

# Bridge-WIM Pilotversuch

## Begleitung und Auswertung

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 337

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a bold, green, lowercase sans-serif font. The letters are thick and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# Bridge-WIM Pilotversuch

## Begleitung und Auswertung

von

Thorsten Kathmann  
Christian Scotti  
Uwe Kucera

DTV-Verkehrsconsult GmbH  
Aachen

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 337

**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 Kommunikation.

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 Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 89.0325**  
Begleitung und Auswertung Bridge-WIM Pilotversuch

**Fachbetreuung**  
Jens Dierke  
Ralf Meschede

**Referat**  
Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

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

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Kommunikation

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

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-535-4

Bergisch Gladbach, November 2020



---

## Kurzfassung – Abstract

### Begleitung und Auswertung Bridge-WIM-Pilotversuch

Ziel des Forschungsprojektes war es, einen Bridge-WIM-Pilotversuch in Deutschland zu begleiten und detailliert auszuwerten. Hierzu wurden im Auftrag der BAST zwei Systeme an einem Brückenbauwerk eingebaut. Die erhobenen Daten, in Kombinationen mit genau verwogenen Fahrzeugen, wurden ausgewertet und erlauben so Aussagen zu erreichbaren Genauigkeiten. Darüber hinaus wurde sowohl der Einbau als auch der Rückbau durch den Forschungsnehmer intensiv begleitet, um hier mögliche Probleme zu identifizieren und Randbedingungen zu definieren. Daraus konnten Zeitbedarfswerte für die unterschiedlichen Arbeitsschritte ermittelt werden, die im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen genutzt werden können.

Der Pilotversuch hat gezeigt, dass eine Erhebung des Schwerverkehrs durch Bridge-WIM-Systeme eine mögliche Ergänzung zu dem bestehenden Achslastmessstellennetz in Deutschland ist. Die Systeme sind mobil und lassen sich an geeigneten Brücken im Netz installieren. Die Qualität der Messungen wurde im Pilotversuch insbesondere für die Gesamtgewichte als gut befunden, bei den weiteren Messgrößen gab es bei den beiden getesteten Systemen unterschiedliche Einschränkungen. Die Systeme liefen während des Testzeitraums stabil und die Daten wurden in den vorgegebenen einheitlichen Formaten übersendet, sodass ein Vergleich bei der Auswertung problemlos möglich war. Auch die Temperaturempfindlichkeit der Systeme wurde betrachtet. Die getesteten Bridge-WIM-Systeme eignen sich insbesondere für Anwendungen, die schwerpunktmäßig Gesamtgewichte benötigen.

### Monitoring and evaluation of Bridge-WIM pilot test

The aim of the research project was to accompany a Bridge-WIM pilot project in Germany and to evaluate it in detail. For this purpose, two systems were installed on a bridge structure on behalf of BAST. The collected data, in combination with exactly weighed vehicles, were evaluated and thus allow statements to be made about achievable accuracies. In addition, both the installation and the dismantling were intensively accompanied by the researcher in order to identify possible restrictions and to define boundary conditions. From this, time requirement values for the different work steps could be determined, which can be used in the context of economic considerations.

The pilot test has shown that a survey of heavy traffic by Bridge-WIM-Systems is a possible supplement to the existing axle load measurement network in Germany. The systems are mobile and can be installed on suitable bridges in the network. In the pilot test, the quality of the measurements was found to be good, especially for the total weights, while the other measured variables had different limitations for the two systems tested. The systems were stable during the test period and the data were transmitted in the specified uniform formats, so that a comparison during the evaluation was possible without any problems. The temperature sensitivity of the systems was also considered. The tested Bridge-WIM-Systems are particularly suitable for applications that require mainly total weights.

## Summary

### Monitoring and evaluation of Bridge-WIM pilot test

#### 1 Objective

The objective of this research project was to evaluate in detail the Bridge Weigh In-Motion (WIM) pilot test in Germany. For this, two systems were installed on two separate bridges under the direction of the Federal Highway Research Institute (BASt – Bundesanstalt für Straßenwesen). The collected data, in combination with precisely weighed vehicles, were evaluated and this allow for an estimation of the accuracies achieved.

The installation and dismantling of the two systems were carefully observed in order to be able to identify any problems and to define boundary conditions. In addition, with the conclusion of the project, time requirement values for the separate steps were established. These can be used to assess economic viability. The result is an assessment of whether Bridge-WIM-Systems are viable. The time requirement values can also be useful when developing a new concept for data acquisition with mobile and temporary measurements on bridges. With the help of suitable evaluation algorithms and extrapolation procedures, continuous monitoring of road traffic loads could be achieved. Detailed results of the separate Bridge-WIM-Systems can be found in the final report.

#### 2 Documentation of expenses and efforts on installation and dismantling of the Bridge-WIM-Systems

The accuracies of the Bridge-WIM-Systems, the procedure, the costs and efforts in installing and dismantling were of key importance for future application concepts. With these factors in mind, the installation and dismantling process of the systems were observed and documented carefully and an estimation of costs for the dismantling and a renewed installation made.

In this report, the procedures are described separately, the experiences and results summarized and briefly evaluated. In order to ensure detailed documentation of the installation process under uniform conditions, a temporally detached installation of the two Bridge-WIM-Systems was undertaken. The set-up procedures were systematically monitored and the key parameters recorded using a checklist.

In order to estimate economic viability, the manufacturers were questioned about the costs for their respective systems. As part of this assessment other requirements (e.g. bridge height, span width, material) were determined, analyzed and their effects on the total cost examined. Based on the specifications given by the manufacturers, a method for cost calculation that is independent of the system used has been set up for heavy traffic monitoring. For the required installation works, time requirements have been determined.

In summary, it was found that the set-up for the Bridge-WIM-Systems on both bridges was hugely dependent on the physical surroundings. Due to the low bridge height, system 1 could be mounted using a simple ladder. However, the ladder had to be erected on the muddy bed of a stream. System 2 required an elevating work platform to install. The different construction conditions make a comparison of the set-up times of the two systems difficult. As for the actual mounting of the sensors and the calibration of the system, system 1 was easier to install due to the possibility of doing so on-site. Given the fact that system 2 is at this time still under development, it cannot be ruled out that this system may well be as easy or maybe even easier and faster to install once it has reached market readiness.

Finally, it needs to be noted that at the end of the test both systems were still fully functional and, on visual inspection before dismantling, showed no defects (i.e. torn cables, hanging sensors etc.). Dismantling system 2 took around two hours more than dismantling system 1. However, as already stated, the site conditions (streams/roads/heights etc.) differed. After dismantling, no damage was detected on either bridges.

### 3 Supervising automatic data collection and processing

A key element in attending the Bridge-WIM pilot project was supervision of the automatic data collection and the processing of the data. For this, the required data formats were discussed and agreed upon as a first step. In the next step, the possibilities for data transmission were examined. Based on this information, the database could be designed and set up.

The objective of the supervision of the automatic data collection was to detect deviations (formal as well as in content) as soon as possible so as to safeguard a consistently high quality of collected data. This required a rough evaluation of the data quality as well as to check for the correct functioning of the systems over the entire runtime. A formal check on whether the agreed formats and conditions were kept was conducted during the importation of the data into the database. Obviously faulty pieces of data were rejected and the source for these errors was investigated. Moreover, the data were perpetually reviewed for plausibility and completeness.

In order to continuously monitor the status of the test, the arriving data was automatically stored in the database to undergo a first evaluation. To keep a good overview over both systems, these figures were compiled in a short profile. These profiles were created for each of the two Bridge-WIM-Systems and were based on the data collected in one day. Together with evaluations that only refer to the respective system, the profiles also contained evaluations that compare certain pieces of data from both Bridge-WIM-Systems.

### 4 Conducting the tests

As well as surveillance of the automatic data collection during the pilot test, further tests were conducted throughout the test period to assess the accuracies of the systems. Two types of test were used; in motion tests of vehicles of already known weight – test vehicles and checks of the weights of a sample of vehicles after they passed through the WIM-system.

The testing with lorries which were channelled out and weighed after passing through the WIM-system

consistently served as a sampling over the entire duration of the pilot operation, whereas the conduct of the tests with test-lorries functioned as the smallest sample size and was carried out in a tight time frame in a concentrated action.

In order to increase the number of vehicles with weighed weight, a further source of data was sought. Near Bad Aibling/Rosenheim a cement plant could be found, where the vehicles were weighed when leaving (total weight). These data were made available and could be compared with the measured values.

## 5 Evaluation

In order to evaluate the accuracy of the Bridge-WIM-Systems, the collected data from four investigations were evaluated: trials with test trucks, trials with channelled and re-weighed trucks, pre-weighed trucks in the cement plant and the comparison of the automatically collected data from the Bridge-WIM-Systems with the data from the pre-selection scale which was installed as a permanently installed axle load measuring point downstream of the Bridge-WIM-Systems. In addition, the Bridge-WIM-Systems could be compared directly.

### 5.1 Accuracy evaluation using test trucks

To check the accuracy of the Bridge-WIM-Systems, the measurements for the two test trucks on the Bridge-WIM-Systems were compared with the actual measured values of the test trucks. The individual vehicle data of the test trucks were compared with the vehicles recorded by the Bridge-WIM-Systems and an evaluation according to the procedure for checking the calibration and acceptance of axle load measuring devices was carried out. The procedure used is designed for calibration testing and acceptance of permanently installed systems and is intended to provide an indication of the accuracy of the systems which can be achieved. Since more than the required 15 test runs were available, the accuracies were checked in different scenarios. In the scenarios, the axle loads, axle groups and total weights were evaluated and the accuracies determined were compared on the basis of an acceptance curve.

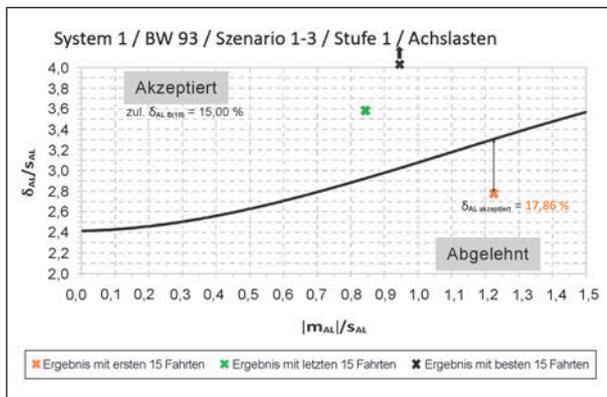


Fig. 1: Deviations of the axle loads from system 1 in stage 1 of the calibration procedure (15 trips each)

Taking into account all trips for system 1, the axle load measurements at all stages were below the acceptance curve. Some of the values are very close to the limit for reaching class B(10). All in all, when looking at the 15 test drives with the best agreement, it can be seen that all pairs of values are above the limit and that the Bridge-WIM-System thus fulfils the requirements for Class B(10). Figure 1 shows an example of the deviation of the axle loads.

For system 2, the evaluations for axle load recording were below the acceptance curve in all stages. All in all, independent of the scenario, it can be seen that all value pairs are below the limit curve even when 15 trips are considered and are therefore rejected.

The results of this evaluation show that both tested Bridge-WIM-Systems exhibit too large deviations and therefore do not meet the required acceptance criteria for permanently installed systems. This applies to axle loads, total weights, vehicle classification and axle spacing. However, there are large differences in the evaluation of the results of both Bridge-WIM-Systems. System 1, for example, has smaller deviations in all areas and is thus much closer to the acceptance curve. The vehicle classification and the determination of axle distances are also better. For both Bridge-WIM-Systems, in addition to the consideration of all test truck journeys, analyses were also carried out in which the best 15 journeys were taken into account. It was found that in this case the deviations of system 1 were above the acceptance curve.

As a result, it can be stated that in the test series carried out here the systems showed too large deviations, but in general systems are already present on the market which come close to the

required acceptance curve and in some evaluations also meet the required requirements.

## 5.2 Trials with channelled and re-weighed trucks

During the pilot project, trucks were channelled by the police and the Federal Office for Freight Transport (BAG) on selected days and re-weighed at the „Im Moos“ car park. These data were also available for a comparison of the accuracies achieved, although the sample is rather small.

As a result, it can be stated that the deviations of the measured total weights of the Bridge-WIM-Systems from the actual total weights of the channelled and re-weighed trucks are greater than in the preselection scale data. In system 1, the total weights tend to be measured too high, in system 2 they tend to be measured too low.

With regard to vehicle recognition, both systems largely recognize the correct number of axles. Here, too, the accuracy is lower than with the preselection scale.

## 5.3 Comparison of pre-weighed trucks in the cement plant

In addition, the total weight data of the trucks pre-weighed in the cement plant were available, which were used for an accuracy comparison. It was also possible to compare the number of axles as the vehicle type was known. For system 1, 405 data pairs could be evaluated, for system 2 334.

Overall, the evaluation shows that there are differences between the total weights determined for both the preselection scale and the two Bridge-WIM-Systems. System 1 shows a similar bandwidth as the preselection scale, while system 2 shows a significantly larger dispersion.

A comparable result can also be seen when looking at the number of axles. Both the preselection scale and system 1 were very good at recognizing the number of axles, while system 2 showed differences in about 30% of the axle determinations.

#### 5.4 Comparison of the automatically collected data of the Bridge-WIM-Systems with the data of the preselection scale

On the basis of analyses carried out, it could be shown that the data of the preselection scale have a high accuracy. This made it possible to compare the data from the preselection scale with the data from the two Bridge-WIM-Systems. In particular, this had the advantage that a significantly larger sample was available for the analysis. For system 1 the analyses are based on 188,924 comparative values, for system 2 187,744.

The number of axles and the total weights were compared. In addition, the deviations of the total weights between the preselection scale and the respective Bridge-WIM-Systems could be analyzed in different temperature and speed intervals.

As a result, it can be stated that both Bridge-WIM-Systems meet the results of the preselection scale quite well, even with the significantly larger sample size.

Also, with regard to the correct recognition of the vehicles on the basis of the number of axles, there are errors in both systems in relation to the data of the preselection scale. However, in system 1 these are significantly lower and almost negligible in relation to the sample size.

The analysis over the pilot test running time has shown that the deviations are relatively constant in both systems.

The analysis of the accuracy as a function of temperature has shown that these deviations increase for both systems with lower temperatures. It is also noticeable that the mean deviations increase, but the dispersion of the measured values decreases. On the basis of the available data it cannot be conclusively clarified whether the deviations occur at low temperatures due to the system or whether these deviations are to be seen as a function of the temperature at the time of calibration. It is therefore at the moment not recommended to use the systems on very cold days; the temperature sensitivity should be examined more closely.

A dependence of the accuracy on the driven speeds could not be determined.

#### 5.5 Comparative comparison of the Bridge-WIM-Systems

For the comparative comparison of the Bridge-WIM-Systems, the two systems were compared over the course of the project with regard to the number of heavy vehicles recorded, the total weight distribution and the number of axles distributed. The evaluation was carried out in such a way that all vehicles were taken into account independently of the matching. This approach has the advantage that all collected data from the survey time (also time periods with obvious problems of the Bridge-WIM-Systems) could be included in the investigation. The data from the preselection scale were used as a comparative value, as were the results from a neighbouring permanent counting point for the vehicle types.

In a direct comparison of the two systems with each other and with the permanent counting point, it became clear that System 2 detected smaller quantities of heavy goods vehicles than the permanent counting point. A part of this insufficient detection can be attributed to the fact that some of the heavy goods vehicles left the motorway at the junction Rosenheim and could therefore no longer be detected by the Bridge-WIM-System. In addition, it was found that there are differences in the classification of vehicle types.

### 6 Heavy traffic monitoring

So far, data on axle loads and total weights are only available for a few sections of German motorways equipped with an axle load measuring station. Since axle loads in particular have a major influence on the stresses on the road surface and also on the life expectancy of bridges, area-wide recording is of great importance. In addition, the axle load measuring points set up so far only provide data for motorways; no data is available for the subordinate network. Bridge-WIM-Systems can be used to provide comprehensive data. Since these systems can be used in mobile deployment and the pilot project has shown that both assembly and disassembly can be carried out in a reasonable amount of time and cost, it seems practical to use the respective systems for short-term measurements.

The evaluation of the total weights over individual calendar weeks was used to determine a meaningful period of use. It was shown that the results for both

systems were well comparable within the periods and that there was no change in the total weights over different periods. Only weeks with low temperatures deviate more, which may be due to the calibration at a higher temperature. In principle, it can thus be stated that one week is sufficient as a measurement period for monitoring heavy goods vehicles. In order to minimize disturbances and possible incidents, however, it is recommended to measure over a period of at least two weeks. This also fits in well with the time required for assembly, calibration and disassembly of the Bridge-WIM-Systems.

over a 5-year period at around 5.0 million euros. With regards to the implementation and the possible variants, further research work is needed in order to develop a comprehensive concept.

## 7 Summary and outlook

The pilot test has shown that a survey of heavy traffic by means of Bridge-WIM-Systems is a possible supplement to the existing axle load measurement network in Germany. The systems are mobile and can be installed on suitable bridges in the network. In the pilot test, the quality of the measurements was found to be good, particularly for the total weights, while the other measured parameters had different limitations for the two systems tested. During the test period of six months, the systems ran stably without recalibration by means of crossings with test vehicles and the data were transmitted in the specified uniform formats, so that a comparison during the evaluation was possible without any problems. The temperature sensitivity of the systems was also taken into account. In order to minimize the influence of temperature and achieve high measurement accuracy, it is advisable to carry out calibration according to the manufacturer's specifications as soon as possible after the measurement period. The tested Bridge-WIM-Systems are especially suitable for applications that require total weight values in particular. Bridge-WIM-Systems can be used for heavy traffic monitoring. Short-term measurements – for example over a few weeks – can be carried out with the help of these systems and thus data can be collected on the road system area-wide in a defined cycle – for example 5 years.

With the aid of heavy traffic monitoring, total weight and axle load distributions could be determined exhaustively. The costs of heavy traffic monitoring are estimated in a first exemplary approach for 2-week surveys and recordings of 520 sections

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Zielsetzung</b> . . . .	11	4.4.5 Vergleich der ermittelten Daten der Bridge-WIM-Systeme . . . . .	36
<b>2</b>	<b>Überblick über das Gesamt- projekt und Vorbereitung</b> . . . . .	11	4.4.6 Zusammenfassende Statusmail . . . . .	36
2.1	Standortübersicht . . . . .	11	4.5 Datenaufbereitung . . . . .	40
2.2	Ablauf Bridge-WIM-Pilotversuch . . . . .	13	4.5.1 Aggregierung der Daten . . . . .	40
<b>3</b>	<b>Dokumentation der Aufwendungen bei Montage und Demontage der Bridge-WIM-Systeme</b> . . . . .	14	4.5.2 Matching der Daten . . . . .	40
3.1	Begleitung und Dokumentation der Erstmontage . . . . .	14	4.5.3 Berücksichtigung des Verkehrs- zustands . . . . .	40
3.1.1	System 1 – BW 93 . . . . .	15	4.6 Übersicht der verfügbaren Daten . . . . .	40
3.1.2	System 2 – BW 91 . . . . .	21	4.7 Plausibilitätsprüfung vor Auswertung . . . . .	41
3.1.3	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	26	<b>5 Durchführung der Versuche</b> . . . . .	43
3.2	Begleitung und Dokumentation Demontage . . . . .	26	5.1 Versuche mit ausgeleiteten und verwogenen Lkw . . . . .	43
3.2.1	System 1 . . . . .	26	5.2 Versuche mit Test-Lkw . . . . .	43
3.2.2	System 2 . . . . .	29	5.3 Verwogene Lkw aus Zementwerk . . . . .	47
3.2.3	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	32	<b>6 Auswertung</b> . . . . .	48
3.3	Begleitung und Dokumentation der Zweitmontage . . . . .	32	6.1 Genauigkeitsbewertung mittels Test-Lkw . . . . .	48
3.3.1	System 1 . . . . .	32	6.1.1 Methodisches Vorgehen . . . . .	48
3.3.2	System 2 . . . . .	32	6.1.2 Auswertung System 1 . . . . .	50
3.3.3	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	32	6.1.3 Auswertung System 2 . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Überwachung der automatischen Datenerhebung und Aufbereitung</b> . . . . .	32	6.1.4 Ergebnis . . . . .	62
4.1	Datenformate . . . . .	32	6.2 Versuche mit ausgeleiteten und nachverwogenen Lkw . . . . .	63
4.1.1	Datenformat Bridge-WIM-Systeme . . . . .	33	6.2.1 Methodisches Vorgehen . . . . .	63
4.1.2	Wetterdaten . . . . .	33	6.2.2 Auswertung System 1 . . . . .	64
4.2	Datenübertragung . . . . .	34	6.2.3 Auswertung System 2 . . . . .	64
4.3	Konzeption Datenbank . . . . .	34	6.2.4 Ergebnis . . . . .	64
4.4	Plausibilitätsprüfungen . . . . .	35	6.3 Vergleich mit im Zementwerk vorverwogene Lkw . . . . .	67
4.4.1	Vollständigkeit der Daten . . . . .	35	6.3.1 Methodisches Vorgehen . . . . .	67
4.4.2	Achslastverteilungen . . . . .	35	6.3.2 Auswertung System 1 . . . . .	68
4.4.3	Fahrzeugartenverteilung . . . . .	36	6.3.3 Auswertung System 2 . . . . .	68
4.4.4	Plausibilität der Daten . . . . .	36	6.3.4 Ergebnis . . . . .	71

6.4	Vergleich der automatisch erhobenen Daten der Bridge-WIM-Systeme mit den Daten der Vorselektionswaage . . . . .	71
6.4.1	Methodisches Vorgehen . . . . .	71
6.4.2	Auswertung System 1 . . . . .	73
6.4.3	Auswertung System 2 . . . . .	78
6.4.4	Ergebnis . . . . .	81
6.5	Vergleichende Gegenüberstellung der Bridge-WIM-Systeme . . . . .	82
<b>7</b>	<b>Beurteilung der Systeme . . . . .</b>	<b>86</b>
7.1	Genauigkeit . . . . .	86
7.2	Handhabung . . . . .	87
<b>8</b>	<b>Schwerverkehrsmonitoring mittels Bridge-WIM in Deutschland . . . . .</b>	<b>88</b>
8.1	Schwerverkehrsmonitoring mit Bridge-WIM . . . . .	88
8.2	Anforderungen an die Genauigkeit . . . . .	89
8.3	Auswahlkriterium Standorte . . . . .	90
8.3.1	Brückenart und -zustand . . . . .	90
8.3.2	Brückendimensionen . . . . .	90
8.3.3	Verkehrliche Aspekte . . . . .	90
8.3.4	Aufbaumöglichkeiten für Bridge-WIM-Systeme . . . . .	90
8.4	Einsatzdauer . . . . .	91
8.5	Kostenabschätzung . . . . .	91
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>97</b>
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>98</b>
	<b>Bilder . . . . .</b>	<b>99</b>
	<b>Tabellen . . . . .</b>	<b>100</b>

## 1 Ausgangslage und Zielsetzung

In Deutschland wird auf BAB ein Achslastmessstellennetz betrieben, um detaillierte Aussagen über die Belastungen infolge des Schwerverkehrs treffen zu können.

