

# Feldversuch mit Lang-Lkw

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 311

**bast**

# Feldversuch mit Lang-Lkw

## Abschlussbericht

von

Marco Irzik  
Thomas Kranz  
Jan-André Bühne  
Klaus-Peter Glaeser  
Sigrid Limbeck  
Jost Gail  
Wolfram Bartolomaeus  
Andreas Wolf  
Christof Sistenich  
Ingo Kaundinya  
Ilja Jungfeld  
Uwe Ellmers  
Janine Kübler  
Hardy Holte  
Rolf Kaschner

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)  
Bergisch Gladbach

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 311

**baSt**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt: F1100. 6111030:**  
Feldversuch mit Lang-Lkw

### Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 – 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 – 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-413-5

Bergisch Gladbach, Oktober 2018

## Kurzfassung – Abstract

### Feldversuch mit Lang-Lkw

2011 beauftragte das damalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung die BAST mit der wissenschaftlichen Begleitung des bundesweiten Feldversuchs mit Lang-Lkw. Lang-Lkw dürfen mit bis zu 25,25 m zwar um 6,50 m länger als nach den geltenden Regelungen ausgeführt sein; ein höheres Gesamtgewicht als die auch heute schon geltenden 40 t bzw. 44 t im Vor- und Nachlauf zum kombinierten Verkehr ist bei Lang-Lkw hingegen nicht zulässig. Der Versuch startete mit Wirkung vom 01.01.2012 und war auf die Dauer von fünf Jahren ausgelegt. Er ist Bestandteil des Aktionsplans Güterverkehr und Logistik des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Die gesetzliche Grundlage zur Durchführung des Feldversuchs bildet die vom Bundesminister für Verkehr erlassene Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge, kurz LKWÜberlStVAusnV, vom 19.12.2011 sowie deren zugehörige Änderungs-Verordnungen. Eine der Vorgaben betraf zum Beispiel den auf ein geprüftes Streckennetz beschränkten Einsatz der Lang-Lkw, eine andere die Teilnahme an der wissenschaftlichen Begleitung.

Der Zweck der wissenschaftlichen Begleitung bestand unter anderem in einer Versachlichung des Themas „Längere Lkw“. 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 geäußert. Die Kritik betrifft prinzipiell und relativ pauschal folgende drei zentrale Punkte:

- Die Verkehrssicherheit würde durch größere und/oder schwerere Lkw gefährdet.
- Die Infrastruktur würde durch größere und/oder schwerere Lkw derart beansprucht, dass eine Ertüchtigung und/oder Instandsetzung die Allgemeinheit mit enormen Kosten belasten würde.
- 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 aber schwerere Lkw handelt, hat keine grundlegende Veränderung in der Diskussion gebracht.

Ziel der Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung war es, alle in der Öffentlichkeit diskutierten Hoffnungen in und Bedenken gegen den Einsatz von Lang-Lkw umfassend zu berücksichtigen. Aufbauend auf einer internationalen Literaturstudie und unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie öffentlichen Diskussion wurden diejenigen Aspekte ermittelt und aufgelistet, die 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 und weiterentwickelt. Zur Beantwortung der identifizierten Fragestellungen wurden mehrere Forschungsprojekte initiiert und im Feldversuch zum Teil von der BAST selbst, überwiegend jedoch von externen Forschungsinstituten bearbeitet.

Der zum Ende des Feldversuchs vorgelegte Abschlussbericht der BAST enthält neben den für die Konzeption der Gesamtuntersuchung erforderlichen rechtlichen Grundlagen und vorliegenden Erkenntnissen aus der Literatur die Zusammenfassungen der verschiedenen Forschungsprojekte aus allen Untersuchungsphasen der wissenschaftlichen Begleitung.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass sich bedeutende Probleme im Feldversuch nicht gezeigt haben. Gemessen an der Vielzahl betrachteter Fragestellungen ist die Anzahl der identifizierten potenziellen Herausforderungen gering. Zudem können die identifizierten Herausforderungen bei der derzeit vorhandenen Anzahl an im Feldversuch beteiligten Lang-Lkw und auch noch unter der Annahme von deutlich höheren als im Rahmen der Untersuchungen zu den Verkehrsnachfragewirkungen prognostizierten Anteilen von Lang-Lkw am Güterverkehrsaufkommen als hinnehmbar oder beherrschbar eingestuft werden. Es kann zudem festgehalten werden, dass der Einsatz des Lang-Lkw eine positive Verkehrsnachfragewirkung bezüglich einer

Reduktion von gefahrenen Lkw-Kilometern und dementsprechend auch eine Reduktion von Klimagasen und Luftschadstoffen im Versuch gezeigt hat und zukünftig haben kann. Es zeigte sich bislang, dass Verlagerungseffekte von der Bahn beziehungsweise vom Binnenschiff auf den Lang-Lkw vor allem aufgrund der bestehenden Gewichts-, aber auch der tatsächlichen beziehungsweise im Modell angenommenen Streckenbeschränkungen sehr gering und damit vernachlässigbar sind. Wenn gleich deutlich wird, dass der Lang-Lkw nur eine mögliche Teillösung zur Eindämmung des Güterverkehrswachstums und den damit einhergehenden Umweltwirkungen darstellt, ist der Einsatz aus betriebswirtschaftlicher und verkehrsnachfrageseitiger Sicht in bestimmten Bereichen und Einsatzfeldern sinnvoll.

### German field trial with longer trucks

As one of the possible solutions to address the challenges associated with the increase of freight traffic on roads the introduction of heavy goods vehicles with a higher capacity for freight volume was discussed in many European countries. In 2011, the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development commissioned BASt to conduct a supporting scientific study of the nationwide field trial of overlength vehicles and vehicle combinations (longer trucks). Longer trucks may be designed with a greater length (up to 25.25 m) than is allowed under the current regulations. However, a higher gross weight than the currently applicable 40 tonnes (or 44 tonnes on the initial and terminal hauls in combined transport) is not permissible. The trial was launched on 1 January 2012 and was scheduled to run for five years. The legal basis for the conduct of the field trial is constituted by the Regulations issued by the Federal Minister of Transport on Exemptions from Road Traffic Law Provisions governing Overlength Vehicles and Vehicle Combinations (the Exemption Regulations) of 19 December 2011 and the relevant amending regulations.

The purpose of the supporting scientific research was also to bring greater objectivity to the discussions on the issue of longer trucks. Taking as their starting point the arguments advanced in the past against longer and heavier trucks, pressure groups representing the railways, environmentalist groups and motoring organizations also expressed concerns regarding the increase in length, which

was the only subject addressed in the field trial. The criticism concerns, as a matter of principle and in a relatively wholesale manner (i. e. primarily without differentiation between the different types of longer trucks), the following three key issues:

- It is claimed that longer and/or heavier trucks would be detrimental to road safety.
- The pavement load imposed on the infrastructure by longer and/or heavier trucks would be so great that its strengthening and/or repair would place a huge cost burden on the general public.
- As a result of the likely efficiency enhancement and the associated cost advantages in the road haulage sector, freight traffic would be shifted from the railways to the roads and/or new road traffic would be induced, meaning that ultimately there would be more rather than less road freight traffic.

Nor has the fact that longer trucks means exclusively longer and not heavier trucks brought about any fundamental change in the discussion. One of the key issues in the discussions is the fear regarding the impact on the demand for transport, which assumes a modal shift to the detriment of the railways.

The objective of the approach to the supporting scientific research was to comprehensively take into account all hopes in and reservations concerning the operation of longer trucks discussed in public. By way of preparation for the trial and the associated supporting scientific research, the relevant questions were first identified. Within the scope of a study of the international literature, and taking account of the regulatory framework and the public discussion, those aspects mentioned in various sources as possible opportunities and risks regarding the operation of longer trucks were identified and listed. This list was discussed during a colloquium of experts. The outcome was an overview of the thematic issues deemed to be relevant and to be studied. The study programme of the supporting scientific research thus covered these thematic areas. To answer the questions, several research projects were launched. Some of these were conducted by BASt itself, but most were done by external research institutes.

Within the different research projects multiple scientific methods were used to get the relevant findings. Mostly empirical observations and tests,

but also simulations, modelling and theoretically considerations and calculations were part of the investigations.

The supporting scientific research addressed a multiplicity of presumed risks or even fears regarding a more or less great need to adapt the infrastructure. On the basis of the comprehensive study programme, it emerged that the deployment of longer trucks will have no adverse impact on a large number of the aspects under consideration under the general conditions of the field trial. It will be possible to compensate for some of the potential challenges that may arise depending on the type and number of longer trucks using the highway facilities by substituting longer trucks for conventional trucks, as observed in the field trial (turn 3 into 2), and remedy them to varying degrees by modifying the road infrastructure. Longer trucks' share of the total volume of freight traffic is the main factor for appraising the risks identified. Low shares, which would appear likely given the most recent findings from the field trial, may result in them being classified as acceptable or manageable.

## Summary

### German field trial with longer trucks

## 1 Introduction

In 2011, the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development commissioned the Federal Highway Research Institute to conduct a supporting scientific study of the nationwide field trial of overlength vehicles and vehicle combinations<sup>1</sup> (longer trucks). Longer trucks may be designed with a greater length (up to 25.25 m) than is allowed under the current regulations. However, a higher gross weight than the currently applicable 40 tonnes (or 44 tonnes on the initial and terminal hauls in combined transport)<sup>2</sup> is not permissible. Figure 1 shows possible configurations of the five different types of longer trucks permissible in the field trial.

The trial was launched on 1 January 2012 and was scheduled to run for five years. It is part of the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure's Freight Transport and Logistics Action Plan. The legal basis for the conduct of the field trial is constituted by the Regulations issued by the Federal Minister of Transport on Exemptions from Road Traffic Law Provisions governing Overlength Vehicles and Vehicle Combinations (the Exemption Regulations) of 19 December 2011 and the relevant amending regulations.

The final report presented by the Federal Highway Research Institute at the end of the field trial builds on an interim report (IRZIK et al., 2014) presented in 2014. The thematic structure of the final report follows that of the interim report. The final report contains not only the legal bases and available findings from the literature that are required for the overall study approach, but also the summaries of the various research projects from all study phases of the supporting scientific research. All reports on the field trial can be downloaded from [www.bast.de](http://www.bast.de).

<sup>1</sup> Hereinafter often referred to simply as trucks. This means that in this report, the term trucks is used to refer not only to single vehicles but also vehicle combinations.

<sup>2</sup> Hereinafter abbreviated as 40 t/44 t (CT).

## 2 From the ‚Gigaliner‘ to the ‚longer truck‘

Compared with international experiences, Germany has so far not been able to draw on much empirical evidence when it comes to an assessment of the operation of overlength/overweight vehicles and vehicle combinations. Since there is no sign of the discussions in Europe on this issue coming to an end and these new vehicle designs are seen as a component of the strategy to manage the forecast rise in the volume of freight traffic, the Federal Government elected in 2010 stated in its coalition agreement that it would evaluate the opportunities and risks associated with such vehicle designs within the framework of a nationwide field trial based on real world operations.

Earlier studies conducted by the Federal Highway Research Institute (GLAESER et al., 2006) have

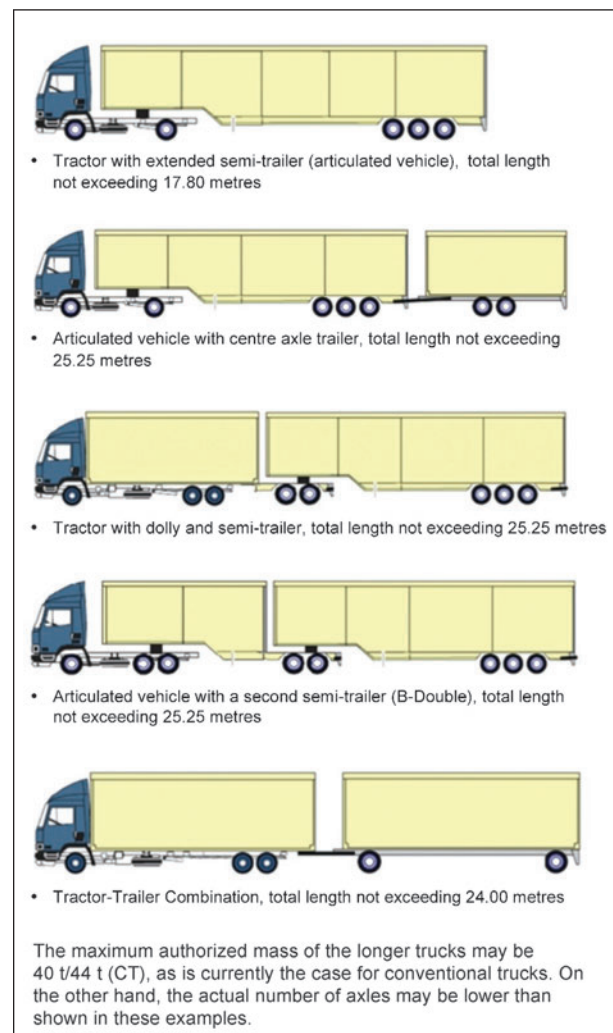


Fig. 1: Possible overlength vehicles and vehicle combinations (longer trucks)

already shown that the infrastructure, especially the bridge structures, is not designed for vehicles or vehicle combinations with a gross vehicle weight higher than that which is currently permissible (40 tonnes or 44 tonnes in CT). Moreover, the higher kinetic energy associated with an increase in weight would, in the event of an accident, involve a significant deterioration in road safety. It was for this reason that the Federal Government agreed to allow only longer, and not heavier, trucks to be tested in a field trial. The associated focus on the movement of goods that are as lightweight as possible is also designed to have the effect that the railways and inland waterways face little or no competition.

These issues, especially that of higher weights, are emotionally charged in public and are generally linked to the Gigaliner label (longer and heavier vehicle). For the purposes of clear differentiation, the term longer truck has been coined for the trucks that are only longer and not heavier. However, numerous reports, individual surveys and many discussions have illustrated that this terminological distinction is often still unclear even towards the end of the field trial.

Another aspect that results in misunderstandings in the discussions surrounding longer trucks is that in some cases a basic distinction has to be made between the different types of longer trucks. Conversations with people who have already heard the term longer trucks reveal that they often only associate it with Types 2, 3 and 4, which have a maximum length of 25.25 m (cf. Figure 1). Whereas Type 5, with a total length not exceeding 24.00 m, can still be considered as belonging to this group with regard to many issues, Type 1 often requires separate consideration. Because although this longer truck, with a total length of 17.80 m, is 1.30 m longer than a conventional articulated vehicle, it is almost one metre shorter than a conventional tractor-trailer combination.

### 3 Parameters of the field trial

#### 3.1 Legal bases

The field trial has been underway since 1 January 2012 within the scope of Exemption Regulations limited to five years and based on section 6(1) in conjunction with section 6(3) of the Road Traffic Act.

These Exemption Regulations regulate the conditions that have to be met for certain overlength vehicles and vehicle combinations to be allowed to use the roads in derogation from the provisions of the Road Traffic Regulations and the Road Vehicles Registration and Licensing Regulations. In particular, they define the requirements to be met by the vehicles or vehicle combinations and by the drivers. In addition, they list the requirements relating to loads, road user behaviour (overtaking) and participation in the supporting scientific research.

The Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development did not see any alternative to the Exemption Regulations, because the option of the federal states issuing permits under section 29(3) of the German Road Traffic Regulations presupposes the carriage of indivisible loads. This means that the parties involved in the field trial do not go through an explicit authorization or approval procedure, but simply have to meet the requirements and conditions set out in the Exemption Regulations. One of these conditions is that they have to inform the Federal Highway Research Institute of their involvement in the field trial (cf. section 12 of the Exemption Regulations).

#### 3.2 Approved routes and authorized network

Although longer trucks also have to meet the turning circle requirements set out in section 32d of the German Road Vehicles Registration and Licensing Regulations, experience so far suggests that it might not per se be possible for the vehicle combinations, especially those with a length of up to 25.25 m, to operate on all highway facilities. Longer trucks may therefore operate only on suitable origin-destination pairs, i.e. only on roads that have been declared suitable by the competent ministries of the federal states concerned for the operation of longer trucks, that have been notified to the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure and that have been subsequently published in the Exemption Regulations. In accordance with section 2 of the Exemption Regulations, therefore, longer trucks may only be operated on the routes stipulated in the Annex to the Regulations (authorized network). One exception is the articulated vehicle with a total length not exceeding 17.80 m (Type 1) shown in Figure 1 above. In the seven federal states



actively participating in the field trial at the time of entry into force of the Exemption Regulations (Bavaria, Hamburg, Hesse, Lower Saxony, Saxony, Schleswig-Holstein and Thuringia), articulated vehicles with an extended semi-trailer may use the entire road network of any given federal state. North Rhine-Westphalia joined the scheme as the eighth federal state with the entry into force of the Fifth Amending Regulations on 15 July 2015. In the other federal states participating in the field trial, Type 1 vehicles may only use the road network approved for Types 2 to 5.

Figure 2 shows the authorized network as at 31 October 2016. However, this map does not have a legally binding effect. Only the legally binding precise definition of the approved routes in the Sixth Amending Regulations on the field trial applicable at the time of reporting have such an effect. According to the Sixth Regulations amending the Regulations on Exemptions from Road Traffic Law Provisions governing Overlength Vehicles and Vehicle

Combinations, the authorized network has a total length of almost 11,600 kilometres, of which around 70% are federal motorways. This is equivalent to just over 60% of all federal motorways in Germany. The sections of federal highways, regional roads and district roads approved for use by longer trucks account for only a small percentage of the total length of the inter-urban roads (excluding federal motorways) of the federal states participating in the field trial. The proportion of local roads on the authorized network in terms of all local roads in Germany is a few permille.#

Some federal states refuse to allow the operation of longer trucks. This resulted in a situation where several federal states were not involved in the field trial from the outset and thus have not designated any suitable routes for the authorized network on which longer trucks may operate. In Saxony-Anhalt, for instance, there are just a few isolated infills of gaps between motorways. It was not until the Second Amending Regulations that Bremen approved its motorways and Mecklenburg-Western Pomerania approved individual routes for use by longer trucks. With the Fifth Amending Regulations, Baden-Württemberg notified part of its motorway network and individual routes on the secondary network as suitable. Finally, the Sixth Amending Regulations saw the addition of routes in Brandenburg. Thus, at the end of the field trial, only three federal states are not participating in the field trial at all, although, according to press reports, Rhineland-Palatinate and Saarland now also want to notify routes.

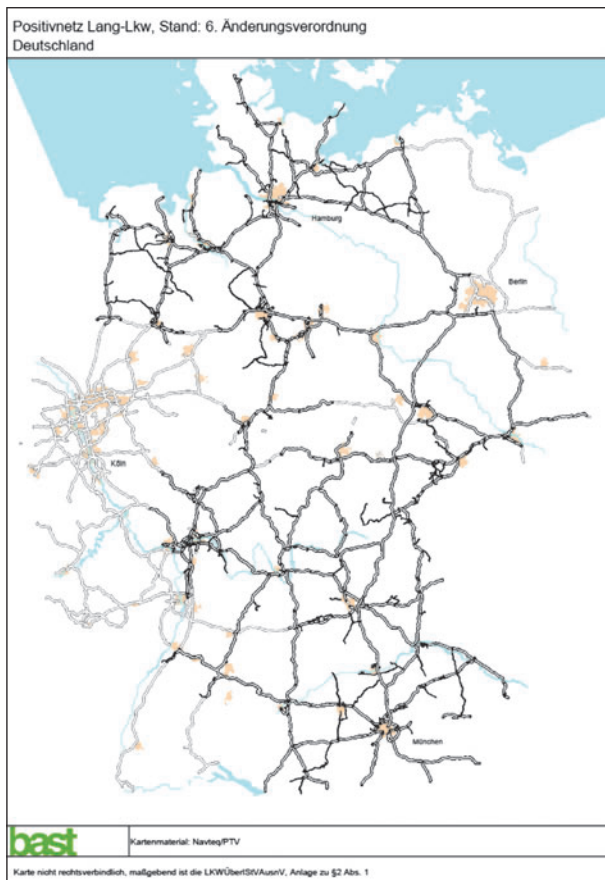


Fig. 2: Non-binding overview of the authorized network in accordance with the Sixth Regulations amending the Regulations on Exemptions from Road Traffic Law Provisions governing Overlength Vehicles and Vehicle Combinations of 29 April 2016

## 4 The approach to the supporting scientific research

The purpose of the supporting scientific research was also to bring greater objectivity to the discussions on the issue of longer trucks. Taking as their starting point the arguments advanced in the past against longer and heavier trucks, pressure groups representing the railways, environmentalist groups and motoring organizations also expressed concerns regarding the increase in length, which was the only subject addressed in the field trial. The criticism concerns, as a matter of principle and in a relatively wholesale manner (i. e. primarily without differentiation between the different types of longer trucks, cf. section 2), the following three key issues:

<p><b>Vehicles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deceleration</li> <li>• Vehicle dynamics</li> <li>• Wind stability</li> <li>• Blind spot</li> <li>• Rate of accidents/<i>conflict analysis</i></li> <li>• Recovery and towing possibilities</li> <li>• Obstructing the vision of other road users</li> <li>• Suction effect on two-wheeled vehicles</li> <li>• <i>Vehicle marking</i></li> <li>• <i>Aerodynamics</i></li> </ul> <p><b>Infrastructure</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stress and load on road infrastructure</li> <li>• Tractrices/trafficability of transport facilities</li> <li>• Overtaking, clearance at junctions</li> <li>• Effects on traffic flows</li> <li>• Roadworks sites</li> <li>• Safety barriers</li> <li>• Fire behaviour in tunnels</li> <li>• Adherence to/acceptance of the route</li> </ul>	<p><b>Drivers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychological aspects – drivers</li> <li>• <i>Shortage of drivers</i></li> <li>• <i>Road user behaviour</i></li> </ul> <p><b>Freight transport, logistics and the environment</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>(Operational) efficiency</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fuel consumption</li> </ul> </li> <li>• <i>Emissions</i></li> <li>• <i>Effects on transport demand</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Modal shift impact</li> <li>– <i>Induced traffic</i></li> </ul> </li> <li>• <i>Impact on CT, inland connections, swap body traffic</i></li> <li>• Fine distribution/loading and unloading points</li> <li>• Vehicle productivity</li> <li>• <i>Impact on industrial settlements</i></li> <li>• <i>Impact on commercial structures</i></li> </ul> <p><b>Miscellaneous</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychological aspects – other road users</li> <li>• <i>Public response</i></li> </ul> <p style="text-align: right;"><i>Text in italics: additional proposals by the external experts</i></p>
---	---

Fig. 3: Outcome of the colloquium of experts on 17 May 2011

1. It is claimed that longer and/or heavier trucks would be detrimental to road safety.
2. The pavement load imposed on the infrastructure by longer and/or heavier trucks would be so great that its strengthening and/or repair would place a huge cost burden on the general public.
3. As a result of the likely efficiency enhancement and the associated cost advantages in the road haulage sector, freight traffic would be shifted from the railways to the roads and/or new road traffic would be induced, meaning that ultimately there would be more rather than less road freight traffic.

Nor has the fact that 'longer trucks' means exclusively longer and not heavier trucks brought about any fundamental change in the discussion. One of the key issues in the discussions is the fear regarding the impact on the demand for transport, which assumes a modal shift to the detriment of the railways.

The objective of the approach to the supporting scientific research was to comprehensively take into account all hopes in and reservations concerning the operation of longer trucks discussed in public. By way of preparation for the trial and the associated supporting scientific research, the relevant questions were first identified. Within the scope of a study of the international literature, and taking account of the regulatory framework and the public discussion, those aspects mentioned in various sources as possible opportunities and risks regarding the

operation of longer trucks were identified and listed. This list was discussed during a colloquium of experts in May 2011. The outcome was an overview of the thematic issues deemed to be relevant and to be studied (cf. Figure 3).

The experts attending the colloquium were also in agreement that, to complement the observations and surveys in the practical part of the field trial, certain issues should be evaluated experimentally or theoretically – for instance impact tests on safety barriers or fire behaviour in tunnels.

The study programme of the supporting scientific research thus covered the thematic areas listed in Figure 3. To answer the questions, several research projects were launched. Some of these were conducted by the Federal Highway Research Institute itself, but most were done by external research institutes.

## 5 Statistical analyses

Within the scope of the field trial, empirical surveys were carried out among the participating haulage operators regarding corporate structures, vehicles and transport operations. In 2013, a twelve-month continuous trip survey (BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING, 2014) was conducted. To validate the findings of this baseline survey and to generate new findings, a three-month follow-up survey was carried out at the end of 2015 (BURG, SCHREMPF,

RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016). The main findings of the surveys regarding transport operations can be summarized as follows (values from the baseline survey in parentheses):<sup>3</sup>

- After extrapolation, around 61,900 (13,500) transport operations by longer trucks per annum were recorded in the follow-up survey.
- The resultant 13.6 (2.53) million vehicle kilometres were travelled by a total of 120 (46) longer trucks operated by 46 (21) companies, although it should be noted that the number of participating operators and the number of longer trucks deployed rose in the period covered by the survey. The mileage of longer trucks documented in this way is roughly equivalent to 0.5 (0.1) permille of the tolled trips made in 2015 (2013) (29.7 (27.2) billion km).<sup>4</sup>
- The volume of freight carried by the longer trucks was 843,500 (144,000) tonnes.
- The average trip length per longer truck trip was around 240 (200) km, with the values ranging from just over 10 km to almost 800 km per trip.
- More than 91 (83)% of the trips were between warehouses and/or production sites as shuttle services or as the main leg.
- The spectrum of the goods carried by the longer trucks ranges from parts for the automotive industry through domestic appliances (white goods), air cargo, clothing and food to packaging material.

Based on the statistical analyses within the scope of the studies by SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) and FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) and their partial updating by the Federal Highway Research Institute, the following information can be provided on the longer

trucks registered at the Federal Highway Research Institute:

- At the time of publication of the final report (30 September 2016), 59 haulage companies had notified 158 longer goods vehicles to the Federal Highway Research Institute for participation in the field trial. Thus, the longer trucks participating in the field trial account for around 0.3 permille of the number of vehicles subject to tolls<sup>5</sup> calculated by the Federal Office for Goods Transport in 2013 of around 580,000 (Federal Office for Goods Transport, 2014).
- Individual leaps in the continuous increase in the number of notifications can usually be explained by a prior enlargement of the authorized network within the scope of amending regulations.
- However, the number of participants notified is not equivalent to the number of persons actually driving. The information concerning this is sketchy. The reason for this is that the Exemption Regulations do not require participants to notify the Federal Highway Research Institute when they withdraw from the scheme. From personal discussions, it is known that some haulage companies announced their intention to participate and then did not participate in the field trial after all or are no longer participating.
- By far the most frequently deployed type is the longer truck of Type 3 (cf. Figure 4), consisting of a tractor with dolly and semi-trailer. Type 2 is in second place. Deployment of this type increased significantly towards the end of the field trial.

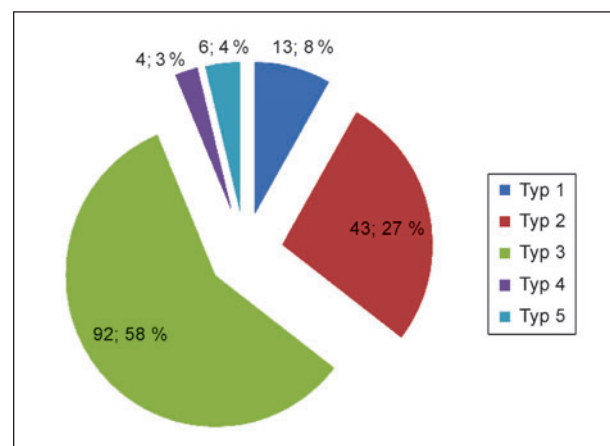


Fig. 4: Distribution of the various types of longer trucks in accordance with the Exemption Regulations notified to the Federal Highway Research Institute (as at 30 September 2016)

<sup>3</sup> The absolute quantitative data from the follow-up survey (2015/2016) were seasonally adjusted using findings from the baseline survey and extrapolated to one year.

<sup>4</sup> Federal Office for Goods Transport (BAG): Mautstatistik Jahrestabellen 2013 und 2015

<sup>5</sup> Since 1 October 2015, vehicles and vehicle combinations with a maximum permissible weight of 7.5 tonnes or more have been subject to tolls. For this reason, 2013 was chosen as the reference value, as was also the case in the Interim Report (cf. IRZIK et al., 2014), because at that time only trucks with a maximum permissible weight of 12 tonnes or more were recorded as vehicles subject to tolls.

Type 4 and 5 play virtually no role in the field trial. There has also been a significant increase, albeit at a lower level, in the deployment of Type 1 since publication of the Interim Report. In mid-2014, only one single extended articulated vehicle had temporarily participated in the field trial, whereas by the time of publication of the final report this figure had risen to 13 trucks.

## 6 Findings from the study

Despite the fact that the number of participants rose only slowly, although continuously, over the course of the field trial, the supporting scientific research is able to present resilient and thus meaningful findings on numerous issues. For a large number of the issues identified and to be deemed relevant and thus to be studied, the number of participating vehicles and vehicle combinations plays only a minor role. One example here is the review of the trafficability of road facilities. Here, it is not so much the number of participating longer trucks that is of importance. It is much more important that as many different types as possible with unfavourable configurations (wheelbases, points of articulation) in terms of trafficability can be observed.

Against the background of the question as to what impact the operation of longer trucks has on the questions identified compared with the situation without longer trucks, the main findings are summarized and evaluated below.

### 6.1 Opportunities and risks

On the basis of the findings of the scientific research supporting the field trial, the following positive effects of the operation of longer trucks have become apparent:

- This results in efficiency gains and fuel savings between 15% and 25%. However, this is clearly connected with an almost optimally arranged utilization of volume and slots, which was observed in the field trial, although it should be noted that high-capacity utilization is usually necessary for the economically beneficial deployment of longer trucks.
  - Also within the scope of the studies on the impact on transport demand and on the pavement load, it was possible to determine that, if a Type 1 longer trucks is deployed, one trip by the extended articulated vehicle replaces on average 1.07 trips by standard articulated vehicles.
  - Building on the empirical foundations, the model results calculated for transport demand show that there are hardly any intermodal shifts from the railways and inland waterways, not even in terms of freight kilometres (0.1 and 0.3 permille respectively). Thus, on the whole, there is a positive impact on transport demand with regard to a reduction in the number vehicle kilometres actually driven and accordingly also in levels of climate change gases and air pollutants. It should be noted that possible rebound effects – in the form of the transport costs of the freight sector falling as a whole as a result of the efficiency benefits of longer trucks compared with conventional trucks, leading to a greater demand for transport – cannot be derived empirically and thus could not be seriously taken into account in case such effects did occur.
- In addition, the supporting scientific research addressed a multiplicity of presumed risks or even fears regarding a more or less great need to adapt the infrastructure. On the basis of the comprehensive study programme, it emerged that the deployment of longer trucks will have no adverse impact on a large number of the aspects under consideration under the general conditions of the field trial. It will be possible to compensate for some of the potential challenges that may arise depending on the type and number of longer trucks using the highway facilities by substituting longer trucks for conventional trucks, as observed in the field trial (turn 3 into 2), and remedy them to varying degrees by modifying the road infrastructure. Longer trucks' share of the total volume of freight traffic is the main factor for appraising the risks identified. Low shares, which would appear likely given the most recent findings from the field

trial<sup>6</sup>, may result in them being classified as acceptable or manageable. More specifically, the aspects in question are as follows:

- The subject of the field trial is the deployment of longer vehicles and vehicle combinations. On the proviso that, in comparison with the current provisions in section 34 of the German Road Vehicles Registration and Licensing Regulations, the maximum permissible weight of longer goods vehicles of 40 t/44 t (CV) does not change, there are not likely to be any effects on the impact energy in a rear-end collision. The traffic load impacts relevant to bridges result from the heaviest vehicles and vehicle combinations (especially the carriage of abnormal loads), their frequencies and overloading in the entire population of heavy goods vehicles. For this reason, and assuming that the same freight is transported, the replacement of trips made by conventional trucks (turn 3 into 2) by longer trucks that tend to be heavier but remain within the legal maximum permissible weights and are thus lawfully heavier is not likely to cause any relevant changes in the maximum loads on structures.
- Intermodal shifts from the railways and inland waterways to longer trucks were not apparent in the empirical observations of BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014) and BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER (2016), nor are they considered likely given the logistical and freight structures observed in the deployment of longer trucks. This assessment is backed up by the studies into the impact on transport demand.
- In general, it was not possible to identify any vehicle technology problems under the given specific conditions. Thus, for instance, if a holistic view is taken of the brake trials from the studies by SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) and FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016), it can be assumed that longer trucks have braking distances comparable to those of conventionally designed trucks. However, in certain loading conditions, the handling of Type 2 is very demanding in terms of vehicle dynamics, although, on the basis of current knowledge, this is offset by the EVSC systems, which are mandatory in any case.
- The impact on the pavement load imposed by all the longer trucks observed in the field trial by WELLNER, UHLIG (2015) and UHLIG (2016) on the service life of pavements is comparatively and marginally lower than the load on the roads imposed by the present-day population of conventional trucks.
- In addition, it can also be concluded, on the basis of the axle load distributions resulting from the control groups formed with different shares of longer trucks, that the deployment of longer trucks complying with the permissible maximum weight of 40 t/44 t (CT) is not likely to result in accelerated damage close to the surface (for instance rutting). Accordingly, under the specific conditions of the field trial, it is not apparent that the deployment of longer trucks will result in any higher need for structural maintenance of the carriageways.
- An increase in fire size in tunnels – not possible until longer trucks' share of heavy goods vehicle traffic reaches levels that appear unrealistically high – as a result of the higher volume of goods carried by longer trucks compared with conventional trucks can be countered by taking compensatory measures (for instance improved ventilation system).
- The initial fear that longer trucks would crash through an H4b safety barrier on the central reservations of motorways, which was designed for the impact of a 38 tonne articulated vehicle, proved unfounded. The possibility of vehicle parts falling on the original carriageway, thus presenting a risk to traffic approaching from behind that has to be assessed, also exists at present (albeit with less probability) for multiple-unit vehicle combinations without overlength – i. e. conventional tractors towing a trailer. It would thus likewise have to be accepted in the event of an accident.
- Given the likely overall increase in the volume of heavy goods vehicle traffic and the findings on the handling of longer trucks, it should be discussed whether it would be advisable to raise the containment level from H2 to H4b on the

---

<sup>6</sup> Thus, for instance, with the help of transport demand modelling, it has been possible to determine that on 90% of all motorways (the main place where longer trucks will operate), longer trucks' share of heavy goods vehicle traffic will be less than 0.5%, and less than 1% on 99% of all motorways.

central reservation when constructing a new or renewing an existing safety barrier. This could reduce the risk of vehicles crashing through the safety barrier on the central reservation for both conventional and longer trucks.

- The danger of heavy goods vehicles falling off bridges – both conventional and longer trucks – can be reduced by the degree to which bridges are equipped with safety barriers of containment level H4b in accordance with present-day regulations (possibly supplemented by a requirement regrading the minimum height of the safety barriers).
- Problems concerning traffic flows or road safety on motorways in general, at grade-separated junctions and entrances in particular or vehicles driving through roadworks sites have not occurred so far and are scarcely likely to occur in the future, even if the number of longer trucks rises.
- Longer trucks up to 25.25 m in particular – and here especially the Type 2 – do not completely fit into the emergency bays in tunnels, which are shorter than those on open stretches of road. However, the fact that these tunnels are monitored around the clock and that additional measures are taken to reduce the extent of incidents guarantees a level of safety for tunnel users that complies with the regulations.
- On the basis of the routes and trip distances observed in the field trial, the amount of parking space required by longer trucks would appear to be low compared with conventional trucks. In terms of length, only Type 1 fits into angle parking slots at rest areas. All other types of longer trucks are too long for the standard angle parking slots at rest areas. In addition, because of the parking angle, all longer trucks have problems entering their own parking slot without sweeping or driving over adjacent parking slots. Simply remarking the available car parks would entail a loss of parking capacity, even if the deployment of longer trucks theoretically reduces the number of trips. Parking longer trucks at private truck stops may represent a possible option for longer trucks. Moreover, the studies by LIPPOLD et al. (2016) have shown that if there is an increase in the amount of parking slots required by longer trucks in the future, there are various approaches for improving the parking situation of longer trucks at rest areas, which means that the parking of longer trucks, which has been mentioned as a problem, can be classified as manageable. In the event that none of the options identified is suitable for use in a specific locality, there is ultimately the option of not including the facility in the authorized network.
- In the case of at-grade junctions and roundabouts, there are different findings, likewise depending on the type of longer trucks. With a few restrictions regarding Type 2, the tractrix curves of longer trucks are compatible with the junction geometry, which is in line with the actual design guidelines. In the practical trials, however, marginal areas, such as adjacent lanes or shoulders, were repeatedly used, because the spaces for manoeuvre provided in addition to the tractrix curves are no longer available. Thus, compensatory measures, such as open grid paving or pavement on the shoulders, would be necessary in the areas around the junctions. This is even more true, if the extended articulated vehicle (Type 1) is to exploit its forecast market potential.
- The observations by ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) on the clearance of at-grade junctions are largely of a theoretical nature, but they give no reason to assume that the greater length compared with conventional trucks could present problems regarding traffic flow or road safety.
- Because longer trucks operate predominantly on motorways, only a relatively small proportion of their mileage is on single carriageways. There are thus very few cases of longer trucks being overtaken by other road users where the overtaking vehicle has to use the lane for oncoming traffic. The overtaking manoeuvres observed by ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) and ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) were no more dangerous than is normally the case with overtaking of trucks on single carriageways.
- GLASER et al. (2015, 2016) were unable to identify any stress or higher levels of psychological strain on the part of the truck drivers.
- Although the data basis is small, the analysis of the accident situation in the field trial does not suggest that the deployment of longer trucks could have any adverse impact on road safety.

Finally, guidance was developed on possible amendments or more detailed definition of a general nature, such as the procedure for checking compliance with the turning characteristics (turning circle) and individual requirements for longer trucks. The latter can be taken into account if there is any further operation of longer trucks after the end of the field trial in the interests of further optimization.

## 6.2 Special consideration of individual types of longer trucks

### 6.2.1 The extended articulated vehicle (Type 1)

The Type 1 longer trucks plays a special role in the field trial. The main reason for this is its length (cf. also 2). Lengthening the conventional semi-trailer by 1.30 m means that the additional gain in volume is significantly lower than with Type 2 to 5 longer trucks. With a mean factor of 1.07 (number of trips by equivalent conventional articulated vehicle for one trip by a Type 1 longer truck), the substitution effect is thus also significantly lower than with the other types of longer trucks (around 1.5 on average). These facts have a direct impact on the market potential for Type 1 longer trucks. Unlike the market potential for Type 2 to 5 longer trucks, whose operation is restricted to an authorized network and whose efficiency potential is greater as a result of their higher capacity, the market potential for the Type 1 longer goods vehicle does not depend primarily on distinctive features in the logistical structures and fields of application, but is generally seen to be in the replacement of the existing fleet of conventional articulated vehicles. However, for this to happen, the entire road network (at least the German network) would have to be authorized.

Because the number of Type 1 longer trucks participating in the field trial was low (cf. Figure 4), it was not possible to answer three questions, in particular:

- Regarding the trafficability of road facilities, the extended articulated vehicle often appears less favourable as a result of the changed tractrix curve compared with a standard articulated vehicle. However, car transporters (which, including the front and rear overhangs, have a total length of 20.75 m and are thus already longer than the generally permissible 18.75 m for tractor-trailer combinations) are a vehicle combination using the entire road network today

whose turning characteristics are very similar to those of the Type 1 longer trucks and may result in similar difficulties when using traffic facilities. The fact that these difficulties caused by the operation of car transporters have not (yet) resulted in any major adverse impact (as far as is known) can be explained by their frequency of occurrence. According to information given by the Association for Automobile Logistics in the Association of German Freight Forwarders and Logistics Operators, the operational fleet of car transporters in Germany comprised around 6,000 vehicle combinations in 2014, for instance. All experts are of the opinion that the potential for Type 1 longer trucks is many times higher than that. The question as to whether the feared adverse impact on the trafficability of road facilities will present itself if there is a higher frequency of occurrence of Type 1 or whether relevant improvements in turning characteristics can be achieved by taking technical measures was to be answered by extending the field trial for this special type.

- Unlike the Type 2 to 5 longer trucks, it was not possible to obtain an adequate data basis for Type 1 to be able to identify the fields of application for this type with a sufficient degree of accuracy. It was thus only possible to estimate the market potential – as an important input variable for determining the impact on transport demand of the operation of Type 1 longer trucks – on the basis of a best guess, assuming that one half of all conventional articulated vehicles is replaced by Type 1 longer trucks. An extension of the field trial with parameters that result in companies deploying Type 1 in greater numbers should check these assumptions by carrying out corresponding studies on the fields of application of Type 1.
- The positive result for Type 1 longer trucks with regard to the pavement load is due to the fact that at the current point in time it is mainly articulated vehicles with a single or two-axle semi-trailer have been replaced by Type 1 longer trucks. Here, too, an extensive trial will be required to determine how the result will change with a higher incidence of Type 1 when (inevitably) more conventional articulated vehicles with a three-axle semi-trailer are replaced.

### 6.2.2 Articulated vehicle with centre axle trailer (Type 2)

To a certain extent, longer trucks of Type 2 also play a special role. The supporting scientific research showed that the articulated vehicle with centre axle trailer exhibits the poorest turning characteristics of all longer trucks. In addition, however, there is evidence – obtained on the basis of simulations – of handling in highly dynamic manoeuvres that is critical in some cases unless a stabilization system is used. The simulatory analysis of the dynamics of the various types of longer trucks conducted by SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) without taking account of electronic vehicle stability control systems (EVSC systems) showed that the basic stability of the trucks studied is highly dependent on the loading condition and the manoeuvre performed. A blanket assessment of individual types of longer trucks is not possible. In general, however, it is the case that tractor-trailer combinations, because of their low absorption between the tractor and the trailer, are more difficult to stabilize than articulated vehicles at high dynamic excitation. The Type 2 longer truck represents a combination of both. Its additional centre axle trailer can, especially if the loading condition is unfavourable (fully laden trailer towed by unladen articulated vehicle), exercise a significant adverse impact on the towing tractor and the semi-trailer when pronounced steering manoeuvres are performed (risk of overturning). It is currently assumed that it will be possible to effectively control these critical areas of vehicle dynamics by means of EVSC systems. In addition, in the case of the real world vehicles and vehicle combinations, a safety gain is apparent, resulting from the requirement for 'on-board axle load weighing', which indicates unfavourable or dangerous loading conditions to the driver. To further this safety gain, the exemption regulations could be amended to include an additional requirement making it mandatory to check for unfavourable loading conditions. However, when a simple lane change is performed, the lane offset of the Type 2 longer trucks (not taking into account EVSC systems), even in a conventional loading condition, is significantly higher than that of the corresponding reference trucks and also of the other types of longer trucks.

Finally, the consultants commissioned with the automotive engineering studies recommend that the dynamics of the Type 2 longer trucks should be

studied further in order to back up the findings (cf. FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016). The reason given for this is that, as already mentioned, the Type 2 has, in simulations, turned out to have less favourable vehicle dynamics in certain driving situations and without taking stability control systems into account. In addition, FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) also draw on statements by the manufacturers of EVSC systems that the EVSC function has not been specifically adapted to the Type 2 longer truck and was backed up in the trial. It is true that all longer trucks are certified as exhibiting safe handling, because the EVSC system is designed to be conservative, i. e. in the interests of road safety, and comes into action at any early stage, especially if further units are attached, as is the case with longer trucks. Moreover, as far as is known, the field trial has not as yet produced any critical situations involving longer trucks of Type 2 in which insufficient control by the EVSC system has resulted in unstable vehicle dynamics.

However, regarding the dynamics of vehicle combinations, be they longer trucks or conventional trucks with their trailers, the EVSC stability control system could, simply because of certain loading constellations and the physical constraints (e.g. current coefficient of friction), reach the full extent of its stabilizing capacity. Such a constellation – conceivable, but certainly unlikely because of the resultant traction problems – would be if the entire load were placed behind the last axle or the last trailer were loaded. Against this background, and by way of precaution, the following approach is recommended regarding the permanent operation of Type 2 longer trucks: Before Type 2 longer trucks are approved for permanent operation, further studies should be conducted to back up the findings of the predominantly theoretical deliberations with regard to vehicle dynamics, in particular.

## 7 Overall assessment

Because of the special position of the Type 1 longer truck, the following overall appraisal of the operation of longer trucks refers exclusively to Types 2 to 5.

The overall assessment of the operation of longer trucks has to be seen against the background of the forecast volume of longer trucks. As the studies of



the market potential and transport demand impact have shown, the market potential for Type 2 to 5 longer trucks is low relative to the total volume of freight traffic. Moreover, as a result of the established regulatory framework (for instance operation on an approved network), which is mainly necessary for reasons of road safety and to reduce the burden imposed on the road infrastructure, only a small proportion of this potential will be exploited. This means that, in the modelled maximum scenario for 2030, there would be a forecast annual mileage of around 100 million vehicle kilometres for Type 2 to 5 longer trucks.

From the empirical trip surveys conducted, an average mileage per year and per longer truck of just under 100,000 km can be calculated (roughly equivalent to the mileage of a conventional articulated vehicle in Germany). Taking as a basis the simplifying assumption that the mileage is evenly distributed among the heavy goods vehicles, the mileage forecast for 2030 would be accounted for by around 1,000 longer trucks. Even if this figure were to be underestimated by a factor of 2, the resultant figure would be a maximum of 2,000 longer trucks. This figure still appears low compared with, for instance, the size of the operational fleet of car transporters in Germany, which the Association for Automobile Logistics in the Association of German Freight Forwarders and Logistics Operators states as being around 6,000 vehicle combinations. Even for the motorways (the main place where longer trucks will operate), it has been possible, with the help of transport demand modelling, to estimate that on 90% of all motorways, longer trucks' share of heavy goods vehicle traffic will be less than 0.5%, and less than 1% on 99% of all motorways.

Given these parameters, it can be stated, by way of summary, that significant problems did not emerge in the field trial. Measured against the multiplicity of issues that were considered, the number of potential risks identified is low. Moreover, given the currently existing number of longer trucks participating in the field trial, and assuming that longer trucks' shares of the total volume of freight traffic will be significantly higher than forecast in the studies on the transport demand impact, the risks identified can be classified as acceptable or manageable. This also applies to the issue of 'parking longer trucks on rest areas' – which had not been resolved at the half-way stage of the supporting scientific research – because it has been possible to develop problem-solving

approaches that are suitable for use in practical applications.

Regarding the overall result of the supporting scientific research, it should be noted that the overall assessment of a possible deployment of Type 2 to 5 longer trucks is often based on a risk assessment. The risk can be described as the product of the extent (of the damage) and the probability of its occurrence. One of the reasons for the overall assessment that the possible risks of the deployment of longer trucks could be classified as acceptable or manageable is their low probability of occurrence. This is due to several important factors.

1. The mandatory safety equipment for longer trucks going beyond the general requirements and the special requirements to be met by drivers (and their training).
2. The substitution effect (turn 3 into 2) for Type 2 to 5 longer trucks that was observed in the field trial and the resultant lower number of trips by heavy goods vehicles.
3. The tonne kilometres operated by Type 2 to 5 longer trucks are likely to be comparatively low.
4. The restriction of operation to an authorized network and the fact that Type 2 to 5 will operate predominantly on dual-carriageways with no at-grade junctions.

Regarding the possible extent (of damage), account has to be taken in some of the issues of the fact that, as a result of the 50% higher loading capacity of longer trucks compared with equivalent conventional trucks, the individual extent would be more negative in terms of road safety, even in the most unlikely event of occurrence. In such an individual case, a volumetrically laden longer truck carrying almost its full payload, for instance, would have a greater fire impact than an equivalent conventional truck laden with the same but less cargo. In a one-to-one comparison under identical general conditions, an overtaking manoeuvre would take at least a few seconds longer. Emergency stops in a lay-by in a tunnel would be more problematic.

It should also be noted that some of the results obtained are based on the very specific conditions of the field trial. In some cases, these conditions result from the requirements of the Exemption

Regulations governing the field trial, and in a few cases also from the fact that the longer truck drivers adapted their behaviour under the conditions of the trial. Should there be changes to these conditions, new light would have to be shed on certain issues (cf. also paragraph 8).

Ultimately, however, it can be stated that, in the trial, the deployment of longer trucks demonstrated a positive impact on transport demand in terms of a reduction in the number of vehicle kilometres driven and accordingly also a reduction in levels of climate change gases and air pollutants and can also have this impact in the future. So far, it has been apparent that intermodal shift effects from the railways and inland waterways have been very low, mainly because of the existing weight restrictions as well as the actual/modelled route restrictions, and are thus negligible. Although it is clear that longer trucks only represent a possible partial solution for containing the growth in freight traffic and the associated environmental impact, their deployment is beneficial in terms of operations and transport demand in certain spheres and areas of application.

## 8 Looking ahead

Although the supporting scientific research will come to an end when the field trial is concluded on 31 December 2016, there is certainly a need for further research. Even when the supporting scientific research was still at the conceptual stage, there was agreement with the circle of experts consulted that some questions cannot be answered by either field trials or by experimental or theoretical model studies. If at all, the answers will not emerge until there is real world operation lasting many years. In addition, it was apparent, as early as the mid-term review of the field trial, that no resilient evidence will be possible regarding some questions even after the end of the field trial. Finally, the studies conducted in the final phase produced findings regarding more extensive research issues that would also be of interest for conventional trucks.

## Bibliography

- Federal Office for Goods Transport (2014): *Mautstatistik – Jahrestabellen 2013*, Cologne
- Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (2010): *Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – Logistikiinitiative für Deutschland*
- Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (2011): *Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusnV)*. <https://www.ebundesanzeiger.de> in the Official Section of the Federal Gazette, date of publication 21 December 2011
- BURG, R.; RÖHLING, W.; KLAAS-WISSING, T. (2014): *Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung*. Reports of the Federal Highway Research Institute, No V 248
- BURG, R.; SCHREMPP, S.; RÖHLING, W.; KLAAS-WISSING, T.; SCHREINER, S. (2016): *Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw*. Final report on R&D project 89.0315/2015 commissioned by the Federal Highway Research Institute, TCI Röhling Transport Consulting International, Waldkirch/University of St. Gallen, Chair of Logistics Management
- FÖRG, A.; SÜßMANN, A.; WENZELIS, A.; SCHMEILER, S. (2016): *Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw*. Final report on R&D project 82.0630/2015 commissioned by the Federal Highway Research Institute, Förg & Süßmann Ingenieurbüro GbR, Munich
- 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*. Federal Highway Research Institute, Bergisch Gladbach
- GLASER, M. O.; GLASER, W. R.; SCHMID, D.; WASCHULEWSKI, H. (2015): *Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw*. Reports of the Federal Highway Research Institute, No M 252
- GLASER, M. O.; SCHMID, D.; GLASER, W. R.; WASCHULEWSKI, H. (2016): *Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw – zweite*

- Erhebungsphase. As yet unpublished final report on R&D project 82.0634/2015 commissioned by the Federal Highway Research Institute, University of Tübingen, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Department of Psychology/MTO Psychologische Forschung und Beratung GmbH, Tübingen.
- IRZIK, M.; ELLMERS, U.; JUNGFELD, I.; GLAESER, K.-P.; HOLTE, H.; WOLF, A.; KAUNDINYA, I.; SISTENICH, C.; KRANZ, T. (2014): Feldversuch mit Lang-Lkw. Zwischenbericht, Bergisch Gladbach
- LIPPOLD, C.; SCHEMMEL, A.; KATHMANN, T.; SCHROEDER, S. (2016): Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße. Final report on R&D project 02.0831/2015/MRB commissioned by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Dresden University of Technology, Friedrich List Faculty of Transport Science, Institute of Traffic Facilities, Chair for the Design of Highway Facilities
- SÜßMANN, A.; FÖRG, A.; WENZELIS, A. (2014): Lang-Lkw: Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt. Final report on R&D project 82.0542/2012 commissioned by the Federal Highway Research Institute, Munich University of Technology, Chair of Automotive Engineering
- German Road Traffic Regulations (StVO) of 16 November 1970 (Federal Law Gazette I, p. 1565), as amended by Article 1 of the Regulations of 1 December 2010 (Federal Law Gazette I, p. 1737).
- German Road Vehicles Registration and Licensing Regulations (StVZO) in the version promulgated on 28 September 1988 (Federal Law Gazette I, p.1793), as amended by Article 6 of the Regulations of 13 January 2012 (Federal Law Gazette I, p. 103);
- UHLIG, W. (2016): Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung. As yet unpublished final report on R&D project 04.0290/2015/ERB commissioned by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Uhlig & Wehling, Consulting Engineers, Mittweida
- WELLNER, F.; UHLIG, W. (2015): Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw. Reports of the Federal Highway Research Institute, No V 254
- ZIMMERMANN, M.; KÖHLER, B.; ROOS, R. (2016): Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf. Final report on R&D project 02.0392/2015/ERB commissioned by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Roads and Railways, Department of Road Design and Operation, Karlsruhe
- ZIMMERMANN, M.; RIFFEL, S.; ROOS, R. (2015): Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw. Reports of the Federal Highway Research Institute, No V 255

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	22	<b>5</b>	<b>Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung</b> .....	40
<b>1 Einleitung</b> .....	23	<b>6</b>	<b>Statistische Auswertungen</b> .....	44
<b>2 Aktuelle Rechtslage</b> .....	24	<b>7</b>	<b>Marktpotenzial und Verkehrsnachfragerwirkungen von Lang-Lkw</b> .....	47
<b>3 Historischer Rückblick und Erfahrungsberichte</b> .....	26	7.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik. ....	47
3.1 National .....	26	7.2	Erhebungsergebnisse und Abschätzung des Marktpotenzials ....	48
3.1.1 Innovative Nutzfahrzeugkonzepte ....	26	7.3	Verkehrsnachfragerwirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw .....	50
3.1.2 Modellversuch ‚GigaLiner‘ in Niedersachsen .....	27	7.4	Fazit und Folgerungen .....	53
3.1.3 Pilotversuch ‚Ecombi‘ in Baden-Württemberg .....	28	<b>8</b>	<b>Fahrzeugtechnik und Umwelt</b> .....	54
3.1.4 Modellversuch mit überlangen Fahrzeugkombinationen in Nordrhein-Westfalen .....	29	8.1	Technische Anforderungen .....	55
3.1.5 Pilotversuch ‚EuroCombi‘ in Thüringen .....	29	8.1.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik. ....	55
3.1.6 Feldversuch mit dem verlängerten Sattelanhängerkonzept (Eurotrailer) .....	30	8.1.2	Ergebnisse .....	55
3.2 International .....	31	8.2	Automatische Achslastüberwachung ‚on-board‘ .....	58
3.2.1 Übersee .....	31	8.2.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik. ....	58
3.2.2 Skandinavien .....	32	8.2.2	Ergebnisse .....	58
3.2.3 Niederlande .....	33	8.3	Kurvenlaufeigenschaften (BO-Kraftkreis) .....	59
3.2.4 Belgien .....	35	8.3.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik. ....	59
3.2.5 Großbritannien .....	35	8.3.2	Ergebnisse .....	59
3.2.6 Europäische Kommission und Europaparlament .....	35	8.4	Bremsweg, Sogwirkung, Windstabilität und Fahrdynamiksimulation .....	61
3.3 Vom ‚Gigaliner‘ zum ‚Lang-Lkw‘ .....	36	8.4.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik. ....	61
<b>4 Rahmenbedingungen des Feldversuchs</b> .....	37	8.4.2	Ergebnisse .....	63
4.1 Rechtliche Grundlagen .....	37	8.5	Heckkamarasysteme und rückseitige Beschilderung .....	66
4.2 Streckenfreigabe und Positivnetz .....	37	8.5.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik. ....	66
4.3 Anforderungen und Bedingungen an die Teilnahme .....	39			
4.4 Teilnahmebekundung .....	40			

8.5.2	Ergebnisse . . . . .	66	11.1.2	Methodik der Untersuchungen zur Durchbruchsicherheit . . . . .	88
8.6	Exemplarische Analyse des Kraftstoffverbrauchs und der CO <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	68	11.1.3	Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Durchbruchsicherheit . . . . .	90
8.6.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik . . . . .	68	11.1.4	Betrachtungen zum äquivalenten Fahrzeugkollektiv und zu Schutz- einrichtungen auf Brücken . . . . .	92
8.6.2	Ergebnisse . . . . .	68	11.1.5	Fazit und Folgerungen . . . . .	95
8.7	Analysen zu Lang-Lkw spezifischen Aspekten von Fahrdynamikregelungen . . . . .	69	11.2	Untersuchung des Einflusses von Lang-Lkw auf den Verkehrs- ablauf in planfreien Knoten- punkten . . . . .	96
8.7.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik . . . . .	69	11.2.1	Zielsetzung . . . . .	96
8.7.2	Ergebnisse . . . . .	69	11.2.2	Untersuchungsmethodik . . . . .	96
8.7.3	Fazit . . . . .	70	11.2.3	Ergebnisse . . . . .	97
8.8	Geräuschemission . . . . .	71	11.2.4	Fazit und Folgerungen . . . . .	97
8.8.1	Zielsetzung und Untersuchungsmethodik . . . . .	71	11.3	Verkehrssicherheit in Einfahrten an Autobahnen . . . . .	98
8.8.2	Ergebnisse . . . . .	73	11.3.1	Zielsetzung . . . . .	98
8.9	Fazit und Folgerungen . . . . .	74	11.3.2	Untersuchungsmethodik . . . . .	98
<b>9</b>	<b>Straßenbeanspruchung durch Lang-Lkw . . . . .</b>	<b>77</b>	11.3.3	Ergebnisse . . . . .	99
9.1	Zielsetzung . . . . .	77	11.3.4	Fazit und Folgerungen . . . . .	100
9.2	Untersuchungsmethodik . . . . .	77	11.4	Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen . . . . .	101
9.3	Ergebnisse . . . . .	78	11.4.1	Allgemeines . . . . .	101
9.4	Fazit und Folgerungen . . . . .	81	11.4.2	Befahrbarkeit von Autobahnen . . . . .	102
<b>10</b>	<b>Tunnelsicherheit . . . . .</b>	<b>83</b>	11.4.3	Befahrbarkeit von außerörtlichen plangleichen Knotenpunkten . . . . .	105
10.1	Zielsetzung . . . . .	83	11.4.4	Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw vom Typ 1 . . . . .	107
10.2	Untersuchungsmethodik . . . . .	83	11.4.5	Fazit und Folgerungen . . . . .	108
10.3	Ergebnisse . . . . .	84	11.5	Verkehrsablauf in Arbeitsstellen . . . . .	111
10.4	Fazit und Folgerung . . . . .	85	11.5.1	Zielsetzung . . . . .	111
<b>11</b>	<b>Verkehrstechnische Fragestellungen . . . . .</b>	<b>86</b>	11.5.2	Untersuchungsmethodik . . . . .	112
11.1	Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen . . . . .	86	11.5.3	Ergebnisse . . . . .	113
11.1.1	Ausgangslage und Zielsetzung . . . . .	86	11.5.4	Fazit und Folgerungen . . . . .	114

11.6	Überholen und Räumen . . . . .	115	14.4	Sonderbetrachtung einzelner Lang-Lkw-Typen. . . . .	145
11.6.1	Zielsetzung . . . . .	115	14.4.1	Der verlängerte Sattelanhänger (Typ 1) . . . . .	145
11.6.2	Untersuchungsmethodik . . . . .	116	14.4.2	Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger (Typ 2) . . . . .	146
11.6.3	Ergebnisse . . . . .	118	14.5	Gesamtbewertung . . . . .	147
11.6.4	Fazit und Folgerungen . . . . .	121	<b>15</b>	<b>Ausblick</b> . . . . .	149
<b>12</b>	<b>Psychologische Aspekte</b> . . . . .	123	<b>Literatur</b> . . . . .		150
12.1	Zielsetzung . . . . .	123	<b>Bilder</b> . . . . .		154
12.2	Psychologische Studie 1 (2012 – 2013) . . . . .	124	<b>Tabellen</b> . . . . .		157
12.2.1	Untersuchungsmethodik . . . . .	124	<b>Anhang A1</b> . . . . .		158
12.2.2	Ergebnisse . . . . .	125			
12.2.3	Fazit zur 1. psychologischen Studie. .	130			
12.3	Psychologische Studie 2 (2015 – 2016) . . . . .	130			
12.3.1	Unterrichtsmethodik . . . . .	130			
12.3.2	Ergebnisse . . . . .	131			
12.3.3	Fazit zur 2. Psychologischen Studie . . . . .	136			
12.4	Gesamtfazit zu den psycho- logischen Aspekten des Lang-Lkw. . .	137			
<b>13</b>	<b>Unfälle und andere besondere Ereignisse</b> . . . . .	137			
13.1	Unfälle mit Beteiligung von Lang-Lkw . . . . .	137			
13.2	Besondere Vorkommnisse . . . . .	138			
13.3	Risikobewertung beziehungsweise -einschätzung . . . . .	139			
13.4	Fazit . . . . .	140			
<b>14</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	140			
14.1	Allgemeines . . . . .	140			
14.2	Chancen und Risiken . . . . .	141			
14.3	Weitergehende Hinweise . . . . .	144			

## Vorwort

Der vom 01.01.2012 bis zum 31.12.2016 andauernde Feldversuch der Bundesregierung mit Lang-Lkw wurde durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wissenschaftlich begleitet. Das Untersuchungsprogramm erstreckte 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 flossen in die Gesamtuntersuchung der BASt ein.

