

# Feldversuch mit Lang-Lkw

## Zwischenbericht

V1i – du(6111030)

# **Feldversuch mit Lang-Lkw**

**Bundesanstalt für Straßenwesen**

Marco Irzik

Uwe Ellmers und Ilja Jungfeld

Klaus-Peter Glaeser

Hardy Holte

Andreas Wolf

Ingo Kaundinya und Christof Sistenich,

Thomas Kranz

Zwischenbericht

**Bergisch Gladbach, September 2014**

## Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>I</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Aktuelle Rechtslage</b>	<b>3</b>
<b>3 Historischer Rückblick und Erfahrungsberichte</b>	<b>4</b>
3.1 National	4
3.1.1 Innovative Nutzfahrzeugkonzepte	4
3.1.2 Modellversuch „GigaLiner“ in Niedersachsen	6
3.1.3 Pilotversuch „Ecocombi“ in Baden-Württemberg	7
3.1.4 Modellversuch mit überlangen Fahrzeugkombinationen in Nordrhein-Westfalen	7
3.1.5 Pilotversuch „EuroCombi“ in Thüringen	8
3.1.6 Feldversuch mit dem verlängerten Sattelanhängerkonzept (Eurotrailer)	9
3.2 International	10
3.2.1 Übersee	10
3.2.2 Skandinavien	11
3.2.3 Niederlande	13
3.2.4 Europäische Kommission und Europaparlament	14
3.3 Vom „Gigaliner“ zum „Lang-Lkw“	15
<b>4 Rahmenbedingungen des Feldversuchs</b>	<b>16</b>
4.1 Rechtliche Grundlagen	16
4.2 Streckenfreigabe und Positivnetz	16
4.3 Anforderungen und Bedingungen an die Teilnahme	19
4.4 Teilnahmebekundung	20
<b>5 Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung</b>	<b>20</b>
<b>6 Statistische Auswertungen</b>	<b>23</b>
<b>7 Unfälle und andere besondere Ereignisse</b>	<b>26</b>
7.1 Unfälle mit Beteiligung von Lang-Lkw	26
7.2 Besondere Vorkommnisse	27
7.3 Zwischenergebnis	27
<b>8 Marktpotenzial von Lang-Lkw</b>	<b>28</b>
8.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	28
8.2 Ergebnisse	28
8.3 Fazit und Folgerungen	30
<b>9 Fahrzeugtechnik und Umwelt</b>	<b>32</b>
9.1 Technische Anforderungen	33
9.1.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	33
9.1.2 Ergebnisse	33
9.2 Automatische Achslastüberwachung „on-board“	34
9.2.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	34
9.2.2 Ergebnisse	35
9.3 Kurvenlaufeigenschaften („BO-Kraftkreis“)	35
9.3.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	35
9.3.2 Ergebnisse	36
9.4 Bremsweg, Sogwirkung, Windstabilität und Fahrdynamiksimulation	37
9.4.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	37
9.4.2 Ergebnisse	39

---

9.5	Heckkameranysteme und rückseitige Beschilderung	41
9.5.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	41
9.5.2	Ergebnisse	42
9.6	Exemplarische Analyse des Kraftstoffverbrauchs und der CO <sub>2</sub> -Emissionen	43
9.6.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik	43
9.6.2	Ergebnisse	44
9.7	Fazit und Folgerungen	44
<b>10</b>	<b>Straßenbeanspruchung durch Lang-Lkw</b>	<b>46</b>
10.1	Zielsetzung	46
10.2	Untersuchungsmethodik	46
10.3	Ergebnisse	48
10.4	Fazit und Folgerungen	49
<b>11</b>	<b>Tunnelsicherheit</b>	<b>50</b>
11.1	Zielsetzung	50
11.2	Untersuchungsmethodik	50
11.3	Ergebnisse	51
11.4	Fazit und Folgerung	52
<b>12</b>	<b>Verkehrstechnische Fragestellungen</b>	<b>53</b>
12.1	Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen	54
12.1.1	Ausgangslage und Zielsetzung	54
12.1.2	Untersuchungsmethodik	55
12.1.3	Ergebnisse	58
12.1.4	Fazit und Folgerungen	60
12.2	Untersuchung des Einflusses von Lang-Lkw auf den Verkehrsablauf in planfreien Knotenpunkten	61
12.2.1	Zielsetzung	61
12.2.2	Untersuchungsmethodik	61
12.2.3	Ergebnisse	62
12.2.4	Fazit und Folgerungen	63
12.3	Verkehrssicherheit in Einfahrten an Autobahnen	63
12.3.1	Zielsetzung	63
12.3.2	Untersuchungsmethodik	63
12.3.3	Ergebnisse	65
12.3.4	Fazit und Folgerungen	66
12.4	Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen	67
12.4.1	Allgemeines	67
12.4.2	Befahrbarkeit von Autobahnen	68
12.4.3	Befahrbarkeit von außerörtlichen plangleichen Knotenpunkten	70
12.4.4	Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw vom Typ 1	74
12.4.5	Fazit und Folgerungen	76
12.5	Verkehrsablauf in Arbeitsstellen	78
12.5.1	Zielsetzung	78
12.5.2	Untersuchungsmethodik	79
12.5.3	Ergebnisse	81
12.5.4	Fazit und Folgerungen	83
12.6	Überholen und Räumen	83
12.6.1	Zielsetzung	83
12.6.2	Untersuchungsmethodik	84
12.6.3	Ergebnisse	87

---

12.6.4	Fazit und Folgerungen	89
<b>13</b>	<b>Psychologische Aspekte</b>	<b>91</b>
13.1	Zielsetzung	91
13.2	Untersuchungsmethodik	91
13.2.1	Befragungsinstrument	92
13.2.2	Fahrverhaltensbeobachtung	92
13.3	Ergebnisse	93
13.3.1	Befragung	93
13.3.2	Fahrverhaltensbeobachtung	95
13.3.3	Diskussion kritischer Einwände gegen den Lang-Lkw	96
13.4	Fazit und Folgerungen	99
<b>14</b>	<b>Zusammenfassung des Zwischenberichts</b>	<b>99</b>
<b>15</b>	<b>Ausblick und ergänzender Forschungsbedarf</b>	<b>103</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>107</b>
	<b>Anhang</b>	<b>112</b>
A1	Elemente planfreier Knotenpunkte	112

---

## Vorwort

Der vom 01.01.2012 bis zum 31.12.2016 andauernde Feldversuch der Bundesregierung mit Lang-Lkw wird durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wissenschaftlich begleitet. Das Untersuchungsprogramm erstreckt sich auf die für Lang-Lkw relevanten Themenfelder. Zur Beantwortung der Vielzahl identifizierter Fragestellungen wurden mehrere Forschungsprojekte initiiert. Diese wurden zum Teil von der BASt selbst, überwiegend jedoch von externen Forschungsinstituten bearbeitet und fließen in die Gesamtuntersuchung der BASt ein.

Der mit Stand 30.04.2014 vorgelegte Bericht gliedert sich thematisch und enthält neben den für die Konzeption der Gesamtuntersuchung erforderlichen rechtlichen Grundlagen (Ziffern 2 und 4) und vorliegenden Erkenntnissen aus der Literatur (Ziffer 3) in den Ziffern 8 bis 13 die Zusammenfassungen der verschiedenen Forschungsprojekte. Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Einzelprojekte war es dabei nicht immer möglich, eine einheitliche Struktur einzuhalten. In der Regel werden jedoch zunächst die Zielsetzung, die Untersuchungsmethodik und die wesentlichen Ergebnisse aufgeführt. Abschließend folgen dann ein Fazit und sich möglicherweise ergebende Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen.

Die Teilprojekte, die von externen Forschern bearbeitet wurden, sind in der Regel auch als selbstständige Publikationen verfügbar. Dort finden sich detailliertere Informationen zu den einzelnen Untersuchungen.

Bei den in diesem Bericht erfolgten Zusammenfassungen der extern bearbeiteten Teilprojekte wird zum Großteil auf die von den beauftragten Forschern erstellten Kurzberichte zu ihren Untersuchungen zurückgegriffen. Im Hinblick auf eine bessere Lesbarkeit wird am Beginn eines Kapitels darauf hingewiesen, aus welcher Untersuchung beziehungsweise Quelle die nachfolgenden Passagen mit in der Regel nur geringfügigen Kürzungen oder Änderungen (z. B. hinsichtlich einheitlicher Begrifflichkeiten) sowie Ergänzungen entnommen wurden, ohne dass die exakt zitierten Textstellen im Folgenden noch einmal explizit hervorgehoben werden. Sowohl Fazit als auch Folgerungen können dabei über den Forschungsbericht der externen Gutachter hinausgehen, um einzelne Aspekte aus Sicht der BASt zu präzisieren.

Im Sinne eines möglichst leicht lesbaren Textes wird unter Umständen lediglich die maskuline Form verwandt. Dabei sind selbstverständlich völlig gleichberechtigt auch weibliche Personen gemeint.

Nach der Bundestagswahl 2013 erfolgten zum Teil neue Zuschnitte der Ministerien. So wurde aus dem ehemaligen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) das neue Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Sofern sich in diesem Bericht auf Schreiben, Aussagen o.ä. bezogen wird, die aus der Zeit vor der Umbenennung des Ministeriums stammen, wird die zum damaligen Zeitpunkt geltende Bezeichnung des Ministeriums angeführt.

Der besondere Dank gilt den am Feldversuch teilnehmenden Unternehmen für ihre Kooperation im Rahmen der wissenschaftlichen Begleituntersuchung. Ohne das Engagement und die Bereitschaft zur aktiven Mitwirkung insbesondere der am Feldversuch teilnehmenden Expeditionen wäre die Durchführung der Untersuchungen kaum möglich gewesen.

# 1 Einleitung

Im Jahr 2011 beauftragte das damalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit der wissenschaftlichen Begleituntersuchung des bundesweiten Feldversuchs der Bundesregierung mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw). Lang-Lkw sind Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen, die mit bis zu 25,25 m zwar länger als nach den geltenden Regelungen ausgeführt sein dürfen; ein höheres Gesamtgewicht als die auch heute schon geltenden 40 t beziehungsweise 44 t im Vor- und Nachlauf zum Kombinierten Verkehr (KV)<sup>1</sup> ist bei Lang-Lkw hingegen nicht zulässig.

Der Versuch startete mit Wirkung vom 01.01.2012 und wird fünf Jahre andauern. Er ist Bestandteil des Aktionsplans Güterverkehr und Logistik des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Die gesetzliche Grundlage zur Durchführung des Feldversuchs bildet die von der Bundesregierung erlassene Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge, kurz LKWÜberlStVAusV, vom 19.12.2011 sowie deren dazugehörige Änderungs-Verordnungen. Dieser Feldversuch ist mit der Richtlinie 96/53/EG vereinbar.

Die Ausnahme-Verordnung regelt die Voraussetzungen, bei deren Erfüllen bestimmte Lang-Lkw am Straßenverkehr abweichend von den Vorschriften der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) und der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) teilnehmen dürfen. Bild 1 zeigt mögliche Konfigurationen der in § 3 LKWÜberlStVAusV genannten fünf verschiedenen Typen von Lang-Lkw.

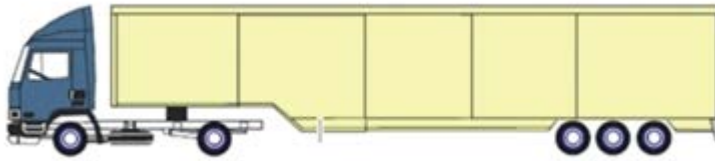
Eine Erhöhung der Achslasten oder Gesamtgewichte ist mit dem Feldversuch nicht verbunden. Bereits frühere Untersuchungen der BASt (GLAESER ET AL., 2006) haben gezeigt, dass die Infrastruktur, insbesondere die Brückenbauwerke, für Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen<sup>2</sup> mit einem höheren als dem heute zulässigen Gesamtgewicht nicht ausgelegt ist. Zudem weisen solche Lkw wegen der gewichtsbedingt höheren kinetischen Energie ein höheres Gefahrenpotential auf. Daher hat sich die Bundesregierung darauf verständigt, ausschließlich längere, aber nicht schwerere Lkw in einem Feldversuch zu testen. Die Gesamtmasse der Lang-Lkw darf somit, wie auch bisher bei den herkömmlichen Lkw, maximal 40 t / 44 t (KV) betragen. Ebenfalls unveränderte Anforderungen gelten für die maximal zulässige Breite sowie Höhe. Aufgrund der Gewichtsbeschränkung kann die tatsächliche Anzahl der im Bild 1 dargestellten Achsen geringer sein als hier beispielhaft dargestellt. Es muss dabei lediglich sichergestellt sein, dass die zulässigen Achslasten eingehalten werden.

Wesentlicher Bestandteil des Feldversuchs, und daher auch in der Ausnahme-Verordnung explizit aufgeführt, ist die wissenschaftliche Begleitung durch die BASt. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung sollen auf der Grundlage des Realbetriebs die Chancen und Risiken von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge evaluiert werden.

---

<sup>1</sup> Im Folgenden mit „40 t / 44 t (KV)“ abgekürzt.

<sup>2</sup> Im Folgenden oftmals einfach als „Lkw“ bezeichnet. D.h. auch, dass mit dem Begriff „Lkw“ im Bericht nicht nur Solofahrzeuge, sondern auch Fahrzeugkombinationen bezeichnet werden.



1. Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger (Sattelkraftfahrzeug) bis zu einer Gesamtlänge von 17,80 Metern



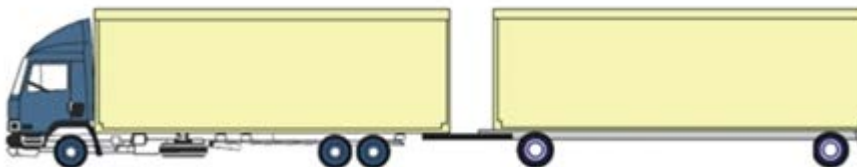
2. Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern



3. Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern



4. Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern



5. Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu einer Gesamtlänge von 24,00 Metern

*Die zulässige Gesamtmasse der Lang-Lkw darf, wie auch bisher bei den herkömmlichen Lkw, 40 t / 44 t (KV) betragen. Die tatsächliche Anzahl der Achsen kann daher geringer sein als hier beispielhaft dargestellt.*

**Bild 1: Mögliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw)**



## 2 Aktuelle Rechtslage

### **Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)**

Die zulässigen Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen sind im § 32 StVZO geregelt. Nach Abs. 3 Nr. 1 darf bei Kraftfahrzeugen und Anhängern (ausgenommen Kraftomnibusse und Sattelanhänger) einschließlich mitgeführter austauschbarer Ladungsträger und aller im Betrieb mitgeführter Ausrüstungsteile (§ 42 Abs. 3) die höchstzulässige Länge über alles 12,00 m nicht überschreiten. Gemäß Abs. 4 Nr. 2 dürfen Sattelkraftfahrzeuge, bestehend aus einer Sattelzugmaschine mit einem Sattelanhänger, nicht länger als 16,50 m sein, wenn die höchstzulässigen Teillängen des Sattelanhängers einschließlich mitgeführter austauschbarer Ladungsträger und aller im Betrieb mitgeführter Ausrüstungsteile (§ 42 Abs. 3) folgende Maße nicht überschreiten:

- a) Achse Zugsattelzapfen bis zur hinteren Begrenzung 12,00 m
- b) vorderer Überhangradius 2,04 m

Aus dieser Maßgabe ergibt sich eine maximale Länge eines Sattelanhängers von 13,60 m.

Gemäß Satz 4 Nr. 4 dürfen Züge, die aus einem Lastkraftwagen und einem Anhänger (= Gliederzüge) zur Güterbeförderung bestehen, maximal 18,75 m lang sein. Satz 3 Nr. 1 ist dabei entsprechend zu beachten.

In Ergänzung dazu regelt § 32a StVZO das Mitführen von Anhängern. Demnach darf hinter Kraftfahrzeugen nur ein Anhänger, jedoch nicht zur Personenbeförderung, mitgeführt werden. Es dürfen jedoch hinter Zugmaschinen zwei Anhänger mitgeführt werden, wenn die für Züge mit einem Anhänger zulässige Länge nicht überschritten wird. Hinter Sattelkraftfahrzeugen darf kein Anhänger mitgeführt werden.

### **EG-Richtlinie 96/53/EG**

Die Regelungen der StVZO gehen konform mit den europäischen Vorgaben, die in der Richtlinie 96/53/EG festgeschrieben sind. Basierend auf der Richtlinie 96/53/EG besteht in Europa jedoch die rechtliche Möglichkeit, dass einzelne Mitgliedsstaaten im nationalen Fernverkehr auch längere und / oder schwerere Lkw zulassen. Voraussetzung ist, dass nur solche Module zum Einsatz kommen, die in der Richtlinie 96/53/EG beschrieben sind (European Modular System – EMS).

Ein Vorläufer der Richtlinie 96/53/EG war die Richtlinie 89/461/EWG aus dem Jahr 1990. Mit dieser Richtlinie wurde die Längenbegrenzung bei Sattelkraftfahrzeugen auf 16,50 m bei bestehenden Teillängen des Sattelanhängers erhöht. Zielsetzung dieser Änderung war, die Produktivität des Sattelkraftfahrzeugs zu optimieren und gleichzeitig das Raumangebot der Fahrerkabine zu verbessern (BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN, 2007).

Kurze Zeit später wurde ein ähnlicher Schritt für Gliederzüge vollzogen. In der Richtlinie 91/60/EWG wurde die zulässige Länge dieser Fahrzeugkombinationen auf 18,35 m festgelegt. Im Rahmen dieser Richtlinie wurden die Fahrerhaustiefe auf 2,35 m und die Gesamtlänge der Aufbauten von Gliederzügen auf 15,65 m festgesetzt (BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN, 2007).

Seit 1996 ist die Länge von Gliederzügen durch die aktuelle Richtlinie 96/53/EG auf 18,75 m erhöht. Dabei wird jedoch lediglich der Abstand zwischen Motorwagen und Anhänger von 360 mm auf 760 mm vergrößert (BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN, 2007).

### **Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)**

Die StVO regelt in § 22 insbesondere den Ladungsüberhang und somit die Gesamtlänge aus Fahrzeug oder Zug samt Ladung. Nach Abs. 3 darf die Ladung bis zu einer Höhe von 2,50 m nicht nach vorn über das Fahrzeug, bei Zügen über das ziehende Fahrzeug hin-

ausragen. Im Übrigen darf der Ladungsüberstand nach vorn bis zu 50 cm über das Fahrzeug, bei Zügen bis zu 50 cm über das ziehende Fahrzeug betragen. Nach Abs. 4 darf die Ladung nach hinten bis zu 1,50 m hinausragen, jedoch bei Beförderung über eine Wegstrecke bis zu einer Entfernung von 100 km sogar bis zu 3,00 m. Fahrzeug oder Zug samt Ladung dürfen dabei jedoch niemals länger als 20,75 m sein.

### **Ausnahmegenehmigungen und Erlaubnisse**

Die Straßeninfrastruktur ist in der Regel nur für den „normalen“ Verkehr ausgelegt. So werden beispielsweise sowohl Straßenquerschnitte als auch die durch den Straßenaufbau bestimmte Tragfähigkeit durch technische Normen und Vorschriften festgelegt, die aus finanziellen, aber zum Teil auch Verkehrssicherheitsgründen nur auf bestimmte Standardfälle, nicht aber auf selten auftretende Maximalfälle ausgelegt sein können. Unter Umständen kann es die transportierende Ladung aber erfordern, den Einsatz von Fahrzeugen oder Fahrzeugkombinationen zuzulassen, die die üblichen Abmessungen und Gewichte überschreiten. In solchen Fällen werden von den Straßenverkehrsbehörden nach eingehender Prüfung und gegebenenfalls unter Auflagen Ausnahmegenehmigungen und Erlaubnisse erteilt, die eine möglichst verkehrssichere und straßenschonende Abwicklung solcher Verkehre sicherstellen sollen.

Entsprechend den Vorgaben des damaligen Bundesministeriums für Verkehr (BMV), enthalten in den Richtlinien für die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen nach § 70 StVZO (StV 13/36.39.21-00; Verkehrsblatt 1980 S. 433 und Verkehrsblatt 1986 S. 13), dürfen Ausnahmegenehmigungen sinngemäß insbesondere nur dann erteilt werden, wenn die entsprechenden Fahrzeuge ausschließlich zum Transport von unteilbarer Ladung verwendet werden, die mit Fahrzeugen, die den in der StVZO zugelassenen Abmessungen entsprechen, nicht befördert werden können. Unteilbar ist eine Ladung, wenn ihre Zerlegung aus technischen Gründen unmöglich ist oder die Zerlegung und der Zusammenbau unzumutbare Kosten verursachen würden. Die gleichen Erfordernisse hinsichtlich der Ladung gelten auch bezüglich der Erteilung von Erlaubnissen gemäß § 29 Abs. 3 StVO.

## **3 Historischer Rückblick und Erfahrungsberichte**

### **3.1 National**

Die Erfahrungsberichte bezüglich des nationalen Einsatzes von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge basieren im Wesentlichen auf den Ausführungen von FRIEDRICH ET AL. (2012).

#### **3.1.1 Innovative Nutzfahrzeugkonzepte**

Im Jahr 2005 wurde von der BAST eine Arbeitsgruppe gebildet, welche die Auswirkungen der längeren, dem damaligen Diskussionsstand entsprechend aber auch bis zu 60 t schweren Fahrzeugkonzepte auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes untersuchte. Ende 2006 legte die Arbeitsgruppe einen Bericht vor (GLAESER ET AL., 2006), der sich mit den technischen Fragestellungen hinsichtlich einer möglichen Straßen- und Brückenschädigung, der Befahrbarkeit und Nutzung der Verkehrsanlagen, einer Beeinflussung der Verkehrsstärke und des Verkehrsablaufs sowie der Verkehrssicherheit beschäftigte. Zusätzlich wurde in der Untersuchung ein umfangreicher Katalog fahrzeugtechnischer Ausstattungen zusammengestellt, die den sicheren Betrieb mit diesen neuen Fahrzeugkonzepten unterstützen sollten. Weiterhin wurden Aussagen zur Eignung von Fahrzeugführern für diese neuartigen, aber bislang nicht eingesetzten Fahrzeugkonzepte formuliert.

Als ein wesentliches Ergebnis sind die Analysen bezüglich der Brückenbeanspruchung zu erachten. Anhand der seinerzeit durchgeführten Simulationsrechnungen wurde fest-

gestellt, dass bei einer möglichen Zulassung der 60 t-Fahrzeugkombinationen die Tragreserven der Bauwerke reduziert würden. Darüber hinaus muss davon ausgegangen werden, dass bei allen Bauwerken der Brückenklassen 30, 30/30 und 45 sowie bei zwei- und mehrfeldrigen Bauwerken der Brückenklassen 60 und 60/30 oberhalb einer Stützweite von 30 m beziehungsweise 40 m für die 60 t-Fahrzeugkombinationen über den Bemessungswerten liegende Beanspruchungen auftreten können. Hierbei ist zusätzlich der Bauwerkszustand zu beachten, da ältere, vor 1980 errichtete mehrfeldrige Spannbetonbrücken wegen der fehlenden Berücksichtigung von Zwängungsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied größere Defizite als vergleichbare jüngere Systeme aufweisen. GLAESER ET AL. (2006) kommen daher zu dem Schluss, dass eine generelle Überprüfung des Gesamtbestands der Brücken der Bundesfernstraßen hinsichtlich der Tragfähigkeit für erhöhte Fahrzeuggesamtgewichte durchgeführt werden müsse.

Als weiteres Problem werden von GLAESER ET AL. (2006) die bestehenden Schutzeinrichtungen an Straßen angesehen, die einem Anprall mit schwereren Lkw nicht standhalten würden. Zudem seien Rückhaltesysteme für 60 t-Fahrzeugkombinationen derzeit nicht verfügbar und eine flächendeckende Ausstattung des Netzes ohnehin wirtschaftlich nicht vertretbar.

Im Hinblick auf den Einsatz von längeren Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen erwarten GLAESER ET AL. (2006) hinsichtlich des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit auf Autobahnen keine gravierenden Probleme. Sie weisen in ihrer Studie jedoch nicht nur auf Probleme hinsichtlich erhöhter Gewichte hin, sondern auch auf Aspekte, die es unter Umständen aufgrund einer größeren Länge zu beachten gilt. So werden insbesondere die Themen „Rastplätze“, „Räumzeiten für das Abbiegen“, „Einbiegen und Kreuzen bei plangleichen Knotenpunkten“, „Räumzeiten an höhengleichen Bahnübergängen“, „Überholvorgänge auf einbahnig zweistreifigen Landstraßen“ und „Sicherheitsausstattung innerhalb von Tunnelbauwerken“ im Zusammenhang mit der Überlänge angesprochen. Hinsichtlich der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen konstatieren GLAESER ET AL. (2006), dass durch die größeren Fahrzeuglängen und zusätzlichen Knickpunkte ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften bei den betrachteten neuen Fahrzeugkombinationen auftreten können. Bei Einmündungen und Kreisverkehren sei daher zu berücksichtigen, dass bereits kleine Abweichungen von der optimierten Leitlinie zur Überfahung von entsprechend mehr zusätzlichen Flächen in den benachbarten Fahrstreifen oder im Seitenraum führen. Dies könne andere Verkehrsteilnehmer (v.a. Fußgänger und Radfahrer) gefährden, aber auch zur Beschädigung von Verkehrseinrichtungen sowie von Fahrbahnrandeinfassungen führen.

Ausgehend von dem im Jahr 2006 durch die BAST vorgelegten Bericht zu den Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten (vgl. GLAESER ET AL., 2006) wurde 2008 eine zweite Studie von der BAST vorgelegt (GLAESER ET AL., 2008). Dabei wurden erste Erfahrungen aus den Piloteinsätzen der Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen in einzelnen Bundesländern (vgl. Ziffer 3.1.2 bis 3.1.5) sowie begleitende Untersuchungen ausgewertet. Die Studie von 2008 trägt zudem dem Umstand Rechnung, dass die untersuchten Fahrzeugkombinationen insbesondere hinsichtlich ihrer Fahreigenschaften fortentwickelt wurden und somit insbesondere einige der 2006 durchgeführten Analysen zur Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen nicht mehr dem technischen Stand der Lkw entsprachen.

GLAESER ET AL. (2008) kommen zu dem Schluss, dass durch die Anordnung lenkbarer Achsen die Befahrbarkeit der Verkehrsanlagen insoweit verbessert werden kann, dass ein beschränkter Einsatz der längeren Fahrzeugkombinationen im nachgeordneten Straßennetz abseits von Autobahnen prinzipiell möglich erscheint. Gemäß GLAESER ET AL.

(2008) ist die Befahrbarkeit innerörtlicher<sup>3</sup> Verkehrsanlagen insbesondere unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit – mit Schwerpunkt auf die der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer – wie auch schon im Bericht aus dem Jahr 2006 konstatiert – jedoch oftmals nicht gegeben.

Insbesondere zur Evaluierung der 2006 geäußerten Vermutung hinsichtlich des Verkehrsablaufs auf Autobahnen wurde im Rahmen der 2008er Studie eine Fahrzeugkombination mit Überlänge durch die BASt über mehrere Tage hinweg begleitet und videot technisch aufgezeichnet. Insgesamt wurde die Fahrzeugkombination auf etwa 500 km Autobahnen sowie weiteren 400 km autobahnähnlichen Straßen beobachtet. Es wurde 24mal auf eine Autobahn ein- und wieder ausgefahren, davon 11 Ein- und Ausfahrten innerhalb eines Autobahnkreuzes. Zudem erfolgten 93 Vorbeifahrten an Autobahnanschlussstellen. Auf autobahnähnlich ausgebauten Straßen mit planfreien Knotenpunkten erfolgten 158 Vorbeifahrten an Knotenpunkten und 29 Ein- und Ausfahrten. Insgesamt konnten keine gravierenden Probleme festgestellt werden.

### **3.1.2 Modellversuch „GigaLiner“ in Niedersachsen**

Ein in Niedersachsen durchgeführter Modellversuch sollte Erkenntnisse bringen, wie sich überlange Fahrzeugkombinationen, im niedersächsischen Modellversuch als „GigaLiner“ bezeichnet, in verkehrliche sowie betriebstechnische Abläufe integrieren lassen und ob ein wirtschaftlicher Betrieb möglich erscheint. Gemäß der Möglichkeiten der EU-Richtlinie 96/53 wurde in Niedersachsen vom 01.07.2006 bis zum 31.10.2007 von drei verschiedenen Speditionen mit drei überlangen Fahrzeugkombinationen, deren zulässiges Gesamtgewicht auf 40 t beschränkt wurde, auf geprüften und festgelegten Routen innerhalb des normalen Transportgeschäfts gefahren.

Zwei (jeweils eine Kombination aus einem Sattelkraftfahrzeug und einem Zentralachsanhänger) der drei Fahrzeugkombinationen waren nicht in der Lage den sogenannten „BO-Kraftkreis“ (vgl. dazu auch Ziffer 9.3) zu befahren, da bis auf die Lenkachse der Sattelzugmaschine keine weitere Achse gelenkt werden konnte.

Die dritte Fahrzeugkombination bestand aus einem Lkw mit Untersetzachse (Dolly) und einem Sattelanhänger (Megatrailer). Über die Dauer des Modellversuchs wurden zwei verschiedene Dollyachsen getestet. Mit der ersten, einer starren Dollyachse, war die Fahrzeugkombination ebenfalls nicht in der Lage, den BO-Kraftkreis zu befahren. Durch den Einbau einer im Kurvenverlauf mitlenkenden Dollyachse war es jedoch möglich, die Anforderungen aus dem BO-Kraftkreis einzuhalten.

Mit der wissenschaftlichen Begleitung des niedersächsischen Modellversuchs wurde im Sommer 2007 das Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Leibniz Universität Hannover beauftragt (FRIEDRICH, HOFFMANN, BRÄCKELMANN, 2007). Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die durchgeführten Analysen und Auswertungen in Zusammenarbeit mit den beteiligten Speditionen gezeigt hätten, dass ein Betrieb in der Praxis mit überlangen Fahrzeugkombinationen und einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t technisch und verkehrlich möglich ist und sich für alle beteiligten Speditionen ein wirtschaftlicher Nutzen ergeben hat. Da während des Modellversuchs nahezu ausschließlich Autobahnen ohne Unterbrechungen der Lenkzeiten befahren wurden, konnten Aussagen über die Befahrbarkeit von Rastanlagen, Kreisverkehren und plangleichen Knotenpunkten mit engen Radien aus der vorliegenden Untersuchung nicht abgeleitet werden.

---

<sup>3</sup> Der Begriff „innerörtlich“ ist dabei nicht im Sinne der StVO als „innerhalb geschlossener Ortschaften“ zu verstehen. Vielmehr sind hier Verkehrsanlagen gemeint, die in der Innenstadt liegen. Gemäß dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumordnung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) gehören zur Innenstadt der Stadtkern, wo sich historische Bauten ebenso wie Geschäftszentren finden, sowie der Innenstadtrand, der die innere Stadt mit gründerzeitlichen Vierteln, Stadterweiterungen und Nachkriegsbauten umgibt.

### 3.1.3 Pilotversuch „Ecocombi“ in Baden-Württemberg

Im Rahmen eines Pilotversuchs des Landes Baden-Württemberg fuhren zwischen dem Werk eines Automobil- und Nutzfahrzeugherstellers und einem seiner Logistikzentren von Ende 2006 bis 2008 Fahrzeugkombinationen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 60 t und einer Gesamtlänge von 25,25 m, hier „Ecocombi“ genannt. Mit dem Pilotbetrieb sollte die Kompetenz des Fahrzeugherstellers auf dem Sektor Sicherheits- und Umweltschutztechnik für diese neuartigen Nutzfahrzeugkonzepte aufgezeigt werden.

Bei der Routenfestlegung für eine Vorzugsstrecke und Umleitungsmöglichkeiten wurden überwiegend zweibahnige Straßen oder Strecken mit Überholverbot als für solche Transporte geeignet ausgewählt. Die Topografie der Strecke erforderte ein Zugfahrzeug mit zwei vollwertigen Antriebsachsen und einer hohen Motorleistung. Damit entsprach die für den Pilotbetrieb vorgesehene Fahrzeugkombination auch allen Anforderungen an einen universellen Einsatz auf Bundesfernstraßen mit ihren üblichen Steigungs- und Gefällestrecken.

Der Pilotversuch wurde durch ein Untersuchungsprogramm in enger Abstimmung zwischen dem Innenministerium Baden-Württemberg, dem Fahrzeughersteller und der BAST wissenschaftlich begleitet (BENDEL, PFLUG, SCHOCH, SCHRÖTER, 2009). Für den im Feldtest eingesetzten „Ecocombi“ mit starrem Dolly wurde dabei bei der Befahrung des BO-Kraftkreises (vgl. dazu auch Ziffer 9.3) eine bereichsweise Überschreitung der zulässigen Ringbreite um 10 % festgestellt. Mit Hilfe einer Lenkdolly erfüllte die Fahrzeugkombination die gesetzlichen Anforderungen mit einem Sicherheitsabstand von 6 %.

Die Untersuchung kommt bezüglich der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen zu folgenden Erkenntnissen:

- Innerortsknotenpunkte (8-12 m Kreisbogenradius): Erhebliche Mitbenutzung angrenzender Fahrstreifen und / oder des Seitenraums; keine Bewegungsspielräume.
- Groß dimensionierte Knotenpunkte (12-15 m Hauptbogenradius): Geringfügige Mitbenutzung angrenzender Fahrstreifen; keine Bewegungsspielräume.
- Kleine Kreisverkehre: Geringfügige Mitbenutzung der Seitenbereiche; keine Bewegungsspielräume.
- Parkstände (40 gon): Mitbenutzung angrenzender Parkstände; keine Bewegungsspielräume.
- Einbiegen: selbst bei einer Eckausrundung von 15 m werden die Fahrstreifen des Gegenverkehrs mitbenutzt.

Prinzipiell kommen BENDEL ET AL. (2009) zu dem Schluss, dass die langen Fahrzeugkombinationen auch in einem „schwierigen“ Umfeld betrieben werden können. Bei den untersuchten Straßengeometrien, insbesondere den Innerortsknotenpunkten, sei auch bei konventionellen Sattelkraftfahrzeugen mit un gelenkter 3. Achse am Sattelanhäng er eine aufmerksame Fahrweise beziehungsweise bei kleinen Eckausrundungsradien eine Nutzung der Gegenfahrbahn erforderlich. Die Resultate aus unterschiedlichen Geometrievorgaben würden deutlich zeigen, dass eine Vergrößerung der Eckausrundungsradien weniger hilfreich sei als eine bereichsweise Verbreiterung der Knotenpunktzu- und -ausfahrten.

### 3.1.4 Modellversuch mit überlangen Fahrzeugkombinationen in Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen (NRW) wurde im Rahmen eines Modellversuchs der Einsatz von bis zu 25,25 m langen Fahrzeugkombinationen auf ausgewählten Strecken überprüft. Ähnlich wie in Niedersachsen wurde auch in NRW das zulässige Gesamtgewicht auf 40 t / 44 t (KV) beschränkt. Der Modellversuch sollte grundsätzlich folgende Fragen klären:

- Wie gliedert sich eine überlange Fahrzeugkombination in das allgemeine Verkehrsgeschehen ein?
- Sind Gefahrenmomente durch die überlangen Fahrzeugkombinationen zu erwarten?

Der Modellversuch wurde mit 12 Firmen in der Zeit vom 01.11.2006 bis zum 30.06.2008 durchgeführt. Die teilnehmenden 13 überlangen Fahrzeuge (einmal ähnlich Lang-Lkw-Typ 1) und Fahrzeugkombinationen (viermal analog Lang-Lkw-Typ 2, 7-mal analog Typ 3, einmal analog Typ 4) wiesen im Betrieb Gesamtlängen zwischen 18,15 m und 25,25 m auf und wurden hauptsächlich auf Autobahnen in NRW und in Niedersachsen bewegt. Fahrten im nachgeordneten Straßennetz wurden nur in dem Maße durchgeführt, wie es im Zubringerverkehr zur Autobahn für die genehmigten Fahrtrouten unumgänglich war. Während des Versuchs wurden von den getesteten Lkw ca. 1,6 Mio. Kilometer Strecke zurückgelegt, von denen über 3.200 km durch amtlich anerkannte Sachverständige begleitet wurden.

Der TÜV Rheinland, der TÜV Nord und die RWTH Aachen evaluierten den Modellversuch im Auftrag des Ministeriums für Bauen und Verkehr des Landes NRW. WANGRIN, STÜRMER, WÖHRMANN (2009) konstatieren, dass alle teilnehmenden Fahrzeugkombinationen die Anforderung der Straßenverkehrs-Zulassungsordnung (StVZO) an die Kurvenläufigkeit (Eingangsvoraussetzung zur Teilnahme) erfüllt hätten. Die Fahrzeugkombinationen seien deshalb in der Lage gewesen, das nachgeordnete Straßennetz mit lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten und ausreichend dimensionierten Kreisverkehren problemlos zu befahren. Die Autoren kommen zusammenfassend zu folgenden weiteren Erkenntnissen:

- Die überlangen Fahrzeugkombinationen, die aus vorhandenen Modulen gebildet werden konnten, können technisch sicher und verkehrstechnisch gefahrlos betrieben werden. Voraussetzung ist, dass die gebildeten Züge definierte technische Anforderungen einhalten.
- Während der Laufzeit des Modellversuchs kam es zu keinen Unfällen mit den beteiligten überlangen Fahrzeugkombinationen.
- Während der Laufzeit des Modellversuchs kam es zu keinen ernsthaften Gefährdungen anderer Verkehrsteilnehmer.

### **3.1.5 Pilotversuch „EuroCombi“ in Thüringen**

Thüringen führte von März 2008 bis Ende 2009 einen Pilotversuch mit modularen Nutzfahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von maximal 40 t und einer Gesamtlänge von 25,25 m durch. Vergleichbar mit dem niedersächsischen Modellversuch wurden auch in Thüringen streckenbezogene Einzelgenehmigungen für ausgewählte Speditionen und Fahrzeugkombinationen (hier: „EuroCombi“) erteilt.

Die wissenschaftliche Begleitung des Pilotprojekts in Thüringen wurde durch die Fachhochschule Erfurt vorgenommen (HILS, ADLER, 2010). Eine Spedition mit einer überlangen Fahrzeugkombination nahm am Pilotversuch teil.

Die Streckenführung lag im Wesentlichen auf der Autobahn A4. Die Strecke hatte eine Länge von ca. 105 km. Die eingesetzte Fahrzeugkombination verfügte über eine lenkbare Dolly, wodurch die Befahrung des BO-Kraftkreises (vgl. dazu auch Ziffer 9.3) sichergestellt werden konnte.

Bezüglich der Auswirkungen auf den Straßenverkehr beziehungsweise die Verkehrssicherheit treffen HILS, ADLER (2010) die folgenden Feststellungen:

- Kreuzungen und Einmündungen, Tunnel, Kreisverkehre sowie Ein- und Ausfahrten von Bundesautobahnen und Autobahnbaustellen konnten ohne Probleme mit dem 40 t-EuroCombi befahren werden.

- Von den relevanten Polizeidirektionen konnten in Verbindung mit dem Pilotprojekt „...weder Behinderungen, Fehlverhalten, Ordnungswidrigkeiten oder Verkehrsunfälle...“ ermittelt werden.

Die Erfahrungen der Fahrer werden wie folgt zusammengefasst:

- „...das Befahren eines Kreisverkehrs sowie das Abbiegen mit dem 40 t-EuroCombi ist besser als mit einem herkömmlichen Sattelkraftfahrzeug zu bewerkstelligen“.

Im Fazit kommen die Autoren zu dem Schluss, dass bauliche Veränderungen der Straßenverkehrsinfrastruktur nicht erforderlich seien. Diese Aussage berücksichtigt nicht die gegebenenfalls erforderliche Umgestaltung von Parkständen auf Rastanlagen an Bundesautobahnen, da bei der im Versuch vorliegenden Distanz von etwa 105 km kein Rasten erforderlich war.

### 3.1.6 Feldversuch mit dem verlängerten Sattelanhängerkonzept (Eurotrailer)

Seit einigen Jahren bietet ein Hersteller einen Sattelanhängen mit einer Überlänge von 1,30 m im Vergleich zum Standardsattelanhängen (L=13,60 m) an. Die Gesamtlänge eines Sattelkraftfahrzeugs mit einem derartigen Sattelanhängen beträgt somit 17,80 m. Dieses Fahrzeug entspricht von seinen Abmessungen her dem Lang-Lkw Typ 1 aus dem aktuellen bundesweiten Feldversuch (vgl. Bild 1, oben). Durch die Überlänge bietet der Sattelanhängen ca. 10 % mehr Ladevolumen als ein Standardsattelanhängen. Die Verlängerung schafft vier zusätzliche Palettenstellplätze<sup>4</sup>.

Die Erprobung des verlängerten Sattelkraftfahrzeugs erfolgte mittels Ausnahmegenehmigung, erteilt durch den bayrischen Regierungsbezirk Schwaben<sup>5</sup>, und wurde seinerzeit im Auftrag des Herstellers von der RWTH Aachen wissenschaftlich begleitet (BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN, 2007). Die wissenschaftliche Begleitung sollte eine Bewertung des verlängerten Sattelanhängens aus verkehrspolitischer, verkehrssicherheitstechnischer, ökologischer und ökonomischer Sicht ermöglichen.

Das Ergebnis der simulativen Überprüfung des Kurvenfahhaltens während der Befahrung des BO-Kraftkreises (vgl. dazu auch Ziffer 9.3 sowie 12.4.4) zeigt, dass der Sattelanhängen innerhalb des Kreisrings bleibt und das maximal zulässige Ausschermmaß von 0,8 m nicht überschritten wird, sodass die Anforderungen nach § 32d StVZO erfüllt werden.

Das Kurvenlaufverhalten wurde im Rahmen der Untersuchung zudem durch die Befahrung eines kleinen Kreisverkehrs (Außendurchmesser: 26 m) und eines Schrägparkstands<sup>6</sup> für Lkw auf einer Rastanlage mittels Simulationen, aber auch anhand von Fahrversuchen auf einer Teststrecke analysiert. Die Fahrversuche und auch die Schleppkurvensimulationen zeigen, dass eine Viertelfahrt im Kreisverkehr, die einem Rechtsabbiegevorgang entspricht, nicht ohne Überfahung der Fahrbahnbegrenzung möglich ist. Eine volle Kreisfahrt zeigt sich dahingegen als unproblematisch. BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN (2007) schlagen daher vor, dass für die Befahrung von Kreisverkehren eine Fünf-Viertel-Fahrt verbindlich vorgeschrieben werden soll.

BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN (2007) konstatieren bezüglich der Befahrbarkeit von Schrägparkständen auf Rastanlagen, dass dies grundsätzlich als unproblematisch

<sup>4</sup> Der Begriff „Stellplatz“ ist ein in der Logistikbranche verwendetes Maß für den Laderaum eines Transportgefäßes und hier nicht zu verwechseln mit der Abstellfläche für ein Fahrzeug außerhalb der öffentlichen Verkehrsflächen, die ebenfalls als Stellplatz bezeichnet wird. Im Rahmen dieses Berichts wird „Stellplatz“ immer nur im zuerst genannten Kontext verwendet.

<sup>5</sup> Neben Bayern wurde seinerzeit die Ausnahmegenehmigung auch von allen anderen 15 Bundesländern akzeptiert (vgl. u. a. Verkehrsrundschau vom 19.12.2011)

<sup>6</sup> Im Gegensatz zur Abstellfläche für ein Fahrzeug außerhalb der öffentlichen Verkehrsflächen, die als „Stellplatz“ bezeichnet wird, ist ein „Parkstand“ ein zum Parken eines Fahrzeugs abgegrenzter Teil einer öffentlichen Verkehrsfläche.

einzustufen ist, da die Gesamtlänge des verlängerten Sattelkraftfahrzeugs ca. 1,00 m kürzer als die eines herkömmlichen Gliederzugs ist.

Zusammenfassend stellen die Autoren fest, dass der verlängerte Sattelanhänger in seltenen Situationen zwar eine erhöhte Aufmerksamkeit erfordert. Negative Auswirkungen auf die Straßeninfrastruktur und den Verkehrsablauf seien bei einer angepassten Fahrweise jedoch nicht zu erwarten. Fragen zur empfohlenen Befahrung von Kreisverkehren hinsichtlich der Praktikabilität und möglicher Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit bleiben dabei jedoch offen.

Es ist bei diesen Fahrzeugkonzepten auch zu berücksichtigen, dass ein größeres Potenzial für eine mögliche Achslastüberschreitung der Antriebsachse bei einer Teilentladung des Sattelanhängers von hinten vorliegt.

## 3.2 International

Auf allen Kontinenten, in einzelnen Ländern und selbst auch in einzelnen Bundesstaaten gelten zum Teil unterschiedliche Regelungen für Maße und Gewichte von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen, auf die sich die Fahrzeugindustrie mit ihren Produkten eingestellt hat. Ausführliche Beschreibungen finden sich dazu in dem OECD-Bericht „Moving Freight with better Trucks“ (2011). Fahrzeugkombinationen mit höherer Kapazität („Higher Capacity Vehicles“, im vorgenannten Bericht definiert als Fahrzeugkombination jenseits der im jeweiligen Land normalerweise gebräuchlichen Maße und / oder Gewichte) findet man zum Beispiel in Australien, USA, Kanada, Brasilien, Südafrika und Skandinavien.

Die Topographie und die Bevölkerungsdichte eines Landes oder Erdteils sind maßgeblich für die Anlage des Straßennetzes und damit für die Maße und Gewichte der darauf verkehrenden Fahrzeuge. In vielen Ländern der Erde ist die Straßeninfrastruktur schlechter als in Mitteleuropa, aber die Lkw-Dichte geringer und die Transportgüter schwerer.

Neben dem oben genannten OECD-Bericht, der sich auch ausführlich mit Fragen der Sicherheit, des Umweltschutzes, mit den Auswirkungen auf die Straßeninfrastruktur sowie mit ökonomischen Fragen beschäftigt, sei auf die „Heavy Vehicles Transport Technology“ Konferenzen (und deren Konferenzbeiträge) verwiesen, die seit 1986 alle zwei Jahre stattfinden.

Die Erfahrungsberichte bezüglich des internationalen Einsatzes von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge basieren im Wesentlichen auf den Ausführungen von GLAESER ET AL. (2006) sowie FRIEDRICH ET AL. (2012).

### 3.2.1 Übersee

Die in der Europäischen Regelung für Maße und Gewichte von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen vorgegebenen Längenmaße verhindern in Europa den Einsatz von sogenannten „Hauben-Zugfahrzeugen“, die in anderen Erdteilen gängig sind. Während in Europa die Gesamtlänge begrenzt ist sowie die Größe der Fahrerkabine ein Mindestmaß einhalten muss (vgl. Ziffer 2), sind in anderen Ländern (v.a. USA, Kanada, Südafrika) nur die Abmessungen der Transportbehälter begrenzt. Dies führt dazu, dass der Motor vor der eigentlichen Fahrerkabine angeordnet wird, was zu dem typischen US-amerikanischen Erscheinungsbild der „Trucks“ führt.

„Higher capacity Vehicles“ heißen in Kanada ähnlich wie in den USA „Long Combination Vehicles (LCV)“ und weisen eine zulässige Gesamtmasse von bis zu 62,5 t und eine maximale Länge von bis zu 38 m auf. Die maximal zulässigen Achslasten dürfen dabei nicht überschritten werden. LCV dürfen in einigen Bundesstaaten nicht fahren.

In Australien werden (in dünn besiedelten Gegenden) oft sogenannte „Road trains“ mit bis zu 125 t zulässiger Gesamtmasse und 53,5 m Länge eingesetzt. Der Zugang zum Straßennetz ist wie folgt geregelt: Die Straßen sind in vier Kategorien eingeordnet. Die-



sen Kategorien sind ganz spezifische Anforderungen hinsichtlich der Fahrzeugmaße und -gewichte, Kurvenlaufeigenschaften, dynamischen Fahrmanöver, etc. zugeordnet. Spediteure können sich anhand von Landkarten darüber informieren, welche Kategorien die für ihre Route relevanten Straßen haben und dann für ihre Fahrzeugkombination nach dem sogenannten „Performance based standard – PBS Scheme“ prüfen, ob die jeweiligen Anforderungen erfüllt werden.

Auffallend bei den Fahrzeugkombinationen außerhalb von Europa ist,

- dass aus Gründen der Fahrsicherheit oftmals mehrere Sattel- statt Bolzenkupplungen verwendet werden (sogenannte „B-double“ und „B-tripple“),
- dass teilweise überlange Deichseln verhindern, dass auf kurzen Brücken Zugfahrzeug und Anhänger gleichzeitig die Brücke belasten und
- dass Anhänger und Sattelanhänger oft zwillingsbereift sind und so mehr Auflagefläche auf der Straße haben (geringere Flächenpressung).

### 3.2.2 Skandinavien

Überlange und überschwere Fahrzeugkombinationen („Longer and / or heavier vehicles - LHV“) werden in einigen skandinavischen Ländern schon seit vielen Jahren eingesetzt. Bereits seit den 1970er Jahren sind dort bis zu 24 m lange Lkw im Einsatz. Seit der Einführung der Richtlinie 96/53/EG verkehren dort bis zu 25,25 m lange Fahrzeugkombinationen nach dem sogenannten „European Modular System – EMS“ (vgl. Ziffer 2). Sowohl Schweden als auch Finnland berufen sich dabei vor allem auf das Kyoto-Protokoll aus dem Jahre 1997. Dem Protokoll entsprechend sollte bis zum Jahr 2012 der maßgeblich durch den Transportsektor verursachte Ausstoß umweltschädlicher Emissionen deutlich verringert werden. Entsprechend konzentrieren sich die schwedischen Untersuchungen der Vor- und Nachteile der überlangen und überschweren Fahrzeugkombinationen stets auf die umweltrelevanten Aspekte. Technische Aspekte, wie beispielsweise die Straßen- und Brückenbeanspruchung werden hingegen weitgehend außer Acht gelassen. Zu beachten ist dahingehend, dass in Schweden ein intensives Brückenertüchtigungsprogramm durchgeführt wurde.

Seit dem Einsatz von LHV in Schweden hat sich – auch aufgrund der vorrangig transportierten relativ schweren Güter wie zum Beispiel Holz und Erze – die Verkehrszusammensetzung in der Art verschoben, dass in Schweden heute mehr als 90 % der Transportleistung im Fernverkehr von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit einem zulässigen Gesamtgewicht > 40 t erbracht wird (KEUCHEL, ERNST, 2006).

In einer Studie des Instituts für Transportforschung (RAMBERG, 2004) wurde eine Vielzahl von CMR<sup>7</sup>-Frachtbriefen schwedischer, finnischer und niederländischer Transportunternehmen mit dem Ziel ausgewertet, die ökologischen und ökonomischen Einsparvolumen der Fahrzeugkombinationen zu ermitteln. Die Auswertung der CMR-Frachtbriefe kommt zu dem Ergebnis, dass durch den Einsatz von LHV erhebliche ökonomische und ökologische Nutzen erzielt werden. So wurden die in der Tabelle 1 zusammengestellten Reduzierungen beim Transport mit Fahrzeugkombinationen gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen ermittelt.

<sup>7</sup> CMR: Internationales Übereinkommen über Beförderungsverträge im Straßengüterverkehr (von franz.: Convention relative au contrat de transport international de marchandises par route)

**Tabelle 1: Ermittelte Einsparungen durch den Einsatz von Fahrzeugkombinationen mit Überlänge und bis zu 60 t zulässigem Gesamtgewicht gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen (RAMBERG, 2004)**

<b>Minderung Fahrtenanzahl</b>	<b>Minderung Treibstoffverbrauch</b>	<b>Minderung Betriebskosten</b>
27 – 38 %	10 – 23 %	19 – 26 %
im Mittel: 32,2 %	im Mittel: 15,4 %	im Mittel: 23,3 %

Hinsichtlich der Straßenbeanspruchung geht die Studie aufgrund der Vielzahl der Achsen von einer Minderung um 15 % bis 25 % aus.

Zur Verkehrssicherheit von LHV beschränkt sich die Untersuchung auf einen kurzen Hinweis, dass die Länge eines Fahrzeugs einen Einfluss auf den Überholvorgang hat und somit eine Beeinträchtigung des Unfallgeschehens durchaus gesehen werden kann.

In Finnland wird ebenfalls ein Großteil des Straßengüterfernverkehrs mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen abgewickelt, welche die in der EU üblichen Längen- und Gewichtsbeschränkungen deutlich überschreiten. Zugelassen sind Fahrzeugkombinationen bis 25,25 m Länge und 60 t zulässigem Gesamtgewicht.

Aus Finnland stammen Studien (RÄSÄNEN ET AL., 2004, RÄSÄNEN, PELTOLA, 2005), bei denen unter anderem das Fahrverhalten beziehungsweise die Stabilität verschiedener Fahrzeugkombinationen bei einem Ausweichmanöver bei unterschiedlichen Straßenverhältnissen simuliert wurde. Als Ergebnis wurde festgehalten, dass die Art der Fahrzeugkombination – und hier weniger die Gesamtlänge als vielmehr die Achs- und Knickpunktanordnung – einen größeren Einfluss auf die Fahrstabilität haben als die Fahrgeschwindigkeit.

Ein dänischer Feldversuch mit LHV startete Ende 2008 und wurde mittlerweile bis Anfang 2017 verlängert. Hier dürfen Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit bis zu 25,25 m Länge und 60 t zulässigem Gesamtgewicht nach dem European Modular System - EMS auf einem definierten Positivnetz zum Einsatz kommen. Es werden vier Typen von LHV unterschieden, die mit Ausnahme des höheren zulässigen Gesamtgewichts vom Prinzip den auch im deutschen Feldversuch zulässigen Typen 2 bis 5 (vgl. Bild 1) entsprechen. Zum Ende des Jahres 2010 waren bis zu 408 LHV in Dänemark im Einsatz (HELLUNG-LARSEN, 2011).

Die begleitende wissenschaftliche Evaluierung wurde für die Jahre 2009-2010 durchgeführt und hat im Vergleich zur Evaluierung des deutschen Feldversuchs mit Lang-Lkw (vgl. dazu Ziffer 5) ähnliche Fragestellungen zum Inhalt, wie zum Beispiel die Auswirkungen auf Infrastruktur, Sicherheit, ökologische und sozio-ökonomische Effekte. Die wichtigsten Aussagen der auf Basis von empirisch erhobenen Grundlagen durchgeführten Analysen lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. HELLUNG-LARSEN, 2011):

- Ungefähr 1 % der Verkehrs- und 2-3 % der Transportleistung wurden 2009 und 2010 durch die überlangen und überschweren Fahrzeugkombinationen in Dänemark erbracht.
- Hauptsächlich transportierte Güterarten sind Stückgüter (gemischte Güter) und Nahrungsmittel – im Allgemeinen voluminöse Güter.
- Fälle von Überladungen wurden bei den LHV anteilig in geringerem Umfang festgestellt als bei den konventionellen Lkw. Hauptsächlich fielen sechsachsige LHV bei den festgestellten Überladungen negativ auf. Das Gesamtgewicht pro Tour lag jedoch in der Regel zwischen 30 t und 40 t und damit also deutlich unter dem erlaubten Maximum.
- Es wurde kein erhöhter Verschleiß beziehungsweise Erhaltungsbedarf der Infrastruktur durch die LHV ermittelt.

- Die durchschnittlichen Auslastungsgrade der Stellplätze lagen bei ca. 74 % (inkl. Leerfahrten), für Gewicht bei ca. 55 % und für Volumen bei ca. 57 %. Dies weist darauf hin, dass die Optimierung und Nutzung von LHV auf Auslastung der Stellfläche im Vergleich zu Gewicht und Volumen ausgelegt sind.
- Eine Fahrt mit LHV ersetzte im Durchschnitt 1,4 bis 1,6 Fahrten mit konventionellen Lkw.
- Der Einsatz der LHV führte gegenüber dem Einsatz von herkömmlichen Lkw zur Erbringung der Transportleistung zu einer Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um ca. 15 %.
- Es wurde eine Tendenz zu geringeren Unfallraten von LHV im Vergleich zu konventionellen Lkw beobachtet.
- Sozio-ökonomische Effekte des Einsatzes von LHV wurden anhand von Nutzen-Kosten-Rechnung geschätzt. Berücksichtigt wurden dabei zusätzliche Infrastrukturkosten, externe Kosten und operative Kosteneinsparungen. Als Ergebnis wurde ein Nutzen-Kosten-Faktor von 2,6 bis zum Ende des Feldversuchs errechnet. Das heißt, dass für jede investierte Dänische Krone, 2,6 Dänische Kronen als volkswirtschaftlicher Nutzen durch den Einsatz von LHV erwirtschaftet werden.

### 3.2.3 Niederlande

In den Niederlanden sind seit den 1990er Jahren staatliche Bemühungen zur Einführung neuer (längerer und schwererer) Fahrzeugkombinationen zu beobachten. Hintergrund sind Bestrebungen zu Produktivitätssteigerungen in der Verkehrswirtschaft. Ein wichtiger Sektor ist dabei der Straßengüterverkehr zwischen den niederländischen Welthäfen und Süd- und Osteuropa. Durch Stärkung der „economies of scale“ – also Kostenersparnisse aufgrund von Größenvorteilen – können dabei betriebswirtschaftliche Produktivitätsvorteile ausgebaut werden. Vor diesem Hintergrund wurden in den Niederlanden im Jahr 1994 50 t-Lastkraftwagen erst probeweise, später dann aber dauerhaft zugelassen.

In den Jahren 2001 bis 2003 wurde schließlich ein Versuch mit überlangen (25,25 m) und schwereren (60 t) Lkw („Langere en zwaardere vrachtauto - LZV“) durchgeführt. Aufgrund der sehr strengen Restriktionen (ausgewählte Fahrstrecken unter 50 km, Transporte nur in Verbindung mit intermodalen Transporten, Fahrverbot zwischen 06:00 und 10:00 Uhr) nahmen nur vier Teilnehmer an diesem Versuch teil. Die Erfahrungen daraus waren zu gering, um eine endgültige Entscheidung treffen zu können. Die Ergebnisse wurden jedoch als ausreichend positiv angesehen, um eine zweite Versuchsphase zu beschließen.

Von 2004 bis zum Jahr 2006 lief daher in den Niederlanden die zweite Stufe der Erprobung. Um die möglichen Risiken im Hinblick auf die Verkehrssicherheit zu minimieren, wurden für die zweite Versuchsstufe die Anzahl der Unternehmer auf max. 100 mit max. 300 Nutzfahrzeugen beschränkt und weitere restriktive Bestimmungen festgelegt:

- Autobahnen sind generell nutzbar. Die gewünschten Strecken zur und von der Autobahn dürfen höchstens 20 km lang sein und müssen für die Nutzung mit den neuen Fahrzeugkombinationen von den jeweiligen Baulastträgern freigegeben werden. Tempo 30-Zonen, Wohngebiete und urbane Zentrumsanlagen dürfen nicht befahren werden. Auf den Strecken dürfen sich keine Bahnübergänge befinden. Freigegebene Landstraßen müssen über einen straßenbegleitenden Radweg verfügen.
- Der Transport von Flüssigkeit, Gefahrgut, 45-Fuß Containern sowie von über die Fahrzeugabmessungen herausragender Ladung ist von dem Versuch ausgenommen.
- Fahrzeugtechnische Voraussetzungen sind: ABS, toter Winkel-Spiegel oder Kamera, Geschlossene Seitenverkleidung, Konturmarkierung, Unterfahrschutz an der Vorderseite, Warnschild an der Fahrzeugrückseite, Motorleistung mindestens 5 KW/t.

