

Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 133

bast

Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung

von

Wolf Uhlig

Uhlig & Wehling, Beratende Ingenieure
Mittweida

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 133

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 FE 04.0290/2015/ERB:

Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung

Fachbetreuung

Andreas Wolf

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

ISSN 0943-9323

ISBN 978-3-95606-451-7

Bergisch Gladbach, April 2019

Kurzfassung – Abstract

Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung

Zur Ermittlung einer Mehr- oder Minderbeanspruchung des Straßenoberbaus durch Lang-Lkw wurde im Rahmen der zweiten Untersuchungsstufe zu dieser Problematik eine Stichprobe von 23.639 Fahrten von Lang-Lkw im Direktverkehr und 463 Fahrten im kombinierten Verkehr analysiert. Die durchschnittliche Fahrzeuggesamtmasse der Lang-Lkw betrug 33,2 t. Ca. 6,5 % der Lang-Lkw fahren überladen, was im Vergleich zum konventionellen Schwerverkehr auf Bundesautobahnen mit ca. 20 % einen relativ niedrigen Anteil darstellt. Im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe wurde die Tendenz zur Reduzierung der Achszahl von Lang-Lkw festgestellt. Die Fahrt eines Lang-Lkw ersetzt ca. 1,5 Fahrten eines äquivalenten konventionellen Lkw. Hinsichtlich der Dimensionierungsparameter nach RStO 12 liefern Lang-Lkw marginal bessere Werte als äquivalente konventionelle Lkw, so dass bei Substitution eines Teils konventioneller Lkw durch Lang-Lkw in der Regel keine Änderung der Belastungsklasse eintreten würde. Das Dimensionierungsverfahren nach RDO Asphalt 09 ergibt bei teilweisem Einsatz von Lang-Lkw innerhalb des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf Bundesautobahnen eine marginale Verlängerung der Regelnutzungsdauer von 30 Jahren um ca. 2 % auf ca. 30,5 Jahre.

Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen grundsätzlich die Resultate der ersten Untersuchung. Der Einsatz von Lang-Lkw bedingt unter Einhaltung der im Feldversuch definierten fahrzeugtechnischen Vorgaben und zulässigen Grenzwerte für Fahrzeuggesamtgewichte und Achslasten keine Mehrbeanspruchung des Oberbaus von Straßen. Die rechnerisch ermittelte Minderbeanspruchung des Oberbaus im Vergleich zu konventionellen Lkw hat nur marginale Bedeutung und würde sich somit in der Praxis kaum spürbar auf die Nutzungsdauer der Straßen auswirken. Bei weiterer Reduzierung der mittleren Achszahl von Lang-Lkw würde sich die Beanspruchung des Straßenoberbaus durch Lang-Lkw jedoch signifikant erhöhen.

Impact of longer trucks on road infrastructure – Level 2: Clearance recovery

To determine an increase or decrease of stress on the pavement construction caused by longer trucks a sample of 23639 trips of direct trade and 463 trips of combined trade was analyzed. The average total mass of longer trucks was 33.2 t. Approximately 6.5 % of the longer trucks drove overloaded. The level of overloading had a maximum of 13.9 t. The maximum axle load was 15.0 t.

The axle load distribution of longer trucks type 2 to 5 in combined trade has a lower level than of longer trucks in direct trade. Longer trucks type 1 are being used only in direct trade. Compared to conventional trucks the number of equivalent 10-t-axes of longer trucks type 2 to 5 is lower by 28 % and is lower by 57 % for longer trucks type 1. The mean axle factor f_A of longer trucks in direct trade is 6.98 and in combined trade is 7.41. Longer trucks type 1 are being used only with five axles. One ride on a longer truck replaces mathematically about one and a half trips with a conventional truck.

With an increasing percentage of longer trucks, regarding to the total collective of heavy traffic, there is relatively small decrease of the B-number of RStO 12 and this decrease would not normally lead to a change to the next lower load class.

In dimensioning, according to the RDO Asphalt 09, the usage of longer trucks leads to a slightly lower fatigue status at the end of a 30-year service life of the road pavement, which would marginally extend the period of use.

The usage of longer trucks, complying with the technical specifications and permissible limits for total vehicle and axle weights of the defined field tests, does not cause more stress to the pavement construction.

The computationally observed decrease of stress of the pavement construction compared to conventional trucks has only marginal importance and therefore it has a hardly noticeable impact in practice on the service life of the street.

Summary

Impact of longer trucks on road infrastructure – Level 2: Clearance recovery

1 Objectives

The research project represents the second stage investigation after the first investigation finished in 2014 [UHL 2014]. The results obtained are updated based on a current, comprehensive data collection, supplemented and analyzed. The aim of the research project is to make an estimation of pavement loads using data obtained from in-situ tests with longer trucks in comparison with conventional vehicles of the heavy traffic category. This will be used to draw conclusions of the over- or under-stressed conditions that pavement structures are subjected due to the traffic of longer trucks.

2 Methodology

The work of the research project includes extensive data collection with the help of transport companies that participate in in-situ tests, analysis of vehicle and transport data and comparative calculations of the pavement response resulting from longer and conventional trucks. The work is divided as follows:

1. Data collection
2. Data base creation
3. Plausibility check
4. Data adjustment, Check of data that exceed the maximum permissible values
5. Analysis of data from longer trucks regarding road construction technical criteria
6. Determination of the equivalent conventional truck collective
7. Determination of the equivalent traffic volume of the conventional truck collective
8. Comparative analysis of the haulage capacity
9. Comparative analysis of the load/stress levels according to RStO 12 [FGSV 2012] and RDO Asphalt 09 [FGSV 2009]

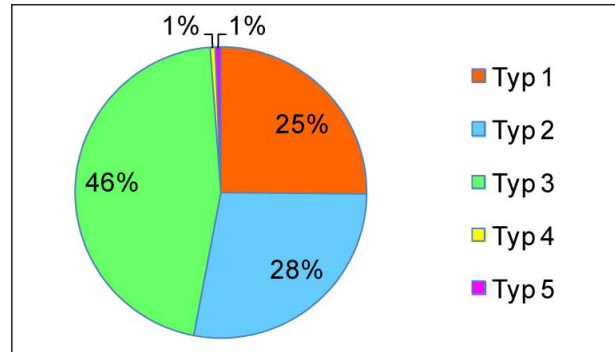


Fig. 1: Distribution of the types of longer trucks

3 Survey data

The survey period extended from 01.09.2015 to 31.03.2016. From 47 freight companies, 24497 axle load records of longer trucks were documented. Therefore, it represents only a sample of the total collective of deployed longer trucks. As a result of the plausibility check, a useful data base of 23639 records in direct transport (= 98 %) and 463 records in combined traffic (= 2 %) was obtained. The total amount of 24102 records correspond to 98 % of the total data provided by the freight companies and its distribution is shown in Fig. 1. In combined traffic only longer trucks of the types 2 and 4 were used.

The random check of the survey records by comparison with documented data from a stationary axle load measuring stations did not reveal significant differences.

Because of the legal and vehicle-technical peculiarities only longer trucks of type 1 are regarded.

4 Test results of longer trucks of the types 2 to 5

4.1 Gross mass of longer trucks and data check of values exceeding traffic regulation limits (StVZO)

The gross mass distribution of longer trucks in direct and combined transport is shown in Fig. 2 and Fig. 3 respectively. Trucks in combined traffic were deployed by three companies. The maximum calcu-

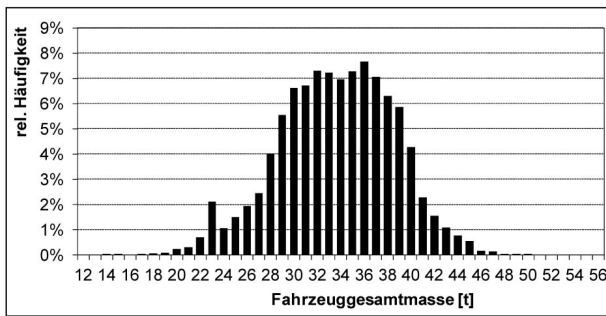


Fig. 2: Distribution of the total masses of longer trucks of the types 2 to 5 in direct transport

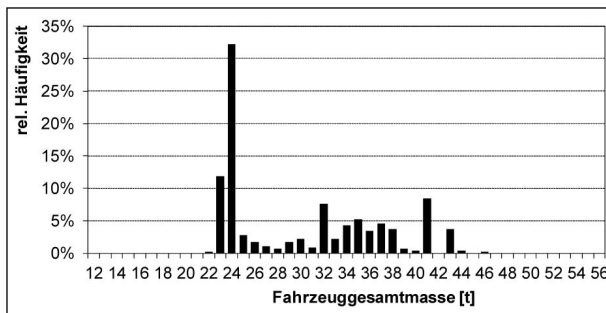


Fig. 3: Distribution of the total masses of longer trucks of the types 2 to 5 in combined traffic

lated gross mass of longer trucks was 53.9 t in direct transport.

It is observable that the gross mass of longer trucks is relatively low. In direct transport the average mass is 33.2 t and the standard deviation is 5.0 t. The level of gross mass in combined traffic is lower than the level of the direct transport. Based on the permissible total mass of the vehicles there is an average load percentage of 83 % in direct transport and 67 % in the combined traffic. On the assumption that the load volume of the vehicles is usually fully used, the transported goods of longer trucks are in principle comparatively light.

The permissible total vehicle mass, according to the § StVZO [StVZO 2013], of vehicle combinations with more than 4 axles is 40 t, and of vehicle combinations in combined traffic 44 t. In direct traffic 6,6 % and in combined transport 0,2 % of the vehicles are driven overloaded. For all longer trucks there is an overall result in overloading of 6,5 %, which is significantly lower than the value for conventional heavy traffic on highways.

The level of overloading of longer trucks in direct transport is for 96 % at ≤ 6 t. In combined traffic only one overloading with 2 t was ascertained. The half of all overloadings are distributed on 3 of 47 com-

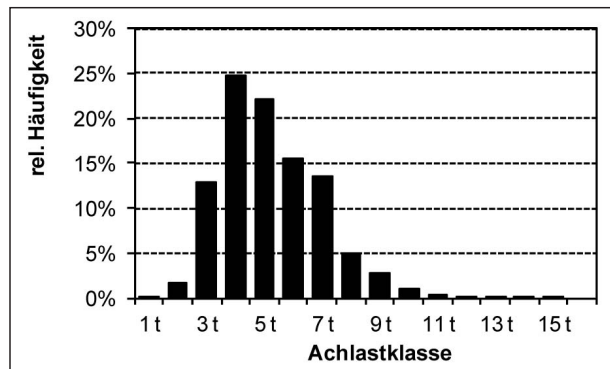


Fig. 4: Axle load distribution of longer trucks types 2 to 5 in direct transport

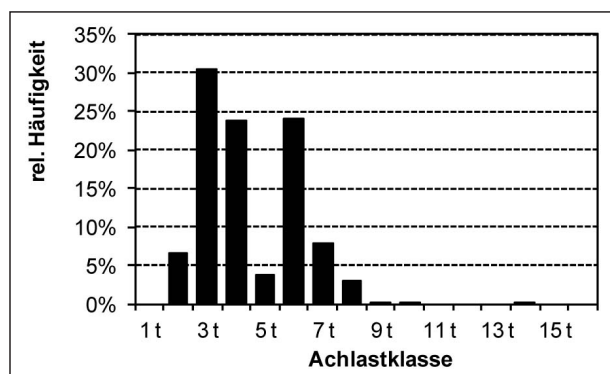


Fig. 5: Axle load distribution of longer trucks types 2 to 5 in combined transport

panies. An exceeding of axle loads occurs in 154 cases, what represents 0.85 % of all trips. 73 % of this exceedings caused by axis number 2 and the maximum axle load was 15.0 t.

4.2 Axle load distribution of longer trucks

The bar chart in Fig. 4 shows the relative distribution of axle load classes for longer trucks in direct transport, characterized by a maximum in axle load class 4 t, based on a logarithmic and normal distributed scaled function. The distribution of the documented axle loads of longer trucks in combined transport referred in Fig. 5 shows a maximum in axle load class 3 t, a local minimum in axle load class 5 t and comparatively small frequencies in the upper axle load classes ≥ 7 t.

The comparison of both distributions shows the necessity of principle different approaches for longer trucks in direct transport and longer trucks in combined transport. Due to the comparison of the graphs, it can be assumed that longer trucks in combined transport have in general, a lower axle load level than longer trucks in direct transport.

Based on the axle load distribution of conventional trucks, according to attachment 1 referring to RDO Asphalt 09 [FGSV 2009], it can be assumed that the axle load level of a longer trucks is a subset of equivalent conventional trucks, which is included in the lower axle load distribution within the total truck collective.









4.3 Authority values for the dimensioning process according to RStO 12 [FGSV 2012] for longer trucks

Based on the documented vehicle data for longer trucks the axle load coefficient f_A in direct transport is $f_A = 6,98$ and in combined transport $f_A = 7,41$. Referred to the average number of equivalent 10-t-axle transitions per day (EDTA^(SV)) and identical boundary conditions and values according to RStO 12 [FGSV 2012], it can be calculated to show an increased value for longer trucks in direct transport by 62 % compared to longer trucks in combined transport.

4.4 Equivalent conventional truck collective

An equivalent conventional truck collective was defined to realize the same transport service as documented longer trucks transports, based on the interviews of the involved companies. As a result the 8 different truck types shown in Tabelle 1 according to the TLS 2012 [BAST 2012] were calculated as equivalent conventional trucks, whereas type 98 is mostly represented with 52 % in direct transport and 87 % in combined transport

The number of equivalent conventional trucks is calculated as a ratio of the transport volume of longer trucks to transport volume of conventional trucks. Using one longer trucks induced the service of 1.28 to 1.88 equivalent conventional trucks depending on the vehicle types. As a result, the factor of traffic

| Typ | Symbol | Typ | Symbol |
|-----|---|-----|---|
| 32 |  | 42 |  |
| 33 |  | 96 |  |
| 34 |  | 97 |  |
| 41 |  | 98 |  |

Tab. 1: Equivalent conventional trucks

density in direct transport amounts to $f_{DTVSV} = 1.52$ and $f_{DTVSV} = 1.50$ for combined transport. The number of axle transitions increases by 1 % by using longer trucks.

4.5 Comparison between axle load collectives of longer trucks and equivalent conventional trucks

The investigation of the axle load collective for equivalent conventional trucks includes the calculated distribution of longer trucks loads at equivalent conventional trucks and the following calculation and classification of the resulted axle loads. According to Fig. 6 the level of axle load classes of longer trucks higher than 9 t in direct transport is higher than the level of axle load classes of conventional trucks. In axle load class 7 t conventional trucks have considerably higher rates. Their distribution function shows a bimodal run with a local maximum in axle load classes 4 t and 7 t. Fig. 7 shows the bimodal functions of both distributions in combined transport and the significantly higher rates of axle loads in axle load class of 7 t und 9 t using conventional trucks.

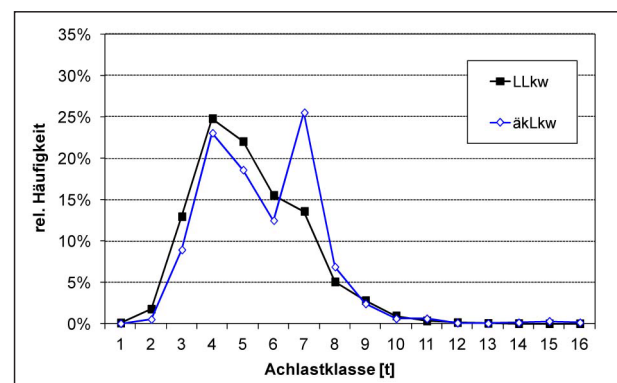


Fig. 6: Axle load distribution of longer trucks types 2 to 5 and equivalent conventional trucks in direct transport

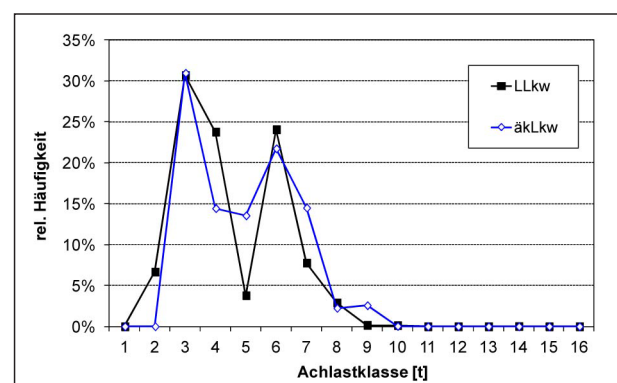


Fig. 7: Axle load distribution of longer trucks types 2 and 4 and equivalent conventional trucks in combined transport

| Direktverkehr | | kombinierter Verkehr | |
|---------------|-------|----------------------|-------|
| LLkw | äkLkw | LLkw | äkLkw |
| 72% | 100% | 72% | 100% |

Tab. 2: Relationship of the equivalent 10-t-axle transitions number EDTA^(SV) of longer trucks and associated conventional trucks

Analyzing the company related axle load distribution shows a partly significant difference, mainly by the longer trucks with 9 axles total and a triple axle at the truck (the only one in the field test) whereas a lower axle load level resulted in using conventional trucks.

4.6 Influences of longer trucks and conventional trucks on pavements according to RStO 12 [FGSV 2012]

The comparison of the calculation results for EDTA^(SV) in Tab. 2 shows that the number of the equivalent 10-t-axle transitions for longer trucks is smaller by 28 % each than its associated conventional trucks.

4.7 Loading impact of the total collective of heavy traffic category on the pavement under longer trucks

4.7.1 Definition of axle load collectives

The stress levels of a pavement during the use of longer trucks were analyzed on the basis of a comparison of the stress within the axle load collective BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport according to RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] and BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport with longer trucks. The reference collective BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport with longer trucks was specified by arithmetic substitution of a part of conventional trucks with longer trucks. By reference to the results of subproject FE 89.0273, the comparative calculations were done for three different percentages of longer trucks - 2 %, 5 % and 9 % of the entire appearance of BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport. The calculation of the resulting axle load collectives offers a slight offset of the relative percentage towards the lower axle load classes up to 6 t during increasing longer truck percentage.

4.7.2 Comparative Analysis of stress impact on pavements according to RStO 12 [FGSV 2012]

The dimension relevant stress B was calculated under the terms of Appendix 2, Example 1 of the RStO 12 [FGSV 2012] using constant coefficients. Due to

| Kenngröße | BAB Fernverkehr | BAB Fernverkehr LLkw | | |
|----------------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------|
| | | LLkw | äkLkw | LLkw |
| Anteil LLkw | 0% | 2% | 5% | 9% |
| f _A | 4,50 | 4,55 | 4,61 | 4,70 |
| DTV ^(SV) | 1.000 | 988 | 973 | 952 |
| EDTA ^(SV) | 2.084 | 2.073 | 2.054 | 2.031 |
| B-Zahl | 36,92 Mio | 36,72 Mio | 36,39 Mio | 35,98 Mio |
| Verhältnis | 100,00 % | 99,46 % | 98,56 % | 97,45 % |

Tab. 3: Results of the comparative calculations according to RStO 12 [FGSV 2012] for BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport without and with longer trucks

the proportionality to the B-Value, the relation between the reference variations is the same as for BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport without longer trucks irrespective of the initial value of the DTV(SV). The results show that all truck collectives with longer trucks have slightly lower B-Values in comparison to the reference collective with longer trucks. The difference is marginal and is less than 3 % according to Tabelle 3. With an increasing amount of longer trucks a slight increase of reduction of the B-Value occurs. With the same relation like the B-Value the number of equivalent 10-t-Axles EDTA(SV) appears.

Due to the calculation results it can be assumed that there is no impact of loading class with regard to longer trucks with the determined amount of up to 9 % concerning the whole heavy traffic BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport. No impact on the design of a pavement concerning RStO 12 [FGSV 2012] will be caused.

4.7.3 Comparative Analysis of stress impact on pavements according to RDO Asphalt 09 [FGSV 2009]

The Evaluation of the stress impact of longer trucks according RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] by means of calculative design was done using TISAD [TU Dresden 2013] so a direct comparison of the fatigue status at the end of service life and the predicted service life at 100 % fatigue status for BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport with and without longer trucks could be done. Considering the authorised network for longer trucks (listed roads) which

| Bel.- klasse | Kriterium | BAB-Fernverkehr | | | |
|-----------------|-------------------------|-----------------|---------|---------|---------|
| | | LLkw 0% | LLkw 2% | LLkw 5% | LLkw 9% |
| Bk100 | EST _{ND30} [%] | 100,00 | 99,66 | 98,65 | 97,43 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,00 | 30,07 | 30,27 | 30,52 |
| Bk32 | EST _{ND30} [%] | 100,00 | 99,55 | 98,53 | 97,33 |
| | ND [Jahre] [%] | 100,00 | 100,23 | 100,90 | 101,73 |
| Bk10 | EST _{ND30} [%] | 100,00 | 99,40 | 98,37 | 97,30 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,00 | 30,12 | 30,33 | 30,54 |
| | | 100,00 | 100,40 | 101,10 | 101,80 |

EST_{ND30} = Ermüdungsstatus bei Nutzungsdauer 30 Jahre
ND = Nutzungsdauer bei 100% Ermüdungsstatus

Tab. 4: Results of the comparative calculations according to RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] for BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport without and with longer trucks

is the result of in-situ tests, calculations were done for the constructions of the loading classes Bk 100, Bk 32 and Bk 10 concerning RStO 12 [FGSV 2012]. The results of the truck collective, BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity transport (percentage longer trucks 0 %) of Tab. 4, were the evaluation and reference value for the comparative analysis of the stress impact of longer trucks.

At the end of the service life (30 years) a slightly lower fatigue status, EST_{ND30}, was estimated by replacing a part of vehicles of BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport with longer trucks. The fatigue status was reduced to 97.30 % for decreasing loading classes and a higher longer truck percentage. The predicted service life, ND, of the pavement up to a fatigue status of 100 % (calculated limit for failure) increase marginal for loading with longer trucks will go up to 30.54 years in comparison to a service life of 30.00 years for loading only with conventional truck of BAB (HIGHWAY TRAFFIC) Intercity Transport. This is a service life extension of approximately 1.8 % at a calculated market potential of more than 9 % [BURG 2015].

5 Investigation results of longer trucks of type 1

Longer trucks of type 1 are vehicles of type 98 according to TLS 2012 [BASt 2012] where the trailer is 1.30 m longer (see Tab. 1). Among the 6,061 rides only 6 exceedings of permissible limits according to the StVZO [StVZO 2013] were observed. The maximum total vehicle mass was 44.0 t and the

maximum axle load was 13.0 t. According to the companies 5 various equivalent vehicle types are considered (types 33, 41, 42, 96, 98), where type 96 has held the largest percentage. Out of that results loading volume ratio factors of longer trucks to conventional trucks from 0.97 to 1.13. Therefore, the traffic factor f_{DTVSV} (number of rides of equivalent conventional trucks for 1 ride of a longer) is 1.07. The number of axle transitions is 24 % higher than of conventional trucks. Due to the relatively high percentage of equivalent conventional trucks with less than 5 axles, the level of their axle loads is higher than of longer trucks. The result is an approximately 3 % lower load factor for the heavy traffic collective Intercity Transport with longer trucks of 25 % in comparison to the collective without longer trucks. The calculated service life increases with longer truck percentage to a maximum of 30.6 years in comparison to a service life of 30.00 years for loading only with conventional truck of Intercity Transport. This is a service life extension of approximately 2 %.

6 Conclusion

Compared to the first study stage [UHL 2014] a much larger data base with all longer truck types used in the field trial was documented. It appeared that now a number of vehicles with less than 7 or 8 axes are used within the types 2 and 3. These longer trucks replace at the same time equivalent conventional trucks, which also have a small number of axles (3 or 4) and thus induce a relatively high stress potential in the pavement construction. This tends to confirm the comparison results from [UHL 2014]. The usage of longer trucks, according the defined vehicle technical specifications (f.e. axle configuration) and allowed limits (f.e. vehicle total mass, axle loads) of the field test, does not entail more stress on the pavement construction. The computationally observed under-stress of the construction in comparison to conventional trucks only got marginal importance and its got a hardly noticeable impact in practice on the life of the streets. Therefore possibly higher percentages of longer trucks on the total collective of heavy traffic would be assessed more positively. Between the longer trucks used in the field test exist significant differences in the stress effect on the pavement construction. The reason is especially the axle load of the drive axle, which got more favorable conditions, if it is a part of a multiple axle than of a single axle. The base of this test results is a sample, which was collected as part of the field test, of axle loads of longer trucks, which was compiled

from handwritten documentation of the companies. For further operation of longer trucks is recommended that axle load controls with automated systems and data storage.

References

- [BASt 2012] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, TLS 2012, Bergisch-Gladbach 2012
- [BURG 2015] BURG, R., RÖHLING, W.: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenermittlung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 248, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2015
- [FGSV 2009] Richtlinien zur rechnerischen Dimensionierung von Oberbauten für Verkehrsflächen mit Asphaltdecke, RDO Asphalt 09, Köln 2009
- [FGSV 2012] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO 12, Köln 2012
- [StVZO 2013] StVZO Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, 51. Ergänzungslieferung, Stand 1. Februar 2013, erschienen März 2013, KIRSCHBAUM VERLAG BONN
- [TU Dresden 2013] Test Interpretation, Structural Analysis and Design Tool for Pavements, Version V1.7, Dresden, 2013
- [UHL 2014] UHLIG, W., WELLNER F.: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 254, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2014

Inhalt

| | | | | | |
|----------|---|----|----------|---|----|
| 1 | Einleitung | 13 | 5.2.2 | Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge EDTA(SV) | 27 |
| 1.1 | Stand von Wissenschaft und Technik. | 13 | 6 | Ermittlung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs | 27 |
| 1.2 | Zielstellung | 14 | 6.1 | Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen. | 27 |
| 1.3 | Wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Bedeutung | 14 | 6.2 | Anzahl äquivalenter konventioneller Fahrzeuge | 28 |
| 1.4 | Methodisches Vorgehen. | 14 | 6.3 | Äquivalente Verkehrsstärke und Achsübergänge konventioneller Fahrzeuge | 28 |
| 2 | Datenerhebung | 16 | 6.4 | Analyse der äquivalenten Fahrzeugkollektive. | 29 |
| 2.1 | Modifizierung von Erhebungsfomularen | 16 | 7 | Äquivalentes Achslastkollektiv konventioneller Fahrzeuge | 30 |
| 2.2 | Zusammenstellung relevanter Erhebungskriterien | 16 | 7.1 | Berechnung des äquivalenten Achslastkollektivs | 30 |
| 2.3 | Erhebungsumfang | 17 | 7.2 | Vergleichende Analyse der Achslastkollektive | 31 |
| 2.4 | Erhebungszeitraum | 17 | 8 | Vergleichende Analyse des Belastungs-/ Beanspruchungsniveaus der Fahrbahnbefestigung | 33 |
| 2.5 | Datenstruktur | 17 | 8.1 | Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und konventionellen Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]. | 33 |
| 2.6 | Qualität der dokumentierten Achslastdaten. | 17 | 8.1.1 | Grundlagen. | 33 |
| 3 | Plausibilitätsanalyse und Datenabgleich | 18 | 8.1.2 | Achszahlfaktor f_A | 33 |
| 3.1 | Plausibilitätsanalyse des Datenbestandes | 18 | 8.1.3 | Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge. | 33 |
| 3.2 | Datenabgleich mit Messstellen an Bundesautobahnen | 18 | 8.2 | Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf die Straßenbefestigung bei Einsatz von Lang-Lkw | 34 |
| 3.3 | Struktur der Datenbasis | 19 | 8.2.1 | Grundlagen. | 34 |
| 4 | Prüfung auf Grenzwertüberschreitung 21 | | 8.2.2 | Definition der Achslastkollektive | 34 |
| 4.1 | Datenabgleich Fahrzeuggesamtmasse mit Grenzwerten nach § 34 StVZO. | 21 | | | |
| 4.2 | Datenabgleich Fahrzeugmodule und Achslasten mit den Grenzwerten nach § 34 StVZO | 23 | | | |
| 5 | Datenanalyse hinsichtlich straßenbautechnischer Kriterien | 25 | | | |
| 5.1 | Analyse der Achslastverteilung. | 25 | | | |
| 5.2 | Ermittlung dimensionierungsrelevanter Kenngrößen nach den RStO 12 | 26 | | | |
| 5.2.1 | Grundlagen. | 26 | | | |

| | | | | | |
|----------|---|-----------|---------------------------|---|-----------|
| 8.2.3 | Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Schwerverkehr mit und ohne Lang-Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]. | 34 | 9.6.1 | Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw Typ 1 und konventionellen Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]. | 41 |
| 8.2.4 | Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Schwerverkehr mit und ohne Lang-Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009]. | 35 | 9.6.2 | Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf die Straßenbefestigung bei Einsatz von Lang-Lkw Typ 1 | 42 |
| 9 | Lang-Lkw Typ 1 | 37 | 10 | Zusammenfassung. | 45 |
| 9.1 | Allgemeines | 37 | 10.1 | Lang-Lkw Typ 1 bis 5 | 45 |
| 9.2 | Prüfung auf Grenzwertüberschreitung | 37 | 10.2 | Lang-Lkw Typ 2 bis Typ 5 | 45 |
| 9.2.1 | Datenabgleich Fahrzeuggesamtmasse mit Grenzwerten nach § 34 StVZO. | 37 | 10.3 | Lang-Lkw Typ 1 | 48 |
| 9.2.2 | Datenabgleich Fahrzeugmodule und Achslasten mit den Grenzwerten nach § 34 StVZO | 38 | Literatur. | 50 | |
| 9.3 | Datenanalyse hinsichtlich straßenbautechnischer Kriterien | 38 | Bilder | 50 | |
| 9.3.1 | Analyse der Achslastverteilung. | 38 | Tabellen | 51 | |
| 9.3.2 | Ermittlung dimensionierungsrelevanter Kenngrößen nach den RStO 12 | 38 | | | |
| 9.4 | Ermittlung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs | 39 | | | |
| 9.4.1 | Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen. | 39 | | | |
| 9.4.2 | Anzahl äquivalenter konventioneller Fahrzeuge | 39 | | | |
| 9.4.3 | Äquivalente Verkehrsstärke und Achsübergänge konventioneller Fahrzeuge | 40 | | | |
| 9.4.4 | Analyse der äquivalenten Fahrzeugkollektive. | 40 | | | |
| 9.5 | Äquivalentes Achslastkollektiv konventioneller Fahrzeuge. | 40 | | | |
| 9.5.1 | Berechnung des äquivalenten Achslastkollektivs | 40 | | | |
| 9.5.2 | Vergleichende Analyse der Achslastkollektive | 41 | | | |
| 9.6 | Vergleichende Analyse des Belastungs-/ Beanspruchungsniveaus der Fahrbahnbefestigung | 41 | | | |

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:
<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einleitung

Am 01. Januar 2012 startete in Deutschland ein fünfjähriger Feldversuch mit Lang-Lkw. Den rechtlichen Hintergrund bilden die Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusV) vom 19.12.2011 sowie sechs Änderungsverordnungen vom 05.07.2012, 08.02.2013, 17.09.2013, 26.08.2014, 15.07.2015 und 29.04.2016.

Seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wird der Feldversuch mit einer Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen begleitet, die zum Großteil durch externe Forschungsnehmer ausgeführt werden. Die wissenschaftliche Begleitung des Feldversuches gliedert sich in verschiedene Untersuchungsphasen [BASt 2012.1]:

1. Phase: Anlaufphase
2. Phase: Datenerhebungsphase
3. Phase: Analysephase
4. Phase: Abschlussphase

Bestandteil des wissenschaftlichen Begleitprogrammes ist unter anderen auch das im vorliegenden Bericht untersuchte Thema zur Auswirkung der Lang-Lkw auf die Beanspruchung der Straßeninfrastruktur. Im Fokus der Untersuchungen stehen hier die Auswirkungen der Beanspruchungen des Oberbaues von Straßen durch Lang-Lkw.

Im Rahmen der 3. Phase wurden im Forschungsprojekt FE 04.0254/2011/ERB bereits entsprechende Datenerhebungen und Analysen durchgeführt und dokumentiert [UHL 2014].

Im Zuge der 4. Phase werden mit dem vorliegenden Forschungsprojekt eine Nacherhebung von Achslastdaten sowie deren Analyse analog zu [UHL 2014] realisiert.

1.1 Stand von Wissenschaft und Technik

Der Feldversuch mit Lang-Lkw stellt eine neuartige, bis dato noch nie realisierte Untersuchungsreihe dar. Zur Fragestellung der Auswirkungen der Belastung von Lang-Lkw auf die Infrastruktur sind

fachliche Aspekte der Dimensionierung des Straßenoberbaues, die Zusammensetzung des dafür maßgeblichen Achslastkollektives sowie die Gegenüberstellung äquivalenter Fahrzeugkollektive konventioneller Lkw und Lang-Lkw von Bedeutung.

Lang-Lkw können gemäß Bild 1 in fünf grundsätzlich verschiedene Fahrzeugtypen eingeteilt werden [BASt 2012.1].

Die Fahrzeuglänge von Lang-Lkw darf maximal 25,25 m betragen, Achslasten und Gesamtgewichte unterliegen den Bestimmungen der Straßenverkehrs-Zulassung-Ordnung (StVZO) [StVZO 2013]. Demnach dürfen die betreffenden Fahrzeuge und Ladungsträger das zulässige Gesamtgewicht von 40 Tonnen bzw. 44 Tonnen im kombinierten Verkehr nicht überschreiten. Nicht erlaubt ist der Transport flüssiger Massengüter in Großtanks sowie von kennzeichnungspflichtigem Gefahrgut. Der Einsatz von Lang-Lkw der Typen 2 bis 5 ist ausschließlich auf den in der LKWÜberlStVAusV ausgewiesenen

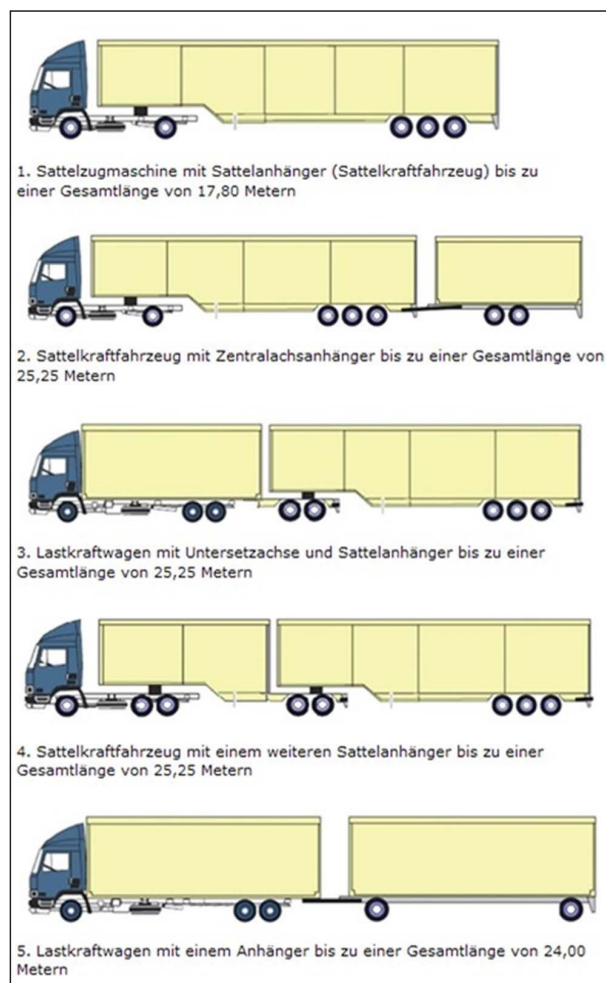


Bild 1: Mögliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge [BASt 2012.1]

Strecken – vorwiegend im Bundesfernstraßennetz - zulässig. Lang-Lkw vom Typ 1 dürfen in den in § 2 Abs. 2 der AusnahmeVO genannten Bundesländern das gesamte Streckennetz nutzen.

Betreffend der Zusammensetzung und des aus den Fahrzeugen des herkömmlichen, konventionellen Schwerverkehrs hervorgehenden Beanspruchungsniveaus der Straßenbefestigungen liegen bereits mehrere Untersuchungen vor. Auf der Grundlage von Achslastmessungen auf Bundesautobahnen wurden umfangreiche Analysen zum methodischen Vorgehen, zur Genauigkeit der Messsysteme, zu Ergebnissen der Datenauswertung sowie zur Entwicklung entsprechender Datenbanken und Prognosemodelle für das Autobahnnetz durchgeführt [WOLF 2000], [WOLF 2010]. Es zeigt sich, dass aufgrund der zeitlich nur langsam voranschreitenden Veränderung ökonomischer Prozesse eine zeitlich stabile Transportnachfrage generiert wird. Daraus entwickelte sich eine wirtschaftlich weitestgehend optimierte Fahrzeugflotte, deren Zusammensetzung ebenfalls nur langsamen Veränderungen unterliegt (Anlage 1). Insofern erfolgt die rechnerische Transformation der Transportleistung von Lang-Lkw auf äquivalente Fahrzeuge des konventionellen Schwerverkehrs auf der Grundlage einer breiten Datenbasis, die um aktuelle Messergebnisse im Rahmen des Feldversuchs ergänzt wird.

Hinsichtlich vergleichender Dimensionierungsrechnungen können weiterhin die in den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] ausgewiesenen Häufigkeiten von Achslastklassen herangezogen werden (Anlage 2).

1.2 Zielstellung

Ziel des Forschungsprojekts ist es, aus den Informationen des Feldversuchs mit Lang-Lkw eine Abschätzung der Straßenbelastung im Vergleich zur Nutzung konventioneller Fahrzeuge des Schwerverkehrs vorzunehmen, um daraus Schlussfolgerungen hinsichtlich einer Mehr- oder Minderbeanspruchung des Straßenoberbaus durch Lang-Lkw ziehen zu können.

Die Ergebnisse sollen im Weiteren denen von [UHL 2014] gegenübergestellt und entsprechende Aussagen hinsichtlich der Auswirkung von mittlerweile stattgefundenen Entwicklungen veränderter Fahrzeugkonfigurationen getroffen werden. Zudem sind erstmalige Analyseergebnisse zu den Fahrzeug-

kombinationen Typ 1 und Typ 5 gemäß § 3 LK-WÜberStVAusV zu erwarten, die im Rahmen der Datenerhebung zur ersten Untersuchungsperiode [UHL 2014] noch nicht dokumentiert werden konnten.

1.3 Wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Bedeutung

Die wissenschaftliche Bedeutung des Forschungsprojekts liegt vorrangig im neuen Erkenntnisstand zur Auswirkung der Belastung durch Lang-Lkw auf den Oberbau von Verkehrsflächen. Damit können unter anderem Rückschlüsse auf gegebenenfalls besondere konstruktive Anforderungen hinsichtlich des Schichtenaufbaus neuer Fahrbahnen, auf die Beeinflussung der Nutzungsdauer vorhandener Straßen sowie auf entsprechende Prozesse im Rahmen von Pavement-Management-Systemen gezogen werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den Einsatz von Lang-Lkw einer weitreichenden, vergleichenden Betrachtung mit äquivalenten konventionellen Lkw zu unterziehen.

Auf der Grundlage der Analyseergebnisse können wichtige Aussagen betreffend der volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Einsatzes von Lang-Lkw getroffen werden, die sowohl einen gegebenenfalls veränderten Investitionsbedarf für Bau und Erhaltung der Straßeninfrastruktur als auch die Einflüsse auf Verkehr und Umwelt quantifizieren.

Aus vergleichenden Betrachtungen zu den Ergebnissen in [UHL 2014] lassen sich grundsätzliche Aussagen zur Beanspruchungswirkung bestimmter Fahrzeugkonfigurationen von Lang-Lkw auf den Oberbau von Straßen treffen. Diese Erkenntnisse können Grundlage der Bestimmung gegebenenfalls notwendiger Grenzwerte fahrzeugtechnischer Eigenschaften von Lang-Lkw sein.

1.4 Methodisches Vorgehen

Die Bearbeitung des Forschungsprojektes beinhaltet umfangreiche Datenerhebungen mit Hilfe der am Feldversuch teilnehmenden Transportunternehmen, die Analyse der Fahrzeug- und Transportdaten sowie Vergleichsberechnungen hinsichtlich der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und konventionellen Lkw auf den Befestigungsaufbau von Straßen. Der Bearbeitungsprozess untergliedert sich in die nachfolgend aufgeführten Arbeitsschritte.

1. Datenerhebung

Ausgehend von der Zielstellung des Forschungsprojekts sowie in Anlehnung an [UHL 2014] wird eine Zusammenstellung aller notwendigen Kriterien mit Relevanz zur Beurteilung der Straßenbelastung/-beanspruchung erarbeitet. Hierzu werden entsprechende, bereits in [UHL 2014] genutzte Datenerhebungsbögen zum Feldversuch überprüft und modifiziert. Aufgrund des nunmehr deutlich größeren Erhebungsumfangs werden tabellarisch angeordnete Datenfelder vorgesehen, so dass ca. 20 Fahrten pro Erhebungsformular dokumentiert werden können.

2. Erstellung einer Datenbank

Alle zur Bearbeitung der Projektaufgabe relevanten Daten werden fahrzeugbezogen von den Datenerhebungsbögen in eine entsprechend strukturierte Datenbank übernommen.

3. Plausibilitätskontrolle

Der gesamte Datenbestand wird einer umfassenden Plausibilitätsprüfung unterzogen mit Analyse der Daten auf Einhaltung technisch realisierbarer Wertebereiche und logische Kohärenzen.

4. Datenabgleich, Prüfung auf Grenzwertüberschreitungen

Auf der Grundlage von Datenvergleichen zu Achslast-Messstellen an Bundesautobahnen wird eine stichprobenartige Kontrolle der Angaben aus den Erhebungsbögen durchgeführt. Unter Beachtung der konstruktiven Besonderheiten von Lang-Lkw werden die Daten weiterhin auf Überschreitung gesetzlich zulässiger Grenzwerte für Gesamtgewicht und Achslast nach § 34 StVZO geprüft.

5. Datenanalyse hinsichtlich straßenbautechnischer Kriterien

Auf der Grundlage des Datenbestandes wird das Achslastkollektiv der Lang-Lkw ermittelt und durch dimensionierungsrelevante Kenngrößen wie Achszahlfaktor und durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge nach den RStO 12 [FGSV 2012] charakterisiert.

6. Ermittlung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektives

Basierend auf der Analyse der Erhebungsdaten betreffend Ladungsinhalt, Beladungsgrad und Gesamtgewicht der Lang-Lkw wird die qualitative Zusammensetzung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs Schwerverkehr nach den

TLS 2012 [BASt 2012.2] ermittelt (Fahrzeugtypen, Fahrzeug-Silhouette). Jeder Ladung einer Fahrt mit Lang-Lkw werden konventionelle Fahrzeugtypen zum Transport der gleichen Ladung zugeordnet. Der Einsatz spezifischer Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs erfolgt unternehmensabhängig unter Berücksichtigung logistischer, kapazitiver und betriebswirtschaftlicher Anforderungen. Hierzu werden entsprechende Analysen von Forschungsnehmern beteiligter Projekte einbezogen sowie Befragungen der Unternehmen durchgeführt.

7. Ermittlung der äquivalenten Verkehrsstärke des konventionellen Fahrzeugkollektives

Die quantitative Größe des äquivalenten Fahrzeugkollektivs (Anzahl der Fahrten konventioneller Fahrzeuge des Schwerverkehrs) wird durch Analyse der entsprechenden Laderaumkapazitäten und zulässigen Grenzwerte für Gesamtgewicht und Achslasten der äquivalenten konventionellen Fahrzeuge des Schwerverkehrs ermittelt.

8. Vergleichende Analyse der Transportleistung

Im Ergebnis der Arbeitsschritte 6. und 7. wird das komplette, äquivalente Fahrzeugkollektiv konventioneller Fahrzeuge des Schwerverkehrs für die Transportleistung der Lang-Lkw abgebildet. Dies betrifft sowohl einzelne Fahrten als auch die summierte Transportleistung aller erhobenen Fahrten mit Lang-Lkw.

9. Vergleichende Analyse des Belastungs-/ Beanspruchungsniveaus

Vergleichende Berechnungen zur Beanspruchungswirkung auf den Befestigungsaufbau werden sowohl für die standardisierte Dimensionierung nach dem Verfahren RStO 12 [FGSV 2012] als auch für die rechnerische Dimensionierung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] durchgeführt.

Die vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf die Straßenbefestigung erfolgt unter Berücksichtigung verschiedener relativer Anteile von Lang-Lkw am Schwerverkehr. Hierzu werden entsprechende Achslastkollektive BAB-Fernverkehr (nach RDO Asphalt 09 [FGSV 2009]) mit Lang-Lkw ermittelt und dem Vergleichskollektiv BAB-Fernverkehr gegenübergestellt.

Unter Anwendung von Methode 2.2 nach den RStO 12 [FGSV 2012] wird die Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen

Lkw durch Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl täglicher äquivalenter 10-t-Achsübergänge EDTA^(SV) gegenübergestellt.

Eine Quantifizierung der Beanspruchung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] erfolgt durch die Berechnung des Ermüdungsstatus nach Ablauf der Nutzungsdauer sowie durch Ermittlung der prognostizierten Nutzungsdauer nach Erreichen des Ermüdungsstatus von 100 % einer Asphaltbefestigung. Dies lässt weiterführende Rückschlüsse des Einflusses von Lang-Lkw auf die vorhandene Straßensubstanz zu.

10. Vergleichende Analyse mit den Ergebnissen der ersten Untersuchungsstufe

Da Methodik und Berechnungsverfahren weitgehend analog zu [UHL 2014] realisiert werden können, können die Ergebnisse unmittelbar nebeneinandergestellt und verglichen werden. Aufgrund der mittlerweile stattgefundenen Erweiterung und Weiterentwicklung des Fahrzeugpools von Lang-Lkw sind entsprechend neue Erkenntnisse (z. B. zu den Lang-Lkw-Typen 1 und 5), aber auch abweichende Ergebnisse zu [UHL 2014] zu erwarten. Auf der Basis der seinerzeit herrschenden Randbedingungen und Einsatzkriterien wird eine umfassende Ursachenanalyse markanter Untersuchungsergebnisse durchgeführt. Dies betrifft insbesondere die Auswirkung fahrzeugtechnischer Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb des gegenwärtig zulässigen Rahmens für Lang-Lkw sowie ein gegebenenfalls erweitertes Ladegutsortiment beim Einsatz von Lang-Lkw unter höherer Ausnutzung der zulässigen Fahrzeuggesamtmasse.

2 Datenerhebung

2.1 Modifizierung von Erhebungsformularen

Voraussetzung für die Berechnung der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw auf die Straßeninfrastruktur sind Daten zu den Achslasten im realisierten Güterverkehr der betreffenden Fahrzeuge. Die Dokumentation entsprechender Werte erfolgte durch die Fahrzeugführer der Lang-Lkw unmittelbar vor Fahrtbeginn. Hierzu wurde das im Rahmen von [UHL 2014] eingesetzte Erhebungsformular weiterentwickelt, um so ein besseres Handling bei größerer Anzahl an Fahrten mit Lang-Lkw zu gewährleisten. Im Ergebnis der Abstimmung mit den beteiligten Transportunternehmen entstand das in Anlage 3

dargestellte Erhebungsformular, welches entsprechend der technischen Möglichkeiten in den einzelnen Fahrzeugen modifiziert wurde. Berücksichtigt werden mussten hierbei die jeweiligen Ablesemöglichkeiten von Achslasten oder Fahrzeugmassen im bzw. am Fahrzeug sowie gegebenenfalls vorhandene technische Besonderheiten der Lang-Lkw wie beispielsweise spezielle Fahrzeugmodule oder Achskonfigurationen.

Das Formular sollte möglichst einfach, ohne besonderen Aufwand und nur mit den unbedingt notwendigen sowie datenschutzrechtlich zulässigen Angaben (ohne Name des Fahrers) auszufüllen sein. Die eindeutige Identifizierung der Fahrt erfolgte mittels der ersten vier Angaben zum Transportunternehmen, zum Zeitpunkt des Fahrtantritts sowie des Kennzeichens am Motorwagen.

Nicht alle Fahrzeuge verfügen über die entsprechenden Einrichtungen zur Anzeige einzelner Achslasten. Je nach technischer Möglichkeit wurden daher von den Unternehmen teilweise Summen mehrerer Achslasten (z. B. für Doppelachse Dolly oder für Dreifachachse am Sattelanhänger) oder Gesamtmassen einzelner Fahrzeugmodule eingetragen.

2.2 Zusammenstellung relevanter Erhebungskriterien

Neben den erforderlichen Daten zu Achslasten waren weitere Informationen betreffend Fahrzeuggeometrie, realisierter Fahrten mit Lang-Lkw und äquivalente konventionelle Lkw einzuholen. Hierzu erfolgte eine entsprechende Abstimmung mit dem Projektpartner zum FE 89.0315/2015 „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw“ (RÖHLING et al., 2016). Im Rahmen der Online-Eingabe aller Transporte mit Lang-Lkw wurde eine Vielzahl an Kenngrößen erfasst, die auch für die Bearbeitung des vorliegenden Forschungsthemas genutzt werden konnten.

Seitens des Projektpartners zum FE 82.0630/2015 „Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw“ (FÖRG et al., 2016) wurden weitere fahrzeugtechnische Kenngrößen von Lang-Lkw und von konventionellen Lkw bereitgestellt.

Auf dieser Grundlage konnte anschließend die Struktur der Datenbank des Auftragnehmers unter Berücksichtigung der jeweiligen Formatierung der Datenfelder erstellt werden.

2.3 Erhebungsumfang

Die Anfrage zur Dokumentation von Achslastdaten an die Transportunternehmen erfolgte entsprechend der BAST-Aufstellung teilnehmender Firmen vom 15.09.2015. Von den ursprünglich 49 gelisteten Speditionsunternehmen hatten 42 Unternehmen Lang-Lkw im Einsatz. Im Verlauf der Datenerhebung nahmen noch weitere sieben Speditionen am Feldversuch teil, von denen allerdings nur fünf Achslastdaten lieferten.

In Anlage 4 sind die Unternehmen mit der Anzahl ihrer eingereichten Datendokumentationen (Fahrten Lang-Lkw) aufgeführt. Der von den Unternehmen erhaltene Datenumfang beläuft sich auf 24.497 Datensätze. Im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe [UHL 2014] ist somit mehr als die zehnfache Datenmenge zu verzeichnen.

Drei Unternehmen (U5, U23, U38) setzten Lang-Lkw im kombinierten Verkehr bei insgesamt 540 dokumentierten Fahrten ein. Die Anzahl der Fahrten im kombinierten Verkehr ist somit im Vergleich zu [UHL 2014] (589 Fahrten) nahezu konstant geblieben. Aufgrund der enorm höheren Anzahl an Lang-Lkw-Fahrten im Direktverkehr im Rahmen der vorliegenden Untersuchung beträgt der Anteil des kombinierten Verkehrs nunmehr noch lediglich 2,2 %.

2.4 Erhebungszeitraum

Nach dem Projektstart am 07.09.2015 erfolgten innerhalb der ersten drei Wochen die Kontaktaufnahme sowie nachfolgende Abstimmungen zu den modifizierten Erhebungsformularen mit den teilnehmenden Transportunternehmen. In der Folge ergaben sich differenzierte Erhebungszeiträume je nach Erreichbarkeit der Ansprechpartner in den betreffenden Firmen, den Zeiträumen zur endgültigen Abstimmung der Formulare, der Weiterleitung an die Fahrer der Lang-Lkw sowie der realisierten Achslastdokumentation. Das Ende der Datenerhebung wurde auf den 31.03.2016 festgelegt. In Anlage 5 sind die Zeiträume der Datenerhebung pro Unternehmen aufgelistet, von denen Daten erhalten wurden.

Aufgrund der unternehmensbezogenen unterschiedlichen Anteile an Datensätzen sowie der unterschiedlichen Erhebungszeiträume stellt der vorliegende Datenbestand eine Stichprobe dar, die das Spektrum aller eingesetzten Lang-Lkw weitgehend

abbildet. Das gesamte Kollektiv der im Feldversuch zum Einsatz gelangten Lang-Lkw wird durch weitere Fahrten der hier analysierten Unternehmen über das Erhebungsende hinaus sowie eventuell noch dazu kommende, weitere Unternehmen mit Lang-Lkw-Fahrten bis zum Ende des Feldversuchs am 31.12.2016 gebildet.

2.5 Datenstruktur

Auf der Grundlage des Rücklaufes der Formulare zur Achslastdokumentation wurde gemäß Anlage 6 eine Datenbank im Format Excel entwickelt. Diese dient zur Übernahme der schriftlichen Angaben auf den Erhebungsformularen sowie zur nachfolgenden Plausibilitätsprüfung der Datensätze.

Die Datenfelder $K1_i$ zur Kennzeichnung einzelner Achslasten beinhalten einen Wert, der die Herkunft der jeweiligen Einzelachslast ausweist. Der Definitionsbereich beträgt „1“ für Eingabewerte und „2“ für berechnete Werte (aus Achslastsummen oder Fahrzeugmodulmassen). Die Datenfelder $K2_i$ verweisen auf die zugehörige Achsart der Achse (Einzelachse, Doppelachse, Dreifachachse).

2.6 Qualität der dokumentierten Achslastdaten

Aufgrund der unterschiedlichen technischen Möglichkeiten zur Ablesung von Achslastdaten im oder am Fahrzeug war eine differenzierte Qualität des Datenrücklaufes festzustellen. Ein Großteil der Datensätze beinhaltete die vollständige Auflistung aller Einzelachslasten des Lang-Lkw. Teilweise konnten jedoch nur Achslastsummen angegeben werden oder Massen von Fahrzeugmodulen (Dolly, Anhänger, Sattelanhänger). Oftmals fehlten Werte für Fahrzeugachsen oder Fahrzeugmodule. Ursachen hierfür waren geliftete Achsen oder Fahrten ohne einzelne Fahrzeugmodule (z. B. Anhänger, Sattelanhänger), die in der Folge nicht als Lang-Lkw-Fahrten registriert wurden. Dies betraf ca. 300 eingereichte Datensätze, die bereits vor Übernahme in die Datenbank des Forschungsnehmers selektiert wurden.

3 Plausibilitätsanalyse und Datenabgleich

3.1 Plausibilitätsanalyse des Datenbestandes

Nach vollständiger Übertragung aller Werte von den Datenerfassungsbögen in die Datenbank wurden mehrere Prozeduren zur Überprüfung der Datenplausibilität durchgeführt. Im ersten Schritt wurden die Minima und Maxima aller klassifizierten Achslasten auf Plausibilität geprüft und unter Hinzuziehung der handschriftlichen Originaldokumente teilweise korrigiert. Hierzu erfolgte eine Zuarbeit des beteiligten Projektpartners FE 82.0630/2015 betreffend der technisch bedingten Grenzwerte von Achslasten bestimmter Fahrzeugkonfigurationen.

Datensätze, die summierte Achslasten enthielten, wurden durch rechnerisch ermittelte Einzelachslasten ergänzt, sofern die hierzu erforderlichen Werte vollständig vorhanden und dem Inhalt nach plausibel waren. Fehlende Achslasten konnten zum größten Teil mittels Regressionsanalyse vergleichbarer Datensätze ergänzt werden. Die entsprechenden Berechnungsprozeduren folgten weitestgehend dem Schema in [UHL 2014] und beinhalteten folgende wesentliche Sachverhalte:

- Auflösung summierter Achslasten von Doppelachsen zu je 50 % je Achse
- Auflösung summierter Achslasten von Dreifachachsen zu je 33,33 % je Achse
- Ergänzung fehlender Achslasten durch Regressionsanalyse vergleichbarer Daten

Als Datenbasis der Regressionsanalysen konnten in einem Fall (U9) Daten von Fahrzeugen gleichartiger Bauweise desselben Unternehmens verwendet werden. In allen anderen Fällen wurden alle Fahrzeuge gleicher Bauweise aller Unternehmen zugrunde gelegt. Fehlende Achslastdaten betrafen vor allem Achse 1 von Sattelzugmaschinen und Motorwagen, Achse 2 von Sattelzugmaschinen sowie Achse 2 bzw. 3 von Motorwagen. Anlage 7 enthält zu den durchgeführten Regressionsanalysen die betreffenden Funktionsverläufe. Mittels Berechnungsverfahren wurden somit 4.791 Datensätze vervollständigt. 395 dokumentierte Datensätze mussten aufgrund unvollständiger, nicht reproduzierbarer Einzelwerte gelöscht werden.

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 ermittelt. Im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe beträgt die Anzahl der Fahrten im Direktverkehr somit nahezu das 10-fache, im kombinierten Verkehr ist sie nahezu gleich groß geblieben. Der Anteil des kombinierten Verkehrs (12 % in Stufe 1) ist demnach deutlich gesunken.

3.2 Datenabgleich mit Messstellen an Bundesautobahnen

Zur stichprobenartigen Kontrolle der von den Unternehmen eingereichten Daten wurde ein Vergleich mit den Daten der Achslastwaagen an Bundesautobahnen durchgeführt. Hierzu wurden zunächst die Messstellen im Positivnetz der dokumentierten Lang-Lkw-Routen auf ihre Verwendung für einen Datenabgleich hin überprüft. Im Ergebnis der Analyse erwiesen sich die Messstellen 9625 und 9629 als entsprechend geeignet mit der Einschränkung, dass an Messstelle 9629 nur für eine Fahrtrichtung Daten vorlagen.