Der zum Ende des Feldversuchs vorgelegte Abschlussbericht (Stand 30.09.2016) baut auf dem in 2014 bereits vorgelegten Zwischenbericht (IRZIK et al., 2014) auf. Der Abschlussbericht folgt in seiner thematischen Gliederung der Struktur des Zwischenberichts und enthält neben den für die Konzeption der Gesamtuntersuchung erforderlichen rechtlichen Grundlagen (Kapitel 2 und 4) und vorliegenden Erkenntnissen aus der Literatur (Kapitel 3) in den Kapiteln 7 bis 12 die Zusammenfassungen der verschiedenen Forschungsprojekte aus allen Untersuchungsphasen der wissenschaftlichen Begleitung. 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 gegebenenfalls Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen.

Die Teilprojekte, die von externen Forschungsnehmern 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 Forschungsnehmern 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 dieser Bericht auf Schreiben, Aussagen o. Ä. bezieht, die aus der Zeit vor der Umbenennung des Ministeriums stammen, wird die zum damaligen Zeitpunkt geltende Bezeichnung des Ministeriums angeführt.

Besonderer 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. Gleichfalls gilt es, den Gutachtern für ihre termingerechte und den wissenschaftlichen Ansprüchen gerecht werdende Bearbeitung zu danken. Die hohe fachliche Kompetenz der externen Gutachter findet sich in den Ergebnissen des Feldversuchs erkennbar wieder.

## 1 Einleitung

Im Jahr 2011 beauftragte das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit der wissenschaftlichen Begleituntersuchung des bundesweiten Feldversuchs 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 war auf die Dauer von fünf Jahren ausgelegt. 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 vom Bundesminister für Verkehr erlassene Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge, kurz LKWÜber IStVAusnV, 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

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

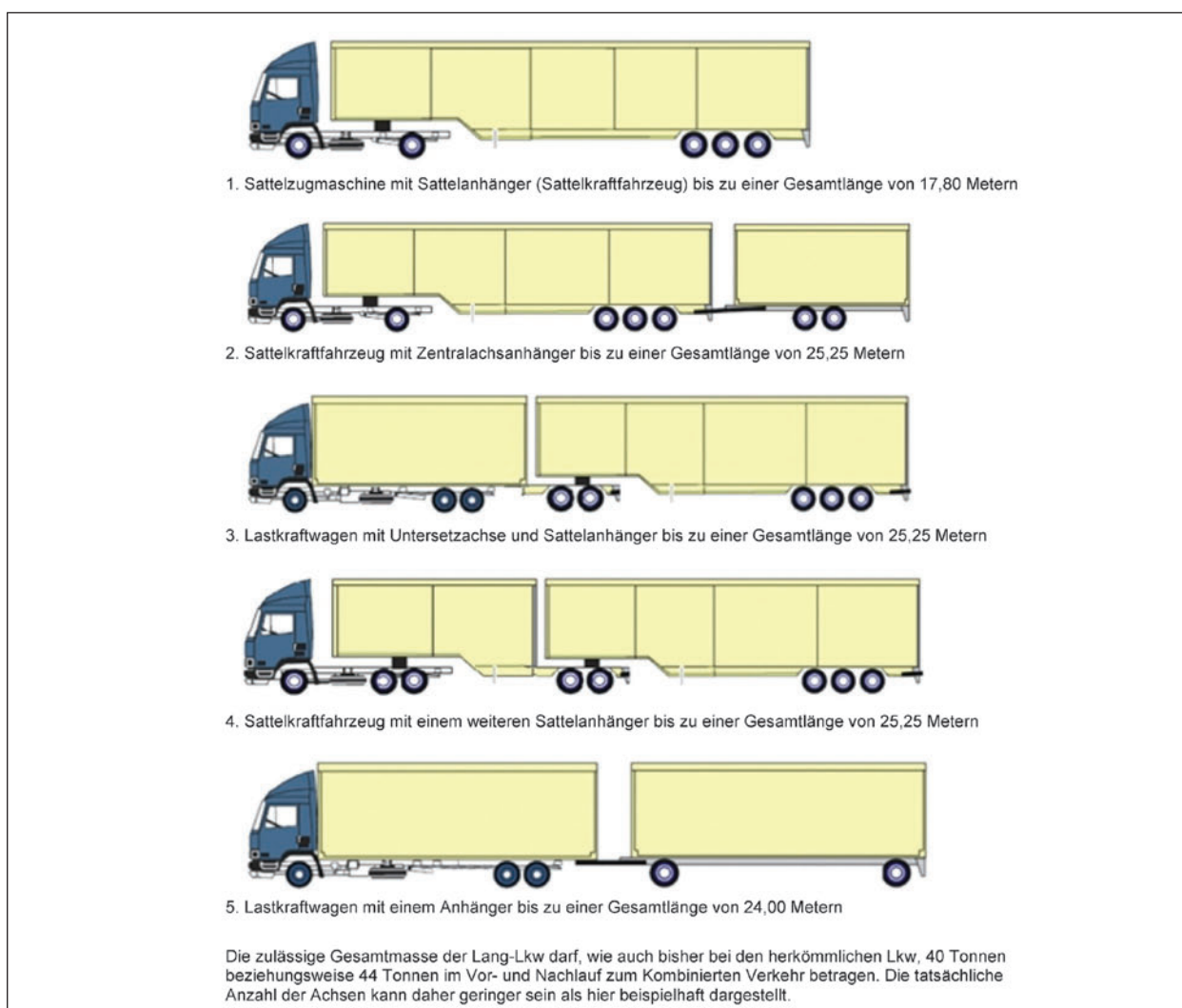


Bild 1: Mögliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw)



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 Gefahrenpotenzial auf. Daher hat sich die Bundesregierung darauf verständigt, ausschließlich längere, aber nicht schwerere Lkw in einem Feldversuch testen zu lassen. 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 sollten auf der Grundlage des Realbetriebs die Chancen und Risiken von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge evaluiert werden.

## 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 höchst-

zulässige 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 (geändert durch die Richtlinie (EU) 2015/719) 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. Dies ist nach den Maßgaben der Richtlinie jedoch dauerhaft nur für die Güterbeförderung im Rahmen bestimmter Tätigkeiten möglich (Art. 4 Abs. 4), im Übrigen lediglich während eines Versuchszeitraums in bestimmten örtlichen Verkehrsbereichen (Art. 4 Abs. 5).

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

<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.

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 350 mm auf 750 mm vergrößert (BACHMANN, WALLENTOWITZ, WÖHRMANN, 2007).

Die Richtlinie 96/53/EG beschäftigte jüngst die EU-Kommission sowie das Europaparlament. Im Vordergrund der kontroversen und zum Teil emotional geführten Diskussionen stand dabei die Frage nach der Zulässigkeit eines grenzüberschreitenden Verkehrs von Lkw, die nicht den Anforderungen der Richtlinie 96/53/EG entsprechen.

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 ausdrücklich geregelt werden. Die Kommission wollte klarstellend 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 z. B. DVZ, 2012). 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; u. a. weil viele Abgeordnete der Auffassung waren, dass es dieser Klarstellung nicht in der Richtlinie bedürfe. Zudem sei der Subsidiaritätsgrundsatz zu beachten. Im Rahmen der politischen Einigung auf dem EU-Verkehrsministerrat am 05.06.2014 wurde der Absatz über den grenz-

überschreitenden Verkehr mit Lang-Lkw dann gestrichen. Die Kommission hat daraufhin zur Klarstellung 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.“

Dies bestätigt, dass ein grenzüberschreitender Verkehr von Lang-Lkw zwischen zwei Staaten grundsätzlich möglich ist, wenn diese eine entsprechende bilaterale Vereinbarung treffen und wenn die infrastrukturellen Gegebenheiten es erlauben. Es können jedoch nur Vereinbarungen über den Grenzübergang zwischen zwei benachbarten Staaten getroffen werden, ein Transit ist nicht zulässig.

Die wissenschaftlichen Dienste des Bundestags kamen in einem Sachstandbericht zu einer anderen rechtlichen Bewertung und hielten einen grenzüberschreitenden Verkehr auch zwischen benachbarten Staaten für nicht mit der RL 96/53/EG vereinbar (HOFFMANN, WITTE, 2012). Diese Ansicht dürfte jedoch auch vor dem Hintergrund der Stellungnahme der Kommission vom 05.06.2014 überholt sein.

Solange entsprechende bilaterale Verträge mit Nachbarstaaten noch nicht existieren, besteht für Lang-Lkw in Deutschland lediglich die Möglichkeit, vor dem Grenzübergang an geeigneter Stelle auf eine nach Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) zulässige normale Lkw-Kombination umzukoppeln.

### **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 hinausragen. 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 nicht auf Sondernutzungsverkehr 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 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) zu § 29 Abs. 3 StVO dürfen Erlaubnisse 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.

## **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 festgestellt, 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 schweren 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 Überführung 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. Kapitel 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 videoteknisch 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 Expeditionen mit drei überlangen Fahrzeug-

<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.

kombinationen, 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 Kapitel 8.3) 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.

### 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 Kapitel 8.3) eine bereichsweise Überschreitung der zulässigen Ringbreite um 10 % festgestellt. Mithilfe 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 Sattelanhänger 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-Zulassungs-Ordnung (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 Einzelerlaubnisse 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 Kapitel 8.3) sichergestellt werden konnte.

Bezüglich der Auswirkungen auf den Straßenverkehr beziehungsweise die Verkehrssicherheit tref-

fen 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 Sattelanhänger mit einer Überlänge von 1,30 m im Vergleich zum Standardsattelanhänger ( $L = 13,60$  m) an. Die Gesamtlänge eines Sattelkraftfahrzeugs mit einem derartigen Sattelanhänger beträgt somit 17,80 m. Dieses Fahrzeug entspricht von seinen Abmessungen her dem Lang-Lkw-Typ 1 aus dem bundesweiten Feldversuch (vgl. Bild 1, oben). Durch die Überlänge bietet der Sattelanhänger ca. 10 % mehr Ladevolumen als ein Standardsattelanhänger. 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 Sattelanhängers

aus verkehrspolitischer, verkehrssicherheitstechnischer, ökologischer und ökonomischer Sicht ermöglichen.

Das Ergebnis der simulativen Überprüfung des Kurvenfahhaltens während der Befahrung des BO-Kraftkreises (vgl. dazu auch Kapitel 8.3 sowie Kapitel 11.4.4) zeigt, dass der Sattelanhänger 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 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 Situatio-

<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.

nen 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, vor allem da zum damaligen Zeitpunkt noch keine Vorkehrungen wie zum Beispiel eine verbindliche Ausstattung mit einer Achslastanzeige getroffen worden waren.

## 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 Topografie 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. Kapitel 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. Diesen 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 (sog. 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. Kapitel 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 nieder-

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

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

ländischer 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.

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 Fahrzeugkom-

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

binationen 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 her 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 Kapitel 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 6-achsige 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 geringerem 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 Kapitel 8.3) 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, Warenumserschlagplätzen, Auktionszentren etc.) eingesetzt worden. Ab dann wären LZV jedoch hauptsächlich für die Belieferung von Supermarktketten und großen Einzelhandelsunternehmen sowie für den Container- und Zierpflanzen-transport 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 potenziellen Risiken nicht manifestiert. Die niederländischen Erfahrungen würden zeigen, dass LZV hauptsächlich für solche Transportmärkte von Bedeutung sind, auf denen die Bahn oder der Schifftransport 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 Schwerverkehr-

saufkommens, der Betriebskosten und der Emissionen beitragen würden.

2011 wurde der Testbetrieb für beendet erklärt. LZV dürfen seitdem auf dem für sie freigegebenen 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 Belgien

Seit Januar 2015 werden in Flandern sowie seit September 2016 in Wallonien ebenfalls Tests mit LHV durchgeführt. Die LHV dürfen bis zu 60 t schwer sein und die Vorgaben für eine Teilnahme an den Testfahrten orientieren sich mehr oder weniger an den niederländischen Regelungen. Die Teilnahme des zunächst bis Juni 2016 begrenzten Tests in Flandern war äußerst gering. Lange Zeit fuhr lediglich ein Lang-Lkw im Auftrag einer Brauerei zum Hafen Antwerpen. Erst im September 2015 kann ein zweiter Lang-Lkw hinzu, dessen Einsatz sich jedoch auf das Hafengebiet von Antwerpen beschränkt.

Im September 2016 wurde als erstes Ergebnis die Einsparung von bislang 418 Lkw-Fahrten und damit fast 20 t CO<sub>2</sub> durch die beteiligte Brauerei veröffentlicht. Unfälle habe es keine gegeben.

### 3.2.5 Großbritannien

Seit Anfang 2012 wird in Großbritannien ein Feldversuch mit Sattelkraftfahrzeugen mit einem um 2,05 m längeren Sattelanhänger durchgeführt. Die so verlängerten Sattelkraftfahrzeuge (engl.: LSTs) kommen somit auf eine Gesamtlänge von 18,55 m, sind also um 0,75 m länger als das in Deutschland zum Einsatz kommende verlängerte Sattelkraftfahrzeug (Lang-Lkw-Typ 1, vgl. Bild 1), aber noch 0,20 m kürzer als ein Gliederzug. Der Versuch des Department of Transport (DfT) ist zunächst auf zehn Jahre befristet.

Im Juli 2016 waren 1.764 Sattelanhänger für den Versuch registriert. Angestrebt wird eine Teilnehmerzahl von 1.800. Dem ‚Annual Report 2015‘

(RISK SOLUTIONS, 2016) liegt eine Datenbasis von 1.511 Sattelaufliegern von 151 Unternehmen zugrunde, die insgesamt auf ihren 1,7 Mio. Fahrten eine Strecke von 202 Mio. Lkw-km zurückgelegt haben. Durch den Einsatz der LSTs konnten so zwischen 8,7 bis 10,6 Mio. Lkw-km herkömmlicher Sattelkraftfahrzeuge eingespart werden.

Negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit wurden bislang nicht berichtet. LSTs waren zwar in den Jahren 2012 – 2015 in elf Unfälle mit Personenschaden (U(P)) verwickelt. Jedoch wird konstatiert, dass lediglich bei zwei Unfällen mit leichtem Personenschaden ein möglicher Zusammenhang mit der Länge des Sattelanhängers vermutet werden könne. Insgesamt stellen die Autoren des Zwischenberichts fest, dass im Vergleich zu Standard-Lkw LSTs mit Bezug auf die Fahrleistung in etwa 70 % weniger Unfälle verwickelt gewesen sein.

### 3.2.6 Europäische Kommission und Europaparlament

In einer vom Europäischen Parlament in Auftrag gegebenen Studie sollte ‚Eine Bewertung von Megatrucks‘ (STEER et al., 2013) durchgeführt werden. Die Studie wurde auch ins Deutsche übersetzt. Dabei tritt ein Dilemma zu Tage, dass sehr oft in den Diskussionen zum Feldversuch in Deutschland zu beobachten war. Die ‚Megatrucks‘ d. h. längere und/oder schwerere Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen werden schlicht mit dem Begriff ‚Lang-Lkw‘ übersetzt. Dabei wird übersehen, dass es sich bei Lang-Lkw ausschließlich um längere Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen handelt (vgl. dazu u. a. auch Kapitel 3.3). Dies kann unweigerlich zu gewissen Fehlinterpretationen führen.

Im Rahmen der Studie wurden die Ansichten von Interessengruppen aus der gesamten EU herangezogen, mit einem besonderen Fokus auf den fünf Mitgliedstaaten, in denen längere und/oder schwerere Lkw im normalen Straßenverkehr zugelassen sind oder in denen es Feldversuche gibt – also auch Deutschland. Ferner wurde eine umfassende Untersuchung der verfügbaren Literatur zum Thema durchgeführt.

Das eigentliche Ziel der Studie, Schlussfolgerungen hinsichtlich der Auswirkungen einer möglichen Einführung von längeren und/oder schwereren Lkw auf die Ziele der EU in den Bereichen Sicherheit und Treibhausgasemissionen zu ziehen, wurde nicht

erreicht. Begründet wird dies mit dem mangelnden Konsens, der in der verfügbaren Literatur im Hinblick auf die wahrscheinlichen Auswirkungen der Einführung von ‚Megatrucks‘ vorherrscht.

Die Studie zeigt jedoch auf, dass es Aspekte gibt, über die in der Literatur ein weitgehendes Einverständnis herrscht. So bestünde beispielsweise ein weitgehender Konsens darüber, dass ‚Megatrucks‘ „die Betriebskosten für den Güterkraftverkehr sowie Treibhausgasemissionen je Tonne/km von beförderten Gütern reduzieren würden, da weniger [Lkw] für den Transport der gleichen Gütermenge benutzt würden. Die Betriebskosten je Fahrzeugkilometer wären jedoch höher, da die Fahrzeuge selbst größer sind und deshalb einen höheren Kraftstoffverbrauch haben.“

Die in vielen Untersuchungen angesprochenen möglichen Verlagerungseffekte vom Schiffs- und Schienengüterverkehr hin zum Güterkraftverkehr, werden ebenfalls in der Studie von STEER et al. (2013) angeführt und es wird festgestellt, dass die unterschiedlichen Schlussfolgerungen zu diesem Aspekt von zentraler Bedeutung für die sehr unterschiedlichen Ergebnisse sind, zu denen die Studien hinsichtlich der Auswirkungen kommen, die Lang-Lkw auf Infrastruktur, Straßenverkehrsfluss, Straßenverkehrssicherheit und Treibhausgasemissionen haben.

Die Studie von STEER et al. (2013) geht dabei auch auf die – sofern dokumentiert – Grundannahmen ein, die den einzelnen Untersuchungen zugrunde liegen. STEER et al. kommen zu dem Erkenntnis, dass nur eine sehr begrenzte Anzahl an empirischen Belegen für die Elastizitäten<sup>8</sup> existieren, die zudem auch noch teils widersprüchlich sind.

Negative Auswirkungen für den Bereich der Straßenverkehrssicherheit durch die Einführung von Lang-Lkw bewertet die Studie als unwahrscheinlich, positive Effekte im Hinblick auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen hingegen als möglich. Schließlich empfiehlt die Studie aber, dass eine Folgenabschätzung durchgeführt werden sollte, um die zahlreichen Auswirkungen einer europaweiten Einführung von längeren und/oder schwereren Lkw zu berücksichtigen.

### 3.3 Vom ‚Gigaliner‘ zum ‚Lang-Lkw‘

Im Vergleich zu internationalen Erfahrungen konnte Deutschland bislang 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. Kapitel 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 Konkurrenz 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, aber nicht schwereren Lkw der Begriff ‚Lang-Lkw‘ geprägt. Zahlreiche Berichterstattungen, einzelne Umfragen sowie viele Gespräche machen jedoch deutlich, dass diese begriffliche Unterscheidung auch gegen Ende des Feldversuchs oftmals immer noch unklar ist.

Ein weiterer Aspekt, der zu Missverständnissen bei den Diskussionen um den Lang-Lkw führt, sind die zum Teil grundsätzlich zu unterscheidenden Typen von Lang-Lkw. Unterhält man sich mit Personen, die schon einmal den Begriff ‚Lang-Lkw‘ gehört haben, dann verbinden diese damit oftmals lediglich die bis zu 25,25 m langen Typen 2, 3 und 4 (vgl. Bild 1). Während man den Typ 5 mit einer Gesamtlänge von bis zu 24,00 m noch im Hinblick auf viele Fragestellungen zu dieser Gruppe hinzuzählen kann, er-

<sup>8</sup> Elastizitäten repräsentieren in diesem Kontext das Ausmaß, in dem die sich verändernden Kosten des Güterkraftverkehrs die Nachfrage nach Güterkraftverkehr, Schiffs- und Schienengüterverkehr und anderen Transportmitteln beeinflussen.

fordert der Typ 1 oftmals eine gesonderte Betrachtung. Denn mit einer Gesamtlänge von 17,80 m ist dieser Lang-Lkw zwar um 1,30 m länger als ein herkömmliches Sattelkraftfahrzeug, jedoch um fast einen Meter kürzer als ein herkömmlicher Gliederzug.

## 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 (LKWÜberlStVAusV) 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 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. Kapitel 2). Die Teilnehmer am Feldversuch durchlaufen somit kein explizites Genehmigungs- beziehungsweise 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 LKWÜberlStVAusV).

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 Kurvenlaufeigenschaften erfüllen müssen (vgl. dazu auch Kapitel 8.3), lassen bisherige Erfahrungen vermuten, dass eine generelle Befahrbarkeit sämtlicher Straßenverkehrsanlagen, insbesondere mit den bis zu 25,25 m langen Fahrzeugkombinationen, nicht per se möglich sein könnte (vgl. Kapitel 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 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) mitgeteilt sowie anschließend in der Ausnahme-Verordnung veröffentlicht worden sind. Gemäß § 2 LKWÜberlStVAusV ist der Verkehr mit Lang-Lkw daher ausschließlich auf den in der Anlage zur Ausnahme-Verordnung festgelegten Strecken zulässig (sog. Positivnetz). 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 Sattelanhängen 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. Nordrhein-Westfalen kam als achttes Bundesland mit Inkrafttreten der fünften Änderungs-Verordnung

zum 15.07.2015 hinzu. In den übrigen am Feldversuch teilnehmenden Ländern darf der Typ 1 nur das auch für die Typen 2 bis 5 freigegebene Streckennetz befahren.

Die Überprüfung der von potenziellen Teilnehmern am Feldversuch gewünschten Strecken erfolgte dabei in Anlehnung an das Erlaubnisverfahren für Großraum- und Schwertransporte. Arbeitsstellen mit beengten Behelfsfahstreifen, Ortsdurchfahrten, enge Kurven sowie vor allem auch kleinere Kreisverkehre unterliegen dabei stets einer besonderen Prüfung. Die Befahrbarkeit der potenziell kritischen Stellen kann dabei näherungsweise mithilfe der von der BASt erstellten Schleppkurvenschablonen überprüft werden, die im Rahmen der 2006 durchgeführten Studie (vgl. Kapitel 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. Kapitel 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 Expeditionen ergibt. Sofern ein Unternehmen eine Teilnahme mit Lang-Lkw 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 Baulastträger die Eignetheit 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 Karte in Bild 2 zeigt das Positivnetz zum Stand 31.10.2016. 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 sechsten Änderungsverordnung zum Feldversuch gegeben.

Mithilfe der zusammen mit der PTV Planung Transport Verkehr AG sowie durch TCI Röhling Transport Consulting International erstellten digitalen Karte besteht die Möglichkeit, relativ einfach statistische Auswertungen zu den Netzlängen vorzunehmen. Nach der sechsten Änderungsverordnung zur LKWÜberStVAusV hat das Positivnetz insgesamt eine Länge von fast 11.600 Kilometern, etwa 70 % davon sind Autobahnen. Dies entspricht gut 60 % aller Autobahnen (BAB) in Deutschland.

Einige Länder lehnen den Lang-Lkw generell ab (vgl. auch Kapitel 5). Dies hat dazu geführt, dass eine Reihe von Bundesländern sich nicht von Anfang an am Feldversuch beteiligt und somit auch keine geeigneten Strecken für das Positivnetz für den Einsatz von Lang-Lkw ausgewiesen haben. So existieren beispielsweise in Sachsen-Anhalt nur einzelne Lückenschlüsse von Autobahnen. Erst mit der zweiten Änderungsverordnung hat Bremen

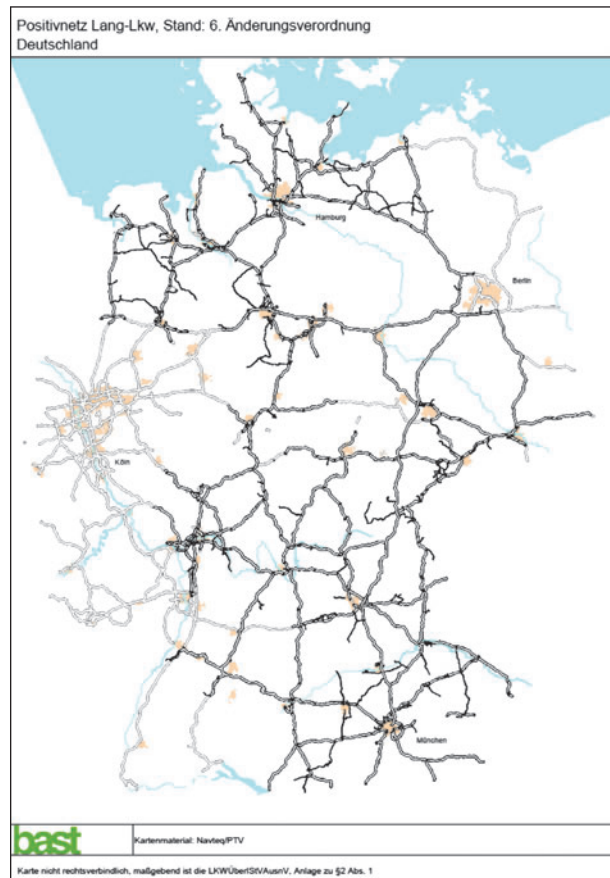


Bild 2: Unverbindlicher Überblick über das Positivnetz gemäß der 6. Änderungsverordnung zur LKWÜberStVAusV vom 29.04.2016

seine Autobahnen und Mecklenburg-Vorpommern einzelne Strecken zum Befahren mit Lang-Lkw freigegeben. Mit der fünften Änderungs-Verordnung hat Baden-Württemberg einen Teil seines Autobahnnetzes und einzelne Strecken im nachgeordneten Netz als geeignet gemeldet und mit der sechsten Änderungs-Verordnung kamen schließlich Strecken in Brandenburg hinzu. Zum Ende des Feldversuchs nehmen somit nur noch drei Bundesländer überhaupt nicht am Feldversuch teil (BE, SL und RP).

An der Gesamtlänge der überörtlichen Straßen ohne BAB der am Feldversuch teilnehmenden Länder haben die für Lang-Lkw freigegebenen Abschnitte von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen lediglich einen geringen Anteil von wenigen Prozent. Der Anteil der Gemeindestraßen im Positivnetz an allen Gemeindestraßen in Deutschland liegt sogar im niedrigen Promillebereich.

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 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 im anhörungspflichtigen Fall eine Zustimmung der zuständigen Eisenbahnstreckenbetreiber vorläge, stünde einer Aufnahme in die Positivliste nichts entgegen.

Infolge der außergewöhnlichen Länge der Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen ist es insoweit opportun, sich an den Erlaubnisverfahren für Großraum- und Schwertransporte zu orientieren. Hier sind insbesondere die Anhörfreigrenzen der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) ein hilfreicher Richtwert. Speziell zur Beteiligung der Bahnunternehmen hat sich der BLFA-StVO vom 10./11.05.2011 bei Kreuzung höhengleicher Bahnübergänge zudem auf ein Verfahren nach dem Vorbild eines Merkblattes verständigt, welches für das gesamte Bundesgebiet ein einheitliches Verfahren sicherstellen soll. Für Fahrzeuge bis zu einer Länge von 25,00 Metern ist danach eine Anhörung der DB nicht erforderlich. Zur praktischen

Umsetzung führt das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr in einer Presseinformation vom 28.09.2012<sup>9</sup> aus, 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 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, Spurhaltungswarnsystem, automatisches Abstandsregelsystem oder Notbremsassistent, vgl. § 5 LKWÜberlStVAusnV).

Eine weitere Anforderung betrifft den Einsatz im Kombinierten Verkehr (vgl. § 6 LKWÜberlStVAusnV), 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 LKWÜberlStVAusnV) 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 Unterweisung der Fahrer durch den Hersteller oder eine

<sup>9</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.



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 freischwiegend 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).

#### 4.4 Teilnahmebekundung

Teilnehmer am Feldversuch durchlaufen zwar kein explizites Genehmigungs- beziehungsweise Erlaubnisverfahren; die Teilnahme am Feldversuch ist aber gegenüber der BASt anzuzeigen (vgl. § 12 LKWÜberlStVAusV). 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 werden diese der BASt unter Beachtung datenschutzrechtlicher Belange mitgeteilt, damit sie in der wissenschaftlichen Untersuchung Berücksichtigung finden können.

## 5 Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung

Der Zweck der wissenschaftlichen Begleitung ist auch in einer Versachlichung des Themas ‚Längere Lkw‘ zu sehen. Denn die Diskussion um den Feldversuch mit Lang-Lkw war zu Beginn sehr 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 und relativ pauschal (d. h. vor allem ohne eine Differenzierung der verschiedenen Lang-Lkw-Typen, vgl. dazu auch Kapitel 3.3) 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 Einsatz von Lang-Lkw 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 Fragestellungen 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).

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 (bei-

spielsweise 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 Feld-

<p><b>Fahrzeuge</b></p> <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>	<p><b>Fahrer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychologische Aspekte – Fahrer</li> <li>• <i>Fahrermangel</i></li> <li>• <i>Verhaltensrecht</i></li> </ul>
<p><b>Infrastruktur</b></p> <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>	<p><b>Transport, Logistik und Umwelt</b></p> <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>
	<p><b>Sonstiges</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychologische Aspekte – Andere Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Öffentlichkeitswirkung</li> </ul> <p><i>kursiv: zusätzliche Vorschläge der externen Experten</i></p>

Bild 3: Ergebnis des Expertenkolloquiums am 17.05.2011

versuch noch mit experimentellen oder modelltheoretischen Untersuchungen beantworten lassen, sondern erst durch einen über mehrere Jahre, wenn nicht Jahrzehnte andauernden Realbetrieb. Als Beispiele dafür sind Fragen 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 Speditionen hinsichtlich Handhabung und Aufwand getestet und Pre-Tests zum Einsatz von Erfassungstechnik für Fahrverhaltensbeobachtungen durchgeführt.

### Datenerhebungsphase

Praktisch mit dem Eingang der ersten Teilnahmeekundung 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. Kapitel 4.4). Gleichmaßen 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 hat sich vor allem aus statistischen Gründen im Hinblick auf die zu erwartenden Fallzahlen über den gesamten Zeitraum des Feldversuchs erstreckt (vgl. Kapitel 13).



Bild 4: Untersuchungsphasen der wissenschaftlichen Begleitung

## Analysephase

Die Analysephase sollte möglichst zügig zu den meisten Fragestellungen belastbare Antworten liefern, um diese etwa zur Halbzeit des Feldversuchs in einem Zwischenbericht (vgl. IRZIK et al., 2014) 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 Fahrprotokolle und von Befragungen zahlreiche Angaben zu den eingesetzten Fahrzeugen, den Fahrern, den transportierten Gütern und den gewählten Routen erfasst (vgl. Kapitel 6 – 8 und Kapitel 12). Mithilfe 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. Kapitel 12) oder Beobachtungen von Abbiegevorgängen (vgl. Kapitel 11.4.3) und des Fahrverhaltens in Arbeitsstellen auf Autobahnen (vgl. Kapitel 11.5) zu nennen.

Ergänzend wurde 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. Kapitel 10).

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) waren in der Abschlussphase für ein abschließendes Gesamtergebnis gegebenenfalls gebotene Nacherhebungen zur Analysephase geplant. Die gesamten Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleituntersuchung werden durch die BASt mit dem hier vorliegenden abschließenden Bericht nach Ende des Feldversuchs zusammengefasst.

Bereits bei der ursprünglichen Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung war deutlich geworden, dass bestimmte Fragestellungen nicht nur zu Beginn des Feldversuchs, sondern auch nochmals am Ende behandelt werden müssen, um ein umfassendes

des Bild bezüglich möglicher Auswirkungen eines Einsatzes von Lang-Lkw generieren zu können. Im Einzelnen handelt es sich dabei um

- die Sammlung und Analyse von Unfällen und anderer besonderer Ereignis,
- die Analyse der Konfigurationen von Lang-Lkw,
- die weitere Untersuchung der Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung, z. B. auch unter sich verändernden Randbedingungen (Stichwort: veränderter Achszahl) und
- eine erneute Fahrerbefragung nach weitergehender Erfahrung mit dem Einsatz von Lang-Lkw.

Zudem wurden während der Analysephase weiterführende Fragestellungen identifiziert und im Zwischenbericht dokumentiert (vgl. IRZIK et al., 2014). Insbesondere konnte ermittelt werden, dass Lang-Lkw keine herkömmlichen Lkw mit 40 t Gesamtgewicht ersetzen, sondern aus dem Gewichtsspektrum des gesamten Schwerverkehrs (vgl. die in Bild 5 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 27 t auf (vgl. dazu die in Bild 5 dargestellte Häufigkeitsverteilung SV 2011).

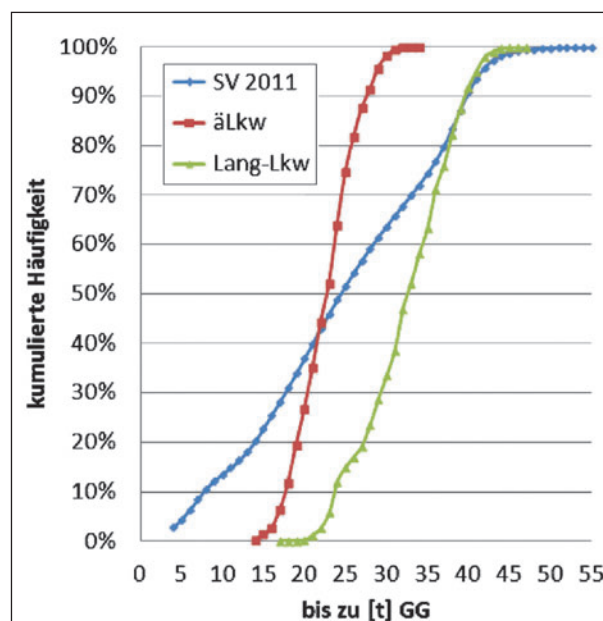


Bild 5: Verteilung der Gesamtmasse der Lang-Lkw, des äquivalenten Lkw-Kollektives (älKw) sowie des gesamten Schwerverkehrs am Beispiel des Jahres 2011 (aus IRZIK et al., 2014)

figkeitsverteilung äLkw). Das dem gegenüberzustellende Einsatzgewicht der Lang-Lkw betrug, wenngleich im rechtlich zulässigen Rahmen, hingegen überwiegend 25 t bis 39 t (vgl. dazu die in Bild 5 dargestellte Häufigkeitsverteilung Lang-Lkw).

Vor diesem Hintergrund war es erforderlich, gewisse Fragestellungen in der Abschlussphase neu zu beleuchten. Im Detail handelt es sich dabei um

- einen zusätzlichen Vergleich der Bremswirkung von Lang-Lkw mit dem äquivalentem Fahrzeugkollektiv (gleiches Transportgut) sowie den Auswirkungen einer verringerten Achszahl auf das Bremsen und
- die zusätzliche theoretische Ableitung von möglichen Auswirkungen von Lang-Lkw auf Schutzeinrichtungen auf Brücken sowie das Anprallverhalten im Vergleich zum äquivalenten Fahrzeugkollektiv (gleiches Transportgut).

Eine weitere Erkenntnis der Analysephase betrifft das Parken mit Lang-Lkw. Teil der Abschlussphase war daher eine Untersuchung mit dem Ziel, Lösungsansätze für diese Thematik zu entwickeln und zu evaluieren.

Aufgrund der im Vergleich zum Stand der dem Zwischenbericht zugrundeliegenden Forschungsarbeiten deutlich gestiegenen Anzahl an am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw konnte zudem auch das Thema „Überholen auf Landstraßen“ nochmals betrachtet werden, da zu dieser Fragestellung aufgrund des überwiegenden Einsatzes von Lang-Lkw auf zweibahnigen Straßen die bis zum Zwischenbericht vorliegenden Erkenntnisse lediglich tendenziellen Charakter aufwiesen.

Die gestiegene Teilnehmerzahl bot zudem die Chance, durch eine erneute Analyse der Transportvorgänge mögliche Veränderungen bezüglich der Güterstruktur, von Transportweiten o. ä. aufzudecken beziehungsweise die bisher gewonnenen Erkenntnisse zu verifizieren. Auf dieser Grundlage sollte die Einschätzung bezüglich einer lediglich geringen Verlagerungswirkung von der Schiene auf die Straße gestützt beziehungsweise die konkreten Nachfragewirkungen unter der Annahme verschiedener Einsatzszenarien (z. B. für ein Positivnetz) modelltechnisch ermittelt werden.

Der nun vorgelegte Abschlussbericht schreibt den Zwischenbericht aus dem Jahre 2014 fort und umfasst neben der Anlaufphase nun auch die komplet-

te Datenerhebungsphase sowie Analyse- und Abschlussphase. Der Bericht enthält die Ergebnisse aller im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung durchgeführten Forschungsprojekte einschließlich ihrer zusammenfassenden Bewertung. Er beschreibt auch einen möglichen weitergehenden Forschungsbedarf.

## 6 Statistische Auswertungen

Im Rahmen des Feldversuchs wurden zwei empirische Erhebungen bei den teilnehmenden Transportunternehmen zu Unternehmensstrukturen, Fahrzeugen und Transportvorgängen durchgeführt. Zunächst wurde eine zwölfmonatige kontinuierliche Fahrtenerhebung im Rahmen des FE 89.0273/2012 (BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING, 2014, vgl. auch Kapitel 7) vorgenommen. Um die Erkenntnisse dieser Grundlagenerhebung zu validieren beziehungsweise neue Erkenntnisse zu gewinnen, erfolgte Ende 2015 eine dreimonatige Folgeerhebung, die sich im Grundsatz an der Systematik der ersten Befragung orientierte (BURG, SCHREMPF, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016). Die wesentlichen Erkenntnisse der Erhebungen bezüglich der Transportvorgänge lassen sich wie folgt zusammenfassen (Werte der Grundlagenerhebung in Klammern):<sup>10</sup>

- Hochgerechnet wurden in der Folgeerhebung ca. 61.900 (13.500) Transportvorgänge mit Lang-Lkw pro Jahr erfasst.<sup>11</sup>
- Die daraus resultierenden 13,6 (2,53) Millionen Fahrzeugkilometer wurden von 46 (21) Unternehmen mit insgesamt 120 (37) verschiedenen Lang-Lkw erbracht, wobei zu beachten ist, dass die Anzahl der teilnehmenden Unternehmen und eingesetzten Lang-Lkw im Erfassungszeitraum gestiegen ist.<sup>11</sup> Die so dokumentierte Fahrleistung von Lang-Lkw entspricht etwa 0,5 (0,1) Promille der in 2015 (2013) erbrachten mautpflichtigen Fahrten (29,7 (27,2) Mrd. km)<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Die absoluten quantitativen Daten aus der Folgeerhebung (2015/2016) wurden mit Erkenntnissen aus der Grundlagenuntersuchung saisonal bereinigt und auf ein Jahr hochgerechnet.

<sup>11</sup> Bei einer nach sechs Monaten erfolgten Zwischenbilanz während der Grundlagenuntersuchung 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>12</sup> BAG: Mautstatistik Jahrestabellen 2013 und 2015.

- Von den Lang-Lkw wurde dabei eine Frachtmenge von 843.500 (144.000) t transportiert.

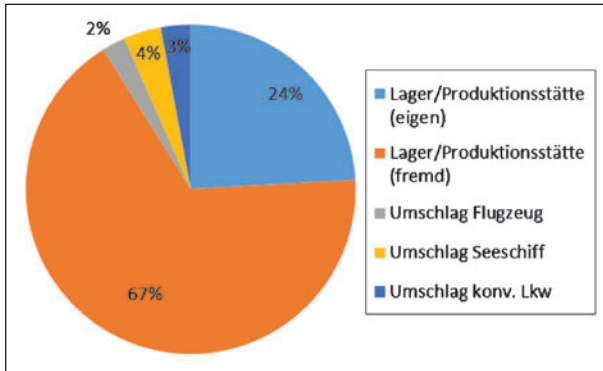
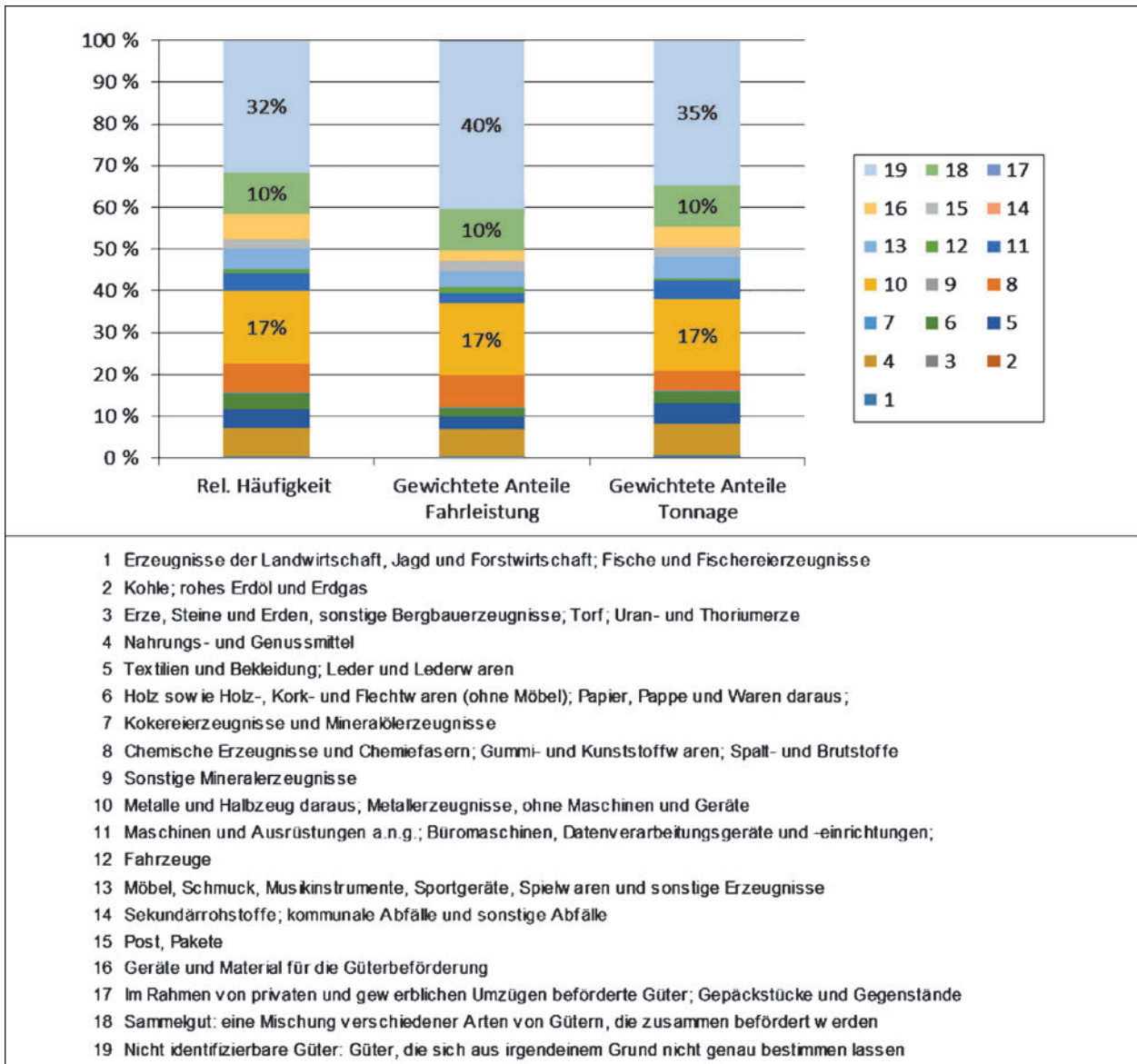


Bild 6: Quelle/Ziel der Fahrten mit Lang-Lkw (BURG, SCHREMP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016)

- Die durchschnittliche Fahrtweite je Lang-Lkw-Fahrt betrug rund 240 (200) km, wobei die Varianz zwischen etwas mehr als 10 km und fast 800 km pro Fahrt liegt.
- Mehr als 91 (83) % der Fahrten finden dabei zwischen Warenlagern und/oder Produktionsstätten als Pendelverkehre respektive im Hauptlauf statt (vgl. Bild 6).
- 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 7).

Basierend auf den statistischen Auswertungen im Rahmen der Untersuchungen von SÜßMANN,



- 1 Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse
- 2 Kohle; rohes Erdöl und Erdgas
- 3 Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran- und Thoriumerze
- 4 Nahrungs- und Genussmittel
- 5 Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren
- 6 Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus;
- 7 Kokereierzeugnisse und Mineralerzeugnisse
- 8 Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe
- 9 Sonstige Mineralerzeugnisse
- 10 Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte
- 11 Maschinen und Ausrüstungen a.n.g.; Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte und -einrichtungen;
- 12 Fahrzeuge
- 13 Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte, Spielwaren und sonstige Erzeugnisse
- 14 Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle
- 15 Post, Pakete
- 16 Geräte und Material für die Güterbeförderung
- 17 Im Rahmen von privaten und gewerblichen Umzügen beförderte Güter; Gepäckstücke und Gegenstände
- 18 Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden
- 19 Nicht identifizierbare Güter: Güter, die sich aus irgendeinem Grund nicht genau bestimmen lassen

Bild 7: Struktur der transportierten Güter (BURG, SCHREMP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER 2016)

FÖRG, WENZELIS (2014) sowie FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) (vgl. auch Kapitel 8.1) 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 kontinuierlich angestiegen. Die Anzahl der gemeldeten Lang-Lkw stieg dabei gerade auch zum Ende des Feldversuchs hin deutlich schneller als die Anzahl der teilnehmenden Speditionen (vgl. Bild 8). Zum Stand des Abschlussberichts (30.09.2016) haben 59 Speditionen 158 Lang-Lkw für die Teilnahme am Feldversuch bei der BAST angemeldet.
- Einzelne Sprünge in der Entwicklung lassen sich in der Regel mit einer vorhergehenden Erweiterung des Positivnetzes im Zuge einer Änderungs-Verordnung erklären (vgl. Kapitel 4.2). Am deutlichsten wird dies im Anstieg gemeldeter Lang-Lkw vom 3. zum 4. Quartal 2014, nachdem Ende August 2014 die 4. Änderungs-Verordnung in Kraft getreten war.
- Die angemeldete Teilnehmerzahl entspricht dabei jedoch nicht der Anzahl tatsächlich Fahren-der. Darüber liegen nur ungenaue Kenntnisse vor. Diese Ursache ist darin zu finden, dass nach der Ausnahme-Verordnung keine Abmeldepflicht für die Teilnehmer besteht. Aus persönlichen Gesprächen ist jedoch bekannt, dass einzelne Speditionen nach erfolgter Teilnahmebekun-

dung schließlich doch nicht am Feldversuch teilgenommen haben oder inzwischen nicht mehr teilnehmen.

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. Nicht ganz 60 % der bei der BAST gemeldeten Lkw sind diesem Typ zuzuordnen. Zur Halbzeitbilanz (Stand 30.04.2014) waren es noch über 60 %, Ende 2013 sogar fast drei Viertel aller gemeldeten Lang-Lkw gewesen (vgl. IRZIK et al., 2014). An zweiter Stelle rangierte auch zum Zeitpunkt der Halbzeitbilanz mit 19 % Anteil der Typ 2, d. h. ein Sattelkraftfahrzeug mit angekuppeltem Zentralachsanhänger. Dieser Typ hat zum Ende des Feldversuchs hin jedoch nochmals deutlich zugelegt und weist zum Stand 30.09.2016 einen Anteil von fast 30 % der zum Feldversuch angemeldeten Lang-Lkw auf. Lang-Lkw vom Typ 4 und 5 spielen praktisch keine Rolle im Feldversuch. Ihre Anzahl ist nahezu unverändert über den gesamten Feldversuch hinweg konstant geblieben und ihr Anteil an der Gesamtzahl dementsprechend immer weiter gesunken. Die Lang-Lkw vom Typ 5 sind lediglich von zwei Speditionen eingesetzt worden. Eine der beiden Speditionen nahm dabei sogar nur temporär am Feldversuch teil. Lang-Lkw vom Typ 4 sind von ihrer Anzahl sogar nochmals weniger im Feldversuch vertreten und werden auch nur von zwei Speditionen eingesetzt. Einen, wenngleich auf niedrigem Niveau, deutlichen Zuwachs seit dem Zeitpunkt des Zwischenberichts hat der Lang-Lkw vom Typ 1 erfahren. War es Mitte 2014 lediglich ein ein-

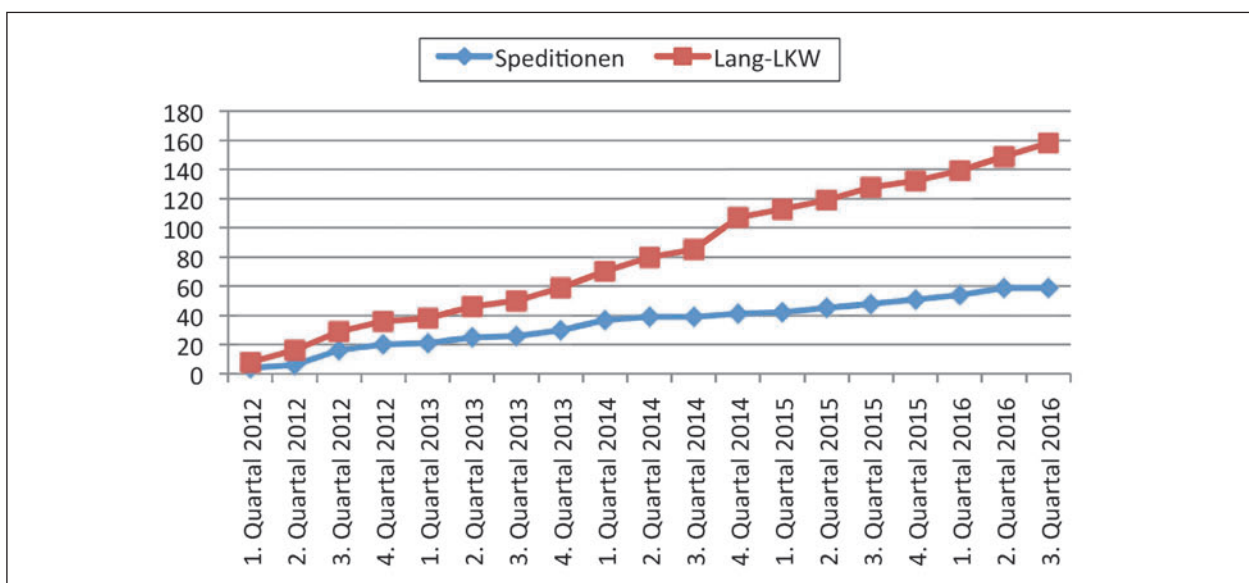


Bild 8: Zeitliche Entwicklung der bei der BAST gemeldeten Teilnehmer am Feldversuch (Stand 30.09.2016)

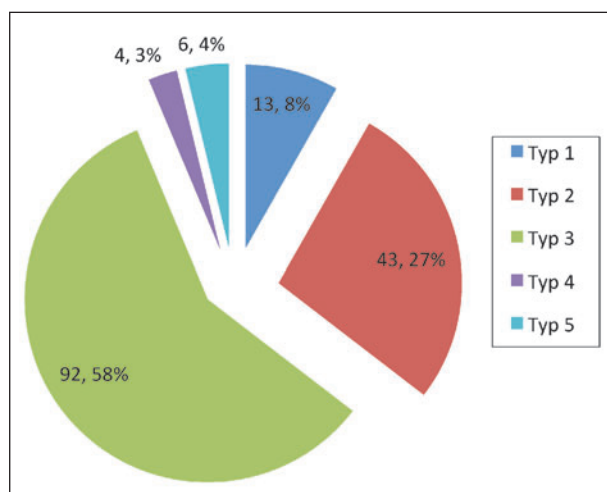


Bild 9: Verteilung der gemäß LKWÜberlStVAusnV verschiedenen Typen der bei der BAST gemeldeten Lang-Lkw (Stand 30.09.2016)

zuges verlängertes Sattelkraftfahrzeug, das temporär am Feldversuch teilgenommen hatte, sind es zum Stand des Abschlussberichts nun 13 Fahrzeuge.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass der Anteil der am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw gemessen an der Anzahl der in 2013 vom BAG ermittelten Mautfahrzeuge<sup>13</sup> von rund 580.000 (BAG, 2014) bei etwa 0,3 Promille liegt.

## 7 Marktpotenzial und Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw

### 7.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs mit Lang-Lkw wurde eine Abschätzung der potenziellen Verkehrsnachfragewirkungen aufgrund des Einsatzes von Lang-Lkw in Deutschland vorgenommen. Basierend auf im Feldversuch tatsächlich beobachteten und erfassten Transportvorgängen erfolgte zunächst eine Schätzung des

Marktpotenzials von Lang-Lkw, welches als Grundlage für die anschließende Verkehrsnachfragemodellierung diente. 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. Kapitel 8.6).

Grundlegende Arbeitsschwerpunkte der Untersuchungen bestanden zum einen in der Entwicklung des Designs, der Koordination, der Durchführung und der Auswertung der empirischen Erhebungen der im Rahmen des Feldversuchs durchgeführten Transportvorgänge und zum anderen in der Modellierung der Verkehrsnachfrageeffekte.

Die Ausführungen in den Kapiteln 7.1 bis 7.3 basieren auf den beiden Forschungsprojekten FE 89.02 73/2012 „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung“ (BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING, 2014) und FE 89.315/2015 „Verkehrsnachfragewirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw“ (BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016). Im Folgenden werden Zielsetzung, Vorgehen und wesentliche Ergebnisse beider Forschungsprojekte kurz erläutert.

In den oben genannten Forschungsprojekten wurden innerhalb eines zwölf- beziehungsweise dreimonatigen Erhebungszeitraums von Ende 2012 bis Ende 2013 beziehungsweise Ende 2015 bis Anfang 2016 die durchgeführten Transportvorgänge mittels eines Web-basierten Online-Fragebogens im Wochenrhythmus erhoben und analysiert (vgl. dazu auch Kapitel 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 mithilfe der empirischen und qualitativen Erhebungsergebnisse und mithilfe von deskriptiven Analysen vorhandener Güterverkehrsstatistiken für deutsche Lkw die Marktpotenziale für den Einsatz von Lang-Lkw abgeschätzt.

<sup>13</sup> Da seit dem 01.10.2015 auch Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen ab einem zulässigen Gesamtgewicht von mindestens 7,5 t mautpflichtig sind, wird, wie auch schon beim Zwischenbericht (vgl. IRZIK et al., 2014) das Jahr 2013 als Bezugsgröße gewählt, da zu diesem Zeitpunkt nur Lkw ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 12 t als Mautfahrzeuge erfasst wurden.



Letztlich wurden – anknüpfend an die Grundlagenermittlung – potenzielle Verkehrsnachfragewirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw modellhaft ermittelt. Für unterschiedliche Szenarien wurden Abschätzungen zu intra- und intermodalen Verlagerungswirkungen sowie daraus resultierenden Änderungen an Klimagas- und Luftschadstoffemissionen generiert.

## 7.2 Erhebungsergebnisse und Abschätzung des Marktpotenzials

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 % (Grundlagenermittlung) beziehungsweise 26 % (Folgerhebung) pro Stellplatzkilometer 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 mehr als 80 % 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 Beschaffung 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- beziehungsweise Stellplatzkapazität gegeben, welche nur mit Volumengütern erreicht werden kann.

Alle in den Erhebungen beobachteten und erfassten Transportvorgänge wurden bisher anstatt mit Lang-Lkw per konventionellen Lkw durchgeführt. Im Durchschnitt ersetzte dabei eine Lang-Lkw-Fahrt 1,53 bis 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 Kapitel 6 aufgeführten

- hohen Anteil aller Fahrten als Pendelverkehre beziehungsweise im Hauptlauf zwischen Warenlagern und/oder Produktionsstätten (vgl. Bild 6),
- hohen Anteil aller transportierten Güter im Bereich ‚Stückgutverkehre‘,
- Spektrum der von den Lang-Lkw transportierten Güter (vgl. Bild 7),
- 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 Binnenschiffgüterverkehrs 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) spiegeln 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 spiegeln die durchgeführte qualitative Befragung von Nicht-Teilnehmern und Experten die Spannweite der in den einschlägigen Publikationen diskutierten Argumente wider (vgl. auch Kapitel 3 und 5).

