achse zeigte deutliche Unterschiede des Ergeb-

nisses im BO-Kraftkreis. Die *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* mit gelifteter 7. Achse hält die Vorgaben des BO-Kraftkreises nicht ein. Erst mit abgesenkter 7. Achse (zusätzlich Lenkachse) kann die Fahrzeugkombination den BO-Kraftkreis innerhalb der Grenzwerte befahren. Im Regelbetrieb (40 t) kann es also bei gelifteter 7. Achse vorkommen, dass die Bedingungen für das Kurvenlaufverhalten nicht eingehalten werden.

Die Einhaltung beziehungsweise Nicht-Einhaltung des BO-Kraftkreises gibt jedoch nur unzureichende Informationen darüber, ob und in welchem Maße die Flächeninanspruchnahme neuer Lastzugkombinationen die in der Praxis vorkommenden Trassierungsparameter für Straßen übersteigen. So ist bei der Befahrung des BO-Kraftkreises zwar ein deutlich kleinerer Innenkreisradius zu befahren als bei Knotenpunkten, allerdings unter Nutzung einer Kreisringfläche von 7,20 m Breite, während an Knotenpunkten eine Fahrstreifenbreite von lediglich 3,50 m bis 4,50 m zur Verfügung steht. Darüber hinaus kann aus der Befahrung des BO-Kraftkreises nicht auf den Flächenbedarf bei der Befahrung eines Kreisverkehrs mit drei aufeinanderfolgenden Richtungswechseln geschlossen werden.

Tabelle 2.2: Ergebnisse der Befahrung des BO-Kraftkreises

Lastzugkombination	überstrichene Ringfläche (max: 7,20 m)	Ausschermaß (max: 0,80 m)
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	7,50 m	0,65 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelauflieger	7,45 m	0,50 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	6,82 m	0,25 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	7,95 m	0,43 m


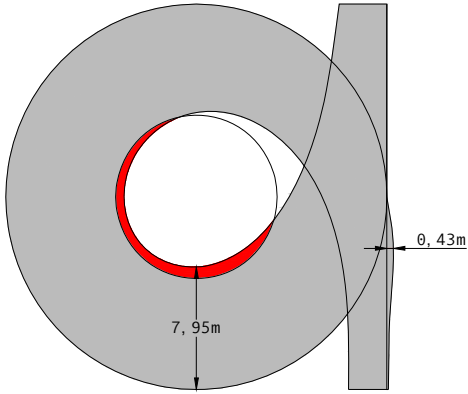



Tabelle 2.3: Einfluss der Geschwindigkeit auf die Ergebnisse im BO-Kraftkreis

Geschwindigkeit [km/h]	4-5	6-7	9-10	12-13
Überstrichene Ringfläche [m]	7,40	7,33	7,23	7,04

## 2.3 Befahrbarkeit von Kleinen Kreisverkehren

Kleine Kreisverkehre stellen hinsichtlich der Befahrbarkeit mit Lastzügen besondere Anforderungen an den Fahrzeugführer. Im Gegensatz zum Minikreisverkehr ist die Kreisinsel bei kleinen Kreisverkehrsplätzen nicht überfahrbar gestaltet. Aufgrund der Fahrzeuggeometrie und der dreigliedrigen Kurvenfahrt (Rechtseinbiegen – Linkskurvenfahrt – Rechtsabbiegen) im Kreisverkehr führen bereits kleine Abweichungen von der Leitlinie zur Flächeninanspruchnahme außerhalb der befestigten Fahrbahn.

Für eine Abschätzung der Befahrbarkeit durch neue Lastzugkombinationen wurde exemplarisch ein kleiner Kreisverkehrsplatz mit 35 m Außendurchmesser überprüft. Aufgrund dessen, dass sich der *Sattelzug mit verlängertem Auflieger* vom Standard-Sattelzug nur unwesentlich unterscheidet, wurde bei der Messung der Befahrbarkeit des Kreisverkehrs für diese Lastzugkombination ein Kreisverkehr mit einem Außendurchmes-

ser von 26 m (kleiner Kreisverkehr innerorts) gewählt. Für die Überprüfung der Befahrbarkeit wurden die Entwurfselemente analog dem „Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren“ zugrunde gelegt.

Tabelle 2.4: Entwurfselemente des Kleinen Kreisverkehrs und deren Abmessungen

	Variante 1	Variante 2
Außendurchmesser D	35,00 m	26,00 m
Breite Kreisring BK	7,00 m	9,00 m
Fahrstreifenbreite der Zufahrt BZ	3,50 m	3,25 m
Fahrstreifenbreite der Ausfahrt BA]	3,75 m	3,50 m
Eckausrundung der Zufahrt RZ	14,00 m	12,00 m
Eckausrundung der Ausfahrt RA	16,00 m	14,00 m
Fahrbahnteiler	Nicht Angepasst	Angepasst

Tabelle 2.5: Ergebnisse aus der Befahrung des  $\frac{1}{4}$  und des  $\frac{3}{4}$  Kreises (Variante 1)

Lastzugkombination	Abstand zum Fahrbahnteiler (Einfahrt)	Abstand zum Fahrbahnrand (Ausfahrt)
Befahrung $\frac{1}{4}$ Kreis		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,21 m	0,15 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufliieger	- 0,20 m	0,13 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	0,00 m	0,19 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	- 0,11 m	0,04 m
Befahrung $\frac{3}{4}$ Kreis		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,25 m	- 0,21 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufliieger	- 0,11 m	- 0,15 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	0,07 m	0,04 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	0,00 m	- 0,23 m

Tabelle 2.6: Ergebnisse der Befahrung des Kleinen Kreisverkehrs (Variante 2)

Lastzugkombination	Abstand zum Fahrbahnteiler (Einfahrt)	Abstand zum Fahrbahnrand (Ausfahrt)
Befahrung $\frac{1}{4}$ Kreis		
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	- 1,00 m	- 0,35 m
Befahrung $\frac{3}{4}$ Kreis		
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	- 0,50 m	- 0,05 m

### Messung – Variante 1

Die Befahrung des  $\frac{1}{4}$  Kreises ist allen vier Lastzugkombinationen bedingt möglich. Mit Ausnah-

me der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* wird bei der Einfahrt in den Kreisverkehr der Fahrbahnteiler von allen Lastzugkombinationen

überstrichen. In ungünstigen Fällen kann es vorkommen, dass auf dem Fahrbahnteiler wartende Fußgänger bzw. Radfahrer vom ausscherehenden Anhänger/Auflieger gefährdet oder Elemente der Straßenausstattung beschädigt werden. Bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr ( $R=16\text{m}$ ) besteht bei dem *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* im Gegensatz zu den anderen Fahrzeugkonzepten kein Bewegungsspielraum. Bei allen vier Lastzugkombinationen bestehen keine Sicherheitsreserven.

Im Kreisverkehr wurden die Schleppkurven für die Fahrt des  $\frac{1}{4}$  Kreises und des  $\frac{3}{4}$  Kreises bestimmt.

Die vier getesteten Lastzugkombinationen können den  $\frac{3}{4}$  Kreis nur bedingt befahren. Die Kreisinsel wird zwar von keiner der Lastzugkombinationen überfahren, jedoch ist die Befahrung der Ausfahrt aus dem  $\frac{3}{4}$  Kreis - ausgenommen von der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* - nur unter Verwendung von Flächen im Seitenraum möglich. Bei der Einfahrt in den Kreisverkehr zeigt sich wie bei der Befahrung des  $\frac{1}{4}$  Kreises, dass der Auflieger/Anhänger des *6x2 Lkw mit Dolly und Sattelauflieger* sowie des *Sattelzugs mit Tandemachsanhänger* den Fahrbahnteiler überstreicht. Auch hier bestehen bei allen vier Lastzugkombinationen keine Sicherheitsräume.

### Messung – Variante 2

Bei der Durchfahung des  $\frac{1}{4}$ -Kreises überstreicht der *Sattelzug mit verlängertem Auflieger* bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr die Seitenbereiche auf der Kurveninnenseite um  $0,35\text{ m}$ . Auf der Kurvenaußenseite zeigt sich durch die Lenkbewegung eine starke Ausschwenkbewegung des verlängerten Fahrzeughecks bei der Einfahrt in den Kreisverkehr. Dabei überstreicht das Heck den Fahrbahnteiler bis zu einer Tiefe von annähernd  $1,00\text{ m}$ .

Die Durchfahung des  $\frac{3}{4}$ -Kreises zeigte sich erwartungsgemäß als weniger problematisch, da die Ein- und Ausfahrt in und aus der Kreisfahrbahn annähernd geradlinig verläuft und keine starken Lenkbewegungen nötig sind. Das Fahrzeug nutzt dabei annähernd den kompletten Innenring. Die Kreisinsel wird jedoch nicht überstrichen. Allerdings schwenkt das Heck des Aufliegers bei der Einfahrt in den Kreisverkehr um ca.  $0,50\text{ m}$  über den Fahrbahnteiler. Bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr wird der Seitenraum nur minimal ( $0,05\text{ m}$ ) in Anspruch genommen.

### Simulation

Zur besseren Vergleichbarkeit aller Lastzugkombinationen untereinander wurden nachfolgend die

Schleppkurven für alle fünf Lastzugkombinationen bei der Befahrung des Kleinen Kreisverkehrs (Außendurchmesser von  $35\text{ m}$ ) simuliert. Abbildung 2.5 zeigt die Schleppkurve des *Sattelzugs mit verlängertem Auflieger* bei der Befahrung des  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{3}{4}$  Kreises. Die Darstellung der Schleppkurven der weiteren Lastzugkombinationen kann dem Anhang entnommen werden.

Die Einfahrt in den  $\frac{1}{4}$  Kreis kann von allen fünf Lastzugkombinationen ohne überschwenken des Fahrbahnteilers befahren werden. Bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr wird jedoch vom *Sattelzug mit Tandemachsanhänger* und dem *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* der Fahrbahnrand geringfügig überfahren.

Die Schleppkurven zur Befahrung des  $\frac{3}{4}$  Kreises zeigt, dass die Kreismittelinsel vom *Sattelzug mit Tandemachsanhänger* und dem *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* überstrichen wird. Des Weiteren schwenkt bei allen Lastzugkombinationen außer beim *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* das Heck der Fahrzeuge über den Fahrbahnteiler. Bei der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr wird von allen Lastzugkombinationen der Fahrbahnrand überfahren.

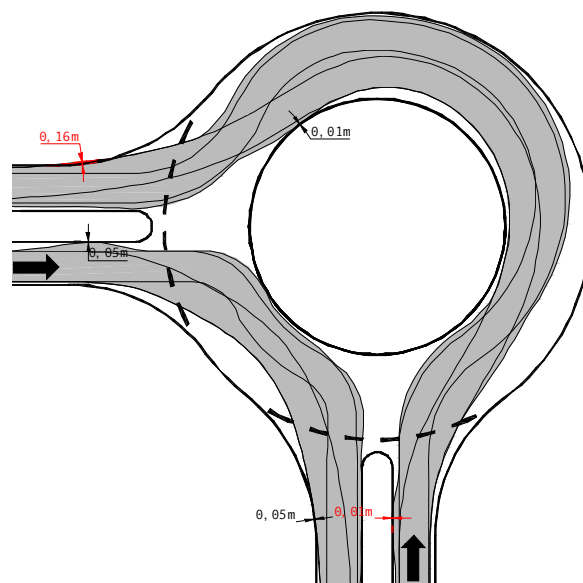


Abbildung 2.5: Simulation der Befahrung des  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{3}{4}$  Kreises (Sattelzug mit verlängertem Auflieger)

### Fazit

Die Untersuchungen zur Befahrbarkeit von Kleinen Kreisverkehren haben gezeigt, dass diese durch die neuen Lastzugkombinationen nur unter Ausnutzung aller Sicherheitsräume befahren werden können, meistens nur unter Verwendung von Flächen des Seitenraumes.

Tabelle 2.7: Ergebnisse der Simulation des Kleinen Kreisverkehrs (Variante 1)

Lastzugkombination	Abstand zum Fahrbahnteiler (Einfahrt)	Abstand zum Fahrbahnrand (Ausfahrt)
Befahrung $\frac{1}{4}$ Kreis		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	0,11 m	- 0,07 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	0,19 m	0,00 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	0,11 m	0,09 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	0,53 m	- 0,20 m
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	0,05 m	0,05 m
Befahrung $\frac{3}{4}$ Kreis		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,12 m	- 0,23 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	- 0,12 m	- 0,23 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	- 0,16 m	- 0,18 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	0,25 m	- 0,34 m
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	- 0,01 m	- 0,16 m

## 2.4 Befahrbarkeit von Einmündungen

Für die Ermittlung der Kurvenlaufeigenschaften bei Ein- und Abbiegemanövern wurde eine Einmündung mit großem Tropfen und dreiteiligem Korbbogen gewählt. Dies ist – sofern nach technischem Regelwerk gebaut wurde – die Knotenpunktsform mit der größten Dimensionierung bezüglich der Eckausrundungen und der Ein- und Ausfahrtquerschnitte. Zusätzlich wurde eine typische innerörtliche Einmündung mit einem Eckausrundungsradius von 15 m mit Kreisbogenstrassierung befahren.

Nachfolgend wird das Rechtseinbiegen untersucht, da Voruntersuchungen gezeigt haben, dass sowohl das Rechts- als auch das Linksabbiegen unproblematisch sind. Es wurde ermittelt, in welchem Maße beim Fahrmanöver Rechtseinbiegen Flächen des Seitenraumes in Anspruch genommen werden, für den Fall, dass keine Flächen der entgegenkommenden Fahrtrichtung der übergeordneten Straße befahren beziehungsweise überstrichen werden.

Im Rahmen der Messung wurden bis auf den *Sattelzug mit verlängertem Auflieger* die Schleppkurven für alle Lastzugkombinationen ermittelt. Die Ermittlung der Schleppkurve des *Sattelzuges mit verlängertem Auflieger* erfolgte ausschließlich mittels Simulation.

### Messung

Die außerörtliche Einmündung kann ohne Inanspruchnahme von Flächen im Seitenraum nur von der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* befahren werden (siehe Tabelle 2.9). Von den anderen Lastzugkombinationen wird auf der Kurvenaußenseite der Tropfen vom Heck der Fahrzeuge überstrichen. Im Bereich der Kurveninnenseite besteht bei allen Lastzugkombinationen ein geringer Bewegungsspielraum. Am deutlichsten wird dieser vom *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* in Anspruch genommen.

Aufgrund dessen, dass der Tropfen in erster Linie zur Separierung der Fahrtrichtungen und nicht immer als Aufstellfläche für Fußgänger/Radfahrer dient, muss das Überstreichen des Tropfens zumindest bei Abwesenheit von Fußgänger- und Radverkehr nicht als sicherheitskritisch bewertet werden. Zu beachten ist jedoch, dass der Tropfen der Aufnahme von Verkehrszeichen dient.

Innerörtliche Knotenpunkte mit einer Eckausrundung von 15 m können von allen getesteten Lastzugkombinationen nur durch Mitbenutzung des entgegengerichteten Fahrstreifens auf der übergeordneten Straße befahren werden. Soll dieser nicht in Anspruch genommen werden, muss der seitliche Fahrbahnrand auch bei großen Eckausrundungen deutlich überfahren werden. Am meisten Fläche im Seitenraum benötigt dabei der *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern*. Da es aufgrund der Möblierung des Seitenraumes in der Regel nicht möglich ist diesen zu überfahren, müssen beim Rechtseinbiegen aus der untergeordneten Knotenpunktzufahrt beide Fahrstreifen auf der übergeordneten Straße benutzt werden. Bei hohen Verkehrsstärken kann

dies zu deutlichen Kapazitätsverlusten in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt führen.

In der untergeordneten Knotenpunktzufahrt wird von allen getesteten Lastzugkombinationen ein Teil des entgegengerichteten Fahrstreifens vom

ausscherenden Heck/Auflieger überstrichen. Am stärksten schert dabei der Auflieger des *Sattelzugs mit Tandemachsanhänger* in den Fahrstreifen des Gegenverkehrs.

Tabelle 2.8: Entwurfselemente einer außerörtlichen und innerörtlichen Einmündung und Abmessungen

	außerörtliche Einmündung	innerörtliche Einmündung
Einfahrt Abbiegen ( $E_1$ ):	3,50 m	3,50m
Ausfahrt Abbiegen ( $A_1$ ):	4,50 m	3,50 m
Einfahrt Einbiegen ( $E_2$ ):	4,50 m	3,50 m
Ausfahrt Einbiegen ( $A_2$ ):	3,50 m	3,50 m
	Eckausrundung Hauptbogenradius	Eckausrundung
Einbiegen ( $R_E$ ):	12 m	15 m
Abbiegen ( $R_A$ ):	15 m	15 m

Tabelle 2.9: Ergebnisse aus der Befahrung einer außerörtlichen und innerörtlichen Einmündung

Lastzugkombination	Kurvenaußenseite	Kurveninnenseite
außerörtliche Einmündung		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,17 m	0,20 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	- 0,17 m	0,22 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	0,31 m	0,20 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	- 0,08 m	0,06 m
innerörtliche Einmündung		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,93 m	- 0,33 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	- 0,45 m	- 0,29 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	- 0,32 m	- 0,35 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	- 0,36 m	- 0,51 m

Tabelle 2.10: Ergebnisse der Simulation einer außerörtlichen und innerörtlichen Einmündung

Lastzugkombination	Kurvenaußenseite	Kurveninnenseite
außerörtliche Einmündung		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,69 m	- 0,08 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	- 0,67 m	- 0,01 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	- 0,78 m	0,08 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	- 0,17 m	- 0,15 m
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	- 0,71 m	- 0,03 m
innerörtliche Einmündung		
Sattelzug mit Tandemachsanhänger	- 0,80 m	- 0,79 m
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger	- 0,66 m	- 0,75 m
Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern	- 0,83 m	- 0,58 m
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern	- 0,21 m	- 1,02 m
Sattelzug mit verlängertem Auflieger	- 0,75 m	- 0,63 m

### Simulation

Wie bereits bei den Messungen zeigt sich auch bei der Simulation, dass bei allen Lastzugkombinationen sowohl bei der außerörtlichen als auch innerörtlichen Einmündung die Sicherheitsräume zum Teil deutlich überschritten werden.

Da mit AUTOTURN alle fünf Lastzugkombinationen simuliert wurden, ist an dieser Stelle ein direkter Vergleich zwischen den *Sattelzug mit verlängertem Auflieger* und den verbleibenden Lastzugkombinationen möglich. Es zeigt sich, dass *der Sattelzug mit verlängertem Auflieger* ein ähnlich starkes Ausscherverhalten aufweist wie die anderen Lastzugkombinationen. Im Gegensatz dazu ist der Flächenbedarf auf der Kurveninnenseite nicht ganz so ausgeprägt. Dieses entspricht

annähernd dem Flächenbedarf der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern*.

Abbildung 2.6 zeigt die simulierten Schleppkurven des *Sattelzuges mit verlängertem Auflieger* beim Rechteinbiegen an einer außerörtlichen und innerörtlichen Einmündung. Die simulierten Schleppkurven der anderen Lastzugkombinationen sind dem Anhang zu entnehmen.

Im Vergleich zur Befahrung zeigt die Simulation, dass alle Lastzugkombinationen sowohl stärker mit dem Auflieger/Anhängern ausscheren als auch mehr Flächen in der Kurveninnenseite in Anspruch nehmen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Messung keine Sicherheitsräume mit eingerechnet wurden, diese bei der Simulation jedoch berücksichtigt werden.

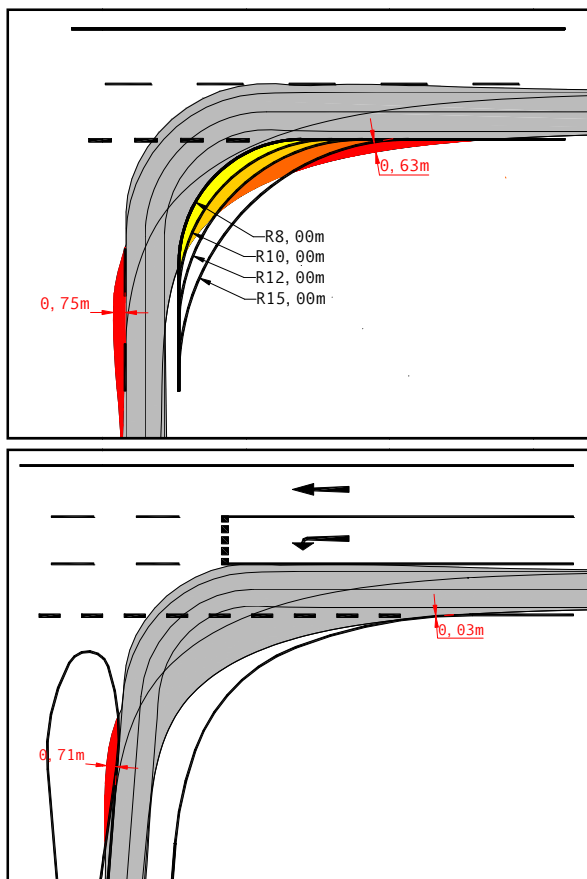


Abbildung 2.6: Simulation der Befahrbarkeit einer auBerörtlichen (links) und innerörtlichen (rechts) Einmündung (Sattelzug mit verlängertem Auflieger)

### Fazit

Außerörtliche Einmündungen sind nur unter Verwendung aller zur Verfügung stehenden Sicherheitsräume befahrbar. Im Gegensatz dazu ist die Befahrbarkeit von innerörtlichen Einmündungen stark eingeschränkt.

## 2.5 Befahrbarkeit von Rastanlagen

Unabhängig von der Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen im nachgeordneten Straßennetz abseits von Autobahnen, muss bei einem Einsatz von überlangen Lastzugkombinationen die regelmäßige und uneingeschränkte Einhaltung der Lenk- und Ruhezeitregelungen für Berufskraftfahrer gewährleistet werden. Hierzu ist eine Abschätzung der Auswirkungen der größeren Flächenbeanspruchung derartiger Fahrzeuge auf die Nutzbarkeit der gesamten Anlage erforderlich.

In den Richtlinien für Rastanlagen an Straßen (RR1) sind Längen- und Breitenmaße für die Abmessungen von Stellplätzen für Lastkraftwagen aufgeführt. Der Abstand zwischen den Fahr-

gassen ist bei Schrägaufstellung ( $\leq 50$  gon) mit 18,00 m angegeben, die Parkstandlänge bei Längsaufstellung mit 25 m. Die Parkstandbreite soll 3,50 m betragen, und die Regelfahrgassenbreite für Lkw-Parkstände ist mit 6,50 m angegeben.

Bei den üblichen Abstellanlagen an Autobahnen werden die Parkstände mit einem Winkel von 50 gon markiert. Bei einem Abstand zwischen den Fahrgassen von 18,00 m ergibt sich damit ein Parkstand von 21,95 m Länge auf 3,50 m Breite. Für das Ein- und Ausfahren steht bei gleichmäßiger Aufstellung der Fahrzeuge eine nutzbare Breite zwischen den benachbarten Fahrzeugen von 4,50 m zur Verfügung.

Für die Nutzung von nach RR1 ausgeführten Schräg-Parkständen (50 gon) auf Park- und Rastanlagen durch neue Lastzugkombinationen mit einer Länge von 25,25 m bedeutet dies rein rechnerisch ein Überstand in die Fahrgasse von ca. 1,70 m. Bei Belegung von zu kurzen Parkständen und Überstand in die Fahrgasse ist die Nutzung auch durch kürzere Lastzüge nicht mehr möglich. Um den rein geometrischen Anforderungen hinsichtlich der Fahrzeuglänge an den Stellplatz zu genügen, müsste der Abstand zwischen den Fahrgassen vergrößert werden, oder – sofern dies bei bestehenden Anlagen (Abstand zwischen den Fahrgassen: 18 m) nicht möglich ist – deutlich geringere Aufstellwinkel ( $< 40$  gon) gewählt werden. Bei annähernd gleichbleibendem Flächenverbrauch könnten fünf bestehende 50 gon-Parkstände in vier 40 gon-Parkstände ummarkiert werden (vergleiche Abbildung 2.7).



Abbildung 2.7: Beispiele für Stellplatzanordnungen auf Raststätten an Bundesautobahnen mit markiertem Stellplatzbedarf für neue Lastzugkombinationen.

Neben Rastanlagen an Bundesautobahnen existiert ein Netz von Autohöfen, die zwar nicht in al-



len Fällen direkt über Zu- und Abfahrten an Autobahnen angeschlossen sind, aber über nur kurze Anschlussknoten angefahren werden können. Diese Autohöfe verfügen bereits heute in einigen Fällen über Lastkraftwagen-Stellplätze mit Längen von 27 m.

Zur Sicherstellung der Befahrbarkeit der längeren Parkstände – sowohl beim Einfahren als auch beim Ausfahren aus dem Parkstand – müsste jedoch zusätzlich zu den geringeren Aufstellwinkeln deutlich größere Fahrgassenbreiten zur Verfügung stehen oder die Parkstände deutlich breiter ausgeführt werden.

Können aufgrund der Fahrzeugabmessungen sowie der üblichen Stellplatzabmessungen keine regulären Stellplätze für neue Lastzugkombinationen zur Verfügung gestellt werden, wäre die Mitnutzung der Zufahrtsbereiche und Fahrgassen als Stellplatz die Folge, wie es bereits heute durch Überbelegungen in den Nachtstunden oft der Fall ist. Das verkehrswidrige Abstellen von Fahrzeugen führt dabei sowohl zu erheblichen Behinderungen im Betriebsablauf auf diesen Rastanlagen sowie zur Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit.