- Verkehrsregelnde Einschränkungen: Generelles Überholverbot für die LZV. Fahrverbot bei Glatteis und dichtem Nebel.

Bemerkenswert ist, dass explizit keine Einhaltung der Anforderungen aus der Befahrung des BO-Kraftkreises (vgl. dazu Ziffer 9.3) gefordert wird. Zudem ist eine Kombination aus einem Lkw mit zwei hintereinander gekoppelten Zentralachsanhänger zulässig, die aus fahrdynamischer Sicht jedoch kritisch zu bewerten ist (GLAESER, RITZINGER, 2012).

Ziel des Großversuchs war es, die Konsequenzen des Einsatzes der LZV hinsichtlich der folgenden Themenkomplexe zu untersuchen:

- Betriebswirtschaft, Logistik,
- Konkurrenzverhältnisse zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern,
- Straßenbau und Umwelt,
- Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit (objektiv und subjektiv).

Anfangs nahmen 66 Firmen mit 100 LZV an der zweiten Testphase teil. Im Laufe der Testphase erhöhte sich die Teilnehmerzahl auf 76 Firmen und 162 LZV.

Nach Abschluss der zweiten Testphase wurde im November 2007 die sogenannte „Erfahrungsphase“ zum Einsatz von LZV gestartet. Das Ziel dieser Erfahrungsphase war es festzustellen, welche Folgen eine immer größere Anzahl von LZV für die Verkehrssicherheit, das Verkehrsmanagement und den Modal Split in den Niederlanden hat. Die Begrenzung der Teilnehmerzahl wurde zu diesem Zweck aufgehoben. Einzige Bedingung für die Teilnahme am Straßenverkehr ist, dass die LZV den Anforderungen zur Erteilung einer Ausnahmegewilligung entsprechen müssen.

Im November 2008 betrug die Zahl der teilnehmenden Unternehmen 109 mit 194 LZV. Bis Oktober 2009 hatte sich die Zahl der eingesetzten LZV schon fast verdoppelt auf nunmehr 190 Unternehmen mit 398 LZV. AARTS, HONER (2010) führen als einen der wichtigsten Gründe für die Zunahme die Notwendigkeit von Kosteneinsparungen aufgrund der Wirtschaftskrise an. Bis zu diesem Zeitpunkt seien LZV hauptsächlich für den Transport zwischen Industriegebieten und Distributionszentren (Großhandel, Warenumsschlagplätzen, Auktionszentren etc.) eingesetzt worden. Ab dann wären LZV jedoch hauptsächlich für die Belieferung von Supermarktketten und großen Einzelhandelsunternehmen sowie für den Container- und Zierpflanzentransport verwendet worden.

Die Erfahrungen aus dem Einsatz der LZV im Zeitraum 1995-2010 wurden in einem niederländischen Bericht zusammengefasst (AARTS, HONER, 2010). Laut Ausführungen der Autoren werden die Vorteile von LZV bestätigt und es hätten sich die potentiellen Risiken nicht manifestiert. Die niederländischen Erfahrungen würden zeigen, dass LZV hauptsächlich für solche Transportmärkte von Bedeutung sind, auf denen die Bahn oder der Schiffstransport keine Rolle spiele, wie beispielsweise die nationale Distribution von Lebensmitteln, den Schnittblumentransport sowie die Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP). Auch für den Containermarkt hätten sich keine Hinweise auf Verschiebungen der Güterströme gezeigt, obwohl es hier einige Überschneidungen mit der Bahn und der Binnenschifffahrt gäbe. AARTS, HONER kommen somit zu dem Schluss, dass LZV reguläre Lastkraftwagen ersetzen und daher zur Senkung des Schwerverkehrsaufkommens, der Betriebskosten und der Emissionen beitragen würden.

2011 wurde der Testbetrieb für beendet erklärt. LZV dürfen seitdem auf dem für sie freigegeben Straßennetz unter Beachtung der speziell für sie geltenden Bestimmungen am Verkehr in den Niederlanden teilnehmen. Voraussetzung ist, dass die LZV zuvor ein Genehmigungsverfahren durchlaufen haben. Die Bewilligung erfolgt durch die öffentliche Zulassungsstelle RDW, dem "Zentrum für Fahrzeugtechnik und Information" in den Niederlanden, unter Einbeziehung der regionalen Straßenbaubehörden.

### **3.2.4 Europäische Kommission und Europaparlament**

Das Thema LHV beschäftigt auch die EU-Kommission sowie das Europaparlament. Im Vordergrund der kontrovers und zum Teil emotional geführten Diskussionen steht dabei ak-

tuell die Frage nach der Zulässigkeit eines grenzüberschreitenden Verkehrs von Lkw, die nicht den Anforderungen der Richtlinie 96/53/EG entsprechen (vgl. dazu Ziffer 2).

In einem Vorschlag der EU-Kommission zur Änderung der Richtlinie 96/53/EG, bei dem es vorrangig um vergleichsweise unstrittige Aspekte wie Verbesserungen hinsichtlich der Aerodynamik oder der Förderung des Einsatzes alternativer Antriebssysteme im Güterverkehr geht, sollte nun auch der grenzüberschreitende Verkehr mit längeren LHV nach dem EMS geregelt werden. Die Kommission wollte den grenzüberschreitenden Verkehr mit LHV auf Basis von bilateralen Abkommen zwischen Mitgliedsstaaten erlauben, in denen bereits im nationalen Fernverkehr LHV nach dem EMS zugelassen sind (vgl. dazu Ziffer 2). Dieser Vorschlag stieß jedoch auf einen großen Widerstand im EU-Parlament und wurde in der ersten Lesung des EU-Parlaments aus dem Entwurf zur Änderung der EG-Richtlinie nach intensiven Debatten seitens der EU-Parlamentarier herausgestrichen. Im Rahmen der „politischen Einigung“ auf dem EU-Verkehrsministerrat am 5.06.2014 wurde der Absatz über den grenzüberschreitenden Verkehr mit Lang-Lkw ebenfalls gestrichen. Die Kommission hat dort folgendes Statement abgegeben:

„The European Commission has already provided guidance on the application of Article 4 of the Directive; transport operations do not have significant impact on international competition if the cross-Border use remains limited to two Member States where the existing infrastructure and the road safety requirements allow it. This balances the Member States' right under the principle of subsidiarity to decide on transport solutions suited to their specific circumstances with the need to prevent such policies from distorting the internal market.”

Strenggenommen besteht somit weiterhin eine rechtliche Grauzone, was dieses Thema betrifft, da eine eindeutige Regelung in der EG-Richtlinie in dieser Sache fehlt. Die Beratungen zu diesem Richtlinienvorschlag sind noch nicht abgeschlossen.

### **3.3 Vom „Gigaliner“ zum „Lang-Lkw“**

Im Vergleich zu internationalen Erfahrungen kann Deutschland nur auf wenig Empirie zurückgreifen, wenn es um eine Bewertung des Einsatzes von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge und / oder Überschwere geht. Da die Diskussionen in Europa um dieses Thema nicht abreißen und diese neuen Fahrzeugkonzepte als ein Baustein angesehen werden, das prognostizierte steigende Transportaufkommen zu bewältigen, hatte sich die im Jahre 2010 gewählte Bundesregierung in ihrem Koalitionsvertrag darauf verständigt, die Chancen und Risiken derartiger Fahrzeugkonzepte im Rahmen eines bundesweiten Feldversuchs auf Basis des Realbetriebs zu evaluieren.

Die Erkenntnisse aus bereits vorliegenden Studien zeigen, dass die Infrastruktur – und hierbei insbesondere die Brückenbauwerke (vgl. Ziffer 3.1.1) – nicht für den Einsatz von schwereren als den derzeit zugelassenen Lkw geeignet ist. Zudem geht mit der mit einer Gewichtserhöhung verbundenen höheren kinetischen Energie im Falle eines Unfalls die Gefahr einer deutlichen Verschlechterung der Verkehrssicherheit einher. Aus diesen Gründen sollten in dem geplanten Feldversuch nur längere, nicht aber auch schwerere Lkw getestet werden. Der damit verbundene Fokus auf den Transport von möglichst leichten Gütern soll zudem den Effekt bewirken, dass wenig bis keine Konkurrenzsituation zur Bahn oder der Binnenschifffahrt entsteht.

Das in der Öffentlichkeit emotional besetzte Thema, insbesondere höherer Gewichte, wird im Allgemeinen mit dem Produktnamen „Gigaliner“ in Verbindung gebracht. Zur klaren Abgrenzung wurde für die ausschließlich längeren, nicht aber auch schwereren Lkw der Begriff „Lang-Lkw“ geprägt.

## 4 Rahmenbedingungen des Feldversuchs

### 4.1 Rechtliche Grundlagen

Der Feldversuch wird seit dem 01.01.2012 im Rahmen einer auf fünf Jahre befristeten Ausnahme-Verordnung durchgeführt, die auf §§ 6 Abs. 1 i.V.m. Abs. 3 StVG beruht. Die Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusnV) regelt die Voraussetzungen, bei deren Erfüllen bestimmte Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge am Straßenverkehr abweichend von den Vorschriften der StVO und der StVZO teilnehmen dürfen. Die Verordnung trat am 01.01.2012 in und tritt mit Ablauf des 31.12.2016 außer Kraft. Ersteres Datum bildet demnach den Beginn, letzteres das Ende des Feldversuchs. Die Ausnahme-Verordnung definiert insbesondere die Anforderungen an die Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen und die Fahrer. Zudem werden die Vorgaben bezüglich der Ladung, zum Verhaltensrecht (Überholen) sowie zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Begleitung aufgeführt.

Eine Alternative zur Ausnahme-Verordnung wurde seitens des damaligen BMVBS nicht gesehen, da die Möglichkeit der etwaigen Erteilung von Erlaubnissen nach § 29 Abs. 3 StVO durch die Länder die Beförderung unteilbarer Ladung voraussetzt (vgl. Ziffer 2). Die Teilnehmer am Feldversuch durchlaufen somit kein explizites Genehmigungs- bzw. Erlaubnisverfahren, sondern müssen praktisch nur die in der Ausnahme-Verordnung aufgeführten Anforderungen und Bedingungen erfüllen. Eine dieser Bedingungen ist, die Teilnahme am Feldversuch gegenüber der BASt anzuzeigen (vgl. § 12 LKWÜberlStVAusnV).

Seitens der Gegner des Feldversuchs bestanden Bedenken gegen das formale Verfahren zur Durchführung des Feldversuchs auf der rechtlichen Basis einer Ausnahme-Verordnung durch den Bund ohne Mitwirkungsmöglichkeit durch die Länder. In der Folge wurden von einigen Bundesländern sowie Bundestagsabgeordneten Normenkontrollanträge beim Bundesverfassungsgericht (BVerfG) zur Prüfung der Rechtmäßigkeit der Ausnahme-Verordnung eingereicht, was zu einer gewissen Investitionsunsicherheit bei den Speditionen geführt haben könnte. Per Beschluss vom 01.04.2014 entschied das BVerfG jedoch, dass die „bis 2016 befristete Rechtsverordnung [...] mit dem Grundgesetz vereinbar“ ist (vgl. BVerfG - Pressemitteilung Nr. 46/2014 vom 28.05.2014). Dementsprechend wurden die Normenkontrollanträge als unbegründet beschieden.

### 4.2 Streckenfreigabe und Positivnetz

Obwohl auch Lang-Lkw die Anforderung nach § 32d StVZO hinsichtlich der Kurvenlauf Eigenschaften erfüllen müssen (vgl. dazu auch Ziffer 9.3), lassen bisherige Erfahrungen vermuten, dass eine generelle Befahrbarkeit sämtlicher Straßenverkehrsanlagen, insbesondere mit den bis zu 25,25 m langen Fahrzeugkombinationen, nicht per se möglich zu sein scheint (vgl. Ziffer 3.1.1). Lang-Lkw dürfen daher nur auf geeigneten Relationen fahren, d.h. nur auf solchen Straßen, die von den jeweils zuständigen Ministerien der betroffenen Länder als geeignet für den Einsatz mit Lang-Lkw befunden und dem BMVI mitgeteilt sowie anschließend in der Ausnahme-Verordnung veröffentlicht worden sind. Gemäß § 2 LKWÜberlStVAusnV ist der Verkehr mit Lang-Lkw daher ausschließlich auf den in der Anlage zur Ausnahme-Verordnung festgelegten Strecken zulässig. Eine Ausnahme bildet das in Bild 1 oben dargestellte Sattelkraftfahrzeug mit einer Gesamtlänge von bis zu 17,80 m (Typ 1). Fahrzeuge dieses Typs können zwar durch eine Verlängerung des Sattelanhängers um bis zu 1,30 m länger als ein herkömmliches Sattelkraftfahrzeug sein. Sie sind aber noch fast 1,00 m kürzer als ein herkömmlicher Lkw mit Anhänger (Gliederzug). Sattelkraftfahrzeuge mit einem verlängerten Sattelanhänger dürfen in den zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Ausnahme-Verordnung am Feldversuch aktiv beteiligten sieben Ländern Bayern, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Sachsen, Schleswig-Holstein und Thüringen das gesamte Streckennetz der jeweiligen Länder nutzen.

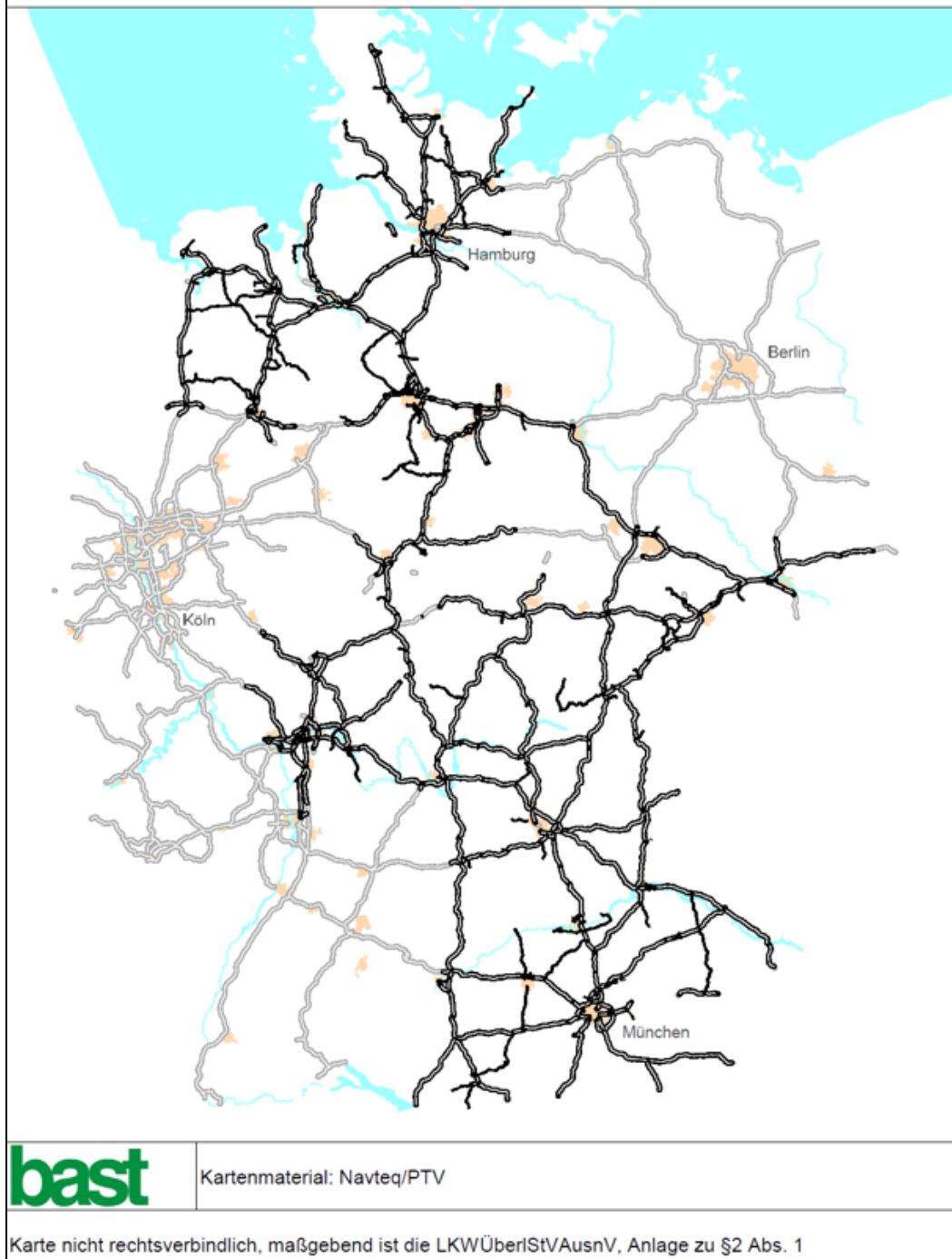
Die Überprüfung der von potentiellen Teilnehmern am Feldversuch gewünschten Strecken erfolgte dabei in Anlehnung an das Genehmigungs- bzw. Erlaubnisverfahren für Großraum- und Schwertransporte. Arbeitsstellen mit beengten Behelfsfahrstreifen, Ortsdurchfahrten, enge Kurven sowie vor allem auch kleinere Kreisverkehre unterlagen dabei einer besonderen Prüfung. Die Befahrbarkeit der potentiell kritischen Stellen konnte dabei näherungsweise mit Hilfe der von der BASt erstellten Schleppkurvenschablonen überprüft werden, die im Rahmen der 2006 durchgeführten Studie (vgl. Ziffer 3.1.1) für ausgewählte Fahrzeugkombinationen entwickelt worden waren. Zwar können diese Schleppkurvenschablonen nicht als repräsentativ für die Fahrzeuggruppe der Lang-Lkw gelten. Aufgrund der Fortschritte in der Fahrzeugtechnik (vgl. Ziffer 3.1.1) ist aber zu vermuten, dass diese Schleppkurven eher den ungünstigen Fall hinsichtlich der Flächeninanspruchnahme abdecken.

Das für den Einsatz mit Lang-Lkw freigegebene Straßennetz unterliegt einem dynamischen Prozess, der sich aus den Anforderungen an gewünschte Relationen der teilnehmenden Speditionen ergibt. Sofern ein Unternehmen eine Teilnahme mit Lang-Lkw mit bis zu 25,25 m Gesamtlänge am Feldversuch erwägt, muss es zuerst prüfen, ob die Routen, die mit einem Lang-Lkw befahren werden sollen, schon Bestandteil des Positivnetzes sind. Sofern die Routen nicht vollständig enthalten sind, besteht die Möglichkeit, eine Aufnahme der zu befahrenden Strecken in das Positivnetz bei den betroffenen Landesministerien zu beantragen, in deren Zuständigkeitsbereich sich die jeweiligen Routen befinden. Die Landesministerien prüfen dann unter Einbindung der jeweiligen Baulasträger die Geeignetheit der Strecke für den Einsatz mit Lang-Lkw und leiten diese Strecken dann gegebenenfalls als geeignet zur Aufnahme in das Positivnetz an das BMVI weiter. Eine Aufnahme in das Positivnetz erfolgt dann im Zuge einer durch das BMVI periodisch vorzunehmenden Novellierung der LKWÜberStVAusV.

Die nachfolgende Karte zeigt das Positivnetz zum Stand 30.04.2014. Die Karte hat dabei jedoch keine rechtsverbindliche Wirkung. Eine solche ist ausschließlich durch die rechtsverbindliche exakte Definition der freigegebenen Strecken in der zum Berichtszeitpunkt geltenden dritten Änderungs-Verordnung zum Feldversuch gegeben.

Mit Hilfe der zusammen mit der PTV Planung Transport Verkehr AG erstellten digitalen Karte besteht die Möglichkeit, relativ einfach statistische Auswertungen zu den Netzlängen vorzunehmen. Nach der dritten Änderungs-Verordnung zur LKWÜberStVAusV hat das Positivnetz insgesamt eine Länge von rund 9.300 Kilometern, etwa drei Viertel (über 6.800 Kilometer) sind davon Autobahnen. Dies entspricht über der Hälfte aller Autobahnen (BAB) in Deutschland und spiegelt nahezu alle AB der sieben am Feldversuch aktiv beteiligten Bundesländer (SH, HH, NI, HE, TH, SN, BY) wider. Daneben existieren noch einzelne Lückenschlüsse von Autobahnen in Baden-Württemberg und Sachsen-Anhalt. Hinzu kommt, dass mit der zweiten Änderungs-Verordnung Bremen seine Autobahnen und Mecklenburg-Vorpommern einzelne Strecken zum Befahren mit Lang-Lkw freigegeben haben.

## Positivnetz Lang-Lkw, Stand: 3. Änderungsverordnung Deutschland



**Bild 2:** Unverbindlicher Überblick über das Positivnetz gemäß der 3. Änderungsverordnung zur LKWÜberStVAusV vom 17.09.2013

Einige Länder lehnen den Lang-Lkw generell ab (vgl. auch Ziffer 5). Dies hat dazu geführt, dass eine Reihe von Bundesländern sich nicht am Feldversuch beteiligt und somit auch keine geeigneten Strecken für das Positivnetz für den Einsatz von Lang-Lkw ausweist. Der Blick auf die Karte verdeutlicht, dass das Positivnetz eine durchgehende Nord-Süd-Verbindung bietet. Eine durchgehende Ost-West-Verbindung ist hingegen nicht gegeben.



An der Gesamtlänge der überörtlichen Straßen ohne AB der sieben aktiv am Feldversuch teilnehmenden Länder haben die für Lang-Lkw freigegebenen Abschnitte von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen einen Anteil von zwei Prozent. Dies ist etwas mehr als ein Prozent des gesamten überörtlichen Straßennetzes ohne BAB in Deutschland. Gemeindestraßen sind lediglich mit einem Anteil von unter vier Prozent im Positivnetz vertreten. Ihr Anteil an allen Gemeindestraßen in Deutschland beträgt somit weniger als ein Promille.

Eine Sonderrolle hinsichtlich der Streckenfreigabe nehmen **höhengleiche Bahnübergänge** (BÜG) ein. Mit Schreiben vom 10.11.2010 hatte das BMVBS als Randbedingung zum Feldversuch festgelegt, dass „die Strecken grundsätzlich nicht über höhengleiche Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen (Bahnübergänge) führen sollen.“ In einem Schreiben der Abteilung Straßenbau (StB) des damaligen BMVBS vom 27.02.2012 wurde später zu diesem Sachverhalt näher ausgeführt, dass „Bahnübergänge im Verlauf der gemeldeten Strecken auf eine problemlose Befahrbarkeit hin“ überprüft werden müssen. Sofern eine Zustimmung der zuständigen Eisenbahnstreckenbetreiber vorläge, stünde einer Aufnahme in die Positivliste nichts entgegen.

Zur praktischen Umsetzung führt das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr in einer Presseinformation vom 28.09.2012<sup>8</sup> aus, dass der Ausschluss „auf jeden Fall für Bahnstrecken, auf denen Taktverkehre mit höheren Geschwindigkeiten und Güterverkehre in erheblichem Umfang stattfinden“, gelte. Es gäbe „zahlreiche Bahnübergänge, beispielsweise im Bereich von Häfen und Werksbahnen, auf denen es nur sehr wenig Bahnverkehr mit geringen Geschwindigkeiten gibt“. Diese könnten „auch mit Lang-LKW problemlos befahren werden“.

### 4.3 Anforderungen und Bedingungen an die Teilnahme

Die Ausnahme-Verordnung zum Feldversuch stellt weiterhin besondere Anforderungen an die am Feldversuch beteiligten Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen und deren Fahrer. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf den Aspekt der Verkehrssicherheit gelegt.

So sind Lang-Lkw mit bestimmten aktiven und passiven Sicherheitssystemen auszurüsten (so z. B. elektronisches Fahrdynamiksystem ESP, Spurhaltewarnsystem, automatisches Abstandsregelsystem oder Notbremsassistent, vgl. § 5 LKWÜberlStVAusV).

Eine weitere Anforderung betrifft den Einsatz im Kombinierten Verkehr (vgl. § 6 LKWÜberlStVAusV), für den ein Lang-Lkw zumindest theoretisch geeignet sein muss. Dabei sieht es der Ordnungsgeber als ausreichend an, wenn theoretisch der Transport von Gütern zumindest auf einem Teil der Strecke mit der Eisenbahn, dem Binnen-, Küsten- oder Seeschiff durchgeführt und dabei eine der Ladeeinheiten eines Lang-Lkw (z. B. Container, Wechselbrücke oder Sattelanhänger) mit Geräten umgeschlagen werden könnte, ohne das Transportgut selbst umzuschlagen.

Die Fahrer der Lang-Lkw (vgl. § 11 LKWÜberlStVAusV) müssen seit mindestens fünf Jahren ununterbrochen im Besitz der Fahrerlaubnis der Klasse CE sein und über mindestens fünf Jahre Berufserfahrung im gewerblichen Straßengüter- oder Werkverkehr verfügen. Außerdem ist eine zweistündige Unterweisung der Fahrer durch den Hersteller oder eine durch diesen beauftragte Stelle zu absolvieren, bei der insbesondere das Rangieren im Mittelpunkt der Übungen stehen soll.

Die Beförderung von kennzeichnungspflichtigen Gefahrgütern, flüssiger Ladung, lebenden Tieren und Gütern, die von der Decke herab freischwingend befestigt sind und aufgrund ihrer Masse die Fahrstabilität beeinträchtigen könnten, ist mit Lang-Lkw aus Gründen der Gefahrenabwehr ebenso untersagt wie auch das Überholen von Fahrzeugen, die schneller als 25 km/h fahren (vgl. §§ 8 und 9 LKWÜberlStVAusV).

<sup>8</sup> Sitzung des Niedersächsischen Landtages am 28.09.2012 - TOP 39. Antwort von Wirtschaftsminister Jörg Bode auf die mündliche Anfrage der Abgeordneten Gerd Will, Heinrich Aller, Marcus Bosse, Wolfgang Jüttner, Jürgen Krogmann, Olaf Lies, u.a.

#### 4.4 Teilnahmebekundung

Teilnehmer am Feldversuch durchlaufen zwar kein explizites Genehmigungs- bzw. Erlaubnisverfahren; die Teilnahme am Feldversuch ist aber gegenüber der BAST anzuzeigen (vgl. § 12 LKWÜberlStVAusnV). Die in der Ausnahme-Verordnung geforderten Nachweise über die Einhaltung der Anforderungen an die eingesetzten Fahrzeuge werden durch die Teilnehmer anhand geeigneter Unterlagen (Sachverständigengutachten, Herstellernachweise) selbst erbracht. Die BAST prüft die eingereichten Unterlagen jedoch nicht auf deren Richtigkeit, da ihr keine Kontrollfunktion obliegt. Sobald bei der BAST die nach der Ausnahme-Verordnung geforderten Unterlagen eingegangen sind (sog. Teilnahmebekundung), stellt diese eine Bescheinigung über den Eingang der Unterlagen und eine Teilnahmebekundung am Feldversuch aus. Die Bestätigung des Eingangs der erforderlichen Unterlagen erfolgt aus rein praktischen Erwägungen und stellt keine Bescheinigung über die Vereinbarkeit der Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit den Anforderungen der Ausnahme-Verordnung dar. Sollten bei Kontrollen von Lang-Lkw durch die Polizei oder das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) etwaige Verstöße gegen die Anforderungen der Ausnahme-Verordnung festgestellt werden, so wird dies der BAST unter Beachtung datenschutzrechtlicher Belange mitgeteilt, damit sie in der wissenschaftlichen Untersuchung Berücksichtigung finden können.

### 5 Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung

Die Diskussion um den Feldversuch mit Lang-Lkw war von Beginn an emotional. Ausgehend von den Argumenten gegen längere und schwerere Lkw aus der Vergangenheit wurden auch gegen die im Feldversuch ausschließlich adressierte Vergrößerung der Länge von Interessenvertretern der Bahn, von Umweltverbänden, aber auch Automobilclubs Bedenken geltend gemacht.

Die Kritik betrifft prinzipiell folgende drei zentrale Punkte:

1. Die Verkehrssicherheit würde durch größere und / oder schwerere Lkw gefährdet.
2. Die Infrastruktur wird durch größere und / oder schwerere Lkw derart beansprucht, dass eine Ertüchtigung und / oder Instandsetzung die Allgemeinheit mit enormen Kosten belasten würde.
3. Durch die zu erwartende Effizienzsteigerung und damit einhergehenden Kostenvorteile im Straßengüterverkehr würden Transporte von der Schiene auf die Straße verlagert und / oder neue Verkehre auf der Straße induziert, sodass schließlich nicht weniger, sondern mehr Straßengüterverkehr stattfinden würde.

Auch der Umstand, dass es sich beim Lang-Lkw um ausschließlich längere, nicht jedoch schwerere Lkw handelt, hat keine grundlegende Veränderung in der Diskussion gebracht. So wird beispielsweise von Seiten eines Automobilclubs als größtes Risiko für den Einsatz der Lang-Lkw das Überholen auf den einbahnig zweistreifigen Landstraßen angeführt. Dass die Infrastruktur für den Einsatz von Lang-Lkw nicht ausgelegt sei, weil vor allem die Rastanlagen und Kreisverkehre nicht entsprechend bemessen sind, ist ebenfalls ein weiterhin vorgebrachtes Gegenargument. Dies gilt gleichermaßen für die Befürchtungen hinsichtlich der Verkehrsnachfragewirkungen, die eine Verlagerung zu Lasten der Schiene unterstellen. Insofern war es das Ziel der Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung, alle in der Öffentlichkeit diskutierten Hoffnungen in und Bedenken gegen den Feldversuch umfassend zu berücksichtigen.

Neben der umfassenden Berücksichtigung der öffentlichen Diskussion sollte die Konzeption darauf ausgerichtet sein, mit der wissenschaftlichen Begleitung möglich frühzeitig belastbare Ergebnisse liefern zu können. Gleichzeitig sollte die Auseinandersetzung mit dem Lang-Lkw sachgerecht und wissenschaftlich fundiert erfolgen und für die Öffentlichkeit transparent dargestellt werden. Zur Vorbereitung des Versuchs und der damit einhergehenden wissenschaftlichen Begleitung wurden daher zunächst die relevanten Fra-

gestellungen identifiziert. Im Rahmen einer internationalen Literaturstudie und unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie öffentlichen Diskussion wurden diejenigen Aspekte ermittelt und aufgelistet, die – und seien sie auch noch so wenig bedeutsam und / oder relativ leicht zu beantworten – als mögliche Chancen und Risiken für einen Einsatz von Lang-Lkw in den verschiedenen Quellen benannt wurden. Diese Liste wurde im Rahmen eines Expertenkolloquiums im Mai 2011 diskutiert. Das Ergebnis war eine Übersicht über die als relevant erachteten und zu untersuchenden Themenfelder (vgl. Bild 3).

<b>Fahrzeuge</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bremsverzögerung</li> <li>• Fahrdynamik</li> <li>• Windstabilität</li> <li>• Toter Winkel</li> <li>• Unfallgeschehen / <i>Konfliktanalyse</i></li> <li>• Bergungs- und Abschleppmöglichkeiten</li> <li>• Sichtbeschränkungen anderer Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Sogwirkung auf Zweiräder</li> <li>• <i>Kennzeichnung Fahrzeuge</i></li> <li>• <i>Aerodynamik</i></li> </ul>	<b>Fahrer</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychologische Aspekte – Fahrer</li> <li>• <i>Fahrermangel</i></li> <li>• <i>Verhaltensrecht</i></li> </ul>
<b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beanspruchung der Straßeninfrastruktur</li> <li>• Schleppkurven / Befahrbarkeit Verkehrsanlagen</li> <li>• Überholen, Räumen</li> <li>• Auswirkungen auf Verkehrsablauf</li> <li>• Arbeitsstellen</li> <li>• Schutzeinrichtungen</li> <li>• Brandverhalten in Tunneln</li> <li>• Routentreue / -akzeptanz</li> </ul>	<b>Transport, Logistik und Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>(Betriebs-)Wirtschaftlichkeit</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kraftstoffverbrauch</li> </ul> </li> <li>• <i>Emissionen</i></li> <li>• <i>Verkehrsnachfrageeffekte</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verlagerungseffekte</li> <li>– <i>Induzierter Verkehr</i></li> </ul> </li> <li>• <i>Auswirkungen auf KV, Hinterlandanbindung, Wechselbrückenverkehr</i></li> <li>• <i>Feindistribution / Be- und Entladestellen</i></li> <li>• <i>Fahrzeugauslastung</i></li> <li>• <i>Auswirkungen auf Industrieansiedlungen</i></li> <li>• <i>Auswirkungen auf die Gewerbestruktur</i></li> </ul>
	<b>Sonstiges</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychologische Aspekte – Andere Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Öffentlichkeitswirkung</li> </ul>

*kursiv: zusätzliche Vorschläge der externen Experten*

**Bild 3: Ergebnis des Expertenkolloquiums am 17.05.2011**

Die Teilnehmer am Kolloquium waren sich zudem einig, dass ergänzend zu den Beobachtungen und Befragungen im Rahmen des praktischen Teils des Feldversuchs bestimmte Fragestellungen experimentell oder theoretisch zu evaluieren sind (beispielsweise Anprallversuche an passive Schutzeinrichtungen oder Brandverhalten in Tunneln). Da es insbesondere bei den experimentellen Untersuchungen nicht möglich ist, alle denkbaren Fahrzeugkombinationen mit allen möglichen Eigenschaften zu testen, mussten in einem ersten Arbeitsschritt die im Feldversuch eingesetzten Fahrzeuge und ihre Eigenschaften systematisiert werden, um die maßgebenden Fahrzeugkombinationen für die Versuche – zum Beispiel zur Analyse der Bremswirkung – zu bestimmen.

Bei der Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung wurde aufgrund der dem damaligen BMVBS vorliegenden Interessensbekundungen in erster Näherung eine zu erwartende Teilnehmeranzahl von 400 Lang-Lkw unterstellt. Diese Anzahl wurde von den Experten als nicht ausreichend eingestuft, um gewisse Fragestellungen allein auf Grundlage von Beobachtungen in einem testweisen Betrieb von Lang-Lkw beantworten zu können. Auch diesem Umstand wurde durch die Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung begegnet. Beispielhaft sei hier die Frage nach den Auswirkungen auf den Verkehrsablauf genannt. Um weitgehend unabhängig von der Teilnehmerzahl zu sein, sollte dieser Fragestellung daher mittels Simulation nachgegangen werden.

Es muss jedoch auch konstatiert werden, dass sich einzelne Fragestellungen weder durch einen Feldversuch noch mit experimentellen oder modelltheoretischen Untersuchungen beantwortet lassen, sondern sich erst durch einen über mehrere Jahre, wenn nicht Jahrzehnte andauernden Realbetrieb zeigen werden. Als Beispiele dafür sind Fra-

gen nach den möglichen Auswirkungen auf die Standortwahl für Industrieansiedlungen und die Gewerbestruktur in der Logistikbranche zu nennen.

Da BÜG in eigener Zuständigkeit von den Ländern hinsichtlich der problemlosen Befahrbarkeit hin überprüft wurden, war dieser Aspekt kein Untersuchungsbestandteil der wissenschaftlichen Begleitung.

Die Frage der Auswirkungen auf die Brückenbeanspruchung durch den Einsatz von Lang-Lkw war im Expertenkolloquium unter der Randbedingung des unveränderten zulässigen Gesamtgewichts ebenfalls kein Diskussionspunkt. Dementsprechend wurde das Thema „Brücken“ auch nicht als relevantes Themenfeld für den Feldversuch eingestuft (vgl. Bild 3) und daher aus der wissenschaftlichen Begleitung ausgeklammert.

Um ein Höchstmaß an Transparenz hinsichtlich der wissenschaftlichen Begleitung zu gewährleisten, wurde das umfangreiche Untersuchungsprogramm im Januar 2013 einem großen Teilnehmerfeld bestehend aus Interessensvertretern, Fahrzeugherstellern, Ländervertretern und am Feldversuch teilnehmenden sowie interessierten Unternehmen vorgestellt.

Aufgrund der Rahmenbedingungen des Feldversuchs, aber auch um den wissenschaftlichen Ansprüchen sowie den politischen Anforderungen gerecht zu werden, kann die wissenschaftliche Begleitung in mehrere Untersuchungsphasen strukturiert werden, die sich zum Teil überlagern (vgl. Bild 4):

### **Anlaufphase**

In der gegen Ende 2012 abgeschlossenen Anlaufphase wurde das während des Entwurfs der Ausnahme-Verordnung von der BASt entwickelte Untersuchungsprogramm an die sich einstellenden Rahmenbedingungen angepasst und weiterentwickelt. Die Forschungsaufträge an die externen Forschungsnehmer wurden vergeben. Gemeinsam wurde die detaillierte Vorgehensweise bei den verschiedenen Untersuchungen abgestimmt. So wurden beispielsweise Fragebögen entwickelt, mit einigen teilnehmenden Expeditionen hinsichtlich Handhabung und Aufwand getestet und Pre-Tests zum Einsatz von Erfassungstechnik für Fahrverhaltensbeobachtungen durchgeführt.

### **Datenerhebungsphase**

Praktisch mit dem Eingang der ersten Teilnahmebekundung eines Unternehmens begann die Datenerhebungsphase. Diese umfasst die Sammlung und Auswertung der im Rahmen der Meldung bei der BASt eingehenden Unterlagen.

Zudem wurden die Kontrollbehörden (Polizei und BAG) gebeten, bei Kontrollen von Lang-Lkw festgestellte etwaige Verstöße gegen die Anforderungen der Ausnahme-Verordnung oder auch allgemeine Regelungen der BASt unter Beachtung datenschutzrechtlicher Belange mitzuteilen (vgl. Ziffer 4.4). Gleichermaßen wurde dies auch für Unfallmeldebögen bei möglichen Unfällen mit Beteiligung von Lang-Lkw und für Daten eventueller anderer besonderer Ereignisse im Zusammenhang mit dem Einsatz von Lang-Lkw (zum Beispiel Panne im Tunnel) erbeten. Diese Untersuchungsphase wird sich vor allem aus statistischen Gründen im Hinblick auf die zu erwartenden Fallzahlen über den gesamten Zeitraum des Feldversuchs erstrecken (vgl. Ziffer 7).

### **Analysephase**

Die Analysephase sollte möglichst zügig zu den meisten Fragestellungen belastbare Antworten liefern, um diese in dem hiermit vorgelegten Zwischenbericht zusammenfassen zu können. Die Analysephase startete praktisch mit dem Auftragsbeginn des ersten Forschungsprojekts im Mai 2012 und endete etwa zwei Jahre später mit dem Ablauf des vorerst letzten Forschungsauftrags im Frühjahr 2014. In umfangreichen statistischen Erhebungen wurden anhand der entwickelten Fahrtprotokolle und von Befragungen zahlreiche Angaben zu den eingesetzten Fahrzeugen, den Fahrern, den transportierten Gütern und den gewählten Routen erfasst (vgl. Ziffern 6, 8, 9 und 13). Mit Hilfe von Interviews

und Beobachtungen wurden unter anderem die Interaktionen der Fahrzeuge mit der Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmern analysiert. Als Beispiele sind die Begleitung von Fahrern von Lang-Lkw im Fahrzeug (vgl. Ziffer 13) oder Beobachtungen von Abbiegevorgängen (vgl. Ziffer 12.4.3) und des Fahrverhaltens in Arbeitsstellen auf Autobahnen (vgl. Ziffer 12.5) zu nennen.

Ergänzend wurden in dieser Zeit auch eine Reihe von experimentellen und modelltheoretischen Untersuchungen vorgenommen. Dazu zählt beispielsweise die Ermittlung der Auswirkungen auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln (vgl. Ziffer 11).

Der Umfang insbesondere dieser Untersuchungen war durch das verfügbare Forschungsbudget begrenzt.

### Abschlussphase

Etwa ein halbes Jahr vor Ablauf der Ausnahme-Verordnung (etwa im Sommer 2016) sind in der Abschlussphase für ein abschließendes Gesamtergebnis gegebenenfalls gebotene Nacherhebungen zur Analysephase geplant. Die gesamten Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleituntersuchung werden dann durch die BASt in einem abschließenden Bericht nach Ende des Feldversuchs zusammengefasst.

Der nun vorgelegte 1. Zwischenbericht umfasst neben der Anlaufphase auch nahezu die erste Hälfte der Datenerhebungsphase sowie die komplette Analysephase. Der Bericht enthält die Ergebnisse aller zwischenzeitlich vergebenen Forschungsprojekte einschließlich ihrer zusammenfassenden Bewertung.



**Bild 4:** Untersuchungsphasen der wissenschaftlichen Begleitung

## 6 Statistische Auswertungen

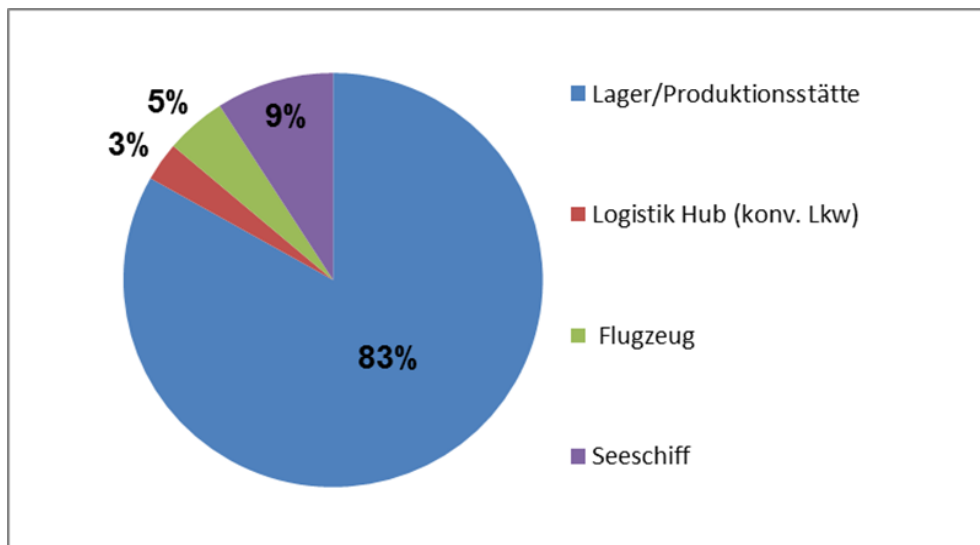
Im Ergebnis einer zwölfmonatigen kontinuierlichen Fahrtenerhebung im Rahmen des FE 89.0273 (RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING, 2014, vgl. auch Ziffer 8) zeigt sich die Teilnahme am Feldversuch wie folgt:

- In den zwölf Monaten der Fahrtenerhebung wurden von Ende 2012 bis Ende 2013 an rund 13.500 Transportvorgänge mit Lang-Lkw erfasst.<sup>9</sup>
- Die daraus resultierenden 2,53 Millionen Fahrzeugkilometer wurden von 21 Unternehmen mit insgesamt 37 verschiedenen Lang-Lkw erbracht, wobei zu beachten ist, dass die Anzahl der teilnehmenden Unternehmen und eingesetzten Lang-Lkw im Erfassungszeitraum gestiegen ist.<sup>9</sup> Die so dokumentierte Fahrleistung von Lang-Lkw entspricht etwa 0,1 Promille der in 2013 erbrachten mautpflichtigen Fahrten (27,2 Mrd. km)<sup>10</sup>.

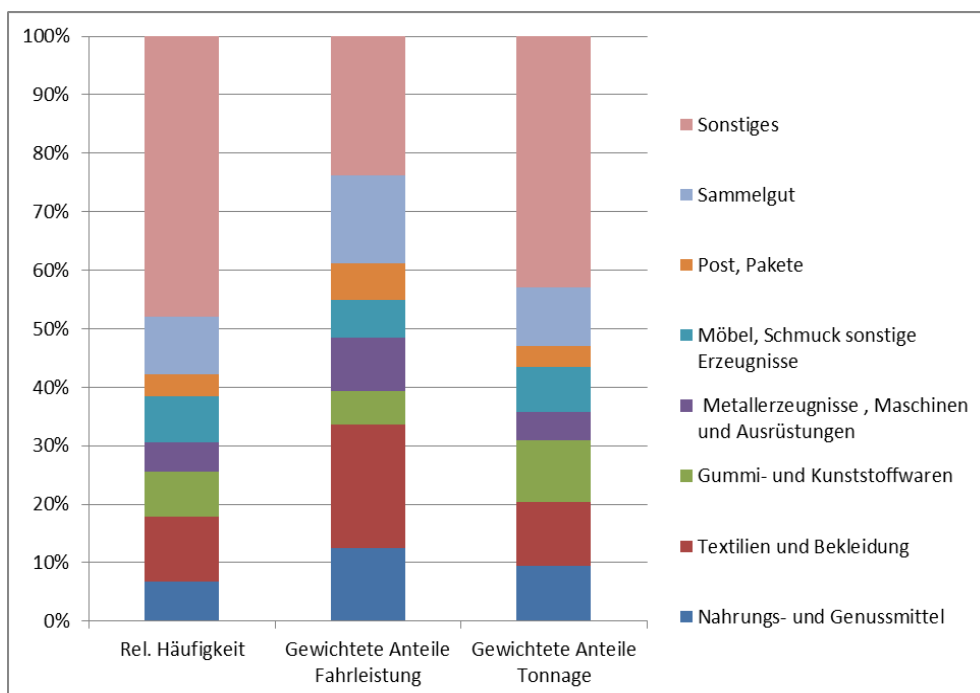
<sup>9</sup> Bei einer nach sechs Monaten erfolgten Zwischenbilanz waren es rund 5.000 Fahrten. Die daraus resultierenden knapp eine Millionen Fahrzeugkilometer wurden von 16 Unternehmen mit insgesamt 29 verschiedenen Lang-Lkw erbracht.

<sup>10</sup> BAG: Mautstatistik Jahrestabellen 2013

- Von den Lang-Lkw wurde dabei eine Frachtmenge von 144.000 t transportiert.
- Die durchschnittliche Fahrtweite je Lang-Lkw-Fahrt beträgt rund 200 km, wobei die Varianz zwischen etwas mehr als 10 km und fast 800 km pro Fahrt liegt.
- Mehr als 80 % der Fahrten finden dabei zwischen Warenlagern und / oder Produktionsstätten als Pendelverkehre respektive im Hauptlauf statt (vgl. Bild 5).
- Das Spektrum der von den Lang-Lkw transportierten Güter reicht von Teilen für die Automobilbranche über Haushaltsgeräte (weiße Ware), Luftfracht, Kleidung und Lebensmittel bis hin zu Verpackungsmaterial (vgl. Bild 6).
- Knapp 17 % aller beobachteten Fahrten wurden im Kombinierten Verkehr durchgeführt. Da es sich aber im Vor- und Nachlauf zum Kombiterminal um vergleichbar kurze Transportweiten handelt, beträgt der Anteil bezogen auf die Transportleistung (Tonnenkilometer) lediglich 6 %.



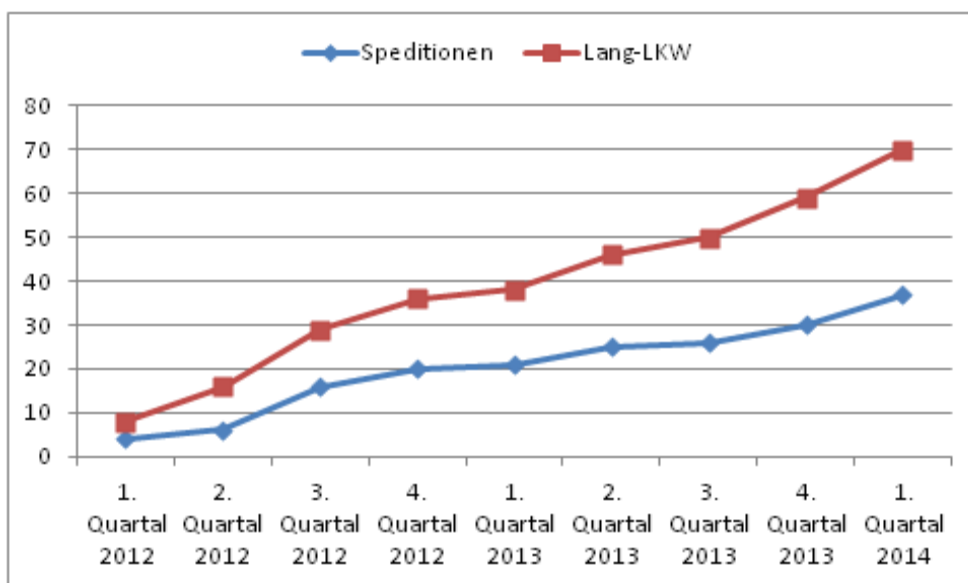
**Bild 5: Quelle / Ziel der Fahrten mit Lang-Lkw (RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING, 2014)**



**Bild 6: Struktur der transportierten Güter (RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING, 2014)**

Basierend auf den statistischen Auswertungen im Rahmen des FE 82.0543 (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014, vgl. auch Ziffer 9) sowie auf deren teilweiser Fortschreibung durch die BASt können folgende Angaben zur Verteilung der bei der BASt gemeldeten Typen von Lang-Lkw gemacht werden:

- Die Zahl der Anmeldungen am Feldversuch ist über den Berichtszeitraum mehr oder weniger kontinuierlich angestiegen. Die Anzahl der gemeldeten Lang-Lkw stieg dabei nahezu proportional mit dem Faktor 2 zur Anzahl der teilnehmenden Speditionen (vgl. Bild 7).
- Die angemeldete Teilnehmerzahl entspricht dabei jedoch nicht der Anzahl tatsächlich Fahrer. Darüber liegen nur ungenaue Kenntnisse vor. Diese Ursache ist darin zu finden, da nach der Ausnahme-Verordnung keine Abmeldepflicht für die Teilnehmer besteht. Aus persönlichen Gesprächen ist jedoch bekannt, dass einzelne Speditionen nach erfolgter Teilnahmebekundung schließlich doch nicht am Feldversuch teilgenommen haben oder inzwischen nicht mehr teilnehmen.

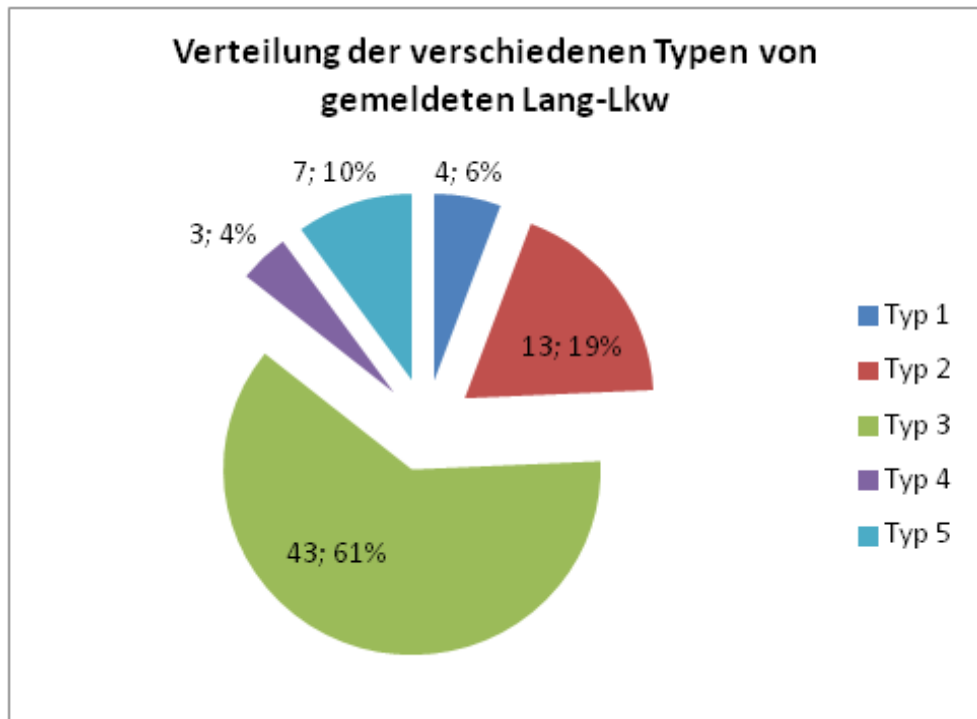


**Bild 7: Zeitliche Entwicklung der bei der BASt gemeldeten Teilnehmer am Feldversuch**

Der mit Abstand am häufigsten eingesetzte Typ (vgl. Bild 1) ist der Lang-Lkw vom Typ 3, bestehend aus einem Motorwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger (Stand 30.04.2014). Über 60 % der bei der BASt gemeldeten Lkw sind diesem Typ zuzuordnen. An zweiter Stelle rangiert mit 19 % Anteil der Typ 2, d.h. ein Sattelkraftfahrzeug mit angekuppeltem Zentralachsanhänger. 10 % aller gemeldeten Lang-Lkw sind dem Typ 5 zuzuordnen. Hierbei ist jedoch als Besonderheit anzumerken, dass die Lang-Lkw von diesem Typ mit einer Ausnahme nur von einer Spedition eingesetzt wurden. Mit lediglich 6 % beziehungsweise 4 % spielen die Typen 4 und 1 bisher nur eine untergeordnete Rolle im Feldversuch.

Nicht in der Rangfolge, jedoch in den Anteilen hat sich die Verteilung im Berichtszeitraum deutlich verschoben. Noch Ende 2013 waren fast drei Viertel aller gemeldeten Lang-Lkw vom Typ 3, während die Typen 1 und 4 nur je einmal vorkamen.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass der Anteil der am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw gemessen an der Anzahl der in 2013 vom BAG ermittelten Mautfahrzeuge von rund 580.000 (BAG, 2014) bei etwa 0,1 Promille liegt.



**Bild 8:** Verteilung der gemäß verschiedenen Typen der bei der BASt gemeldeten Lang-Lkw

## 7 Unfälle und andere besondere Ereignisse

### 7.1 Unfälle mit Beteiligung von Lang-Lkw

Lang-Lkw waren bis zum Berichtszeitpunkt an fünf leichten Unfällen beteiligt, bei denen es viermal ausschließlich zu Blechschaden und einmal sogar nur zu einer leichten Beschädigung des Banketts durch den Abschleppwagen kam. Bei diesen Unfällen mit leichtem Sachschaden lässt sich ein Zusammenhang mit den für Lang-Lkw charakteristischen Eigenschaften zwar nicht gänzlich ausschließen, jedoch auch nicht eindeutig belegen.

Der erste Unfall ereignete sich an einem innerörtlichen plangleichen Knotenpunkt, der jedoch nicht im Positivnetz liegt. Die Befahrung dieses Knotenpunkts durch einen Lang-Lkw stellt somit einen Verstoß gegen die Ausnahme-Verordnung dar (vgl. Ziffer 7.2). Laut Aussage der Spedition ist der Fahrer durch die Routenführung des Navigationsgeräts fehlgeleitet worden. Bei dem Unfall kollidierte der gradeausfahrende Pkw auf dem benachbarten Fahrstreifen beim Linkseinbiegen des Lang-Lkw mit dessen ausschwenkendem Heck. Da beide beteiligten Fahrzeuge am Unfallort nicht mehr in der Position unmittelbar nach dem Verkehrsunfall angetroffen wurden, konnte von der Polizei nicht zweifelsfrei festgestellt werden, ob der Lang-Lkw zu weit nach rechts oder der Pkw zu weit nach links abgekommen war. Eine eindeutige Bestimmung des Hauptverursachers war wegen unterschiedlicher Aussagen somit nicht möglich.

In dem zweiten Fall kam es auf einer Autobahn im Zuge einer Fahrstreifenreduktion von zwei auf einen Fahrstreifen im Zulauf auf eine Arbeitsstelle zu einer Berührung zwischen einem Pkw und einem Lang-Lkw (vgl. dazu auch Ziffer 12.5). Am Pkw wurden der Beifahrerspiegel und die Beifahrertür durch die Heckränge des Sattelanhängers beschädigt. Laut Aussage des Lang-Lkw-Fahrers hätte der Pkw-Fahrer trotz erkennbaren Endes seines Fahrstreifens seine Geschwindigkeit nicht entsprechend verringert, um seinen Überholvorgang abubrechen und frühzeitig hinter dem Lang-Lkw einzuscheren. Der Pkw-Fahrer vertrat den Standpunkt, er sei vom Lang-Lkw abgedrängt worden. Somit war auch



in diesem Fall laut Polizeiprotokoll eine eindeutige Bestimmung des Hauptverursachers wegen unterschiedlicher Aussagen nicht möglich.

Der dritte Unfall unter Beteiligung eines Lang-Lkw ereignete sich an einer Einfahrt an einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn (vgl. dazu auch Ziffer 12.3), als ein Pkw (Hauptverursacher des Unfalls) beim Auffahren auf die Autobahn den auf dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn fahrenden Lang-Lkw nicht beachtete. In der Folge kam es zum seitlichen Streifen zwischen dem Pkw und dem Lang-Lkw, infolgedessen an beiden Fahrzeugen leichter Sachschaden entstand. Auch hier wurden keine Personen verletzt. Inwieweit die Länge des Lang-Lkw bei diesem Unfall unfallbegünstigend gewirkt hat, kann nicht geklärt werden.

Beim vierten Unfall stand der Lang-Lkw in einer Wartespur an der Be-/Entladestelle, als der Hauptverursacher des Unfalls mit seiner Zugmaschine beim Rückwärtsfahren den Anhänger des Lang-Lkw beschädigte. Ein Zusammenhang mit der Länge ist hierbei ebenfalls unklar, jedoch unwahrscheinlich.

Beim fünften Unfall kam es zu einem technischen Defekt an der lenkbaren Dolly des Lang-Lkw, als sich eine Arretierung löste. Dadurch geriet der Sattelanhängler ins Schleudern und fuhr in das Bankett, ohne es dabei jedoch zu beschädigen. Dies erfolgte erst durch den Abschleppdienst, sodass dem Lang-Lkw-Fahrer kein ordnungswidriges Handeln vorgeworfen werden konnte.

## 7.2 Besondere Vorkommnisse

Von vier Lang-Lkw-Fahrern sind Verstöße gegen Anforderungen der Ausnahme-Verordnung bekannt geworden. Hierbei handelt es sich in drei Fällen um Fahrten außerhalb des Positivnetzes (vgl. § 2 LKWÜberStVAusnV), die jedoch weniger bewusst durchgeführt wurden, sondern eher auf Irrtümern beziehungsweise mangelnder Sorgfalt hinsichtlich der Überlagerung von geplanter Route mit dem freigegebenen Streckennetz beruhten. Im vierten Fall erfolgte ein Verstoß gegen das Überholverbot (vgl. § 9 LKWÜberStVAusnV). Gleichzeitig wurde in diesem Fall festgestellt, dass nicht alle erforderlichen Nachweise mitgeführt wurden (vgl. § 7 LKWÜberStVAusnV) sowie Verstöße gegen weitere allgemein geltende Regelungen vorlagen.