Bezüglich der Auswirkungen des Lang-Lkw-Einsatzes auf Kraftstoffverbräuche wurde zunächst in Be-

zug 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 verschiedener 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, Streckenprofile etc.) begründet ist. Dies zeigen unabhängig von den Ergebnissen dieser Untersuchung auch die Ergebnisse aus dem von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeiteten Teilprojekt FE 82.0543/2012 „Lang-Lkw: Auswirkungen auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt“ (vgl. Kapitel 8). Insbesondere waren hier vergleichsweise geringere mittlere Kraftstoffverbräuche und Auslastungen von konventionellen Lkw zu beobachten<sup>14</sup>.

Wie in Kapitel 7.1 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 10). Als Grundlage für die Verkehrsnachfragemodellierung für die Lang-Lkw-Typen 2-5 wurde die Variante 2 aus dem Potenzialmodell verwendet, da diese weitgehend den in der empirischen Erhebung vorgefunden Mustern entspricht. D. h. Transporte, die mit Pritschenwagen, Kippern und Fahrzeugen mit Kesselaufbauten durchgeführt werden, sind nicht als Lang-Lkw-Potenzial anzusehen. Weiterhin sind Transporte von Massengut (Steine und Erden, mineralische Brennstoffe, Mineralölprodukte, Düngemittel und Erze/Metallabfälle) sowie Sammel-

<sup>14</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/100 km beobachtet (vgl. Kapitel 8.6). Dies ist im Vergleich zu ca. 30 Liter/100 km, die als durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von konventionellen Lkw der befragten Unternehmen angegeben wurden, der Hauptunterschied.

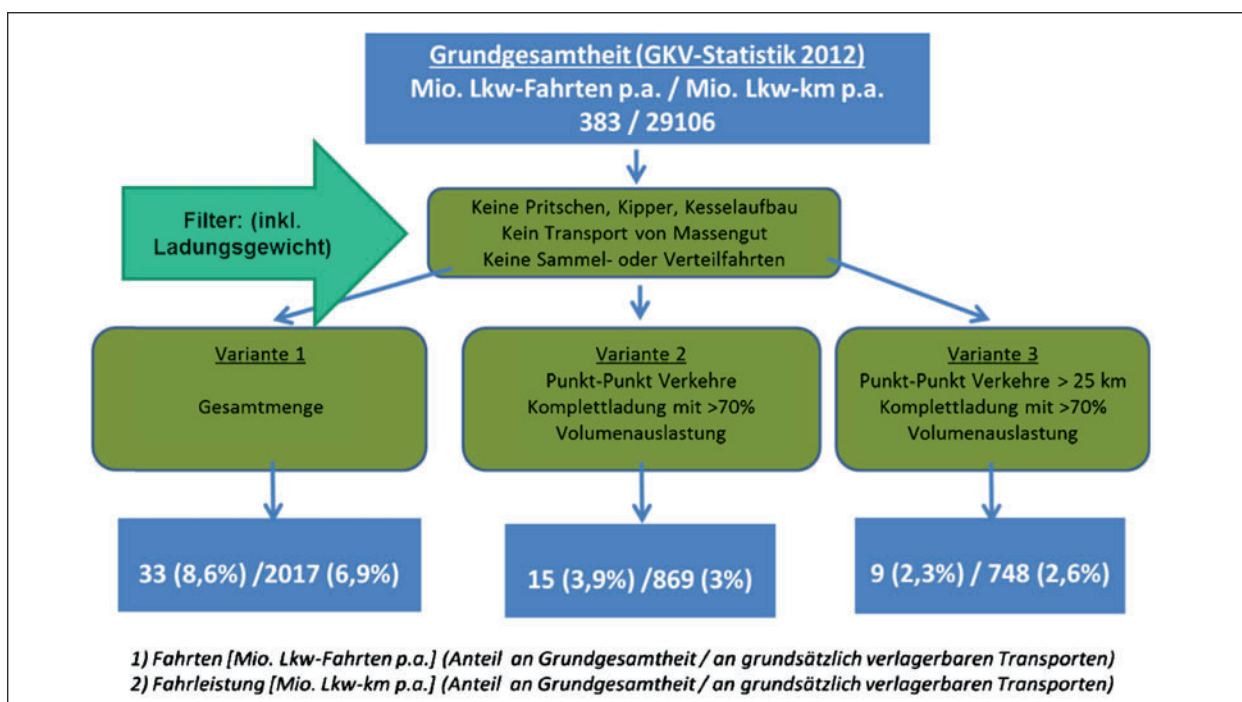


Bild 10: Filter und Ergebnisse der Marktpotenzialanalyse für Lang-Lkw vom Typ 2-5 (in Anlehnung an BURG, SCHREMPF, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016)

und Verteilfahrten Ausschlusskriterien für die Lang-Lkw-Nutzung. Betrachtet werden dann in Variante 2 Punkt-zu-Punkt Verkehre, d. h. es werden Komplettladungen transportiert. Um eine betriebswirtschaftliche Rentabilität zu gewährleisten, muss dabei eine Volumenauslastung von mindestens 70 % erreicht werden. Danach könnten 3,9 % aller Lkw-Fahrten bzw. 3 % der Fahrleistung konventioneller Lkw durch Lang-Lkw ersetzt werden.

Im Gegensatz dazu hängt das Marktpotenzial für den Lang-Lkw vom Typ 1 (Lang-Lkw mit verlängertem Sattelanhänger) nicht in erster Linie von Besonderheiten in den logistischen Strukturen und Einsatzfeldern ab, sondern wird grundsätzlich in dem Ersatz des Fuhrparkbestandes von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen (Sattelzugmaschinen und Sattelanhängern) gesehen. Dies wurde durch die Ergebnisse der qualitativen Befragung sowie auch anderer Expertenmeinungen gestützt. Daraus ergaben sich folgende Annahmen für den Marktpotenzialansatz des Lang-Lkw vom Typ 1:

- vollständiger Ersatz aller Binnenfahrten deutscher 1- und 2-achsiger Sattelanhänger,
- anteiliger Ersatz aller nicht komplett ausgelasteten (Tonnage-)Binnenfahrten deutscher 3-achsiger Sattelanhänger.

Letztlich wurde als ‚Best-Guess‘-Annahme geschätzt, dass das Marktpotenzial bei ca. 50 % aller Fahrten deutscher Sattelanhänger im innerdeutschen Verkehr des Jahres 2014 liegt<sup>15</sup>.

### 7.3 Verkehrsnachfragewirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Erhebungen und der Abschätzung des Marktpotenzials wurde die Modellierung von bundesweiten Nachfragewirkungen und deren direkten Auswirkungen auf den Modal-Split sowie Klimagas- und Schadstoffemissionen auf Basis der gesamten be-

obachteten Strukturen des bundesweiten Feldversuchs durchgeführt. Dazu wurde ein integratives, auf den Güterstromverflechtungen aller Verkehrsträger der Verkehrsprognose 2030 basierendes Güterverkehrs-Nachfrage-Modell und ein um den Lang-Lkw erweitertes Verkehrsmittelwahlmodell entwickelt, das insbesondere sensitiv auf das für den Lang-Lkw verfügbare Straßennetz reagiert. Dies bedeutet, dass eine Unterscheidung zwischen Lang-Lkw und konventionellem Lkw im Netzzugang vorgenommen wurde. Damit wurden der Netzzugang sowie mögliche Umwegfahrten für Lang-Lkw relationsspezifisch abgebildet. Für die Schätzung aller Verlagerungseffekte wurde in Anlehnung an das BVWP-Verfahren ein Logit-Modell angewendet. Dieser Modellansatz ermöglicht einen detaillierten, auf einzelne Transportrelationen bezogenen, gütergruppenspezifischen Vergleich einzelner Verkehrsmittel und spiegelt somit auch den aktuellen Stand der Güterverkehrsmodellierung wider.

Die Anwendung der einzelnen Modellmodule, wie z. B. das Potenzialmodell, das Netzmodell (ein differenziertes Rastermodell zur Festlegung eines potenziellen Streckennetzes bei einer bundesweiten Freigabe des Einsatzes von Lang-Lkw), Umlage- und Kostenmodelle sowie das Modal-Split-Modell liefern szenarienspezifische Abschätzungen für intra- und intermodale Verlagerungswirkungen hin zum Lang-Lkw, aus denen Klimagas- und Schadstoffmengen abgeleitet wurden. Insbesondere mit der Entwicklung und Anwendung eines Rastermodells zur Abbildung des relevanten Straßennetzes für den Lang-Lkw wurde eine feinräumige Information über die Verteilung von wichtigen Aufkommenspunkten für Güterverkehre in Deutschland geschaffen (vgl. Bild 11).

Ziel der Szenarien war es, eine breite Wirkungsabschätzung für den Einsatz von Lang-Lkw bezüglich der Ausgestaltung des Positivnetzes erzielen zu können. Daher wurde dem Status-Quo, d. h. dem aktuellen Netzzugang laut 6. Änderungs-Verordnung (vgl. Bild 2), ein erweiterter Netzstand gegenübergestellt, der aus einem Kernnetz inklusive erweitertem Einzugsbereich besteht. Die Definitionen für die Netzszenarien sind im Folgenden kurz skizziert:

#### 1. Szenario A

Netzzustand Positivnetz laut 6. Änderungs-Verordnung für Lang-Lkw-Typen 2-5.

<sup>15</sup> Bei der Abschätzung des Marktpotenzials des Lang-Lkw vom Typ 1 konnte eine mögliche Anpassung der Fahrzeugflotten, die sich aufgrund der veränderten Mautklasseneinteilung ab dem 01.10.2015 ergeben könnte, nicht berücksichtigt werden. Da aber der hierfür relevante Anteil der deutschen 1- und 2-achsigen Sattelanhänger nur bei ca. 6 % aller deutschen Binnenfahrten mit Sattelanhänger liegt, wird dieser Effekt auf das Marktpotenzial als gering eingestuft.

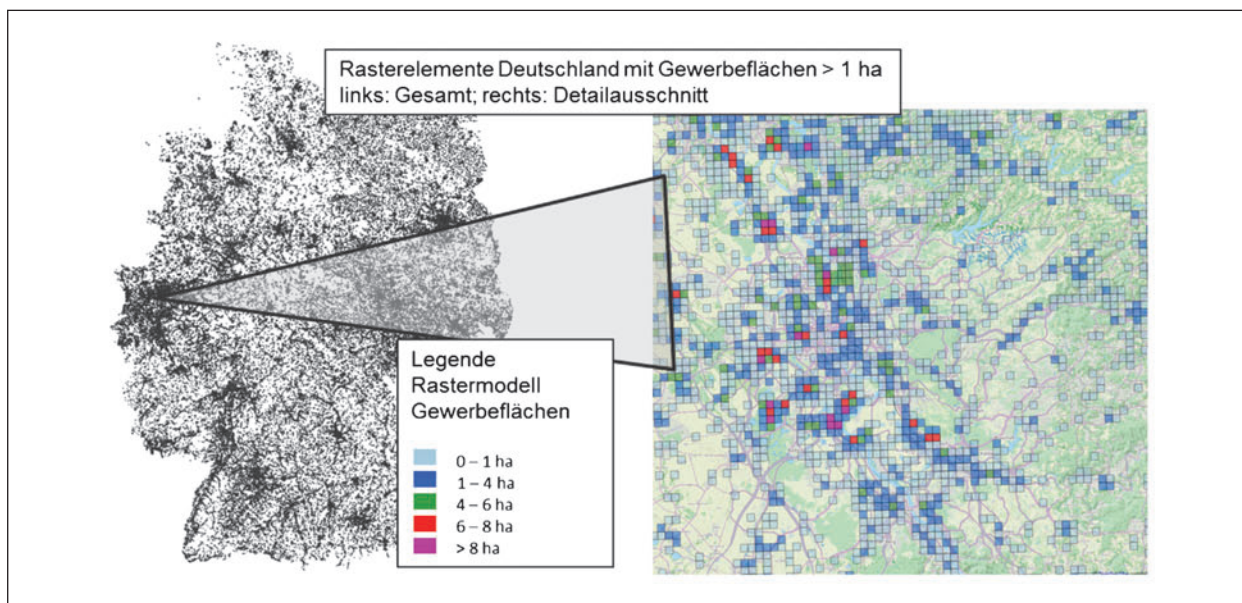


Bild 11: Gewerbeflächenrasterelemente Deutschland als Basis der Modellraumstruktur (BURG, SCHREMPF, RÖHLING, KLAAS-WIS-SING, SCHREINER 2016)

## 2. Szenario B

- a) Lang-Lkw-Typen 2-5: Kernnetz mit erweitertem Einzugsbereich des übrigen Straßennetzes,
- b) Lang-Lkw-Typen 1-5: Kernnetz mit erweitertem Einzugsbereich des übrigen Straßennetzes inklusive Lang-Lkw-Typ 1 auf dem gesamten deutschen Straßennetz.

Der erweiterte Einzugsbereich im Szenario B wurde mit einem Wahrscheinlichkeitsmodell abgebildet. Dies war notwendig, da eine bundeweite Definition eines maximalen Positivnetzes aufgrund der Vielzahl von Kriterien, die nicht nur die technische Befahrbarkeit von Straßen beinhalten, den Rahmen der Untersuchung überschritten hätte. Um valide modellhafte Aussagen der Verkehrsnachfragewirkung von Lang-Lkw bei einem erweitertem Positivnetz auf Bundesebene treffen zu können, wurde daher dieser Näherungsansatz gewählt, um den Netzzugang zu modellieren. Die Erreichbarkeit der einzelnen Rasterelemente per Lang-Lkw ist dadurch charakterisiert, dass für einzelne Strecken beziehungsweise Streckenkategorien Wahrscheinlichkeiten für deren Befahrbarkeit durch Lang-Lkw vergeben wurden. Kriterien dafür waren die Straßenkategorie, Anzahl der Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeit sowie Wohnbebauung.

Schätzungen auf Basis der in Kapitel 7.2 ausgewiesenen Marktpotenziale ergeben als maximales intramodales Potenzial für Lang-Lkw der Typen 2-5

im Jahr 2014 ca. 3 % (ca. 869 Mio. Lkw-km) und im Jahr 2030, aufgrund des höheren Anteils Lang-Lkw-affiner Gütergruppen, ca. 3,2 % (ca. 1,18 Mrd. Lkw-km) aller auf deutschem Netz gefahrenen Lkw-Kilometer. Wird der Lang-Lkw-Typ 1 mit einbezogen, beträgt das gesamte intramodale Potenzial für die Jahre 2014 ca. 19 % (ca. 5,57 Mrd. Lkw-km) und 2030 ca. 20 % (ca. 7,63 Mrd. Lkw-km) aller auf deutschem Netz gefahrenen Lkw-Kilometer.

Das intermodale Potenzial beträgt ausgedrückt in Lang-Lkw-Äquivalenten in 2014 ca. 176 Mio. Lkw-km und in 2030 ca. 390 Mio. Lkw-km. Bezieht man das maximale intermodale Lang-Lkw-Potenzial auf die Transportleistung der Eisenbahn und des Binnenschiffs in Deutschland insgesamt, beträgt der Anteil in allen Szenarien im Jahr 2014 ca. 1,7 % und im Jahr 2030 ca. 2,9 %, aufgrund des generell stärkeren Wachstums der Lang-Lkw-affinen Segmente.<sup>16</sup> Das heißt, maximal 1,7 bis 2,9 % der Transportleistung der Eisenbahn und Binnenschifffahrt weisen überhaupt ähnliche Eigenschaften auf wie Lang-Lkw affine Güter. Diese potenzielle Eignung geht jedoch weder im intramodalen noch im intermodalen Bereich ohne weiteres mit einer tatsäch-

<sup>16</sup> Die in Deutschland erbrachte bzw. prognostizierte Transportleistung der Eisenbahn und Binnenschifffahrt in Tonnenkilometern (2014: 172 Mrd. tkm; 2030: 230 Mrd. tkm) wurde unter der Berücksichtigung eines konservativen Wertes zur durchschnittlichen Nutzlast der Lang-Lkw von 17 t in Fahrzeugkilometern (Lang-Lkw-Äquivalente) überführt.

lichen Verlagerung einher, da die Transportentscheidung maßgeblich von Kostenunterschieden und der Erreichbarkeit im Netz beeinflusst wird. Aus diesem Grund muss auf eine einfache Abschätzung des Verlagerungspotenzials für die Beurteilung möglicher Verkehrsnachfrageeffekte eine detaillierte, szenariobasierte Modellierung erfolgen. Im Szenario A wurden für den Lang-Lkw ca. 9,6 Mio. Lkw-km für das Jahr 2014 und ca. 15,1 Mio. Lkw-km für das Jahr 2030 geschätzt. Das entspricht ca. 1 % des Gesamtpotenzials, d. h. des intermodalen und intramodalen Potenzials, der Lang-Lkw-Typen 2-5. Für das Szenario B a) mit den Lang-Lkw-Typen 2-5 ergeben sich Modellergebnisse von ca. 70,2 Mio. Lkw-km (Jahr 2014) und 97,8 Mio. Lkw-km (Jahr 2030), was einem ausgeschöpften Lang-Lkw-Anteil am Gesamtpotenzial von ca. 7 % in 2014 und 6 % in 2030 entsprechen würde.

Wie bereits dargestellt, sind maximal ca. 1,7 % im Jahr 2014 und ca. 2,9 % im Jahr 2030 der Transportleistung der Eisenbahn und des Binnenschiffs in Deutschland potenziell für Lang-Lkw verlagerungsfähig. Mit 0,5 Mio. Lkw-km beziehungsweise

1,2 Mio. Lkw-km (Jahr 2014 bzw. Jahr 2030) für das Szenario A fällt der tatsächliche Anteil der intermodalen Verlagerungen, die den logistischen Anforderungen und Restriktionen des Lang-Lkw entsprechen, d. h. der Verlagerung direkt von Bahn und Binnenschiff, mit ca. 0,3 % am gesamten intermodalen Potenzial sehr gering aus. Auch für die beiden Varianten des Szenarios B ist der ausgeschöpfte Anteil mit ca. 1 % am intermodalen Potenzial sehr gering (1,8 Mio. Lkw-km im Jahr 2014 und 3,9 Mio. Lkw-km im Jahr 2030). Bezieht man diese intermodalen Verlagerungen wiederum auf die gesamte innerdeutsche Transportleistung der Eisenbahn und des Binnenschiffs (dargestellt in Tonnen-Kilometern), ergeben sich Anteile von 0,05 ‰ im Szenario A in 2014 bis maximal 0,3 ‰ im Szenario B in 2030.

Ein Vergleich der relevanten Szenarien untereinander zeigt, dass aufgrund der Ausweitung des Positivnetzes im Szenario B a) die Fahrleistung aller Lkw – ausgedrückt in Lkw-km – um ca. 3,1 % im Jahr 2014 und 3,0 % im Jahr 2030 im Vergleich zu Szenario A sinkt. Grund dafür ist einerseits der vermehrte Einsatz von Lang-Lkw auf neuen Relationen

Jahr 2014 (Mio. Lkw-km)	Szenario A	Szenario B a) (ohne Typ 1)	Szenario B b) (mit Typ 1)
Gesamtverkehr Straße	29.450	29.450	29.450
Gesamtverkehr Bahn/Binnenschiff*	10.118	10.118	10.118
Potenzial intramodal	869	869	5.574
Potenzial intermodal	176	176	176
Lang-Lkw intramodal	9,1	68,4	5.273,9
Lang-Lkw intermodal	0,5	1,8	1,8
Lang-Lkw gesamt	9,6	70,2	5.275,7
konventionelle Lkw	856,7	769,0	230,7
Lkw Summe	866,4	839,2	5.506,4
Jahr 2030 (Mio. Lkw-km)	Szenario A	Szenario B a) (ohne Typ 1)	Szenario B b) (mit Typ 1)
Gesamtverkehr Straße	37.402	37.402	37.402
Gesamtverkehr Bahn/Binnenschiff*	13.541	13.541	13.541
Potenzial intramodal	1.179	1.179	7.633
Potenzial intermodal	390	390	390
Lang-Lkw intramodal	13,9	93,9	7.215,4
Lang-Lkw intermodal	1,2	3,9	3,9
Lang-Lkw gesamt	15,1	97,8	7.219,3
konventionelle Lkw	1.159,4	1.040,9	260,2
Lkw Summe	1.174,5	1.138,7	7.479,6

\* Umgerechnet in Fahrleistung Lang-Lkw-Äquivalente

Tab. 2: Verkehrsnachfragewirkung der Szenarien (BURG, SCHREMPF, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016)

sowie andererseits die teilweise Vermeidung von Umwegfahrten der auch bisher durchgeführten Lang-Lkw Fahrten.

## 7.4 Fazit und Folgerungen

Das bei den kontinuierlichen Fahrterhebungen angestrebte Ziel, ein breites Spektrum an regelmäßigen tatsächlichen Transportvorgängen von Lang-Lkw unter betriebswirtschaftlichen Bedingungen zu analysieren, konnte erreicht werden. Wichtige Voraussetzung dafür war, verschiedene logistische Prozesse im Feldversuch analysieren und vergleichen zu können:

- 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, sodass Fragen nach der technischen und betriebswirtschaftlichen Umsetzbarkeit und auch Eignung für verschiedene Marktsegmente und logistischen Prozesse im Rahmen der Untersuchung vollständig abgedeckt werden konnten.

Die bei den Speditionen von BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführten Abfragen

zum Kraftstoffverbrauch sind im Kontext mit der exemplarisch durchgeführten Analyse des Kraftstoffverbrauchs im Rahmen des Teilprojekts der wissenschaftlichen Begleitung, dem FE 82.0543/2012 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) zu sehen (vgl. Kapitel 8.6). 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 BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014) aufgezeigte Spektrum, sodass beide Untersuchungen zusammen ein realistisches Bild im Hinblick auf diese Fragestellung liefern.

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.

Die modellierten Potenziale für die oben genannten Szenarien zeigen, dass aufgrund der Einsatzbereiche der Lang-Lkw generell nur ein geringer Teil aller deutschen Lkw-Fahrten (ca. 3,0 % in 2014 bzw. 3,2 % in 2030) sowie ein nochmals geringerer Teil aller Eisenbahn- und Binnenschifftransporte (ca. 1,7 % bzw. 2,9 %) für die Verlagerung auf den Referenz-Lang-Lkw (entspricht den Typen 2 bis 5) überhaupt geeignet wären. Ein wesentlicher Grund dafür liegt in den logistischen Einschränkungen und Voraussetzungen für den Einsatz von Lang-Lkw. Marktpotenziale für den Lang-Lkw-Typ 1 (verlängerter Sattelanhänger) hingegen spiegeln nicht in erster Linie die beobachteten Besonderheiten in den logistischen Strukturen und Einsatzfeldern des Lang-Lkw wider, sondern werden grundsätzlich in dem Eins-zu-Eins Ersatz des Fuhrparkbestandes von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen (Sattelzugmaschinen und Sattelanhängern) gesehen.

Aus der Verkehrsnachfragemodellierung lässt sich erkennen, dass die tatsächlich ausgeschöpfte Lang-Lkw-Fahrleistung im Vergleich zum Potenzial bei eingeschränktem Netzzugang, wie es das Posi-

tivnetz gemäß der 6. Änderungs-Verordnung darstellt, gering ausfällt (ca. 1 % des intramodalen Potenzials), und mit Ausdehnung eines möglichen Positiv-Netzes deutlich steigt (auf ca. 8 % des intramodalen Potenzials). Intermodale Verlagerungen sind bezüglich der relevanten gesamten deutschen Transportleistung von Bahn und Binnenschiff vernachlässigbar gering (Anteil je nach Szenario von 0,05 ‰ bis maximal 0,3 ‰). Dabei handelt es sich um Ergebnisse, die den Hauptlauf betreffen. Mögliche Positiveffekte durch Effizienzsteigerungen durch geringere Kostenstrukturen beim Einsatz von Lang-Lkw im Vor-/Nachlauf des Kombinierten Verkehrs Straße/Schiene beziehungsweise Straße/Binnenschiff sind dabei nicht berücksichtigt, da es dafür noch keine ausreichenden empirischen Grundlagen gibt. Bei einer Fortsetzung des Einsatzes von Lang-Lkw sollte erwogen werden, derartige Positiveffekte im Einsatz zu beobachten sowie wissenschaftlich zu untersuchen. Mögliche weitere externe Effekte, wie z. B. induzierter Verkehr, insbesondere durch Neuansiedlungen von Logistik- oder Produktionsstandorten, oder Rebound-Effekte in Form einer gestiegenen Verkehrsnachfrage aufgrund der Effizienzvorteile des Lang-Lkw, ließen sich empirisch im Rahmen der Untersuchungen nicht ableiten.

Insgesamt lässt sich aus den Modellergebnissen jedoch ableiten, dass der Einsatz des Lang-Lkw eine positive Verkehrsnachfragewirkung bezüglich einer Reduktion von gefahrenen Lkw-Kilometern und dementsprechend auch eine Reduktion von Klimagasen und Luftschadstoffen mit sich bringt. Der Vergleich der betrachteten Szenarien zeigt, dass sich unter Berücksichtigung der bisherigen Modellannahmen dieser positive Effekt durch eine mögliche Ausdehnung des Positivnetzes verstärkt. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass es sich hierbei nicht um einen theoretisch denkbaren, uneingeschränkten Netzzugang handelt. Die potenziellen Wirkungen eines solchen Netzzugangs müssen nicht zwangsläufig ein Maximum an positiven Effekten bedeuten, da die uneingeschränkte Erreichbarkeit von Standorten Änderungen der logistischen Strukturen mit unmittelbaren Auswirkungen auf das intra- und intermodale Verlagerungspotenzial zur Folge haben könnte. So zeigt sich aber bisher, dass intermodale Verlagerungseffekte von der Bahn beziehungsweise vom Binnenschiff vor allem aufgrund der bestehenden Gewichts-, aber auch der tatsächlichen beziehungsweise modellierten Streckenbeschränkungen sehr gering und damit vernachlässigbar sind.

Es wird aber auch deutlich, dass der Lang-Lkw nur eine mögliche Teillösung zur Eindämmung des Güterverkehrswachstums und den damit einhergehenden Umweltwirkungen darstellt. Nichtsdestotrotz ist der Einsatz aus betriebswirtschaftlicher und verkehrsnachfrageseitiger Sicht in bestimmten Bereichen und Einsatzfeldern sinnvoll.

## 8 Fahrzeugtechnik und Umwelt

Fahrzeugtechnische Aspekte und deren konkrete Umweltauswirkungen wurden in insgesamt drei Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleitung analysiert.

Im Rahmen des Feldversuchs wurden 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 einen Forschungsnehmer erfolgt hier, wie auch hinsichtlich der Einhaltung aller anderen Anforderungen aus der LKWÜberStVAusnV, nicht (vgl. Kapitel 4.4). Das in der Analysephase von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeitete Teilprojekt FE 82.0543/2012 „Lang-Lkw: Auswirkungen auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt“ bildet jedoch weitgehend den Stand vom 15.07.2013 bezüglich der Umsetzung verschiedener technischer Anforderungen ab. Zu diesem Zeitpunkt waren 43 Lang-Lkw von insgesamt 23 Speditionen registriert.

In der Abschlussphase setzten FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) im Rahmen des FE 82.0630/2015 „Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw“ die Untersuchung der Umsetzung der technischen Anforderungen an Lang-Lkw fort. Wiederum erfolgte eine Auswertung der bei der BASt eingereichten Unterlagen zu den technischen Anforderungen. Besonderes Augenmerk wurde dabei aufgrund der Erfahrungen aus der Vorgängerstudie auf die Achslastüberwachung und das Kamera-Monitor-System gelegt. Die Anzahl der Lang-Lkw war mit Stand 23.06.2016 auf 147 bei 58 teilnehmenden Speditionen gestiegen. Zusätzliche Bremsversuche, bei denen Lang-Lkw und konventionelles Sattelkraftfahrzeug mit Gut gleicher Ladungsdichte beladen waren, und Analysen zu Lang-Lkw-spezifischen Aspekten einer Fahrdynamikregelung (EVSC = Electronic Vehicle Stability Control) ergänzten die Untersuchungen.

Zudem wurden in einem BAST-internen Projekt die möglichen Auswirkungen eines Einsatzes von Lang-Lkw auf die Geräuschemissionen untersucht.

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) und FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) durchgeführten Forschungsprojekten sowie der BAST-internen Untersuchung zu den Geräuschemissionen und geben für die verschiedenen bearbeiteten Fragestellungen Ziele, Vorgehen und wesentliche Ergebnisse wieder.

## 8.1 Technische Anforderungen

### 8.1.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Die im Feldversuch eingesetzten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen müssen den besonderen technischen Anforderungen nach § 5 LKWÜberStVAusN genügen (vgl. Kapitel 4.3). Ein Ziel des von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) bearbeiteten Teilprojekts sowie des Anschlussprojekts von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) waren die Analyse und Dokumentation, wie diese technischen Anforderungen fahrzeugseitig umgesetzt wurden (vgl. Bild 12).

Die der BAST von den Speditionen zur Verfügung gestellten fahrzeugtechnischen Unterlagen bilden unter anderem die Grundlage für diese Analysen zu den fahrzeugtechnischen Anforderungen. Ergänzt wurden die Unterlagen durch Informationen, die in Fahrzeugbegutachtungen durch die Forschungs-

nehmer gewonnen werden konnten. Darüber hinaus wurde eine Fragebogenaktion bei allen teilnehmenden Speditionen durchgeführt.

### 8.1.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Resultate der Erhebung zu den technischen Anforderungen nach § 5 der LKWÜberStVAusN kurz erläutert. § 5 LKWÜberStVAusN zu den technischen Anforderungen gestattet zum Teil alternative Umsetzungsmöglichkeiten für die Anforderungen, auf die in den folgenden Kapiteln auch gesondert eingegangen wird.

#### • Spurhalteleuchten

Sie stellen bei Anhängern zulassungsseitig eine optionale Ausstattung dar, sind jedoch bei Lang-Lkw verpflichtend. Sie dienen bei Kurvenfahrten zur Erkennung der Fahrzeugkonturen in den Rückspiegeln. Diese Anforderung wurde von allen Lang-Lkw erfüllt. Lang-Lkw vom Typ 2, 3 und 4 wurden doppelt ausgestattet, entsprechend ihrer zwei Anhänger. Bei den Fahrzeugen vom Typ 1 und 5 kommen jeweils nur ein Paar Spurhalteleuchten zum Einsatz.

#### • Luftfedern

Sie sorgen für Achslastausgleich und schonen durch die Reduktion der dynamischen Achslastschwankungen die Straße. Obwohl die Lenkachsen nicht verpflichtend luftgefedert sein müssen, sind über 80 % der eingesetzten Fahrzeugkombinationen vollluftgefedert.

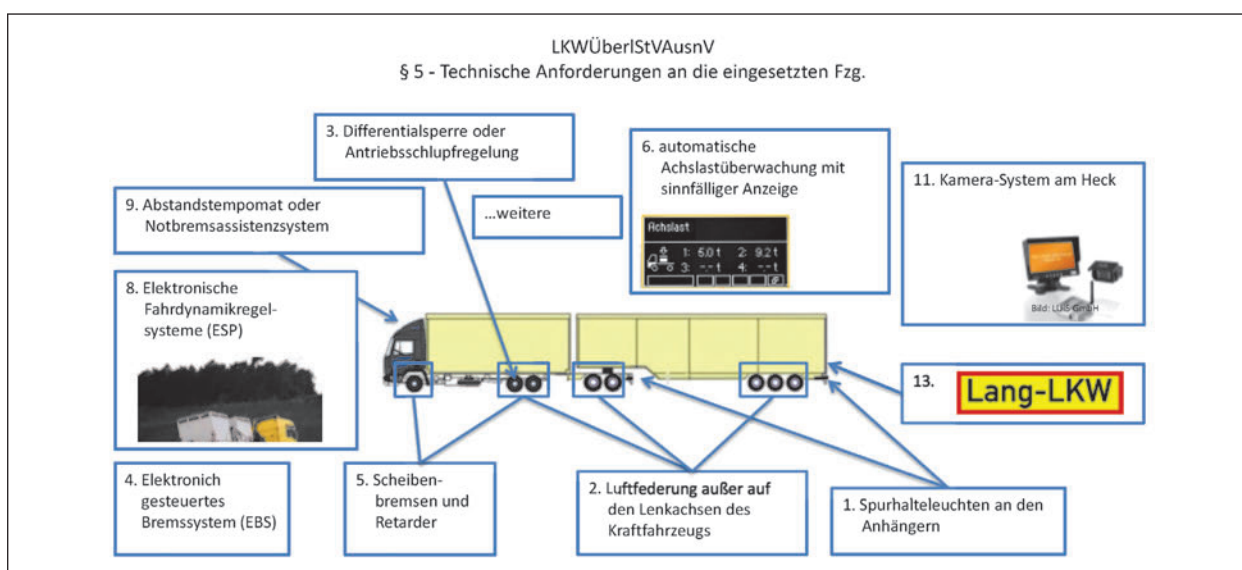


Bild 12: Fahrzeugtechnische Anforderungen an Lang-Lkw



- Differenzialsperre oder Antriebsschlupfregelung

Beide Sicherheitseinrichtungen sollen ein Durchdrehen der Antriebsachsen verhindern, wobei die Antriebsschlupfregelung elektronisch funktioniert und als Teil des EVSC (Electronic Vehicle Stability Control) seit November 2011 in Deutschland für alle neuen Nutzfahrzeugtypen verpflichtend ist. Im Gegensatz zur Differenzialsperre erreicht die Antriebsschlupfregelung ihre Wirkung durch ein Abbremsen eines Rades, falls dieses durchdrehen sollte. Drehen beide Antriebsräder durch, wird zusätzlich automatisch das Motormoment verringert. Ein Großteil der Fahrzeuge übererfüllt aktuell die Anforderungen der LKWÜberlStVAusV bereits und ist mit beiden Systemen ausgestattet.

- Elektronisch gesteuertes Bremssystem

Allen am Feldversuch teilnehmenden Fahrzeugkombinationen wird eine Ausstattung mit einem solchen System in den Übereinstimmungsnachweisen bescheinigt.

- Scheibenbremsen und Retarder im Zugfahrzeug

Die Erfüllung dieser technischen Anforderung wird allen am Feldversuch teilnehmenden Fahrzeugkombinationen in den Übereinstimmungsnachweisen bescheinigt.

- Automatische Achslastüberwachung mit sinnfälliger Anzeige der Achslasten für die Achsen mit Luftfederung oder der Gesamtmasse

Die Studie von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) enthält eine ausführliche Darstellung des Standes der Technik zu den gängigen Systemen der Achslastüberwachung bei Nutzfahrzeugen. Gemäß den Übereinstimmungsnachweisen wird allen Fahrzeugkombinationen die Erfüllung dieser Anforderung bestätigt. Im Rahmen der in der Nachfolgestudie durchgeführten Fragebogenaktion werden jedoch präzisere Aussagen zur Achslastüberwachung abgefragt. In Bezug auf die Achslastüberwachung wurde festgestellt, dass im überwiegenden Teil der Fahrzeugkombinationen (> 80 %) alle Achslasten komfortabel im Kombiinstrument im Fahrerhaus abgelesen werden können und daraus die Fahrzeuggesamtmasse berechnet werden kann. Im Falle der fehlenden Anzeige der Last einer blattgederten Vorderachse wird diese relativ aufwandsarm rechnerisch berücksichtigt (z. B. durch vorherige Bestimmung der Achslastverhältnisse

zwischen Vorder- und Hinterachse). In den wenigen Fällen, die das Ablesen der einzelnen Achslasten der einzelnen Fahrzeugmodule am jeweiligen Achslastmonitor (Smartboard) erfordern, werden von den Betreibern klar die Komfortnachteile und die höhere Gefahr von Ablesefehlern erkannt, jedoch insgesamt keine größeren Schwierigkeiten festgestellt. Weiteres zur Achslastüberwachung findet sich in Kapitel 8.2.

- Spurhaltewarnsysteme

Sie erkennen Fahrspuren optisch über eine Kamera hinter der Windschutzscheibe und warnen vor einer Fahrspurüberschreitung, falls diese ohne Blinkereinsatz erfolgt. Die Systeme sind üblicherweise über 60 km/h aktiviert. Die Warnung erfolgt beispielsweise über ein akustisches Signal. Gemäß den Übereinstimmungsnachweisen wird allen Fahrzeugkombinationen die Erfüllung dieser Anforderung bestätigt. Seitens der Autoren des Berichts wird vorgeschlagen, in der LKWÜberlStVAusV für diese Anforderung auf die bereits bestehende UN-Regelung Nr. 130 Bezug zu nehmen.

- Elektronisches Fahrdynamikregelsystem

Das System ermittelt den aktuellen fahrdynamischen Zustand des Fahrzeuges und erhöht mittels radselektiver Bremsengriffe über die elektronische Bremsregelung die Fahrstabilität in kritischen Fahrsituationen und -manövern. Gemäß den Übereinstimmungsnachweisen wird allen Fahrzeugkombinationen die Erfüllung dieser Anforderung bestätigt. Weitere Ergebnisse zu speziellen Aspekten dieser Systeme bei Lang-Lkw finden sich in Kapitel 8.7.

- Abstandsregelsystem und Notbremsassistent

Ein Abstandsregelsystem ermittelt den Abstand und die Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug. Das System regelt daraufhin die Geschwindigkeit so, dass der gesetzlich geforderte beziehungsweise eingestellte Mindestabstand eingehalten wird. Die eingesetzten Systeme unterscheiden sich je nach Fahrzeughersteller. Ein Notbremsassistent ermöglicht die Erkennung fahrender oder stehender Hindernisse, die entsprechende Warnung des Fahrers und gegebenenfalls die Einleitung einer aktiven Teilbremsung. Sollte eine Reaktion seitens des Fahrers ausbleiben, kann das System letztlich eine Vollbremsung bis zum Stillstand des Fahrzeugs durchführen. Die UN-Regelung Nr. 131 dokumentiert hierzu eine einheitliche Regelung

und verpflichtet alle neuen schweren Nutzfahrzeuge ab 2015 zur Ausstattung mit Notbremsassistenten (Advanced Emergency Braking Systems – AEBS). Bereits 19 % aller Fahrzeugkombinationen verfügen über beide Systeme, 74 % sind nur mit einem Abstandsregelsystem ausgestattet und 10 % verfügen lediglich über einen Notbremsassistenten.

- Einrichtungen für die indirekte Sicht

Gemäß den Übereinstimmungsnachweisen wird allen Fahrzeugkombinationen die Erfüllung dieser Anforderung bestätigt.

- Kamera-System am Heck des Fahrzeugs oder der Fahrzeugkombination sowie zugehöriger Monitor im Blickfeld des Fahrers für die Sicht nach hinten

Das Kamera-Monitor-System wird von den Betreibern überwiegend als praxistauglich in Bezug auf die Robustheit und Verschmutzungsanfälligkeit bewertet. Insbesondere als Rangierhilfe wird es positiv aufgenommen. Der Mehrwert und Bedarf zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs wird gemischt mit einer Tendenz zu negativ bewertet. Siehe hierzu die weiteren Ausführungen in Kapitel 8.5.

- Konturmarkierung

Wie bereits seit 2011 für alle Neufahrzeuge der Klassen N2, N3, O3 und O4 verpflichtend, müssen alle Fahrzeugmodule eines Lang-Lkw mit einer reflektierenden Vollkonturmarkierung in rot, gelb oder weiß hinten sowie an der Seite mit Teilkonturmarkierungen versehen werden. Alle Lang-Lkw erfüllen diese Anforderung.

- Heckseitige Kennzeichnung

Die LKWÜberlStVAusnV verlangt eine heckseitige Kennzeichnung des Fahrzeugs beziehungsweise der Fahrzeugkombination mit einem retroreflektierenden „Lang-Lkw“-Schild. Gemäß den Übereinstimmungsnachweisen wird allen Fahrzeugkombinationen die Erfüllung dieser Anforderung bestätigt. Zusätzliche Aspekte zur Heckkennzeichnung sind in Kapitel 8.5 aufgeführt.

- Digitales Kontrollgerät

Ein digitales Kontrollgerät gemäß den EU-Vorschriften zur Erfassung der Lenk- und Ruhezeiten ist in allen Lang-Lkw eingebaut.

- Kombiniertes Verkehr

§ 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.

Für die KV-Tauglichkeit im Rahmen des Feldversuchs ist lediglich der unbegleitete Kombinierte Verkehr relevant. Hierfür müssen einzelne Fahrzeugmodule entweder zur Bahnverladung mit Krantaschen ausgestattet sein oder die Aufnahme von Containern/Wechselchassis mithilfe einer Containersicherung, sog. Twistlocks, ermöglichen.

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

1. 15 Lang-Lkw (11 %) von 8 Speditionen (14 %) verfügen weder über Krantaschen zur Bahnverladung, noch ist die Aufnahme von Containern/Wechselchassis mithilfe einer Containersicherung, sogenannter Twistlocks, möglich.
2. Rund 40 % der am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw sind mit beiden Einrichtungen ausgestattet.
3. 22 % besitzen nur Krantaschen.
4. 27 % verfügen über Twistlocks zum Transport von Containern/Wechselchassis.

## 8.2 Automatische Achslastüberwachung ‚on-board‘

### 8.2.1 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, Verloader 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 in der Regel 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 sinnfälliger Anzeige zu konkretisieren.

Eine weitere alternative Möglichkeit der Ermittlung der Gesamtmasse bestünde in sogenannten dyna-

mischen 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 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) vorgenommene 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 %.

Die im Rahmen der Folgestudie von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) durchgeführte Fragebogenaktion erfragte detaillierte Aussagen zu folgenden Aspekten der Achslastüberwachung:

- Art der Berücksichtigung der Vorderachslast der Sattelzugmaschine bei der Erfassung der Lang-Lkw-Gesamtmasse,
- Ableseort der Achslast des Sattelanhängers/des 1. Anhängers/der Untersetzachse,
- Ableseort der Achslast des Zentralachsanhängers/des 2. Anhängers,
- Zeitaufwand zur Bestimmung der Lang-Lkw-Gesamtmasse.

Es konnten hierbei 97 % aller Fahrzeugkombinationen des Feldversuchs bis zum 23.06.2016 erfasst und ausgewertet werden.

### 8.2.2 Ergebnisse

Aufgrund des hohen Anteils an vollluftgefederten Fahrzeugkombinationen können bei mehr als 80 % aller Fahrzeugkombinationen die Achslasten aller Achsen der einzelnen Fahrzeugmodule direkt im Fahrerhaus des Zugfahrzeugs abgelesen werden. Bei den übrigen Anhängern muss die Achslast direkt außen am Fahrzeug abgelesen werden, was im praktischen Einsatz einen größeren Zeitaufwand zur Bestimmung der Fahrzeuggesamtmasse zur Folge hat.

Dieser Zeitaufwand liegt in den meisten Fällen bei max. 5 Minuten (89 %). Längere Bestimmungs-

zeiten im Bereich von 10 – 15 Minuten (3 Betreibergaben) werden von den Teilnehmern zum Teil durch umständliches Ablesen von Einzelachslasten an den Fahrzeugeinheiten bei zum Teil höherer Achszahl und fehlender Bedienerfreundlichkeit der Menüführung des Smartboards am Anhänger beziehungsweise Dolly begründet.

Im Falle einer Anzeige aller Achslasten direkt im Kombiinstrument im Fahrerhaus, wie es beim überwiegenden Teil der Lang-Lkw möglich ist, müssen vom Fahrer zur Ermittlung der Gesamtmasse lediglich die Einzelachslasten addiert werden. In einigen Fällen wird darüber hinaus auch die Gesamtmasse bereits im System angezeigt. Die Angaben erfolgen in den Einheiten Kilogramm oder Tonne mit zumeist einer Nachkommastelle, eine weitere Umrechnung durch den Fahrer ist nicht erforderlich, signifikante Fehlerquellen bei der Bestimmung der Gesamtmasse wurden von den Betreibern nicht als Problem beurteilt (z. B. Fehlbedienung, Ablese-/Abschreibfehler). Das Fahrzeug muss jedoch einen geraden Stand aufweisen und die Druckluft muss ausreichend aufgebaut sein.

Wird die Last einer blattgederten Vorderachse nicht angezeigt, wird diese von den Betreibern rechnerisch durch Addition eines festen, zuvor ermittelten Achslastwertes berücksichtigt. Werden Anhängerachslasten nicht im Fahrerhaus angezeigt, so müssen diese an eigenen Achslastmonitoren (Smartboard) an den einzelnen Fahrzeugmodulen abgelesen, in eine Achslasttabelle übertragen und zur Bestimmung der Gesamtmasse des Lang-Lkw addiert werden.

## 8.3 Kurvenlaufeigenschaften (BO-Kraftkreis)

### 8.3.1 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 Kapitel 11.4.1). 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 (Ausschermaß).

Für alle erlaubten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen im Feldversuch muss der BO-Kraftkreis eingehalten werden. Die Anforderung muss mit einem Sachverständigengutachten (Übereinstimmungsnachweis nach § 7 LKWÜberlStVAusnV) nachgewiesen werden. Um die Angaben aus den Übereinstimmungsnachweisen verifizieren zu können, wurden in der Analysephase von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) 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 geringen Abweichungen übereinstimmend waren und das, obwohl diverse mögliche Fahrzeug- und Achskombinationen bei den am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw vorliegen.

### 8.3.2 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

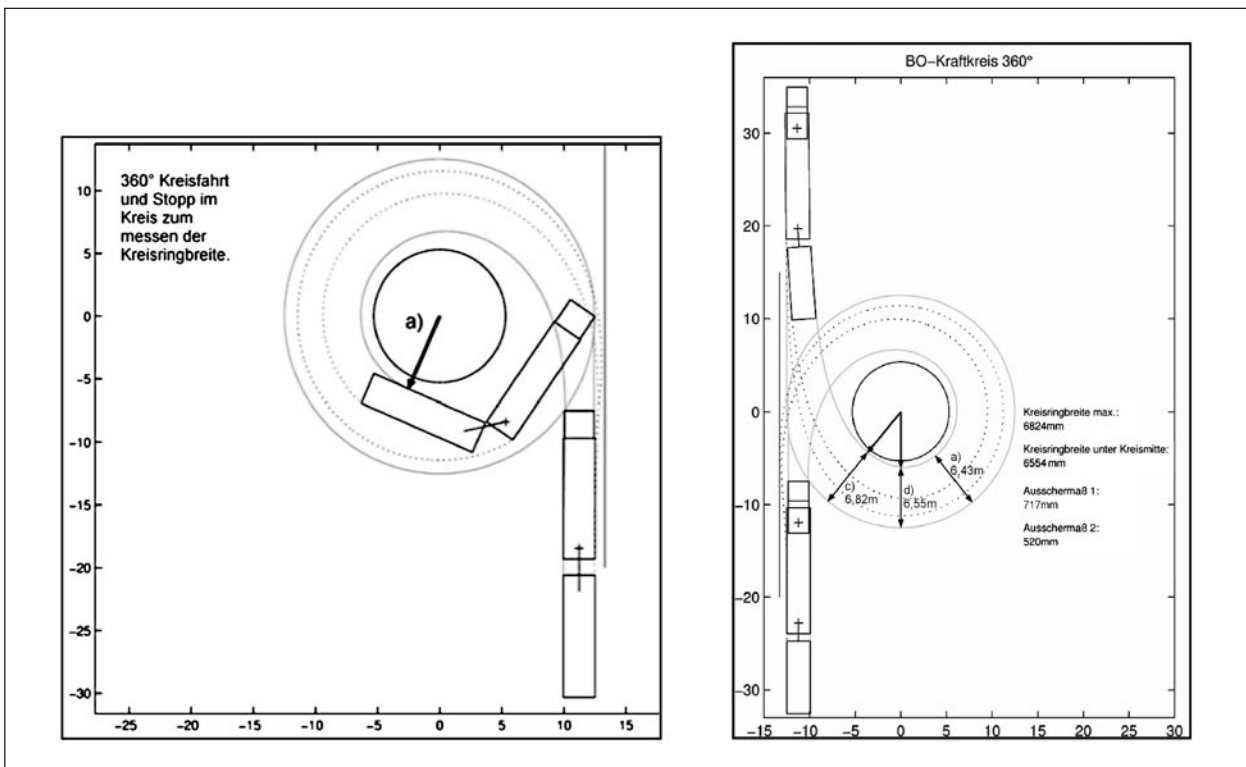


Bild 13: Zwei mögliche Befahrungen des BO-Kraftkreises

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. Dort wäre eine Konkretisierung wünschenswert, der der jeweils ungünstigste Fall (angehoben oder abgesenkt) zugrunde gelegt wird, zumal der Feldversuch gezeigt hat, dass es auch unter dieser Maßgabe möglich ist, die Forderung zu erfüllen.

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 Ortes 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 13, 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, 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 13, rechts).

Für die 80 Fahrzeugkombinationen des Typs 3 wurde im Nachfolgeprojekt (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) zusätzlich die Lenkbarkeit der Untersetzachse (Dolly) ausgewertet. Mit 94 % sind die meisten der eingesetzten Untersetzachsen lenkbar, lediglich 6 % verfügen nicht über gelenkte Achsen.

Eine erste Plausibilisierung der Ergebnisse zeigte eine inkonsistente Beurteilung der Lenkbarkeit der Dollyachsen in den Übereinstimmungsnachweisen. So wurden baugleiche Dollys, deren Lenkbarkeit nicht über gelenkte Achsen, sondern durch eine aktiv gelenkte Deichsel dargestellt wird, von unterschiedlichen Gutachtern in verschiedenen Gutachten sowohl als un gelenkt (im Sinne des Wortlauts ohne gelenkte Achsen) als auch als gelenkt (im Sinne von Lenkbarkeit gegeben) beurteilt.

In oben genannter Auswertung wurden Dollys, deren Lenkbarkeit über eine aktiv gelenkte Deichsel realisiert wird, unter ‚mit Lenkachse‘ erfasst.

## 8.4 Bremsweg, Sogwirkung, Windstabilität und Fahrdynamiksimulation

### 8.4.1 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 ergab sich eine Gesamtmasse von ca. 40 t. Bei den Gewichten handelte 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.

Die Bremsanlagen beider Versuchsfahrzeuge entsprachen dem Stand der Technik und waren wie gefordert als EBS-System ausgeführt (gemäß § 5 LKWÜberlStVAusnV). 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.

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.

Ziel der Anschlussuntersuchung von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) war demgegenüber ein Vergleich der Bremswege bei gleicher Ladungsdichte, die sich aus der Beladung von Lang-Lkw auf ihr zulässiges Gesamtgewicht ergibt (vgl. dazu auch IRZIK et al., 2014). Der Bremsweg der zwei gängigsten Lang-Lkw-Typen wurde mit dem der jeweils durch die Lang-Lkw substituierten Fahrzeugkombinationen herkömmlicher Bauart verglichen (Substitutions-Szenario).

Aus der Fahrzeugdatenbank zum Zwischenstand 21.03.2016 wurden die zwei Lang-Lkw-Typen 2 und 3 ausgewählt, da diese mit 28 % und 56 % die größten Anteile an der am Feldversuch teilnehmenden Fahrzeugflotte darstellten. Der Vergleich der Bremswege wurde in drei Versuchsreihen durchgeführt. Neben zwei Lang-Lkw vom Typ 2 und 3 mit üblicher Achsanzahl von Sieben beziehungsweise Acht wurde auch ein Fahrzeug vom Typ 3 mit nur sechs Achsen einer Bremswegmessung unterzogen. Die Bremsanlagen der Versuchsfahrzeuge entsprachen ebenfalls dem Stand der Technik und waren wie gefordert als EBS-System ausgeführt (gemäß § 5 LKWÜberlStVAusnV).

Referenzfahrzeuge bildeten die jeweils beim Feldversuchsteilnehmer durch die Lang-Lkw substituierten Lkw herkömmlicher Bauart. Es ergaben sich folgende Gegenüberstellungen.

- Versuchsreihe 1  
Lang-Lkw vom Typ 2 (7 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht, gewichtsvoll beladen) versus Sattelkraftfahrzeug (5 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht, volumenvoll beladen → 28 t tatsächliche Gesamtmasse).
- Versuchsreihe 2  
Lang-Lkw vom Typ 3 (8 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht, gewichtsvoll beladen) versus Sattelkraftfahrzeug (5 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht, volumenvoll beladen → 28,2 t tatsächliche Gesamtmasse).
- Versuchsreihe 3:  
Lang-Lkw vom Typ 3 (6 Achsen, 40 t zulässiges Gesamtgewicht, gewichtsvoll beladen) versus Sattelkraftfahrzeug (4 Achsen, 36 t zulässiges Gesamtgewicht, volumenvoll beladen → 26,9 t tatsächliche Gesamtmasse).

Die Fahrzeuge wurden jeweils über die zur Verfügung stehende Ladefläche gleichmäßig beladen.

Die Bremsweguntersuchungen wurden auf dem ehemaligen Fliegerhorst in Leipheim durchgeführt. Für die Messungen stand ein 1,3 km langer, gerader und ebener Abschnitt zur Verfügung. Der Untergrund bestand aus rauen Betonplatten. Alle gültigen Messungen wurden auf trockenem Untergrund durchgeführt. Um vergleichbare und reproduzierbare Messergebnisse zu erzielen, wurde je Fahrzeug beziehungsweise Fahrzeugkombination folgende Prozedur durchgeführt. Angestrebt waren mindestens zwei Messungen je Lkw:

- Beschleunigung der Lkw auf mindestens 82 km/h,
- Bremspedalschlag und Halten der maximalen Bremspedalkraft, sodass das ins EBS eingesteuerte Bremsignal unmittelbar auf seinem Maximalwert anschwillt und der Lkw mit seiner maximalen Bremsleistung verzögert,
- Messung des Bremsweges ab 80 km/h-Durchgang bis zum Stillstand des Lkw.

### 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 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) während der Analysephase 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>17</sup> bewegen. Größe und Geschwindigkeit des zu überholenden Objekts sind dabei für die Fra-

ge 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 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) 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 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) 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 angeregt. Ein Lang-Lkw vom Typ 2 wurde zudem auch teilbeladen simuliert. Die

<sup>17</sup> Dies bedeutet eine Überschreitung der auf Landstraßen geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h. Aufgrund der Erfahrungen aus anderen Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleitung (vgl. v. a. Kapitel 11.6) erscheint diese Geschwindigkeit jedoch realitätsnäher.

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:

- verlängertes Sattelkraftfahrzeug (Typ 1),
- 4x2 Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger mit Nachlauflenkachse und Zentralachsanhänger (Typ 2): ISO-Container auf den Fahrgeräten von Sattel- und Zentralachsanhänger,
- 6x2 Lastkraftwagen mit Sattelanhänger auf Dolly (Typ 3). Zwangsgelenkte Nachlaufachse am Motorwagen und Zwangsgelenkung 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. Kapitel 8.3). Zwangsgelenkte

Achsen werden von einem mechanischen, elektromechanischen, hydraulischen oder pneumatischen Aktuator angesteuert. Bis auf die mechanische Variante werden die lenkbaren Achsen beim Überschreiten einer vom Hersteller definierten Grenzgeschwindigkeit zwischen  $V = 40 \text{ km/h}$  und  $V = 60 \text{ km/h}$  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 Summen-seitenkraftpotenzial 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 Nachlauflenkachse kann bei allen Fahrmanövern ein instabiles Fahrverhalten aufweisen.

### 8.4.2 Ergebnisse

Im Hinblick auf die nachfolgend dargestellten Ergebnisse ist zu beachten, dass die Verzögerung eines Kraftfahrzeugs und damit auch dessen Bremsweg vom zur Verfügung stehenden Reibwert zwischen Fahrbahn und Reifen, von der Ausgangsfahrgeschwindigkeit sowie von der Geschwindigkeit des Bremskraftaufbaus abhängig sind. Das in allen Lang-Lkw und Vergleichs-Lkw verbauten elektronische Bremssystem stellt die Bremskraft automatisch und kontinuierlich so ein, dass im Falle einer ABS-Bremung die maximale Verzögerung bestmöglich ausgenutzt wird. Etwaige Streuungen bei den gemessenen Bremswegen lassen sich damit auf den Bremskraftaufbau in der Anbremsphase und den Reibwert zurückführen.

#### Bremsweg Worst-Case-Szenario

- Lang-Lkw vom Typ 3 versus Sattelkraftfahrzeug

Der Bremsweg des Lang-Lkw aus  $80 \text{ km/h}$  betrug bis zum Stillstand  $36 \text{ m}$ , der des Standardsattelkraftfahrzeugs  $44 \text{ m}$  (vgl. Bild 14). Die Messung zeigte somit einen längeren Bremsweg des Standardsattelkraftfahrzeugs mit  $40 \text{ t}$  Gesamtmasse im Vergleich zum Lang-Lkw mit ebenfalls  $40 \text{ t}$  Gesamtmasse. Die Spurhaltung beider Lkw war einwandfrei.



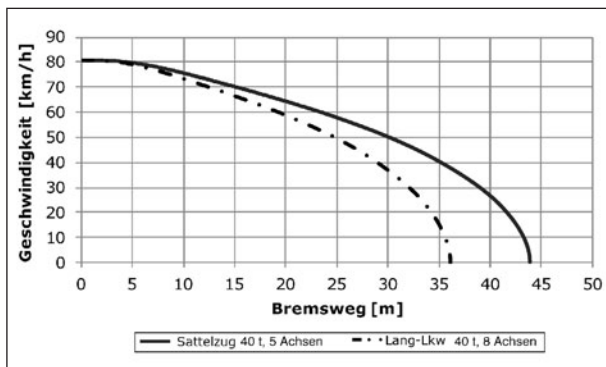


Bild 14: Vergleich der Bremswege eines Lang-Lkw und eines Standardsattelkraftfahrzeugs für das Worst-Case-Szenario mit je 40 t Gesamtgewicht

### Bremsweg Substitutionsszenario

- Lang-Lkw vom Typ 2 versus Sattelkraftfahrzeug

Für den Lang-Lkw vom Typ 2 wurde ein mittlerer Bremsweg von 37,9 m gemessen. Für das Sattelkraftfahrzeug konnte ein mittlerer Bremsweg von 35,3 m gemessen werden. Die Messungen zeigten somit einen geringfügig längeren Bremsweg des Lang-Lkw mit 40 t Gesamtmasse im Vergleich zum Sattelkraftfahrzeug mit 28 t Gesamtmasse.