## 2.6 Maßnahmen zur Verbesserung der Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen

### 2.6.1 Fahrzeugseitige Maßnahmen

Die Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen kann durch verschiedene fahrzeugseitige Maßnahmen verbessert werden. Zu diesen Systemen zählen:

- Gezogene Lenkachse
- Liftachse
- Lenkdolly
- Verschiebung Kupplungspunkt und/oder Variation Achsabstände

Nachfolgend sollen die Auswirkungen derartiger Maßnahmen dargestellt werden.

#### **Gezogene Lenkachse**

Gezogene Lenkachsen dienen vorrangig der Reduktion von Reifenabrieb und werden in der Regel an der letzten Achse des Dreiachsaggregats des Aufliegers verwendet. Neben der Reduktion des Reifenabriebs haben gezogene Lenkachsen Auswirkungen auf die Kurvenlaufeigenschaften. Diese sollen am Beispiel des *6x2 Lkw mit starrer Dolly und Sattelaufliieger* mit lenknachfolgend demonstriert werden.

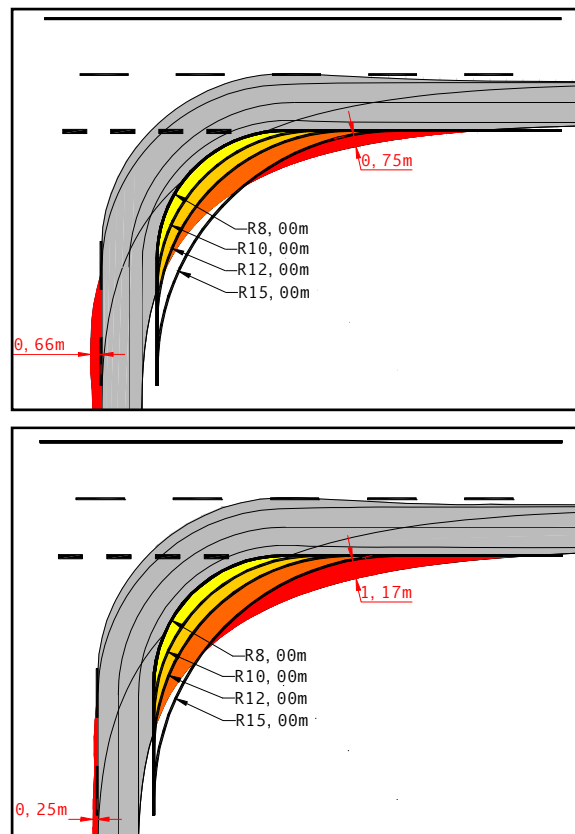


Abbildung 2.8: 6x2 Lkw mit starrer Dolly und Sattelaufliieger mit (oben) und ohne (unten) gezogener letzter Lenkachse am Auflieger

In Abbildung 2.8 sind die Simulationsergebnisse für das Rechtseinbiegen an einer innerörtlichen Einmündung einmal für den Fall, dass alle Achse starr sind (unten) und einmal für den Fall, dass die letzte Aufliegerachse eine Lenkachse ist (oben), dargestellt. Es wird deutlich, dass die Lenkachse ein stärkeres Ausscheren des Sattelaufliegerhecks bewirkt, gleichzeitig wird durch die Lenkachse jedoch weniger Fläche auf der Kurveninnenseite benötigt.

#### **Liftachse<sup>2</sup>**

Die Liftachse kann bei geringer Belastung angehoben werden, mit dem Ziel, den Abrieb der Reifen zu reduzieren. Wenn jedoch eine Achse geliftet wird, ändert sich in der Regel auch der Drehpunkt des Lkws oder Aufliegers und somit auch die Schleppkurve. Nachfolgend sollen die Auswirkungen einer Liftachse auf die Schleppkurve beschrieben werden. Als Untersuchungsfahrzeug diente der *Sattelzug mit Tandemachsanhänger*, bei welchem geschwindigkeitsabhängig die 5. Fahrzeugachse (d.h. die 3. Achse des Sattelaufliegers) geliftet wird.

<sup>2</sup> Liftachse darf nur geliftet werden, wenn die Achslast nicht überschritten wird.

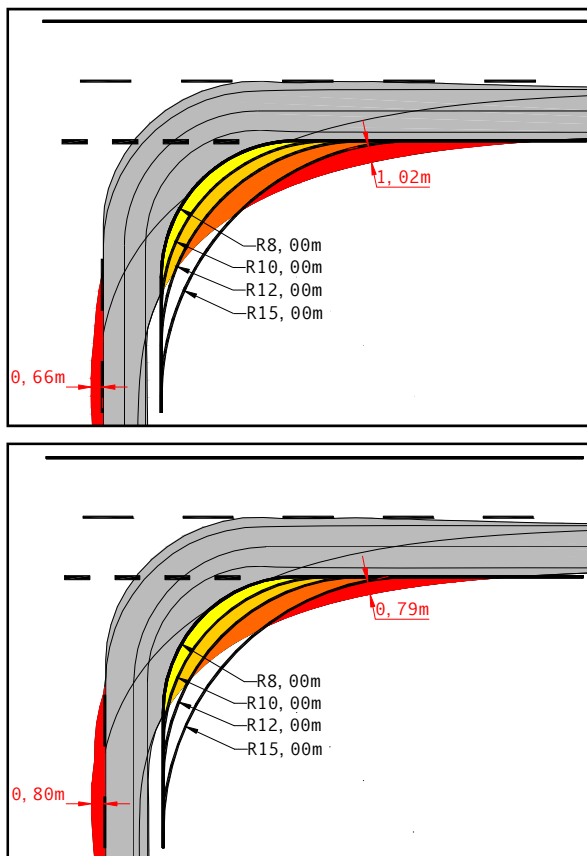


Abbildung 2.9: Sattelzug mit Tandemachsanhänger mit abgesenkter (oben) und gelifteter (unten) 5. Fahrzeugachse

Bei gelifteter 5. Fahrzeugachse liegt der Drehpunkt des Sattelauflegers weiter vorne als bei abgesenkter 5. Fahrzeugachse. Je weiter vorne der Drehpunkt des Sattelauflegers liegt, umso weniger Fläche wird bei gleichzeitig stärker ausserendem Heck in der Kurveninnenseite in Anspruch genommen. Im Regelbetrieb kommt es also bei abgesenkter 5. Achse vor, dass sich die Kurvenlaufeigenschaften im Vergleich zur gelifteten 5. Fahrzeugachse auf der Kurveninnenseite deutlich verschlechtern.

### Lenkdolly

Der Sinn einer Lenkdolly besteht darin, den angekoppelten Sattelaufleger bei der Kurvenfahrt weiter nach außen in die Fahrspur des Zugfahrzeuges zu zwingen und somit weniger Fläche im Kurveninnenbereich zu beanspruchen. Das Resultat ist eine deutlich schlankere Schleppkurve. Da eine Lenkdolly bei hohen Geschwindigkeiten negative Auswirkungen auf die Fahrdynamik des Fahrzeuges hat (rückwärtiges Aufschaukeln), wird diese ab einer bestimmten Geschwindigkeit (z.B. 40 km/h) automatisch starr geschaltet. Unterhalb dieser Geschwindigkeit und somit vor allem beim Ein- und Abbiegen an Knotenpunkten, lenkt die Dolly mit und sorgt so für bessere Kurvenlaufeigenschaften.



Abbildung 2.10: Lenkdolly

In Abbildung 2.11 sind die Schleppkurven eines 6x2 Lkw mit starrer (links) und gelenkter (rechts) Dolly und Sattelaufleger beim Einbiegen an einer Einmündung dargestellt. Es wird deutlich, dass die Lenkdolly die Kurvenlaufeigenschaften entscheidend verbessert. Demnach schert das Fahrzeug beim Einbiegen weder über den eigenen Fahrstreifen noch wird bei einem Ausrundungsradius von 15 m der Fahrbahnrand überfahren.

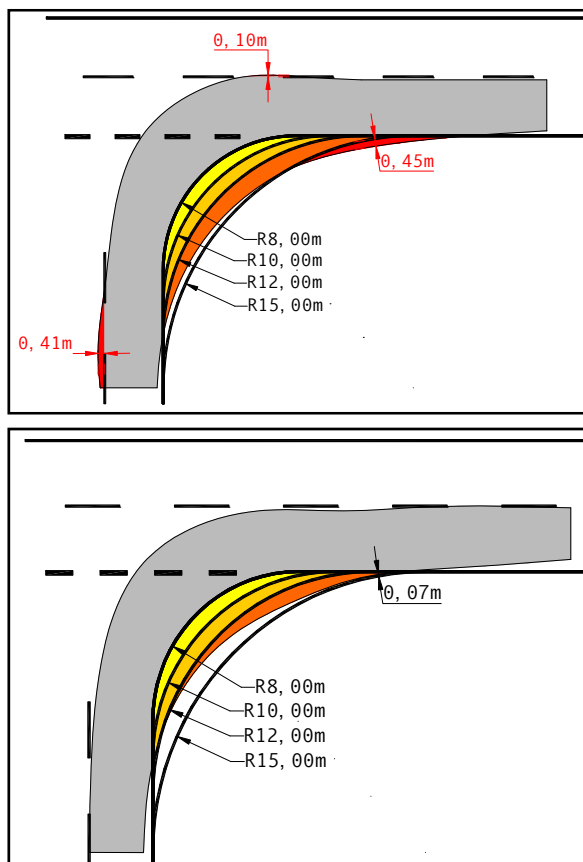


Abbildung 2.11: 6x2 Lkw mit starrer (oben) und gelenkter (unten) Dolly und Sattelaufleger

Die Lage des Kupplungspunktes am Zugfahrzeug (6x2 Lkw) hat ebenfalls einen Einfluss auf die Kurvenlaufeigenschaften. Bei starrer Dolly kann durch den Kupplungspunkt nah am Heck des Zugfahrzeuges (hochgekuppelt) und dem daraus resultierenden größeren Auslenkhebel, der Flächenbedarf auf der Kurveninnenseite verbessert werden. Bei Lenkdollys wird dies durch die zusätzliche Anlenkung erreicht. Dies erlaubt das Tiefkuppeln der Dolly, was in Verbindung mit der Starrschaltung bei höheren Geschwindigkeiten der Fahrstabilität wesentlich verbessert.

### ***Verschiebung Kupplungspunkt und Variation der Achsabstände***

Bei der Festlegung der Achsabstände sowie der Wahl der Lage des Kupplungspunktes müssen sich die Fahrzeughersteller an nationale und internationale Normen und Richtlinien halten. Die Richtlinien enthalten jedoch einen gewissen Handlungsspielraum, so dass es den Fahrzeugherstellern möglich ist, die Festlegung anhand von Zielvorgaben zu treffen. Eine Zielvorgabe kann dabei die Optimierung der Kurvenlaufeigenschaften sein.

Generell besteht jedoch bei fahrzeugseitigen Maßnahmen ein Optimierungsproblem. Sollen die Kurvenlaufeigenschaften auf der Kurveninnenseite verbessert werden geschieht dies in der Regel zu Lasten der Kurvenlaufeigenschaften auf der Kurvenaußenseite. Dies gilt in gleicher Weise für den umgekehrten Fall. Wie die Untersuchungen beim Befahren des BO-Kraftkreises jedoch gezeigt haben, ist im Gegensatz zur Kurveninnenseite auf der Kurvenaußenseite in der Regel Bewegungsspielraum zur Gesetzesvorgabe. Maßnahmen zur Verbesserung der Kurvenlaufeigenschaften auf der Kurveninnenseite haben daher in der Regel Priorität. Bei deutlich geringeren Kurvenradien wie sie bei Einmündungen oder der Einfahrt in Kreisverkehre gefahren werden, geht dies meist zulasten von deutlichen Ausschwenkbewegungen des Fahrzeughecks was zum überstreichen von Fahrbahnteilern oder angrenzenden Fahrstreifen führt.

## **2.6.2 Infrastrukturelle Maßnahmen**

Abgeleitet von den vorgehend beschriebenen Untersuchungsergebnissen wären nachfolgend beschriebene Maßnahmen geeignet, sowohl die durch Lastkraftwagen verursachten Schäden an der Verkehrsinfrastruktur zu minimieren als auch die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten zu erhöhen. Diese können und sollten auch unabhängig von der geplanten Einführung von neuen Lastzugkombinationen bei der Planung von Knotenpunkten berücksichtigt werden.

### ***Außerörtliche Einmündung***

Außerörtliche Einmündungen als auch Kreuzungen sind nach Regelwerk so gestaltet, dass diese durch Fahrzeuge die nach StVZO zugelassen sind, mit ausreichendem Bewegungsspielraum befahren werden können. Um dies zu gewährleisten sind die Ausfahr- und Einfahrradien der untergeordneten Knotenpunktarme an die Schleppkurven von Bemessungsfahrzeugen angepasst.

Wie die Untersuchung zur Befahrbarkeit von außerörtlichen Einmündungen gezeigt hat, ist dies für alle getesteten neuen Lastzugkombinationen, wenn auch nur mit geringem Bewegungsspielraum weitestgehend möglich. Dies trifft auf alle möglichen Abbiege- und Einbiegebeziehungen an entsprechenden groß dimensionierten Knotenpunkten zu.

Jedoch soll an dieser Stelle darauf verwiesen werden, dass die Anpassung des Ausfahrradius zu Verkehrssicherheitsproblemen führen kann. Dies ist dann der Fall, wenn es zwei Fahrzeugen möglich ist, sich nebeneinander in der untergeordneten Knotenpunktzufahrt aufzustellen. Dies kann beispielsweise durch eine entsprechend Fahrbahnmarkierung vermieden werden.

### ***Innerörtliche Einmündung***

Aufgrund der eingeschränkten Flächenverfügbarkeit sowie aus städtebaulichen und sicherheitstechnischen Gründen ist die Anpassung der Aus- und Einfahrradien von innerörtlichen Knotenpunkten an die Schleppkurven von Lastkraftwagen nicht möglich und auch nicht gewünscht.

Wie die Untersuchung gezeigt hat, ist das Rechtseinbiegen an innerörtlichen Einmündungen mit Ausfahrradien kleiner 15 m nur durch die Mitbenutzung des entgegengerichteten Fahrstreifens möglich. Daher ist an lichtsignalgeregelten Einmündungen/Kreuzungen im Zuge von Hauptverkehrs- und Hauptsammelstraßen bei geringer Flächenverfügbarkeit bzw. bei spitzwinkligen Knotenpunktzufahrten die Abrückung der Haltlinie erforderlich. Die betreffenden Festlegungen in der Richtlinie für die Anlage von Lichtsignalanlagen (RiLSA), welche das größte nach StVZO zugelassene Fahrzeug berücksichtigen, müssten an die neuen Lastzugkombinationen angepasst werden.

### ***Kleiner Kreisverkehr***

Bei der Knotenpunktsform „Kleiner Kreisverkehr“ wurden im Bereich des Fahrbahnteilers und der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr Flächen des Seitenraumes in Anspruch genommen. Deshalb sollte bei Kleinen Kreisverkehren, bei denen der

Fahrbahnteiler Fußgängern oder Radfahrern als Aufstellfläche dient, der Fahrbahnrand vor dem Fahrbahnteiler durch eine von der restlichen Fahrbahn abgehobenen Gestaltung (Bsp: Pflasterung) ausgebildet werden. Dadurch soll erreicht werden, dass der Fahrzeugführer in einen ausreichenden Abstand vom Fahrbahnteiler in den Kreisverkehr einfährt und somit der ausscherende Auflieger/Anhängers nicht über den Fahrbahnteiler streift. Ein weiterer positiver Nebeneffekt dieser Maßnahme wäre, dass durch die optische Einengung der Fahrbahn, die Geschwindigkeit in der Knotenpunktzufahrt reduziert werden könnte.

Um Probleme beim Einfahren in den Kreisverkehr, v.a. beim Rechtsabbiegen zu minimieren, kann bei starken Abbiegebeziehungen ein Teil der Kreisinsel durch Pflasterung ausgebildet werden.

Um das Reinschleppen des Aufliegers/Anhängers im Bereich der Ausfahrt zu reduzieren, könnte der Ausfahradius nicht wie bisher als Kreisbogen, sondern als zweiteiliger Korbbogen ausgeführt werden. Durch den zweiteiligen Korbbogen wird im Vergleich zum Standardbogen mit konstantem Radius nicht mehr Fahrbahnfläche benötigt. Der größere Radius am Ende des Korbbogens wird durch den kleineren Radius am Anfang des Korbbogens ausgeglichen.

## 2.7 Flächenbedarf neuer Lastzugkombinationen gegenüber dem Standardbemessungsfahrzeug

Im Folgenden soll der Fragestellung nachgegangen werden, wie groß der Flächenmehrbedarf neuer Lastzugkombination im Vergleich zu den Schleppkurven eines Sattelzuges mit einer Länge von 16,50 m bzw. eines Gliederzuges mit einer Länge von 18,75 m ist.

Obwohl der Gliederzug um etwa 2,25 m länger ist als der Sattelzug, besitzt dieser die besseren Kurvenlaufeigenschaften. Wie Abbildung 2.12 zeigt, beansprucht der Gliederzug im Vergleich zum Sattelzug weniger Flächen bei der Kurven-einfahrt und -ausfahrt. Das Heck des Aufliegers vom Sattelzug schert weiter in den Gegenverkehr der untergeordneten Knotenpunktzufahrt und der Auflieger schleppt auch stärker in Richtung Kurveninnenseite.

Betreffend der Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen stellt sich nun die Frage, ob die neuen Lastzugkombinationen die von der Straßengeometrie gestellten Anforderungen einhalten können. Für diese Fragestellung wurde untersucht, wie groß der zusätzliche Flächenbedarf der neuen Lastzugkombinationen im Vergleich

zu den herkömmlichen Lastzügen ist, beziehungsweise welche geometrischen Kennwerte die neuen Lastzugkombinationen für eine sichere Straßenbenutzung benötigen.

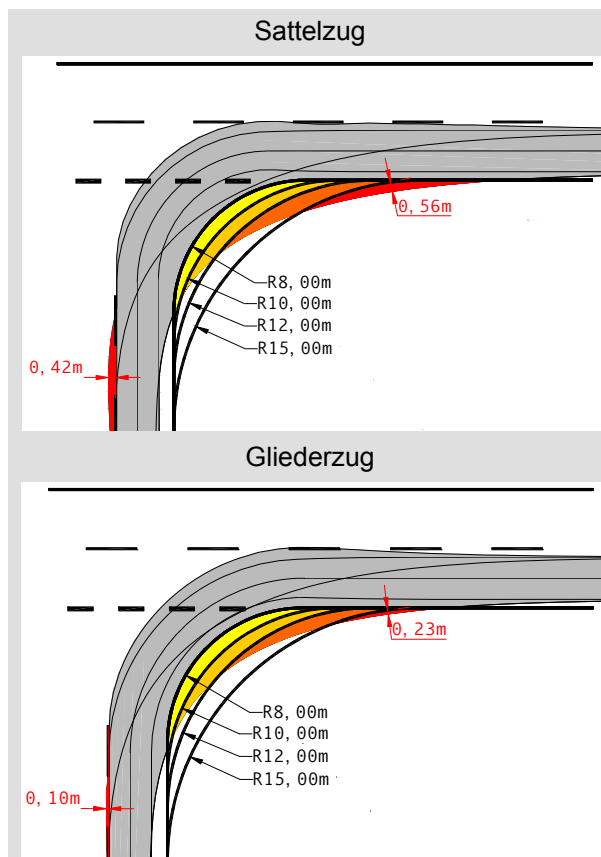


Abbildung 2.12: Vergleich Sattelzug – Gliederzug

Für den Vergleich der Schleppkurven neuer Lastzugkombinationen mit den Bemessungsfahrzeugen „Sattelzug“ (16,50 m) und „Gliederzug“ (18,75 m) wurden die Schleppkurven mittels Simulation für das Rechtseinbiegen an einer innerörtlichen Einmündung simuliert. Der Flächenmehrbedarf der neuen Lastzugkombinationen auf der Kurveninnen- als auch auf der Kurvenaußenseite lässt sich bei der Lastzugkombination *6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger* und *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern* in Bezug auf den Gliederzug und bei den Lastzugkombinationen *Sattelzug mit verlängertem Auflieger*, *Sattelzug mit Tandemachsanhänger* und der *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* in Bezug auf den Sattelzug beziffern.

Aufgrund der größeren Gesamtlängen und den z.T. zusätzlichen Knickpunkten nehmen die untersuchten Lastzugkombinationen mehr Flächen auf der Kurveninnenseite und -außenseite in Anspruch als die Bemessungsfahrzeuge. Bei den in Abbildung 2.13 gegenübergestellten Lastzügen benötigt die Lastzugkombination *Sattelzug mit Tandemachsanhänger* am meisten Mehrfläche sowohl auf der Kurveninnenseite als auch der

Kurvenaußenseite. Am wenigsten Mehrfläche auf der Kurveninnenseite benötigt die Lastzugkombination *Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern* vor dem *Sattelzug mit verlängertem Auflieger*.

*hängern* am meisten Flächen auf der Kurveninnenseite. Auf der Kurvenaußenseite nimmt jedoch der *6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger* am meisten Fläche in Anspruch.

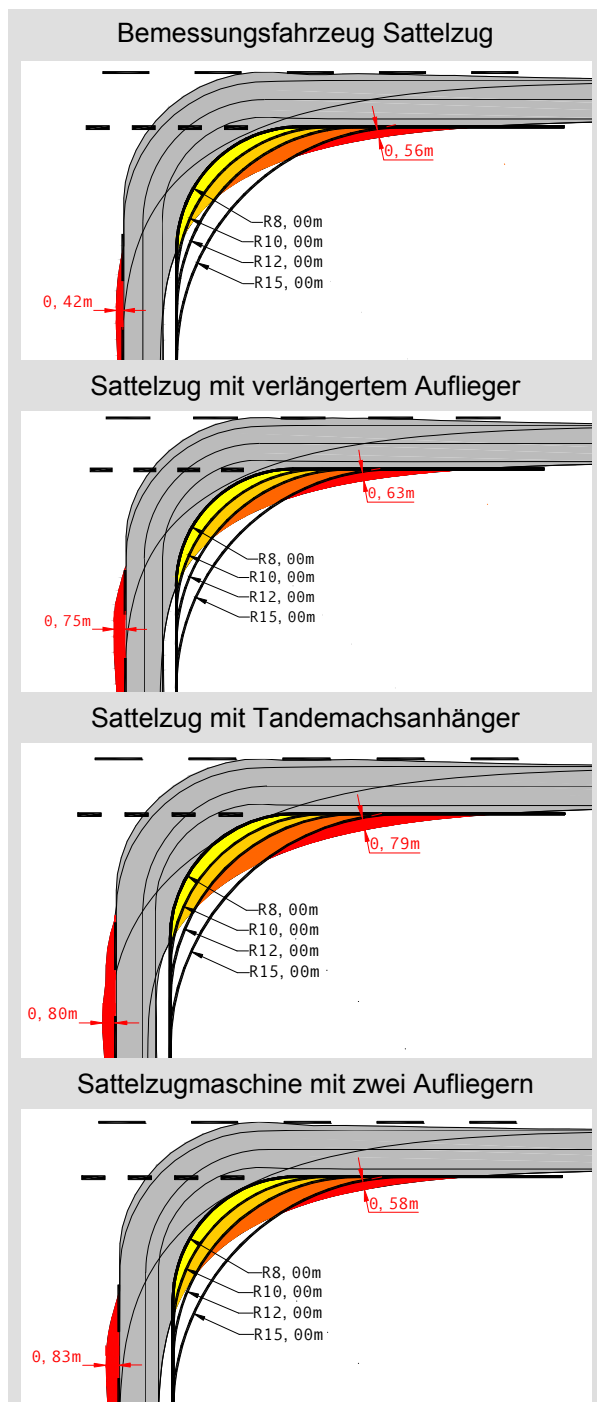


Abbildung 2.13: Neue Lastzugkombinationen auf Basis des Sattelzuges im Vergleich zum Sattelzug

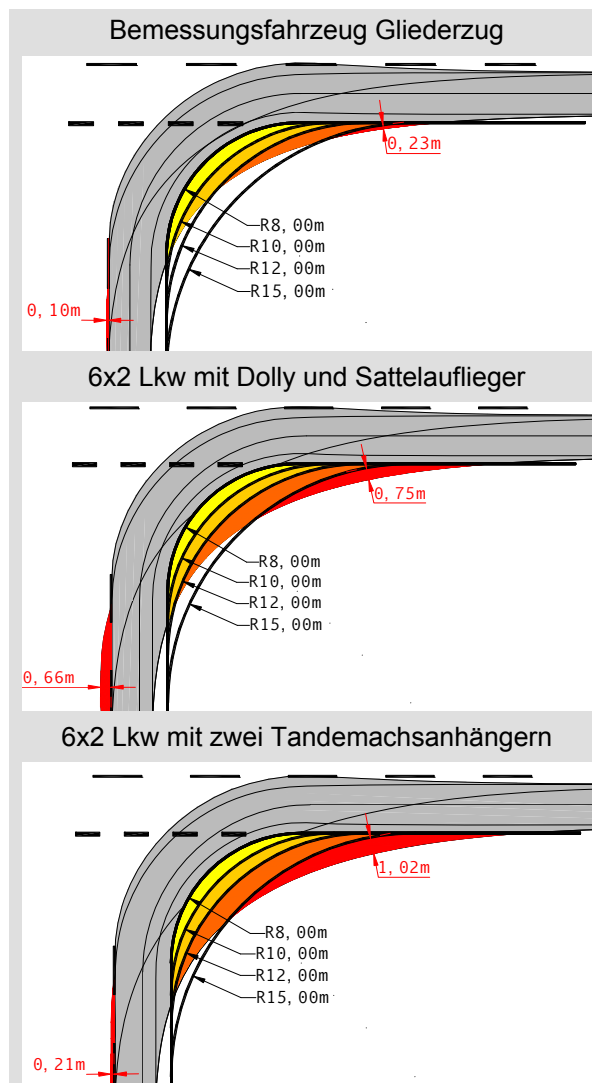


Abbildung 2.14: Neue Lastzugkombinationen auf Basis des Gliederzuges im Vergleich zum Gliederzug

Die Untersuchung hat erwartungsgemäß gezeigt, dass die neuen Lastzugkombinationen im Vergleich zu den Bemessungsfahrzeugen zum Teil deutlich mehr Flächen benötigen. Durch den Einsatz von fahrzeugeitigen Systemen (Lenkachse, Liftachse, Lenkdolly) können die Kurvenlaufeigenschaften wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben verbessert werden, jedoch werden die Kurvenlaufeigenschaften der Bemessungsfahrzeuge nicht erreicht werden können.