Die Achslastdaten an den Messstellen stellen über Kalibrierfunktionen umgerechnete statische Achslasten aus den gemessenen dynamischen Achslasten dar. Der Genauigkeitsbereich liegt bei $\pm 10\%$.

Zur Vorauswahl der Datenauszüge von den betreffenden Messstellen wurden seitens der BASt die vier Filterkriterien

- Fahrzeugtyp 0 oder Fahrzeugtyp 108,
- mindestens 5 Achsen am Fahrzeug,
- Gesamtgewicht bis 50 t und
- maximale Fahrzeuglänge 27 m

eingesetzt.

Fahrzeugtyp 108 entspricht gemäß [BASt 2012.2] einem Sonderfahrzeug mit beliebig vielen Achsen und Achskombinationen. Der Fahrzeugtyp 0 kennzeichnet nicht definierbare Fahrzeuge, wurde aber in die Filterkriterien einbezogen, um eventuell hierin klassifizierte Lang-Lkw mit detektieren zu können.

Die Überprüfung auf Identität von Daten der Messstellen mit jenen der dokumentierten Lang-Lkw-Da-

| Unternehmen / Summe | U 6 | U 36 | Σ |
|--|--------|-------|----------|
| Anzahl dokumentierter Fahrten | 187 | 133 | 320 |
| Anzahl der Datensätze an der Messstelle im Erhebungszeitraum | 10.993 | 2.775 | 13.768 |
| Anzahl der Messstellen-Datensätze mit Zuordnung zu dokumentierten Fahrten der Unternehmen | 94 | 20 | 114 |
| Anzahl der Unternehmens-Datensätze im Bereich $\pm 10\%$ des gemessenen Gesamtgewichts | 54 | 10 | 64 |
| Anzahl der Unternehmens-Datensätze außerhalb des Bereichs $\pm 10\%$ des gemessenen Gesamtgewichts | 40 | 10 | 50 |
| davon Unternehmens-Datensätze mit niedrigerem Gesamtgewicht als gemessenes Gesamtgewicht | 3 | 3 | 6 |
| davon Unternehmens-Datensätze mit höherem Gesamtgewicht als gemessenes Gesamtgewicht | 37 | 7 | 44 |

Tab. 1: Vergleich von Datensätzen der Unternehmen mit Datensätzen von BAB-Messstellen

ten muss weitgehend manuell erfolgen, da für vollautomatisierte Suchroutinen keine entsprechend eindeutigen Vergleichskriterien an den Messstellen zur Verfügung stehen. Es sind die Fahrzeugkonfigurationen und die Abfahrtszeiten der Lang-Lkw an der Quelle sowie die voraussichtlichen Fahrtzeiten bis zu den entsprechenden Messstellen zur Identifizierung der dokumentierten Lang-Lkw untersucht und verglichen worden. Im Ergebnis der Untersuchung wurde festgestellt, dass ausschließlich an Messstelle 9625 Teile des dokumentierten Datenbestandes von zwei Unternehmen mit ausreichender Zuverlässigkeit wiederzufinden waren.

In Tabelle 1 ist eine Gegenüberstellung der entsprechenden Datensätze ausgewiesen. Demnach liegen bei Unternehmen U6 57 % und bei Unternehmen U36 50 % der dokumentierten Fahrzeuggesamtgewichte (Summe aller Achslasten) im Bereich von $\pm 10\%$ der an den Messstellen registrierten Fahrzeuggesamtgewichte zugeordneter Fahrten. Von den insgesamt 50 dokumentierten Datensätzen außerhalb dieses Toleranzbereiches weisen Unternehmen U6 und U36 in jeweils drei Fällen ein niedrigeres Fahrzeuggesamtgewicht als an den Messstellen gemessen auf. Der überwiegende Anteil an Datensätzen außerhalb des Toleranzbereiches $\pm 10\%$ enthält demnach höhere, von den Unternehmen dokumentierte Fahrzeuggesamtgewichte als

die an den Messstellen erfassten Fahrzeuggesamtgewichte.

Vor dem Hintergrund dieser Stichprobenanalyse sowie dem Umstand, dass die selektierten Werte an den Messstellen der Bundesautobahnen nicht eindeutig bestimmten Lang-Lkw-Fahrzeugen zugeordnet werden können, wird insgesamt davon ausgegangen, dass die von den Unternehmen dokumentierten Achslasten weitgehend den reellen Achslasten entsprechen. Wenn dies nicht der Fall wäre, dann lägen sie hinsichtlich der Straßenbeanspruchung eher auf der ungünstigen Seite. Von einer systematischen Abweichung der dokumentierten Werte von Vergleichswerten wird nicht ausgegangen.

3.3 Struktur der Datenbasis

Im Ergebnis von Plausibilitätsanalyse und Datenabgleich mit Messstellen an Bundesautobahnen wurde die Datenbasis für alle nachfolgenden Untersuchungen definiert. Anlage 8 weist hierzu die unternehmensbezogenen Anteile der dokumentierten Fahrten aus. Die Struktur der Fahrzeugdaten in Bild 2 zeigt, dass mit 46 % knapp die Hälfte aller Daten dem Lang-Lkw vom Typ 3 zuzuordnen ist. Jeweils circa 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 [UHL 2014] (Bild 3) umfasst der Datenbestand nunmehr jedoch Werte zu allen Lang-Lkw-Typen.

Bezüglich der Achskonfigurationen in Bild 4 zeigt sich, dass im Vergleich zur ersten Untersuchungsstufe [UHL 2014] nach Bild 5 mittlerweile weitere Fahrzeugvarianten innerhalb des Lang-Lkw-Typs 2 mit fünf oder sechs Achsen sowie innerhalb des Typs 3 mit sechs Achsen im Einsatz sind. Insofern kann von einer tendenziellen Entwicklung hin zu Fahrzeugen mit reduzierter Achszahl ausgegangen werden. Hier wird die betriebswirtschaftliche Optimierung der Lang-Lkw-Flotte sichtbar.

Anlage 9 verdeutlicht anhand der Fahrzeugsilhouetten die visuellen Merkmale der Lang-Lkw-Typen und Fahrzeugkonfigurationen in den Unternehmen.

In Anlage 10 ist die Verteilung der Fahrzeuge mit dokumentierten Achslastdaten unternehmensbezogen ausgewiesen. Demnach werden im kombinierten Verkehr nur Lang-Lkw vom Typ 2 mit sieben Ach-

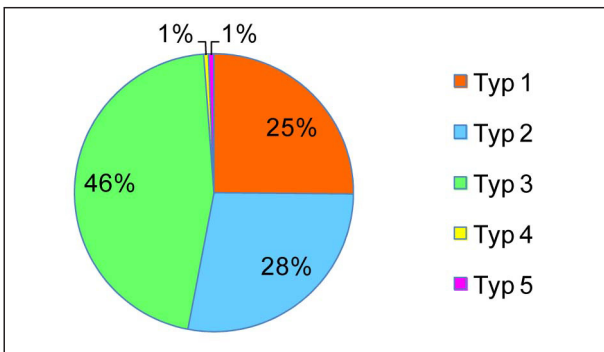


Bild 2: Verteilung der Lang-Lkw-Typen

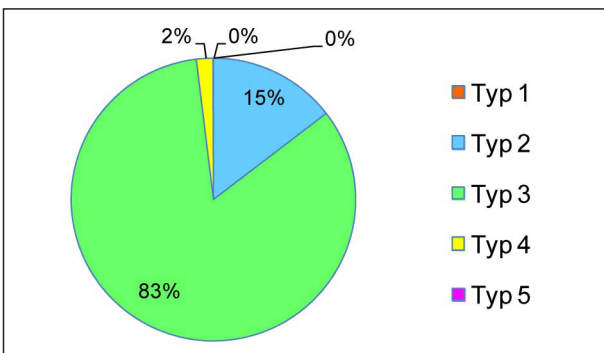


Bild 3: Verteilung der Lang-Lkw-Typen in [UHL 2014]

sen sowie vom Typ 4 mit acht oder neun Achsen eingesetzt. Im Direktverkehr sind in vier Unternehmen Lang-Lkw vom Typ 1 unterwegs, ein Unternehmen setzt Typ 5 ein. In sechs Unternehmen werden Lang-Lkw unterschiedlicher Typen bzw. Achskonfigurationen betrieben.

Die fahrzeugspezifische Zusammenfassung in Anlage 11 weist die Anteile der verschiedenen Achskonfigurationen innerhalb eines Lang-Lkw-Typs aus und stellt die aktuellen Werte denen aus [UHL 2014] gegenüber. Von Lang-Lkw Typ 2 sind demnach noch 77,2 % mit sieben Achsen ausgestattet (in [UHL 2014] 100 %), 18,4 % verfügen über sechs Achsen und 4,4 % über lediglich fünf Achsen. Beim Typ 3 ist der Anteil der Fahrzeugkonfiguration mit acht Achsen von vormals 52,6 % auf 40,5 % gesunken, der Anteil der Fahrzeuge mit sieben Achsen fiel von 47,4 % auf 39,4 %, der von Fahrzeugen mit sechs Achsen stieg von 0 % auf 20,1 %. Vor diesem Hintergrund gewinnt die differenzierte Betrachtungsweise der Auswirkung spezieller Achskonfigurationen aufgrund betriebswirtschaftlicher Optimierung auf den Straßenoberbau eine wichtige Bedeutung.

Aufgrund der aktuell geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich des Einsatzes von Lang-Lkw, nach der die Fahrzeuge durch Kombina-

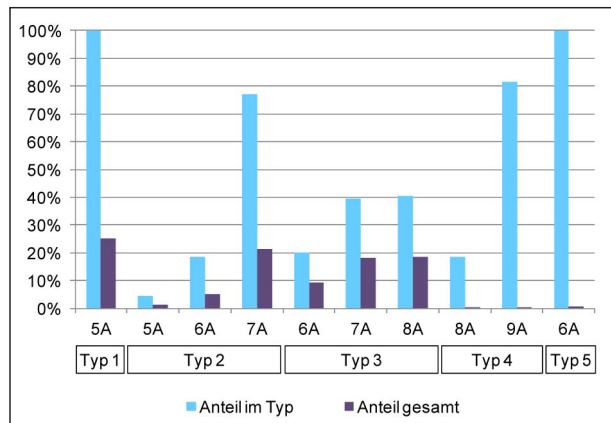


Bild 4: Verteilung der Achskonfigurationen von Lang-Lkw

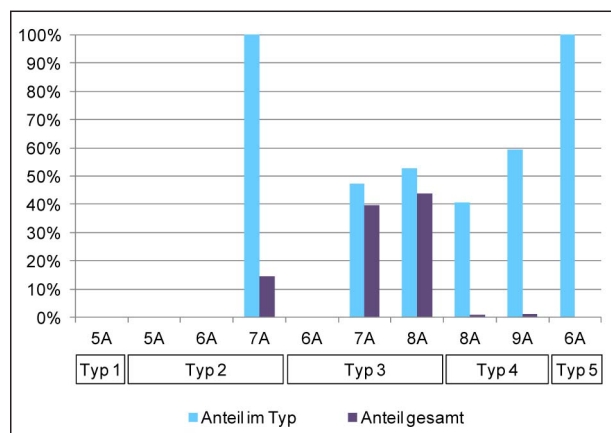


Bild 5: Verteilung der Achskonfigurationen von Lang-Lkw in [UHL 2014]

| LLkw-Typ | Verkehrsart | Anzahl Unternehmen | Anzahl Fahrten |
|-----------------|-------------|--------------------|----------------|
| Typ 2 bis Typ 5 | DV | 40 | 17.578 |
| | KV | 3 | 463 |
| Typ 1 | DV | 5 | 6.061 |
| | KV | 0 | 0 |

Tab. 2: Datengrundlage für die getrennte Analyse von Lang-Lkw-Typen

tion von Standardmodulen zusammengesetzt sein müssen, erfolgt im Weiteren die getrennte Analyse für Lang-Lkw vom Typ 1 (keine Kombination von Standardmodulen) sowie für Lang-Lkw der Typen 2 bis 5.

Alle nachfolgenden Analysen der Kapitel 4 bis 8 beziehen sich ausschließlich auf Lang-Lkw der Typen 2 bis 5. Die Ergebnisse zu Lang-Lkw Typ 1 sind in Kapitel 9 zusammengefasst. Tabelle 2 weist die entsprechenden Datengrundlagen aus.

4 Prüfung auf Grenzwert- überschreitung

4.1 Datenabgleich Fahrzeuggesamt- masse mit Grenzwerten nach § 34 StVZO

Die gemäß § 34 StVZO zulässige Fahrzeuggesamtmasse – in dieser Verordnung mit Gesamtgewicht bezeichnet – beträgt für Fahrzeugkombinationen mit mehr als 4 Achsen 40 t, für Fahrzeugkombinationen im kombinierten Verkehr 44 t. Fahrzeuge im kombinierten Verkehr wurden von drei Unternehmen eingesetzt. Der Datenbestand des Direktverkehrs und des kombinierten Verkehrs wurde auf Überschreitung der Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewichte nach § 34 StVZO untersucht.

Die Verteilungen der Fahrzeuggesamtmassen für Direktverkehr und kombinierten Verkehr sind in Bild 6 und Bild 7 dargestellt. Die zugehörigen Wertetabellen enthält Anlage 12.

Das Maximum aller berechneten Fahrzeuggesamtmassen liegt für zwei Fahrten bei 53,9 t im Direktverkehr sowie bei 45,2 t für eine Fahrt im kombinierten Verkehr. Es zeigt sich, dass die Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw im Vergleich zur zulässigen Gesamtmasse insgesamt jedoch relativ niedrige Werte aufweisen. Im Direktverkehr beträgt das arithmetische Mittel 33,2 t bei einer Standardabweichung von 5,0 t. Das Histogramm zum kombinierten Verkehr zeigt eine multimodale Verteilungsfunktion, die auf drei typische Beladungszustände der Fahrzeuge hinweist. Auffallend ist das deutliche Maximum bei 24 t, das auf einen relativ hohen Anteil an Leerfahrten bzw. Fahrten mit leeren Containern der drei Unternehmen im kombinierten Verkehr schließen lässt.

Definiert man die nach § 34 StVZO zulässigen Fahrzeuggesamtmassen von 40 t im Direktverkehr und 44 t im kombinierten Verkehr als 100 % Beladungsgrad für Lang-Lkw, so ergibt sich auf der Basis des vorliegenden Datenbestandes ein mittlerer Beladungsgrad von 83 % im Direktverkehr und 67 % im kombinierten Verkehr.

Obwohl nur 3 % des vorliegenden Datenbestandes Fahrzeuge im kombinierten Verkehr betreffen, sind analog zu den Ergebnissen in [UHL 2014] die deutlich unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen der Fahrzeuggesamtmassen von Direktverkehr und

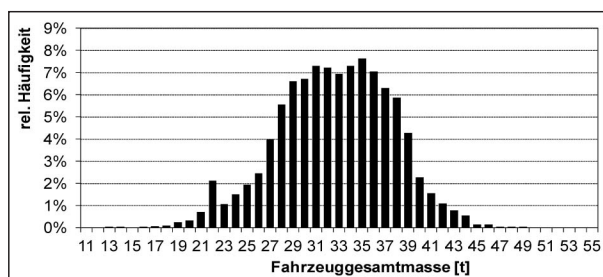


Bild 6: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im Direktverkehr

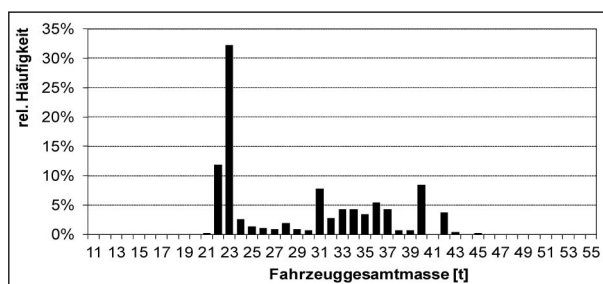


Bild 7: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im kombinierten Verkehr

| Überladung | Anzahl Fahrten | Anteil Überladung | Summenhäufigkeit | Anteil Gesamt |
|------------|----------------|-------------------|------------------|---------------|
| <=1t | 399 | 34,16 % | 34,16 % | 2,27 % |
| >1t<=2t | 273 | 23,37 % | 57,53 % | 1,55 % |
| >2t<=3t | 190 | 16,27 % | 73,80 % | 1,08 % |
| >3t<=4t | 137 | 11,73 % | 85,53 % | 0,78 % |
| >4t<=5t | 96 | 8,22 % | 93,75 % | 0,55 % |
| >5t<=6t | 27 | 2,31 % | 96,06 % | 0,15 % |
| >6t<=7t | 24 | 2,05 % | 98,12 % | 0,14 % |
| >7t<=8t | 5 | 0,43 % | 98,54 % | 0,03 % |
| >8t<=9t | 7 | 0,60 % | 99,14 % | 0,04 % |
| >9t<=10t | 5 | 0,43 % | 99,57 % | 0,03 % |
| >10t<=11t | 3 | 0,26 % | 99,83 % | 0,02 % |
| >11t<=12t | 0 | 0,00 % | 99,83 % | 0,00 % |
| >12t<=13t | 0 | 0,00 % | 99,83 % | 0,00 % |
| >13t<=14t | 2 | 0,17 % | 100,00 % | 0,01 % |
| Summe: | 1.168 | 100,00 % | | 6,65 % |

Tab. 3: Überladung im Direktverkehr gemäß den Grenzwerten nach § 34 StVZO

kombinierten Verkehr festzustellen. Aus ihnen kann geschlossen werden, dass der Anteil von Leerfahrten und Fahrten mit niedrigem Beladungsgrad im kombinierten Verkehr vergleichsweise höher ist als im Direktverkehr. Die Häufigkeiten von Fahrzeugen mit weitgehender Auslastung der zulässigen Gesamtmasse sind im kombinierten Verkehr niedriger als im Direktverkehr.

| Überladung | Anzahl Fahrten | Anteil Überladung | Summenhäufigkeit | Anteil Gesamt |
|------------|----------------|-------------------|------------------|---------------|
| <=1t | 0 | 0,00 % | 0,00 % | 0,00 % |
| >1t<=2t | 1 | 100,00 % | 100,00 % | 0,22 % |
| >2t<=3t | 0 | 0,00 % | 100,00 % | 0,00 % |
| >3t<=4t | 0 | 0,00 % | 100,00 % | 0,00 % |
| >4t<=5t | 0 | 0,00 % | 100,00 % | 0,00 % |
| >5t<=6t | 0 | 0,00 % | 100,00 % | 0,00 % |
| Summe: | 1 | 100,00 % | | 0,22 % |

Tab. 4: Überladung im kombinierten Verkehr gemäß den Grenzwerten nach § 34 StVZO

| U-Nr. | > zulässige Gesamtmasse | | U-Nr. | > zulässige Gesamtmasse | |
|--------------------------|-------------------------|--------|--------------|-------------------------|--------|
| | Anzahl | Anteil | | Anzahl | Anteil |
| U1 | 0 | 0 % | U25 | 176 | 15 % |
| U2 | 2 | 0 % | U26 | 5 | 0 % |
| U3 | 8 | 1 % | U28 | 1 | 0 % |
| U4 | 31 | 3 % | U29 | 5 | 0 % |
| U5 | 0 | 0 % | U30 | 0 | 0 % |
| U6 | 4 | 0 % | U31 | 0 | 0 % |
| U7 | 0 | 0 % | U32 | 12 | 1 % |
| U8 | 136 | 12 % | U33 | 0 | 0 % |
| U9 | 12 | 1 % | U34 | 270 | 23 % |
| U11 | 3 | 0 % | U36 | 20 | 2 % |
| U12 | 16 | 1 % | U37 | 4 | 0 % |
| U13 | 7 | 1 % | U38 | 0 | 0 % |
| U14 | 18 | 2 % | U39 | 25 | 2 % |
| U15 | 5 | 0 % | U40 | 25 | 2 % |
| U16 | 0 | 0 % | U41 | 53 | 5 % |
| U17 | 18 | 2 % | U42 | 0 | 0 % |
| U18 | 9 | 1 % | U43 | 9 | 1 % |
| U19 | 88 | 8 % | U44 | 0 | 0 % |
| U21 | 9 | 1 % | U45 | 8 | 1 % |
| U22 | 12 | 1 % | U46 | 21 | 2 % |
| U23 | 1 | 0 % | U47 | 89 | 8 % |
| U24 | 67 | 6 % | | | |
| Summe U1 bis U47: | | | 1.169 | 100 % | |

Tab. 5: Unternehmensbezogene Verteilung der Überschreitung der zulässigen Fahrzeuggesamtmasse nach § 34 StVZO

Unter Beachtung der oben angegebenen Grenzwerte von 40 t im Direktverkehr und 44 t im kombinierten Verkehr ergeben sich die in Tabelle 3 und Tabelle 4 enthaltenen Grenzwertüberschreitungen der Fahrzeuggesamtmasse nach § 34 StVZO.

Demnach sind im Direktverkehr mit 1.168 Fahrten rund 6,6 % und im kombinierten Verkehr mit 1 Fahrt rund 0,2 % der Fahrzeuge überladen gefahren. Für alle Lang-Lkw gesamt betrachtet ergibt sich ein Überladungsanteil von 6,5 %, was in Gegenüberstellung zum konventionellen Lkw-Verkehr auf Bundesautobahnen (ca. 20 %) einen vergleichsweise geringen Wert darstellt.

| Typ | Achszahl | > zulässige Gesamtmasse | | |
|-----|----------|-------------------------|---------------|---------------|
| | | Anzahl | Anteil gesamt | Anteil im Typ |
| 2 | 5 | 0 | 0 % | 0 % |
| 2 | 6 | 0 | 0 % | 0 % |
| 2 | 7 | 528 | 45 % | 10 % |
| 3 | 6 | 31 | 3 % | 1 % |
| 3 | 7 | 16 | 1 % | 0 % |
| 3 | 8 | 592 | 51 % | 13 % |
| 4 | 8 | 0 | 0 % | 0 % |
| 4 | 9 | 0 | 0 % | 0 % |
| 5 | 6 | 2 | 0 % | 1 % |
| | | 1.169 | 100 % | |

Tab. 6: Fahrzeugtypbezogene Verteilung der Überschreitung der zulässigen Fahrzeuggesamtmasse nach § 34 StVZO

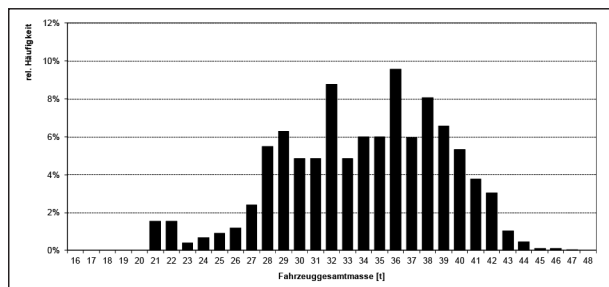


Bild 8: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im Direktverkehr in [UHL 2014]

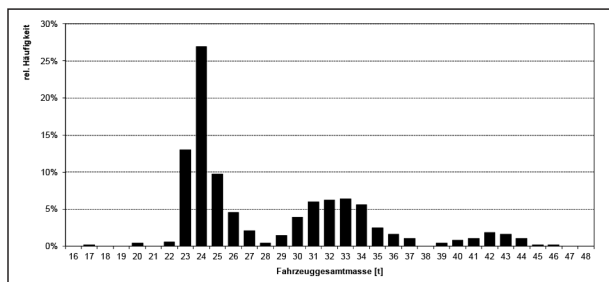


Bild 9: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im kombinierten Verkehr in [UHL 2014]

| Kriterium | Verk.-art | Stufe 2 | Stufe 1 [UHL 2014] |
|------------------------------|-----------|---------|--------------------|
| maximales Gesamtgewicht (GG) | DV | 53,9 t | 46,4 t |
| | KV | 45,2 t | 45,4 t |
| arithm. Mittel GG | DV | 33,2 t | 33,6 t |
| | KV | 33,2 t | 33,6 t |
| Beladungsgrad | DV | 83 % | 84 % |
| | KV | 67 % | 63 % |
| Überschreitung zulässiges GG | DV | 6,6 % | 8,6 % |
| | KV | 0,2 % | 0,4 % |

Tab. 7: Vergleichswerte Stufe 1 und Stufe 2 zu Fahrzeuggesamtgewicht und Beladungsgrad

Die unternehmensbezogene Verteilung der Überschreitung der zulässigen Fahrzeuggesamtmasse in Tabelle 5 zeigt, dass die Hälfte aller Überladungen durch lediglich drei Unternehmen (U8, U25, U34) verursacht wurde. Aus Tabelle 49 in Anlage 14 ist ersichtlich, dass im Verhältnis zur Anzahl der Fahrten das Unternehmen U34 einen Anteil von 50 % Fahrten mit unzulässigem Gesamtgewicht aufweist, die Unternehmen U17 und U21 jeweils ca. 30 %, die Unternehmen U41 und U47 jeweils 24 % (Spalte „Gesamtgewicht / Anteil“).

Bezogen auf die eingesetzten Fahrzeugtypen und Achskonfigurationen ist aus Tabelle 6 ersichtlich, dass 96 % der Überladungen durch Fahrzeugtyp 2 mit sieben Achsen (2–7) und Fahrzeugtyp 3 mit acht Achsen (3–8) verursacht wurden. Diese beiden Fahrzeugtypen haben einen Anteil von 54 % an den Fahrten mit Lang-Lkw (ohne Typ 1). Im Verhältnis zu allen Fahrten des jeweiligen Fahrzeugtyps ergeben sich 10 % überladene Fahrten des Typs 2–7 und 13 % überladene Fahrten mit Typ 3–8.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Im Vergleich von Bild 6 und Bild 8 ist zu erkennen, dass die Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen im Direktverkehr mittlerweile deutlicher einer Normalverteilung entspricht. Der Bereich von 29 t bis 39 t ist nicht mehr durch einzelne Maxima gekennzeichnet. Im unteren Bereich der Fahrzeuggesamtmasse sind die zuvor erkennbaren, offensichtlichen Leerfahrten nunmehr weniger ausgeprägt. Die aktuell vorliegende Verteilung kann sowohl im deutlich größeren Datenumfang begründet sein als auch auf einen logistisch und fahrzeugtechnisch zunehmend optimierten Einsatz der Lang-Lkw im Direktverkehr hinweisen. Im kombinierten Verkehr zeigen sich weiterhin die bereits in [UHL 2014] gemäß Bild 9 ausgewiesenen drei Beladungszustände. Aufgrund der relativ geringen Datenbestandsmenge lassen sich weiterführende Erkenntnisse hierzu nicht gewinnen.

Betreffend des Fahrzeuggesamtgewichts sowie des Beladungsgrades der Lang-Lkw sind gemäß Tabelle 7 bis auf das Niveau der Überschreitung des Fahrzeuggesamtgewichts keine prägnanten Entwicklungen festzustellen. Während im Rahmen der 1. Stufe nach [UHL 2014] das Maximum der Überladung bei 7 t lag, kamen in der vorliegenden Untersuchungsreihe zwei Fahrten mit einem 14 t über dem Grenzwert liegenden Gesamtgewicht vor.

4.2 Datenabgleich Fahrzeugmodule und Achslasten mit den Grenzwerten nach § 34 StVZO

Die nach § 34 StVZO zulässigen Grenzwerte für Gesamtmassen von Fahrzeugmodulen (Bestandteile von Fahrzeugkombinationen wie Krafftfahrzeuge, Anhänger, Sattelanhänger) des vorliegenden Datenbestandes sind abhängig von der Anzahl der Achsen und der Achsart (Einzelachse, Doppelachse, Dreifachachse). Grenzwerte für Achslasten sind definiert in Abhängigkeit von der Achsart (Einzelachse, Einzelachse angetrieben, Doppelachse, Dreifachachse) sowie vom Achsabstand. Ein Datenabgleich aller Fahrzeugmodule und Achslasten (126.026 Achsen) des Datenbestandes erfordert demnach die genaue, StVZO-konforme Klassifizierung aller dokumentierten Fahrzeugmodule und Achsen.

Bei allen im vorliegenden Datenbestand dokumentierten Fahrzeugen sind die Achsabstände $\geq 1,30$ m. In allen Dreifachachsen ist mindestens 1 Achsabstand $> 1,30$ m und $\leq 1,40$ m. Einzelachsen sind mit Ausnahme eines Falls nur innerhalb der ersten drei Achsen eines Fahrzeuges vorhanden.