- Lang-Lkw vom Typ 3 versus Sattelkraftfahrzeug

Für den Lang-Lkw vom Typ 3 wurde ein mittlerer Bremsweg von 40,4 m gemessen. Die Messung des Bremsweges des Sattelkraftfahrzeugs ergab einen mittleren Wert von 37,6 m. Auch hier wurde somit ein geringfügig längerer Bremsweg bei dem 40 t schweren Lang-Lkw im Vergleich zu einem 28 t schweren Sattelkraftfahrzeug gemessen.

- Lang-Lkw vom Typ 3 mit verminderter Achszahl versus Sattelkraftfahrzeug

Für den Lang-Lkw vom Typ 3 mit sechs Achsen wurde ein Bremsweg von 38,7 m gemessen. Der gemessene Bremsweg des Sattelkraftfahrzeugs mit vier Achsen belief sich auf 35,4 m. Wiederum wies der Lang-Lkw mit 40 t Gesamtmasse im Vergleich zum Sattelkraftfahrzeug mit 27 t Gesamtmasse einen geringfügig größeren Bremsweg auf.

- Zwischenfazit und Diskussion der Bremswegmessungen

Bei den hier dargestellten Ergebnissen wurde – wie eingangs beschrieben – die Bremsung durch den Fahrer initiiert. Eine Auswertung des Bremswegs erfolgte für Geschwindigkeiten unter 80 km/h, nur etwa 2-3 km/h unter der Ausgangs-

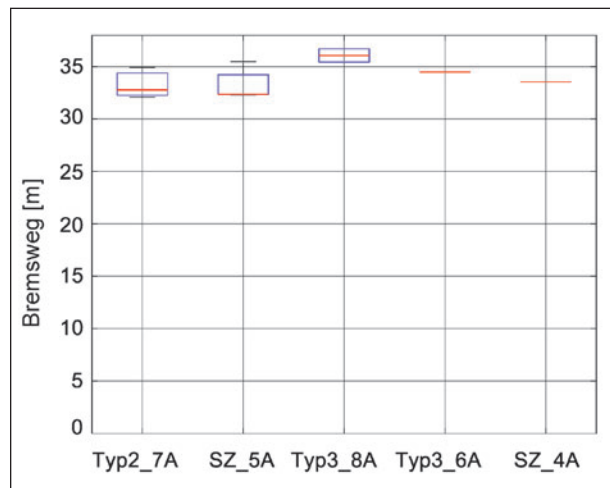


Bild 15: Vergleich der Bremswege von 75 km/h bis 5 km/h für Lang-Lkw Typ 2 mit 7 Achsen (Typ2\_7A), Typ 3 mit 8 Achsen (Typ3\_8A) und 6 Achsen (Typ3\_6A), Sattelzüge mit 5 (SZ\_5A) und mit 4 (SZ\_4A) Achsen

geschwindigkeit, sodass in den enthaltenen Bremswegvergleichen tatsächlich Effekte des Anbremsens enthalten sind.

Bei einer von der BASt auf Basis der von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) durchgeführten Messungen vorgenommenen Detailauswertung der Bremswege für das Geschwindigkeitsintervall 75 km/h bis hinunter zu 5 km/h verschwinden die Unterschiede zwischen den einzelnen Lkw-Konfigurationen fast vollständig (s. Bild 15). Lediglich die Bremswege des Lang-Lkw Typ 3 mit acht Achsen unterscheiden sich von den übrigen Bremswegen. Für eine belastbare statistische Analyse ist der Datenumfang jedoch zu gering.

Die Ergebnisse aller Bremswegmessungen sind auch insgesamt vor dem Hintergrund der Messungengenauigkeit des Versuchsaufbaus und der Streuung der Messwerte sowie der geringen Zahl an Messfahrten zu diskutieren. Die Verzögerungen streuten bei allen Messungen in allen Geschwindigkeitsintervallen um über  $1 \text{ m/s}^2$ ; im oberen Geschwindigkeitsbereich (d. h. zum Anfang der Bremsung) war die Streuung mit teilweise über  $2 \text{ m/s}^2$  am stärksten, was sich unmittelbar auf den gemessenen Bremsweg auswirkt. Die Verzögerungen lagen jedoch im Mittel bei allen Fahrzeugen und Bremsungen im Bereich von  $6$  bis  $7 \text{ m/s}^2$  und damit deutlich über den geforderten  $5 \text{ m/s}^2$  nach § 41 StVZO.

Im Worst-Case-Szenario wies der Lang-Lkw mit 40 t Gesamtmasse einen kürzeren Bremsweg auf

als der Standardsattelzug mit ebenfalls 40 t. Alle auf 40 t Gesamtmasse beladenen Lang-Lkw wiesen dagegen im betrachteten Substitutions-Szenario einen geringfügig höheren Bremsweg im Vergleich zu den durch sie ersetzten Sattelkraftfahrzeugen (26 t bzw. 27 t Gesamtmasse) auf. Bei ganzheitlicher Betrachtung des Worst-Case-Szenarios der ersten Studie von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) sowie des Substitutions-Szenarios in der Studie von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) kann somit von vergleichbaren Bremswegen von Lang-Lkw im Vergleich zu Lkw herkömmlicher Bauart ausgegangen werden.

### **Sogwirkung**

Die Untersuchungen von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) 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 bereits von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) durchgeführten 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 von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) 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. Kapitel 8.2), die ungünstige beziehungsweise gefährliche Beladungszustände für den Fahrer erkennbar macht. Deutlich unterstützt würde die Wirkung der Achslastwägung im Hinblick auf die Vermeidung unsicherer Beladungszustände, wenn eine entsprechende Forderung zur Überprüfung durch den Fahrer als verpflichtend vor einem Fahrtantritt im Zuge einer Änderung der Ausnahme-Verordnung berücksichtigt würde.

Beim einfachen Fahrspurwechsel ist jedoch 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 LKWÜberStVAusV alle mit elektronischen Fahrdynamikregelsystemen (EVSC) ausgestattet sind (vgl. Kapitel 4.3), ein deutlich sicheres Fahrverhalten erwarten lassen als die passiven Simulationsfahrzeuge beziehungsweise -fahrzeugkombinationen.

Weitere Erkenntnisse zu speziellen Aspekten der Fahrdynamik und Fahrdynamikregelsysteme bei Lang-Lkw sind in Kapitel 8.7. dargestellt.

## 8.5 Heckkamarasysteme und rückseitige Beschilderung

### 8.5.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

#### Heckkamarasysteme

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. Im Vordergrund standen Sichtprobleme des Fahrzeugführers, Stand der Technik in Bezug auf Kamera-Monitor-Systeme, Anbringungsort, Übertragungsmöglichkeiten sowie relevante Sichtfelder zur Beobachtung sowohl des rückwärtigen Verkehrs als auch bei Nutzung als Rangierhilfe.

Im Rahmen der Nachfolgestudie (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) wurden weiterführende Detailfragen zur praktischen Umsetzung und Nutzung des Kamera-Monitor-Systems untersucht, wo die LKWÜberlStVAusV nicht näher spezifiziert und einen weiten Lösungsraum alternativer Umsetzungen zulässt.

#### 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 Schriftgröße 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.

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 16, Spalte B bzw. C) oder mit einem Piktogramm (vgl. Bild 16, Spalte A) hinsichtlich Wahrnehmung und Begreifbarkeit bevorzugen würden. Dazu musste aus vier alternativen Beschilderungen eine Präferenz genannt werden.


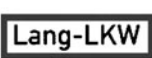


A	B	C
		
	<b>80%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)	<b>78%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)
	<b>76%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)	<b>69%</b> (bevorzugen das Schild aus Spalte A)

Bild 16: Schild (B bzw. C) oder Piktogramm (A)? Gegenüberstellung der gezeigten Alternativen (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014)

#### Sichtprobleme anderer Verkehrsteilnehmer

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

### 8.5.2 Ergebnisse

#### Heckkamarasysteme/Kamera-Monitor-System

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 durchgeführt.

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 Verzerrung). 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 einzuschätzen 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.

Die Nachfolgestudie (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) brachte zum Stand 23.06.2016 folgende zusätzliche Ergebnisse:

Der Anbringungsort der Kamera befindet sich bei 94 % aller Fahrzeugkombinationen im Bereich des Unterfahrschutzes, bei 6 % der Fahrzeugkombinationen am oberen Ende des letzten Fahrzeugmoduls.

Hervorgehoben wird von einigen Betreibern die Verschmutzungsanfälligkeit, die einen Zusatzaufwand im praktischen Arbeitsalltag zur regelmäßigen Reinigung der Kamera bedingt, der überwiegende Teil bewertet dies jedoch als vernachlässigbar.

Das Kamerabild muss gemäß LKWÜberlStVAusnV auf einem zugehörigen Monitor im Sichtfeld des Fahrzeugführers angezeigt werden. Nicht näher spezifiziert sind jedoch die Größe der Anzeige und ob das Kamerabild exklusiv und permanent auf einem Monitor angezeigt werden soll oder ob auf demselben Monitor zusätzliche Anzeigen zulässig sind, z. B. bei Integration in das Tachometer oder Navigationssystem. Die meisten Fahrzeugkombinationen (87 %) sind mit einem Monitor mittlerer Größe (10 – 20 cm Bildschirmdiagonale) ausgerüstet. Zu etwa gleichen Anteilen wählen die Betreiber permanente, exklusive Anzeigen auf einem separaten Monitor und die Integration des Kamerabildes in bestehende Monitore, die nicht exklusiv das Kamerabild anzeigen, sondern auch weitere Anzeigen darstellen.

Um die Praktikabilität sowie Nutzen und Mehrwert des Kamera-Monitor-Systems im alltäglichen Fahrzeugeinsatz zu analysieren, wurde im Rahmen der Fragenbogenaktion von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) auch eine Bewertung des Systems in Bezug auf die Nutzung zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs und den Einsatz als Rückfahrlilfe abgefragt. Bei der Bewertung des Mehrwerts des Kamera-Monitor-Systems zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs ergibt sich ein gemischtes Bild, der Mehrwert wird jedoch vom größeren Teil der Betreiber eher verneint oder als niedrig bewertet, wohingegen der Mehrwert als Rückfahrlilfe klar betont und insgesamt als hilfreich bewertet wird.

### **Rückwärtige Kenntlichmachung**

Zunächst kann festgehalten werden, dass alle untersuchten Lang-Lkw mit einer rückwärtigen Kennt-

lichmachung ausgerüstet waren. Jedoch war ein Schild nicht retroreflektierend ausgeführt.

Bei der Befragung von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) präferierten 74 % der Testpersonen ein Piktogramm gegenüber einem Schriftzug und hielten es für eindeutiger (vgl. Bild 16).

Im Rahmen der Fragebogenaktion im Rahmen der Nachfolgestudie (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) wurde erfasst, dass lediglich 5 % der Lang-Lkw über eine über die geforderte hinausgehende Kennzeichnung verfügen (z. B. Schild 25 m, Leuchtstreifen), wohingegen 95 % nur das durch die LKWÜberlStVAusnV geforderte Standardschild anbringen.

### Sichtprobleme anderer Verkehrsteilnehmer

Bezüglich möglicher Sichteinschränkungen schilderten die Probanden gegenüber SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) selbst erlebte Schlüssel-situationen 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. Im Feldversuch war dies nicht feststellbar.

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

### 8.6.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Ziel dieses Arbeitspakets in der Studie von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) 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.

### 8.6.2 Ergebnisse

Auf der zur Analyse herangezogenen Fernverkehrsrouten wurden von der Spedition leichte Güter mit einer mittleren Dichte von 0,72 kg/dm<sup>3</sup> transportiert. Die Güter wurden sowohl von einem Volumen-Sattelkraftfahrzeug mit 36 t zulässiger Gesamtmasse und 100 m<sup>3</sup> Ladevolumen als auch von einem Lang-Lkw vom Typ 3 mit 40 t zulässiger Gesamtmasse und 155 m<sup>3</sup> 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 km beim Standardsattelkraftfahrzeug beziehungsweise 8.900 km mit dem Lang-Lkw.

Die mittleren Kraftstoffverbräuche unterscheiden sich mit 24,1 l/100 km beim Referenzfahrzeug und 33,9 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 l/100 tkm beziehungsweise

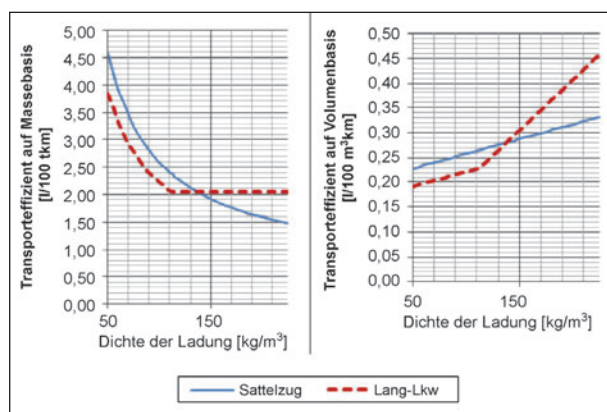


Bild 17: Transporteffizienzen von Sattelkraftfahrzeug und Lang-Lkw bei unterschiedlichen Dichten der Ladung (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014)

0,24 l/100 m<sup>3</sup>km und für den Lang-Lkw von 2,81 l/100 tkm beziehungsweise 0,21 l/100 m<sup>3</sup>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 17 zeigt links den Verlauf der Transporteffizienzen beider Lkw-Konzepte auf Basis der Nutzlast in l/100 tkm. Der Verlauf weist für den Lang-Lkw bei 113 kg/m<sup>3</sup> 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 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Der um 15 % geringere Verbrauch des Lang-Lkw bezogen auf die Nutzlast bleibt bis zu der Dichte von 113 kg/m<sup>3</sup> relativ konstant und bricht dann ein. Der Vorteil des Lang-Lkw in der Transporteffizienz bezogen auf das Nutzvolumen von 14 % ist ebenfalls bis 113 kg/m<sup>3</sup> relativ konstant und bricht danach ein (Bild 17, rechts). Ab einer Dichte von 136 kg/m<sup>3</sup> weist stets das Sattelkraftfahrzeug eine bessere Transporteffizienz auf; sowohl masse- also auch volumenbezogen.

## 8.7 Analysen zu Lang-Lkw spezifischen Aspekten von Fahrdynamikregelungen

### 8.7.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Da sich die Kinematik von Lang-Lkw unter anderem durch die größere Gesamtlänge, zusätzliche Anhänger oder Sattelanhänger oder zusätzliche Knick-

punkte teilweise signifikant von konventionellen Fahrzeugkombinationen unterscheidet, stellte sich die Frage, ob eine Anpassung der Fahrdynamikregelungsfunktionalität auf Basis konventioneller Lkw erforderlich ist, um eine vergleichbare Fahrsicherheit durch elektronische Stabilisierungseingriffe für Richtungsstabilität und Überschlagvermeidung zu gewährleisten. Zum Beispiel könnte das EVSC (Electronic Vehicle Stability Control) der verschiedenen Lang-Lkw-Typen bei kritischen Fahrmanövern (z. B. Kurvenbefahrung oder -bremsung, Ausweichen, J-Turn) nicht an allen Fahrzeugeinheiten der Kombination adäquat arbeiten und so Schleudervorgänge oder Überrollen nicht verhindern beziehungsweise das Fahrzeug oder die Fahrzeugkombination nur eingeschränkt stabilisieren.

Im Rahmen des Teilprojekts der Abschlussphase von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) wurde dafür ein Überblick und eine Bewertung der Funktionalität von EVSC-Systemen in Lang-Lkw geliefert. Auf Basis der gesetzlichen Vorschriften bezüglich der Funktionalität und technischen Ausprägung von EVSC-Systemen in konventionellen Lkw wurde zum einen durch Recherche des Stands der Wissenschaft und zum anderen durch Expertengespräche mit Herstellern von EVSC-Systemen für Lang-Lkw eine Bewertung abgeleitet, die den bisherigen EVSC-Absicherungsprozess bei Lang-Lkw beurteilt und mögliche Handlungsempfehlungen identifiziert.

### 8.7.2 Ergebnisse

Das EVSC-System muss nach UN-Regelung Nr. 13 für alle Fahrzeugklassen die Funktionen Richtungsstabilisierung und Überschlagregelung umfassen. Die Richtungsstabilisierung umfasst eine Funktion des EVSC-Systems, die den Fahrer im Rahmen der physikalischen Grenzen des Fahrzeugs dabei unterstützt, bei Unter- oder Übersteuern die gewünschte Fahrtrichtung beizubehalten, und die bei einem Anhänger dazu beiträgt, diesen in der Fahrtrichtung des Zugfahrzeugs zu halten. Die Überschlagregelung umfasst eine Funktion des EVSC-Systems, die auf ein bevorstehendes Überrollen, d. h. seitliches Umkippen beziehungsweise Drehen um die Fahrzeuglängsachse, durch Bremsen einzelner Räder oder Radgruppen reagiert, um das Kraftfahrzeug so zu stabilisieren, dass es nicht umkippt. Die Wirksamkeit des EVSC-Systems muss für den zu genehmigenden Fahrzeugtyp (Zugfahrzeug oder Anhängerfahrzeug) dem technischen

Dienst durch dynamische Fahrmanöver nachgewiesen werden. Eine Überprüfung der Funktionalität des EVSC-Systems in einer Fahrzeugkombination (Zugfahrzeug und gekuppeltes Anhängerfahrzeug/e) wird nicht gefordert.

Für konventionelle Gliederzüge und Sattelkraftfahrzeuge besteht weitreichende Expertise bezüglich der fahrdynamischen Stabilität dieser Fahrzeuge seitens der Hersteller und der Prüforganisationen. Da die im Rahmen der LKWÜberlStVAusnV zugelassenen Lang-Lkw jedoch die geometrischen Maße konventioneller Lkw teilweise wesentlich übertreffen und zusätzliche Gelenkpunkte aufweisen, gelten diese Stabilitätserkenntnisse nicht zwangsläufig analog für Lang-Lkw. Die EVSC-Hersteller besitzen jedoch einen großen Erfahrungsschatz darin, wie sich verschiedenste Fahrzeugkombinationen durch Integration ihrer EVSC-Systeme stabilisieren lassen und in welchem Bereich die technischen Herausforderungen liegen. Im Rahmen dieser Entwicklungstätigkeiten haben die Hersteller bereits viele Fahrzeugkombinationen fahrdynamisch untersucht, hierunter auch Fahrzeugkombinationen mit Überlänge, da diese schon seit einigen Jahren im europäischen und nicht-europäischen Ausland zulassungsfähig sind und die auch mitunter als fahrdynamisch noch kritischer zu bewerten sind als die in der LKWÜberlStVAusnV definierten Lang-Lkw (mehr Gelenkpunkte, Gesamtmasse von bis zu 76 t). Der Grundaufbau aus Richtungsstabilisierung und Überschlagregelung im Zugfahrzeug und untergeordneten, aber auch autark funktionsfähigen EVSC in den Anhängerfahrzeugen gehorcht bei Lang-Lkw derselben Struktur wie in konventionellen Fahrzeugen.

Für Lang-Lkw wurden aufgrund der Erfahrung der Hersteller mit komplexeren Kombinationstypen zwar nicht konsequent jeder der fünf Lang-Lkw-Typen fahrdynamisch untersucht, aber einzelne Typen wurden spezifisch betrachtet und repräsentative Erkenntnisse aus Untersuchungen mit vergleichbaren oder noch kritischeren Fahrzeugkombinationen wurden verwendet, um die EVSC-Systeme auszuliegen und abzusichern. Insofern sind Lang-Lkw mit EVSC als fahrdynamisch sicher einzustufen.

Die Hersteller verfolgen bei Fahrzeugkombinationen im Allgemeinen eine im fahrdynamischen Sinne konservative und robuste Regelstrategie, die die Fahrsicherheit in den Vordergrund stellt und gegebenenfalls langsamere Kurvengeschwindigkeiten der Fahrzeugkombination in Kauf nimmt. Auch bei

Umkonfiguration einer Fahrzeugkombination wird gewährleistet, dass das EVSC zuverlässig funktioniert. Wichtig für das Funktionieren des EVSC bei ein oder mehreren angehängten Fahrzeugeinheiten ist jedoch, dass alle dafür benötigten Informationen zwischen den Einheiten ausgetauscht werden beziehungsweise kontinuierlich auf einer Datenleitung verfügbar sind. Es muss darauf geachtet werden, dass die Kommunikation zwischen den Fahrzeugmodulen inklusive der relevanten Botschaften ordnungsgemäß funktioniert und dass jeder Anhänger seine Parameter korrekt an das Zugfahrzeug übermittelt. Hilfreich für die Robustheit der EVSC-Systeme ist weiterhin, dass in den Anhängerfahrzeugen ein Querschleunigungssensor im EBS-System integriert ist, sodass auch autark und somit unabhängig vom Zugfahrzeug und von der Anzahl und den Eigenschaften anderer Anhängerfahrzeuge agiert werden kann.

Es ist festzustellen, dass die Hersteller eine sehr große Bandbreite an Fahrmanövern, Beladungszuständen und Reibwerten analysieren und mit hohem Aufwand messtechnisch erfassen und bewerten. Trotzdem können nicht alle denkbaren Instabilitätsphänomene adressiert werden, die für überlange Fahrzeugkombinationen in der Literatur genannt werden. Die Erweiterung der technischen Einrichtung von Lang-Lkw um die Größen Raddrehzahlen aller Räder, radindividuelle Bremsdrücke und Gieraten der Anhängerfahrzeuge würde dabei helfen, die Fahrstabilität von Fahrzeugkombinationen weiter zu steigern. Forschungsseitig wird gewünscht, den fahrdynamisch anspruchsvollsten Lang-Lkw, den Typ 2, in einer spezifischen Untersuchung objektiv zu bewerten, da dieser von den Herstellern in seiner genauen Definition nach LKWÜberlStVAusnV bisher nicht vollumfänglich praktisch abgesichert wurde. Hierbei wäre es sinnvoll, Fahrmanöver mit jeweils deaktiviertem und aktiviertem EVSC-System und auch mit dem nach SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) kritischsten Beladungszustand (Sattelanhänger leer, Zentralachsanhänger voll) zu analysieren, um zu prüfen, ob das EVSC-System die fahrdynamisch anspruchsvollen Eigenschaften vollumfänglich kompensieren kann.

### 8.7.3 Fazit

Es ist festzuhalten, dass die fahrdynamische Stabilität von Lang-Lkw mit EVSC und EBS nach Ansicht der Experten als sicher zu bezeichnen ist. Die Fahrdynamikregler der EVSC-Systeme können auf-

grund der genannten Fahrzeugvarianz zwar nicht sehr fahrzeugspezifisch ausgelegt werden. Durch Codierung, Adaption und Schätzverfahren können sich die Algorithmen jedoch an das Fahrzeug anpassen, sodass von einer robusten Regelung auszugehen ist, die auf initial konservativ ausgewählten Schwellwerten beruht. Die autark arbeitende Überschlagregelung der Anhängerfahrzeuge trägt hierbei kombinationstypübergreifend zu einer robusten EVSC-Gesamtfunktionalität bei. Durch intensive fahrdynamischen Erprobungen der EVSC-Systeme seitens der Hersteller, auch in Fahrzeugkombinationen mit kritischerer Kinematik und Gesamtgewicht, kann daraus geschlossen werden, dass auch die Lang-Lkw mit EVSC ein stabiles Fahrverhalten aufweisen, auch wenn seitens der Hersteller nicht explizit alle fünf der nach LKWÜber-StVAusV definierten Lang-Lkw-Typen in allen möglichen Beladungszuständen untersucht werden konnten. Nochmals gesondert betrachtet werden sollte nach Auffassung der Autoren des Berichts des Forschungsauftrags (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) der Lang-Lkw vom Typ 2, um auch den von der Fahrstabilität her anspruchsvollsten aller Lang-Lkw-Typen vollumfänglich und final praxiserprobt fahrdynamisch abzusichern.

Da auch im europäischen Ausland vergleichbare Lang-Lkw wie in Deutschland auf den Straßen vorzufinden sind, werden die Fragestellungen bezüglich möglicher Kombinationstypen und deren Charakteristika auch bereits auf UNECE-Ebene durch ein Expertengremium zu Modular Vehicle Combinations (MVC) als Arbeitsgruppe der Working Party on Brakes and Running Gear bearbeitet. Nach Abschluss der Arbeiten zu MVC ist eine Übernahme dieser Prüfverfahren für Lang-Lkw zu empfehlen.

## 8.8 Geräuschemission

### 8.8.1 Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Da die Achsanzahl von Lang-Lkw gegenüber normalen Lkw in der Regel erhöht ist, kann vermutet werden, dass sich die Geräuschemission ebenfalls erhöht. Um dieser vermuteten negativen Auswirkung nachzugehen, wurde eine BAST-interne Untersuchung durchgeführt.

Untersucht wurde die Geräuschemission von zwei Lang-Lkw-Typen (Typ 2 mit sieben Achsen und Typ 3 mit acht Achsen, siehe Bild 1) gegenüber einem

normalen Sattelkraftfahrzeug mit fünf Achsen. Geräuschemessungen an Lang-Lkw wurden nicht vorgenommen. Stattdessen wurden Simulationen des Vorbeifahrtpegels durchgeführt. Wesentliche Merkmale der untersuchten Lkw waren dabei neben den unterschiedlichen Achsanzahlen die Achsabstände und die Achsgewichte.

Nach RONNEBERGER (1989) weist der Reifen eine deutliche Richtcharakteristik in und entgegen der Fahrtrichtung bei der Schallabstrahlung auf. Hervorgerufen wird diese Charakteristik durch den sogenannten Horneffekt. Der Reifen bildet mit der Fahrbahnoberfläche ein Horn, das wie bei einem Lautsprecher die Schallabstrahlung durch eine Impedanzanpassung effektiviert. Dieser Horneffekt wurde durch KROPP, BÉCOT, BARRELET (2000) eingehend untersucht. Aus dem Horneffekt resultiert eine entsprechende Richtcharakteristik für das gesamte Fahrzeug, da bei hohen Geschwindigkeiten (Pkw ab ca. 30 km/h, Lkw ab 40 bis 50 km/h) das Reifengeräusch dominiert. Für Pkw wurde auf dichten Fahrbahnen die Richtcharakteristik  $\Gamma$  nach BARTOLOMAEUS (2010) als Dipol modelliert:

$$\Gamma^2(\phi; a) = a \cdot \sin^2(\phi) \quad (1)$$

Dabei gibt  $\phi$  die Richtung bezogen auf die Senkrechte der Fahrzeugachse an. Der Parameter  $a$  gibt die Stärke der Richtwirkung an und entspricht einer entsprechenden Erhöhung des Emissionspegels in und gegen die Fahrtrichtung. Für Pkw ergab sich hierfür ein Wert von 3,3 dB. Dieser Wert wurde hier zur Berücksichtigung der Richtcharakteristik ebenfalls angesetzt. Während bei einer einzelnen Quelle der Maximalpegel durch die Richtcharakteristik nicht beeinflusst wird, erhöht sich der Mittelungspegel um ca. 1,7 dB.

Die Geräuschemission von Lkw-Reifen hängt stark von der Last ab. Nach SANDBERG, EJS MONT (2002) beträgt der Anstieg der Geräuschemission je Verdoppelung der Radlast für Antriebsreifen nach einer Studie von Bridgestone 2,7 dB und für die Rillenreifen der Lenkachse und der Nachlaufachsen 1,6 dB. Diese Werte wurden bei der Modellierung verwendet.

Mit dem Verfahren der „Statistischen Vorbeifahrt“ wurden von der BAST mit einem Mikrofonarray an einem Belag aus lärmarmen Splittmastixasphalt SMA 0/8 LA Messungen durchgeführt. In Bild 18 ist exemplarisch eine Vorbeifahrt gezeigt.



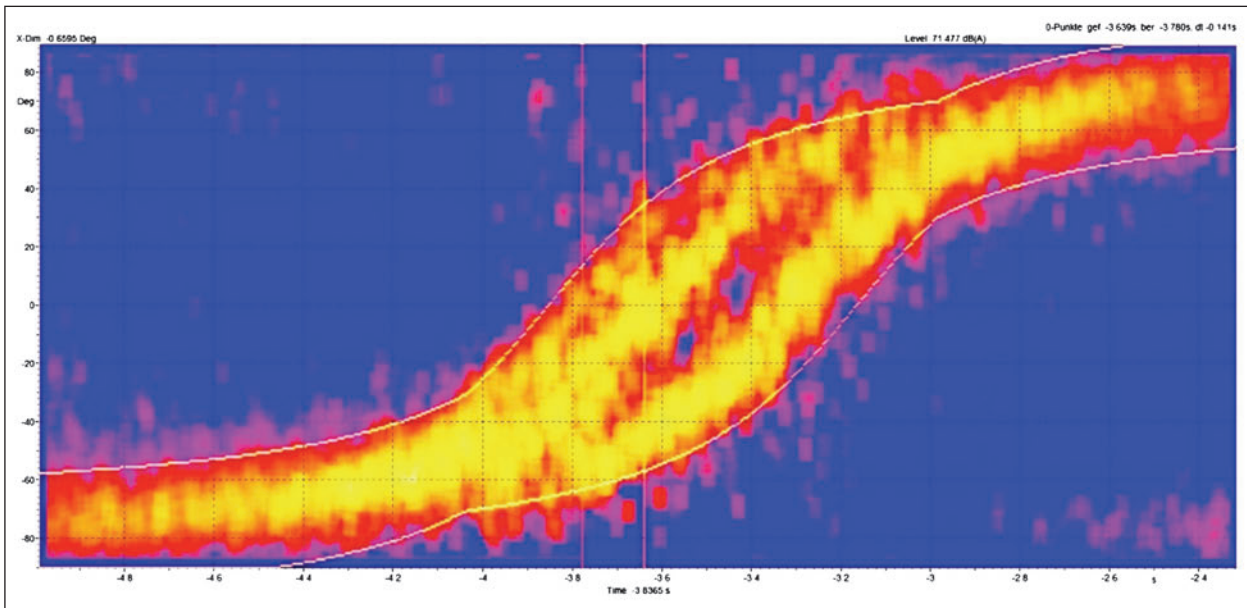


Bild 18: Geräuschpegel der Vorbeifahrt eines schweren Lkw am Mikrofonarray

Auf der Abszisse ist die Zeit aufgetragen, auf der Ordinate der Winkel zum Mikrofonarray. In Falschfarben ist der Geräuschpegel in dB angegeben; von blau über lila und rot zu gelb hin ansteigend. Die in dem dargestellten Auswerteschlauch enthaltene Schallenergie wird von dem Programm summiert, die Schallenergie außerhalb des Auswertebereichs wird bei der Summation vernachlässigt.

Es wurden zehn repräsentative schwere Lkw hinsichtlich des Geräuschanteils von Vorder- und Hinterachsgruppe ausgewertet.

Die Vorderachsgruppe bestand jeweils aus der Lenkachse und einer oder zwei Antriebsachsen, während die Hinterachsgruppe aus zwei bis drei Nachlaufachsen bestand. Die Messung des A-bewerteten Maximalpegels ergab für eine Mikrofonhöhe von 3,6 m einen Gesamtwert von 85,9 dB(A) bei einer mittleren fiktiven<sup>18</sup> Fahrgeschwindigkeit von 85,5 km/h. Dabei trug die Vorderachsgruppe mit 84,5 dB(A) einen um 1,4 dB höheren Pegel als die Hinterachsgruppe mit 83,1 dB(A) bei. Die energetische Summe aus Vorder- und Hinterachspegel ergibt mit 86,9 dB(A) einen um 1,0 dB höheren Wert als der gemessene Gesamtwert. Das ist auf den im Vergleich zur Messentfernung (7,5 m bis zur Mitte der Fahrzeugachse) großen Abstand zwischen den

Achse	Normaler Lkw	Lang-Lkw-Typ 2	Lang-Lkw-Typ 3
1-2	3,7	3,7	4,9
1-3	9,5	9,5	6,3
1-4	10,8	10,8	11,0
1-5	12,1	12,1	12,4
1-6		19,6	18,1
1-7		20,9	19,4
1-8			20,5

Tab. 3: Achsabstände in Metern

Achse	Normaler Lkw	Lang-Lkw-Typ 2	Lang-Lkw-Typ 3
1	6,7	6,5	6,4
2	6,0	5,7	6,6
3	3,4	3,3	3,5
4	3,4	3,3	3,4
5	3,4	3,3	3,4
6		5,1	3,7
7		5,1	3,7
8			3,7

Tab. 4: Achslasten in Tonnen

Achsgruppen (beim Mercedes Benz Actros beträgt dieser ca. 9,0 m) zurückzuführen.

In Tabelle 3 sind die Achsabstände der drei untersuchten Lkw aufgelistet, die bei der Modellierung verwendet wurden. In Tabelle 4 sind für die Lkw die angenommenen Achslasten angegeben.

<sup>18</sup> In vielen Untersuchungen der BASt werden Durchschnittsgeschwindigkeiten von Lkw auf BAB ermittelt, die über der nach Straßenverkehrs-Ordnung zulässigen Geschwindigkeit liegen.

Die Gesamtlast des normalen Lkw wurde mit 22,8 t angenommen, die der Lang-Lkw mit 32,2 t (Typ 2) beziehungsweise 34,4 t (Typ 3). Diese Werte ergeben sich aus den Angaben über Leergewichte und Achslastverteilungen des von WELLNER, UHLIG (2015) durchgeführten Forschungsprojektes FE 04.0254/2011/ERB „Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw“ (vgl. Kapitel 9). Das Leergewicht des normalen Lkw beträgt hier 14,4 t, das der Lang-Lkw 19,6 t (Typ 2) bzw. 21,8 t (Typ 3). Die mittlere Ladungsdichte wurde mit jeweils 84 kg/m<sup>3</sup> angesetzt. Der normale Lkw hat ein Ladevolumen von 100 m<sup>3</sup>, die Lang-Lkw jeweils eines von 150 m<sup>3</sup>

Die jeweils zweite Achse war angetrieben und trug Zwillingbereifung. Die Reifen dieser Antriebsachse wurde mit einem Emissionspegel von 74 dB(A) modelliert, während den anderen Reifen ein Emissionspegel von 73 dB(A) zugeordnet wurde. Zusätzlich wurde der Emissionspegel der Antriebsachse um 3 dB erhöht, um die doppelte Anzahl von Reifen auf der Achse zu berücksichtigen. Andererseits verteilt sich die Achslast bei der Antriebsachse auf vier statt zwei Reifen.

Die Pegel wurden schließlich bezüglich Abstand, Fahrgeschwindigkeit und Fahrbahnbelag so normiert, dass für den normalen Lkw der messtechnisch ermittelte Wert von 85,9 dB(A) modelliert wurde.

Neben den Maximalpegeln, die üblicherweise bei Messungen der Geräuschemission von Fahrzeugen ermittelt werden, spielt für die Geräuschemission in einer größeren Entfernung von der Geräuschquelle der Mittelungspegel  $L_m$  eine Rolle. Er gibt den über einen Bezugszeitraum energetisch gemittelten Schalldruckpegel an und ist definiert als:

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 \cdot L(t)} dt \right] \quad (2)$$

Dabei ist  $L(t)$  der Pegel zur Zeit  $t$  innerhalb einer Zeitdauer  $T$ .

Bei längeren Fahrzeugen oder Fahrzeugkombinationen werden bei gleichem Maximalpegel deutlich höhere Mittelungspegel ermittelt als bei kürzeren Fahrzeugen, wie z. B. Pkw. Bei einer ausreichend großen Zeitdauer ändert sich der Mittelungspegel mit größer werdender Zeitdauer nicht mehr wesentlich. Für die Standardentfernung von 7,5 m zur Mitte der Fahrzeugachse oder bei Lkw mit einer Breite von ca. 2,5 m einer Entfernung von 6,25 m zur äußeren Rollspur kann eine Zeitdauer von 10 Sekunden als ausreichend angenommen werden.

## 8.8.2 Ergebnisse

In Bild 19 sind die Pegelzeitverläufe der drei untersuchten Lkw dargestellt.

Bei den einzelnen Lkw sind die Beiträge der einzelnen Achsen dargestellt, während bei der Übersicht unten rechts nur die summierten Gesamtpegel der Achsen dargestellt sind.

In Tabelle 5 sind die Maximal- und Mittelungspegel der Berechnungen mit und ohne Richtwirkung dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der maximale Vorbeifahrtpegel des Lang-Lkw vom Typ 2 mit der des äquivalenten normalen Lkw in etwa übereinstimmt (leichte Erhöhung um bis zu 0,3 dB). Dem gegenüber weist der maximale Vorbeifahrtpegel des Lang-Lkw vom Typ 3 einen um 0,8 bis 0,9 dB im Bezug auf die Modellergebnisse signifikant erhöhten Wert auf. Der für die Geräuschemission maßgebende Mittelungspegel liegt beim Lang-Lkw vom Typ 2 um 1,4 bis 1,5 dB höher, beim Lang-Lkw vom Typ 3 ähnlich um 1,6 bis 1,7 dB höher als der des mit dem gleichen Ladegut beladenen normalen Lkw. Diese Ergebnisse gelten sowohl für Berechnungen mit als auch ohne Richtcharakteristik. Bezüglich der Frage nach den Auswirkungen eines Einsatzes von Lang-Lkw auf die Geräuschemission ist aber noch zu berücksichtigen, dass drei normale Lkw durch zwei Lang-Lkw ersetzt werden (vgl. Kapitel 7). Somit ergibt sich insgesamt eine geringe Pegelminderung der Geräuschemission von Lang-Lkw gegenüber dem normalen Lkw um 0,1 bis 0,4 dB.

Gegenüber einem normalen Lkw mit dem Gesamtgewicht eines Lang-Lkw von beispielsweise 33 t sind die untersuchten Lang-Lkw aufgrund der geringeren Lasten auf der Antriebsachse zudem deutlich leiser. Dies gilt auch für den relevanten Mittelungspegel.

Größe	Normaler Lkw	Lang-Lkw-Typ 2	Lang-Lkw-Typ 3
Maximalpegel ohne Richtwirkung	85,1	85,1	85,9
Maximalpegel mit Richtwirkung	85,9	86,2	86,8
Mittelungspegel ohne Richtwirkung	85,5	87,0	87,2
Mittelungspegel mit Richtwirkung	87,3	88,7	88,9

Tab. 5: Maximal- und Mittelungspegel in dB(A)

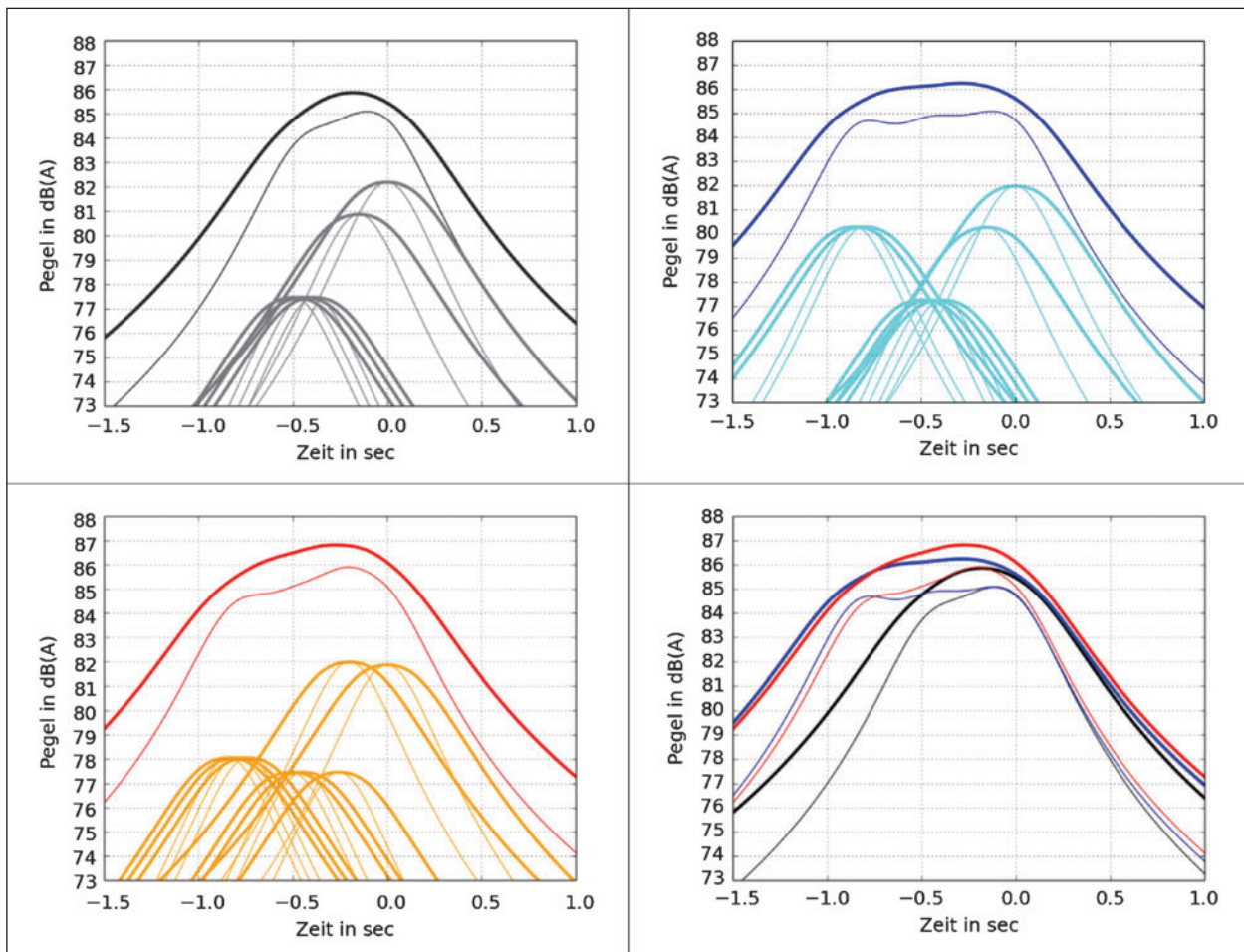


Bild 19: Pegelzeitverläufe der drei untersuchten Lkw. Oben links: normales Sattelkraftfahrzeug; oben rechts: Lang-Lkw-Typ 2; unten links: Lang-Lkw-Typ 3; unten rechts alle drei Lkw zusammen. Die dünnen Linien sind ohne, die dicken Linien mit Richtcharakteristik gerechnet

## 8.9 Fazit und Folgerungen

Zusammenfassend lässt sich auf Basis der von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) und FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) sowie der BAST-intern erarbeiteten Ergebnisse resümieren, dass unter den untersuchten Randbedingungen und bei herkömmlichen Beladungszuständen keine Probleme hinsichtlich der behandelten fahrzeugtechnischen Fragestellungen ermittelt werden konnten. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass die vorgeschriebenen elektronischen Stabilisierungssysteme die grundsätzlich anspruchsvollere Fahrdynamik der Lang-Lkw vom Typ 2 auf das Niveau heutiger Fahrzeugkombinationen bringen kann.

Ein Effizienzgewinn von bis zu 15 % und die damit verbundenen Kraftstoffeinsparung scheinen realistisch.

Bei der Bestimmung der Bremswege ergibt sich ein ambivalentes Bild. In SÜßMANN, FÖRG, WENZE-

LIS (2014) hat ein 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 einen kürzeren Bremsweg ergeben. In FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) wurden in Vergleichen zwischen ca. 28 t schweren Sattelkraftfahrzeugen mit verschiedenen 40 t schweren Lang-Lkw (alle Fahrzeuge waren mit Gut gleicher Dichte beladen) durchweg etwas längere Bremswege für den Lang-Lkw gemessen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Verzögerungen im Mittel bei allen Fahrzeugen und Bremsungen im Bereich von 6 bis 7 m/s<sup>2</sup> und damit deutlich über den geforderten 5 m/s<sup>2</sup> nach § 41 StVZO lagen.

Die Ergebnisse aller Bremswegmessungen sind vor dem Hintergrund der Messgenauigkeit des Versuchsaufbaus und der Streuung der Messwerte sowie der insgesamt geringen Anzahl an Messfahrten

zu bewerten. Die Verzögerungen streuten in allen Geschwindigkeitsintervallen um über  $1 \text{ m/s}^2$ ; im oberen Geschwindigkeitsbereich (d. h. zum Anfang der Bremsung) traten die stärksten Streuungen mit teilweise über  $2 \text{ m/s}^2$  auf. Die großen Streuungen wirken sich bei der geringen Zahl an Messungen unmittelbar auf den Wert des Ergebnisses aus.

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 verpflichtende Ausrüstung der Lang-Lkw mit EBS und elektronischem Fahrdynamikregelsystem/ABS (vgl. § 5 LkwÜberl StVAusnV) 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.

Bei ganzheitlicher Betrachtung des Worst-Case-Szenarios der ersten Studie von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) sowie des Substitutions-Szenarios in der Studie von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) kann von vergleichbaren Bremswegen von Lang-Lkw im Vergleich zu Lkw herkömmlicher Bauart ausgegangen werden.

Analog zum Bremsverhalten gelten die erarbeiteten Ergebnisse zur Fahrdynamik strenggenommen ebenfalls nur für die bei den Untersuchungen gewählten Randbedingungen hinsichtlich der Achszahl 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. Weitere Erkenntnisse zur Fahrdynamik wurden in der Studie von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) auf der Grundlage von Expertengesprächen gewonnen: EVSC-Systeme sorgen bei allen Nutzfahrzeugen, insbesondere auch bei allen Lang-Lkw-Typen für fahrdynamische Stabilisierung, sodass alle Lang-Lkw-Typen sicher in weiteren Feldversuchen oder, den Typ-2 bis zum Abschluss der praktischen Vollabsicherung ausgenommen, in einem möglichen Dauerbetrieb verkehren können. FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER empfehlen für den Lang-Lkw-Typ 2 weitere fahrdynamische Tests zur Absicherung. Dies wird damit begründet,

dass dieser Typ sich zum einen in Simulationen und dabei in bestimmten Fahrsituationen als fahrdynamisch anspruchsvoll herausgestellt hat. Zum anderen werden Aussagen der Systemhersteller herangezogen, dass die EVSC-Funktion nicht speziell an den Typ-2-Lang-Lkw angepasst und im Versuch abgesichert worden ist. Ein neues Forschungsprojekt wird sich daher der Fahrdynamik von Lkw im Allgemeinen und des Lang-Lkw vom Typ 2 im Speziellen widmen, um zu identifizieren, ob und welche Konstellationen bei verschiedenen Lkw-Kombinationen mit einer oder mehreren angehängten Einheiten möglicherweise fahrdynamisch kritisch sein könnten, wie wahrscheinlich deren Auftreten ist und welche (technischen) Möglichkeiten zur Abhilfe bestehen.

Da die Wirksamkeit der hinteren Kennzeichnung der Lang-Lkw aus forschungsökonomischen Gründen lediglich experimentell anhand einer vergleichsweise geringen Stichprobe analysiert werden konnte, sollte bei einer deutlich größeren Vorkommenshäufigkeit von Lang-Lkw überprüft werden, ob die Überlänge anhand der hinteren Kennzeichnung in der derzeit konkreten Ausgestaltung im Realbetrieb durch nachfolgende Verkehrsteilnehmer hinreichend gut eingeschätzt werden kann.

Weiterer Untersuchungsbedarf könnte in einer systematischen Erfassung relevanter Verkehrssituationen gesehen werden, bei denen die Sicht anderer Verkehrsteilnehmer möglicherweise beeinträchtigt sein könnte. Es gibt derzeit jedoch keine Hinweise darauf, dass sich die Verkehrssituationen wesentlich im Vergleich zu herkömmlichen Lkw verändern 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 BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014) durchgeführten Abfragen zu sehen (vgl. dazu Kapitel 7.1). 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 Untersuchungen von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) sowie von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) ergeben sich Hinweise auf mögliche Änderungen und Präzi-

sierungen allgemeiner Art, wie die eindeutigere Spezifikation der BO-Kraftkreisbefahrung, sowie einzelner Anforderungen für Lang-Lkw, die nach Ablauf des Feldversuchs im Sinne einer Optimierung der aktuellen Anforderungen berücksichtigt werden können. Dazu gehören:

- Retarder

Die Anforderung nach einem Retarder sollte durch eine technologieneutrale Forderung eines geeigneten Dauerbremsystems nach UN-R 13 ersetzt werden.

- Achslastüberwachung

Für die Art und Weise der rechnerischen Berücksichtigung einer nicht angezeigten Vorderachslast sollte ein Standardvorgehen definiert sein (z. B. Berücksichtigung mit der maximalen Vorderachslast aus der Zulassungsbescheinigung in der Achslasttabelle).

- Spurhaltewarnsystem

Für die Anforderung der Ausstattung von Lang-Lkw mit einem Spurhaltewarnsystem wird vorgeschlagen, hierfür direkt auf die bereits bestehende UN-R 130 Bezug zu nehmen.

- Notbremsassistent (AEBS)

Um ein Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten, erscheint die verpflichtende Ausstattung mit einem Notbremsassistenten nach UN-R 131 für Lang-Lkw sinnvoll.

- Kamera-Monitor-System

Das geforderte System könnte auf Basis weiterer Untersuchungen technologieneutral und im Einklang mit UN-R 46 beschrieben werden, um auch bei zukünftigen alternativen Umsetzungen die Praxistauglichkeit im Sinne der Verordnung sicherzustellen.

- Heckkennzeichnung

Eine symbolische Lang-Lkw-Darstellung könnte eine intuitivere Erkennung und Einschätzung der Fahrzeuglänge durch andere Verkehrsteilnehmer ermöglichen.

- Kombiniertes Verkehr

Die Anforderungen an die KV-Tauglichkeit sollten eindeutiger definiert und die Erfüllung und Art der Umsetzung auch im Übereinstimmungsnachweis in

die Begutachtung aufgenommen werden. Zum Beispiel sollte angeführt werden, dass es für die Begründung der KV-Tauglichkeit erforderlich ist, dass mindestens ein Teil der Fahrzeugkombination eine mit Geräten umschlagbare Ladeeinheit transportieren kann.

- Kurvenlaufeigenschaften

Bei einem Konfigurationsspielraum durch alternative, nicht baugleiche Fahrzeugmodule sollte die Einhaltung der Kurvenlaufeigenschaften nach § 32 StVZO mithilfe einer Software für alle Varianten vollständig überprüft werden. Es sollte konkretisiert werden, ob die Prüfung der Kurvenlaufeigenschaften erst dann beendet ist, wenn der zu durchfahrende Kreis auch wieder tangential verlassen worden ist. Für die Prüfung sollte in Bezug auf das Anheben von Achsen der jeweils ungünstigste Fall (angehoben oder abgesenkt) zugrunde gelegt werden.

- Gutachtenstruktur

Zur Erhöhung der Transparenz sollte die Begutachtung der Fahrzeugkombinationen eines Betreibers in einer jeweils aktuell fortgeschriebenen Dokumentation zusammengefasst und die zulässige Kombinatorik eindeutig und transparent (z. B. über Variantenbäume) beschrieben werden.

- ABS/EVSC-Konfigurationen

Im Sinne einer weiteren Optimierung der technischen Anforderungen könnte untersucht werden, ob eine Forderung zur Drehzahlsensierung und Bremsdruckregelung von zwei Drittel aller Anhängerachsen Bremswege generell weiter verkürzen würde. Darüber hinaus wird empfohlen, erwartete Prüfvorschriften des UNECE-Expertengremiums zu ‚Modular Vehicle Combinations‘ auch für Lang-Lkw zu übernehmen.

Bezüglich der Frage nach den Auswirkungen eines Einsatzes von Lang-Lkw auf die Geräuschemission ist festzuhalten, dass der für die Geräuschemission maßgebende Mittelungspegel beim Lang-Lkw vom Typ 2 um 1,4 bis 1,5 dB, beim Lang-Lkw vom Typ 3 ähnlich um 1,6 bis 1,7 dB höher liegt als der des mit dem gleichen Ladegut beladenen normalen Lkw. Berücksichtigt man jedoch, dass drei normale Lkw durch zwei Lang-Lkw ersetzt werden, so ergibt sich insgesamt eine geringe Pegelminderung der Geräuschemission von Lang-Lkw gegenüber dem normalen Lkw um 0,1 bis 0,4 dB.

## 9 Straßenbeanspruchung durch Lang-Lkw

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den durchgeführten Forschungsprojekten von WELLNER, UHLIG (2015) FE 04.0254/2011/ERB „Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw“ UHLIG (2016) FE 04.0290/2015/ERB „Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung“.

### 9.1 Zielsetzung

Die beiden Untersuchungen von WELLNER, UHLIG (2015) und UHLIG (2016) verfolgen das Ziel, die Straßenbeanspruchung durch Lang-Lkw im Vergleich zu herkömmlichen Lkw abzuschätzen. Sie liefern somit wichtige Grundlagen für abzuleitende Schlussfolgerungen zu möglichen Veränderungen des Nutzungszeitraums von Straßenoberbauten durch den Einsatz von Lang-Lkw. Beim ersten Bericht handelt es sich um eine Zwischenbewertung, die durch den zweiten Bericht vervollständigt wird und einige zusätzliche Fragestellungen näher untersucht. Insofern stellt der Bericht von UHLIG (2016) die Ergebnisse umfassend und vollständig dar, weshalb auf den vorangegangenen Bericht nicht detailliert eingegangen wird.

### 9.2 Untersuchungsmethodik

Wie schon bei der Untersuchung von WELLNER, UHLIG (2015) wurden auch von UHLIG (2016) Daten zu Achslasten und Gesamtgewichten durch die Fahrer der Lang-Lkw unmittelbar vor Fahrtbeginn in ein von WELLNER, UHLIG (2015) entwickeltes und in der zweiten Untersuchung optimiertes Erhebungsformular eingetragen. Neben diesen erforderlichen Daten wurden weitere Informationen betreffend die Fahrzeugausprägung, realisierten Fahrten mit Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw bei den beteiligten Unternehmen eingeholt. Aus dem Teilprojekt der wissenschaftlichen Begleitung FE 82.0630/2015 „Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw“ (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) wurden weitere fahrzeugtechnische Kenngrößen von Lang-Lkw und von konventionellen Lkw bereitgestellt.

Alle 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. Im Ergebnis der durchgeführten Plausibilitätsanalyse wurde ein grundsätzlich verwertbarer Datenbestand von 23.639 Datensätzen (= 98 %) von 44 Unternehmen im Direktverkehr und 463 Datensätzen (= 2 %) von drei Unternehmen im Kombinierten Verkehr (KV) ermittelt. Im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe WELLNER, UHLIG (2015) beträgt die Anzahl der Fahrten im Direktverkehr bei UHLIG (2016) somit nahezu die 10-fache Menge. Im KV ist die Anzahl nahezu gleich groß geblieben.

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 UHLIG (2016) teils Angaben in der Datenbank des Auftragnehmers zum FE 82.0630/2015 (FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016) analysiert sowie eigene Befragungen der beteiligten Unternehmen durchgeführt. Im Ergebnis wurden die in Bild 20 dargestellten, acht verschiedenen Fahrzeugtypen als äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen ermittelt, wobei Typ 98 mit einem Anteil von 52 % im Direktverkehr und 87 % im KV deutlich überwiegt.

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 Angaben des Auftragnehmers zum FE 82.0630/2015 (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, SCHMEILER 2016) einbezogen sowie eigene Befragungen der Unternehmen durch den Forschungsnahmer durchgeführt. Die Anzahl der Fahrten kon-









Typ	Symbol	Typ	Symbol
32		42	
33		96	
34		57	
41		58	

Bild 20: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen (UHLIG, 2016)

ventioneller 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 Straßenoberbau erfolgten zum einem nach dem Verfahren der „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“, den RStO 12 (FGSV, 2012b); hier über die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge, zum anderen nach den „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht“, den RDO Asphalt 09 (FGSV, 2009a), mittels der Berechnung des Ermüdungsstatus eines Asphaltoberbaus nach Ablauf der Regelnutzungsdauer von 30 Jahren sowie der Ermittlung der Prognosenutzungsdauer nach Erreichen des Ermüdungsstatus von 100 %.

### 9.3 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 Zusammensetzung der Lang-Lkw-Typen in Bild 21 zeigt, dass mit 46 % knapp die Hälfte aller Daten dem Lang-Lkw vom Typ 3 zuzuordnen ist. Jeweils ca. ein Viertel der Daten betrifft Lang-Lkw der Typen 1 und 2, während die Typen 4 und 5 mit jeweils rund 1 % nur geringe Anteile aufweisen. Im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe WELLNER, UHLIG (2015) umfasst der Datenbestand nunmehr Werte zu allen Lang-Lkw-Typen.

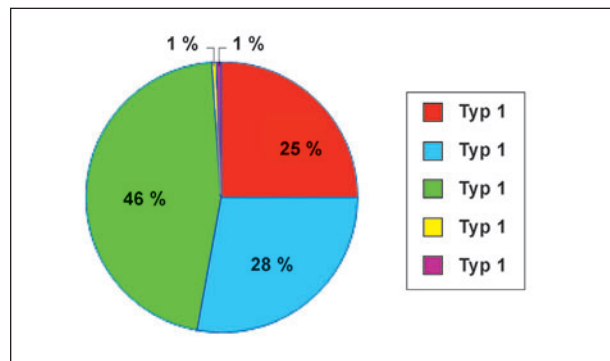


Bild 21: Verteilung der Lang-Lkw-Typen

Bezüglich der Achskonfigurationen zeigt sich, dass im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe WELLNER, UHLIG (2014) mittlerweile weitere Fahrzeugvarianten beim Lang-Lkw-Typ 2 mit fünf oder sechs Achsen sowie beim Typ 3 auch mit sechs Achsen im Einsatz sind. Die Reduzierung der Achszahl bei Einhaltung der nach § 34 StVZO vorgeschriebenen höchstzulässigen Achslasten zeigt, dass eine betriebswirtschaftliche Optimierung der Lang-Lkw-Flotte eingesetzt hat.

Aufgrund ihrer nichtmodularen Bauweise und der damit einhergehenden besonderen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen werden Lang-Lkw vom Typ 1 einer gesonderten Analyse unterzogen.