Im Zusammenhang mit einer Streckensperrung nach einem Unfall (ohne Lang-Lkw-Beteiligung) auf einer Autobahn besteht Unklarheit darüber, ob ein Verstoß gegen § 10 LKWÜberStVAusnV vorlag und der Fahrer des Lang-Lkw von dieser Streckensperrung vor Fahrtantritt hätte Kenntnis haben können. Infolge der Streckensperrung wurde der Lang-Lkw von der Polizei zur Gefahrenabwehr durch die abgesperrte Unfallstelle geleitet, da die Umleitungsstrecke nicht im Positivnetz lag und somit für den Lang-Lkw nicht befahrbar war.

## 7.3 Zwischenergebnis

Aufgrund der bislang geringen Anzahl der im Einsatz befindlichen Lang-Lkw waren zum Berichtszeitpunkt noch keine belastbaren Erkenntnisse zum Unfallgeschehen zu erwarten. Die Sammlung von Daten zu möglichen Unfällen und anderen besonderen Ereignissen ist unter diesem Gesichtspunkt aus statistischen Gründen daher über die gesamte Laufzeit vorgesehen (vgl. Ziffer 5).

Bislang haben sich jedoch auf Basis des Unfallgeschehens keine eindeutigen Hinweise auf mögliche negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch den Einsatz von Lang-Lkw ergeben – zumindest sofern die Fahrer sich regelkonform und gemäß den Anforderungen der Ausnahme-Verordnung verhalten haben. Denn wenn es sich bei dem ersten eingetretenen Unfall auch lediglich um einen Einzelfall handelt und somit keinerlei statistische Aussagekraft besteht, kann er doch im Zusammenhang mit den Erkenntnissen zur Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten (vgl. Ziffer 12.4.3) als Indiz dafür gewertet werden, dass die Kurvenlaufeigenschaften von längeren Fahrzeugkombinatio-

nen unter Umständen unfallbegünstigend an diesem Knotenpunkt waren und somit die Beschränkung der Lang-Lkw auf ein vorher als geeignet bewertetes Straßennetz derartige Unfälle vermeiden kann.

Eine eindeutige Folgerung lässt sich nicht ziehen. Es gibt jedoch leichte Anzeichen dafür, dass das teilweise nicht zusammenhängende Positivnetz unter Umständen die Fahrer und / oder Disponenten bei der Routenplanung vor Herausforderungen stellt.

## **8 Marktpotenzial von Lang-Lkw**

### **8.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik**

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs mit Lang-Lkw wurde unter anderem die Abschätzung eines generellen Marktpotenzials der Lang-Lkw, basierend auf den im Feldversuch tatsächlich beobachteten und erfassten Transportvorgängen, vorgenommen. Zudem sollten die Grundlagen für modelltheoretische Untersuchungen von Einsatzszenarien von Lang-Lkw geschaffen werden. Die zu diesem Zweck durchgeführten empirischen Erhebungen waren ebenfalls Bestandteil und Input für weitere Fragestellungen, die im Rahmen der wissenschaftlichen Analyse des Feldversuchs untersucht wurden, wie zum Beispiel Fragestellungen nach Fahrzeugsicherheit und Umweltauswirkungen (vgl. z. B. Ziffer 9.6).

Daher bestanden grundlegende Arbeitsschwerpunkte der Untersuchung in der Entwicklung des Designs, der Koordination, der Durchführung und der Auswertung der empirischen Erhebungen der im Rahmen des Feldversuchs durchgeführten Transportvorgänge.

Die Ausführungen in den Ziffern 8.1 bis 8.3 basieren auf dem von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführten Forschungsprojekt FE 89.0273 „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung“ und geben Ziel, Vorgehen und wesentliche Ergebnisse des Forschungsprojektes wieder.

Im Forschungsprojekt wurden innerhalb eines zwölfmonatigen Erhebungszeitraums von Ende 2012 bis Ende 2013 die durchgeführten Transportvorgänge mittels eines Web-basierten Online-Fragebogens im Wochenrhythmus erhoben und analysiert (vgl. dazu auch Ziffer 6). Parallel dazu wurden Experten aus Politik, Wirtschaft und Fachmedien sowie Transportunternehmen, die nicht am Feldversuch teilnehmen, als auch die am Feldversuch teilnehmenden Unternehmen zu ihren spezifischen Einschätzungen zum Feldversuch und zum Lang-Lkw befragt. Hierzu gehörten Einschätzungen zu den Einsatzfeldern, Kriterien der Verkehrsmittelwahl und erwartete Vor- und Nachteile des Lang-Lkw, die Anforderungen an die Infrastruktur, potenzielle Veränderungen bei logistischen Prozessen und Transportketten sowie eine generelle Einschätzung des Marktfeldes für den Lang-Lkw. Weiterhin wurden mit Hilfe der empirischen und qualitativen Erhebungsergebnissen und Mithilfe von deskriptiven Analysen vorhandener Güterverkehrsstatistiken für deutsche Lkw die Marktpotenziale für den Einsatz von Lang-Lkw abgeschätzt.

### **8.2 Ergebnisse**

Die erhobenen Daten zu den Kostenstrukturen des Lang-Lkw und die Vergleichswerte zum konventionellen Lkw lassen grundsätzlich erkennen, dass sich die Kostenvorteile des Lang-Lkw in seinem erweiterten Ladevolumen begründen. Hier konnte ein Kostenvorteil in Höhe von ca. 16 % im Vergleich zum konventionellen Lkw ermittelt werden. Im Gegensatz zu anderen Verkehrsträgern sowie auch zum konventionellen Lkw lassen sich diese Vorteile allerdings nur durch den Transport von Volumengütern erreichen, wenn diese eine Mindestauslastung von 83 % des Transportvolumens (Stellplätze / Raumvolumen) erlauben. Da der Lang-Lkw aufgrund der administrativen Regelungen, speziell der technischen und rechtlichen Vorgaben der Ausnahme-Verordnung für den Feldversuch eine geringere relative Nutzlast gegenüber herkömmlichen Lkw aufweist, aber in der Be-

schaffung und im Transporteinsatz bezogen auf die Lkw-Kilometer und Tonnenkilometer höhere Kosten mit sich bringt, ist ein betriebswirtschaftlich effizienter Einsatz nicht durch das absolute Transportgewicht, sondern nur durch eine erhöhte Ladeeinheits- bzw. Stellplatzkapazität gegeben, welche nur mit Volumengütern erreicht werden kann.

Alle im zwölfmonatigen Erhebungszeitraum beobachteten und erfassten Transportvorgänge wurden bisher anstatt mit Lang-Lkw per konventionellen Lkw durchgeführt. Im Durchschnitt ersetzte dabei eine Lang-Lkw-Fahrt 1,56 Fahrten mit konventionellen Lkw. Dies bedeutet, dass zwei Lang-Lkw-Fahrten sogar etwas mehr als drei Fahrten per konventionellen Lkw ersetzen. Dies heißt auch, dass bei den bisher im Feldversuch durchgeführten Lang-Lkw-Transporten keine Verlagerung von Schienen- auf Straßengüterverkehr beobachtet wurde, sondern diese Transporte bisher auf der Straße durchgeführt wurden.

Auch die im Feldversuch beobachteten Güter- und Logistikstrukturen lassen eine grundsätzliche Verlagerungswirkung beziehungsweise eine Affinität zum Schienengüterverkehr nicht als sehr wahrscheinlich erscheinen. Im Einzelnen stützt sich diese Aussage auf dem bereits in Ziffer 6 aufgeführten

- hohen Anteil aller Fahrten als Pendelverkehre beziehungsweise im Hauptlauf zwischen Warenlagern und / oder Produktionsstätten (vgl. Bild 5),
- hohen Anteil aller transportierten Güter im Bereich „Stückgutverkehre“,
- Spektrum der von den Lang-Lkw transportierten Güter (vgl. Bild 6),
- Anteil aller beobachteten Fahrten im Vor- und Nachlauf zum Kombinierten Verkehr.

Hinzu kommt, dass der hauptsächlich beobachtete Einsatzbereich der Lang-Lkw in den Bereichen „Komplettladung / Full Truck Load“, „Lagerhaltung-/ Terminalverkehr“ und „Stückgut-/ Systemverkehre“ angesiedelt war.

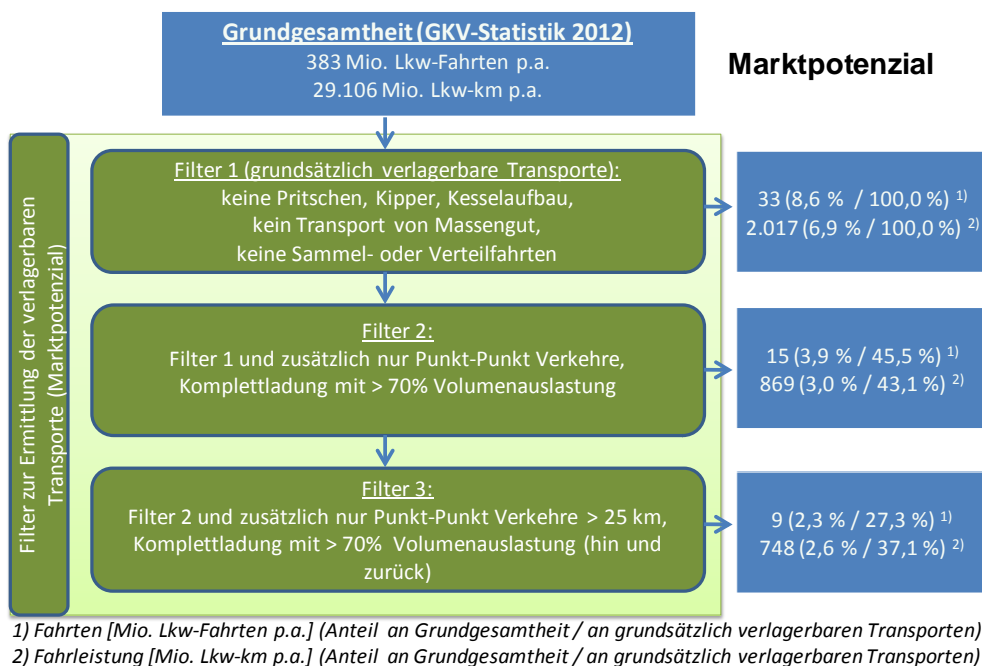
Insbesondere die beobachtete Struktur der „leichtgewichtigen und voluminösen“ Güter sowie die zugrunde liegenden Anforderungen hinsichtlich Flexibilität und Geschwindigkeit entsprechen nicht dem typischen Leistungsprofil von Schienentransporten. Die Vorteile und Stärken des Schienen- und Binnenschiffsgüterverkehrs liegen insbesondere bei der Belieferung mit Massengütern über längere Strecken und in den hierbei erzielten betriebswirtschaftlichen Kostenvorteilen.

Die Aussagen der nicht-teilnehmenden Unternehmen aus der qualitativen Erhebung (Expertenbefragung) spiegelten im Wesentlichen die Einsätze und Einschätzungen der teilnehmenden Unternehmen wider. Als neuer Aspekt wurden mögliche Wettbewerbsnachteile von kleinen Transportunternehmen genannt. Bei den Experteneinschätzungen zeigte sich, dass insbesondere infrastrukturelle Aspekte, wie zum Beispiel die generelle Eignung sowie der Investitions- und Anpassungsbedarf der aktuellen Straßeninfrastruktur, von den Befragten kontrovers bewertet werden. Insgesamt spiegelt die durchgeführte qualitative Befragung von Nicht-Teilnehmern und Experten die Spannweite der in den einschlägigen Publikationen diskutierten Argumente wider (vgl. auch Ziffern 3 und 5).

Bezüglich der Auswirkungen des Lang-Lkw-Einsatzes auf Kraftstoffverbräuche wurde zunächst in Bezug auf die Fahrleistung ein erhöhter Kraftstoffverbrauch des einzelnen Lang-Lkw in Höhe von ca. 12 % im Vergleich zum konventionellen Lkw festgestellt. Durch die Substitution von drei konventionellen Lkw-Fahrten durch zwei Lang-Lkw kann insgesamt jedoch eine Kraftstoffeinsparung von ca. 25 % im Vergleich zum konventionellen Lkw pro Fahrtäquivalent realisiert werden. Bezogen auf den mittleren Verbrauch je maximaler Auslastung, ergibt sich aus den Erhebungen eine maximale verbesserte Transporteffizienz von 27 % je Liter Diesel pro 100 km und pro m<sup>3</sup> Ladevolumen beziehungsweise 19 % je Liter Diesel pro 100 km pro Palettenstellplatz. Diese Werte sind als Durchschnittswerte zu sehen, die im tatsächlichen Einzelfall aufgrund verschiedenster Einsatzbedingungen stark streuen können. Dies wird insbesondere in den einzeloperativen Praxiserfahrungen der Teilnehmerunternehmen deutlich, was letztlich durch die unterschiedlichen Einsatzprofile der Lang-Lkw (Lang-/ Kurzstrecke, Beladung, Güterart, Streckenprofilen etc.) begründet ist. Dies zeigen unabhängig von den Ergebnissen dieser Untersu-

chung auch die Ergebnisse aus dem von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeiteten Teilprojekt FE 82.0543 „Lang-Lkw: Auswirkungen auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt“ (vgl. Ziffer 9). Insbesondere waren hier vergleichsweise geringere mittlere Kraftstoffverbräuche und Auslastungen von konventionellen Lkw zu beobachten<sup>11</sup>.

Wie in Kapitel 8.1 bereits angeführt, wurden aufbauend auf den empirischen und qualitativen Erhebungsergebnissen und Mithilfe von deskriptiven Analysen vorhandener Güterverkehrsstatistiken für deutsche Lkw die Marktpotenziale des Lang-Lkw abgeschätzt. Demnach könnten theoretisch bezogen auf das Gesamtstraßennetz zwischen 2 % und 9 % aller Lkw-Fahrten beziehungsweise 3 % bis 7 % der Fahrleistung von konventionellen Lkw in Deutschland durch Lang-Lkw ersetzt werden (vgl. Bild 9). Bezogen auf die Fahrten mit konventionellen Lkw, die aufgrund ihres Leistungsprofils grundsätzlich überhaupt mit Lang-Lkw durchführbar sind, beträgt dieses Marktpotenzial zwischen 27,3 % und 45,5 % aller Lkw-Fahrten beziehungsweise 37,1 % bis 43,1 % der Fahrleistung der grundsätzlich verlagerbaren Transportvorgänge (keine Pritschen, Kipper, Kesselaufbau, kein Transport von Massengut, keine Sammel- oder Verteilfahrten). Mit der aus der zwölfmonatigen kontinuierlichen Fahrtenerhebung ableitbaren durchschnittlichen Jahreskilometerfahrleistung eines Lang-Lkw von rund 130.000 km/a und den beobachteten substituierten mittleren konventionellen Lkw-km ergibt sich daraus ein Potenzial von ca. 4.000 bis 10.000 Lang-Lkw (je nach betrachtetem Szenario) für ganz Deutschland.



**Bild 9: Filter und Ergebnisse der Marktpotenzialanalyse (in Anlehnung an RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING, 2014)**

### 8.3 Fazit und Folgerungen

Bei der zwölfmonatigen kontinuierlichen Fahrtenerhebung war angestrebt, ein breites Spektrum an regelmäßigen tatsächlichen Transportvorgängen von Lang-Lkw unter betriebswirtschaftlichen Bedingungen zu analysieren. Wichtige Voraussetzung dafür war, verschiedene logistische Prozesse im Feldversuch analysieren und vergleichen zu können. Das ist bei den beobachteten Transportvorgängen gegeben:

<sup>11</sup> Innerhalb des FE 82.0543/2012 wurde von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) im analysierten speziellen Fall ein mittlerer Kraftstoffverbrauch beim konventionellen Lkw (hier Sattelkraftfahrzeug) von 24,1 Liter/100km beobachtet (vgl. Ziffer 9.6). Dies ist im Vergleich zu ca. 30 Liter/100km, die als durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von konventionellen Lkw der befragten Unternehmen angegeben wurden, der Hauptunterschied.

- Es wurden Anlieferungen an Kombiterminals durchgeführt.
- Als Ziele für komplexe Logistik waren enthalten: Flughafen und Seehafenverkehre.
- Punkt-Punkt-Verkehre (Pendelfahrten) waren überwiegend enthalten, Verteilerverkehre kaum.
- Durch das Positivnetz ist die Einsatzflexibilität des Lang-Lkw eingeschränkt. Dadurch kann sich auf der Fahrt teilweise die Notwendigkeit ergeben, Lang-Lkw zu Standardkombinationen umzukoppeln. Auch dieser besondere Vorgang ist im Feldversuch beobachtet worden und wird somit durch die Untersuchung abgedeckt.
- Die Verteilung der erhobenen Ladungsformen – Stückgüter, Behälter, unverpackte Güter – entspricht einer auch im konventionellen Lkw-Transport vorherrschenden Struktur.
- Die Größenstrukturen der teilnehmenden Unternehmen waren sehr heterogen und reichten vom mittelständisch geprägten Dienstleister bis zum international agierenden Unternehmen mit mehreren Standorten im Ausland.

Insgesamt lag mit den teilnehmenden Unternehmen ein breites Spektrum an Teilnehmern und regelmäßigen tatsächlichen Transportvorgängen des Lang-Lkw unter betriebswirtschaftlichen Bedingungen vor, so dass Fragen nach der technischen und betriebswirtschaftlichen Umsetzbarkeit und auch Eignung für verschiedene Marktsegmente und logistischen Prozesse im Rahmen der Untersuchung vollständig abgedeckt werden konnten. Statistische Hochrechnungen zu möglichen Nachfrage- und Verlagerungswirkungen sind aufgrund dieser Erkenntnis jedoch nicht möglich und nicht durchgeführt worden. Vielmehr wurden die Grundlagen und Voraussetzungen geschaffen, um auf Basis der tatsächlichen Transportvorgänge im Feldversuch eine detaillierte Transportnachfrageanalyse durchführen sowie die durch den Lang-Lkw hervorgerufenen Verlagerungswirkungen zwischen Verkehrsträgern modelltheoretisch quantifizieren zu können.

Die bei den Speditionen von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführten Abfragen zum Kraftstoffverbrauch sind im Kontext mit der exemplarisch durchgeführten Analyse des Kraftstoffverbrauchs im Rahmen des Teilprojekts FE 82.0543/2012 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) zu sehen (vgl. Ziffer 9.6). Es zeigt sich, dass der Effizienzgewinn von einer Reihe (logistischer) Randbedingungen abhängt und eine einfache Vergleichbarkeit nicht ohne Weiteres gegeben ist. Der von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) exemplarisch ermittelte Effizienzgewinn mit dem Augenmerk auf eine bestmögliche Vergleichbarkeit von etwa 15 % passt jedoch in das von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) aufgezeigte Spektrum, sodass beide Untersuchungen zusammen ein realistisches Bild im Hinblick auf diese Fragestellung liefern.

Unabhängig vom Ziel des Forschungsvorhabens, Grundlagen für modelltheoretische Untersuchungen von Einsatzszenarien von Lang-Lkw zu schaffen, konnten einige vorläufige und allgemeine Aussagen aus den Beobachtungen im Feldversuch getroffen werden. So konnte auf Grundlage der gewonnenen Daten und Expertenaussagen insbesondere eine Schätzung des Marktpotenzials von Lang-Lkw vorgenommen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich diese Zahlen in Abhängigkeit von den gesetzten Rahmenbedingungen des Lang-Lkw-Einsatzes ändern können. Insbesondere die Beschränkung auf ein Positivnetz führt zu einer Reduktion des genannten Potenzials (vgl. Ziffer 8.2).

Hinsichtlich der ermittelten Effizienzgewinne und Kraftstoffersparnisse zwischen 15 % und 25 % ist zu beachten, dass diese deutlich mit einer im Feldversuch beobachteten nahezu optimal disponierten Volumen- beziehungsweise Stellplatzauslastung zusammenhängen. Dabei ist anzumerken, dass eine hohe Auslastung für den betriebswirtschaftlich vorteilhaften Einsatz von Lang-Lkw im Regelfall erforderlich ist. Somit ist nicht davon auszugehen, dass bei einem Regeleinsatz die Auslastung der Lang-Lkw deutlich geringer ausfallen würde.

Im Vergleich zur Grundgesamtheit der gesamten in Deutschland durchgeführten Transportvorgänge war die zu erwartende Anzahl der in einem Feldversuch durchgeführten Transportvorgänge mit Lang-Lkw relativ gering. Aufgrund dieses Verhältnisses zwischen Grundgesamtheit und Stichprobe wurde im Teilprojekt FE 89.0273/2012 „Verkehrsnach-

fragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung“ (RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING, 2014) von der Durchführung statistischer Hochrechnungen zur Verkehrsnachfragewirkung von vornherein abgesehen. Ziel war vielmehr eine Beobachtung und Analyse der durch die Transportwirtschaft gewählten Einsatzszenarien sowie eine Untersuchung der Entscheidungsprozesse für oder gegen den Einsatz von Lang-Lkw.

Bedenkenswert ist hierbei vor allem, dass die Rahmenbedingungen des Feldversuchs (insbesondere beschränktes befahrbares Netz, technische Vorgaben etc.) maßgeblich das Substitutionspotenzial von konventionellen Transporten (sowohl intra- als auch intermodal) durch Lang-Lkw-Transporte beschränken. Folglich sind auch das Nachfrageverhalten und der Wettbewerb im Bereich der Lang-Lkw stark durch die Rahmenbedingungen der LKWÜberStVAusV beeinflusst. Eine reine Hochrechnung der im Feldversuch beobachteten Vorgänge würde daher keine belastbare Entscheidungsgrundlage bilden, da diese immer nur den aktuell im Feldversuch gewählten Rahmenbedingungen Rechnung tragen würde. Zu beachten ist hierbei auch, dass Lang-Lkw im Feldversuch lediglich erprobt und nicht langfristig regulär eingesetzt werden. Im Falle eines Regeleinsatzes von Lang-Lkw könnte daher die langfristige Sicherheit für die Transportbranche einen Einfluss auf die Nachfrage nach Lang-Lkw (im Sinne Anzahl eingesetzter Lang-Lkw) und damit auch auf die tatsächlichen Verkehrsnachfrageeffekte der Lang-Lkw haben. Grund sind erstens betriebswirtschaftliche Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen sowie eine kurzfristig nicht vorteilhafte Anpassung von Prozessstrukturen im Logistikbereich. Das heißt, bei einem regulären Einsatz von Lang-Lkw – außerhalb eines Feldversuchs – selbst unter exakt den gleichen technischen und sonstigen rechtlichen Rahmenbedingungen ist eine modellgestützte Beurteilung der Nachfrageeffekte unerlässlich.

Für eine weitergehende Beurteilung von Einsatzszenarien außerhalb des Feldversuchs mit seinen derzeitigen gesetzten Rahmenbedingungen sind Verkehrsnachfragemodelle, wie sie beispielsweise in der Planung von Infrastrukturinvestitionen Verwendung finden, ein geeigneteres Mittel für die Entscheidungsunterstützung. Um jedoch in solchen Modellen die Auswirkungen eines spezifischen Einsatzszenarios von Lang-Lkw darstellen zu können, müssen die relevanten Entscheidungsparameter identifiziert und beschrieben werden, die eine Nachfrage nach Transporten mit dem Lang-Lkw bestimmen. Durch das von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführte Teilprojekt der wissenschaftlichen Begleituntersuchung der BAST wurde eben eine solche Untersuchung durchgeführt. Darüber hinaus wurden durch die detaillierte Erhebung von Informationen über den Einsatz von Lang-Lkw (insbesondere in der Fahrterhebung) das Leistungsprofil und die tatsächlichen Einsatzszenarien von Lang-Lkw unter realen betriebswirtschaftlichen Bedingungen detailliert beschrieben. Zwar erlauben die vorliegenden Informationen keine allgemeingültige Aussage dazu, wie die Verkehrsnachfrage unter bestimmten Rahmenbedingungen tatsächlich auf die Einsatzmöglichkeit von Lang-Lkw reagiert, jedoch zeigte sich in der Untersuchung ein klar umrissenes Bild des Lang-Lkw-Einsatzes, welches zumindest eine tendenzielle Aussage über wahrscheinliche Reaktionen der Verkehrsnachfrage sowie eine szenariobasierte Abschätzung des Marktpotenzials von Lang-Lkw zulässt.

## **9 Fahrzeugtechnik und Umwelt**

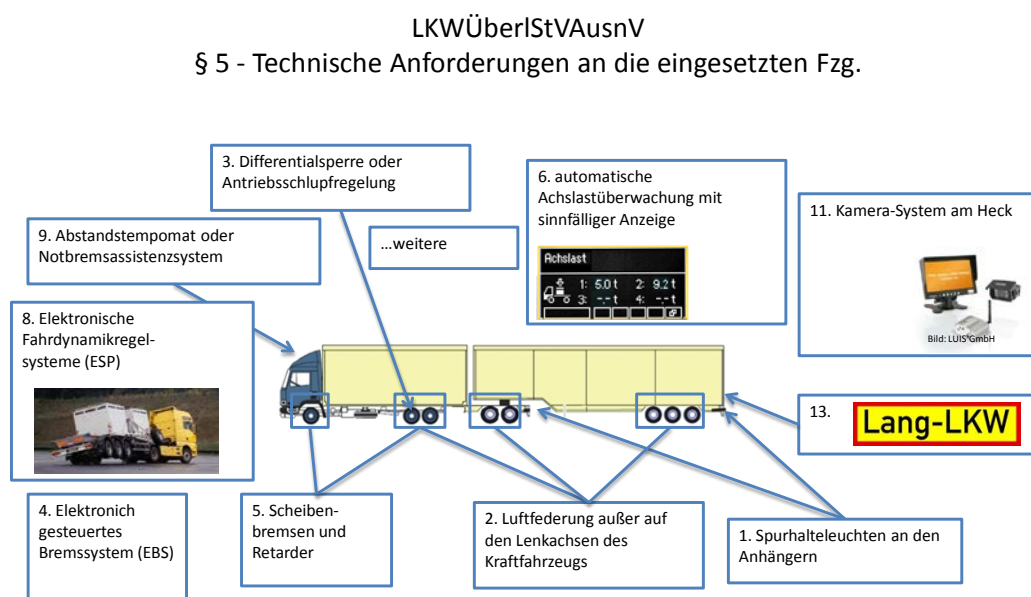
Das von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeitete Teilprojekt FE 82.0543/2012 „Lang-Lkw: Auswirkungen auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt“ bildet weitgehend den Stand vom 15.07.2013 ab. Zu diesem Zeitpunkt waren 43 Lang-Lkw von insgesamt 23 Speditionen registriert. Im Rahmen des Feldversuchs wurden und werden der BAST Unterlagen von den Speditionen zu ihren Lang-Lkw zur Verfügung gestellt. Eine Prüfung der Unterlagen hinsichtlich der Einhaltung der technischen Anforderungen aus der Ausnahme-Verordnung durch die BAST oder den Forschungsnehmer erfolgt hier, wie auch hinsichtlich der Einhaltung aller anderen Anforderungen aus der LKWÜberStVAusV, nicht (vgl. Ziffer 4.4).

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) durchgeführten Forschungsprojekt und geben für die verschiedenen bearbeiteten Fragestellungen Ziele, Vorgehen und wesentliche Ergebnisse wieder.

## 9.1 Technische Anforderungen

### 9.1.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Die im Feldversuch eingesetzten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen müssen den besonderen technischen Anforderungen nach § 5 LKWÜberStVAusnV genügen (vgl. Ziffer 4.3). Ein Ziel des von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeiteten Teilprojekts waren die Analyse und Dokumentation, wie diese technischen Anforderungen fahrzeugseitig umgesetzt wurden (vgl. Bild 10).



**Bild 10:** Fahrzeugtechnische Anforderungen an Lang-Lkw

Die der BASt von den Speditionen zur Verfügung gestellten fahrzeugtechnischen Unterlagen bilden unter anderem die Grundlage für die von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS durchgeführte Analyse zu den fahrzeugtechnischen Anforderungen. Ergänzt wurden die Unterlagen durch Informationen, die in Fahrzeugbegutachtungen durch den Forschungsnehmer gewonnen werden konnten.

### 9.1.2 Ergebnisse

§ 5 LKWÜberStVAusnV zu den technischen Anforderungen gestattet zum Teil alternative Umsetzungsmöglichkeiten, auf die in den nachfolgenden Kapiteln überwiegend gesondert eingegangen wird. Die Anforderungen, zu denen keine Alternativen in der Umsetzung zur Verfügung stehen, wurden von allen Lang-Lkw erfüllt. Dies gilt beispielsweise für die Anforderung Nr. 5 „Scheibenbremsen und Retarder“ ebenso, wie für das Vorhandensein von Spurhaltewarnsystemen (Nr. 7) und ESP (Nr. 8). Einen Abstandstempomat hatten 34 der untersuchten Fahrzeuge, 4 hatten alternativ dazu ein Notbremsassistentensystem und 5 Fahrzeuge hatten beide Systeme (Nr. 9). Antischlupfregelung hatten 8 Fahrzeuge, Differentialsperre 16, und 19 Fahrzeuge hatten beide Systeme (Nr. 3). Obwohl nicht gefordert, hatten 40 Fahrzeuge Luftfederung an der Lenkachse und nur 3 hatten Blattfederung (Nr. 2). Auch voll erfüllt wurde die Anforderung an das Vorhandensein eines digitalen Kontrollgerätes zur Aufzeichnung der Lenk- und Ruhezeiten (Nr. 14).

§ 6 LKWÜberlStVAusnV beinhaltet die Forderung nach der theoretischen Einsetzbarkeit von Lang-Lkw oder einzelner Module (Ladeeinheiten) desselben (Container, Anhänger oder Sattelanhänger mit und ohne Zugfahrzeug und Wechselbrücken) im Kombinierten Verkehr.

Im Allgemeinen wird zwischen begleitetem und unbegleitetem Kombinierten Verkehr unterschieden. Im begleiteten Kombinierten Verkehr wird das gesamte Fahrzeug auf die „Rollende Landstraße“ (RoLA) oder eine Roll-on-Roll-off-Fähre (RoRo-Fähre) verladen. Im unbegleiteten Kombinierten Verkehr werden Ladeeinheiten wie Container, Wechselbehälter oder Sattelanhänger transportiert. In einem Schreiben des BMVBS zum Lang-Lkw-Feldversuch wurde die Einsetzbarkeit im Kombinierten Verkehr im Sinne des § 6 näher beschrieben. Demnach ist nur der unbegleitete Kombinierte Verkehr zulässig. Der begleitete Kombinierte Verkehr auf RoLa oder RoRo-Fähren sei praktisch nicht möglich, weil der „Einsatz von Lang-Lkw nur innerdeutsch stattfindet und ein grenzüberschreitender Einsatz der Fahrzeug beziehungsweise Fahrzeugkombinationen nicht zulässig ist“.

*Exkurs: „Ladeeinheiten“*

- *Container sind stapelbar und sind für den unbegleiteten Kombinierten Verkehr auf Schiene und Wasserstraße geeignet. Sie haben für den Kran-Umschlag an der Decke Eckbeschläge.*
- *Wechselbrücken und umschlagbare Sattelanhänger sind nicht stapelbar und können für den unbegleiteten Kombinierten Verkehr an sich nur sinnvoll auf Eisenbahnzüge verladen werden. Für die Kranumladung sind Greifkanten oder -laschen an der Seite vorgesehen. Für den Transport von Sattelanhängern auf der Bahn werden sogenannte Taschenwagen eingesetzt.*

Bezüglich der Einsetzbarkeit im Kombinierten Verkehr ergeben sich folgende Ausführungsvarianten der teilnehmenden Lang-Lkw:

- 31 der 43 untersuchten Lang-Lkw konnten entweder auf dem Lkw oder auf dem Sattelanhänger Wechselbrücken oder Container aufnehmen.
- Bei 18 der 43 Kombinationen können jeweils die Sattelanhänger vertikal auf die Bahn (oder Schiff) umgeschlagen werden. Bei 8 Sattelanhängern ist der Transport von Wechselbehältern möglich und zusätzlich ist auch die Kranbarkeit des gesamten Sattelanhängers gegeben.
- 2 Lang-Lkw hatten Bescheinigungen des Fahrzeugherstellers über die Eignung eines Einsatzes im Kombinierten Verkehr, obwohl keine der beiden vorgenannten Möglichkeiten der Verladung gegeben war.

## **9.2 Automatische Achslastüberwachung „on-board“**

### **9.2.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik**

Die LKWÜberlStVAusnV schreibt in § 5 Nr. 6 eine „automatische Achslastüberwachung mit sinnfälliger Anzeige der Achslasten für die Achsen mit Luftfederung oder der Gesamtmasse“ vor. Dieses wurde vor dem Hintergrund erlassen, dass Lang-Lkw mit höheren Leergewichten und größeren Ladevolumina tendenziell anfälliger für Überladung im Sinne überschrittener Gesamtgewichte sind. Mit einer „sinnfälligen Anzeige“ der Achslasten - beziehungsweise der Gesamtmasse als Summe der Achslasten - können etwaige Überladungszustände für Fahrer, Verlader und Kontrollbehörden transparent gemacht werden.

Eine Überschreitung einzelner Achslasten war bei Lang-Lkw wegen des Verhältnisses Gesamtgewicht bezogen auf die Anzahl der Achsen nicht zu erwarten, da die Lang-Lkw bei gleichem zulässigem Gesamtgewicht mehr Achsen als herkömmliche Lkw aufweisen, jedoch kann dem Fahrer eine „ungeschickte“, d.h. fahrdynamisch unsichere Beladung durch die Achslastwagen angezeigt werden.



Bei dieser technischen Anforderung standen den Teilnehmern des Feldversuchs alternative Möglichkeiten der Umsetzung zur Verfügung. Die Umsetzung einiger verbauter Systeme wurde vom Forschungsnehmer dokumentiert und verschiedene gewählte Alternativen untersucht, um gegebenenfalls die Formulierung „sinnfällige Anzeige“ zu konkretisieren.

### 9.2.2 Ergebnisse

Die Fahrzeuge mit absetzbaren Wechselpritschen oder Containern sind auch an der Vorderachse mit Luftfedern ausgestattet und erlauben auch eine Achslastwägung an der Lenkachse. Achslastanzeigen im Fahrerhaus am Armaturenbrett hatten 21 der 43 Lang-Lkw, an 7 Lang-Lkw waren verteilte Anzeigen im Fahrerhaus und separat an den Untersetzachsen, Anhängern und/ oder Sattelanhängern, bei 15 Fahrzeugen blieb die Art und Weise der Achslastüberwachung unbekannt.

Es können folgende Aussagen zur Praktikabilität der Achslastüberwachung abgeleitet werden:

- Die Ermittlung der Fahrzeuggesamtmasse durch Addition von Einzelachslasten stellt einen fehleranfälligen und mit Aufwand verbundenen Vorgang dar, der im Speditionsalltag vermutlich weniger durchgeführt wird als ein direktes Ablesen der Gesamtmasse im Fahrerhaus. Die Addition von Erfahrungswerten für blattgedederte Vorderachsen kommt hier erschwerend hinzu.
- Verteilte Anzeigen von Achslasten an Zugfahrzeugen, Anhängern und Untersetzachsen erhöhen den Aufwand zur Ermittlung der Gesamtmasse des Fahrzeugs.
- Manometer mit verschiedenen Skalen für unterschiedliche Achsvarianten begünstigen Ablese- und je nach Ausführung Umrechnungsfehler.

Die praktikabelste Lösung stellt somit ein System dar, das alle Achslasten sowie die Gesamtmasse der Fahrzeugkombination im Fahrerhaus direkt anzeigen kann und auch die Achslast von blattgedederten Vorderachsen (6-7 t) überschlägig mit einberechnet.

Eine weitere alternative Möglichkeit der Ermittlung der Gesamtmasse besteht in sogenannten dynamischen Masseschätzern. Hierbei wird im Zugfahrzeug die Gesamtmasse aus Parametern wie Antriebs- und Bremsmoment während der Fahrt errechnet. Die geschätzte Gesamtmasse steht so erst nach einer gewissen gefahrenen Strecke zur Verfügung. Sie wird üblicherweise auf dem Fahrzeug-CAN-Bus hinterlegt und findet beispielsweise in Flottentelematiksystemen Eingang. Eine direkte Anzeige im Fahrzeug ist nicht üblich, wäre jedoch technisch möglich.

Eine Vergleichsmessung der im Fahrzeug angezeigten Achslasten mit denen einer externen Achslastwaage zeigte eine ausreichende Übereinstimmung. Je nachdem, ob eine Liftachse angezogen oder abgesetzt war, lag der Unterschied bei -1 % bis +3 %.

## 9.3 Kurvenlaufeigenschaften („BO-Kraftkreis“)

### 9.3.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Zur Vereinfachung der Bemessung von Verkehrswegen wurden in der StVZO neben den maximalen äußeren Abmessungen auch die Kurvenlaufeigenschaften für Straßenfahrzeuge festgelegt (vgl. dazu auch Ziffer 12.4.1). Nach § 32d StVZO muss jedes Kraftfahrzeug und jede Fahrzeugkombination bei einer Kreisfahrt von 360° mit einem äußeren Radius von 12,5 m (der sogenannte „BO-Kraftkreis“, der seinen Ursprung in der Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft) hat) innerhalb einer Kreisringbreite von 7,2 m (+15 cm Toleranz) bleiben. Das bedeutet, dass ein innerer Kreis mit einem Radius von 5,3 m nicht befahren werden darf. Außerdem darf bei der tangentialen Einfahrt in den Kreis kein Teil des Fahrzeugs beziehungsweise der Fahrzeugkombination mehr als 0,8 m über die Tangente der Einfahrt hinausragen (Aus-schermaß).

Für alle erlaubten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen im Feldversuch gilt nach der LKWÜberStVAusnV, dass der BO-Kraftkreis eingehalten werden muss. Die Anforderung muss mit einem Sachverständigengutachten (Übereinstimmungsnachweis nach § 7 LKWÜberStVAusnV) nachgewiesen werden. Um die Angaben aus den Übereinstimmungsnachweisen verifizieren zu können, wurden Berechnungen der charakteristischen Maße zur überstrichenen Kreisringfläche und zum Ausschermaß der am Feldversuch teilnehmenden Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen unter Berücksichtigung der jeweiligen Fahrzeugkonfiguration durchgeführt. Zur Validierung der Simulationsrechnungen wurden die berechneten Ergebnisse für ausgewählte Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen auch experimentell im Fahrversuch überprüft.

Die Achsabstände, Anzahl und Position gelenkter oder liftbarer Achsen, Art, Position und Länge der Kupplungseinrichtung eines mitgeführten Anhängers sowie Länge und Form der Front- und Hecküberhänge an den Fahrzeugen beeinflussen wesentlich die von den Fahrzeugumrissen überstrichene Kreisringfläche während der Kurvenfahrt. In den Übereinstimmungsnachweisen waren jedoch zum Teil die Angaben zu Anzahl und Position von lift- oder lenkbaren gezogenen Achsen (auch Mehrfachachsaggregate mit dynamischer Radlastverlagerung) nicht nachvollziehbar. Zudem fehlten teilweise geometrische Angaben, wie z. B. die Kuppellänge. Insofern mussten für die mathematische Simulation der Befahrung des BO-Kraftkreises plausible Annahmen getroffen werden. Es zeigte sich jedoch, dass die Berechnungen und die Angaben aus den Gutachten mit gewissen, allerdings geringen Abweichungen übereinstimmend waren und das, obwohl diverse mögliche Fahrzeug- und Achskombinationen bei den am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw vorliegen.

### 9.3.2 Ergebnisse

Einige Fahrzeuge müssen zur Einhaltung der maximal zulässigen Kreisringbreite zumindest eine Achse anheben. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit der Einsatz einer Liftachse zur Einhaltung der Kurvenlaufvorschriften zulässig ist. Die StVZO selbst sowie die Erläuterungen dazu enthalten hierzu keine Hinweise. In der EU-Verordnung Nr. 1230/2012 wird nur der Fall explizit behandelt, dass sich das Kurvenlaufverhalten durch angehobene Achsen verschlechtert. Dort wird verlangt, dass die Vorschriften zum Kurvenlaufverhalten auch gelten, „wenn die Hubachse(n) angehoben und die Lastverlagerungsachse(n) im Einsatz ist (sind)“ (Anhang 1 Teil C 6.2). Ob dies auch dann angewendet wird, wenn sich dadurch das Kurvenlaufverhalten verbessert, bleibt offen.

Für die Ermittlung der überstrichenen Kreisringbreite gibt es, je nach Veröffentlichung, unterschiedliche Vorgehensweisen. Die Gesetzestexte fordern hier lediglich eine „Kreisfahrt von 360°“ (StVZO) beziehungsweise eine „vollständige Kreisfahrt von 360°“ (EU-Verordnung Nr.1230/2012 beziehungsweise Richtlinie 97/27/EG). Aus diesen Formulierungen ergeben sich Interpretationsmöglichkeiten zur Wahl der Fahrlinie sowie des Orts der Messung der Kreisringbreite. So kann die überstrichene Kreisringbreite an der Position des Zugfahrzeugs gemessen werden, an der die vorderste, äußerste Begrenzung 360° überstrichen hat, ohne eventuelle Einflüsse aus der Ausfahrt aus dem Kreis zu berücksichtigen (vgl. Bild 11, links).

In einer stichprobenartigen Umfrage unter den Sachverständigen von TÜV und DEKRA, die die Gutachten für die Lang-Lkw durchführten, wurde übereinstimmend angegeben, die Kreisringbreite in der Fahrzeugposition zu bestimmen, bei der der Führungspunkt exakt 360° überstrichen hat. In den Simulationen mit Lang-Lkw zeigte sich jedoch, dass nach einer Kreisfahrt von 360° der letzte Anhänger oftmals noch keinen stationären Kreisfahrzustand erreicht hat. Die errechnete, benötigte Kreisringbreite nach einer 360°-Kreisfahrt ist somit kleiner als für den stationären Zustand. Um diesen Umstand angemessen zu berücksichtigen, sollte die maximal auftretende Kreisringbreite erst nach einer tangentialen Ausfahrt nach 360° ermittelt werden (vgl. Bild 11, rechts).

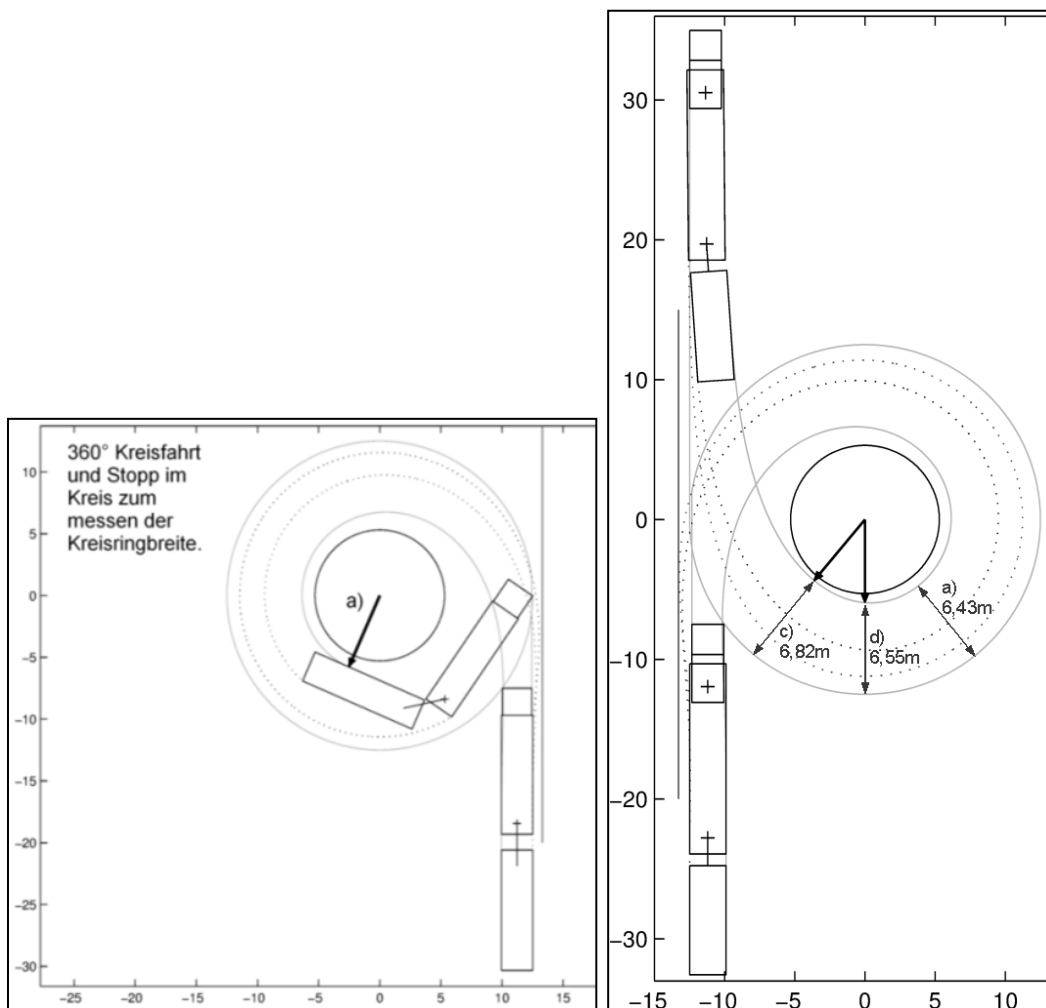


Bild 11: Zwei mögliche Befahrungen des BO-Kraftkreises

## 9.4 Bremsweg, Sogwirkung, Windstabilität und Fahrdynamiksimulation

### 9.4.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

#### Bremsweg

Zur Ermittlung des Bremsweges wurde im Rahmen des Forschungsauftrags von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) eine Fahrzeugkombination eines 8-achsigen Lang-Lkw nach Typ 3 (Lkw + Dolly + Sattelanhänger) aufgebaut. Mit einer Beladung von etwa 17 t ergibt sich eine Gesamtmasse von ca. 40 t. Bei den Gewichten handelt es sich um Testgewichte aus Beton. Als Referenzfahrzeug diente ein 5-achsiges Standardsattelkraftfahrzeug, das mit einer Beladung von ca. 25,5 t ebenfalls auf eine Gesamtmasse von ca. 40 t gebracht wurde.

Für einen ersten Vergleich hinsichtlich des sicherheitsrelevanten Bremsverhaltens wurde bewusst keine Versuchsanordnung mit volumetrischer Vollbeladung bei gleicher Dichte der Ladung gewählt. Die Versuchsanordnung entspricht daher einem „Worst Case“ Szenario für den Bremsweg, da beide Fahrzeuge bis auf ihr maximal zulässiges Gesamtgewicht beladen wurden.

Die Bremsanlagen beider Versuchsfahrzeuge entsprachen dem Stand der Technik und waren wie gefordert als EBS-System ausgeführt (gemäß § 5 LKWÜberStVAusV). Als Testgelände diente ein Taxiway eines stillgelegten Flughafens. Dieser bot eine ebene

Fahrbahn mit konstanter Oberflächenbeschaffenheit. Der Bremsversuch wurde mit 80 km/h Ausgangsgeschwindigkeit durchgeführt.

### **Sogwirkung**

Da auch für konventionelle Lkw und deren Auswirkungen auf andere Verkehrsteilnehmer während eines Überholvorgangs keine empirischen Messwerte hinsichtlich einer möglichen Sogwirkung auf Zweiräder beziehungsweise Zweiradfahrer vorliegen, würden Referenzwerte für einen Vergleich zwischen Lkw herkömmlicher Bauart und Lang-Lkw fehlen. Daher wurden beide Vergleichsfälle ausschließlich analytisch betrachtet. Dabei erfolgt eine Gegenüberstellung der seitlichen Druckverhältnisse eines Gliederzugs mit einer zulässigen Maximallänge von 18,75 m und eines Lang-Lkw vom Typ 3 mit einer Gesamtlänge von 25,25 m. Grundlage der Untersuchung bildet ein Landstraßenszenario, in dem sich die Lkw mit 65 km/h<sup>12</sup> bewegen. Größe und Geschwindigkeit des zu überholenden Objekts sind dabei für die Frage nach dem Ausmaß der Sogwirkung irrelevant. Sie beeinflussen lediglich den Zeitpunkt, wann die Wirkung auftritt. Entscheidender ist der Überholabstand. Betrachtet wurden die für die Sogwirkung ursächlichen Druckverhältnisse bei einem Überholabstand von 1,5 m.

### **Windstabilität**

Auch die Windstabilität von Lang-Lkw wurde nicht experimentell, sondern analytisch betrachtet. Im Gegensatz zur möglichen Sogwirkung auf Zweiräder konnte die Frage nach der Windstabilität jedoch nicht über CFD-Methoden (Computational Fluid Dynamics) untersucht werden, weil Aufwand und Komplexität der Simulationen ungleich höher sind. Daher wurde auf Fahrerbefragungen zurückgegriffen, die Teil der Fahrzeugbegutachtungen waren. Die Fahrer sollten zum Beispiel einen subjektiven Vergleich zu den als seitenwindanfällig einzustufenden Volumen-Lkw mit großen seitlichen Flächen (Planen), mit kleinen Reifengrößen und geringem Leergewicht vornehmen.

### **Fahrdynamik**

Die Analyse des Fahrverhaltens erfolgte als rechnerische Simulation anhand eines Mehrkörpersimulationstools, da aufgrund der mitunter hohen Dynamik der zu untersuchenden Fahrmanöver mit dem unbekanntem fahrdynamischen Verhalten der realen Fahrzeugkombinationen eine potenzielle Gefahr für Mensch und Versuchsfahrzeug besteht. Es wurden sowohl für Zug- als auch Anhängerfahrzeuge generische Modelle aufgebaut. Diese Modelle basierten auf den am Feldversuch teilnehmenden Fahrzeugkombinationen und waren so abstrahiert, dass die Allgemeingültigkeit für alle entsprechenden am Feldversuch beteiligten Fahrzeugkombinationen gewährleistet ist. Für den vorzunehmenden Vergleich mit konventionellen Lkw wurden diese Modelle in analytischen Bezug zu zwei heute üblichen, auch bei anderen Untersuchungen (vgl. FAT, 2008) herangezogenen Referenz-Lkw gestellt (4x2 Sattelzugmaschine mit Sattelaufleger bzw. 6x2 Motorwagen mit Zweiachsanhänger).

Anhand gezielt ausgewählter Fahrmanöver wurden die Fahrzeugkombinationen mit vollem Beladungszustand, d.h. mit 40 t Gesamtgewicht, im Mehrkörpersimulationstool angelegt. Ein Lang-Lkw vom Typ 2 wurde zudem auch teilbeladen simuliert. Die Reaktion von Zugfahrzeug und Anhänger(n) wurde anhand von ausgewählten, in der Literatur bewährten Kennwerten und den dazugehörigen Zeit- und Frequenzgängen beschrieben. Alle Untersuchungen fanden mit passiven Fahrzeugen statt, d.h., dass die Fahrzeuge kein fahrdynamisches Regelsystem ESP aufweisen, um auftretende physikalische Effekte eindeutig bewerten zu können. Es wurden folgende Kombinationen erstellt:

---

<sup>12</sup> Dies bedeutet zwar eine Überschreitung der auf Landstraßen geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h. Aufgrund der Erfahrungen aus anderen Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleitung (vgl. v.a. Ziffer 12.6) erscheint diese Geschwindigkeit jedoch realitätsnäher.

- Verlängertes Sattelkraftfahrzeug (Typ 1),
- 4x2 Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger mit Nachlaufachse und Zentralachsanhänger (Typ 2): ISO-Container auf den Fahrgestellen von Sattel- und Zentralachsanhänger,
- 6x2 Lastkraftwagen mit Sattelanhänger auf Dolly (Typ 3). Zwangsgelenkte Nachlaufachse am Motorwagen und Zwangslenkung an der ersten Dolly-Achse. Jeweils konstantes Übersetzungsverhältnis zur Motorwagenvorderachslenkung,
- 6x2 Lastkraftwagen mit Dreiachsanhänger (Typ 5). Zwangsgelenkte Nachlaufachse am Motorwagen und Zweifach-Achspaket am Heck des Anhängers.

Als Referenz dienen folgende zwei Fahrzeugkombinationen:

- 4x2 Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger,
- 6x2 Lastkraftwagen mit Zweiachs- Drehschemelanhänger.

Als Fahrmanöver wurden betrachtet:

- Stationäre Kreisfahrt,
- Sinuslenken,
- Einfacher Fahrspurwechsel.

Als Achsen wurden sowohl für das Zugfahrzeug als auch für den Anhänger luftgefederte Starrachsen modelliert, welche sich an den in Standard-Sattelkraftfahrzeugen oder -Motorwagen beziehungsweise konventionellen Sattel-, Zweiachs-, Dreiachs- oder Zentralachsanhängern verbauten Starrachsen orientieren.

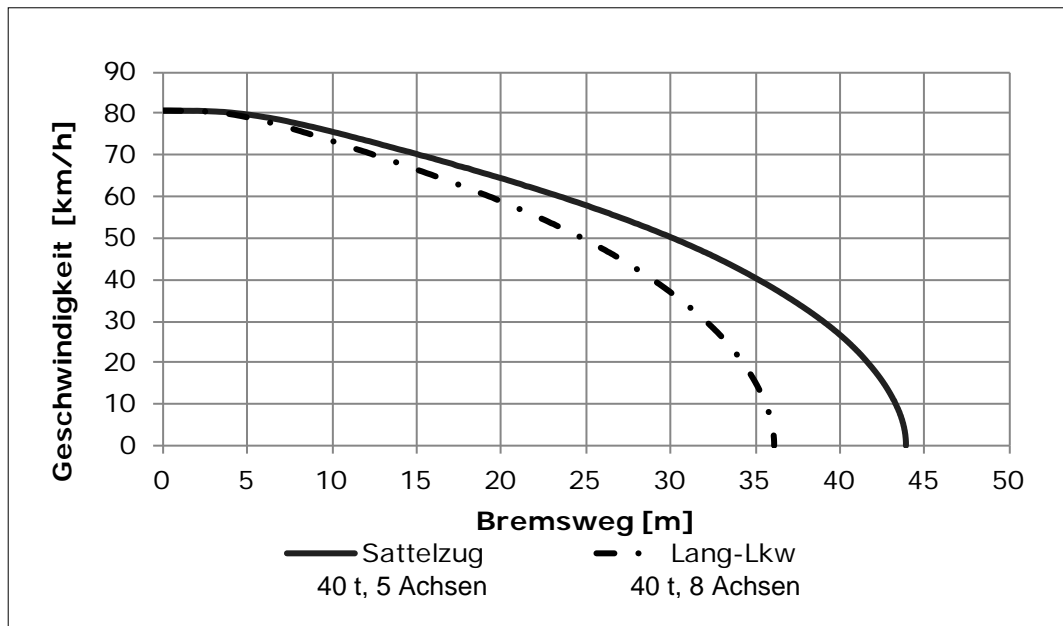
*Exkurs: „gelenkte Achsen“*

- *Alle Arten zusatzgelenkter Achsen dienen der Einhaltung des BO-Kraftkreises beziehungsweise zur besseren Rangierbarkeit der Fahrzeugkombination (vgl. Ziffer 9.3). Zwangsgelenkte Achsen werden von einem mechanischen, elektromechanischen, hydraulischen oder pneumatischem Aktuator angesteuert. Bis auf die mechanische Variante werden die lenkbaren Achsen beim Überschreiten einer vom Hersteller definierten Grenzgeschwindigkeit zwischen  $V = 40$  km/h und  $V = 60$  km/h automatisch geblockt. So rollen die dann zwangsgelenkten Achsen bei höheren Geschwindigkeiten nicht seitenkraftreduziert ab. Das Gesamtfahrzeug gewinnt so bei höherer Geschwindigkeit und bei höher dynamischen Manövern durch mehr Summenseitenkraftpotenzial der Achsen an Fahrsicherheit.*
- *Eine selbstlenkende Nachlaufachse stellt bei Seitenkrafteinwirkung selbständig einen Lenkwinkel ein und rollt so rollwiderstandsreduziert ab. Bei Sattelanhängern erhöhen sie so die Rangierbarkeit, verringern jedoch die übertragbare maximale Seitenkraftabstützung des Achspaketes. Eine Fahrzeugkombination mit ungeblockter Nachlaufachse kann bei allen Fahrmanövern ein instabiles Fahrverhalten aufweisen.*

## 9.4.2 Ergebnisse

### Bremsweg

Der Bremsweg des Lang-Lkw aus 80 km/h betrug bis zum Stillstand 36 m, der des Standardsattelkraftfahrzeugs 44 m (vgl. Bild 12). Die Spurhaltung beider Lkw war einwandfrei. Für das „Worst Case“ Szenario ist die größere Anzahl an gebremsten Achsen maßgeblich für den kürzeren Bremsweg des Lang-Lkw.



**Bild 12:** Vergleich der Bremswege eines Lang-Lkw und eines Standardsattelkraftfahrzeugs für das „Worse Case“ Szenario mit je 40 t Gesamtgewicht

### Sogwirkung

Die Untersuchungen mit CFD-Methoden zeigen in ihrer Ausprägung identische Druck- und Sogspitzen an Fahrzeugfront und -heck von Lang-Lkw und der Referenzfahrzeugkombination. Auch der Verlauf der Drücke entlang der Fahrzeuglängen ist vergleichbar. Somit ist ein erhöhtes Gefährdungspotenzial durch Sogwirkung auf Zweiräder von Lang-Lkw im Vergleich zur Lkw herkömmlicher Bauart nicht festzustellen. Es zeigte sich jedoch bei beiden Fahrzeugkombinationen eine starke Abhängigkeit vom seitlichen Überholabstand. Bei einer Verkürzung dieses Abstands steigen die zunächst eintretende Druck- und danach auch die Sogwirkung an.

### Windstabilität

Im Rahmen der Fahrzeugbegutachtungen der Lang-Lkw konnten mit 16 Fahrern kurze Interviews zu kritischen Situationen bei schlechten Witterungsbedingungen sowie starken Winden durchgeführt werden. Dabei ergab sich eine eindeutige, übereinstimmende Einschätzung der Fahrer, dass auch bei Leerfahrten bisher keine kritischen Situationen durch starke Seitenwinde, beispielsweise auf Brücken, hervorgerufen wurden. Die Fahrzeugkombinationen erschienen den Fahrern nicht anfälliger für Seitenwinde als entsprechende Sattelkraftfahrzeuge oder Gliederzüge, zumal die im Feldversuch eingesetzten Lang-Lkw über viele Achsen mit großen Reifen und über ein vergleichsweise hohes Leergewicht verfügen.

### Fahrdynamik

Die durchgeführte simulative fahrdynamische Analyse der Lang-Lkw zeigt, dass die Stabilität der untersuchten Fahrzeuge stark abhängig vom jeweiligen Beladungszustand und vom Fahrmanöver ist. Eine Pauschalbewertung einzelner Typen von Lang-Lkw ist somit nicht möglich.