WOLF (2010) beschreibt für das Achslastmessstellennetz in Deutschland zwei verschiedene Sensoren:

- Wiegeplatten und
- Piezosensoren.

Beiden Sensoren gemein ist der Einbau in die Fahrbahnoberfläche des entsprechenden Fahrstreifens in Kombination mit Induktivschleifen und einer Streckenstation.

Der Schwerverkehr wird allerdings in der Regel nur auf dem Hauptfahrstreifen erhoben; auf den übrigen Fahrstreifen erfolgt eine reine Zählung der Fahrzeuge über die Erfassung der Einzelfahrzeugdaten ohne Gewichtsangaben.

Aus Kostengründen ist eine deutliche Erweiterung des Achslastmessstellennetzes – beispielsweise wie im Bereich der automatischen Dauerzählstellen (deutschlandweit rund 1.700 Messstellen) – nicht realisierbar. In anderen Ländern werden seit einigen Jahren so genannte Bridge-WIM-Systeme als Alternative erprobt und erfolgreich eingesetzt. Die grundsätzliche Methodik wurde hierbei von F. Moses im Jahr 1979 entwickelt. Bei einem Bridge-WIM-System handelt es sich im Prinzip um Dehnungsmesstreifen, die unterhalb der Brücke befestigt werden. In Untersuchungen wurden darüber hinaus Anforderungen an die Brücke eruiert und definiert. Auch in europäischen Projekten (beispielsweise BRIDGEMON (2014)) wurden Bridge-WIM-Systeme detailliert analysiert und erreichbare Genauigkeiten bestimmt.

In Deutschland sind diese Systeme bislang nicht im Einsatz, sodass hier keine Erkenntnisse zur Genauigkeit und zu den mit dem Einbau/Rückbau von mobilen Systemen verbundenen Aufwendungen vorhanden sind.

Ziel des Forschungsprojektes war es, die Einsatzmöglichkeiten der Bridge-WIM-Technologie in Deutschland zu bewerten. Dazu wurde ein Bridge-WIM-Pilotversuch in Deutschland begleitet und de-

tailliert ausgewertet. Im Auftrag der BAST wurden zwei Systeme an Brückenbauwerken angebracht. Die erhobenen Daten, in Kombinationen mit genau verwogenen Fahrzeugen, wurden ausgewertet und erlauben so Aussagen zu erreichbaren Genauigkeiten. Darüber hinaus wurde sowohl der Einbau als auch der Rückbau durch den Forschungsnehmer intensiv begleitet, um hier mögliche Probleme zu identifizieren und Randbedingungen zu definieren. Gleichzeitig standen mit Projektabschluss Zeitbedarfswerte für die unterschiedlichen Arbeitsschritte zur Verfügung, die im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen genutzt werden können.

Als Ergebnis steht somit eine zusammenfassende Bewertung zur Verfügung, ob Bridge-WIM-Systeme für die Erfassung der notwendigen Kenngrößen mit hinreichender Genauigkeit geeignet sind. Die Zeitbedarfswerte können dazu dienen, ein neues Erhebungskonzept für mobile, temporäre Messungen an Brücken zu entwickeln. Mithilfe geeigneter Auswertungsalgorithmen und Hochrechnungsverfahren könnte – ähnlich wie im Bereich des Verkehrsmonitoring (ZIEGLER et al., 2009; ZIEGLER et al., 2011) – eine kontinuierliche und zielgerichtete Überwachung der Belastung durch den Straßenverkehr erfolgen.

## 2 Überblick über das Gesamtprojekt und Vorbereitung

Im Rahmen des Gesamtprojektes wurden zwei Bridge-WIM-Systeme auf einem Testfeld installiert, um diese unter Realbedingungen zu erproben und somit wesentliche Aussagen zur Handhabbarkeit sowie Genauigkeit abzuleiten. Um die erforderlichen Ergebnisse ableiten zu können, wurden weitere Installationen vorgenommen, die nachfolgend beschrieben werden.

### 2.1 Standortübersicht

Als Standort für die Durchführung des Bridge-WIM-Pilotversuchs wurde die A 8 bei Rosenheim (in Fahrtrichtung München) ausgewählt (siehe Bild 1). Hauptgrund hierfür war, dass sich bei km 51,6 eine Vorselektionswaage (Achslastmessstelle mit Piezosensoren) befindet und im direkten Anschluss bei km 48,7 der Kontrollplatz „Im Moos“ mit einer geichteten Achslastwaage. Vorselektionswaage und

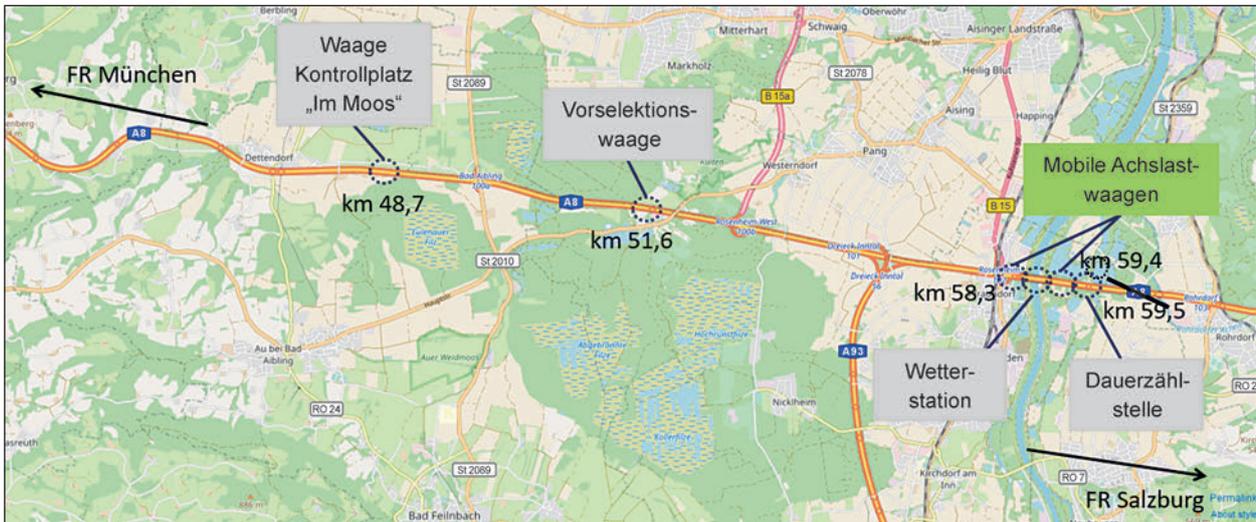


Bild 1: Übersicht über die unterschiedlichen Standorte im Bridge-WIM-Pilotversuch (Karte hergestellt mit OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open Database License (ODbL))

Kontrollplatz werden gemeinsam durch das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) und das Polizeipräsidium Oberbayern Süd (PP OBS) betrieben.

Als Standorte für die Bridge-WIM-Systeme wurden die Brückenbauwerke BW 91 und BW 93 bei km 58,3 und km 59,4 ausgewählt. Hierbei handelt es sich jeweils um kleinere Brückenbauwerke, die vom nachgeordneten Netz aus gut erreichbar sind. Im Rahmen der Beschreibung des Aufbaus der Bridge-WIM-Systeme werden sowohl die Bauwerke als auch die Umgebung detailliert beschrieben (siehe Kapitel 3).

Die beiden Standorte der Bridge-WIM-Systeme befinden sich in unmittelbarer Nähe und insbesondere auf demselben Streckenabschnitt, sodass gleiche Verkehre erfasst werden. Ebenfalls in diesem Abschnitt befindet sich die automatische Dauerzählstelle Rosenheim-Ost (9023), sodass bereits im Vorfeld Kenngrößen des Verkehrs eruiert werden konnten. Über die Wetterstation auf der Inntalbrücke konnten weitere Informationen zu Niederschlag und Temperatur gewonnen werden, die in die Auswertung mit einfließen.

Für das Jahr 2016 konnte somit ein DTV-Wert über alle Tage von 67.491 Kfz/24h ermittelt werden, in Richtung München beträgt dieser 33.829 Kfz/24h. Die mittleren Ganglinien des Gesamtverkehrs für die einzelnen Wochentage sind in Bild 2 dargestellt.

Richtung München beträgt der DTV-Wert für den Schwerverkehr 3.718 Kfz/24h, was einem Anteil von 11 % am Gesamtverkehr entspricht. Die Auftei-

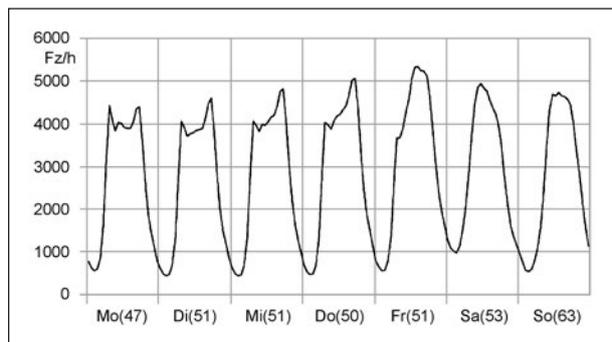


Bild 2: Mittlere Ganglinien des Gesamtverkehrs (Jahr 2016) an der Zählstelle Rosenheim-Ost (9023)

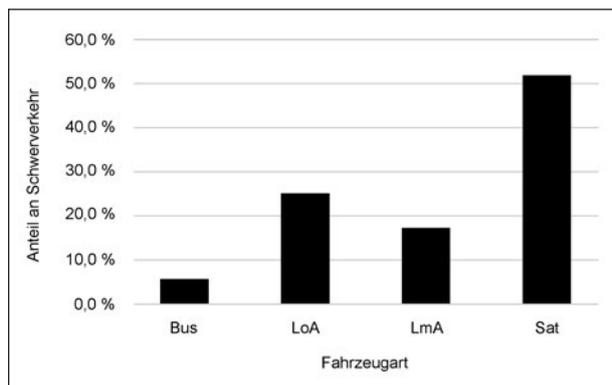


Bild 3: Anteil Fahrzeugarten am Schwerverkehr (Jahr 2016) an der Zählstelle Rosenheim-Ost (9023)

lung des Schwerverkehrs in die vier Schwerverkehrsklassen Lkw ohne Anhänger (LoA), Lkw mit Anhänger (LmA), Sattelzüge (Sat) und Busse (Bus) ist in Bild 3 dargestellt. Gut die Hälfte aller Fahrzeuge des Schwerverkehrs besteht aus Sattelzügen. Busse stellen mit rund 6 % die kleinste Fahrzeugart dar.

Am AD Inntal kommen zusätzlich Verkehre der A 93 hinzu. Darüber hinaus fließt ein Teil der Verkehre ab. Vor diesem Hintergrund lassen sich die Ergebnisse nur bedingt auf den Standort der Vorselektionswaage übertragen. Dies bedeutet zudem, dass nicht jeder ausgeleitete und verwogene Lkw zwangsläufig die Bridge-WIM-Systeme passiert haben muss. Deshalb war die Zuordnung der Fahrzeuge über ein Fahrzeugidentifikationssystem erforderlich.

## 2.2 Ablauf Bridge-WIM-Pilotversuch

Im Rahmen des Pilotversuchs wurde ein Testfeld mit Komponenten unterschiedlicher Hersteller errichtet. Die Verträge wurden durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragt. Dies sind im Einzelnen:

- **Lieferung des Bridge-WIM-Systems 1**  
Das System 1 wurde an einem Brückenbauwerk installiert und betrieben.
- **Lieferung des Bridge-WIM-Systems 2**  
Das System 2 wurde an einem Brückenbauwerk installiert und betrieben.
- **Lieferung eines Fahrzeugidentifikationssystems**  
Zur Wiedererkennung der Fahrzeuge an den unterschiedlichen Standorten (beide Bridge-WIM-Systeme, Vorselektionswaage) wurde ein Fahrzeugidentifikationssystem aufgebaut und betrieben.

- **Anpassung der Software Vorselektionswaage**  
Um die Messwerte einer zu Vergleichszwecken eingebundenen vorhandenen Vorselektionswaage mit den verschlüsselten Kennzeichen der Fahrzeugidentifikationssysteme zu verschneiden, musste die Software entsprechend angepasst werden.
- **Begleitung und Auswertung**  
Mit der Begleitung des Pilotversuchs und der Auswertung wurde die DTV-Verkehrsconsult beauftragt.

Neben der BASt waren im Rahmen des Pilotversuchs die folgenden Institutionen beteiligt:

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI),
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG),
- Autobahndirektion Südbayern (ABDSB),
- Polizeipräsidium Oberbayern Süd (PP OBS).

Zunächst haben Besprechungen und Vor-Ort-Besichtigungen sowohl mit den beiden Bridge-WIM-Systemherstellern, dem Hersteller des Fahrzeugidentifikationssystems als auch den zuständigen Behörden stattgefunden.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Zeitplan detailliert ausgearbeitet, der während des Projekts fortgeschrieben wurde. Der tatsächliche Verlauf ist in Tabelle 1 dargestellt. Grün markiert ist hier besonders der Bereich, in dem alle Systeme Daten

	Projektlaufzeit in Monaten																																																															
	Jul 17				Aug 17				Sep 17				Okt 17				Nov 17				Dez 17 bis Feb 18				Mrz 18				Apr 18				Mai 18				Jun 18				Jul 18				Aug 18				Sep 18				Okt 18				Nov 18				Dez 18			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
Vorbereitung und Konzeption	■	■	■	■																																																												
Begleitung Aufbau					■	■	■	■																																																								
Einrichtung der Datenübertragung									■	■	■	■	■	■	■	■																																																
Testfahrten																													■																																			
Überwachung Datenerhebung/Aufbereitung													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Testzeitraum der Auswertung																													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Auswertung																																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Begleitung Rückbau																																																																

Tab. 1: Abfolge Bridge-WIM-Pilotversuch

geliefert haben und der somit für die Auswertung genutzt werden konnte.

Neben dem Termin für die Installation der Systeme war besonders die Initialisierungsphase von besonderem Interesse hinsichtlich des Zeitplans. Im Rahmen der Initialisierungsphase mussten die Hersteller nachweisen, dass ihre Systeme den ausgeschriebenen Leistungen entsprechen. Durch die BASt erfolgte hierbei eine Abnahme der Installation und der Betriebsphase nach vorgegebenen Kriterien.

Für die Hersteller der Bridge-WIM-Systeme galten im Wesentlichen die folgenden Abnahmekriterien:

- Vollständiger Aufbau aller Systemkomponenten,
- Durchführung der Kalibrierung,
- Verknüpfung der Daten des Bridge-WIM-Systems mit den Daten des Fahrzeugidentifikationssystems,
- dauerhafte Übertragung vollständiger und fehlerfreier Daten an die BASt (Nachweis an drei aufeinanderfolgenden Tagen),
- Abrufmöglichkeit der Online-Daten (Zeitraum von mindestens 2 Stunden an jeweils zwei Tagen).

Während der Betriebsphase mussten für jeden Tag vollständige Daten für einen Zeitraum von mindestens 12 Stunden geliefert werden. Ausfälle verlängerten die Dauer des Pilotversuchs. Die Ausfallzeiten bzw. Zeiten, in denen die Daten nicht richtig gemacht waren (Zuordnung zwischen Fahrzeugidentifikationssystem und Bridge-WIM fehlerhaft), lassen sich in Bild 64 nachvollziehen.

Vorgesehen war eine Laufzeit aller Anlagen von einem halben Jahr mit der Möglichkeit, die Laufzeit auf ein Jahr auszuweiten. Die Installation aller Komponenten war Ende Februar 2018 abgeschlossen. Das Ende der Laufzeit wurde dementsprechend auf Ende August 2018 festgelegt. Alle Versuche fanden in diesem Zeitraum statt und konnten ausgewertet werden.

Um möglichst zeitnah Erkenntnisse zur Genauigkeit der eingesetzten Systeme als auch zur Dauerhaftigkeit der Übertragung zu gewinnen, war vorgesehen, bereits mit Vorliegen der ersten Daten eine kontinuierliche Grundauswertung und Prüfung seitens DTV-Verkehrsconsult vorzunehmen. Die hierzu not-

wendigen Schritte und insbesondere auch die Form der Darstellung werden im Kapitel 4 beschrieben.

### 3 Dokumentation der Aufwendungen bei Montage und Demontage der Bridge-WIM-Systeme

Neben der Genauigkeit eines Bridge-WIM-Systems war der hiermit verbundene Aufwand für Montage und Demontage für ein späteres Einsatzkonzept besonders wichtig.

Vor diesem Hintergrund wurde die Erstmontage und der Rückbau der beiden Systeme detailliert beobachtet und dokumentiert sowie die Aufwände für eine Demontage und erneute Montage abgeschätzt.

Nachfolgend werden separat die jeweiligen Prozesse beschrieben und die Erfahrungen und Ergebnisse zusammengefasst und kurz bewertet. Die abschließende Bewertung wird im Kapitel 7 durchgeführt.

#### 3.1 Begleitung und Dokumentation der Erstmontage

Um die Dokumentation des Aufbaus detailliert und nach einheitlichen Gesichtspunkten vorzunehmen, erfolgte eine zeitlich entkoppelte Installation der beiden Bridge-WIM-Systeme. Damit wurde sichergestellt, dass dasselbe Bearbeiterteam den Aufbau begleitete und die Bearbeiter somit einen Überblick über die Randbedingungen beider Systeme hatten, damit die Systeme fachgerecht miteinander verglichen und beurteilt werden konnten.

Zur detaillierten Analyse der Abläufe wurden auch die Pflichtenhefte der beiden Bridge-WIM-Hersteller herangezogen.

Zur Vorbereitung informierten die beiden Hersteller über den grundsätzlichen Ablauf und die vorgesehenen Arbeiten.

Auf Basis der Information der Pflichtenhefte wurde einerseits zur Vorbereitung ein dezidierter Zeitplan erstellt, andererseits dienten diese Informationen dazu, eine Checkliste zu erstellen. Mithilfe dieser Checkliste wurden dann die Aufbauten systematisch begleitet und die wesentlichen Parameter er-

fasst. Die Checkliste wurde im Vorfeld mit der BAST und den Herstellern abgestimmt.

Die Checkliste bzw. Dokumentation enthält die folgenden Merkmale:

- Fotodokumentation des jeweiligen Standortes,
- Fotodokumentation der einzelnen Arbeitsschritte,
- Fotodokumentation und textliche Erläuterung von Besonderheiten,
- Dokumentation der Personalanzahl, ggfs. differenziert nach Arbeitsschritten und Qualifikation,
- Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte, analog zur Fotodokumentation,
- Stückliste der benötigten Materialien,
- Detailfotos der wesentlichen Bauteile,
- Dokumentation der benötigten Maschinen und Werkzeuge,
- Dokumentation des benötigten Platzes,
- Dokumentation der verkehrlichen Randbedingungen der Standorte (z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeit, Lkw-Überholverbot etc.)