#### Lang-Lkw-Typen 2 bis 5

Die Achslastverteilung der Lang-Lkw-Typen 2 bis 5 im Direktverkehr (vgl. Bild 22, links) weist eine linkssteile Verteilung mit einem Maximum in der Klasse  $> 3 \text{ t} \leq 4 \text{ t}$  auf. Dabei liegen ca. 90,5 % der erfassten Achslasten im Bereich  $\leq 7 \text{ t}$ . Die Verteilung der Achslasten von Lang-Lkw-Typ 2 und 4 im KV (vgl. Bild 22, rechts) zeigt hingegen ein ausgeprägtes Maximum in der Achslastklasse  $> 2 \text{ t} \leq 3 \text{ t}$ , ein lokales Minimum in Achslastklasse  $> 4 \text{ t} \leq 5 \text{ t}$  sowie vergleichsweise geringere Häufigkeiten in den oberen Achslastklassen  $> 7 \text{ t}$ . Die Achslasten liegen damit deutlich unter den nach § 34 StVZO höchstzulässigen 10 t für nicht angetriebene und 11,5 t für angetriebene Einzelachsen. Daraus resultiert gegenüber dem konventionellen Schwerverkehr eine Verschiebung der Achslastverteilung hin zu den unteren Achslastklassen.

Die Verteilungen der Fahrzeuggesamtmassen für Direktverkehr und KV sind in Bild 23 dargestellt. Fahrzeuge im KV wurden nur von 3 Unternehmen eingesetzt. Das Maximum der aus den Achslasten

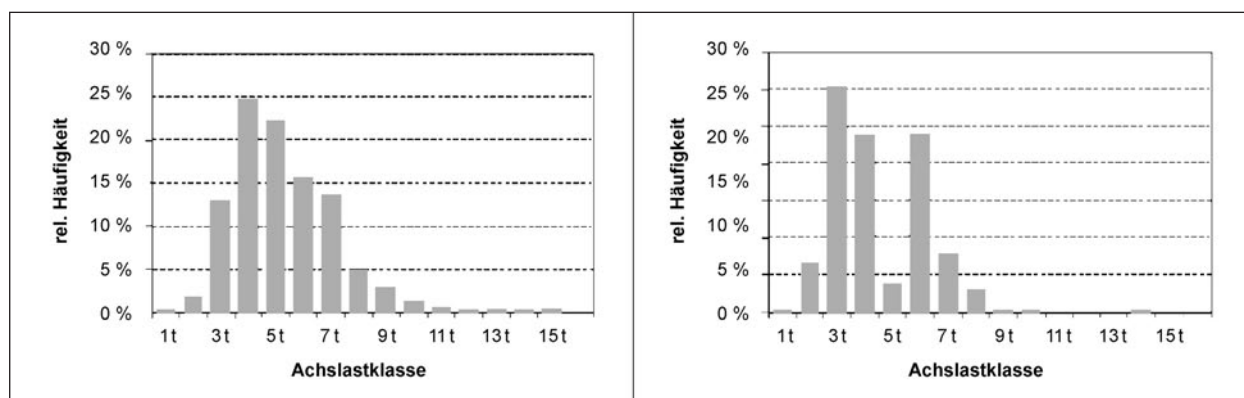


Bild 22: Achslastklassenverteilung der Lang-Lkw-Typen 2 bis 5 im Direktverkehr (links) bzw. Typ 2 und 4 im Kombinierten Verkehr (rechts)

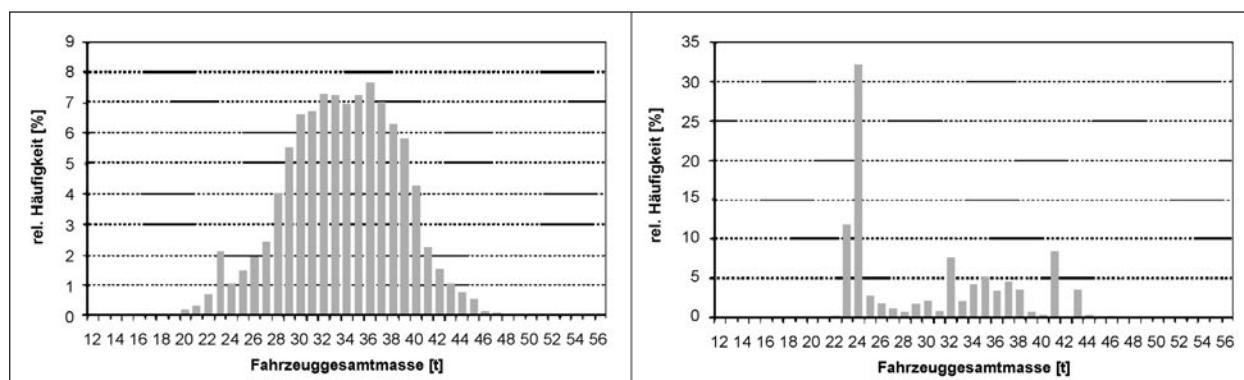


Bild 23: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw-Typen 2 bis 5 im Direktverkehr (links) bzw. Typ 2 und 4 im Kombinierten Verkehr (rechts)

berechneten Fahrzeuggesamtmassen liegt für zwei Fahrten im Direktverkehr bei 53,9 t. Das Gesamtgewicht der Lang-Lkw liegt zu ca. 77 % in einem Bereich von > 28 t bis ≤ 40 t. Darunter liegen ca. 12 %. Über 40 t weisen ca. 11 % der Lang-Lkw auf. Es zeigt sich, dass die Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw bezogen auf die zulässigen 40 t beziehungsweise 44 t im KV überwiegend relativ niedrige Werte aufweisen. Im Direktverkehr beträgt das arithmetische Mittel 33,2 t bei einer Standardabweichung von 5,0 t. Das Niveau der Fahrzeuggesamtmassen im KV liegt unterhalb des Niveaus im Direktverkehr. Bezogen auf die zulässigen Fahrzeuggesamtmassen ergeben sich mittlere Beladungsgrade von 83 % im Direktverkehr und 67 % im KV. Unter der Annahme, dass die Ladevolumina der Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen in der Regel ausgelastet werden, ist somit grundsätzlich von vergleichsweise leichten Transportgütern auf Lang-Lkw auszugehen, was auch die Ergebnisse der Untersuchungen von BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014) beziehungsweise BURG et al. (2016) widerspiegeln (vgl. Kapitel 7).

Der Abgleich der erfassten Achslasten und der aus ihnen berechneten Gesamtgewichte erfolgte anhand der im § 34 StVZO vorgeschriebenen höchstzulässigen Achslasten und des höchstzulässigen Gesamtgewichts von 40 t/44 t (KV).

Im Direktverkehr waren 6,6 %, im KV 0,2 % aller Fahrten in Bezug auf die zulässige Fahrzeuggesamtmasse überladen. Insgesamt ergibt sich der Überladungsanteil zu 6,5 %. Er liegt deutlich niedriger als der Wert für den konventionellen Schwerverkehr auf Autobahnen (in Bezug auf das Gesamtgewicht lag im konventionellen Schwerverkehr bei ca. 12 % im Jahr 2013 ein Überladungsverdacht vor; Achslastmessungen der BASt auf BAB im Jahr 2013). Festzuhalten ist hier aber, dass die Hälfte aller Überschreitungen der höchstzulässigen Fahrzeuggesamtmasse durch lediglich drei Unternehmen verursacht wurde. Das Niveau der Überladungen von Lang-Lkw lag dabei im Direktverkehr zu 96 % bei ≤ 6 t. Im KV wurde lediglich eine Überladung mit 2 t festgestellt.

Die Überschreitung der nach § 34 StVZO höchstzulässigen Grenzwerte für Fahrzeugmodule und



Achslasten betrug 0,85 % aller dokumentierten Fahrten. Ca. drei Viertel aller Grenzwertüberschreitungen betreffen die Achse 2, die Antriebsachse von Sattelzugmaschinen und Motorwagen. Rund ein Zehntel der Überschreitungen beziehen sich auf das zulässige Gesamtgewicht des Zugfahrzeuges (Sattelzugmaschine oder Motorwagen). Vor dem Hintergrund der Auswirkung der Grenzwertüberschreitungen auf den Straßenoberbau ist insbesondere die Überschreitung zulässiger Einzelachslasten als kritisch zu bewerten.

Im Ergebnis des Vergleichs zwischen der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und dem entsprechend äquivalenten konventionellen Lkw-Kollektiv (vgl. Bild 20) im Straßenaufbau lässt sich feststellen, dass den dokumentierten 18.041 Fahrten der Lang-Lkw 27.320 Fahrten konventioneller Lkw entsprechen. Ein Lang-Lkw ersetzt somit 1,51 Fahrzeuge des konventionellen Schwerverkehrs. Zum Ergebnis der Phase 1 (WELLNER, UHLIG, 2015) mit einem Quotienten von 1,52 gibt es hier nur einen marginalen Unterschied. Aufgrund der unterschiedlichen mittleren Achszahl pro Fahrzeug beider Fahrzeuggruppen (Lang-Lkw im Mittel 7,0 Achsen, äquivalente konventionelle Lkw im Mittel 4,6 Achsen) ergibt sich beim Einsatz von Lang-Lkw eine Erhöhung der Achsübergänge um 1,1 %, jedoch bei insgesamt niedrigeren Achslasten. Daher ist die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge für Lang-Lkw sowohl im Direktverkehr als auch im kombinierten Verkehr um jeweils 28 % niedriger als die der zugehörigen konventionellen Lkw.

Für die vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung nach den Dimensionierungsrichtlinien RStO 12 und RDO Asphalt 09 wurden die drei Szenarien der ersten Stufe (WELLNER, UHLIG, 2015) mit unterschiedlich großen Anteilen der Lang-Lkw am konventionellen Schwerverkehr (2 %, 5 %, 9 %) beibehalten. Der Maximalanteil von 9 % ist dabei von BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014) übernommen worden.

Die vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 ergibt für alle untersuchten Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw eine mit unter 3 % nur geringfügig niedrigere dimensionierungsrelevante Beanspruchung B nach den RStO 12 als für das Vergleichskollektiv ohne Lang-Lkw.

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus Stufe 1 (WELLNER, UHLIG, 2015) zeigt sich, dass die

B-Zahl mit zunehmendem Anteil Lang-Lkw am Schwerverkehr etwas deutlicher sinkt. Dies ist auf die im Vergleich zu Stufe 1 veränderte Zusammensetzung des durch die Lang-Lkw substituierten äquivalenten Fahrzeugkollektivs zurückzuführen.

Auf Grundlage der Ergebnisse ist davon auszugehen, dass der Einsatz von Lang-Lkw mit den hier untersuchten Anteilen von bis zu 9 % am gesamten Schwerverkehr BAB-Fernverkehr in aller Regel keine Änderung der Belastungsklasse und damit keine Auswirkung auf die auszuführenden Schichtdicken des Oberbaus von Fahrbahnen hat und somit keine Auswirkungen auf die Dimensionierung des Oberbaus von Straßen nach RStO 12 bestehen.

Die gleichen Szenarien unter dem Blickwinkel der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt 09 haben zum Ergebnis, dass sich der angenommene Regelnutzungszeitraum von 30 Jahren mit maximal 1,8 % nur unwesentlich verlängert. Es kann auch hier festgestellt werden, dass dimensionierungstechnisch keine negativen Auswirkungen auf die auszuführenden Dicken des Straßenoberbaus bestehen.

### Lang-Lkw-Typ 1

Aufgrund ihrer nichtmodularen Bauweise und der damit einhergehenden besonderen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen nehmen Lang-Lkw vom Typ 1 eine Sonderrolle unter den Lang-Lkw ein. Sie stellen sinnbildlich ein mit einem 1,30 m längeren 3-achsigen Sattelanhänger ausgestattetes Sattelkraftfahrzeug mit 2-achsiger Sattelzugmaschine dar. Unter den ausschließlich im Direktverkehr registrierten 6.061 Fahrten des verlängerten Sattelkraftfahrzeugs wurden lediglich sechs Überschreitungen zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO festgestellt.

Die linksschiefe Achslastverteilung der Lang-Lkw vom Typ 1 mit einem lokalen Maximum in der Achslastklasse 3 bis 4 t zeigt Bild 24. Ein lokales Minimum liegt in der Achslastklasse 5 bis 6 t. Ca. 72,5 % der Achslasten liegen unter 7 t, nur 27,5 % liegen darüber mit einem deutlichen Maximum in der Achslastklasse 6 bis 7 t. Die darüber liegenden Achslastklassen > 7 t weisen vergleichsweise kleine Anteile auf. Die maximale Achslast lag bei 13 t. Die Achslasten liegen damit auch hier deutlich unter den nach § 34 StVZO höchstzulässigen 10 t für nicht angetriebene und 11,5 t für angetriebene Einzelachsen.

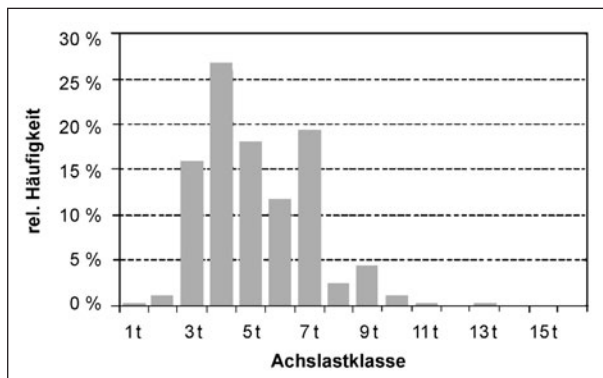


Bild 24: Achslastverteilung von Lang-Lkw vom Typ 1

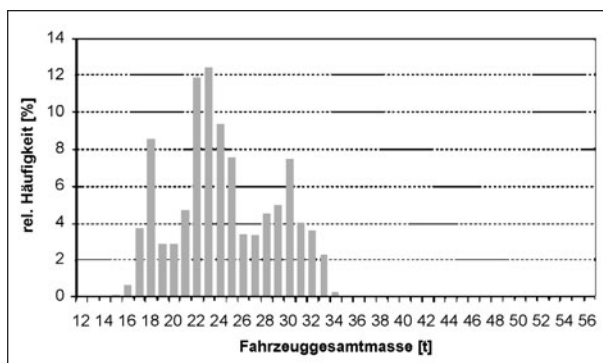


Bild 25: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw vom Typ 1

Die bimodale Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw vom Typ 1 ist in Bild 25 dargestellt. Das Maximum der Fahrzeuggesamtmassen lag bei 44 t. 69 % der Fahrten wiesen eine Fahrzeuggesamtmasse von unter 27 t auf mit einem ausgeprägten Maximum zwischen 22 t und 23 t. Die restlichen 31 % der Fahrten lagen darüber mit einem Maximum bei 30 t. Die maximale Fahrzeuggesamtmasse lag bei 44,0 t. Auch hier zeigt sich, dass die Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw vom Typ 1 bezogen auf die zulässigen 40 t beziehungsweise 44 t im KV relativ niedrige Werte aufweisen. Ursache hierfür ist offenbar der vorwiegende Einsatz von Lang-Lkw im Allgemeinen und so auch vom Typ 1 im Volumentransport, das heißt zur Bewegung von relativ leichten Gütern bei weitgehender Ausnutzung des Ladevolumens.

Im Rahmen des Teilprojekts der wissenschaftlichen Begleitung FE 89.0315/2015 „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw“ wurde von BURG et al. (2016) festgestellt, dass das Marktpotenzial für Lang-Lkw vom Typ 1 vordergründig im Ersatz des Fuhrparkbestandes von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen zu sehen ist. Ein vollständiger

Ersatz aller Binnenfahrten deutscher 1- und 2-achsiger Sattelanhänger und der anteilige Ersatz aller nicht komplett ausgelasteten Binnenfahrten deutscher 3-achsiger Sattelanhänger sowie ein geschätztes Gesamtpotenzial von 50 % aller deutschen Sattelanhänger bilden die Annahmen für das zukünftige Marktpotenzial von Lang-Lkw vom Typ 1.

In Bezug auf die äquivalenten Fahrzeugtypen ergeben sich Verhältnisfaktoren des Ladevolumens von Lang-Lkw vom Typ 1 zu konventionellen Lkw von 0,97 bis 1,13. Der Verkehrsstärkefaktor (Anzahl der Fahrten äquivalenter konventioneller Lkw für eine Fahrt mit einem Lang-Lkw Typ vom 1) ermittelt sich zu 1,07. Die Anzahl der Achsübergänge der Lang-Lkw vom Typ 1 liegt um 24 % höher als die der konventionellen Lkw.

Die vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung des zuvor aufgeführten Szenarios auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 ergibt eine um ca. 3 % niedrigere dimensionierungsrelevante Beanspruchung B nach den RStO 12 als für das Vergleichskollektiv ohne Lang-Lkw vom Typ 1. Es wird also kein Wechsel in die nächsthöhere Belastungskategorie notwendig, was mit größeren Schichtdicken verbunden wäre.

Dasselbe Szenario unter dem Blickwinkel der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt 09 hat ebenfalls zum Ergebnis, dass keine signifikanten Auswirkungen auf die auszuführenden Schichtdicken für einen angenommenen Regelnutzungszeitraum von 30 Jahren bestehen.

Es ist somit davon auszugehen, dass ein massiver Einsatz von Lang-Lkw vom Typ 1 in aller Regel keine größeren Schichtdicken des Oberbaus notwendig macht, da nicht mit größeren Straßenbeanspruchungen gerechnet werden muss.

## 9.4 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.

## Lang-Lkw-Typen 2 bis 5

Inwiefern sich ein genereller Einsatz von Lang-Lkw auf die Dimensionierung von Straßen, die Länge der Nutzungsdauern beziehungsweise die Erhaltungsintervalle auswirken wird, hängt von mehreren Faktoren ab, wie beispielsweise dem Anteil von Lang-Lkw am Gesamtkollektiv Schwerverkehr, dem höchstzulässigen Gesamtgewicht, logistischen Optimierungsprozessen oder fahrzeugtechnischen Entwicklungen. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sind daher im engen Zusammenhang mit den entsprechenden Randbedingungen der Datenerhebung sowie der aktuellen fahrzeugtechnischen, betriebswirtschaftlichen und rechtlichen Situation zu betrachten. Bei Änderung eines oder mehrerer Kriterien können sich daher durch den Einsatz von Lang-Lkw sowohl niedrigere als auch höhere Beanspruchungen auf den Straßenoberbau ergeben.

Wesentliche Einflussgrößen stellen insbesondere die Zusammensetzung des durch Lang-Lkw zu ersetzenden konventionellen Lkw-Kollektivs sowie die Zusammensetzung des Lang-Lkw-Kollektivs und seine Fahrzeugkonfigurationen dar. Im Rahmen der vorliegenden Ergebnisse zeigte sich, dass die von den Unternehmen angegebenen konventionellen Lkw, welche durch Lang-Lkw ersetzt werden, einen großen Anteil von Fahrzeugtypen mit weniger als fünf Achsen und damit deutlich weniger Achsen als Lang-Lkw enthielten. Infolgedessen ergaben sich bei der analytischen Vergleichsbetrachtung für diese konventionellen Lkw höhere Beanspruchungen auf den Straßenoberbau, da – sinnbildlich – die insgesamt einwirkenden Lasten mit konventionellen Lkw auf vergleichsweise weniger Achsen verteilt werden als bei Transport mit Lang-Lkw. Bei zunehmendem Einsatz von Lang-Lkw könnten auch zunehmend konventionelle Lkw mit fünf oder mehr Achsen durch Lang-Lkw ersetzt werden. In diesem Fall würde dann die Vergleichsbetrachtung ein für das Kollektiv mit Lang-Lkw höheres Beanspruchungsniveau auf die Straßenbefestigung ergeben. Unter Berücksichtigung der im Rahmen der hier vorliegenden, zweiten Untersuchungsstufe festgestellten Entwicklungstendenz hin zu weniger Achsen als sieben (bei Lang-Lkw-Typ 2) beziehungsweise acht (bei Lang-Lkw-Typ 3) ergäbe sich der Effekt einer verstärkt ungünstigeren, das heißt höheren Beanspruchungswirkung auf den Straßenoberbau durch Lang-Lkw im Vergleich zu äquivalenten konventionellen Lkw. Während bei Bedarf der fortschreitende Ersatz konventioneller Lkw

durch Lang-Lkw infolge der zwangsläufig stattfindenden, marktwirksam logistischen Optimierungsprozesse praktisch kaum zu beeinflussen wäre, wäre es ratsam die Einflussgrößen zulässige Fahrzeuggesamtmasse und fahrzeugtechnische Konfiguration von Lang-Lkw vor dem Hintergrund der Minimierung der Netzbelastung und somit der Erhaltungskosten einer entsprechend zielgerichteten Regelung zuzuführen.

Die Frage der die Fahrdynamik von Lang-Lkw negativ beeinflussenden ungleichen Beladungszustände der einzelnen Fahrzeugeinheiten ist abschließend noch nicht geklärt. 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 Fahrzeugeinheiten, noch zulässig wäre beziehungsweise ab welcher Achslastdifferenz negative Auswirkungen auf die Fahrdynamik und somit die Verkehrssicherheit zu befürchten wären.

## Lang-Lkw vom Typ 1

Im Rahmen des Forschungsprojektes FE 89.0315/2015 „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw“ wurde von Burg et al. (2016) festgestellt, dass das Marktpotenzial für Lang-Lkw vom Typ 1 vordergründig im Ersatz des Fuhrparkbestandes von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen zu sehen ist. Ein vollständiger Ersatz aller Binnenfahrten deutscher 1- und 2-achsiger Sattelanhänger und der anteilige Ersatz aller nicht komplett ausgelasteten Binnenfahrten deutscher dreiachsiger Sattelanhänger sowie ein geschätztes Gesamtpotenzial von 50 % aller deutschen Sattelanhänger bilden die Annahmen für das zukünftige Marktpotenzial von Lang-Lkw vom Typ 1.

Die Analyse der Auswirkung des Einsatzes von Lang-Lkw vom Typ 1 auf die Schädigung des Oberbaus von Straßen wurde mittels der Vergleichskollektive BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw vom Typ 1 durchgeführt.

Vor dem Hintergrund des zuvor aufgeführten Szenarios ergibt sich im Vergleich des Beanspruchungsniveaus auf Straßenbefestigungen durch Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw vom Typ 1 und Fahrzeugkollektive ohne Lang-Lkw vom Typ 1 auf

der Grundlage des vorliegenden, stichprobenartigen Datenbestandes, dass geringfügige Minderbeanspruchungen bei Substitution eines Teils der konventionellen Lkw durch Lang-Lkw vom Typ 1 festzustellen sind.

Es ist somit davon auszugehen, dass auch ein massiver Einsatz gemäß § 34 StVZO von Lang-Lkw vom Typ 1 prinzipiell keine negativen Einflüsse auf die Nutzungszeiten von Straßenbefestigungen und somit die Erhaltungsintervalle sowie die Erhaltungskosten hat.

## 10 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“.

### 10.1 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 mithilfe 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 Ein-

gangsparameter 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.

### 10.2 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 BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING (2014, vgl. Kapitel 6 sowie 7) 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 mithilfe 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.

### 10.3 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 Einsparpotenzial 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. Kapitel 7).

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, sodass sich entsprechend hohe absolute Risikowerte ergaben. Die Ergebnisse sollten somit auf der sicheren Seite liegen.

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

Bei hohen Energiefreisetzungen von 100 MW beziehungsweise 150 MW treten nur geringe Unterschiede hinsichtlich der absoluten Betroffenenzahlen auf. Bedingt durch die schnelle Rauchausbreitung ist bereits bei 100 MW eine maximale Anzahl an Betroffenen erreicht, sodass eine zusätzliche Rauchgasproduktion bei höheren Brandleistungen nur noch geringe Unterschiede bewirkt. Aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit ist ihr Anteil am Gesamtrisiko (Risikoerwartungswert) 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.

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>19</sup> liegen die möglichen negativen Auswirkungen für den Gesamtbestand immer noch in Bereichen, die in der Regel mit kompensatorischen Maßnahmen (z. B. Anpassung der Lüftung) ausgeglichen werden könnten.

## 10.4 Fazit und Folgerung

Maßgeblich für die Sicherheitsbewertung von Lang-Lkw sind deren Anteil am Gesamtschwerverkehrsaufkommen sowie der Einfluss durch die mögliche Substitution konventioneller Lkw durch Lang-Lkw. Die Abschätzungen wurden hierbei sehr konservativ vorgenommen. Zudem wurden positiv wirkende Aspekte wie der höhere Sicherheitsstandard von Lang-Lkw nicht berücksichtigt. Auch weitere sicherheitserhöhende kompensatorische Maßnahmen im Rahmen der Tunnelausstattung bei Neubau und Bestand wurden nicht näher betrachtet. So könnten beispielsweise verkürzte Notausgangsabstände, frühzeitigere Detektion von Brandereignissen sowie Anpassung der Lüftung 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 festgeleg-

<sup>19</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.

ten 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 und somit zu erhöhten Risiken im Vergleich zu konventionellen Lkw.

Auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen ist jedoch festzustellen, dass bei dem im Feldversuch ermittelten Anteil von Lang-Lkw am Lkw-Gesamtaufkommen diese Risikoerhöhung sich im Rahmen der Rechengenauigkeit des Verfahrens bewegt. Für höhere Anteile von Lang-Lkw kann die Einhaltung des Sicherheitsniveaus durch geeignete kompensatorische Maßnahmen gewährleistet werden. Über einen Abgleich der Erkenntnisse auch nach Abschluss 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 weder Lang-Lkw für den Transport von kennzeichnungspflichtigen Gefahrgütern zugelassen, noch ist dieses geplant. Auch im europäischen Vergleich sind für längere Lkw bislang keine Freigaben für Gefahrguttransporte erteilt worden. Falls eine Freigabe von Gefahrguttransporten mit Lang-Lkw zukünftig erwogen werden sollte, sollte diese erst nach eingehenden zusätzlichen, detaillierten

Betrachtungen erfolgen. Bei einer Aufhebung dieser Beschränkung wäre dann das Verfahren zur Kategorisierung von Straßentunneln entsprechend anzupassen.

## 11 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.

### 11.1 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) sowie eigenen Analysen zum Anprallverhalten von Schutzeinrichtungen und Fahrzeugen.

#### 11.1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Kernfrage der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs mit Lang-Lkw hinsichtlich der Straßenausstattung lautet: „Hat ein Einsatz von Lang-Lkw einen Einfluss auf die aktuell vorhandene Verkehrssicherheitswirkung von Schutzeinrichtungen?“

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 Aufhaltestufe in den DIN EN 1317 geregelt. Die Aufhaltestufe gibt dabei vor, welcher Belastung in Form von Fahrzeugtyp und -masse mit zugehöriger Anprallge-

schwindigkeit 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 im Prinzip auf qualitativen 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 Prüfscenarien 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 gezielte Anprallversuche an ausgewählten Schutzeinrichtungen

aus Stahl und Beton durchgeführt worden (DEKRA, 2014a/b). Die Erkenntnisse aus diesen Forschungsvorhaben 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 lag hierbei zunächst auf Streckensystemen der Aufhaltstufe H4b, die im längenbezogenen Vergleich zu Brückensystemen im deutschen Fernstraßennetz häufiger eingesetzt werden. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf die Untersuchung der Durchbruchssicherheit gelegt, da hier das größte Risiko für die Verkehrsteilnehmer anzunehmen ist. Diese Untersuchungen wurden ergänzt durch eine Betrachtung möglicher Effekte, die sich aus dem Ersatz des äquivalenten Fahrzeugkollektivs (Transport des gleichen Ladeguts, vgl. Kapitel 5) durch Lang-Lkw ergeben könnten, sowie zu Schutzeinrichtungen auf Brücken.

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

Für die Untersuchungen zur Durchbruchssicherheit hat die DEKRA 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

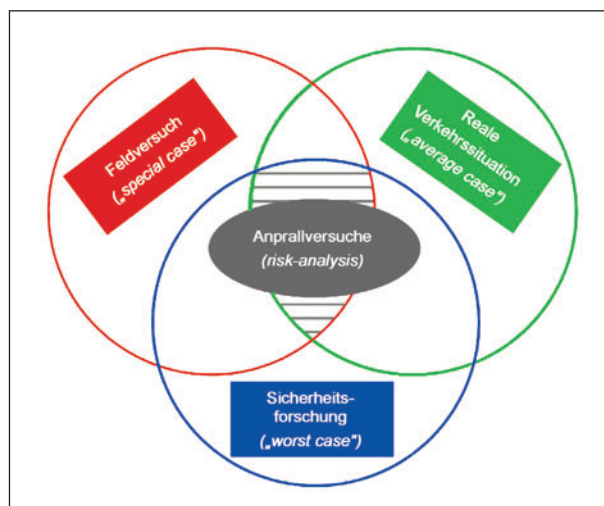


Bild 26: Spannungsfeld der Einflussparameter



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 26). Die vollständige Entwicklung der Parameterkonstellationen für die beiden Anprallversuche ist jeweils in den beiden Forschungsberichten der DEKRA zu finden.

**11.1.2 Methodik der Untersuchungen zur Durchbruchsisicherheit**

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 27). 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 Aufhaltestufe H4b wurden eine 110 cm hohe Betonschutzwand in Ortbetonbauweise sowie eine 115 cm hohe, zu ramme Stahl Schutzeinrichtung. 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 27 zeigt die beiden Schutzeinrichtungen vor den Anprallversuchen im Rahmen der von der DEKRA bearbeiteten Forschungsvorhaben auf dem Testgelände der DEKRA.

Im Rahmen des von BURG, RÖHLING, KLAAS-WISING (2014) bearbeiteten Teilprojekts der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs konnte der Lang-Lkw-Typ 3: ‚Lastkraftwagen mit Unterachse und Sattelanhänger‘ (vgl. u. a. Bild 28) als am häufigsten verwendeter Lang-Lkw-Typ und

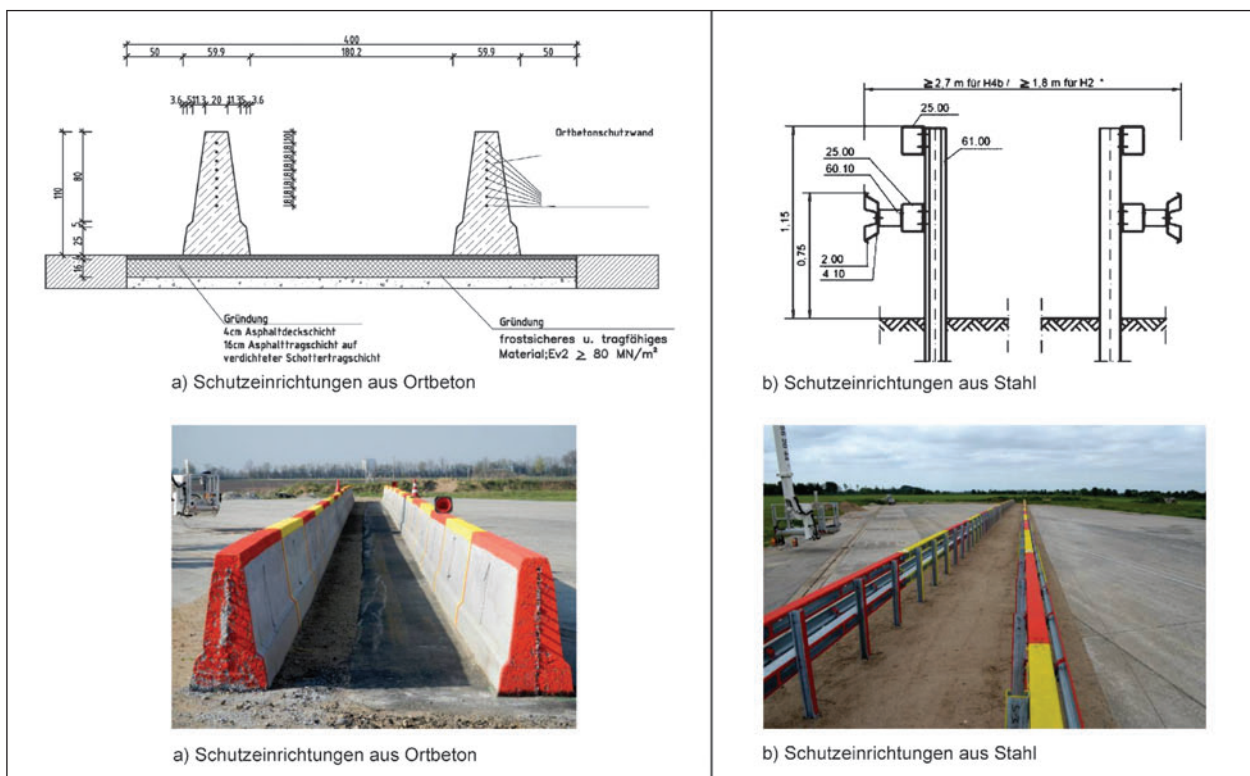


Bild 27: Schutzeinrichtungen aus a) Ortbeton sowie b) Stahl gemäß Regelwerk (oben) bzw. im Versuch (unten)

damit als relevantes Prüffahrzeug ermittelt werden (vgl. auch Kapitel 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

(BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING, 2014). Der sich ergebende Schwerpunkt der Beladung erhöht sich dadurch im Vergleich zu den Vorgaben der DIN EN 1317 (vgl. Bild 29).

Die Auswahl fiel auf eine über beide Fahrzeugteile gleichverteilte Beladung – repräsentiert durch die entsprechende Schwerpunktposition – unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Achslasten.

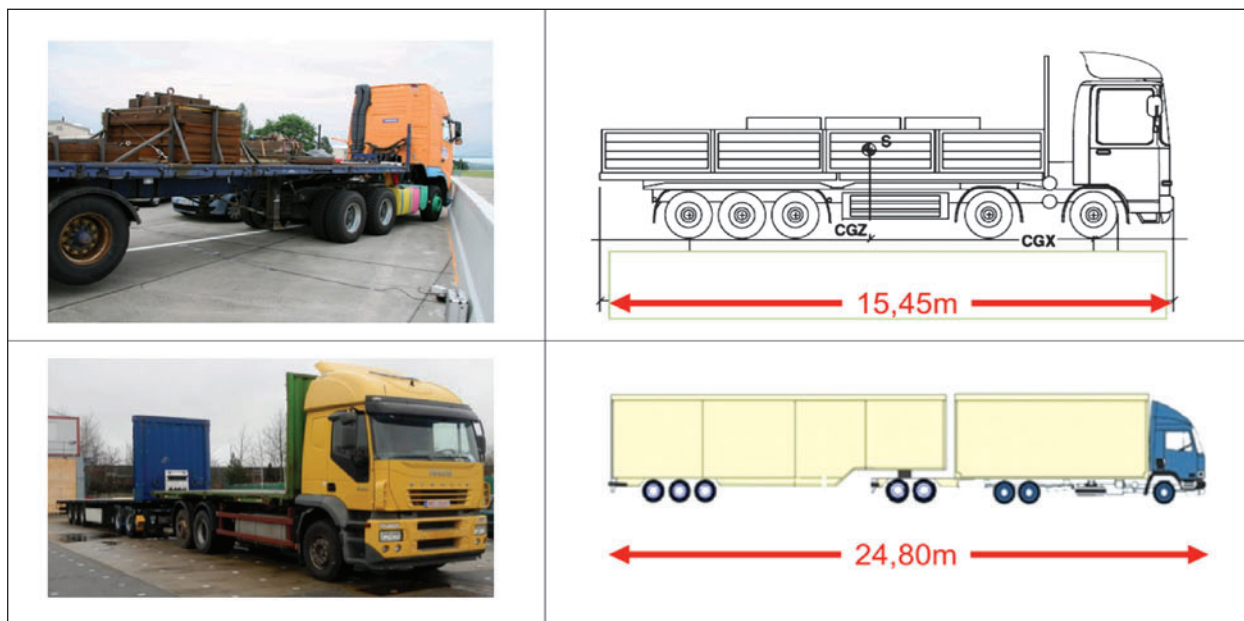


Bild 28: Konventionelles 38-t-Sattelkraftfahrzeug (oben) und Lang-Lkw-Typ 3 (unten) als Prüffahrzeuge im Vergleich



Bild 29: Beladungsszenarien der Prüffahrzeuge gemäß DIN EN 1317 (oben) und für Lang-Lkw aus dem Feldversuch (unten) im Vergleich

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 auf andere Lang-Lkw-Typen übertragen.

Ausgangspunkt für die Untersuchungen der oben genannten Übertragungsmöglichkeiten ist die Übernahme der Grundsätze, die in den DIN EN 1317 für die Prüfung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b verwendet werden: Dazu gehört es, eine fixierte, möglichst gleichmäßig verteilte Beladung des Prüffahrzeugs sowie die in den DIN EN 1317 vorgegebenen Werte für Anprallgeschwindigkeit und -winkel als ebenso repräsentativ für Lang-Lkw anzunehmen, wie es in den DIN EN 1317 für Sattelkraftfahrzeuge getan wird. Analog zur Vorgehensweise in der Entwicklung der relevanten Prüfscenarien in den DIN 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.

### 11.1.3 Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Durchbruchesicherheit

#### Ergebnisse der DEKRA-Untersuchungen

Beide Anprallversuche haben gezeigt, dass der 38-t-schwere Lang-Lkw-Typ 3 die zweireihig aufgestellte Schutzeinrichtung – wie im Mittelstreifen auf Autobahnen (Gesamtbreite: 3,50 m) – aus Stahl beziehungsweise Beton der höchsten Aufhaltestufe H4b, die für einen Anprall eines 38-t-Sattelkraftfahrzeugs konzipiert wurde, nicht durchbrochen hat. Unter verhinderter 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 30). Die Prüfnorm DIN EN 1317 berücksichtigt aktuell jedoch keine mehrgliedrigen Fahrzeugkombinationen in ihren Prüfvorschriften. In einer konventionellen Anprall-



Bild 30: Endposition des Lang-Lkw nach Anprall

prüfung zur Bestimmung der Leistungsdaten gemäß DIN EN 1317 wird das beobachtete Verhalten der Lang-Lkw beim Anprall allerdings angesprochen: die Prüffahrzeuge dürfen nicht auf die Seite fallen oder sich überschlagen. Dieser Aspekt soll sinnvollerweise unter anderem die Gefahren für den nachfolgenden Verkehr im Falle eines Unfalls reduzieren. Das beobachtete Fahrzeugverhalten ist dementsprechend sicherlich als ungünstig, aber nicht als Ausschlusskriterium zu bewerten.

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 abgewandten 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 Aufhalte-

stufe H4b erfüllen. Für diese Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b haben die 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 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 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 DIN EN 1317 abgedeckt wird.

#### 11.1.4 Betrachtungen zum äquivalenten Fahrzeugkollektiv und zu Schutzeinrichtungen auf Brücken

Im Verlauf der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs mit Lang-Lkw wurde deutlich, dass weitere Betrachtungen zur Vervollständigung der Untersuchungen zum Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen notwendig sind (vgl. Kapitel 5). Dabei stehen zwei Fragestellungen im Fokus:

1. Berücksichtigung des äquivalenten Fahrzeugkollektivs: Welche Auswirkungen hat der Ersatz von Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen mit einer Masse zwischen 18 t und 27 t durch Lang-Lkw mit der sich im gesetzlichen Rahmen bewegenden Masse zwischen 25 t und 39 t (vgl. Bild 5) hinsichtlich der Sicherheitseinschätzung von Schutzeinrichtungen im deutschen Fernstraßennetz?
2. Zu Schutzeinrichtungen auf Brücken: Welche Auswirkungen hat ein Einsatz von Lang-Lkw auf das vorhandene Sicherheitsniveau für Schutzeinrichtungen auf Brücken? Wie wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus den durchgeführten Anprallversuchen an Streckenschutzeinrichtungen diesbezüglich beurteilt?

Aufbauend auf den Ergebnissen zur Durchbruchsicherheit wurden von der BAST hierzu theoretische Betrachtungen angestellt. Für beide Fragestellungen erfolgt eine szenariorientierte Untersuchung der Leistungsfähigkeit von im deutschen Fernstraßennetz vorzufindenden Strecken- und Brückenschutzeinrichtungen. In beiden Fragestellungen werden als maßgebliche Einflussgröße die Masse und Art des anprallenden Fahrzeugs beziehungsweise der Fahrzeugkombination variiert und die Übertragungsmöglichkeiten von vorliegenden Anprallversuchen untersucht. Ergänzt werden die qualitativen Betrachtungen durch numerische Simulationen einzelner Anprallszenarien.

#### Anprallprüfungen

Zu beachten ist dabei, dass die Anprallprüfungen nach der europäischen Norm DIN EN 1317 Rückhaltesysteme an Straßen jeweils aus einem Anprallversuch mit einem schweren Fahrzeug, um die Rückhaltefähigkeit zu ermitteln, und einem Anprallversuch mit einem kleinen PKW, um die Insassenbelastung zu bestimmen, bestehen. Das heißt, für die Bewertung des Verhaltens beim Anprall schwe-

rer Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen steht als Basis oft nur ein einziger Anprallversuch an der jeweils betrachteten Schutzeinrichtung zur Verfügung. Die Anprallversuche nach DIN EN 1317 werden mit einer (vorgegebenen) Konstellation hinsichtlich Anprallgeschwindigkeit, Fahrzeugmasse und Winkel sowie der im oder auf dem Fahrzeug befestigten Ladung durchgeführt. Genau diese Konstellation als Kombination aus Fahrzeug, Anprallgeschwindigkeit und -winkel wird im realen Unfallgeschehen wahrscheinlich nur sehr selten anzutreffen sein. Die Versuche nach der europäischen Norm dienen dazu, das Leistungsvermögen der Schutzeinrichtungen unter vergleichbaren Bedingungen zu ermitteln. Die Bedingungen des Versuchs sollen dabei jeweils den oberen Rand der auftretenden Fälle abdecken und damit die weniger kritischen mit einschließen. Eine genaue Vorhersage, was im realen Unfallgeschehen tatsächlich später passieren wird, ist auf dieser Basis mit einem einzigen Anprallversuch nicht möglich, sondern es erfolgt lediglich eine Abschätzung, die immer ein verbleibendes Restrisiko beinhaltet. Anprallversuche sind sehr aufwendig und kostenintensiv und werden daher sowohl von der europäischen Norm als auch bei der wissenschaftlichen Beantwortung von Fragestellungen auf das Nötigste begrenzt.

Allgemein muss zudem berücksichtigt werden, dass eine theoretische Übertragung beziehungsweise Hochrechnung einer Anprallprüfung (wie z. B. der Aufhaltestufe H2 mit einem 13-t-Bus als Prüffahrzeug) auf eine andere Anprallprüfung (wie z. B. der Aufhaltestufe H4b mit einem 38-t-Sattelkraftfahrzeug als Prüffahrzeug) nur sehr schwer durchzuführen ist. Allein bei der Betrachtung der bei den Versuchen entstehenden kinetischen Energie zeigen sich die Unterschiede deutlich: So ist z. B. die Anprallenergie eines Fahrzeugs mit 38 t und 65 km/h (Aufhaltestufe H4b) um den Faktor 1,75 höher als die eines Fahrzeugs mit 22 t und 65 km/h und die eines Fahrzeugs mit 22 t und 65 km/h ist um das 1,45-fache höher als die eines Fahrzeugs mit 13 t und 70 km/h (Aufhaltestufe H2) (s. Bild 31).

Eine erhöhte Energie bedeutet hier die Notwendigkeit eines erhöhten Aufhaltevermögens einer Schutzeinrichtung für einen positiven Anprallverlauf. Hinzu kommen noch fahrzeugspezifische Aspekte: So weisen zum Beispiel die in den H2-Anprallprüfungen eingesetzten 13-t-Busse von ihrer Art, ihrem Verhalten und ihrer Formaggressivität deutliche Unterschiede zu Sattelkraftfahrzeugen in den H4b-Prüfungen auf.

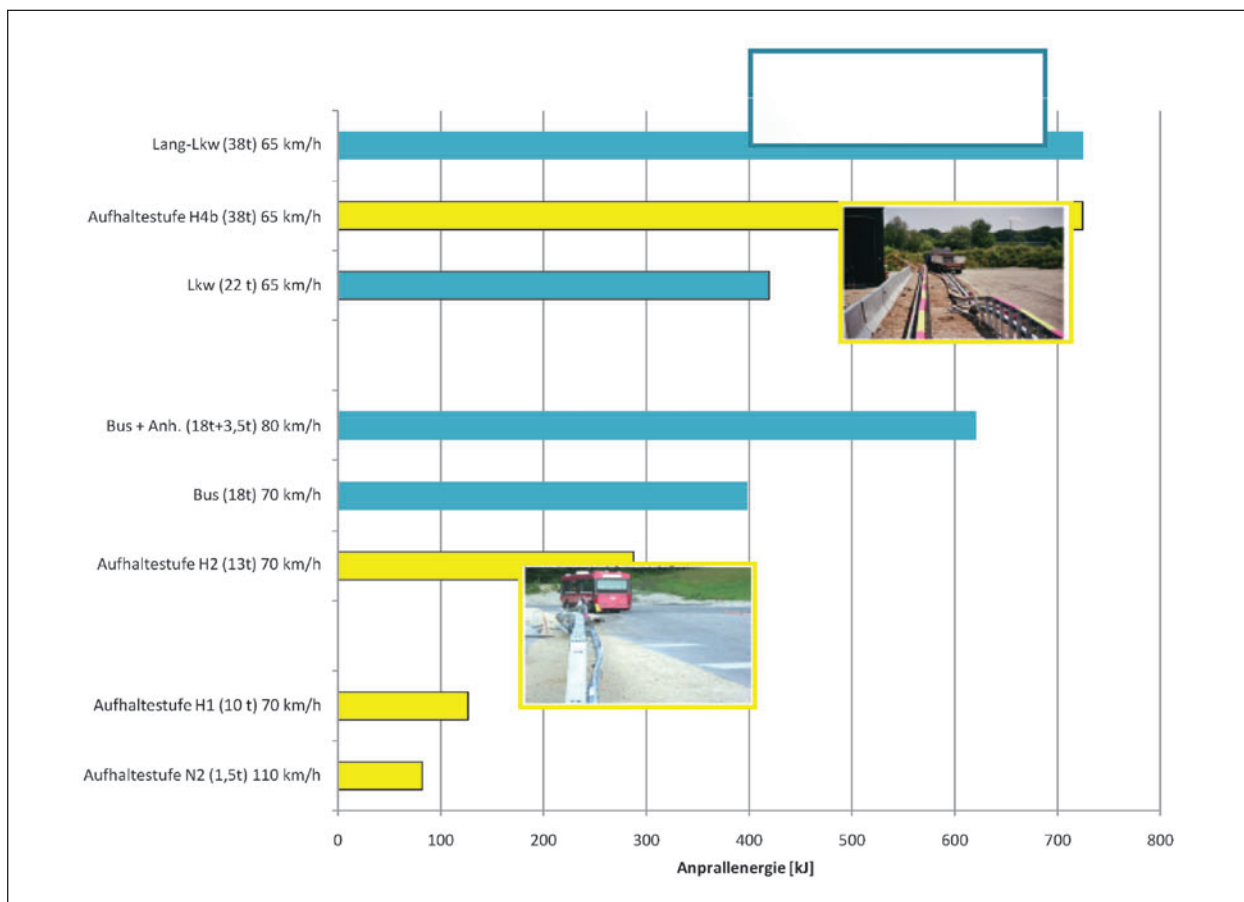


Bild 31: Anprallenergie bei verschiedenen Fahrzeugen und Anprallszenarien

### Numerische Simulation

Die numerische Simulation von dynamischen Anprallvorgängen an Schutzeinrichtungen bietet durch die Möglichkeit von Parametervariationen erhebliches Potenzial zur Abschätzung sicherheitsrelevanter Einflussfaktoren. Sie ist jedoch aufgrund der aktuell vorliegenden noch nicht ausreichend validierten Simulationsmodelle nicht so weit entwickelt, dass man mit Simulationen allein die hier zu behandelnden Fragestellungen verlässlich und abschließend bearbeiten könnte. Ergänzend zu den Szenarienbetrachtungen liefern die durchgeführten Simulationsstudien allerdings wertvolle Anhaltspunkte zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragestellungen.

Zum heutigen Zeitpunkt sind die durchgeführten qualitativen Beurteilungen der bestmögliche Ansatz, um der Beantwortung der hier gestellten Fragen effektiv nahe zu kommen. Dabei wird stellvertretend für das äquivalente Fahrzeugkollektiv mit einer Masse überwiegend zwischen 18 t und 27 t (s. Bild 5) ein konventioneller 22-t-Lkw betrachtet.

### Zu Frage 1: Berücksichtigung des äquivalenten Fahrzeugkollektivs

Erkenntnisse über die Transportgüter zeigen, dass die Ladung, die von Lang-Lkw befördert werden kann, ein begrenztes Volumen-Masse-Verhältnis (Dichte) hat (vgl. u. a. Kapitel 8.6.2). Überträgt man nun diese Art der Ladung auf ein herkömmliches 38-t-Sattelkraftfahrzeug, ergibt sich für dieses eine äquivalente mittlere Masse von 22 t. In der Konsequenz heißt das, dass Lang-Lkw in erster Linie diese Art von Sattelkraftfahrzeugen ersetzen werden.

H2-Schutzeinrichtungen müssen weder den 38-t-Lkw noch den 22-t-Lkw aufhalten können, hierfür werden Schutzeinrichtungen der höheren Aufhaltestufe H4b konstruiert. Inwieweit ein Anprall mit einem 22 t Lkw oder mit einem 38 t Lang-Lkw aufgehalten werden kann, sollte jedoch betrachtet werden. Zur Beantwortung dieser Fragestellung müssen verschiedene Einsatzorte von Schutzeinrichtungen unterschieden werden, wie beispielsweise im Mittelstreifen von BAB, am rechten Seitenrand, und dort, wo Abkommensunfälle von Lkw verhindert

werden sollen. Grundlage sind die RPS (FGSV, 2009b).

Die vorgenommenen Betrachtungen an einzelnen, für Deutschland typischen Schutzeinrichtungen zeigen, dass der zuvor aufgezeigte Ansatz, dass sowohl 22-t-Lkw wie auch konventionelle 38-t-Lkw und 38-t-Lang-Lkw im Anprallfall prinzipiell nur von einer H4b-Schutzeinrichtung aufgehalten werden können, für die reale Verkehrssituation in Deutschland herangezogen werden kann. Von den heute verwendeten Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H2 sind nur wenige in der Lage, auch noch einen 22-t-Lkw aufzuhalten, während die untersuchten H4b-Schutzeinrichtungen einen 38-t-Lkw aufhalten und knapp in der Lage sind, auch einen 38-t-Lang-Lkw aufzuhalten. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass es bei der heutigen Ausstattung der Straßen mit Schutzeinrichtungen gegenüber der jetzigen Situation durch Lang-Lkw keine wesentliche Veränderung hinsichtlich der Durchbruchgefahr geben wird. Sofern man allerdings die verschiedenen Lkw – herkömmliche wie auch Lang-Lkw – gegenüber der heutigen Situation am Durchbruch hindern will, ist eine Aufrüstung der Schutzeinrichtungen auf eine höhere Aufhaltestufe (z. B. H4b) und gegebenenfalls die Vorgabe bestimmter Mindesthöhen der Systeme, um auch höhere Ladungsschwerpunkte besser zu berücksichtigen, erforderlich.

#### Zu Frage 2: Schutzeinrichtungen auf Brücken

Zur Beantwortung der Frage wurde zunächst das Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge auf Bundesautobahn-Brücken (FÄRBER, PÖPPEL-DECKER, 2016) betrachtet. Aus den durchgeführten Analysen lässt sich erkennen, dass sich im Zeitraum 2012-2014 insgesamt 10.835 Unfälle mit Personenschaden unter Beteiligung eines schweren Güterkraftfahrzeugs auf Bundesautobahnen ereigneten, davon 740 auf einer Brücke. Aus den von FÄRBER, PÖPPEL-DECKER (2016) ermittelten Zahlen lässt sich ablesen, dass sich das Unfallgeschehen auf Brücken nicht signifikant von dem auf dem gesamten Bundesautobahnnetz unterscheidet. Dies gilt auch dann, wenn man nur die Unfälle unter Beteiligung eines schweren Güterkraftfahrzeugs betrachtet. Das bedeutet, dass die Schlussfolgerungen hinsichtlich des Unfallgeschehens auf der Strecke aus den Untersuchungen zur Durchbruchssicherheit auch auf den speziellen Fall auf der Brücke und den dortigen Anprall an Schutzeinrichtungen übertragen werden können. Inwieweit die

jeweils installierten Schutzeinrichtungen am Rand der Brücken zum Beispiel einen Absturz von der Brücke verhindern konnten, kann den vorliegenden Unfallzahlen jedoch nicht entnommen werden.

Auf Brücken ist die Anzahl der Getöteten und Schwerverletzten je Unfall mit Anprall an eine Schutzplanke im Mittel etwas niedriger als auf den übrigen BAB. Dies gilt sowohl für Unfälle mit schweren Güterkraftfahrzeugen als auch für Unfälle auf BAB insgesamt. Ein erhöhtes Risiko für Abstürze mit entsprechend schweren Unfallfolgen kann somit nicht angenommen werden. Aus den vorliegenden Unfallzahlen können jedoch keine Aussagen zur Funktion der Schutzeinrichtungen auf der Brücke bei Unfällen mit Lkw abgeleitet werden.

Für die durchgeführten Szenarienbetrachtungen bilden die im Verkehrsgeschehen anzutreffenden Randbedingungen die Grundlage: So fordern die RPS (FGSV, 2009b) mindestens die Aufhaltestufe H2 am rechten Fahrbahnrand auf Brücken im Zuge von Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen und bei besonderer Gefährdung Dritter unterhalb der Brücke sogar die höchste Aufhaltestufe H4b. Auch im Mittelstreifen auf Brücken kann diese Aufhaltestufe in Frage kommen. Dies ist entweder der Fall, wenn Lkw hier wie am Rand abstürzen können (zweiteilige Brücken mit großem Abstand) oder wenn im Mittelstreifen aufgrund der Abkommenswahrscheinlichkeit und des DTV (SV) wie auch sonst im Mittelstreifen H4b-Schutzeinrichtungen gefordert werden.

Bislang wurden Anprallversuche an Schutzeinrichtungen auf Brücken nur für die Situation am Fahrbahnrand durchgeführt und die Ergebnisse sind für die Aufstellung auf Brückenmittelkappen übertragen worden, sodass die im Folgenden getroffenen Aussagen in erster Linie für die Außenkappen am rechten Fahrbahnrand gelten, aber auch für den Einsatz auf Mittelkappen herangezogen werden können (vgl. BERGERHAUSEN, KLOSTERMEIER, KLÖCKNER, KÜBLER, 2013).

Am Rand von Brücken auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen sind nach den geltenden und auch nach früheren Regelwerken immer Schutzeinrichtungen vorhanden. Diese sind in der Regel einreihig aufgestellt. Auf Brücken mit einer Länge ab 20 m wird immer ein Geländer mit Stahlseil zusätzlich zur Schutzeinrichtung gefordert. Im Vergleich zur Strecke ist dadurch das tatsächlich vorhandene Aufhaltevermögen eines einreihig aufge-

stellten Systems also etwas höher anzusetzen, weil das Seil im Handlauf bei einem Anprall mitwirken kann.

Bei den von der BASt durchgeführten Betrachtungen zum Leistungsvermögen der potenziell in Deutschland am Rand von Brücken auf BAB einsetzbaren und zum Teil bereits eingesetzten Schutzeinrichtungen mit der Aufhaltestufe H4b haben sich Unterschiede hinsichtlich der Durchbruchesicherheit ergeben. Bei einigen Schutzeinrichtungen lässt sich mit aller gebotenen Vorsicht abschätzen, dass die Durchbruchesicherheit (bei ähnlichen Parametern wie in der Erstprüfung) auch bei einem Anprall eines Lang-Lkw gegeben wäre und somit der Absturz des Lang-Lkw von der Brücke verhindert werden könnte. Ebenso ist dann davon auszugehen, dass auch ein 22 t schweres Sattelkraftfahrzeug von den H4b-Systemen aufgehalten würde.

Den in Deutschland überwiegend real eingesetzten H2-Stahlschutzeinrichtungen auf Brücken kann weder das Aufhaltevermögen für einen 38-t-Lang-Lkw noch für ein 22-t-Sattelkraftfahrzeug zugesprochen werden, auch wenn es in Abhängigkeit von den Anprall(Unfall-)parametern in Einzelfällen möglich sein kann, dass auch solche Fahrzeuge am Absturz gehindert werden.

Die anzunehmende geringere Eintrittswahrscheinlichkeit für Unfälle mit Lang-Lkw aufgrund der umfangreichen Maßnahmen zur Unfallprävention für Lang-Lkw muss positiv in einer Risikobetrachtung berücksichtigt werden. Letztendlich bestimmt hier die real auftretende Anzahl an Lang-Lkw im späteren Verkehrsaufkommen die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalls und damit die Beurteilung des Risikos für Schutzeinrichtungen auf Brücken (wie auch des Worst-Case-Szenarios: Absturz eines Lang-Lkw von der Brücke). Wesentlich für die Vermeidung von möglichen Abstürzen schwerer Lkw – sowohl konventioneller wie Lang-Lkw – ist aber der Grad der Ausstattung von Brücken mit geeigneten H4b-Schutzeinrichtungen.

### 11.1.5 Fazit und Folgerungen

Die Befürchtung eines Durchbruchs durch eine für den Anprall eines 38-t-Sattelkraftfahrzeugs konzipierte H4b-Streckenschutzeinrichtung 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 Lkw mit Anhänger. Diese werden durch die Prüfscenarien der DIN EN 1317 aktuell ebenso nicht abgedeckt.

Auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur Durchbruchesicherheit (Anprallversuche und Übertragung auf andere typische Schutzeinrichtungen) kann zunächst keine Beeinflussung des aktuell vorhandenen Verkehrssicherheitsniveaus aus einem Einsatz von Lang-Lkw hinsichtlich möglicher Anprallszenarien an Schutzeinrichtungen abgeleitet werden.

Dieser Aussage liegen die Voraussetzungen des Feldversuchs zugrunde, wonach

- 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 aktuellen RPS (FGSV, 2009b) 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.

Die Aufhaltestufen in den aktuellen RPS (FGSV, 2009b) wurden Anfang 2000 festgelegt. Aufgrund der inzwischen eingetretenen und auch weiterhin zu erwartenden Zunahme des Schwerverkehrsauf-



kommens sowie der hier vorliegenden Ergebnisse zum Verhalten von Lang-Lkw ist zu diskutieren, ob für die Zukunft eine Anhebung der Aufhaltstufe von H2 auf H4b im Mittelstreifen sinnvoll wäre. Dies scheint insbesondere vor dem Hintergrund umso notwendiger, dass die aktuell entwickelten und eingesetzten H2-Schutzeinrichtungen nur noch recht knapp die Anforderungen der Aufhaltstufe H2 erfüllen („downsizing“ der Systeme) und keine Restsicherheit mehr besitzen. Eine Anhebung der Aufhaltstufe kann zudem einem möglichen Einsatz weiterer innovativer Fahrzeugkonzepte (z. B. andere Schwerpunktverteilung oder anderer Fahrzeugaufbau bei Lkw mit alternativen Antrieben) in der Zukunft zu Gute kommen.