Allgemein gilt, dass Gliederzüge aufgrund ihrer geringen Dämpfung zwischen Motorwagen und Drehschemelanhänger bei hoher dynamischer Anregung schwerer zu stabilisieren sind als Sattelkraftfahrzeuge. Eine Kombination aus beiden stellt Typ 2 dar, dessen zusätzlicher Zentralachsanhänger, insbesondere bei ungünstiger Beladung (voll beladener Anhänger hinter leerem Sattelkraftfahrzeug), bei ausgeprägten Lenkmanövern

signifikante Störwirkungen auf das Zugfahrzeug und den Sattelanhänger ausüben kann (Kippgefahr).

Hier zeigt sich bei den Realfahrzeugen auch der Sicherheitsgewinn durch die Anforderung „Achslastwägung on board“ (vgl. Ziffer 9.2), die ungünstige beziehungsweise gefährliche Beladungszustände für den Fahrer erkennbar macht.

Beim einfachen Fahrspurwechsel ist auch in einem herkömmlichen Beladungszustand der Versatz der Fahrspur beim Lang-Lkw-Typ 2 deutlich höher (2,80 m vs. 1,30 m) und bei den Typen 3 und 5 immerhin noch leicht erhöht (1,90 m vs. 1,30 m) gegenüber den entsprechenden Referenz-Lkw. Hierbei ist jedoch hinsichtlich des Typs 5 zu berücksichtigen, dass dies durch den auch heute schon zulässigen Anhänger mit einer Länge von bis zu 12 m bedingt ist.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die Realfahrzeuge beziehungsweise -fahrzeugkombinationen, die gemäß § 5 Nr. 8 LKWÜberlStVAusV alle mit elektronischen Fahrdynamikregelsystemen (ESP) ausgestattet sind (vgl. Ziffer 4.3), ein deutlich sichereres Fahrverhalten erwarten lassen als die „passiven“ Simulationsfahrzeuge beziehungsweise -fahrzeugkombinationen.

## 9.5 Heckkamerasysteme und rückseitige Beschilderung

### 9.5.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

#### Heckkamerasysteme

Im Rahmen der Fahrzeugbegutachtung durch SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) wurde an den Lang-Lkw die Anbringung der gemäß § 5 Nr. 11 LKWÜberlStVAusV geforderten Kameras und Monitore dokumentiert und die Kamerabilder im Fahrerhaus erfasst. Teilweise konnten die Sichtfelder vermessen werden. Darüber hinaus wurden die anwesenden Fahrzeugführer zum Einsatz des Kamera-Monitor-Systems befragt.

#### Rückwärtige Kenntlichmachung

Gemäß § 5 Nr. 13 LKWÜberlStVAusV ist eine rückwärtige Kenntlichmachung eines Lang-Lkw mit einem Schild bestehend aus retroreflektierendem Material (orange mit schwarzer Schrift) mit der Aufschrift „Lang-Lkw“ mit einer Schrifthöhe von 130 mm vorgeschrieben. Verkehrsteilnehmer sind auf Fernstraßen jedoch mit einer Vielzahl an rückwärtigen Lkw-Markierungen und Aufschriften konfrontiert. Ziel dieses Arbeitsschritts war es daher, die Wirksamkeit der rückwärtigen Kenntlichmachung zu untersuchen.

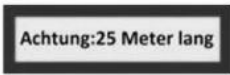



A	B	C
		
	<b>80%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)	<b>78%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)
	<b>76%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)	<b>69%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)

Bild 13: Schild (B bzw. C) oder Piktogramm (A)? Gegenüberstellung der gezeigten Alternativen (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014)

Dies erfolgte aus forschungsökonomischen Gründen mittels einer Probandenstudie mit 50 Verkehrsteilnehmern. Die Probanden wurden gefragt, wie lang ein Lkw nach eigener Einschätzung ist und ob sie ein Schild nur mit Text (vgl. Bild 13, Spalte B bzw. C) oder mit einem Piktogramm (vgl. Bild 13, Spalte A) hinsichtlich Wahrnehmung und Begreifbarkeit bevorzugen wurden. Dazu musste aus vier alternativen Beschilderungen eine Präferenz genannt werden.

### **Sichtprobleme anderer Verkehrsteilnehmer**

Wie zur Analyse der rückwärtigen Kenntlichmachung wurden auch die potenziellen Sichteinschränkungen anderer Verkehrsteilnehmer mittels einer Probandenstudie mit 50 Verkehrsteilnehmern untersucht.

## **9.5.2 Ergebnisse**

### **Heckkamarasysteme**

Die begutachteten Lang-Lkw wiesen unterschiedliche Kombinationen von Kameramontageort und Monitor auf. Teilweise war die Heckkamera fest installiert, teilweise lösbar. Die Platzierung erfolgte entweder am Dach des letzten Anhängers oder unten in Höhe des rückwärtigen Unterfahrschutzes. Es ergeben sich dadurch unterschiedliche Sichtfelder. Die Datenübertragung erfolgte mittels Kabel oder Funk. Im Fahrerhaus gab es teilweise separate Monitore (größere Bildschirme und bessere Auflösung), oder das rückwärtige Kamerabild konnte in die Tachomuschel am Armaturenbrett eingespielt werden (kleinerer Bildschirm, schlechtere Auflösung und kein permanentes Bild).

Trotz der Möglichkeit der Anzeige des Kamerabildes in der Tachomuschel wurden von einigen Teilnehmern des Feldversuchs die Bilder auf einen zusätzlichen Monitor übertragen, um oben genannte Vorteile der dauerhaften Anzeige und besseren Auflösung zu nutzen.

Die Anbringung der Kameras erfolgte nur in Ausnahmefällen am oberen Ende von Aufbauten oder Anhängern. Voraussetzung dafür ist, dass der Lang-Lkw in einer gleichbleibenden Kombination aus demselben Zugfahrzeug, Anhänger und gegebenenfalls Ladeeinheit (Aufbau) fährt. Die Kamera kann in diesem Falle fest installiert werden. Bei wechselnden Ladeeinheiten oder Anhängern waren Kameras im Bereich des hinteren Unterfahrschutzes angebracht. Eine feste Installation fand bei Chassis-Anhängern mit wechselnden Ladeeinheiten statt. Bei wechselnden Anhängern (insbesondere beim Typ 3) waren die Kameras nicht fest installiert, sondern mithilfe einer Klemme am hinteren Unterfahrschutz befestigt und mit einem Drahtseil zusätzlich am Rahmen gesichert. Die Verkabelung wurde dann entlang der Seitenplane durchgefädelt.

Bei der Anbringung im Bereich des hinteren Unterfahrschutzes reicht die Sicht bis an den Horizont, wohingegen bei höheren Kamerapositionen die Sichtweite nach hinten je nach Objektiv begrenzt ist. Kameras mit starkem Weitwinkelobjektiv weisen optische Verzerrungen auf (tonnenförmige Verzeichnung). Diese Verzerrungen und die eher horizontale Perspektive auf die Fahrbahn bei Anbringung der Kamera im Bereich des hinteren Unterfahrschutzes erschweren laut Fahreraussagen die Einschätzung von Entfernungen von Objekten (Fahrzeugen) hinter dem Lang-Lkw. Höher angebrachte Kameras verbessern tendenziell das Einschätzen von Distanzen über die Kamera-Monitor-Systeme.

Eine rückwärtige Kamera an einem Lang-Lkw war mit steilem Winkel auf den unmittelbaren Nahbereich hinter dem zweiten Anhänger gerichtet und dies mit einer Sichtweite bis ca. 5 m. Diese relativ vertikale Perspektive ermöglicht eine sehr gute Einschätzung der Entfernung von Objekten hinter dem Lang-Lkw. Dadurch eignet sich das System besonders zum sicheren rückwärts Heranfahren an Laderampen, jedoch nicht, um während der Fahrt eventuell Fahrzeuge zu erkennen, die zum Beispiel überholen wollen.

Laut Fahreraussagen werden die Kamera-Monitor-Systeme vor allem bei Rangiermanövern und beim Rückwärtsfahren genutzt, auch wenn Distanzen nur schwer einzuschät-



zen sind. Personen und größere Objekte im Nahbereich hinter dem Fahrzeug sind jedoch bei allen Varianten erkennbar.

Die Verschmutzungsanfälligkeit der Kameras ist sowohl bei der Montage im Bereich des hinteren Unterfahrschutzes als auch am Dach von Aufbauten und Anhängern gegeben, wobei eine Reinigung bei tief montierten Kameras natürlich einfacher ist.

### **Rückwärtige Kenntlichmachung**

Zunächst kann festgehalten werden, dass alle untersuchten Lang-Lkw mit einer rückwärtigen Kenntlichmachung ausgerüstet waren. Jedoch war ein Schild nicht retroreflektierend ausgeführt.

Bei der Befragung präferierten 74 % der Testpersonen ein Piktogramm gegenüber einem Schriftzug und hielten es für eindeutiger (vgl. Bild 13).

### **Sichtprobleme anderer Verkehrsteilnehmer**

Bezüglich möglicher Sichteinschränkungen schilderten die Probanden selbst erlebte Schlüsselsituationen mit herkömmlichen Lkw. Nach Erfahrung der Befragten treten Sichteinschränkungen durch Lkw hauptsächlich bei Überholvorgängen auf Landstraßen auf und es wird auf die Gefahr einer Verdeckung von Verkehrszeichen hingewiesen. Die Frage ist also, inwieweit sich in diesen Situationen durch den Einsatz von Lang-Lkw etwas ändern würde.

## **9.6 Exemplarische Analyse des Kraftstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen**

### **9.6.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik**

Ziel dieses Arbeitspakets war die Beurteilung der möglichen CO<sub>2</sub>-Reduktion durch am Feldversuch teilnehmende Lang-Lkw. Diese kann auf mehreren Ebenen erfolgen: von Betrachtungen der Transporteffizienz einzelner Lkw bis zu Auswirkungen auf komplexe Logistiksysteme unter Berücksichtigung eingesparter Fahrten oder umverteilter Ladung. SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) gingen ausschließlich auf Ersteres ein. Hierzu wurden Kraftstoffverbräuche beziehungsweise CO<sub>2</sub>-Emissionen von Lang-Lkw mit jenen von Lkw herkömmlicher Bauart verglichen und der jeweiligen Transportaufgabe gegenübergestellt. Um die Transporteffizienz von Lkw zu bewerten, muss der Kraftstoffverbrauch jeweils dem Nutzen der Fahrt, d.h. der Zuladung, gegenübergestellt werden. Übliche Kennzahlen sind hier Liter je Tonne Zuladung und gefahrenem Kilometer beziehungsweise Liter je Kubikmeter Zuladung und gefahrenem Kilometer.

Im Feldversuch eingesetzte Lang-Lkw fahren teilweise regelmäßig gleiche Routen mit sich wiederholenden Ladungsbedingungen ab. Dies begünstigt die Analyse von Kraftstoffverbräuchen, weil genannte Einflussparameter wie Wetter und Verkehrseinflüsse durch die Betrachtung längerer Zeiträume statistisch gemittelt werden. Der Einfluss der Fahrweise kann über Telematiksysteme kontrolliert werden, die auch der Bewertung der Fahrweise der Fahrer durch die Spediteure dienen.

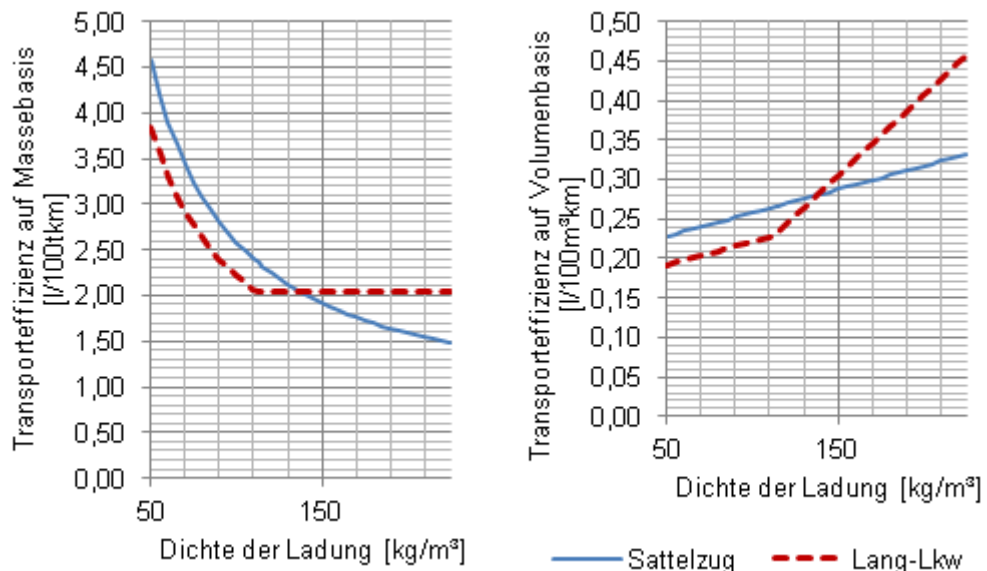
Die Analyse der Kraftstoffverbräuche und Transporteffizienzen erfolgt im Rahmen dieser Studie auf Basis von Flottentelematikdaten, welche unter anderem auch Informationen zu Einsatzgewichten oder auch Durchschnittsgeschwindigkeiten enthalten. Zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden über zwei Monate hinweg von einer Spedition Fahrten mit den gleichen, leichten Transportgütern (beide Fahrten jeweils volumenvoll) mit unterschiedlichen Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen (Standardsattelkraftfahrzeug und Lang-Lkw) verglichen.

## 9.6.2 Ergebnisse

Auf der zur Analyse herangezogenen Fernverkehrsrouten wurden von der Spedition leichte Güter mit einer mittleren Dichte von  $0,72 \text{ kg/dm}^3$  transportiert. Die Güter wurden sowohl von einem Volumen-Sattelkraftfahrzeug mit  $36 \text{ t}$  zulässiger Gesamtmasse und  $100 \text{ m}^3$  Ladevolumen als auch von einem Lang-Lkw vom Typ 3 mit  $40 \text{ t}$  zulässiger Gesamtmasse und  $155 \text{ m}^3$  Ladevolumen transportiert. Aufgrund der geringen Dichte des Ladeguts konnten bei beiden Lkw-Konzepten stets die vollen Ladevolumina ausgeschöpft werden. Die bewerteten Fahrstrecken belaufen sich auf  $10.700 \text{ km}$  beim Standardsattelkraftfahrzeug beziehungsweise  $8.900 \text{ km}$  mit dem Lang-Lkw.

Die mittleren Kraftstoffverbräuche unterscheiden sich mit  $24,1 \text{ l/100 km}$  beim Referenzfahrzeug und  $33,9 \text{ l/100 km}$  beim Lang-Lkw deutlich. Zur Berechnung der Transporteffizienz werden sie in Bezug zur Nutzlast (je Tonne) beziehungsweise des Nutzvolumens (je Kubikmeter) gesetzt. Es ergab sich für das Standardsattelkraftfahrzeug eine Transporteffizienz von  $3,37 \text{ l/100 tkm}$  beziehungsweise  $0,24 \text{ l/100 m}^3\text{km}$  und für den Lang-Lkw von  $2,81 \text{ l/100 tkm}$  beziehungsweise  $0,21 \text{ l/100 m}^3\text{km}$ . Der Lang-Lkw weist somit bezüglich der Nutzlast eine um  $15 \%$  bessere Transporteffizienz und bezüglich des Nutzvolumens eine um  $14 \%$  bessere Transporteffizienz auf.

Bild 14 zeigt links den Verlauf der Transporteffizienzen beider Lkw-Konzepte auf Basis der Nutzlast in  $\text{l/100 tkm}$ . Der Verlauf weist für den Lang-Lkw bei  $113 \text{ kg/m}^3$  eine Unstetigkeit auf. Bei dieser Dichte erreicht ein volumenmäßig ausgelasteter Lang-Lkw die zulässige Gesamtmasse. Das heißt, bei höheren Dichten der Ladung kann volumenbezogen der Lkw nicht mehr voll ausgelastet werden. Dieser Punkt ist beim Sattelkraftfahrzeug erst bei  $225 \text{ kg/m}^3$  erreicht. Der um  $15 \%$  geringere Verbrauch des Lang-Lkw bezogen auf die Nutzlast bleibt bis zu der Dichte von  $113 \text{ kg/m}^3$  relativ konstant und bricht dann ein. Der Vorteil des Lang-Lkw in der Transporteffizienz bezogen auf das Nutzvolumen von  $14 \%$  ist ebenfalls bis  $113 \text{ kg/m}^3$  relativ konstant und bricht danach ein (Bild 14, rechts). Ab einer Dichte von  $136 \text{ kg/m}^3$  weist stets das Sattelkraftfahrzeug eine bessere Transporteffizienz auf; sowohl masse- als auch volumenbezogen.



**Bild 14:** Transporteffizienzen von Sattelkraftfahrzeug und Lang-Lkw bei unterschiedlichen Dichten der Ladung (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014)

## 9.7 Fazit und Folgerungen

Zusammenfassend lässt sich auf Basis der von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) erarbeiteten Ergebnisse resümieren, dass unter den bisher untersuchten Randbedingungen

und bei herkömmlichen Beladungszuständen bislang keine nennenswerten Probleme hinsichtlich der im Rahmen des Forschungsauftrags behandelten fahrzeugtechnischen Fragestellungen ermittelt werden konnten.

Ein Effizienzgewinn von bis zu 15 % und die damit verbundenen Kraftstoffeinsparung scheinen realistisch. Zudem hat insbesondere auch der Vergleich der Bremswege eines Lang-Lkw mit den im Feldversuch derzeit überwiegend zum Einsatz kommenden acht Achsen und eines Standardsattelkraftfahrzeugs mit fünf Achsen sowie mit jeweils 40 t Gesamtgewicht für den Lang-Lkw aufgrund der größeren Anzahl gebremster Achsen einen kürzeren Bremsweg ergeben. Zwei Aspekte sind hinsichtlich dieses Ergebnisses jedoch zu berücksichtigen:

1. Es handelte sich bei dem durchgeführten Vergleichsversuch des Bremsvermögens um einen einzigen Versuch mit lediglich einem der möglichen fünf Lang-Lkw-Typen, mit einer ganz spezifischen Anzahl an Achsen, nur einer Reifenart und einer Bremsung auf einer Art von Fahrbahnbelag. Es kann daher nicht unterstellt werden, dass Lang-Lkw (z. B. mit weniger als den getesteten acht gebremsten Achsen) immer besser bremsen als Standardsattelkraftfahrzeuge.
2. Es ist nicht ausgeschlossen, dass ein herkömmliches Sattelkraftfahrzeug, das mit dem gleichen (leichten) Transportgut wie der Lang-Lkw und somit mit weniger als mit 40 t beladen ist<sup>13</sup>, einen kürzeren Bremsweg als das Standardsattelkraftfahrzeug mit 40 t, beziehungsweise ein Lang-Lkw mit weniger als den getesteten acht Achsen einen etwas längeren Bremsweg aufweisen könnte.

Sollte sich daher die bereits zum Ende der Untersuchung abzeichnende Tendenz verstärken, dass Lang-Lkw auch mit weniger als den getesteten acht Achsen betrieben werden, gilt es, das Bremsverhalten unter diesen Rahmenbedingungen neu zu ermitteln und gegebenenfalls neu zu bewerten. Da die Auswirkungen eines geringeren Gesamtgewichts der äquivalenten herkömmlichen Lkw auf das Bremsverhalten nicht einfach mathematisch bestimmt werden können, sollte in einem weiteren Untersuchungsschritt ein Vergleich zwischen einem Lang-Lkw und einem herkömmlichen Lkw mit dem gleichen Transportgut anhand eines weiteren Bremsversuchs durchgeführt werden.

Derzeit gibt es aber keinen Hinweis auf eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch ein mögliches unterschiedliches Bremsverhalten von Lang-Lkw gegenüber dem von herkömmlichen Lkw, deren Bremsvermögen ebenfalls bauartbedingt unterschiedlich sein kann. Die geforderte beziehungsweise verpflichtende Ausrüstung der Lang-Lkw mit EBS und elektronischem Fahrdynamikregelsystem/ABS (vgl. § 5 LkwÜberlStVAusnV) bewirkt ein gutes Bremsansprechverhalten, und es hat sich auf Basis der durchgeführten Versuche gezeigt, dass keine Gefahr des Einknickens der Fahrzeugkombination bei Bremsmanövern vorhanden ist.

Analog zum Bremsverhalten gelten die erarbeiteten Ergebnisse zur Fahrdynamik strenggenommen ebenfalls nur für die bei den Untersuchungen gewählten Randbedingungen hinsichtlich Achsanzahl der Lang-Lkw und des Gesamtgewichts des Vergleichsfahrzeugs von 40 t. Für die fahrdynamischen Fragestellungen stellen jedoch die Anzahl und Lage der Knickpunkte, die Länge von Überhängen sowie die Verteilung der Ladung die wesentlich entscheidenderen Einflussgrößen dar.

Da die Wirksamkeit der hinteren Kennzeichnung der Lang-Lkw aus forschungsökonomischen Gründen lediglich anhand einer vergleichsweise geringen Stichprobe und zwar experimentell analysiert werden konnte, sollte bei einer deutlich größeren Vorkommenshäufigkeit von Lang-Lkw überprüft werden, inwieweit die Einschätzung der Überlänge anhand der hinteren Kennzeichnung im Realbetrieb durch nachfolgende Verkehrsteilnehmer erfolgen kann.

---

<sup>13</sup> Setzt man eine gleichzeitige Ausnutzung der Nutzlast und des Nutzvolumens des Lang-Lkw an, beträgt die Dichte der Ladung rund 0,12 kg/dm<sup>3</sup>. Würde man das Standardsattelkraftfahrzeug mit einem Ladegut dieser Dichte beladen, käme er lediglich auf ein Gesamtgewicht von etwa 25 t.

Weiterer Untersuchungsbedarf kann in einer systematischen Erfassung relevanter Verkehrssituationen gesehen werden, bei denen die Sicht anderer Verkehrsteilnehmer möglicherweise beeinträchtigt sein kann. Die Analyse ihrer Signifikanz für die Verkehrssicherheit könnte zum Beispiel mithilfe von Fahrsimulator-Studien ermittelt werden.

Die exemplarisch durchgeführte Analyse des Kraftstoffverbrauchs von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) ist im Kontext mit den bei den Speditionen im Rahmen des Teilprojekts FE 89.0273 von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführten Abfragen zu sehen (vgl. dazu Ziffer 8.1). Zu beachten ist jedoch, dass mögliche Umwegfahrten aufgrund des eingeschränkten Positivnetzes und Relationen mit (größerem) Leerfahrtenanteil, wie sie durchaus bei einzelnen Teilnehmern am Feldversuch auftreten, insbesondere von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) nicht berücksichtigt werden konnten.

Auf Basis der Untersuchung von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) ergeben sich Hinweise auf mögliche Änderungen und Präzisierungen allgemeiner Art, wie die eindeutigere Spezifikation der BO-Kraftkreisbefahrung, sowie einzelner Anforderungen für Lang-Lkw, die bei einem etwaigem weiteren Einsatz nach Ablauf des Feldversuchs berücksichtigt werden sollten. Dazu gehören:

- Eindeutigere Vorgaben und Toleranzen zur „on-board“ Achslastüberwachung.
- Eindeutige Spezifikation der fahrzeugtechnischen Anforderungen für die Teilnahme am Kombinierten Verkehr.
- Präzisierung der Montagebedingungen und des Sichtfeldes der rückwärtigen Kamera (Zeitweilige oder dauerhafte Übertragung des Bildes? Was soll hinter dem Lang-Lkw gesehen werden?).
- Möglicherweise Änderung und Vereinheitlichung der Heckbeschilderung gegebenenfalls mit Piktogramm (z. B. einheitliche Schildgröße (Schriftgröße) von 230 mm, einheitlicher Schrifttyp).

## **10 Straßenbeanspruchung durch Lang-Lkw**

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von WELLNER, UHLIG (2014) durchgeführten Forschungsprojekt FE 04.0254/2011/ERB „Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw“.

### **10.1 Zielsetzung**

Ziel des Forschungsprojekts war es, eine Abschätzung der Straßenbelastung durch den Einsatz von Lang-Lkw hinsichtlich einer Mehr- oder Minderbeanspruchung des Straßenoberbaues im Vergleich zur Nutzung konventioneller Fahrzeuge des Schwerverkehrs vorzunehmen, um daraus Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen des Nutzungszeitraums von Straßenoberbauten ziehen zu können.



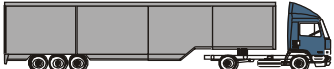
### **10.2 Untersuchungsmethodik**

Daten zu Achslasten und Gesamtgewichten wurden durch die Fahrer der Lang-Lkw unmittelbar vor Fahrtbeginn oder in Einzelfällen durch Bearbeiter anderer Teilprojekte der wissenschaftlichen Begleituntersuchung im Rahmen deren Untersuchungen in ein von WELLNER, UHLIG (2014) entwickeltes Erhebungsformular eingetragen. Neben diesen erforderlichen Daten wurden in Abstimmung mit anderen Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleitung weitere Informationen betreffend der Fahrzeugausprägung, realisierter Fahrten mit Lang-Lkw und äquivalenter konventioneller Lkw eingeholt. Im Rahmen der von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführten zwölfmonatigen kontinuierlichen Fahrtenerhebung (vgl. Ziffer 6) wurde zum Beispiel eine Vielzahl an Kenngrößen zu den Transportvorgängen mit Lang-Lkw erfasst, die auch für die Bearbeitung des von WELLNER, UHLIG (2014) bearbeiteten Forschungsthemas genutzt werden konnten.

Alle an WELLNER, UHLIG (2014) übermittelten Daten wurden plausibilisiert und in eine Datenbank übertragen. Die Plausibilisierung der Angaben zu Achslasten und Gesamtgewichten erfolgte dabei auch mittels entsprechender von der BAST zur Verfügung gestellter Daten, die an Achslastwaagen im BAB-Netz im Erhebungszeitraum erfasst worden waren.

Zur Ermittlung von möglichen Überladungen wurde der Datenbestand zu Achslasten und Gesamtgewichten mit den höchstzulässigen Achslasten und Gesamtgewichten nach § 34 StVZO unter Berücksichtigung der konstruktiven Besonderheiten der Lang-Lkw abgeglichen.

Basierend auf der Analyse der Erhebungsdaten betreffend Ladungsinhalt, Beladungsgrad und Gesamtgewicht der Lang-Lkw wurde die qualitative Zusammensetzung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs Schwerverkehr ermittelt. Zur Definition des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs, das zur Erbringung der gleichen Transportleistung der dokumentierten Lang-Lkw-Fahrten erforderlich ist, wurden von WELLNER, UHLIG (2014) die Angaben in der von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) erarbeiteten Datenbank analysiert sowie Befragungen der beteiligten Unternehmen durchgeführt. Im Ergebnis wurden die fünfsachsigen Fahrzeugtypen 41, 42 und 98 nach TLS 2012 /BAST, 2012) als äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen ermittelt (vgl. Bild 15). Typ 98 (Standardsattelkraftfahrzeug) überwiegt hierbei mit einem Anteil von 82 % im Direktverkehr und 73 % im Kombinierten Verkehr deutlich.

FZTYP	Symbol
41	
42	
98	

**Bild 15: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen (WELLNER, UHLIG, 2014)**

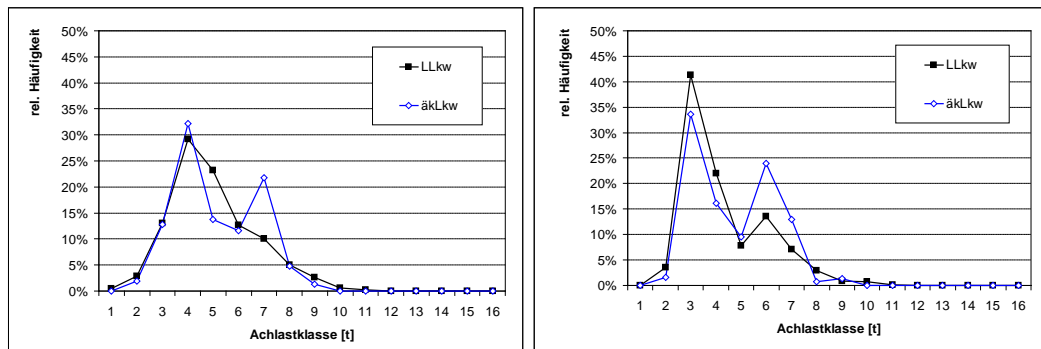
Jeder Ladung einer Fahrt mit Lang-Lkw wurden dann konventionelle Fahrzeugtypen zum Transport der gleichen Ladung zugeordnet. Der Einsatz spezifischer Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs erfolgte unternehmensabhängig unter Berücksichtigung logistischer, kapazitiver und betriebswirtschaftlicher Anforderungen. Hierzu wurden entsprechende Analysen von Forschungsnehmern anderer Teilprojekte der wissenschaftlichen Begleitung einbezogen sowie Befragungen der Unternehmen durchgeführt. Die Anzahl der Fahrten konventioneller Lkw wurde durch die Analyse ihrer entsprechenden Laderaumkapazitäten und zulässigen Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewicht ermittelt. So wurde für den Vergleich der Beanspruchungswirkung im Straßenoberbau das komplette äquivalente Fahrzeugkollektiv konventioneller Lkw für die Transportleistung der Lang-Lkw bestimmt.

Vergleichende Berechnungen zur Beanspruchungswirkung auf den Befestigungsaufbau erfolgten zum einem nach dem Verfahren der Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen – RStO 12 (FGSV, 2012b); hier über die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge. Zum anderen erfolgte die Berechnung des Ermüdungsstatus nach Ablauf der Nutzungsdauer sowie durch Ermittlung der Prognosenutzungsdauer nach Erreichen des Ermüdungsstatus von 100 % einer Asphaltbefestigung nach den Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht – RDO Asphalt 09 (FGSV, 2009a).

### 10.3 Ergebnisse

Die von den Unternehmen dokumentierten Achslasten sind nachvollziehbar und stimmen mit den Vergleichsdaten überein. Somit sind die aus den erfassten Daten gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Beanspruchung der Straßeninfrastruktur als belastbar anzusehen.

Die Achslastverteilung der Lang-Lkw zeigt, dass 92 % der erfassten Achslasten im Bereich  $\leq 7$  t liegen (vgl. Bild 16) und damit deutlich unter den nach § 34 StVZO höchstzulässigen 10 t für nicht angetriebene und 11,5 t für angetriebene Einzelachsen. Geschuldet ist das den Randbedingungen des Feldversuchs in Bezug auf das höchstzulässige Gesamtgewicht von 40 t / 44 t (KV) in Verbindung mit mehr als den in § 34 StVZO für diese Gesamtgewichte geforderten mindestens fünf Achsen am Fahrzeug bzw. der Fahrzeugkombination. Das Gesamtgewicht der Lang-Lkw liegt zu ca. 73 % in einem Bereich von  $> 28$  t bis  $\leq 40$  t. Darunter liegen ca. 19 %. Über 40 t weisen ca. 8 % der Lang-Lkw auf. Die Daten zeigen, dass die Lang-Lkw unter Berücksichtigung der Randbedingung  $\leq 40$  t beziehungsweise  $\leq 44$  t im Kombinierten Verkehr eher volumenvoll als gewichtsvoll fahren. Daraus resultiert gegenüber dem konventionellen Schwerverkehr eine Verschiebung der Achslastverteilung hin zu den unteren Achslastklassen.



**Bild 16:** Achslastklassenverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im Direktverkehr (links) bzw. Kombinierten Verkehr (rechts)

Der Abgleich der erfassten Achslasten und der aus ihnen berechneten Gesamtgewichte erfolgte anhand der im § 34 StVZO festgelegten höchstzulässigen Achslasten und des höchstzulässigen Gesamtgewichts von 40 t / 44 t (KV). Danach ergibt sich, dass die Achslasten nur in einem Fall mit 0,2 t überschritten wurden. Rund 7 % der Lang-Lkw überschreiten das jeweils höchstzulässige Gesamtgewicht. Zu über 90 % liegen die Grenzwertüberschreitungen  $\leq 3$  t; die maximale Überschreitung lag bei 6,4 t (entspricht 16 % in Bezug auf 40 t). Im konventionellen Schwerverkehr liegt der Überladungsanteil auf AB mit im Mittel 18 % im Jahr 2013 mehr als doppelt so hoch (Achslastmessungen der BASt auf BAB im Jahr 2013).

Im Ergebnis des Vergleichs der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und dem entsprechend äquivalenten konventionellen Lkw-Kollektiv im Straßenaufbau lässt sich feststellen, dass den dokumentierten 2.229 Fahrten der Lang-Lkw 3.398 Fahrten konventioneller Lkw entsprechen. Ein Lang-Lkw ersetzt somit 1,52 Fahrzeuge des konventionellen Schwerverkehrs (vgl. dazu auch Ziffer 8.2). Aufgrund der unterschiedlichen mittleren Achsanzahl pro Fahrzeug beider Fahrzeuggruppen (Lang-Lkw im Mittel 7,5 Achsen, äquivalente konventionelle Lkw im Mittel 5,0 Achsen) ergibt sich beim Einsatz von Lang-Lkw jedoch lediglich eine Reduzierung der Zahl der Achsübergänge von -2 %.

Für die vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung nach den Dimensionierungsrichtlinien RStO 12 und RDO Asphalt 09 wurden drei verschiedene Szenarien mit unterschiedlich großen Anteilen der Lang-Lkw am konventionellen Schwerverkehr (2 %, 5 %, 9 %) betrachtet. Der Maximalanteil von 9 % ist dabei von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) übernommen worden (vgl. Ziffer 8.2).

Für alle Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw wird mit ca. 1 % eine nur geringfügig niedrigere dimensionierungsrelevante Beanspruchung B nach den RStO 12 ermittelt als für das Vergleichskollektiv ohne Lang-Lkw. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz von Lang-Lkw mit den hier untersuchten Anteilen von bis zu 9 % am gesamten Schwerverkehr auf BAB im Dimensionierungsprozess nach den RStO 12 keine Änderung der Belastungsklasse und damit keine Auswirkung auf die auszuführenden Schichtdicken des Oberbaus von Fahrbahnen bewirkt.

Die gleichen Szenarien unter dem Blickwinkel der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt 09 haben zum Ergebnis, dass sich mit dem maximal angenommenen Einsatz von Lang-Lkw der angesetzte normative Nutzungszeitraum von 30 Jahren mit 0,5 % nur unwesentlich verlängert. Auch hier kann festgestellt werden, dass dimensionierungstechnisch keine Auswirkungen auf die auszuführenden Dicken des Straßenoberbaus bestehen. Somit ist unter den Randbedingungen des Feldversuchs (z. B. keine Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichts, festgelegtes Streckennetz, etc.) keine Zerstörung der Infrastruktur durch den Einsatz von Lang-Lkw zu erwarten.

## 10.4 Fazit und Folgerungen

Der Vergleich des aus dem Fahrzeugkollektiv mit Lang-Lkw und dem äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektiv ohne Lang-Lkw resultierenden Beanspruchungsniveaus in Straßenoberbauten zeigt auf der Grundlage des vorliegenden Datenbestandes, dass unter den Randbedingungen des Feldversuchs keine nennenswerten Mehr- oder Minderbeanspruchungen festzustellen sind.

Inwiefern sich ein genereller Einsatz von Lang-Lkw auf die Straßenbeanspruchung und somit letztlich auf den Nutzungszeitraum von Straßenoberbauten auswirken würde, hängt von mehreren Faktoren, wie beispielsweise dem höchstzulässigen Gesamtgewicht, dem Anteil von Lang-Lkw am Gesamtkollektiv Schwerverkehr, von logistischen Optimierungsprozessen oder fahrzeugtechnischen Entwicklungen, ab. Sollte sich beispielsweise die bereits einsetzende, im Feldversuch zu beobachtende Tendenz fortsetzen, dass die Lang-Lkw-Betreiber Achsen beim Lang-Lkw (unter Beachtung der zulässigen Achslasten) zugunsten einer größeren Nutzlast einsparen, müsste die Straßenbeanspruchung unter diesen veränderten Randbedingungen neu bewertet werden. Obsolet wäre diese Fragestellung jedoch dann, wenn als Randbedingung für den Einsatz von Lang-Lkw eine Forderung nach achtachsigen Lang-Lkw erhoben werden würde.

Als offen muss die Frage bezeichnet werden, welche Auswirkungen von einem verstärkten Einsatz der Lang-Lkw-Typen 1 und 5 auf die Straßenbeanspruchung ausgehen könnte, da zu diesen Typen kein beziehungsweise lediglich ein einzelner Datensatz vorlag. Unter Umständen kann der Einsatz dieser Lang-Lkw-Typen zu einer höheren Straßenbeanspruchung führen, da hier zwar auch die gleiche zulässige Gesamtmasse gilt, – anders als bei den Lang-Lkw der Typen 2, 3 und 4 – in der Regel aber nicht mehr Achsen vorhanden sind – als bei den äquivalenten Lkw. Dieses hätte zur Folge, dass sich im Vergleich zum äquivalenten Lkw-Kollektiv das größere Eigengewicht in Kombination mit der höheren Nutzlast der Lang-Lkw nicht, wie bisher im Feldversuch beobachtet, auf mehr beziehungsweise in der Summe aller Transportvorgänge nahezu gleich vielen und etwas weniger belasteten Achsen verteilt (vgl. Ziffer 10.3). Dann würde neben der Anzahl der Fahrten auch die Anzahl an Achsübergängen sinken, dafür aber mit höheren Achslasten einhergehen, was negative Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung nach sich ziehen könnte.

Eine weitere Frage betrifft die auch hinsichtlich der Fahrdynamik kritisch zu bewertenden ungleichen Beladungszustände der einzelnen Fahrzeugeinheiten (vgl. Ziffer 9.4). Diese können zu unterschiedlichen Teil-Gesamtgewichten und damit letztlich zu höchst unterschiedlichen Achslasten führen. Dieser Effekt tritt auch im konventionellen Schwerverkehr auf. Da es sich um ein generelles Problem im Schwerverkehr handelt, wäre hier zu untersuchen, welche Achslastdifferenz, insbesondere zwischen den einzelnen Fahrzeugein-

heiten, noch zulässig wäre beziehungsweise ab welcher Achslastdifferenz negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit zu befürchten wären.

## 11 Tunnelsicherheit

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von MAYER, BRENNBERGER, GROßMANN (2013) bearbeiteten Teilprojekt FE 15.0550/2011/ERB „Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln“.

### 11.1 Zielsetzung

Das Forschungsvorhaben zum Schwerpunkt Tunnelsicherheit legte den Fokus auf die Auswirkungen von Lang-Lkw bei Brandereignissen in Straßentunneln. Vor dem Hintergrund einer erforderlichen Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der Nutzung der Straßentunnel durch Lang-Lkw sollten die Auswirkungen eines Fahrzeugbrandes im Tunnel auf die Sicherheit der Tunnelnutzer und der Konstruktion auf der Basis von Grundlagenstudien unter Einbeziehung nationaler und internationaler Erfahrungen mit unter anderem überlangen Lkw untersucht werden. Daraus folgend sollten maßgebliche Transportgüter identifiziert, die maßgeblichen Brandparameter für konventionelle Lkw sowie Lang-Lkw für ausgewählte Güter ermittelt und hieraus sicherheitstechnische und brandschutztechnische Anforderungen erarbeitet werden. Aufgrund der hohen Anzahl an Einflussparameter auf das Brandverhalten im Tunnel (z. B. Verkehrsbelastung, Lüftungssystem, Gegenverkehrs- oder Richtungsverkehrstunnel, Tunnellänge, Längsneigung) sollten die Untersuchungen mit Hilfe von CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) durchgeführt werden, bei denen die Auswirkungen von Fahrzeugbränden mit Lang-Lkw beziehungsweise verschiedener Szenarien berücksichtigt werden können. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Eingangsparameter für eine quantitative Risikoanalyse, die eine Sicherheitsbewertung für den Einsatz von Lang-Lkw ermöglicht.

Durch das Projekt sollten die Auswirkungen von Fahrzeugbränden mit Lang-Lkw auf die Sicherheit der Tunnelnutzer und die Konstruktion in Form eines Relativvergleichs zwischen Lang-Lkw und konventionellen Lkw analysiert und der Bedarf gegebenenfalls erhöhter sicherheitstechnischer und brandschutztechnischer Anforderungen an Straßentunnel abgeleitet werden.

### 11.2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des ersten Arbeitsschritts wurden Grundlagen und Informationen hinsichtlich der sicherheitstechnischen Ausstattung und des Brandschutzes von Straßentunneln im Hinblick auf den Transport von Gütern mittels Lang-Lkw gesammelt und ausgewertet. Hierbei wurden normative Grundlagen (nationale und internationale Vorgaben und Verordnungen zum Führen von unter anderem längeren Lkw), Anforderungen an die sicherheitstechnische Ausstattung von Straßentunneln gemäß den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT (FGSV, 2006) sowie an den Brandschutz von Straßentunneln gemäß den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – ZTV-ING und internationale normative Bemessungsgrundlagen (Normen, Richtlinien etc.) zur Dimensionierung von sicherheitstechnischen Anlagen und zum Brandschutz berücksichtigt.

Erste Erkenntnisse aus dem Feldversuch, und hierbei insbesondere aus dem der kontinuierlichen Fahrtenerhebung im Rahmen des von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014, vgl. Ziffer 6 sowie 8) bearbeiteten Teilprojekts, sowie entsprechende Fachveröffentlichungen im europäischen In- und Ausland wurden von MAYER, BRENNBERGER, GROßMANN (2013) für nationale und internationale Recherchen zum Ladungsvolumen und der Ladungszusammensetzung (typische mittels Lang-Lkw transportierte Güter) herangezogen.



Aufbauend auf oben genannten Analysen hinsichtlich der Ladegutzusammensetzung und des Volumens wurden auf der Basis von in Laborversuchen für einzelne Stoffe ermittelten Brandleistungen zum einen und über Realbrandversuche gewonnene Erkenntnisse zum anderen ladegutspezifische Energiefreisetzungsraten ermittelt.

Auf Grundlage der Vorgaben in den RABT 2006 wurde ein Untersuchungstunnel in seiner Geometrie und in seinen sicherheitstechnischen Einrichtungen definiert. Es wurden ein Rechteckquerschnitt gewählt und zwei Lüftungssysteme (Längslüftung, Längslüftung mit Rauchabsaugung über Zwischendecke mit steuerbaren Absaugöffnungen) betrachtet. Die Dimensionierung der Lüftung erfolgte mittels Druckverlustberechnungen.

Auf Basis der zuvor festgelegten Brandparameter und der definierten Untersuchungsvarianten und -szenarien wurden CFD-Berechnungen mit Hilfe des Fire Dynamics Simulator (FDS) durchgeführt. FDS ist ein vom NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST) des US Departement of Commerce speziell für die Simulation von Bränden entwickeltes, im Brandschutzwesen anerkanntes Brandsimulationsprogramm und wurde in zahlreichen Versuchsreihen validiert.

CFD-Berechnungen liefern raum- und zeitdiskrete Verteilungen von Druck, Geschwindigkeiten, Temperaturen und Konzentrationen in Abhängigkeit von der jeweiligen Brandleistung. Des Weiteren lassen sich darüber Temperatur-Zeit-Kurven ermitteln und mit den in den Richtlinien angegebenen Werten vergleichen.

Als Referenzfall der durchgeführten quantitativen Risikoanalyse wurden Szenarien mit Brandleistungen von 5 MW für Pkw sowie 30 MW, 50 MW und 100 MW für Lkw betrachtet (Bemessungsbrandleistungen gemäß RABT 2006), wodurch in Abhängigkeit von der Lkw-Fahrleistung unterschiedliche Brandszenarien mit Lkw-Bränden abgedeckt wurden. Die Untersuchungsvarianten für Lang-Lkw unterschieden sich von diesen Bemessungsbrandleistungen in Abhängigkeit von der Ladegutzusammensetzung. Es wurden hier auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse in der Vorbetrachtung erhöhte Brandleistungen von 45 MW, 75 MW sowie 150 MW zur Abbildung von Lang-Lkw-Bränden verwendet.

In Anlehnung an die Methodik zur Durchführung von quantitativen Risikoanalysen in Straßentunneln erfolgte anschließend eine Sicherheitsbewertung für die zuvor festgelegten Untersuchungsszenarien in Bezug auf den definierten Referenzfall ohne Lang-Lkw-Beteiligung. Durch die Verknüpfung der Schadenausmaße mit den jeweiligen Eintrittshäufigkeiten konnten szenarioabhängig die Risiken für die Tunnelnutzer ermittelt werden.

Nach Zusammenführung der Ergebnisse aus der Sicherheitsbewertung und deren Beurteilung wurde überprüft, ob hinsichtlich der sicherheitstechnischen Ausstattung und zum Brandschutz von Tunneln durch den Einsatz von Lang-Lkw zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden.

### 11.3 Ergebnisse

Die Analysen zum Sicherheitsniveau zeigen, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Anteile von Lang-Lkw am Gesamtschwerverkehrsaufkommen leichte Unterschiede im Vergleich zu den konventionellen Lkw ergeben. Sie sind abhängig vom Anteil der Lang-Lkw am Schwerverkehr und davon, ob sich durch den Einsatz von Lang-Lkw ein Einsparpotential an konventionellen Lkw ergeben könnte. Diese Substitutionsmöglichkeit wurde in weiteren Szenarien aufgrund des höheren Ladevolumens der Lang-Lkw-Transporte im optimalen Verhältnis 2 Lang-Lkw zu 3 konventionellen Lkw angenommen (vgl. Ziffer 8).

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Untersuchung ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen des Forschungsberichts konservative Annahmen (Längsgefälle 3 %, konservative Ausmaßabschätzungen, feste Detektionszeiten usw.) getroffen wurden, so dass sich entsprechend hohe absolute Risikowerte ergaben. Im Vergleich zu statistischen Daten von Brandereignissen sind die Ergebnisse als zu hoch einzuschätzen und liegen damit auf der sicheren Seite.

Da jedoch die vergleichende Betrachtung des Sicherheitsniveaus mit und ohne Lang-Lkw-Beteiligung im Vordergrund stand, spielt die absolute Höhe der Risiken keine maßgebende Rolle.

Bei hohen Energiefreisetzung von 100 MW beziehungsweise 150 MW treten nur geringe Unterschiede hinsichtlich der absoluten Betroffenzahlen auf. Bedingt durch die schnelle Rauchausbreitung ist bereits bei 100 MW eine maximale Anzahl an Betroffenen erreicht, so dass eine zusätzliche Rauchgasproduktion bei höheren Brandleistungen nur noch geringe Unterschiede bewirkt. Aufgrund der geringen Häufigkeit der Ereignisse ist ihr Anteil am Gesamtrisiko allerdings nur von untergeordneter Bedeutung.

Relevanter für die Sicherheitsbetrachtung sind die Brandereignisse von herkömmlichen Lkw beziehungsweise Lang-Lkw von 30 MW und 45 MW, da sie den größten Anteil am Schwerverkehr repräsentieren. Die Zunahme der Brandleistung um 50 % bewirkt hier abhängig vom Verkehrs- und Lüftungsszenario deutliche Unterschiede hinsichtlich der Betroffenzahlen. Diese Differenzen sind maßgeblich für die Veränderung im Sicherheitsniveau. Zugleich sind diese Brandleistungen aber durch die Brandventilation gut beeinflussbar.

Der Ansatz der Fahrzeugsubstitution bewirkt aufgrund der Verringerung der Verkehrsbelastungen allgemein eine niedrigere Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen mit und ohne Brand. Im Besonderen die Reduktion des Schwerverkehrsanteils bewirkt die im Forschungsbericht von MAYER, BRENNBERGER, GROßMANN (2013) dargestellte Verringerung des Risikos infolge der dann geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit. Das bewertete Risiko mit Lang-Lkw lag aber in allen maßgeblichen Untersuchungsfällen über den Kennzahlen der Untersuchungsfälle ohne Lang-Lkw; d.h., dass eine Kompensation zum Teil durch die Fahrzeugsubstitution möglich ist, die dann geringere Eintrittswahrscheinlichkeit das höhere Schadensausmaß jedoch nicht vollständig kompensiert.

Neben den Ladungen sind auch weitere Faktoren für die Ermittlung des Risikos wesentlich, wie beispielsweise die Unfallraten. Anhand der bisherigen vorläufigen Erkenntnisse des Feldversuchs und der Recherchen im Ausland zum Thema Unfallrisiken von längeren und / oder schwereren Lkw gibt es derzeit keine Anzeichen für erhöhte Unfallraten aufgrund derartiger Fahrzeugkonzepte. Es wurden daher die speziell für Tunnel ermittelten durchschnittlichen bundesdeutschen Unfallraten angesetzt (vgl. BALTZER, KÜNDIG, LOCHER, MAYER, RIEPE, STEINAUER, ZIMMERMANN, ZULAUF, 2009).

Im Ergebnis kann aus der durchgeführten vergleichenden Risikobetrachtung zwischen Lang-Lkw und konventionellem Lkw festgehalten werden, dass für den derzeitigen Umfang an Lang-Lkw im Feldversuch von keiner signifikanten Erhöhung der Risiken für Tunnelnutzer auszugehen ist. Dafür sind die tatsächlich derzeit in Deutschland eingesetzten Lang-Lkw zu selten vertreten. Ihr Anteil am Gesamtschwerverkehr ist aktuell noch als verschwindend gering zu bezeichnen. Für die Abschätzung der Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Tunnelsicherheit im Allgemeinen wurden jedoch im Sinne von verschiedenen Szenarien zusätzlich höhere Lang-Lkw-Anteile betrachtet. Für die betrachteten Anteile von 1 % und 10 % am Schwerverkehrsaufkommen<sup>14</sup> liegen die möglichen negativen Auswirkungen allerdings immer noch in Bereichen, die in der Regel mit kompensatorischen Maßnahmen ausgeglichen werden könnten.

## 11.4 Fazit und Folgerung

Maßgeblich für die Sicherheitsbewertung von Lang-Lkw ist deren Anteil am Gesamtschwerverkehrsaufkommen sowie der Einfluss durch die mögliche Substitution konventi-

---

<sup>14</sup> Ein Anteil von 1 % Lang-Lkw am Schwerverkehrsaufkommen bei einer Gesamtverkehrsstärke von beispielsweise 45.000 bis 50.000 Kfz/24h sowie 15% Schwerverkehrsanteil (entspricht etwa der mittleren durchschnittlich täglichen Verkehrsstärke (DTV) sowie dem mittleren Schwerverkehrsanteil auf Autobahnen, vgl. FITSCHEN, NORDMANN, 2013) würde bedeuten, dass etwa 65 bis 75 Lang-Lkw pro Tag durch einen Tunnel fahren.

oneller Lkw durch Lang-Lkw. Die Abschätzungen wurden hierbei sehr konservativ vorgenommen und positiv wirkende Aspekte wie der höhere Sicherheitsstandard von Lang-Lkw nicht berücksichtigt. Auch weitere sicherheitserhöhende kompensatorische Maßnahmen im Rahmen der Tunnelausstattung wurden nicht näher betrachtet. So könnten beispielsweise verkürzte Notausgangsabstände oder frühzeitigere Detektion von Brandereignissen das Sicherheitsniveau günstig beeinflussen. Dies würde jedoch gleichfalls für das Szenario mit ausschließlich konventionellen Lkw gelten.

Die vorgeschlagene Methodik zur Berücksichtigung von Lang-Lkw stellt eine Erweiterung des bekannten Vorgehens zur quantitativen Sicherheitsbewertung von Straßentunneln dar. Der Ansatz des Relativvergleichs zwischen Referenz- und Untersuchungsfällen wird dabei weiterhin verfolgt und um erhöhte Brandleistungen für Lang-Lkw ergänzt. Das Höchstmaß hinsichtlich der Bemessungsbrandleistung ist bislang auf 100 MW begrenzt. Die durchgeführten Berechnungen und Auswertungen von vorhandenen Brandversuchen zeigten allerdings, dass Brandereignisse in Straßentunneln durchaus größere Brandlasten einhergehend mit höheren Temperaturen verursachen können. Die zur Bemessung des baulichen Brandschutzes verwendete Zeit-Temperatur-Kurve (ZTV-ING-Kurve) berücksichtigt diesen Umstand insofern, als dass das zugrunde gelegte Temperaturniveau etwa einen 300 MW Brand repräsentiert.

Vergleiche zwischen Ladungen von konventionellen Lkw und Lang-Lkw zeigen, dass sich bei einer Ladungszunahme (Ladevolumen), abhängig von den Randbedingungen, wie zum Beispiel der Art der transportierten Güter, auch eine Erhöhung der Brandleistung ergibt. Die in der Methodik festgelegten Brandleistungen wurden auf Basis ausgewählter maßgeblicher Ladungsgüter untersucht. Sie bilden einen Querschnitt der derzeit transportierten brennbaren Ladungsgüter innerhalb des Feldversuchs. Für allgemein gültige Aussagen hinsichtlich der Brandereignisse im Hinblick auf das damit verbundene Sicherheitsniveau wurde ein konservativer Ansatz gewählt, der ungünstige Verhältnisse hinsichtlich Brandentwicklung und Brandstärke ansetzt. Für die risikoanalytische Betrachtung von Lang-Lkw in Straßentunneln wird deshalb empfohlen, die maximale Brandleistung auf 150 MW zu erhöhen. Entsprechend wird auch für die weiteren Bemessungsbrandleistungen von Lang-Lkw vorgeschlagen, sie mit einem Faktor zu belegen. Im Rahmen der Untersuchungen von MAYER, BRENNBERGER, GROßMANN (2013) konnte er aufgrund umfangreicher Berechnungsergebnisse auf 1,5 festgesetzt werden. Damit ergeben sich für Lang-Lkw in Analogie zu den Vorgaben in den RABT weitere Bemessungsbrandleistungen zu 45 MW und 75 MW. Unter dieser Voraussetzung führen Lang-Lkw zu erhöhten Schadensausmaßen im Vergleich zu konventionellen Lkw.

Über einen Abgleich der Erkenntnisse aus dem weiteren Verlauf des Feldversuchs sollten die bisherigen Ansätze verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden. Die durchgeführte Grundlagenstudie legt zum Beispiel hinsichtlich der Unfallauswertungen in anderen europäischen Ländern nahe, dass der Einsatz von längeren Lkw zu keinen erhöhten Unfallzahlen führt. Dieser Ansatz wurde auch in der Untersuchung verfolgt; er sollte aber auch für das deutsche Straßennetz anhand von Analysen zu Unfällen mit Lang-Lkw-Beteiligung geprüft werden.

Derzeit sind keine Lang-Lkw für den Transport von kennzeichnungspflichtigen Gefahrgütern zugelassen. Auch im europäischen Vergleich sind für längere Lkw bislang keine Freigaben für Gefahrguttransporte erteilt worden. Eine Freigabe von Gefahrguttransporten mit Lang-Lkw sollte erst nach eingehenden zusätzlichen, detaillierten Betrachtungen erfolgen. Bei einer Aufhebung dieser Beschränkung wäre dann das Verfahren zur Kategorisierung von Straßentunneln entsprechend anzupassen.

## 12 Verkehrstechnische Fragestellungen

Durch die Veränderung der Fahrzeuglänge ergibt sich eine Reihe von verkehrstechnischen Fragestellungen, die in mehreren Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleituntersuchung behandelt wurden. Untersucht wurden dabei vermutete Auswirkungen auf die

Verkehrssicherheit, den Verkehrsablauf und geänderte Anforderungen an die geometrische Gestaltung der Verkehrsanlagen.

## **12.1 Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen**

Die nachfolgende Betrachtung der BAST basiert auf den Ergebnissen aus den Forschungsprojekten FE 03.0471/2011/CRB „Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Beton“ (DEKRA, 2014a) und FE 03.0491/2011/CRB „Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Stahl“ (DEKRA, 2014b).

### **12.1.1 Ausgangslage und Zielsetzung**

Die im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs mit Lang-Lkw hinsichtlich der im deutschen Fernstraßennetz vorhandenen Straßenausstattung primär zu beantwortende Kernfrage lautet: „Hat ein Einsatz von Lang-Lkw hinsichtlich möglicher Anprallszenarien an Schutzeinrichtungen im deutschen Fernstraßennetz einen Einfluss auf das aktuell vorhandene Verkehrssicherheitsniveau?“

Basis für das aktuelle Verkehrssicherheitsniveau hinsichtlich Schutzeinrichtungen bilden die Anforderungen in den europäischen und nationalen Regelwerken. So werden die Vorgaben für die Anprallprüfungen zur Bestimmung der Leistungsdaten zu „Rückhaltevermögen“ und „Insassenschutz“ für Schutzeinrichtungen in Abhängigkeit einer „Aufhaltstufe“ in den DIN EN 1317 geregelt. Die Aufhaltstufe gibt dabei vor, welcher Belastung in Form von Fahrzeugtyp und -masse mit zugehöriger Anprallgeschwindigkeit und -winkel von der Schutzeinrichtung standgehalten werden muss. Die in der Norm festgelegten Anforderungen gelten als repräsentativ für das europäische Unfallgeschehen und sollen einen akzeptabel großen Anteil der Unfallszenarien abdecken. Das Erfüllen der Prüfvorgaben ist wesentliche Voraussetzung für die CE-Kennzeichnung der Schutzeinrichtungen und ermöglicht eine Marktteilnahme für Hersteller und Systeme, ohne weitere nationale Hürden überspringen zu müssen. In den nationalen Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme – RPS (FGSV, 2009b) sind zudem Kriterien enthalten, die eine Zuordnung einer Schutzeinrichtung (indirekt anhand ihrer Aufhaltstufe) zu einer realen Bausituation ermöglichen. Diese Kriterien basieren auf Risikoabschätzungen hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen und Auswirkungen durch Folgeerscheinungen wie zum Beispiel Fahrzeugdurchbruch am Mittelstreifen oder Brückenrand. Resultierend hieraus besteht der weitestgehende Anteil der im deutschen Fernstraßennetz im Mittelstreifenbereich aktuell gebauten Schutzeinrichtungen aus Systemen der zweithöchsten in Deutschland verwendeten Aufhaltstufe H2. Diese wurden konzipiert, um den Anprall eines Busses mit einer Masse von 13 t kompensieren zu können. Dies impliziert, dass schwerere Fahrzeuge dort – wenn überhaupt – nur unter sehr günstigen Randbedingungen aufgehalten werden könnten. In den Bereichen, in denen eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit für den Anprall eines schwereren Fahrzeugs angenommen werden muss, kommen nach oben genannten Regelwerk Schutzeinrichtungen der höchsten in Deutschland verwendeten Aufhaltstufe H4b zum Einsatz. Diese leistungsstärkeren und entsprechend kostenintensiveren Schutzeinrichtungen sind entwickelt worden, um Sattelkraftfahrzeuge mit einer Gesamtmasse von 38 t aufzuhalten, umzulenken und zurückzuführen.