Die Algorithmen und die genaue Funktionsweise der Bridge-WIM-Systeme sind nicht Bestandteil der Dokumentation.

Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit wurden im Laufe des Projektes bei den Herstellern der Bridge-WIM-Systeme noch die ungefähren Kosten abgefragt. In diesem Zusammenhang wurden auch gleichzeitig notwendige Randbedingungen (z. B. Brückenhöhe, Spannweite, Material) erhoben, analysiert und die Auswirkungen auf die Kosten bestimmt. Aus den Kostenangaben der beiden Hersteller wurden für die Berechnung der Kosten eines Schwerverkehrsmonitorings Kostenansätze ausgewählt, sodass kein Systembezug vorhanden ist.

### 3.1.1 System 1 – BW 93

Der Aufbau des Systems am Bauwerk BW93 erfolgte im Zeitraum vom 21.08.2017 bis 23.08.2017. Während dieser Zeit war es trocken und sonnig mit Temperaturen um 20 °C.

Die Zufahrt zur Installation erfolgte hierbei über den gesperrten Parkplatz „Hochholzer“, wozu eine entsprechende verkehrsrechtliche Ausnahme genehmigung vorhanden war.

Fahrzeuge konnten zum einen auf dem Parkplatz direkt abgestellt werden. Zum anderen bestand aber auch die Möglichkeit, nach Aufschließen eines Tores hinter dem Parkplatz direkt das Brückenbauwerk anzufahren (siehe Bild 4), sodass das Material nicht weit transportiert werden musste.

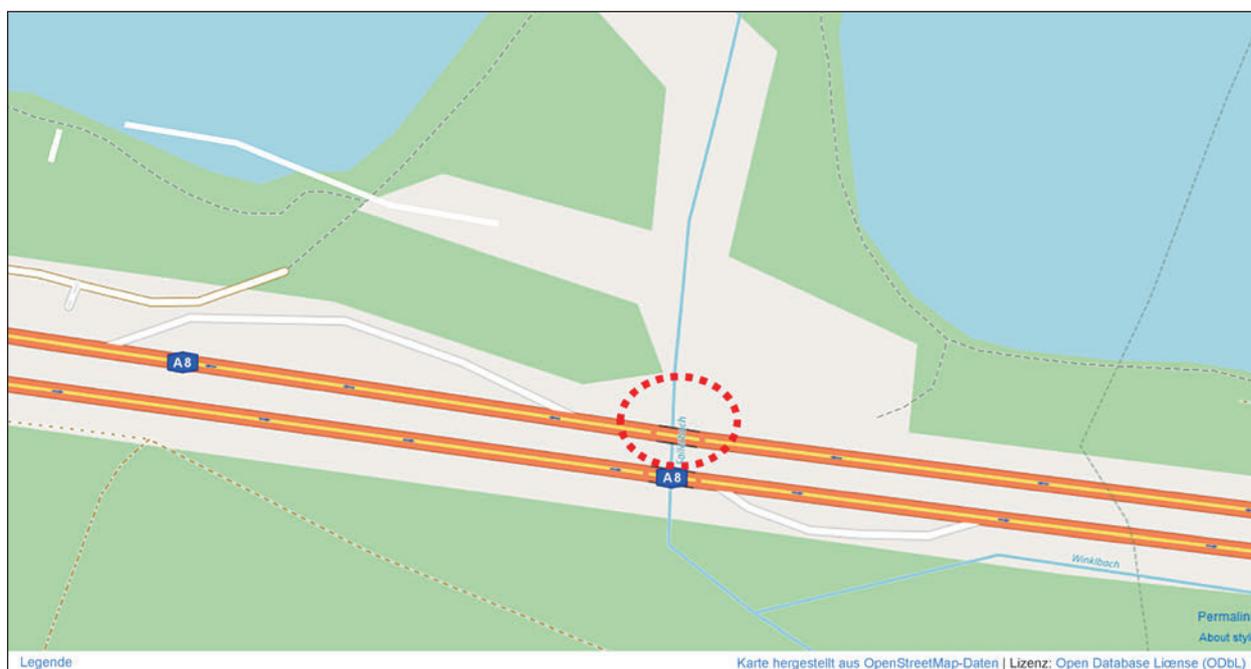


Bild 4: Lageplan Bauwerk 93 (Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open Database License (ODbL))

Der Zuweg sowie der Platz oberhalb der Brücke, der zur Lagerung des Materials und als Ausgangspunkt für die Installation genutzt wurde, sind in Bild 5 und Bild 6 dargestellt.

Um den Bereich unterhalb der Brücke zu erreichen, musste im Böschungsbereich zunächst ein Zugang frei geschnitten werden (siehe Bild 7). Über diesen gelangte man zum Arbeitsbereich unterhalb der Brücke. Durch einen etwa 2,0 m breiten Uferbereich wurde die Arbeit erleichtert. Die Wassertiefe, des unter der Brücke fließenden Baches betrug etwa zwischen 0,5 m nahe des Uferbereichs und rund 1,20 m im hinteren Bereich.

Das insgesamt benötigte Material bestand einerseits aus den Bridge-WIM-Systemkomponenten und andererseits aus den zum Aufbau benötigten Werkzeugen. In der nachfolgenden Materialliste wurden die wesentlichen Bestandteile dargestellt:

- Schaltschrank mit Auswerteeinheit,
- Autobatterie,
- Übertragungseinheit mit Router,

- Dehnungsmessstreifen,
- Temperatursensor,
- Signalverteiler,
- Markierungsstift,
- Datenkabel in unterschiedlichen Längen,
- Stahldübel (8 mm) und Schrauben,
- Kabelbinder,
- Hammer,
- Kneifzange,
- Einschlaghilfe,
- Entfernungsmesser (Laser),
- Messband, Gliedermaßstab,
- Bohrschablone,
- Bohrmaschine (Akku),
- Leitungssuchgerät,
- Stirnlampe,
- Schraubenzieher,



Bild 5: Zuweg zum Brückenbauwerk vom Parkplatz aus



Bild 7: Frei geschnittener Böschungszugang



Bild 6: Bereich oberhalb des Brückenbauwerks



Bild 8: Arbeitsbereich unterhalb der Brücke

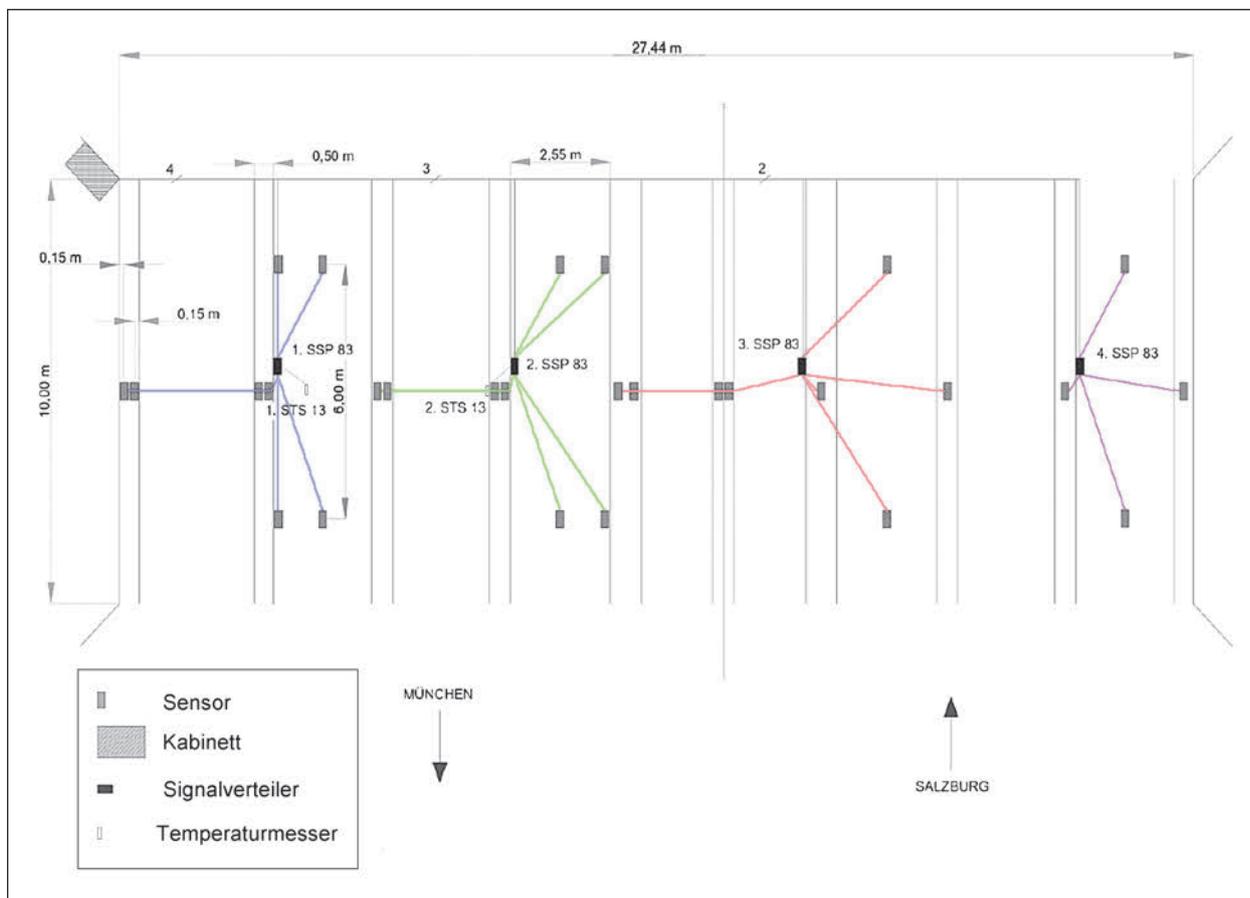


Bild 9: Entwurfsskizze der Sensorpositionen (Pflichtenheft des Herstellers)

- Leiter,
- Wathose,
- persönliche Schutzausrüstung (PSA).

Die grundsätzliche Anordnung der Sensoren unterhalb der Brücke ist in Bild 9 dargestellt. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte zur Installation des kompletten Systems beschrieben.

Die Arbeiten wurden von 2 Personen durchgeführt, die in der Handhabung und Funktionsweise des Systems geschult waren.

Nachfolgend werden die einzelnen notwendigen Tätigkeiten beschrieben, die größtenteils parallel durchgeführt wurden.

Im ersten Schritt (siehe Bild 10) erfolgten auf der Basis der bereits vorhandenen Planunterlagen und des erstellten Pflichtenheftes ein Vermessen der Brücke zur genauen Festlegung der Messpunkte. Besonders wichtig hierbei ist die genaue Einmessung der Rollspuren der Lkw auf dem Hauptfahrstreifen. Hierzu wurde zu Beginn der Abstand abgeschätzt, da Messungen mit einem handelsüblichen

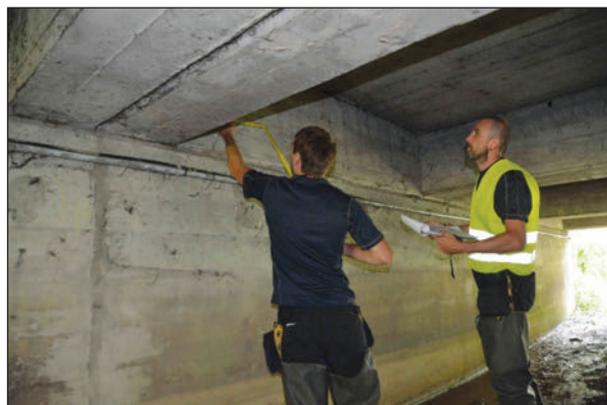


Bild 10: Stufe 1: Ausmessen der Brücke und Festlegung der Positionen

Lasengerät keine belastbaren Ergebnisse erzielten. Die Rollspur konnte jedoch auch mit der Abschätzung genau genug getroffen werden, was durch gute Messergebnisse bestätigt wurde. Nach Festlegung der Sensorpositionen wurde überprüft, ob im vorgesehen Bereich Brückenbewehrung vorhanden war (siehe Bild 11). Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde dann die endgültige Sensorposition markiert. Der Zeitbedarf für das gesamte Einmessen betrug etwa 1,5 Stunden.



Bild 11: Stufe 1: Prüfung auf Bewehrung



Bild 13: Stufe 3: Befestigung der Sensoren



Bild 12: Stufe 2: Herstellung der Bohrlöcher



Bild 14: Stufe 4: Verbindung der Sensoren

Anschließend erfolgte die Herstellung der Bohrlöcher. Hierzu wurde ein Akkubohrschrauber genutzt. Zum Bohren des zweiten Loches wurde eine Bohrschablone (siehe Bild 12) verwendet. In die Bohrlöcher wurden unmittelbar mittels Einschlaghilfe die Messingdübel eingesetzt. Der Arbeitsaufwand wurde für diesen Schritt mit 2,0 Stunden abgeschätzt.

Als Nächstes (Stufe 3) erfolgte die Montage der Sensoren. Diese sind auf einer Metallplatte befestigt, sodass nur noch die beiden Schrauben in die vorbereiteten Dübel eingeschraubt werden mussten. Der Zeitbedarf hierfür lag bei rund einer Stunde.

Zur Verbindung der Sensoren mit den Signalverteilern standen vorkonfigurierte Datenkabel in unterschiedlicher Länge zur Verfügung. Diese wurden einfach am Sensor eingesteckt und verschraubt. Unter den gegebenen Randbedingungen (Fluss, Schlamm) dauerte die komplette Verkabelung rund einer Stunde.

Im Vorderbereich der Brücke in der Nähe der bauseits gestellten Energieversorgung wurde der Schalt-



Bild 15: Stufe 5: Montage des Schaltschranks

schrack montiert (siehe Bild 15). Dieser war bereits vorkonfiguriert, sodass nur zwei Bohrlöcher notwendig waren und der aufgehängte Schaltschrank anschließend an die Energieversorgung angeschlossen werden konnte. Darüber hinaus wurde der Schrank mit einer Batterie bestückt, um Spannungsschwankungen und Ausfälle zu überbrücken. Der Zeitbedarf hierfür konnte mit 0,5 Stunden abgeschätzt werden.



Bild 16: Stufe 6: Herstellung der Verbindung Sensoren – Signalverteiler – Auswerteeinheit



Bild 18: Stufe 8: Systemkonfiguration und Setup



Bild 17: Stufe 7: Montage der Datenübertragungseinheit



Bild 19: Stufe 9: Durchführung der Fahrten zur Kalibrierung

Anschließend wurden die Signalverteiler per Kabel mit der Auswerteeinheit im Schaltschrank verbunden (siehe Bild 16). Der Zeitbedarf hierfür betrug 0,5 Stunden.

Zur Datenübertragung wurde im oberen Bereich der Brücke noch ein Schrank mit der Datenübertragungseinheit montiert (siehe Bild 17) und mit der Auswerteeinheit verbunden. Der erhöhte Montageort wurde bewusst gewählt, da in diesem Bereich nur ein schwacher Mobilfunkempfang festgestellt worden war. Auch hier lag der Zeitbedarf bei rund 0,5 Stunden. Nach Abschluss der Stufe 7 war die Montage des Systems abgeschlossen.

Die weiteren Einstellungen und Kalibrierungen konnten sowohl vor Ort als auch per Remote-Zugriff vorgenommen werden. In diesem Fall erfolgten die weiteren Schritte vor Ort mithilfe eines angeschlossenen Laptops, auf dem das Konfigurationsprogramm vorhanden war.

Zunächst (Stufe 8, siehe Bild 18) erfolgte die Systemkonfiguration und das generelle Setup des Systems. Hier wurden insbesondere die Sensoren im

Auswerteprogramm den Fahrstreifen und Auswerteargorithmen zugeordnet. Gleichzeitig wurden die Abmessungen eingegeben. Diese Aufgaben dauerten rund 2,0 Stunden.

Nach Abschluss der Systemkonfiguration lieferte das System bereits vollständige Ergebnisse, die im Programm auch visualisiert wurden.

Der letzte Arbeitsschritt beinhaltet die notwendige Kalibrierung des Systems. Hierzu sind Testfahrten mit einem verwogenen Lkw notwendig. Im hier beschriebenen Pilotbetrieb wurde dazu der Lkw einer Spedition genutzt, der zu einer vorgegebenen Zeit die Messstelle passierte. Nach einer Vorabstimmung mit dem Fahrer, mit dem auch über Mobilfunk während der Durchführung der Testfahrten Kontakt gehalten wurde, fanden die Testfahrten statt. Insgesamt wurden 10 Fahrten (siehe Bild 19) auf dem rechten Fahrstreifen und 2 Fahrten auf dem linken Fahrstreifen durchgeführt. Eine Person beobachtete den Verkehr und gab der am Rechner sitzenden Person Bescheid, sobald der Lkw die Messstelle (in einer der beiden Richtungen) passierte.

Die jeweiligen Messwerte des Versuchsfahrzeugs wurden entsprechend markiert. Gleichzeitig wurden die tatsächlichen Kennwerte des Lkw eingegeben, sodass auf dieser Basis ein Abgleich und eine Kalibrierung erfolgen konnte.

Der Zeitbedarf für die Durchführung der Testfahrten sowie die anschließende Kalibrierung konnte mit rund 3,0 Stunden angesetzt werden, wobei die Kalibrierung hiervon rund 0,5 Stunden in Anspruch nahm. Hierbei ist zu beachten, dass der Zeitbedarf für die Durchführung der Testfahrten im großen Maße vom Abstand der Anschlussstellen, die zum Wenden genutzt wurden, abhängt. Im vorliegenden Fall konnten hierzu die Anschlussstellen AS Rohrdorf und AS Rosenheim genutzt werden (siehe Bild 20), sodass für einen Durchlauf nur rund 7 km zurückgelegt werden mussten. Darüber hinaus kam

es zu keinen Stausituationen während der Durchführung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es während der Installation des Bridge-WIM-Systems zu keinen unvorhergesehenen Problemen kam, sondern dass die Montage wie vorgesehen und im Pflichtenheft dokumentiert durchgeführt werden konnte.

In Bezug auf die für die Installation notwendigen Arbeiten konnten die in Tabelle 2 dargestellten Zeitbedarfswerte ermittelt werden.

Bei der Bewertung der Zeitbedarfswerte haben die örtlichen Gegebenheiten einen größeren Einfluss. So zeigen Bild 21 und Bild 22, dass ein Teil der Arbeiten vom Flussbett aus durchgeführt werden musste. In diesem Bereich war der Untergrund sehr



Bild 20: Übersicht über die Route der Testfahrten (Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open Database License (ODbL))

Arbeiten	Zeitbedarf [h]	Personen	Gesamtbedarf [h]
Ausmessen der Brücke, Festlegung der Position, Prüfung auf Bewehrung	1,5	2	3
Herstellung der Bohrlöcher	2,0	2	4
Montage der Sensoren	1,0	2	2
Herstellung der Verkabelung	1,0	2	2
Montage des Schaltschranks	0,5	2	1
Verbindung Datensammler-Auswerteeinheit	0,5	2	1
Montage der Kommunikationseinheit	0,5	2	1
Systemkonfiguration und Setup	2,0	2	4
Durchführung der Testfahrten	2,5	2	5
Kalibrierung des Systems	0,5	2	1
<b>Gesamtzeitbedarf</b>	<b>12,0</b>		<b>24,0</b>

Tab. 2: Zeitbedarfswerte für die Installation des Bridge-WIM-Systems 1



Bild 21: Erschwerte Bedingungen (Beispiel 1)



Bild 22: Erschwerte Bedingungen (Beispiel 2)

schlammig, sodass das Umsetzen der Leiter schwierig war. Auch der Zugang über die steile Böschung musste sehr vorsichtig vorgenommen werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass bei einer Vielzahl der für ein späteres Schwerverkehrsmonitoring infrage kommenden Brückenbauwerke andere Bedingungen vorhanden sein werden, für die dann adäquate Zeitbedarfswerte angesetzt werden müssen.

### 3.1.2 System 2 – BW 91

Der Aufbau des Systems am Bauwerk BW91 erfolgte im Zeitraum 18.09.2017 bis 21.09.2017. Während dieser Zeit war es regnerisch mit Temperaturen um 10 °C.

Die Zufahrt zur Installation erfolgte hierbei über eine nachgeordnete Straße, die neben dem unter der Brücke verlaufenden Bach langführt. Die Straße unter dem Brückenbauwerk war für die Zeit der Installation komplett gesperrt.

Fahrzeuge konnten vor der Unterführung am Rand der vorhandenen Wege abgestellt werden (siehe Bild 23), sodass das Material nicht weit transportiert werden musste.