Auf Brücken fordern die RPS bereits unter bestimmten Randbedingungen für den Neu-, Um- und Ausbau die Aufhaltstufe H4b. Umrüstungen im Bestand diesbezüglich gibt es aber bislang nur in geringem Maße. Vor dem Hintergrund der Betrachtungen zum Anprallverhalten von Lang-Lkw und der Veränderung der Schwerpunktlage sollte überlegt werden, ob zusätzliche Anforderungen beispielsweise an eine Mindesthöhe oder die Restsicherheit der H4b-Schutzeinrichtungen gestellt werden können.

## 11.2 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“.

### 11.2.1 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 (2014) behandelt (vgl. Kapitel 11.3). Fragen zur Befahrbarkeit der Teilelemente planfreier Knotenpunkte waren Bestandteil der Untersuchungen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2015, vgl. Kapitel 11.4.2).

### 11.2.2 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 32). Für die Untersuchung war es notwendig, das Simulationsprogramm BABSIM

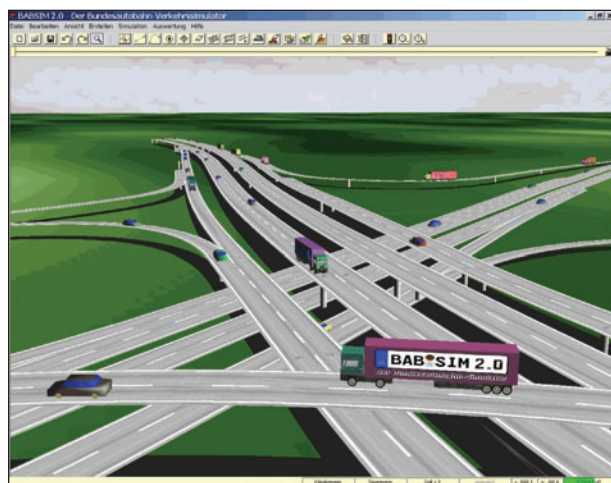


Bild 32: BABSIM (Bundesautobahn Simulator) – Mikroskopisches Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf Straßen

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. Kapitel 7).

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.

### 11.2.3 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 Einfahrtstyp 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.

### 11.2.4 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>20</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.

<sup>20</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.

### 11.3 Verkehrssicherheit in Einfahrten an Autobahnen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf der von KATHMANN, ROGGENDORF, KEMPER, BAIER (2014) bearbeiteten Erweiterung zum FE 82.0509/2010 „Verkehrssicherheit in Einfahrten auf BAB“.

#### 11.3.1 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. Kapitel 11.2), sollte im Rahmen der Untersuchung von KATHMANN et al. (2014) 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.

#### 11.3.2 Untersuchungsmethodik

Es wurden Fahrten von Lang-Lkw auf Autobahnen mithilfe von Videokameras dokumentiert, um daraus mögliche Besonderheiten während des Einfä-

delungsvorgangs 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 33 und Bild 34 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.

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 Fahrtenvideos herausgefiltert werden. Zu-



Bild 33: Bild der Frontkamera (Kamera 1)

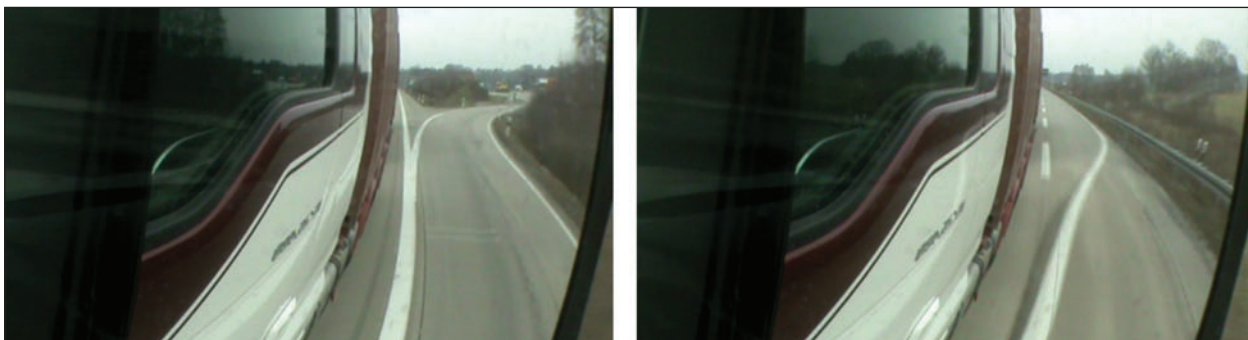


Bild 34: Bilder der Seitenkamera (Kamera 2)

sätzlich ermöglicht der Datenlogger eine Überprüfung der Einfahrtstypen aus den zugehörigen Luftbildern sowie eine Auswertung des Geschwindigkeitsprofils der beobachteten Lkw.

Entsprechend der im Untersuchungskonzept erhaltenen Randbedingungen wurden von KATHMANN et al. (2014) 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 Einfahrtstyp 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 6 aufgeführt.

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

- „keine parallele Einfahrt“: Während der Vorbeifahrt des Lkw befindet sich kein Fahrzeug auf dem Einfädelungstreifen.
- „parallele Einfahrt, keine Interaktion“: Während der Vorbeifahrt des Lkw befindet sich ein Fahrzeug auf dem Einfädelungstreifen. 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

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

Tab. 6: Anzahl beobachteter Vorbeifahrten an 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

Tab. 7: Bewertung der Vorbeifahrten an relevanten Einfahrten (Anm.: Gliederzug A: gleicher Fahrer, Gliederzug B: andere Fahrer, andere Strecke)

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. (2014) entwickelten Bewertungsschema ergibt sich das in Tabelle 6 sowie Tabelle 7 dargestellte Untersuchungskollektiv. Gliederzugfahrten auf der gleichen Strecke und mit den gleichen Fahrern wie bei den Lang-Lkw-Fahrten sind in Tabelle 6 sowie Tabelle 7 mit Gliederzug A“ bezeichnet. Um das Vergleichskollektiv der Gliederzugfahrten zu vergrößern, wurden auch andere Strecken mit anderen Fahrern aufgezeichnet (Gliederzug B).

### 11.3.3 Ergebnisse

Zum Vergleich der betrachteten Lang-Lkw-Fahrten mit denen der Gliederzüge werden die Bewertungen der definierten Verkehrssituationen im Bereich der Einfahrten gegenübergestellt. Bild 35 zeigt die Anteile der Bewertungen für beide Lkw-Kombinationen.

Wie Bild 35 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.

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 LKWÜberStVAusNv) den rechten Fahrstreifen nicht verlassen darf, wurden diese Fahrstreifenwechsel im Bereich von Einfahrten hier nicht beobachtet. Dies bietet eine Erklärung dafür, dass

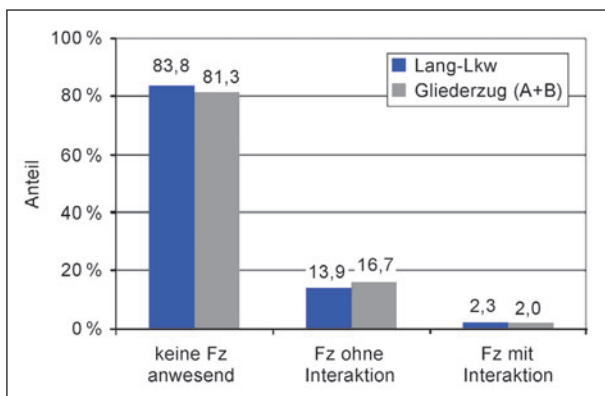


Bild 35: Vergleich der Bewertungen verschiedener Verkehrssituationen im Einfahrtbereich zwischen Lang-Lkw und Gliederzug

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. Hinzu kommt, dass nach § 18 Abs. 3 StVO der Verkehr auf der durchgehenden Fahrbahn die Vorfahrt hat. Ist infolge der Verkehrsdichte ein sicheres Einfädeln durch Beschleunigung und Ausnutzung des Einfädelungstreifens nicht möglich, so bleibt also nur die rechtskonforme Möglichkeit, vor dem Beginn des Seitenstreifens auf eine hinreichende Einfädelungslücke zu warten. Dies mag wegen der vorhandenen Differenzgeschwindigkeiten nicht optimal sein, entspricht aber der Rechtslage.

#### 11.3.4 Fazit und Folgerungen

Zusammenfassend stellen KATHMANN et al. (2014) 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 Einfädelungstreifens durch Einfahrende bei Interaktionen mit dem Lang-Lkw und das Stehenbleiben auf dem Einfädelungstreifen 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 (jeder Fahrstreifenwechsel birgt ein Risiko) als ein kurzzeitiges bewusstes, allerdings

rechtswidriges<sup>21</sup> Überfahren des Seitenstreifens infolge des ‚nicht Platz Machens‘. Bedeutsam kann dies dann aber allenfalls an Stellen im Bestand sein, an denen diese Möglichkeit durch das Fehlen eines Seitenstreifens für die einfahrenden Verkehrsteilnehmer nicht gegeben ist. Für diese Stellen verbleibt dann ausschließlich die rechtskonforme Möglichkeit des Abwartens auf dem Einfädungsstreifen. Außerdem können bei 2,50 m breiten Seitenstreifen bei einer vermehrten Nutzung von Einfahrenden die Ränder der befestigten Fläche stärker beschädigt werden.

## 11.4 Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen

### 11.4.1 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. Kapitel 8.3). 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., 2014).

Daher werden in den Entwurfsrichtlinien für die Bemessung fahrgeometrischer Bewegungsräume standardisierte Bemessungsfahrzeuge mit zugehörigen Schleppkurven definiert, die zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Entwurfselementen bezie-

hungsweise 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. (2014) 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 FRIEDRICH et al. (2014) – mittels empirischer Untersuchungen, vor allem auf Rastanlagen an Bundesautobahnen, erhoben.

Zur Definition der Bemessungsfahrzeuge wurden von SCHNÜLL et al. (2001) beziehungsweise FRIEDRICH et al. (2014) 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 maßgeb-

<sup>21</sup> Gem. § 18 Abs. 3 StVO hat derjenige auf der durchgehenden Hauptfahrbahn die Vorfahrt gegenüber einfahrenden Fahrzeugen. Diese dürfen also nicht über den Seitenstreifen weiterfahren und einfädeln, sondern haben – falls ein Einfädeln nicht möglich ist – auf dem Einfädungsstreifen zu halten und eine ausreichende Lücke zum Einfahren abzuwarten.

lich 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., 2014) und stellen daher den maßgebenden Vergleichsfall dar.

#### 11.4.2 Befahrbarkeit von Autobahnen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von LIPPOLD, SCHEMMEL (2015) bearbeiteten Teilprojekt FE 09.0180/2011/CRB „Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw“ sowie der Studie von LIPPOLD, SCHEMMEL, KATHMANN, SCHROEDER (2016) zum „Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergroße“ (FE 02.0381/2015/MRB).

#### Zielsetzung

Die Untersuchungen zur Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2015) 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 Verflechtungsstrecken,
- 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<sup>22</sup> für die Untersuchung ausgewählt. Ein Sattelkraftfahrzeug (L = 16,50 m) diente als Referenzfahrzeug, da dieses im Allgemeinen ungünstigere Kurvenlaufeigenschaften als ein Gliederzug hat (vgl. FRIEDRICH et al., 2014). 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 Pannenbuchten 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 Verkehrs-

<sup>22</sup> Im Feldversuch bislang und somit auch hier: L = 23,00 m; im Folgenden daher als „5<sup>44</sup>“ bezeichnet.

geschehen 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 vorhanden sind, wurde das Einparken in Schrägparkstände untersucht. Die betrachteten Parkstände befanden sich auf Rastanlagen entlang der Routen, die von den Speditionen täglich befahren wurden.

## Ergebnisse

### • Rampen

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 schwieriger.

### • Ein- und Ausfädelungstreifen

konnten durch die Lang-Lkw ohne Probleme befahren werden. Verflechtungsvorgänge konnten innerhalb der Verflechtungstrecken ohne Einschränkungen durchgeführt werden.

### • Nothaltebuchten

Die Ergebnisse zur Befahrbarkeit von Nothaltebuchten waren in Abhängigkeit von der betrachte-

ten 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 könnte sich dieser Sachverhalt 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 36). Hieraus können erhebliche Beeinträchtigungen des fließenden Verkehrs resultieren. Nach LIPPOLD, SCHEMMEL (2015) 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 Seitenstrei-

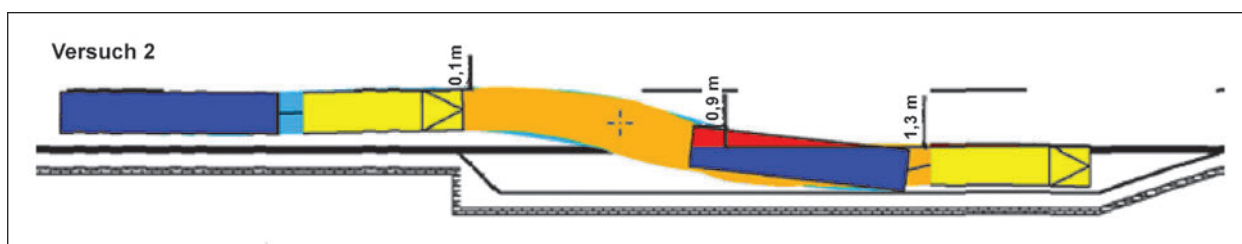


Bild 36: Nachbildung einer real gemessenen Befahrung einer fiktiven Nothaltebucht mit einem Lang-Lkw vom Typ 3 (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2015); Überstand hier: 1,3 m





markierungen, Längsparkstände, telematisches Parken, Umbau von Trenninseln und temporäre Parkstandfreigaben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von LIPPOLD et al. (2016) zeigten, dass es kurzfristig mittels der erarbeiteten und evaluierten Lösungsansätze (vgl. Bild 37) möglich ist, für Lang-Lkw Parkstände zur Verfügung zu stellen. Auf Längsparkständen können Lang-Lkw ohne bauliche Anpassung parken, wenn ausreichende Lücken vorhanden sind. Auch die temporäre abschnittsweise Freigabe von GST-Parkstreifen ist eine schnell umsetzbare Lösung. Die übrigen Lösungsansätze sind je nach vorhandenen Gegebenheiten auf den Rastanlagen mit mehr oder weniger Aufwand verbunden.

Aus baulicher Sicht können Parkmöglichkeiten für Lang-Lkw auch auf bestehenden Rastanlagen umgesetzt werden. Aus rechtlicher Sicht sollte eine eindeutige Verkehrsregelung für die neue Fahrzeugart Lang-Lkw (zwischen Lkw und GST) vorgenommen werden. Ein entsprechendes Zusatzzeichen ist dafür auch heute schon möglich.

### 11.4.3 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. Kapitel 11.4.1). 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 rechtseinbiegende Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen ermöglicht.

Vor diesem Hintergrund erfolgte die Überprüfung der Befahrbarkeit außerörtlicher plangleicher Kno-

tenpunkte in zwei Teilprojekten der wissenschaftlichen Begleituntersuchung. Zunächst wurde im Rahmen der Untersuchungen zur Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2015) auch das Ein- und Abbiegen in das nachgeordnete Netz in Anschlussstellen betrachtet (vgl. hinsichtlich der Untersuchungsmethodik Kapitel 11.4). 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 (2014, 2015) 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, 2015, vgl. Kapitel 11.4.2) 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\* 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 (2015) alle möglichen Fahrbeziehungen im Knotenpunkt betrachtet. Da sich hierbei zeigte, dass an Kreuzungen und Einmündungen das Linksabbiegen und das Rechtseinbiegen die relevanten Manö-

ver zur Beantwortung der Forschungsfrage darstellen, wurde der Fokus auf diese beiden Fälle bei der weiterführenden Untersuchung an den plangleichen Landstraßenknotenpunkten (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2014) gelegt.

- 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 Kreisverkehr, 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 Kapitel 11.4.1).

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 (2015) 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 38). 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 ständig ausgeschöpft, notfalls werden Markierungen und Randstreifen überfahren.

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 Fahrlinie einen direkten Einfluss auf die überfahrenen Flächen. Die Messungen und Beobachtungen sind daher immer mit einem unbestimmten 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 im-

mer überstrichen. Typ 2 zeigte die größten Überstreichungen. Fuhren die Lang-Lkw durch zeitiges Einlenken einen langgezogenen Bogen, berührten oder überfuhren 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, über-

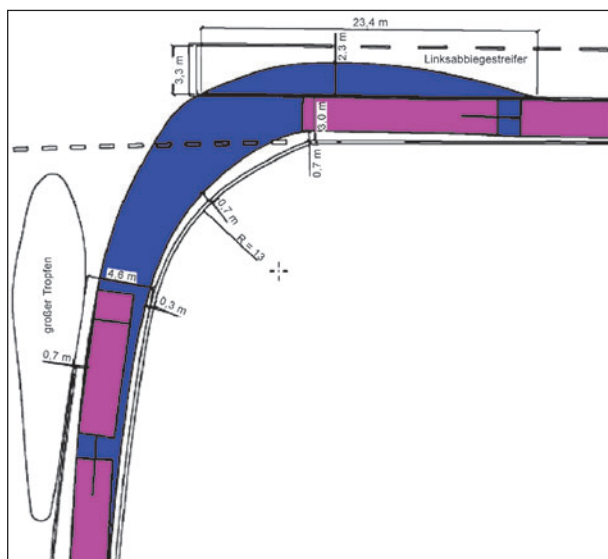


Bild 38: Rechtseinbiegen mit Überfahren des Linksabbiegestreifens (LIPPOLD, SCHEMMELE, 2015)

fuhren 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.

- ¼-Kreisumrundungen

Bei ¼-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.

- ¾-Kreisumrundungen

Bei einer ¾-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.

#### 11.4.4 Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw vom Typ 1

Der Lang-Lkw vom Typ 1 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 Ausnahme-Verordnung 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. Kapitel 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. (2014) bearbeiteten Teilprojekt FE 77.0501/2010 „Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte<sup>23</sup> mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs“.

### Zielsetzung und Untersuchungsmethodik

Ein Schwerpunkt der Untersuchung (FRIEDRICH et al., 2014) 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. (2014) 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. (2014) 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 Sattelanhängerschaften bei einem konventionellen Sattelkraftfahrzeug, bei dem die vordere der drei Sattelanhängerschaften geliftet ist, bei Wahl der gleichen Leitlinie für alle betrachteten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen zur größten Flächeninanspruchnahme auf der Kurvenaußenseite. Der Sattelanhänger mit gelifteter Achse schneidet die Kurve stärker als das Sattelkraftfahrzeug mit verlängertem Sattelanhänger. Bei diesem ist es laut Herstellerangaben (Stand 2013) technisch nicht möglich, eine Sattelanhängerschaft 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 Sattelanhänger 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 ¼-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 Sattelanhänger die Querungshilfe der Einfahrt und der Autotransporter die Querungshilfe der Knotenpunktausfahrt besonders deutlich, sodass hieraus mögliche Gefährdungen für auf der Querungshilfe wartende Fußgänger und Radfahrer resultieren können.

### 11.4.5 Fazit und Folgerungen

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Fragestellung der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen mit Lang-Lkw lassen sich auf Basis der Untersuchungen von LIPPOLD, SCHEMMEL (2014, 2015) sowie FRIEDRICH et al. (2014) wie folgt zusammenfassen:

<sup>23</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).

- 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 (z. B. temporäre Sperrung der Rampe für den fließenden Verkehr).
- 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\*22 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 in Abhängigkeit vom Typ auch erheblichen Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs führen. Unter Berücksichtigung, dass von den derzeit etwa 35 über 900 m langen im Zuge von Autobahnen beziehungsweise zweibahnigen Bundesstraßen betriebenen Tunnelanlagen knapp die Hälfte mit Seitenstreifen ausgestattet sind, ist dieser Aspekt unter Risikoaspekten (Eintrittswahrscheinlichkeit basierend auf der Anzahl Lang-Lkw und Anzahl der Tunnel mit Pannenbuchten multipliziert mit den Auswirkungen eines Nothalts in einer Pannenbucht) derzeit als geringfügig einzuschätzen. Eine weitere Risikominderung ergibt sich überdies aus der permanenten Überwachung dieser Tunnelanlagen einhergehend mit einer Ausmaßminderung bei Störfällen durch Auslösung sicherheitserhöhender Maßnahmen für den Tunnelnutzer (z. B. temporäre Geschwindigkeitsreduktion, Fahrstreifensperrung oder Tunnelssperrung). 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 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 Schwerttransporten (GST) 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 220 km Fahrtweite je Lang-Lkw-Fahrt (vgl. Kapitel 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 Sanitäreinrichtungen sowie bei einer Zunahme des Einsatzes von Lang-Lkw allgemein nicht von der Hand zu weisen. Das Ummarkieren mit schrägeren Aufstellwinkeln würde zwar längere Schrägparkstände ermöglichen, jedoch zu einem unververtretbaren Verlust an Parkständen führen. Inwieweit ein theoretisch denkbare Ausweichen der Lang-Lkw auf Autohöfe das Problem lösen könnte,

kann nicht abschließend bewertet werden: 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. Es ist allerdings kein Fall bekannt, in dem ein Autohofbetreiber seine Anlage für Lang-Lkw gesperrt hat. Zudem zeigen Erfahrungen aus Forschungen und Erhebungen zum Parkverhalten konventioneller Lkw entlang der Bundesautobahnen, dass Autohöfe teilweise kostenpflichtig angeboten werden, was ihre Akzeptanz bei den Nutzern schmälert. Die Untersuchungen von LIPPOLD et al. (2016) haben jedoch gezeigt, dass es bei einem gegebenenfalls zukünftig höherem Parkbedarf von Lang-Lkw verschiedene Ansätze zur Verbesserung der Parksituation von Lang-Lkw auf Rastanlagen gibt (vgl. Bild 37), sodass das als befürchtete Problematik angeführte Parken mit Lang-Lkw als beherrschbar eingestuft werden kann. Für den Fall, dass keine der aufgezeigten Möglichkeiten für die Anwendung auf einer konkreten Örtlichkeit geeignet ist, bleibt schlussendlich zudem die Möglichkeit, die Anlage nicht zum Gegenstand des Positivnetzes zu machen.

- 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 (2014, 2015) jedoch in keinem Fall beobachtet werden. Die Fahrer waren immer etwas zu weit rechts oder links im Fahrstreifen, sodass 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. Lang-

fristig 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 (2014, 2015) 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. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse nochmals die Sinnhaftigkeit, den Einsatz von Lang-Lkw auf ein geprüftes Positivnetz zu beschränken.

- 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 Außendurchmesser von 35 bis 40 m eine Vergrößerung der Kreis-

fahrbahnbreite 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. (2014) 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 (z. B. Mittelinsel) 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 die Befahrung bestimmter Verkehrsanlagen anspruchsvoller gestalten. 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 Sattelhängers als die derzeit doch relativ überschaubare Anzahl an in Deutschland zugelassenen Autotransportern<sup>24</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.

## 11.5 Verkehrsablauf in Arbeitsstellen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von BAIER, KEMPER (2015) bearbeiteten Teilprojekt FE 09.0181/2011/CRB „Auswirkungen von Lang Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen“.

### 11.5.1 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 Fahrzeugkombinationen 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

<sup>24</sup> Gemäß Recherchen des AML Verein Automobillogistik im DSLV e. V. liegt die operative Autotransporter-Flotte in Deutschland aktuell bei rund 6.000 Fahrzeugkombinationen.



BAIER, KEMPER (2015) 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.

### 11.5.2 Untersuchungsmethodik

Zunächst erfolgte von BAIER, KEMPER (2015) 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 39). 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 (2015) 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.

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 Überfahrung der Fahrstreifenbegrenzung zwischen den beiden Fahrstreifen)? Werden andere Verkehrsteilnehmer hiervon beeinflusst?

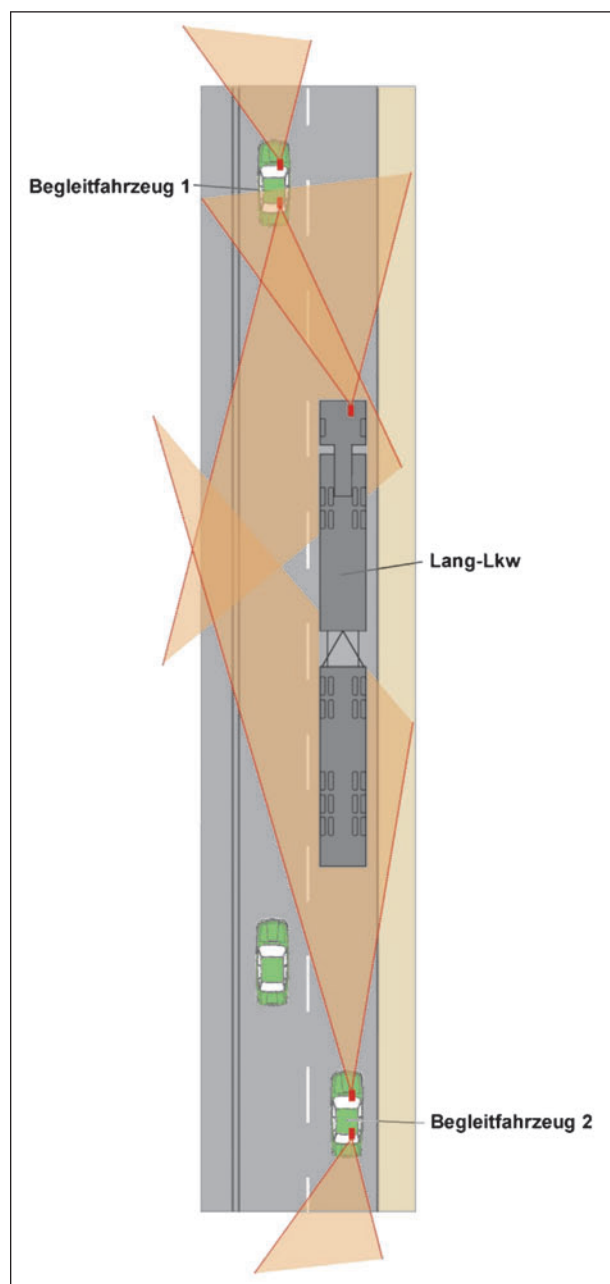


Bild 39: Prinzip der Messanordnung mit zwei Begleitfahrzeugen bei Arbeitsstellen mit zwei Fahrstreifen in der betrachteten Richtung

- 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 Einfädungsstreifen ein Problem für einfahrende Lang-Lkw dar?
- Sperrung des rechten Fahrstreifens im Bereich einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer: Welche Zeitbeziehungsweise 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 (2015) 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.

### 11.5.3 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 8) – 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.

Im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer konnten die begleiteten Lang-Lkw alle Überleitungen und Rückleitungen sowie Verschwenkungen problemlos befahren. Die Ergebnisse zeigen, dass Überleitungen in der Regel innerhalb des eigenen Fahrstreifens durchfahren wurden (Bild 40).

Auch die Baustelleninnenbereiche wurden problemlos befahren. Aufgrund einer sehr spurtreuen Fahrweise sind auch die beobachteten Überholun-

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	–

Tab. 8: Häufigkeit der Verkehrsführungen der durchfahrenen Arbeitsstellen längerer Dauer in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit



Bild 40: Fahrt eines Lang-Lkw durch eine Überleitung

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

Tab. 9: Abstände bei Überholvorgängen in Arbeitsstellen auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit schmalen Behelfsfahrstreifen

gen 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 (vgl. Tabelle 9) unterscheiden sich nicht von den Abständen, die bei Überholungen herkömmlicher Lkw auftreten.

Auch an Einfahrten innerhalb von Arbeitsstellen konnten im Rahmen der empirischen Erhebungen von BAIER, KEMPER (2015) 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 Verkehrsteilnehmer unter Beachtung des Reißverschlussverfahrens erforderlich, auch diese Fahrstreifenwechsel waren unkritisch.

#### 11.5.4 Fazit und Folgerungen

Insgesamt kommen BAIER, KEMPER (2015) 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 8). 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 Trennlina in Überleitungen.

Die von BAIER, KEMPER (2015) erzielten Ergebnisse sind im Zusammenhang mit den von GLASER, SCHMID, GLASER, WASCHULEWSKI (2014) erarbeiteten Erkenntnissen aus den Fahrerbefragungen und -beobachtungen zu sehen (vgl. Kapitel 12). 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. Kapitel 12.2.3).

## 11.6 Überholen und Räumen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) bearbeiteten Teilprojekt FE 09.0182/2011/CRB „Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw“ sowie dem von ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) bearbeiteten Teilprojekt FE 02.0392/2015/ERB „Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf“. Letztere Studie baut dabei auf der Ersten auf.

### 11.6.1 Zielsetzung

Auch bei den Untersuchungen von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) beziehungsweise ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) stand die Überprüfung, ob bestehende Verkehrsanlagen für die hinreichend sichere Befahrung durch Lang-Lkw geeignet sind, im Vordergrund. Daher war das Ziel dieser Untersuchungen, 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 Untersuchungen wurde im Rahmen der zwei oben genannten, zeitlich aufeinander folgenden Forschungsvorhaben durchgeführt: In der ersten Untersuchung (ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS, 2015) wurden die beiden Aspekte Überholen und Räumen betrachtet, in einer zweiten Untersuchung (ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS, 2016) wurde das Thema Überholen nochmals vertieft, da die Ergebnisse der ersten Untersuchung abgesichert

werden sollten. Methodisch lassen sich die Untersuchungen in drei Hauptfragestellungen aufteilen:

### **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 durch den Einsatz von Lang-Lkw 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. Hinsichtlich des Überholgeschehens auf Autobahnen wurde in der zweiten Untersuchung die Fragestellung ergänzt, welche Auswirkungen eine Freigabe des Verbots eigener Überholungen durch Lang-Lkw haben könnte.

### **Wie wirken sich größere Fahrzeuglängen beim Räumen von Knotenpunkten im Zuge vor allem von langsam durchgeführten Ab- und Einbiegevorgängen aus?**

Da gemäß § 9 LKWÜberlStVAusnV für Lang-Lkw lediglich das Überholen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen, die nicht schneller als 25 km/h fahren können oder dürfen, zulässig ist, sind tatsächlich durchgeführte 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. Kapitel 8.4).

### 11.6.2 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 im Rahmen der beiden FE-Vorhaben 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 41). Grundlage zur Verortung der beobachteten Situationen im Straßennetz und der Geschwindigkeit der Fahrzeugkombinationen bildet die Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung 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.

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 Fahrzeugkamera erfasste 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 A an der rechten Fahrzeugseite eine Kamera angebracht. Sie ermöglichte durch ihre Ausrichtung quer zur Fahrtrichtung die Beurteilung von in den Knotenpunktbereich einfahrenden Fahrzeugen, die eventuell durch den räumenden Lkw beeinflusst werden könnten.

In der zweiten Untersuchung wurden nur noch Fahrten der Spedition A begleitet. Dazu wurde im Vorfeld die messtechnische Ausstattung überarbeitet und in Fortentwicklung der ersten Untersuchung in ein deutlich kleineres System integriert.

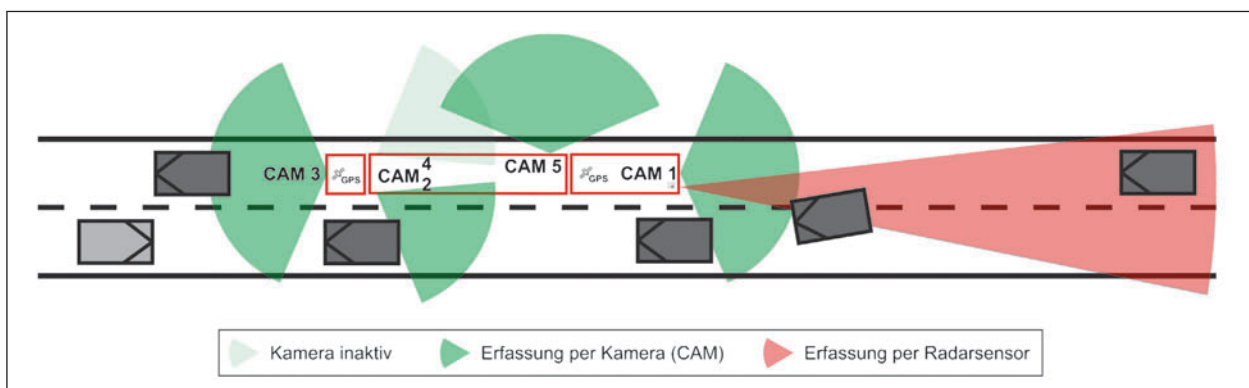


Bild 41: Erhebungslayout für den Teilaspekt „Überholvorgänge auf Landstraßen“ am Beispiel des Lang-Lkw der Spedition A (ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS, 2015)

Neben der Erweiterung der Datenbasis im Landstraßenbereich war ein weiterer Bestandteil der zweiten Untersuchung die Frage, inwieweit durch das etwaige Aufheben des aktuell für Lang-Lkw auch auf Autobahnen bestehenden Überholverbots Nachteile für den Verkehrsablauf oder die Verkehrssicherheit entstehen. Hierzu wurde eine Untersuchungsmethode entwickelt, die das umfangreiche Datenkollektiv auch auf Autobahnen für eine theoretische Betrachtung nutzt.

Die Untersuchungen wurden insgesamt 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. Während der zweiten Untersuchung änderten sich bei Spedition A einige Fahrten. So konnte z. B. zeitweise ein Ringverkehr mit einem sehr hohen Landstraßenanteil auf einer Relation messtechnisch begleitet werden.

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 zwischen dem Speditionsort und einem Seehafen 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 Geschwindigkeit entgegenkommender Fahrzeuge (mindestens des letzten Fahrzeugs vor dem Überholvorgang) sowie des ersten Fahrzeugs nach dem Überholvorgang bestimmt.

Aus den Videodaten der Frontkamera (vgl. Bild 42) wurde 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. Da die messtechnische Datenerfassung bei Spedition A bei der zweiten Untersuchung geändert, parallel aber z. B. auch die Höhe des Bilderhebungsstandorts an der Fahrzeugfront aus technischen Gründen abgesenkt wurde, sind die Ergebnisse aus beiden Untersuchungen nicht direkt zusammenführbar.

Die ermittelten Kenngrößen werden zur Nachberechnung von Aus-/Einschervorgang beziehungsweise Sicherheitsabstand herangezogen und flie-



Bild 42: Beispielbilder der am Lang-Lkw angebrachten Kameras. Links oben Frontkamera, links unten Heckkamera, rechts Seitenkameras (Spedition A)

ßen 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 bei herkömmlichen Gliederzügen oder sogar 20,75 m bei Autotransportern für den Vergleich mit dem Lang-Lkw den ungünstigeren Fall darstellt.

### 11.6.3 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, ROOS (2015) 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 zu diesem Zeitpunkt beim Lang-Lkw jeweils etwas niedriger als beim Vergleichsfahrzeug und teilweise sogar knapp unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Bei den Überholungen auf Landes- und Bundesstraßen während der zweiten Untersuchungsphase lagen die gemessene mittlere Geschwindigkeit der überholten Lkw nahezu identisch bei 64 km/h und die  $V_{85}$  ebenfalls ähnlich bei 67 km/h. Auf Autobahnen verlaufen die Summenhäufigkeitslinien für Lang-Lkw und Vergleichs-Lkw identisch mit  $V_{50} = 82$  km/h beziehungsweise  $V_{85} = 85$  km/h.

### Überholen auf Landstraßen

Die markanteste Größe bei der Beurteilung relativ sicherer Überholvorgänge 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. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden daher in der zweiten Untersuchung die Datensätze der Lang- und der Vergleichs-Lkw nicht nur für alle Überholungen, sondern auch in verschiedenen Unterteilungen für Situationen verglichen, in denen relativ geringe Abstände zwischen dem Überholenden und dem Entgegenkommenden aufgetreten sind. Betrachtet man die für die hier anstehende Risikoeinschätzung relevanten geringsten Sicherheitsabstände, so wird deutlich, dass sie bei den Lang-Lkw für alle Strecken und Randbedingungen nahezu identisch verteilt sind. Die geringsten Sicherheitsabstände (15%-Perzentil) in Phase 2 von 137 m bei Lang-Lkw gegenüber 129 m beim Vergleichs-Lkw bestätigen bereits in die gleiche Richtung weisende Ergebnisse aus der ersten Untersuchungsphase, auch wenn dort noch etwas andere Perzentile zur Analyse herangezogen worden sind.

Unterscheidet man die Überholungen nach fliegenden<sup>25</sup> beziehungsweise beschleunigten<sup>26</sup> Vorgängen (vgl. u. a. STEIERWALD, JACOBS, FEIER, 1986), so wird deutlich, dass bei fliegenden minimal niedrigere Werte auftreten als bei beschleunigten Überholvorgängen. Letztere machen bei beiden Fahrzeugkonzepten (Lang-Lkw beziehungsweise Vergleichs-Lkw) ca. 70 % der Überholungen aus.

Die mittleren maximalen Geschwindigkeiten in der Annäherung an das Heck des beobachteten Lkw

zeichnen sich durch deutliche Unterschiede zwischen den Medianen ( $V_{50}$ ) und den  $V_{85}$  aus. Während die  $V_{85}$  für die Überholungen gegenüber beiden Fahrzeugkonzepten mit ca. 109 km/h nahezu identisch sind, liegt die  $V_{50}$  bei Lang-Lkw-Überholungen mit 88 km/h ca. 4 km/h niedriger als beim Sattelkraftfahrzeug. Eine Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit wird also von den Überholenden beider Lkw-Arten in Kauf genommen.

Die  $V_{85}$ -Werte sind zudem weitgehend unabhängig von der Geschwindigkeit der überholten Lkw. Deren Zunahme wirkt sich vor allem in deutlich höheren geringsten Überholgeschwindigkeiten ( $V_{15}$ ) aus, d. h. andere langsamere Fahrzeuge überholen ab einer Geschwindigkeit des überholten Lkw von 68 km/h quasi nicht mehr.

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 gegenseitigen Überholungen durch andere Lkw mehr 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. Wie bei den Auswertungen der Sicherheitsabstände zeigen sich auch bei den Beschleunigungen in den beiden Untersuchungsphasen unterschiedliche Ergebnisse: Die Auswertungen der Daten bis 2014 zeigen, dass der Median der Beschleunigungen beim beobachteten Lang-Lkw mit  $1,6 \text{ m/s}^2$  etwas niedriger ist als der beim betrachteten Sattelkraftfahrzeug. Gleichzeitig sind sie bei den maßgeblichen geringsten Beschleunigungen beim Lang-Lkw jedoch etwas höher. Während der zweiten Untersuchungsphase lagen die Beschleunigungen deutlich höher als in Phase 1 und auch bei den kritischen Konstellationen mit beschleunigten Überholungen aus niedrigen Geschwindigkeiten heraus ergeben sich nun Werte von fast  $2,5 \text{ m/s}^2$ . Somit weisen auch diese Werte ein etwas günstigeres Verhalten beim Überholen von Lang-Lkw aus, da höhere Beschleunigungen für eine Verkürzung der Überholwege sorgen und gleichfalls bei den beobachteten Größenordnungen an Beschleunigungen auch noch keine zusätzlichen Risiken auftreten.

<sup>25</sup> Zwei Fahrzeuge bewegen sich jeweils mit konstanter, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit. Bedingt durch die Geschwindigkeitsdifferenz wird das langsamere Fahrzeug überholt.

<sup>26</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.



Diese Verkürzung ist auch in kürzeren Überholwegen messbar als beim Vergleichs-Lkw. Demgegenüber sind die Einscherabstände bei Lang-Lkw-Überholungen sowohl länger als bei den Vergleichs-Lkw als auch gegenüber der Untersuchung von LIPPOLD, VETTERS, STEINERT (2016). Dies lässt sich vor allem mit den relativ gestreckten Linienführungen der Lang-Lkw-Routen erklären und dem hohen Anteil an größeren Sicherheitsabständen. Die deutlich kürzeren Einscherabstände bei Sicherheitsabständen unterhalb von 200 m zeigen, dass diese situationsgerecht angepasst werden.

Zusammenfassend kann auf Basis der Untersuchung von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) sowie ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) für Überholungen von Lang-Lkw auf Landstraßen festgehalten werden, dass nach den indifferenten Aussagen in Phase 1 nunmehr sowohl bei den Sicherheitsabständen selbst als auch den Detailgrößen leichte Unterschiede in den Werten für Lang-Lkw-Überholungen festzustellen sind, die zu einer Kompensation der aufgrund der größeren Länge von Lang-Lkw theoretisch erforderlichen größeren Überholzeiten und -wege führen. Konkrete Erklärungen hierfür lassen sich nicht erkennen. Zumindest im Untersuchungsnetz ist oder wird den Überholenden offenbar hinreichend deutlich gemacht, dass die Lang-Lkw ein etwas anderes Überholverhalten erfordern.

### Überholen auf drei- und mehrstreifigen Straßen

Bereits aus den Analysen der ersten Phase von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) geht hervor, dass Sicherheitsrisiken bei Überholungen in Bereichen mit mindestens zwei Fahrstreifen ohne Gegenverkehr höchstens indirekt bestehen. Insbesondere spielt anders als auf Landstraßen die größere Fahrzeuglänge von Lang-Lkw bei baulich gesicherten Überholvorgängen eine deutlich geringere Rolle, da bei regelkonformen Überholvorgängen mit mindestens 10 km/h Geschwindigkeitsdifferenz die Überholzeiten, wenn überhaupt, nur im kleinen Sekundenbereich zunehmen. Die Beurteilung der Sicherheitsauswirkungen eines vermehrten Einsatzes von Lang-Lkw hinsichtlich des Überholens auf drei- und mehrstreifigen Straßen ist somit weitgehend von der Geschwindigkeit der überholten Lkw abhängig, da bei langsamer fahrenden Lkw die Wahrscheinlichkeit steigt, dass diese von nachfolgenden Lkw überholt werden.

In solchen Fällen 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>27</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 zwar kaum bekapiteln, in erster Linie bewirken sie Störungen des Verkehrsablaufs und sind 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 betrachtet werden.

Aus den Auswertungen der Daten der ersten Untersuchung von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015), tendenziell aber auch aus anderen Teilprojekten der Analysephase der wissenschaftlichen Begleitung (v. a. KATHMANN et al., 2014 sowie BAIER, KEMPER, 2015) sowie früheren Forschungen zu konventionellen Lkw (vgl. z. B. KELLERMANN, 2002) geht hervor, dass die zunächst im Feldversuch beobachteten Geschwindigkeiten von Lang-Lkw niedriger waren als die von konventionellen Lkw. Dies zeigte sich in der Form, dass Lang-Lkw die zulässigen Geschwindigkeiten von 60 km/h auf Landstraßen und 80 km/h auf Autobahnen seltener und in geringerem Maß überschritten.

Die Auswertungen der zweiten Phase von ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) zeigen jedoch, dass die Geschwindigkeiten zumindest bei der begleiteten Spedition nahezu identisch sind, hier also eine Angleichung stattgefunden hat. Die Geschwindigkeiten beider Fahrzeugkonzepte liegen jedoch sowohl auf Landstraßen als auch auf Autobahnen weiterhin niedriger als die in anderen Untersuchungen ermittelten Geschwindigkeiten herkömmlicher Lkw.

### Überholverbot für Lang-Lkw

Würde ein generelles Überholverbot für Lang-Lkw auch im Dauerbetrieb gelten, so würde sich bei zunehmender Anzahl dieser Fahrzeuge beziehungs-

<sup>27</sup> Nach einem Urteil des Bayerischen Oberlandgerichts (DAR 61, 204) ist eine Geschwindigkeitsdifferenz von 10 km/h zu gering.

weise Fahrzeugkombinationen der Effekt einstellen, dass sie – auch deutlich – langsamer fahrenden Fahrzeugen (z. B. aufgrund geringer Motorisierung, insbesondere an Steigungsstrecken) folgen müssten. Ein nachfolgender konventioneller Lkw, der von diesem bauartbedingten Überholverbot nicht betroffen wäre, müsste dementsprechend eine Doppel- oder Mehrfachüberholung durchführen, um an dem beziehungsweise den langsamer fahrenden Fahrzeugen beziehungsweise Fahrzeugkombinationen und dem verkehrsrechtlich an der Vorbeifahrt gehinderten Lang-Lkw vorbeizufahren.

In Abhängigkeit von der Auslastung der Strecke kann es so zu längeren Reisezeiten und Pulkbildungen auf dem Überholfahrstreifen kommen, da dessen Belegung durch Lkw größer wäre. Neben dem Ausschervorgang ist das dichte Auffahren von Lkw unter Verkehrssicherheitsaspekten auf Autobahnen besonders kritisch zu betrachten. Das Risiko von Auffahrunfällen würde vermutlich erhöht, wenn durch ein Überholverbot für Lang-Lkw auch hinter tatsächlich langsam fahrenden Lkw zwangsläufig längere Lkw-Ketten entstehen würden.

Geht man davon aus, dass unabhängig von der Frage eines Überholverbotes tatsächlich rechnerisch durch zwei Lang-Lkw-Fahrten eine Standard-Lkw-Fahrt eingespart werden kann (vgl. Kapitel 7), würde auch eine Freigabe des Überholens für Lang-Lkw auf Autobahnen die Anzahl der Ausschervorgänge nicht vergrößern.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass vor allem an Steigungsstrecken auf zweistreifigen Autobahnen heute bereits Lkw-Überholverbote durch Verkehrszeichen nach der VwV-StVO empfohlen sind.

### Räumen von Knotenpunkten

Aus zwei Gründen konnte im Rahmen des Feldversuchs von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) keine belastbare Auswertung von Räumvorgängen mit den erhobenen Befahungsdaten vorgenommen werden: Zum einen wurden letztendlich vor allem von Spedition A andere Streckenteile befahren als ursprünglich vorgesehen. Diese Strecken sind für die Fragestellung Räumen nicht geeignet, sodass 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, ROOS (2015) dargelegten theoretischen Zusammenhänge verwiesen werden:

- Aufgrund der längenbedingten Verweilzeit im Knotenpunkt beziehungsweise Konfliktpunktbereich könnten bei Lang-Lkw rechnerisch gegebenenfalls längere Räumzeiten erforderlich werden. Allerdings könnte zumindest bei Knotenpunkten mit LSA der fiktive Ansatz der Richtlinien für Lichtsignalanlagen – RiLSA (FGSV, 2010), nur einen geringen Teil der tatsächlichen Länge anderer längerer Fahrzeuge (bei Gliederzügen sowie Autotransportern 6,00 m statt 18,75 m beziehungsweise 20,57 m, bei Straßenbahnen 15 m statt bis zu 75 m) anzusetzen, auch für Lang-Lkw angewendet werden. Andernfalls müssten kritische Situationen beim Räumen auch heute schon bei konventionellen Gliederzügen oder Autotransportern auftreten.
- 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.

## 11.6.4 Fazit und Folgerungen

### Überholvorgänge

#### Landstraßen

Unter den über 4.000 Überholungen auf Landstraßen konnten 543 Überholungen datentechnisch sicher solchen Abschnitten zugeordnet werden, auf denen ein Überholen unter Nutzung des Fahr-

steifens für den Gegenverkehr verkehrsrechtlich gestattet ist. Insgesamt hat die Untersuchung der Überholvorgänge auf Landstraßen nochmals bestätigt, 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 ist. Bei einem Großteil der Überholungen treten Sicherheitsabstände von mindestens 200 m auf. Daher beruhen die beschriebenen Ergebnisse auch nach beiden Untersuchungsphasen nur auf relativ wenigen Messungen im potenziell kritischen Bereich.

Aus den vorgenommenen Datenanalysen sowie in der zweiten Untersuchungsphase vollständig vorhandenen Videoaufzeichnungen von  $N = 215$  im Gegenverkehr überholten Lang-Lkw ( $n = 133$ ) beziehungsweise Vergleichs-Lkw ( $n = 82$ ) lassen sich keine Indizien für größere Risiken bei solchen Vorgängen erkennen, bei denen Lang-Lkw auf Landstraßen überholt werden, als sie ohnehin bei allen Überholungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen unter Nutzung des Gegenverkehrsfahrestreifens in Kauf zu nehmen sind. Die Verteilung der ermittelten Sicherheitsabstände bei überholten Lang-Lkw ist gegenüber denen bei Vergleichs-Lkw bei insgesamt geringen Unterschieden in allen betrachteten Teilkollektiven günstiger. Zudem stellt das als Vergleichs-Lkw herangezogene Sattelkraftfahrzeug wegen seiner gegenüber Gliederzügen und Autotransportern kürzeren Länge den für einen Vergleich ungünstigeren Fall zu Lasten des Lang-Lkw dar.

Auch für den während der zweiten Untersuchungsphase festgestellten Fall sich angleichender Geschwindigkeiten von Lang-Lkw und Vergleichs-Lkw gibt es keinen Anhaltspunkt, dass erhöhte Sicherheitsrisiken zu erwarten sind: In jedem Fall ist feststellbar, dass die Verhaltensweisen vor allem zu Beginn der Überholung und während des Überholvorgangs bei den Lang-Lkw-Überholungen etwas günstiger hinsichtlich der Verkehrssicherheit als bei den Vergleichs-Lkw sind. Insbesondere die Beschleunigungen im Vorfeld liegen höher. Dies und die geringeren Überholweglängen lassen 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 LKWÜberStVAusN 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. Kapitel 6) mehrmals täglich oder zumindest mehrmals in der Woche immer die gleichen Strecken befahren, sind sie vielen der dort verkehrenden Verkehrsteilnehmern bekannt. Diese Vermutung wurde der BAST bei einer Mitfahrt durch einen Fahrer bestätigt.

Abschließend ist zu beachten, dass aus den vorliegenden Daten keine Aussage über einen Unterschied hinsichtlich der Bereitschaft von Fahrzeugführern getroffen werden kann, einen Überholvorgang gegenüber Lang-Lkw oder herkömmlichen Lkw einzuleiten. Somit ist über mögliche Unterschiede im Überholdruck keine Prognose möglich. Mögliche Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit durch Unterschiede beim Überholdruck und somit der Überholhäufigkeit sind erst dann stichhaltig zu beantworten, wenn sich die Anzahl der Lang-Lkw, und hierbei insbesondere derer, die im für die Fragestellung nach dem ‚Überholen auf Landstraßen‘ relevanten Straßennetz verkehren, deutlich erhöht. Erst dann könnte zum Beispiel überprüft werden, inwieweit die Kennzeichnung des Lang-Lkw am Heck mittels des nach § 5 Nr. 13 LKWÜberStVAusN retroreflektierenden Schildes die beobachtete Verhaltensänderung (z. B. zügigeres Überholen bei niedrigen Ausgangsgeschwindigkeiten) der den Lang-Lkw Überholenden erklären könnte.

#### Drei- und mehrstreifige Straßen

Sicherheitsrisiken bei Überholungen in Bereichen mit mindestens zwei Fahrstreifen je Richtung ohne Gegenverkehr bestehen höchstens indirekt. Wenn überhaupt nehmen die Zeiten für Überholungen gegenüber Lang-Lkw nur im kleinen Sekundenbereich zu. Negative Auswirkungen könnten jedoch aus einem unterschiedlichen Geschwindigkeitsverhalten der Lang-Lkw im Vergleich zu konventionellen Lkw resultieren, da bei langsamer fahrenden Lang-

Lkw die Wahrscheinlichkeit steigt, dass diese von nachfolgenden konventionellen Lkw überholt werden. Die Relevanz solcher Situationen für das Unfallgeschehen lässt sich zwar kaum beKapiteln, dieser Umstand könnte bei einem möglichen Regelein-satz von Lang-Lkw jedoch zu einer Zunahme von oftmals regelwidrigen Überholungen der langsamer fahrenden Lang-Lkw durch konventionelle Lkw mit geringer Geschwindigkeitsdifferenz führen. Dieser Umstand kann jedoch keinesfalls negativ bewertet werden, da er sich aus einer stringenteren Regelbe-folgung der Lang-Lkw-Fahrer gepaart mit einem eher regelwidrigen Verhalten der Fahrer konventio-neller Lkw ergeben würde.

Sofern sich die in der zweiten Untersuchungsphase von ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) beobachtete Angleichung der Lkw-Geschwindigkeiten fortsetzt, bleiben die beschriebenen möglichen Probleme aus.

### Überholverbot

Die von ZIMMERMANN, KÖHLER, ROOS (2016) vorgenommenen theoretischen Betrachtungen zum Überholverbot für Lang-Lkw auf Autobahnen ma-chen deutlich, dass die Aufrechterhaltung dieses Überholverbots auch im Dauerbetrieb zu mehr Dop-pel- und Mehrfachüberholungen führen könnte, da die Lang-Lkw auch an nennenswert langsameren Fahrzeugen nicht vorbeifahren dürften. In Abhän-gigkeit von der Auslastung der Strecke kann es so zu längeren Reisezeiten und Pulkbildungen auf dem Überholfahrstreifen kommen, da auf diesen die Belegung durch Lkw größer wäre.

Bei der rechnerisch zu erwartenden Reduzierung von Lkw-Fahrten durch den Einsatz von Lang-Lkw würde auch eine Freigabe des Überholens für Lang-Lkw auf Autobahnen die Anzahl der Ausschervor-gänge nicht vergrößern. Die aufgrund von Mehr-fachüberholungen möglichen negativen Konse- quenzen eines Überholverbots für Lang-Lkw auf Autobahnen könnten aber vermieden werden.

### Räumen von Knotenpunkten

Hinsichtlich des Teilthemas Räumen ermöglichen die erhobenen Daten aus Knotenpunktbefahrungen keine messtechnisch belegbare Aussage. Aller-dings zeigen die durchgeführten Befragungen und Mitfahrten, dass die Fahrer von Lang-Lkw sehr de-fensiv agieren, wenn es um die Befahrung von Flä-chen geht, auf denen es beim Räumen zu Konflik-

ten mit Bevorrechtigten kommen könnte. Diese Be- obachtung von ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS (2015) kann durch die seitens der BAST ebenfalls vorgenommenen Mitfahrten bei einzelnen Spedi- tionen bestätigt werden.

Dieses Verhalten der Lang-Lkw-Fahrer ist sowohl bei Knotenpunkten ohne LSA zu beobachten als auch bei solchen mit LSA. Insbesondere bei letzt- genannter Gruppe wären Änderungen von Fahr- zeuglängen bei der Räumzeitberechnung metho- disch nicht nötig, da die aktuell verwendeten Län- gen auch von herkömmlichen Lkw bereits (bewusst) deutlich überschritten werden und dennoch ein aus- reichendes Sicherheitsniveau gewährleistet ist. Alles zusammen führt zu der Einschätzung, dass Ansatzpunkte für eine Erhöhung der Sicherheits- risiken oder negative Auswirkungen auf den Ver- kehrsablauf beim Räumen von Knotenpunkten durch Lang-Lkw nicht zu erkennen sind.

## 12 Psychologische Aspekte

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den von GLASER, GLASER, SCHMID, WASCHU- LEWSKI (2015, 2016) bearbeiteten Teilprojekten FE 82.0544/2012 „Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw“ und FE 82.0634/2015 „Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang- Lkw – zweite Erhebungsphase“.

### 12.1 Zielsetzung

Ziel der Untersuchungen von GLASER et al. (2015, 2016) war es, das Erleben und Verhalten von Lang- Lkw-Fahrern im Feldversuch psychologisch zu un- tersuchen. Insbesondere sollte der Frage nachge- gangen werden, ob die Fahrtätigkeit im Lang-Lkw mit besonderen Belastungen oder Beanspruchun- gen (z. B. Stress) für die Fahrer sowie mit erhöhten Gefahren für Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer verbunden ist. Informationen darüber, wie andere Verkehrsteilnehmer Lang-Lkw erleben und sich diesbezüglich verhalten, ergeben sich in dieser Stu- die ausschließlich aus der Perspektive der befragten Lang-Lkw-Fahrer. Wegen der geringen Anzahl der Lang-Lkw im öffentlichen Straßenverkehr und der damit verbundenen geringen Begegnungswahr- scheinlichkeit wurden andere Verkehrsteilnehmer (z. B. Pkw-Fahrer) nicht befragt. Wegen der gerin- gen Anzahl der Lang-Lkw im öffentlichen Straßen-

verkehr wurden die anderen Verkehrsteilnehmer insoweit berücksichtigt, wie sie sich im Erleben und Verhalten des Lang-Lkw-Fahrers widerspiegeln.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden zwei Studien im Abstand von drei Jahren durchgeführt. Studie 2 GLASER et al. (2015) wurde als Fortsetzungsstudie konzipiert, um die Stabilität der Ergebnisse, die in Studie 1 GLASER et al. (2016) gewonnen wurden, zu überprüfen. Nachfolgend werden beide Studien getrennt dargestellt.

## 12.2 Psychologische Studie 1 (2012 – 2013)

### 12.2.1 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, CAMPPELL, 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.

### Befragungsinstrument

Der von GLASER et al. (2015) verwendete Fragebogen, um die Wahrnehmungen und Einstellungen

von Lang-Lkw-Fahrer zu erfassen, beruhte auf einem Entwurf der BAST. Dieser wurde im Rahmen dieses Projekts weiterentwickelt und modifiziert. Eine Reihe von Fragen zielte auf den Vergleich zwischen Lang-Lkw und bisherigen herkömmlichen Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen ab. Der Fragebogen für das Interview enthielt folgende Themen:

- Allgemeines, sozio-demografische 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.

### Fahrverhaltensbeobachtung

Ein Fahrbegleiter führte die Fahrverhaltensbeobachtung vom Beifahrersitz eines 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).

## 12.2.2 Ergebnisse

### Befragung

Die Befragung ergab zusammengefasst folgende zentralen Ergebnisse:

- Bei den Fahreigenschaften wurde der Lang-Lkw hinsichtlich Beschleunigung, Rangierbarkeit, Einparken sowie Abschätzen der Länge ungünstiger beurteilt als die herkömmlichen Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen; bei Bremsverzögerung, Bremsstabilität sowie 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 wechselt 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 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 Einmündungen. Auch hier wurde die gleiche geringfügige allgemeine Ver-

schlechterung 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 herkömmliche 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 abweichend 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.

- Mithilfe 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.

### 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 eine relevante Herausforderung hin, die sich in dieser Untersuchung gezeigt hat: die Breite der Überholfahrstreifen bei Autobahnarbeitsstellen, aber auch eine beobachtete 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, Abstandswahl 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 43.