Abbildung 2.14 zeigt den Mehrbedarf an Flächen beim Vergleich des Gliederzuges mit dem *6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger* sowie dem *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern*. Demnach benötigt der *6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern*

## 2.8 Messung versus Simulation

Die Messung vor Ort hat den Vorteil, dass als Messergebnisse relativ schnell reale Schleppkurven vorliegen. Bei der Simulation ist es vor allem bei neuen Lastzugkombinationen schwierig, zu 100 % übereinstimmende Schleppkurven zu simulieren. Dies liegt vor allem daran, dass es bei der Simulation bisher nicht möglich ist, Fahrzeuge mit mehr als einer Lenkachse oder sogar Lenkdolly zu simulieren.

Der Vorteil der Simulation im Vergleich zur Messung liegt darin, dass für alle Simulationen die gleichen Bedingungen gelten, da die Fahrlinie durch eine konstante Leitlinie bestimmt wird. Bei Messungen hängt die Fahrlinie vom Fahrer ab und kann sich von Messung zu Messung unterscheiden.

Die Messung mit den Wasserflaschen ist stark wetterabhängig. Bei Regen und/oder starken Wind sind Messungen nicht möglich. Auch bei zu geringen Temperaturen und zu wenig Sonneneinstrahlung sind die Messungen nur bedingt möglich, da die Wasserlinien auf der Fahrbahn nur sehr langsam verdunsten.

Beide Methoden (Messung/Simulation) haben ihre Vor- und Nachteile. Am günstigsten ist es, für eine Straßengeometrie Messungen durchzuführen. Anhand dieser kann das Fahrzeug im Simulationsprogramm verifiziert werden. Weitere Schleppkurven für unterschiedliche Straßengeometrien können dann mittels Simulation ermittelt werden. Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass Lenkdollys oder mehr als eine Lenkachse bisher noch nicht simuliert werden können. Die Schleppkurven von Fahrzeugen mit einer derartigen Ausstattung nehmen daher in der Simulation unter Umständen mehr oder auch weniger Flächen in Anspruch als dies in der Realität der Fall ist.

## 2.9 Zusammenfassung

Aufgrund der größeren Gesamtlängen und den z.T. zusätzlichen Knickpunkten nehmen die untersuchten Lastzugkombinationen bei Kurvenfahrten auf der Kurveninnenseite und -außenseite eine größere Fläche als bei den bestehenden Bemessungsfahrzeugen ein. Dies ist insbesondere im innerörtlichen Verkehr im Hinblick auf die Sicherheit von Fußgängern und Radfahrern sowie im Hinblick auf angrenzende Fahrstreifen kritisch zu bewerten. Relativierend ist anzuführen, dass auch die Bemessungsfahrzeuge an Einmündung mit kleinen Ausrundungsradien ggf. Flächen im Seitenraum oder der entgegengesetzten Fahrtrichtung einnehmen.

Als problematisch und deutlich negativ für die Verkehrssicherheit wird das starke Ausschwenken der neuen Lastzugkombinationen bewertet. Vor allem im innerörtlichen Verkehr ist von einer stärkeren Gefährdung von nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern z.B. auf Mittelinseln oder Fahrbahnteilern sowie von Fahrzeugen bei nebeneinanderliegenden Fahrstreifen auszugehen. Problemverschärfend kommt hinzu, dass für den Fahrer das Geschehen am Fahrzeugheck in der Kurvenfahrt nicht einsehbar ist.

Fahrzeugseitige Maßnahmen, wie der Einsatz von Lenkachsen, Lenkdolly, können die Kurvenlaufeigenschaften verbessern. Jedoch bleibt zu berücksichtigen, dass diese Systeme mit Kosten verbunden sind und die Kurvenlaufeigenschaften größtenteils auf der einen Fahrzeugseite verbessern, auf der anderen Fahrzeugseite jedoch verschlechtern. Maßnahmen an der Verkehrsinfrastruktur haben den Vorteil, dass sowohl die Verkehrssicherheit als auch die Wirtschaftlichkeit verbessert werden könnte. Da sich einzelne der dargestellten Probleme bei engen Straßengeometrien auch bei der Befahrung mit Standardbemessungsfahrzeugen zeigen, können die dargestellten Maßnahmen auch unabhängig von der Einführung der neuen Lastzugkombinationen durchgeführt werden.

### 3 Beeinflussung des Verkehrsablaufes

Infrastrukturelle oder verkehrstechnische Maßnahmen sind bei einem Einsatz neuer Lastzugkombinationen nicht a priori vorgesehen, so dass diese Fahrzeuge bei gegebener Infrastruktur in den existierenden Verkehr zu integrieren sein sollen, ohne den Verkehrsablauf zu stören und ohne die Sicherheit der anderen Verkehrsteilnehmer zu gefährden. Die Wirkung auf den Verkehrsablauf ergibt sich in erster Linie in Ein- und Ausfahrtbereichen an Anschlussstellen von Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen, in Verflechtungsbereichen an Autobahndreiecken und -kreuzen sowie bei Kreuzungen und Einmündungen im nachgeordneten Straßennetz.

Die DaimlerChrysler AG führt seit September 2006 einen befristeten Versuchsbetrieb im Werksverkehr zwischen den Standorten Untertürkheim und Sindelfingen im Raum Stuttgart durch. Bei dem eingesetzten Fahrzeug handelt es sich um ein luftgefedertes Mercedes-Benz Actros 2660 LL/6x4. Das Fahrzeug wird angetrieben durch einen 600 PS (440 kW) starken V8-Motor mit BlueTec 5-Ausstattung, der bereits die Emissionsgrenzwerte der Euro 5-Vorschrift des Jahres 2009 erfüllt. Weiterhin ist die Lastzugkombination mit diversen zusätzlichen Sicherheitssystemen ausgestattet wie z. B. Brems- und Spurhalteassistenten, Abstandsregeltempomat, Wankregelung und Weitwinkelspiegel.

Die Regelfahrstrecke ist etwa 40 km lang und führt von den Werkteilen Bad Cannstatt, Untertürkheim, Hedelfingen oder Mettingen auf die B 10 in Richtung Esslingen, die mit planfreien Knotenpunkten und zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit Mitteltrennung autobahnähnlich ausgebaut ist. In Esslingen-Berkheim verlässt die Strecke die B 10 und führt über eine LSA-geregelte Einmündung auf die K 1215 und über eine weitere LSA-geregelte Einmündung auf die L 1192 in südlicher Richtung. Hier beginnt eine knapp 2 km lange Steigung ( $s=10\%$ ) bis zur Kreuzung mit der L 1202, die Straße ist zweistreifig mit einem Zusatzfahrstreifen ausgeführt. Etwa 200 m nach dem LSA-geregelten Knoten wird der linke Fahrstreifen eingezogen und die Strecke führt über die zweistreifig ausgebaute L 1202 zur Autobahnanschlussstelle Esslingen. Dort geht es auf die A 8 in nordwestliche Richtung bis zum Autobahnkreuz Stuttgart und weiter auf der A 81 in südwestlicher Richtung bis zur Anschlussstelle Böblingen-Hulb. Hier verlässt die Strecke die A 81 und führt ca. 100 m über den Verflechtungsstreifen der B 464 und wird mittels Spuraddition auf die vierstreifig ausgebaute L 1182 geführt. Nach weiteren 500 m geht es an einer LSA-

geregelten Kreuzung rechts zur Werkseinfahrt Böblingen-Hulb.

Falls die Steigungsstrecke im Zuge der L 1292 aus witterungsbedingten Gründen nicht befahren werden kann, wird eine Ausweichstrecke genutzt. Diese führt auf der B 10 an Esslingen vorbei bis zum kreuzungsfrei ausgebauten Dreieck Plochingen und weiter auf der ebenfalls autobahnähnlich ausgebauten B 313 in südwestlicher Richtung bis zur Auffahrt auf die A 8 an der Autobahnanschlussstelle Wendlingen. Bei Nutzung der Ausweichstrecke beträgt die gesamte Fahrstrecke etwa 53 km.

Um zu einer Abschätzung der Wirkung auf den Verkehrsablauf auf Autobahnen, autobahnähnlichen Straßen und im nachgeordneten Netz zu gelangen, wurde ein Fahrzeug über mehrere Tage auf der Gesamtstrecke und auf verschiedenen Teilstrecken begleitet und videot technisch aufgezeichnet. Insbesondere wurden die Verkehrsabläufe an planfreien Ein- und Ausfahrten sowie an Kreuzungen und Einmündungen im nachgeordneten Straßennetz betrachtet.

Insgesamt wurde das Fahrzeug über eine Fahrstrecke von etwa 1.000 km begleitet, davon etwa 500 km auf Autobahnen, 400 km auf autobahnähnlichen Straßen und 100 km auf Landstraßen. Es wurde 24mal auf eine Autobahn auf- und abgefahren, davon 11 Auf- und Abfahrten innerhalb eines Autobahnkreuzes, und es gab 93 Vorbeifahrten an Autobahnanschlussstellen. Auf autobahnähnlich ausgebauten Straßen mit planfreien Knotenpunkten erfolgten 158 Vorbeifahrten an Knotenpunkten und 29 Auf- und Abfahrten. Weiterhin wurden im nachgeordneten Straßennetz 49 Knotenpunkte mit Lichtsignalregelung befahren.

#### 3.1 Autobahnen und autobahnähnliche Straßen

Für Abschnitte auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen außerhalb von Knotenpunkten wurden sowohl auf ebenen Strecken als auch an Steigungsstrecken ( $s > 2\%$ ) keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf festgestellt. Bei höherer Verkehrsdichte kam es auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen vereinzelt zu Überholvorgängen durch Lkw, da das Versuchsfahrzeug bereits bei 84 km/h (80 km/h + Toleranz) abgeregelt wird, die Geschwindigkeitsbegrenzer bei Lkw im Regelbetrieb dagegen meist auf 90 km/h (Punktgrenze) eingestellt sind. Die Überholvorgänge hatten dann eine Senkung des Geschwindigkeitsniveaus auf dem zweiten Fahrstreifen zur Folge, wobei kritische Fahrmanöver jedoch nicht beobachtet wurden.



Abbildung 3.1: Videotechnische Auswertung des Verkehrsablaufs bei Fahrstreifenreduktion

Für die Wirkungen von langen Fahrzeugen bei der Vorbeifahrt an Anschlussstellen wurden diese besonders beobachtet. Für Einfahrten ergaben sich sowohl auf zweistreifigen als auch auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf. An Ausfahrten ergaben die Untersuchungen, dass vereinzelt Pkw-Fahrer zur Vermeidung kritischer Fahrmanöver frühzeitig den rechten Fahrstreifen hinter dem Lastzug befuhren. Insbesondere bei hohen Ausfahrtsverkehrsstärken auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen verursachte dies eine Senkung des Pkw-Geschwindigkeitsniveaus auf dem Hauptfahrstreifen. Diese Auswirkungen waren an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen weniger deutlich zu beobachten.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die neue Lastzugkombination keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf hatte. Es wurden weder kritische Fahrmanöver noch Interaktionen<sup>3</sup> beobachtet. Beim Ein- bzw. Ausfädeln vom Beschleunigungs- bzw. auf den Verzögerungsstreifen wurden ebenfalls weder kritische Fahrmanöver noch Interaktionen beobachtet.

Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit könnten sich bei vermehrtem Einsatz der neuen Lastzugkombinationen zeigen, insbesondere im Bereich von Einfahrten und Ausfahrten. In welchem Ausmaß kritische Fahrmanöver ansteigen würden und ob in der Folge vermehrt Unfälle auftreten,

<sup>3</sup> Unter Interaktion wird eine Situation verstanden, bei der das Zusammentreffen von Verkehrsteilnehmern eine besondere Abstimmung des Fahrverhaltens erforderlich macht.

kann jedoch nicht abschließend beantwortet werden.

### 3.2 Einmündungen und Kreuzungen im nachgeordneten Straßennetz

Mögliche Auswirkungen auf den Verkehrsablauf an Einmündungen und Kreuzungen im nachgeordneten Straßennetz könnten sich in erster Linie durch die größere Fahrzeuglänge und den dadurch zusätzlich benötigten Zeitbedarf ergeben, um die Konfliktfläche eines Knotenpunktes zu räumen. Während der Untersuchung wurden nur signalisierte plangleiche Knotenpunkte und keine unsignalisierten plangleichen Knotenpunkte befahren. Die Erkenntnisse zum Verkehrsablauf an unsignalisierten Knotenpunkten stützen sich ausschließlich auf theoretische Annahmen.

An signalisierten Knotenpunkten ist diese Problematik hinsichtlich der Verkehrssicherheit weniger gravierend, da hier die Steuerung auf die längeren Räumzeiten – mit Ausnahme von nicht gesicherten Linksabbiegern – angepasst werden kann. Dies hätte jedoch erhebliche Auswirkungen auf die Räumzeiten, da diese grundsätzlich länger dauern müssten, auch wenn der Anteil der neuen Fahrzeugkombinationen gering wäre. Dies wiederum hätte erheblichen negativen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit signalisierter Knoten. Im Zuge der Untersuchungen wurden jedoch keine negativen Auswirkungen beobachtet.

An unsignalisierten Knotenpunkten kommt der Räumzeit eine erhebliche Bedeutung für den



Verkehrsablauf sowie der Verkehrssicherheit zu. Durch die größere Fahrzeuglänge benötigt eine Lastzugkombination mit 25,25 m bei einem mittleren Beschleunigungswert von  $0,5 \frac{m}{s^2}$  über eine Sekunde länger als ein Gliederzug mit 18,75 m, um die Konfliktfläche einer Kreuzung zu räumen.

### 3.3 Stationäre Beobachtungen

Am Knoten der L1192 mit der L1202 in Fahrtrichtung AS Esslingen endet die etwa 2 km lange Steigungsstrecke, die mit einem Zusatzfahrstreifen ausgeführt ist. Etwa 200 m nach dem LSA-geregelten Knotenpunkt wird der linke Fahrstreifen eingezogen. Dieser Bereich wurde von einer Brücke aus stationär beobachtet und videotekhnisch aufgezeichnet, um mögliche Konflikte zwischen Lkw auf dem rechten Fahrstreifen und einschierenden Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen im Bereich des Spureinzuges zu analysieren.

Insgesamt wurden 35 Einschervorgänge mit Lkw-Beteiligung auf dem rechten Fahrstreifen beobachtet, davon acht mit dem Versuchsfahrzeug. In sieben Fällen kam es zu kritischen Fahrmanövern, bei denen vor einem Lkw bei Überfahren der Sperrfläche eingeschert wurde, ein Ausweich- oder Bremsmanöver durch den Lkw musste jedoch in keinem der Fälle durchgeführt werden. Das Versuchsfahrzeug war an keinem dieser Situationen beteiligt.

Kommt es zu kritischen Fahrmanövern, wirkt die zusätzliche Fahrzeuglänge zwar Problemverschärfend, aufgrund der geringen Fallzahlen lassen sich hieraus jedoch keine generellen Folgerungen ableiten.

### 3.4 Zusammenfassung

Hinsichtlich des Verkehrsablaufes durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen konnten auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen keine gravierenden Probleme festgestellt werden.

Bezogen auf höhere Fahrzeuggewichte müssen neue Lastzugkombinationen jedoch – wie bei dem begleiteten Fahrzeug der Fall – entsprechend motorisiert sowie mit zuverlässigen Bremsanlagen ausgerüstet sein, um an Steigungs- und Gefällestrecken den Verkehrsfluss nicht massiv zu stören.

Im nachgeordneten Straßennetz sind negative Auswirkungen durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen vor allem an unsignalisierten plangleichen Knotenpunkten sowie auf einbahnigen zweistreifigen Landstraßen zu erwarten. Durch die längere Zeitspanne, die für das Ab-, Einbiegen und Kreuzen durch längere Lastzugkombinationen an Knotenpunkten sowie für das Überholen von längeren Lastzugkombinationen benötigt werden, könnten insbesondere negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit im nachgeordneten Straßennetz auftreten.

## 4 Auswirkungen auf die Erhaltungskosten von Brückenbauwerken

### 4.1 Ausgangslage

Eine zukunfts-taugliche und leistungsfähige Transportinfrastruktur trägt wesentlich zur Wettbewerbsfähigkeit eines Wirtschaftsraumes bei. Dementsprechend wird seit einiger Zeit die Zulassung von LKW mit einem Gesamtgewicht von 60 Tonnen geprüft, was deutlich über dem bisherigen nach StVZO zugelassenen maximalen Fahrzeug-Gesamtgewicht liegt.

Die Auswirkungen der Zulassung dieser 60t-LKW sind vielschichtig und nicht nur auf den Verkehr selbst beschränkt. Es würde sicherlich auch eine deutliche Erhöhung der über die Straßen transportierten Gesamttonnage bei Zulassung dieser Fahrzeuge zu verzeichnen sein.

Die vorhandenen Brücken werden im Regelfall nach den Grundlagen der DIN 1072 „Straßen- und Wegebrücken; Lastannahmen“ [1], nachgerechnet bzw. überprüft. Den entsprechenden Lastannahmen liegt aber kein Verkehr mit 60t-Fahrzeugen zugrunde. Deswegen sind bei einer regulären Zulassung insbesondere die Auswirkungen auf die vorhandene bauliche Substanz des Brückennetzes zu beachten.

Über die bereits im BAST-Bericht „Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes“ [2], dargestellten, die Brückenbauwerke betreffenden Ergebnisse hinaus liegen jetzt Untersuchungen für Bauwerke mit Stützweiten zwischen 50 m und 80 m und zu einer netzweiten Abschätzung des Finanzbedarfs für erforderliche Ertüchtigungen des Bauwerkbestandes bei Zulassung von 60t-Lastzugkombinationen nach dem modularen Konzept vor. [3]

Im Rahmen dieses Projektes wird deshalb untersucht, welche Auswirkungen die Zulassung von 60t-LKW auf die Tragfähigkeit verschiedener Brückensysteme hat. Die Auswertung soll im Hinblick auf die extremalen Beanspruchungen unter Verwendung statistischer Verkehrsdaten des Straßenverkehrs erfolgen. Dabei werden mit Hilfe von Simulationsberechnungen Angaben zur Beanspruchung der Brückenbauwerke in ausgewählten Schnitten erarbeitet. Die Berechnungen wurden für verschiedene typische Brückensysteme und mit unterschiedlichem Anteil von Schwerfahrzeugen im Verkehrsstrom durchgeführt. Anhand der Ergebnisse sollen Rückschlüsse auf die wichtige Frage gezogen werden, ob und wie viel Spielraum zum bisherigen Bemessungsniveau besteht. Die (stützweitenabhängi-

gen) Ergebnisse werden dann in Relation zum Brückenbestand gleichfalls in Abhängigkeit von der Stützweite gesetzt.

### 4.2 Kostenschätzung für Ersatzneubau bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen

#### 4.2.1 Allgemeines

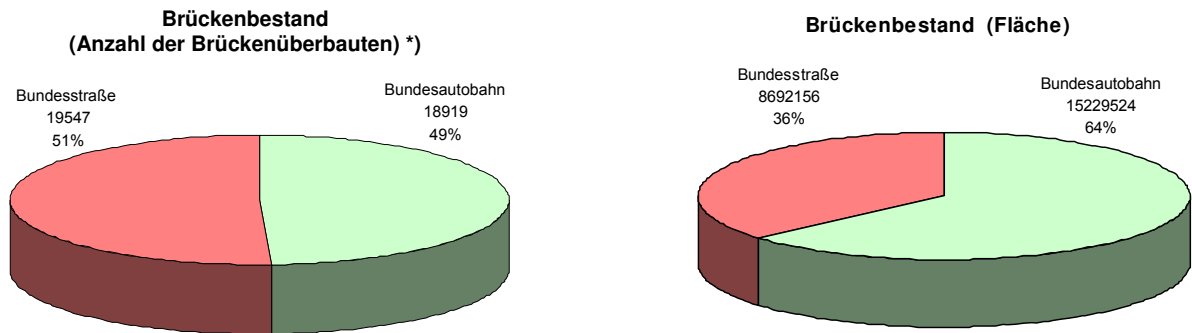
Im Rahmen der weiteren Bearbeitung wurde ausgehend von den Ergebnissen der Verkehrslastsimulation die überschläglichen Kosten für den Ersatzneubau bzw. für die Verstärkung von Überbauten für die verschiedenen Bauarten (Massivbrücken, Stahlbrücken und Verbundbrücken) ermittelt.

Die Kosten für Verstärkungsmaßnahmen können in Abhängigkeit von Art und Umfang der Maßnahmen sowie von objektspezifischen Besonderheiten eine sehr große Bandbreite aufweisen. Für die Abschätzung des Finanzbedarfs wurden drei unterschiedliche Kostenansätze gewählt, um die Sensitivität der Vorgehensweise zu prüfen. In Abhängigkeit von den Auslastungsgraden, unter Berücksichtigung der Eigenlast wurden Kosten für Verstärkungsmaßnahmen oder den Ersatz des Überbaus differenziert angesetzt.

#### 4.2.2 Brückenbestand

Als Grundlage der Kostenschätzung dienen die Daten des Brückenbestandes nur für die Bundesautobahnen bzw. Bundesstraßen der Bundesanstalt für Straßenwesen [4]. Es wurde bei der Kostenschätzung prinzipiell zwischen Bauwerken im Zuge der Autobahnen und Brücken im Zuge von Bundesstraßen unterschieden (Abbildung 1).

Die auf der Basis der Bestandsdaten getroffenen Annahmen werden im Folgenden erläutert. Wie aus Abbildung 2 zu entnehmen ist, wurde die Mehrheit der Brückenbauwerke im Netz der Bundesautobahnen (Bundesstraßen) nach DIN 1072 für die BK 60 und BK 60/30 bemessen. Daneben existieren ca. 2% der Gesamtfläche aller Autobahnbauwerke (5% der Gesamtfläche aller Bundesstraßenbauwerke), die für die BK 30, BK 45 und BK 30/30 berechnet wurden und dementsprechend die heutigen Verkehrsansprüche nicht mehr ausreichend erfüllen können. Aufgrund der auch ohne „road-train“ bereits notwendigen Brückenertüchtigungen für diese Bauwerke wurden im Rahmen der Kostenschätzung die Kosten zur Sanierung oder zum Ersatz der entsprechenden Bauwerke (BK 30, BK 45 und BK 30/30) separat ausgewiesen. Außerdem wurden



\*) Hierbei ist zu beachten, dass für zweiteilige Brücken die Überbauten der Richtungsfahrbahn getrennt erfasst werden

Abbildung 5.1: Brückenbestand nach Sachverhalt

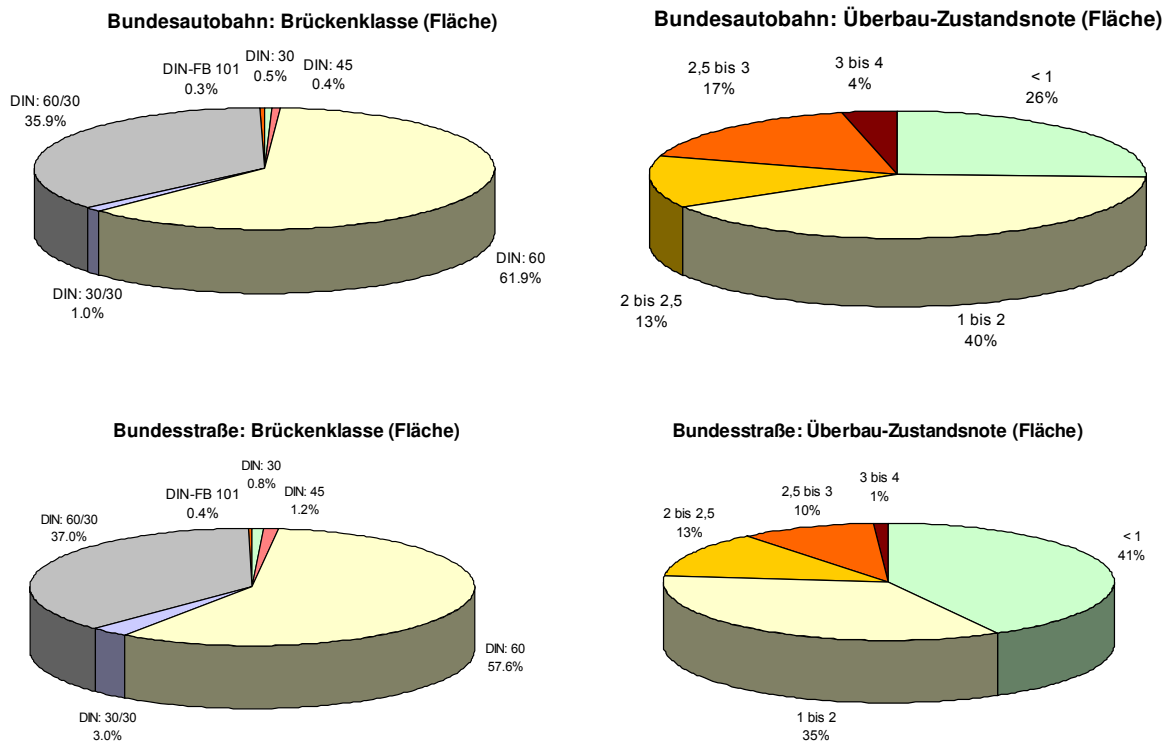


Abbildung 5.2: Brückenbestand nach Brückenklassen

Abbildung 5.33: Brückenbestand nach Überbauzustandsnote

die nach DIN-Fachbericht 101 bemessenen Brücken nicht betrachtet.