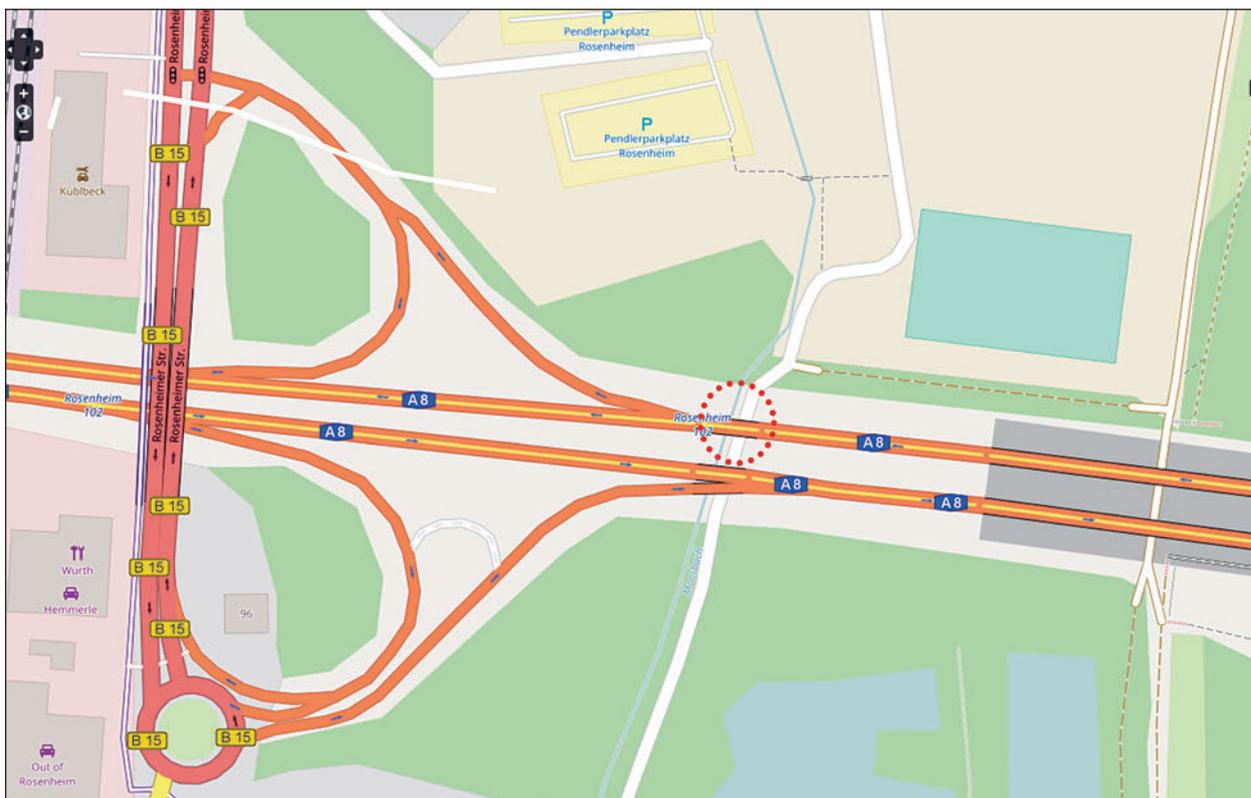


Bild 23: Lageplan Bauwerk 91 (Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open Database License (ODbL))

Der Zuweg sowie der Platz oberhalb der Brücke, auf dem die Unterverteilung für den Netzanschluss in einem Baustromverteiler platziert war, sind in Bild 24 und Bild 25 dargestellt.

Um die Plattenbalken von unten zu erreichen, musste mit einem Hubsteiger (Bild 26) gearbeitet werden. Durch einen etwa 3,5 m breiten und asphaltierten Weg neben dem Bachlauf wurde die Arbeit erleichtert (Bild 27).



Bild 24: Zuweg zum Brückenbauwerk im untergeordneten Netz



Bild 25: Baustromverteiler auf dem Brückenbauwerk

Das insgesamt benötigte Material bestand einerseits aus den Bridge-WIM-Systemkomponenten und andererseits aus den zum Aufbau benötigten Werkzeugen. In der nachfolgenden Materialliste wurden die wesentlichen Bestandteile dargestellt, welche während des Aufbaus des Systems benötigt wurden.

- Schaltschrank mit Messverstärker, Auswerteeinheit und Übertragungseinheit,
- Dehnungsmessstreifen (DMS),
- Temperatursensor,
- Markierungsstift,
- Messkabel (abgeschirmte Kabel mit 4 Adern, alle in einheitlicher Länge von 30 m vorbereitet),
- Kabeltraverse mit geklebter Haltevorrichtung,
- Gewebeklebeband (gut haftend),
- Kabelbinder,
- Kneifzange,



Bild 26: Hubsteiger unter der Brücke



Bild 27: Arbeitsbereich unterhalb der Brücke

- Entfernungsmesser (Laser),
- Messband, Gliedermaßstab,
- Hubsteiger,
- Winkelschleifer mit Scheibenbürste,
- Schleifpapier,
- Pinsel,
- Polyamid Klebeband,
- Zweikomponenten-Klebstoff für DMS inkl. Materialien zum Verarbeiten,
- Folie als Trägermaterial für Klebstoff,
- Akku-LötKolben mit Lötzinn,
- Kitt zum Abdichten von Lötstellen,
- Abdeckmittel ABM75 für DMS (Aluminiumfolie und darauf aufgebracht Knetmasse),
- Heißluftpistole,
- persönliche Schutzausrüstung (PSA).

Die grundsätzliche Anordnung der Sensoren unterhalb der Brücke wurde in Bild 28 dargestellt. Es wurden insgesamt 28 DMS und drei Temperatursensoren (nicht im Bild) angebracht. Die Temperatursensoren wurden auf die gleiche Weise wie die DMS befestigt und sollten die Temperatur an einem beliebigen Balken und einer Platte (nicht außen) sowie die Lufttemperatur (an der Außenseite des ersten Balkens) messen.

Die Arbeiten wurden in der Regel von 2 Personen durchgeführt. Zur schnelleren Durchführung waren teilweise insgesamt 4 Personen mit dem Aufbau be-

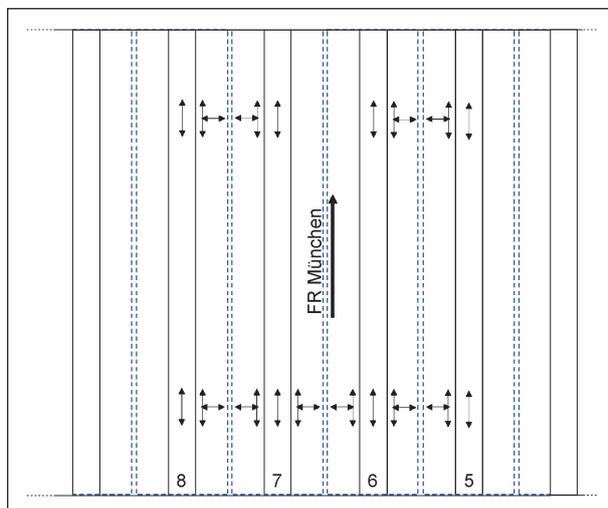


Bild 28: Skizze der DMS-Sensorpositionen

schäftigt. Der komplette Aufbau hätte jedoch auch von 2 Personen durchgeführt werden können. Die Zeitbedarfswerte wurden daher auch auf die Zeiten umgerechnet, die 2 Personen für den Aufbau benötigen würden.

Nachfolgend werden die einzelnen notwendigen Tätigkeiten beschrieben, die allerdings größtenteils auch parallel durchgeführt wurden. Bei den enthaltenen Zeitabschätzungen wurde daher eine entsprechende Aufteilung vorgenommen.

Im ersten Schritt (siehe Bild 29) erfolgte das Anbringen der Träger für die Kabeltraverse. Diese durften nach Vorgabe der Autobahndirektion lediglich angeklebt werden, da die Betonüberdeckung der Fertigteilbrücke für die erforderliche Bohrtiefe nicht ausreichend war, um eine evtl. Beschädigung der Brücke auszuschließen. Die Bohrtiefe ist hierbei abhängig vom verwendeten Verankerungssystem (Hersteller, Art der Verankerung usw.) und den abzuleitenden Lasten, die sich aus der Anzahl und Anordnung der Verankerungen ergeben. Generell gibt es Verankerungslösungen mit entsprechenden Zulassungen, die ab einer Bohrlochtiefe von 4 bis 5 cm beginnen.

Nach dem Verkleben musste der Kleber mindestens 20 Stunden aushärten. Der Zeitbedarf für das Anbringen der Träger belief sich auf etwa 3,0 Stunden (inkl. Positionierung und ohne Aushärtezeit).

Während der Aushärtezeit konnte mit dem Einmessen der Sensorpositionen fortgefahren werden (siehe Bild 30). Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde dann die endgültige Sensorposition markiert. Der Zeitbedarf für das gesamte Einmessen betrug rund 2,5 Stunden. Das Einmessen wurde durch das für den Messaufbau beauftragte Unternehmen und das Unternehmen, welches die Auswertung System 2 durchführt, gemeinsam durchgeführt, um die Posi-



Bild 29: Stufe 1 – Anbringen Halterungen Traverse



Bild 30: Stufe 2 – Einmessen der Sensorpositionen



Bild 33: Stufe 5 – Verlegung Kabel in Traverse



Bild 31: Stufe 3 – Anbringen Traverse



Bild 34: Stufe 6 – Anbringen der DMS und Temperatursensoren



Bild 32: Stufe 4 – Aufstellen Schaltschrank

tionen genau festzulegen und nachträgliche Änderungen zu vermeiden.

Nach Aushärtung des Klebers konnten die Kabeltraversen angebracht werden. Hierzu wurden die Drahtgittertraversen mit zwei Metallplatten und zwei Muttern an die Gewindestangen der Träger geschraubt (siehe Bild 31). Der Arbeitsaufwand wurde hier mit einer Stunde abgeschätzt.

Als Nächstes (Stufe 4) erfolgte das Aufstellen des Schaltschranks auf den von der Autobahnmeisterei vorbereiteten Platz (vgl. Bild 32). Der Schalt-

schrank war bereits mit der Messtechnik ausgestattet und beinhaltete auch bereits die Kabel zu den jeweiligen Sensoren. Insgesamt hatte der Schaltschrank ein geschätztes Gewicht von 150 kg. Der Zeitbedarf hierfür lag bei rund 0,5 Stunden.

Die Kabel wurden, nachdem der Schaltschrank auf seiner endgültigen Position stand, in die Kabeltraversen gelegt (vgl. Bild 33). Die Verlegung der Kabel in die Traverse dauerte etwa einer Stunde.

Den nächsten Schritt bildete das Anbringen der Dehnungsmessstreifen (siehe Bild 34). Hierzu wurde der Beton mit einem Winkelschleifer, versehen mit einer Bürstenscheibe, behandelt, um eine gleichmäßige Oberfläche (nicht zu glatt/ohne Luftporen) zu erhalten. Die Stelle wurde mit Schleifpapier nachbehandelt und mit einem Pinsel von Staub befreit.

Der Aufwand war notwendig, da der Dehnungsmessstreifen in einem Zweikomponenten-Kleber eingebettet wurde. Dieser musste einen kraftschlüssigen und vollflächigen Kontakt zum Bauteil haben.

Der Dehnungsmessstreifen wurde hierzu in einem Rahmen aus Polyamid-Klebeband befestigt und mit

dem Kleber am Beton befestigt. Danach wurde weiterer Kleber auf einer Folie als Trägermaterial über dem DMS verteilt. Nach einer Aushärtezeit von etwa 10 Minuten war der Dehnungsmessstreifen am Bauteil fest verklebt und das Klebeband konnte entfernt werden. Wichtig war bei der Verklebung, die Kontaktstellen zum Anlöten der Kabel frei zu lassen. Beim Anbringen der Temperatursensoren wurde nach dem gleichen Prinzip verfahren.

Der Zeitbedarf für das Anbringen der 31 Sensoren betrug etwa 9,5 Stunden. Jedoch wurde durch den Umstand, dass die Temperaturen im Grenzbereich der Verwendbarkeit des Klebers lagen, die Technik zum Anbringen der Sensoren geändert und vor Ort erprobt werden musste, der hierfür zusätzliche Zeitbedarf mit 1,5 Stunden abgeschätzt.

Anschließend wurden die Datenkabel an die Sensoren angelötet (siehe Bild 35). Das Kabel wurde mittels Gewebe-Klebeband am Bauteil befestigt und zum Sensor geführt. Hier konnte dann das Kabel an die Kontaktstellen am Sensor angelötet werden. Nach Überprüfung der Verbindung im Schaltschrank wurde die Lötstelle mit einem Kitt verschlossen und zusätzlich wurde der gesamte Sensor inkl. Lötstelle mit dem Abdeckmittel ABM75 für Dehnungsmessstreifen, welches aus einer Aluminiumfolie und darauf aufgebracht Knetmasse besteht, versehen. Somit wird ein schneller und einfach anzubringender Schutz der Messstelle erreicht. Der Zeitbedarf hierfür betrug 6,0 Stunden.

Nach erfolgreicher Montage und Verkabelung der Sensoren wurden im Schaltschrank die Kabel eingesteckt und das Messprogramm eingerichtet, welches die Daten an das Berechnungsmodell überspielte (siehe Bild 36). Der Zeitbedarf lag hier bei rund 2,0 Stunden.

Nach Abschluss dieser Stufe 8 war die Montage des Systems abgeschlossen.

Die Kalibrierfahrten fanden zu einem gesonderten Termin am 24.10.2017 statt. Zu diesem Zweck wurden entsprechende Lkw bei einer nahegelegenen Spedition angemietet, verwogen und dann die Fahrten durchgeführt und dokumentiert. Zum Zeitpunkt der Kalibrierfahrten wurden folgende Temperaturen gemessen:

- Schattenlufttemperatur: 9,3 °C gegen 10:00 Uhr, 12,8 °C gegen 15:30 Uhr,
- Temperatur Betonoberfläche unter der Brücke: 10,3 °C bis 10,9 °C.



Bild 35: Stufe 7 – Verkabeln der Sensoren



Bild 36: Stufe 8 – Anschluss und Einrichten Schaltschrank

Bei der Bewertung der Zeitbedarfswerte (siehe Tabelle 3) war zu berücksichtigen, dass aufgrund der örtlichen Umstände erschwerte Bedingungen vorlagen. So zeigt Bild 37, dass ein Teil der Arbeiten über dem Flussbett durchgeführt werden musste. Durch das ständige Umsetzen des Hubsteigers und dadurch, dass nur ein Hubsteiger unter der Brücke Platz gefunden hat, wurde mehr Zeit in Anspruch genommen. Es wird abgeschätzt, dass durch die Nutzung des Hubsteigers der Zeitbedarf für alle Arbeiten direkt unter der Brücke etwa um 25 % verlängert wurde.

Arbeiten	Zeitbedarf [h]	Personen	Gesamtbedarf [h]
Anbringen Halterungen Traverse	3,0	2	6,0
Einmessen Sensorpositionen	2,5	2	5,0
Montage Traverse	1,0	2	2,0
Aufstellen Schaltschrank	0,5	2	1,0
Verlegung Kabel in Traverse	1,0	2	2,0
Anbringen der Sensoren	8,0 + 1,5	2	19,0
Verkabeln der Sensoren	6,0	2	12,0
Anschluss und Einrichtung Schaltschrank	2,0	2	4,0
<b>Gesamtzeitbedarf</b>	<b>25,5</b>		<b>51,0</b>

Tab. 3: Zeitbedarfswerte für die Installation des Bridge-WIM-Systems 2



Bild 37: Erschwerte Bedingungen (Beispiel 1)



Bild 38: Zustand Signalverteiler bei der Demontage

Jedoch wird, wie bei System 1 auch, der Mehraufwand, der hier festgestellt wurde, auch bei der Mehrzahl der Brückenbauwerke eines Monitorings vorkommen, und somit kann nicht genau gesagt werden, ob die besonderen Randbedingungen hier eine Erschwernis darstellen, die berücksichtigt werden muss.

### 3.1.3 Zusammenfassung und Fazit

Zusammenfassend hing die Montage der Bridge-WIM-Systeme an beiden Bauwerken sehr stark von der Einbausituation ab. Das System 1 konnte aufgrund der geringen Brückenhöhe mit einer einfachen Leiter montiert werden, jedoch musste diese im schlammigen Grund eines Baches aufgestellt werden. Das System 2 musste mithilfe eines Hubsteigers installiert werden. Durch die unterschiedlichen Einbausituationen ist es schwierig, die Zeiten zu bewerten. Bei der eigentlichen Montage der Sensoren und der Kalibrierung der Systeme war jedoch System 1 durch die einfachere Montage und Kalibrierung direkt vor Ort einfacher zu installieren. Da

es sich bei System 2 um ein im Versuchsstadium befindliches System handelt, kann hier nicht ausgeschlossen werden, dass ein solches System bei Marktreife ebenfalls schneller und einfacher zu installieren ist.

## 3.2 Begleitung und Dokumentation Demontage

### 3.2.1 System 1

Der Abbau des Systems am Bauwerk BW93 erfolgte am 8.10.2018 ab 10:30 Uhr. Zu diesem Zeitpunkt war es trocken und leicht wolkig mit Temperaturen um 15 °C.

Der Zustand des Systems vor Beginn der Demontearbeiten zeigte keine erheblichen Auffälligkeiten. Lediglich ein leichter Verschmutzungszustand konnte festgestellt werden (siehe Bild 38). Dieser konnte durch eine einfache Reinigung beseitigt werden. Weiterhin waren alle Kabel noch in der ursprünglichen Position.

Auch für die Demontage wurde das Fahrzeug über den Zuweg in Brückennähe positioniert, um längere Laufwege mit den abgebauten Systemkomponenten zu vermeiden. Nach kurzer Vorbereitungszeit von ca. 20 Minuten konnte mit der Demontage begonnen werden. Diese erfolgte, wie der Aufbau auch, zum Teil im Flusswasser, woraus der erneute Einsatz von Leitern und Wathosen resultierte. Zwei Personen waren an der Demontage des Systems beteiligt. Im ersten Schritt wurden die Sensoren vom Bauwerk entfernt. Dafür wurde zunächst das Kabel am Sensor gelöst. Dieses Kabel wurde im Anschluss bis zum Signalverteiler aufgewickelt und dort mithilfe eines Kabelbinders fixiert (siehe Bild 39). Auf diese Weise konnte verhindert werden, dass das Kabel mit dem Flusswasser in Berührung kommt.

Daraufhin konnte der entsprechende Sensor durch das Lösen der Schrauben vom Brückenbauwerk entfernt werden. Diesen Schritt zeigt Bild 40.

Mittels des beschriebenen Vorgehens wurden alle Sensoren und Kabel zunächst bis zum Signalverteiler, der an der Außenseite der Brücke befestigt war,

demontiert. Danach konnte der Signalverteiler abgeschraubt werden. Das angeschlossene Kabel wurde erst einmal bis zur Brückenwand aufgewickelt. Die Fixierung am Bauwerk mittels Kabelbindern wurde dabei getrennt (siehe Bild 41).

Der Zeitbedarf für die Demontage eines Signalverters inklusive aller angeschlossenen Sensoren betrug ca. 10 Minuten. Das beschriebene Vorgehen wurde für die drei weiteren Signalverteiler ebenfalls durchgeführt. Dieser Arbeitsschritt erfolgte durch zwei Personen jeweils in Richtung Brückenmitte. Durch die Zusammenarbeit der beiden Personen konnte der Aufwand für die Laufwege von und zu den Signalverteilern während des Aufwickelns der Kabel reduziert werden. Die demontierten Systembestandteile wurden in Kisten gesammelt, um dann gemeinsam zum Fahrzeug transportiert zu werden.

Nach der Demontage der Sensoren und Signalverteiler wurden die Bohrlöcher (inklusive Dübel) und Plastikreste der Kabelhalterung sichtbar. Beide Zustände sind Bild 42 und Bild 43 zu entnehmen.

Um den Eintritt von Feuchtigkeit in das Bauwerk zu verhindern, galt es im nächsten Schritt, die Löcher



Bild 39: Aufwickeln und Fixieren der Kabel am Signalverteiler



Bild 41: Trennen der Befestigung eines Kabel



Bild 40: Abschrauben eines Sensors



Bild 42: Bohrlöcher (inklusive Dübel) nach der Demontage



Bild 43: Plastikreste der Kabelhalterung nach der Demontage



Bild 46: Abschrauben der Übertragungseinheit



Bild 44: Füllen der Löcher mit Injektionsmörtel



Bild 47: Transport des Schaltschranks die Böschung hoch



Bild 45: Zustand des Bauwerks nach dem Füllen mit Injektionsmörtel

mit Injektionsmörtel zu füllen. Nach dem Füllen wurde der überschüssige Injektionsmörtel mit einem Spachtel glattgestrichen, sodass eine glatte Oberfläche entstand. Die beschriebene Arbeit ist in Bild 44 dargestellt.

Die Dübel wurden nicht entfernt. Die Plastikreste wurden weitestgehend beseitigt, bevor die entstandenen Löcher gefüllt wurden. Der Zustand nach dem Füllen ist Bild 45 zu entnehmen.

Das Füllen der Löcher wurde von einer Person durchgeführt. Der Zeitbedarf für diese Arbeit betrug ca. eine Stunde.