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 grafische 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 anstren-



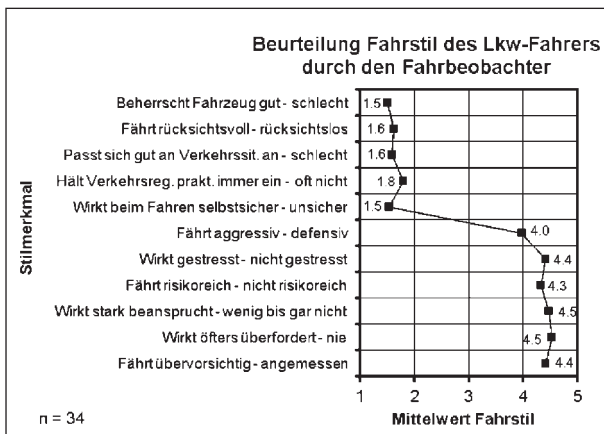


Bild 43: Semantisches Differential zum Fahrstil

gend 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‘.

### 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 Kurvenfahren 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, funktio-

niert 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 bei herkömmlichen Lkw als gefährlich wahrgenommen (vgl. z. B. AUTO BILD, 2013). Diese Einschätzung kann sich subjektiv bei der größeren Länge des Lang-Lkw verschärfen. Bei den Zahlenergebnissen einer entsprechenden Frage im Fragebogen mit der oben genannten 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 kein 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 Behauptungen 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 vorrechtigem 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 zugelassenen Strecken des vorliegenden Feldversuchs vorkamen, zwar ein gewisses Umlernen erfordert, dann aber problemlos bewältigt wird.

### 12.2.3 Fazit zur 1. psychologischen Studie

Die Ergebnisse der Befragung und die Fahrverhaltensbeobachtung von GLASER et al. (2015) 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. Kapitel 11.5), aber auch beim Überholen auf Landstraßen (vgl. Kapitel 11.6) 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 befürworten die zeitlich unbegrenzte Zulassung des Lang-Lkw.

### 12.3 Psychologische Studie 2 (2015 – 2016)

Die Studie 2 ist als Fortsetzung der Studie 1 in Form einer zweiten Erhebungsphase drei Jahre nach der erstmaligen Erhebung konzipiert worden. Der entscheidende Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Erhebungsphase besteht darin, dass in Studie 2 ein Zwei-Gruppen-Versuchsplan mit Fahrern von Lang-Lkw und Fahrern von herkömmlichen Lkw gewählt wurde. Darüber hinaus wurde die Datenbasis mit der Untersuchung von 100 Lang-Lkw- und 102 Lkw-Fahrern wesentlich vergrößert. Auf eine zeitaufwendige und kostenintensive Fahrverhaltensbeobachtung wurde in der zweiten Studie verzichtet, weil durch sie kein wesentlicher Erkenntnisgewinn erwartet wurde. Zentral waren in der zweiten Studie folgende Fragen:

- Inwieweit unterscheiden sich Lang-Lkw-Fahrer und Lkw-Fahrer im Hinblick auf ihre Erfahrungen, Erwartungen und Einstellungen? Bestätigen die Resultate des hier verwendeten Zwei-Gruppen-Versuchsplans diejenigen der früheren Ein-Gruppen-Untersuchung?
- Sind die Ergebnisse der ersten Untersuchung über die Zeit hinweg konstant geblieben oder zeigen sich bei den Lang-Lkw-Fahrern Veränderungen? Haben sich z. B. Aspekte der Sicherheit, Belastung und Beanspruchung sowie der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern verändert oder sind sie konstant geblieben?

#### 12.3.1 Untersuchungsmethodik

##### Erhebungsinstrument

Ausgangspunkt war der Fragebogen der Studie 1, der im Wesentlichen Vergleichsurteile verlangte. Er wurde zunächst so umgearbeitet, dass er in der Regel Absoluturteile erhob. So wurde beispielsweise aus der Frage (gestellt an Lang-Lkw-Fahrer) „Wie beurteilen Sie den Lang-Lkw im Vergleich zu den kürzeren Lkw hinsichtlich der Beschleunigung?“ die Frage „Wie beurteilen Sie Ihr Fahrzeug hinsichtlich der Beschleunigung?“, gestellt an Lang-Lkw- und Lkw-Fahrer.

Daraus ergibt sich, dass im Wesentlichen je eine Version des ursprünglichen Fragebogens zu formulieren war: für Lang-Lkw-Fahrer (v3), für Lkw-Fahrer (v4) und für Lang-Lkw-Fahrer, die an der früheren Untersuchung teilgenommen hatten (v2). Neben

Personengruppe	Zeitpunkt t1 (Studie 1)	Zeitpunkt t2 (Studie 2)
(1) Lang-Lkw t1	(v1) (n = 38) bereits befragte Fahrer	(v2) n = ≤ 38 (= 24) erneut zu befragende Fahrer
(2) Lang-Lkw t2		(v3) n = 62 (76) neu zu befragende Fahrer
(3) Normaler-Lkw t2		(v4) n = 100 (102) neu zu befragende Fahrer

Tab. 10: Befragungsbedingungen

Absoluturteilen wurden in allen Bögen zusätzlich bei besonders wichtigen Fragen auch einzelne Vergleichsurteile verlangt (zu Fahreigenschaften/Fahrmanövern des Lang-Lkw und zum semantischen Differential). Beide Gruppen sollten in diesen Fällen wie in der ersten Untersuchung angeben, ob sie den Lang-Lkw besser oder schlechter einschätzen als den herkömmlichen Lkw. Damit ist für die Lang-Lkw-Fahrer, die bereits einmal an der Befragung teilgenommen haben, zumindest in einigen Fragen ein direkter Vergleich mit ihren früheren Antworten möglich.

Kern der neuen Studie ist der Vergleich der Absoluturteile der getrennten Gruppen der jetzigen Lang-Lkw- und Lkw-Fahrer. In Tabelle 10 sind dies v2 und v3 versus v4. Für die 24 Teilnehmer der früheren Untersuchung liefert der Vergleich v2 versus v1 Hinweise darauf, inwieweit die neuen Urteile mit den alten Urteilen übereinstimmen. Die hier auch vorhandenen, für t1 und t2 identischen Fragen erlaubten es, zusätzlich die Stabilität der Antworten durch Messwiederholung im Dreijahresabstand zu beurteilen.

### Vorgehen, Stichprobe

Die Befragungen der Studie 2 fanden zwischen dem 13.11.2015 und dem 29.02.2016 statt. Es konnten insgesamt 24 Lang-Lkw-Fahrer aus dem Jahr 2013 erneut interviewt werden (Bedingung v2), dazu kamen 76 neue Lang-Lkw-Fahrer (Bedingung v3) und 102 Lkw-Fahrer (Bedingung v4). Es standen insgesamt vier hochqualifizierte Interviewer zur Verfügung. Im Interview wurden den Teilnehmern die Fragen des Bogens und die Antwortmöglichkeiten vorgelesen. Die Antworten wurden in einen Tablet-PC eingegeben.

Wie Tabelle 10 zeigt, ergeben sich zusammen mit den 3 Personengruppen und 2 Messzeitpunkten die Befragungsbedingungen (v1) bis (v4). Die Häufigkeiten, die sich tatsächlich realisieren ließen, stehen in Klammern.

### Stichprobenbeschreibung

Die Lang-Lkw-Fahrer wurden aufgrund der bei der BAST vorhandenen Liste der am Feldversuch teilnehmenden Transportunternehmen angesprochen. Mit n = 100 wurde die Population der Lang-Lkw-Fahrer im Wesentlichen ausgeschöpft. Die Interviews fanden hauptsächlich in den Geschäftsräumen der Speditionen statt und dauerten etwa 60 Minuten. Die Lkw-Fahrer wurden überwiegend auf Raststätten angesprochen. Die meisten Interviews fanden dort in den Lkw statt. Sie dauerten im Durchschnitt 30 bis 50 Minuten.

Der Altersdurchschnitt betrug bei den Lang-Lkw-Fahrern 45,9, bei den Lkw-Fahrern 47,5 Jahre. In der ersten Gruppe war die Altersgruppe der 31- bis 45-Jährigen stärker besetzt, in der zweiten die Altersgruppe der 46- bis 55-Jährigen. Der am häufigsten gefahrene Lang-Lkw-Typ ist bei den Lang-Lkw-Fahrern der Lkw mit Untersetzachse und Sattelanhängen, der Typ 3 (58 %).

### 12.3.2 Ergebnisse

Den Schwerpunkt der Untersuchung bildet der Vergleich der Absoluturteile zwischen den beiden fast genau gleich großen Gruppen der Lang-Lkw- und der Lkw-Fahrer. In der vorausgegangenen Studie 1 wurde nur die Gruppe der Lang-Lkw-Fahrer befragt. Deshalb wurden dort ausschließlich Vergleichsurteile Lang-Lkw mit dem herkömmlichen Lkw aus Sicht der Lang-Lkw-Fahrer erfasst.

### Vergleich Lang-Lkw- und Lkw-Fahrer

- Die Lang-Lkw-Fahrer beurteilen ihr Fahrzeug mit Ausnahme von Rangierbarkeit und Einparken signifikant besser als die Lkw-Fahrer das ihre.
- Beim Vergleich Lang-Lkw und Lkw beurteilen die Lang-Lkw-Fahrer den Lang-Lkw (also ihr eigenes Fahrzeug) mit dem Durchschnitt ‚kein Unterschied‘, wobei ‚Bremsverzögerung‘ und ‚Bremsstabilität‘ positiv und ‚Beschleunigung‘, ‚Rangierbarkeit‘ und ‚Einparken‘ negativ abweichen. Das Vergleichsurteil der Lkw-Fahrer (je-

doch Personen, die sich mit dem Thema Lang-Lkw beschäftigt haben) zeigt nahezu das gleiche Profil, jedoch um rund einen halben Urteilspunkt in Richtung ‚Deutlich schlechter‘ verschoben. Möglicherweise liegt diese Abweichung allein darin begründet, dass die Lkw-Fahrer keine persönliche Erfahrung mit dem Lang-Lkw haben: ‚Was sie nicht kennen, erscheint ihnen als schlechter‘.

Beurteilung (Absoluturteile) des jeweils eigenen Lkw von Lang-Lkw- und Lkw-Fahrern in 22 Fahrsituationen:

- Mit Ausnahme von ‚Überholen Landstraße‘, ‚Parken/Übernachten Rastplatz‘, ‚Aufsuchen von Pannengebieten‘, ‚Fahren bei Eis‘ und ‚Fahren bei Schneeglätte‘ liegen die Absoluturteile insgesamt zwischen ‚sehr gut‘ und ‚gut‘.
- Die Lang-Lkw-Fahrer geben insgesamt bessere Urteile ab als die Lkw-Fahrer.

Ein Grund für diesen Unterschied könnte darin liegen, dass die Lang-Lkw im Durchschnitt neuer sind und teilweise eine technisch modernere und höherwertige Ausstattung haben als die herkömmlichen Lkw.

Erfassung des Fahrerlebens mit Absolut- und Vergleichsurteilen:

- Im Hinblick auf das Fahrerleben (z. B. das Fahren ist angenehm oder komfortabel) bestehen in den Absoluturteilen weitgehend keine Unterschiede zwischen den beiden Fahrergruppen.
- Davon ausgenommen ist die als geringer empfundene Ermüdung und der als stärker empfundene Fahrspaß bei den Lang-Lkw-Fahrern.

Für die Vergleichsurteile ergeben sich ähnliche Ergebnisse:

- Lang-Lkw-Fahrer empfinden das Fahren im Lang-Lkw als komfortabler und entspannter, die Fahrfreude als höher und das Fahrzeug als technisch leichter zu beherrschen als das Fahren im Lkw (Erinnerung der Lang-Lkw-Fahrer an die Zeit, in der sie früher Lkw fuhren).
- Lkw-Fahrer geben in der Beurteilung der Fahrfreude beim Lang-Lkw-Fahren und beim Lkw-Fahren keine Unterschiede an. Dabei ist zu bedenken, dass in diesem Fall die Lkw-Fahrer sich das Fahren eines Lang-Lkw nur vorstellen sollten.

Von den Lkw-Fahrern wurde auch erhoben, ob sie sich schon mit dem Thema Lang-Lkw beschäftigt und ob sie Interesse an der Weiterbildung zum Lang-Lkw-Fahrer haben.

- Die erste Frage ergab 60 % ‚Ja‘ und ‚Ja‘, etwas‘-Antworten und 40 % ‚Nur wenig‘- und ‚Nein gar nicht‘-Antworten.
- Die zweite Frage ergab 61 % Interesse, 39 % kein Interesse.

Einstellung gegenüber elektronischen Fahrerassistenzsystemen im eigenen Fahrzeug:

- Lang-Lkw-Fahrer bezeichnen diese überwiegend mit ‚sehr nützlich‘, Lkw-Fahrern dagegen mit deutlichem Abstand nur als ‚nützlich‘.
- Lediglich bei ‚Retarder‘ (sehr nützlich) und ‚Achslastüberwachung‘ (nützlich) ergab sich keine Differenz zwischen den beiden Fahrergruppen.

‚Überschreiten der Achslasten‘ und ‚Überschreiten des zulässigen Gesamtgewichts‘:

- Auf das mögliche Überschreiten der Achslasten und des zulässigen Gesamtgewichtes achten 74 % der Lang-Lkw-Fahrer und 57 % der Lkw-Fahrer ‚Bei jeder Fahrt‘.
- Diese Zahlen haben sich gegenüber der früheren Untersuchung deutlich erhöht (von 53 bzw. 58 %). Bei den Lkw-Fahrern finden sich 21 % ‚Öfter‘ und 12 % ‚Gelegentlich‘-Antworten. Von den Lang-Lkw-Fahrern wurden 16 % ‚Betrifft mich nicht‘-Antworten gegeben.
- Insgesamt zeigt sich in dieser Frage ein größeres Problembewusstsein der Lang-Lkw-Fahrer. Möglicherweise rührt dies aus einer gewissen Ausnahmestellung und einem generell höheren Grad an Überwachung her.

Veränderung des Fahrverhaltens bei stark unterschiedlichen Achslasten:

- 44 % der Lang-Lkw-Fahrer (N = 86) gaben an, dass Veränderungen des Fahrverhaltens nie vorkommen bzw. dass sie, falls es doch der Fall wäre, keinen oder nur einen geringen Unterschied bemerken würden (19 %).
- Bei den Lkw-Fahrern (N = 92) lauten die entsprechenden Angaben: 12 % (kommt nie vor) und 9 % (kein bzw. geringer Unterschied). Sie

sind also merklich häufiger und auch stärker von diesem Problem betroffen.

Aktive und passive Sicherheit des eigenen Fahrzeugs:

- Die Lang-Lkw-Fahrer zeigten mit  $M = 1,2$  (aktive Sicherheit) und  $M = 1,5$  (passive Sicherheit) sogar noch bessere Bewertungen als in Studie 1 (t1), wo die entsprechenden Mittelwerte bei 2,1 bzw. 2,9 lagen.
- Die Lkw-Fahrer beurteilten beides zwar mit dem Wert 2 immer noch mit ‚gut‘, aber doch signifikant schlechter als die Lang-Lkw-Fahrer.

Die Fahrer wurden danach gefragt, ob sie positive oder negative Reaktionen anderer Verkehrsteilnehmer erlebt haben, und zwar getrennt nach Pkw-, Lkw-, Motorrad- und Radfahrern sowie Fußgängern.

- Von den Lang-Lkw-Fahrern berichten 43 % von positiven Reaktionen (zu t1: 58 %) und 10 % von negativen Reaktionen anderer Pkw-Fahrer. 61 % der Lang-Lkw-Fahrer berichten von positiven Reaktionen (zu t1: 53 %) und 6 % von negativen Reaktionen anderer Lkw-Fahrer. Das ist die gleiche Größenordnung wie in der Studie 1 (t1).
- Ganz anders verhält es sich bei den Lkw-Fahrern: 43 % von ihnen berichten negative und 46 % sowohl positive als auch negative Reaktionen von Pkw-Fahrern. 66 % der Lkw-Fahrer berichten sowohl positive als auch negative Reaktionen von anderen Lkw-Fahrern.
- Bezüglich der anderen drei Gruppen von Verkehrsteilnehmern (Motorradfahrer, Radfahrern und Fußgängern) ergab sich Folgendes: Bei den Lang-Lkw-Fahrern kommen zwischen 93 % bis 97 % und bei den Lkw-Fahrern 60 % bis 69 % ‚Nicht erlebt‘-Antworten vor. Die meisten negativen Antworten geben die Lkw-Fahrer von den Radfahrern mit 29 %, gefolgt von den Fußgängern mit 22 % an.

Wahrgenommene Schwierigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer bei Begegnung mit dem eigenen Lang-Lkw oder normalen Lkw:

- Dass Lkw-Fahrer in bestimmten Situationen Schwierigkeiten haben, wenn sie auf einen Lang-Lkw treffen, wird von den Lang-Lkw-Fahrern fast durchgehend verneint. Alle Mittelwerte

der Fahrsituationen 1 (Überholen des Lang-Lkw auf der Autobahn) bis 6 (Einfahren auf die Autobahn) liegen zwischen 2,7 und 3,0 und sind damit beinahe gleich wie in Studie 1.

- Die Ergebnisse für die befragten Lkw-Fahrer sind sehr ähnlich, nur durchgehend signifikant etwas nach links, in Richtung ‚Oft‘ verschoben.
- In der Gruppe der Lang-Lkw-Fahrer sind die Werte für die wahrgenommenen Schwierigkeiten von Pkw-Fahrern wiederum bis auf die erste Stelle hinter dem Komma gleich denen aus dem Jahr 2012/2013, was erneut zeigt, wie stabil die meisten Erfahrungen der Lang-Lkw-Fahrer seit dieser Zeit geblieben sind.
- Die größten von den Lang-Lkw-Fahrern wahrgenommenen Schwierigkeiten von Pkw-Fahrern ergeben sich wie in Studie 1 (t1) für das ‚Überholen des Lang-Lkw auf einer Landstraße mit nur einem Fahrstreifen je Richtung‘, das ‚Vorbeifahren am Lang-Lkw an einer Baustelle mit Fahrbahnverengung‘ und das ‚Einfahren auf die Autobahn‘.
- Diese wahrgenommenen Schwierigkeiten sind bei Lkw-Fahrern signifikant stärker ausgeprägt als bei Lang-Lkw-Fahrern. Besonders auffällige Pkw-Schwierigkeiten werden von Lkw-Fahrern beim ‚Vorbeifahren am Lkw an einer Baustelle mit Fahrbahnverengung‘ gesehen. 65 % der Lkw-Fahrer gaben an, dass sie hierbei ‚oft‘ Probleme auf Seiten der vorbeifahrenden Pkw erleben, bei den Lang-Lkw-Fahrern waren es nur 8 %.
- Dass Rad- und Motorradfahrer Schwierigkeiten durch die Sogwirkung des Lang- bzw. herkömmlichen Lkw bekommen könnten, wird von allen Lang-Lkw-Fahrern und von 82 % der Lkw-Fahrer verneint.

Fragen zur Ökonomie des Lang-Lkw<sup>28</sup>:

- Die Frage „Können durch den Lang-Lkw ein Drittel der Fahrten eingespart werden?“ haben 68 % der Lang-Lkw-Fahrer positiv beantwortet. Weitere 23 % antworteten mit ‚Mehr als ein Drittel‘.

<sup>28</sup> Von den Befragten wird nicht erwartet, dass sie eine fachlich korrekte Antwort auf diese Frage geben können. Die Antwort bringt in diesem Fall eine spezifische Facette der Einstellung zum Fahren von Lang-Lkw zum Ausdruck.

- In der Gruppe der Lkw-Fahrer bejahten 55 % diese Frage, während 31 % ‚Weniger als ein Drittel‘ oder ‚Keine Einsparung möglich‘ angeben.
- Die Frage „Befürchten Sie eine Gefährdung Ihres Arbeitsplatzes durch Einsparen von Fahrten?“ wurde von 94 % der Lang-Lkw-Fahrer und von 74 % der Lkw-Fahrer mit ‚Nein‘ beantwortet.

Erhöhung des Sozialprestiges der Lang-Lkw-Fahrer unter den anderen Fahrern:

- Beide Gruppen unterschieden sich in dieser Frage nicht wesentlich. Von den Lang-Lkw-Fahrern antworteten 47 % mit ‚Nein‘, von den Lkw-Fahrern 46 %. Mit ‚Ja‘ oder ‚Ja, zum Teil‘ antworteten jeweils 50 % beider Gruppen.

Lang-Lkw-Fahren und Stress:

- Bei der Frage „Bedeutet Lang-Lkw-Fahren mehr oder weniger Stress?“ antworteten 51 % der Lang-Lkw-Fahrer und 55 % der Lkw-Fahrer (hier Angabe der Erwartung) mit ‚Kein Unterschied‘. Während von den Lang-Lkw-Fahrern 30 % ‚Etwas weniger‘ Stress erlebten, waren es bei den Lkw-Fahrern 26 %, die ‚Etwas mehr‘ Stress erwarten.

Einschätzung der Unfallgefahr (vgl. Bild 44):

- Nach Meinung der Lang-Lkw-Fahrer gibt es keine Veränderung der Unfallgefahr für andere Verkehrsteilnehmer mit der Einführung der Lang-Lkw. Das stimmt auch nahezu perfekt mit den Ergebnissen der Studie 1 überein.

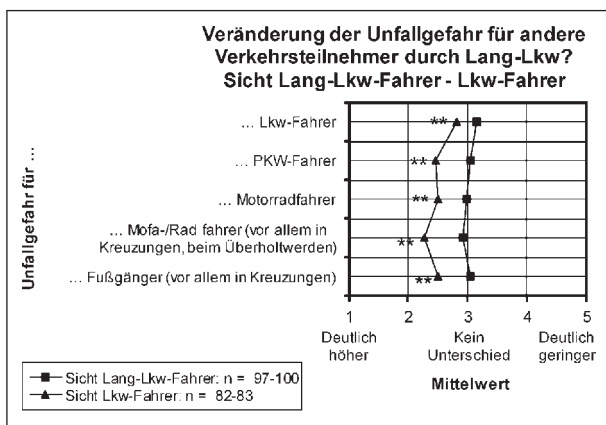


Bild 44: Meinungen zur Veränderung der Unfallgefahr für andere Verkehrsteilnehmer durch den Lang-Lkw; getrennt nach Lang-Lkw- und Lkw-Fahrern

- Die Werte der Lkw-Fahrer liegen dagegen alle zwischen dem Wert 2 (Etwas höher) und 3 (Kein Unterschied), d. h. diese nehmen durchgängig eine signifikant ( $p \leq 0,01$ ) pessimistischere Sicht ein.
- Auf die Frage „Sind mit dem Lang-Lkw generell mehr oder weniger Unfälle zu erwarten?“ antworteten 49 % der Lang-Lkw-Fahrer und 76 % der Lkw-Fahrern mit ‚Kein Unterschied‘. Dafür nannten zusammen 48 % der Lang-Lkw-Fahrer ‚Etwas weniger‘ oder ‚Deutlich weniger‘; bei den Lkw-Fahrern waren es 13 %, die ‚Etwas weniger‘ angaben. Auch hier ist die Einschätzung der Lkw-Fahrer also deutlich skeptischer.

### Fragen nur an Lang-Lkw-Fahrer

Umstellung von Lkw auf Lang-Lkw:

- Zur Frage nach der Umstellung vom normalen Lkw auf den Lang-Lkw gaben 55 % der Lang-Lkw-Fahrer an, von der Spedition aufgefordert zu sein, einen Lang-Lkw zu fahren. Sich selbst beworben haben 26 %.
- Die Umstellung auf den Lang-Lkw ist 53 % der Befragten ‚Leicht‘ und 21 % ‚Eher leicht‘ gefallen. Die übrigen Befragten antworteten bis auf 2 % ‚Teils/teils‘.
- Auf die Frage „Hat Ihnen die Einweisung ins Fahrzeug bei der Umstellung geholfen?“ haben 49 % mit ‚Ja sehr‘ und 33 % mit ‚Ja, etwas‘ geantwortet. ‚Nur wenig‘ oder ‚(praktisch) gar nicht‘ urteilten die übrigen Befragten.
- Die Dauer der Einweisung betrug im Mittel 6,1 Stunden mit einem Streubereich von einer Stunde bis fünf Tage und einem Modus bei acht Stunden, der von 38 % der Befragten angegeben wurde. Die Änderungswünsche ergaben die Rangreihe ‚Fahrsicherheitstraining‘, ‚Längere Schulung‘, ‚Mehr praktisches Üben‘, ‚Nicht so viel reden, mehr üben‘ und ‚Weniger im Hof, mehr im Straßenverkehr‘.

Zur Parksituation

- Eine zentrale Herausforderung ist die Parksituation, wie schon in Studie 1 deutlich geworden war. Auch bei der Studie 2 tauchen Klagen über die Schwierigkeit, Parkplätze zu finden beziehungsweise auf Rastanlagen zu über-

nachten mehrfach auf, wobei die Lkw-Fahrer noch stärker über einen Mangel an Lkw-Parkplätzen an Autobahnen klagten als die Lang-Lkw-Fahrer.

Ausweichen bei Streckensperrungen:

- Die Lang-Lkw-Fahrer wurden danach gefragt, ob sie Schwierigkeiten damit haben, dass mit dem Lang-Lkw kein Ausweichen auf nicht zugelassene Straßen möglich sei (z. B. bei Stau, Sperrung der Straße). Die Mehrheit von 50 % (t1 = 42 %) antwortet eindeutig mit ‚nein‘, die zwei Antwortmöglichkeiten ‚ja sehr‘ und ‚ja etwas‘ erreichen zusammen 43 % (t1 = 45 %). Betrachtet man den Mittelwert, so liegt er ziemlich genau in der Mitte zwischen ‚ja, etwas‘ und ‚nein‘.
- Dieser relativ gelassenen Sicht stehen allerdings die Eindrücke entgegen, die man erhält, wenn man die freien Antworten durchliest. Immer wieder beklagen hierin die Lang-Lkw-Fahrer die fehlende Ausweichmöglichkeit bei Stau, Sperrung o. Ä. und wünschen sich dringend, in Ausnahmefällen selbst gewählte Ausweichstrecken befahren zu dürfen.

Eingeschränkte Überholmöglichkeiten:

- Gefragt nach Schwierigkeiten durch die eingeschränkten Überholmöglichkeiten mit dem Lang-Lkw (nur Fahrzeuge, die maximal 25 km/h Stunde fahren, dürfen überholt werden), antworteten über die Hälfte (59 %) mit einem klaren ‚Nein‘. Diese Zahl ist sogar noch etwas höher als die aus der Studie 1 mit 47 % ‚nein‘-Antworten.
- Ein deutlich anderes Bild ergibt sich wiederum bei Betrachtung der freien Antworten. Das Überholverbot ist hier das absolut beherrschende Thema.

Generelle Zulassung von Lang-Lkw

- Auf die Frage an die Lang-Lkw-Fahrer „Sollte der Lang-Lkw nach der Testphase generell zugelassen werden?“ antworteten 84 % mit ‚Ja, mit weniger Einschränkungen als bisher‘ und 16 % mit ‚Ja, mit Einschränkungen wie bisher‘. Von den Ersteren nannten 80 % eine Abschaffung oder wenigstens eine Lockerung des Überholverbots bei den freien Antworten.

### Vergleich der Antworten der Lang-Lkw-Fahrer in Studie 1 (t1) und 2 (t2)

Bei drei wichtigen Fragen mit Vergleichsurteilen, die sowohl zu t1 als auch zu t2 gestellt wurden, konnten die Daten von den 24 Lang-Lkw-Fahrern, die zu beiden Zeitpunkten an der Untersuchung teilgenommen haben, mithilfe von Signifikanztests direkt verglichen werden. Die Fragen bezogen sich auf die ‚Fahreigenschaften/Fahrmanöver des Lang-Lkw‘, die ‚Beurteilung 22 verschiedener Fahrsituationen‘ und das ‚semantische Differential zum Fahrerleben‘. In allen drei Fällen hatten die Lang-Lkw-Fahrer wie in t1 ihr Fahrzeug mit einem normalen Lkw zu vergleichen (Vergleichsurteile).

- Fahreigenschaften/Fahrmanöver

Die Übereinstimmung beider Profile (t1) und (t2) ist sehr hoch. Das spricht sowohl für die Stabilität der Merkmale als auch gegen nennenswerte Veränderungen in dem Drei-Jahres-Zeitraum zwischen beiden Untersuchungen. Nur die zu t1 deutlich herausragend guten Werte von ‚Sicht‘ und ‚Hinterherlaufen des Anhängers‘ wurden zu t2 nicht mehr beobachtet ( $p \leq 0,01$ ). Das könnte auf einen Gewohnheitseffekt zurückzuführen sein (vgl. Bild 45).

- Beurteilung von Fahrsituationen

Mit vier Ausnahmen sind die beiden Profile von t1 und t2 praktisch deckungsgleich. Auch hier sind die Merkmale stabil und zeigen praktisch keine Änderung über die Zeit. Zwei der Änderungen zeigen, dass sich die auffallend guten Beurteilungen des Lang-Lkw beim ‚Kurvenfahren‘ und beim ‚Kreisverkehr‘ nicht wieder ergeben haben, son-

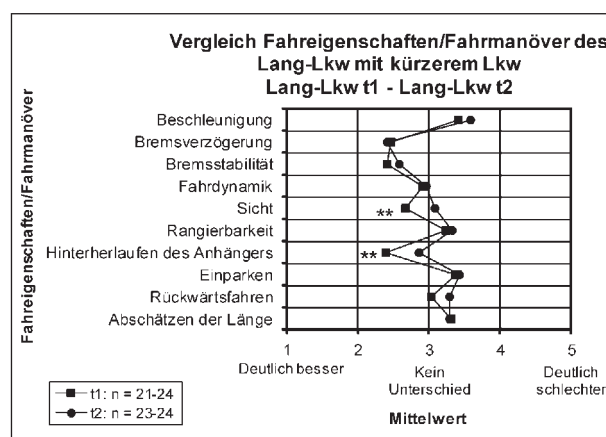


Bild 45: Vergleichende Beurteilung hinsichtlich 10 Fahreigenschaften/Fahrmanövern (Mittelwerte); Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2



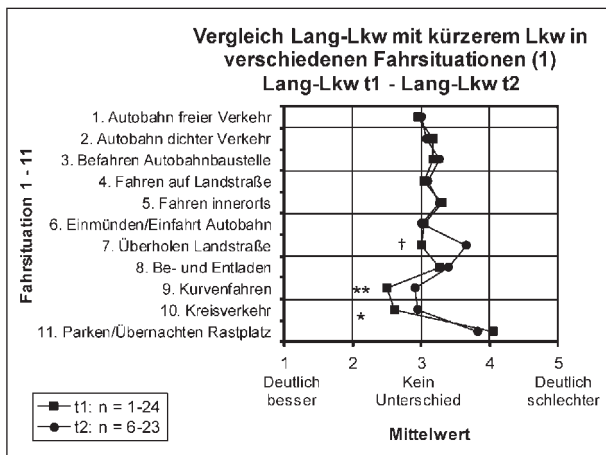


Bild 46: Vergleichende Beurteilung der ersten 11 Fahrsituationen; Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2. † Datenbasis sehr klein

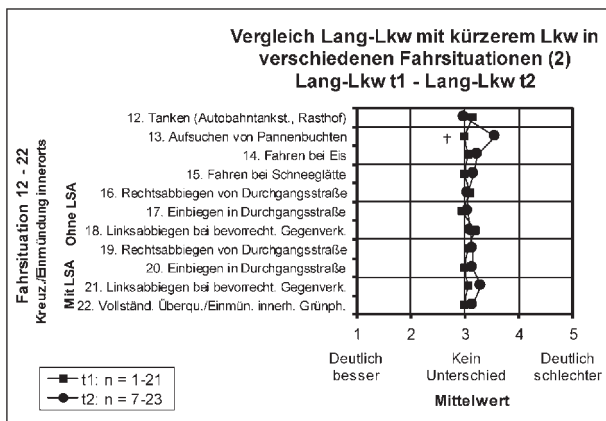


Bild 47: Vergleichende Beurteilung der zweiten 11 Fahrsituationen; Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2. † Datenbasis sehr klein

dem ‚keinen Unterschied‘ mehr aufweisen (vgl. Bild 46 und Bild 47).

- Beurteilung des Fahrerlebens

Die beiden Profile laufen nahezu parallel, wobei die Variablen ‚komfortabler‘, ‚mehr Fahrspaß‘, ‚entspannter‘ und ‚Vorschriften einhalten‘ zu t1 etwas höhere Werte enthalten. Das könnte eine positivere Einstellung der ‚Early Adaptors‘ ausdrücken. Wegen der kleinen Fallzahl wird nur einer dieser Unterschiede statistisch signifikant (Bild 48).

Diese Art der Veränderungsmessung hat den statistischen Nachteil, dass sie nur auf n = 24 Lang-Lkw-Fahrern beruht. Deshalb wurde eine weitere Auswertungsalternative durchgerechnet. Von allen Fahrern der Gruppe (v2 und v3) sind die Dauer und die Kilometerzahl des Dienstes im Lang-Lkw bekannt. Aus beiden Variablen wurde ein Composite-Score gebildet. Dessen Medianteilung lieferte die zwei

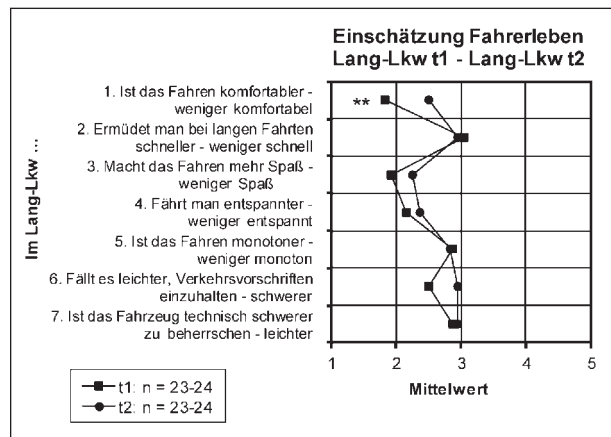


Bild 48: Die Mittelwerte zum semantischen Differential ‚Einschätzung Fahrerleben‘; Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2

Gruppen der ‚erfahrenen‘ und der ‚weniger erfahrenen‘ Lang-Lkw-Fahrer.

- Die ‚erfahrenen‘ Lang-Lkw-Fahrer fuhren im Schnitt seit 37 Monaten mit dem Lang-Lkw und legten in dieser Zeit durchschnittlich 261.000 km zurück, bei den ‚weniger erfahrenen‘ Lang-Lkw-Fahrern betragen die entsprechenden Werte 12 Monate und 56.000 km. Mit dem Vergleich der Gruppenmittelwerte anderer Variablen lässt sich die Veränderung über die Zeit auf der Datenbasis von n = 100 beziehungsweise n = 102 Personen abschätzen. Der Vergleich wurde für ‚alle bei Lang-Lkw-Fahrern erhobenen Variablen berechnet und im Bericht zur zweiten Studie (GLASER et al., 2016) dargestellt.

- Das Resultat zeigt so gut wie keine Unterschiede zwischen den ‚erfahrenen‘ und den ‚weniger erfahrenen‘ Lang-Lkw-Fahrern. Es ist ein belastbarer Beleg für die zeitliche Stabilität der gefundenen Daten.

### 12.3.3 Fazit zur 2. psychologischen Studie

Die größten Herausforderungen wurden beim Parken und Rasten sowie bei Fahrstreifenverengungen und -verschränkungen gesehen, und zwar von den Lang-Lkw-Fahrern in deutlich geringerem Ausmaß als von den Lkw-Fahrern. Andere Unzufriedenheiten tauchen bei Umfahrungsmöglichkeiten bei Stau und Straßensperrungen sowie den Einschränkungen für das Überholen auf.

Für erhöhten Stress und eine zunehmende Belastung auf dem Arbeitsplatz Lang-Lkw finden sich auch in dieser Studie keine Hinweise. Stress wird

von den Lang-Lkw-Fahrern als deutlich geringer beurteilt als von den Lkw-Fahrern.

Eine Erhöhung der Unfallgefahr für einzelne Gruppen anderer Verkehrsteilnehmer (Lkw-, Pkw-, Motorrad-, Radfahrer und Fußgänger) durch die Einführung des Lang-Lkw sehen die Lang-Lkw-Fahrer nicht. Anders die Lkw-Fahrer: das Profil ist bei ihnen um durchschnittlich einen halben Skaleneinheit in Richtung ‚deutlich höher‘ verschoben.

Die Einweisung in den Lang-Lkw dauerte im Durchschnitt sechs Stunden und wurde von der Hälfte der Fahrer als sehr hilfreich empfunden. Verbesserungsvorschläge gehen überwiegend in Richtung mehr praktisches Üben.

Auf die Frage an die Lang-Lkw-Fahrer: Sollte der Lang-Lkw nach der Testphase generell zugelassen werden? antworteten 84 % mit „Ja, mit weniger Einschränkungen als bisher“ und 16 % mit „Ja, mit Einschränkungen wie bisher“.

## 12.4 Gesamtfazit zu den psychologischen Aspekten des Lang-Lkw

Die Sicht- und Erlebnisweise der Lang-Lkw-Fahrer ist in Studie 2 klarer, prägnanter und positiver sichtbar geworden als in der Vorgängeruntersuchung mit der Datenerhebung um den Jahreswechsel 2012/2013. Aus Sicht der Psychologie und der Ergonomie des Fahrens des Lang-Lkw lassen sich auf der Grundlage beider Studien keine Einwände gegen den Einsatz des Lang-Lkw ableiten. Die Skepsis, die häufig hierzu in der Öffentlichkeit geäußert wird, scheint bei denjenigen am größten, die den Lang-Lkw am wenigsten kennen. Das sollte nach dem Prinzip ‚Erfahrung‘ mit der Zeit nachlassen.

## 13 Unfälle und andere besondere Ereignisse

### 13.1 Unfälle mit Beteiligung von Lang-Lkw

Lang-Lkw waren aktenkundig bis zum Berichtszeitpunkt (Stand 30.09.2016) an 13 Unfällen beteiligt, wovon in einem Fall eher von einer Panne als von einem Unfall gesprochen werden kann, hervorgerufen durch einen technischen Defekt an der Dolly.

Dabei kam es lediglich zu einer leichten Beschädigung des Banketts durch den Abschleppwagen, nachdem der Anhänger des Lang-Lkw dort hineingerutscht war. Nach der Bergung konnte der Lang-Lkw seine Fahrt fortsetzen.

In zwei der verbleibenden zwölf Fälle konnte aufgrund unterschiedlicher Aussagen der Unfallverursacher nicht eindeutig ermittelt werden. Ein 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. Kapitel 13.2). Laut Aussage der Spedition ist der Fahrer durch die Routenführung des Navigationsgeräts fehlgeleitet worden. Dieser Hinweis ist angesichts der Tatsache, dass das Positivnetz kaum in das Navigationssystem eingepflegt sein dürfte, nicht nachvollziehbar. 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.

Auf einer Autobahn kam es 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 Kapitel 11.5). 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 frühzeitiger hinter dem Lang-Lkw einzuscheren. Der Pkw-Fahrer vertrat den Standpunkt, er sei vom Lang-Lkw abgedrängt worden. Somit war in diesem Fall laut Polizeiprotokoll eine eindeutige Bestimmung des Hauptverursachers wegen unterschiedlicher Aussagen ebenfalls nicht möglich.

In allen anderen Fällen war der Lang-Lkw mit Bestimmtheit nicht der Unfallverursacher, sondern lediglich ein Unfallbeteiligter.

So auch beim einzigen Unfall mit einem Personenschaden. Laut Polizeiakte kam ein Pkw infolge

eines Fahrstreifenwechsels vom linken auf den mittleren Fahrstreifen einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn ins Schleudern und prallte dabei gegen den nachfolgenden Lang-Lkw. Die Pkw-Fahrerin musste anschließend leicht verletzt ins Krankenhaus gebracht werden (Unfallkategorie 3, Unfälle mit leichtem Personenschaden).

Bei allen andern Unfällen gab es lediglich Sachschäden, viermal mit schwerwiegendem Sachschaden (Unfallkategorie 4), weil eines beziehungsweise eine der unfallbeteiligten Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen nicht mehr fahrbereit war und abgeschleppt werden musste. In der überwiegenden Zahl der Fälle kam es nur zu leichtem Sachschaden (Unfallkategorie 5).

Neben den beiden bereits beschriebenen Unfällen auf einer Autobahn ereignete sich ein weiterer Unfall in einer Einfahrt an einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn (vgl. dazu auch Kapitel 11.3), 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. Inwieweit die Länge des Lang-Lkw bei diesem Unfall unfallbegünstigend gewirkt hat, kann nicht geklärt werden.

Bei einem weiteren Unfall auf einer Autobahn stand ein Pkw aufgrund eines technischen Mangels bei Dunkelheit unbeleuchtet auf dem rechten Fahrstreifen. Trotz Ausweichmanövers des Lang-Lkw-Fahrers kam es zum Zusammenstoß. Inwieweit das Ausweichmanöver durch die Kombination aus Motorwagen mit Untersetzachse und Sattelanhänger begünstigt wurde oder mit einem herkömmlichen Sattelkraftfahrzeug oder Gliederzug ebenfalls zu dem Unfall geführt hätte, lässt sich nicht mit Sicherheit bestimmen.

Ein Unfall mit gleich vier Beteiligten, davon ein Lang-Lkw, ereignete sich als ein konventioneller Lkw ein Stauende auf der Autobahn übersah und dadurch einen ‚Dominoeffekt‘ auslöste. Der Lkw schob das Fahrzeug am Stauende auf den davor stehenden Lang-Lkw auf, wodurch der Lang-Lkw seinerseits auf das vor ihm stehende Fahrzeug geschoben wurde.

Ebenfalls auf einer Autobahn ereignete sich ein Unfall, nachdem ein Pkw nach dem Überholen vor dem Lang-Lkw einscherte und seine Geschwindigkeit

aufgrund des vorausfahrenden Verkehrs derartig verringerte, dass es zum Zusammenstoß kam.

Bei Dunkelheit und Regen verlor ein Fahrer beim Überholen eines Lang-Lkw auf der Autobahn die Kontrolle über seinen Pkw, geriet Schleudern und prallte mehrmals gegen den Lang-Lkw sowie die Schutzeinrichtung im Mittelstreifen.

In allen drei zuletzt beschriebenen Fällen ist eine unfallbegünstigende Wirkung der Lang-Lkw-spezifischen Eigenschaften nicht ersichtlich.

Neben dem bereits beschriebenen Unfall an einem innerörtlichen Knotenpunkt ereigneten sich zwei weitere Unfälle innerorts – einerseits durch eine Vorfahrtmissachtung an einem Knotenpunkt durch einen Kleintransporter sowie dadurch, dass ein auf der linken Straßenseite entgegen der Fahrtrichtung parkender Kleintransporter beim Anfahren den in gleicher Richtung auf dem rechten Fahrstreifen fahrenden Lang-Lkw übersah. Ein Zusammenhang mit der Länge der Lang-Lkw ist auch in diesen beiden Fällen nicht erkennbar.

Schließlich stand ein Lang-Lkw in einer Wartespur an der Be-/Entladestelle in einem Hafengebiet, 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.

Anzumerken ist noch, dass es im zeitlichen Verlauf des Feldversuchs auch mindestens zwei Falschmeldungen in der Presse über Unfälle mit vermeintlichen Lang-Lkw gab, die sich jedoch auf Nachfrage bei der Polizei als Unfälle mit herkömmlichen Lkw entpuppten.

## 13.2 Besondere Vorkommnisse

Insgesamt sind im Feldversuch bis zum Berichtszeitraum elf sogenannte „besondere Vorkommnisse“ im Zusammenhang mit Lang-Lkw bei der BAST aktenkundig geworden. Zweimal handelt es sich ausschließlich um Verstöße gegen allgemeine Regelungen (im Einzelnen: Überschreitung der Lenkzeiten, Alkohol am Steuer, zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht eingehalten), in weiteren sechs Fällen sind oftmals in Kombination mit Verstößen gegen allgemeine Regelungen (Überschreitung der Lenkzeiten, zulässige Höchstgeschwindigkeit bzw. zulässiges Gesamtgewicht nicht eingehalten) Ver-

stöße gegen Anforderungen der Ausnahme-Verordnung bekannt geworden. Hierbei handelt es sich in zwei 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. Weitere Verstöße betreffen das Überholverbot (vgl. § 9 LKWÜberStVAusnV) sowie den Umstand, dass oftmals nicht alle erforderlichen Nachweise mitgeführt wurden (vgl. § 7 LKWÜberStVAusnV).

In einem Fall kam es zu einer Panne durch einen technischen Defekt an der Dolly. Die Deichsel des Dolly brach während der Fahrt. Der Fahrer konnte den Lkw jedoch noch sicher auf dem Seitenstreifen abstellen. Hiernach war der Lang-Lkw jedoch nicht mehr fahrbereit und musste abgeschleppt werden.

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. Die Weisungen der Polizei haben in solch einem Fall Vorrang.

Schließlich wurde ein Fall gemeldet, bei dem eine der technischen Anforderungen für Lang-Lkw nicht erfüllt wurde. Das gemäß § 5 LKWÜberStVAusnV geforderte Kamera-Monitor-System (vgl. Kapitel 8.1) war defekt und zwar nachweislich bereits vor Fahrtantritt.

### 13.3 Risikobewertung beziehungsweise -einschätzung

Aufgrund der geringen Anzahl der im Einsatz befindlichen Lang-Lkw sind im Rahmen des Feldversuchs keine belastbaren Erkenntnisse zum Unfallgeschehen zu erwarten gewesen. Eine Risikobewertung anhand von absoluten Unfallzahlen ist jedoch nicht nur aufgrund der geringen Fallzahlen von geringer Aussagekraft, sondern auch methodisch schwierig. Um die Unfallhäufigkeit verschiedener Untersuchungseinheiten (z. B. Lang-Lkw versus herkömmliche Lkw) miteinander vergleichen zu

können, sind absolute Unfallzahlen in der Regel ungeeignet. Für eine vergleichende Bewertung kann die Unfallhäufigkeit auf die Exposition bezogen werden. Die Unfallrate beispielsweise beschreibt die Zahl der Unfälle einer Untersuchungseinheit bezogen auf deren Fahrleistung.

Beim hier vorzunehmenden Vergleich der beiden Untersuchungseinheiten ‚Lang-Lkw‘ beziehungsweise ‚herkömmliche Lkw‘ ist sowohl die insgesamt geringe Anzahl von Unfällen mit Lang-Lkw als auch die Ermittlung der Fahrleistung von Lang-Lkw zu beachten: Die Fahrleistung von Lang-Lkw im Feldversuch lässt sich nur aus den zeitlich befristeten Fahrtenerhebungen (12 sowie 3 Monate, vgl. Kapitel 7) ableiten. Eine Hochrechnung auf den gesamten Untersuchungszeitraum ist aufgrund des kontinuierlichen Anstiegs am Feldversuch teilnehmender Lang-Lkw sowie insbesondere der mangelnden Kenntnis darüber, wie viele der bei der BASt angemeldeten Lang-Lkw denn auch tatsächlich im Einsatz waren<sup>29</sup>, nicht seriös möglich. Somit kann einzig für den in der Summe 15-monatigen Erhebungszeitraum die für einen Vergleich notwendige Fahrleistung zu 5,59 Mio. Lkw-km<sup>30</sup> angegeben werden.

In der amtlichen Unfallstatistik werden Unfälle mit lediglich leichtem Sachschaden (Unfallkategorie 5) nicht in der erforderlichen Merkmalstiefe ausgewiesen. Ein Vergleich der Unfallzahlen der Untersuchungseinheiten muss sich somit auf eine Betrachtung der Unfälle der Kategorien 1-4 sowie 6 (U(P,SS)) beschränken, was die ohnehin schon kleine Stichprobe der Lang-Lkw-Unfälle von 13 auf fünf mehr als halbiert. Bezogen auf den 15-monatigen Zeitraum, für den die Fahrleistung der Lang-Lkw bekannt ist, bedeutet dies sogar, dass lediglich ein Unfall der Kategorie 4 für eine Berechnung der Unfallrate übrig bleibt. Die statistische Aussagekraft geht dabei gegen Null, da bereits ein einzelner weiterer Unfall die Unfallrate somit verdoppeln würde.

Nichtsdestotrotz liefert der Blick in die amtliche Unfallstatistik einen Hinweis auf die Einordnung des Unfallgeschehens mit Lang-Lkw-Beteiligung. Im Jahr 2014 ereigneten sich in Deutschland insge-

<sup>29</sup> Hierzu hatten insbesondere die Fahrtenerhebungen von BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING, 2014 und BURG, SCHREMPF, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016 die Erkenntnis geliefert, dass dies nur ein sehr variierender Anteil der angemeldeten Lang-Lkw ist.

<sup>30</sup> 2,53 Mio. Lkw-km aus dem Zeitraum 12/2012-12/2013 sowie 3,06 Mio. Lkw-km aus dem Zeitraum 11/2015-2016.

samt 380.817 U(P,SS). 12.764 dieser Unfälle waren mit Beteiligung mindestens eines Gliederzugs oder Sattelkraftfahrzeugs (Lkw > 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht). Bei einer Fahrleistung der Gliederzüge und Sattelkraftfahrzeuge im Jahre 2014 von 42,8 Mrd. Lkw-km<sup>31</sup> ergibt sich somit eine Unfallrate von 0,3 U/Mio. Lkw-km.

Einen weiteren Hinweis liefert die Betrachtung der Hauptverursacher. Bei über der Hälfte der U(P,SS) mit Lkw-Beteiligung war der Gliederzug oder das Sattelkraftfahrzeug der Hauptverursacher. Bei den fünf U(P,SS) mit Lang-Lkw-Beteiligung war dies nie der Fall.

Hinsichtlich einer eher qualitativ ausgerichteten Risikoeinschätzung gibt es zwei entscheidende Faktoren:

- Zum einem das mögliche Schadensausmaß,
- zum anderen die Eintrittswahrscheinlichkeit.

Im Falle eines Anpralls, sei es beispielsweise durch ein Auffahren am Stauende auf ein anderes Fahrzeug oder infolge eines Abkommens von der Fahrbahn gegen ein seitliches Hindernis, wird kinetische Energie freigesetzt. Bei der kinetischen Energie geht die Masse linear ein. Wenn letztlich also die gleiche Gesamtmasse transportiert wird, ist die bei Unfällen freigesetzte kinetische Energie gleich.

Beim Einzelereignis eines Lang-Lkw wird zwar 1,5-mal mehr Energie umgesetzt. Aufgrund des Substitutionseffekts (aus ‚3 mach 2‘) müssten sich unter Annahme, dass sich durch den Einsatz von Lang-Lkw das Unfallrisiko nicht erhöht, jedoch 0,66-mal weniger Unfälle ereignen, da weniger Lkw-Kilometer erforderlich sind, um die jeweilige Transportaufgabe zu erfüllen. Somit ergibt sich ein Nullsummenspiel. Ob dann bei den weniger aber schwereren Unfällen insgesamt mehr Schaden und/oder schwerer Schaden entsteht, kann nicht beurteilt werden.

### 13.4 Fazit

Aufgrund der geringen Anzahl der im Einsatz befindlichen Lang-Lkw sind im Rahmen des Feldversuchs keine belastbaren Erkenntnisse zum Unfallrisiko zu erwarten gewesen. Zusammenfassend lässt sich anhand der geringen Datenbasis ein

Zusammenhang mit den für Lang-Lkw charakteristischen Eigenschaften als äußerst unwahrscheinlich bewerten.

Ein Vergleich mit dem allgemeinen Unfallgeschehen zeigt sich als methodisch schwierig, liefert jedoch keinerlei Indizien für negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch den Einsatz von Lang-Lkw.

Somit lassen sich auf Basis des Unfallgeschehens im Rahmen des Feldversuchs bisher keine gesicherten Hinweise auf mögliche negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch den Einsatz von Lang-Lkw ableiten. Denn wenn es sich auch lediglich um einen Einzelfall handelt und somit keinerlei statistische Aussagekraft besteht, kann der in Kapitel 13.1 beschriebene Unfall an einem innerörtlichen Knotenpunkt außerhalb des Positivnetzes doch im Zusammenhang mit den Erkenntnissen zur Befahrbarkeit von plangleichen Knotenpunkten (vgl. Kapitel 11.4.3) als Indiz dafür gewertet werden, dass die Kurvenlaufeigenschaften von längeren Fahrzeugkombinationen 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.

Was die oftmals vorzunehmende qualitative Risikoeinschätzungen betrifft, ist zu konstatieren, dass diese infolge des Substitutionseffekts ‚aus 3 mach 2‘ sowie der insgesamt prognostizierten geringen Anzahl an Lang-Lkw der Typen 2-5 als unbedenklich einzustufen ist. Nichtsdestotrotz kann das Schadensausmaß im Einzelfall beim Lang-Lkw größer als beim äquivalenten Vergleichs-Lkw herkömmlicher Bauart sein (z. B. höhere Brandleistung infolge des größeren Ladungsumfangs).

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.

## 14 Zusammenfassung

### 14.1 Allgemeines

Es war das Ziel der wissenschaftlichen Begleitung durch die BAST, zum einen alle in der Öffentlichkeit diskutierten Hoffnungen in und Bedenken gegen

<sup>31</sup> Quelle: Fahrleistung 2014, Abschlussveranstaltung BAST.

den Lang-Lkw umfassend zu berücksichtigen und zum anderen möglichst frühzeitig und wissenschaftlich fundiert belastbare Ergebnisse zu liefern. Im Hinblick auf das zweite Ziel wurden im Zwischenbericht zur wissenschaftlichen Begleitung (IRZIK et al., 2014) etwa zur Hälfte des Feldversuchs die bis dahin vorliegenden Ergebnisse aus der Anlaufphase sowie der kompletten Analysephase zusammengefasst.

Der nun vorgelegte Abschlussbericht schreibt den Zwischenbericht fort. Er enthält die Ergebnisse aller im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung durchgeführten Forschungsprojekte (Analyse- plus Abschlussphase) einschließlich ihrer zusammenfassenden Bewertung. Weiterhin enthält der Bericht den Sachstand, der sich aus der Datenerhebungsphase ableiten lässt.

Trotz der im Verlauf des Feldversuchs nur langsam, aber kontinuierlich ansteigenden Teilnehmeranzahlen können mit diesem Bericht 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. Kapitel 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 Kapitel 11.4).

Im Folgenden werden die zum Zeitpunkt dieses Berichts (Stand 30.09.2016) 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.

## 14.2 Chancen und Risiken

Auf Basis der Erkenntnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs haben sich folgende positive Effekte eines Einsatzes von Lang-Lkw gezeigt:

- Im Rahmen des Feldversuchs konnte durch die beiden Studien zu den Verkehrsnachfrage-

wirkungen (BURG, RÖHLING, KLAAS-WISSING, 2014 und BURG, SCHREMPF, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016) sowie zur Straßenbeanspruchung (WELLNER, UHLIG, 2015 und UHLIG, 2016) in voneinander unabhängigen Erhebungen ermittelt werden, dass beim Einsatz der Lang-Lkw-Typen 2-4 im Durchschnitt zwei Lang-Lkw-Fahrten etwas mehr als drei Fahrten mit konventionellen Lkw ersetzen.

- 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 vorteilhaften Einsatz von Lang-Lkw im Regelfall erforderlich ist.
- Ebenfalls im Rahmen der Studien zu den Verkehrsnachfragewirkungen sowie zur Straßenbeanspruchung konnte ermittelt werden, dass beim Einsatz des Lang-Lkw vom Typ 1 im Mittel eine Fahrt mit dem verlängerten Sattelkraftfahrzeug 1,07 Fahrten mit Standard-Sattelkraftfahrzeugen ersetzen.
- Aufbauend auf den empirischen Grundlagen zeigen die daraus ermittelten Modellergebnisse für die Verkehrsnachfrage, dass intermodale Verlagerungen von Bahn und Binnenschiff sich auch in Bezug auf die Verkehrsleistung kaum feststellen lassen (0,1 bzw. 0,3 Promille). Daher ergeben sich insgesamt positive Verkehrsnachfragewirkung bezüglich einer Reduktion von tatsächlich gefahrenen Lkw-Kilometern und dementsprechend auch von Klimagasen und Luftschadstoffen. Es ist dabei zu beachten, dass sich mögliche Rebound-Effekte in der Form, dass aufgrund der Effizienzvorteile des Lang-Lkw im Vergleich zum konventionellen Lkw die Transportkosten des Transportsektors insgesamt sinken und deshalb mehr Verkehr nachgefragt werden könnte, empirisch nicht ableiten lassen und deshalb – für den Fall, dass solche Effekte auftreten würden – seriös nicht berücksichtigt werden konnten.

Weiterhin wurde im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung auf eine Vielzahl von vermuteten Risiken oder auch Befürchtungen hinsichtlich eines mehr oder weniger großen Anpassungsbedarfs für

die Infrastruktur eingegangen. Auf Basis des umfangreichen Untersuchungsprogramms hat sich dabei gezeigt, dass im Hinblick auf eine Vielzahl der betrachteten Aspekte unter den Rahmenbedingungen des Feldversuchs der Einsatz von Lang-Lkw keine negativen Auswirkungen besitzt. Die sich in Abhängigkeit von der Art und von der Anzahl der Lang-Lkw bei der Nutzung der Straßenverkehrsanlagen unter Umständen ergebenden potenziellen Herausforderungen lassen sich zum Teil durch die im Feldversuch beobachtete Substitution herkömmlicher Lkw durch Lang-Lkw (aus 3 mach 2) kompensieren und zudem in unterschiedlichem Maße durch Änderungen der Straßeninfrastruktur beheben. 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<sup>32</sup>, können dazu führen, dass diese als hinnehmbar oder beherrschbar einzustufen wären. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Aspekte:

- 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 („aus 3 mach 2“, vgl. dazu auch Kapitel 7) herkömmlicher Lkw durch tendenziell schwerere Lang-Lkw, die sich aber im Rahmen der rechtlich
- zulässigen Gesamtgewichte bewegen und damit zulässig schwerer sind, keine relevanten Veränderungen der maximalen Bauwerksbeanspruchungen eintreten.
- Intermodale Verlagerungen von Bahn und Binnenschiff auf den Lang-Lkw haben sich bei den empirischen Beobachtungen nicht gezeigt und sind aufgrund der beobachteten logistischen und Güterstrukturen beim Einsatz der Lang-Lkw auch als unwahrscheinlich anzusehen. Diese Einschätzung wird durch die Untersuchungen zur Verkehrsnachfragewirkung gestützt.
- Fahrzeugtechnische Probleme konnten unter den gegebenen Randbedingungen im Allgemeinen nicht identifiziert werden. So kann beispielsweise bei ganzheitlicher Betrachtung des Worst-Case-Szenarios aus der Studie von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) sowie des Substitutions-Szenarios aus der Studie von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) von vergleichbaren Bremswegen von Lang-Lkw im Vergleich zu Lkw herkömmlicher Bauart ausgegangen werden. Lang-Lkw vom Typ 2 weisen in bestimmten Beladungszuständen jedoch ein grundsätzlich fahrdynamisch anspruchsvolles Fahrverhalten auf, das nach derzeitigem Kenntnisstand aber durch die ohnehin verpflichtend geforderten EVSC-Systeme egalisiert wird.
- Die Auswirkungen der Beanspruchung durch Schwerverkehrskollektive mit im Feldversuch beobachteten Lang-Lkw auf die Nutzungsdauer von Straßenoberbauten ist vergleichbar beziehungsweise marginal geringer als die aus dem heutigen Kollektiv herkömmlicher Lkw resultierende Auswirkung.
- Auf Basis der aus den mit unterschiedlichen Anteilen an Lang-Lkw gebildeten Vergleichskollektiven hervorgehenden Achslastverteilungen kann darüber hinaus 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 oberflächennahen Schadensentwicklung (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.
- Der erst bei unrealistisch hoch erscheinenden Anteilen von Lang-Lkw am Schwerverkehrsauf-

<sup>32</sup> So konnte beispielsweise mithilfe der Verkehrsnachfragemodellierung auch für den Haupteinsatzort der Lang-Lkw, der Autobahn, ermittelt werden, dass auf über 90 % aller Autobahnen der Anteil der Lang-Lkw am SV weniger als 0,5 %, auf 99 % aller Autobahnen weniger als 1 % betragen wird.

kommen bei Tunneln möglichen Erhöhung der Brandleistung infolge des im Vergleich zu den herkömmlichen Lkw größeren Transportvolumens der Lang-Lkw kann durch kompensatorische Maßnahmen (z. B. verbessertes Lüftungssystem) begegnet werden.