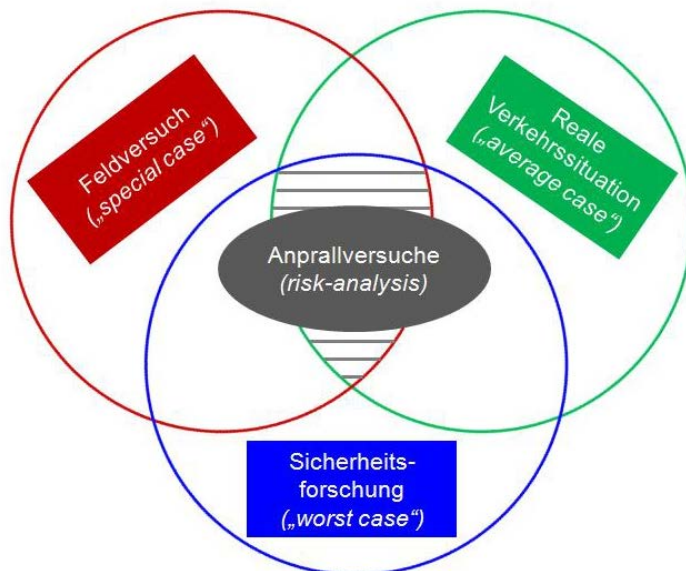
Weitergehende Prüfzenarien mit Fahrzeugkombinationen, die, mechanisch betrachtet, gelenkig miteinander verbundene Anprallmassen darstellen, sind in den DIN EN 1317 nicht enthalten. Ebenso existieren weder national noch europäisch beziehungsweise international passende Kenntnisse über das Anprallverhalten von Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw) an Schutzeinrichtungen.

Folgerichtig sind zur Ermittlung von Grundlagen für die Beantwortung der Kernfrage die oben genannten Forschungsvorhaben von der DEKRA (Bereiche „Unfallforschung“ und „Crash Test Center“) durchgeführt worden. Die Erkenntnisse aus diesen Forschungsvor-

haben bilden die Basis für die vorliegende Einschätzung, inwieweit die vorhandenen beziehungsweise bei Neubauvorhaben standardmäßig eingesetzten Schutzeinrichtungen aus Stahl oder Beton geeignet sind, Lang-Lkw ausreichend sicher aufzuhalten. Der Fokus liegt hierbei (zunächst) auf Streckensystemen der Aufhaltestufe H4b, die im streckenbezogenen Vergleich zu Brückensystemen im deutschen Fernstraßennetz häufiger eingesetzt werden. Erst wenn diese Untersuchungen zeigen, dass die vorhandenen beziehungsweise bei Neubauvorhaben standardmäßig eingesetzten Streckenschutzeinrichtungen geeignet sind, Lang-Lkw ausreichend sicher aufzuhalten, sind ergänzende Betrachtungen (z. B. durch Risikobetrachtungen, Simulationsberechnungen, ggf. Anprallversuche) zu Schutzeinrichtungen auf Brücken sinnvoll möglich. Zudem wird das Hauptaugenmerk auf die Untersuchung der Durchbruchssicherheit gelegt, da hier das größte Risiko für die Verkehrsteilnehmer anzunehmen ist.

Es ist in diesem Zusammenhang allein zielführend, die wesentlichen, generellen Charakteristika von Schutzeinrichtungssystemen und nicht einzelne Herstellersysteme zu betrachten.

Die DEKRA hat theoretische Betrachtungen in Form von Auswertungen der internationalen Publikationen in Printmedien und Internet, Untersuchungen von analytischen Gutachten und Pressemeldungen zu Unfällen in Deutschland sowie einfache Simulationsberechnungen und „Was-Wäre-Wenn“-Fallbetrachtungen sowie Anprallversuche mit Lang-Lkw als Prüffahrzeuge an einer Schutzeinrichtung aus Beton und einer Schutzeinrichtung aus Stahl durchgeführt. Die theoretischen Betrachtungen dienen der Ermittlung und Beurteilung möglicher Einflussfaktoren auf den Anprallvorgang aus den Bereichen „Fahrzeug“, „Schutzeinrichtung“, „Beladung“ und „Anprallvorgang“ und damit primär der Entwicklung der entsprechenden Parameterkonstellationen für die beiden durchgeführten Anprallversuche unter Beachtung möglicher Rahmenbedingungen in der Prüfungssituation („Worst Case“-Ansatz), im Feldversuch („Special Case“-Ansatz) und in der Verkehrsrealität („Average Case“-Ansatz) (vgl. Bild 17). Die vollständige Entwicklung der Parameterkonstellationen für die beiden Anprallversuche ist jeweils in den beiden Forschungsberichten der DEKRA zu finden.



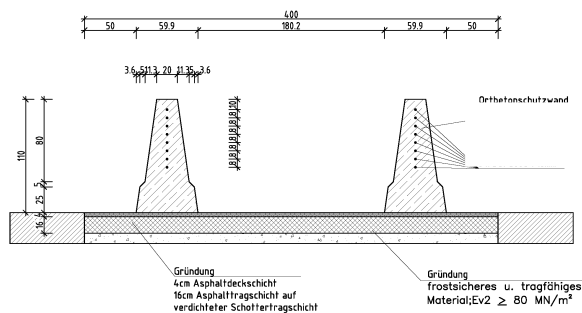
**Bild 17:** Spannungsfeld der Einflussparameter

### 12.1.2 Untersuchungsmethodik

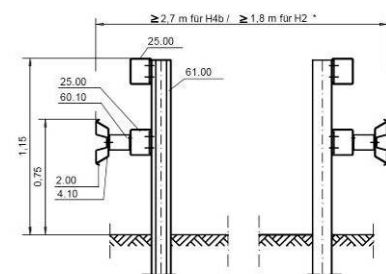
Die theoretische Analyse der DEKRA lieferte die Basis für die Festlegung der Versuchsparameter in den beiden Anprallprüfungen. In beiden Versuchen wurde in Anlehnung an die TB 81-Prüfung nach DIN EN 1317 ein Anprallversuch mit einem Lang-Lkw vom Typ 3

(vgl. Bild 1) gegen eine zweireihig aufgestellte Schutzeinrichtung – wie im Mittelstreifen auf Autobahnen (vgl. RAA, FGSV, 2008a) – durchgeführt (vgl. Bild 18). Dabei wird das Prüffahrzeug mit einem optischen System zur Fahrzeugführung in einem Winkel von 20° gegen die Schutzeinrichtung geführt. Die Beschleunigung des Prüffahrzeugs auf die Anprallgeschwindigkeit von 65 km/h erfolgt aus eigener Kraft. Der Anprallpunkt liegt in Fahrtrichtung im Drittelpunkt des jeweiligen Systems. Ausgewählt für die Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b wurden eine 110 cm hohe Betonschutzwand in Ortbetonbauweise sowie eine 115 cm hohe, zu rammende Stahlschutzeinrichtung. Kriterien für die risikoorientierte Auswahl waren unter anderem die Verwendungshäufigkeit im deutschen Fernstraßennetz sowie die aktuelle Verwendbarkeit durch einen Eintrag in der Einsatzfreigabeliste (EFG-Liste) der BASt (BASt, 2012).

Beide Schutzeinrichtungen wurden bereits zur Feststellung ihrer Leistungsdaten einer „konventionellen“ Anprallprüfung mit einem 38 t-Sattelkraftfahrzeug nach DIN EN 1317 unterzogen. Bild 18 zeigt die beiden Schutzeinrichtungen vor den Anprallversuchen im Rahmen der von der DEKRA bearbeiteten Forschungsvorhaben auf dem Testgelände der DEKRA.



a) Schutzeinrichtungen aus Ortbeton



b) Schutzeinrichtungen aus Stahl



a) Schutzeinrichtungen aus Ortbeton

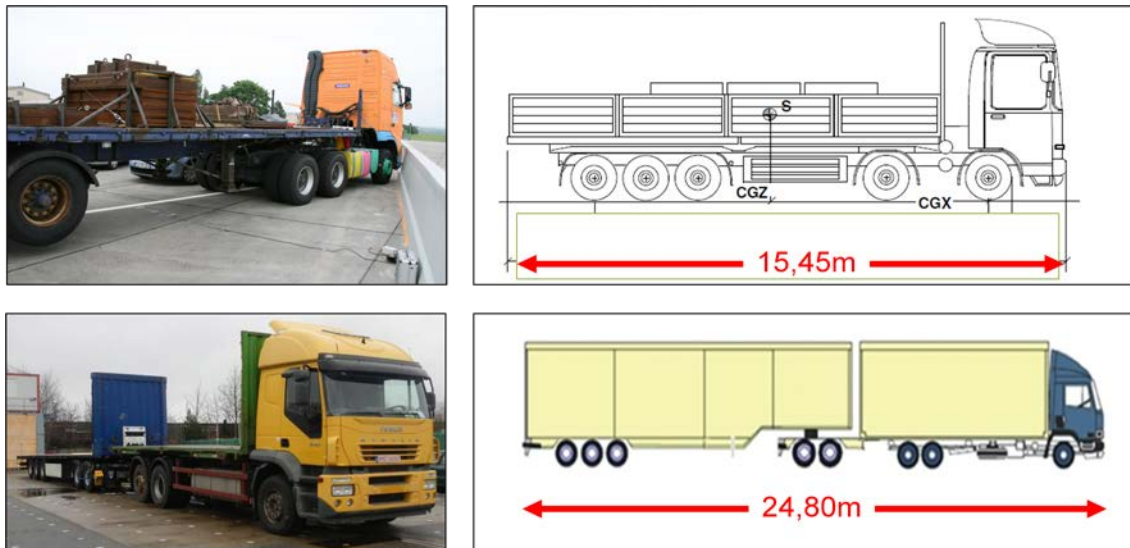


b) Schutzeinrichtungen aus Stahl

**Bild 18: Schutzeinrichtungen aus a) Ortbeton sowie b) Stahl gemäß Regelwerk (oben) bzw. im Versuch (unten)**

Im Rahmen des von RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING (2014) bearbeiteten Teilprojekts der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs konnte der Lang-Lkw Typ 3: „Lastkraftwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger“ (vgl. u. a. Bild 19) als am häufigsten verwendeter Lang-Lkw Typ und damit als relevantes Prüffahrzeug ermittelt werden (vgl. auch Ziffer 6).

Neben der reinen Fahrzeugauswahl stellte sich in den theoretischen Betrachtungen die Beladungsverteilung als wesentliche Einflussgröße heraus: Es hat sich gezeigt, dass die möglichen Beladungsvolumen der am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw zu deutlich über 90 % ausgenutzt werden (RÖHLING, BURG, KLAAS-WISSING, 2014). Der sich ergebende Schwerpunkt der Beladung erhöht sich dadurch im Vergleich zu den Vorgaben der DIN EN 1317 (vgl. Bild 20).



**Bild 19:** Konventionelles 38t-Sattelkraftfahrzeug (oben) und Lang-Lkw Typ 3 (unten) als Prüffahrzeuge im Vergleich



Höhe des Schwerpunktes der Zuladung:  $\updownarrow$   
(über FOK; gemäß EN 1317):  $\updownarrow$   
**1,90m (+15%; -5%)**  $\updownarrow$

Höhe des Schwerpunktes der Zuladung:  $\updownarrow$   
(über FOK; gemäß Feldversuch):  $\updownarrow$   
**2,51m (Zugfahrzeug)**  $\updownarrow$   
**2,63m (Sattelanhänger)**  $\updownarrow$

<sup>1)</sup>FOK = Fahrbahnoberkante

**Bild 20:** Beladungsszenarien der Prüffahrzeuge gemäß DIN EN 1317 (oben) und für Lang-Lkw aus dem Feldversuch (unten) im Vergleich

Die Auswahl fiel auf eine über beide Fahrzeugteile gleichverteilte Beladung – repräsentiert durch die entsprechende Schwerpunktposition – unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Achslasten. Die Realisierung erfolgte durch eine Stahlkonstruktion mit Betonplatten, die in Anlehnung an die Vorgaben der DIN EN 1317 fest auf den Plattformen der Fahrzeugteile fixiert wurde.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus den Untersuchungen der DEKRA wurden von der BASt die Übertragungsmöglichkeiten der Ergebnisse für andere Streckenschutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b, andere Lang-Lkw Typen aus dem Feldversuch und andere Anprallparameter untersucht. Diese Untersuchungen erfolgten durch einen umfassenden Vergleich der TB81-Anprallprüfungen zur Bestimmung der Leistungsdaten (u.a. hinsichtlich Leistungsdaten selbst sowie Fahrzeugverhalten, Verhalten der Schutzeinrichtung, Anprallverlauf, etc.) der entsprechenden Schutzeinrichtungen untereinander und einer

Ableitung des Verhaltens der Systeme für einen Anprall durch einen Lang-Lkw Typ 3. Die Auswirkungen der wesentlichen fahrzeugseitigen Einflussfaktoren auf die charakteristischen Merkmale des Anprallverlaufs wurden dabei detektiert und in einem weiteren Schritt für andere Lang-Lkw Typen übertragen.

Ausgangspunkt für die Untersuchungen der oben genannten Übertragungsmöglichkeiten ist die Übernahme der Grundsätze, die in den EN 1317 für die Prüfung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b verwendet werden: Dazu gehört es, eine fixierte, möglichst gleichmäßig verteilte Beladung des Prüffahrzeugs sowie die in den EN 1317 vorgegebenen Werte für Anprallgeschwindigkeit und -winkel als ebenso repräsentativ für Lang-Lkw anzunehmen, wie es in den EN 1317 für Sattelkraftfahrzeuge getan wird. Analog zur Vorgehensweise in der Entwicklung der relevanten Prüfszenarien in den EN 1317 können diese Annahmen erst durch Erfahrungssammlung und deren Auswertung im Rahmen eines längeren Praxiseinsatzes von Lang-Lkw bestätigt oder modifiziert werden. Nach aktuellem Stand des Wissens liegen keine maßgebenden Indikatoren vor, um davon bereits jetzt abzuweichen.

Die aus den Untersuchungen der DEKRA und den anschließenden Betrachtungen der BASt vorliegenden Erkenntnisse bilden die Basis für die Beantwortung der eingangs aufgezeigten Kernfrage.

### 12.1.3 Ergebnisse

#### Ergebnisse der DEKRA-Untersuchungen

Beide Anprallversuche haben gezeigt, dass der 38 t-schwere Lang-Lkw Typ 3 die zwei-reihig aufgestellte Schutzeinrichtung – wie im Mittelstreifen auf Autobahnen (Gesamtbreite: 3,50 m) – aus Stahl beziehungsweise Beton der höchsten Aufhaltstufe H4b, die für einen Anprall eines 38 t-Sattelkraftfahrzeugs konzipiert wurde, nicht durchbrochen hat. Unter verhiertem „Durchbruch“ ist hier zu verstehen, dass die Schutzeinrichtung das Fahrzeug ohne vollständigen Bruch eines der Hauptlängelemente (Holme bzw. der innenliegenden Bewehrung) aufgehalten und den Lang-Lkw so zurückgeleitet hat, dass eine eventuelle Gefährdung des Gegenverkehrs verhindert wird.

In beiden Versuchen wurden die Fahrzeugteile (Zugfahrzeug, Dolly und Sattelanhänger) durch den Anprall nicht voneinander getrennt, allerdings sind Teile der Fahrzeugkombination nach dem Anprall auf die Seite gefallen (vgl. Bild 21). In einer konventionellen Anprallprüfung zur Bestimmung der Leistungsdaten gemäß DIN EN 1317 wird dieses Verhalten angesprochen: die Prüffahrzeuge dürfen nicht auf die Seite fallen oder sich überschlagen. Dieser Aspekt soll sinnvollerweise u.a. die Gefahren für den nachfolgenden Verkehr im Falle eines Unfalls reduzieren. Die Prüfnorm DIN EN 1317 berücksichtigt allerdings aktuell mehrgliedrige Fahrzeugkombinationen in ihren Prüfvorschriften nicht. Das beobachtete Fahrzeugverhalten ist dementsprechend sicherlich als ungünstig, aber nicht als Ausschlusskriterium zu bewerten.



a) Szenario nach Anprall an Schutzeinrichtungen aus Ortbeton

b) Szenario nach Anprall an Schutzeinrichtungen aus Stahl

**Bild 21: Endposition des Lang-Lkw nach Anprall**



Durch den Anprall lösten sich von der Stahlschutzeinrichtung keine Teile des Systems, die zu einer Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer hätte führen können. Die Betonschutzeinrichtung zeigt den Verlust von wenigen Bruchstücken > 2 kg durch den Anprall, die allerdings nicht in den Gegenverkehrsraum geschleudert wurden. In beiden Versuchen drangen keine Teile der Schutzeinrichtung in den Fahrzeuginnenraum ein. Die Fahrerkabinen waren weitestgehend intakt.

Die Schutzeinrichtung aus Stahl hat den Lang-Lkw vom Typ 3 unter Mitwirkung beider Reihen aufgehalten. Für die Schutzeinrichtung aus Beton war die Mitwirkung der zweiten, dem Anprall abgeneigten Reihe nicht notwendig, um den Lang-Lkw Typ 3 aufzuhalten. Beide Schutzeinrichtungsarten haben deutliche Schäden durch den Anprall davongetragen.

Alle in der DIN EN 1317 gestellten Anforderungen für eine konventionelle Anprallprüfung TB 81 zur Bestimmung der Leistungsdaten wurden bis auf das oben genannte Kriterium (umgekipptes Fahrzeugteil) eingehalten.

### **Übertragbarkeit der Ergebnisse**

Aufbauend auf den Ergebnissen aus den Untersuchungen der DEKRA wurden in der BASt die Übertragungsmöglichkeiten der Ergebnisse sowohl für andere, auf deutschen Autobahnen im Mittelstreifen verwendeten Streckenschutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b als auch für andere Lang-Lkw Typen im Feldversuch untersucht.

Die aktuell bekannten, auf deutschen Autobahnen verwendbaren Schutzeinrichtungen sind unter anderem in der Einsatzfreigabeliste (EFG-Liste) der BASt zu finden (BASt, 2012). Zum Versuchszeitpunkt befanden sich insgesamt vier, durch Anprallversuche geprüfte Streckenschutzeinrichtungen in der EFG-Liste, die die Anforderungen der Aufhaltestufe H4b erfüllen. Für diese Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b haben die oben genannten Betrachtungen der BASt ergeben, dass bei einem Anprall eines Lang-Lkw die Gefahr des „Kippens über die Schutzeinrichtung“ aufgrund der höheren Schwerpunkte prinzipiell größer anzunehmen ist als die Gefahr des "Durchbruchs". Der im Vergleich zu konventionellen Prüffahrzeugen (38 t-Sattelkraftfahrzeuge) erhöhte Massenschwerpunkt der Lang-Lkw spielt hier eine entscheidende Rolle. Es lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse der DEKRA (2014a/b) für die auf deutschen Autobahnen im Mittelstreifen verwendeten Streckenschutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b übertragen werden können, wenn sich die Geometrie, vor allem die Höhe der Schutzeinrichtung in Verbindung mit dem Verhalten der Schutzeinrichtung bei Anprall nicht wesentlich von denen der hier untersuchten Systeme unterscheidet.

In den Untersuchungen der DEKRA haben sich als maßgebliche fahrzeugseitige Einflussgrößen auf den Anprallverlauf die Höhe des Massenschwerpunktes, die Masse der einzelnen Fahrzeugteile und die Anzahl sowie Torsionssteifigkeit der Fahrzeugverbindungen herausgestellt.

Für die Anprallversuche wurde der Lang-Lkw vom Typ 3 ausgewählt, da dieser in der theoretischen Betrachtung sowie in den von der DEKRA durchgeführten einfachen Simulationen gezeigt hat, dass er durch seine Eigenschaften ungünstig in Bezug auf das Anprallverhalten zu beurteilen ist: der kurze Abstand der Kupplung zwischen Dolly und Zugfahrzeug und zwischen Dolly und Sattelanhänger erlaubt eine Rotation um quasi alle drei Achsen. Die oben genannten Betrachtungen haben ergeben, dass vergleichbare Bewegungsfreiheiten für die Lang-Lkw Typen 2 und 5 und damit ein ähnliches Fahrzeugverhalten im Anprallverlauf zu erwarten sind. Bei einem konventionellen 38 t-Sattelkraftfahrzeug lässt die Verbindung eines Sattelanhängers mit einer Zugmaschine deutlich weniger Rotation um die Längsachse zu als eine Kupplungs-Deichselverbindung. Durch gegenseitiges Stabilisieren weisen Sattelkraftfahrzeuge so ein geringeres Kipprisiko auf als die einzelnen Komponenten eines Gliederzugs mit Bolzenkupplungen. Allerdings steigt für Sattelkraftfahrzeuge damit gleichzeitig das Risiko, komplett (alle Komponenten) umzukippen. Das ist auch für die Lang-Lkw-Typen 1 und 4 ebenso anzunehmen, wie die Folgerung,

dass dieses Verhalten wie für Sattelkraftfahrzeuge durch die Regelungen in den EN 1317 abgedeckt wird.

#### 12.1.4 Fazit und Folgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen der DEKRA (2014a/b) zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, Aussagen zum Einfluss eines Einsatzes von Lang-Lkw hinsichtlich möglicher Anprallszenarien an Schutzeinrichtungen auf das aktuell vorhandene Verkehrssicherheitsniveau im deutschen Fernstraßennetz zu treffen. Das angestrebte Ziel der Untersuchungen wurde damit erreicht. Die zunächst anzunehmende Befürchtung eines Durchbruchs durch eine für den Anprall eines 38 t-Sattelkraftfahrzeugs konzipierte H4b-Schutzeinrichtung im Mittelstreifen hat sich nicht bestätigt. Zudem kommt die untersuchte Stahlschutzeinrichtung in vielen Fällen auch als H2-System zum Einsatz und könnte im Falle eines Lang-Lkw-Anpralls dort, wo sie in zweireihiger Konstellation eingesetzt wird, auch die notwendige Aufhaltewirkung erzeugen.

Ein mögliches „Umfallen von Fahrzeugteilen“ auf der ursprünglichen Richtungsfahrbahn und das damit einzuschätzende Risiko für den nachfolgenden Verkehr im Falle eines Unfalls wäre allerdings anstelle eines Durchbruchs hinzunehmen. Dieses Risiko besteht aktuell auch für mehrgliedrige Fahrzeugkombinationen ohne Überlänge – also herkömmliche Lastkraftwagen mit Anhänger. Diese werden mit durch die Prüfscenarien der DIN EN 1317 aktuell ebenso nicht abgedeckt.

Auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse kann zunächst einmal keine Beeinflussung des aktuell vorhandenen Verkehrssicherheitsniveaus aus einem Einsatz von Lang-Lkw hinsichtlich möglicher Anprallszenarien an Schutzeinrichtungen abgeleitet werden.

Diese Aussage gilt unter den Voraussetzungen, dass

- der Anteil an Lang-Lkw in der Verkehrszusammensetzung gering ist. Wenn sich die Verkehrszusammensetzung aufgrund einer relevant größeren Menge an Lang-Lkw, die als Ersatz für andere Lkw-Typen (z. B. konventionelle Sattelkraftfahrzeuge) Transporte übernehmen, ändert, muss überprüft werden, inwiefern die Kriterien der RPS 2009 und damit die Grundlagen für eine Entscheidung über die Zuordnung von Aufhaltestufen zu örtlichen Gegebenheiten angepasst werden müssen.
- für Lang-Lkw – ebenso wie für konventionelle 38 t-Sattelkraftfahrzeuge – die in den DIN EN 1317 festgelegten Prüf- und Anforderungskriterien hinsichtlich Anprallparameter, Verteilung sowie Fixierung der Beladung und Verhalten des Prüffahrzeugs als Grundlage angenommen werden.
- der Lang-Lkw auf eine Schutzeinrichtung trifft, die in ihren Eigenschaften und Abmessungen weitestgehend den Untersuchten entspricht. Andere im Netz vorhandene Schutzeinrichtungen – vor allem die mit einer anderen Aufhaltstufe – bieten nicht das Potenzial weder herkömmliche 38 t-Sattelkraftfahrzeuge noch Lang-Lkw sicher aufhalten und umlenken zu können.

Für jede neu entwickelte Schutzeinrichtung müsste die Übertragbarkeit der vorliegenden Untersuchungsergebnisse individuell geprüft werden.

Wie eingangs bereits erwähnt, konzentrierten sich diese Untersuchungen zunächst auf Streckenschutzeinrichtungen, da dadurch die Hauptgefährdung für die Verkehrsteilnehmer in Form eines Durchbruchs des Lkw durch den Mittelstreifen abgedeckt wird. Die vorliegenden Erkenntnisse bilden zwar eine notwendige Basis für weitergehende Betrachtungen zu Schutzeinrichtungen am Brückenrand, reichen allein allerdings für eine Aussage zum Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen auf Brücken nicht aus.

## 12.2 Untersuchung des Einflusses von Lang-Lkw auf den Verkehrsablauf in planfreien Knotenpunkten

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf der von GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) bearbeiteten Erweiterung zum FE 03.0459/2009/OGB „Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten“.

### 12.2.1 Zielsetzung

Im Rahmen der Untersuchung des Einflusses von Lang-Lkw auf den Verkehrsablauf in planfreien Knotenpunkten (Autobahnkreuze und -dreiecke) sollten mögliche Anforderungen an die Gestaltung und verkehrstechnische Bemessung dieser planfreien Knotenpunkte ermittelt werden. Da bereits zu Beginn des Feldversuchs davon auszugehen war, dass die Anzahl der in Deutschland fahrenden Lang-Lkw im Rahmen des Feldversuchs zu gering sein wird, um einen Einfluss auf den Verkehrsablauf empirisch analysieren zu können, wurden als erste Annäherung Simulationsuntersuchungen durchgeführt.

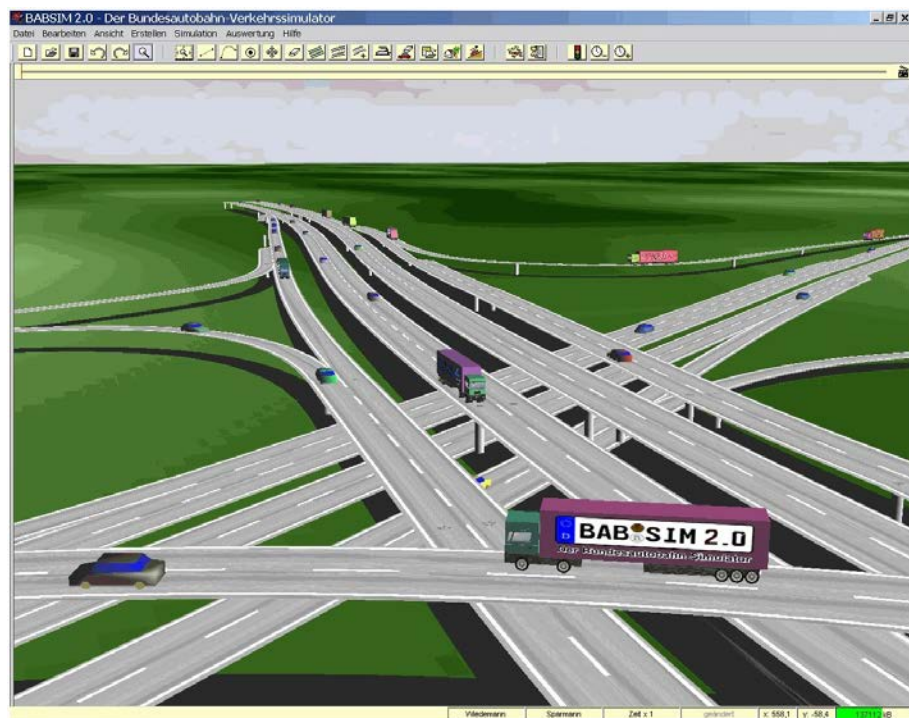
Fragen zur Verkehrssicherheit, und hierbei im Speziellen der Verkehrssicherheit in Einfahrten, wurden von KATHMANN, ROGGENDORF, KEMPER, BAIER (2013) behandelt (vgl. Ziffer 12.3). Fragen zur Befahrbarkeit der Teilelemente planfreier Knotenpunkte waren Bestandteil der Untersuchungen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013, vgl. Ziffer 12.4.2).

### 12.2.2 Untersuchungsmethodik

Für die Analyse des Einflusses von Lang-Lkw auf den Verkehrsablauf und die Kapazität von planfreien Knotenpunkten konnte von GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) auf bereits vorhandene Simulationsnetze aus der Hauptuntersuchung des oben genannten Forschungsvorhabens zurückgegriffen werden. Bei der Auswahl der Netze wurde darauf Wert gelegt, die wichtigsten Ein- und Ausfahrttypen in das Untersuchungskollektiv aufzunehmen und Knotenpunkte zu finden, bei denen auch während der Spitzenstunde ein möglichst hoher Schwerverkehrsanteil vorliegt. Die betrachteten Simulationsnetze umfassen Ausfahrten der Typen A 1, A 3, A 4 und A 6 (vgl. Bild A 1 im Anhang), Einfahrten der Typen E 1, E 3, E 4 und E 5 (vgl. Bild A 2 im Anhang) sowie eine Verflechtungsstrecke des Typs VR 1 (vgl. Bild A 3 im Anhang) nach den Richtlinien für die Anlage für Autobahnen – RAA (FGSV, 2008a).

Für die mikroskopische Simulation des Verkehrsablaufs wurde das Programm BABSIM eingesetzt, mit dem der Verkehr auf Autobahnen nachgebildet werden kann (vgl. Bild 22). Für die Untersuchung war es notwendig, das Simulationsprogramm BABSIM hinsichtlich der Einstellmöglichkeiten für die Schwerverkehrsfahrzeuge zu erweitern. Daher wurde analog zu den bereits bestehenden Fahrzeugklassen „Pkw“ und „Lkw“ eine neue Klasse „Lang-Lkw“ hinzugefügt, für die in Analogie zum Realbetrieb gemäß § 9 LkwÜberlStVAusnV ein generelles Überholverbot auf Autobahnen gilt.

Die Simulationsmodelle wurden von GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) anhand der Daten von Dauerzählstellen für Schwerverkehrsanteile zwischen 10 % und 15 % kalibriert und validiert. Für jedes betrachtete Knotenpunktelement (Ausfahrt, Einfahrt, Verflechtungsstrecke) wurden anschließend Simulationen mit Lang-Lkw-Anteilen von 0 %, 1 %, 2 % und 5 % der Gesamtverkehrsstärke bei einem konstanten Schwerverkehrsanteil von 10 % sowie in der Regel drei unterschiedlichen Verkehrsstärkeanteilen des ein- beziehungsweise ausfahrenden Verkehrs durchgeführt. Bei den Aus- beziehungsweise Einfahrtstypen A 6 und E 3 wurde nur jeweils ein Szenario untersucht, bei dem die Verflechtungsvorgänge maßgebend sind. Außerdem wurden für jedes Knotenpunktelement Szenarien verglichen, in denen äquivalente Transportleistungen durch drei herkömmliche Lkw einerseits und zwei Lang-Lkw andererseits erbracht wurden (vgl. Ziffer 8).



**Bild 22: BABSIM (Bundesautobahn Simulator) – Mikroskopisches Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf Straßen**

Für jedes Szenario wurden zehn Simulationsläufe durchgeführt und der Mittelwert der Verkehrsstärken vor Zusammenbrüchen des Verkehrsflusses ermittelt. Die mittleren Verkehrsstärken vor dem Zusammenbruch in 5-Minuten-Intervallen wurden als Schätzwerte der Kapazität für den Vergleich der verschiedenen Szenarien verwendet.

Die Bewertung der Simulationsergebnisse erfolgte von GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) über zwei Kennwerte. Der erste Kennwert wurde als Verhältnis der Kapazität der Szenarien mit Lang-Lkw zur Kapazität des Szenarios ohne Lang-Lkw definiert. Als zweiter Kennwert wurde das Maß der Abweichung der in der Simulation ermittelten Kapazität zur Kapazität nach dem im Entwurf vorliegenden neuen Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – HBS (FGSV, 2012a) ermittelt. Die Ergebnisse sämtlicher Szenarien wurden zusätzlich einem Signifikanztest (t-Test) unterzogen, um den Einfluss der Streuung der Einzelwerte in den Simulationsläufen bei der Bewertung der Abweichungen zwischen den Kapazitäten zu berücksichtigen.

### 12.2.3 Ergebnisse

Die Auswertung von GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) ergab, dass die Abweichungen zwischen den Szenarien mit und ohne Lang-Lkw überwiegend nicht signifikant sind, d.h., dass die Lang-Lkw die Kapazität des jeweiligen Knotenpunktelements nicht signifikant beeinflussen. Sofern signifikante Abweichungen auftraten, waren dies überwiegend Rückgänge der Kapazität mit zunehmendem Lang-Lkw-Anteil. Besonders die Simulationsergebnisse bei den Einfahrtstypen E 1 und E 4 an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen ergaben bei höheren Lang-Lkw-Anteilen eine Reduktion der Kapazität. Im Falle des Einfahrtstyps E 4 ist dies dadurch zu erklären, dass einfahrenden Lang-Lkw durch die Geometrie des Knotenpunkts bei diesem Einfahrttyp zwei Fahrstreifenwechsel durchführen müssen.

Der Vergleich von Szenarien, in denen die Transportleistung von drei herkömmlichen Lkw durch zwei Lang-Lkw ersetzt wurde, ergab keinen eindeutigen Einfluss der Lang-Lkw auf die Kapazität von planfreien Knotenpunkten.

#### 12.2.4 Fazit und Folgerungen

Insgesamt liefern die Ergebnisse der Verkehrsflusssimulationen einen Anhaltspunkt dafür, dass die Kapazität von planfreien Knotenpunkten selbst bei den hier analysierten hohen Lang-Lkw-Anteilen von 1 % beziehungsweise 5 % der Gesamtverkehrsstärke<sup>15</sup> im Allgemeinen nur gering beeinflusst wird. Die ermittelten Auswirkungen der Lang-Lkw auf die Kapazität liegen in der Größenordnung der Bandbreite der Kapazität, die in der Realität auch im Vergleich unterschiedlicher Knotenpunkte mit ähnlichen verkehrlichen und streckengeometrischen Randbedingungen auftreten.

Sofern sich der Anteil der Lang-Lkw an der Gesamtverkehrsstärke in dem Spektrum, wie von GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) analysiert, bewegt und lediglich Transportleistungen konventioneller Lkw durch Lang-Lkw ersetzt werden, sind daher keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf in planfreien Knotenpunkten auf Autobahnen zu erwarten.

### 12.3 Verkehrssicherheit in Einfahrten an Autobahnen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf der von KATHMANN, ROGGENDORF, KEMPER, BAIER (2013) bearbeiteten Erweiterung zum FE 82.0509/2010 „Verkehrssicherheit in Einfahrten auf BAB“.

#### 12.3.1 Zielsetzung

Mit dem Einsatz von Lang-Lkw wird oftmals die Befürchtung geäußert, dass es beim Einfahren auf die Autobahn als Folge der Überlänge zu erhöhten Anforderungen an die Verkehrsteilnehmer beim Einfädelungsvorgang kommen kann. Daraus werden zum Teil Bedenken bezüglich der Verkehrssicherheit abgeleitet. Während sich also GEISTEFELDT, SIEVERS (2014) mit dem Einfluss von Lang-Lkw auf den Verkehrsablauf in planfreien Knotenpunkten (Autobahnkreuze und -dreiecke) befasst haben (vgl. Ziffer 12.2), sollte im Rahmen der Untersuchung von KATHMANN ET AL. (2013) das Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Bereich von Einfahrten an Autobahnen bei der Begegnung mit Lang-Lkw unter Verkehrssicherheitsaspekten näher untersucht werden. Ziel war es, eine Bewertung der Verkehrssicherheit im Hinblick auf den Einsatz von Lang-Lkw unter Berücksichtigung der Erkenntnisse des Hauptprojekts, dem FE 82.0509/2010 „Verkehrssicherheit in Einfahrten auf BAB“ abzuleiten und gegebenenfalls Empfehlungen für einen möglichen dauerhaften Einsatz von Lang-Lkw auf Autobahnen in Deutschland zu formulieren.

#### 12.3.2 Untersuchungsmethodik

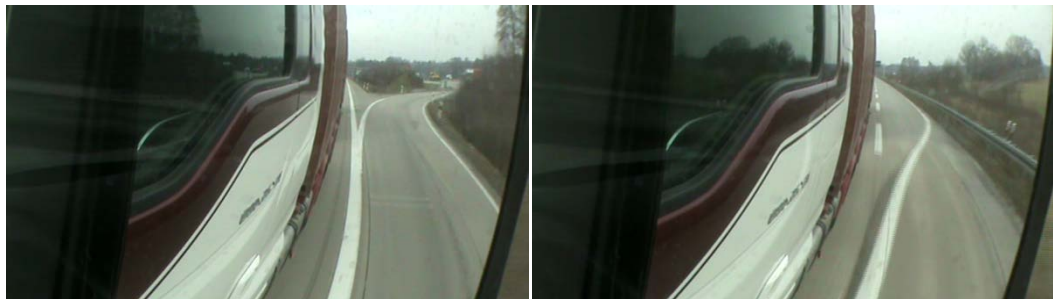
Es wurden Fahrten von Lang-Lkw auf Autobahnen mit Hilfe von Videokameras dokumentiert, um daraus mögliche Besonderheiten während des Einfädelungsvorgangs anderer Verkehrsteilnehmer erkennen zu können. Zum Vergleich der Ergebnisse der Beobachtungen im Lang-Lkw wurden zusätzlich Begleitfahrten mit Gliederzügen durchgeführt. Um die Unterschiede zwischen den Fahrzeugkonzepten auf die Fahrzeugart zu begrenzen, wurden hierfür die gleichen Fahrer auf der gleichen Strecke wie bei den Lang-Lkw-Fahrten beobachtet. Diese Methodik ermöglicht einen direkten Vergleich, da bis auf die Art des Lkw alle übrigen Randbedingungen vergleichbar beziehungsweise annähernd gleich sind (Einfahrten, Fahrer, Tageszeiten).

Der Messaufbau bestand aus einer Front- sowie einer Seitenkamera. In Bild 23 und Bild 24 sind die Kameraperspektiven dargestellt. Diese ermöglichen eine genaue Beobachtung des Einfädelungsvorgangs eines anderen Verkehrsteilnehmers rechts neben und vor dem Lkw, ohne dabei datenschutzrechtliche Belange zu berühren.

<sup>15</sup> Ein Anteil von 1 % Lang-Lkw an einer Gesamtverkehrsstärke von beispielsweise 45.000 bis 50.000 Kfz/24h (entspricht etwa der mittleren durchschnittlich täglichen Verkehrsstärke (DTV) auf Autobahnen, vgl. FITSCHEN, NORDMANN, 2013) würde bedeuten, dass 450 bis 500 Lang-Lkw pro Tag und Querschnitt den Knotenpunkt passieren.



**Bild 23: Bild der Frontkamera (Kamera 1)**



**Bild 24: Bilder der Seitenkamera (Kamera 2)**

Zur eindeutigen Identifikation der Einfahrten an der Route wurde zusätzlich ein Datenlogger zur kontinuierlichen Erfassung der GPS-Koordinaten entlang der Strecke installiert. So konnten bei der späteren Datenauswertung über den Zeitstempel zwischen Video und GPS-Logger gezielt die Einfahrbereiche zur Bewertung der verkehrlichen Situation aus den Fahrtvideos herausgefiltert werden. Zusätzlich ermöglicht der Datenlogger eine Überprüfung der Einfahrttypen aus den zugehörigen Luftbildern sowie eine Auswertung des Geschwindigkeitsprofils der beobachteten Lkw.

Entsprechend der im Untersuchungskonzept enthaltenen Randbedingungen wurden von KATHMANN ET AL. (2013) für die Begleitfahrten die beiden folgenden Strecken ausgewählt:

- Strecke 1: 150 km BAB mit 39 Einfahrten
- Strecke 2: 130 km BAB mit 27 Einfahrten

Analog zu den Untersuchungen zum Hauptprojekt wurde auch im Teilprojekt zum Lang-Lkw der Fokus auf den Einfahrttyp E1 (einstreifige Einfahrt) gelegt, da dieser am häufigsten im deutschen Autobahnnetz vorkommt.

Aufgrund der besseren Lichtverhältnisse wurden die Fahrten bei Tageslicht aufgezeichnet. Die gesamte Datenerhebung erfolgte über insgesamt 13 Wochen. Die Datengrundlage ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Bei der Auswertung wurden mit Hilfe einer parallelen Betrachtung beider Videobilder (Front- und Seitenkamera) im Bereich der Einfahrt standardisierte Bewertungen für die beobachtete Situation vorgenommen. Dabei wurde folgendes Bewertungsschema zu Grunde gelegt:

- „**keine parallele Einfahrt**“: Während der Vorbeifahrt des Lkw befindet sich kein Fahrzeug auf dem Einfädelsstreifen.
- „**parallele Einfahrt, keine Interaktion**“: Während der Vorbeifahrt des Lkw befindet sich ein Fahrzeug auf dem Einfädelsstreifen. Dieses hat jedoch eine

größere Entfernung zum Lkw, sodass es zu keiner gegenseitigen Beeinflussung kommt.

- **„parallele Einfahrt, mit Interaktion“**: Während der Vorbeifahrt des Lkw befindet sich ein Fahrzeug auf dem Einfädelungstreifen und mindestens einer der Beteiligten muss sein Verhalten anpassen.
- **„Einfahrt nicht relevant“**: Bewertung für Einfahrten, die kein Typ E1 sind oder bei der Vorbeifahrt gesperrt waren. Diese Bewertung wurde auch dann gewählt, wenn der begleitete Gliederzug sich während der Vorbeifahrt an einer Einfahrt nicht auf dem rechten Fahrstreifen befand. Die Beobachtungen der Gliederzugfahrten haben gezeigt, dass dieser vor Einfahrten häufig den Fahrstreifen wechselt um einfahrenden Fahrzeugen das Auffahren zu erleichtern. Durch das gültige Überholverbot für Lang-Lkw wurde dieses Verhalten hier nicht beobachtet.

Nach der Analyse der Einfahrtbereiche entsprechend dem von KATHMANN ET AL. (2013) entwickelten Bewertungsschema ergibt sich das in Tabelle 2 sowie Tabelle 3 dargestellte Untersuchungskollektiv. Gliederzugfahrten auf der gleichen Strecke und mit den gleichen Fahrern wie bei den Lang-Lkw-Fahrten sind in Tabelle 2 sowie Tabelle 3 mit „Gliederzug A“ bezeichnet. Um das Vergleichskollektiv der Gliederzugfahrten zu vergrößern, wurden auch andere Strecken mit anderen Fahrern aufgezeichnet („Gliederzug B“).

**Tabelle 2: Anzahl beobachteter Vorbeifahrten an Einfahrten (Anm.: Gliederzug A: gleicher Fahrer, Gliederzug B: andere Fahrer, andere Strecke)**

Lkw-Typ	Vorbeifahrten an Einfahrten		
	gesamt	„nicht relevant“	„relevant“
Lang-Lkw	534	101	433
Gliederzug A	249	67	182
Gliederzug B	22	6	16

**Tabelle 3: Bewertung der Vorbeifahrten an „relevanten“ Einfahrten (Anm.: Gliederzug A: gleicher Fahrer, Gliederzug B: andere Fahrer, andere Strecke)**

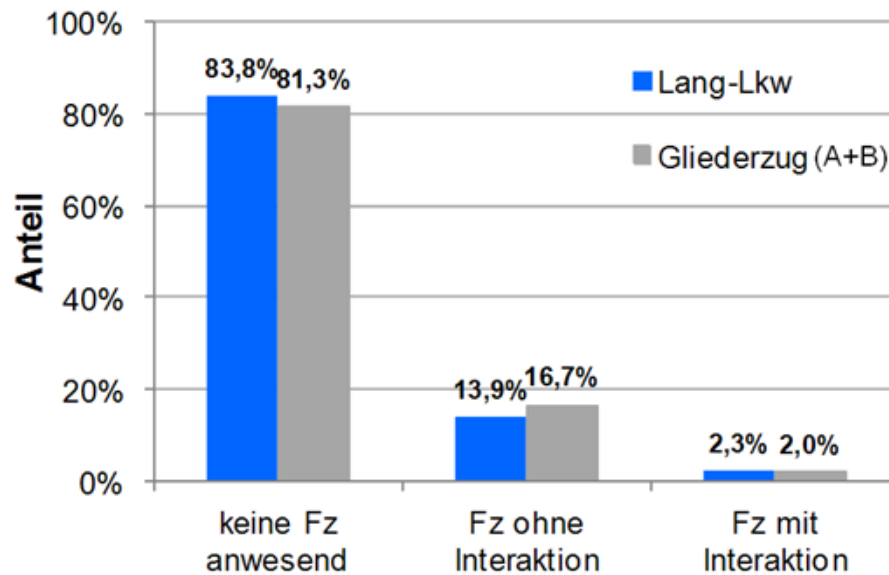
Lkw-Typ	keine parallele Einfahrt	parallele Einfahrt	
		keine Interaktion	mit Interaktion
Lang-Lkw	363	60	10
Gliederzug A	148	31	3
Gliederzug B	13	2	1

### 12.3.3 Ergebnisse

Zum Vergleich der betrachteten Lang-Lkw-Fahrten mit denen der Gliederzüge werden die Bewertungen der definierten Verkehrssituationen im Bereich der Einfahrten gegenübergestellt. Bild 25 zeigt die Anteile der Bewertungen für beide Lkw-Kombinationen.

Wie Bild 25 zeigt, sind die beobachteten Situationen im Bereich von Einfahrten für beide Lkw-Kombinationen vergleichbar. Dies gilt sowohl für den Anteil der Bewertung „keine parallele Einfahrt“ als auch für jene mit paralleler Einfahrt.

Für einen weiteren Vergleich wurden die Geschwindigkeiten (Datenquelle GPS-Logger) der Lkw-Kombinationen im Bereich der Einfahrten ausgewertet. Hierbei wurden die drei Bereiche „vor Einfahrt“, „an Einfahrt“ und „nach Einfahrt“ unterschieden.



**Bild 25:** Vergleich der Bewertungen verschiedener Verkehrssituationen im Einfahrtbereich zwischen Lang-Lkw und Gliederzug

Die Analysen zeigen, dass die im Bereich der untersuchten Einfahrten vom Typ E1 gefahrenen Geschwindigkeiten des Lang-Lkw für die Bewertung „keine parallele Einfahrt“ mit jenen des Gliederzugs vergleichbar sind. Der Median der gemessenen Geschwindigkeiten des Lang-Lkw beträgt 83,3 km/h, der Wert aus den Gliederzugfahrten 83,6 km/h. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei dem Bewertungskriterium „parallele Einfahrt, keine Interaktion“. Lediglich bei der Gruppe „parallele Einfahrt, mit Interaktion“ liegt der Wert für den Median beim Gliederzug um 2 km/h höher. Aufgrund der geringen Anzahl von lediglich vier Fahrten ist diese Differenz jedoch vernachlässigbar. Daher ist im Rahmen dieser Untersuchung auch aus der Sicht der gefahrenen Geschwindigkeiten der Lang-Lkw mit dem Gliederzug vergleichbar.

Ein Unterschied, der zwischen den Fahrten des Lang-Lkw und jenen des Gliederzugs im Bereich von Einfahrten beobachtet werden konnte, bestand darin, dass beim Gliederzug Fahrstreifenwechsel zur Erleichterung des Einfädelns einfahrender Fahrzeuge beobachtet wurden. Dieses „Platz machen“ ist zwar gängige Praxis, widerspricht aber dem Rechtsfahrgebot.

Da der Lang-Lkw aufgrund des für Lang-Lkw geltenden generellen Überholverbots auf Autobahnen (vgl. § 9 LKWÜberlStVAusnV) den rechten Fahrstreifen nicht verlassen darf, wurden diese Fahrstreifenwechsel im Bereich von Einfahrten hier nicht beobachtet. Dies bietet eine Erklärung dafür, dass der Einfädelungstreifen von Einfahrenden bei der Begegnung mit einem Lang-Lkw häufiger bis zum Ende (oder sogar darüber hinaus) benutzt wird. Wie diese Situation im Hinblick auf die Verkehrssicherheit im Vergleich zu einem Fahrstreifenwechsel beim Gliederzug einzuschätzen ist, bleibt fraglich.

#### 12.3.4 Fazit und Folgerungen

Zusammenfassend stellen KATHMANN ET AL. (2013) fest, dass sowohl das Verhalten der einfahrenden anderen Verkehrsteilnehmer als auch das Geschwindigkeitsverhalten zwischen dem beobachteten Lang-Lkw und den begleiteten Gliederzügen vergleichbar sind. Unter den gegebenen Randbedingungen konnten auf dieser Basis keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit im Bereich von einstreifigen Einfahrten des Typs E1 durch den Einsatz von Lang-Lkw identifiziert werden.

Aus den empirischen Untersuchungen des Hauptprojekts konnten ebenfalls keine Hinweise auf ein erhöhtes Sicherheitsrisiko im Bereich von Einfahrten durch den Einsatz von Lang-Lkw abgeleitet werden. Das beobachtete Überfahren des Endes des Einfädelungs-



streifens durch Einfahrende bei Interaktionen mit dem Lang-Lkw wurde auch schon bei heute üblichen Lkw-Kombinationen festgestellt.

Somit ergeben sich aus diesem Teilprojekt keine Folgerungen im Hinblick auf eine Anpassung der Infrastruktur oder den weiteren Praxiseinsatz von Lang-Lkw.

Zwar im Zusammenhang mit dem Überholverbot für Lang-Lkw, jedoch eher von allgemeiner Natur ist die Frage nach den Auswirkungen des unterlassenen „Platz machens“ für Einfahrende. Es kann durchaus möglich sein, dass das „Platz machen“ hinsichtlich der Verkehrssicherheit kritischer zu bewerten ist als ein kurzzeitiges bewusstes, allerdings rechtswidriges<sup>16</sup> Überfahren des Seitenstreifens infolge des „nicht Platz machens“. Probleme können dann jedoch an Stellen im Bestand auftreten, an denen diese Möglichkeit durch das Fehlen eines Seitenstreifens den einfahrenden Verkehrsteilnehmern nicht gegeben ist. Außerdem können bei 2,50 m breiten Seitenstreifen bei einer vermehrten Nutzung von Einfahrenden die Ränder der befestigten Fläche stärker beschädigt werden.

## 12.4 Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen

### 12.4.1 Allgemeines

Für die Zulassung zum Feldversuch muss nach § 7 LkwÜberlStVAusnV die Einhaltung des BO-Kraftkreises durch ein Gutachten für das jeweilige Fahrzeug beziehungsweise die jeweilige Fahrzeugkombination mit Überlänge nachgewiesen werden (vgl. Ziffer 9.3). Der BO-Kraftkreis soll gewährleisten, dass ein Fahrzeug beziehungsweise eine Fahrzeugkombination Kurvenfahrten im gesamten öffentlichen Straßennetz problemlos durchführen kann. Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass der BO-Kraftkreis nicht alle vorkommenden Elementfolgen und Bewegungsvorgänge, wie zum Beispiel die Fahrt durch einen Kreisverkehr mit verschiedenen Richtungswechseln (rechts-links-Kombination), abdeckt. In zurückliegenden Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass trotz der Einhaltung des BO-Kraftkreises die Befahrbarkeit bestimmter Verkehrsanlagen nicht immer gewährleistet ist (vgl. BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN, 2007 sowie FRIEDRICH ET AL., 2013).

Daher werden in den Entwurfsrichtlinien für die Bemessung fahrgeometrischer Bewegungsräume standardisierte Bemessungsfahrzeuge mit zugehörigen Schleppkurven definiert, die zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Entwurfs-elementen beziehungsweise von Straßenverkehrsanlagen herangezogen werden. Für den Bewegungsablauf eines Fahrzeugs beziehungsweise einer Fahrzeugkombination während der Kurvenfahrt ist die sichelförmige Verbreiterung der überstrichenen Fläche durch das nachlaufende kurveninnere Hinterrad charakteristisch. Hierdurch ergibt sich in Abhängigkeit vom Fahrzeug und der Fahrweise des Fahrers eine fahrzeugspezifische Schleppkurve.

Die zurzeit in Deutschland für die fahrgeometrische Bemessung geltenden Bemessungsfahrzeuge des Schwerverkehrs beruhen auf umfangreichen Auswertungen und Analysen von SCHNÜLL, HOFFMANN, KÖLLE, ENGELMANN (2001). Sie wurden aktuell von FRIEDRICH ET AL. (2013) überprüft. Aufgrund der sehr umfangreichen Produktpaletten und daraus resultierenden Variationsmöglichkeiten für die Fahrzeuggruppen der Nutzfahrzeuge (z. B. hinsichtlich Motorwagen, Zugmaschine, Sattelanhänger, Anhänger, Kupplungsarten, Achsanordnung etc.) ist eine eindeutige Festlegung der relevanten Fahrzeugabmessungen allein auf der Grundlage der Herstellerinformationen für diese Fahrzeuggruppen nicht möglich. Die Fahrzeugabmessungen der verschiedenen Gliederzüge und Sattelkraftfahrzeuge wurden deshalb von SCHNÜLL ET AL. (2001) – und in Analogie dazu aktuell auch von

<sup>16</sup> Gem. § 18 Abs. 3 StVO hat derjenige auf der durchgehenden Hauptfahrbahn grundsätzlich die Vorfahrt gegenüber einfahrenden Fahrzeugen. Diese dürfen dann eigentlich nicht über den Seitenstreifen weiterfahren und einfädeln, sondern haben grundsätzlich – falls ein Einfädeln nicht möglich ist – auf dem Einfädelungsstreifen zu halten und eine ausreichende Lücke zum Einfahren abzuwarten.

FRIEDRICH ET AL. (2013) – mittels empirischer Untersuchungen, vor allem auf Rastanlagen an Bundesautobahnen, erhoben.

Zur Definition der Bemessungsfahrzeuge wurden von SCHNÜLL ET AL. (2001) beziehungsweise FRIEDRICH ET AL. (2013) aus dem Kollektiv einer Fahrzeuggruppe diejenigen Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen ausgewählt, die aufgrund ihrer Abmessungen annähernd einem „85 %-Fahrzeug“ entsprechen. Als „85 %-Fahrzeug“ wurden dabei diejenigen Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen definiert, welche von den 85 %-Quantilen der verschiedenen Teillängen (z. B. vorderer und hinterer Überhang) die geringste Abweichung besitzen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil Straßenverkehrsanlagen aus ökologischen und ökonomischen Gründen sowie aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht mit einem nur selten auftretenden Maximalfahrzeug mit zulässigen, aber hinsichtlich der Kurvenlaufeigenschaften ungünstigen Teilabmessungen bemessen werden sollen.

Vor diesem Hintergrund ist die Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen ein Aspekt, der maßgeblich von konkreten Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen sowie von der Veränderung der Fahrzeuglänge beziehungsweise der Teillängen abhängt. Den damit im Zusammenhang stehenden Fragestellungen wurde im Rahmen einer Reihe von Forschungsprojekten als Teil der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs mit Lang-Lkw nachgegangen.

Als Referenzfahrzeug wurde dabei in der Regel ein Standard-Sattelkraftfahrzeug (L= 16,50 m) herangezogen. Sattelkraftfahrzeuge weisen trotz ihrer im Vergleich zu einem herkömmlichen Gliederzug um 2,25 m kürzeren Gesamtlänge allgemein schlechtere Kurvenlaufeigenschaften auf (vgl. FRIEDRICH ET AL., 2013) und stellen daher den maßgebenden Vergleichsfall dar.

#### **12.4.2 Befahrbarkeit von Autobahnen**

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von LIPPOLD, SCHEMMELE (2013) bearbeiteten Teilprojekt FE 09.0180/2011/CRB „Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw“.

##### **Zielsetzung**

Die Untersuchungen zur Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen von LIPPOLD, SCHEMMELE (2013) konzentrierten sich insbesondere auf folgende Schwerpunkte:

- Befahrbarkeit von (indirekten) Rampen in Anschlussstellen und planfreien Knotenpunkten
- Befahrbarkeit von Einengungen der Rampenquerschnitte
- Befahrbarkeit von Ein- und Ausfädelungstreifen
- Befahrbarkeit von Verflechtungstreifen
- Befahrbarkeit von Nothaltebuchten in Tunneln und bei Seitenstreifenfreigaben
- Befahrbarkeit von Rastanlagen

Im Ergebnis der Untersuchung sollte der erforderliche Platzbedarf von Lang-Lkw auf den oben genannten Elementen beziehungsweise Bereichen von Autobahnen erhoben werden. Daraus sollte dann abgeleitet werden, ob die vorhandenen Verkehrsanlagen für die Benutzung durch Lang-Lkw ausreichen oder ob und in welchem Umfang gegebenenfalls ein Änderungs- und Anpassungsbedarf besteht. Dabei waren Unterschiede zu beziehungsweise Gemeinsamkeiten mit konventionellen Lkw als Vergleichsfahrzeuge herauszuarbeiten.

##### **Untersuchungsmethodik**

Nach einer Literaturrecherche wurden Lang-Lkw vom Typ 1 (L=17,80 m), 2 und 3 (je L=25,25 m) sowie 5 (im Feldversuch bislang und somit auch hier: L=23,00 m; im Folgenden daher als „5\*“ bezeichnet) für die Untersuchung ausgewählt. Ein Sattelkraftfahrzeug

(L=16,50 m) diene als Referenzfahrzeug, da dieser im Allgemeinen ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften als ein Gliederzug hat (vgl. FRIEDRICH ET AL., 2013). Die Untersuchungen umfassten methodisch mehrere unterschiedliche Ansätze. Zum einen wurden Verfolgungsfahrten mit dem Messfahrzeug UNO des Lehrstuhls „Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen“ der TU Dresden durchgeführt. Das Messfahrzeug war mit Stereokameras und einem inertialgestützten GPS ausgestattet. Die aufgezeichneten Daten wurden als Punktwolken in ein GIS-Programm übertragen. Dadurch konnten die Fahrzeugabstände vom Fahrbahnrand geometrisch ausgewertet werden. Zusätzlich wurden Kameras an den Lang-Lkw angebracht, die eine Beobachtung der Lkw-Achsen ermöglichten. Die Bilder der Kameras dienten unterstützend zur Auswertung von Abständen der Fahrzeuge zum Fahrbahnrand. Die Messungen der Bewegungsvorgänge in Pannengebieten und auf Parkplätzen erfolgten mit einem Laserscanner. Dieser erfasste die Fahrzeugkanten und die Straßenraumgeometrien. Die daraus abgeleiteten Bewegungslinien der Fahrzeugkanten wurden zur Erstellung von Schleppkurven und für die Zeichnung der Parkraumgeometrien verwendet.

Die Messungen der Bewegungsvorgänge auf Rampen, Ein- und Ausfädelungstreifen und in Verflechtungsbereichen erfolgten während der täglichen Touren der Lang-Lkw. Indirekte Rampen in Autobahnknotenpunkten und Anschlussstellen wurden ergänzend zu den geplanten Touren befahren. Die Messung der Einparkvorgänge in den Tunnel-Nothaltebuchten konnte nicht im realen Verkehrsgeschehen durchgeführt werden. Aus Sicherheitsgründen wurden diese Vorgänge auf Rastanlagen in abgesteckten Nothaltebuchten simuliert. Die Absteckmaße entsprachen denen einer Nothaltebucht mit Mindestmaßen (L= 40 m).

Standardmäßig erfolgt auf Rastanlagen das Parken in Schrägparkständen. Daher und weil auf etwa der Hälfte aller Rastanlagen keine Längsparkstände für Lkw vorhandene sind, wurde das Einparken in Schrägparkstände untersucht. Die betrachteten Parkstände befanden sich auf Rastanlagen entlang der Routen, die von den Expeditionen täglich befahren wurden.