Daraus ergeben sich die in Anlage 13 zusammengefassten Grenzwerte, die für jedes Unternehmen fahrzeugtypabhängig in der jeweils ersten Zeile dargestellt sind. Die zweite Zeile enthält jeweils die Anzahl der Überladungen von Fahrzeugkombinationen, Fahrzeugmodulen und Achslasten. Die Doppelachslasten der Krafftfahrzeuge betragen alle ≤ 18 t, so dass die Achsen einzeln einen zulässigen Grenzwert von 10 t bzw. 11,5 t für angetriebene Achsen erreichen dürfen (Achsen 2 und 3) unter Einhaltung der zulässigen Doppelachslast von 18 t.

Gemäß Tabelle 8 sind insgesamt 154 Überschreitungen zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO festzustellen. Dies entspricht 0,85 % der dokumentierten Fahrten unter der Annahme, dass alle Überschreitungen unabhängig voneinander aufgetreten sind. Circa drei Viertel aller Grenzwertüberschreitungen betreffen die zulässige Achslast von Achse 2, der Antriebsachse von Sattelzugmaschinen und Motorwagen. Rund ein Zehntel der Überschreitungen beziehen sich auf das zulässige Gesamtgewicht des Zugfahrzeuges (Sattelzugmaschine oder Motorwagen).

| Fahrzeugmodul / Achslast | Überschreitung | |
|-----------------------------|----------------|--------------|
| | Anzahl | Anteil |
| Gesamtgewicht Kraftfahrzeug | 19 | 12 % |
| Achslast Achse 2 | 112 | 73 % |
| Achslast Doppelachse 3–4 | 7 | 5 % |
| Achslast Doppelachse 4–5 | 4 | 3 % |
| Achslast Doppelachse 5–6 | 2 | 1 % |
| Achslast Dreifachachse 3–5 | 10 | 6 % |
| Summe: | 154 | 100 % |

Tab. 8: Überschreitung zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO für Fahrzeugmodule und Achslasten

| Höhe der Überschreitung | Anzahl | Anteil |
|-------------------------|------------|--------------|
| ≤ 1 t | 82 | 73 % |
| > 1 t ≤ 2 t | 23 | 21 % |
| > 2 t ≤ 3 t | 6 | 5 % |
| > 3 t ≤ 4 t | 1 | 1 % |
| Summe: | 112 | 100 % |

Tab. 9: Überschreitung der zulässigen Achslast nach § 34 StVZO für Achse 2

| U-Nr. | Überschreitung | | U-Nr. | Überschreitung | |
|--------------------------|----------------|--------|------------|----------------|--------|
| | Anzahl | Anteil | | Anzahl | Anteil |
| U1 | 4 | 3 % | U25 | 33 | 21 % |
| U2 | 2 | 1 % | U26 | 0 | 0 % |
| U3 | 3 | 2 % | U28 | 0 | 0 % |
| U4 | 0 | 0 % | U29 | 0 | 0 % |
| U5 | 2 | 1 % | U30 | 0 | 0 % |
| U6 | 10 | 6 % | U31 | 0 | 0 % |
| U7 | 0 | 0 % | U32 | 7 | 5 % |
| U8 | 4 | 3 % | U33 | 0 | 0 % |
| U9 | 7 | 5 % | U34 | 6 | 4 % |
| U11 | 0 | 0 % | U36 | 1 | 1 % |
| U12 | 3 | 2 % | U37 | 0 | 0 % |
| U13 | 0 | 0 % | U38 | 0 | 0 % |
| U14 | 0 | 0 % | U39 | 0 | 0 % |
| U15 | 0 | 0 % | U40 | 0 | 0 % |
| U16 | 0 | 0 % | U41 | 0 | 0 % |
| U17 | 0 | 0 % | U42 | 0 | 0 % |
| U18 | 0 | 0 % | U43 | 1 | 1 % |
| U19 | 4 | 3 % | U44 | 0 | 0 % |
| U21 | 0 | 0 % | U45 | 0 | 0 % |
| U22 | 3 | 2 % | U46 | 64 | 42 % |
| U23 | 0 | 0 % | U47 | 0 | 0 % |
| U24 | 0 | 0 % | | | |
| Summe U1 bis U47: | | | 154 | 100 % | |

Tab. 10: Unternehmensbezogene Überschreitung zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO für die Gesamtmasse von Fahrzeugmodulen und für Achslasten

Vor dem Hintergrund der Auswirkung auf den Straßenoberbau ist insbesondere die Überschreitung zulässiger Einzelachslasten nach § 34 StVZO als kritisch zu bewerten. Die Tabelle 9 zeigt, dass ca.

| LLkw Typ | Achszahl | Achsen geliftet | Anteil |
|--------------|----------|-----------------|--------------|
| 2 | 5 | 0 | 0 % |
| 2 | 6 | 0 | 0 % |
| 2 | 7 | 95 | 13 % |
| 3 | 6 | 23 | 3 % |
| 3 | 7 | 0 | 0 % |
| 3 | 8 | 589 | 79 % |
| 4 | 8 | 14 | 2 % |
| 4 | 9 | 28 | 4 % |
| 5 | 6 | 1 | 0 % |
| Summe | | 750 | 100 % |

Tab. 11: Verteilung gelifteter Achsen von Lang-Lkw

drei Viertel der Überschreitungen von Achslast Achse 2 im Bereich bis 1 t liegen, ein weiteres Fünftel im Bereich zwischen 1 t und 2 t. Das festgestellte Maximum der Achslast liegt bei 15,0 t.

Bezogen auf die Unternehmen ist in Tabelle 10 ersichtlich, dass mehr als 40 % aller Überschreitungen zulässiger Grenzwerte für Fahrzeugmodule und Achslasten durch Unternehmen U46 hervorgerufen werden. Rund 20 % betreffen Unternehmen U25.

Tabelle 49 in Anlage 14 weist das Verhältnis der Grenzwertüberschreitungen zur Gesamtanzahl der Fahrten jedes Unternehmens aus. Es ist ersichtlich, dass Unternehmen U46 bei 54 % aller Fahrten des Fahrzeugtyps 3 mit 6 Achsen mit unzulässigen Achslasten unterwegs gewesen ist (Spalte „Achslasten / Anteil“).

Der Einfluss gelifteter Achsen an Lang-Lkw auf die Überschreitung von Grenzwerten nach § 34 StVZO besitzt keine signifikante Größe. Gemäß Anlage 15 sind insgesamt nur 0,6 % der Fahrzeugachsen geliftet gewesen, die sich im Wesentlichen auf elf Unternehmen verteilen. Die nachfolgende Tabelle 11 analysiert die Verteilung gelifteter Achsen nach Fahrzeugtypen und Achskonfiguration. In Spalte „Achszahl“ sind dabei die am Fahrzeug technisch vorhandenen Achsen aufgeführt, von denen einzelne geliftet werden können. Knapp 80 % aller tatsächlich gelifteten Achsen wurden demnach an Lang-Lkw-Typ 3 mit 8 Achsen registriert.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Im Rahmen der ersten Untersuchungsstufe wurde in Auswertung von 2.229 Fahrten mit Lang-Lkw nur eine Überschreitung einer Achslast festgestellt. Insofern können entsprechende Entwicklungstendenzen nicht unmittelbar abgeleitet werden. Im Zuge

der vorliegenden Untersuchung kann man jedoch von einer tendenziellen Annäherung an die Werte des konventionellen Lkw-Kollektivs auf Bundesautobahnen ausgehen.

Der Anteil gelifteter Achsen betrug in der Stufe 1 1,4 % und verteilte sich auf vier Unternehmen. Den größten Anteil hatten ebenfalls Lang-Lkw vom Typ 3 mit acht Achsen.

5 Datenanalyse hinsichtlich straßenbautechnischer Kriterien

5.1 Analyse der Achslastverteilung

Zur Analyse der Achslastverteilung werden alle Achslasten des Datenbestandes Achslastklassen mit einer Intervallbreite von 1 t zugeordnet. Die Klassenbezeichnung stellt das Maximum der jeweiligen Achslastklasse dar, darüber liegende Werte werden dem nächsten Intervall zugeordnet.

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, handelt es sich bei dem zugrundeliegenden Datenbestand um eine

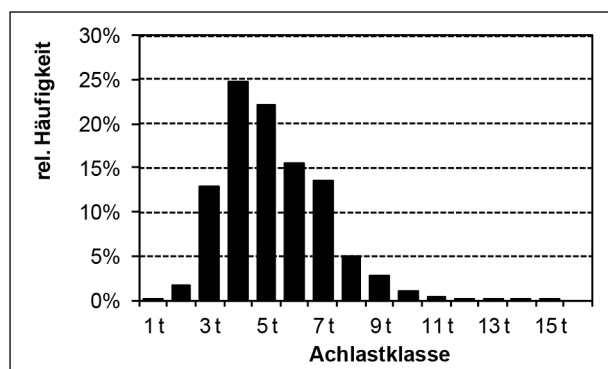


Bild 10: Häufigkeitsverteilung von Achslasten im Direktverkehr

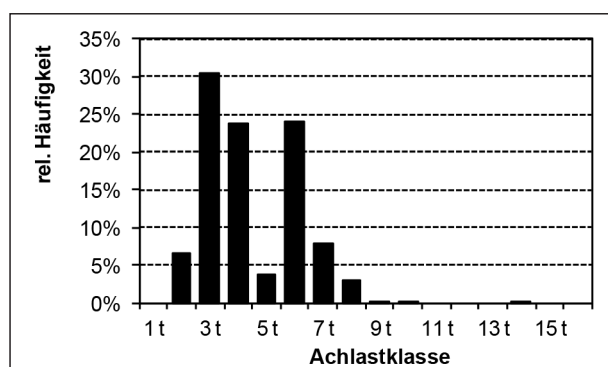


Bild 11: Häufigkeitsverteilung von Achslasten im kombinierten Verkehr

Stichprobe aus dem Gesamtkollektiv Lang-Lkw des Feldversuches. Das Säulendiagramm in Bild 10 verdeutlicht die relative Verteilung der Achslastklassen der Lang-Lkw im Direktverkehr, die durch einen linksschiefen Funktionsverlauf mit Maximum in Achslastklasse 4 t geprägt ist.

Die Verteilung der dokumentierten Achslasten von Lang-Lkw im kombinierten Verkehr gemäß Bild 11 zeigt hingegen ein ausgeprägtes Maximum in der Achslastklasse 3 t, ein lokales Minimum in Achslastklasse 5 t sowie vergleichsweise geringere Häufigkeiten in den oberen Achslastklassen ≥ 7 t.

Der in Form von Polygonverläufen grafisch dargestellte Vergleich beider Verteilungen gemäß Anlage 16, Bild 27 weist auf die Notwendigkeit einer prinzipiell unterschiedlichen Betrachtungsweise für Lang-Lkw im Direktverkehr und Lang-Lkw im kombinierten Verkehr hin. Aufgrund der Funktionsverläufe ist von einem geringeren Achslastniveau der Lang-Lkw im kombinierten Verkehr auszugehen.

Für eine erste, vergleichende Betrachtung mit Achslastverteilungen konventioneller Fahrzeuge werden die Verteilungen nach Anlage 1 der RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] herangezogen, die drei verschiedenen BAB-Typen zugeordnet sind. Zur grafischen Verdeutlichung sind die Achslastverteilungen in Anlage 16, Bild 28 ebenfalls als relative Häufigkeitsdiagramme in Polygon-Version dargestellt. Die Gegenüberstellung der Stichprobe von Lang-Lkw mit den vollständigen Fahrzeugkollektiven konventioneller Lkw zeigt, dass die Achslastverteilung der Lang-Lkw im Direktverkehr dem Funktionsverlauf des BAB-Typs Stadtnaher Verkehr am nächsten kommt. Das Niveau der Achslasten der Lang-Lkw liegt deutlich unter denen der vollständigen Fahrzeugkollektive konventioneller Lkw, was besonders deutlich bei Lang-Lkw im kombinierten Verkehr festzustellen ist.

Die vorliegende Stichprobe der Lang-Lkw stellt nur eine Teilmenge aller im Einsatz befindlichen Lang-Lkw dar. Unter der Annahme, dass diese Stichprobe die Grundgesamtheit der Lang-Lkw weitgehend realitätsnah abbildet und Lang-Lkw zum überwiegenden Teil eher volumenvoll als gewichtsvoll fahren (siehe Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen und Beladungsgrade in Kapitel 4.1), kann davon ausgegangen werden, dass das Achslastniveau der Lang-Lkw vordergründig der Teilmenge äquivalenter konventioneller Fahrzeuge entspricht, welche innerhalb des Lkw-Gesamtkollektivs dem niedrigeren Achs-

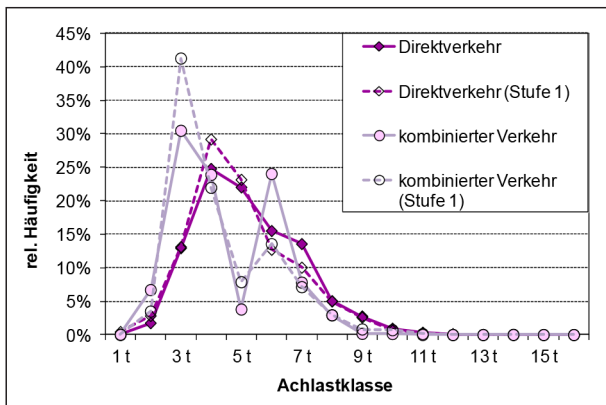


Bild 12: Häufigkeitsverteilung von Achslasten im Vergleich zu Stufe 1 [UHL 2014]

lastbereich zuzuordnen ist. Ein Vergleich des Achslastniveaus von Lang-Lkw mit äquivalenten konventionellen Lkw beinhaltet demnach vordergründig die Analyse innerhalb des unteren Achslastbereiches im Gesamtkollektiv konventioneller Lkw.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Wie bereits im Ergebnis der ersten Untersuchungsstufe festgestellt, zeigen sich die typischen, unterschiedlichen Funktionsverläufe der Achslasthäufigkeiten von Direktverkehr und kombiniertem Verkehr. Weiterhin ist in Bild 12 erkennbar, dass im Direktverkehr die relative Häufigkeit des Maximums in Achslastklasse 4 t um ca. 5 % niedriger liegt als bei den Erhebungen im Jahr 2013. Es erhöhten sich dadurch die relativen Anteile der Achslastklassen 6 t und 7 t, was einen Hinweis auf fahrzeugtechnische Optimierungsprozesse darstellt. Eine ähnliche Entwicklung wird im kombinierten Verkehr angezeigt durch Reduzierung des Maximums bei 3 t um ca. 10 % hin zu einer gleich großen Erhöhung der relativen Häufigkeit in Achslastklasse 6 t. Gleichwohl können aufgrund des nur geringen Datenbestandes hierzu keine grundsätzlichen Aussagen getroffen werden.

5.2 Ermittlung dimensionierungsrelevanter Kenngrößen nach den RStO 12

5.2.1 Grundlagen

Die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) [FGSV 2012] regeln den Neubau und die Erneuerung für den standardisierten Oberbau von Verkehrsflächen verschiedener Befestigungsarten (Asphalt, Beton,

Pflaster) in unterschiedlichen Bauweisen innerhalb und außerhalb geschlossener Ortschaften. Kriterien zur Ermittlung der Dicke des Oberbaues sind ein ausreichendes Tragverhalten sowie eine ausreichende Frostsicherheit.

Im Rahmen der nachfolgenden Betrachtungen werden vorwiegend die Regelungsbereiche der RStO 12 [FGSV 2012] zum Neubau bzw. zur grundhaften Erneuerung einer Straße außerhalb geschlossener Ortschaften in Asphaltbauweise herangezogen. Um ausschließlich die Auswirkungen unterschiedlicher Achslastkollektive auf den Befestigungsaufbau vergleichen und beurteilen zu können, werden für alle Vergleichsfälle identische Bedingungen hinsichtlich des Kriteriums Frostsicherheit sowie identische Bauweisen und Schichtmaterialien zugrunde gelegt. Weiterhin wird von konstanten Faktoren, einer mittleren jährlichen Zunahme des Schwerverkehrs von 3 % sowie von einem Regelnutzungszeitraum von 30 Jahren ausgegangen.

Die Dimensionierung des Oberbaus erfolgt demnach entsprechend Methode 2.2 durch Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B mit konstanten Faktoren.

$$B = N \cdot EDTA^{(SV)} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_Z \cdot 365 \quad (\text{Gl. 1})$$

mit

$$\text{mit } EDTA^{(SV)} = \sum_k \left[DTA_k^{(SV)} \cdot \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right] \quad (\text{Gl. 2})$$

$EDTA^{(SV)}$ Durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten Achsübergänge des Schwerverkehrs [Aü/24h]

k Lastklasse, als Gruppe von Einzelachslasten definiert [-]

$DTA_k^{(SV)}$ Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge des Schwerverkehrs der Lastklasse k [Aü/24h]

L_k Mittlere Achslast in der Lastklasse k [t]

L_0 Bezugsachslast: 10 [t]

Die Größe zur Beschreibung des Einflusses der Achslasten auf die Dimensionierung stellt in (Gl. 1) die Anzahl der täglichen äquivalenten Achsübergänge $EDTA^{(SV)}$ des Schwerverkehrs dar.

5.2.2 Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge EDTA^(SV)

In Anlage 17 sind alle Eingangsgrößen zur Berechnung der äquivalenten 10-t-Achsübergänge der Lang-Lkw ausgewiesen. Die Höhe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs ist vom jeweiligen Planungsfall abhängig und kann für ausschließlich vergleichende Analysen frei gewählt werden mit $DTV^{(SV)} > 0$. Es wurde ein $DTV^{(SV)}_{LLkw}$ von 1.000 Kfz/24h angesetzt. Das Verhältnis der zu vergleichenden äquivalenten 10-t-Achsübergänge ist unabhängig von diesem Wert.

Zur Berechnung der durchschnittlichen täglichen Anzahl der Achsübergänge $DTA^{(SV)}$ in (Gl. 2) ist zunächst der Achszahlfaktor f_A zu ermitteln. Gemäß Tabelle 12 ergibt sich die Größe des Achszahlfaktors f_A aus den dokumentierten Fahrzeugdaten zu knapp 7 im Direktverkehr und 7,4 im kombinierten Verkehr. Geliftete Achsen wurden dabei nicht berücksichtigt, da sie die Straßen während der Fahrt nicht belasten.

Der Betrag von $DTA^{(SV)}$ je Lastklasse k berechnet sich aus deren relativem Anteil der Achsübergänge innerhalb des gesamten Achslastklassenkollektives. Grundlage bilden die Fahrzeugdokumentationen und Achslastverteilungen von Lang-Lkw im Direktverkehr und im kombinierten Verkehr nach Kapitel 5.1.

Das Berechnungsergebnis der Anzahl äquivalenter 10-t-Achsübergänge weist für Lang-Lkw im Direktverkehr einen um 62 % höheren Wert als für Lang-

| Eingangsgröße | Direktverkehr | kombin. Verkehr |
|----------------------|---------------|-----------------|
| Anzahl Fahrten | 17.578 | 463 |
| Anzahl Achsübergänge | 122.610 | 3.433 |
| Achszahlfaktor f_A | 6,98 | 7,41 |

Tab. 12: Achszahlfaktor f_A von Lang-Lkw

| Eingangsgröße | Stufe 2 | | Stufe 1 [UHL 2014] | |
|----------------|---------|-------|--------------------|-------|
| | DV | KV | DV | KV |
| Anzahl Fahrten | 17.578 | 463 | 1.746 | 483 |
| Achsübergänge | 122.610 | 3.433 | 12.917 | 3.496 |
| Achszahlfaktor | 6,98 | 7,41 | 7,40 | 7,24 |
| $DTV^{(SV)}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $EDTA^{(SV)}$ | 916 | 569 | 827 | 545 |

Tab. 13: Vergleich der Eingangsgrößen nach RStO 12 für Lang-Lkw Stufe 1 und Stufe 2

Lkw im kombinierten Verkehr aus (Anlage 17). Ursache hierfür sind die in Kapitel 5.1 analysierten unterschiedlichen Achslastverteilungen beider Verkehrsarten sowie der relativ geringe Anteil an Fahrten des kombinierten Verkehrs.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Der Vergleich zu den Ergebnissen der ersten Untersuchungsstufe zeigt die Auswirkungen der in Kapitel 3.3 dargestellten Entwicklungstendenzen im Direktverkehr hin zu Fahrzeugen mit weniger Achsen. So reduzierte sich der Achszahlfaktor um 6 %, was aufgrund des Einflusses auf die Achslastverteilung zu einer Erhöhung von $EDTA^{(SV)}$ um 11 % führt.

Die Ergebnisse des kombinierten Verkehrs beruhen auf vergleichsweise wenigen Daten, innerhalb derer der Anteil des 9-achsigen Fahrzeuges des Unternehmens U38 im Vergleich zu Stufe 1 entsprechend hoch ist. Insofern sind hierzu keine fundierten Aussagen möglich.

6 Ermittlung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs

6.1 Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen

Zum Vergleich der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und konventionellen Lkw ist es erforderlich, für die dokumentierte Transportleistung der Lang-Lkw äquivalente konventionelle Lkw zu definieren. Hierzu wurden teils vorhandene Angaben in der Datenbank des Auftragnehmers zu FE 82.0630/2015 analysiert sowie Befragungen der beteiligten Unternehmen durchgeführt. Im Ergebnis konnten für jedes Unternehmen die in Anlage 18 dargestellten konventionellen Fahrzeugtypen nach [BASt 2012.2] ermittelt werden. In ca. der Hälfte der Unternehmen wurden bzw. werden verschiedene Fahrzeugtypen eingesetzt. In Bild 13 sind die insgesamt acht Fahrzeugtypen symbolisiert dargestellt, von denen Fahrzeugtyp 98 am häufigsten in den Unternehmen zum Einsatz kommt.

Die dargestellten konventionellen Fahrzeuge wurden vor Beginn des Feldversuches bzw. werden alternativ zu Lang-Lkw von den Unternehmen zur Erbringung der gleichen Transportleistung genutzt. Dabei ist in der Regel davon auszugehen, dass die logistischen Prozesse innerhalb eines Unterneh-









| Typ | Symbol |
|-----|--|
| 32 |  |
| 33 |  |
| 34 |  |
| 41 |  |
| 42 |  |
| 96 |  |
| 97 |  |
| 98 |  |

Bild 13: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen nach [BASt 2012.2]

mens im Sinne einer Optimierung auf die jeweils zur Verfügung stehenden Transportkapazitäten hin ausgerichtet werden. Insofern sind Einzelfahrtbetrachtungen von Lang-Lkw zur Ermittlung äquivalenter konventioneller Lkw nicht zielführend, da eine fahzeuggenaue Umlegung der Fracht von Lang-Lkw auf verschiedene konventionelle Lkw (zum Beispiel die Verteilung der Ladung eines Lang-Lkw auf einen 5-achsigen Sattelzug und einen 3-achsigen Lkw) den logistischen und betriebswirtschaftlichen Anforderungen zuwiderläuft.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Im Rahmen der ersten Untersuchungsstufe wurden ausschließlich die Fahrzeugtypen Nr. 41, 42 und 98 (alle mit fünf Achsen) als äquivalente konventionelle Fahrzeuge ermittelt. Dass mittlerweile auch Fahrzeuge mit weniger als fünf Achsen zum Einsatz kamen bzw. kommen würden, ist auf das mit Lang-Lkw transportierte, vorwiegend leichte Ladegut zurückzuführen.

6.2 Anzahl äquivalenter konventioneller Fahrzeuge

Vor dem in Kapitel 6.1 erläuterten Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass der Einsatz von Lang-Lkw ohne Beladung oder mit geringem Bela-

ungsgrad äquivalent auch den Einsatz entsprechend leerer oder gering beladener, konventioneller Lkw im Unternehmen notwendig macht. Die Anzahl äquivalenter konventioneller Lkw ergibt sich somit aus dem Verhältnis des Ladevolumens der Lang-Lkw zum Ladevolumen der äquivalenten konventionellen Lkw. In Anlage 19 sind die entsprechenden Werte unternehmensspezifisch auf der Grundlage der Angaben des Forschungsnehmers FE 82.0630/2015 sowie Auskünften der Spediteure enthalten. Die Werte der Unternehmen U5 und U23 resultieren aus dem Bruttovolumen von 20'-ISO-Containern (drei Stück auf Lang-Lkw, zwei Stück auf konventionellen Lkw).

Der Einsatz eines Lang-Lkw bedingt – je nach Art der Fahrzeugtypen – im Direktverkehr den äquivalenten Einsatz von rechnerisch 1,28 bis 1,88 konventionellen Lkw. Im kombinierten Verkehr beträgt das Volumenverhältnis Lang-Lkw zu äquivalentem konventionellem Lkw genau 1 zu 1,5.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Die vorliegenden Ergebnisse weisen im Vergleich zu Stufe 1 hinsichtlich des unternehmensspezifischen Volumenfaktors eine größere Spannweite auf. Dieser lag im Jahr 2013 im Direktverkehr bei 1,30 bis 1,69. Im kombinierten Verkehr ergaben sich aufgrund der definierten Containermaße keine Änderungen.

6.3 Äquivalente Verkehrsstärke und Achsübergänge konventioneller Fahrzeuge

Basierend auf den in den Absätzen 6.1 und 6.2 ermittelten Berechnungsansätzen lässt sich die zur Bewältigung der gesamten Transportleistung notwendige, äquivalente Anzahl konventioneller Lkw darstellen. Die in Anlage 20 enthaltene Gegenüberstellung weist für alle dokumentierten 18.041 Lang-Lkw-Fahrten einen Bedarf von rund 27.320 Fahrten konventioneller Lkw aus. Das heißt, ein Lang-Lkw ersetzt 1,51 Fahrzeuge der konventionellen Volumentransporte. Sofern Unternehmen unterschiedliche konventionelle Fahrzeugtypen angegeben haben, wurde deren Anteil jeweils gleichverteilt zugrunde gelegt.

Den 126.793 Achsübergängen der Lang-Lkw stehen 125.364 Achsübergänge konventioneller Lkw gegenüber. Bei Einsatz der Lang-Lkw wird die Anzahl der Achsübergänge somit um 1 % erhöht.

In Anlage 21 ist das Ergebnis in Form eines Faktors zur Ermittlung der Verkehrsstärke für den äquivalenten konventionellen Schwerverkehr in Abhängigkeit der Verkehrsstärke von Lang-Lkw zusammengefasst. Der Faktor f_{DTVSV} beträgt 1,52 im Direktverkehr und 1,50 im kombinierten Verkehr.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Betreffend des Verkehrsstärkefaktors f_{DTVSV} gab es im Vergleich zu den Ergebnissen der ersten Stufe keine Veränderungen. Dieser betrug 1,52 im Direktverkehr und 1,49 im kombinierten Verkehr. Der Faktor wird unmittelbar aus den Ladevolumenverhältnissen von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw ermittelt. Diesbezüglich gab es offenbar keine maßgeblichen Änderungen in der Fahrzeugstruktur und Fahrzeugtechnik.