Bei der Ermittlung der erforderlichen Kosten bei einer Zulassung der „road-train“ wurden die Brücken mit einer Zustandsnote schlechter als 3, die auch ohne 60t-LKW saniert werden müssen, gleichfalls separat betrachtet (Abbildung 3).

#### 4.2.3 Grobkostenschätzung

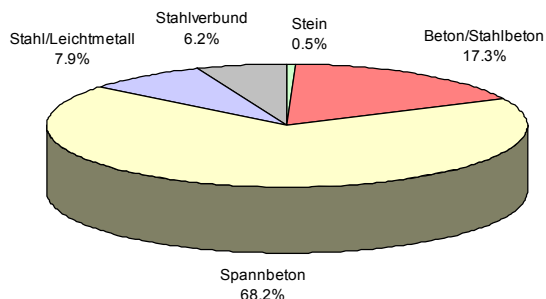
Da die Beanspruchung einer Brücke nicht nur durch Verkehrslasten sondern maßgeblich auch durch das Eigengewicht bestimmt wird, wurde dieses bei der Kostenschätzung mit berücksichtigt. Dabei wurden die 3 wichtigsten Bauweisen mit folgenden Schnittgrößenverhältnissen Eigengewicht-Verkehr betrachtet (s. Abbildung 4):

Massivbrücken →  $M_{\text{Eigengewicht}} : M_{\text{Verkehr}} = 65:35$

Stahlbrücken →  $M_{\text{Eigengewicht}} : M_{\text{Verkehr}} = 35:65$

Verbundbrücken →  $M_{\text{Eigengewicht}} : M_{\text{Verkehr}} = 50:50$

#### Bundesautobahn: Baustoffklasse (Fläche)



#### Bundesstraße: Baustoffklasse (Fläche)

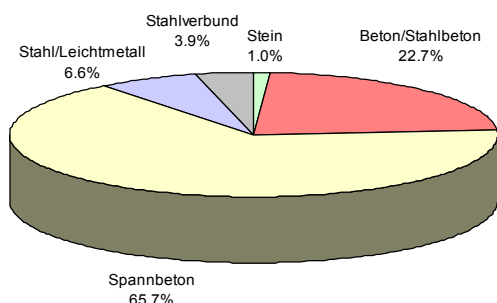
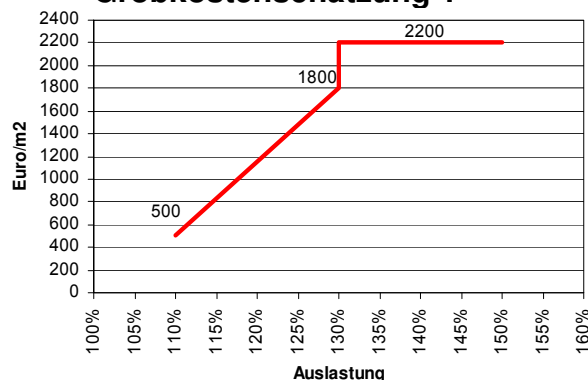


Abbildung 5.4: Brückenbestand nach Überbautypen (Baustoffklassen)

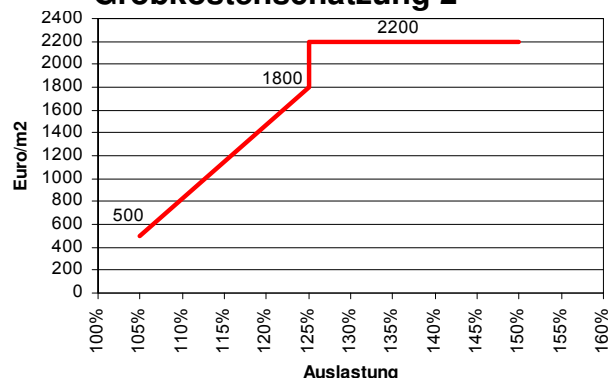
Der grundlegende Gedanke bei den Kostenberechnungen für die BK 60 und 60/30 bestand darin, dass die Kosten pro  $m^2$  Brückenfläche nicht konstant sind. Sie sind abhängig vom Grad der erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen. Entsprechend wurden die Kosten für Tragwerke mit Auslastungen größer 110% zu 500 € pro Quadratmeter Brückenfläche angenommen. Da der Aufwand und die benötigten Verstärkungsmaßnahmen mit wachsender Auslastung in Umfang und Größe steigen, wurde eine lineare Erhöhung der Kosten in Abhängigkeit von der Auslastung bei der Kostenberechnung angesetzt. Dieser lineare Funktionsanstieg wurde durch einen Maximalwert von 1.800 €/m<sup>2</sup>, welcher sich bei einer Auslastung von 130 % ergibt, begrenzt. Da bei einer Auslastung größer 130 % normalerweise keine Verstärkungsmaßnahmen mehr sinnvoll sind, wurde dann mit einer pauschalen Summe von 2.200 €/m<sup>2</sup> für den Abbruch und Ersatz des Überbaus gerechnet (Abbildung 5: Kostenschätzung 1).

Um den Einfluss der so gewählten Kostenfunktion auf die Endkosten zu untersuchen, wurden zwei zusätzliche Variantenrechnungen durchgeführt:

#### Grobkostenschätzung 1



#### Grobkostenschätzung 2



#### Grobkostenschätzung 3

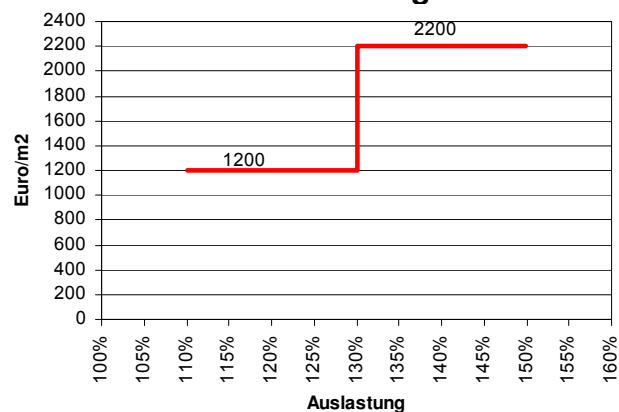


Abbildung 5.5: Kosten pro  $m^2$  Brückenfläche in Abhängigkeit von der Brückenauslastung infolge Verkehrslasten und Eigengewicht

- Die Sensibilität der Berechnungen gegenüber der „Veränderung des Eingreifpunktes“ wurde anhand der Kostenschätzung 2 bewertet. Dabei wurde mit Verstärkungsmaßnahmen im Auslastungsbereich von 105 % (statt 110 %) bis 125 % (statt 130 %) gerechnet, die Kosten pro Quadratmeter werden wie bei der Kostenschätzung 1 beibehalten.

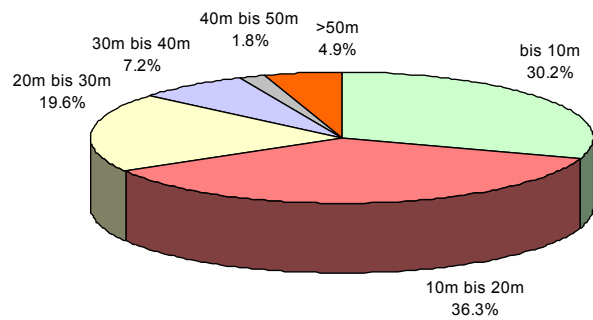
– Bei der Kostenschätzung 3 handelt es sich um eine Variantenrechnung zur Analyse der „Sensibilität der Kostenannahme“. Verstärkungsmaßnahmen werden im Auslastungsbereich von 110 % bis 130 % mit Kosten von 1.200 €/m<sup>2</sup> berücksichtigt. Bei höheren Auslastungen wurde mit Abbruch und Ersatz der Konstruktion gerechnet, wobei Kosten von 2.200 €/m<sup>2</sup> anfallen (Abbildung 5).

Die Gesamtkosten werden jeweils als Differenz zwischen den bei einem Verkehr mit 60t-LKW „road-train“ entstehenden Kosten und denen infolge des gemessenen Verkehrs (Ist-Zustand) berechnet.

**Einfeldträger:**

Für einfeldrige Brückenkonstruktionen, deren Spannweite 50 m nicht übersteigt und die nach DIN 1072 für BK 60/30 oder BK 60 bemessen wurden, wäre die Tragfähigkeit auch bei Einsatz von 60-t LKW noch ausreichend. Deswegen entstehen bei der Zulassung des 60t-LKW „road-train“ keine zusätzlichen Kosten für die Verstärkung der Überbauten (Abbildungen 6, 7).

**Bundesautobahn: EFT BK60/30 (Fläche)**



**Bundesstraße: EFT BK60 (Fläche)**

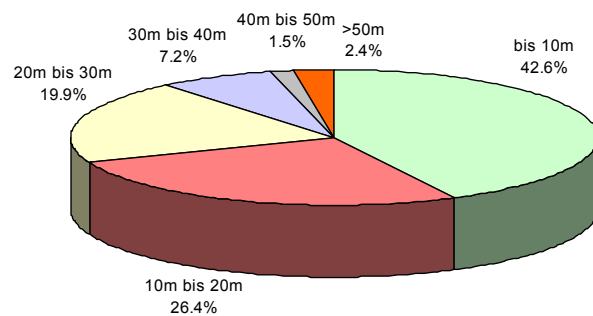
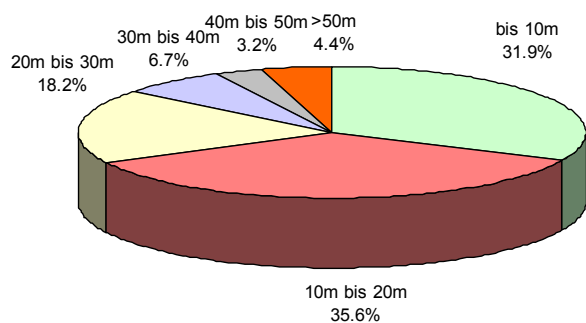


Abbildung 5.7: Einfeldträger BK 60/30 nach Stützweite

**Bundesautobahn: EFT BK60 (Fläche)**



**Bundesstraße: EFT BK60/30 (Fläche)**

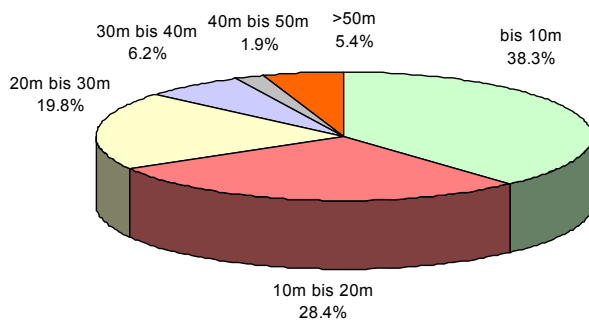


Abbildung 5.6: Einfeldträger BK 60 nach Stützweite

**Durchlaufträger:**

Anhand der durch die Simulationen ermittelten Auslastungen (Abbildung 8) ergaben sich für BK 60 und BK 60/30 in Abhängigkeit von der maximalen Stützweite und der Überbautypen (nach Bauweise) verschiedene Funktionen zur Kostenberechnung. Die Kostenschätzung erfolgte danach unter Beachtung des Brückenbestandes (Abbildung 9, 10).

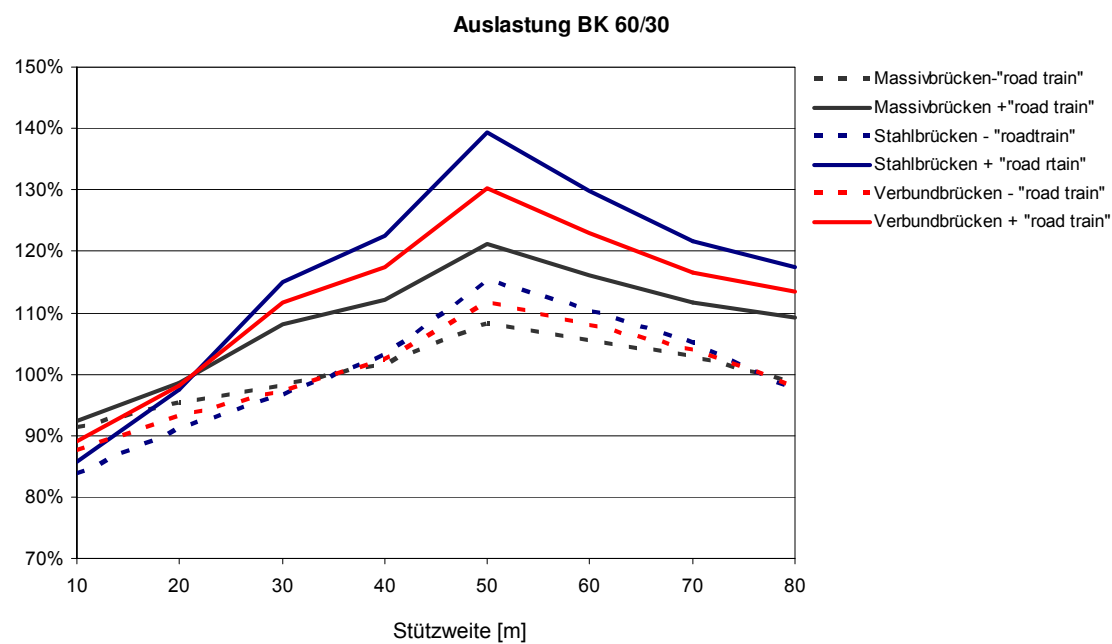
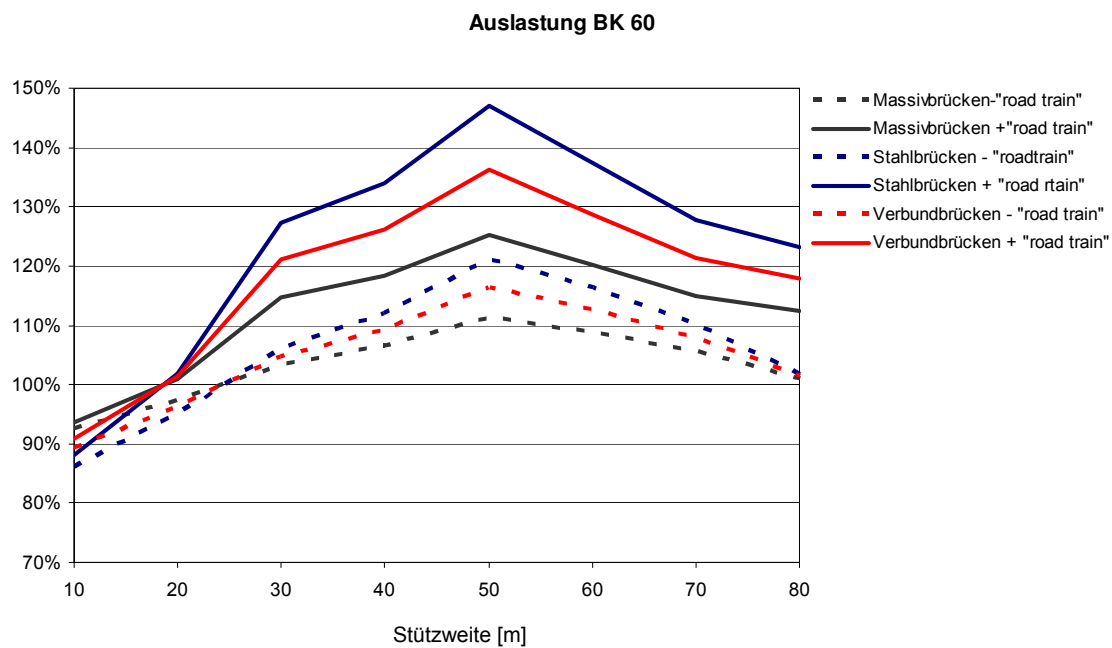


Abbildung 5.8: Ermittelte Auslastungen für unterschiedliche Stützweiten und Überbautypen (Durchlaufträger BK 60 und BK 60/30)

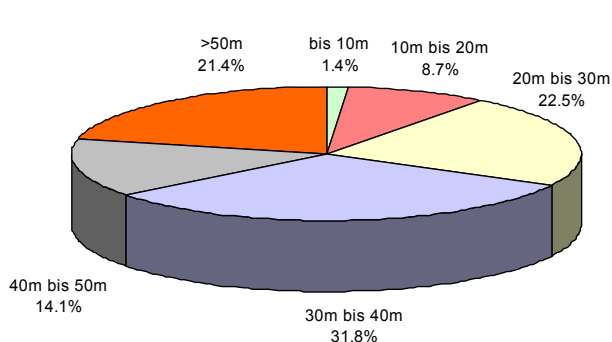
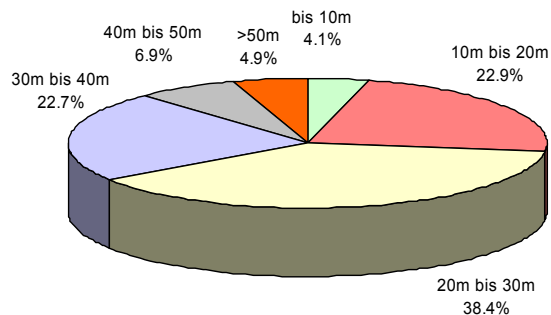
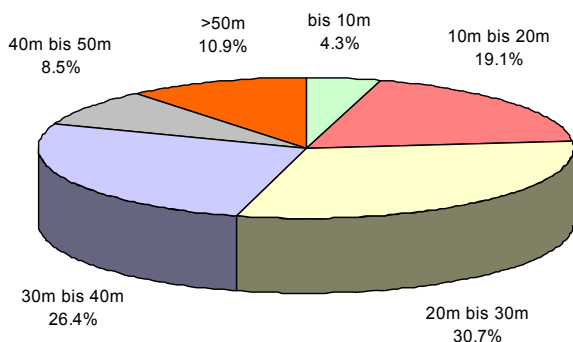
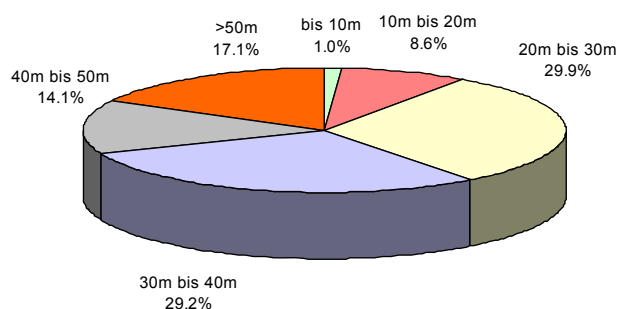
**Bundesautobahn: DLT BK60 (Fläche)****Bundesstraße: DLT BK60/30 (Fläche)****Bundesstraße: DLT BK60 (Fläche)****Bundesautobahn: DLT BK60/30 (Fläche)**

Abbildung 5.9: Durchlaufträger BK 60 nach Stützweite

Abbildung 5.10: Durchlaufträger BK 60/30 nach Stützweite

Zusammenfassend kann aufgrund der Grobkostenschätzungen die folgende Aussage getroffen werden:

Bei einer Zulassung von 60t-LKW sind mit ca. 8 Milliarden € (bezogen auf die Bundesautobahnen) zur Ertüchtigung der Brückennetzes zu rechnen. Nicht enthalten sind dabei Einflüsse aus der fehlenden Berücksichtigung des Temperaturzwangs (bei der Bemessung älterer Spannbetontragwerke (bis ca. 1981)) sowie einer wahrscheinlichen weiteren Zunahme des Güterverkehrs (insbesondere auch des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs).

Darüber hinaus würde sich bei zusätzlicher Berücksichtigung der Bundesstraßen ein Betrag von ca. 3 Milliarden € ergeben. Für eine detailliertere Betrachtung dieser Bauwerke wären ergänzende – zum Teil objektbezogene – Untersuchungen mit entsprechenden Lastkollektiven notwendig.

### 4.3 Zusammenfassende Bewertung und Ausblicke

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Konsequenzen einer flächendeckenden Zulassung von 60t-Fahrzeugkombinationen nach dem modularen Konzept – auch Roadtrain oder Giga-liner genannt – auf Bundesfernstraßen untersucht. Ausgangspunkt bildete der auf einer hochbelasteten Autobahn gemessene Schwerverkehr. Bei den durchgeführten Verkehrssimulationen wurden verschiedene Anteile durch einen zu erwartenden 60t-Verkehr ersetzt. Die netzweite Untersuchung für Brücken im Zuge Bundesautobahnen und Bundesstraßen ergab, dass bei einer möglichen Zulassung der 60t-Lastzugkombinationen die Tragreserven des Bestandes deutlich reduziert werden.

Der Verkehr mit 60t-Lastzugkombinationen führt sowohl für den fließenden Verkehr als auch für Verkehr mit höherem Stauanteil generell zu grö-

ßeren Extremwerten der Verkehrslastmomente gegenüber den Werten des auf BAB-Brücken aktuell gemessenen Verkehrs, im Maximum bis zu 45 %.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass bei allen Bauwerken der Brückenklasse 30, 30/30 und 45 sowie bei zwei- und mehrfeldrigen Bauwerken der Brückenklasse 60 und 60/30 oberhalb der Stützweite von 30 m bzw. 40 m für die 60t-Lastzugkombinationen über den Bemessungswerten liegende Beanspruchungen auftreten werden, wobei zusätzlich der Bauwerkszustand zu beachten ist.

Ältere vor 1980 errichtete mehrfeldrige Spannbetonbrücken weisen wegen der fehlenden Berücksichtigung von Zwangsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied größere Defizite auf als vergleichbare jüngere Systeme.

Mehrfeldsysteme der Brückenklassen 30, 30/30 und 45 mit einer Brückenfläche von 1,5 % des Gesamtbestandes weisen bis auf wenige Ausnahmen für den vorhandenen Verkehr generell Defizite im Stützenbereich auf, während sich für Mehrfeldsysteme der Brückenklasse 60 und 60/30 Überschreitungen erst ab einer Stützweite von ca. 40 m bzw. 50 m ergeben. Für die nach den DIN-Fachberichten bemessenen Brücken besteht hinsichtlich der Tragfähigkeit bei einer Zulassung von 60t-Lastzugkombinationen infolge des auf BAB-Brücken gemessenen Verkehrs kurzfristig kein Handlungsbedarf.

Für eine größere netzweite Abschätzung des Finanzbedarfs wurden drei unterschiedliche Kostenansätze gewählt, um die Sensitivität der Vorgehensweise zu prüfen. In Abhängigkeit von den Auslastungsgraden unter Berücksichtigung der Eigenlasten wurden Kosten für Verstärkungsmaßnahmen oder den Ersatz des Überbaus differenziert angesetzt. Alle drei Kostenansätze liefern sehr ähnliche Ergebnisse, so dass danach für die Bundesautobahnen mit ca. 8 Mrd. und für die Bundesstraßen mit ca. 3 Mrd. Euro zur Ertüchtigung für einen flächendeckenden Verkehr mit 60t-Lastzugkombinationen zu rechnen ist.

Größere Streuungen liefern die Kostenschätzungen für die Ertüchtigung der Bauwerke infolge des vorhandenen Verkehrs aufgrund angenommener unterschiedlicher Eingreifzeitpunkte hinsichtlich der ermittelten Auslastungsgrade. Danach ist für den Ersatz von Überbauten der Brückenklasse BK 30, 45, 30/30 und der Tragwerke mit vorhandenen Standsicherheitsbeeinträchtigungen sowie für die Ertüchtigung (i.a. Verstärkung) der Brücken mit BK 60 und 60/30 für Bundesautobahnen zwischen 3 und 5 Mrd. und für Bundesstraßen mit ca. 2 Mrd. Euro zu rechnen. Die vorliegenden Kostenschätzungen sind vor dem Hintergrund verschiedener Einflussgrößen zu bewerten. Einerseits wurde der auf der hoch-

belasteten BAB A61 gemessener Schwerverkehr auf das gesamte Bundesfernstraßennetz übertragen. Bundesstraßen und Teile der Bundesautobahnen sind sicher geringer belastet, so dass sich objektbezogen geringere Ertüchtigungskosten ergeben könnten. Andererseits ist in den Verkehrssimulationen zur Ermittlung charakteristischer Beanspruchungen sowohl die Zunahme des Schwerverkehrs als auch der stark gestiegene genehmigungspflichtige Schwerverkehr nicht berücksichtigt worden. Weiterhin weisen die bis 1980 errichteten Spannbetonbrücken (Brückenfläche ca. 5,2 Mio. m<sup>2</sup> = 18,7 % des Bestandes) wegen der fehlenden bemessungswirksamen Berücksichtigung der Zwangsbeanspruchung infolge Temperatur geringere Tragreserven auf als hier angesetzt.