## Ergebnisse

In **Rampen** von planfreien Knotenpunkten und von Anschlussstellen traten durch Lang-Lkw keine Probleme auf. Fahrer von Lang-Lkw orientieren sich bei der Fahrt in einer Rampe an der linken Markierung. Überfahrungen von Markierungen oder Randstreifen wurden bei den Fahrten nicht beobachtet. Die Ergebnisse der Befahrung von Rampen in planfreien Knotenpunkten und Rampen in Anschlussstellen zeigten keine Unterschiede. Einschränkungen der Rampenbreite, durch Arbeitsstellen, Betriebsdienstfahrzeuge und Pannenfahrzeuge stellen bereits für konventionelle Lkw (nach StVZO) ein Hindernis dar. Lang-Lkw haben oftmals breitere Schleppkurven. Das Vorbeifahren an einer Engstelle ist daher noch schwieriger.

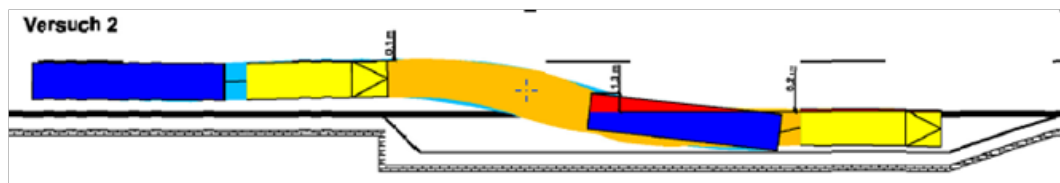
**Ein- und Ausfädelungstreifen** konnten durch die Lang-Lkw ohne Probleme befahren werden. Verflechtungsvorgänge konnten innerhalb der Verflechtungsstrecken ohne Einschränkungen durchgeführt werden.

Die Ergebnisse zur Befahrbarkeit von **Nothaltebuchten** waren in Abhängigkeit von der betrachteten Kombination der Lang-Lkw und auch im Vergleich zum gewählten Referenzfahrzeug, einem konventionellen Sattelkraftfahrzeug (L=16,50 m), unterschiedlich. Mit einer durchgeführten Einzelmessung konnten Hinweise darauf erarbeitet werden, dass bereits das konventionelle Sattelkraftfahrzeug Probleme beim Einparken in eine Nothaltebucht im Tunnel haben. Die getesteten Lang-Lkw vom Typ 1 (L=17,80 m) und vom Typ 5\* haben sich im Vergleich dazu nicht signifikant unterschieden. Bei allen Messungen (je drei mit den beiden Lang-Lkw-Typen) ragte der hintere Überhang zwischen ca. 20 und 50 cm in den Verkehrsraum. Somit haben konventionelle Sattelkraftfahrzeuge und die hier getesteten Lang-Lkw vom Typ 1 und 5\* offenbar ähnlich leichte Probleme, in Nothaltebuchten in Tunneln vollständig einzuparken, ohne den Verkehrsraum und damit den fließenden Verkehr einzuschränken. Je nach verkehrlicher Situation können sich diese

Probleme jedoch verstärken. Eine geringfügige Verlängerung der Länge von Nothaltebuchten in Tunneln erscheint deshalb sinnvoll und böte auch für herkömmliche Lkw Vorteile.

Deutlich gravierender sind die Probleme für die 25,25 m langen Kombinationen der getesteten Lang-Lkw vom Typ 2 und 3. Diese ragten bei den insgesamt durchgeführten fünf Messungen am Fahrzeugende mindestens 0,90 m und bis zu maximal 1,90 m aus der Nothaltebucht heraus beziehungsweise in den Verkehrsraum hinein (vgl. Bild 26). Hieraus können erhebliche Beeinträchtigungen des fließenden Verkehrs resultieren. Nach LIPPOLD, SCHEMMEL (2013) sollten für Neubauten die Längen der Nothaltebuchten für derartige Fahrzeugkombinationen daher auf mindestens 60 m vergrößert werden, um vollständig einparken zu können.

Die Ergebnisse der simulierten Einparkvorgänge in Pannenbuchten in Tunneln lassen Aussagen über die Befahrbarkeit von Nothaltebuchten auf der freien Strecke zu. Solche Buchten können bei fehlendem Seitenstreifen und bei temporären Seitenstreifenfreigaben vorkommen. Sie sind breiter und länger ( $L=60$  m) als in Tunneln und haben am Anfang und am Ende eine Verziehung. Überträgt man die Erkenntnisse aus den Pannenbuchten in Tunneln, ist davon auszugehen, dass Lang-Lkw in Nothaltebuchten auf der freien Strecke problemlos einfahren können.



**Bild 26:** Nachbildung einer real gemessenen Befahrung einer fiktiven Nothaltebucht mit einem Lang-Lkw vom Typ 3 (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2013); Überstand hier: 1,3 m

Auf **Rastanlagen** wurden Befahrungen der Schrägparkstände (als reguläre Parkanordnung) durchgeführt. Die Schrägparkstände haben eine maximale Länge von rund 22 m. Lang-Lkw mit einer Länge bis zu 25,25 m passen nicht in einen herkömmlichen Parkstand. Außerdem überfahren sie auf Grund ihrer breiten Schleppkurve die benachbarten Parkstände.

Es wäre erforderlich, die vorhandenen Aufstellwinkel der Schrägaufstellungen von  $45^\circ$  zu ändern. Bei gleichbleibender Parkstandstiefe und flacheren Aufstellwinkeln ( $30^\circ$  oder  $35^\circ$ ) fallen die Parkstandslängen größer aus. Wegen der geringen Richtungsänderung hat der Lang-Lkw dann eine schmalere Schleppkurve. Gleichzeitig würden durch die Veränderung des Aufstellwinkels Parkstände entfallen. Auf der gleichen Fläche könnten bei  $30^\circ$  Aufstellwinkel nur noch 56 % der ursprünglichen Kapazität erreicht werden. Gegebenenfalls könnte das von der BASt entwickelte Konzept zum sogenannten „Kompaktparken“ oder das auf einzelnen Rastanlagen praktizierte sogenannte „Kollenparken“ eine geeignete Kompensationsmaßnahme darstellen. Zum derzeitigen Stand kann dies aber noch nicht beurteilt werden, da zu diesem innovativen Konzept bisher noch keine Erfahrungen vorliegen.

### 12.4.3 Befahrbarkeit von außerörtlichen plangleichen Knotenpunkten

#### Zielsetzung

Beim Knotenpunktentwurf besteht hinsichtlich der Befahrbarkeit ein Optimierungsproblem. Neben ökonomischen und ökologischen Aspekten gilt es vor allem auch verkehrssicherheitstechnische Belange zu berücksichtigen (vgl. Ziffer 12.4.1). So sollen beispielsweise Aufstellbereiche an plangleichen Knotenpunkten einerseits so ausgebildet werden, dass möglichst nur ein Fahrzeug bis zur übergeordneten Straße vorrücken kann, um gegenseitige Sichtbehinderungen auszuschließen. Gerade auch an Anschlussstellen gilt es, auf eine möglichst „schlanke“ Gestaltung der Aufstellbereiche für die von der Autobahn

ins nachgeordnete Netz einbiegenden Fahrzeuge zu achten, da somit für Linksabbieger auf die Zufahrtsrampe zur Autobahn die optische Führung verbessert wird, um ein falsches Auffahren auf die Autobahn zu vermeiden. Andererseits muss jedoch gleichzeitig ein Einfahrquerschnitt zur Verfügung stehen, der eine Schleppkurve vor allem für rechts-einbiegende Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen ermöglicht.

Vor diesem Hintergrund erfolgte die Überprüfung der Befahrbarkeit außerörtlicher plangleicher Knotenpunkte in zwei Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleituntersuchung. Zunächst wurde im Rahmen der Untersuchungen zur Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2013) auch das Ein- und Abbiegen in das nachgeordnete Netz in Anschlussstellen betrachtet (vgl. hinsichtlich der Untersuchungsmethodik Ziffer 12.4). Da sich genauere Aussagen jedoch nur aus weiterführenden Untersuchungen treffen ließen, als dies im Rahmen des FE 09.0180 möglich war, wurde die Befahrbarkeit außerörtlicher plangleicher Knotenpunkte (Kreuzungen, Einmündungen bzw. Kreisverkehre) in einem weiteren Teilprojekt (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2014) der wissenschaftlichen Begleituntersuchung detaillierter analysiert. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf diesen beiden von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013, 2014) bearbeiteten Teilprojekten. Mit ihnen sollte festgestellt werden, ob die Gestaltung der Knotenpunkte nach alten und neuen Regelwerken ausreicht oder ob die angrenzenden Flächen (Nachbarfahrstreifen, Randstreifen oder Bankette) benutzt werden müssen.

### Untersuchungsmethodik

In Analogie zu den Untersuchungen zur Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2013, vgl. Ziffer 12.4.2) wurden auch für die weitergehenden Betrachtungen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2014) an typischen Landstraßenknotenpunkten die Lang-Lkw vom Typ 1 (L=17,80 m), 2 und 3 (je L=25,25 m) sowie 5 (im Feldversuch bislang und somit auch hier: L=23,00 m; im Folgenden daher als „5\*“ bezeichnet) ausgewählt. Gleichfalls diente ein Sattelkraftfahrzeug (L=16,50 m) als Referenzfahrzeug.

Für die Untersuchungen an Landstraßenknotenpunkten wurde von LIPPOLD, SCHEMMEL (2014) auf die bereits bewährte Messtechnik, bestehend aus Kameras zur Beobachtung der Lkw-Achsen und Laserscanner (zur Erfassung der Fahrzeugkanten bei Ein- und Abbiegevorgängen), zurückgegriffen. Erneut dienten die Bilder der Kameras unterstützend zur Auswertung der Abstände der Fahrzeuge zum Straßenraum. Aus den Laserscans wurden die Schleppkurven der Lkw in den Knotenpunkten erstellt.

An den plangleichen Teilknotenpunkten der Anschlussstellen wurden von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013) alle möglichen Fahrbeziehungen im Knotenpunkt betrachtet. Da sich hierbei zeigte, dass an Kreuzungen und Einmündungen das Linksabbiegen und das Rechtseinbiegen die relevanten Manöver zur Beantwortung der Forschungsfrage darstellen, wurde der Fokus auf diese beiden Fälle bei der weiterführenden Untersuchung an den plangleichen Landstraßenknotenpunkten (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2014) gelegt.

Das **Linksabbiegen** stellt eine Fahrt von der übergeordneten Straße in die untergeordnete Straße dar. Die Betrachtung des Linksabbiegens sollte klären, ob und wie weit die Lkw mit ihrem hinteren Überhang aus ihrem Linksabbiegestreifen in den benachbarten Fahrstreifen ausschwenken. Außerdem sollten Überfahrungen und Überstreichungen der Randmarkierungen und des Tropfens untersucht werden. Beim **Rechtseinbiegen** wird von der untergeordneten Straße in die übergeordnete Straße eingebogen. Die Beobachtungen der Rechtseinbiegevorgänge sollten klären, ob es zu Überfahrungen der Eckausrundungen durch die Lkw kommt. Außerdem wurde untersucht, ob übergeordnete Linksabbiegestreifen beim Rechtseinbiegen von den Lkw überfahren oder überstrichen werden.

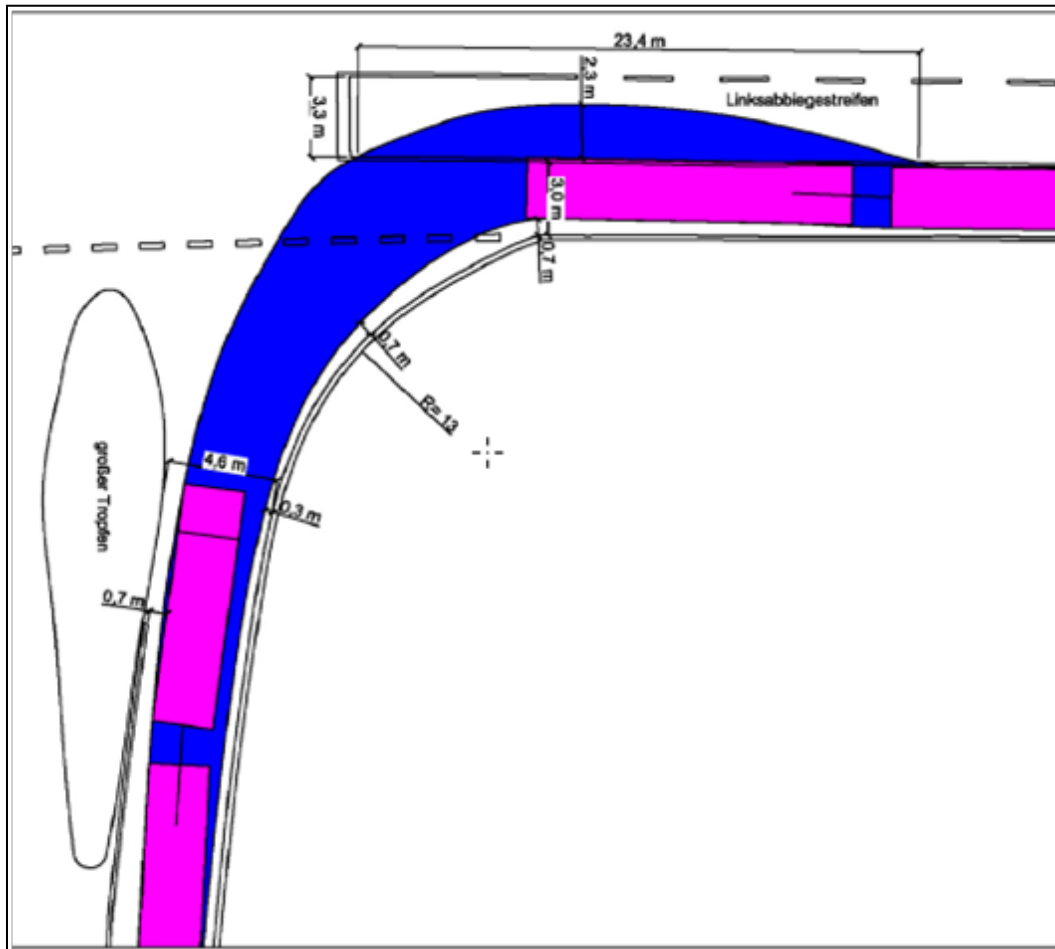
Die Wahl der Kreisverkehre hing von einigen Randbedingungen ab. Beispielsweise eigneten sich Kreisverkehre mit einer Aufschüttung nicht für die verwendete Messtechnik. In den ausgewählten Kreisverkehren (mit 35 m bzw. 40 m Durchmesser) wurden die  $\frac{1}{4}$ - und die  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung als maßgeblich kritische Fahrmanöver untersucht. Die  $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundung entspricht dem kleinsten Ein- oder Abbiegevorgang auf einem Kreisver-

kehr, die  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung erfordert drei Richtungsänderungen und stellt somit erhöhte Anforderungen hinsichtlich der Befahrbarkeit als dies beispielsweise durch die Befahrung des BO-Kraftkreises abgebildet werden kann (vgl. dazu auch Ziffer 12.4.1).

Das Referenzfahrzeug sowie Lang-Lkw von Typ 1, Typ 2 und Typ 3 konnten jeweils in dem gleichen Kreisverkehr und der gleichen Kreuzung betrachtet werden. Der Lang-Lkw vom Typ 5\* konnte hingegen nicht an den gleichen Knotenpunkten untersucht werden. Es konnten aber hinreichend vergleichbare Knotenpunkte ausgewählt werden. Die Messungen fanden während der täglichen Touren der Lang-Lkw statt. Die Fahrer mussten die Knotenpunkte mehrmals befahren. Die ausgewählten Knotenpunkte entsprachen jeweils den gültigen Richtlinien.

### **Ergebnisse**

Bei den Analysen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013) zeigte sich bei Ein- und Abbiegevorgängen an den **plangleichen Teilknotenpunkten der Anschlussstellen**, dass ein zu zeitiges Einlenken („Kurvenschneiden“) zu Überfahrungen von Markierungen und anderen Fahrstreifen führte. Zu zeitiges Einlenken bei Rechtseinbiegevorgängen (von der Autobahn kommend in das nachgeordnete Netz) führte zum Überfahren der Linksabbiegestreifen (besonders Typ 2 und Typ 3, vgl. Bild 27). Bei Typ 2 zeigte sich dies sehr deutlich. Der gelenkte Dolly von Typ 3 kann bei Rechtseinbiegevorgängen weiter ausscheren als das Zugfahrzeug. Bei späteren Messungen mit dem gleichen Fahrzeug trat dieses Verhalten nicht mehr auf. Bei Linkseinbiegevorgängen führte zu zeitiges Einlenken zu den gleichen Resultaten. Die vorhandenen Bewegungsspielräume werden besonders durch die bis zu 25,25 m langen Lang-Lkw voll ausgeschöpft. Das Überfahren von Markierungen und Randstreifen kann zu Schäden an der Fahrbahn führen.



**Bild 27:** Rechtseinbiegen mit Überfahren des Linksabbiegestreifens (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2013)

Für die Ein- und Abbiegevorgänge auf den **plangleichen Landstraßenknotenpunkten** (Kreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehre) wurde von LIPPOLD, SCHEMMEL (2014) festgestellt, dass es bei Lang-Lkw ein teilweise ähnliches, aber auch teilweise abweichendes Fahrverhalten gegenüber dem Referenzfahrzeug gibt. Während der Messungen stand für jeden untersuchten Lang-Lkw-Typ jeweils ein eigener Fahrer zur Verfügung. Dementsprechend veranschaulichen die Ergebnisse von LIPPOLD, SCHEMMEL (2014) die individuell durch die Fahrer resultierenden Fahrlinien (Schleppkurven). Das hat auf die Messergebnisse positive sowie negative Auswirkungen. Je nach Fahrstil, Erfahrung und Verkehrssituation hat die Wahl der Leitlinie einen direkten Einfluss auf die überfahrenen Flächen. Die Messungen und Beobachtungen sind daher immer mit einem unbestimmbaren Fehler behaftet.

- Linksabbiegen an plangleichen Kreuzungen/Einmündungen

Beim Linksabbiegen hatte die Wahl der gefahrenen Leitlinien ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die überstrichenen und überfahrenen Flächen. Dadurch ergaben sich überstrichene Flächen mit bis zu 70 cm in den Nachbarfahrstreifen. Bei den Lang-Lkw-Typen 1 und 3 sowie dem Referenzfahrzeug waren die gemessenen Überstreichungen ähnlich ausgeprägt. Bei Typ 2 und Typ 5\* wurden die Nachbarfahrstreifen immer überstrichen. Typ 2 zeigte die größten Überstreichungen. Führen die Lang-Lkw durch zeitiges Einlenken einen langgezogenen Bogen, berührten oder überfahren sie den Tropfen in der untergeordneten Straße. Oftmals wurde auf den gewählten Leitlinien spät eingelenkt, um die Tropfen nicht zu überfahren. Die vorderen Überhänge (Zugfahrzeug oder Sattelanhänger) überstrichen dann die Eckausrundung. Die Überstreichungen betragen dabei bis zu 50 cm (je eine Messung von

Typ 1 und Typ 3). Überwiegend wird von Lang-Lkw die Eckausrundung nur berührt. Ein Überfahren der Eckausrundungen wurde nicht beobachtet.

- Rechtseinbiegen an plangleichen Kreuzungen/Einmündungen

Beim Rechtseinbiegen verwendeten die Fahrer unterschiedliche Leitlinien. Bei Typ 1, Typ 3 und Typ 5\* lagen die resultierenden Schleppkurven innerhalb des Bereichs, der auch durch das Referenzfahrzeug überstrichen wurde. Typ 2 befuhr dagegen eine Leitlinie, die weiter zum Tropfen versetzt war. Trotz einer angepassten Fahrweise überfuhr der Lkw auch die Randmarkierung.

Beim Rechtseinbiegen nutzten die Fahrer der Lang-Lkw teilweise die Linksabbiegestreifen auf der übergeordneten Straße mit. Dadurch ist es möglich, weiter auszuholen und auf der Schleppkurveninnenseite die Markierung und den Randstreifen nicht zu überfahren. War das Benutzen des Linksabbiegestreifens nicht möglich, überfuhr die Lang-Lkw jedoch mit ihren hinteren Achsen die Randmarkierungen und den Randstreifen. Flächen im Seitenraum wurden bei den Untersuchungen zwar nicht überfahren, die Lang-Lkw benötigten aber im Einfahrquerschnitt den gesamten verfügbaren Bewegungsspielraum.

- $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundungen

Bei  $\frac{1}{4}$ -Kreisumrundungen benötigten außer dem Lang-Lkw vom Typ 5\* und dem Referenzfahrzeug alle anderen betrachteten Lkw den gesamten Bewegungsspielraum im Ausfahrquerschnitt. Außer Typ 2 konnten alle Lang-Lkw in einem Bogen durch den Kreisverkehr fahren. Typ 2 konnte den Kreisverkehr nur sehr langsam und unter Ausnutzung des gesamten verfügbaren Bewegungsspielraums befahren.

- $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundungen

Bei einer  $\frac{3}{4}$ -Kreisumrundung beeinflusste die gewählte Fahrlinie, ob Flächen im Kreisverkehr überstrichen oder überfahren wurden. Erneut benötigten außer dem Lang-Lkw vom Typ 5\* und dem Referenzfahrzeug alle anderen betrachteten Lkw den gesamten Bewegungsspielraum in den Kreisverkehren. Die Eckausrundungen im Ausfahrquerschnitt wurden bei den Untersuchungen nicht überfahren. Durch das Referenzfahrzeug sowie den Lang-Lkw vom Typ 1 und 2 wurde der Innenring im Kreisverkehr überfahren oder berührt.

#### **12.4.4 Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw vom Typ 1**

Der Lang-Lkw vom Typ 1, ein Sattelkraftfahrzeug mit einem gegenüber herkömmlichen Sattelkraftfahrzeugen um 1,30 m verlängerten Sattelanhängen und somit einer Gesamtlänge von 17,80 m anstatt 16,50 m, weist aufgrund seiner Gesamtlänge eine Besonderheit hinsichtlich der im Feldversuch zur Befahrung mit Lang-Lkw freigegebenen Strecken auf. Diese Lang-Lkw dürfen in den zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Ausnahmeverordnung am Feldversuch aktiv beteiligten sieben Ländern Bayern, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Sachsen, Schleswig-Holstein und Thüringen das gesamte, also auch das innerstädtische Streckennetz der jeweiligen Länder nutzen (vgl. Ziffer 4.2). Aus diesem Grund wurde ein zum Start des Feldversuchs bereits laufendes Forschungsprojekt, das sich unter anderem mit der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten innerhalb und im Vorfeld von bebauten Gebieten mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs befassen sollte, um den Aspekt des verlängerten Sattelkraftfahrzeugs erweitert.



Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von FRIEDRICH ET AL. (2013) bearbeiteten Teilprojekt FE 77.0501/2010 „Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte<sup>17</sup> mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs“.

### **Zielsetzung und Untersuchungsmethodik**

Ein Schwerpunkt der Untersuchung (FRIEDRICH ET AL., 2013) bestand in der praktischen und theoretischen Ermittlung von Schleppkurven für Fahrzeuge des Schwerverkehrs. Für einen Abgleich der mittels Schleppkurvensoftware ermittelten fahrgeometrischen Bewegungsräume mit dem realen Fahrverhalten von Fahrzeugen des Schwerverkehrs wurden Fahrversuche mit ausgewählten Lkw auf einem Testgelände durchgeführt. Die Erfassung der Schleppkurven beziehungsweise die Bestimmung der Flächeninanspruchnahme (Hüllkurven) während der verschiedenen Testfahrten erfolgte dabei mittels hochgenauer GPS-Messtechnik. Aufbauend auf diesem Arbeitsschritt erfolgte die Überprüfung von im Hinblick auf die Befahrbarkeit als problembehaftet identifizierten plangleichen Knotenpunkten mit unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten, unter anderem auch einem Lang-Lkw vom Typ 1, dem verlängerten Sattelkraftfahrzeug.

### **Ergebnisse**

Der Vergleich der von FRIEDRICH ET AL. (2013) betrachteten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen in Bezug auf ihre Flächeninanspruchnahme zeigt deutliche Unterschiede. Ursächlich hierfür ist vor allem die zum Teil grundsätzlich unterschiedliche Fahrzeuggeometrie beziehungsweise die Zusammensetzung/Kupplung der verschiedenen Lkw. Darüber hinaus sind weitere Unterschiede auf die unterschiedlich großen vorderen und hinteren Fahrzeugüberhänge zurückzuführen.

Grundsätzlich konnte von FRIEDRICH ET AL. (2013) ermittelt werden, dass Fahrzeuge mit großen Elementlängen und großen Achsabständen die Kurve weiter in Richtung Kurveninnenseite schneiden als Fahrzeuge mit kürzeren Elementlängen und geringeren Achsabständen. So führt der große Abstand zwischen Königszapfen und Sattelanhängerrachsen bei einem konventionellen Sattelkraftfahrzeug, bei dem die vordere der drei Sattelanhängerrachsen geliftet ist, bei Wahl der gleichen Leitlinie für alle betrachteten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen zur größten Flächeninanspruchnahme auf der Kurvenaußenseite. Der Sattelanhängerr mit gelifteter Achse schneidet die Kurve stärker als das Sattelkraftfahrzeug mit verlängertem Sattelanhängerr. Bei diesem ist es laut Herstellerangaben (Stand 2013) technisch nicht möglich, eine Sattelanhängerrachse zu liften.

Verantwortlich für die beim Ausscheren beziehungsweise Ausholen überstrichenen Flächen auf der Kurvenaußenseite sind neben der Achsgeometrie vor allem die Fahrzeugüberhänge. Der nicht selten ausgenutzte vordere Ladungsüberhang eines Autotransporters von 0,50 m führt hier zu einer größeren Flächeninanspruchnahme. Zudem kommt es beim Einlenken durch den großen hinteren Fahrzeugüberhang beim Autotransporter, aber auch beim Sattelkraftfahrzeug mit verlängertem Sattelanhängerr zu einer größeren Flächeninanspruchnahme im Bereich der Kurvenaußenseite. So wurde beispielsweise beim Befahren des im Rahmen der Untersuchung definierten kleinen Kreisverkehrs mit einem Außendurchmesser von 26 m (Breite der Zufahrt: 3,25 m, Breite der Ausfahrt: 3,50 m) ermittelt, dass bei der  $\frac{1}{4}$ -Kreisbefahrung zwar nahezu alle Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen die Querungshilfe von Fußgängern und Radfahrer sowohl in der Knotenpunktein- als auch -ausfahrt überstreichen. Aufgrund ihrer vergleichsweise großen hinteren Überhänge überstreicht jedoch das Sattelkraftfahrzeug mit verlängertem Sattelanhängerr die Querungshilfe der Einfahrt und der Autotransporter die Querungshilfe der Knotenpunktausfahrt besonders deutlich, sodass hieraus mögliche Ge-

<sup>17</sup> Der Begriff „innerörtlicher Knotenpunkt“ ist dem Einsatzgebiet des Lang-Lkw vom Typ 1 entsprechend nicht mit einem Knotenpunkt in der Innenstadt oder am Innenstadtrand gleichzusetzen. Im Zusammenhang mit dem Thema Lang-Lkw sind hiermit vielmehr solche Knotenpunkte gemeint, die in Stadtrandlage oder sogar im Vorfeld bebauter Gebiete liegen. Diese werden jedoch auch nach dem für die Anlage von Stadtstraßen geltenden Regelwerk geplant (FGSV, 2006).

fährdungen für auf der Querungshilfe wartende Fußgänger und Radfahrer resultieren können.

#### 12.4.5 Fazit und Folgerungen

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Fragestellung der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen mit Lang-Lkw lassen sich auf Basis der Untersuchungen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013, 2014) sowie FRIEDRICH ET AL. (2013) wie folgt zusammenfassen:

- **Rampen in Anschlussstellen und planfreien Knotenpunkten** sind für Lang-Lkw uneingeschränkt befahrbar.
- Das Vorbeifahren an Hindernissen in **eingeeengten Rampenquerschnitten** ist schwieriger als bei konventionellen Lkw, jedoch erfordert dieser zudem nicht häufig auftretende Fall auch heute schon gesonderte Maßnahmen.
- **Ein- und Ausfädelungstreifen** sowie **Verflechtungsbereiche in planfreien Knotenpunkten** sind aus fahrgeometrischer Sicht ohne Einschränkung befahrbar.
- **Nothaltebuchten in Tunneln** sind unter Umständen bereits für StVZO-konforme Lkw, jedoch auch für das Einparken mit Lang-Lkw insgesamt zu kurz, in Abhängigkeit vom Typ jedoch in unterschiedlichem Maße. Lang-Lkw vom Typ 1 (L=17,80 m) und 5\* ragen mit einem geringen Überhang aus dem Bereich der Nothaltebucht bis zu 50 cm in den Fahrraum. Diese Typen weisen somit ähnliche Probleme auf, wie sie sich bei der durchgeführten Einzelmessung mit einem konventionellen Sattelkraftfahrzeug zeigten. Lang-Lkw vom Typ 2 und 3 (L=25,25 m) ragen hingegen deutlich in den Verkehrsraum (bis zu 1,90 m) und können so zu einer erheblichen Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs führen. Dieser Aspekt ist jedoch unter dem Gesichtspunkt der Vorkommenswahrscheinlichkeit (=Anzahl Lang-Lkw x Risiko eines Nothalts in einem Tunnel) derzeit noch als geringfügig einzustufen. Bei einer deutlichen Zunahme der Eintrittswahrscheinlichkeit derartiger Nothalte in Tunneln sollten jedoch geeignete Maßnahmen (z. B. bei Neuplanungen Verziehung am Beginn der Nothaltebucht und Verlängerung der Nothaltebucht) in Erwägung gezogen werden.
- **Nothaltebuchten auf der freien Strecke und bei Seitenstreifenfreigaben** können aufgrund ihrer größeren Länge von allen Lang-Lkw problemlos befahren werden.
- **Schrägparkstände auf Rastanlagen** Bei den Rastanlagen sind Längs- und Schrägparkstände zu unterscheiden. Während zwar tagsüber ein Einparken auf nahezu leeren Längsparkstreifen relativ problemlos sein wird, würden sich für das Einparken in eine Lücke zwischen zwei Lkw auf einem Längsparkstand bei einer höheren Auslastung der Rastanlage ähnliche Anforderungen ergeben wie für das Einparken in Nothaltebuchten. Als Standardfall ist daher das Einparken in Schrägparkstände anzusehen, zumal Längsparkstände auf etwa der Hälfte aller Rastanlagen gar nicht vorhanden sind. Schrägparkstände sind allerdings für Lang-Lkw mit einer Länge von mehr als 22 m zu kurz. Das sich aus diesem Umstand möglicherweise ergebende Problem für die bis zu 25,25 langen Lang-Lkw zeigt sich derzeit aus mehreren Gründen (noch) nicht: Zum einen trägt die bisherige Anzahl im Einsatz befindlicher Lang-Lkw dazu bei. Die wenigen Lang-Lkw benutzen zum Teil die Parkflächen, die normalerweise den Großraum- und Schwertransporten vorbehalten sind oder Parken in den gegenüber Schrägparkständen deutlich selteneren Längsparkständen. Zum anderen werden teilweise auch Autohöfe angefahren. Auf diesen sind oftmals die Parkstände nicht markiert, sondern es steht eine gewisse Parkfläche zur Verfügung. Aber auch die im Feldversuch bisher beobachtbaren Einsatzgebiete führen dazu, dass Lang-Lkw-Fahrer Rastanlagen gar nicht anzufahren brauchen. Mit im Durchschnitt lediglich 200 km Fahrtweite je Lang-Lkw-Fahrt (vgl. Ziffer 6) ist eine längere Pause auf einer öffentlichen Rastanlage oftmals gar nicht erforderlich. Gleichwohl ist das Problem der zu kurzen Schrägparkstände durch die unvermeidbaren kurzen Pausen zum Aufsuchen der Sanitäranlagen sowie bei einer Zunahme des Einsatzes von Lang-Lkw allgemein nicht von der Hand zu weisen. Das Ummarkieren mit schrä-

geren Aufstellwinkeln würde zwar längere Schrägparkstände ermöglichen, jedoch zu einem unvermeidbaren Verlust an Parkständen führen. Inwieweit ein theoretisch denkbare Ausweichen der Lang-Lkw auf Autohöfe das Problem lösen könnte, erscheint aus mehreren Gründen fraglich: Autohöfe werden ausschließlich privat betrieben. Der Bund hat keinen Einfluss auf die Eröffnung oder Schließung dieser Betriebe. So besteht von Seiten des Staats auch keine Möglichkeit, den privatwirtschaftlich betriebenen Autohöfen die Aufnahme von Lang-Lkw vorzuschreiben. Zudem zeigen Erfahrungen aus Forschungen und Erhebungen zum Parkverhalten konventioneller Lkw entlang der Bundesautobahnen, dass die teilweise kostenpflichtigen Autohöfe nur eingeschränkte Akzeptanz finden. Gegebenenfalls könnte das innovative Konzept des sogenannten „Kompaktparkens“ oder auch des sogenannten „Kolonnenparkens“ eine geeignete Kompensationsmaßnahme darstellen. Zum derzeitigen Stand kann dies aber noch nicht beurteilt werden, da bisher noch keine Erfahrungen dazu vorliegen. Bei einem weiterhin geringen Aufkommen an Lang-Lkw könnten die vorhandenen Längsparkstreifen jedoch ausreichen.

- Mit Ausnahme des getesteten Lang-Lkw vom Typ 2 wären die real gemessenen Schleppkurven der anderen getesteten Lang-Lkw theoretisch mit richtliniengerechten plangleichen Landstraßenknotenpunkten kompatibel. Voraussetzung ist aber, dass die Lang-Lkw den Knotenpunkt ideal an- und befahren. Diese Ideallinien konnten in den Fahrversuchen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013, 2014) jedoch in keinem Fall beobachtet werden. Die Fahrer waren immer etwas zu weit rechts oder links im Fahrstreifen, so dass sie dann über den anderen Fahrstreifen oder über den Randstreifen (nicht Bankett) gefahren sind. Im realen Betrieb muss von solchen Bewegungen und Abweichungen ausgegangen werden. Für derartige Abweichungen von der idealen Fahrlinie werden beim Entwurf von Knotenpunkten zusätzlich zur Berücksichtigung der Schleppkurven der Bemessungsfahrzeuge die sogenannten Bewegungsspielräume vorgesehen. Diese werden aber bereits von den Schleppkurven der Lang-Lkw nahezu oder sogar vollständig ausgenutzt. Kurzfristig wäre es noch tolerierbar, den Randstreifen zu überfahren. Langfristig wären aber adäquate Maßnahmen zu ergreifen. So empfiehlt sich gegenüber den heute üblichen Abmessungen an **Kreuzungen und Einmündungen** hinsichtlich des Linksabbiegens eine Verbreiterung der Linksabbiegestreifen von  $B > 3,25$  m zur Begrenzung ausschwenkender Fahrzeugüberhänge. Alternativ kann eine Aufweitung der Einfahrquerschnitte  $B > 4,6$  m erfolgen. Zudem lässt sich aus den Messungen und Beobachtungen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2013, 2014) ableiten, dass Lang-Lkw vorrangig den ausleitenden Radius überfahren. Es wird daher eine Verbreiterung des Einfahrquerschnittes ( $B > 3,5$  m) in der übergeordneten Straße oder eine Verbreiterung des Ausfahrquerschnittes ( $B > 4,4$  m) empfohlen. Alternativ kann eine Vergrößerung des Ausrundungsradius des dreiteiligen Korbbogens (ausleitende Radius  $R_A > 36$  m) erfolgen. Eine Aufweitung der Zufahrten ermöglicht jedoch nicht nur das einfachere Einbiegen der Lang-Lkw. Durch eine Aufweitung der Zufahrt wird die Führung im Knotenpunkt beeinflusst und die aus Sicherheitsgründen unerwünschte Parallelaufstellung von Verkehrsteilnehmern in der Zufahrt wird dadurch begünstigt. Dies kann jedoch die Verkehrssicherheit am Knotenpunkt negativ beeinflussen. Gerade an Anschlussstellen gilt es auf eine möglichst „sparsame“ Gestaltung der Aufstellbereiche für die von der Autobahn ins nachgeordnete Netz einbiegenden Fahrzeuge zu achten, da so für Linksabbieger auf die Zufahrtsrampe zur Autobahn die optische Führung verbessert wird, um ein falsches Auffahren auf die Autobahn zu vermeiden.
- Bei **Kreisverkehren** reichen die Bewegungsspielräume in den Ausfahrquerschnitten bei  $\frac{1}{4}$ -Kreisfahrten für eine Befahrbarkeit der getesteten Lang-Lkw nicht aus. Bei Abweichungen von der idealen Fahrlinie werden in Kreisverkehren der Innenring und Bankette überstrichen oder überfahren. Die geringsten Abweichungen vom Referenzfahrzeug zeigten Typ 1 und 5\*. Diese schnitten teilweise besser ab oder entsprachen dem Fahrverhalten des Referenzfahrzeuges. Am ungünstigsten verhielt sich Typ 2. Hier kam es zu überfahrenen Markierungen und Randstreifen. Daher wird für Außen-

durchmesser von 35 bis 40 m eine Vergrößerung der Kreisfahrbahnbreite von  $B_K = 7,00$  m (exkl. 0,50 m Randstreifenbreite) gemäß den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – RAL (FGSV, 2013) auf  $B_K = 7,30$  m (alle Lang-Lkw wären damit abgedeckt) empfohlen. Um den verfügbaren Bewegungsspielraum zu erweitern, wird die Verbreiterung der Ausfahrquerschnitte auf  $B_A = 4,3$  m empfohlen. Alternativ kann eine Vergrößerung der Eckausrundung (Ausfahrt) mit einem Radius von  $R = 14$  m auf  $R = 16$  m erfolgen.

- Im Hinblick auf die **Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw vom Typ 1** kann grundsätzlich festgehalten werden, dass von allen von FRIEDRICH ET AL. (2013) untersuchten Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen die Knotenpunkte derart befahren werden können, dass ein Überfahren von Flächen außerhalb der Fahrbahn vermieden wird. Es zeigt sich aber auch, dass für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen, die sich deutlich von den bisher geltenden Bemessungsfahrzeugen unterscheiden, dies vereinzelt nur unter Ausnutzung aller Sicherheitsräume möglich ist. Hinzu kommt, dass es zudem zum Überstreichen von Flächen kommen kann, auf denen sich Personen oder Elemente der Straßenausstattung befinden können. Weiterhin sollte in diesem Zusammenhang beachtet werden, dass die für die Anwendung von Schleppkurvenuntersuchungen üblichen Bewegungsspielräume beziehungsweise seitlichen Toleranzen von 50 cm deutlich reduziert oder – im Extremfall – nicht mehr vorhanden sind. Dies stellt höhere Anforderungen an den Fahrer und kann unter Umständen eine Zunahme von Problemen bei der Befahrung bestimmter Verkehrsanlagen erwarten lassen. Speziell für den Lang-Lkw vom Typ 1 ist zu konstatieren, dass er durch den vergleichsweise großen hinteren Überhang recht schnell Gefahr läuft, die Querungshilfe in der Knotenpunkteinfahrt derart mit dem Heck zu überstreichen, dass hieraus mögliche Gefährdungen für auf der Querungshilfe wartende Personen resultieren können. Zwar ist dabei zu berücksichtigen, dass ein herkömmlicher Autotransporter die Querungshilfe der Knotenpunktausfahrt auch heute schon in ähnlicher Weise überstreicht. Fraglich bleibt bei einer Bewertung dieses Umstands jedoch, ob diese unter Umständen kritischen Situationen bei einer deutlich größeren Verbreiterung des verlängerten Sattelanhängers als die derzeit doch relativ überschaubare Anzahl an in Deutschland zugelassenen Autotransportern<sup>18</sup> zunehmen werden und dies dann zu Einbußen hinsichtlich der Verkehrssicherheit führt.
- Generell empfiehlt es sich, zur Überprüfung der Eignung vorhandener plangleicher Knotenpunkte oder für den Entwurf neuer Anlagen, die von Lang-Lkw befahren werden sollen, spezielle Schleppkurven für Lang-Lkw einzusetzen und zusätzlich die üblichen Bewegungsspielräume anzusetzen.

## 12.5 Verkehrsablauf in Arbeitsstellen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von BAIER, KEMPER (2013) bearbeiteten Teilprojekt FE 09.0181/2011/CRB „Auswirkungen von Lang Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen“.

### 12.5.1 Zielsetzung

Arbeitsstellen stellen auf Autobahnen neuralgische Bereiche dar. Der erforderliche Ausbau (Anbau von Fahrstreifen) und die Erhaltungsmaßnahmen (grundhafte Erneuerung) der Autobahnen führen zwangsläufig zu einer vermehrten Einrichtung von Arbeitsstellen längerer Dauer, während Arbeiten des Betriebsdienst und kleinere Reparaturen Arbeitsstellen kürzerer Dauer erfordern.

Bisherige Untersuchungen zum Einsatz von Lang-Lkw gehen davon aus, dass sich durch die Erhöhung der zulässigen Länge von Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombi-

<sup>18</sup> Gemäß Recherchen des AML Verein Automobillogistik im DSLV e.V. liegt die operative Autotransporter-Flotte in Deutschland aktuell bei rund 6.000 Fahrzeugkombinationen.

nationen keine grundlegenden Risiken neuer Art ergeben. Es wird aber nicht ausgeschlossen, dass durch die Fahrzeuglängen eine Zunahme der Anzahl kritischer Situationen, z. B. in Überleitungsbereichen von Arbeitsstellen, möglich ist. Erkenntnisse hierzu liegen bislang jedoch nicht vor.

Deshalb sollte der Einsatz von Lang-Lkw in Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer analysiert werden, mit dem Ziel, wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse zu den Auswirkungen von Lang-Lkw auf Verkehrsablauf und -sicherheit in Arbeitsstellen auf Autobahnen zu gewinnen. Insbesondere sollte von BAIER, KEMPER (2013) bewertet werden, ob diesbezüglich Unterschiede zwischen Lang-Lkw und herkömmlichen Lkw zu erwarten sind. Diese Erkenntnisse sollen auf Grund der im Feldversuch mit Lang-Lkw zu beobachtenden Erfahrungen im Realbetrieb ermittelt werden. Im Ergebnis soll der Bedarf gegebenenfalls erhöhter Anforderungen an die Sicherung von Arbeitsstellen aufgezeigt werden.

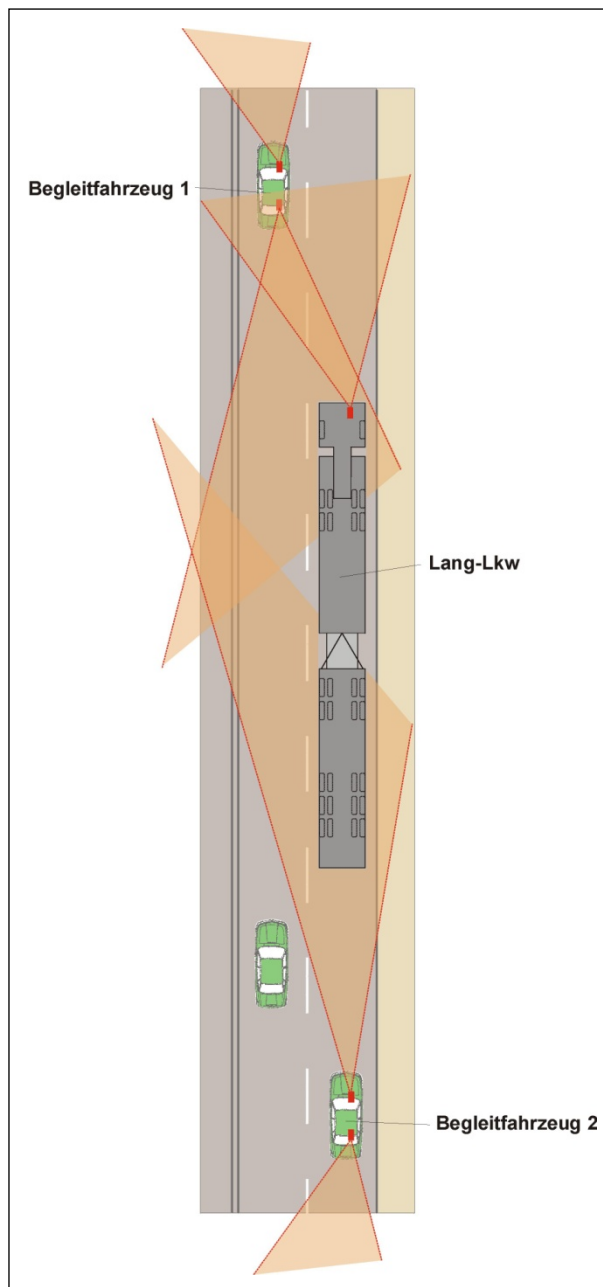
### **12.5.2 Untersuchungsmethodik**

Zunächst erfolgte von BAIER, KEMPER (2013) eine Recherche und Auswertung nationaler und internationaler Literatur zu bisherigen Erkenntnissen hinsichtlich der Auswirkungen von Lang-Lkw auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen auf Autobahnen. Der Fokus lag dabei im Wesentlichen auf solchen Untersuchungen, bei denen Erfahrungen im Realbetrieb gewonnen werden konnten. Insbesondere wurden deshalb auch die deutschen Studien zu den bisherigen Modellversuchen in einzelnen Bundesländern einbezogen.

Parallel hierzu wurde vorliegendes Datenmaterial aus zurückliegenden Untersuchungen zum Verkehrsablauf und zur Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer im Hinblick auf den Einfluss des konventionellen Schwerverkehrs analysiert und dargestellt. Da in den bisherigen Untersuchungen zur Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen keine spezifischen Betrachtungen zu Unfällen mit Beteiligung des herkömmlichen Schwerverkehrs, insbesondere von Gliederzügen oder Sattelkraftfahrzeugen, durchgeführt wurden, erfolgte eine entsprechende Analyse vorliegender Unfalluntersuchungen.

Anschließend wurde eine geeignete Untersuchungsmethodik entwickelt, um Interaktionen zwischen Lang-Lkw und dem übrigen Verkehr zu ermitteln und eventuelle Auswirkungen zu quantifizieren. Der Fokus der Untersuchung lag hier auf einer Betrachtung „von außen“, d.h. die Lang-Lkw wurden von zwei Fahrzeugen begleitet (vgl. Bild 28). Mittels Videotechnik wurden dabei alle relevanten Bereiche vor und hinter sowie neben den Lang-Lkw aufgezeichnet und dann analysiert.

Im Rahmen der empirischen Untersuchungen zu den verkehrlichen Auswirkungen von Lang-Lkw in Arbeitsstellen wurden von BAIER, KEMPER (2013) das Fahrverhalten, z. B. das Spurverhalten der Lang-Lkw im Bereich von Überleitungen, und die Interaktionen zwischen den Lang-Lkw und anderen Verkehrsteilnehmern in unterschiedlichen Situationen gleichermaßen erfasst.



**Bild 28: Prinzip der Messanordnung mit zwei Begleitfahrzeugen bei Arbeitsstellen mit zwei Fahrstreifen in der betrachteten Richtung**

Hierunter sind unter anderem folgende Situationen und dabei zu klärende Fragestellungen zu verstehen:

- Überleitungen/Verschwenkungen im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer: Wie durchfährt ein Lang-Lkw diese Bereiche (z. B. mit oder ohne Überfahung der Fahrstreifenbegrenzung zwischen den beiden Fahrstreifen)? Werden andere Verkehrsteilnehmer hiervon beeinflusst?
- Baustelleninnenbereiche von Arbeitsstellen längerer Dauer: Fährt ein Lang-Lkw auch bei geringeren Fahrstreifenbreiten konstant innerhalb des rechten Fahrstreifens? Werden Lang-Lkw gegebenenfalls seltener oder zögerlicher überholt als herkömmliche Lkw?

- Einfahrten innerhalb von Arbeitsstellen längerer Dauer: Werden einfahrende Verkehrsteilnehmer bei der Einfahrt in die Arbeitsstelle durch Lang-Lkw beeinflusst? Stellen die verkürzten Einfädelungstreifen ein Problem für einfahrende Lang-Lkw dar?
- Sperrung des rechten Fahrstreifens im Bereich einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer: Welche Zeit- beziehungsweise Weglücken werden von Lang-Lkw zum Fahrstreifenwechsel genutzt? Wie verhalten sich die anderen Verkehrsteilnehmer?
- Sperrung des linken Fahrstreifens im Bereich einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer: Wie verhalten sich die Verkehrsteilnehmer, die einen Lang-Lkw vor der Sperrung des Fahrstreifens noch überholen?

Die Beantwortung dieser Fragestellungen kann nur auf Basis einer Betrachtung des direkten Umgebungsverkehrs vor und hinter einem Lang-Lkw erfolgen.

Darauf aufbauend erfolgte von BAIER, KEMPER (2013) eine Bewertung der Auswirkungen von Lang-Lkw auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen auf Autobahnen gegenüber Verkehrsablauf und -sicherheit mit herkömmlichen Lkw mit Anhänger oder Sattelkraftfahrzeugen. Hierzu ist eine geeignete Vergleichsbasis erforderlich. Diese konnte durch eine gezielte Auswertung vorhandenen Videomaterials aus verschiedenen Untersuchungen zum Verkehrsablauf im Bereich von Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer geschaffen werden. Damit konnten detaillierte Aussagen beispielsweise zum Spurverhalten von herkömmlichen Lkw in Überleitungen, zu Überholungen von herkömmlichen Lkw in Baustelleninnenbereichen und dabei eingehaltene seitliche Abstände usw. getroffen und den im Rahmen der empirischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen zu Lang-Lkw vergleichend gegenübergestellt werden.

### 12.5.3 Ergebnisse

Im Rahmen der empirischen Untersuchungen wurden bei 16 Begleitfahrten von Lang-Lkw (bis auf Typ 1 alle anderen Typen mit mindestens einer Fahrt) acht verschiedener Speditionen insgesamt 34 Arbeitsstellen längerer Dauer – mit 9 unterschiedlichen Verkehrsführungen (vgl. Tabelle 4) – sowie 18 Arbeitsstellen kürzerer Dauer, mit teilweiser Sperrung mindestens eines Fahrstreifens, durchfahren. Alle Fahrten wurden im Hinblick auf die zu klärenden Fragestellungen bezüglich möglicher verkehrlicher Auswirkungen von Lang-Lkw in Arbeitsstellen analysiert.

**Tabelle 4: Häufigkeit der Verkehrsführungen der durchfahrenen Arbeitsstellen längerer Dauer in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit**

Verkehrsführung	Anzahl	V <sub>zul</sub> in Arbeitsstelle	
		80 km/h	60 km/h
1+1	3	3	–
2+0	5	4	1
2+1	4	3	1
2+2	11	10	1
3+0	3	3	–
3+2	2	2	–
3+3	3	3	–
4+0	8	7	1
5+1	1	1	–

Im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer konnten die begleiteten Lang-Lkw alle Überleitungen und Rückleitungen sowie Verschwenkungen problemlos befahren. Die Er-

gebnisse zeigen, dass Überleitungen in der Regel innerhalb des eigenen Fahrstreifens durchfahren wurden (Bild 29).



**Bild 29:** Fahrt eines Lang-Lkw durch eine Überleitung

Auch die Arbeitsstelleninnenbereiche wurden problemlos befahren. Auf Grund einer sehr spurtreuen Fahrweise sind auch die beobachteten Überholungen durch Pkw im Arbeitsstelleninnenbereich als unkritisch zu bewerten. Alle überholenden Fahrzeuge setzen bei Lang-Lkw die Überholmanöver ohne erkennbare Verzögerungen fort, die seitlichen Abstände zu den Lang-Lkw (Tabelle 5) unterscheiden sich nicht von den Abständen, die bei Überholungen herkömmlicher Lkw auftreten.

**Tabelle 5:** Abstände bei Überholvorgängen in Arbeitsstellen auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit schmalen Behelfsfahrstreifen

Verkehrsführung	DTV [Kfz/24h]	Länge [km]	Breite ÜFS [m]	Breite HFS [m]	Anzahl Überholvorgänge	seitlicher Abstand		
						minimal [cm]	maximal [cm]	Mittelwert [cm]
2+2	63.500	0,890	3,10	3,30	8	51	148	100
3+2	87.100	1,330	3,00	3,50	7	104	209	154
4+0	58.200	3,360	3,00	3,10	2	63	66	64
4+0	58.200	9,530	3,10	3,40	18	74	200	118
4+0	84.300	1,780	2,50	3,25	8	46	99	77
4+0	62.400	12,000	3,00	3,50	21	62	164	95
4+0	58.200	14,240	3,00	3,30	12	40	127	79

ÜFS: Überholfahrstreifen, HFS: Hauptfahrstreifen

Auch an Einfahrten innerhalb von Arbeitsstellen konnten im Rahmen der empirischen Erhebungen von BAIER, KEMPER (2013) keine Unterschiede zu herkömmlichen Lkw festgestellt werden. Es konnten allerdings nur fünf Situationen analysiert werden, in denen ein Fahrzeug genau zu dem Zeitpunkt einfahren wollte, an dem der Lang-Lkw diese passierte. Dies ist aber darauf zurückzuführen, dass diese Situationen insgesamt relativ selten auftreten und somit auch im Rahmen der empirischen Untersuchungen nicht umfassend betrachtet werden konnten. Auch bei einfahrenden Lang-Lkw an Einfahrten innerhalb von Arbeitsstellen konnten im Rahmen der empirischen Erhebungen keine Unterschiede zu herkömmlichen Lkw festgestellt werden.

Arbeitsstellen kürzerer Dauer erfordern bei einer Sperrung des rechten Fahrstreifens einen Fahrstreifenwechsel des Lang-Lkw, der ansonsten aufgrund des Überholverbots (vgl. LKWÜberlStVAusnV § 9) und des allgemeinen Rechtsfahrgebots nicht zulässig ist. Alle erforderlichen Fahrstreifenwechsel erfolgten ohne andere Verkehrsteilnehmer negativ zu beeinflussen. Bei Sperrung des linken Fahrstreifens sind Wechsel anderer Verkehrsteil-



nehmer unter Beachtung des Reißverschlussverfahrens erforderlich, auch diese Fahrstreifenwechsel waren unkritisch.

#### 12.5.4 Fazit und Folgerungen

Insgesamt kommen BAIER, KEMPER (2013) zu dem Schluss, dass durch Lang-Lkw – unabhängig vom betrachteten Typ – keine messbaren Auswirkungen auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen auf Autobahnen zu erwarten sind. Sowohl in Arbeitsstellen längerer Dauer als auch in Arbeitsstellen kürzerer Dauer konnten alle Verkehrsführungen durch die beobachteten Lang-Lkw problemlos befahren werden, ohne dabei den Verkehrsablauf oder die Verkehrssicherheit negativ zu beeinflussen. Bei den anderen Verkehrsteilnehmer war in keiner Situation ein durch die Lang-Lkw beeinflusstes geändertes Verhalten erkennbar. Bei einer Bewertung dieser Erkenntnisse muss jedoch die zum Teil relativ geringe Anzahl von Befahrungen einzelner Verkehrsführungen beachtet werden (vgl. Tabelle 4). Zudem konnten mögliche Auswirkungen durch den Einsatz von Lang-Lkw auf den Verkehrsablauf oder die Verkehrssicherheit bei verkürzten Behelfseinfahrten in Arbeitsstellen aufgrund der nur selten zu beobachtenden entsprechenden Verkehrssituationen nicht untersucht werden.

Dennoch lässt sich aus den durchgeführten Untersuchungen folgern, dass unter den gegebenen Randbedingungen aufgrund des Einsatzes von Lang-Lkw keine erhöhten Anforderungen an die Sicherung von Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer zu stellen sind. Es gibt auch keine Hinweise darauf, dass bei einer steigenden Anzahl an Lang-Lkw diese Aussage zu revidieren wäre. Für Lang-Lkw gelten dieselben generellen Anforderungen, die sich für den herkömmlichen Schwerverkehr allgemein ergeben und heute schon Stand der Technik sind, wie zum Beispiel die Markierung einer Trennlinie in Überleitungen.

Die von BAIER, KEMPER (2013) erzielten Ergebnisse sind im Zusammenhang mit den von GLASER, SCHMID, GLASER, WASCHULEWSKI (2014) erarbeiteten Erkenntnissen aus den Fahrerbefragungen und -beobachtungen zu sehen (vgl. Ziffer 13). Aus Sicht der Fahrer scheinen die heutigen Breiten der Behelfsfahrstreifen in Arbeitsstellen bei Überholungen durch andere Verkehrsteilnehmer einen gewissen Stress bei ihnen selbst zu verursachen, der sich bei der Fahrt mit einem Lang-Lkw noch etwas vergrößert. Daher könnte die bereits in der Diskussion befindliche Verbreiterung der Behelfsfahrstreifen zu einer Verbesserung des Normalbetriebs und damit auch für den Lang-Lkw-Einsatz sorgen (vgl. Ziffer 13.4).

## 12.6 Überholen und Räumen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) bearbeiteten Teilprojekt FE 09.0182/2011/CRB „Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw“.

### 12.6.1 Zielsetzung

Auch bei der Untersuchung von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) stand die Überprüfung, ob bestehende Verkehrsanlagen für die hinreichend sichere Befahrung durch Lang-Lkw geeignet sind, im Vordergrund. Daher war das Ziel dieser Untersuchung, potenzielle Schwachstellen im Straßennetz zu eruieren, um diese entweder an geänderte Fahrzeugkonstellationen anzupassen oder aus den zur Befahrung mit Lang-Lkw freigegebenen Streckenabschnitten auszuschließen.

Die Untersuchung beinhaltet die zwei Aspekte Überholen und Räumen hinsichtlich der Eignung der Verkehrsanlagen für Lang-Lkw, die sich methodisch in drei Fragestellungen aufteilen lassen:

- Welche Auswirkungen haben Überholvorgänge, bei denen Lang-Lkw auf Landstraßen überholt werden, auf die Verkehrssicherheit?

Zum einen ist diese Fragestellung wegen der Komplexität der Thematik und der vielfältigen Eingangsgrößen fachlich von großer Bedeutung, zum anderen gehören Unfälle im Längsverkehr zu den Schwerpunkten des Unfallgeschehens auf Landstraßen. Hinzu kommt, dass hierzu in der öffentlichen Wahrnehmung besondere Befürchtungen negativer Einflüsse auf die Verkehrssicherheit vorherrschen.

- Ergeben sich aus den Vorgängen, bei denen Lang-Lkw auf Autobahnen überholt werden, Sicherheitsrisiken?  
Da auf Fernstraßen mit Richtungstrennung und mehreren Fahrstreifen je Richtung die sicherheitskritischsten Aspekte von Überholvorgängen im Gegenverkehr auf Landstraßen nicht auftreten (Abschätzung von Sichtweiten, Geschwindigkeit des Entgegenkommenden etc.), sind vor allem Auswirkungen aus möglicherweise unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus der beteiligten Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen von Interesse.
- Wie wirken sich größere Fahrzeuglängen beim Räumen von Knotenpunkten im Zuge vor allem von langsam durchgeführten Ab- und Einbiegevorgängen aus?