- Die zunächst bestehende 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 besteht aktuell ebenso (wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit) für mehrgliedrige Fahrzeugkombinationen ohne Überlänge – also herkömmliche Lastkraftwagen mit Anhänger. Es wäre im Falle eines Unfalls somit ebenso hinzunehmen.
- Aufgrund des insgesamt erwarteten zunehmenden Schwerverkehrsaufkommens sowie der Ergebnisse zum Verhalten von Lang-Lkw sollte diskutiert werden, ob bei Neubau oder Erneuerung einer Schutzeinrichtung eine Anhebung der Aufhaltestufe von H2 auf H4b im Mittelstreifen sinnvoll wäre. Damit könnte das Durchbruchrisiko im Mittelstreifen sowohl für konventionelle als auch für Lang-Lkw verringert werden.
- Die Gefahr möglicher Abstürze schwerer Lkw von Brücken – sowohl konventionelle wie Lang-Lkw – kann durch den Grad der Ausstattung der Brücken nach heutigem Regelwerk mit geeigneten Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b (gegebenenfalls mit einer ergänzenden Anforderung an die Mindesthöhe der Schutzeinrichtungen) verringert werden.
- 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.
- Insbesondere die bis zu 25,25 m langen Lang-Lkw – und hierbei besonders der Lang-Lkw vom Typ 2 – passen nicht vollständig in die im Vergleich zur freien Strecke kürzeren Nothaltebuchten in Tunneln. Gleichwohl ermöglicht die rund um die Uhr erfolgende Überwachung dieser Tunnelanlagen in Verbindung mit der zusätzlichen Einleitung ausmaßmindernder Maßnahmen die Gewährleistung eines regelwerkskonformen Sicherheitsniveaus für den Tunnelnutzer.
- Der Parkbedarf von Lang-Lkw erscheint aufgrund der im Feldversuch beobachteten Routen beziehungsweise Fahrtweiten gegenüber konventionellen Lkw gering. In Schrägparkstände auf Rastanlagen passt von der Aufstelllänge her 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. Ein einfaches Ummarkieren der zur Verfügung stehenden Parkflächen wäre mit einem Parkkapazitätsverlust verbunden, selbst wenn der Einsatz von Lang-Lkw theoretisch zu eingesparten Fahrten führt. Das Abstellen der Lang-Lkw auf den privaten Autohöfen kann eine mögliche Option für Lang-Lkw darstellen. Die Untersuchungen von LIPPOLD et al. (2016) haben zudem gezeigt, dass es bei einem gegebenenfalls zukünftig höherem Parkbedarf von Lang-Lkw verschiedene Ansätze zur Verbesserung der Parksituation von Lang-Lkw auf Rastanlagen gibt, sodass das als Problematik angeführte Parken mit Lang-Lkw als beherrschbar eingestuft werden kann. Für den Fall, dass keine der aufgezeigten Möglichkeiten für die Anwendung in einer konkreten Örtlichkeit geeignet ist, bleibt letztlich noch die Möglichkeit, die Anlage nicht zum Gegenstand des Positivnetzes zu machen.
- Bei plangleichen Knotenpunkten und bei Kreisverkehren haben sich ebenfalls typabhängig unterschiedliche Ergebnisse eingestellt. Mit gewissen Einschränkungen in Bezug auf 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 förderlich. Dies gilt umso mehr, sollte das verlängerte Sattelkraftfahrzeug sein



prognostiziertes Marktpotenzial ausschöpfen (s. Kapitel 14.4.1).

- Die Betrachtungen zum Räumen von plan- gleichen 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.
- 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 liefen die beobachteten Überholungen nicht gefährlicher ab, als dies ohnehin bei Überholvorgängen auf einbahnigen Straßen der Fall ist.
- Stress oder eine erhöhte psychologische Beanspruchung der Fahrer konnten nicht festgestellt werden.
- Wenngleich die Datenbasis als gering einzustufen ist, liefert die Analyse des Unfallgeschehens im Rahmen des Feldversuchs keine Hinweise darauf, dass der Einsatz von Lang-Lkw negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit haben könnte.

### 14.3 Weitergehende Hinweise

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

- Die Anforderung nach einem Retarder sollte durch eine technologieneutrale Forderung eines geeigneten Dauerbremssystems nach UN-R 13 ersetzt werden.
- Eindeutigere Vorgaben und Toleranzen zur ‚on-board‘- Achslastüberwachung sollten formuliert werden. Zudem sollte für die Art und Weise der rechnerischen Berücksichtigung einer nicht

angezeigten Vorderachslast ein Standardvorgehen definiert werden (z. B. Berücksichtigung mit der maximalen Vorderachslast aus der Zulassungsbescheinigung in der Achslasttabelle).

- Zur Vermeidung unsicherer Beladungszustände sollte eine entsprechende Forderung zur Überprüfung durch den Fahrer als verpflichtend vor einem Fahrtantritt berücksichtigt werden.
- Mindestanforderung sollten an die Anzahl der Lang-Lkw-Achsen im Hinblick auf den Erhalt des Status Quo bezüglich der Straßenbeanspruchung formuliert werden.
- Für die Anforderung der Ausstattung von Lang-Lkw mit einem Spurhaltewarnsystem wird vorgeschlagen, hierfür direkt auf die bereits bestehende UN-R 130 Bezug zu nehmen.
- Um ein Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten, erscheint die verpflichtende Ausstattung mit einem Notbremsassistenten (AEBS) nach UN-R 131 für Lang-Lkw sinnvoll.
- Eindeutige Spezifikationen der fahrzeugtechnischen Anforderungen für die Teilnahme am Kombinierten Verkehr wären förderlich. Zum Beispiel sollte angeführt werden, dass es für die Begründung der KV-Tauglichkeit erforderlich ist, dass mindestens ein Teil der Fahrzeugkombination eine mit Geräten umschlagbare Ladeinheit transportieren kann. Zudem sollte die Erfüllung und Art der Umsetzung auch im Übereinstimmungsnachweis in die Begutachtung aufgenommen werden.
- Eine Präzisierung der Montagebedingungen und des Sichtfeldes der rückwärtigen Kamera (Zeitweilige oder dauerhafte Übertragung des Bildes? Was soll hinter dem Lang-Lkw gesehen werden?) würden helfen. Das geforderte System könnte ferner auf Basis weiterer Untersuchungen technologieneutral und im Einklang mit UN-R 46 beschrieben werden, um auch bei zukünftigen alternativen Umsetzungen die Praxistauglichkeit im Sinne der Verordnung sicherzustellen.
- Änderung und Vereinheitlichung der Heckbeschilderung gegebenenfalls mit Piktogramm (z. B. einheitliche Schildgröße (Schriftgröße) von 230 mm, einheitlicher Schrifttyp) sollte geprüft werden, da eine symbolische Lang-Lkw-Darstellung eine intuitivere Erkennung und Einschätzung der Fahrzeuglänge durch andere Verkehrsteilnehmer ermöglichen könnte.

- Bei einem Konfigurationsspielraum durch alternative, nicht baugleiche Fahrzeugmodule sollte die Einhaltung der Kurvenlaufeigenschaften nach § 32 StVZO mithilfe einer Software für alle Varianten vollständig überprüft werden. Es sollte konkretisiert werden, ob die Prüfung der Kurvenlaufeigenschaften erst dann beendet ist, wenn der zu durchzufahrende Kreis auch wieder tangential verlassen worden ist. Für die Prüfung sollte in Bezug auf das Anheben von Achsen der jeweils ungünstigste Fall (angehoben oder abgesenkt) zugrunde gelegt werden.
- Gutachtenstruktur: Zur Erhöhung der Transparenz und somit der besseren Überwachbarkeit durch die Kontrollbehörden sollte die Begutachtung der Fahrzeugkombinationen eines Betreibers in einer jeweils aktuell fortgeschriebenen Dokumentation zusammengefasst und die zulässige Kombinatorik eindeutig und transparent (z. B. über Variantenbäume) beschrieben werden.
- ABS/EVSC-Konfigurationen: Es wäre weiter zu untersuchen, ob eine Forderung zur Sensierung und Druckregelung von zwei Drittel aller Anhängerachsen ergänzt werden sollte, um Bremswege generell weiter zu verkürzen. Darüber hinaus wird empfohlen, erwartete Prüfvorschriften des UNECE-Expertengremiums zu ‚Modular Vehicle Combinations‘ auch für Lang-Lkw zu übernehmen.

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 zwingend zu sein, verursacht aber bei den Lang-Lkw-Fahrern ein gewisses Maß an Stress, einhergehend mit einem Akzeptanzproblem.

Im Hinblick auf Parken 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.

## 14.4 Sonderbetrachtung einzelner Lang-Lkw-Typen

### 14.4.1 Der verlängerte Sattelanhänger (Typ 1)

Eine Sonderrolle im Feldversuch nimmt der Lang-Lkw vom Typ 1 ein. Dies ist insbesondere in seiner Länge begründet. Mit einer Gesamtlänge von ,nur, 17,80 m ist dieser Lang-Lkw zwar um 1,30 m länger als ein herkömmliches Sattelkraftfahrzeug, jedoch um fast einen Meter kürzer als ein herkömmlicher Gliederzug (vgl. auch Kapitel 3.3). Aus diesem Grund unterliegen Lang-Lkw vom Typ 1 in vielen am Feldversuch teilnehmenden Bundesländern nicht den Restriktionen aus dem Positivnetz, sondern dürfen dort das gesamte öffentliche Straßennetz befahren (vgl. Kapitel 4.2). Durch die Verlängerung des Sattelanhängers um 1,30 m ist der zusätzliche Gewinn an Volumen deutlich geringer als bei den Lang-Lkw-Typen 2-5. Der Substitutionseffekt ist mit einem mittleren Faktor von 1,07 (Anzahl der Fahrten äquivalenter konventioneller Lkw für eine Fahrt mit einem Lang-Lkw vom Typ 1, vgl. Kapitel 9.3) daher auch deutlich geringer als bei den anderen Lang-Lkw-Typen (im Mittel rund 1,5).

Diese Umstände haben unmittelbare Auswirkungen auf das Marktpotenzial für Lang-Lkw vom Typ 1. Im Gegensatz zum Marktpotenzial für die Lang-Lkw-Typen 2-5, deren Einsatz auf ein Positivnetz beschränkt ist und deren Effizienzvorteile durch das höhere Volumen größer sind, hängt das Marktpotenzial für den Lang-Lkw vom Typ 1 nicht in erster Linie von Besonderheiten in den logistischen Strukturen und Einsatzfeldern ab, sondern wird grundsätzlich in dem Ersatz des Fuhrparkbestandes von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen gesehen (vgl. Kapitel 7.2). Grundvoraussetzung dafür wäre jedoch eine Freigabe des gesamten zumindest deutschen Straßennetzes.

Da die am Feldversuch teilnehmende Anzahl von Lang-Lkw vom Typ 1 gering war (mit Stand 30.09.2016 waren es 13 verlängerte Sattelkraftfahrzeuge, die der BASt gemeldet wurden, vgl. Bild 9), war es nicht möglich, insbesondere drei Fragen zu beantworten:

- Bezüglich der Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen zeigt sich das verlängerte Sattelkraftfahrzeug durch die gegenüber dem Standard-Sattelkraftfahrzeug veränderte Schleppkurve oftmals ungünstiger. Jedoch befährt auch bereits heute mit dem Autotransporter eine Fahr-

zeugkombination das gesamte Straßennetz, dessen Kurvenlaufeigenschaften dem Lang-Lkw vom Typ 1 sehr ähneln und zu ähnlichen Schwierigkeiten bei der Befahrung der Verkehrsanlagen führen können (vgl. Kapitel 11.4.5). Dass diese Schwierigkeiten durch den Einsatz von Autotransportern (bisher) keine (nach hiesigem Kenntnisstand) besonders großen negativen Auswirkungen hervorrufen, kann mit ihrer Vorkommenshäufigkeit begründet werden. Gemäß den Recherchen des AML Verein Automobillogistik im DSLV e. V. lag die operative Autotransporter-Flotte in Deutschland in 2014 beispielsweise bei rund 6.000 Fahrzeugkombinationen. Allen Expertenmeinungen zufolge wird das Potenzial für den Lang-Lkw vom Typ 1 bei einem Vielfachen davon gesehen. Ob sich die befürchteten negativen Auswirkungen auf die Befahrbarkeit von Straßenverkehrsanlagen bei einer höheren Vorkommenshäufigkeit des Typ 1 zeigen werden oder sich eventuell durch technische Maßnahmen relevante Verbesserungen der Kurvenlaufeigenschaften erzielen lassen, sollte durch eine Verlängerung des Feldversuchs beantwortet werden.

- Anders als für die Lang-Lkw-Typen 2-5 konnte für den Typ 1 keine ausreichende Datenbasis gewonnen werden, um die Einsatzfelder dieses Typs hinreichend genau identifizieren zu können. Die Schätzung des Marktpotenzials – als wichtige Eingangsgröße für die Ermittlung der Verkehrsnachfragewirkungen des Einsatzes von Typ 1-Lang-Lkw – konnte daher lediglich als ‚Best-Guess‘-Annahme erfolgen, bei der von einem Ersatz der Hälfte aller herkömmlichen Sattelkraftfahrzeug durch den Typ 1 ausgegangen wird (vgl. Kapitel 7.2). Eine Verlängerung des Feldversuchs mit Rahmenbedingungen, die dazu führen, dass Unternehmen vermehrt den Typ 1 einsetzen, sollte diese Annahmen durch entsprechende Untersuchungen zu den Einsatzfeldern des Typ 1 überprüfen.
- Das positive Ergebnis für den Lang-Lkw vom Typ 1 bezüglich der Straßenbeanspruchung ist dadurch bedingt, dass zum aktuellen Zeitpunkt vor allem Sattelkraftfahrzeuge mit 1- oder 2-achsigen Sattelanhänger durch den Lang-Lkw vom Typ 1 ersetzt wurden (vgl. Kapitel 9.3). Wie sich das Ergebnis bei einer höheren Vorkommenshäufigkeit des Typ 1 verändern wird, wenn dann auch (zwangsläufig) mehr herkömmliche Sattelkraftfahrzeuge mit 3-achs-

gem Sattelanhänger ersetzt werden, kann ebenfalls nur durch einen ausgedehnten Versuch ermittelt werden.

#### 14.4.2 Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger (Typ 2)

Der Lang-Lkw vom Typ 2 nimmt in gewissem Maße ebenfalls eine Sonderrolle ein, jedoch aus anderen Gründen als beim Typ 1. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung hat sich gezeigt, dass das Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger von allen Lang-Lkw-Typen die schlechtesten Kurvenlaufeigenschaften aufweist (vgl. insbesondere Kapitel 11.4). Hinzu kommt aber vor allem eine auf Basis von Simulationen gewonnene Erkenntnis über teilweise kritisches Verhalten in hochdynamischen Fahrmanövern, sofern kein Stabilisierungssystem (EVSC-System) genutzt wird. Die von SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS (2014) durchgeführte simulative fahrdynamische Analyse der verschiedenen Lang-Lkw-Typen ohne Berücksichtigung von Fahrdynamikregelsystemen (EVSC-Systemen) hat gezeigt, dass die grundsätzliche Stabilität der untersuchten Fahrzeuge stark abhängig vom jeweiligen Beladungszustand und vom Fahrmanöver ist (vgl. Kapitel 8.4). Eine Pauschalbewertung einzelner Typen von Lang-Lkw ist zwar nicht möglich. Allgemein gilt jedoch, 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 der Lang-Lkw vom 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). Es wird derzeit davon ausgegangen, dass diese fahrdynamisch kritischen Bereiche wirkungsvoll durch EVSC-Systeme kontrolliert werden können. Darüber hinaus zeigt sich bei den Realfahrzeugen beziehungsweise -fahrzeugkombinationen auch der Sicherheitsgewinn durch die Anforderung ‚Achslastwägung on board‘ (vgl. Kapitel 8.2), die ungünstige beziehungsweise gefährliche Beladungszustände für den Fahrer erkennbar macht. Zur Förderung dieses Sicherheitsgewinns könnte als zusätzliche Anforderung in einer geänderten Ausnahme-Verordnung die verbindliche Überprüfung auf ungünstige Beladungszustände aufgenommen werden.

Beim einfachen Fahrspurwechsel ist allerdings auch in einem herkömmlichen Beladungszustand der Versatz der Fahrspur beim Lang-Lkw-Typ 2 (ohne Berücksichtigung von EVSC-Systemen) deutlich höher als bei dem entsprechenden Referenz-Lkw, aber auch gegenüber den anderen Lang-Lkw-Typen.

Schließlich empfehlen die in der Abschlussphase der wissenschaftlichen Begleitung mit den fahrzeugtechnischen Untersuchungen beauftragten Gutachter für den Lang-Lkw-Typ 2 weitere fahrdynamische Untersuchungen zur Absicherung der Ergebnisse (vgl. FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER, 2016). Dies wird damit begründet, dass der Typ 2 sich, wie bereits zuvor aufgeführt, in Simulationen und dabei in bestimmten Fahrsituationen und ohne Berücksichtigung von Stabilitätsregelsystemen als fahrdynamisch ungünstiger herausgestellt hat. Zudem werden von FÖRG, SÜßMANN, WENZELIS, SCHMEILER (2016) auch Aussagen der Hersteller von EVSC-Systemen herangezogen, dass die EVSC-Funktion nicht speziell an den Lang-Lkw vom Typ 2 angepasst und im Versuch abgesichert worden sei.

Zwar wird allen Lang-Lkw mit EVSC ein sicheres Fahrverhalten attestiert, da die EVSC-Regelung konservativ, d. h. im Sinne der Verkehrssicherheit, ausgelegt ist und gerade auch dann früh eingreift, wenn weitere Einheiten, wie es beim Lang-Lkw der Fall ist, angehängt werden. Darüber hinaus sind aus dem Feldversuch bisher keine kritischen Situationen mit Lang-Lkw vom Typ-2 bekannt, bei denen eine unzureichende EVSC-Regelung zu fahrdynamischen Instabilitäten geführt hätte.

In Bezug auf die Fahrdynamik von Fahrzeugkombinationen, seien es Lang-Lkw oder konventionelle Lkw mit ihren Anhängern, könnte die Stabilitätsregelung EVSC jedoch allein auf Grund bestimmter Beladungskonstellationen und der physikalischen Grenzen (z. B. aktueller Reibwert) an die Grenze seiner stabilisierenden Möglichkeiten geraten. Eine solche – denkbare, aber wegen der resultierenden Traktionsprobleme sicher unwahrscheinliche – Konstellation ist die Platzierung der Ladung allein hinter der letzten Achse oder die Beladung nur des letzten Anhängers.

Vor diesem Hintergrund wird vorsorglich folgendes Vorgehen im Hinblick auf einen dauerhaften Einsatz von Lang-Lkw vom Typ 2 empfohlen: Bevor Lang-Lkw vom Typ 2 für einen Dauerbetrieb zugelassen

werden, sollten insbesondere die Erkenntnisse aus den überwiegend theoretischen Überlegungen hinsichtlich der Fahrdynamik durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

## 14.5 Gesamtbewertung

Aufgrund der Sonderstellung des Lang-Lkw vom Typ 1 bezieht sich die folgende Gesamtbewertung des Einsatzes von Lang-Lkw ausschließlich auf die Lang-Lkw-Typen 2-5. Den Lang-Lkw vom Typ 1 betreffend wird auf Kapitel 14.4.1 verwiesen.

Die Gesamtbewertung des Einsatzes von Lang-Lkw ist vor dem Hintergrund des prognostizierten Aufkommens von Lang-Lkw zu sehen. Wie die Untersuchungen zum Marktpotenzial und zu den Verkehrsnachfragewirkungen gezeigt haben, ist das Marktpotenzial für die Lang-Lkw-Typen 2-5 bezogen auf das gesamte Transportaufkommen im Güterverkehr gering. Durch die vor allem aus Gründen der Verkehrssicherheit und im Hinblick auf die Schonung der Straßenverkehrsinfrastruktur erforderlichen gesetzten Rahmenbedingungen (z. B. Einsatz auf einem Positivnetz) wird dieses Potenzial zudem nur zu einem geringen Anteil ausgeschöpft, sodass es im Maximalszenario (Szenario B, vgl. Kapitel 7.3) für das Jahr 2030 zu einer prognostizierten Jahresverkehrsleistung der Lang-Lkw-Typen 2-5 von rund 100 Mio. Lkw-km kommen würde (vgl. Tabelle 2).

Aus den durchgeführten empirischen Fahrtenerhebungen lässt sich eine durchschnittliche Laufleistung pro Jahr und je Lang-Lkw von knapp 100.000 km ermitteln (entspricht in etwa auch der Fahrleistung eines konventionellen Sattelkraftfahrzeugs in Deutschland). Wird die vereinfachende Annahme zugrunde gelegt, dass die Laufleistung auf die Fahrzeuge beziehungsweise Fahrzeugkombinationen gleichverteilt ist, würde die für 2030 prognostizierte Verkehrsleistung von rund 1.000 Lang-Lkw erbracht werden. Selbst wenn man aber diese Zahl um den Faktor 2 unterschätzen würde, ergäbe sich eine Zahl von maximal 2.000 Lang-Lkw, was zum Beispiel im Vergleich zu der gemäß des AML Verein Automobillogistik im DSLV e. V. angegebenen Größe der operativen Autotransporter-Flotte (einer Fahrzeuggruppe, die inklusive der Überhänge nach vorne und hinten mit einer Gesamtlänge von 20,75 m auch heute schon länger ist als die generell zulässigen 18,75 m für Gliederzüge) in Deutschland von rund 6.000 Fahrzeug-

kombinationen immer noch gering erscheint. Selbst für den Haupteinsatzort der Lang-Lkw, der Autobahn, konnte mithilfe der Verkehrsnachfragemodellierung abgeschätzt werden, dass auf über 90 % aller Autobahnen der Anteil der Lang-Lkw am Schwerverkehr weniger als 0,5 %, auf 99 % aller Autobahnen weniger als 1 % betragen wird.

Unter diesen Rahmenbedingungen ist zusammenfassend zu konstatieren, dass sich bedeutende Probleme im Feldversuch nicht gezeigt haben. Gemessen an der Vielzahl betrachteter Fragestellungen ist die Anzahl der identifizierten potenziellen Risiken gering. Zudem können die identifizierten Risiken bei der derzeit vorhandenen Anzahl an im Feldversuch beteiligten Lang-Lkw und auch noch unter der Annahme von deutlich höheren als im Rahmen der Untersuchungen zu den Verkehrsnachfragewirkungen prognostizierten Anteilen von Lang-Lkw am Güterverkehrsaufkommen als hinnehmbar oder beherrschbar eingestuft werden. Dies gilt auch für die noch zur Halbzeit der wissenschaftlichen Begleituntersuchung zu lösende Thematik „Parken von Lang-Lkw auf Rastanlagen“, da hierfür praxistaugliche Lösungsansätze erarbeitet werden konnten.

Im Hinblick auf das Gesamtergebnis der wissenschaftlichen Begleituntersuchung ist zu beachten, dass die vorgenommene Gesamtbewertung eines möglichen Einsatzes von Lang-Lkw der Typen 2-5 oftmals auf einer Risikoabschätzung basiert. Das Risiko lässt sich dabei als Produkt aus (Schadens-) Ausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens beschreiben (vgl. auch Kapitel 13.3). Die vorgenommene Gesamtbewertung, dass die möglichen Risiken eines Einsatzes von Lang-Lkw als hinnehmbar oder beherrschbar eingestuft werden könnten, ist in Teilen auch in der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit begründet (s. o.). Diese hängt maßgeblich von mehreren Faktoren ab:

1. Der über die allgemeinen Anforderungen hinausgehenden für Lang-Lkw verpflichtenden Sicherheitsausstattung und den besonderen Anforderungen an die Fahrer(-qualifikation).
2. Dem im Feldversuch beobachteten Substitutionseffekt ‚aus 3 mach 2‘ für Lang-Lkw vom Typ 2-5 und der damit einhergehenden geringeren Anzahl an Lkw-Fahrten.
3. Der vergleichsweise geringen zu erwartenden Verkehrsleistung der Lang-Lkw-Typen 2-5.

4. Der Beschränkung des Einsatzes auf ein Positivnetz sowie dem überwiegenden Einsatz der Lang-Lkw vom Typ 2-5 auf planfrei geführten zweibahnigen Straßen.

Bezüglich des möglichen (Schadens-)Ausmaßes ist bei einigen Fragestellungen durch das um 50 % größere Ladevolumen der Lang-Lkw im Vergleich zum äquivalenten herkömmlichen Lkw zu berücksichtigen, dass auch im unwahrscheinlichsten Eintrittsfall das Einzelausmaß negativer im Hinblick auf die Verkehrssicherheit sein würde. In solch einem Einzelfall hätte der volumetrisch und dann auch nahezu gewichtsvoll beladene Lang-Lkw zum Beispiel eine höhere Brandleistung als der äquivalente, mit gleichem, aber weniger Ladegut beladene herkömmliche Lkw (vgl. auch Kapitel 13.3).

Im Eins-zu-eins-Vergleich unter identischen Randbedingungen würde ein Überholvorgang, zumindest wenige Sekunden länger dauern. Der Nothalt in einer Nothaltebucht im Tunnel wäre problematischer.

Zu beachten ist ferner, dass einigen der erzielten Ergebnisse die ganz spezifischen Randbedingungen des Feldversuchs zugrunde liegen. Teilweise resultieren diese Randbedingungen aus den Vorgaben der Ausnahme-Verordnung zum Feldversuch, in Einzelfällen auch aus dem unter Versuchsbedingungen angepassten Verhalten der Lang-Lkw-Fahrer. Sofern sich an diesen Randbedingungen Änderungen einstellen sollten, wären gewisse Fragestellungen neu zu beleuchten (vgl. auch Kapitel 15).

Letztlich kann aber festgehalten werden, dass der Einsatz des Lang-Lkw eine positive Verkehrsnachfragewirkung bezüglich einer Reduktion von gefahrenen Lkw-Kilometern und dementsprechend auch eine Reduktion von Klimagasen und Luftschadstoffen im Versuch gezeigt hat und zukünftig haben kann. Es zeigte sich bislang, dass intermodale Verlagerungseffekte von der Bahn beziehungsweise vom Binnenschiff vor allem aufgrund der bestehenden Gewichts-, aber auch der tatsächlichen beziehungsweise modellierten Streckenbeschränkungen sehr gering und damit vernachlässigbar sind. Wenngleich deutlich wird, dass der Lang-Lkw nur eine mögliche Teillösung zur Eindämmung des Güterverkehrswachstums und den damit einhergehenden Umweltwirkungen darstellt, ist der Einsatz aus betriebswirtschaftlicher und verkehrsnachfrageseitiger Sicht in bestimmten Bereichen und Einsatzfeldern sinnvoll.

## 15 Ausblick

Wenngleich die wissenschaftliche Begleitung mit Ablauf des Feldversuchs zum 31.12.2016 ihren Abschluss findet, gibt es durchaus weiteren Forschungsbedarf. Bereits bei der Konzeption der wissenschaftlichen Begleitung bestand auch mit dem konsultierten Expertenkreis (vgl. Kapitel 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.
- Gleiches gilt für mögliche Positiveffekte durch Effizienzsteigerungen beim Einsatz von Lang-Lkw im Vor-/Nachlauf zum KV. Die im Rahmen der modelltechnisch ermittelten intermodalen Verlagerungen generieren sich ausschließlich aus dem Vergleich der Lang-Lkw mit den konkurrierenden Verkehrsträgern und den hier generierten Effizienzvorteilen des Hauptlaufs. Aufgrund der fehlenden empirischen Grundlagen konnten bisher keine möglichen Positiveffekte durch Effizienzsteigerungen beim Einsatz von Lang-Lkw im Vor-/Nachlauf zum KV berücksichtigt werden. In einem möglichen Regelbetrieb könnten aber empirische Beobachtungen helfen, potenzielle Effizienzgewinne im Vor-/Nachlauf zu identifizieren und quantifizieren. Darüber hinaus könnten unter Umständen empirisch belegbare Aussagen zum Thema „Rebound-Effekt“ und induzierten Verkehr gewonnen werden, um die Untersuchungen zu den Verkehrsnachfragewirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw zu vervollständigen.

Zudem zeichnete sich bereits zur Halbzeitbilanz des Feldversuchs (vgl. IRZIK et al., 2014) ab, dass zu einigen Fragen auch nach dem Ende des Feldversuchs keine belastbaren Aussagen möglich sein werden:

- So konnten zum Beispiel aufgrund der Anzahl am im Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw psychologische Aspekte anderer Verkehrsteilnehmer sowie deren mögliche Sichtbeschränkungen in gewissen Verkehrssituationen durch

Lang-Lkw nicht behandelt werden. Für eine belastbare Studie zu dieser Fragestellung sind deutlich größere Fallzahlen erforderlich, als sie der Feldversuch anbot.

- Auch inwiefern verkürzte Behelfseinfahrten in Arbeitsstellen zu Problemen hinsichtlich des Verkehrsablaufs oder sogar der Verkehrssicherheit führen könnten, konnte aufgrund der nur selten zu beobachtenden entsprechenden Verkehrssituationen nicht abschließend untersucht werden.

Schließlich haben auch die Untersuchungen der Abschlussphase Erkenntnisse zu weiterführenden Forschungsfragen geführt, die auch für die konventionellen Lkw von Interesse wären.

- An erster Stelle kann dabei das Thema „Bremsweglänge“ genannt werden. Da die Bremsversuche im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung keine direkte Zuordnung der Bremsweglängen zu speziellen Ausrüstungen (Sensorik/Aktuatorik) oder der Achszahl eines Lkw erlauben und sich die Abhängigkeit der Bremsweglänge von der Gesamtmasse nur tendenziell erkennen lässt, sind hier neue Forschungsthemen erkennbar. Die Abhängigkeit der Bremsweglänge von der Masse und gegebenenfalls der Achszahl sowie der ABS-Regelstrategie ließe sich durch weitere, jedoch aufwendige Versuche zum Bremsverhalten von Lkw bei unterschiedlichen Beladungszuständen, Maximalbeladung, Positionierung der Ladung sowie Variation der Achsenanzahl untersuchen.
- Gleiches gilt für die Fahrdynamik von Fahrzeugkombinationen im Allgemeinen. Hier könnte untersucht werden, ob und welche Konstellationen bei verschiedenen Lkw tatsächlich fahrdynamisch kritisch sein können, wie wahrscheinlich das Auftreten solcher Zustände ist und welche Möglichkeiten zur Abhilfe bestehen. Damit könnten auch Unklarheiten zur Fahrdynamik des Lang-Lkw von Typ 2 abschließend ausgeräumt werden (vgl. Kapitel 8.9 sowie Kapitel 14.4.2).
- Speziell mit Fokus auf den Lang-Lkw könnten beim Themenkomplex „Parken mit Lang-Lkw“ Fragen bezüglich der Organisation des Parkens auftreten, sofern ein relevanter Parkbedarf durch Lang-Lkw entsteht. So ist zum Beispiel die bauliche Reservierung von Parkständen für Lang-

Lkw durch Schranken, Lichtzeichen oder versenkbare Barrieren durchaus sinnvoll, aber technisch aufwendig und kostenintensiv. Da für solche begleitenden Lösungen heute noch keine Erfahrungen vorliegen, könnte sich hier ein gewisser Forschungsbedarf ergeben.

- Ebenfalls mit Fokus auf den Lang-Lkw sollte das Thema „Überholen auf Landstraßen“ wieder aufgegriffen werden, wenn in nennenswerten Umfang weitere Landstraßen in das Positivnetz aufgenommen worden sind, auf denen im Fahrstreifen des Gegenverkehrs überholt wird. Erst dann könnte zum Beispiel überprüft werden, inwieweit die Kennzeichnung des Lang-Lkw am Heck mittels des nach § 5 Nr. 13 LKWÜberlStVAusnV verpflichtenden retroreflektierenden Schildes die beobachtete Verhaltensänderung der den Lang-Lkw Überholenden erklären könnte oder inwiefern sich Unterschiede in der Bereitschaft für Überholvorgänge zwischen Lang-Lkw und herkömmlichen Lkw ermitteln lassen, sodass über Unterschiede im Überholdruck Erkenntnisse gewonnen werden können.
- Die Frage nach den möglichen Auswirkungen einer Aufhebung des Überholverbots für Lang-Lkw auf Autobahnen konnte nur anhand theoretischer Überlegungen nachgegangen werden. Belastbare Erkenntnisse würde erst ein Praxistest zeigen, bei dem diese Restriktion für den Einsatz von Lang-Lkw aufgehoben werden würde.

## Literatur

- 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 Kraftfahrwesen im Auftrag der Kögel Fahrzeugwerke, Aachen
- BAG (2014): Mautstatistik – Jahrestabellen 2013. Köln
- BAIER, M.; KEMPER, D. (2015): Auswirkungen von Lang Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 253
- 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 B 66
- BARK, A. (1994): Auswirkungen von Lkw-Überholverböten auf Autobahnen auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen. Dissertation an der Technischen Hochschule Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen
- BARTOLOMAEUS, W. (2010): Vorbeifahrtpegel von Straßenfahrzeugen, DAGA 2010, Berlin
- 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
- BERGERHAUSEN, U.; KLOSTERMEIER, H.; KLÖCKNER, R.; KÜBLER, J. (2013): Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 224, Bergisch Gladbach
- 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

- BURG, R.; RÖHLING, W.; KLAAS-WISSING, T. (2014): Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 248
- BURG, R.; SCHREMPF, S.; RÖHLING, W.; KLAAS-WISSING, T.; SCHREINER, S. (2016): Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 89.0315/2015 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, TCI Röhling Transport Consulting International, Waldkirch/Universität St. Gallen, Lehrstuhl für Logistikmanagement
- 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
- DVZ (2012): EP bremst Kommissar Kallas bei Lang-Lkw. <http://www.dvz.de/rubriken/single-view/nachricht/ep-bremst-kommissar-kallas-bei-lang-lkw.html>, Stand 29.09.2016
- 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
- FÄRBER, N.; PÖPPEL-DECKER, M. (2016): Zum Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge auf BAB. Bisher unveröffentlichtes Arbeitspapier der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- 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) – Lichtzeichenanlagen 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
- FÖRG, A.; SÜßMANN, A.; WENZELIS, A.; SCHMEILER, S. (2016): Fahrzeugtechnische



- Eigenschaften von Lang-Lkw. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 82.0630/2015 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, FÖRG & SÜßMANN Ingenieurbüro GbR, München
- 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. (2014): Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 245
- 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.; GLASER, W. R.; SCHMID, D.; WASCHULEWSKI, H. (2015): Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 252
- GLASER, M. O.; SCHMID, D.; GLASER, W. R.; WASCHULEWSKI, H. (2016): Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw – zweite Erhebungsphase. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 82.0634/2015 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, 12<sup>th</sup> 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
- HOFFMANN, A.; WITTE, J. (2012): Grenzüberschreitende Fahrten von sog. Gigalinern. Sachstand der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestags, WD 11 – 3000 – 42/12, [http://www.michael-cramer.eu/fileadmin/documents/42-12\\_Grenzueberschreitende\\_Fahrten\\_von\\_Gigalinern.pdf](http://www.michael-cramer.eu/fileadmin/documents/42-12_Grenzueberschreitende_Fahrten_von_Gigalinern.pdf), Stand 29.09.2016
- IRZIK, M.; ELLMERS, U.; JUNGELD, I.; GLAESER, K.-P.; HOLTE, H.; WOLF, A.; KAUNDINYA, I.; SISTENICH, C.; KRANZ, T. (2014): Feldversuch mit Lang-Lkw. Zwischenbericht, Bergisch Gladbach

- KATHMANN, T.; ROGGENDORF, S.; KEMPER, D.; BAIER, M. (2014): Auswirkung von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 246
- KELLERMANN, G. (2002): Erkenntnisse zum Lkw-Überholverbot auf Autobahnen. In: Straßenverkehrstechnik (46), Heft 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
- KROPP, W.; BÉCOT, F. X.; BARRELET, S. (2000): On the Sound Radiation of Tyres, *Acta Acoustica*, Vol. 86, pp. 769-779.
- LIPPOLD, C.; SCHEMMEL, A. (2014): Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 247
- LIPPOLD, C.; SCHEMMEL, A. (2015): Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 250
- LIPPOLD, C.; SCHEMMEL, A.; KATHMANN, T.; SCHROEDER, S. (2016): Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE-Vorhaben 02.0381/2015/MRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften Friedrich List, Institut für Verkehrsanlagen, Lehrstuhl für Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen
- LIPPOLD, C.; VETTERS, A.; STEINERT, F. (2016): Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE-Vorhaben 02.0336/2012/BGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften Friedrich List, Institut für Verkehrsanlagen, Lehrstuhl für Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen
- MAYER, G.; BRENNBERGER, 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. 22 ff
- Risk Solution (2016): Evaluation of the Longer Semi-Trailer Trial: Annual Report 2015. A report for the Department of Transport, London
- RONNEBERGER, D. (1989): Towards Quantitative Prediction of Tire/Road Noise, Proc. of Workshop on Rolling Noise Generation, October 10/11 1989, TU Berlin.
- SANDBERG, U.; EJSMONT, J. (2002): Tyre/Road Noise Reference Book, Informex, Kisa.

- 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
- STEER, J.; DIONORI, F.; CASULLO, L.; CHRISTOPH, V.; FRISONI, R.; CARIPPO, F.; RANGHETTI, D. (2013): Eine Bewertung von Megatrucks – Die wichtigsten Probleme und Fallstudien. Eine Studie von STEER Davies Gleave im Auftrag des Europäischen Parlaments vertreten durch die Generaldirektion Interne Politikbereiche, Fachabteilung B, Struktur- und Kohäsionspolitik, Brüssel
- 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.
- UHLIG, W. (2016): Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 04.0290/2015/ERB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur, Uhlig & Wehling, Beratende Ingenieure, Mittweida
- 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 25,25 m (GigaLiner). Abschlussbericht NRW Modellversuch. TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, Köln
- WELLNER, F.; UHLIG, W. (2015): Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 254
- ZIMMERMANN, M.; KÖHLER, B.; ROOS, R. (2016): Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf. Bisher unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 02.0392/2015/ERB im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen, Abteilung Straßenentwurf und -betrieb, Karlsruhe
- ZIMMERMANN, M.; RIFFEL, S.; ROOS, R. (2015): Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 255
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), Teil 5, Tunnelbau (ZTV-Ing – Kurve)

## Bilder

- Bild 1: Mögliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-Lkw)
- Bild 2: Unverbindlicher Überblick über das Positivnetz gemäß der 6. Änderungs-Verordnung zur LKWÜberlStVAusnV vom 29.04.2016
- Bild 3: Ergebnis des Expertenkolloquiums am 17.05.2011
- Bild 4: Untersuchungsphasen der wissenschaftlichen Begleitung
- Bild 5: Verteilung der Gesamtmasse der Lang-Lkw, des äquivalenten Lkw-Kollektives (äLkw) sowie des gesamten Schwerverkehrs am Beispiel des Jahres 2011 (aus IRZIK et al., 2014)
- Bild 6: Quelle/Ziel der Fahrten mit Lang-Lkw (BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016)
- Bild 7: Struktur der transportierten Güter (BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER 2016)
- Bild 8: Zeitliche Entwicklung der bei der BASt gemeldeten Teilnehmer am Feldversuch (Stand 30.09.2016)
- Bild 9: Verteilung der gemäß LKWÜberlStV AusnV verschiedenen Typen der bei der BASt gemeldeten Lang-Lkw (Stand 30.09.2016)
- Bild 10: Filter und Ergebnisse der Marktpotenzialanalyse für Lang-Lkw vom Typ 2-5 (in Anlehnung an BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016)
- Bild 11: Gewerbeflächenrasterelemente Deutschland als Basis der Modellraumstruktur (BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER 2016)
- Bild 12: Fahrzeugtechnische Anforderungen an Lang-Lkw
- Bild 13: Zwei mögliche Befahrungen des BO-Kraftkreises
- Bild 14: Vergleich der Bremswege eines Lang-Lkw und eines Standardsattelkraftfahrzeugs für das Worse-Case-Szenario mit je 40 t Gesamtgewicht
- Bild 15: Vergleich der Bremswege von 75 km/h bis 5 km/h für Lang-Lkw Typ 2 mit 7 Achsen (Typ2\_7A), Typ 3 mit 8 Achsen (Typ3\_8A) und 6 Achsen (Typ3\_6A), Sattelzüge mit 5 (SZ\_5A) und mit 4 (SZ\_4A) Achsen
- Bild 16: Schild (B bzw. C) oder Piktogramm (A)? Gegenüberstellung der gezeigten Alternativen (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014)
- Bild 17: Transporteffizienzen von Sattelkraftfahrzeug und Lang-Lkw bei unterschiedlichen Dichten der Ladung (SÜßMANN, FÖRG, WENZELIS, 2014)
- Bild 18: Geräuschpegel der Vorbeifahrt eines schweren Lkw am Mikrofonarray
- Bild 19: Pegelzeitverläufe der drei untersuchten Lkw. Oben links: normales Sattelkraftfahrzeug; oben rechts: Lang-Lkw-Typ 2; unten links: Lang-Lkw-Typ 3; unten rechts alle drei Lkw zusammen. Die dünnen Linien sind ohne, die dicken Linien mit Richtcharakteristik gerechnet
- Bild 20: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen (UHLIG, 2016)
- Bild 21: Verteilung der Lang-Lkw-Typen
- Bild 22: Achslastklassenverteilung der Lang-Lkw-Typen 2 bis 5 im Direktverkehr (links) bzw. Typ 2 und 4 im Kombinierten Verkehr (rechts)
- Bild 23: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw-Typen 2 bis 5 im Direktverkehr (links) bzw. Typ 2 und 4 im Kombinierten Verkehr (rechts)
- Bild 24: Achslastverteilung von Lang-Lkw vom Typ 1
- Bild 25: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw vom Typ 1

- Bild 26: Spannungsfeld der Einflussparameter
- Bild 27: Schutzeinrichtungen aus a) Ortbeton sowie b) Stahl gemäß Regelwerk (oben) bzw. im Versuch (unten)
- Bild 28: Konventionelles 38-t-Sattelkraftfahrzeug (oben) und Lang-Lkw-Typ 3 (unten) als Prüffahrzeuge im Vergleich
- Bild 29: Beladungsszenarien der Prüffahrzeuge gemäß DIN EN 1317 (oben) und für Lang-Lkw aus dem Feldversuch (unten) im Vergleich
- Bild 30: Endposition des Lang-Lkw nach Anprall
- Bild 31: Anprallenergie bei verschiedenen Fahrzeugen und Anprallszenarien
- Bild 32: BABSIM (Bundesautobahn Simulator) – Mikroskopisches Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf Straßen
- Bild 33: Bild der Frontkamera (Kamera 1)
- Bild 34: Bilder der Seitenkamera (Kamera 2)
- Bild 35: Vergleich der Bewertungen verschiedener Verkehrssituationen im Einfahrtbereich zwischen Lang-Lkw und Gliederzug
- Bild 36: Nachbildung einer real gemessenen Befahrung einer fiktiven Nothaltebucht mit einem Lang-Lkw vom Typ 3 (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2015); Überstand hier: 1,3 m
- Bild 37: Übersicht von Lösungsansätzen für das Parken von Lang-Lkw (Musterplan Technische Universität Dresden – FGSV 2011 aus LIPPOLD ET AL., 2016)
- Bild 38: Rechtseinbiegen mit Überfahren des Linksabbiegestreifens (LIPPOLD, SCHEMMEL, 2015)
- Bild 39: Prinzip der Messanordnung mit zwei Begleitfahrzeugen bei Arbeitsstellen mit zwei Fahrstreifen in der betrachteten Richtung
- Bild 40: Fahrt eines Lang-Lkw durch eine Überleitung
- Bild 41: Erhebungslayout für den Teilaspekt „Überholvorgänge auf Landstraßen“ am Beispiel des Lang-Lkw der Spedition A (ZIMMERMANN, RIFFEL, ROOS, 2015)
- Bild 42: Beispielbilder der am Lang-Lkw angebrachten Kameras. Links oben Frontkamera, links unten Heckkamera, rechts Seitenkameras (Spedition A)
- Bild 43: Semantisches Differential zum Fahrstil
- Bild 44: Meinungen zur Veränderung der Unfallgefahr für andere Verkehrsteilnehmer durch den Lang-Lkw; getrennt nach Lang-Lkw- und Lkw-Fahrern
- Bild 45: Vergleichende Beurteilung hinsichtlich 10 Fahreigenschaften-/Fahrmanövern (Mittelwerte); Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2
- Bild 46: Vergleichende Beurteilung der ersten 11 Fahrsituationen; Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2. † Datenbasis sehr klein
- Bild 47: Vergleichende Beurteilung der zweiten 11 Fahrsituationen; Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2. † Datenbasis sehr klein
- Bild 48: Die Mittelwerte zum semantischen Differential „Einschätzung Fahrerleben“; Lang-Lkw-Fahrer t1 versus t2

## Tabellen

- Tab. 1: Ermittelte Einsparungen durch den Einsatz von Fahrzeugkombinationen mit Überlänge und bis zu dort 60 t zulässigem Gesamtgewicht gegenüber bisher eingesetzten Fahrzeugen (RAMBERG, 2004)
- Tab. 2: Verkehrsnachfragewirkung der Szenarien (BURG, SCHREMPP, RÖHLING, KLAAS-WISSING, SCHREINER, 2016)
- Tab. 3: Achsabstände in Metern
- Tab. 4: Achslasten in Tonnen
- Tab. 5: Maximal- und Mittelungspegel in dB(A)
- Tab. 6: Anzahl beobachteter Vorbeifahrten an Einfahrten (Anm.: Gliederzug A: gleicher Fahrer, Gliederzug B: andere Fahrer, andere Strecke)
- Tab. 7: Bewertung der Vorbeifahrten an „relevanten“ Einfahrten (Anm.: Gliederzug A: gleicher Fahrer, Gliederzug B: andere Fahrer, andere Strecke)
- Tab. 8: Häufigkeit der Verkehrsführungen der durchfahrenen Arbeitsstellen längerer Dauer in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit
- Tab. 9: Abstände bei Überholvorgängen in Arbeitsstellen auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit schmalen Behelfsfahrestreifen
- Tab. 10: Befragungsbedingungen

# Anhang

## A1 Elemente planfreier Knotenpunkte

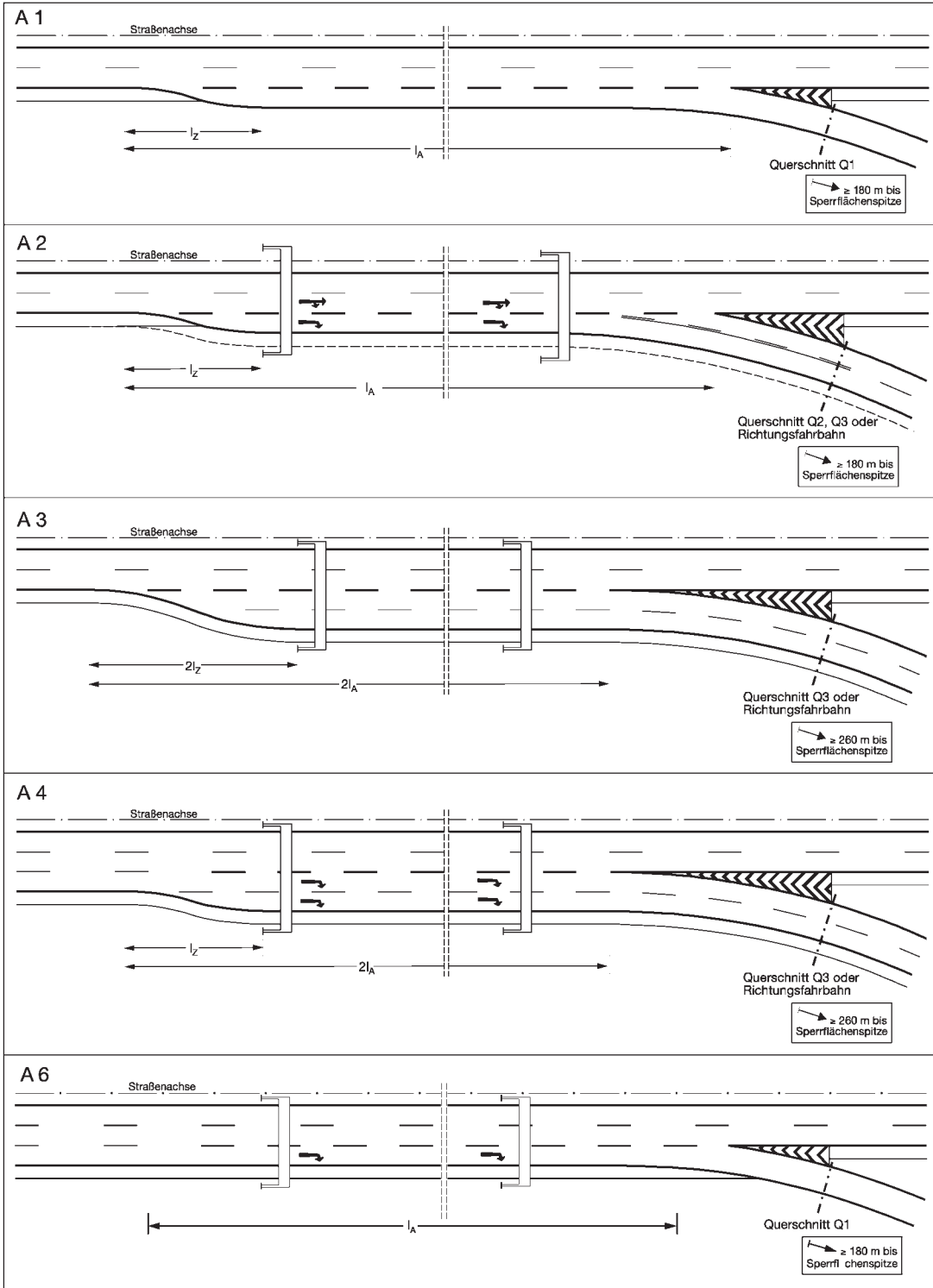


Bild A 1: Ausfahrttypen an Autobahnen gemäß den RAA (FGSV, 2008a)

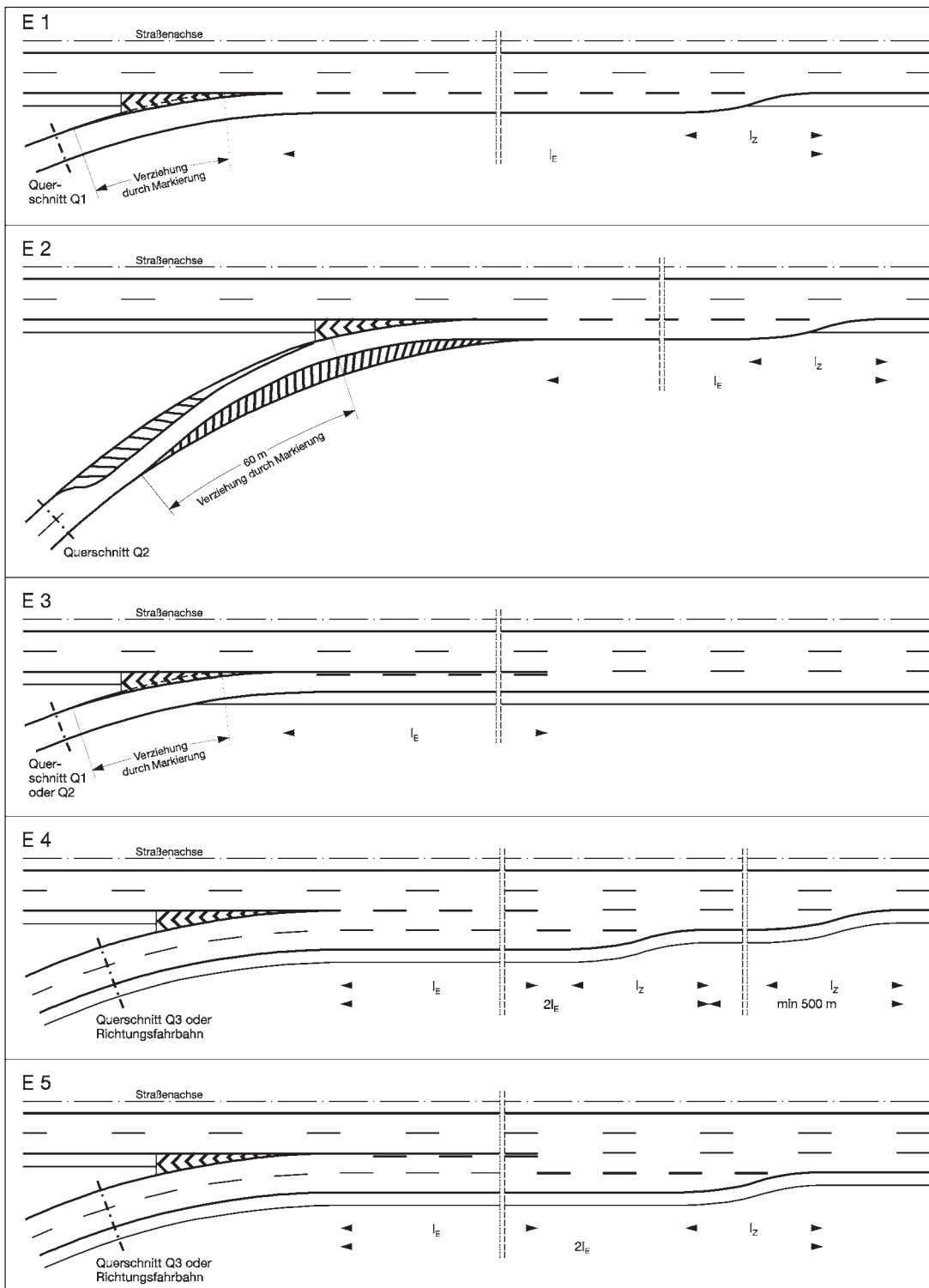


Bild A 2: Einfahrtstypen an Autobahnen gemäß den RAA (FGSV, 2008a)

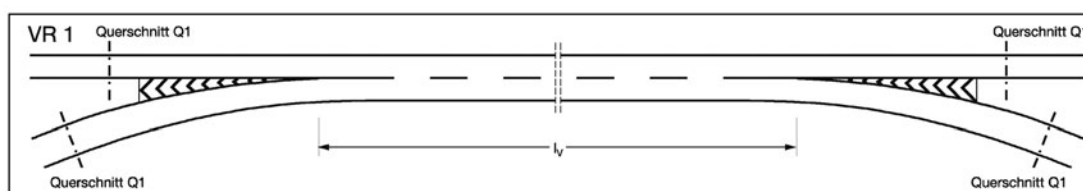


Bild A 3: Verflechtungsstrecke des Typs VR 1 gemäß den RAA (FGSV, 2008a)



## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2015

V 257: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier Hantschel, Otto € 18,00

V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten  
Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00

V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

Geistefeldt, Sievers  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 260: Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst  
Hausmann € 15,50

V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung – Sicherheitsverbesserungen  
Alrutz, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren  
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen  
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00

V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen  
Baier, Hartkopf € 14,50

V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen

Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur

Hegewald, Fürneisen, Tautz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2016

V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften  
Pohle, Maier € 16,50

V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)

Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50

V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur

Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen  
Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00

V 273: Autobahnverzeichnis 2016  
Kühnen € 25,50

V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen  
Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen  
Grah, Skottke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer  
Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen  
Kathmann, Roggendorf, Scotti

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014  
Fitschen, Nordmann € 30,50

V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen  
Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

## 2017

V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren

Maier, Berger, Kollmus € 17,50  
V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen  
Lippold, Veters, Steinert € 19,50

V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemp-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten  
Geistefeldt, Sievers

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz  
Kamptner, Thümmler, Ohmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung  
Kleine, Lehmann € 16,50

- V 287: **Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle**  
Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50
- V 288: **Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf**  
Roos, Zimmermann, Köhler  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 289: **Verkehrsqualität an verkehrsbhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen**  
Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00
- V 290: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung**  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00
- V 291: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50
- V 292: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**  
Burg, Schrempf, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 293: **Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**  
Geistefeldt, Hohmann, Estel  
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50
- V 294: **Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**  
Maibach, Tacke, Kießig € 15,50
- V 295: **Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**  
Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50
- V 296: **Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße**  
Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 297: **Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen**  
Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 298: **Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme**  
Balck, Schüller, Balmberger, Rossol  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 299: **Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**  
Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten**  
Werkenthin, Kluge, Wessolek  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**  
Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**  
Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**  
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50
- V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**  
Fitschen, Nordmann € 31,00  
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: [www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,00
- V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**  
Hartmann, Londong € 16,00
- V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**  
Lippold, Wittig  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**  
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50
- V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**  
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO<sub>2</sub>-Pilotstudie Lärmschutzwand**  
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**  
Wang, Oeser, Steinauer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**  
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

---

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

## 2018