Detaillierte Kostenschätzungen können nur durch eine objektbezogene Betrachtung gewonnen werden. Aus diesem Grund ist u.a. beabsichtigt, die Brückenbauwerke eines Autobahnabschnittes nachzurechnen.

Die volkswirtschaftlichen Kosten durch Umleitungen, Verkehrseinschränkungen, Staus und erhöhte Umweltbelastung während der Bauzeit wären bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtung zusätzlich in Ansatz zu bringen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Kosten ein Mehrfaches der reinen Baukosten betragen. Aufgrund der Vielzahl objektspezifischer Randbedingungen, die diese Kosten wesentlich beeinflussen, sind hierzu derzeit keine weiteren Analysen vorgesehen.

Die Ergebnisse des FE-Projektes sind in dem BAST-Bericht „Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes“ und in den Bericht der Bund/Länder Arbeitsgruppe „Modulare Nutzfahrzeuge“ für die Verkehrsministerkonferenz eingeflossen.

Im Oktober 2007 kam die Verkehrsministerkonferenz zu dem Entschluss, dass der Einsatz von schweren Fahrzeugen, die über die derzeit allgemein zugelassenen Gewichte und Achslasten liegen, wegen des sich erheblich erhöhenden Risikos für die Verkehrssicherheit und die nicht ausreichenden Tragfähigkeitsreserven der Brückenbauwerke nicht vertretbar sind, zumal zur Reduzierung von Verkehrssicherheitsrisiken moderne Fahrerassistenzsysteme nicht verpflichtend vorgeschrieben werden können (vgl. Abschnitt 7).

Zur Klärung offen gebliebener Fragen hinsichtlich Standsicherheit und Dauerhaftigkeit werden noch die Einflüsse einer flächendeckenden Zulassung von 60t-Lastzugkombinationen auf die Lagerkräfte, das Anprallverhalten der Stützen sowie die Ermüdungssicherheit objektbezogen an einem Brückenbauwerk untersucht.



Das Forschungsvorhaben und die erzielten Ergebnisse wurden auf der Bund/Länder Dienstbesprechung „Brücken- und Ingenieurbau“ vorgestellt und intensiv diskutiert. Aber auch durch den bereits vorhandenen Schwerverkehr werden die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der bestehenden Brückenbauwerke beeinträchtigt.

Es ist vorgesehen, im Rahmen weiterer Forschungsaufträge, das weitere Vorgehen, hinsichtlich der Nachrechnung und Ertüchtigung des Brückenbestandes zu behandeln. Dafür wird gegenwärtig mit dem BMVBS und den Ländern ein gemeinsames Konzept erarbeitet.

## 5 Einsparungen von Treibstoff und Emissionen

Die ökologische Beurteilung der Lastzugkombinationen wird national wie international kontrovers diskutiert. Das sensible Thema wird für die einen vor dem Hintergrund politischer Zielsetzungen (Kyoto-Protokolls, Vereinbarungen von Lissabon) gesehen und dienen der Betonung erforderlicher Fortschritte bei der Einsparung von Emissionen, die anderen verweisen darauf, dass die alleinige Betrachtung der verkehrsträger-spezifischen Belastungen der ökologischen Bilanz nicht zielführend sein kann, so lange nicht die ökonomischen Effekte und deren Folgen berücksichtigt werden. Hier wird vor allem auf die Verlagerungseffekte der Transporte von der Schiene und den Wasserwegen auf die Straße sowie auf die Indizierung neuer Transporte als Konsequenz der ökonomischen Vorteile der Lastzugkombinationen und somit fallender Transportpreise verwiesen.

Über die Auswirkungen der Lastzugkombinationen auf die Entwicklung der einzelnen Verkehrsträger wurden in jüngster Vergangenheit verschiedene Gutachten verfasst, die jedoch kein einheitliches Ergebnis zeichnen. So weisen einige Prognosen [5,6] für den Fall einer Einführung von Lastzugkombinationen deutliche Reduzierungen des Verkehrsaufkommens auf den Bundesfernstraßen aus, andere hingegen [7,8] konstatieren eine große Gefahr der Güterverlagerung von der Schiene auf die Straße. Alle diese Zukunftssichten der Verkehrsentwicklung wie auch die Prognosen der Beratergruppe Verkehr und Umwelt (BVU), des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), des Instituts für Seeverkehrswirtschaft und Logistik [9] sowie des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gehen zwar übereinstimmend davon aus, dass die Belastungen von Straßen, Schienen und Wasserwegen weiter zunehmen werden, welche Veränderungen durch die Einführung neuer Fahrzeugkonzepte jedoch insbesondere zwischen den einzelnen Verkehrsträgern verursacht würden, ist offensichtlich nur mit großen Ungenauigkeiten vorherzusehen. Dies liegt sicherlich an der sehr komplexen Thematik, die von vielen sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren bestimmt ist. So würden sich die kurzfristigen Effekte einer Zulassung von Lastzugkombinationen zwar in einer Fahrleistungsreduktion zeigen, mit Fortdauer der neuen Transportbedingungen würden aber die Preise sinken und neue Transporte ermöglichen und diese somit entstehen lassen [10]. Diese Entwicklung wiederum verschiebt die Verhältnisse zwischen den Verkehrsträgern und erwirkt deshalb eine Veränderung des Modal Split. Die Preise der Transportanbieter sind dabei nur eine von mehreren

Stellgrößen, die das Maß der Verschiebungen beeinflussen, andere sind beispielsweise der Umfang von erforderlichen Sicherheits- und sonstigen Ausstattungen der Lastzugkombinationen oder auch die Festlegung von Mautsätzen für diese Art der Fahrzeuge.

Die folgenden Betrachtungen zu den Einsparungen von Treibstoff und Emissionen vernachlässigen denn auch den Einfluss der Verkehrsentwicklung und beschränken sich allein auf einen Vergleich der Beförderung von Gütern mit konventionellen Fahrzeugen des Straßengüterverkehrs und mit den in Rede stehenden Lastzugkombinationen. Dass solche Einsparungen bei einer reinen fahrzeugtechnischen, also keiner ganzheitlichen Betrachtung möglich sind, wird nur von sehr wenigen in Zweifel gezogen. Selbst das Umweltbundesamt geht davon aus [11] und auch eine französische Umweltbilanz der Nutzfahrzeuge durch den Absatzfinanzierer BNP Paribas [12] schlägt die Einführung von Lastzugkombinationen vor, um eine weitergehende Reduzierung der Umwelteinflüsse des Straßengüterverkehrs zu verwirklichen.

Bereits in der ersten Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen [2] wurden einige Erfahrungen zum Einsparpotenzial der Lastzugkombinationen hinsichtlich des Treibstoffverbrauchs zusammengetragen. Sie werden hier der Vollständigkeit halber erneut aufgeführt und durch weitere, zumeist nationale Erkenntnisse ergänzt.

Auch wenn der Verbrauch von Treibstoff und der Ausstoß von Emissionen ökologisch und ökonomisch unterschiedlich bewertet werden können, stehen beide Aspekte im Bezug auf die Belastung der Umwelt in einem engen und gleichartigen Zusammenhang. Durch die Verbrennung von einem Liter Dieselmotorkraftstoff entstehen rund 2,65 kg Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) [13], das als sekundäres Treibhausgas zählt, da es die Ozonschicht zerstört. Jede Einsparung von Treibstoff erwirkt folglich eine direkt umrechenbare Reduzierung ausgestoßenen Treibhausgases.

### 5.1 Internationale Erfahrungen

#### 5.1.1 Schweden und Finnland

Lastzugkombinationen nach dem modularen Konzept werden in Schweden genauso wie in Finnland seit 1997 eingesetzt. Seither hat sich die Verkehrszusammensetzung so stark verschoben, dass in Schweden heute mehr als 90 % der Transportleistung von Fahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von >40 t erbracht wird. Der Anteil von Lastzugkombinationen an dieser Verkehrsleistung beträgt mehr als 65 % [14, 19].

Sowohl Schweden als auch Finnland berufen sich bei der Einführung dieser Fahrzeuge hauptsächlich auf das Kyoto-Protokoll aus dem selben Jahr, da der Transportsektor maßgeblich für den Ausstoß der umweltschädlichen Emissionen, die

entsprechend dem Protokoll bis zum Jahr 2012 deutlich gesenkt werden sollen, verantwortlich gemacht wird.

In einer Studie des Instituts für Transportforschung [15,16] wurde eine Vielzahl von CMR-

Tabelle 5.1: In einer schwedischen Studie auf ökonomische und ökologische Nutzen untersuchte Transportrelationen mit unterschiedlichen Transportweiten

Transportrelation	Transportweite
West-Belgien – Nord-Frankreich	400 km
Deutschland (Ruhrgebiet) – Nordwest-Frankreich	650 km
Nord-England – Nordwest-Frankreich	750 km
Süd-Niederlande – Südost-Frankreich	850 km
Süd-Schweden – Nordwest-Frankreich	1.750 km
Süd-Niederlande – Belgien	437 km
Süd-Niederlande – Dänemark	541 km
Niederlande – Schweiz	670 km
Süd-Niederlande – Zentral-Frankreich	805 km
Süd-Schweden – Niederlande	700 km
Niederlande – Nord-Deutschland	316 km
Niederlande – Nordwest-Frankreich	840 km

Frachtbriefen schwedischer, finnischer und niederländischer Transportunternehmen mit dem Ziel ausgewertet, die ökologischen und ökonomischen Einsparvolumen der Lastzugkombinationen zu ermitteln. Dabei wurden die in

Tabelle 5.1 dargestellten Transportrelationen und -weiten erfasst und die Einsparungen an Treibstoff und Emissionen auf diesen Strecken kalkulatorisch unter Annahme der vollen Nutzung von Volumen und Gewicht der Lastzugkombinationen hergeleitet.

Die Auswertung der CMR-Frachtbriefe kommt somit zu dem Ergebnis, dass durch den Einsatz von Lastzugkombinationen des modularen Kon-

zepts erhebliche ökonomische und ökologische Nutzen erzielt werden. Sowohl in Schweden als auch in Finnland wurde abgeschätzt, wie stark die Emissionen wieder zunehmen würden, wenn man zu den Gewichten und Dimensionen ohne Fahrzeuge nach dem Modularen Konzept zurückkehren würde. Für den Ausstoß von Kohlendioxid wurde ein Anstieg um 18 % und für den von Stickstoffoxiden um 20 % ermittelt.

Zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommt eine neuere Studie des schwedischen Forschungsinstituts vti aus dem Jahr 2008 [19]. Der Bericht wurde als Antwort auf die Frage der schwedischen Regierung formuliert, die nach den Auswirkungen und Kosten einer Beschränkung des

Tabelle 5.2: In schwedischen Studien [10, 11] durch Auswertung von Frachtbriefen ermittelte Einsparungen durch den Einsatz von Lastzugkombinationen gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen

Einsparungen in			
Fahrtenanzahl [10]	Treibstoffverbrauch [11]	Kohlendioxid [10]	Betriebskosten [10]
27 – 38 %	10 – 23 %	13 – 15 %	19 – 26 %
im Mittel: 32,2 %	im Mittel: 15,4 %	im Mittel: 14,3 %	im Mittel: 23,3 %

Schweden/Finnland

schwedischen Straßengütertransports auf die in Europa üblichen Lastkraftfahrzeugen mit maximalen Gesamtgewichten von 40 t und größten Längen von 18,75 m. Von den insgesamt ausgewiesenen finanziellen Zusatzbelastungen in Höhe von 945 Mio. € pro Jahr entfallen dabei jährlich etwa 61,7 Mio. € auf die dann erwarteten zusätzlichen Emissionen (Tabelle 5.3).

Tabelle 5.3: Prognostizierte jährliche Mehrkosten durch Beschränkung auf Güterfahrzeuge außerhalb des Modulare Fahrzeugkonzeptes in Schweden [20]

	Mehrkosten [Mio. €/Jahr]
Transportkosten	796,9
davon durch Steuern	-22,3
Straßenbelastung	-14,8
Verkehrssicherheit	52
Verzögerung durch Staus	5,3
<i>Abgasemission</i>	
Kohlendioxid	38,4
andere Stoffe	23,3
Geräuschemission Straße	73,1
Steuereffekte	-6,7
<b>Summe</b>	<b>945,2</b>

In welcher Größenordnung der Schadstoffmehrausstoß auftreten würde, konnte mit dem Programmsystem ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) rechnerisch simuliert werden. Nach Angaben der Studienautoren wurde das Programm auf die schwedischen Verkehrs- und Umweltbedingungen angepasst und seit 2004 mit gutem Erfolg eingesetzt. Als Eingangsgrößen wird der Verkehr in klassifizierten Fahrzeugtypen und mit strukturierten Transportleistungen erfasst. Die Berechnungen wurden für die ländlichen und die städtischen Regionen getrennt ausgewertet. Tabelle 6.5 zeigt beide Ergebnisse sowie die Gesamtauswirkungen.

Einzelne Analyseergebnisse unterscheiden sich quantitativ von denen der vorangegangenen Studien [13, 14]. So wurde hier mit einem Wert von

knapp 6,4 % eine deutlich geringere Treibstoffersparnis der Lastzugkombination gegenüber den bislang üblichen Lastkraftfahrzeugen ermittelt, was sich unmittelbar auf die Kohlendioxid-Emissionen (CO<sub>2</sub>) auswirkt. Auch der Ausstoß der Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) sowie der Rußpartikel (PM) verringern sich durch die Einführung von Lastzugkombinationen in Schweden um etwa 6,5 bis 7,5 %, während sich die Methan- (CH<sub>4</sub>) und Nichtmethankohlenwasserstoffemissionen (NMHC) dadurch um etwa 13,5 % reduzieren ließen.

Die Unterschiede, die sich aus den regionalen Bezügen ergeben, fallen dabei insgesamt sehr gering aus.

### 5.1.2 Niederlande

In den Niederlanden sind seit den 90er Jahren staatliche Bemühungen zur Einführung neuer (längerer und schwererer) Fahrzeugkombinationen zu beobachten. Hintergrund sind Bestrebungen zur Produktivitätssteigerungen in der Verkehrswirtschaft, insbesondere durch den Export von Verkehrsleistung. Ein wichtiger Sektor ist dabei der Straßengüterverkehr zwischen den niederländischen Welthäfen und Süd- und Osteuropa. Durch Stärkung der „economies of scale“ – also die Kostenersparnisse aufgrund von Größenvorteilen – können dabei betriebswirtschaftliche Produktivitätsvorteile ausgebaut werden.

Vor diesem Hintergrund wird in den Niederlanden seit dem Jahr 2000 ein Versuch mit überlangen (25,25 m) und schwereren (60 t) Fahrzeugen durchgeführt, der zwischenzeitlich mehrfach verlängert und ausgeweitet wurde.

Ziel dieses Großversuches ist es unter anderem, die Auswirkungen eines Einsatzes dieser Fahrzeugkombinationen hinsichtlich der Betriebswirtschaft und der Umweltbeeinflussung zu untersuchen. Die in Tabelle 5.4 wiedergegebenen Einsparungswerte haben sich im Piloteinsatz der Lastzugkombinationen ergeben. Dabei reichten die Schwankungen bei der Kraftstoffersparnis unabhängig von der jeweiligen Lastzugkombination von 5 bis 30 % [18].

Tabelle 5.4: Einsparungen durch den Einsatz von Lastzugkombinationen gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen im Pilotversuch in den Niederlanden [13]

Einsparungen in			Niederlande
Fahrtenanzahl	Treibstoffverbrauch	Kohlendioxid	Betriebskosten
32 %	15 %	20 %	23 %

Tabelle 6.5: Auswirkungen einer Beschränkung des Straßengüterverkehrs auf Fahrzeuge außerhalb des Modulare Fahrzeugkonzeptes in Schweden auf den Treibstoffverbrauch und die Emissionen in Tonnen [16]

	gesamte Auswirkungen					
	Diesel	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM
Lastzugkombinationen (60 t)	1.235.866	3.799.439	35,7	1.749	39.584	943
konventionelle Güter-Fz (40 t)	1.312.775	4.041.688	40,5	1.987	42.201	1.014
Veränderung	+ 6,38%	+ 6,38%	+ 13,45%	+ 13,61%	+ 6,61%	+ 7,53%
	Auswirkungen auf ländliche Gebiete					
	Diesel	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM
Lastzugkombinationen (60 t)	858.884	2.640.688	23,2	1.135	27.510	651
konventionelle Güter-Fz (40 t)	911.940	2.803.571	26,4	1.291	29.231	701
Veränderung	+ 6,18%	+ 6,17%	+ 13,79%	+ 13,74%	+ 6,26%	+ 7,68%
	Auswirkungen auf Stadtgebiete					
	Diesel	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM
Lastzugkombinationen (60 t)	376.982	1.158.751	12,5	614	12.074	292
konventionelle Güter-Fz (40 t)	402.834	1.238.117	14,2	695	12.970	313
Veränderung	+ 6,86%	+ 6,85%	+ 13,60%	+ 13,19%	+ 7,42%	+ 7,19%

Sie entsprechen einer Reduzierung der Gesamtemissionen durch den gesamten niederländischen Verkehr um 3 bis 5 % beim Kohlendioxid und 2 bis 4 % bei den Stickoxiden. Dabei wurde ein Anteil der Lastzugkombinationen am gesamten Schwerverkehr von 4 bis 8 % unterstellt [17].

## 5.2 Nationale Erfahrungen

Die bisher angeführten internationalen Erfahrungen zum Treibstoffverbrauch und zu den Emissionen sowie zu den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen sind nicht ohne Weiteres auf die Verhältnisse in Deutschland zu übertragen, da sich sowohl die Fahrzeugflotte, die geographischen Begebenheiten sowie die Siedlungsstruktur und Autobahnverhältnisse insbesondere ge-

genüber Schweden deutlich voneinander unterscheiden. Sie müssen als Anhaltspunkte gesehen werden, die für nationale Untersuchungen oder zur Wertung eigener Erkenntnisse herangezogen werden können.

Bereits im Jahr 2005 wurde in [20] eine erste Abschätzung der möglichen Minderverbräuche an Treibstoff durch Lastzugkombinationen vollzogen. Die hier ausgewiesenen, auf eine Tonne bezogenen Einsparungen in Höhe von rund 23 % müssen allerdings vor den Randbedingungen des mit dem Programm PELOPS durchgeführten Rechengangs gesehen werden. Der dem konventionellen 40-t-Sattelzug gegenüber gestellte Road Train besteht aus zwei Sattelauflegern mit einem Zugfahrzeug und besitzt eine Länge von 31 m und weist ein zulässiges Gesamtgewicht von 56 t auf. Gewichtsverändernde und damit verbrauchsrelevante technische Veränderungen wie beispielsweise eine Ausrüstung mit einem

größeren Motor oder zusätzlicher Sicherheitsausstattung wurden nicht vorgesehen.

Eine vom FAT in Auftrag gegebene Studie zu den gesamtwirtschaftlichen Effekten durch die Einführung schwerer und langer Lastkraftwagen [21] bezieht sich hingegen direkt auf Fahrzeuge nach dem Modularen Konzept. Der Treibstoffverbrauch dieser Fahrzeuge wird mit 40,26 l/100 km gegenüber 33 l/100 km für die konventionellen Last- und Sattelzüge jedoch lediglich geschätzt. Entsprechend dieses höheren Verbrauchs von 22 % wird im Weiteren der Ausstoß an Kohlendioxid und das Stickstoffäquivalent mit dem gleichen Anteil beaufschlagt. Überschlägig ergäbe sich aus dem Ersatz von drei 40-t-Fahrzeugen durch zwei 60-Tonnen-Fahrzeugen eine Minderung des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen von 11 %.

Zur Absicherung dieser wie auch der internationalen Ergebnisse bietet es sich an, die in Deutschland auf Länderebene durchgeführten Piloteinsätze von Lastzugkombinationen näher zu betrachten. Auf sie soll im Folgenden eingegangen werden.

### 5.2.1 Ergebnisse des Pilotversuchs in Niedersachsen

In Niedersachsen werden seit dem 01.07.2006 drei unterschiedliche Lastzugkombinationen auf mehreren Routen innerhalb des Bundeslandes und bis nach Nordrhein-Westfalen hinein eingesetzt [22]. Alle Fahrzeuge sind mit einem Höchstmaß an Sicherheitstechnik ausgerüstet und auch an die Fahrer wurden hohe Anforderungen gestellt. Das höchst zulässige Gesamtgewicht aller eingesetzten Lastzugkombinationen wurde auf 40 t begrenzt, weshalb die Fahrzeuge nur mit sieben Achsen hätten ausgestattet werden können.

Bei zwei der eingesetzten Lastzugkombinationen handelt es sich um 7-achsige Gespanne aus Sattelzugmaschinen mit einem entsprechenden Auflieger und einem Zentralachsanhänger. Eine dieser Kombinationen verkehrt im Pendelbetrieb zwischen zwei Depots in Meppen und Duisburg während der Abend- und Nachtstunden (Abbildung 6.1), die andere fährt nachts und tagsüber die je Richtung 325 km lange Relation Wolfsburg – Emden.

Eine dritte Lastzugkombination besteht aus einer dreiachsigen Lastkraftwagen mit einem über einen lenkbaren 2-Achs-Dolly angehängten Sattelaufliieger mit 3 Achsen. Diese Kombination wurde wechselnd auf drei unterschiedlichen Routen jeweils von Osnabrück mit Zielen in Lehrte, Lingen und Cloppenburg eingesetzt (Abbildung 6.1).

Alle im Pilotversuch befahrenen Routen verlaufen größtenteils, d.h. im Mittel zu knapp 94 % über Bundesautobahnen und zu rund 5 % über Bundesstraßen. Sie sind insofern von der Streckencharakteristik hinsichtlich des Treibstoffverbrauchs vergleichbar. Allein die Verbindung Osnabrück – Lehrte fällt als einzige durch nennenswerte zu überwindende Steigungen – hier auf der BAB A2 im Weserbergland – auf.

In Tabelle 6.6 wurden die Kenndaten der in Niedersachsen befahrenen Routen mit den durchschnittlichen Beladungsdaten zusammengestellt. Dabei fällt auf, dass auf den kürzesten beiden Routen jeweils nur in eine Richtung Ladegut befördert wurde, während die Rückfahrt stets leer durchgeführt wurde. Hierdurch ergaben sich in Summe 10.200 km Leertransporte, bei denen nicht nur das Zugfahrzeug, sondern auch der Anhänger bzw. Sattelaufliieger mit bewegt werden musste.

Die Auswertungen des Pilotversuchs zum Treibstoffverbrauch und den Emissionen kommen nach einer Dauer von einem Jahr zu dem Ergebnis, dass sich durch den Einsatz der Lastzugkombinationen erhebliche ökologische Vorteile erge-

Tabelle 6.6: Routen- und Beladungsdaten im niedersächsischen Piloteinsatz von Lastzugkombinationen

Route	Fahrtenanzahl*	Streckenlänge*	Volumenauslastung		Gewichtsauslastung	
			hin	zurück	hin	zurück
	[-]	[km]	[%]	[%]	[%]	[%]
Meppen-Duisburg	280	352	100	85	64,0	64,0
Wolfsburg-Emden	186	650	100	100	28,2	77,2
Osnabrück-Lehrte	144	310	85	85	92,3	92,3
Osnabrück-Lingen	69	200	100	0	35,7	0
Osnabrück-Cloppemb.	44	150	100	0	26,8	0

\*: hin und zurück

ben. Die Minderung des Treibstoffverbrauchs wird mit rund 32,5 % angegeben. In der gleichen Größenordnung liegen die verringerten Ausstöße von Rußpartikeln sowie die Emissionen von Kohlendioxid- und Stickstoffoxid.

Kritisch muss zu den vorgelegten Zahlen angemerkt werden, dass diese nicht auf Verbrauchsmessungen an herkömmlichen Fahrzeugen und an Lastzugkombinationen beruhen, sondern sich auf die Schätzungen der involvierten Spediteure stützen. Die Daten sind somit weder unabhängig, noch nachprüfbar. Zudem weisen die Berechnungen – beispielsweise durch einen teilweise identischen Treibstoffverbrauch einer Lastzugkombination zu einem herkömmlichen Sattelzug oder durch Annahme einer 1,7-fach erhöhten Transportstrecke bei Verwendung eines herkömmlichen Fahrzeugs gegenüber einer Lastzugkombination – Unplausibilitäten auf, die eine Wertung der erzielten Ergebnisse nicht sinnvoll erscheinen lassen.

## 5.2.2 Ergebnisse des Pilotversuchs in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg wird der Piloteinsatz von Lastzugkombinationen direkt von der Daimler AG mit eigenen Fahrzeugen durchgeführt. Der Piloteinsatz startete im September 2006 auf einer insgesamt 86 km langen Strecke, die mit unterschiedlichen Abschnittscharakteristiken über die Bundesstraßen B10 und B313 sowie die Bundesautobahnen A8 und A81 führt. Auf dieser Strecke verkehrt eine Kombination mit Dolly-Sattelaufleger mit einem maximal zulässigen Gesamtgewicht von 60 t im Werksverkehr zwischen den Standorten Untertürkheim und Sindelfingen (Abbildung 6.2).