6.4 Analyse der äquivalenten Fahrzeugkollektive

Die Transportleistung der Lang-Lkw kann, wie bereits in Kapitel 6.1 dargestellt, alternativ durch acht Fahrzeugtypen des konventionellen Schwerverkehrs erbracht werden. Aus Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die Anteile der einzelnen Fahrzeugtypen am äquivalenten Fahrzeugkollektiv ersichtlich. Fahrzeugtyp 98 verfügt über die jeweils deutlich größten Anteile.

| Typ | Fahrten | Achsübergänge |
|-------|---------|---------------|
| 32 | 4 % | 2 % |
| 33 | 1 % | 1 % |
| 34 | 9 % | 8 % |
| 41 | 7 % | 8 % |
| 42 | 9 % | 9 % |
| 96 | 2 % | 1 % |
| 97 | 21 % | 19 % |
| 98 | 48 % | 52 % |
| Summe | 100 % | 100 % |

Tab. 14: Anteile der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen im Direktverkehr

| Typ | Fahrten | Achsübergänge |
|-------|---------|---------------|
| 41 | 13 % | 13 % |
| 98 | 87 % | 87 % |
| Summe | 100 % | 100 % |

Tab. 15: Anteile der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen im kombinierten Verkehr

In Zusammenfassung und Klassifizierung aller Fahrzeuge nach Lang-Lkw-Typen lässt sich das jeweils äquivalente Fahrzeugkollektiv konventioneller Lkw zur Erbringung der Transportleistung von Lang-Lkw subsumieren. In Anlage 22 ist die Ermittlung des äquivalenten Fahrzeugkollektivs hinsichtlich Fahrzeugtyp und Verkehrsstärke (Anzahl der Fahrten) sowie den daraus resultierenden Achsübergängen, getrennt für Direktverkehr und kombinierten Verkehr, zusammengestellt. In Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt Tabelle 16, dass im Direktverkehr die Summe der äquivalenten Achsübergänge konventioneller Lkw im Vergleich zu Lang-Lkw der Typen 2

| Lang-Lkw | | äquival. konv. Lkw | |
|----------------------------|---------------|--------------------|--------|
| Typ | Achsübergänge | Achsübergänge | Anteil |
| Direktverkehr (DV): | | | |
| 2 | 42.810 | 44.383 | 104 % |
| 3 | 79.578 | 76.473 | 96 % |
| 5 | 930 | 1.036 | 111 % |
| Σ | 123.318 | 121.892 | 99 % |
| kombinierter Verkehr (KV): | | | |
| 2 | 2.338 | 2.505 | 107 % |
| 4 | 1.137 | 968 | 85 % |
| Σ | 3.475 | 3.473 | 100 % |
| DV + KV: | | | |
| Σ | 126.793 | 125.364 | 99 % |

Tab. 16: Achsübergänge der Fahrzeugkollektive von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw

| Lang-Lkw | | äquival. konv. Lkw | |
|----------------------------|---------------|--------------------|--------|
| Typ | Achsübergänge | Achsübergänge | Anteil |
| Direktverkehr (DV): | | | |
| 2 | 980 | 1.008 | 103 % |
| 3 | 11.764 | 12.202 | 104 % |
| 4 | 225 | 188 | 84 % |
| 5 | 6 | 8 | 133 % |
| Σ | 12.975 | 13.406 | 103 % |
| kombinierter Verkehr (KV): | | | |
| 2 | 1.295 | 1.388 | 107 % |
| 3 | 2.248 | 2.076 | 92 % |
| 4 | 136 | 128 | 94 % |
| Σ | 3.679 | 3.592 | 98 % |
| DV + KV: | | | |
| Σ | 16.654 | 16.998 | 102 % |

Tab. 17: Achsübergänge der Fahrzeugkollektive von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw in [UHL 2014]

und 5 höher ist, im Vergleich zu Lang-Lkw vom Typ 3 dagegen niedriger. Dies ist auf den relativ hohen Anteil konventioneller Lkw mit weniger als fünf Achsen im Vergleichskollektiv zu Lang-Lkw 3 mit sieben und Lang-Lkw 3 mit acht Achsen zurückzuführen (Anlage 22). In der Summe aller Lang-Lkw-Typen im Direktverkehr bewirkt das äquivalente Lkw-Kollektiv eine um 1 % niedrigere Achsübergangszahl.

Im kombinierten Verkehr ergibt sich in der Summe für beide Fahrzeugkollektive nahezu die gleiche Achsübergangszahl. Während konventionelle Fahrzeuge gegenüber Lang-Lkw-Typ 2 eine höhere Achsübergangszahl aufweisen, liegt sie gegenüber Lang-Lkw-Typ 4 in derselben Größenordnung darunter. Dies ist auf den relativ hohen Anteil des Typs 4 mit neun Achsen zurückzuführen.

Gesamt betrachtet ergibt sich für alle Fahrzeuge im Direktverkehr und kombinierten Verkehr bei gleicher Transportleistung eine um 1 % niedrigere Anzahl an Achsübergängen äquivalenter konventioneller Lkw gegenüber den Achsübergängen von Lang-Lkw.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Im Rahmen der ersten Untersuchungsstufe lag gemäß Tabelle 17 die Anzahl der Achsübergänge konventioneller Lkw im Direktverkehr um 3 % höher als die von Lang-Lkw, im kombinierten Verkehr um 2 % niedriger. Insofern haben sich keine signifikanten Veränderungen ergeben. Die relativ geringen Differenzen der Ergebnisse beider Untersuchungsstufen sind auf die Zusammensetzung des mittlerweile typenreicheren Fahrzeugkollektivs zurückzuführen. Dieses umfasst sowohl im Kollektiv der Lang-Lkw als auch im Kollektiv der äquivalenten konventionellen Lkw höhere Anteile an Fahrzeugkonfigurationen mit niedrigen Achsanzahlen.

7 Äquivalentes Achslastkollektiv konventioneller Fahrzeuge

7.1 Berechnung des äquivalenten Achslastkollektivs

Die Ermittlung des äquivalenten Achslastkollektivs umfasst die rechnerische Verteilung der Lang-Lkw-Ladungen auf äquivalente konventionelle Lkw sowie die anschließende Berechnung und Klassifizierung der daraus resultierenden Achslasten.

Zur Berechnung der Ladungsmassen sind die Fahrzeugmassen im unbeladenen Zustand (M_{leer}) erforderlich. Die entsprechenden Werte wurden aus Angaben der Unternehmen generiert und in Anlage 23 zusammengestellt. Aus der Differenz der in Kapitel 4.1 analysierten Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw sowie den Fahrzeugmassen im unbeladenen Zustand ergibt sich für jede dokumentierte Fahrt mit Lang-Lkw die entsprechende Ladungsmasse. Unter der Annahme, dass Lang-Lkw grundsätzlich volumenvoll beladen sind, ergibt sich aus dem Verhältnis der Ladungsmasse zum Ladevolumen des Lang-Lkw gemäß Anlage 19 die mittlere Ladungsdichte.

Auf der Grundlage der berechneten mittleren Ladungsdichte wird die Ladung des Lang-Lkw auf die äquivalenten konventionellen Lkw entsprechend deren Ladevolumen nach Anlage 19 verteilt, woraus sich die jeweiligen Ladungsmassen der konventionellen Lkw berechnen. Die Verteilung der Ladungsmasse des Lang-Lkw auf die äquivalenten konventionellen Lkw nach Anlage 18 erfolgt ebenfalls unter der Annahme, dass konventionelle Lkw im Sinne einer logistischen Optimierung grundsätzlich volumenvoll beladen sind. Sinnbildlich wird somit die Ladung eines volumenvoll beladenen Lang-Lkw auf ca. 1,5 (Faktor f_{DTVSV} gemäß Kapitel 6.3) volumenvoll beladene, konventionelle Lkw verteilt.

Durch Summierung der ermittelten Ladungsmasse mit der Fahrzeugmasse der unbeladenen, äquivalenten konventionellen Lkw nach Anlage 23 berechnen sich deren jeweiligen Fahrzeuggesamtmassen. Die Auswertung der Ergebnisse in Anlage 24 ergibt, dass das arithmetische Mittel x_m der Fahrzeuggesamtmasse konventioneller Lkw im Direktverkehr lediglich 23,1 t und im kombinierten Verkehr 21,9 t beträgt. In Summe von Direktverkehr und kombiniertem Verkehr liegt das arithmetische Mittel bei 23,0 t bei einer Standardabweichung $\sigma = 3,3$ t. Ursache hierfür sind die geringen Ladungsdichten der Transportgüter von Lang-Lkw.

Anlage 25 enthält die Verteilungen der berechneten Fahrzeuggesamtmassen für äquivalente konventionelle Lkw-Typen im Direktverkehr und im kombinierten Verkehr. Im kombinierten Verkehr werden ausschließlich die Fahrzeugtypen 41 und 98 als äquivalente konventionelle Fahrzeuge eingesetzt.

Zur Ermittlung der Achslasten äquivalenter konventioneller Lkw werden die fahrzeugtypabhängi-

gen funktionalen Zusammenhänge von Fahrzeuggesamtmasse, Masse einzelner Fahrzeugmodule (Zugfahrzeug, Anhänger bzw. Sattelanhänger) sowie Achslasten von Doppel- und Einzelachsen nach WOLF [2010] herangezogen.

In Anlage 26 sind die entsprechenden Formeln und Parameter, bezogen auf die relevanten Fahrzeugtypen konventioneller Lkw, zusammengefasst.

Die anschließende Klassifizierung der berechneten Achslasten in Achslastkollektive für äquivalente konventionelle Fahrzeuge erfolgt getrennt nach Unternehmen und konventionellem Fahrzeugtyp gemäß Anlage 18.

7.2 Vergleichende Analyse der Achslastkollektive

Im Ergebnis der Berechnungsprozeduren gemäß Kapitel 7.1 wurden die in den Wertetabellen der Anlage 27 zusammengestellten Achslastverteilungen ermittelt. Zum unmittelbaren Vergleich sind die Verteilungen der zugehörigen Lang-Lkw-Achsen ebenfalls ausgewiesen. Verfügt ein Unternehmen über mehrere verschiedene Lang-Lkw-Typen, so ist die Unternehmensnummer um die Ziffern des Lang-Lkw-Typs sowie der Achszahl erweitert. Werden in einem Unternehmen mehrere äquivalente konventionelle Lkw eingesetzt, so wird deren Anteil gleichverteilt auf die Fahrleistung des zugehörigen Lang-Lkw angesetzt. Die resultierende Achslastverteilung äquivalenter konventioneller Lkw ist unter Spalte „äklkw“ subsummiert.

In Bild 14 ist zu erkennen, dass im Direktverkehr die Belegung der Achslastklassen von Lang-Lkw im höheren Bereich ab 9 t nur marginal über der der konventionellen Lkw liegt. In Achslastklasse 7 t haben konventionelle Lkw deutlich höhere Anteile. Deren

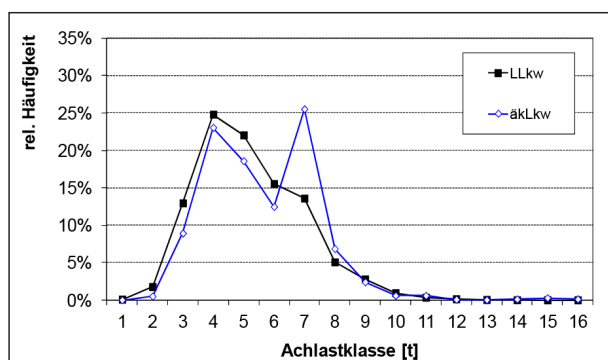


Bild 14: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im Direktverkehr

Verteilungsfunktion zeigt einen bimodalen Verlauf mit lokalen Maxima in den Achslastklassen 4 t und 7 t. Diese Maxima resultieren im Wesentlichen aus der spezifischen Achslastverteilung des Fahrzeugtyps 98. Dabei werden das lokale Maximum bei 4 t durch die drei Achsen des Sattelanhängers und das lokale Maximum bei 7 t durch die beiden Achsen der Sattelzugmaschine hervorgerufen.

Bild 15 zum kombinierten Verkehr zeigt bimodale Verläufe beider Verteilungsfunktionen, wobei in den Achslastklassen 7 t und 9 t signifikant höhere Anteile der Achslasten konventioneller Fahrzeuge zu verzeichnen sind.

Die unternehmensbezogene Analyse der Achslastverteilung in Anlage 28 weist infolge des unterschiedlichen Datenumfanges sowie der eingesetzten Fahrzeugtypen verschiedene Funktionsverläufe auf, wobei die grundsätzlichen Aussagen zu Direktverkehr und kombinierten Verkehr, vor allem auch betreffend der Achslastbereiche ab 9 t, weitgehend reflektiert werden. Abweichend dazu sind bei folgenden Lang-Lkw die Anteile in den höheren Achslastklassen ab 9 t höher als bei den entsprechenden äquivalenten konventionellen Lkw: U6 (Typ 3 mit acht Achsen), U9 (Typ 3 mit sechs Achsen), U12 (Typ 2 mit sieben Achsen), U26 (Typ 3 mit acht Achsen), U32 (Typ 5 mit sechs Achsen), U37 (Typ 3 mit sieben Achsen) und U46 (Typ 3 mit sechs Achsen).

Besonders abweichend zeigt sich die Verteilungsfunktion des Lang-Lkw von Unternehmen U38 (Typ 4 mit neun Achsen) mit in der Regel höchsten Achslasten von 8 t. Dies resultiert aus der im Vergleich höchsten Achsanzahl am Lang-Lkw (neun Achsen) sowie besonders auch an der – im vorliegenden Datenbestand einzigen – Dreifachachse am Zugfahrzeug.

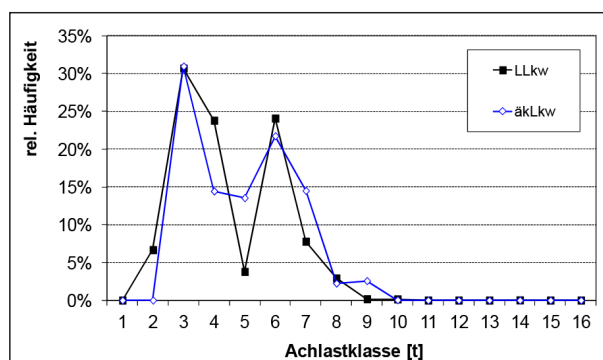


Bild 15: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im kombinierten Verkehr

Zur Lokalisierung auftretender Achslasten an Lang-Lkw, insbesondere vergleichsweise hoher Achslasten ab 8 t, wurde ergänzend die fahrzeugtypbezogene Verteilung der Achslasten ermittelt. Die grafische Darstellung der Ergebnisse in Anlage 29 zeigt, dass bei den Lang-Lkw-Typen 2 mit fünf Achsen, 3 mit sechs Achsen und 5 mit sechs Achsen in den oberen Achslastklassen ab 8 t vergleichsweise hohe Anteile zu verzeichnen sind. Es ist weiterhin ersichtlich, dass der Anteil höherer Achslasten ab 8 t nahezu ausschließlich durch Achse 2, und somit in der Regel die Antriebsachse, hervorgerufen wird. In Summe mit Achse 1 ergibt sich damit ab Achslastklasse 6 t bis zur höchsten Achslastklasse 16 t der deutlich größte, relative Anteil der Achslasten. Im Gegensatz hierzu stellt sich die Achslastverteilung im Lang-Lkw vom Typ 4 mit neun Achsen dar, der zur angetriebenen Achse 3 noch über eine Vorlaufachse (Achse 2) und eine Nachlaufachse (Achse 4) verfügt. Infolgedessen ist der Achslastbereich oberhalb 8 t kaum noch vorhanden, was im Hinblick auf die Beanspruchung einer Straßenbefestigung als sehr vorteilhaft zu bewerten ist.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Die Ergebnisse spiegeln im Wesentlichen die Aussagen zur ersten Untersuchungsstufe wider, abgesehen von den Bezügen auf Lang-Lkw mit fünf oder sechs Achsen, zu denen seinerzeit keine entsprechenden Daten vorlagen.

Im Direktverkehr zeigt der Vergleich beider Untersuchungsstufen in Bild 16, dass die Anteile der Achslasten konventioneller Lkw im unteren lokalen Maximum bei 4 t um ca. 9 % gesunken und im oberen lokalen Maximum bei 7 t um ca. 4 % gestiegen sind. Dies ist auf die nunmehr festgestellte Erweiterung des Fahrzeugkollektivs äquivalenter konventioneller Lkw um die Fahrzeugtypen 32, 96 (jeweils mit drei Achsen), 33, 34 und 97 (jeweils mit vier Achsen) zurückzuführen. Eine analoge Entwicklung ist für das Kollektiv der Lang-Lkw zu verzeichnen, bei dem sich nunmehr die Anteile in Achslastklasse 4 t um ca. 4 % reduziert und in Achslastklasse 7 t um ca. 3,5 % erhöht haben. Auch hierfür kann die Erweiterung des Spektrums der Fahrzeugkonfigurationen mit weniger als 8 Achsen in Typ 3 und weniger als sieben Achsen in Typ 2 als Ursache ermittelt werden.

Bild 17 zeigt die Verteilung der Achslastklassen im kombinierten Verkehr aus [UHL 2014] mit den gleichen lokalen Maxima bei 3 t und 6 t wie in Bild 15. Beide Maxima haben sich im Kollektiv der äquiva-

lenten konventionellen Lkw um ca. 2,5 % reduziert bei gleichzeitiger Erhöhung des Anteils in Achslastklasse 5 t um ca. 4 %. Im Kollektiv der Lang-Lkw ist der Anteil in Achslastklasse 3 t um ca. 10,5 % gesunken und in Achslastklasse 6 t um den gleichen Betrag gestiegen. Generelle Entwicklungstendenzen lassen sich aufgrund der relativ geringen Datengrundlage jedoch nicht treffen, da insbesondere auch der offenbar signifikante Anteil an Leerfahrten bzw. Fahrten mit leeren Containern einen deutlichen Einfluss ausübt.

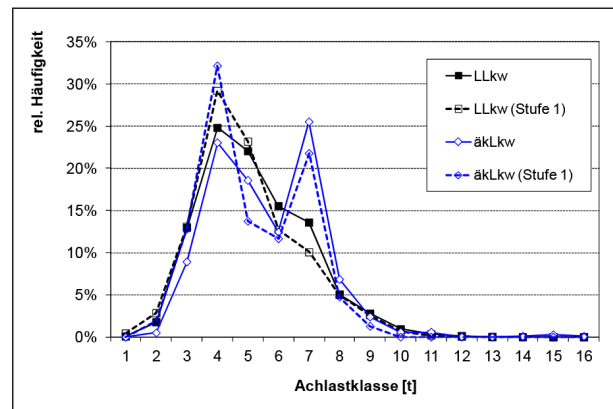


Bild 16: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im Direktverkehr im Vergleich zu [UHL 2014]

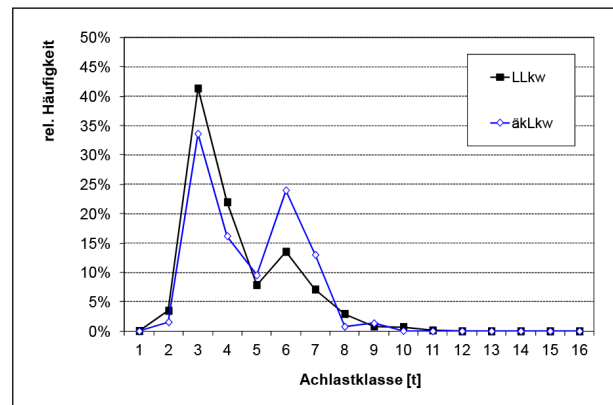


Bild 17: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im kombinierten Verkehr nach [UHL 2014]

8 Vergleichende Analyse des Belastungs-/Beanspruchungsniveaus der Fahrbahnbefestigung

8.1 Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und konventionellen Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]

8.1.1 Grundlagen

Für eine ausschließlich fahrzeugartbezogene, vergleichende Analyse von Lang-Lkw und konventionellen Lkw werden die achslastabhängigen, dimensionierungsrelevanten Kriterien analog Kapitel 5.2 gegenübergestellt.

Zur Ermittlung der Auswirkungen der Achslastkollektive auf den Befestigungsaufbau wird das Beanspruchungsniveau mittels der äquivalenten 10-t-Achsübergänge $EDTA^{(SV)}$ quantifiziert. Grundlage bilden die Achslastverteilungen von Lang-Lkw im Direktverkehr und im kombinierten Verkehr nach Kapitel 5.1 sowie die in Kapitel 7.1 berechneten, zugehörigen Achslastverteilungen konventioneller Lkw.

8.1.2 Achszahlfaktor f_A

Die Größe des Achszahlfaktors f_A berechnet sich entsprechend der in den Kapiteln 5.2.2, 6.1 und 6.2 dargestellten Prozeduren, Tabelle 18 enthält die Ergebnisse.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Im Vergleich zu den Faktoren in Tabelle 19 ist die bereits zuvor festgestellte Entwicklung beider Fahrzeugkollektive hin zu größeren Anteilen an Fahrzeugen mit vergleichsweise weniger Achsen nachzu-

| Direktverkehr | | kombinierter Verkehr | |
|---------------|-------|----------------------|-------|
| LLkw | äkLkw | LLkw | äkLkw |
| 6,98 | 4,58 | 7,41 | 5,00 |

Tab. 18: Achszahlfaktoren f_A der Fahrzeugkollektive Lang-Lkw und äquivalente konventionelle Lkw

| Direktverkehr | | kombinierter Verkehr | |
|---------------|-------|----------------------|-------|
| LLkw | äkLkw | LLkw | äkLkw |
| 7,40 | 5,00 | 7,24 | 5,00 |

Tab. 19: Achszahlfaktoren f_A der Fahrzeugkollektive Lang-Lkw und äquivalente konventionelle Lkw in [UHL 2014]

vollziehen. Die Achszahlfaktoren zu Lang-Lkw und zu äquivalenten konventionellen Lkw liegen deshalb nunmehr unterhalb derer aus dem Datenerhebungsjahr 2013.

8.1.3 Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge

Die Eingangsgrößen und Berechnungsergebnisse zur Ermittlung von $EDTA^{(SV)}$ für äquivalente konventionelle Lkw sind in Anlage 30 tabellarisch zusammengefasst. Analog Kapitel 5.2.2 wird von einem Wert $DTV^{(SV)} = 1.000$ Kfz/24h der Lang-Lkw ausgegangen. Entsprechend der ermittelten Achslastverteilungen und Achszahlfaktoren für die äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektive ergibt sich im Vergleich für Fahrzeuge ausschließlich im Direktverkehr ein um 63 % höherer Wert für $EDTA^{(SV)}$ als für Fahrzeuge ausschließlich im kombinierten Verkehr.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Werten für Lang-Lkw in Tabelle 20 zeigt, dass die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge für Lang-Lkw kleiner als die der zugehörigen konventionellen Lkw sind. Sowohl im Direktverkehr als auch im kombinierten Verkehr liefert die Berechnung für Lang-Lkw jeweils um 28 % niedrigere Werte für $EDTA^{(SV)}$. Ursache hierfür sind die in Kapitel 7.2 analysierten Häufigkeitsverteilungen der Achslastklassen von Lang-Lkw und konventionellen Lkw in Verbindung mit dem Verkehrsstärkefaktor $f_{DTV^{(SV)}}$ nach Kapitel 6.3.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Maßgebend und aussagekräftig sind für diese Betrachtung ebenfalls nur die Werte des Direktver-

| Direktverkehr | | kombinierter Verkehr | |
|---------------|-------|----------------------|-------|
| LLkw | äkLkw | LLkw | äkLkw |
| 72 % | 100 % | 72 % | 100 % |

Tab. 20: Verhältnis der Anzahl äquivalenter 10-t-Achsübergänge $EDTA^{(SV)}$ von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw

| Bearbeitungsstufe | Direktverkehr | | kombin. Verkehr | |
|-------------------|---------------|-------|-----------------|-------|
| | LLkw | äkLkw | LLkw | äkLkw |
| Stufe 1 | 827 | 866 | 545 | 652 |
| | 95 % | 100 % | 84 % | 100 % |
| Stufe 2 | 916 | 1.266 | 566 | 781 |
| | 72 % | 100 % | 72 % | 100 % |
| Steigerung | 111 % | 146 % | 104 % | 120 % |

Tab. 21: Vergleich von $EDTA^{(SV)}$ für $DTV^{(SV)}_{LLkw} = 1.000$ Kfz/24h

kehrs. Anhand Tabelle 21 kann festgestellt werden, dass sich das Verhältnis im unmittelbaren Vergleich zwischen Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw signifikant geändert hat. Während in Stufe 1 der Wert für Lang-Lkw noch 95 % des Wertes für äquivalente konventionelle Lkw betrug, sind es aktuell nur noch 72 %. Absolut betrachtet haben sich die Werte im Vergleich zu [UHL 2014] für beide Fahrzeugkollektive erhöht bei einer deutlich größeren Steigerung der äquivalenten konventionellen Lkw um 46 %.

8.2 Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf die Straßenbefestigung bei Einsatz von Lang-Lkw

8.2.1 Grundlagen

Wie in Kapitel 5.1 erläutert, stellen Lang-Lkw lediglich eine Teilmenge des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf der Straße dar. Insofern erfordert die Analyse eines gegebenenfalls veränderten Beanspruchungsniveaus der Straßenbefestigung bei Einsatz von Lang-Lkw die Gegenüberstellung der Beanspruchung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr ohne Lang-Lkw mit der Beanspruchung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr mit Lang-Lkw. Hierzu wird die arithmetische Substitution eines Teils konventioneller Lkw durch Lang-Lkw erforderlich, wodurch das Vergleichskollektiv Schwerverkehr mit Lang-Lkw definiert werden kann. Beide Fahrzeugkollektive (Schwerverkehr ohne Lang-Lkw und Schwerverkehr mit Lang-Lkw) können anschließend vergleichenden Betrachtungen zur dimensionsrelevanten Beanspruchung nach den RStO 12 [FGSV 2012] und den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] unterzogen werden.

8.2.2 Definition der Achslastkollektive

Unter Berücksichtigung der in FE 89.273 analysierten logistischen und betriebswirtschaftlichen Einsatzkriterien für Lang-Lkw wird das Fahrzeug- bzw. Achslastkollektiv BAB-Fernverkehr nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] als relevantes Vergleichskollektiv Schwerverkehr ohne Lang-Lkw herangezogen. Analog der Intervallbreite von 2 t werden auch die nach den Kapiteln 5.1 und 7.1 ermittelten Achslastverteilungen für Lang-Lkw und für äquivalente konventionelle Lkw in Intervalle von 2 t klassifiziert. Weitere konstante Eingangsgrößen zum Berechnungsverfahren sind die Anteile von Direktverkehr

und kombiniertem Verkehr am Gesamtaufkommen der Lang-Lkw sowie die Verkehrsstärkefaktoren f_{DTVSV} für diese beiden Verkehrsarten.

Analog zu [UHL 2014] und unter Bezug auf die Ergebnisse des Forschungsnehmers von FE 89.273 zu szenarienabhängigen Prognosen des theoretisch möglichen Anteils von Lang-Lkw am gesamten Schwerverkehr werden nachfolgend Vergleichsberechnungen für drei verschiedene Anteile Lang-Lkw am Gesamtaufkommen BAB-Fernverkehr mit 2 %, 5 % und 9 % durchgeführt. Grundlage bildet ein Beispiel-Verkehrsaufkommen BAB-Fernverkehr von $DTV^{(SV)} = 1.000 \text{ Kfz}/24\text{h}$. Der Achszahlfaktor für BAB-Fernverkehr ist gemäß den RStO 12 [FGSV 2012] mit $f_A = 4,50$ definiert.

Anlage 31 enthält alle Eingangsgrößen sowie die Berechnungsergebnisse in Form relativer Achslastverteilungen „BAB-Fernverkehr LLkw“ für die drei Szenarien mit Lang-Lkw-Anteilen 2 %, 5 % und 9 %. Es ist festzustellen, dass sich im Vergleich zur Verteilung BAB-Fernverkehr (ohne Lang-Lkw) die größte Änderung in der Achslastklasse 8 t (-2,02 %) ergibt. Achslastklasse 10 t erhöht sich um 0,14 %. Insgesamt resultiert aus einem steigenden Anteil Lang-Lkw eine Verschiebung der relativen Anteile in Richtung der unteren Achslastklassen bis 6 t.

8.2.3 Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Schwerverkehr mit und ohne Lang-Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]

Analog der Vorgehensweise in Kapitel 5.2 werden für die nachfolgenden Betrachtungen vorwiegend die Regelungsbereiche der RStO 12 [FGSV 2012] zum Neubau bzw. zur grundhaften Erneuerung einer Straße außerhalb geschlossener Ortschaften in Asphaltbauweise herangezogen.

Um die Auswirkungen der Achslastkollektive BAB-Fernverkehr und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw auf den Befestigungsaufbau vergleichend analysieren zu können, werden für alle Vergleichsfälle identische Bedingungen hinsichtlich des Kriteriums Frostsicherheit sowie identische Bauweisen und Schichtmaterialien zugrunde gelegt. Weiterhin wird von konstanten Faktoren, einer mittleren jährlichen Zunahme des Schwerverkehrs von 3 % sowie von einem Regelnutzungszeitraum von 30 Jahren ausgegangen.

| Kenngröße | BAB Fernverkehr | BAB Fernverkehr LLkw | | |
|----------------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------|
| | | 2% | 5% | 9% |
| Anteil LLkw | 0% | 2% | 5% | 9% |
| f_A | 4,50 | 4,55 | 4,61 | 4,70 |
| DTV ^(SV) | 1.000 | 988 | 973 | 952 |
| EDTA ^(SV) | 2.084 | 2.073 | 2.054 | 2.031 |
| B-Zahl | 36,92 Mio | 36,72 Mio | 36,39 Mio | 35,98 Mio |
| Verhältnis | 100,00% | 99,46% | 98,56% | 97,45% |

Tab. 22: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RStO 12 [FGSV 2012] für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw-Anteilen

| Kenngröße | BAB Fernverkehr | BAB Fernverkehr LLkw | | |
|----------------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------|
| | | 2% | 5% | 9% |
| Anteil LLkw | 0% | 2% | 5% | 9% |
| f_A | 4,50 | 4,55 | 4,61 | 4,70 |
| DTV ^(SV) | 1.000 | 988 | 972 | 952 |
| EDTA ^(SV) | 2.084 | 2.081 | 2.077 | 2.073 |
| B-Zahl | 36,92 Mio | 36,87 Mio | 36,79 Mio | 36,71 Mio |
| Verhältnis | 100,00% | 99,84% | 99,64% | 99,43% |

Tab. 23: Vergleich von EDTA^(SV) für DTV^(SV)LLkw=1.000 Kfz/24h

Die Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B erfolgt analog Anhang 2, Beispiel 1 der RStO 12 [FGSV 2012] mit konstanten Faktoren. Grundlage bilden die in Kapitel 8.2.2 ermittelten Achslastverteilungen. Es wird ein DTV^(SV) des BAB-Fernverkehr von 1.000 Kfz/24h gewählt. Aufgrund der Proportionalität zur B-Zahl stellt sich unabhängig vom Wert des DTV^(SV) die gleiche Relation zwischen den B-Zahlen der Vergleichsvarianten ein. Die nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] definierte Achslastklasse > 20 t wird mit einer Obergrenze von 22 t festgelegt. In Anlage 32 sind alle Eingangsgrößen und die Berechnung der B-Zahl für BAB-Fernverkehr sowie die 3 nach Kapitel 8.2.2 gewählten Vergleichskollektive BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw enthalten.