Parallel wurde von der zweiten Person die Übertragungseinheit abgeschraubt (siehe Bild 46). Dafür wurden ca. 5 Minuten benötigt. Weiterhin wurden von dieser Person die noch verbleibenden Kabel, die vom Schaltschrank zu den Signalverteilern führten, aufgewickelt. Der Zeitbedarf lag hier bei ca. 15 Minuten.

Im Anschluss wurde der Schaltschrank demontiert. Die Auswerteeinheit wurde für einen Datendownload schon etwa zwei bis drei Wochen vor den Demontagearbeiten abgeholt. Für das Abschrauben und den Transport zum Fahrzeug (siehe Bild 47) waren zwei Personen erforderlich. Der Zeitbedarf hierfür betrug ca. 5 Minuten.

Zuletzt musste noch das Kabel von der Stromversorgung zum Schaltschrank aufgewickelt werden. Innerhalb der Versorgungseinheit hatte sich dieses Kabel um ein weiteres Kabel gewickelt, sodass sich hierdurch der Zeitbedarf für das Aufwickeln um 5 Minuten erhöht hat.

Arbeiten	Zeitbedarf [min]	Personen	Gesamtbedarf [min]
Demontage der Sensoren und Signalverteiler + Aufwickeln der angeschlossenen Kabel	4 x 10 = 40	2	80
Füllen der Löcher mit Injektionsmörtel	60	2	120
Demontage der Übertragungseinheit	5	2	10
Aufwickeln der Kabel zwischen Schaltschrank und Signalverteiler	15	2	30
Demontage des Schaltschranks	5	2	10
Aufwickeln des Kabels für die Stromversorgung	5	2	10
<b>Gesamtzeitbedarf</b>	<b>130</b>		<b>260</b>

Tab. 4: Zeitbedarfswerte für die Demontage des Bridge-WIM-Systems 1

Nach den Aufräumarbeiten und der Verladung der Systembestandteile (ca. 15 Minuten) wurden die Arbeiten um 12:40 Uhr beendet.

Die Zeitbedarfswerte (siehe Tabelle 4) können für die Demontage zusammengefasst dargestellt werden.

### 3.2.2 System 2

Der Abbau des Systems am Bauwerk BW91 erfolgte am 9.10.2018 ab 9 Uhr. Zu diesem Zeitpunkt war es trocken und sonnig mit Temperaturen um 15 °C.

Vor der Demontage wurden drei Stellen sichtbar, an denen sich das Klebeband gelöst hatte und die entsprechenden Kabel durchhingen. Da die angeschlossenen Sensoren jedoch keine Ablösung vom Bauwerk aufwiesen, sollte dieser Zustand kein Problem für die Funktionsfähigkeit des Systems dargestellt haben. Beispielhaft zeigt Bild 48 ein durchhängendes Kabel.

Vor Beginn der Arbeiten wurde von der Autobahnmeisterei Rosenheim die unmittelbare Zufahrt zur Brücke von überstehendem Pflanzenbewuchs freigeschnitten. Dies ermöglichte eine problemlose Zufahrt des Fahrzeugs. Darüber hinaus erfolgte eine Straßensperrung für die Dauer der Arbeiten.

Auch für die Demontage war der Einsatz eines Hubsteigers nötig. Dieses wurde zunächst rückwärts unter die Brücke auf den Geh- und Radweg gefahren. Da die Demontage von der Brückenmitte zum Brückenrand vorgenommen wurde, erfolgte eine dementsprechende erste Positionierung des Hubsteigers. Nachdem sich die Bearbeiter mit der Funktionsweise des Hubsteigers vertraut gemacht hatten, konnte mit den Arbeiten begonnen werden.



Bild 48: Durchhängendes Kabel



Bild 49: Entfernen der Silberfolie mit einem Spachtel

Zunächst wurden die ersten Sensoren vom Bauwerk entfernt. Dieser Schritt wurde von zwei sich auf dem Hubsteiger befindenden Personen durchgeführt. Nachdem die Verkabelung gelöst wurde, konnte die schützende Silberfolie mit einem Spachtel entfernt werden. Anschließend wurde der Sensor mithilfe eines Hammers leicht abgeschlagen. Die entsprechenden Arbeiten sind in Bild 49 und Bild 50 dargestellt.

Erst einmal wurden so die Sensoren entfernt, die sich auf dem ersten Plattenbalken der Brücke jeweils links und rechts von der Traverse befanden.



Bild 50: Abschlagen des Sensors mit einem Hammer



Bild 52: Entfernen eines Trägers durch die Hinzunahme eines Brenners und eines Brecheisens



Bild 51: Führung der Kabel entlang des Geländers

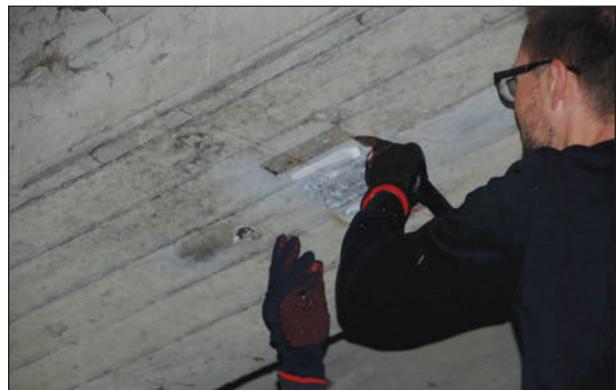


Bild 53: Entfernen der Klebereste

Die Kabel wurden dabei gleichzeitig aus der Traverse entnommen. Um einen möglichen Kontakt mit dem Flusswasser zu vermeiden, wurden diese vorübergehend entlang des Geländers des Geh- und Radwegs geführt (siehe Bild 51).

Auf die beschriebene Art und Weise wurden die Arbeiten bis zum äußeren Brückenrand durchgeführt. Sobald die Kabel aus einem Teilstück der Traverse vollständig entnommen waren, wurde die entsprechende Traverse abgeschraubt. Daraufhin konnten die Träger der Traverse vom Bauwerk entfernt werden. Nachdem die Klebestreifen am Rand des Trägers mit einem Spachtel beseitigt wurden, war der Einsatz eines Brenners erforderlich. Während eine Person die geklebte Platte des Trägers erhitze, konnte die zweite Person den Träger unter der Hinzunahme eines Brecheisens ablösen. Anschließend wurden die Klebereste entfernt. Bild 52 und Bild 53 zeigen die Arbeiten.

Durch das systematische Vorgehen von der Mitte der Brücke zum Rand der Brücke konnte die Anzahl der notwendigen Umstellungen des Fahrzeugs minimiert werden. Schließlich stellte die wiederholte Positionierung des Steigers einen erhöhten Auf-



Bild 54: Zustand der Brücke nach der Demontage der Sensoren

wand dar, da der Hubsteiger immer wieder in den Transportzustand zurückgefahren werden musste. Insgesamt waren sechs Umsetzungsvorgänge erforderlich. Der Zeitbedarf für die Demontage aller Sensoren, Traversen und Träger betrug insgesamt ca. 3,5 Stunden.

Nach der Demontage der Sensoren und Träger blieben sichtbare Reste des Klebers beziehungsweise der Sensoren zurück. Der entsprechende Zustand des Brückenbauwerks ist in Bild 54 und Bild 55 dargestellt.

Am Träger selbst blieben teilweise minimale Betonrückstände zurück. Beispielhaft wird dies in Bild 56 sichtbar.



Bild 55: Zustand der Brücke nach der Demontage der Träger



Bild 56: Minimale Betonrückstände am demontierten Träger



Bild 57: Aufwickeln der Kabel

Zuletzt musste der Schaltschrank von seinem Platz abtransportiert werden. Dafür wurden zunächst die von den Sensoren gelösten Kabel am Schrank abgesteckt und anschließend aufgewickelt. Da die Enden eine leichte Verknotung aufwiesen (siehe Bild 57), lag der Zeitbedarf für das Aufwickeln leicht erhöht bei ca. 10 Minuten.

Der Abtransport des Schaltschranks erfolgte durch die Unterstützung der Autobahnmeisterei Rosenheim mit einem zusätzlichen Fahrzeug (siehe Bild 58). Dies war erforderlich, da die Stützen des Steigers mangels Platzverfügbarkeit nicht vollständig ausgefahren werden konnten. Eine ausreichende Standfestigkeit des Fahrzeugs konnte aufgrund des Eigengewichts des Schaltschranks (ca. 150 kg) nicht gewährleistet werden. Der Einsatz des Fahrzeugs der Autobahnmeisterei erleichterte die Arbeiten deutlich. Der Zeitbedarf für den Abtransport inklusive aller Vorbereitungen dafür lag bei ca. 30 Minuten.

Nach kurzen Reinigungsarbeiten der Systembestandteile und deren Verladung wurden die Arbeiten gegen 14:30 Uhr beendet. Während sich die Kabel und Traversen für einen weiteren Gebrauch eignen, weisen die Sensoren und Träger für einen erneuten Einsatz zu große Beschädigungen auf.

Tabelle 5 zeigt zusammenfassend die Zeitbedarfs- werte für die Demontage des Systems.



Bild 58: Abtransport des Schaltschranks

Arbeiten	Zeitbedarf [min]	Personen	Gesamtbedarf [min]
Demontage der Sensoren, Traversen und Träger	210	2	420
Aufwickeln der Kabel	10	2	20
Abtransport des Schaltschranks	30	2	60
<b>Gesamtzeitbedarf</b>	<b>250</b>		<b>500</b>

Tab. 5: Zeitbedarfs- werte für die Demontage des Bridge-WIM-Systems 2

### 3.2.3 Zusammenfassung und Fazit

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass beide Systeme noch voll funktionsfähig waren und auch die Inaugenscheinnahme vor der Demontage keine kritischen Zustände (z. B. abgerissene Kabel, herunterhängende Sensoren) zeigte. Der gesamte Zeitbedarf für die Demontage des Systems 2 liegt etwa 2 Stunden über dem des Systems 1. An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass sich die Umgebungsbedingungen (Fluss/Bach/Straße/Höhe etc.) unterschieden. Nach dem Abbau der Systeme konnten keine Beschädigungen beider Brücken festgestellt werden.

## 3.3 Begleitung und Dokumentation der Zweitmontage

Aufgrund der detaillierten Zeitangaben zur Montage und Demontage sowie des geringen erwarteten Mehrwertes einer Zweitmontage wurde in Absprache mit dem Auftraggeber auf diese verzichtet. Die Zeiten für eine Zweitmontage ließen sich aus den einzelnen Zeiten der Erstmontage sowie der Demontage ableiten.

### 3.3.1 System 1

Die Zweitmontage bei System 1 würde die gleichen Arbeiten erfordern wie bei der Montage und Demontage des Systems mit der Ausnahme der Zeiten für das Ausmessen der Brücke, Festlegung der Position, Prüfung auf Bewehrung, Herstellung der Bohrlöcher und Füllen der Bohrlöcher nach Demontage. Hierdurch könnten im Vergleich zur Montage insgesamt 7 Stunden Gesamtzeit eingespart werden, was einer Ersparnis von rund 29 % entspricht. Beim Abbau entfällt das Füllen der Löcher mit Injektionsmörtel (damit diese wiederverwendet werden können), sodass sich insgesamt 120 Minuten einsparen lassen. Bei der insgesamt geringen Zeit macht dies eine Ersparnis von 46 % aus.

### 3.3.2 System 2

Beim System 2 entfallen bei einer Zweitmontage das Anbringen der Halterungen und der Traverse, das Einmessen der Sensorpositionen, die Montage der Traverse und insbesondere das Anbringen der Sensoren. Hierdurch reduziert sich der Gesamtzeitbedarf um 32 Stunden, was einer Reduzierung von rund 53 % entspricht. Wenn das System an gleicher

Stelle wiederverwendet werden soll, entfällt die Demontage der Sensoren und der Traverse, was eine Ersparnis von 420 Minuten bedeutet. Dies entspricht somit rund 84 %.

### 3.3.3 Zusammenfassung und Fazit

Auch bei der Zweitmontage treten durch die unterschiedlichen Einbausituationen große Unterschiede zwischen den Systemen auf. Da beim System 2 die Sensoren und Traverse aufwendig geklebt wurden, sind hier die größten Einsparungen zu erwarten. Der Abbau des Systems 2 hat somit gegenüber dem Systems 1 einen leichten Zeitvorteil. Hinsichtlich der Zweitmontage nähern sich die Zeitbedarfswerte an, beim System 1 erfolgt der Aufbau insgesamt nach wie vor schneller.

## 4 Überwachung der automatischen Datenerhebung und Aufbereitung

Ein wesentlicher Punkt der Begleitung des Bridge-WIM-Pilotversuchs war die Überwachung der automatischen Datenerhebung und die hiermit verbundene Aufbereitung der Daten.

Hierzu wurden zunächst die jeweiligen Datenformate abgestimmt und vereinbart. In einem weiteren Schritt waren die Möglichkeiten der Datenübertragung zu eruieren. Aufbauend auf diesen Informationen konnte die Datenbank konzipiert und umgesetzt werden.

Ziel der Überwachung der automatischen Erhebung war es, möglichst zeitnah Abweichungen – formaler oder inhaltlicher Art – zu detektieren, um somit eine konstante Qualität der erhobenen Daten für die anschließende Auswertung sicherzustellen.

Nachfolgend werden diese Aspekte kurz beschrieben.

### 4.1 Datenformate

Zwei unterschiedliche Datenformate waren im Rahmen der Bearbeitung vorgesehen und zu beachten. Hierbei handelte es sich zum einen um das Datenformat der mit den Daten des Fahrzeugidentifikationssystems verschnittenen Messdaten der WIM-

Systeme. Zum anderen sollen zur gezielten Bildung von Auswertintervallen auch die Daten von geeigneten Wetterstationen herangezogen werden.

#### 4.1.1 Datenformat Bridge-WIM-Systeme

Um die Datenaufbereitung und -auswertung zu vereinfachen, wurde zur Übermittlung der Messdaten ein einheitliches Datenformat seitens der BAST entwickelt und mit den jeweiligen Herstellern abgestimmt. Das Format orientierte sich hierbei am Datensatzformat der Achslast-Einzelfahrzeugdaten (BAST, 2015). Aus den Messdaten der WIM-Stellen wurden neben Datum und Uhrzeit die folgenden Merkmale übermittelt:

- Fahrzeugtyp (Fahrzeugsilhouette) gemäß TLS 2012/COST 323,
- Geschwindigkeit des Fahrzeugs (sofern vorhanden),
- Gesamtgewicht des Fahrzeugs,
- Anzahl der Achsen,
- Länge des Fahrzeugs,
- Abstand zwischen den einzelnen Achsen eines Fahrzeugs,
- Einzelachslasten des Fahrzeugs,
- Überladungsstatus der Einzelachsen und des Fahrzeugs,
- Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen.

Seitens der Hersteller der beiden Bridge-WIM-Systeme und der Vorselektionswaage wurden jedem Datensatz zusätzliche Informationen aus dem Fahrzeugidentifikationssystem hinzugefügt. Dies waren im Einzelnen:

- Datum und Uhrzeit der Erfassung,
- Hash-Code des erfassten Fahrzeugs,
- Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

Auf die Übermittlung weiterer Informationen an die Hersteller der Systeme wurde verzichtet, um so eine objektive Bewertung der Bridge-WIM-Systeme zu ermöglichen. Da davon auszugehen war, dass die Messsysteme nicht mit 100%iger Genauigkeit arbeiten, sind in Bezug auf jedes Fahrzeug unterschiedliche Konstellationen vorstellbar:

- Ein vom Fahrzeugidentifikationssystem erfasstes Fahrzeug (Hash-Code) wird auch vom jeweiligen Bridge-WIM-System erfasst, sodass ein vollständiger Datensatz generiert werden kann.
- Ein Fahrzeug wird von den Bridge-WIM-Systemen erfasst, aber es gibt keinen entsprechenden Hash-Code. In diesem Fall konnte das Fahrzeugidentifikationssystem das Kennzeichen nicht erfassen/nicht auswerten oder es handelte sich um eine Fehlmessung des Bridge-WIM-Systems.
- Das Fahrzeugidentifikationssystem detektiert ein Fahrzeug, aber es sind keine Daten aus dem Bridge-WIM-System vorhanden. Dies konnte darin begründet liegen, dass es sich bei dem erfassten Fahrzeug um einen Pkw handelt, der somit von den Bridge-WIM-Systemen nicht messtechnisch erfasst wird. Denkbar war allerdings auch, dass die Bridge-WIM-Systeme dieses Fahrzeug, obwohl dem Schwerverkehr zuzuordnen, aus anderen Gründen nicht erfassen können.

#### 4.1.2 Wetterdaten

Im Umfeld des Versuchsfelds waren verschiedene Wetterstationen vorhanden, deren Daten genutzt werden konnten. Für die hier vorliegende Fragestellung sind Informationen zum Niederschlag und insbesondere zur Temperatur von Bedeutung.

Eine mögliche Wetterstation ist die Wetterstation Karolinenfeld, deren Lage aus Bild 59 hervorgeht. Die Entfernung der Wetterstation zum Versuchsfeld betrug rund 7,5 km, sodass von einer gewissen Übereinstimmung der Wetterdaten ausgegangen werden konnte.

Eine weitere Wetterstation einer Glättemeldeanlage (GMA) befand sich direkt auf der Inntalbrücke. Die Entfernung zu dieser GMA zu den beiden Bridge-WIM-Systemen betrug 160 m bzw. 840 m. Aufgrund der geringeren Entfernung wurde die GMA ausgewählt und die Daten konnten direkt von der Autobahndirektion Südbayern zur Verfügung gestellt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Wetterstation war zudem, dass die Messdaten in minütiger Aggregation vorlagen und auch die Fahrbahnoberflächentemperatur gemessen wurde. Die Wetterdaten wurden jeweils zu Beginn eines Monats für den zurückliegenden Monat zur Verfügung gestellt.

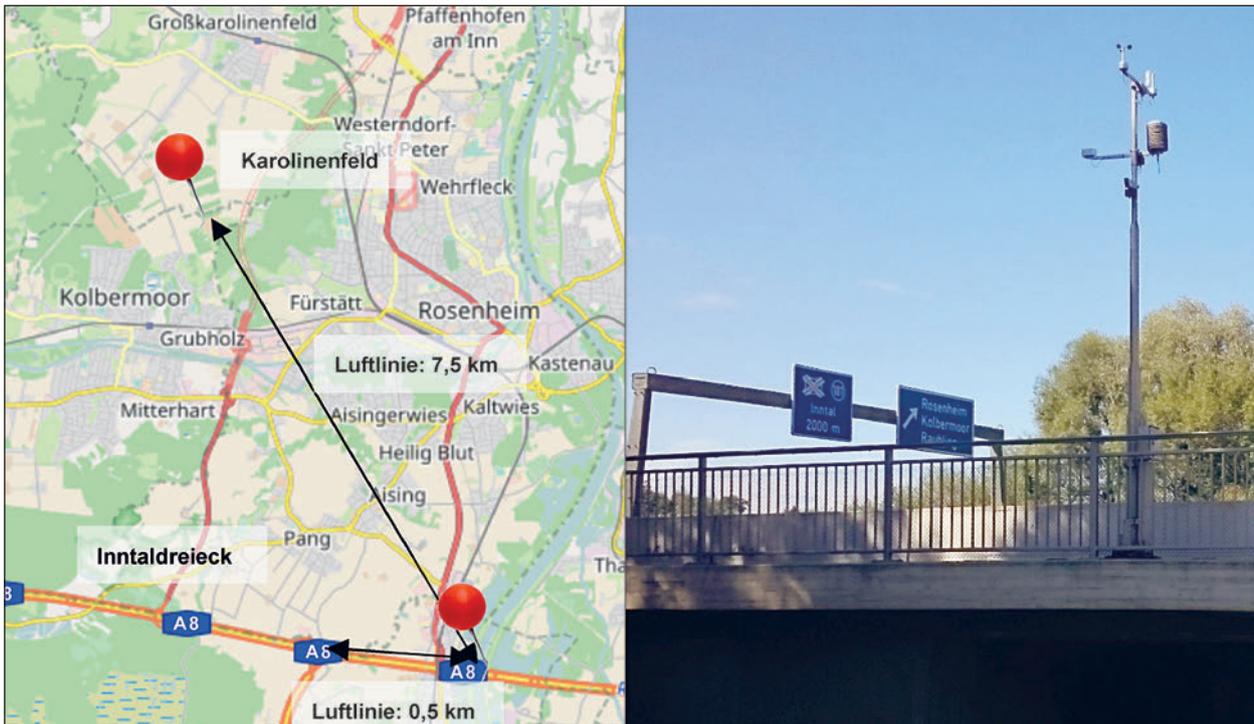


Bild 59: Lage der Wetterstation Karolinenfeld und der Glättemeldeanlage (GMA) auf der Inntalbrücke sowie Foto der GMA (Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open Database License (ODbL)) (Foto: BAST)

Für die weiteren Auswertungen wurde auf die minutigen Werte aus der GMA auf der Inntalbrücke zurückgegriffen.