Eine zweite gleichartige Kombination wird mit Einzelzulassungen jeweils nur für bestimmte Untersuchungen oder Messungen zumeist auf dem

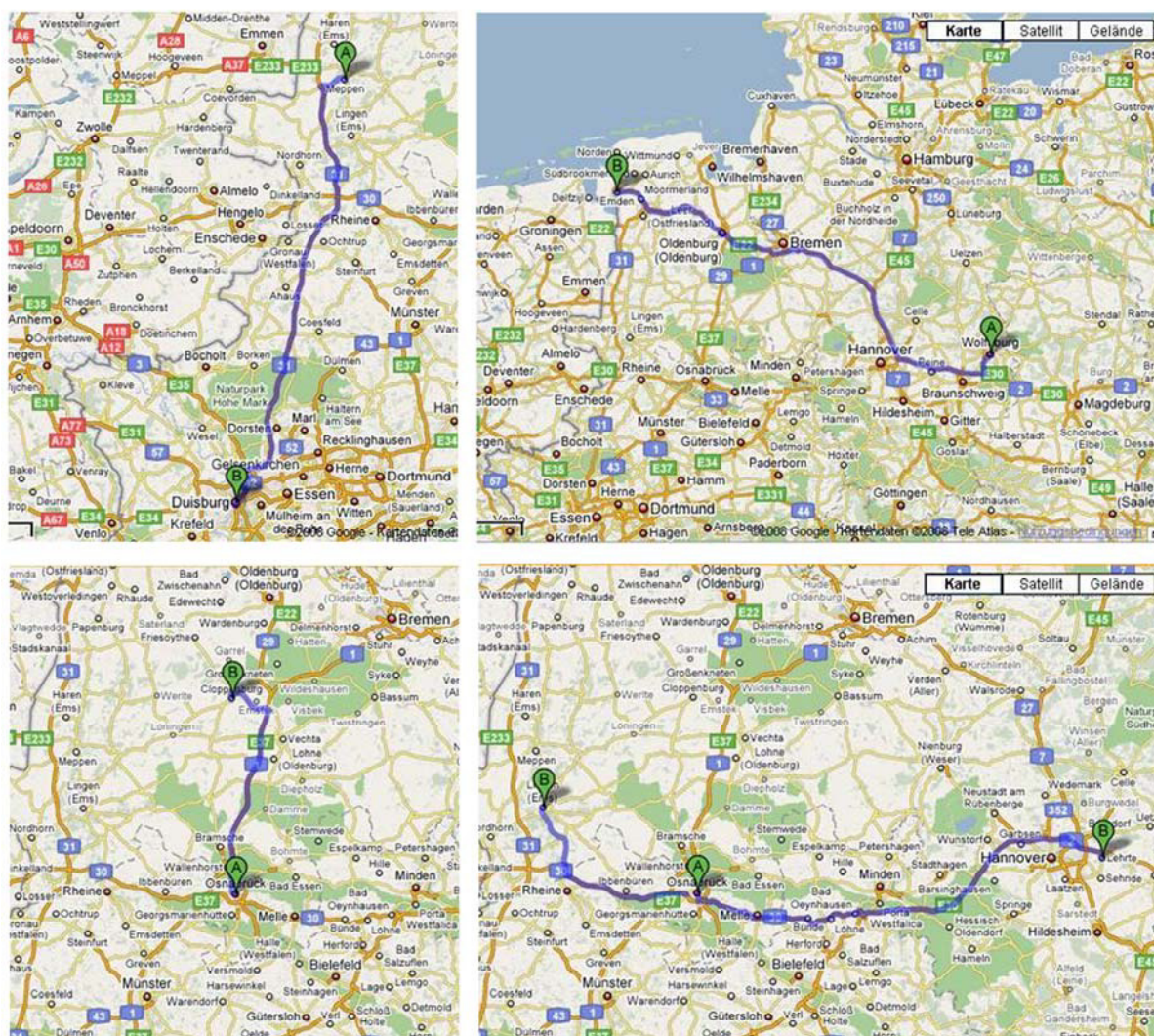


Abbildung 6.1: Im niedersächsischen Pilotversuch mit Lastzugkombinationen befahrene Routen

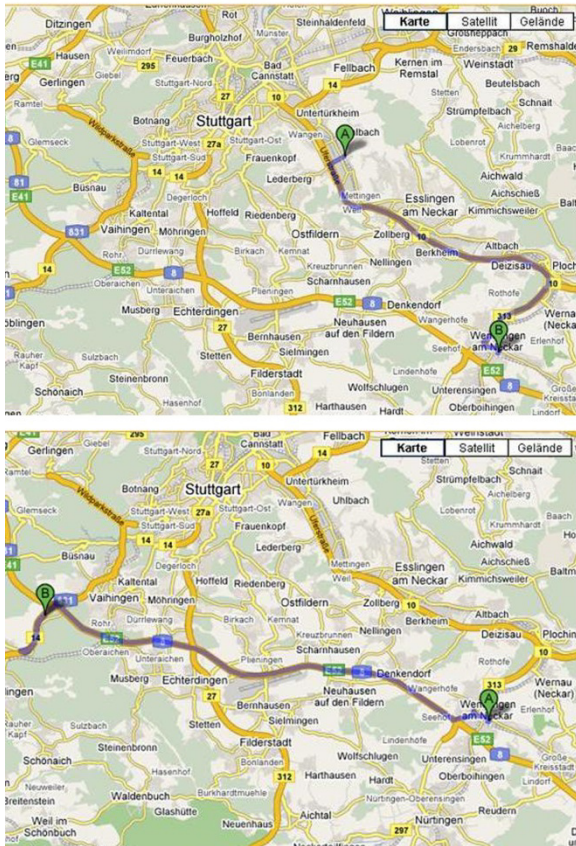


Abbildung 6.2: Im baden-württembergischen Pilotversuch mit Lastzugkombinationen befahrene Routenabschnitte

gleichen Streckenabschnitt zum Einsatz gebracht. Auf diese Lastzugkombination wurde in einem speziellen Messprogramm zur Ermittlung der Einsparungen an Treibstoff und Emissionen zurückgegriffen [23].

Die Verbrauchsuntersuchungen wurden im direkten Vergleich der Lastzugkombination mit einem gleichartigen Gliederzug aus dreiachsigen Lastkraftwagen mit einem zweiachsigen Anhänger durchgeführt. Die Motorisierung der Lastzugkombination wurde dabei mit 440 kW gegenüber dem Gliederzug mit 335 kW an das höhere Gesamtgewicht angepasst.

Beide Fahrzeuge wurden überall dort, wo örtlich keine Geschwindigkeitsbeschränkungen angeordnet waren, per Tempomat bei 80 km/h gefahren und hielten stets genügend Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen, um ein Ausnutzen des Windschattens zu verhindern. Außerdem starteten beide Fahrzeuge zeitgleich, um identische verkehrliche Bedingungen zu gewährleisten.

Der Treibstoffverbrauch konnte durch die Installation eines Präzisionsverbrauchsmessgeräts in der Kraftstoffvor- und -rücklaufleitung und einer GPS-basierten Erfassungseinheit für die Position, Höhe, die Geschwindigkeit und den Verbrauch kontinuierlich gemessen und den momentanen Fahrdaten direkt zugeordnet werden. Auf diese Weise war es beispielsweise möglich, den Verbrauch in Abhängigkeit von der Streckensteigung zu ermitteln. Entsprechend wurde die Gesamtstrecke in zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Steigungscharakteristiken geteilt, um auf diese Weise den Einfluss steiler Bergauffahrten zu separieren.

Der erste Abschnitt besteht aus der flachen 4-streifigen Strecke von Obertürkheim über Plochingen bis nach Wendlingen, der zweite schließt sich direkt an und führt mit bergiger Charakteristik über die Bundesautobahn A 8 bis zum Autobahnkreuz Stuttgart. Während der erste Abschnitt 39 km lang ist und dabei lediglich 44 m Höhendifferenz überbrückt, weist der zweite eine Länge von 47 km mit einer Höhendifferenz von 260 m auf. Beide Streckenteile wurden sowohl in Hin- wie auch in der Rückrichtung befahren und der Treibstoffverbrauch aufgezeichnet.

Erwartungsgemäß ergibt sich auf dem flachen Streckenabschnitt für den Gliederzug und die Lastzugkombination jeweils ein deutlich geringerer Kraftstoffverbrauch als auf dem bergigeren Abschnitt. Aus den in Tabelle 6.7 dargestellten Verbrauchswerten geht hervor, dass der Unterschied rund 17 % beträgt. Die Steigungsverhältnisse haben zwar einen Einfluss auf die Minderung des Treibstoffverbrauchs durch den Einsatz von Lastzugkombinationen, die Größenordnung dieses Einflusses ist jedoch nicht sehr groß. So kann pauschal festgehalten werden, dass der Treibstoffverbrauch von Last-

Tabelle 6.7: Treibstoffverbräuche der eingesetzten Fahrzeuge im Pilotversuch in Baden-Württemberg [24]

	Gliederzug mit 40 t	Lastzugkombination mit 60 t	Minderung (Zuggewicht)	Minderung (Nutzlast)
Routencharakter	[l/100 km]	[l/100 km]	[%]	[%]
flach	30,85	42,65	7,5	12,2
bergig	36,94	51,69	6,3	11,1
Minderung [%]	16,5	17,5		



zugkombinationen mit einem maximalen Gesamtgewicht von 60 t um rund 11 bis 12 % gegenüber einem konventionellen Gliederzug gemindert werden kann. Eine entsprechende Größenordnung werden folglich auch die Reduzierungen der Emissionen an Kohlendioxid, Stickstoffoxiden und der Rußpartikel annehmen.

### 5.3 Zusammenfassung und Vergleich der Verkehrsträger

Mit Ausnahme der im Zuge des Piloteinsatzes von Lastzugkombinationen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t in Niedersachsen durchgeführten theoretischen Betrachtungen, die auf einem kritisch zu betrachtenden Ansatz zu sehr hohen Treibstoffeinsparungen durch den Einsatz dieser Fahrzeugkombinationen gelangen, kommen alle hier vorgestellten Studien aus Schweden, Finnland, den Niederlanden und Deutschland zu sehr ähnlichen Potenzialen einer Treibstoffminderung. Die Spanne der relativen, auf das Gesamtgewicht bezogenen Einsparungen reicht von 11 bis rund 15 %.

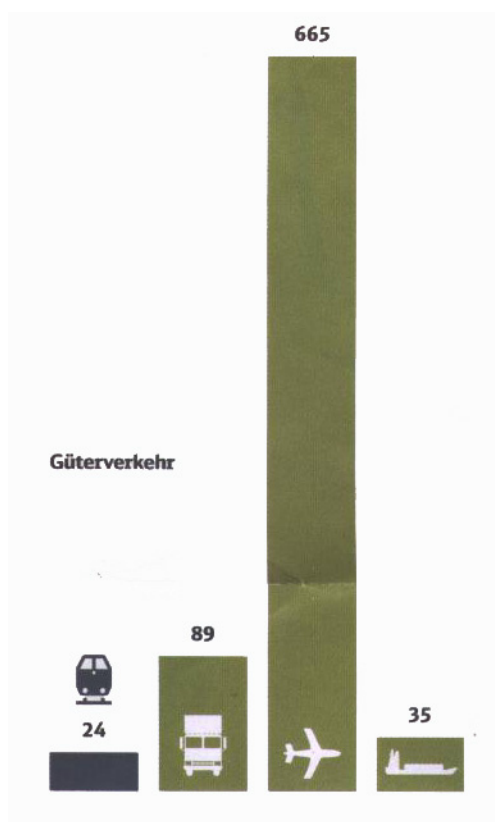


Abbildung 6.3: Kohlendioxid-Emissionen in Gramm je Tonnenkilometer [24]

Eine derzeit in Bearbeitung befindliche und deshalb nur in Auszügen vorliegende Studie für die Europäische Kommission unter dem Titel „Effects of adapting the rules on weight and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC“ stellt zwar nur theoretische Berechnungen mit Hilfe einer Software COPERT IV zu diesem Thema vor, erhält mit einer Einsparung von 11,5 % jedoch ebenfalls einen in diese Spanne passenden Wert. Hier wie bei den meisten anderen Studien muss allerdings berücksichtigt werden, dass Fahrversuche und Berechnungen häufig mit Kombinationen aktuell bestehender Komponenten zusammengesetzt wurden. Für den Fall einer Zulassung von Lastzugkombinationen ist jedoch davon auszugehen, dass größere Motoren, zusätzliche Ausstattungsmerkmale und die Anzahl der erforderlichen Antriebsachsen das Gewicht des Fahrzeugs erhöhen und die mögliche Zuladung damit verringern. Die tatsächlich erreichbare Treibstoffeinsparung mag deshalb eher am unteren Ende der genannten Spanne von 11 bis 15 % liegen.

Die Gesamtbilanz der Treibstoff- und Emissions-einsparung durch den Transportverkehr hängt selbstverständlich davon ab, wie viele Lastzugkombinationen über welche Transportweiten und mit welcher Gewichtsauslastung verkehren würden. Dies wiederum würde seinerseits davon beeinflusst werden, welche Länder ein noch zu definierendes Verkehrsnetz für diese Fahrzeuge freigeben würden und welches zulässige Gesamtgewicht festgelegt würde. Darüber hinaus ist letztendlich nicht zu vernachlässigen, dass trotz des positiven Effektes, dass durch den Einsatz von Lastzugkombinationen der Treibstoffverbrauch und damit der Ausstoß von Treibhausgasen in einer Größenordnung von etwas mehr als 10 % reduziert werden könnte, der Gütertransport auf dem Schienen- und Wasserweg nach wie vor umweltschonender bleibt. Sowohl die Angaben der oben zitierten Studie für die Europäischen Kommission, als auch die der Deutschen Bundesbahn [24] und die des Umweltministeriums in Niedersachsen [25] weisen für die Schiene wie auch für den Wassertransport so

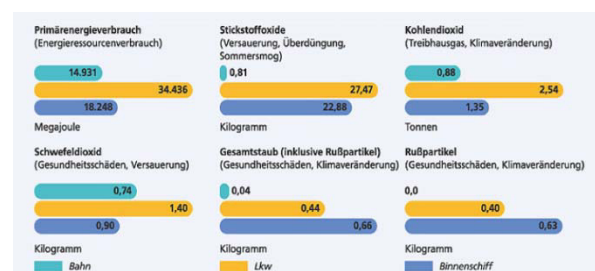


Abbildung 6.4: Beispiel eines Gütertransports von 100 t von Wolfsburg nach Emden im Verkehrsträgervergleich [25]

deutlich bessere ökologische Parameter gegenüber dem Straßengüterverkehr aus (Abbildung 6.3 und Abbildung 6.4), dass auch der Einsatz von Lastzugkombinationen diesen Zahlenwerte entscheidend verbessern kann. Allerdings bleibt die Sinnhaftigkeit einer solchen Relativbetrachtung so lange fragwürdig, bis der weitere Anstieg der Gütertransporte nicht anders als hauptsächlich auf der Straße aufgenommen werden kann.

## 6 Fahrzeugtechnik

Wie schon in dem ersten BASt Bericht [13] „Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes“ in Kapitel 8 dargelegt, sollten schwerere und/oder längere Lastzüge, wenn sie denn in Verkehr kommen, über zusätzliche Einrichtungen der aktiven und passiven Sicherheit verfügen. Dort sind insgesamt 25 Anforderungen aufgelistet, ohne jedoch auf die spezielle Problematik bei der Definition der Sicherheitseinrichtungen – speziell der Fahrerassistenzsysteme – einzugehen.

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaft hat im März 2008 einen Regelungsvorschlag für die Typgenehmigung von motorgetriebenen Fahrzeugen bezüglich deren genereller Sicherheit vorgelegt [26]. Dort wird als „proposed action“ die Einführung von ESP (electronic stability control) für alle Fahrzeuge, weiterentwickelte Notbremssysteme (advanced emergency braking systems) für LKW und Spurhalteassistenten (lane departure warning systems) ebenfalls für alle LKW gefordert<sup>4</sup>. Allerdings sind auch in diesem Regelungsvorschlag keinerlei Definitionen (oder Wirkvorschriften) der einzelnen Systeme angegeben. Hier bedarf es noch intensiver Vorarbeiten seitens der Industrie.<sup>5</sup>

Diese Problematik wurde auch im Jahresgespräch des VDA mit dem BMVBS am 12.2.2008 angesprochen. Zitate aus dem Besprechungsprotokoll: „Auch hier sei an das Instrument einer freiwilligen Selbstverpflichtung durch die Industrie gedacht“ und „Der BMVBS kündigte an, in Kürze alle Beteiligten, auch die Versicherungswirtschaft, zu einem Gespräch einzuladen“. Selbst

<sup>4</sup> Zur Erinnerung: In [13] wurde wie folgt argumentiert: Überlange und/oder überschwere Fahrzeugkombinationen, die auf ein Stauende auffahren, können einen erheblich größeren Schaden anrichten als die bisher üblichen Lastzüge. Mit einem Notbremsassistentensystem kann der Aufprall vermieden oder zumindest gemildert werden.

Da bauseits keine Rückhaltesysteme für derartig schwere Fahrzeuge zur Verfügung stehen, könnten mit einem lane departure warning system die Probleme „Absturz von einer Brücke“ oder „Durchbrechen von Schutz- und Leiteinrichtungen“ entschärft werden.

<sup>5</sup> An ca. 7% aller Unfälle sind LKW beteiligt. Diese sind aber oft mit sehr schwerwiegenden Folgen verbunden. Als Unfallursachen sind zu nennen:

- 33% Auffahrunfall
- 14% Spurwechsel
- 7% Unfall mit Gegenverkehr
- 18% Kreuzungsunfall
- 15% Abkommen von der Fahrbahn
- 2% Fußgängerunfall
- 11% Sonstige

[Quelle: Mercedes-Benz]

wenn Notbremsassistent und Spurhalteassistent in ihrer Wirkung zu beschreiben sind, bleibt für die Entwicklung von ESP für Gliederzüge – und alle längeren und/oder schwereren Lastzüge sind in irgendeiner Form auch Gliederzüge – noch Zeitbedarf, wenn man auch die Wechselmöglichkeit von Zugfahrzeug und Anhänger mit einbeziehen möchte. Knorr Bremse hat vor kurzem ein ESP für Gliederzüge auf den Markt gebracht.

Die allgemeine Forderung, dass längere und/oder schwerere Lastzugkombinationen genau so sicher oder sicherer sein sollten als die bisher eingesetzten Lastzüge, lässt sich leicht formulieren, jedoch schwer vorab nachweisen. Die Anforderungen an die passive Sicherheit sind gesetzlich geregelt (ECE oder EG) und stellen keine Zusatzanforderungen für neue Lastzugkombinationen dar.

Für das Fahrverhalten eines Lastzuges gibt es keine gesetzlichen Regelungen, nur ISO Normen, in denen aber ausdrücklich in der Einleitung auf die Nichtanwendbarkeit in Regelungen hingewiesen wird. („Since the number of variants of heavy truck combinations is tremendously large, each truck combination is unique. So the measured result is valid only for the tested vehicle or combination and the transition of the results to obviously similar vehicle combinations is, especially for heavy trucks, not possible. Therefore, it is not possible to use these test methods and the test results for regulation purposes.“) Folgende ISO Standards für LKW und Kombinationen (und Busse) wären zur Beurteilung heranziehbar:

- ISO 14792 Steady state circular test
- ISO 14791 Lateral stability test methods
- ISO16333 Steady-state rollover threshold - tilt table test method
- ISO 16234 Straight-ahead breaking on surfaces with split coefficient of friction – Open-loop test methods
- ISO 14793 Lateral transient response test methods
- ISO 14794 Breaking in a turn – Open-loop test method

Gegebenenfalls sind weitere Regelungen z.B. über Seitenwindempfindlichkeit, etc. nutzbar.

Wie aber oben schon ausgeführt, dienen diese ISO Standards nicht zur Regulationserstellung. Ein wichtiger Faktor, warum dies nicht möglich ist, ist die jeweilige unterschiedliche Beladung des LKW oder der Kombination. Mit der Beladung ändert sich die Schwerpunkthöhe und damit das Fahr- und Kurvenverhalten. Noch stärker wird das Fahr- und Kurvenverhalten verändert beim Transport schwappender Güter (Flüssigkeiten) oder im Extremfall bei „an der Decke hän-

genden Gütern“ (z.B. hängende Schweinehälften an der Decke eines Kühlkofferaufbaus).

In [27] wird auf die Bewertung von Versuchen zur aktiven (LKW) Fahrzeugsicherheit eingegangen. Dort werden als Mindestanforderungen für das fahrdynamische Verhalten eines Fahrzeuges folgende drei Fahrmanöver diskutiert:

- Stationäre Kurvenfahrt
- Instationäres Lenkverhalten (Lenkwinkelsprung, schneller Fahrbahnwechsel)
- Bremsen in der Kurve

Allein die Wahl der Reifen für das Fahren der Fahrmanöver kann zu unterschiedlichem Fahrverhalten führen und z.B. aus einem untersteuernden Fahrzeug ein übersteuerndes Fahrzeug machen.

Als folgenschwerer Unfall – neben dem schon aufgeführten Durchbrechen der Schutz- und Leiteinrichtungen und dem Auffahren auf ein Stauende – gilt das Umstürzen eines Lastzuges.

Aus diesem Grund wurde in [2] als Assistenzsystem „Rollover sensing“ gefordert. Obwohl solche Systeme schon in der Entwicklung sind, gibt es auch hier noch offene Definitionsfragen, gerade in Hinblick auf mögliche Ladungsverteilung, Schwerpunkthöhe, Reifen, etc. Einer in [13] geforderten Achslastwägung on board kommt in diesem Sinne besondere Bedeutung zu. Lastzüge werden meistens über den Anhänger oder Auflieger umgeworfen. Das heißt, ein voll beladener Anhänger hinter einem leeren Zugfahrzeug ist dahingehend als besonders gefährlich einzustufen, da bei einem Fahrspurwechsel der Anhänger ins Schwanken gerät und den gesamten Lastzug umwerfen kann. Aus diesem Grunde ist auf eine „ausgewogene“ (auch noch von der Industrie zu definieren) Achslastverteilung zu achten und diese ist durch technische Maßnahmen sicherzustellen. Nach bisherigen Kenntnissen ist bei gleichmäßiger Beladung und ausgewogener Achslastverteilung ein überlanger und/oder überschwerer Lastzug in dem Kriterium „rückwärtiges Aufschaukeln“ beim Fahrspurwechsel nicht als kritischer einzustufen. Hier bleiben aber noch die Erkenntnisse der OECD/JTRC Arbeitsgruppe on Heavy Vehicles abzuwarten. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich u.a. mit der Anwendung von „Performance Based Standards“ für die aktive Fahrzeugsicherheit.



Abbildung 7.1: Kippvorgang eines Sattelaufhängers [Quelle: Mercedes-Benz]

Darüber hinaus hat die Achslastwägung on board den Vorteil, dass es technisch möglich gemacht werden kann, überladene Fahrzeuge nicht in den Straßenverkehr bringen zu können. Schon jetzt sind bei 40 t zulässigem Gesamtgewicht mehr als 25% der Lastzüge überladen. Wird dem Spediteur mehr Laderaum zur Verfügung gestellt, wird die Versuchung zur Überladung der Fahrzeuge erhöht.<sup>6</sup> Es lassen sich nur extrem leichte Ladegüter mit ganz geringem spezifischem Gewicht in Großvolumenfahrzeugen ohne Überschreitung des zulässigen Gesamtgewichtes transportieren.

<sup>6</sup> Beispiel: Eine leere Kiste Bier hat die Maße L/B/H von 0,4x0,3x0,3 m und hat ein Gewicht von 10 kg (entsprechend 277,7 kg/m<sup>3</sup>). Bei einem Ladevolumen eines Giga-Liners von 150 m<sup>3</sup> beträgt das Ladungsgewicht – wie gesagt, beim Transport leerer Bierflaschen in Kisten - schon mehr als 40 t. Bei vollen Flaschen verdoppelt sich das Ladungsgewicht. Dazu kommt noch das Leergewicht des Lastzuges, geschätzt 17 t.

## 8 Zusammenfassung

Ausgehend von dem im Jahr 2006 durch die Bundesanstalt für Straßenwesen vorgelegten Bericht [2] zu den Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes stellt dieser zweite Bericht zu den Lastzugkombinationen erste Erfahrungen aus den Piloteinsätzen der Fahrzeuge in einzelnen Bundesländern sowie begleitende Untersuchungen dazu vor. Er trägt zudem dem Umstand Rechnung, dass die untersuchten Fahrzeugkombinationen insbesondere hinsichtlich ihrer Fahreigenschaften fortentwickelt wurden und somit einige der durchgeführten Analysen nicht mehr dem technischen Stand der Fahrzeuge entsprechen. Dies trifft insbesondere für die Auswirkungen auf die **Befahrbarkeit von Verkehrsanlagen** zu, da als Folge der in [2] ausgiebig dargestellten Schwierigkeiten bei der Durchföhrung von Kreisverkehren und beim Überqueren von Kreuzungen mittlerweile fahrzeugseitige Veränderungen wie beispielsweise verschiedene Anordnungen lenkbarer Achsen verwirklicht wurden. Wie durch die Ermittlung der Schleppkurven in praktischen Fahrversuchen und Simulationen gezeigt werden konnte, föhren diese in der Tat zu einer Verbesserung der Befahrbarkeit der Verkehrsanlagen, so dass ein beschränkter Einsatz der Lastzugkombinationen im nachgeordneten Bundesfernstraßennetz prinzipiell möglich erscheint. Da sich mit weiterer Eindringung ins Verkehrsnetz die Befahrbarkeit verringert, stellt sich jedoch die Frage, wie eine effektive Abgrenzung nutzbarer Routen von den nicht nutzbaren ohne erheblichen Verwaltungs- und Überwachungsaufwand verwirklicht werden könnte.