Anhand der Werte für EDTA^(SV) (durchschnittliche Anzahl der äquivalenten täglichen Achsübergänge) in den Spalten 7, 10, 13 und 16 lässt sich – achslastklassenabhängig – der Einfluss der relativen Achslasthäufigkeiten auf die Höhe von EDTA^(SV) ablesen, der aufgrund des 4. Potenzgesetzes mit zunehmender Achslast bzw. höherer Achslastklasse entsprechend zunimmt.

Das Ergebnis liefert für alle Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw etwas niedrigere B-Zahlen als für das

Vergleichskollektiv ohne Lang-Lkw. Der Unterschied ist jedoch nur gering und beträgt gemäß Tabelle 22 weniger als 3 %. Mit zunehmendem Anteil Lang-Lkw ist eine zunehmende, vergleichsweise geringe Reduzierung der B-Zahl zu verzeichnen. Im gleichen Verhältnis wie die B-Zahl stellt sich die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsen EDTA^(SV) ein. Auf der Grundlage der Berechnungsergebnisse ist davon auszugehen, dass der Einsatz von Lang-Lkw mit den hier untersuchten Anteilen von bis zu 9 % am gesamten Kollektiv BAB-Fernverkehr in aller Regel keine Änderung der Belastungsklasse und damit keine Auswirkung auf die Dimensionierung des Oberbaus von Straßen nach den RStO 12 [FGSV 2012] bewirkt.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus Stufe 1 zeigt sich, dass die B-Zahl mit zunehmendem Anteil Lang-Lkw am Schwerverkehr etwas deutlicher sinkt. Während diese in [UHL 2014] um lediglich 0,57 % reduziert wurde, beträgt die Differenz aktuell 2,55 % bei 9 % Anteil Lang-Lkw. Dies ist auf die im Vergleich zu Stufe 1 veränderte Zusammensetzung des durch die Lang-Lkw substituierten äquivalenten Fahrzeugkollektivs zurückzuführen. Dessen B-Zahl hat sich aufgrund der Fahrzeugtypen mit weniger als fünf Achsen signifikant erhöht.

8.2.4 Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Schwerverkehr mit und ohne Lang-Lkw auf die Straßenebefestigung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009]

Zur Beurteilung der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] wird durch rechnerische Dimensionierung ein unmittelbarer Vergleich des Ermüdungsstatus nach Ablauf der Nutzungsdauer und – alternativ – der Prognose der Nutzungsdauer bei Erreichen von 100% Ermüdungsstatus für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw durchgeführt. Die rechnerische Dimensionierung erfolgt unter Anwendung des Programmsystems TISAD der Technischen Universität Dresden [TU Dresden 2013]. Der Nachweispunkt zur Ermittlung des Ermüdungsstatus befindet sich an der Unterseite der Asphalttragschicht. Die entsprechenden Eingangsgrößen und Parameter sind in Anlage 33 dokumentiert. Es wurde ein frostsicherer, einheitlicher Schichtenaufbau nach den RStO 12 [FGSV 2012], Tafel 1, Zeile 1, mit an den RStO kalibrierten Materialparametern für As-

| Bel.-klasse | Kriterium | BAB-Fernverkehr | | | |
|-------------|-------------------------|-----------------|---------|---------|---------|
| | | LLkw 0% | LLkw 2% | LLkw 5% | LLkw 9% |
| Bk100 | EST _{ND30} [%] | 100,0 | 99,7 | 98,7 | 97,4 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,0 | 30,1 | 30,3 | 30,5 |
| Bk32 | EST _{ND30} [%] | 100,0 | 99,6 | 98,5 | 97,3 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,0 | 30,1 | 30,3 | 30,5 |
| Bk10 | EST _{ND30} [%] | 100,0 | 99,4 | 98,4 | 97,3 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,0 | 30,1 | 30,3 | 30,5 |

EST_{ND30} = Ermüdungsstatus bei Nutzungsdauer 30 Jahre
 ND = Nutzungsdauer bei 100% Ermüdungsstatus

Tab. 24: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw-Anteilen

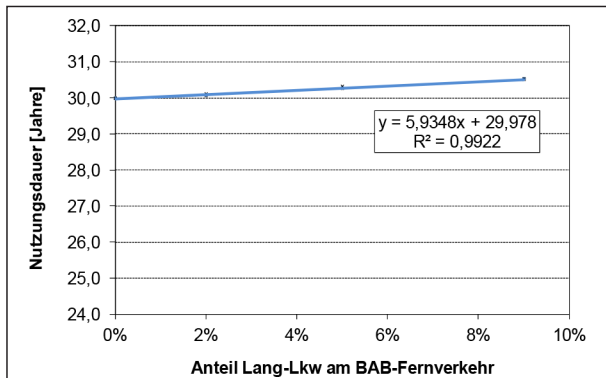


Bild 18: Nutzungsdauer des Oberbaus nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw

| Bel.-klasse | Kriterium | BAB-Fernverkehr | | | |
|-------------|-------------------------|-----------------|---------|---------|---------|
| | | LLkw 0% | LLkw 2% | LLkw 5% | LLkw 9% |
| Bk100 | EST _{ND30} [%] | 100,0 | 100,0 | 99,8 | 99,5 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,1 |
| Bk32 | EST _{ND30} [%] | 100,0 | 99,8 | 99,7 | 99,4 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,0 | 30,0 | 30,1 | 30,1 |
| Bk10 | EST _{ND30} [%] | 100,0 | 99,9 | 99,6 | 99,3 |
| | ND [Jahre] [%] | 30,0 | 30,0 | 30,1 | 30,1 |

EST_{ND30} = Ermüdungsstatus bei Nutzungsdauer 30 Jahre
 ND = Nutzungsdauer bei 100% Ermüdungsstatus

Tab. 25: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw-Anteilen in [UHL 2014]

phaldeck-, Asphaltbinder- und Asphalttragschicht zugrunde gelegt. Ebenfalls an den RStO kalibriert sind die zur Berechnung erforderlichen Verteilungen der Oberflächentemperaturen. Hinsichtlich der Verkehrsbeanspruchung wird vom Fahrzeugkollektiv

typ Typ BAB-Fernverkehr gemäß RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] ausgegangen, dem die nach Kapitel 8.2.2 definierten drei Vergleichskollektive mit unterschiedlichen Anteilen an Lang-Lkw gegenübergestellt werden.

Zur vergleichenden Analyse der Beanspruchung des Oberbaues wurde die rechnerische Dimensionierung mit unterschiedlichen Verkehrsstärken durchgeführt. Unter Berücksichtigung des im Feldversuch festgelegten Positivnetzes für Lang-Lkw (zugelassene öffentliche Straßen) wurden den Berechnungen die Bauweisen der Belastungsklassen Bk100, Bk32 und Bk10 nach den RStO 12 [FGSV 2012] unterzogen. Als Beurteilungs- und Bezugsgröße zur vergleichenden Analyse der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw dienen die Ergebnisse für das Fahrzeugkollektiv BAB-Fernverkehr. Die zugrunde zu legende Verkehrsstärke des BAB-Fernverkehrs wurde daher im Rahmen der rechnerischen Dimensionierung iterativ so bestimmt, dass für diese Beanspruchung im Ergebnis der Berechnung der Ermüdungsstatus jeweils 100 % und die Nutzungsdauer 30 Jahre betragen. Sinnbildlich bedeutet dies, dass die Widerstandsfähigkeit der Asphalttragschicht gegen Biegezugbeanspruchung nach 30 Jahren Beanspruchung durch BAB-Fernverkehr vollständig aufgebraucht ist. Ab diesem Zeitpunkt ist bei weiterer Beanspruchung eine fortlaufende Schädigung des Oberbaus zu verzeichnen, womit die weitere Gebrauchstauglichkeit der Befestigung eingeschränkt wird.

Die adäquaten Verkehrsbelastungen durch BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw ergeben sich gemäß der in Anlage 31 dargestellten Achslastverteilungen. In Anlage 34 sind die wichtigsten Kenngrößen sowie Ergebnisse der rechnerischen Dimensionierung zusammengefasst und gegenübergestellt.

Bei Substitution eines Teils der Fahrzeuge im BAB-Fernverkehr durch Lang-Lkw ermittelt sich nach dem Ende der Regelnutzungsdauer (30 Jahre) des Asphaltüberbaus ein geringfügig niedrigerer Ermüdungsstatus (Tabelle 24). Das heißt, dass die Befestigung noch über eine gewisse Widerstandsreserve am Ende der Regelnutzungsdauer verfügt. Diese erhöht sich mit abnehmender Belastungsklasse und höherem Anteil Lang-Lkw. Die prognostizierte Nutzungsdauer des Asphaltüberbaues bis zur Erreichung des Ermüdungsstatus 100 % (entspricht der rechnerischen Grenze zum Versagen) erhöht sich marginal bei Beanspruchung durch Lang-Lkw auf bis zu 30,5 Jahre im Vergleich zur Nutzungsdauer

er von 30 Jahren bei Beanspruchung durch ausschließlich konventionelle Lkw im BAB-Fernverkehr. Dies entspricht einer marginalen Verlängerung der Nutzungsdauer um ca. 1,8 % bei dem im Rahmen des FE 89.0273 [BURG 2015] ermittelten maximalen Marktpotenzials für Lang-Lkw von 9 % am Schwerverkehr.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse kann der Einfluss des Anteils Lang-Lkw am Gesamtkollektiv BAB-Fernverkehr auf die tendenzielle Entwicklung der zu erwartenden Nutzungsdauer funktional beschrieben werden. Bild 18 verdeutlicht den marginalen linearen Anstieg der Nutzungsdauer bei steigendem Anteil Lang-Lkw.

Vergleich zu den Ergebnissen in [UHL 2014]:

In [UHL 2014] ergaben sich ebenfalls nur marginale Veränderungen durch den Einfluss der analog definierten Anteile an Lang-Lkw. Diese lagen gemäß Tabelle 25 bei einer maximalen Erhöhung der Nutzungsdauer um 0,47 %. Aufgrund der bereits zuvor erläuterten, veränderten Struktur des substituierten äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs erhöhte sich der Wert auf 1,8 % bei ebenfalls 9 % Anteil Lang-Lkw in Belastungsklasse 10.

9 Lang-Lkw Typ 1

9.1 Allgemeines

Wie in Kapitel 3.3 erläutert, liegen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erstmalig Datendokumentationen zum Lang-Lkw Typ 1 vor. Insofern sind keine Vergleiche zu vorhergehenden Analysen möglich. Gemäß Tabelle 26 sind alle 6.061 Fahrten mit Lang-Lkw Typ 1 von fünf Unternehmen im Direktverkehr absolviert worden.

Aufgrund der besonderen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen wird die Auswertung der Daten zu Lang-Lkw-Typ 1 im nachfolgenden Kapitel separat vorgenommen.

| Unternehmen Nr. | Verkehrsart | Anzahl Fahrten | Anteil Fahrten |
|-----------------|-------------|----------------|----------------|
| U 10 | DV | 1.820 | 30,0 % |
| U 20 | DV | 432 | 7,1 % |
| U 27 | DV | 109 | 1,8 % |
| U 35 | DV | 98 | 1,6 % |
| U 40 | DV | 3.602 | 59,4 % |
| Summe: | | 6.061 | 100,0 % |

Tab. 26: Anzahl und Verteilung Lang-Lkw Typ 1

9.2 Prüfung auf Grenzwertüberschreitung

9.2.1 Datenabgleich Fahrzeuggesamtmasse mit Grenzwerten nach § 34 StVZO

Die Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw des Typs 1 in Bild 19 weist drei lokale Maxima auf. Anlage 35 enthält die zugehörige Wertetabelle.

Es zeigt sich, dass die Fahrzeuggesamtmassen im Vergleich zur zulässigen Gesamtmasse nach § 34 StVZO von 40 t relativ niedrige Werte aufweisen. Das arithmetische Mittel beträgt 23,9 t bei einer Standardabweichung von 4,5 t. Das Maximum aller berechneten Fahrzeuggesamtmassen liegt bei 44,0 t.

Definiert man die nach § 34 StVZO zulässige Fahrzeuggesamtmasse von 40 t als 100 % Beladungsgrad für Lang-Lkw, so ergibt sich auf der Basis des vorliegenden Datenbestandes ein mittlerer Beladungsgrad von 60 %.

Unter Beachtung des Grenzwertes von 40 t sind die in Tabelle 27 aufgeführten Grenzwertüberschreitungen der Fahrzeuggesamtmasse nach § 34 StVZO festzustellen. Demnach sind lediglich zwei Fahrzeuge überladen gefahren. Die maximale Überladung betrug dabei 4,0 t.

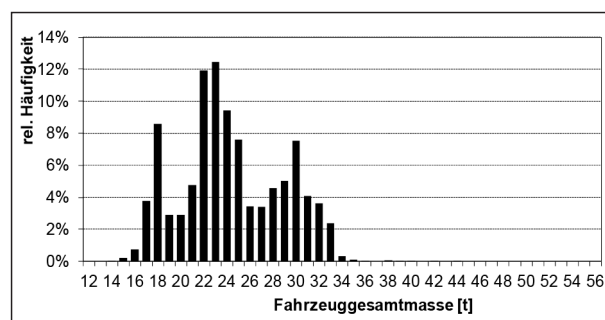


Bild 19: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw Typ 1

| Überladung | Anzahl Fahrten | Anteil Überladung | Summenhäufigkeit |
|------------|----------------|-------------------|------------------|
| <=1t | 0 | 0% | 0% |
| >1t<=2t | 1 | 50% | 50% |
| >2t<=3t | 0 | 0% | 50% |
| >3t<=4t | 1 | 50% | 100% |
| >4t<=5t | 0 | 0% | 100% |
| Summe: | 2 | 100% | |

Tab. 27: Überladung Lang-Lkw Typ 1 gemäß den Grenzwerten nach § 34 StVZO

| Fahrzeugmodul / Achslast | Überschreitung | |
|-----------------------------|----------------|--------|
| | Anzahl | Anteil |
| Gesamtgewicht Kraftfahrzeug | 1 | 25% |
| Achslast Achse 2 | 2 | 50% |
| Achslast Doppelachse 3–4 | 0 | 0% |
| Achslast Doppelachse 4–5 | 0 | 0% |
| Achslast Dreifachachse 3–5 | 1 | 25% |
| Summe: | 4 | 100% |

Tab. 28: Überschreitung zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO für Fahrzeugmodule und Achslasten von Lang-Lkw Typ 1

9.2.2 Datenabgleich Fahrzeugmodule und Achslasten mit den Grenzwerten nach § 34 StVZO

Bei allen im vorliegenden Datenbestand dokumentierten Fahrzeugen des Lang-Lkw Typs 1 sind die Achsabstände der Dreifachachse am Sattelanhängen $\geq 1,30$ m. In allen Dreifachachsen ist mindestens 1 Achsabstand $> 1,30$ m und $\leq 1,40$ m. Einzelachsen sind nur am Zugfahrzeug vorhanden.

Daraus ergeben sich die in Anlage 36 zusammengefassten Grenzwerte, die für jedes Unternehmen in der jeweils ersten Zeile dargestellt sind. Die zweite Zeile enthält die Anzahl der Überladungen von Fahrzeugkombinationen, Fahrzeugmodul (Zugfahrzeug) und Achslasten.

Gemäß Tabelle 28 sind insgesamt vier Überschreitungen zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO festzustellen. Das Liften von Achsen ist an Lang-Lkw-Typ 1 gemäß Herstellerangabe technisch nicht möglich [FRIE 2014].

9.3 Datenanalyse hinsichtlich straßenbautechnischer Kriterien

9.3.1 Analyse der Achslastverteilung

Wie bereits in Kapitel 2.4 erläutert, handelt es sich bei dem zugrundeliegenden Datenbestand um eine Stichprobe aus dem Gesamtkollektiv Lang-Lkw des Feldversuches.

Das Säulendiagramm in Bild 20 verdeutlicht die relative Verteilung der Achslasten der Lang-Lkw im Direktverkehr, die durch einen linksschiefen Funktionsverlauf mit lokalem Minimum in Achslastklasse 6 t geprägt ist.

Die vorliegende Stichprobe der Lang-Lkw Typ 1 stellt nur eine Teilmenge aller im Einsatz befindli-

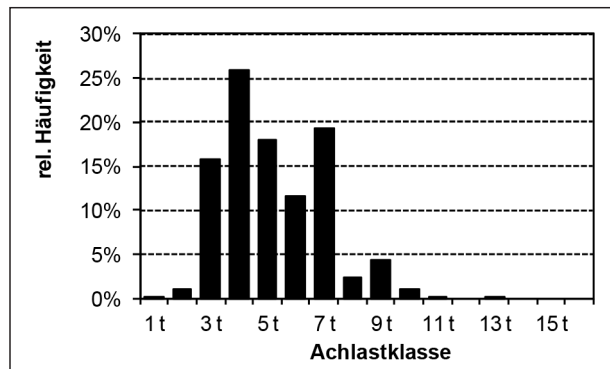


Bild 20: Häufigkeitsverteilung von Achslasten Lang-Lkw Typ 1

chen Lang-Lkw dieses Typs dar. Unter der Annahme, dass diese Stichprobe die Grundgesamtheit der Lang-Lkw weitgehend realitätsnah abbildet und Lang-Lkw vom Typ 1 zum überwiegenden Teil eher volumenvoll als gewichtsvoll fahren (siehe Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen und Beladungsgrade in Kapitel 9.2.1), kann davon ausgegangen werden, dass das Achslastniveau der Lang-Lkw vordergründig der Teilmenge äquivalenter konventioneller Fahrzeuge entspricht, welche innerhalb des Lkw-Gesamtkollektives dem niedrigeren Achslastbereich zuzuordnen ist. Ein Vergleich des Achslastniveaus von Lang-Lkw mit äquivalenten konventionellen Lkw beinhaltet demnach vordergründig die Analyse innerhalb des unteren Achslastbereiches im Gesamtkollektiv konventioneller Lkw.

9.3.2 Ermittlung dimensionierungsrelevanter Kenngrößen nach den RStO 12

Grundlagen

Es gelten die Ausführungen und Randbedingungen analog zu Kapitel 5.2.1.

Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge EDTA(SV)

In Anlage 37 sind alle Eingangsgrößen zur Berechnung der äquivalenten 10-t-Achsübergänge ausgewiesen. Die Höhe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs ist vom jeweiligen Planungsfall abhängig und kann für ausschließlich vergleichende Analysen frei gewählt werden mit $DTV^{(SV)} > 0$. Es wurde ein $DTV^{(SV)}_{LLkw}$ von 1.000 Kfz/24h angesetzt. Das Verhältnis der zu vergleichenden äquivalenten 10-t-Achsübergänge ist unabhängig von diesem Wert.

Die Größe des Achszahlfaktors beträgt 5,00. Der Betrag von $DTA^{(SV)}$ je Lastklasse k berechnet sich

aus deren relativem Anteil der Achsübergänge innerhalb des gesamten Achslastklassenkollektives. Grundlage bilden die Fahrzeugdokumentationen und Achslastverteilungen der Lang-Lkw nach Kapitel 9.3.1.

Das Berechnungsergebnis der Anzahl äquivalenter 10-t-Achsübergänge weist einen Wert von 659 aus. Dieser liegt deutlich unter dem Wert für Lang-Lkw der Typen 2 bis 5 im Direktverkehr und oberhalb des Wertes für Lang-Lkw der Typen 2 bis 5 im kombinierten Verkehr (siehe Tabelle 81 in Anlage 37).

9.4 Ermittlung des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs

9.4.1 Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen

Zum Vergleich der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw und konventionellen Lkw ist es erforderlich, für die dokumentierte Transportleistung der Lang-Lkw äquivalente konventionelle Lkw zu defi-

| Unternehmen Nr. | äquivalente Lkw | |
|-----------------|-----------------|----------|
| | Typ | Achszahl |
| U10 | 98 | 5 |
| U20 | 41 | 5 |
| U27 | 33 | 4 |
| | 42 | 5 |
| | 98 | 5 |
| U35 | 42 | 5 |
| | 98 | 5 |
| U40 | 96 | 3 |

Tab. 29: Äquivalente konventionelle Lkw für Lang-Lkw Typ 1






| Typ | Symbol |
|-----|---|
| 33 |  |
| 41 |  |
| 42 |  |
| 96 |  |
| 98 |  |

Bild 21: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen nach [BAST 2012.2] für Lang-Lkw Typ 1

nieren. Hierzu wurden Befragungen der beteiligten Unternehmen durchgeführt. Im Ergebnis konnten für jedes Unternehmen die in Tabelle 29 ausgewiesenen konventionellen Fahrzeugtypen nach [BAST 2012.2] ermittelt werden.

In Bild 21 sind die insgesamt fünf Fahrzeugtypen symbolisiert, von denen Fahrzeugtyp 98 in den meisten Unternehmen zum Einsatz kommt.

9.4.2 Anzahl äquivalenter konventioneller Fahrzeuge

Die Anzahl äquivalenter konventioneller Lkw ergibt sich vor dem Hintergrund der Erläuterungen in Kapitel 6.1 aus dem Verhältnis des Ladevolumens der Lang-Lkw zum Ladevolumen der äquivalenten konventionellen Lkw.

In Tabelle 30 sind die entsprechenden Werte unternehmensspezifisch auf der Grundlage von Auskünften der Spediteure enthalten und beziehen sich auf die in den Unternehmen noch tatsächlich vorhandenen, konventionellen Lkw. Der Einsatz eines Lang-Lkw vom Typ 1 bedingt – je nach Art der konventio-

| Unt.-Nr. | LLkw _{Typ 1} | äquivalente konv. Lkw | | | |
|----------|-------------------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|-------------------|
| | Ladevolumen [m ³] | Typ | Achszahl | Ladevolumen [m ³] | f _{LLkw} |
| U10 | 96,98 | 98 | 5 | 93,49 | 1,04 |
| U20 | 91,73 | 41 | 5 | 91,73 | 1,00 |
| U27 | 108,00 | 33 | 4 | 100,00 | 1,08 |
| | | 42 | 5 | 111,00 | 0,97 |
| | | 98 | 5 | 96,00 | 1,13 |
| U35 | 103,00 | 42 | 5 | 103,00 | 1,00 |
| | | 98 | 5 | 100,00 | 1,03 |
| U40 | 111,00 | 96 | 3 | 101,00 | 1,10 |

Tab. 30: Verhältnisfaktoren der Ladevolumen für Lang-Lkw Typ 1 und äquivalente konventionelle Lkw

| Typ | Fahrten | Achsübergänge |
|-------|---------|---------------|
| 33 | 1% | 1% |
| 41 | 7% | 9% |
| 42 | 1% | 2% |
| 96 | 61% | 48% |
| 98 | 30% | 40% |
| Summe | 100% | 100% |

Tab. 31: Anteile der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen für Lang-Lkw Typ 1

nellen Fahrzeugtypen – unternehmensbedingt den äquivalenten Einsatz von rechnerisch 0,97 bis 1,13 konventionellen Lkw.

9.4.3 Äquivalente Verkehrsstärke und Achsübergänge konventioneller Fahrzeuge

Basierend auf den in den Kapiteln 9.4.1 und 9.4.2 ermittelten Berechnungsansätzen lässt sich die zur Bewältigung der gesamten Transportleistung notwendige, äquivalente Anzahl konventioneller Lkw darstellen.

Die in Anlage 38 enthaltene Gegenüberstellung weist für alle dokumentierten 6.061 Fahrten mit Lang-Lkw Typ 1 einen Bedarf von 6.494 Fahrten konventioneller Lkw aus. Das heißt, ein Lang-Lkw ersetzt 1,07 Fahrzeuge der konventionellen Volumentransporte, was gleichzeitig dem Verkehrsstärkefaktor $f_{D_{TVSV}}$ entspricht. Sofern Unternehmen unterschiedliche konventionelle Fahrzeugtypen angegeben haben, wurde deren Anteil jeweils gleichverteilt zugrunde gelegt.

Gesamt betrachtet ergibt sich für die Lang-Lkw des Typs 1 eine um 24 % höhere Anzahl an Achsübergängen gegenüber den Achsübergängen der äquivalenten konventionellen Lkw.

9.4.4 Analyse der äquivalenten Fahrzeugkollektive

Die Transportleistung der Lang-Lkw kann, wie bereits in Kapitel 9.4.1 dargestellt, alternativ durch fünf Fahrzeugtypen des konventionellen Schwerverkehrs erbracht werden. Aus Tabelle 31 sind die Anteile der einzelnen Fahrzeugtypen am äquivalenten Fahrzeugkollektiv ersichtlich. Fahrzeugtyp 96 verfügt mit 61 % der Fahrten bzw. 48 % der Achsübergänge über die jeweils größten Anteile.

9.5 Äquivalentes Achslastkollektiv konventioneller Fahrzeuge

9.5.1 Berechnung des äquivalenten Achslastkollektivs

Die Ermittlung des äquivalenten Achslastkollektivs erfolgt analog zur Verfahrensweise nach Kapitel 7.1.

Zur Berechnung der Ladungsmassen sind die Fahrzeugmassen im unbeladenen Zustand (M_{leer}) erforderlich. Die entsprechenden Werte wurden aus An-

| Unt.-Nr. | Lang-Lkw | äqival. Lkw | | |
|----------|-----------------|-------------|-----------|-----------------|
| | Leergewicht [t] | Typ | Achs-zahl | Leergewicht [t] |
| U10 | 15,3 | 98 | 5 | 15,2 |
| U20 | 19,5 | 41 | 5 | 18,9 |
| U27 | 14,6 | 33 | 4 | 12,7 |
| | | 42 | 5 | 16,0 |
| | | 98 | 5 | 14,6 |
| U35 | 15,3 | 42 | 5 | 16,8 |
| | | 98 | 5 | 14,3 |
| U40 | 15,3 | 96 | 3 | 14,7 |

Tab. 32: Leergewichte der Lang-Lkw Typen 1 sowie der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen

| Größe | FZTYP 33 | FZTYP 41 | FZTYP 42 | FZTYP 96 | FZTYP 98 | gesamt |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Grundmenge | 109 | 432 | 207 | 3.602 | 2.027 | 6.377 |
| x_m [t] | 20,3 | 25,5 | 24,9 | 24,3 | 19,8 | 22,9 |
| σ [t] | 2,9 | 3,3 | 4,0 | 3,6 | 2,7 | 3,9 |
| min [t] | 13,7 | 19,0 | 16,6 | 14,7 | 15,6 | 13,7 |
| max [t] | 40,5 | 33,5 | 44,7 | 35,1 | 40,7 | 44,7 |

Tab. 33: Statistische Kenngrößen zu den Gesamtmassen von äquivalenten konventionellen Lkw für Lang-Lkw Typ 1

gaben der Unternehmen generiert und in Tabelle 32 zusammengestellt.

Aus der Differenz der in Kapitel 9.2.1 analysierten Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw sowie den Fahrzeugmassen im unbeladenen Zustand ergibt sich für jede dokumentierte Fahrt mit Lang-Lkw die entsprechende Ladungsmasse. Unter der Annahme, dass Lang-Lkw grundsätzlich volumenvoll beladen sind, ergibt sich aus dem Verhältnis der Ladungsmasse zum Ladevolumen des Lang-Lkw gemäß Tabelle 30 die Ladungsdichte.

Auf der Grundlage der ermittelten Ladungsdichte wird die Ladung des Lang-Lkw auf die äquivalenten konventionellen Lkw entsprechend deren Ladevolumen nach Tabelle 30 verteilt, woraus sich die jeweiligen Ladungsmassen der konventionellen Lkw berechnen. Die Verteilung der Ladungsmasse des Lang-Lkw auf die äquivalenten konventionellen Lkw nach Tabelle 29 erfolgt ebenfalls unter der Annahme, dass konventionelle Lkw im Sinne einer logistischen Optimierung grundsätzlich volumenvoll beladen sind. Sinnbildlich wird somit die Ladung eines volumenvoll beladenen Lang-Lkw auf ca. 1,07 (Fak-

tor f_{DTVSV} gemäß Kapitel 9.4.3) volumenvoll beladene, konventionelle Lkw verteilt.