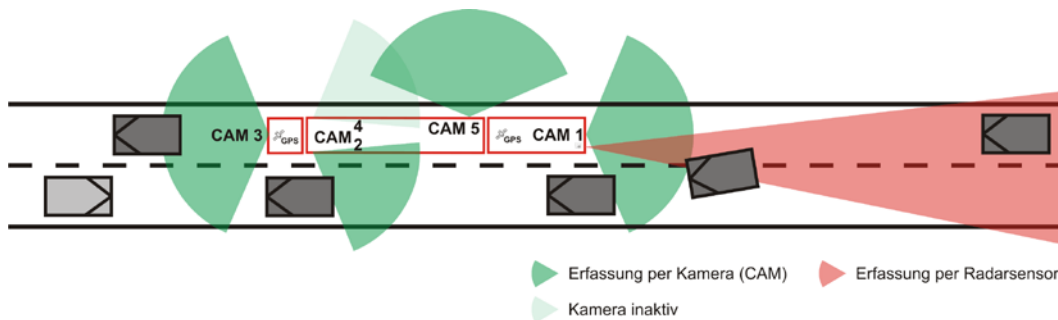
Da gemäß § 9 LKWÜberlStVAusN für Lang-Lkw lediglich das Überholen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen, die nicht schneller als 25 km/h fahren können oder dürfen, zulässig ist, sind Überholungen durch Lang-Lkw selbst kein Untersuchungsgegenstand. Mögliche Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch das Überholen von Zweirädern durch Lang-Lkw war Gegenstand des von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeiteten Teilprojekts zur den fahrzeugtechnischen Fragestellungen (vgl. Ziffer 9.4).

### 12.6.2 Untersuchungsmethodik

Wegen der geringen Anzahl an diesem Feldversuch teilnehmender Lang-Lkw, vor allem aber auch wegen des vorrangigen Einsatzes von Lang-Lkw auf Autobahnen und daher fehlender nennenswerter Streckenabschnitte auf Landstraßen, wurden von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) ausschließlich Messungen beziehungsweise Beobachtungen durchgeführt, die vom Lang-Lkw selbst ausgehen. Mit diesen Messungen wurde zum einen das Annäherungs-, Ausscher-, Vorbeifahrt- und Einscherverhalten bei Überholvorgängen gegenüber Lang-Lkw auf Landstraßen und Autobahnen erfasst. Zum anderen sollten durch die Erfassung von sich annähernden anderen Fahrzeugen in Knotenpunkten Erkenntnisse über kritische Situationen im Zusammenhang mit Räumvorgängen von Lang-Lkw gewonnen werden.

Für die Erhebungen konnten zwei am Feldversuch teilnehmende Speditionen ausgewählt werden, bei denen in einem gewissen Umfang Landstraßenanteile auf den von den Lang-Lkw befahrenen Relationen vorliegen. Aufgrund der gegebenen Randbedingungen wurden zur Analyse der Überholvorgänge zwei unterschiedliche Erhebungslayouts gewählt. Der Lang-Lkw sowie das Referenzfahrzeug der **Spedition A** wurde zur Erhebung relevanter Daten mit einem zweistufigen System aus Radartechnik (zur datenmäßigen Vorauswahl relevanter Szenen und der Bereitstellung von relativen Geschwindigkeitsinformationen) sowie digitaler Videotechnik (für die qualitative Beobachtung der Fahrvorgänge) ausgestattet (vgl. Bild 30). Grundlage zur Verortung der beobachteten Situationen im Straßennetz und der Geschwindigkeit der Fahrzeugkombinationen bildet die Positions- und Geschwindigkeitsschätzung mittels GPS.

Die Bestimmung der Geschwindigkeit der Lkw erfolgte auf Basis der GPS-Erfassung. Durch Überlagerung mit den erfassten Geschwindigkeiten (Radarsensor) der sich dem Lkw nähernden (oder auch entfernenden) Fahrzeuge wurden die Geschwindigkeitsverläufe der überholenden Fahrzeuge im Annäherungsbereich ermittelt. Ferner wurde über die GPS-Ortung die in dieser Zeit zurückgelegte Wegstrecke der Lkw bestimmt und durch die qualitative Beschreibung des Überholvorgangs (Videodaten) sowie die erforderliche Überholweglänge als auch der Geschwindigkeitsverlauf des Überholenden abgeleitet. Weiterhin wurde der zeitliche beziehungsweise geschätzte räumliche Abstand zu entgegenkommenden Fahrzeugen ermittelt.



**Bild 30:** Erhebungslayout für den Teilaspekt „Überholvorgänge auf Landstraßen“ am Beispiel des Lang-Lkw der Spedition A (ZIMMERMANN, RIFFEL, 2014)

Bei der begleiteten **Spedition B** wurde sowohl im Fahrerhaus der Zugmaschine des Lang-Lkw beziehungsweise des Referenzfahrzeugs als auch in einer Aufnahmebox am Heck jeweils eine Fahrzeugkamera mit integriertem GPS-Empfänger installiert. Die Fahrzeugkameras erfassen so alle beteiligten anderen Fahrzeuge – Überholer während der Ein- und Ausscherphase und entgegenkommendes Fahrzeug – sowohl in der Annäherung als auch der Entfernung nach dem beobachteten Überholvorgang.

Zur Erfassung der Räumvorgänge wurde an den Lkw der Spedition B an der rechten Fahrzeugseite eine Kamera angebracht, die durch ihre Ausrichtung quer zur Fahrtrichtung die Beurteilung in den Knotenpunktbereich einfahrender Fahrzeuge ermöglicht hat.

Die Untersuchungen wurden an zwei Teilnetzen der Speditionen A und B durchgeführt. Die **Spedition A** befährt täglich zwei verschiedene Strecken. Hierbei werden ca. 65 km auf Bundes- und Landesstraßen (zweistreifige Abschnitte mit Leit- oder Fahrstreifenbegrenzungslinie sowie dreistreifige Abschnitte mit dem 2+1-Querschnitt RQ 15,5) sowie ca. 180 km auf dem Autobahnnetz zurückgelegt. Die Landstraßenbereiche unterteilen sich bei Spedition A in zwei grundsätzlich unterschiedliche Streckenzüge: Ein Streckenzug mit überregionalem Charakter (vergleichbar mit der Straßenkategorie LS II gemäß RIN (FGSV, 2008b)) weist teilweise planfreie Führungen und einige bauliche Überholmöglichkeiten in Form von zusätzlichen Fahrstreifen auf. Zwischen diesen, für die vorliegende Fragestellung irrelevanten dreistreifigen Abschnitten befinden sich aber auch längere zweistreifige Abschnitte mit durch eine Leitlinie getrennten Fahrstreifen und somit zum Überholen nutzbaren Längen zwischen 850 und 3.800 m. Ein anderer Streckenzug von eher regionaler Bedeutung (vergleichbar mit der Straßenkategorie LS III gemäß RIN) bindet mehrere sehr große Gewerbeflächen an eine Autobahn an. Innerhalb des Streckenzugs liegen ausnahmslos zweistreifige Abschnitte mit nutzbaren Längen zum Überholen (Leitlinie) zwischen 300 und 1.700 m.

Die seitens der Spedition A im Baukastensystem erstellte Fahrzeugkonfiguration ermöglicht mit wenig Aufwand den Vergleich zwischen Lang-Lkw (Typ 2, Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger, L=25,25 m) und Sattelkraftfahrzeug (L=16,50 m) auf gleichen Strecken.

Die zweite beteiligte **Spedition B** fährt mehrmals am Tag und legt dabei ca. 25 km auf überregionalen Bundesstraßen (LS II gemäß RIN) sowie ca. 60 km auf Autobahnen zurück. Größtenteils sind die zweistreifigen Streckenabschnitte mit Leitlinie ausgeführt. Teilweise besteht ein Tempolimit und abschnittsweise ist eine Fahrstreifenbegrenzungslinie vorhanden, sodass ein Überholverbot gilt.

Auch bei der Spedition B konnten die Vergleichsfahrten mit einem Sattelkraftfahrzeug auf der gleichen Strecke durchgeführt werden.

Aus den Radar- beziehungsweise Videoinformationen wurden als Kenngrößen für die Beschreibung des Überholvorgangs der Abstand, die Geschwindigkeit und der Zeitpunkt bei Beginn des Überholvorgangs bis kurz vor dem Heck der betrachteten Fahrzeugkombinationen bestimmt. Zur Berücksichtigung des Gegenverkehrs wurde die Geschwindig-

keit entgegenkommender Fahrzeuge (mindestens des letzten Fahrzeugs vor dem Überholvorgang) sowie des ersten Fahrzeugs nach dem Überholvorgang bestimmt.

Aus den Videodaten der Frontkamera (vgl. Bild 31) wurde von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) neben der Geschwindigkeit des Überholenden beim Einschervorgang auch der Abstand des Überholenden zu den überholten Lkw nach vollständiger Rückkehr auf den eigenen Fahrstreifen geschätzt. Zur Verifizierung der Berechnungen des Überholvorgangs wurden die Geschwindigkeit des entgegenkommenden Fahrzeugs sowie an mehreren Punkten der Abstand von überholendem und entgegenkommendem Fahrzeug zum Lang-Lkw als Stützstellen geschätzt. Diese erlauben für jeden relevanten Überholvorgang Aussagen zur Dauer, zur Geschwindigkeit, zum Aus- sowie Einschervorgang und -ort. Abgeleitet werden konnten darüber hinaus die (Sicherheits-) Abstände zwischen überholenden und entgegenkommenden Fahrzeugen.

Aus der Extrapolation des Überholvorgangs und des Fahrverlaufs des entgegenkommenden Fahrzeugs beziehungsweise der Frontkameraauswertungen wird ein rechnerischer Sicherheitsabstand abgeleitet.

Die ermittelten Kenngrößen werden zur Nachberechnung von Aus-/Einscherabstand beziehungsweise Sicherheitsabstand herangezogen und fließen in die Modellierung des Überholvorgangs (Überholmodell) mit ein, die eine Gegenüberstellung der Überholvorgänge bei Lang-Lkw mit denen bei Sattelkraftfahrzeugen ermöglicht. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die in die Berechnung eingeflossene kürzere Länge des tatsächlich beobachteten Sattelkraftfahrzeugs (16,50 m) gegenüber dem maximalen Vergleichsmaß von 18,75 m (= Länge herkömmlicher Gliederzug) für den Vergleich mit dem Lang-Lkw den ungünstigeren Fall darstellt.



**Bild 31:** Beispielbilder der am Lang-Lkw angebrachten Kameras. Links oben Frontkamera, links unten Heckkamera, rechts Seitenkameras (Spedition A)

### 12.6.3 Ergebnisse

Sowohl der Lang-Lkw als auch das Vergleichsfahrzeug (Sattelkraftfahrzeug) der Spedition A fuhr überwiegend mit konstanter Geschwindigkeit beziehungsweise Tempomat. Dieser wurde laut ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) von den Lang-Lkw-Fahrern auf Landstraßen auf (max.) 63 km/h und auf Bundesautobahnen auf 83 km/h eingestellt. Die tatsächlichen gemessenen mittleren Geschwindigkeiten lagen beim Lang-Lkw etwas niedriger als beim Vergleichsfahrzeug und sogar knapp unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

#### Überholen auf Landstraßen

Die markanteste Größe bei der Beurteilung von Überholvorgängen ist der Sicherheitsabstand zwischen dem Überholenden und dem entgegenkommenden Fahrzeug nach Beendigung des Überholvorgangs. Bei unverändertem Überholverhalten hinsichtlich Häufigkeit, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen etc. müsste der Sicherheitsabstand bei Überholungen von Lang-Lkw aufgrund der größeren Länge gegenüber denen von herkömmlichen Lkw reduziert sein.

Die statistische Verteilung von Sicherheitsabständen von deutlich mehr als 200 m ist unter Sicherheitsaspekten nicht maßgeblich. Für die Bewertung der Sicherheitsabstände sind vor allem die geringsten auftretenden Werte relevant. Betrachtet man diese für die vorgenommene Risikobetrachtung relevanten geringsten Sicherheitsabstände, so wird deutlich, dass sie bei den Lang-Lkw für alle Strecken nahezu identisch sind, jedoch immer etwas über den entsprechenden Werten für die Vergleichsfahrzeuge liegen. Das heißt also, dass trotz der größeren Länge die Sicherheitsabstände zwischen dem Überholenden und dem entgegenkommenden Fahrzeug beim Lang-Lkw eher größer sind.

Unterscheidet man die Überholungen nach fliegenden<sup>19</sup> beziehungsweise beschleunigten<sup>20</sup> Vorgängen (vgl. u. a. STEIERWALD, JACOBS, FEIER, 1986), so wird deutlich, dass die geringsten Sicherheitsabstände bei beschleunigten Überholvorgängen auftreten. Diese machen bei beiden Fahrzeugkonzepten (Lang-Lkw beziehungsweise Vergleichsfahrzeug) ca. drei Viertel der Überholungen aus.

Die mittleren maximalen Geschwindigkeiten in der Annäherung an das Heck sind bei beiden Fahrzeugkonzepten vergleichbar und auch weitestgehend unabhängig von der Geschwindigkeit der überholten Lkw. Allerdings wird auch deutlich, dass die Geschwindigkeit der Lkw Auswirkungen auf die Art der überholenden Fahrzeuge beziehungsweise deren Geschwindigkeit hat. So ist ab Geschwindigkeiten des überholten Lkw von mehr als 66 km/h erkennbar, dass die geringsten Überholgeschwindigkeiten deutlich ansteigen. Daraus kann abgeleitet werden, dass dann keine Überholungen mehr durch andere Lkw erfolgen.

Insbesondere die Beschleunigung der Überholenden bis zur Vorbeifahrt am Heck kann als Indiz für den Wunsch nach einer mehr oder weniger deutlichen Geschwindigkeitsänderung im Zuge eines Überholvorgangs angesehen werden. Die Auswertungen zeigen zwar, dass der Median für die ermittelten Beschleunigungen beim beobachteten Lang-Lkw mit  $1,6 \text{ m/s}^2$  etwas niedriger ist als der Medianwert für die Beschleunigung der das Sattelkraftfahrzeug Überholenden. Hinsichtlich der Beurteilung der Verkehrssicherheit sind jedoch die geringsten Beschleunigungen maßgeblich. Dahingehend ist festzustellen, dass diese beim Lang-Lkw höher liegen beziehungsweise beim Sattelkraftfahrzeug öfter mit geringerer Beschleunigung überholt wird. Insbesondere bei niedrigen Ausgangsgeschwindigkeiten ( $\min V < 80 \text{ km/h}$ ) ist zu erkennen, dass beim Lang-Lkw im Gegensatz zum Sattelkraftfahrzeug auch bei den Einzelwerten keine Unterschreitungen von  $0,7 \text{ m/s}^2$

<sup>19</sup> Zwei Fahrzeuge bewegen sich jeweils mit konstanter, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit. Bedingt durch die Geschwindigkeitsdifferenz wird das langsamere Fahrzeug überholt.

<sup>20</sup> Der Überholende und das zu überholende Fahrzeug bewegen sich mit der gleichen konstanten Ausgangsgeschwindigkeit fort. Bei einer sich bietenden Überholmöglichkeit beschleunigt das nachfolgende Fahrzeug (der Überholende) und überholt das vorausfahrende Fahrzeug. Der so Überholte fährt indes mit gleich bleibender Geschwindigkeit weiter, während er überholt wird.

vorliegen. Dies hat zur Folge, dass die niedrigsten Werte für den zeitlichen Abstand zwischen der Vorbeifahrt des Überholenden und des Entgegenkommenden am Heck des Lkw für das Sattelkraftfahrzeug knapp 2 Sekunden unter denen für den Lang-Lkw liegen und die minimalen Sicherheitsabstände beim herkömmlichen Lkw somit kleiner sind.

In einem weiteren Analyseschritt wurden die theoretischen minimalen Zeitabstände zwischen der Vorbeifahrt des Überholenden und des Entgegenkommenden am Heck berechnet, die bei Voraus- beziehungsweise Rückrechnung der Fahrverläufe noch einen Sicherheitsabstand von mindestens 100 m gewährleisten. Vereinfachend wurde dabei von konstanten Geschwindigkeiten des Überholenden sowie 100 km/h für den Entgegenkommenden und 60 km/h für den Lang-Lkw beziehungsweise den herkömmlichen Lkw ausgegangen. Beim Lang-Lkw betragen die so ermittelten minimalen Zeitabstände dann ca. 8 s (bei  $V_{Ü} = 100$  km/h), 9 s (90 km/h) beziehungsweise 11,5 s (80 km/h). Beim beobachteten Sattelkraftfahrzeug ( $L=16,50$  m) betragen die erforderlichen Zeiten 7 s (100 km/h), 8 s (90 km/h) und 10 s (80 km/h). Diese Referenzzeiten wurden bei den beobachteten Überholungen gegenüber Lang-Lkw jedoch nie unterschritten, sodass der minimale Sicherheitsabstand von 100 m stets überschritten wurde.

Zusammenfassend kann auf Basis der Untersuchung von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) für Überholungen von Lang-Lkw auf Landstraßen festgehalten werden, dass bei allen relevanten Detailgrößen leichte Unterschiede in den Werten festzustellen sind, die zu einer Kompensation der aufgrund der größeren Länge von Lang-Lkw theoretisch erforderlichen größeren Überholzeiten und -wege führen. Sowohl die aus den Messwerten und deren Fortschreibung abgeleiteten Sicherheitsabstände, die Überholgeschwindigkeiten, die Beschleunigungen der Überholenden als auch die Zeitabstände zwischen der Vorbeifahrt des Überholenden und des Entgegenkommenden am Heck der Lkw weisen die entsprechenden Unterschiede auf, sodass die beim Lang-Lkw theoretisch wegen der größeren Fahrzeuglänge zu erwartende Erhöhung des Risikos ausbleibt.

### Überholen auf drei- und mehrstreifigen Straßen

Die Beurteilung der Sicherheitsauswirkungen einer breiteren Nutzung von Lang-Lkw hinsichtlich des Überholens auf drei- und mehrstreifigen Straßen ist weitgehend von der Geschwindigkeit der überholten Lkw abhängig. Vor allem aus Auswertungen eigener Daten, aber auch aus parallelen Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleitforschung sowie früheren Forschungen (vgl. z. B. KELLERMANN, 2002) geht hervor, dass die im Feldversuch beobachteten Geschwindigkeiten von Lang-Lkw niedriger sind als die von konventionellen Lkw. Daher ist insbesondere auf Straßen, auf denen Überholvorgänge nicht unter Nutzung von Fahrstreifen des Gegenverkehrs stattfinden, davon auszugehen, dass sich erhöhte Sicherheitsrisiken einzig aus einem erhöhten Überholaufkommen vor allem durch andere Lkw ergeben könnten.

Die vorgenommenen Geschwindigkeitsauswertungen der die Lang-Lkw überholenden Fahrzeuge zeigen deutlich, dass ab ca. 65 km/h auf Landstraßen beziehungsweise 85 km/h auf Autobahnen die Wahrscheinlichkeit von Überholungen durch andere Lkw deutlich abnimmt. Anderenfalls könnten vor allem auch aus anderen Untersuchungen (vgl. v.a. BARK, 1994 sowie KELLERMANN, 2002) bekannte Situationen auftreten, bei denen Überholende mit geringer, oftmals im Kontext mit § 5 Abs. 2 StVO unzureichender<sup>21</sup> und somit regelwidrig geringer Geschwindigkeitsdifferenz möglicherweise für andere Verkehrsteilnehmer überraschend ausscheren beziehungsweise anschließend für sehr lange Belegungszeiten des Überholfahrstreifens sorgen. Die Relevanz solcher Situationen für das Unfallgeschehen lässt sich kaum beziffern, in erster Linie sind diese für andere Verkehrsteilnehmer ärgerlich. Auswirkungen eines vermehrten Einsatzes von Lang-Lkw auf die Überholhäufigkeit durch andere Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen können daher nur unter dem Aspekt der Einhaltung zulässiger Höchstgeschwindigkeiten benannt werden: Würde die im Feldversuch bei Lang-Lkw beobachtete genauere Einhal-

<sup>21</sup> Nach einem Urteil des Bayerischen Oberlandgerichts (DAR 61, 204) ist eine Geschwindigkeitsdifferenz von 10 km/h zu gering.

tion von Höchstgeschwindigkeiten auch in einem möglichen Regeleinsatz beibehalten, so wäre aufgrund der von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) gemachten Beobachtungen im Feldversuch vermutlich eine Zunahme von regelwidrigen Überholungen der Lang-Lkw durch konventionelle Lkw mit geringer Geschwindigkeitsdifferenz zu erwarten.

### **Räumen von Knotenpunkten**

Aus zwei Gründen konnte im Rahmen des Feldversuchs von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) eine belastbare Auswertung von Räumvorgängen mit den erhobenen Befahrungsdaten nicht vorgenommen werden: Zum einen wurden letztendlich vor allem von Spedition A andere Streckenteile befahren als ursprünglich vorgesehen. Diese Strecken müssen als für die Fragestellung Räumen nicht ideal bezeichnet werden, so dass nur eine sehr geringe Anzahl an Knotenpunktbefahrungen zur Auswertung zur Verfügung steht.

Zum anderen ist zu beobachten, dass die jeweiligen eingesetzten Fahrer, unabhängig davon, ob es sich um einen Lang-Lkw oder herkömmlichen Lkw handelt, bei Ein- und Abbiegevorgängen besonders defensiv und vorausschauend fahren. So zeigen diese beim Fahren und insbesondere bei Linksabbiegevorgängen größtmögliche Umsicht und Rücksicht gegenüber den anderen Verkehrsteilnehmern und warten meist eine ausreichend große Zeitlücke im Gegenverkehr ab, um bei nicht signalisierten plangleichen Knotenpunkten sicher abbiegen zu können.

Demzufolge kann für die Bewertung einer möglichen Erhöhung der Sicherheitsrisiken durch Lang-Lkw nur auf die nachfolgend von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) dargelegten theoretischen Zusammenhänge verwiesen werden:

- Aufgrund der längenbedingten Verweilzeit im Knotenpunkt beziehungsweise Konfliktpunktbereich könnten bei Lang-Lkw rechnerisch gegebenenfalls längere Räumzeiten erforderlich werden. Allerdings ist zumindest bei Knotenpunkten mit LSA zu bedenken, dass kein Grund ersichtlich ist, warum der fiktive Ansatz der Richtlinien für Lichtsignalanlagen – RiLSA (FGSV, 2010), nur einen geringen Teil der tatsächlichen Länge anderer längerer Fahrzeuge (bei Gliederzügen 6,00 m statt 18,75 m, bei Straßenbahnen 15 m statt bis zu 75 m) anzusetzen, nicht auch für Lang-Lkw anzuwenden sein soll.
- Für die Berücksichtigung von Räumvorgängen an Knotenpunkten ohne LSA gibt es anders als bei denen mit LSA kein Regelwerk. Gleichwohl ist der Ansatz aus den RiLSA prinzipiell auch auf Knotenpunkte ohne LSA übertragbar, nach dem davon ausgegangen werden kann, dass ein entsprechend langes Fahrzeug auch für den sich annähernden Kraftfahrer eine hinreichend große erkennbare Seitenfläche aufweist, um rechtzeitig die Geschwindigkeit der Annäherung so zu reduzieren, dass eine Kollision mit dem Heck des Lang-Lkw vermieden werden kann.

## **12.6.4 Fazit und Folgerungen**

### **Überholen auf Landstraßen**

Insgesamt hat die Untersuchung der Überholvorgänge auf Landstraßen gezeigt, dass auf den von den beobachteten Lang-Lkw befahrenen Strecken unabhängig von deren Charakteristik und Verkehrsbedeutung nur eine sehr geringe Anzahl an Überholungen durchgeführt wird, die überhaupt potenziell kritisch sind. Daher beruhen die von ZIMMERMANN, RIFFEL (2014) beschriebenen Ergebnisse nur auf wenigen Einzelmessungen und haben daher nur tendenziellen Charakter. Trotzdem ist zu konstatieren, dass bislang keine Indizien für größere Risiken bei Überholungen von Lang-Lkw bestehen, als sie ohnehin bei Überholungen von allen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen unter Nutzung des Gegenverkehrsfahstreifens in Kauf zu nehmen sind. Die empirische Basis bilden über 200 Überholungen, bei denen sowohl Lang-Lkw als auch Vergleichsfahrzeuge (hier: Sattelkraftfahrzeug, da dies aufgrund seiner gegenüber Gliederzügen kürzeren Länge den für einen Vergleich ungünstigeren Fall darstellt) von anderen Verkehrsteilnehmern überholt wurden. Die für die Bewertung der Verkehrssicherheit maßgeblichen Abstände zwischen den Überholenden und den Entgegenkommenden streuten dabei über eine weites

Spektrum. Tendenziell sind die geringsten Sicherheitsabstände zwischen dem den Lang-Lkw Überholenden und dem entgegenkommen Fahrzeug größer als bei den Überholvorgängen, bei denen das Vergleichsfahrzeug überholt wurde. Begünstigend ist hierfür das im Feldversuch beobachtete niedrigere Geschwindigkeitsniveau der Lang-Lkw gegenüber den Vergleichsfahrzeugen. Aber auch bei beobachteten Situationen mit den gleichen Geschwindigkeiten beim herkömmlichen Lkw sind die sicherheitsrelevanten Kennwerte der Überholvorgänge bei Lang-Lkw etwas günstiger. Somit gibt es auch für den im Dauerbetrieb zu erwartenden Fall gleicher Geschwindigkeiten keinen Anhaltspunkt, dass erhöhte Sicherheitsrisiken zu erwarten sind: Bei allen relevanten Parametern sind die geringsten – bei kritischen Überholvorgängen zu erwartenden – Werte bei den betrachteten Lang-Lkw auch bei gleichen Geschwindigkeiten etwas günstiger hinsichtlich der Verkehrssicherheit als bei den Vergleichsfahrzeugen, so dass die theoretisch wegen der größeren Fahrzeuglänge zu erwartenden Erhöhungen des Risikos mindestens kompensiert würden.

Dieses Ergebnis lässt sich prinzipiell durch zwei Aspekte erklären:

- Das bei Lang-Lkw gegenüber herkömmlichen Lkw veränderte Verhalten der überholenden anderen Verkehrsteilnehmer ließe sich mit der Wahrnehmung der einzigen für den Überholenden erkennbaren Unterscheidung zwischen Lang-Lkw und konventionellen Lkw erklären: Der Kennzeichnung des Lang-Lkw am Heck mittels des nach § 5 Nr. 13 LKWÜberlStVAusnV retroreflektierenden Schildes. Es bleibt allerdings fraglich, ob die hintere Kennzeichnung von den Überholenden überhaupt wahrgenommen und auch dementsprechend interpretiert wird.
- Wahrscheinlicher scheint, dass ein gewisser Lerneffekt für das Verhalten der Überholenden verantwortlich ist. Da die beobachteten Lang-Lkw entsprechend ihrem im Feldversuch festgestellten hauptsächlichen Einsatzgebiet im Pendelverkehr (vgl Ziffer 6) mehrmals täglich oder zumindest mehrmals in der Woche immer die gleichen Strecken befahren, sind sie vielen der dort verkehrenden Verkehrsteilnehmern unter Umständen bekannt. Diese Vermutung wurde der BAST bei einer der durchgeführten Mitfahrten bei der Spedition B durch einen Fahrer bestätigt.

Gleich mehrere Aspekte sorgen dafür, dass die Ergebnisse zu einigen Fragen im Zusammenhang mit dem „Überholen auf Landstraßen“ nur tendenziellen Charakter aufweisen. Neben den Aspekten der geringen Anzahl der Lang-Lkw sowie deren Einsatzgebieten sind auch die von den Lang-Lkw-Fahrern im Vergleich zu herkömmlichen Lkw gewählten niedrigeren Geschwindigkeiten maßgeblich für die bislang gewonnenen Erkenntnisse. Wie sich das unterschiedliche Geschwindigkeitsniveau unter Umständen auf den Überholdruck der den Lang-Lkw überholenden anderen Verkehrsteilnehmer und somit auf die Überholhäufigkeit auswirkt und ob damit Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit verbunden sind, kann zum derzeitigen Zeitpunkt und vermutlich auch nicht zum Ende des Feldversuchs beantwortet werden. Generell müsste sich – für nicht nur tendenzielle Aussagen – die Anzahl der Lang-Lkw, und hierbei insbesondere derer, die im für die Fragestellung nach dem „Überholen auf Landstraßen“ relevanten Straßennetz verkehren, deutlich erhöhen. Erst dann könnte zum Beispiel überprüft werden, inwieweit die Kennzeichnung des Lang-Lkw am Heck mittels des nach § 5 Nr. 13 LKWÜberlStVAusnV retroreflektierenden Schildes die beobachtete Verhaltensänderung (z. B. zügigeres Überholen bei niedrigen Ausgangsgeschwindigkeiten) der den Lang-Lkw Überholenden erklären könnte.

### **Überholen auf drei- und mehrstreifigen Straßen**

Auch bei den Untersuchungen der Überholvorgänge auf drei- und mehrstreifigen Straßen war eine geringere Geschwindigkeit der Lang-Lkw gegenüber denen der herkömmlichen Lkw zu beobachten. Daher ist auf mehrstreifigen Straßen davon auszugehen, dass sich erhöhte Sicherheitsrisiken einzig aus einem erhöhten Überholaufkommen vor allem durch Überholungen von Lang-Lkw durch andere Lkw ergeben könnten. Die Frage nach dem möglicherweise erhöhten Überholaufkommen muss aber ebenfalls vor dem Hintergrund



der beobachteten Unterschiede der Geschwindigkeitsniveaus von Lang-Lkw und herkömmlichen Lkw offen bleiben.

### **Räumen von Knotenpunkten**

Hinsichtlich des Teilthemas Räumen ermöglichen die erhobenen Daten aus Knotenpunktbefahrungen keine messtechnisch belegbare Aussage. Allerdings zeigen die durchgeführten Befragungen und Mitfahrten, dass die Fahrer von Lang-Lkw sehr defensiv agieren, wenn es um die Befahrung von Flächen geht, auf denen es beim Räumen zu Konflikten mit Bevorrechtigten kommen könnte. Diese Beobachtung des Forschungsnehmers kann durch die seitens der BASt ebenfalls vorgenommenen Mitfahrten bei einzelnen Speditionen bestätigt werden.

Dieses Verhalten der Lang-Lkw-Fahrer ist sowohl bei Knotenpunkten ohne LSA zu beobachten als auch bei solchen mit LSA. Insbesondere bei letztgenannter Gruppe wären Änderungen von Fahrzeuglängen bei der Räumzeitberechnung methodisch nicht nötig, da die aktuell verwendeten Längen auch von herkömmlichen Lkw bereits (bewusst) deutlich überschritten werden und dennoch ein ausreichendes Sicherheitsniveau gewährleistet ist. Alles zusammen führt zu der Einschätzung, dass Ansatzpunkte für eine Erhöhung der Sicherheitsrisiken oder negative Auswirkungen auf den Verkehrsablauf beim Räumen von Lang-Lkw nicht zu erkennen sind.

In Analogie zum Teilthema „Überholen auf Landstraßen“ gilt die Problematik bezüglich der geringen empirischen Stichprobe zwar prinzipiell auch für die Frage nach dem „Räumen von Knotenpunkten“. Jedoch geben die theoretischen Betrachtungen keinen Grund zu der Annahme, dass sich aus der größeren Länge beim Räumen Probleme hinsichtlich des Verkehrsablaufs- oder der Verkehrssicherheit ergeben können, sodass weitere Untersuchungen in dieser Frage nicht nötig sind.

## **13 Psychologische Aspekte**

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von GLASER, SCHMID, GLASER, WASCHULEWSKI (2014) bearbeiteten Teilprojekt FE 82.0544/2012 „Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw“.

### **13.1 Zielsetzung**

Ziel der Untersuchung von GLASER ET AL. (2014) war es, das Erleben und Verhalten von Lang-Lkw-Fahrern im Feldversuch psychologisch zu untersuchen und zu interpretieren. Insbesondere soll der Frage nachgegangen werden, ob die Fahrtätigkeit im Lang-Lkw mit besonderen Belastungen oder Beanspruchungen (z. B. Stress) für die Fahrer sowie mit erhöhten Gefahren für Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer verbunden ist. Ursprünglich war vorgesehen, auch andere Verkehrsteilnehmer zu ihren Erfahrungen mit der Begegnung von Lang-Lkw zu befragen. Wegen der geringen Häufigkeit der Lang-Lkw im öffentlichen Straßenverkehr wurden die anderen Verkehrsteilnehmer nur insoweit berücksichtigt, wie sie sich im Erleben und Verhalten des Lang-Lkw-Fahrers widerspiegeln.

### **13.2 Untersuchungsmethodik**

Alle beteiligten Unternehmen, die für den Feldversuch bis Januar 2013 angemeldet waren, bildeten die untersuchte Population. Inferenzstatistische Prüfungen erübrigten sich damit. Für Evaluationsstudien dieser Art ist in der Regel mindestens ein Zwei-Gruppen-Versuchsplan erforderlich, bei dem eine Kontrollgruppe berücksichtigt wird. Das war im vorliegenden Fall nicht möglich, da sich die Untersuchungen möglichst reibungslos in den regulären Geschäftsbetrieb der beteiligten Speditionen oder Werkverkehre einfügen sollten. Für solche Fälle wird eine Ein-Gruppen-Untersuchung herangezogen (COOK, CAMPBELL, 1979). Im vorliegenden Fall wurden die Fahrer vor Antritt einer Fahrt etwa eine

Stunde lang über ihr Erleben und Verhalten beim Fahren des Lang-Lkw interviewt. Dem Interview lag ein achtseitiger Fragebogen zugrunde, der auch viele offene Fragen für freie Antworten enthielt. Bei der anschließenden Fahrt fuhr ein Experte für die Dauer etwa einer Stunde auf dem Beifahrersitz des Lang-Lkw mit. Die systematischen Fahrbeobachtungen wurden auf der Basis eines vierseitigen Beobachtungsleitfadens durchgeführt. Daneben wurden spontane Äußerungen der Fahrer notiert. Alle Antworten und Äußerungen der Teilnehmer wurden dokumentiert. Insgesamt wurden 38 Fahrer interviewt und 35 von Ihnen auf der anschließenden Fahrt begleitet. Die Untersuchungen fanden zwischen dem 15.12.2012 und dem 07.05.2013 statt. Die Interviews und Fahrverhaltensbeobachtungen wurden dabei von berufserfahrenen Diplom-Psychologen durchgeführt.

### 13.2.1 Befragungsinstrument

Der von GLASER ET AL. (2014) verwendete Fragebogen beruhte auf einem Entwurf der BAST, der im Rahmen dieses Projektes weiterentwickelt und modifiziert wurde. Eine Reihe von Fragen bezieht sich auf eine vergleichende Beurteilung des Lang-Lkw gegenüber den bisherigen herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen nach Meinung der Fahrer. Der Fragebogen für das Interview enthielt folgende Themen:

- Allgemeines, sozio-demographische Daten (z. B. Alter, Dauer der Lang-Lkw-Nutzung),
- vergleichende Beurteilung der Fahreigenschaften des Lang-Lkw (z. B. Beschleunigung, Bremsverzögerung, Rangierbarkeit),
- Beurteilung der elektronischen Unterstützung (z. B. ACC, ESP),
- vergleichende Beurteilung von 22 Fahrsituationen (z. B. Arbeitsstellen, Kreisverkehr, Parkplatzsuche, Kreuzungen/Einmündungen),
- Einstellung gegenüber Einschränkungen (z. B. Überholverbot, beschränkte Ausweichmöglichkeit bei Autobahnsperrung),
- Prestigegewinn durch Lang-Lkw,
- Schwierigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer mit dem Lang-Lkw,
- verändertes Unfallrisiko (für Lang-Lkw und andere Verkehrsteilnehmer),
- positive und negative Reaktionen anderer Verkehrsteilnehmer auf den Lang-Lkw,
- Einsparmöglichkeiten durch den Lang-Lkw,
- Auswirkungen auf Sicherheit des Arbeitsplatzes,
- mehr oder weniger Stress durch den Lang-Lkw.

Bei bestimmten Fragen (z. B. verändertes Unfallrisiko, Einsparmöglichkeiten durch Lang-Lkw, Auswirkungen auf die Sicherheit des Arbeitsplatzes) ging es um die Meinung, die die Fahrer zu diesen Themen haben, um diese später mit objektiven Fakten vergleichen zu können.

### 13.2.2 Fahrverhaltensbeobachtung

Ein Fahrbegleiter führte die Fahrverhaltensbeobachtung vom Beifahrersitz des Lang-Lkw aus durch. Da die Routen meist sehr lang waren, eine fortschreitende Dauer aber keine wesentlichen und zusätzlichen Informationen mehr versprach, wurde die Mitfahrt auf ca. 1 Stunde beschränkt. Auf der Basis des Fahrtziels und der Fahrtdauer wurde ein Rasthof vereinbart, der innerhalb der entsprechenden Zeit erreichbar war. Dorthin fuhr ein zweiter Versuchsleiter mit dem Pkw, um den Ersten zurückzubringen. Grundlage der Fahrverhaltensbeobachtung bildete ein Beobachtungsleitfaden. Dieser gliederte sich wie folgt:

- Straßentyp {Autobahn, Landstraße, Innerorts}

- ACC-Zustand {an, aus}
- 29 Fahrsituationen (z. B. Einparken, Verhalten bei Schneeglätte, Spurverhalten, Parkplatzsuche), die sowohl problemlos (normal) als auch mit Regelabweichungen (abweichend) bewältigt werden können.
- 11 explizite Regelverletzungen (z. B. Routentreue nicht eingehalten).

Aus dem Verhältnis der Zahl abweichend bewältigter Fahrsituationen zur Gesamtzahl der Fahrsituationen wurde ein Fehlergesamtwert berechnet.

Am Ende der Fahrt beurteilte der Beobachter die generelle Fahrsicherheit des Lang-Lkw-Fahrers (z. B. hinsichtlich Geschwindigkeits- und Abstandswahl, Verhalten in der Kreuzung, Verhalten gegenüber Fußgängern/Radfahrern). Außerdem wurde die subjektive Beanspruchung des Lang-Lkw-Fahrers getrennt nach Straßentyp anhand der „Rating Scale for Mental Effort (RSME)“ erfasst (EILERS, NACHREINER, HÄNECKE, 1986).

## 13.3 Ergebnisse

### 13.3.1 Befragung

Die Befragung ergab zusammengefasst folgende zentralen Ergebnisse:

- Bei den **Fahreigenschaften** wurde der Lang-Lkw hinsichtlich *Beschleunigung, Rangierbarkeit, Einparken* und *Abschätzen der Länge* ungünstiger beurteilt als die herkömmlichen Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen; bei *Bremsverzögerung, Bremsstabilität* und *Hinterherlaufen des Anhängers* dagegen günstiger.
- Die **Fahrerassistenzsysteme** wurden alle zwischen *sehr nützlich* und *nützlich* auf einer fünfstufigen Skala von (1) *sehr nützlich* bis (5) *überflüssig* beurteilt. Am besten schnitten ACC und Retarder ab, am relativ schlechtesten Heckkamera und Spurhaltewarnsystem.
- Die **Achslast** wurde im Allgemeinen *häufig* oder *regelmäßig* überprüft. In rund 30 % aller Fälle aber *selten* oder (*praktisch*) *nie*. Das wurde in der Regel damit begründet, dass die Ladung über viele Transporte hinweg nicht wechsle und daher bekannt sei.
- Die **aktive Sicherheit** des Lang-Lkw wurde von 39 % der Fahrer als *deutlich höher* als beim den herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen beurteilt. Nur 3 % der Urteile lauteten auf *etwas geringer*.
- Von allen Fahrern wurden 79 % von ihrem Arbeitgeber vorgeschlagen oder aufgefordert, einen Lang-Lkw zu fahren, 18 % haben sich selbst beworben.
- Die **Umstellung auf den Lang-Lkw** ist 47 % der Fahrer *leicht* und 24 % *eher leicht* gefallen; 21 % gaben das Mittelurteil *teils/teils* an und 5 % *schwer*.
- Die **Einweisung** in den Lang-Lkw durch das Unternehmen hat 66 % der Fahrer *sehr* oder *etwas* geholfen. Der Rest urteilte skeptisch. In den kritischen Stimmen wurde mehr Praxisorientierung gefordert. Die Dauer der Einweisung dauerte zwischen 2 und 16 Stunden, je ein Fahrer nannte 7 und 8 Tage. Es bleibt unklar, was Letzteres genau bedeutet. 37 % der Fahrer nannten 8 Stunden, also einen Arbeitstag.
- Die **Beurteilung von 22 Verkehrssituationen** auf die Frage: „Was geht besser, was geht schlechter als früher“ (mit dem Lang-Lkw im Vergleich zu den herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen) lieferte fast durchgängig eine leichte Verschlechterung auf den Mittelwert 3,1 auf der Skala von 1 (*deutlich besser*) bis 5 (*deutlich schlechter*). Diese Verschlechterungen haben nur ein sehr geringes Ausmaß. Etwas deutlichere Verschlechterungen zeigten sich bei *Fahren innerorts, Be- und Entladen, Aufsuchen von Pannengebieten* und vor allem bei *Parken/Übernachten auf Rastplatz*. Letzteres ist ein zurzeit auch für den herkömmlichen Güterverkehr schon bekanntes Problem. Viele freie Antworten bestätigten dies. Auffallend ist, dass

bei *Kurvenfahren* und *Kreisverkehr* Verbesserungen genannt wurden. Die Befragten erklärten dies mit den aktuell weiter entwickelten Fahrwerken. Von den 22 Verkehrssituationen beziehen sich 7 auf Kreuzungen und Abbiegungen. Auch hier wurde die gleiche geringfügige allgemeine Verschlechterung wie bei den meisten Verkehrssituationen genannt, jedoch zeigten sich keine auffälligen Probleme.

- Das Verbot, bei **Stau oder Störungen** auf nicht zugelassene Strecken auszuweichen (vgl. LKWÜberStVAusnV § 2 sowie § 10), wurde von 48 % der Fahrer als Problem angesehen. In den freien Antworten gaben mehrere Fahrer an, diesen Verstoß gegen die Ausnahme-Verordnung bereits gelegentlich begangen zu haben.
- Ähnliches gilt für das Verbot, **Fahrzeuge, die mehr als 25 km/h fahren**, zu überholen (vgl. LKWÜberStVAusnV § 9). Damit hatten 43 % der Fahrer Schwierigkeiten. Die vorhandenen freien Antworten sprechen von einer erheblichen Frustration und der Übertretung. Die Mehrheit (53 %) hielt dieses Verbot uneingeschränkt für *nicht sinnvoll*, weitere 26 % urteilten *teils/teils*.
- Die Frage „Haben Sie durch den Lang-Lkw bei ihren Kollegen an Ansehen gewonnen?“ beantworteten 68 % der Fahrer mit *nein*. Mit *ja* oder *ja, zum Teil* antworteten 25 %.
- Auf die Frage „Haben Sie positive/negative Reaktionen anderer Verkehrsteilnehmer auf den Lang-Lkw erlebt?“ berichteten 53 % der Fahrer positive Reaktionen von Lkw-Fahrern und 58 % von Pkw-Fahrern. Negative Antworten wurden von 8 % der Fahrer sowohl für andere Lkw-Fahrer als auch für Pkw-Fahrer gegeben. Die auf 100 % fehlenden Antworten lauteten *positiv und negativ* oder *nicht vorgekommen*.
- Bei der Frage „Wie oft haben Sie beobachtet, dass herkömmliche Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen Schwierigkeiten haben, wenn sie auf einen Lang-Lkw treffen?“ wurden die Antworten *oft* oder *gelegentlich* nur für *beim Überholen: Autobahn* und *beim Einfahren auf die Autobahn* mit merklichen Häufigkeiten gegeben (13 % bzw. 21 %). Für vier andere Situationen wurde keine Schwierigkeit anderer Lkw berichtet.
- Die gleiche Frage für Pkw erhielt für zwei Kategorien nennenswerte Häufigkeiten von *oft-* oder *gelegentlich-*Antworten: *beim Vorbeifahren an Baustelle/Verengung* und *beim Einfahren auf die Autobahn* (26 % und 32 %). Für vier andere Situationen wurde keine Schwierigkeit anderer Pkw berichtet.
- Die Frage „Glauben Sie, dass der Lang-Lkw für andere Verkehrsteilnehmer eine Veränderung der **Unfallgefahr** mit sich bringt?“ wurde mit minimalen Abweichungen des Mittelwertes von  $M = 3$  (*kein Unterschied*) beantwortet. Über 70 % aller Fahrer gaben demnach auch die Antwort *kein Unterschied*. Die Antworten *deutlich* oder *etwas höher* wurden aber von 26 % der Befragten für Pkw-Fahrer, 13 % für Motorradfahrer, 19 % für Mofa- und Radfahrer sowie Fußgänger (vor allem in Kreuzungen) gegeben.
- Auf die Frage nach der **Unfallgefahr** für einzelne Gruppen von Verkehrsteilnehmern folgte die generelle Frage „Ganz allgemein gesehen: Glauben Sie, dass mit Lang-Lkw mehr oder weniger Unfälle im Straßenverkehr zu erwarten sind als mit den herkömmlichen Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen?“ Hier antworteten 39 % mit *kein Unterschied*, 34 % mit *etwas weniger* und 11 % mit *deutlich weniger*. Der Mittelwert ist mit 3,6 schon deutlich von der Mitte weg in Richtung *weniger* verschoben. Das steht im Gegensatz zu den Antworten auf die vorangegangene Frage. Der Unterschied ist aber mit dem Wechsel der Perspektive zwischen beiden Fragen erklärbar. Die erste Frage zentriert sich auf die anderen Verkehrsteilnehmer, diese auf den Lang-Lkw-Fahrer. Hier bestimmen die vielen Sicherheitseinrichtungen des Lang-Lkw das Urteil.
- Insgesamt wurde von den Fahrern drei **Unfälle** mit dem Lang-Lkw berichtet: Leichtes Streifen eines Pkw beim Abbiegen, Fahrstreifenwechsel oder Rangieren. Ebenso

wurden 3 Beinahe-Unfälle berichtet: auf der Autobahn im Zusammenhang mit Kurvenfahrt oder Fahrstreifenwechsel.

- Mit der Frage „Können durch den Lang-Lkw ein Drittel der Fahrten eingespart werden?“ sollte nicht ein ökonomischer Parameter erhoben werden, sondern die Meinung der Fahrer zu diesem Thema. Eine Ersparnis um 1/3 nannten 66 %, je 11 % gaben Abweichungen darüber und darunter an. Eine Gefährdung des eigenen Arbeitsplatzes sahen 92 % der Fahrer dadurch aber nicht.
- Das Thema „**Stress**“ wird an verschiedenen Stellen des Fragebogens und der Fahrbeobachtung angesprochen. Die direkte Frage „Bedeutet Lang-Lkw-Fahren mehr oder weniger Stress für Sie?“ beantworteten 53 % der Fahrer mit *kein Unterschied*, *etwas weniger* gaben 18 %, *deutlich weniger* 21 % an. Zusammen mit anderen Fragen nach dem Stress, Beobachterurteilen und der Selbsteinschätzung im RSME bedeutet das konvergierende Evidenz dafür, dass das Thema Stress beim Lang-Lkw keine über die herkömmlichen Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen hinausgehende Bedeutung besitzt.
- Mit Hilfe eines semantischen Differentials (Polaritätenprofil) sollten die Fahrer ihr subjektives Fahrerleben innerhalb von Gegensatzpaaren angeben (z. B. *komfortabler – weniger komfortabel*). Neben einigen Mittelurteilen wurden *Ist Fahren komfortabler*, *macht Fahren mehr Spaß* und *Fahre ich entspannter* im deutlich positiven Bereich beantwortet.
- Die Abschlussfrage lautete: „Sollte der Lang-Lkw nach der Testphase generell zugelassen werden?“. *Ja, mit weniger Einschränkungen* antworteten 74 % der Fahrer, *ja, mit Einschränkungen wie bisher* 18 %. Immerhin 8 % meinten *ja, mit mehr Einschränkungen als bisher*. Kein Fahrer gab die Antwort *nein*.
- Auf die Frage „Gibt es zum Abschluss sonst noch etwas, das Ihnen wichtig ist?“ enthielten die Antworten überwiegend Verbesserungsvorschläge für das System Lang-Lkw (z. B. mehr passende Parkplätze, besser und praxisnah geschulte Fahrer, Schulung auch für Pkw-Fahrer). 3 Fahrer beanstandeten eine ungerechtfertigt negative Darstellung („Verteufelung“) des Lang-Lkw in den Medien.

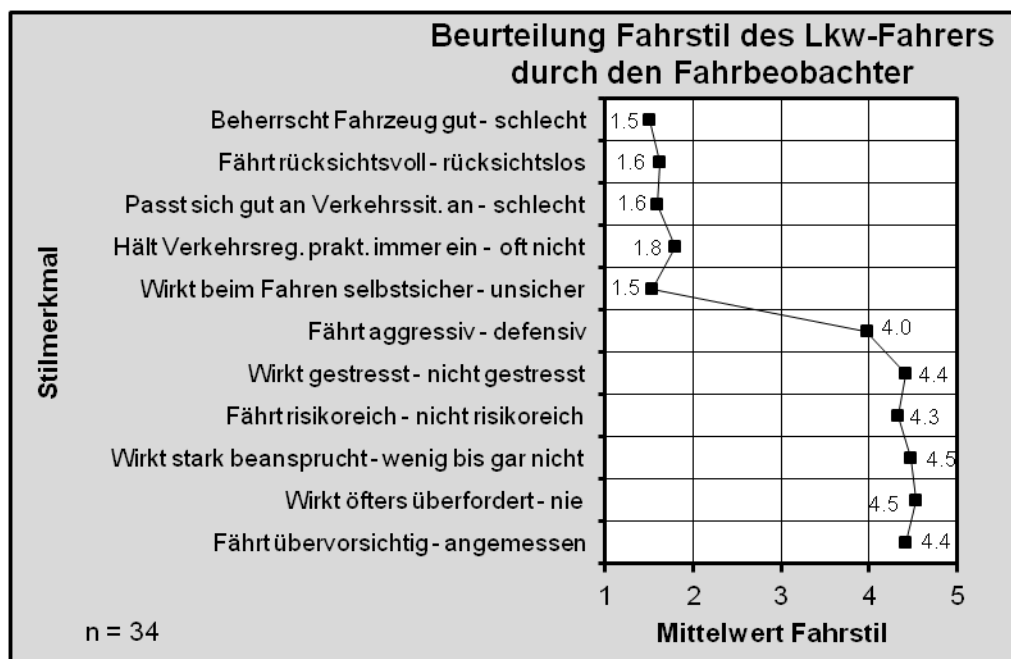
### 13.3.2 Fahrverhaltensbeobachtung

Die gesamte Beobachtungsdauer aller 35 Fahrten betrug zusammen 39:40 Stunden, die Durchschnittsdauer der einzelnen Fahrten 1:06 Stunde. Die gesamte Fahrzeit teilte sich zu 13,6 % auf innerorts, zu 11,2 % auf Landstraße und zu 75,2 % auf Autobahn auf. Gemäß dem Einsatzgebiet der Lang-Lkw, lag der Schwerpunkt der Fahrtätigkeit, wie zu erwarten, auf der Autobahn. Die genannten Prozentsätze gelten aber nur für die kürzere Fahrbegleitung, nicht für die gesamte Fahrt von der Auf- bis zur Abladestelle. Hier ist der Autobahnanteil in der Regel wesentlich höher. Der Prozentsatz der Fahrzeit, zu dem das ACC eingeschaltet war, betrug Innerorts 50 %, auf der Landstraße 72 % und auf der Autobahn 98 %. Diese Zahlen gelten sowohl für die (verkürzte) Fahrbegleitung als auch (in guter Näherung) für die gesamte Fahrt. Das ACC ist also ein unentbehrliches Hilfsmittel, mit dem auf der Autobahn praktisch ausschließlich, auf der Landstraße rund 3/4 der Zeit und Innerorts immer noch rund die Hälfte der Zeit gefahren wird.

Insgesamt wurden über alle Fahrten aller Fahrer 138 definierte Abweichungen beobachtet. Davon entfielen allein 111 auf Spurverhalten, Fahrstreifenwechsel und Ansprechen des Spurhaltewarnsystems. Das weist auf eines der dringlichsten Probleme hin, die sich in dieser Untersuchung gezeigt haben: die oft zu engen Fahrstreifen bei Autobahnarbeitsstellen, aber auch eine allgemeine Tendenz von Lkw, die Fahrstreifenbegrenzung doch öfter zu berühren oder zu überfahren. Die meisten anderen Situationen führten insgesamt höchstens einmal zu einer Abweichung. Nur Geschwindigkeitswahl, Nichtbeachtung Überholverbot und Telefonieren ohne Freisprechanlage erreichten noch darüber hinausgehende, niedrige einstellige Häufigkeiten.

Am Ende der Fahrverhaltensbeobachtung gaben die Fahrbegleiter zunächst ein generelles Fahr sicherheitsurteil auf einer fünfstufigen Skala von (1) *sehr hoch* bis (5) *gering* für 7 Verkehrssituationen ab. Drei davon erhielten über 50 % sehr hoch-Urteile, Geschwindigkeitswahl, Abstandwahl und Blinken, Zeichengebung, Sichern. Überholen und Fußgänger und Radfahrer erhielten 80 % beziehungsweise 95 % nicht vorgekommen-Urteile, für den Rest auf 100 % jedoch sehr hoch-Antworten. Schließlich wurde noch ein Globalurteil über alle Fahr situationen erhoben. Hier ergaben sich 85 % sehr hoch- und hoch-Urteile. Das bedeutet eine sehr gute allgemeine Verkehrssicherheit der Lang-Lkw-Fahrer in diesem Expertenurteil.

Außerdem beurteilten die Fahrverhaltensbeobachter den Fahrstil des Fahrers in einem semantischen Differential (Polaritätenprofil) mit 11 Adjektivpaaren (z. B. beherrscht Fahrzeug gut – schlecht; fährt aggressiv – defensiv usw.). Die Mittelwerte lagen alle auf der Seite eines Adjektivs zwischen der höchsten und der zweithöchsten Stufe und bilden damit insgesamt deutlich positive Urteile des Fahrverhaltensbeobachters ab.



**Bild 32: Semantisches Differential zum Fahrstil**

Nach der begleiteten Fahrt wurden die Fahrer gebeten, ihre während der Fahrt erlebte subjektive Anstrengung auf einem Bogen des RSME (geeicht in deutscher Sprache; EILERS, NACHREINER, HÄNECKE, 1986) einzuschätzen. Hier wird eine graphische Skala der subjektiven Anstrengung mit Zahlenwerten von 0 bis 220 vorgegeben. Einzelne Adjektivpaare sind verbal bei denjenigen Zahlenwerten angezeigt, die sich bei der Testeichung ergeben haben, z. B. 20 = kaum anstrengend, 40 = etwas anstrengend, 75 = einigermaßen anstrengend bis 203 = außerordentlich anstrengend. Die Mittelwerte lagen Innerorts bei 28, auf der Landstraße bei 24 und auf der Autobahn bei 17, zeigten also Zahlenwerte rund um „kaum anstrengend“.

### 13.3.3 Diskussion kritischer Einwände gegen den Lang-Lkw

Vor allem in der Tagespresse werden häufig sehr kritische Einwände gegen eine Zulassung von Lang-Lkw erhoben. Ein Teil davon gilt Fragen der Technik, der Ökonomie und der Politik des Transportwesens. Diejenigen Argumente, zu denen die vorliegende Untersuchung von GLASER ET AL. (2014) neue Fakten beiträgt, werden nachfolgend besprochen. Dabei soll nachmals betont werden, dass die hier untersuchten Lang-Lkw nur eine größere Länge, aber kein mit mehr als 40 t größeres Gewicht als die bisher zugelassenen

Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen besitzen, was in der öffentlichen Diskussion oft nicht berücksichtigt wird.

- **Kreisverkehre sind in der Regel für Lang-Lkw zu eng.**

Dieses Argument ist Inhalt einer Frage im Fragebogen von GLASER ET AL. (2014). Sie lautet: „Wenn Sie den Lang-Lkw mit den kürzeren Lkw vergleichen: Was geht besser, was geht schlechter als früher“. Bei den Antworten für den Kreisverkehr liefert der Mittelwert auf einer von 1 (deutlich besser) bis 5 (deutlich schlechter) reichenden Skala  $M = 2,6$  bei 42 % etwas oder deutlich besser- und 8 % etwas oder deutlich schlechter-Antworten. Für Kurvenfahrten ergaben sich fast die gleichen Antworthäufigkeiten. Auch die Fahrer waren davon zum Teil überrascht, wie einige Äußerungen zeigen: „Kurvenfahren ist ein Kinderspiel“, „bin angenehm überrascht wie gut es funktioniert“, „deutlich besser, funktioniert super“, „keine Probleme, schwenkt nicht aus, läuft super hinterher.“ Dafür lassen sich mehrere Gründe nennen: Besonders enge innerörtliche Kreisverkehre dürften sich in den zugelassenen Strecken nicht befinden, und die Lenkung und das Fahrwerk moderner Lang-Lkw haben einen sehr hohen technischen Stand erreicht.

- **Parkplätze sind (vor allem auf Autobahnrastanlagen) zu kurz für Lang-Lkw.**

Auch dies ist Inhalt einer Frage im Fragebogen von GLASER ET AL. (2014) mit der oben genannten 5-stufigen Ratingskala. Die Antworten sind bei einem Mittelwert von  $M = 4,1$  und 45 % „etwas“ oder „deutlich schlechter“ mit Abstand die Negativsten.

- **Lang-Lkw werden an Steigungen zu langsam.**

Dies ist ein rein physikalisches Problem, das in dieser Formulierung nur entsteht, wenn man nicht zwischen nur überlangen und überlangen und überschweren Lkw unterscheidet. Es spielt für die Lang-Lkw kaum eine Rolle und lässt sich allein durch die Wahl der richtigen Motorisierung lösen. Wenn es auftritt, fällt es bei den Fahrerbefragungen und -beobachtungen auf. Die Fahrer wurden nach der Motorleistung ihres Lang-Lkw gefragt. Sie reicht nach deren Angaben von 420 bis 480 PS, 64 % der Fahrer gaben 440 oder 450 PS an. Das durchschnittliche Leistungsgewicht betrug somit 8,27 kW/t, bezogen auf ein Gesamtgewicht von 40 t. Lediglich zwei von 38 Fahrern bemängelten in den freien Antworten, das sei „in den Bergen etwas knapp“. Die verallgemeinernde Aussage, Lang-Lkw würden an Steigungen zu langsam, lässt sich angesichts dieser Daten aber nicht aufrechterhalten.