## 4.2 Datenübertragung

Bereits vor Ort fand seitens der Hersteller der WIM-Anlagen die Fusion der Daten des Fahrzeugidentifikationssystems mit den Messdaten statt, sodass von jedem Standort nur ein Datensatz übertragen werden musste. Hier wurde vereinbart, dass einmal täglich eine Datenübertragung per E-Mail erfolgen sollte.

Es wurde vereinbart, dass die Hersteller die Übertragung parallel an die BAST und an DTV-Verkehrsconsult GmbH vornehmen. Hierzu wurde seitens DTV-Verkehrsconsult eine spezielle E-Mail-Adresse ([wimdata@verkehrsmonitoring.com](mailto:wimdata@verkehrsmonitoring.com)) eingerichtet. Da die Datensätze in einem einheitlichen Format übermittelt wurden, konnten so mittels automatischer Routine die Daten extrahiert und in die Datenbank eingelesen werden. Anhand der Headerzeilen war eine direkte Zuordnung zu den Standorten realisierbar.

Für die Wetterdaten war eine automatisierte Übermittlung der Daten nicht vorgesehen. Hier erfolgte mindestens monatlich ein manueller Abruf der Da-

ten, um diese in die Datenbank zu integrieren. Ein monatlicher Turnus wird als ausreichend erachtet, da diese Daten nicht zur Eingangskontrolle und Plausibilitätsprüfung, sondern vielmehr für die Auswertung benötigt wurden.

## 4.3 Konzeption Datenbank

Zur automatischen Verarbeitung wurden die Daten in ein Datenbanksystem gespeichert. Es wurden Import-Routinen für die abgestimmten Datenformate erstellt, welche die Daten auf formale und inhaltliche Vollständigkeit prüften. Auf einem Datenbankserver wurde eine projektbezogene MySQL-Datenbank erstellt, die aus mehreren Datenbanktabellen bestand. In den Datenbanktabellen wurde die Struktur der Datenformate abgebildet und über Datenbankschlüssel und -indizes miteinander in Beziehung gesetzt. Bei dem Import konnten unvollständige Datensätze und auch Datenduplikate aufgrund dieser Struktur zu Beginn der Verarbeitung erkannt und behandelt werden. Somit konnten systematische Fehler (Ausfall von Komponenten und Übertragungsfehler) sehr schnell erkannt und entsprechend reagiert werden. Jeder Datensatz wurde über eine entsprechende Kennziffer eindeutig seiner Quelle zugeordnet (z. B. Vorselektionswaage – BY68).

Durch das gewählte Datenbanksystem ist ein performanter Zugriff auf die Daten der WIM-Anlagen bzw. des Fahrzeugidentifikationssystems, der Messdaten und der Wetterdaten möglich. Durch SQL-Statements konnten die gespeicherten Daten für die nachfolgenden Plausibilitätsprüfungen und die Auswertungen einzeln aber auch in verschiedenen Kombinationen bedarfsgerecht abgerufen werden.

Besonderes Augenmerk wurde bei der Konzeption auf das schnelle Auffinden zusammengehöriger Datensätze über die Hashwerte des Kfz-Kennzeichens gelegt. Für weitere Auswertungen konnten so die sequenziell und unabhängig voneinander gespeicherten Erfassungen desselben Fahrzeugs an unterschiedlichen Messstellen performant in eine zeilenbasierte Darstellung transponiert werden.

Zugleich musste aber auch die Aggregation der Daten einer einzigen Messstelle innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs für statistische Aussagen unterstützt werden, denn diese Kennwerte bildeten eine wichtige Grundlage für die folgenden Plausibilitätsprüfungen.

## 4.4 Plausibilitätsprüfungen

Ziel der Überwachung der automatischen Datenerhebung war es, möglichst zeitnah die Qualität der Daten bewerten zu können und darüber hinaus über die gesamte Laufzeit die korrekte Funktionsweise der Systeme zu überwachen.

Während des Imports der Daten in die Datenbank erfolgte bereits eine formale Prüfung auf Einhaltung der vereinbarten Randbedingungen. Formal fehlerhafte Daten wurden abgewiesen und im Anschluss nach einer Ursache gesucht. Darüber hinaus erfolgte eine kontinuierliche Überprüfung der Daten hinsichtlich Plausibilität und Vollständigkeit. Nachfolgend werden die vorgesehenen Prüfungen differenziert beschrieben.

### 4.4.1 Vollständigkeit der Daten

Es wurde davon ausgegangen, dass die Ganglinie des Schwerverkehrs sehr gleichmäßig ist, was sich auch anhand der Dauerzählstellen (siehe Bild 60) belegen ließ.

Somit konnte geprüft werden, ob in jeder erfassten Stunde die zu erwartende Anzahl an Fahrzeugen enthalten war.

### 4.4.2 Achslastverteilungen

Zur Überprüfung der gemessenen Gesamtgewichte sowie der Achslastverteilungen bot es sich an, auf andere Standorte zurückzugreifen, an denen Achslastdaten erhoben werden. In einem ersten Schritt wurde hier auf die Daten der Achslastmessstellen in Deutschland zurückgegriffen und auf der Basis historischer Daten eine mittlere Achslastverteilung ermittelt. Mittels dieser Daten war ein qualitativer Vergleich möglich. Diese Daten wurde insbesondere zu Projektbeginn genutzt, da zu diesem Zeitpunkt die Daten der Vorselektionswaage noch nicht vorlagen.

In einem zweiten Schritt konnte tagesaktuell auf die Daten der Vorselektionswaage zurückgegriffen werden. Auch mit diesen Daten ist nur ein qualitativer Vergleich möglich, da zwischen den Standorten der Bridge-WIM-Systemen und der Vorselektionswaage das Dreieck Inntal liegt und somit die Verkehrszusammensetzung verändert wird. Allerdings wurde erwartet, dass eine deutlich bessere Übereinstimmung vorherrscht.

Durch die beiden Auswertungen konnten typisierte Achslastverteilungen ermittelt werden, sodass auch hier direkt eine Grenzwertbetrachtung der vom Bridge-WIM-System erfassten Werte vorgenommen werden konnte.

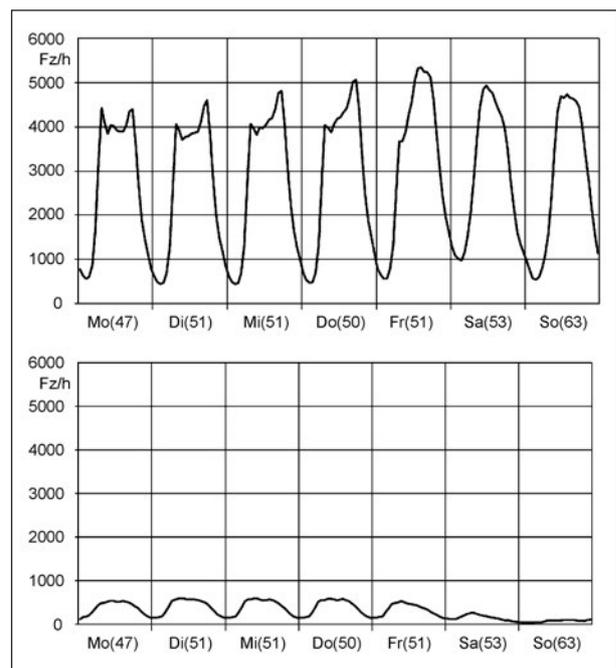


Bild 60: Beispiel für mittlere Ganglinien des Gesamt- (oben) und Schwerverkehrs (unten) an der Zählstelle Rosenheim-Ost (9023)

#### 4.4.3 Fahrzeugartenverteilung

Auf der Basis der auf der A 8 vorhandenen automatischen Dauerzählstelle erfolgte eine Ableitung von typischen Fahrzeugverteilungen. Neben der absoluten Anzahl an Fahrzeugen des Schwerverkehrs (stundenscharf) waren hier insbesondere zum Vergleich die prozentualen Verteilungen der Fahrzeugarten des Schwerverkehrs relevant. Diese dienten als wesentliche Vergleichsgröße und somit als Indiz zur Beurteilung der Erhebungsqualität.

#### 4.4.4 Plausibilität der Daten

Um die Datenqualität festzustellen wurde im Rahmen dieser Position eine Analyse der erfassten Fahrzeugdaten vorgenommen. Hierbei wurden die folgenden Kennwerte ermittelt:

- Anteil der nur vom Bridge-WIM-System erfassten Fahrzeuge  
Möglicherweise kam es zu Fehlerfassungen und einem Messdatensatz konnte kein Hash-Code zugeordnet werden. Diese Anzahl in Bezug auf die insgesamt vom Bridge-WIM-System erfassten Fahrzeuge wurde hier dargestellt.
- Ohne Gesamtgewicht erfasste Fahrzeuge  
Hier wurde die Anzahl der Schwerverkehrsfahrzeuge angegeben, zu denen kein Gesamtgewicht angegeben worden ist. Bezugsgröße war hierbei die insgesamt vom Bridge-WIM-System erfasste Fahrzeugmenge.
- Fahrzeuge mit falscher Achsanzahl  
Die Anzahl der erfassten Achsen musste mit den ausgewiesenen Achslasten übereinstimmen. Hier wurde die Anzahl der Schwerverkehrsfahrzeuge bestimmt, bei denen diese Kennwerte nicht übereinstimmten. Bezugsgröße war hierbei die insgesamt vom Bridge-WIM-System erfasste Fahrzeugmenge.
- Fahrzeuge mit falscher Typisierung  
Eine weitere Möglichkeit bestand in der Überprüfung der gemessenen Achsanzahl und der Typisierung. Die Anzahl der erfassten Achsen musste hierbei mit der Achsanzahl des ausgewiesenen Fahrzeugtyps übereinstimmen. Hier wird die Anzahl der Schwerverkehrsfahrzeuge bestimmt, bei den diese Kennwerte nicht übereinstimmten. Bezugsgröße war hierbei die insgesamt vom Bridge-WIM-System erfasste Fahrzeugmenge.

#### 4.4.5 Vergleich der ermittelten Daten der Bridge-WIM-Systeme

Da die beiden Bridge-WIM-Systeme kontinuierlich Messungen durchgeführt haben, sollte auch hier die Anzahl der erfassten Fahrzeuge weitestgehend identisch sein. Durch eine Gegenüberstellung der erfassten Fahrzeuge der beiden Bridge-WIM-Systeme kann somit direkt beurteilt werden, ob beiden Systeme einwandfrei funktionieren. Hierbei handelt es sich nur um eine qualitative Beurteilung, da sich BW91 im Bereich des Ausfädelungstreifens der Ausfahrt Rosenheim befindet und somit kein identisches Fahrzeugkollektiv vorliegt.

Darüber hinaus ließen sich auch die Achslasten miteinander vergleichen und gegenüberstellen.

#### 4.4.6 Zusammenfassende Statusmail

Um kontinuierlich den Status zu überprüfen, wurden die täglich auflaufenden Daten automatisch in der Datenbank abgespeichert und einer ersten Auswertung unterzogen. Hierzu wurden die bereits beschriebenen Kennwerte berechnet. Um einen guten Überblick über den aktuellen Status der beiden Anlagen zu erhalten, wurden diese Kennwerte in einem Steckbrief zusammengefasst. Dieser Steckbrief wurde für jedes der beiden Bridge-WIM-Systeme erstellt und basierte jeweils auf den Daten eines Tages. Neben Auswertungen, die sich nur auf das jeweilige System bezogen, waren auch Auswertungen enthalten, die eine vergleichende Gegenüberstellung der Daten der beiden Bridge-WIM-Systeme enthalten. Der Steckbrief wird in Bild 61 dargestellt.

Da ein Großteil der Kennwerte bereits beschrieben wurde, soll hier nur noch auf einige Besonderheiten hingewiesen werden.

Im oberen rechten Bereich wurden das ausgewertete Datum und das betrachtete Bridge-WIM-System dargestellt, damit eine eindeutige Identifikation möglich ist. Wesentlicher Bestandteil waren darüber hinaus die im unteren Bereich dargestellten Diagramme.

Im ersten Diagramm wurde die Tagesganglinie des Schwerverkehrs dargestellt. Hierzu wurden die Daten des Bridge-WIM-Systems zu Stundendaten aggregiert. Als Vergleichsgröße eigneten sich hier die Daten der benachbarten automatischen Dauerzählstelle 9023 Rosenheim (O). Als Vergleichsgröße

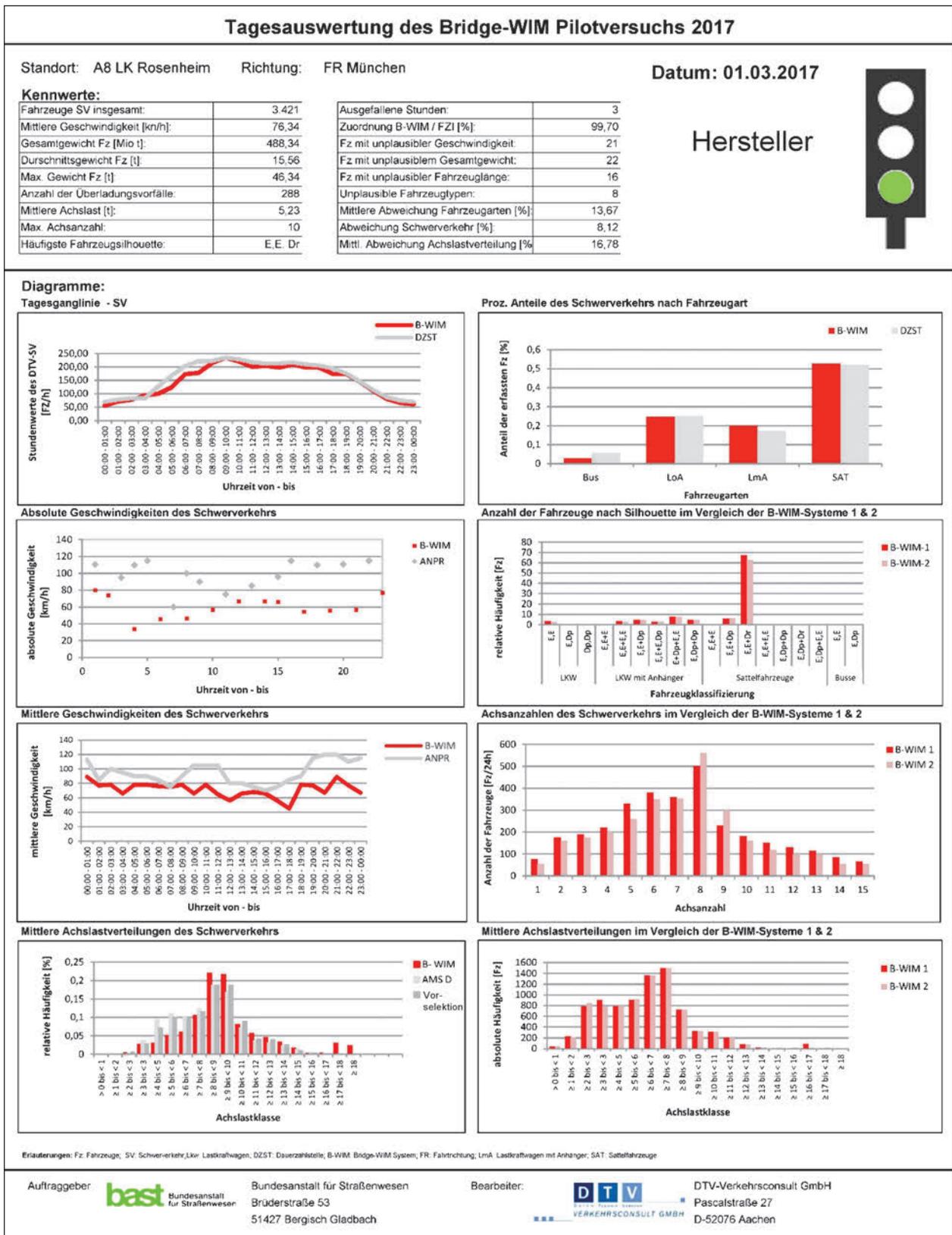


Bild 61: Steckbrief (Beispiel) mit den Ergebnissen der täglichen Prüfung

wurden mittlere Tagesganglinien des Schwerverkehrs des Hauptfahrstreifens herangezogen (siehe Tabelle 6). Ausfälle des Bridge-WIM-Systems sowie

große Abweichungen in der Gesamtdetektion konnten somit direkt erkannt werden (siehe Bild 62). Teilweise handelte es sich bei diesen Fällen auch um

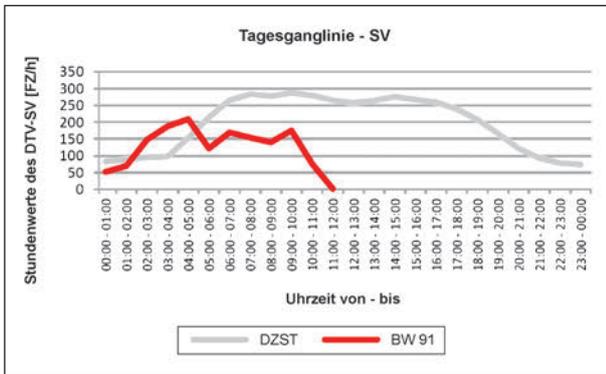


Bild 62: Beispiel eines ausgefallenen Bridge-WIM-Systems 2

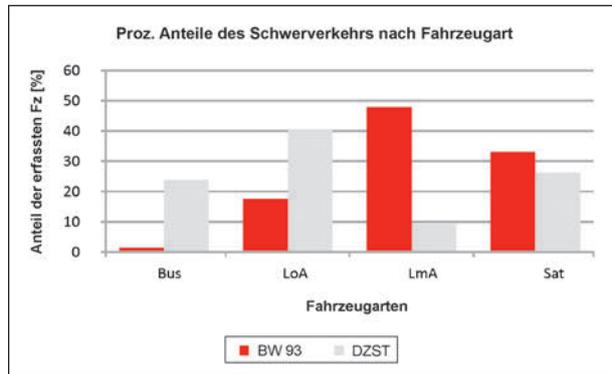


Bild 63: Beispiel einer auffälligen Zuordnung der Fahrzeugarten an System 1

Jahr 2016		Schwerverkehr (SV)														Richtung II (FS 1)				
Uhrzeit	Mo (47)		Di (51)		Mi (51)		Do (50)		Fr (51)		Sa (53)		So (63)		Di – Do (152)		Mo – Fr (250)		Mo – So (366)	
	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%	Fz	%
-01:00	65	1,3	85	1,7	81	1,7	79	1,8	71	2,0	61	3,7	21	2,2	82	1,7	76	1,7	66	1,8
-02:00	100	2,0	82	1,6	86	1,8	84	1,9	80	2,3	59s	3,6	21	2,2	84	1,8	86	1,9	73s	2,0
-03:00	113	2,2	89	1,7	93	2,0	91	2,0	85	2,4	52	3,2	21s	2,2	91	1,9	94	2,1	78s	2,1
-04:00	120	2,4	97	1,9	92	2,0	92	2,1	86	2,4	48s	2,9	22	2,4	94	2,0	98	2,1	80s	2,2
-05:00	165	3,3	156	3,1	150	3,2	143	3,2	133	3,7	63+	3,8	25	2,7	150	3,2	150	3,3	119+	3,3
-06:00	207	4,1	221	4,3	205	4,4	203	4,6	172	4,8	70s	4,3	25	2,7	210	4,4	202	4,4	158s	4,3
-07:00	234	4,6	293+	5,8	266s	5,7	256+	5,8	211+	5,9	88	5,4	24	2,6	272+	5,7	252+	5,5	196+	5,4
-08:00	261	5,2	313+	6,2	297+	6,3	272+	6,1	215+	6,1	103+	6,3	27	2,9	294+	6,2	272+	6,0	213+	5,9
-09:00	263	5,2	315+	6,2	284+	6,0	265+	6,0	211+	5,9	114+	6,9	31	3,3	288+	6,1	268+	5,9	212+	5,8
-10:00	279s	5,5	311+	6,1	288+	6,1	270+	6,1	228+	6,4	118+	7,2	42+	4,5	290+	6,1	275+	6,0	220+	6,1
-11:00	295+	5,8	300+	5,9	276+	5,9	264+	5,9	215+	6,1	107+	6,5	44	4,7	280+	5,9	270+	5,9	214+	5,9
-12:00	291+	5,8	282+	5,5	261s	5,6	250+	5,6	204s	5,8	100+	6,1	45+	4,8	264+	5,6	257+	5,6	205+	5,6
-13:00	278s	5,5	285+	5,6	258+	5,5	244s	5,5	201s	5,7	94	5,7	45+	4,8	262+	5,5	253+	5,5	201+	5,5
-14:00	284+	5,6	286+	5,6	262+	5,6	250	5,6	189s	5,3	92s	5,6	44+	4,7	266+	5,6	254+	5,6	201+	5,5
-15:00	297+	5,9	283s	5,6	268+	5,7	261+	5,9	188s	5,3	82	5,0	46	4,9	271+	5,7	260+	5,7	204+	5,6
-16:00	291+	5,8	278	5,5	259	5,5	251+	5,6	171s	4,8	77s	4,7	49+	5,2	263+	5,5	250+	5,5	197+	5,4
-17:00	289s	5,7	273s	5,4	247	5,3	242s	5,4	167	4,7	66	4,0	50+	5,4	254+	5,4	244+	5,3	191+	5,3
-18:00	271+	5,4	272	5,3	237	5,0	224s	5,0	160s	4,5	56	3,4	52+	5,6	244s	5,1	233+	5,1	182+	5,0
-19:00	246s	4,9	252+	5,0	217	4,6	197+	4,4	146s	4,1	45	2,7	54+	5,8	222+	4,7	212+	4,6	165+	4,5
-20:00	223s	4,4	195	3,8	179	3,8	159	3,6	117	3,3	37	2,3	46+	4,9	178	3,7	175s	3,8	137+	3,8
-21:00	171	3,4	145	2,9	137	2,9	116	2,6	92	2,6	39+	2,4	39	4,2	133	2,8	132	2,9	106+	2,9
-22:00	125	2,5	103	2,0	102	2,2	88	2,0	75	2,1	31s	1,9	39s	4,2	98	2,1	99	2,2	81+	2,2
-23:00	101	2,0	90	1,8	79	1,7	75	1,7	66	1,9	22	1,3	60+	6,4	81	1,7	82	1,8	70+	1,9
-24:00	89	1,8	81	1,6	76	1,6	71	1,6	64	1,8	19	1,2	62+	6,6	76	1,6	76	1,7	66+	1,8
Q <sub>Tag</sub>	256	5,1	262	5,2	240	5,1	226	5,1	174	4,9	78	4,7	42	4,5	242	5,1	232	5,1	183	5,0
Q <sub>Nacht</sub>	120	2,4	113	2,2	108	2,3	105	2,4	95	2,7	49	3,0	32	3,4	108	2,3	108	2,4	89	2,4
WT-Fak	1,07		1,07		0,99		0,94		0,75		0,35		0,20		1,00		0,96		0,77	
06 – 10	1.037	20,5	1.232	24,2	1.135	24,1	1.063	23,9	865	24,4	4,23	25,7	124	13,3	1.144	24,1	1.067	23,3	841	23,1
15 – 19	1.097	21,7	1.075	21,1	960	20,4	914	20,6	644	18,2	244	14,9	205	21,9	983	20,7	939	20,5	735	20,2
0 – 24	5.058	100,0	5.087	100,0	4.700	100,0	4.447	100,0	3.547	100,0	1.643	100,0	934	100,0	4.747	100,0	4.570	100,0	3.635	100,0

Tab. 6: Mittlere Tagesganglinie der Zählstelle 9023 Rosenheim (O)

Ausfälle der Datenübertragung und die fehlenden Daten konnten seitens der Hersteller nachgeliefert werden.