Durch Summierung der ermittelten Ladungsmasse mit der Fahrzeugmasse der unbeladenen, äquivalenten konventionellen Lkw nach Tabelle 32 berechnen sich deren jeweiligen Fahrzeuggesamtmassen. Die Auswertung der Ergebnisse in Tabelle 33 ergibt, dass das arithmetische Mittel x_m der Fahrzeuggesamtmasse konventioneller Lkw lediglich 22,9 t beträgt bei einer Standardabweichung von 3,9 t. Ursache hierfür sind die geringen mittleren Ladungsdichten der Transportgüter von Lang-Lkw.

Anlage 39 enthält die Verteilungen der berechneten Fahrzeuggesamtmassen für äquivalente konventionelle Lkw-Typen. Zur Ermittlung der Achslasten äquivalenter konventioneller Lkw werden die fahrzeugtypabhängigen funktionalen Zusammenhänge von Fahrzeuggesamtmasse, Masse einzelner Fahrzeugmodule (Zugfahrzeug, Anhänger bzw. Sattelanhänger) sowie Achslasten von Doppel- und Einzelachsen nach WOLF [2010] gemäß Anlage 26 herangezogen.

Die anschließende Klassifizierung der berechneten Achslasten in Achslastkollektive für äquivalente konventionelle Fahrzeuge erfolgt getrennt nach Unternehmen und konventionellem Fahrzeugtyp gemäß Tabelle 29.

9.5.2 Vergleichende Analyse der Achslastkollektive

Im Ergebnis der Berechnungsprozeduren nach Kapitel 9.5.1 wurden die in den Wertetabellen der Anlage 40 zusammengestellten Achslastverteilungen ermittelt. Zum unmittelbaren Vergleich sind die Verteilungen der zugehörigen Lang-Lkw-Achslasten ebenfalls ausgewiesen. Werden in einem Unternehmen mehrere äquivalente konventionelle Lkw ein-

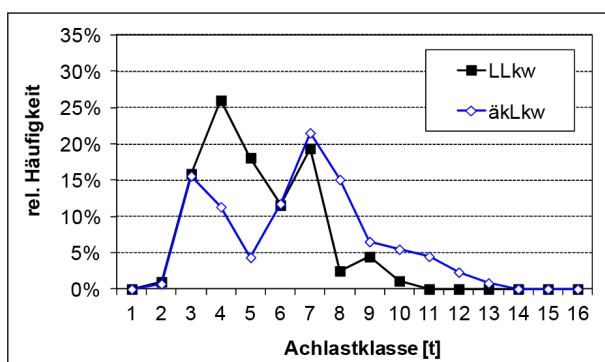


Bild 22: Achslastverteilung von Lang-Lkw Typ 1 und äquivalenten konventionellen Lkw

gesetzt, so wird deren Anteil gleichverteilt auf die Fahrleistung des zugehörigen Lang-Lkw angesetzt. Die resultierende Achslastverteilung äquivalenter konventioneller Lkw ist unter Spalte „äkLkw“ subsummiert.

In Bild 22 ist zu erkennen, dass die Belegung der Achslastklassen der Lang-Lkw ab Achslastklasse 7 t deutlich unterhalb der konventionellen Lkw liegt. Beide Verteilungsfunktionen zeigen einen bimodalen Verlauf mit lokalen Maxima in den Achslastklassen 4 t und 7 t. Diese werden hauptsächlich durch die Achsen der Dreifachachse am Sattelanhänger (4 t) sowie die Achsen an der Sattelzugmaschine (7 t) hervorgerufen.

Die unternehmensbezogene Analyse der Achslastverteilung in Anlage 41 weist infolge des unterschiedlichen Datenumfanges sowie der eingesetzten Fahrzeugtypen verschiedene Funktionsverläufe auf. Die Funktionsverläufe im oberen Bereich der Achslastklassen ab 8 t zeigen, dass die konventionellen Lkw-Typen 33 (vier Achsen) und 96 (drei Achsen) aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Achsanzahl jeweils deutlich höhere Anteile als Lang-Lkw vom Typ 1 aufweisen.

Zur Lokalisierung auftretender Achslasten an Lang-Lkw, insbesondere vergleichsweise hoher Achslasten ab 8 t, wurde ergänzend die fahrzeugtypbezogene Verteilung der Achslasten ermittelt. Die grafische Darstellung der Ergebnisse in Anlage 42 zeigt, dass bei Lang-Lkw-Typ 1 die Antriebsachse Achse 2 den oberen Achslastbereich ab 8 t bestimmt. In Achslastklasse 7 t wird das Maximum durch Achse 1 maßgebend bestimmt. Da keine gelifteten Achsen vorhanden sind, sind die absoluten Summen aller Achsübergänge der Achsen 1 bis 5 identisch (= Anzahl der Fahrten).

9.6 Vergleichende Analyse des Belastungs-/Beanspruchungsniveaus der Fahrbahnbefestigung

9.6.1 Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Lang-Lkw Typ 1 und konventionellen Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]

Achszahlfaktor f_A

Für Lang-Lkw des Typs 1 beträgt der Achszahlfaktor $f_A = 5,0$. Für das Kollektiv der äquivalenten konven-

tionellen Lkw ermittelt sich ein Achszahlfaktor von $f_A = 3,81$.

Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge

Die Eingangsgrößen und Berechnungsergebnisse zur Ermittlung von EDTA^(SV) für äquivalente konventionelle Lkw sind in Anlage 43 tabellarisch zusammengefasst. Analog Kapitel 9.3.2 wird von einem Wert DTV^(SV) = 1.000 Kfz/24h der Lang-Lkw ausgegangen. Die Gegenüberstellung mit dem Ergebnis in Anlage 37 für Lang-Lkw ergibt, dass Lang-Lkw vom Typ 1 lediglich 43 % der äquivalenten 10-t-Achsübergänge des äquivalenten konventionellen Lkw-Kollektivs bewirken. Ursache hierfür sind die in Kapitel 9.5.2 analysierten Häufigkeitsverteilungen der Achslasten von Lang-Lkw und konventionellen Lkw.

9.6.2 Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung des Gesamtkollektivs Schwerverkehr auf die Straßenbefestigung bei Einsatz von Lang-Lkw Typ 1

Grundlagen

Voraussetzungen und Vorgehensweise entsprechen den Ausführungen unter Kapitel 8.2.1. Der vergleichenden Analyse werden zwei verschiedene Fahrzeugkollektive mit ihren spezifischen Achslastverteilungen zugrunde gelegt.

Definition der Achslastkollektive

Im Rahmen des Forschungsprojektes FE 89.0315/2015 „Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw“ wurde festgestellt, dass das Marktpotenzial für Lang-Lkw Typ 1 vordergründig im Ersatz des Fuhrparkbestandes von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen zu sehen ist. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse einer qualitativen Befragung sowie anderer Expertenmeinungen (u. a. Einschätzungen des forschungsbegleitenden Rates) ergeben sich nach Information des Forschungsnehmers zu FE 89.0315/2015 folgende Annahmen für das zukünftige Marktpotenzial von Lang-Lkw Typ 1:

- vollständiger Ersatz aller Binnenfahrten deutscher ein- und zweiachsiger Sattelanhänger,
- anteiliger Ersatz aller nicht komplett ausgelasteten (Tonnage-)Binnenfahrten deutscher dreiachsiger Sattelanhänger,
- Gesamtpotenzial beträgt ca. 50 % der deutschen Sattelanhänger.

Die Vergleichskollektive setzen sich demgemäß aus dem Gesamtkollektiv Schwerverkehr ausschließlich konventioneller Lkw (ohne Lang-Lkw Typ 1) sowie einem Schwerverkehrskollektiv konventioneller Lkw und Lang-Lkw Typ 1 zusammen. Die Substitution eines Teils der konventionellen Lkw durch äquivalente Lang-Lkw Typ 1 erfolgt nach den oben genannten Annahmen betreffend des Marktpotenzials von Lang-Lkw Typ 1.

Grundlage der Definition der Vergleichskollektive bilden Daten aller aktiven Achslastmessstellen an deutschen Autobahnen im Jahr 2015. Insofern spiegelt die Datenbasis die allgemeine Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf Bundesautobahnen ohne gesonderten Bezug auf deren geografische und verkehrswirksame Lage, das heißt ohne Unterscheidung in Fernverkehr, Stadtnaher Verkehr und Mischverkehr, wider.

In Auswertung der Daten zu rund 14,8 Mio. Fahrten von Lkw auf Bundesautobahnen ergibt sich für das Kollektiv BAB konventionelle Lkw die in Tabelle 34 ausgewiesene Verteilung der Achslasten. Der Achszahlfaktor beträgt $f_A = 4,16$.

Zur Berechnung des Vergleichskollektivs BAB mit Lang-Lkw Typ 1 werden gemäß des oben angeführten Prognoseszenarios Fahrzeugtyp 96 (zweiachsiges Sattelkraftfahrzeug mit einachsigem Sattelanhänger) sowie Fahrzeugtyp 97 (zweiachsiges Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsigem Sattelanhänger) vollständig durch Lang-Lkw Typ 1 ersetzt. Beide Typen haben zusammen einen Anteil von 19,5 % an den Fahrten mit deutschen Sattelanhängern. Der überwiegende Anteil von 80,5 % wird durch Fahrzeugtyp 98 (zweiachsiges Sattelkraftfahrzeug mit dreiachsigem Sattelanhänger) realisiert. Der Anteil aller Sattelkraftfahrzeuge am Gesamtaufkommen aller Lkw auf Bundesautobahnen liegt im Mittel bei 57,3 %.

Das Verhältnis der Ladevolumina von konventionellen Sattelkraftfahrzeugen (Typen 96, 97 und 98) zu Lang-Lkw Typ 1 ermittelt sich mit $100\text{m}^3/110\text{m}^3=0,91$. Die Substitution von Fahrzeugtyp 98 durch Lang-Lkw Typ 1 ist aufgrund des generell maximal zulässigen Gesamtgewichts von 40 t demnach nur für Fahrzeuge des Typs 98 mit einer gefahrenen Gesamtmasse von bis zu 36 t betriebswirtschaftlich sinnvoll. Im Bereich dieser Obergrenze der Gesamtmasse sind durchschnittlich 59 % aller Fahrzeugtypen 98 auf den Bundesau-

| Achslastklasse [t] | relative Häufigkeit |
|--------------------|---------------------|
| >0 - ≤1 | 3,031 % |
| >1 - ≤2 | 6,183 % |
| >2 - ≤3 | 8,481 % |
| >3 - ≤4 | 10,448 % |
| >4 - ≤5 | 10,227 % |
| >5 - ≤6 | 12,506 % |
| >6 - ≤7 | 18,412 % |
| >7 - ≤8 | 15,247 % |
| >8 - ≤9 | 6,131 % |
| >9 - ≤10 | 3,454 % |
| >10 - ≤11 | 2,858 % |
| >11 - ≤12 | 1,832 % |
| >12 - ≤13 | 0,803 % |
| >13 - ≤14 | 0,269 % |
| >14 - ≤15 | 0,079 % |
| >15 - ≤16 | 0,023 % |
| >16 - ≤17 | 0,016 % |
| Summe | 100,000 % |

Tab. 34: Achslastverteilung des Vergleichskollektivs BAB konventionelle Lkw

| Achslastklasse [t] | relative Häufigkeit |
|--------------------|---------------------|
| >0 - ≤1 | 3,083 % |
| >1 - ≤2 | 5,323 % |
| >2 - ≤3 | 9,204 % |
| >3 - ≤4 | 12,415 % |
| >4 - ≤5 | 11,811 % |
| >5 - ≤6 | 12,687 % |
| >6 - ≤7 | 20,205 % |
| >7 - ≤8 | 10,468 % |
| >8 - ≤9 | 4,863 % |
| >9 - ≤10 | 2,897 % |
| >10 - ≤11 | 3,297 % |
| >11 - ≤12 | 2,301 % |
| >12 - ≤13 | 1,073 % |
| >13 - ≤14 | 0,260 % |
| >14 - ≤15 | 0,075 % |
| >15 - ≤16 | 0,022 % |
| >16 - ≤17 | 0,015 % |
| Summe | 100,000 % |

Tab. 36: Achslastverteilung des Vergleichskollektivs BAB konventionelle Lkw mit Lang-Lkw Typ 1

| Eingangsgröße | FZTYP 96 | FZTYP 97 | FZTYP 98 | LLkw Typ 1 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|------------|
| Ladevolumen [m ³] | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 110,0 |
| Leergewicht [t] | 14,0 | 14,5 | 15,0 | 15,3 |
| Achszahlfaktor f_A | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 5,0 |

Tab. 35: Eingangsgrößen zur rechnerischen Substitution konventioneller Lkw durch Lang-Lkw Typ 1

tobahnen unterwegs. Um den zu substituierenden Gesamtanteil von 50 % aller Sattelkraftfahrzeuge zu erreichen, müssen 38 % des Fahrzeugtyps 98 (alle mit einer Gesamtmasse bis maximal 36 t) durch Lang-Lkw Typ 1 ersetzt werden.

Die Substitution konventioneller Lkw durch Lang-Lkw Typ 1 erfolgt mittels rechnerischer Verteilung der Ladungen konventioneller Lkw auf äquivalente Lang-Lkw Typ 1. Auf der Grundlage des oben angegebenen Verhältnissfaktors der Ladevolumina von 0,91 ergibt die Berechnung den Ersatz von 4.069.805 Fahrten mit konventionellen Lkw durch

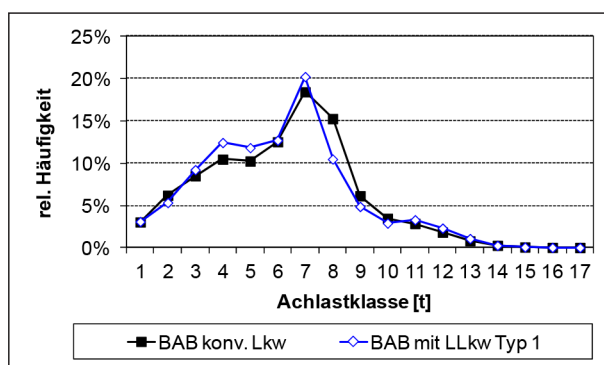


Bild 23: Achslastverteilungen der Vergleichskollektive BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1

3.699.822 Fahrten mit Lang-Lkw Typ 1. Dies entspricht einem Anteil Lang-Lkw Typ 1 von ca. 25 % am Gesamtkollektiv Schwerverkehr.

Mittels Regressionsberechnungen werden anschließend die Achslasten der Lang-Lkw Typ 1 aus deren Gesamtmassen ermittelt. Die Berechnungsprozedur entspricht der in Kapitel 6 erläuterten Vorgehensweise unter Zugrundelegung der in Tabelle 35

enthaltenen Ausgangswerte sowie der in Anlage 44 dargestellten funktionalen Zusammenhänge betreffend der Achslasten von Lang-Lkw Typ 1. In Anlage 45 sind die entsprechenden funktionalen Parameter zur Ermittlung der Achslasten von Lang-Lkw Typ 1 zusammengefasst.

Die berechnete Verteilung der Achslasten für das Vergleichskollektiv BAB mit Lang-Lkw Typ 1 ist in Tabelle 36 aufgelistet. Ihre grafische Darstellung in Bild 23 verdeutlicht, dass das Kollektiv mit Lang-Lkw Typ 1 im Achslastbereich 8 t und 9 t markant unter und im Bereich von 11 t und 12 t nur leicht über jenem des Kollektivs BAB konventionelle Lkw liegt.

Den rund 14,84 Mio. Fahrzeugen des Kollektivs BAB mit ausschließlich konventionellen Lkw entsprechen ca. 14,28 Mio. Fahrzeuge des Kollektivs BAB mit Lang-Lkw Typ 1. Dies ergibt einen Faktor von $f_{DTV(SV)} = 0,96$.

Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Schwerverkehr mit und ohne Lang-Lkw auf die Straßenbefestigung nach den RStO 12 [FGSV 2012]

Analog der Vorgehensweise in Kapitel 9.3.2 werden für die nachfolgenden Betrachtungen vorwiegend die Regelungsbereiche der RStO 12 [FGSV 2012] zum Neubau bzw. zur grundhaften Erneuerung einer Straße außerhalb geschlossener Ortschaften in Asphaltbauweise herangezogen.

Um die Auswirkungen der Achslastkollektive BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1 auf den Befestigungsaufbau vergleichend analysieren zu können, werden identische Bedingungen hinsichtlich des Kriteriums Frostsicherheit sowie identische Bauweisen und Schichtmaterialien zugrunde gelegt. Weiterhin wird von konstanten Faktoren, einer mittleren jährlichen Zunahme des Schwerverkehrs von 3 % sowie von einem Nutzungszeitraum von 30 Jahren ausgegangen.

Die Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B erfolgt analog Anhang 2, Beispiel 1 der RStO 12 [FGSV 2012] mit konstanten Faktoren. Grundlage bilden die in Kapitel 9.6.2 ermittelten Achslastverteilungen. Es wird ein $DTV^{(SV)}$ des BAB konventioneller Lkw von 1.000 Kfz/24h gewählt. Aufgrund der Proportionalität zur B-Zahl stellt sich unabhängig vom Wert des $DTV^{(SV)}$ die gleiche Relation zwischen den B-Zahlen der Vergleichsvarianten

ein. In Anlage 46 sind alle Eingangsgrößen und die Berechnung der B-Zahl für BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1 enthalten. Das Ergebnis liefert für das Fahrzeugkollektiv mit Lang-Lkw Typ 1 eine um ca. 3 % niedrigere B-Zahlen als für das Vergleichskollektiv ohne Lang-Lkw Typ 1. Im gleichen Verhältnis wie die B-Zahl stellt sich die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge $EDTA^{(SV)}$ ein. Auf der Grundlage der Berechnungsergebnisse ist davon auszugehen, dass ein massiver Einsatz von Lang-Lkw Typ 1 mit dem hier untersuchten Substitutionsanteil in aller Regel keine Änderung der Belastungsklasse und damit keine signifikante Auswirkung auf die Dimensionierung des Oberbaus von Straßen nach den RStO 12 [FGSV 2012] bewirken würde.

Vergleichende Analyse der Beanspruchungswirkung von Schwerverkehr mit und ohne Lang-Lkw Typ 1 auf die Straßenbefestigung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009]

Vergleichsgrößen sind die in Kapitel 9.6.2 definierten Fahrzeugkollektive BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1. Hinsichtlich des Berechnungsverfahrens gelten die Ausführungen unter Kapitel 8.2.4. Es werden die gleichen Parameter betreffend geometrischer Ausführung der Straße, Klima-, Wasser und Baugrundverhältnisse zugrunde gelegt. Die entsprechenden Eingangsgrößen und Parameter sind in Anlage 33 dokumentiert. Die Achslastverteilungen von BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1 sind in Tabelle 34 und Tabelle 36 dokumentiert.

| Bel.-klasse | Kriterium | BAB konv. Lkw | BAB mit LLkw Typ 1 |
|---|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Bk100 | EST_{ND30} [%] | 100,00 % | 96,99 % |
| | ND [Jahre] [%] | 30,00 Jahre ----- 100,00 % | 30,61 Jahre ----- 102,03 % |
| Bk32 | EST_{ND30} [%] | 100,00 % | 97,00 % |
| | ND [Jahre] [%] | 30,00 Jahre ----- 100,00 % | 30,61 Jahre ----- 102,03 % |
| Bk10 | EST_{ND30} [%] | 100,00 % | 97,06 % |
| | ND [Jahre] [%] | 30,00 Jahre ----- 100,00 % | 30,59 Jahre ----- 101,97 % |
| EST_{ND30} = Ermüdungsstatus bei Nutzungsdauer 30 Jahre ND = Nutzungsdauer bei 100 % Ermüdungsstatus | | | |

Tab. 37: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB konventionelle Lkw und BAB mit Anteilen Lang-Lkw Typ 1

In Anlage 47 sind die wichtigsten Kenngrößen sowie Ergebnisse der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt [FGSV 2009] zusammengefasst und gegenübergestellt. Bei Substitution eines Teils der Fahrzeuge im Kollektiv BAB konventionelle Lkw durch Lang-Lkw Typ 1 ermittelt sich nach dem Ende der Regelnutzungsdauer des Asphaltberbaus von 30 Jahren ein geringfügig niedrigerer Ermüdungsstatus (Tabelle 37). Das heißt, dass die Befestigung noch über eine gewisse Widerstandsreserve am Ende der Regelnutzungsdauer verfügt. Die prognostizierte Nutzungsdauer des Asphaltberbaues bis zur Erreichung des Ermüdungsstatus 100 % (entspricht der rechnerischen Grenze zum Versagen) erhöht sich bei Beanspruchung durch Lang-Lkw auf bis zu 30,61 Jahre im Vergleich zur Regelnutzungsdauer von 30,00 Jahren bei Beanspruchung durch ausschließlich konventionelle Lkw. Dies entspricht einer marginalen Verlängerung der Nutzungsdauer um ca. 2 %.

10 Zusammenfassung

10.1 Lang-Lkw Typ 1 bis 5

Im Rahmen des Feldversuchs mit Lang-Lkw wurden durch den Forschungsnehmer nach einer ersten Datenerhebung im Jahr 2013 [UHL 2014] in einer zweiten Bearbeitungsstufe ergänzende Datenerhebungen zu den Achslasten der aktuell eingesetzten Lang-Lkw durchgeführt. Hierzu wurden in Abstimmung mit den Unternehmen Erhebungformulare aus der 1. Stufe weiterentwickelt. Es konnte ein Rücklauf aus 47 Unternehmen von insgesamt 24.497 Datensätzen erreicht werden, was mehr als dem Zehnfachen des Erhebungsumfanges von Bearbeitungsstufe 1 entspricht.

Zur Überprüfung der dokumentierten Daten wurde ein Vergleich mit an Achslastmessstellen im Bundesautobahnnetz gemessenen Achslasten durchgeführt. Die eindeutige Zuordnung von Fahrzeugdaten der Unternehmen zu Fahrzeug-Datensätzen an den Messstellen ist jedoch als schwierig und nicht vollständig zuverlässig einzuschätzen, da hierzu aufgrund fehlender Primärschlüssel keine automatisierten Routinen genutzt werden können. Die Überprüfung konnte daher nur stichprobenartig durchgeführt werden. Sie umfasste Abgleich und Kontrolle der gesamten Datendokumentation von zwei Unternehmen (320 Datensätze) mit insgesamt 13.768 Datensätzen an den betreffenden Messstellen. Im Ergebnis der Datenkontrollen konnte festgestellt

werden, dass die Dokumentation der Achslasten durch die Unternehmen nachvollziehbar durchgeführt wurde und mit den Vergleichswerten weitgehend übereinstimmen.

Hinsichtlich der Plausibilität und Vollständigkeit dokumentierter Daten erfolgte eine umfassende Analyse inklusive verschiedener Berechnungsverfahren zur Reproduktion fehlender Einzelwerte. 395 Datensätze mussten als nicht verwertbar ausgesondert werden, was einem Anteil von 1,6 % entspricht. Zur weiteren Bearbeitung standen somit 24.102 Datensätze (= Lang-Lkw-Fahrten) zur Verfügung, von denen 23.639 dem Direktverkehr und 463 dem kombinierten Verkehr zuzuordnen sind. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anteile Direktverkehr und kombinierter Verkehr sowie unterschiedlichen Datenanteile der einzelnen Unternehmen stellt die hier untersuchte Datengrundlage eine Stichprobe aller im Feldversuch eingesetzten Lang-Lkw dar. Die Ergebnisse der vorliegenden Analysen auf Grundlage des Datenbestandes werden durch die Anteile der einzelnen Unternehmensdaten beeinflusst. Direktverkehr und kombinierter Verkehr wurden aus diesem Grund sowie wegen grundsätzlicher Unterschiede in Logistik und Beladung getrennt ausgewertet. Gleichwohl wird eingeschätzt, dass mit einer Beteiligung von rund 90 % aller zum Bearbeitungszeitpunkt am Feldversuch teilnehmenden Unternehmen das Spektrum der Fahrzeugmassen und Ladungen von Lang-Lkw gut abgedeckt und für rein vergleichende Untersuchungen zwischen Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw geeignet ist.

Der Datenbestand weist alle nach [BASt 2012.1] dargestellten Lang-Lkw-Typen mit unterschiedlichen Fahrzeugkonfigurationen auf. Am häufigsten sind Typ 3 mit 46 % sowie die Typen 1 und 2 mit 25 % bzw. 28 % vertreten. Im Vergleich zu Stufe 1 ist ein deutlich höherer Anteil von Lang-Lkw Typ 3 mit weniger als acht Achsen (27 %) sowie von Typ 2 mit weniger als sieben Achsen (6 %) zu verzeichnen.

Aufgrund der rechtlich und fahrzeugtechnisch spezifischen Bedingungen zu Lang-Lkw Typ 1 wird dieser in allen weiteren Betrachtungen separat analysiert.

10.2 Lang-Lkw Typ 2 bis Typ 5

Betreffend der Einhaltung von Grenzwerten nach § 34 StVZO wurden Überprüfungen von Fahrzeuggesamtgewicht und Achslasten durchgeführt. Im

Vergleich zum konventionellen Schwerverkehr auf Autobahnen ist der Anteil von Überladungen der Lang-Lkw als relativ gering einzuschätzen. Dies resultiert auch daraus, dass die Fahrzeuggesamtmassen der Lang-Lkw mit 33,2 t (Direktverkehr) einen relativ niedrigen Mittelwert bei einer Standardabweichung von 5,0 t liefern. Insofern ist unter der Annahme einer grundsätzlich guten Volumenauslastung von relativ leichtem Transportgut auf den Lang-Lkw auszugehen. Der Anteil gelifteter Achsen an Lang-Lkw von rund 0,6 % übt keinen Einfluss auf die Anzahl der Achslastüberschreitungen aus. Die mittleren Achszahlen der Lang-Lkw betragen im Direktverkehr 6,98 und im kombinierten Verkehr 7,41.

Die Analyse der Achslastverteilungen von Lang-Lkw im Direktverkehr und Lang-Lkw im kombinierten Verkehr zeigt unterschiedliche Funktionsverläufe, wobei die höheren Achslastklassen ab 7 t im Direktverkehr größere Anteile als die des kombinierten Verkehrs aufweisen. Die Gegenüberstellung mit den Achslastverteilungen nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] lässt darauf schließen, dass das Niveau der Achslasten von Lang-Lkw generell deutlich unter dem des gesamten Fahrzeugkollektives konventioneller Lkw auf Autobahnen liegt bzw. eine Teilmenge aus dem eher leichteren Achslastbereich des Gesamtkollektives auf Autobahnen darstellt. Ursache hierfür ist der vorwiegende Einsatz von Lang-Lkw im Volumentransport, das heißt zur Bewegung von relativ leichten Gütern bei weitgehender Ausnutzung des Ladevolumens.

Zur Ermittlung eines gegebenenfalls unterschiedlichen Beanspruchungsniveaus des Straßenoberbaues durch Lang-Lkw und konventionelle Lkw ist es erforderlich, der dokumentierten Transportleistung von Lang-Lkw ein äquivalentes konventionelles Fahrzeugkollektiv mit gleicher Transportleistung gegenüber zu stellen. Hierzu erfolgte eine weitere Datenerhebung bei den beteiligten Unternehmen. Im Ergebnis wurden acht konventionelle Fahrzeugtypen mit Achsanzahlen von drei bis fünf ermittelt. Circa die Hälfte aller äquivalenten konventionellen Fahrzeuge sind vom Fahrzeugtyp 98 (zweiachsige Sattelzugmaschine mit dreiachsiger Sattelanhänger). Die Anzahl erforderlicher konventioneller Lkw wurde unternehmensspezifisch und einzelfahrtbezogen durch Umrechnung der Ladungen von Lang-Lkw auf die zugehörigen konventionellen Lkw ermittelt. Dabei wurde vorausgesetzt, dass Lang-Lkw und äquivalente konventionelle Lkw grundsätzlich volumenvoll eingesetzt werden. Der Faktor zur Umrech-

nung der Verkehrsstärke von Lang-Lkw auf äquivalente konventionelle Lkw ergibt sich somit aus dem Verhältnis der Ladevolumina von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw. Er beträgt im Direktverkehr 1,52 und im kombinierten Verkehr 1,50.

Nur geringfügige Unterschiede zeigen sich in den korrespondierenden Achsübergangszahlen. Während im Direktverkehr die Anzahl der Achsübergänge äquivalenter konventioneller Lkw 1 % unter denen von Lang-Lkw liegen, ist im kombinierten Verkehr keine Differenz festzustellen.