Die Befahrbarkeit innerörtlicher Verkehrsanlagen ist insbesondere bei Involvierung der Aspekte der Verkehrssicherheit – mit Schwerpunkt auf die der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer – weiterhin nicht gegeben.

Zur Beurteilung etwaiger **Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs** durch den Einsatz neuer, längerer Lastzugkombinationen wurde eines dieser Fahrzeuge über mehrere Tage hinweg auf Autobahnabschnitten, autobahnähnlichen Strecken sowie auf untergeordneten Straßen begleitet und videotechnisch aufgezeichnet. Dabei konnten keine gravierenden Probleme festgestellt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass im nachgeordneten Straßennetz durch die längere Zeitspanne für Ab- und Einbiegemanöver, Kreuzen und Überholen negative Auswirkungen vor allem an unsignalisierten plangleichen Knotenpunkten sowie auf einbahnigen zweistreifigen Landstraßen auftreten. Weiterhin müssen für den Fall höherer zulässiger Fahrzeuggewichte der Lastzugkombinationen zur Vermeidung negativer Einflüsse auf den Verkehrsablauf an Steigungs-

strecken entsprechend angepasste Motorisierungen mit zuverlässigen Bremsanlagen vorgesehen werden.

Die zu erwartenden zusätzlichen **Schädigungen der Brückenbauwerke** wurden anhand von Dimensionierungsberechnungen unter Ansatz von Verkehrssimulationen mit verschiedenen Anteilen zu erwartender 60t-Fahrzeuge ermittelt. Die netzweite Betrachtung der Brückenbauwerke im Zuge von Bundesautobahnen und Bundesstraßen ergab, dass die Tragreserven bei einer möglichen Zulassung der 60t-Lastzugkombinationen deutlich reduziert werden. Dabei föhrt sowohl der fließenden Verkehr als auch der Verkehr mit höherem Stauanteil zu z.T. deutlich größeren Extremwerten der Verkehrslastmomente gegenüber den Werten des aktuell gemessenen Verkehrs. Vor allem ältere, d.h. vor 1980 errichtete mehrfeldrige Spannbetonbrücken weisen wegen der fehlenden Berücksichtigung von Zwängungsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied größere Defizite auf. Für die nach den DIN-Fachberichten bemessenen Brücken hingegen besteht hinsichtlich der Tragfähigkeit innerhalb der durchgeführten Szenarien kurzfristig kein Handlungsbedarf.

Drei unterschiedlich angelegte Kostenschätzungen für den Erhaltungsbedarf der bestehenden Brückenbauwerke auf dem Bundesfernstraßennetz lieferten sehr ähnliche Ergebnisse, nach denen für die Bundesautobahnen mit ca. 8 Mrd. und für die Bundesstraßen mit ca. 3 Mrd. Euro zur Ertüchtigung für einen flächendeckenden Verkehr mit 60 t-Lastzugkombinationen zu rechnen ist. Hierin enthalten sind die Kosten für die Erhaltung der Bauwerke infolge bereits bestehender Bedingungen aus Verkehr und Bauwerkszustand in Höhe von etwa 3 bis 5 Mrd. € auf Bundesautobahnen und ca. 2 Mrd. € auf Bundesstraßen.

Die erreichbaren **Einsparungen von Treibstoff und Emissionen** wurden anhand internationaler und nationaler Publikationen sowie auf der Basis durchgeführter Verbrauchsmessungen im Piloteinsatz einzelner 60 t schwerer Lastzugkombinationen in Baden-Württemberg abgeschätzt. Dabei reichen die publizierten Ergebnisse der relativen, auf das Gesamtgewicht einer 60 t schweren Lastzugkombination bezogenen Einsparungen von 11 bis rund 15 %. Aufgrund noch nicht in Ansatz gebrachter, jedoch zu erwartender Anstiege der Fahrzeugeigengewichte infolge fahrtechnisch erforderlicher und sicherheitsbedingter Mehrausstattungen steht zu vermuten, dass die möglichen Emissionseinsparungen etwas geringer ausfallen würden.

Aufgrund der größeren Länge und Gesamtgewichte der Lastzugkombinationen liegt die Forderung nach zusätzlichen **fahrzeugtechnischen Einrichtungen** zur Steigerung der aktiven und passiven Verkehrssicherheit nahe. Dieser nach-

vollziehbare Ansatz ist derzeit jedoch nicht zielführend, da aufgrund EG-rechtlicher Bestimmungen jede Anhebung oder Änderung der Ausrüstungsvorschriften einen Verstoß gegen den freien Wettbewerb darstellen.

Voraussetzung für eine rechtskonforme Umsetzung einer solchen zwingenden Ausrüstung von Lastzugkombinationen mit zusätzlichen sicherheitssteigernden Ausstattungsmerkmalen wäre demnach eine Notifizierung bei der EU-Kommission. Diese wiederum scheitert aktuell daran, dass manche der vorgesehenen Systeme noch nicht marktreif entwickelt sind und für andere keine rechtsverbindlichen Beschreibungen der zu fordernden Wirkungsweise vorliegen. Trotz erster Schritte zur Erarbeitung solcher Beschreibungen muss davon ausgegangen werden, dass für eine ausreichende Ausstattung aller Komponenten der Lastzugkombinationen – beispielsweise mit ESP und einer Achslastwägung on board – noch erheblicher Zeitbedarf besteht.

## 9 Literatur

- [1] DIN 1072: Straßen- u. Wegbrücken; Lastannahmen; Beuth Verlag Berlin 1985
- [2] Glaeser, K.-P., Kaschner, R., Lerner, M., Roder, Weber, R., K., Wolf, A., Zander, U.: Auswirkungen von neuen Lastzugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes. Bergisch Gladbach 2006
- [3] Geißler, K.: Auswirkungen der Zulassung von 60t-LKW auf Brückenbauwerken im Zuge der Bundesfernstraßen
- [4] Kaschner, R.: Aufbereitete Daten über die Verkehrszusammensetzung der BAB 61 bei Bliesheim, unveröffentlichter Bericht der BAST
- [5] Kienzler, H.-P., Bitter, S.: Innovative Nutzfahrzeugkonzepte – Gesamtwirtschaftliche Effekte durch Einführung schwerer und langer Lkw. FAT-Schriftenreihe 204, Frankfurt 2006
- [6] Keuchel, S., Ernst, H.: Abschätzung der Entwicklung der Straßengüterverkehrszusammensetzung infolge einer Einführung von Fahrzeugkonzepten mit höheren Gesamtgewichten und/oder Fahrzeuglängen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt 03.400/2005/ARB, Institut für Lehrgebiet Volkswirtschaftslehre, insb. Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik, FH Gelsenkirchen 2006
- [7] TIM Consult: Wettbewerbsauswirkungen der Einführung des GigaLiners auf den Kombinierten Verkehr, Schlussbericht, 2006
- [8] Kessel & Partner Transport Consultants, Studiengesellschaft für den kombinierten Verkehr e.V.: Verkehrswirtschaftliche Auswirkungen von innovativen Nutzfahrzeugkonzepten. 2006
- [9] Bennühr, S.: Straße wird stärker als die Schiene wachsen. Deutsche Logistik-Zeitung, Ausgabe 151, 18.12.2007
- [10] Nagl, P.: Segen, Fluch oder Notwendigkeit? Kontroverse um die Zulassung größerer und schwererer Nutzfahrzeuge. Internationales Verkehrswesen, Heft 9, Hamburg 2007
- [11] Umweltbundesamt: Länger und schwerer auf Deutschlands Straßen: Tragen Riesen-Lkw zu einer nachhaltigen Mobilität bei? Dessau 2007
- [12] BNP Paribas Lease Group: L'observatoire du véhicule industriel. Paris 2007
- [13] Energiesparend Fahren. Broschüre des Innenministeriums Baden-Württemberg, 6. Auflage August 2006; Seite 20
- [14] Keuchel, S., Ernst, H.: Abschätzung der Entwicklung der Straßengüterverkehrszusammensetzung infolge einer Einführung von Fahrzeugkonzepten mit höheren Gesamtgewichten und/oder Fahrzeuglängen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt 03.400/2005/ARB, Institut für Lehrgebiet Volkswirtschaftslehre, insb. Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik, FH Gelsenkirchen 2006
- [15] Backman, H.; Nordström, R.: Improved Performance of European Long Haulage Transport. Transport Research Institute (TfK), Stockholm 2002
- [16] Ramberg, K.: Three Short Become Two Long, if the EU Follows the Example Set by Sweden and Finland; Fewer Trucks Improve the Environment. Confederation of Swedish Enterprise 2004
- [17] Kampfraath, Chris: Results of the tests carried out with modular concept combinations in the Netherlands and future evolution. Vortrag auf dem IRU-Seminar „The Feasibility of the use of the European Modular Concept“, Amsterdam 28.06. 2007
- [18] Obladen, F.: Gesamtwirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitseffekte von innovativen Fahrzeug-Konzepten im Straßengüterverkehr. Diplomarbeit Universität Köln, Köln 2007
- [19] Vierth, I., Berell, H., McDaniel, J., Haraldsson, M., Hammarström, U., Yahya, M.-R., Lindberg, G., Carlsson, A., Ögren, M., Björketun, U.: The effect of long and heavy trucks on the transport system. Report on a government assignment, vti rapport 605A, Schweden 2008
- [20] Neunzig, D., Wallentowitz, H., Großpietsch, R.: Roadtrains für Europa – Wie werden sie möglich? Institut für Kraftfahrwesen der RWTH Aachen (ika), Aachen 2005
- [21] Kienzler, H.-P., Bitter, S.: Innovative Nutzfahrzeugkonzepte – Gesamtwirtschaftliche Effekte durch Einführung schwerer und langer Lkw. Schlussbericht im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT), Frankfurt 2006
- [22] Friedrich, B., Hoffmann, S., Bräckelmann, F.: Auswertung des niedersächsischen Modellversuchs zum Einsatz von „GigaLiner“. Schlussbericht im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Hannover 2007
- [23] Pflug, H.-C., Schröter, H.: Kraftstoffverbrauch eines 60 t-Zuges der Bauart „Eco-combi“ im Vergleich zu einem 40 t-Zug. Ergebnisbericht, Stuttgart-Untertürkheim 2007

- [24] Knörr, W.: UmweltMobilCheck; Wissenschaftlicher Grundlagenbericht des IFEU-Instituts Heidelberg, Heidelberg 2006. Zahlenbeispiel: mobil 07/07, S. 54
- [25] Umweltbericht Niedersachsen, Hannover 2006
- [26] Commission of the European Communities: Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council concerning type approval requirements for the general safety of motor vehicles, Brüssel 3/2008
- [27] von Glasner: Fahrdynamische Versuche und Messwerte zur Bewertung der aktiven Fahrzeugsicherheit, Dekra/VDA Symposium, Klettwitz 10/2007

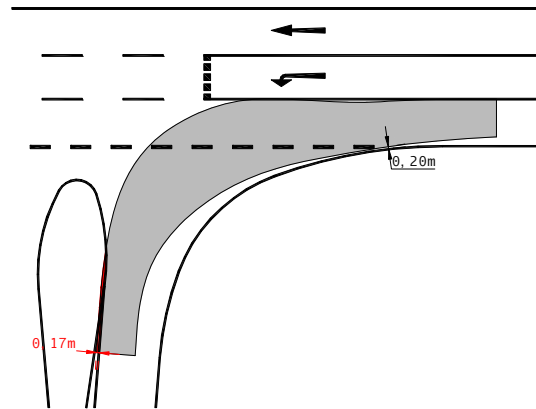


# **Anhang 1**

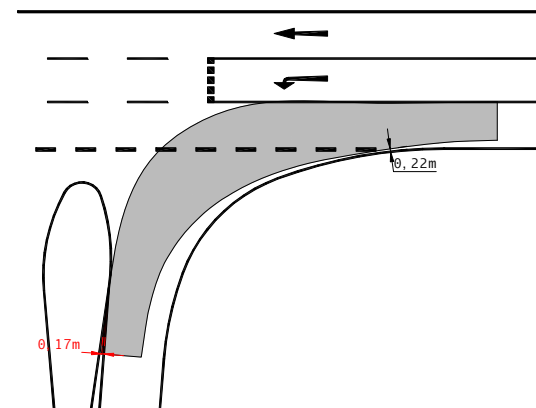
**SCHLEPPKURVEN - Messung/Simulation**

## Außerörtliche Einmündung (MESSUNG)

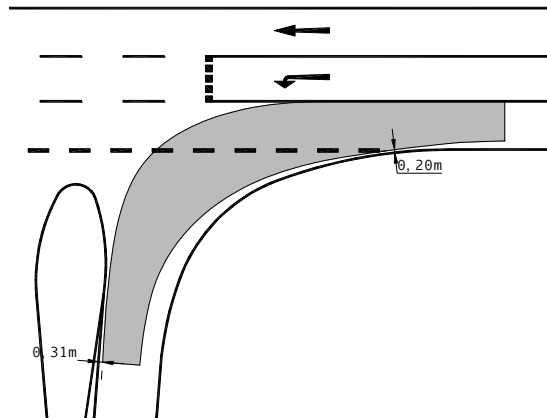
Sattelzug mit Tandemachsanhänger



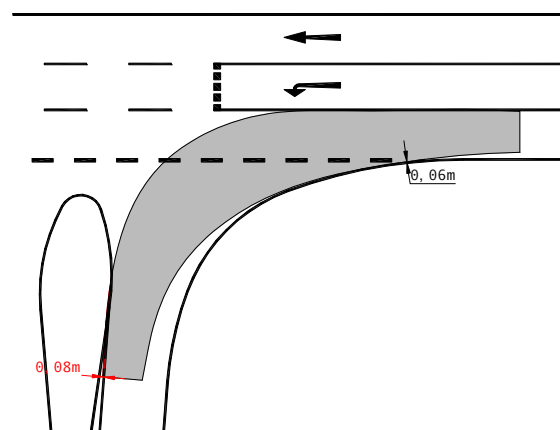
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern

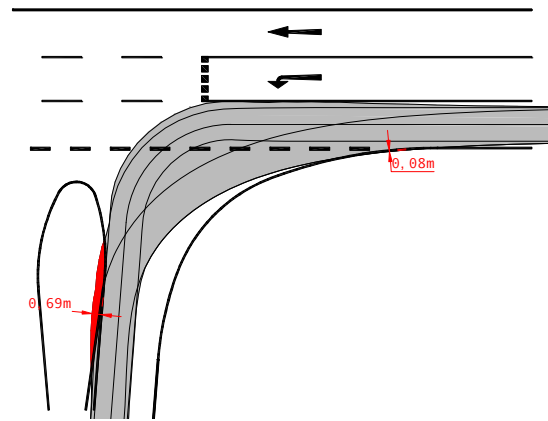
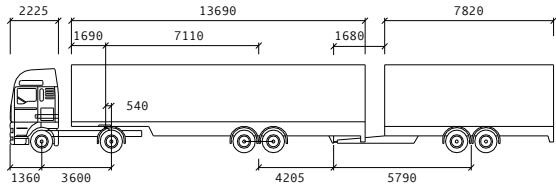


6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

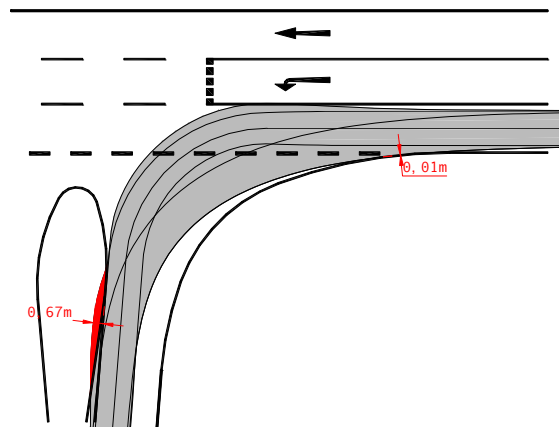
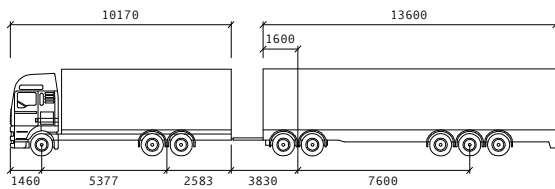


## Außerörtliche Einmündung (SIMULATION)

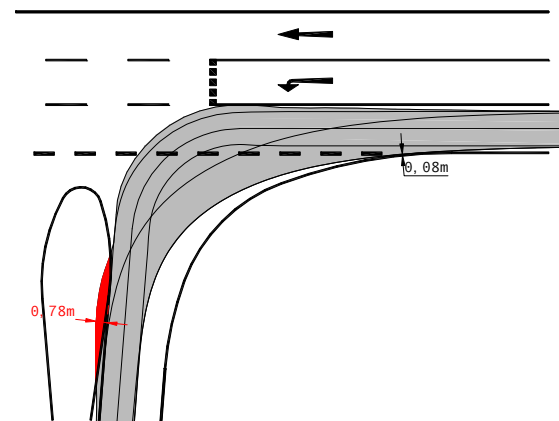
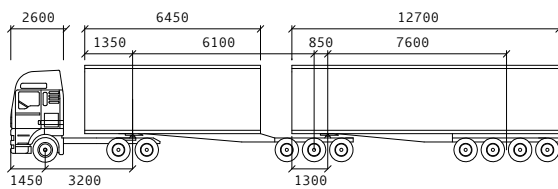
### Sattelzug mit Tandemachsanhänger



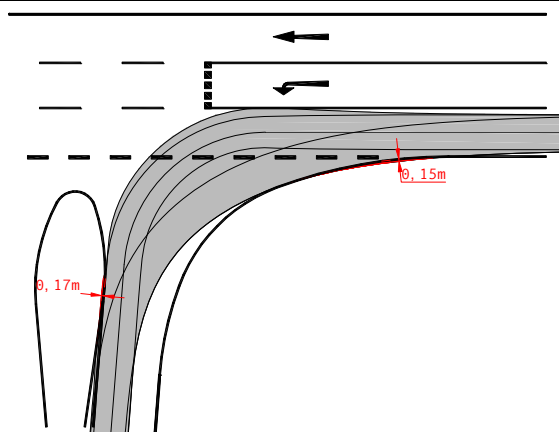
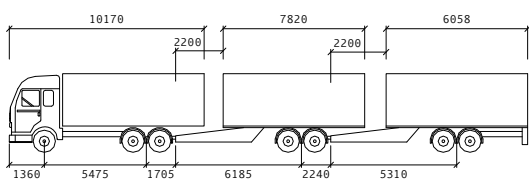
### 6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



### Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern

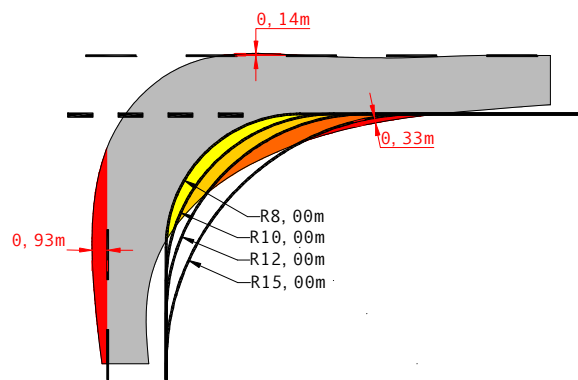


### 6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

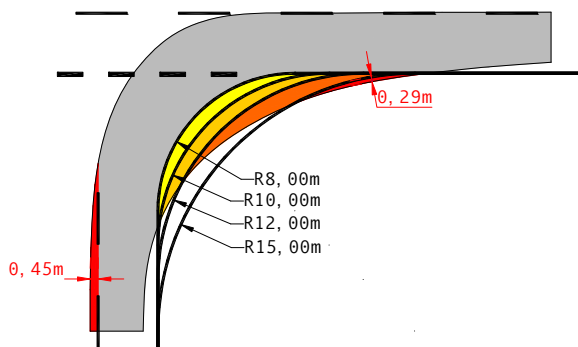


# Innerörtliche Einmündung (MESSUNG)

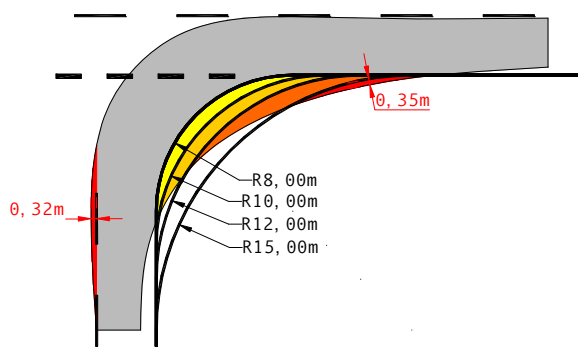
## Sattelzug mit Tandemachsanhänger



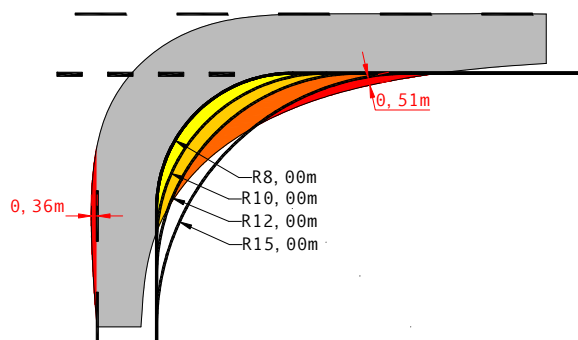
## 6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



## Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern

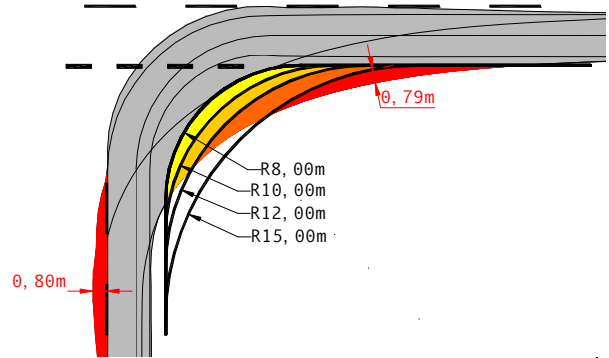
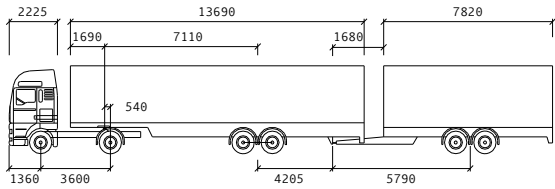


## 6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

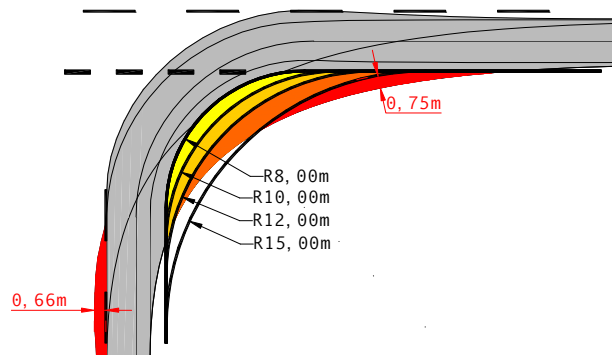
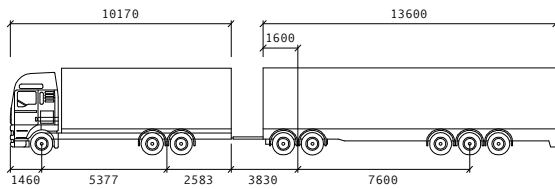


## Innerörtliche Einmündung (SIMULATION)

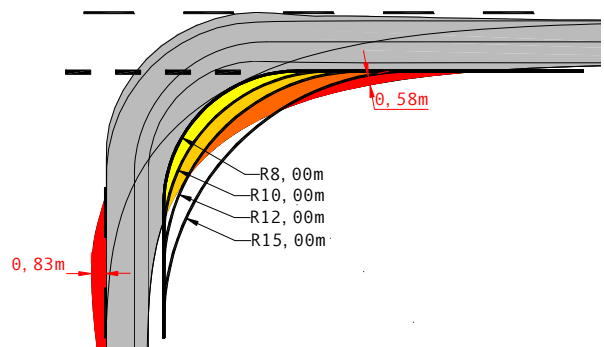
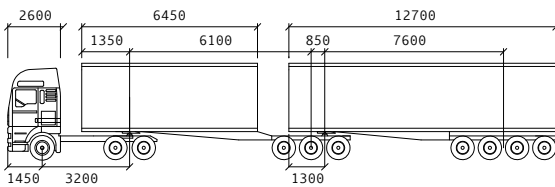
### Sattelzug mit Tandemachsanhänger



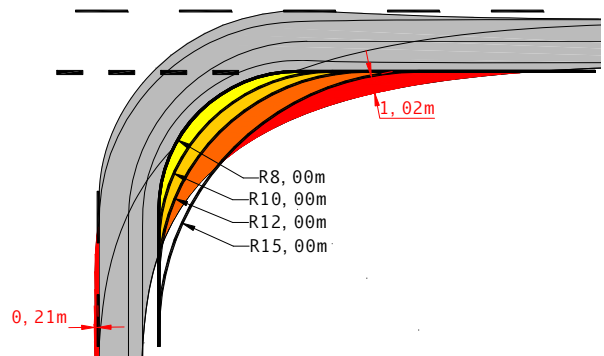
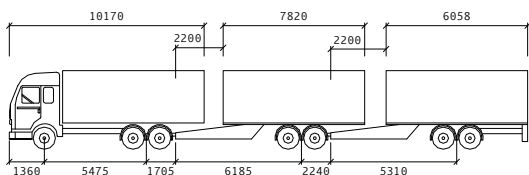
### 6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



### Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern

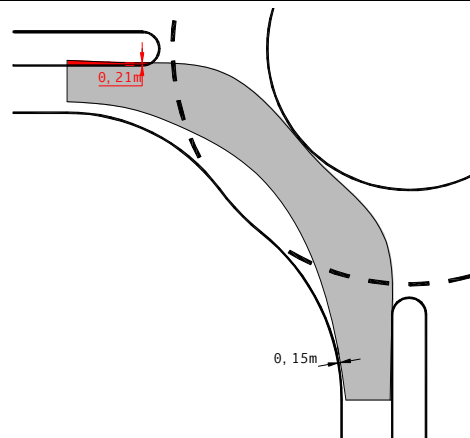


### 6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

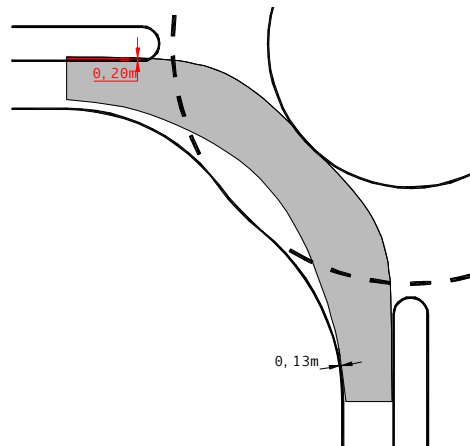


## Kreisverkehr - Befahrung 1/4 Kreis (MESSUNG)

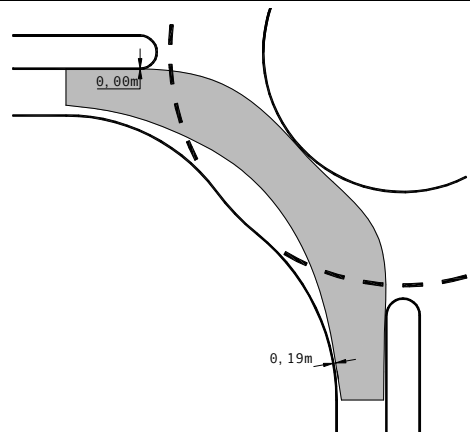
Sattelzug mit Tandemachsanhänger



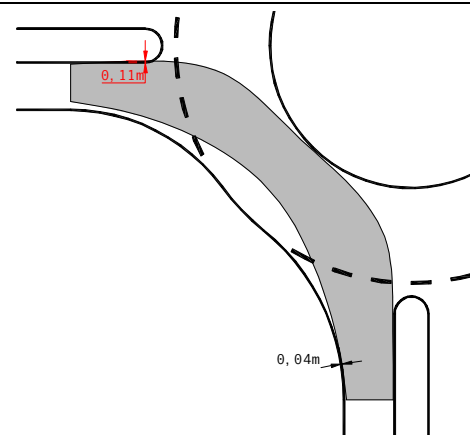
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern

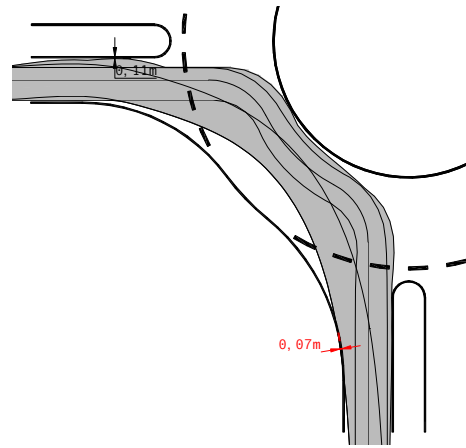
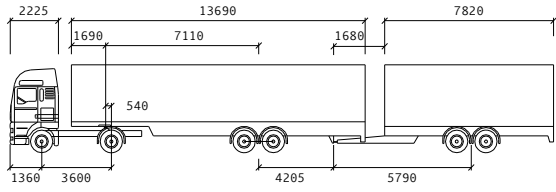


6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

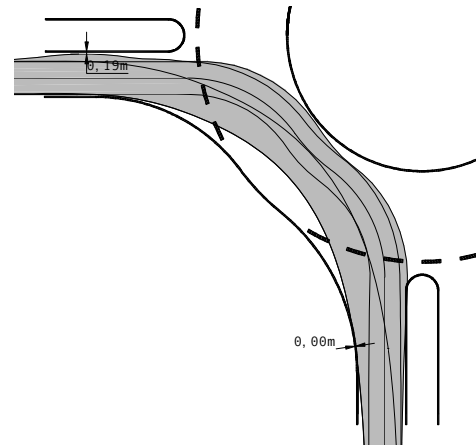
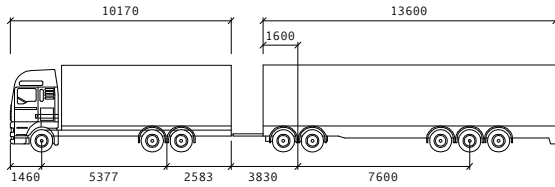


# Kreisverkehr - Befahrung 1/4 Kreis (SIMULATION)

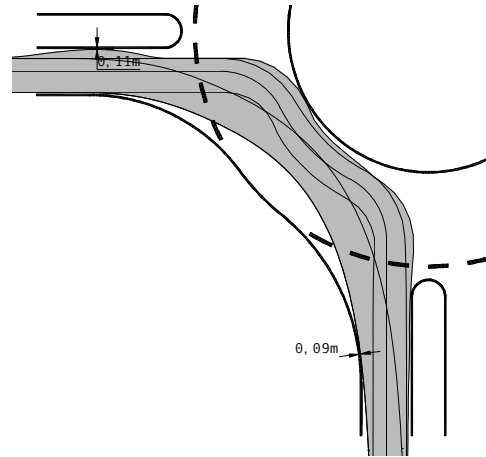
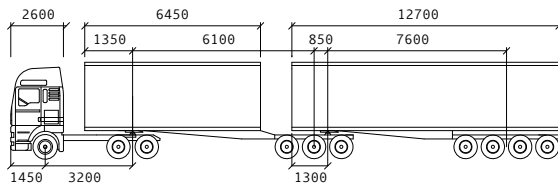
Sattelzug mit Tandemachsanhänger



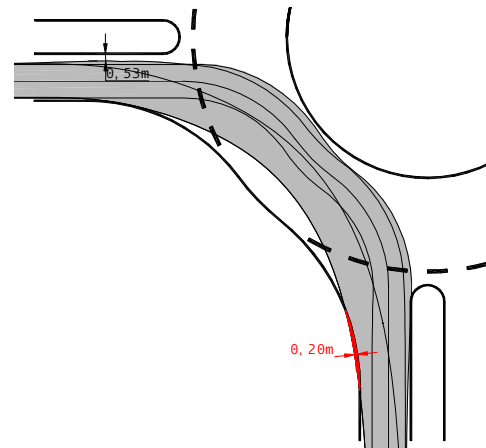
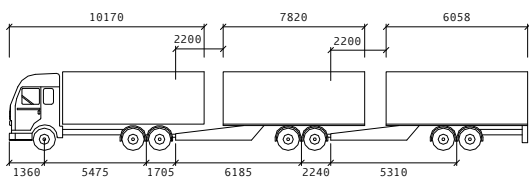
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern

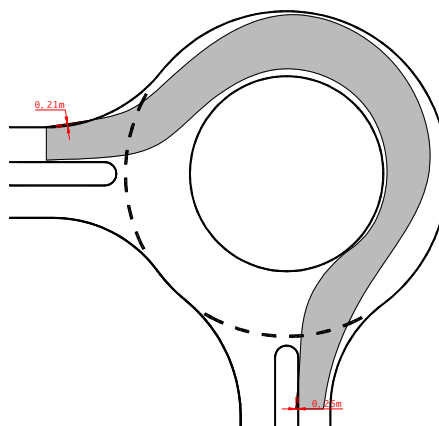


6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern

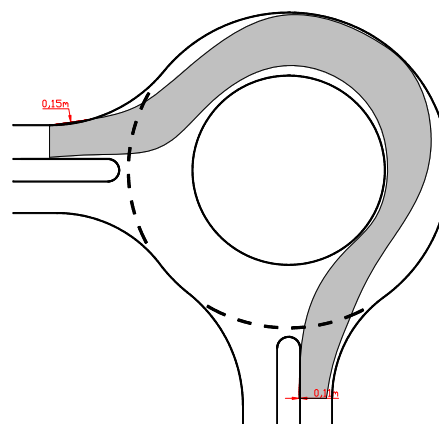


# Kreisverkehr - Befahrung 3/4 Kreis (MESSUNG)

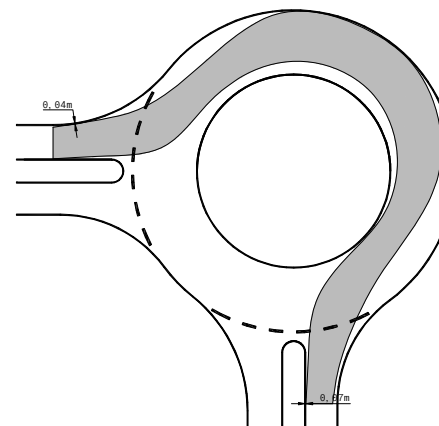
## Sattelzug mit Tandemachsanhänger



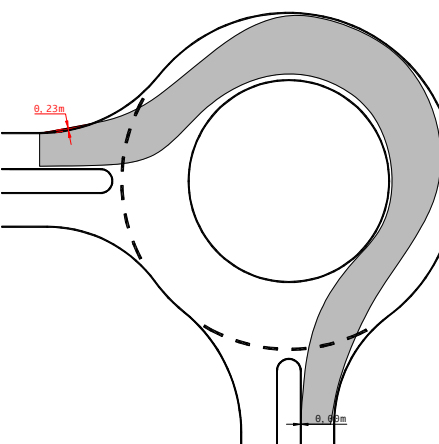
## 6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



## Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern



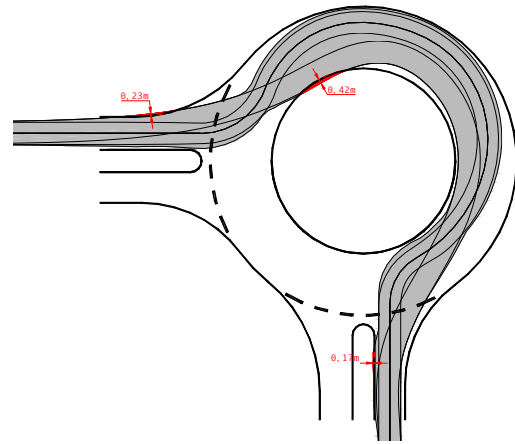
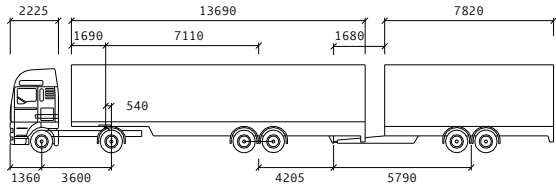
## 6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern



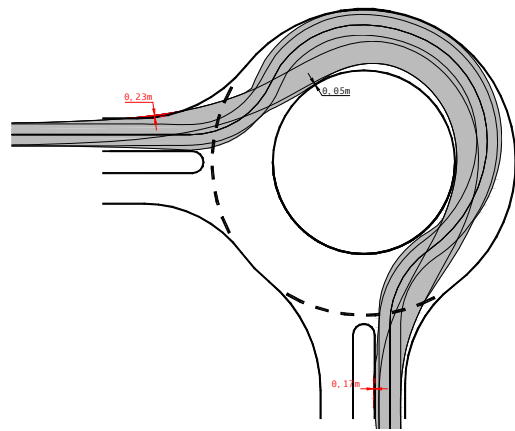
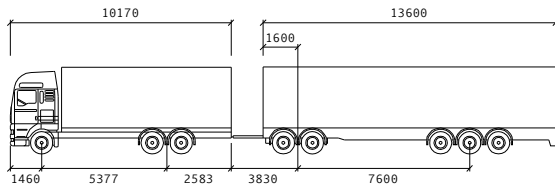


# Kreisverkehr - Befahrung 3/4 Kreis (SIMULATION)

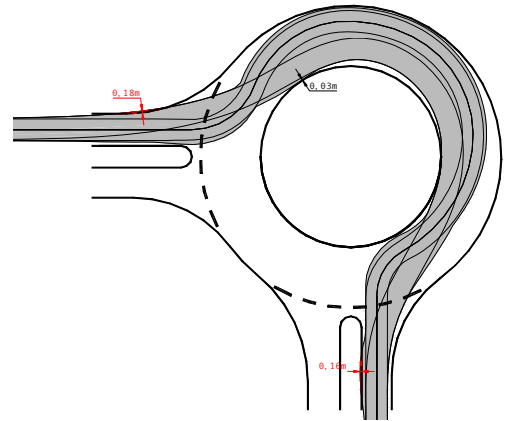
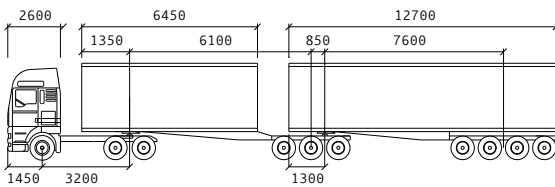
Sattelzug mit Tandemachsanhänger



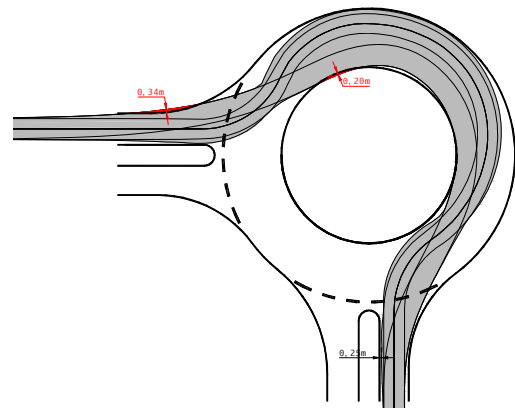
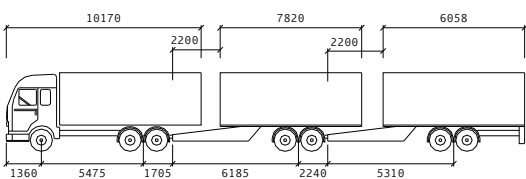
6x2 Lkw mit Dolly und Sattelaufleger



Sattelzugmaschine mit zwei Aufliegern



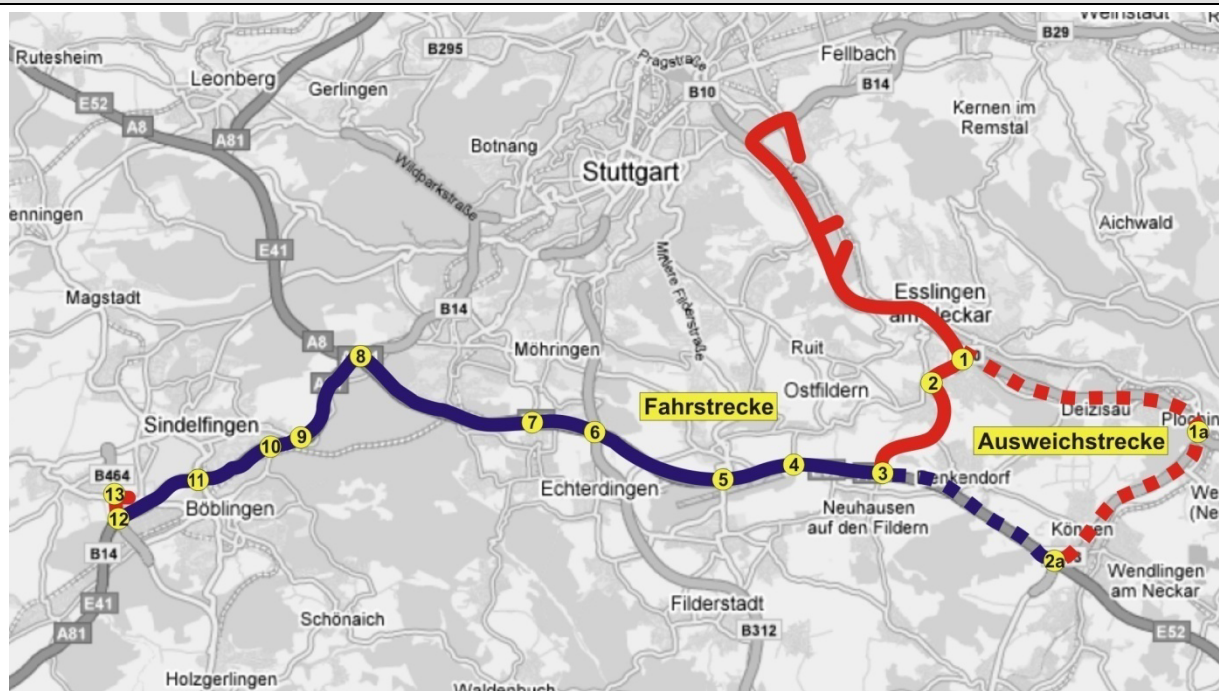
6x2 Lkw mit zwei Tandemachsanhängern



## **Anhang 2**

**Fahrstrecke und Ausweichstrecke mit den betrachteten Knoten**

## Fahrstrecke und Ausweichstrecke mit den betrachteten Knoten

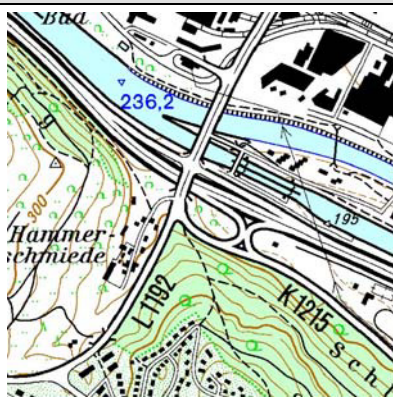


blau = Autobahn, rot = Landstraße

**Knoten 1:**  
B 10 / K1215 / L 1192

**Fahrtrichtung Böblingen**

**Fahrtrichtung Stuttgart**



150m Verzögerungsstreifen bei Abfahrt von der B10, LSA-geregelte Einmündung mit Rechts- und Linksabbiegestreifen zur K1215, LSA-geregelte Einmündung mit freiem Rechtsabbiegestreifen und Linksabbiegestreifen zur L1192

LSA-geregelte Kreuzung mit Linksabbiegestreifen am Knoten L1192 / B10  
150m Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die B10

**Knoten 2: L 1192 / L 1202**



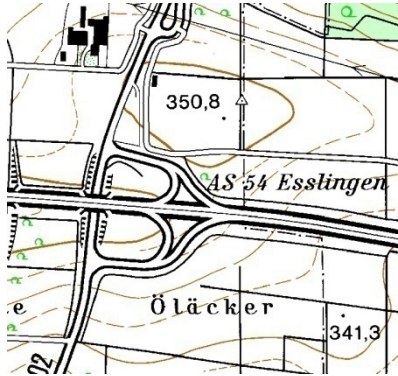
**Fahrtrichtung Böblingen**

**Fahrtrichtung Stuttgart**

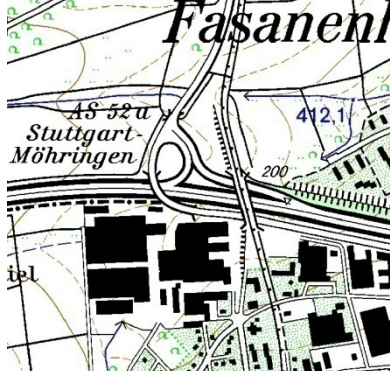

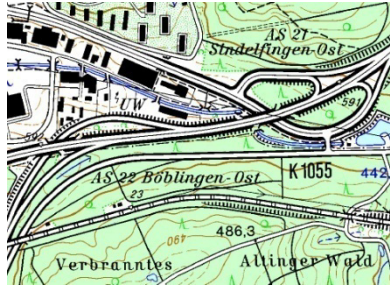


Vierarmiger Knoten mit LSA, zweistreifiger Richtungsfahrbahn, Linksabbiegestreifen und freiem Rechtsabbieger  
Nach 200m Einzug des linken Fahrstreifens  
Brücke zur Videodokumentation

Vierarmiger Knoten mit LSA, einstreifiger Richtungsfahrbahn, Linksabbiegestreifen und freiem Rechtsabbieger

Knoten 1a: B10 / B 313	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>Als kreuzungsfreies Dreieck ausgeführt, direkte Führung auf eigener Fahrbahn ohne Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die B313 (Spur-addition)</p>	<p>Als kreuzungsfreies Dreieck ausgeführt, direkte Führung auf eigener Fahrbahn ohne Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die B10 (Spur-addition)</p>
Knoten 2a: A 8 - AS Wendlingen	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>AS als Kleeblatt ausgeführt, 250m Verzögerungsstreifen bei Abfahrt von der B313, 120m Beschleunigungsstreifen zur Verteilerfahrbahn, 250m Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die Autobahn</p>	<p>AS als Kleeblatt ausgeführt, 250m Verzögerungsstreifen bei Abfahrt von der A8, 150m Verflechtungsstreifen im Bereich des Kreuzes, 200m Verflechtungsstreifen bei Auffahrt auf die B313</p>
Knoten 3: A 8 - AS Esslingen	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>LSA-geregelte Einmündung mit Linksabbiegestreifen zur AS, 250m Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die Autobahn</p>	<p>250m Verzögerungsstreifen bei Abfahrt von der Autobahn, LSA-geregelte Einmündung mit Rechts- und Linksabbiegestreifen zur L1202</p>

Knoten 4: A 8 - AS Stuttgart-Flughafen (nur westliche Richtung)	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>200m Verzögerungstreifen an der Autobahnabfahrt, 200m Beschleunigungstreifen an der Autobahnauffahrt</p>	
Knoten 5: A 8 - AS Stuttgart-Flughafen (nur östliche Richtung)	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
		<p>200m Verzögerungstreifen an der Autobahnabfahrt, 200m Beschleunigungstreifen an der Autobahnauffahrt</p>
Knoten 6: A 8 - AS Stutt- gart-Degerloch	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>Zweistreifige Ausfahrt mit 400m langem Verzögerungs- streifen 250m Beschleunigungstreifen an der Autobahnauffahrt</p>	<p>Zum Erhebungszeitraum ge- sperrt wegen Großbaustelle</p>

Knoten 7: A 8 - AS Stuttgart-Möhringen (nur westliche Richtung)	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>Zweistreifige Ausfahrt mit 400m langem Verzögerungsstreifen</p> <p>250m Beschleunigungsstreifen an der Autobahnauffahrt</p>	
Knoten 8: A 8 / A 81- AK Stuttgart	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>als Kleeblatt ausgeführt, 150m Beschleunigungsstreifen zur Verteilerfahrbahn, 200m Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die Autobahn A81</p>	<p>Zweistreifige Führung von der A81 zur A8, dort Spuraddition</p> <p>nach 500m Einzug des äußersten rechten Fahrstreifens, nach weiteren 500m Einzug des rechten Fahrstreifens weiter als dreistreifige Richtungsfahrbahn</p>
Knoten 9: A 81 - AS Sindelfingen-Ost Knoten 10: A 81 - AS Böblingen-Ost	Fahrtrichtung Böblingen	Fahrtrichtung Stuttgart
	<p>Rechter Fahrstreifen wird zum Verzögerungsstreifen der AS Sindelfingen-Ost.</p> <p>Zufahrt zur Autobahn wird als rechter Fahrstreifen bis zur AS BB-Ost weitergeführt, ab dort zweistreifige Richtungsfahrbahn</p>	<p>Zufahrt zur Autobahn wird als rechter Fahrstreifen bis zur AS Sindelfingen-Ost weitergeführt, ab dort zweistreifige Richtungsfahrbahn</p> <p>An der AS Sindelfingen-Ost 400m Beschleunigungsstreifen bei Auffahrt auf die A81</p>

<b>Knoten 11: A 81 - AS Böblingen / Sindelfingen</b>	<b>Fahrtrichtung Böblingen</b>	<b>Fahrtrichtung Stuttgart</b>
	<p>160m Verzögerungstreifen an der Autobahnabfahrt 200m Beschleunigungstreifen an der Autobahnauffahrt</p>	<p>200m Verzögerungstreifen an der Autobahnabfahrt 200m Beschleunigungstreifen an der Autobahnauffahrt</p>
<b>Knoten 12: A 81 - AS Böblingen-Hulb</b>	<b>Fahrtrichtung Böblingen</b>	<b>Fahrtrichtung Stuttgart</b>
	<p>Als Kleeblatt ausgeführt, 200m Verzögerungstreifen an der Autobahnabfahrt, auf der B464 Verbleib auf 100m langem Verflechtungstreifen bei Abfahrt zur L1182</p>	<p>125m langer Verflechtungstreifen bei Abfahrt von der L1182, 125m Verflechtungstreifen im Bereich des Kreuzes, 250m Beschleunigungstreifen an der Auffahrt auf die A81</p>
<b>Knoten 13: B 464 / L 1182</b>	<b>Fahrtrichtung Böblingen</b>	<b>Fahrtrichtung Stuttgart</b>
	<p>Teilplanfreier Knoten, Auffahrt auf L 1182 mittels Spuraddition</p>	<p>200m Verzögerungstreifen an der Abfahrt von der L1182, Verbleib auf der Verteilerfahrbahn im Zuge der B464 in Richtung A8</p>