Auch im Vergleich zu der automatischen Dauerzählstelle konnten die Fahrzeugartenverteilungen miteinander verglichen werden. Größere Abweichungen deuteten hier ebenfalls auf Erfassungsprobleme bzw. Matchingprobleme hin (siehe Bild 63). Entsprechende Zeitbereiche wurden später im Rahmen der Auswertung herausgefiltert.

In zwei weiteren Diagrammen wurden die Geschwindigkeitsdaten des Fahrzeugidentifikationssystems und des Bridge-WIM-Systems ausgewertet und gegenübergestellt. Zum einen wurden hier die gemessenen Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten dargestellt, zum anderen die mittleren stündlichen Geschwindigkeiten. Diese Daten dienen nur zur grundsätzlichen Beschreibung des Tages und gingen nicht in die Bewertung ein.

In einer weiteren Auswertung wurden die Achslastverteilungen des Schwerverkehrs des betrachteten Bridge-WIM-Systems ermittelt und den Achslastverteilungen aus den Achslastmessstellen in Deutschland sowie den ebenfalls übermittelten Tagesdaten der Vorselektionswaage gegenübergestellt. Im Vergleich mit den anderen beiden Quellen konnte beurteilt werden, ob die ermittelten Daten des Bridge-WIM-Systems den Erwartungen entsprachen.

Die letzten drei Diagramme (rechte Spalte) stellten einen Vergleich der beiden Bridge-WIM-Systeme dar. Im ersten Diagramm wurden die Verteilung der häufigsten Fahrzeugarten (Klassifizierung nach Silhouette und Achskonfiguration) gegenübergestellt. Darunter erfolgte eine Auswertung der erfassten Achsanzahlen und zum Schluss eine Gegenüberstellung der Achslastverteilungen. Aufgrund der Nähe der beiden Bridge-WIM-Systeme sollte bei einer guten Kalibrierung und Erfassungsgenauigkeit eine nahezu identische Verteilung ermittelt worden sein.

Die Diagramme stellen eine deskriptive Statistik dar. Diese Statistik wird ergänzt um Kennwerte, die im oberen Bereich des Steckbriefs als Tabelle dargestellt wurden. Im linken Bereich wurden hier zusammenfassende Kennwerte als beschreibende Größe dargestellt. Hierbei handelt es sich beispielsweise um die vom Bridge-WIM-System erfassten Fahrzeuge, das insgesamt erfasste Gesamtgewicht, das Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge sowie die maximal erfasste Achsanzahl.

Im rechten Bereich der Kennwerte erfolgte eine dezidierte Auswertung, um auf dieser Basis nach einer ersten Initialisierungsphase die Ergebnisse der beiden Bridge-WIM-Systeme zu bewerten und anhand der Vergleiche Grenzwerte festzulegen, ab denen der Zustand als kritisch beurteilt wurde. Eine Ampel signalisierte das Ergebnis der Überprüfung bezüglich der Ausfallzeiten. Hierbei signalisierte „Grün“, dass die Ausfallzeiten unter denen von der BAST geforderten 12 Stunden lagen. Bei der Anzeige „Rot“ war die Ausfallzeit länger als 12 Stunden an diesem Tag. Eine Stunde wurde erst zur Ausfallzeit hinzugezählt, wenn keine Messung in dieser Stunde vorlag.

Folgende Parameter wurden für die Steckbriefe ausgewertet:

- **Ausgefallene Stunden**  
Tabelle 6 ist zu entnehmen, dass selbst an Sonntagen die mittlere stündliche Anzahl an Fahrzeugen des Schwerverkehrs mindestens 20 beträgt. Sollte diese Zahl um mehr als 50 % unterschritten werden, so wurde davon ausgegangen, dass eine Fehlfunktion vorliegt.
- **Zuordnung B-WIM/Hashcode**  
Es wurde davon ausgegangen, dass zu nahezu jedem erfassten Fahrzeug des Bridge-WIM-Systems ein Hashcode vorhanden sein würde. Sollte hier der Anteil deutlich abfallen, lag möglicherweise ein Zuordnungsfehler vor.
- **Fz mit unplausiblen Werten**  
Anhand vorgegebener Grenzwerte konnte überprüft werden, ob die vom Bridge-WIM-System ermittelten Werte der Geschwindigkeit, des Gesamtgewichtes und der Fahrzeuglänge richtig ermittelt wurden.
- **Unplausible Fahrzeugtypen**  
Diese lagen vor, wenn die Achsen nicht zum Fahrzeugtyp passten.
- **Mittl. Abweichung Fahrzeugarten**  
Hier wurde die mittlere Abweichung zwischen den Fahrzeugartenanteilen Bridge-WIM/DZ ermittelt. Ab einem Grenzwert konnte vermutet werden, dass eine Neukalibrierung notwendig war.
- **Abweichung Schwerverkehr**  
Für die Fahrzeuge des Schwerverkehrs wurde die mittlere stündliche Abweichung zwischen

den Werten des Bridge-WIM-Systems und historischen Werten der Dauerzählstelle bestimmt. Auch hier konnte ab einem Grenzwert von einer möglichen Systemverstellung ausgegangen werden.

- **Mittl. Abweichung Achslastverteilung**

Zum Vergleich wurden hier die Daten der Vorselektionswaage (BY68) herangezogen, da diese aufgrund der räumlichen Nähe und Tagesaktualität am besten geeignet zu sein schien. Gebildet wurde die mittlere Abweichung über die einzelnen 1-Tonnenschritte. Auch hier konnte ab einem Grenzwert von einer möglichen Systemverstellung ausgegangen werden.

Um zeitnah über den aktuellen Status zu informieren, wurden die automatisch generierten Steckbriefe per E-Mail versendet. Neben den Bearbeitern der DTV-Verkehrsconsult wurden auch die Projektleiter seitens der BAST als Empfänger im System hinterlegt.

Da es sich hierbei um systemspezifische Steckbriefe handelte, waren diese nicht für eine spätere Auswertung vorgesehen und sind somit auch nicht im Bericht enthalten, sondern dienen nur der Überwachung der automatischen Datenübermittlung und des Pilotbetriebs.

## 4.5 Datenaufbereitung

Neben der beschriebenen ersten Auswertung zur kontinuierlichen Überwachung des Betriebs wurden Schritte zur Datenaufbereitung durchgeführt, die nachfolgend beschrieben wurden.

### 4.5.1 Aggregation der Daten

Bei den übermittelten Daten handelte es sich um so genannte Einzelfahrzeugdaten. Für zahlreiche Vergleiche wurden diese Daten zunächst zu Stundenwerten aggregiert, wobei es hierbei zunächst um die Fahrzeugarten ging.

In einem weiteren Schritt erfolgte bereits mit Dateneingang eine Aggregation der gemessenen Achslasten zu typischen Achslastverteilungen je Zähltag.

### 4.5.2 Matching der Daten

Die unterschiedlichen Teildatenbanken wurden anhand des Hash-Codes miteinander verknüpft, so

dass zu einem Fahrzeug sämtliche Messwerte für eine vergleichende Auswertung und Beurteilung der Erfassungsgenauigkeit zur Verfügung standen. In diesem Schritt wurden Fahrzeuge ohne Gewichtsangaben ausgeblendet.

### 4.5.3 Berücksichtigung des Verkehrszustands

Die von den Bridge-WIM-Systemen ermittelten Geschwindigkeiten sollten dazu genutzt werden, geeignete Auswertintervalle zu definieren. Hierbei stand die Frage im Vordergrund, ob die Genauigkeit der Erfassung von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig ist und ggfs. bei Stausituationen die Genauigkeit der Systeme sinkt.

## 4.6 Übersicht der verfügbaren Daten

Die Systeme wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten in Betrieb genommen. Das System 1 an Bauwerk 93 wurde bereits am 15.11.2017 aktiv gestellt und lieferte seitdem regelmäßig, mit einigen Lücken, Daten. Das System 2 an Bauwerk 91 lieferte ab dem 01.03.2018 Daten. Ab diesem Datum konnten die beiden Systeme miteinander verglichen werden. Die Vorselektionswaage (BY68) wurde ebenfalls am 01.03.2018 zugeschaltet. Allerdings waren hier zu Beginn unvollständige Datenlieferungen eingegangen und aufgrund eines Zeitfehlers wurde das Matching der Daten Fahrzeugidentifikationssystem und Waage nicht genau synchronisiert, sodass die Daten erst ab dem 04.04.2018 genutzt werden konnten.

Die Daten der Fahrten und Gesamtgewichte der Spedition aus dem Zementwerk (siehe Kapitel 5.3) wurden seit Dezember 2017 regelmäßig einmal im Monat für den vergangenen Monat bereitgestellt. Hier lagen von insgesamt 1.444 Einzelfahrten Daten ab dem 01.12.2017 vor. Die Fahrten wurden in der Übersicht immer der exakten Stunde zugeordnet und somit in vielen einzelnen Strichen dargestellt. Die größeren Lücken sind durch die Wochenenden bzw. Ferienzeiten (Dezember 17 – Januar 18) zu erklären. Auch die Daten der Kontrollwiegungen auf dem Parkplatz „Im Moos“ wurden in die Datenbank übernommen. Hier wurden 221 Einzelwiegungen an insgesamt 13 Tagen vorgenommen.

Eine Übersicht über die Laufzeiten (Grün), Ausfallzeiten (Orange) und Zeiten in denen die Systeme

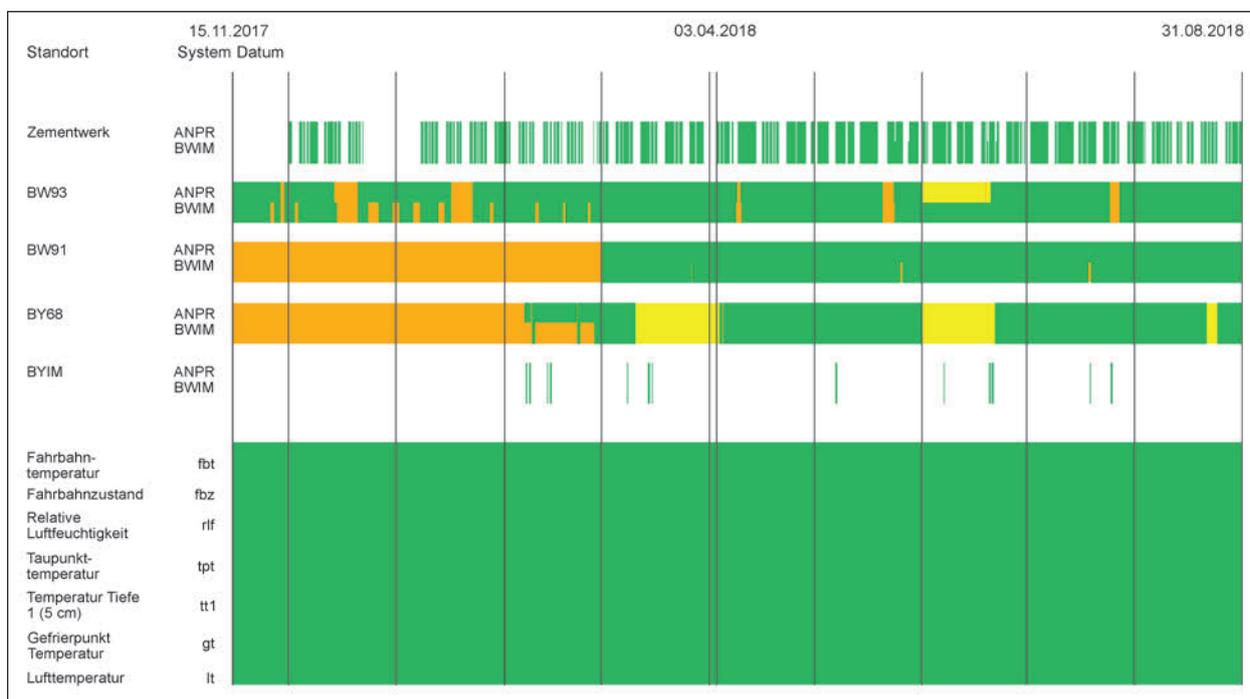


Bild 64: Datenverfügbarkeit der einzelnen Datenquellen über die Laufzeit 15.11.2017 – 31.08.2018

fehlerhaft liefen (Gelb) ist in Bild 64 zu sehen. Hier wurden auch die Zeiträume der Daten der Spedition und der Verwiegunen auf dem Parkplatz „Im Moos“ (BYIM) dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die Verfügbarkeiten der unterschiedlichen Wetterdaten.

quartile range, IQR) bezeichnet. Die grünen Graphen stellen den oberen- und unteren Whisker da. Diese enden bei dem Wert aus den Daten, der gerade noch innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands liegt, ragen jedoch nicht über/unter den größten/kleinsten Einzelwert hinaus.

#### 4.7 Plausibilitätsprüfung vor Auswertung

Durch die Ausfallzeiten und Zeiten mit fehlerhaften Daten wurde für die Auswertung der Zeitbereich ab dem 03.04.2018 bis Ende August 2018 gewählt und der Zeitbereich vom 01.06.2018 bis zum 21.06.2018 sowie vom 22.08.2019 bis zum 24.08.2019 ausgeblendet. In den ausgeblendeten Zeiten waren an der Vorselektionswaage keine korrekt ghashten Daten vorhanden. Das wurde auch an der Darstellung der Laufzeitstabilität deutlich (siehe Bild 65 und Bild 66). Hier wiesen die Vergleiche von beiden Systemen extreme Abweichungen der Gesamtgewichte zur Vorselektionswaage auf, welche auf falsche Zuordnungen an der Vorselektionswaage zurückzuführen waren. In dieser Darstellung wird der Median als roter Graph angezeigt. Das obere (75 %) und das untere (25 %) Quartil (blaue Graphen) zeigen den Bereich an, in dem 50 % aller Werte liegen. Dieser Bereich wird als Interquartilsabstand (inter-

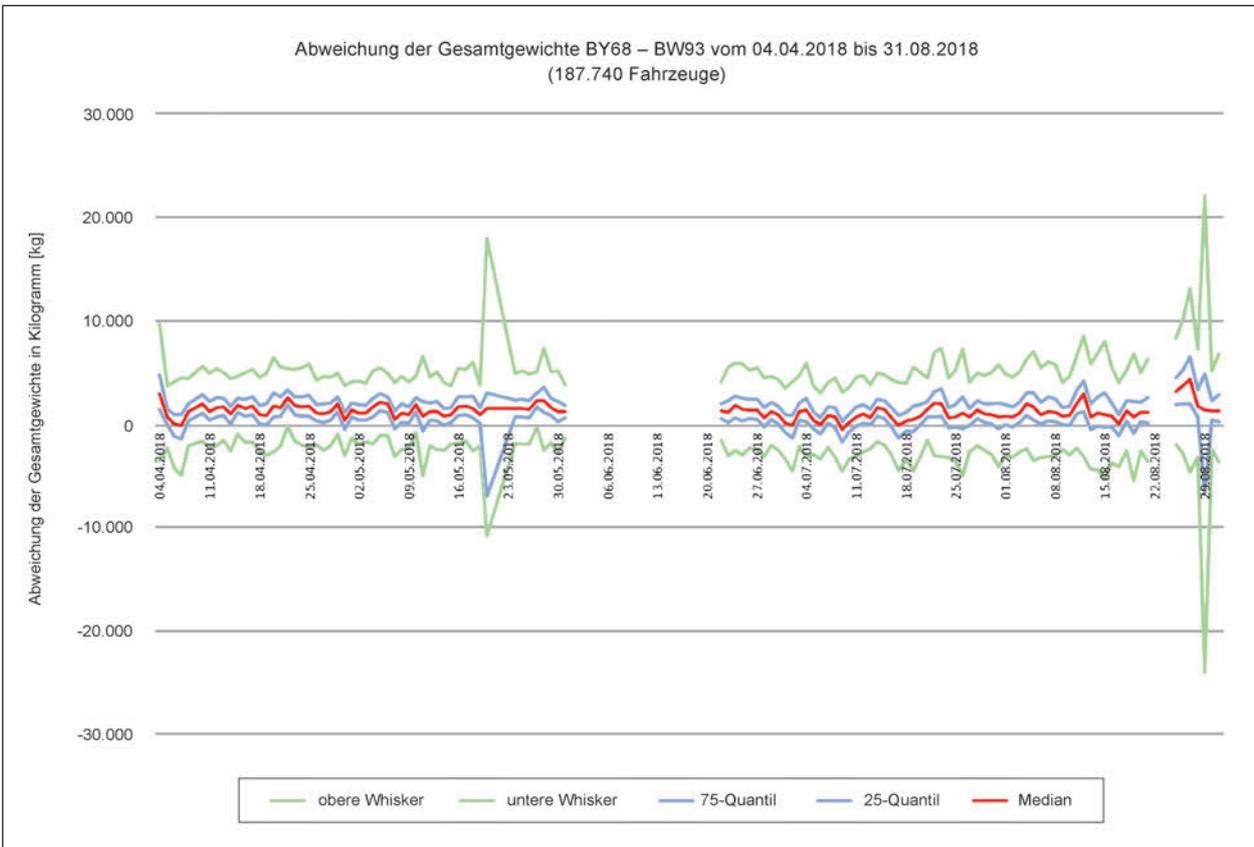


Bild 65: Abweichung der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage (BY 68) und System 1 (BW 93) über die Laufzeit

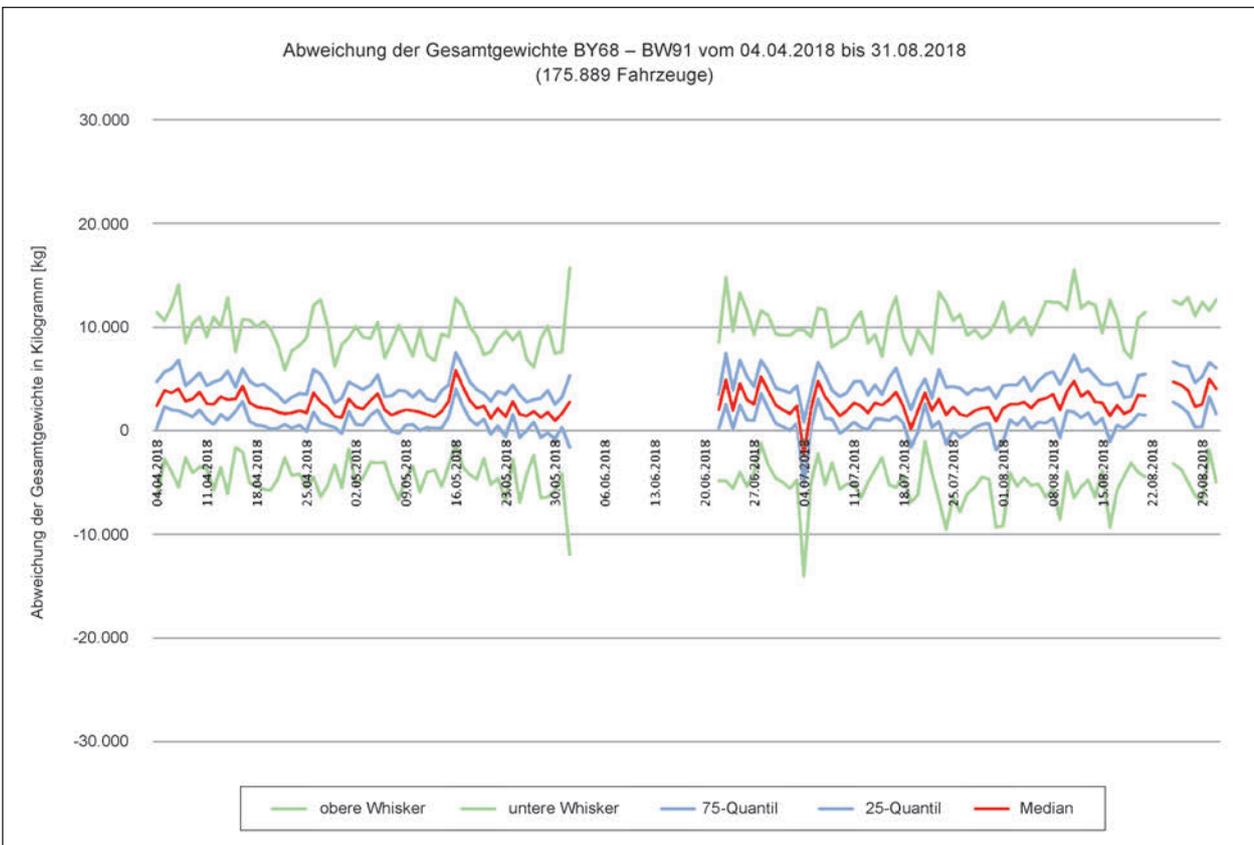


Bild 66: Abweichung der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage (BY 68) und System 2 (BW 91) über die Laufzeit

## 5 Durchführung der Versuche

Neben der Überwachung der automatischen Datenerhebung während des Pilotversuchs wurden in dieser Zeit auch weitere Versuche durchgeführt, um die Genauigkeit der Systeme bewerten zu können:

- Versuche mit Test-Lkw entsprechend gemäß den Anforderungen nach BASt (2007),
- Versuche mit von Polizei und BAG nachverwogenen Lkw.