Auf der Grundlage der Ladungsdichte von Lang-Lkw und den Ladevolumina der äquivalenten konventionellen Lkw werden deren Fahrzeuggesamtmassen einzelfahrtbezogen berechnet. Die Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen der äquivalenten konventionellen Lkw weist mit einem arithmetischen Mittel von 23,1 t bei einer Standardabweichung von 3,6 t im Direktverkehr sowie einem arithmetischen Mittel von 22,5 t bei einer Standardabweichung von 4,0 t im kombinierten Verkehr vergleichsweise niedrige Werte auf. Grund hierfür sind die entsprechend geringen Dichten der Transportgüter auf den Lang-Lkw.

Der Berechnung der Achslastverteilung von äquivalenten konventionellen Lkw wurden die funktionalen Zusammenhänge nach [WOLF 2010] von Fahrzeuggesamt-, Fahrzeugteilmassen und Achslasten zugrunde gelegt. Im Direktverkehr zeigt der Vergleich der Achslastverteilungen im oberen Achslastbereich ab 9 t eine etwas größere relative Häufigkeit der Lang-Lkw-Achsen gegenüber konventionellen Lkw-Achsen, in Achslastklasse 7 t haben konventionelle Lkw deutlich höhere Anteile. Im kombinierten Verkehr verfügen konventionelle Lkw in den Achslastklassen 7 t und 9 t über deutlich höhere relative Anteile als Lang-Lkw, die höheren Achslastklassen weisen keine ausgeprägten Unterschiede auf.

Die unternehmensbezogene Analyse der Achslastverteilungen zeigt infolge des unterschiedlichen Datenumfanges sowie der eingesetzten Fahrzeugtypen unterschiedliche Funktionsverläufe, wobei die grundsätzlichen Aussagen zum Direktverkehr und kombinierten Verkehr weitgehend reflektiert werden. Bei einigen Unternehmen liegen die Anteile der Achslastklassen ab 9 t von Lang-Lkw höher als jene der konventionellen Lkw. Dies betrifft sowohl Fahrzeugtypen des Typs 2 mit sieben Achsen und des Typs 3 mit acht Achsen als auch Lang-Lkw der

gleichen Typen mit weniger Achsen. Signifikante Ausnahme bildet der einzige, im Feldversuch eingesetzte neunachsige Lang-Lkw, dessen Achslasten nahezu vollständig unterhalb von 9 t liegen und somit im Hinblick auf die Kriterien der Straßenbeanspruchung deutlich günstigere Verhältnisse als äquivalente konventionelle Lkw bieten.

Die aus den Achslastverteilungen resultierenden Unterschiede von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw hinsichtlich der Beanspruchung des Oberbaus von Straßen wurden nach den RStO 12 [FGSV 2012] sowie nach den RDO Asphalt 2009 [FGSV 2009] ermittelt und analysiert. Die Anzahl äquivalenter 10-t-Achsübergänge nach den RStO 12 [FGSV 2012] weist für Lang-Lkw im Direktverkehr und im kombinierten Verkehr einen um 28 % niedrigeren Wert als für konventionelle Lkw aus. Hinsichtlich der Dimensionierung des Oberbaus nach den RStO 12 (FGSV 2012) liefern die Lang-Lkw des untersuchten Datenbestandes somit grundsätzlich günstigere Kenngrößen als äquivalente konventionelle Lkw.

Zur Analyse der Auswirkung des Einsatzes von Lang-Lkw auf den Schichtenaufbau des Oberbaus von Straßen wurden vergleichende Betrachtungen des Gesamtkollektives BAB-Fernverkehr nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] mit und ohne Lang-Lkw durchgeführt. Hierzu wurde das Achslastkollektiv BAB-Fernverkehr durch unterschiedliche Anteile Lang-Lkw von 2 %, 5 % und 9 % [BURG 2015] rechnerisch modifiziert unter Anwendung der im vorliegenden Datenbestand ermittelten Kennwerte. Mit zunehmendem Anteil an Lang-Lkw ergibt sich dabei eine Verschiebung der relativen Häufigkeiten in Richtung der unteren Achslastklassen ≤ 6 t.

Im Ergebnis vergleichender Prozeduren der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] mittels des Programmsystems TISAD [TU Dresden 2013] wurde der Einfluss der ermittelten Achslastkollektive BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw auf den Ermüdungsstatus am Ende des Regelnutzungszeitraums von 30 Jahren sowie auf die zu erwartende Nutzungsdauer bis zum Erreichen eines Ermüdungsstatus von 100 % (= Grenze zum Versagen der Befestigung) untersucht.

Der Ermüdungsstatus spiegelt praktisch den „Verbrauch“ der mechanischen Widerstandskräfte der Asphaltbefestigung gegen Belastungen aus dem Schwerverkehr zum jeweiligen Betrachtungszeit-

punkt wider. Im Vergleich zur Beanspruchung durch BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw ergeben sich für BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw am Ende einer 30-jährigen Nutzungsdauer geringfügige Reduzierungen des Ermüdungsstatus. Somit verbleiben noch marginale Widerstandsreserven der Befestigung. Deren Größe steigt mit zunehmendem Anteil Lang-Lkw auf bis zu 2,7 % bei maximalem Lang-Lkw-Anteil von 9 % am BAB-Fernverkehr. Ursache hierfür ist das vergleichsweise geringfügig niedrigere Beanspruchungsniveau der Lang-Lkw auf die Straßenbefestigung als es konventionelle Lkw induzieren.

Betrachtet man die erreichte Nutzungsdauer bei Ermüdungsstatus 100 % und damit genau am Ende der vollständigen Gebrauchsfähigkeit einer Asphaltstraßenbefestigung, so beträgt diese unter der zugrunde gelegten Vergleichsbeanspruchung durch BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw 30 Jahre. Bei Beanspruchung durch BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw erhöht sich die zu erwartende Nutzungsdauer auf rechnerisch bis zu 30,54 Jahre und damit marginal um 1,8 %.

Im Vergleich des Beanspruchungsniveaus auf Straßenbefestigungen durch Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw und äquivalente Fahrzeugkollektive ohne Lang-Lkw zeigt sich auf der Grundlage des vorliegenden, stichprobenartigen Datenbestandes, dass keine nennenswerten Mehr- oder Minderbeanspruchungen festzustellen sind. Die rechnerische Analyse liefert geringfügig günstigere Werte für Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw in Form einer Erhöhung der prognostizierten Nutzungsdauer des Befestigungsaufbaus um maximal 1,8 % bei dem im Rahmen des FE 89.0273 [BURG 2015] ermittelten maximalen Marktpotenzials für Lang-Lkw von 9 % am Schwerverkehr.

Im Vergleich zu den Untersuchungen der ersten Bearbeitungsstufe [UHL 2014] lassen sich folgende wesentliche Tendenzen erkennen:

- Der Anteil von Lang-Lkw der Typen 2 und 3 mit weniger als den in [BAST 2012.2] ermittelten Achsanzahlen hat sich erhöht. Ursache sind offenbar betriebswirtschaftlich begründete Optimierungsprozesse.
- Das Beanspruchungsniveau der Lang-Lkw mit reduzierter Achsanzahl auf den Straßenoberbau ist vergleichsweise höher als jenes der Fahrzeugtypen ohne Reduzierung der Achsanzahl.

Dadurch ist das aus dem Gesamtkollektiv Lang-Lkw resultierende Beanspruchungsniveau vergleichsweise höher.

- Das Spektrum der äquivalenten konventionellen Lkw hat sich deutlich erweitert. Es umfasst jetzt acht verschiedene Fahrzeugtypen (Stufe 1: drei Fahrzeugtypen), von denen zwei nur über drei Achsen und drei Typen über vier Achsen verfügen (Stufe 1: ausschließlich fünf Achsen).
- Das Beanspruchungsniveau des Kollektivs der äquivalenten konventionellen Lkw auf den Straßenoberbau ist aufgrund des hohen Anteils (37 %) von Lkw mit weniger als fünf Achsen innerhalb des äquivalenten konventionellen Fahrzeugkollektivs deutlich höher als jenes in Stufe 1.
- Die zu Stufe 1 relative Steigerung des Beanspruchungsniveaus auf den Straßenoberbau durch äquivalente konventionelle Lkw ist höher als die relative Steigerung durch Veränderungen im Lang-Lkw-Kollektiv. Dadurch ergibt sich auf der Grundlage des aktuellen Datenbestandes für Schwerverkehr mit Lang-Lkw ein niedrigeres Beanspruchungsniveau der Straßenbefestigungen im Vergleich zu Schwerverkehr ohne Lang-Lkw.
- Das vergleichsweise niedrigere Beanspruchungsniveau des Schwerverkehrs mit Lang-Lkw führt im Vergleich zu Schwerverkehr ohne Lang-Lkw rechnerisch um 1,8 % auch weiterhin zu einer marginalen Erhöhung der Nutzungsdauer von Asphaltbefestigungen.

Inwiefern sich ein genereller Einsatz von Lang-Lkw auf die Dimensionierung von Straßen, der Länge der Nutzungsdauern bzw. der Erhaltungsintervalle auswirken wird, hängt von mehreren Faktoren, wie beispielsweise dem Anteil von Lang-Lkw am Gesamtkollektiv Schwerverkehr, dem höchstzulässigen Gesamtgewicht, logistischen Optimierungsprozessen oder fahrzeugtechnischen Entwicklungen, ab. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse sind daher in engem 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 Fahrzeugkonfiguration 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. Der Anteil konventioneller Fahrzeugtypen mit weniger als fünf Achsen, die für den Ersatz durch Lang-Lkw relevant sind (ausschließlich Züge und Sattelkraftfahrzeuge), beträgt jedoch nur ca. 18 % am Gesamtverkehr Lkw auf Bundesautobahnen (Datengrundlage sind analog zu Kapitel 9.6.2 die Messwerte aller aktiven Achslastmessstellen an Bundesautobahnen). Insofern kann davon ausgegangen werden, dass bei zunehmendem Einsatz von Lang-Lkw auch zunehmend konventionelle Lkw mit fünf oder mehr Achsen durch Lang-Lkw ersetzt werden würden. In diesem Fall würde 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 bereits festgestellten Entwicklungstendenz hin zu weniger Achsen als sieben (bei Lang-Lkw Typ 2) bzw. acht (bei Lang-Lkw Typ 3) ergäbe sich zusätzlich noch 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, könnten bedeutende Einflussgrößen wie zulässige Fahrzeuggesamtmasse und fahrzeugtechnische Konfiguration von Lang-Lkw vor dem Hintergrund der Minimierung der Netzbelastung und somit der Erhaltungskosten einer entsprechend zielgerichteten Regelung bedürfen.

10.3 Lang-Lkw Typ 1

Lang-Lkw vom Typ 1 stellen eine gesondert zu betrachtende Fahrzeugkategorie dar. Fahrzeugtechnisch unterscheiden sie sich von den Lang-Lkw der

Typen 2 bis 5, sie entsprechen praktisch einem verlängerten konventionellen Fahrzeugtyp 98 (zweiachsige Sattelzugmaschine mit dreiachsigem Sattelanhängen). Alle hier untersuchten Lang-Lkw vom Typ 1 waren ausschließlich im Direktverkehr im Einsatz. Die entsprechenden Untersuchungen und Analysen zu den Lang-Lkw der Typen 2 bis 5 wurden adäquat auch für Lang-Lkw des Typs 1 durchgeführt.

Betreffend der Einhaltung von Grenzwerten nach § 34 StVZO (zulässiges Gesamtgewicht 40 t) wurden von den dokumentierten 6.061 Fahrten nur zwei geringfügige Überschreitungen der zulässigen Gesamtmasse festgestellt. Das arithmetische Mittel der Fahrzeuggesamtmassen lag bei 23,9 t. Insofern ist unter der Annahme einer grundsätzlich guten Volumenauslastung von relativ leichtem Transportgut auf den Lang-Lkw auszugehen. Geliftete Achsen gab es an den Fahrzeugen keine.

Die Analyse der Achslastverteilungen zeigt einen bimodalen Verlauf mit lokalen Maxima in den Achslastklassen 4 t und 7 t. Diese werden durch die Dreifachachse am Sattelanhängen (je 4 t) bzw. durch die Achsen an der Sattelzugmaschine (je 7 t) – und hier vorrangig Achse 1 – hervorgerufen. Die Verteilung der Achslasten lässt generell darauf schließen, dass das Niveau der Achslasten der Lang-Lkw vom Typ 1 deutlich unter dem des gesamten Fahrzeugkollektivs konventioneller Lkw auf Autobahnen liegt bzw. eine Teilmenge aus dem eher leichteren Achslastbereich des Gesamtkollektivs auf Autobahnen darstellt. 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.

Hinsichtlich der zu Lang-Lkw Typ 1 äquivalenten konventionellen Fahrzeuge wurden acht verschiedene Typen mit Achszahlen von drei bis fünf aus Befragungen der Unternehmen ermittelt. Den größten Anteil nehmen dabei die Fahrzeugtypen 96 (drei Achsen) und 98 (fünf Achsen) ein. Das Verhältnis der Ladevolumina von Lang-Lkw Typ 1 zu äquivalenten konventionellen Lkw beträgt maximal 1,13. Das Verhältnis der Transportleistung (Anzahl notwendiger Fahrten) aller dokumentierten Lang-Lkw vom Typ 1 zur erforderlichen Transportleistung der äquivalenten konventionellen Lkw beträgt 1,07.

Die aus den Achslastverteilungen resultierenden Unterschiede von Lang-Lkw Typ 1 und äquivalen-

ten konventionellen Lkw hinsichtlich der Beanspruchung des Oberbaus von Straßen wurden nach den RStO 12 [FGSV 2012] sowie nach den RDO Asphalt 2009 [FGSV 2009] ermittelt und analysiert. Die Anzahl äquivalenter 10-t-Achsübergänge nach den RStO 12 [FGSV 2012] des Kollektivs der Lang-Lkw Typ 1 entspricht 43 % des Wertes für das äquivalente konventionelle Lkw-Kollektiv. Dies ist in den deutlich größeren Häufigkeiten höherer Achslasten der äquivalenten konventionellen Fahrzeuge begründet. Hinsichtlich der Dimensionierung des Oberbaus nach den RStO 12 [FGSV 2012] liefern die Lang-Lkw Typ 1 des untersuchten Datenbestandes somit grundsätzlich günstigere Kenngrößen als äquivalente konventionelle Lkw.

Die Analyse der Auswirkung des Einsatzes von Lang-Lkw Typ 1 auf den Schichtenaufbau des Oberbaus von Straßen wurde mittels der Vergleichskollektive BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1 durchgeführt. Im Vergleich zur Beanspruchung durch BAB konventionelle Lkw ohne Lang-Lkw Typ 1 ergibt sich für das konventionelle Lkw-Kollektiv mit Lang-Lkw Typ 1 am Ende einer 30-jährigen Regelnutzungsdauer in allen drei untersuchten Belastungsklassen eine Reduzierung des Ermüdungsstatus von ca. 3 %. Die Nutzungsdauer bei Ermüdungsstatus 100 % erhöht sich bei Beanspruchung durch das konventionelle Lkw-Kollektiv mit Lang-Lkw Typ 1 auf rechnerisch bis zu 30,61 Jahre, was einer Erhöhung um ca. 2 % entspricht. Im Vergleich des Beanspruchungsniveaus auf Straßenbefestigungen durch Fahrzeugkollektive mit Lang-Lkw Typ 1 und Fahrzeugkollektive ohne Lang-Lkw Typ 1 zeigt sich 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. Somit ergeben sich hinsichtlich der Nutzungszeiten von Straßenbefestigungen und der Erhaltungskosten keine negativen Einflüsse.

Literatur

- [BASt 2012.1] Feldversuch mit Lang-Lkw, Informationen im Internet, www.bast.de/Fachthemen/Verkehrstechnik/FeldversuchLangLkw, Bergisch Gladbach 2012
- [BASt 2012.2] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, TLS 2012, Bergisch Gladbach 2012
- [BURG 2015] Burg, R., Röhling, W.: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagentermittlung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 248, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2015
- [FGSV 2009] Richtlinien zur rechnerischen Dimensionierung von Oberbauten für Verkehrsflächen mit Asphaltdecke, RDO Asphalt 09, Köln 2009
- [FGSV 2012] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO 12, Köln 2012
- [FRIE 2014] Friedrich, B. et al.: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerverkehrs, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 245, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2014
- [StVZO 2013] StVZO Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, 51. Ergänzungslieferung, Stand 1. Februar 2013, erschienen März 2013, KIRSCHBAUM VERLAG BONN
- [TU Dresden 2013] Technische Universität Dresden: Test Interpretation, Structural Analysis and Design Tool for Pavements, Version V1.7, Dresden, 2013
- [UHL 2014] Uhlig, W., Wellner F.: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 254, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2014
- [WOLF 2000] Wolf, A.: Analyse der im 1. Quartal 1998 im Rahmen des Probestriebes von 13 Achslastwaagen auf Bundesautobahnen in Hessen erfaßten Achslasten und Einzelfahrzeugdaten im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen, AP-Projekt 98 341, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2000

[WOLF 2010] Wolf, A.: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 61, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2010

Bilder

- Bild 1: Mögliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge [BASt 2012.1]
- Bild 2: Verteilung der Lang-Lkw-Typen
- Bild 3: Verteilung der Lang-Lkw-Typen in [UHL 2014]
- Bild 4: Verteilung der Achskonfigurationen von Lang-Lkw
- Bild 5: Verteilung der Achskonfigurationen von Lang-Lkw in [UHL 2014]
- Bild 6: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im Direktverkehr
- Bild 7: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im kombinierten Verkehr
- Bild 8: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im Direktverkehr in [UHL 2014]
- Bild 9: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw im kombinierten Verkehr in [UHL 2014]
- Bild 10: Häufigkeitsverteilung von Achslasten im Direktverkehr
- Bild 11: Häufigkeitsverteilung von Achslasten im kombinierten Verkehr
- Bild 12: Häufigkeitsverteilung von Achslasten im Vergleich zu Stufe 1 [UHL 2014]
- Bild 13: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen nach [BASt 2012.2]
- Bild 14: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im Direktverkehr
- Bild 15: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im kombinierten Verkehr
- Bild 16: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im Direktverkehr im Vergleich zu [UHL 2014]

Bild 17: Achslastverteilung von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw im kombinierten Verkehr nach [UHL 2014]

Bild 18: Nutzungsdauer des Oberbaus nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw

Bild 19: Verteilung der Fahrzeuggesamtmassen von Lang-Lkw Typ 1

Bild 20: Häufigkeitsverteilung von Achslasten Lang-Lkw Typ 1

Bild 21: Äquivalente konventionelle Fahrzeugtypen nach [BAST 2012.2] für Lang-Lkw Typ 1

Bild 22: Achslastverteilung von Lang-Lkw Typ 1 und äquivalenten konventionellen Lkw

Bild 23: Achslastverteilungen der Vergleichskollektive BAB konventionelle Lkw ohne und mit Lang-Lkw Typ 1

Tabellen

Tab. 1: Vergleich von Datensätzen der Unternehmen mit Datensätzen von BAB-Messstellen

Tab. 2: Datengrundlage für die getrennte Analyse von Lang-Lkw-Typen

Tab. 3: Überladung im Direktverkehr gemäß den Grenzwerten nach § 34 StVZO

Tab. 4: Überladung im kombinierten Verkehr gemäß den Grenzwerten nach § 34 StVZO

Tab. 5: Unternehmensbezogene Verteilung der Überschreitung der zulässigen Fahrzeuggesamtmasse nach § 34 StVZO

Tab. 6: Fahrzeugtypbezogene Verteilung der Überschreitung der zulässigen Fahrzeuggesamtmasse nach § 34 StVZO

Tab. 7: Vergleichswerte Stufe 1 und Stufe 2 zu Fahrzeuggesamtgewicht und Beladungsgrad

Tab. 8: Überschreitung zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO für Fahrzeugmodule und Achslasten

Tab. 9: Überschreitung der zulässigen Achslast nach § 34 StVZO für Achse 2

Tab. 10: Unternehmensbezogene Überschreitung zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO

für die Gesamtmasse von Fahrzeugmodulen und für Achslasten

Tab. 11: Verteilung gelifteter Achsen von Lang-Lkw

Tab. 12: Achszahlfaktor f_A von Lang-Lkw

Tab. 13: Vergleich der Eingangsgrößen nach RStO 12 für Lang-Lkw Stufe 1 und Stufe 2

Tab. 14: Anteile der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen im Direktverkehr

Tab. 15: Anteile der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen im kombinierten Verkehr

Tab. 16: Achsübergänge der Fahrzeugkollektive von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw

Tab. 17: Achsübergänge der Fahrzeugkollektive von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw in [UHL 2014]

Tab. 18: Achszahlfaktoren f_A der Fahrzeugkollektive Lang-Lkw und äquivalente konventionelle Lkw

Tab. 19: Achszahlfaktoren f_A der Fahrzeugkollektive Lang-Lkw und äquivalente konventionelle Lkw in [UHL 2014]

Tab. 20: Verhältnis der Anzahl äquivalenter 10-t-Achsübergänge EDTA(SV) von Lang-Lkw und äquivalenten konventionellen Lkw

Tab. 21: Vergleich von EDTA(SV) für DTV(SV) LLkw=1.000 Kfz/24h

Tab. 22: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RStO 12 [FGSV 2012] für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw-Anteilen

Tab. 23: Vergleich von EDTA^(SV) für DTV^(SV) LLkw=1.000 Kfz/24h

Tab. 24: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw-Anteilen

Tab. 25: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB-Fernverkehr ohne Lang-Lkw und BAB-Fernverkehr mit Lang-Lkw-Anteilen in [UHL 2014]

Tab. 26: Anzahl und Verteilung Lang-Lkw Typ 1

- Tab. 27: Überladung Lang-Lkw Typ 1 gemäß den Grenzwerten nach § 34 StVZO
- Tab. 28: Überschreitung zulässiger Grenzwerte nach § 34 StVZO für Fahrzeugmodule und Achslasten von Lang-Lkw Typ 1
- Tab. 29: Äquivalente konventionelle Lkw für Lang-Lkw Typ 1
- Tab. 30: Verhältnisfaktoren der Ladevolumen für Lang-Lkw Typ 1 und äquivalente konventionelle Lkw
- Tab. 31: Anteile der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen für Lang-Lkw Typ 1
- Tab. 32: Leergewichte der Lang-Lkw Typen 1 sowie der äquivalenten konventionellen Fahrzeugtypen
- Tab. 33: Statistische Kenngrößen zu den Gesamtmassen von äquivalenten konventionellen Lkw für Lang-Lkw Typ 1
- Tab. 34: Achslastverteilung des Vergleichskollektivs BAB konventionelle Lkw
- Tab. 35: Eingangsgrößen zur rechnerischen Substitution konventioneller Lkw durch Lang-Lkw Typ 1
- Tab. 36: Achslastverteilung des Vergleichskollektivs BAB konventionelle Lkw mit Lang-Lkw Typ 1
- Tab. 37: Ergebnisse der Vergleichsberechnung nach den RDO Asphalt 09 [FGSV 2009] für BAB konventionelle Lkw und BAB mit Anteilen Lang-Lkw Typ 1

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2015

S 91: Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger

Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 92: Längsebenheitsmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)

Neubeck, Wiesebrock

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

S 93: Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahndeckenbetonen

Weise, Schrang

€ 19,50

S 94: Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung

Kemper, Schacht, Klaproth, Oeser, Beyer

€ 16,50

S 95: Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel

Bialucha, Merkel, Motz, Demond, Schmidt, Ritter, Haas

€ 14,50

S 96: Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren

Dudenhöfer, Rückert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 97: Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel

Fischer, Sauer, Jungwirth, Baumgärtner, Hess, Ditter, Roth, Xalter

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 98: Verifikation eines Europäischen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphalt

Böhm, Beara

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 99: Ansprache und Steuerung von Healing-Effekten bei Asphalt

Wistuba, Alisov, Isailović

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 100: Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

R. Roos, C. Karcher, A. Wittenberg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 101: Belastungseinrichtung Mobile Load Simulator MLS10 Sensorik zur Beanspruchungsdetektion im ersten gemeinsamen Versuchsbetrieb

Wacker, Scherkenbach, Rabe, Golkowski

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 102: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Lysimeteruntersuchungen unter Laborbedingungen – Teil 1: Bodenmaterial

Kellermann-Kinner, Bürger, Marks

€ 16,50

S 103: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Untersuchungen von Bauweisen in Freilandlysimetern – Teil 1: Untersuchungszeitraum 2010 – 2013

Brand, Tiffert, Endres, Schnell, Marks, Kocher

€ 19,50

S 104: Nachhaltige und effiziente Sanierung von Schlaglöchern

Thienert, Beckedahl, Koppers, Paffrath, Nafe

€ 15,00

2017

S 105: Untersuchungen zur Überprüfung des Luftporenanteils als Verdichtungsanforderung bei feinkörnigen Böden und bindigen Mischböden

Lypp, Birle, Heyer, Vogt

€ 20,50

S 106: Zusammenhang zwischen Bitumenchemie und straßenbautechnischen Eigenschaften

Radenberg, Nytus, Gehrke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 107: Baustoffe für standfeste Bankette

Koukoulidou, Birle, Heyer

€ 15,50

S 108: Neue Wege zur Finanzierung des Straßenbaus – Entwicklungen des europäischen Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2015 in Bonn

Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 109: RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels

Korn, Leupold, Mayer, Kreienkamp, Spekat

€ 15,50

S 110: Vergleichbarkeit der Auslaugraten von Materialien mit und ohne Sandzumischung nach dem Säulenkurzverfahren (DIN 19528)

Lin, Linnemann, Vollpracht

€ 16,50

S 111: Bitumenextraktion aus Asphalt mit dem nachwachsenden Rohstoff Octansäuremethylester (Kokosester)

Alisov, Wistuba

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 112: Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt

Zander, Buch, Birbaum

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 113: Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen

Schellenberg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 114: **Studie zum Anwendungspotenzial von werksgemischtem Kaltbauweisen – Asphalt**
Mollenhauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

S 115: **Performance-orientierte Asphaltspezifikation – Entwicklung eines praxisgerechten Prüfverfahrens zur Ansprache des Verformungswiderstandes**
Wistuba, Isailović
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 116: **Weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung des Adhäsionsverhaltens zwischen Bitumen und Gestein**
Radenberg, Nytus, Boetcher, Diedel, Miehlung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 117: **Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphalteinbau**
Böhm, Tielmann, Ulrich, Verges, Muschalla
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 118: **Untersuchung der Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Asphaltbinderkonzepte**
Renken, Wistuba
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 119: **Grundfragen des straßenrechtlichen Nutzungsregimes – Straßenrecht im Zeichen des Klimawandels**
Durner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 120: **Temperaturuntersuchungen am und im Mobile Load Simulator MLS30 – Analyse des Temperatureinflusses während eines Dauerversuchs für weitere Versuchsprogramme**
Wacker, Scherckenbach, Jansen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 121: **Repräsentative Ermittlung der performance-relevanten Asphalteeigenschaften als Grundlage neuer Vertragsbedingungen**
Roos, Plachkova-Dzhurova, Grafmüller, Milch, Hase, Schindler, Schröter, Zumsande, Wörner, Kazakova, Patzak
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 122: **Ermittlung neuer Zuordnungswerte zur Einteilung bindiger Böden in Fest- und Lockergesteine**
Möller, Bundschuh, Birle, Heyer € 18,50

S 123: **Bindemitteldesign für Asphaltstraßen – Definition eines chemisch-rheologischen Anforderungsprofils**
Stephan, Weigel € 19,00

S 124: **Dauerhafte Betonfahrbahndecken unter Berücksichtigung aktueller ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte**
Müller, Schulte-Schrepping, Benra, Ludwig, Breitenbücher
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 125: **Potenzial innovativer Messsysteme für den Erdbau – Literaturstudie**
Radenberg, Manke, Steeb, Jänicke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 126: **Bau und Messungen an einer Versuchsstrecke mit optimierter Kiestragschicht unter der Betondecke**
Freudenstein, Neudert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 127: **Entwicklung eines Finite Elemente Modells für die rechnerische Dimensionierung von Straßen gemäß RDO Beton**
Villaret, Kiehne, Riwe, Villaret
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 128: **Reduzierung der Schwindverformungen des Straßenbetons durch den Einsatz neuartiger Schwindreduzierer**
Breitenbücher, Penttilä, Schulte-Schrepping
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2019

S 129: **Verfahren zur Prognose des Alterungsverhaltens von Asphalt**
Hase, Beyersdorf, Hase, Rademacher
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 130: **Entwicklung einer Prüfsystematik für Porous Mastic Asphalt (PMA)**
Radenberg, Holzwarth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 131: **Einfluss viskositäts- verändernder Zusätze auf den Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe**
Radenberg, Gehrke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 132: **Temperierte Straße Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators**
auf dem duraBAST
Oeser, Carreño, Renken, Kemper, Kneer, Höfler, Al-Sibai, Hess, Gouya, zu Dohna, Steins in Vorbereitung

S 133: **Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung**
Wolf Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.