- **Das Überholen von Lang-Lkw ist für Pkw auf der Autobahn teilweise kritischer, desgleichen das Nebeneinanderherfahren von Pkw und Lang-Lkw bei Arbeitsstellen auf Autobahnen.**

Hier müssen zwei Fälle unterschieden werden. Der erste Fall ist die normale Autobahnfahrt. Hier überholt der Pkw-Fahrer links die Kette rechts fahrender Lkw und wird in vielen Fällen die Länge darunter befindlicher Lang-Lkw nicht einmal bemerken. Dafür bringt auch diese Studie einige Beispiele.

Der zweite Fall ist die Fahrt auf einer zweistreifigen Verschwenkung oder zweier Behelfsfahrestreifen an einer Autobahnarbeitsstelle. Mit Fahrstreifenbreiten von bis hinunter auf 3,25 m beziehungsweise 2,50 m wird die Parallelfahrt eines Pkw und eines Lkw jetzt schon als gefährlich wahrgenommen (vgl. z. B. AUTO BILD, 2013). Dieses Problem verschärft sich subjektiv bei der größeren Länge des Lang-Lkw. Bei den Zahlenergebnissen einer entsprechenden Frage im Fragebogen mit der obengenannten 5-stufigen Ratingskala kommt mit einem Mittelwert von  $M = 3,2$  und einer Häufigkeit von 27 % von „etwas“ oder „deutlich schlechter“ zwar noch kein problematisches Resultat heraus. Die freien Antworten drücken aber doch Verschlechterungen aus. Das liegt an den bereits im Normalbetrieb als schwierig empfundenen Verhältnissen.

- **Die Beanspruchung (Stress) ist für die Fahrer von Lang-Lkw höher. In Schweden bevorzugen viele Lkw-Fahrer deshalb herkömmliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen.**

Über die Verhältnisse in Schweden liegt keine der von GLASER ET AL. (2014) durchgeführten vergleichbare Untersuchung vor. In der Studie wird das Thema Stress von GLASER ET AL. (2014) an verschiedenen Stellen behandelt. Im Fragebogen beurteilten die Fahrer den erlebten Stress beim Lang-Lkw im Vergleich mit dem herkömmlichen Lkw wiederum auf einer 5-stufigen Ratingskala zwischen „deutlich weniger“ bis „deutlich mehr“. Dabei empfinden 53 % keinen Unterschied und für 39 % ist der Stress sogar etwas oder deutlich weniger. Nur 6 % geben etwas oder deutlich mehr an. In einer offenen Frage wurde nach den Gründen für dieses Urteil gefragt. Darauf wurde eine recht große Zahl von Begründungen gegeben: Die Fahreigenschaften des Lang-Lkw werden als optimal bezeichnet, nicht zuletzt dank moderner Fahrwerkstechnik und der Fahrerassistenzsysteme. Ein Fahrer kennzeichnet das Fahren mit dem Lang-Lkw als „Erholung! ...Ist wie ein Pkw....Ist wie spazieren fahren“, ein anderer: „Weniger Stress, absolut“, oder „das Auto fährt sich von alleine.“ Dieses Urteil wird an anderen Stellen des Fragebogens bestätigt. Bei der Fahrverhaltensbeobachtung wurde unter anderem ein Gesamturteil des Versuchsleiters über den Fahrstil des Fahrers verlangt. Auf dem Gegensatzpaar wirkt gestresst (1) – wirkt nicht gestresst (5) ergab sich der Mittelwert von  $M = 4,4$ . Auch das ist also alles andere als ein Hinweis auf Stress. Schließlich gaben die Teilnehmer bei der Einschätzung der mentalen Beanspruchung mithilfe der RSME-Skala eine eher niedrige Beanspruchung an. Andererseits gibt es durchaus auch Äußerungen von Stress. Diese beziehen sich aber nicht auf das Fahren mit dem Lang-Lkw, sondern auf die Disposition der Fahrten und bevorzugte oder abgelehnte Wochentage oder Tageszeiten und das Ladegeschäft, das jetzt mehr Zeit kostet.

- **Die Gefahr von Blockaden auf Kreuzungen und Bahnübergängen ist für Lang-Lkw größer.**
- **Das Abwarten ausreichender Lücken beim Einfahren in Vorfahrtsstraßen ist bei Lkw schwieriger.**
- **Die Räumphase für Lichtsignalsteuerungen und Bahnübergänge ist für Lang-Lkw zu kurz.**

Diese drei Kritikpunkte beziehen sich auf den Einfluss des Lang-Lkw auf das Verkehrsgeschehen an den verschiedenen Formen von Knotenpunkten. Im Fragebogen wurden von GLASER ET AL. (2014) hier systematisch 7 verschiedene Situationen unterschieden und jeweils gefragt: „Was geht besser, was geht schlechter als früher?“ Beispiele sind Einbiegen in Durchgangsstraße, Linksabbiegen bei bevorrechtigtem Gegenverkehr oder Vollständiges Überqueren innerhalb der Grünphase. Die Resultate zeigen auf der bereits genannten 5-stufigen Ratingskala durchgängig eine leichte Erschwerung, die fast immer mit dem Wert  $M = 3,1$  ganz in der Nähe des Mittelwerts zwischen „deutlich besser“ (1) und „deutlich schlechter“ (5) liegt. Die Häufigkeitsverteilungen enthalten überwiegend „kein Unterschied“-Antworten mit durchschnittlich 15 % „etwas schlechter“- bis „deutlich schlechter“-Urteilen. Diese Verschlechterungen werden sehr übereinstimmend als unvermeidlich beim Lang-Lkw, aber nach kurzer Gewöhnung als problemlos beherrschbar angesehen. Bei den freien Antworten wird der Umgang mit dem Lang-Lkw hier nicht als schwieriger, sondern nur als anders angesehen als der mit den herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen. Man müsse beispielsweise Einlenkpunkte an Kreuzungen anders berechnen. Nach einer gewissen Übung wird das aber als nicht schwerer beurteilt als mit dem herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen. Die Kreuzungspunkte sind auch im Beobachtungsleitfaden entsprechend fein unterteilt enthalten. Unter den einzelnen Kategorien wurden in der gesamten Beobachtungsfahrt maximal eine, oft gar keine Auffälligkeit beobachtet. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass das Fahren des Lang-Lkw auf den Kreuzungspunkten, die innerhalb der zugelasse-



nen Strecken des vorliegenden Feldversuchs vorkamen, zwar ein gewisses Umlernen erfordert, dann aber problemlos bewältigt wird.

### 13.4 Fazit und Folgerungen

Die Ergebnisse der Befragung und Fahrverhaltensbeobachtung von GLASER ET AL. (2014) stimmen in hohem Maße miteinander überein und bestätigen sich somit gegenseitig. Für oft geäußerte Befürchtungen einer erhöhten Beanspruchung (Stress) auf dem Arbeitsplatz Lang-Lkw und einer erhöhten Unfallgefahr gab es aus psychologischer Sicht keine Hinweise. Im Überblick über die gesamte Studie wird das Fahren des Lang-Lkw als geringfügig schwieriger empfunden als das der herkömmlichen Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen. Auf der von 1 (*deutlich besser*) bis 5 (*deutlich schlechter*) reichenden Skala wird diese Verschlechterung im Mittel über die gesamte Studie bei 3,1 gesehen. Das ist als eine Verschlechterung zu werten, wie sie bei Veränderungen leicht einmal auftreten kann, die aber auch keinerlei Gründe für Bedenken liefert. Zum Teil bringen die Lang-Lkw nach Ansicht der Fahrer Verbesserungen, wie etwa beim Durchfahren von Kurven und Kreisverkehren. Drei Punkte haben sich beim subjektiven Vergleich zwischen Lang-Lkw und herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen als tendenziell kritisch herausgestellt: das Fahren auf verengten Fahrstreifen, vor allem in Autobahnarbeitsstellen, das Überholen durch Pkw in solchen Arbeitsstellen und auf der Landstraße sowie das Parken auf herkömmlich dimensionierten Lkw-Parkplätzen aufgrund der zu geringen Länge der Parkstände und deren zu geringer Anzahl. Es ist jedoch zu beachten, dass die Aspekte bezüglich der Fahrstreifenbreiten in den Arbeitsstellen und der zu geringen Anzahl an Parkständen auch bereits heute für herkömmliche Lkw eine bei den Fahrern Stress hervorrufende Problematik darstellen. So konnten im Rahmen von den Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleituntersuchung, die sich mit der empirischen Ermittlung von objektiven Parametern des Fahrverhaltens in Arbeitsstellen (vgl. Ziffer 12.5), aber auch beim Überholen auf Landstraßen (vgl. Ziffer 12.6) befasst haben, denn auch keinerlei Hinweise auf relevante Unterschiede zwischen den Lang-Lkw und den herkömmlichen Lkw ermittelt werden. Hinzu kommt, dass sich alle von den Fahrern angesprochenen drei Punkte durch Maßnahmen, wie zum Beispiel die Überarbeitung der Gestaltungsrichtlinien für Behelfsfahrstreifen an Autobahnbaustellen, verbessern lassen. Somit lässt sich aus psychologischer Sicht auf den Lang-Lkw-Fahrer keine Beeinträchtigung der Sicherheit beim Fahren eines Lang-Lkw erkennen. Es ist eindeutig: Alle an diesem Fahrversuch teilnehmenden Fahrer befürworteten die zeitlich unbegrenzte Zulassung des Lang-Lkw.

## 14 Zusammenfassung des Zwischenberichts

Es war das Ziel der wissenschaftlichen Begleitung durch die BASt, zum einen alle in der Öffentlichkeit diskutierten Hoffnungen in und Bedenken gegen den Lang-Lkw umfassend zu berücksichtigen und zum anderen möglichst frühzeitig und wissenschaftlich fundiert belastbare Ergebnisse zu liefern.

Mit diesem Zwischenbericht werden nun die vorliegenden Ergebnisse aus der Anlaufphase sowie der kompletten Analysephase zusammengefasst. Der Bericht enthält die Ergebnisse aller zwischenzeitlich vergebenen Forschungsprojekte einschließlich ihrer zusammenfassenden Bewertung. Weiterhin gibt der Bericht den bisherigen Sachstand hinsichtlich der ersten Hälfte der Datenerhebungsphase wieder. Hier sieht das Konzept der wissenschaftlichen Begleitung aus statistischen Gründen eine Bewertung der Ergebnisse erst nach Abschluss des Feldversuchs vor.

Trotz der nur langsam ansteigenden Teilnehmeranzahlen können mit diesem Bericht bereits zu zahlreichen Fragestellungen belastbare und somit aussagekräftige Erkenntnisse vorgelegt werden. Für eine Vielzahl der identifizierten, als relevant zu erachtenden und somit zu untersuchenden Fragestellungen (vgl. Ziffer 5) spielt die Anzahl der teilnehmenden Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen nur eine untergeordnete Rolle. Als Beispiel

sei hier die Überprüfung der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen genannt. Hierbei ist weniger die Anzahl der teilnehmenden Lang-Lkw von Bedeutung als vielmehr, dass möglichst viele unterschiedliche Typen mit hinsichtlich der Befahrbarkeit ungünstigen Konfigurationen (Achsabstände, Knickpunkte etc.) beobachtet werden können (vgl. dazu Ziffer 12.4).

Im Folgenden werden die bis zum Zeitpunkt dieses Zwischenberichts (Stand 30.04.2014) als wesentlich anzusehenden Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt und bewertet. Dabei gilt es herauszuarbeiten, welche Auswirkungen der Einsatz von Lang-Lkw im Vergleich zur Situation ohne Lang-Lkw auf die identifizierten Fragestellungen hat. Dazu wird unterschieden in Erkenntnisse, bei denen aus dem Lang-Lkw-Einsatz keine veränderten Auswirkungen resultieren, und solchen, bei denen der Einsatz der Lang-Lkw mit Vorteilen verbunden ist, sowie solchen, bei denen aus dem Einsatz der Lang-Lkw ein mehr oder weniger großer Anpassungsaufwand für die Infrastruktur abgeleitet werden kann.

### **Keine Auswirkungen unter den Randbedingungen des Feldversuchs**

- Auf Basis der aus früheren Untersuchungen (v.a. GLAESER ET. AL, 2006) aufgezeigten möglichen negativen Auswirkungen von höheren Gewichten auf die Verkehrssicherheit (höhere Anprallenergie) und die Infrastruktur (Brückenbeanspruchung) ist einzig der Einsatz von in ihrer Länge größeren Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen Gegenstand des Feldversuchs. Unter der Randbedingung, dass sich im Vergleich zu den geltenden Regelungen in § 34 StVZO bei den Lang-Lkw das höchstzulässige Gesamtgewicht von 40 t / 44 t (KV) nicht ändert, sind keine Auswirkungen auf die Anprallenergie bei einem Auffahrunfall zu erwarten. Da sich die für die Brücken relevanten Verkehrslasteinwirkungen aus den schwersten Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen (insbesondere den Großraum- und Schwertransporten), deren Häufigkeiten und Überladungen im gesamten Schwerverkehrskollektiv ergeben, werden unter der Voraussetzung des gleichen Transportguts durch den Ersatz von Fahrten herkömmlicher Lkw durch tendenziell schwerere Lang-Lkw („aus 3 mach 2“, vgl. dazu auch Bild 33) keine relevanten Veränderungen der maximalen Bauwerksbeanspruchungen eintreten.
- Fahrzeugtechnische Probleme konnten unter den gegebenen Randbedingungen im Allgemeinen nicht identifiziert werden. So gibt es beispielsweise keinen Hinweis auf eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch ein mögliches unterschiedliches Bremsverhalten von Lang-Lkw gegenüber dem von herkömmlichen Lkw.
- Die Beanspruchung der Straßenbefestigungen durch die im Feldversuch beobachteten Lang-Lkw ist vergleichbar beziehungsweise marginal geringer als bei dem heutigen Kollektiv herkömmlicher Lkw.
- Auf Basis der aus den mit unterschiedlichen Anteilen an Lang-Lkw gebildeten Vergleichskollektiven (BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw) hervorgehenden Achslastverteilungen kann auch geschlossen werden, dass bei Einsatz von Lang-Lkw unter Maßgabe des höchstzulässigen Gesamtgewichtes von 40 t / 44 t (KV) nicht mit einer zeitlich beschleunigten Verschlechterung der Substanz der Fahrbahnoberfläche (z. B. Spurrinnenentwicklung) zu rechnen ist. Durch den Einsatz von Lang-Lkw ist unter den Randbedingungen des Feldversuchs demnach kein erhöhter Erhaltungsaufwand für die Fahrbahnen erkennbar.
- Probleme im Verkehrsablauf oder der Verkehrssicherheit auf Autobahnen im Allgemeinen, in planfreien Knotenpunkten sowie Einfahrten im Speziellen oder auch bei der Befahrung von Arbeitsstellen traten bisher nicht auf und sind auch bei einer steigenden Anzahl an Lang-Lkw zukünftig kaum zu erwarten.
- Die zunächst anzunehmende Befürchtung eines Durchbruchs durch eine für den Anprall eines 38t-Sattelkraftfahrzeugs konzipierte H4b-Schutzeinrichtung in Mittelstreifen auf Autobahnen hat sich nicht bestätigt. Ein mögliches Umfallen von Fahrzeugteilen auf der ursprünglichen Richtungsfahrbahn und das damit einzuschätzende Risiko für den nachfolgenden Verkehr wären im Falle eines Unfalls dann allerdings hinzu-

nehmen. Dieses Risiko besteht aktuell ebenso (wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit) für mehrgliedrige Fahrzeugkombinationen ohne Überlänge – also herkömmliche Lastkraftwagen mit Anhänger.

- Stress oder eine erhöhte psychologische Beanspruchung der Fahrer konnten nicht festgestellt werden.
- Aufgrund des überwiegenden Einsatzes von Lang-Lkw auf Autobahnen wird nur eine relativ geringe Fahrleistung auf einbahnigen Straßen erbracht. Daher treten nur selten Überholungen von Lang-Lkw durch andere Verkehrsteilnehmer auf, bei denen der Überholende den Fahrstreifen im Gegenverkehr benutzen muss. Dabei laufen diese Überholungen unter den gegebenen Randbedingungen aufgrund der gegenüber herkömmlichen Lkw vergleichsweise geringeren Geschwindigkeit und defensiv fahrenden Lang-Lkw-Fahrer nicht gefährlicher ab als dies ohnehin bei Überholvorgängen auf einbahnigen Straßen der Fall ist.
- Die Betrachtungen zum Räumen von plangleichen Knotenpunkten sind zwar weitgehend theoretischer Natur, jedoch geben diese keinen Grund zu der Annahme, dass sich aus der im Vergleich zu den herkömmlichen Lkw größeren Länge Probleme hinsichtlich des Verkehrsablaufs- oder der Verkehrssicherheit ergeben können.
- Unter den Rahmenbedingungen des Feldversuchs konnten bislang keine Verlagerungseffekte beobachtet werden. Auch die mit den Lang-Lkw im Feldversuch transportierten Güter und logistischen Strukturen lassen eine Verlagerungswirkung allgemein unter den gegebenen Randbedingungen als unwahrscheinlich erscheinen.

#### **Positive Effekte des Einsatzes der Lang-Lkw**

- Bisher ersetzen im Durchschnitt zwei Lang-Lkw-Fahrten etwas mehr als drei Fahrten mit konventionellen Lkw.
- Daraus ergeben sich Effizienzgewinne und Kraftstoffersparnisse zwischen 15 % und 25 %. Dies hängt jedoch deutlich mit einer im Feldversuch beobachteten nahezu optimal disponierten Volumen- beziehungsweise Stellplatzauslastung zusammen, wobei anzumerken ist, dass eine hohe Auslastung für den betriebswirtschaftlich vorteilhaftesten Einsatz von Lang-Lkw im Regelfall erforderlich ist.

#### **Probleme bei der Nutzung der Straßenverkehrsanlagen**

In Abhängigkeit von der Art und von der Anzahl der Lang-Lkw können sich bei der Nutzung der Straßenverkehrsanlagen Probleme ergeben, die sich jeweils in unterschiedlichem Maße durch Änderungen der Straßeninfrastruktur beheben ließen und zum Teil durch die im Feldversuch beobachtete Substitution herkömmlicher Lkw durch Lang-Lkw („aus 3 mach 2“) kompensiert werden könnten. Der Anteil von Lang-Lkw am Güterverkehrsaufkommen ist dabei maßgeblich für die Beurteilung der identifizierten Risiken. Geringe Anteile, wie sie die aktuellen Erkenntnisse aus dem Feldversuch erwarten lassen, können dazu führen, dass Risiken als gegebenenfalls hinnehmbar oder zumindest beherrschbar einzustufen sind.

- Zu nennen ist hier die Problematik bei Tunneln hinsichtlich der möglichen Erhöhung der Brandleistung infolge des im Vergleich zu den herkömmlichen Lkw größeren Transportvolumens der Lang-Lkw, dem aber durch relativ einfache kompensatorische Maßnahmen (z. B. verbessertes Lüftungssystem) auch bei einer größeren Anzahl an Lang-Lkw begegnet werden könnte.
- Eine deutliche Erhöhung des Anteils an Lang-Lkw in der Verkehrszusammensetzung könnte sich auf die Entscheidungskriterien für die Verwendung der Schutzeinrichtungen unterschiedlicher Aufhaltestufen auswirken. Diese gälte es dann zu überprüfen und in den Richtlinien für den passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme – RPS (FGSV, 2009b) zu überarbeiten.
- Herkömmliche Lkw und Lang-Lkw der Typen 1 und 5 haben leichte Probleme beim Einfahren in die Nothaltebuchten in Tunneln. Die bis zu 25,25 m langen Lang-Lkw –

und hierbei besonders der Lang-Lkw vom Typ 2 – passen gar nicht in die im Vergleich zur freien Strecke kürzeren Nothaltebuchten in Tunneln. Dahingehend müssten Nothaltebuchten in Tunneln theoretisch umgebaut und angepasst werden. Dies ist aus technischen Gründen zum Teil nicht möglich beziehungsweise würde zu einem hohen baulichen und finanziellen Aufwand führen. Derzeit lässt sich aber noch nicht mit Bestimmtheit sagen, ob im Ergebnis einer Risikobetrachtung (Häufigkeit der erforderlichen Benutzung von Nothaltebuchten bei vergleichsweise geringem Fahrzeugkollektiv und somit seltenen Tunneldurchfahrten) ein solcher Umbau überhaupt zwingend notwendig wäre.

- Bei plangleichen Knotenpunkten und bei Kreisverkehren haben sich ebenfalls typabhängig unterschiedliche Ergebnisse eingestellt. Mit Ausnahme vom Typ 2 sind zwar die Schleppkurven von Lang-Lkw mit der vorhandenen Knotenpunktgeometrie kompatibel; in der Praxis wurden jedoch bei den Fahrversuchen immer auch Randbereiche, wie zum Beispiel benachbarte Fahrstreifen oder Bankette, mit benutzt, weil die sonst zusätzlich zu den Schleppkurven angesetzten Bewegungsspielräume nicht mehr zur Verfügung stehen. Insofern wären kompensatorische Maßnahmen, wie zum Beispiel Rasengittersteine oder Pflasterbefestigungen auf den Banketten, in den Einmündungsbereichen erforderlich. Eindeutig ist jedoch das vergleichsweise schlechte Abschneiden hinsichtlich der Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten mit Lang-Lkw vom Typ 2. Zudem zeigte sich dieser Typ auch bei einzelnen fahrdynamischen Analysen und ungleicher Ladungsverteilung als potentiell kritisch.
- In Schrägparkstände auf Rastanlagen passt nur der Lang-Lkw vom Typ 1. Alle anderen Typen von Lang-Lkw sind für die standardmäßig auf Rastanlagen vorhandenen Schrägparkstände zu lang. Außerdem haben alle Lang-Lkw auf Grund des Aufstellwinkels Probleme, ohne Überstreichung beziehungsweise Überfahung der benachbarten Parkstände in die eigenen Parkstände einzufahren. Eine kostengünstige kompensatorische Maßnahme gibt es dafür aktuell nicht. Ein Ummarkieren der zur Verfügung stehenden Parkflächen wäre mit einem Parkkapazitätsverlust verbunden, selbst wenn der Einsatz von Lang-Lkw theoretisch zu eingesparten Fahrten führt. Zudem erscheint das Abstellen der Lang-Lkw auf den privaten Autohöfen nicht als geeignete Lösung des Problems. Inwiefern das von der BASt entwickelte Konzept zum sogenannten „Kompaktparken“ sowie das auf einzelnen Rastanlagen durchgeführte sogenannte „Kolonnenparken“ eine geeignete Kompensationsmaßnahme darstellt, erscheint aufgrund der Schleppkurvenproblematik als fraglich. Bleibt das Aufkommen an Lang-Lkw jedoch gering, könnten die vorhandenen Längsparkstände ausreichend Platz bieten, sofern ausreichend Platz zum Einparken zur Verfügung steht. Eine echte Alternative bieten die Abstellflächen für Großraum- und Schwertransporte.

### **Weitergehende Hinweise**

Als weitere Erkenntnis konnte im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung die vereinfachte Schätzung des Marktpotenzials von Lang-Lkw generiert werden. Bezogen auf das gesamte deutsche Straßennetz hat die vorgenommene Schätzung ergeben, dass theoretisch 2 % bis maximal 9 % aller Fahrten beziehungsweise 3 % bis maximal 7 % der Fahrleistung konventioneller Lkw durch Lang-Lkw ersetzt werden könnten. Dabei ist zu beachten, dass sich diese Zahlen in Abhängigkeit von den gesetzten Rahmenbedingungen des Lang-Lkw-Einsatzes ändern können. Insbesondere die Beschränkung auf ein spezielles Positivnetz führt zu einer Reduktion des genannten Potenzials.

Schließlich wurden auch noch Hinweise auf mögliche Änderungen beziehungsweise Präzisierungen allgemeiner Art, wie das Prüfverfahren für die Einhaltung des BO-Kraftkreises, sowie einzelner Anforderungen für Lang-Lkw erarbeitet. Letztere sollten bei einem etwaigen weiteren Einsatz der Lang-Lkw nach Ablauf des Feldversuchs berücksichtigt werden. Dazu gehören:

- Eindeutigere Vorgaben und Toleranzen zur „on-board“ Achslastüberwachung.

- Mindestanforderung an Anzahl der Lang-Lkw-Achsen im Hinblick auf den Erhalt des Status Quo bezüglich der Straßenbeanspruchung.
- Eindeutige Spezifikation der fahrzeugtechnischen Anforderungen für die Teilnahme am Kombinierten Verkehr.
- Präzisierung der Montagebedingungen und des Sichtfeldes der rückwärtigen Kamera (Zeitweilige oder dauerhafte Übertragung des Bildes? Was soll hinter dem Lang-Lkw gesehen werden?).
- Möglicherweise Änderung und Vereinheitlichung der Heckbeschilderung gegebenenfalls mit Piktogramm (z. B. einheitliche Schildgröße (Schriftgröße) von 230 mm, einheitlicher Schrifttyp).

Zudem sollte auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse das Überholverbot für Lang-Lkw auf Autobahnen eventuell überdacht werden. Diese Regelung scheint aus Gründen des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit nicht geboten zu sein, verursacht aber bei den Lang-Lkw-Fahrern ein gewisses Maß an Stress, einhergehend mit einem Akzeptanzproblem.

Im Hinblick auf die Problematik bezüglich des Parkens auf Rastanlagen sollte für Lang-Lkw die Freigabe der Parkstände für Großraum- und Schwertransporte in Erwägung gezogen werden.

Für die Überprüfung der Eignung vorhandener Straßenverkehrsanlagen und den Entwurf geplanter Anlagen, die von Lang-Lkw befahren werden sollen, empfiehlt es sich, Schleppkurvenschablonen maßgebender Lang-Lkw-Konfigurationen zur Anwendung bereitzustellen.

### **Vorläufige Gesamtbewertung**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich wirklich gravierende Probleme im Feldversuch unter den gegebenen Randbedingungen bislang nicht gezeigt haben. Gemessen an der Vielzahl betrachteter Fragestellungen ist die Anzahl der identifizierten Risiken gering. Zudem sind die identifizierten Risiken bei der derzeit vorhandenen Anzahl an im Feldversuch beteiligten Lang-Lkw und auch noch unter der Annahme von deutlich höheren Anteilen von Lang-Lkw am Güterverkehrsaufkommen mit Ausnahme der Parkstandthematik als gegebenenfalls hinnehmbar oder zumindest beherrschbar einzustufen. Zu beachten ist hinsichtlich dieser Einschätzung jedoch, dass den erzielten Ergebnissen in der Regel die ganz spezifischen Randbedingungen des Feldversuchs zugrunde liegen. Teilweise resultieren diese Randbedingungen aus den Vorgaben der Ausnahme-Verordnung zum Feldversuch, in Ausnahmefällen auch aus dem unter Versuchsbedingungen angepassten Verhalten der Lang-Lkw-Fahrer. Hinzu kommen aber Umstände, die auf Basis der aktuellen Regelungen beim regulären Einsatz von Lang-Lkw größere Freiheitsgrade erlauben würden. Solche zusätzlichen Freiheitsgrade könnten sich unter Umständen negativ auf eine Risikobeurteilung von Lang-Lkw auswirken. Solche negativen Einflüsse waren aufgrund der Rahmenbedingungen aktuell im Feldversuch nicht beobachtbar und entziehen sich damit der Untersuchung. Sofern sich an diesen Randbedingungen Änderungen einstellen sollten oder die Unternehmen die heute geltenden Freiheitsgrade, zum Beispiel hinsichtlich der erforderlichen Achsanzahl, ausnutzen, sind gewisse Fragestellungen neu zu beleuchten (vgl. auch Ziffer 15).

## **15 Ausblick und ergänzender Forschungsbedarf**

Nach etwa der Hälfte des auf fünf Jahre ausgelegten Feldversuchs konnte die umfangreiche Analysephase bereits eine Vielzahl an neuen Erkenntnissen hinsichtlich eines möglichen Einsatzes von Lang-Lkw generieren. Der Feldversuch wurde jedoch im Hinblick auf einzelne Fragen aus statistischen Gründen über eine Gesamtlaufzeit von fünf Jahren konzipiert, um hinreichend abgesicherte Erkenntnisse erlangen zu können. An erster Stelle ist hier die Sammlung und Analyse von Unfällen und anderer besonderer Ereignis-

se zu nennen (vgl. Ziffer 7). Daher wurde bereits bei der Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung diese Aufgabe auf den gesamten Zeitraum des Feldversuchs hin ausgelegt (vgl. Ziffer 5). Mögliche Erkenntnisse zu den Auswirkungen auf das Unfallgeschehen durch den Einsatz von Lang-Lkw, die sich eventuell aus den dann vorzunehmenden Analysen ergeben könnten, sind somit erst nach dem Abschluss des Feldversuchs zu erwarten.

Mit den in § 3 LKWÜberStVAusnV genannten fünf verschiedenen Typen ergeben sich zahlreiche in ihren Abmessungen, Gewichtsanteilen und Fahreigenschaften unterschiedliche Konfigurationen von Lang-Lkw. Die bisherige Entwicklung bei den Teilnehmern am Feldversuch zeigt, dass noch nicht alle denkbaren Fälle beobachtet werden konnten. Welche dieser Kombinationen sich hinsichtlich welcher Fragestellung als kritisch oder „Worst Case“ einstellen, ist theoretisch häufig nicht herleitbar und erfordert daher bis zum Ende des Feldversuchs ebenfalls eine kontinuierliche Begleitung.

Bereits bei der Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung bestand auch mit dem konsultierten Expertenkreis (vgl. Ziffer 5) Übereinstimmung darin, dass sich einzelne Fragestellungen weder durch Feldversuche noch mit experimentellen oder modelltheoretischen Untersuchungen beantworten lassen, sondern sich wenn, überhaupt erst in einem langjährigen Realbetrieb zeigen werden. Als Beispiele dafür sind Fragen nach den möglichen Auswirkungen auf die Standortwahl für Industrieansiedlungen und die Gewerbestruktur in der Logistikbranche zu nennen.

Zu folgenden Fragen werden höchstwahrscheinlich auch nach dem Ende des Feldversuchs keine belastbaren Aussagen möglich sein:

- Aufgrund der nur langsam ansteigenden Anzahl am im Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw konnten psychologische Aspekte anderer Verkehrsteilnehmer sowie deren mögliche Sichtbeschränkungen in gewissen Verkehrssituationen durch Lang-Lkw nicht behandelt werden. Es ist nicht davon auszugehen, dass sich die Anzahl der Lang-Lkw im Feldversuch in der Art verändert wird, dass eine belastbare Studie zu dieser Fragestellung durchgeführt werden könnte.
- Inwiefern verkürzte Behelfseinfahrten in Arbeitsstellen zu Problemen hinsichtlich des Verkehrsablaufs oder sogar der Verkehrssicherheit führen, konnte aufgrund der nur selten zu beobachtenden entsprechenden Verkehrssituationen ebenfalls nicht geklärt werden. Auch hierzu scheint die bis zum Ende des Feldversuchs zu erwartende Teilnehmeranzahl zu gering zu bleiben.
- Aufgrund der Anzahl der Lang-Lkw und hierbei insbesondere derer, die im für die Fragestellung nach dem „Überholen auf Landstraßen“ relevanten Straßennetz verkehren, besitzen einige Ergebnisse zu dieser Fragestellung lediglich tendenziellen Charakter. Hinzu kommt die Frage, wie sich das beobachtete unterschiedliche Geschwindigkeitsniveau der Lang-Lkw gegenüber den konventionellen Lkw unter Umständen auf den Überholdruck der den Lang-Lkw überholenden anderen Verkehrsteilnehmer und somit auf die Überholhäufigkeit auswirkt und ob damit Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit verbunden sind. Auch zur Beantwortung dieser Frage, müsste sich die empirische Basis deutlich vergrößern.

Schließlich konnten Fragen durch die sich einstellenden Randbedingungen im Feldversuch und den aus der Analysephase gewonnenen Erkenntnissen identifiziert werden, denen im Rahmen von weiterer Forschung nachgegangen werden sollte. Im Einzelnen handelt es sich dabei um folgende Aspekte:

- Im Verhältnis aller in Deutschland durchgeführten Transportvorgänge war die zu erwartende Anzahl der im Feldversuch durchgeführten Transportvorgänge mit Lang-Lkw relativ gering. Daher wurde von der Durchführung statistischer Hochrechnungen zur Verkehrsnachfragewirkung von vornherein abgesehen. Ziel war vielmehr eine Beobachtung und Analyse der durch die Transportwirtschaft gewählten Einsatzszenarien sowie eine Untersuchung der Entscheidungswege, die dazu geführt haben,

dass Lang-Lkw eingesetzt werden oder von deren Einsatz abgesehen wurde. Für eine weitergehende Beurteilung von möglichen Einsatzszenarien außerhalb des Feldversuchs mit seinen derzeitigen, gesetzten Rahmenbedingungen wären Verkehrsnachfragemodelle anzuwenden, die auf Basis der Erkenntnisse des Feldversuchs eine Beurteilung der konkreten Einsatzszenarien erlauben.

- Bei mehreren Fragestellungen wurden für eine erste Einschätzung der sich aus dem Einsatz von Lang-Lkw möglicherweise ergebenden Effekte beziehungsweise Auswirkungen sogenannte „Worst Case“-Betrachtungen angestellt, bei denen sowohl Lang-Lkw als auch herkömmliche Lkw jeweils unter Ansatz des maximal zulässigen Gesamtgewichts miteinander verglichen wurden. Hätten sich bereits für diese Fälle deutliche Verschlechterungen beim Einsatz des Lang-Lkw gezeigt, würden sich weitergehende Analysen erübrigen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Analysephase ist jedoch zu konstatieren, dass Lang-Lkw keine herkömmlichen Lkw mit 40 t Gesamtgewicht ersetzen, sondern aus dem Gewichtsspektrum des gesamten Schwerverkehrs (vgl. die in Bild 33 dargestellte Häufigkeitsverteilung „SV 2011“) lediglich einen relativ engfassten Bereich adressieren. Das äquivalente Fahrzeugkollektiv, das die gleichen, in der Regel leichten, Transportgüter transportiert wie die Lang-Lkw, weist hinsichtlich der Gesamtmassen überwiegend ein Spektrum von 18 t bis zu 27 t auf (vgl. dazu die in Bild 33 dargestellte Häufigkeitsverteilung „äLkw“). Das dem gegenüberzustellende Einsatzgewicht der Lang-Lkw betrug hingegen überwiegend 25 t bis 39 t (vgl. dazu die in Bild 33 dargestellte Häufigkeitsverteilung „Lang-Lkw“). Dies berücksichtigend sollten strenggenommen die Fragen nach dem Anprall an Schutzeinrichtungen sowie der Bremswirkung in einem weitergehenden, zweiten Schritt erneut betrachtet werden. Hierbei gälte es dann, unter Ansatz des gleichen Transportguts den Lang-Lkw das äquivalente Fahrzeugkollektiv herkömmlicher Lkw gegenüberzustellen. Vor einer abschließenden Auswertung des Einsatzes von Lang-Lkw wäre zu prüfen, inwieweit diesen Fragen nochmals nachgegangen werden soll.

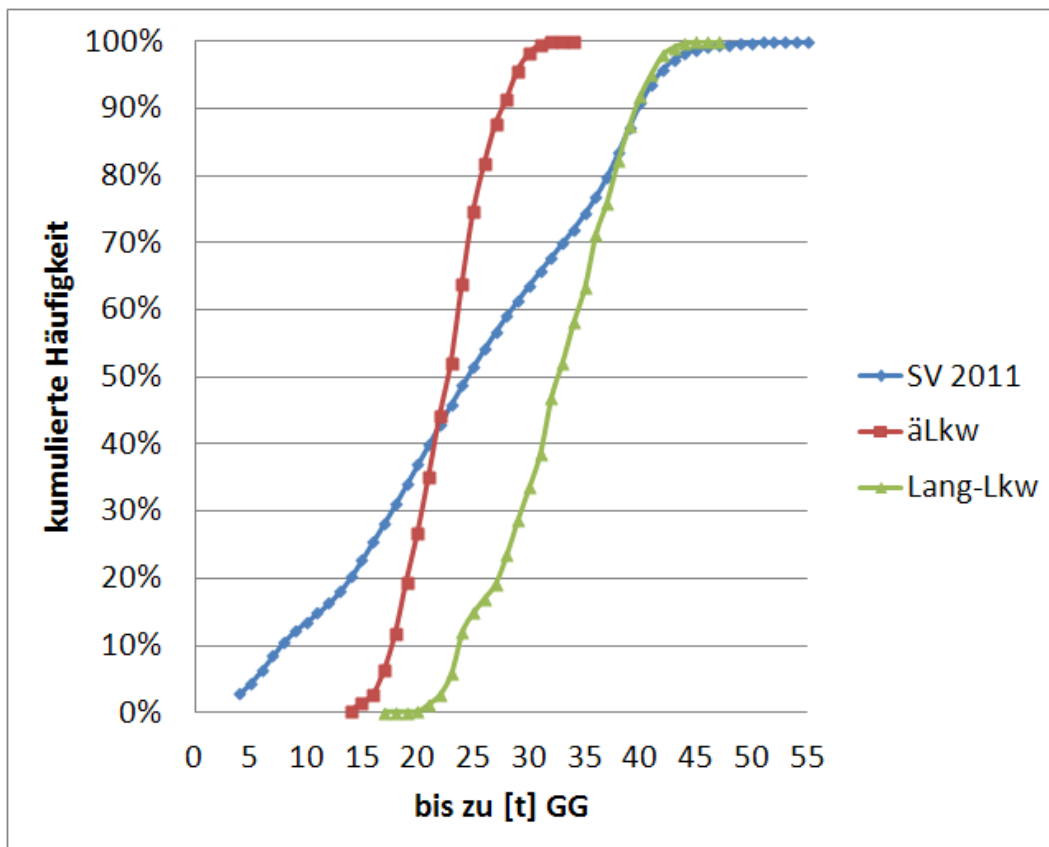


Bild 33: Verteilung der Gesamtmasse der Lang-Lkw, des äquivalenten Lkw-Kollektives (äLkw) sowie des gesamten Schwerverkehrs am Beispiel des Jahres 2011

- Die Untersuchungen zum Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen hatten bisher Streckenschutzeinrichtungen im Fokus. In diesen wurde der Hauptgefährdungsbereich "Mittelstreifen" adressiert. Die vorliegenden Erkenntnisse bilden eine notwendige Basis für weitergehende Betrachtungen zu Schutzeinrichtungen am Brückenrand. Die bisher vorliegenden Erkenntnisse allein reichen allerdings für eine Aussage zum Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen auf Brücken nicht aus. Vor einer abschließenden Auswertung des Einsatzes von Lang-Lkw wäre gegebenenfalls zu prüfen, inwieweit dieser Frage nochmals nachgegangen werden soll.
- Aufgrund der möglichen Freiheitsgrade bezüglich der Anzahl an Achsen von Lang-Lkw sind unter Umständen die damit im Zusammenhang stehenden Fragen beziehungsweise Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung sowie die Bremswirkung bei sich ändernden Randbedingungen neu zu hinterfragen.
- Vor dem Hintergrund der bei den Lang-Lkw-Typen 1 und 5 vorliegenden Achsanzahl kann deren Einsatz unter Umständen zu einer höheren Straßenbeanspruchung führen. Da zu diesen Typen während der Analysephase nahezu keine Daten vorlagen, sollten die Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung bei einem verstärkten Einsatz dieser beiden Lang-Lkw-Typen betrachtet werden.
- Ungleiche Beladungszustände der einzelnen Fahrzeugeinheiten können zu unterschiedlichen Teil-Gesamtgewichten und damit letztlich, wie auch heute schon im konventionellen Schwerverkehr, zu höchst unterschiedlichen Achslasten führen. Vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit wäre hier zu untersuchen, welche maximal zulässige Achslastdifferenz, insbesondere zwischen den einzelnen Fahrzeugeinheiten, noch zulässig wäre.

Dem identifizierten weiteren Forschungsbedarf soll im Rahmen der geplanten Abschlussphase nachgegangen werden. Dazu gilt es ein dementsprechendes Untersuchungsprogramm aufzulegen. Nach Ablauf der Ausnahme-Verordnung zum 31.12.2016 sind die gegebenenfalls aus der Abschlussphase und der gesamten Datenerhebungsphase gewonnenen Erkenntnisse zusammen mit den nun bereits vorliegenden Ergebnissen aus der Analysephase zu bewerten. Die gesamten Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleituntersuchung werden dann in einem abschließenden Bericht nach Ende des Feldversuchs zusammengefasst.



## Literaturverzeichnis

Aarts, L., Honer, M. (2010): Längere und Schwerere Lastkraftwagen (LZVs) in den Niederlanden – Einblicke und Erfahrungen im Zeitraum 1995–2010. Rijkswaterstaat - Dienst Verkeer en Scheepvaart, Herausgegeben vom Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

AUTO BILD (2013): <http://www.autobild.de/?bid=908263&umfrageergebnis=1&choice=0>; 23.09.2013

Bachmann, C., Wallentowitz, H., Wöhrmann, M. (2007): Wissenschaftliche Begleitstudie zum Feldversuch des verlängerten Sattelanhängerkonzeptes (Eurotrailer). Gutachten des Instituts für Kraffahrwesen im Auftrag der Kögel Fahrzeugwerke, Aachen

BAG (2014): Mautstatistik – Jahrestabellen 2013. Köln

Baier, M., Kemper, D. (2013): Auswirkungen von Lang Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 09.0181/2011/CRB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen / Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen University

Baltzer, W., Kündig, P., Locher, P., Mayer, G., Riepe, W., Steinauer, B., Zimmermann, U., Zulauf, C. (2009): Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B66

Bark, A. (1994): Auswirkungen von Lkw-Überholverböten auf Autobahnen auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen. Dissertation an der Technischen Hochschule Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen

BASt (2012): Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen – TLS 2012. Bergisch-Gladbach

BASt (2012): Einsatzfreigabeliste der Bundesanstalt für Straßenwesen. [www.bast.de](http://www.bast.de); Stand 09/2012

Bendel, W., Pflug, H.-C., Schoch, D., Schröter, H. (2009): Endbericht zum Pilotversuch „Ecocombi“. Drucksache 14/5207 Landtag Baden-Württemberg, Stuttgart

Binnenbruck, H. H. (2005): Niederländische Initiative eines Modellversuchs mit 60 t - Lkw. Internationales Verkehrswesen, Heft 11

BMVBS (2010): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – Logistikinitiative für Deutschland.

BMVBS (2011): Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusnV). <https://www.ebundesanzeiger.de> unter „Amtlicher Teil des Bundesanzeigers“, Veröffentlichungsdatum 21.12.2011

Cook, T.D., Campbell, D.T. (1979): Quasi-experimentation. Design and analysis for field settings. Chicago, IL, U.S.A.: Rand McNally College Publishing Company

Balsen, W. (2014): EU: Lang-LKW zurück auf „Los“ – EP-Ausschuss klammert Grenzfahrten der Fahrzeuge aus Kompromiss über Maße und Gewichte aus /Abgeordnete fordern neuen Anlauf. In: DVZ (23), 21.03.2014, S. 6

DEKRA (2014a): Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Beton. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 03.471/2011/CRB, Egelhaaf, M., Gärtner, M., Bereiche "Unfallforschung" und "Crash Test Center", Stuttgart

DEKRA (2014b): Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Stahl. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 03.491/2011/CRB, Egelhaaf, M., Gärtner, M., Bereiche "Unfallforschung" und "Crash Test Center", Stuttgart

DIN EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen. Beuth Verlag GmbH

Eilers, K., Nachreiner, F., Hänecke, K. (1986): Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 40 (NF 12), 215-224

Europäischer Rat (1989): Richtlinie 89/461/EWG des Rates vom 18. Juli 1989 zur Änderung der Richtlinie 85/3/EWG über Gewichte, Abmessungen und bestimmte andere technische Merkmale bestimmter Straßenfahrzeuge hinsichtlich der Festlegung von maximal zulässigen Abmessungen für Straßenfahrzeuge

FAT (2008): Fahrdynamische Analyse innovativer Nutzfahrzeugkonzepte. Schriftenreihe der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V., Heft 220

FGSV (2006): Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT). Köln

FGSV (2006): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt). Köln

FGSV (2008a): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA). Köln

FGSV (2008b): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN). Köln

FGSV (2009a): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt). Köln

FGSV (2009b): Richtlinien für den passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS). Köln

FGSV (2010): Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) – Lichtzeitanlagen für den Straßenverkehr. Köln

FGSV (2012a): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Entwurf der fortgeschriebenen Fassung, Köln

FGSV (2012b): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO). Köln

FGSV (2013): Richtlinien für die Anlagen von Landstraßen (RAL), Köln

Fitschen, A., Nordmann, H. (2013): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011. Heft V 231 der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Friedrich, B., Hoffmann, S., Bräckelmann, F. (2007): Auswertung des niedersächsischen Modellversuchs zum Einsatz von „GigaLinern“. Untersuchung im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Leibniz Universität Hannover

Friedrich, B., Hoffmann, S., Axer, S., Niemeier, W., Tengen, D., Adams, C., Santel, G. (2012): Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs. Unveröffentlichter 2. Zwischenbericht zum FE 77.0501/2010 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Technische Universität Braunschweig / SHP Ingenieure GbR Hannover

Friedrich, B., Hoffmann, S., Axer, S., Niemeier, W., Tengen, D., Adams, C., Santel, G. (2013): Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 77.0501/2010 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Technische Universität Braunschweig / SHP Ingenieure GbR Hannover

Geistefeldt, J., Sievers, A. (2014): Untersuchung des Einflusses von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw) auf den Verkehrsablauf. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zur Erweiterung des FE 03.0459/2009/OGB „Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten“, Lehrstuhl für Verkehrswesen – Planung und Management, Ruhr Universität Bochum

Glaeser, K.-P., Zander, U., Lerner, M., Roder, K., Weber, R. Wolf, A., Zander, U. (2006): Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Glaeser, K.-P., Zander, U., Kaschner, R., Roder, K., Lerner, M., Hegewald, A., Löhe, U. (2008): Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Glaeser, K.-P., Ritzinger, A. (2012): Comparison of the performance of heavy vehicles – Results of the OECD study ‘Moving Freight with Better Trucks’. Transport Research Arena – Europe, Athen, 2012

Glaser, M.O., Schmid, D., Glaser, W.R., Waschulewski, H. (2014): Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 82.0544/2012 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Universität Tübingen, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Psychologie / MTO Psychologische Forschung und Beratung GmbH, Tübingen

Hellung-Larsen, M. (2011): Evaluation of Trial with European Modular System – Danish Experience. In: Conference paper, 12th International Symposium on Heavy Vehicle Transportation Technology, The Danish Road Directorate

Hils, P., Adler, U. (2010): 40 t-EuroCombi – Eine mögliche Alternative im Volumentransportbereich. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Pilotprojektes in Thüringen. Fachhochschule Erfurt, Verkehrs- und Transportwesen

Hoffmann, S., Uphoff, K., Sattler, J. (2009): Erfahrungen beim Einsatz von Großfahrzeugen (Lkw und Busse). Arbeitspapier des AK 2.6.4 „Großraumfahrzeuge“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (unveröffentlicht), Köln

Kathmann, T., Roggendorf, S., Kemper, D., Baier, M. (2013): Auswirkung von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zur Erweiterung des FE 82.0509/2010 „Verkehrssicherheit in Einfahrten auf BAB“ im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen / Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen University / BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen

Kellermann, G. (2002): Erkenntnisse zum Lkw-Überholverbot auf Autobahnen. In: Straßenverkehrstechnik (46), H. 4, S. 196-200

Keuchel, S., Ernst, H. (2006): Abschätzung der Entwicklung der Straßengüterverkehrszusammensetzung infolge einer Einführung von Fahrzeugkonzepten mit höheren Gesamtgewichten und / oder Fahrzeuglängen. Institut für Volkswirtschaftslehre, Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik, Gelsenkirchen.

Kienzler, H.-P. (2005): Innovative Fahrzeugkonzepte, Teilprojekt "Verkehr und Logistik". Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Frankfurt

Kommission der europäischen Gemeinschaft (1996): Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr

Lippold, C., Schemmel, A. (2013): Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 09.0180/2011/CRB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwick-

lung, Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsanlagen, Lehrstuhl für Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen

Lippold, C., Schemmel, A. (2014): Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 89.0284/2013 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsanlagen, Lehrstuhl für Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen

Mayer, G., Brenninger, S., Großmann, S. (2013): Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 15.0550/2011/ERB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, PTV Transport Consult GmbH, Stuttgart

National Institute of Standards and Technology (NIST): Fire Dynamics Simulator (FDS), Version 5.5.3a

OECD (2011): Moving Freight with Better Trucks: Improving Safety, Productivity, and Sustainability. International Transport Forum, Paris

Ramberg, K. (2004): Three Short become Two Log, if the EU follows the example set by Sweden and Finland. Fewer trucks improve the Environment. Confederation of Swedish Enterprise

Räsänen et. al. (2004): Impacts of reduced speed limits of large articulated trucks driving wintertime. Publications of the Ministry of Transportation and Communication 68/2004, Helsinki

Räsänen, J., Peltola, H. (2005): Seasonal speed limits and heavy vehicles. Nordic Road and Transport Research. No. 2/3, 2005, S. 22ff

Röhling, W., Burg, R., Klaas-Wissing, T. (2014): Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw - Grundlagenermittlung. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 89.0273/2012 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, TCI Röhling Transport Consulting International, Waldkirch / Universität St. Gallen, Lehrstuhl für Logistikmanagement

Schnüll, R., Hoffmann, S., Kölle, M., Engelmann, F. (2001): Grundlagen für die Bemessung von fahrgeometrischen Bewegungsräumen für Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht. Heft 827 der Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn

Steierwald, G., Jacobs, F., Feier, H. (1986): Überholverhalten und Qualität auf zweispurigen Landstraßen mit Gegenverkehr. Heft 472 der Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, herausgegeben vom Bundesminister für Verkehr, Bonn

Süßmann, A., Förg, A., Wenzelis, A. (2014): Lang-Lkw: Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 82.0543/2012 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Technische Universität München, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1737) geändert worden ist.

Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 (BGBl. I S. 1793), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 13. Januar 2012 (BGBl. I S. 103) geändert worden ist.

Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr (BOKraft) vom 21. Juni 1975 (BGBl. I S. 1573), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 8. November 2007 (BGBl. I S. 2569) geändert worden ist.

Wangrin, G., Stürmer, B., Wöhrmann, M. (2009): Technische Erprobung von Fahrzeugkombinationen mit einer Gesamtlänge bis 25,25m („GigaLiner“). Abschlussbericht NRW Modellversuch. TÜV Rheinland Kraffahrt GmbH, Köln

Wellner, F., Uhlig, W. (2014): Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 04.0254/2011/ERB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Technische Universität Dresden / Uhlig & Wehling, Beratende Ingenieure, Mittweida

Zimmermann, M., Riffel, S. (2014): Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 09.0182/2011/CRB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen, Abteilung Straßenentwurf und -betrieb, Karlsruhe

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), Teil 5, Tunnelbau (ZTV-Ing – Kurve)

## Anhang

## A1 Elemente planfreier Knotenpunkte

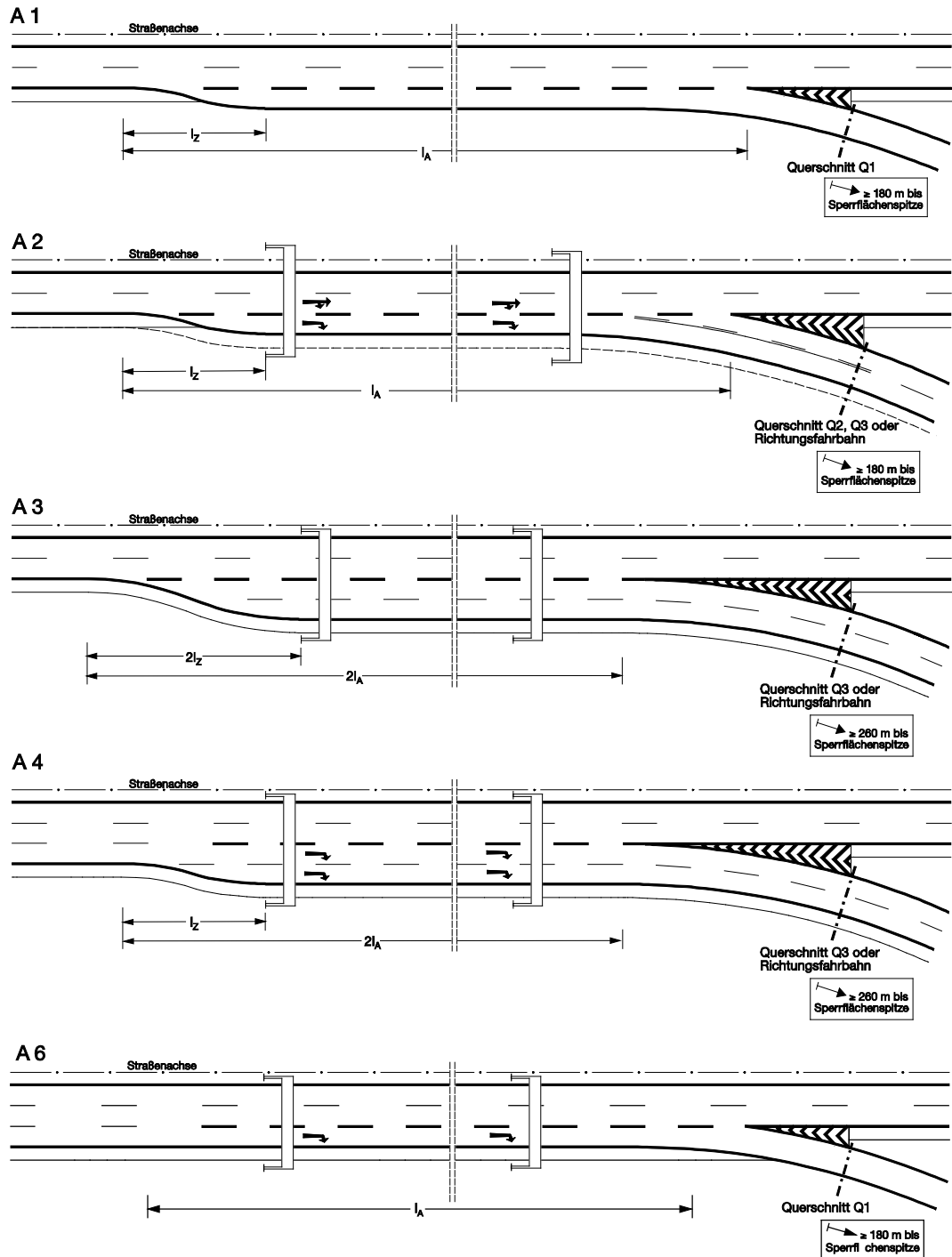


Bild A 1: Ausfahrttypen an Autobahnen gemäß den RAA (FGSV, 2008a)

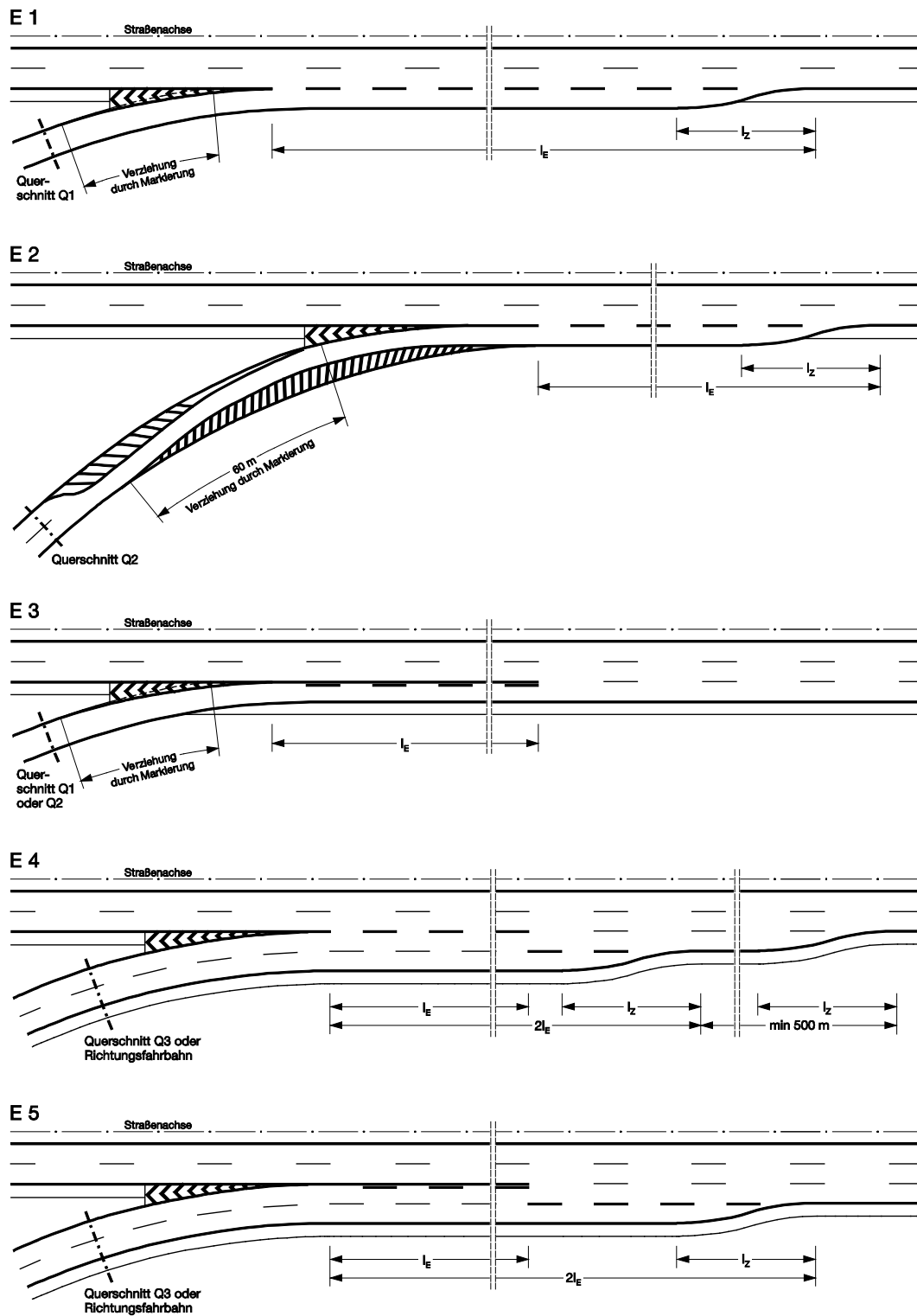


Bild A 2: Einfahrtstypen an Autobahnen gemäß den RAA (FGSV, 2008a)

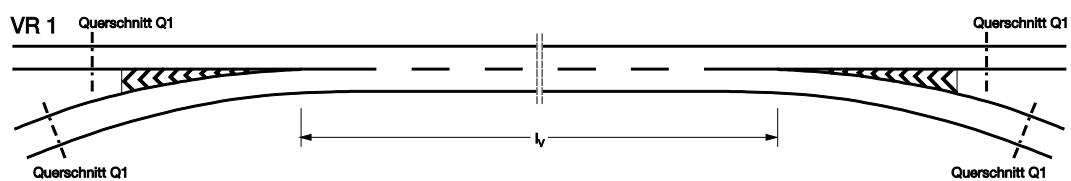


Bild A 3: Verflechtungsstrecke des Typs VR 1 gemäß den RAA (FGSV, 2008a)