Hierbei bildeten die Versuche mit den Test-Lkw und auch die Versuche mit den ausgeleiteten und verwogenen Lkw eine Stichprobe der insgesamt von den Bridge-WIM-Systemen erfassten Fahrzeugarten. Während die Versuchsdurchführung mit ausgeleiteten und nachverwogenen Lkw immer als Stichprobenziehung über die gesamte zeitliche Dauer des Pilotbetriebs erfolgte, stellte die Versuchsdurchführung mit Test-Lkw die kleinste Stichprobengröße dar und wurde als konzentrierte Aktion in einem eng begrenzten Zeitfenster durchgeführt.

Um die Anzahl der Fahrzeuge mit verwogenem Gewicht zu erhöhen, wurde nach einer weiteren Datenquelle gesucht. Eine Analyse der Umgebung Bad Aibling/Rosenheim hat hier gezeigt, dass in der näheren Umgebung zahlreiche Steinbrüche und größere Zementwerke vorhanden waren. Eine Spedition konnte zur Mitarbeit gewonnen werden. Da die Fahrzeuge in der Regel beim Verlassen des Werkes verwogen wurden (Gesamtgewicht), konnten diese Kennwerte mit den gemessenen Werten verglichen werden.

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Versuchsdurchführungen beschrieben.

### 5.1 Versuche mit ausgeleiteten und verwogenen Lkw

Auf der Fahrtstrecke der A8 Richtung München befindet sich auf dem Parkplatz „Im Moos“ nach der AS Bad-Aibling eine fest installierte Verwiegestation (vgl. Bild 67), welche von der Polizei und dem BAG für Kontrollen der zulässigen Gesamt- und Achsgewichte genutzt wird. Hier ist in Absprache mit der Polizei und dem BAG in die Waage ein Zusatzprogramm installiert worden, welches bei Eingabe der Kennzeichen diese direkt in die passenden Hash-Codes umwandelt. So konnten die Messwerte der bei Kontrollen verwogenen Lkw mit den zugehöri-



Bild 67: Verwiegestation auf dem Parkplatz „Im Moos“



Bild 68: Eichstempel auf der Waage am Parkplatz „Im Moos“

gen Messwerten der Bridge-WIM-Systeme verglichen werden. Durch die geeichte Waage (vgl. Bild 68) an dem Kontrollplatz dienten die Angaben der Gesamt- und Achsgewichte aus den Kontrollen als genaueste Angaben zu den Gewichten, die in diesem Versuchsfeld zu erhalten waren. Insgesamt wurden auf dem Parkplatz „Im Moos“ 221 Fahrzeuge in das System eingegeben.

### 5.2 Versuche mit Test-Lkw

Um die Genauigkeit der Systeme nach einem standardisiertem Verfahren zu prüfen, wurde die Überprüfung nach dem „Verfahren zur Überprüfung der Kalibrierung und Abnahme von Achslasterfassungsgeräten“ (BASt, 2007) vorgesehen. Das verwendete Verfahren ist für die Prüfung der Kalibrierung und für die Abnahme von Systemen ausgelegt und soll hier lediglich einen Hinweis auf die zu erzielende Genauigkeit der Systeme geben. Die Systeme sollten hiermit nicht kalibriert oder gar abgenommen werden. Um eine Bewertung der Genauigkeit nach diesem Verfahren durchführen zu können, sind ent-

sprechende Testfahrten mit 2 Fahrzeugtypen notwendig, die dann den Einzelfahrzeugdaten der Bridge-WIM-Systeme gegenübergestellt wurden:

- Lkw mit 2 Einzelachsen (E) in der Achsanordnung E, E,
- Sattel-Kfz mit 2 Einzelachsen (E) und einer Dreifachachse (Dr) in der Achsanordnung E,E + Dr.

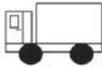
Darüber hinaus wurden die Testfahrten mit unterschiedlichen Beladungszuständen vorgenommen. In den unterschiedlichen Kombinationen waren somit 60 Testfahrten mit den beiden Fahrzeugen und unterschiedlichen Beladungszuständen notwendig.

Im Rahmen der Prüfung der Messgenauigkeit waren vor und nach den Überfahrten die Fahrzeuge statisch zu verwiegen. Da am Pilotbetrieb sowohl die Polizei als auch das BAG beteiligt waren, konnte die Verwiegung mit Unterstützung der beteiligten Institutionen auf dem Kontrollplatz „Im Moos“ durchgeführt werden (vgl. Bild 69).

Hierbei wurden die Fahrzeuge morgens vor der ersten Testfahrt und abends nach der letzten Testfahrt verwogen. Nachdem die Fahrzeuge morgens verwogen worden sind, wurden für eine Durchfahrt (AS Rosenheim-West – AS Rohrdorf und zurück) von rund 17 km etwa 15 Minuten benötigt, sodass pro Tag und Fahrzeugtyp mindestens die 15 Fahrten je



Bild 69: Verwiegung des 2-achsigen Lkw auf dem Parkplatz „Im Moos“

Fahrzeug	Tag	Datum	Beginn	Ende	Fahrt	Verwiegung	BAG	Strecke	km	zul. GG [t]	v [km/h]
	Montag	10.07.2018	07:30	08:00				Hinfahrt	20	-	-
	Montag	10.07.2018	08:00	08:30		x			-	-	-
	Montag	10.07.2018	08:30	09:00	1			Im Moos-AS Irschenberg-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	38	18	80
	Montag	10.07.2018	09:00	09:15	2			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	09:15	09:30	3			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	09:30	09:45	4			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	09:45	10:00	5			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	10:00	10:15	6			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	10:15	10:30	7			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	10:30	11:00	8			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	11:00	11:15	9			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	11:15	11:30	10			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	80
	Montag	10.07.2018	11:30	11:45	11			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	64
	Montag	10.07.2018	11:45	12:00	12			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	64
	Montag	10.07.2018	12:00	12:30				Mittagspause, Fahrtunterbrechung	-	-	-
	Montag	10.07.2018	12:30	12:45	13			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	64
	Montag	10.07.2018	12:45	13:00	14			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	18	64
	Montag	10.07.2018	13:00	13:30	15			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-Im Moos	21	18	64
	Montag	10.07.2018	13:30	14:00		x			-	-	-
	Montag	10.07.2018	14:00	14:45				Rückfahrt	33	-	-
Montag	10.07.2018	14:45	15:30				Umladung von 18 t auf 9 t	-	-	-	
			08:00						333		

Fahrzeug	Tag	Datum	Beginn	Ende	Fahrt	Verwiegung	BAG	Strecke	km	zul. GG [t]	v [km/h]
	Dienstag	11.07.2018	07:30	08:00				Hinfahrt	20	-	-
	Dienstag	11.07.2018	08:00	08:30		x			-	-	-
	Dienstag	11.07.2018	08:30	09:00	1			Im Moos-AS Irschenberg-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	38	9	80
	Dienstag	11.07.2018	09:00	09:15	2			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	09:15	09:30	3			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	09:30	09:45	4			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	09:45	10:00	5			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	10:00	10:15	6			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	10:15	10:30	7			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	10:30	11:00	8			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	11:00	11:15	9			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	11:15	11:30	10			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	80
	Dienstag	11.07.2018	11:30	11:45	11			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	64
	Dienstag	11.07.2018	11:45	12:00	12			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	64
	Dienstag	11.07.2018	12:00	12:30				Mittagspause, Fahrtunterbrechung	-	-	-
	Dienstag	11.07.2018	12:30	12:45	13			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	64
	Dienstag	11.07.2018	12:45	13:00	14			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	9	64
	Dienstag	11.07.2018	13:00	13:30	15			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-Im Moos	21	9	64
	Dienstag	11.07.2018	13:30	14:00		x			-	-	-
	Dienstag	11.07.2018	14:00	14:45				Rückfahrt	33	-	-
Dienstag	11.07.2018	14:45	15:30				Abladen	-	-	-	
			08:00						333		

Bild 70: Geplanter Ablauf der Testfahrten mit angemietetem 2-achsigen Lkw

Beladungszustand durchgeführt werden konnten. Hierbei wurden die Lenk- und Ruhezeiten beachtet. Die Testfahrten wurden mit beiden Fahrzeugen parallel durchgeführt, sodass sich eine minimale Erhebungsdauer von 2 Tagen ergab. Der geplante Versuchsablauf ist in Bild 70 und Bild 71 dargestellt. Da bis zur Verwiegung am Nachmittag noch Zeit für weitere Fahrten innerhalb der Lenkzeiten geblieben ist, wurden die Testfahrten fortgeführt, sodass am Ende mehr als die geforderten 15 Testfahrten durchgeführt werden konnten.

Die Testfahrten wurden mit Unterstützung einer Spedition durchgeführt. Am Standort Kiefersfelden befand sich eine gemäß BImSch genehmigte Schrott- und Altmittel-, Sortier-, Lager- und Umschlagsanlage, sodass ausreichend Material vorhanden war, um die unterschiedlichen Beladungszustände zu realisieren.

Zu Beginn der Versuchsdurchführung erfolgte eine detaillierte Unterweisung der Fahrer hinsichtlich

Aufgabenstellung, Zielrichtung der Versuche und zum Fahrverhalten (gleichbleibende Geschwindigkeit). Die Unterweisung wurde vorher bereits schriftlich über die Spedition den Fahrern zur Verfügung gestellt und kurz vor der Erhebung auf dem Parkplatz „Im Moos“ nach der Verwiegung nochmals mit den Fahrern durchgegangen.

Die Fahrer erhielten bei der Verwiegung am Morgen ebenfalls einen Messaufschrieb, auf dem die Uhrzeiten der Wenden nach den jeweiligen Einzelfahrten an der AS Rosenheim-West festgehalten werden sollten. Zudem sollte die gefahrene Geschwindigkeit hier notiert werden. Da die Wende an der AS Rosenheim-West an einer nicht unter Verkehr stehenden kreisförmig ausgebauten Straße durchgeführt wurde, konnten die Fahrer hier auch gut anhalten und den Messaufschrieb ausfüllen.

Weiterhin wurden die Lkw vor der ersten Fahrt am Parkplatz „Im Moos“ ausgemessen, um die Abstände der Achsen und die Überstände vorne und hin-

Fahrzeug	Tag	Datum	Beginn	Ende	Fahrt	Verwiegung	BAG	Strecke	km	zul. GG [t]	v [km/h]
	Mittwoch	10.07.2018	07:30	08:00				Hinfahrt	20	-	-
	Mittwoch	10.07.2018	08:00	08:30		x			-	-	-
	Mittwoch	10.07.2018	08:30	09:00	1			Im Moos-AS Irschenberg-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	38	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	09:00	09:15	2			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	09:15	09:30	3			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	09:30	09:45	4			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	09:45	10:00	5			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	10:00	10:15	6			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	10:15	10:30	7			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	10:30	11:00	8			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	11:00	11:15	9			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	11:15	11:30	10			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	80
	Mittwoch	10.07.2018	11:30	11:45	11			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	64
	Mittwoch	10.07.2018	11:45	12:00	12			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	64
	Mittwoch	10.07.2018	12:00	12:30				Mittagspause, Fahrtunterbrechung	-	-	-
	Mittwoch	10.07.2018	12:30	12:45	13			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	64
	Mittwoch	10.07.2018	12:45	13:00	14			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	40	64
	Mittwoch	10.07.2018	13:00	13:30	15			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-Im Moos	21	40	64
	Mittwoch	10.07.2018	13:30	14:00		x			-	-	-
	Mittwoch	10.07.2018	14:00	14:45				Rückfahrt	33	-	-
Mittwoch	10.07.2018	14:45	15:30				Umladung von 40 t auf 20 t	-	-	-	
			<b>08:00</b>					<b>333</b>			
	Donnerstag	11.07.2018	07:30	08:00				Hinfahrt	20	-	-
	Donnerstag	11.07.2018	08:00	08:30		x			-	-	-
	Donnerstag	11.07.2018	08:30	09:00	1			Im Moos-AS Irschenberg-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	38	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	09:00	09:15	2			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	09:15	09:30	3			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	09:30	09:45	4			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	09:45	10:00	5			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	10:00	10:15	6			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	10:15	10:30	7			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	10:30	11:00	8			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	11:00	11:15	9			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	11:15	11:30	10			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	80
	Donnerstag	11.07.2018	11:30	11:45	11			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	64
	Donnerstag	11.07.2018	11:45	12:00	12			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	64
	Donnerstag	11.07.2018	12:00	12:30				Mittagspause, Fahrtunterbrechung	-	-	-
	Donnerstag	11.07.2018	12:30	12:45	13			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	64
	Donnerstag	11.07.2018	12:45	13:00	14			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-AS Rosenheim West	17	20	64
	Donnerstag	11.07.2018	13:00	13:30	15			AS Rosenheim West-AS Rohrdorf-Im Moos	21	20	64
	Donnerstag	11.07.2018	13:30	14:00		x			-	-	-
	Donnerstag	11.07.2018	14:00	14:45				Rückfahrt	33	-	-
Donnerstag	11.07.2018	14:45	15:30				Abladen	-	-	-	
			<b>08:00</b>					<b>333</b>			

Bild 71: Geplanter Ablauf der Testfahrten mit angemietetem Sattel-Kfz

Messprotokolle Versuchsfahrten Sat			
Fabrikat	MAN		
Amtl. Kennzeichen			
Hashcode			
Kfz-Typ	Sat		
Anahl Achsen	5		
Fahrzeuglänge	1620 cm		
Überhang vorne	145 cm		
1. Achsabstand	355 cm		
2. Achsabstand	590 cm		
3. Achsabstand	130 cm		
4. Achsabstand	130 cm		
Überhang hinten	270 cm		
Datum	10.07.2018	Datum	11.07.2018
Wetter um 08:00	bewölkt	Wetter um 08:00	leichter Regen
Temperatur um 08:00	20°C	Temperatur um 08:00	16°C
<b>Morgenmessung</b>		<b>Morgenmessung</b>	
Gesamtgewicht	39500 kg	Gesamtgewicht	19780 kg
1. Achstyp	1	1. Achstyp	1
1. Achlast	7060 kg	1. Achlast	6460 kg
2. Achstyp	1	2. Achstyp	1
2. Achlast	11200 kg	2. Achlast	8140 kg
3. Achstyp	3	3. Achstyp	3
3. Achlast	7040 kg	3. Achlast	1680 kg
4. Achstyp	3	4. Achstyp	3
4. Achlast	7040 kg	4. Achlast	1740 kg
5. Achstyp	3	5. Achstyp	3
5. Achlast	7160 kg	5. Achlast	1760 kg
<b>Abendmessung</b>		<b>Abendmessung</b>	
Gesamtgewicht	39020 kg	Gesamtgewicht	19720 kg
1. Achstyp	1	1. Achstyp	1
1. Achlast	6800 kg	1. Achlast	6420 kg
2. Achstyp	1	2. Achstyp	1
2. Achlast	11100 kg	2. Achlast	8080 kg
3. Achstyp	3	3. Achstyp	3
3. Achlast	7000 kg	3. Achlast	1700 kg
4. Achstyp	3	4. Achstyp	3
4. Achlast	6980 kg	4. Achlast	1740 kg
5. Achstyp	3	5. Achstyp	3
5. Achlast	7140 kg	5. Achlast	1780 kg
Besonderheiten		Besonderheiten	
keine		keine	

Bild 72: Messprotokoll Versuchsfahrten Sattel-Kfz

ten festzustellen. Die Ergebnisse dieser Messung wurden mit den gemessenen Gewichten bei der Verwiegung in Bild 72 und Bild 73 dargestellt. Weiterhin wurden Wetter und Temperatur zum Zeitpunkt der Verwiegung festgehalten.

Eine Besonderheit zeigte das Messprotokoll des 2-Achser am 10.07.2018. Hier war zu sehen, dass der Lkw während der Messfahrten zwischenbetankt worden war. Der Zeitpunkt und die getankte Menge wurden hier festgehalten und in den Auswertungen berücksichtigt.

Noch während der Messfahrten wurden die Kennzeichen der beiden Test-Lkw gehasht, um im Nachhinein die Lkw in den Messschrieben der beiden Testwaagen wiederzufinden.

Insgesamt fuhren die Test-Lkw 97-mal an den beiden Bridge-WIM-Systemen vorbei. Der 2-Achser fuhr am 10.07.2018 22-mal über die Systeme, die anderen Messreihen erreichten über 24 Fahrten. Die angestrebten 15 Überfahrten wurden somit bei beiden Systemen mit beiden Lkw übertroffen. Die bei der Überfahrt eingehaltene Geschwindigkeit

Messprotokolle Versuchsfahrten 2-Achser			
Fabrikat	MAN		
Amtl. Kennzeichen			
Hashcode			
Kfz-Typ	2-Achser		
Anahl Achsen	2		
Fahrzeuglänge	830 cm		
Überhang vorne	130 cm		
1. Achsabstand	470 cm		
Überhang hinten	230 cm		
Datum	10.07.2018	Datum	11.07.2018
Wetter um 08:00	bewölkt	Wetter um 08:00	leichter Regen
Temperatur um 08:00	20°C	Temperatur um 08:00	16°C
Morgenmessung		Morgenmessung	
Gesamtgewicht	17760 kg	Gesamtgewicht	9540 kg
1. Achstyp	1	1. Achstyp	1
1. Achslast	6600 kg	1. Achslast	5120 kg
2. Achstyp	1	2. Achstyp	1
2. Achslast	11160 kg	2. Achslast	4420 kg
Abendmessung		Abendmessung	
Gesamtgewicht	17820 kg	Gesamtgewicht	9440 kg
1. Achstyp	1	1. Achstyp	1
1. Achslast	6560 kg	1. Achslast	5060 kg
2. Achstyp	1	2. Achstyp	1
2. Achslast	11260 kg	2. Achslast	4380 kg
Besonderheiten		Besonderheiten	keine
Wagen war während Messfahrten Tanken			
getankte Menge	160 Liter		
entspricht	132,8 kg		
Zeitpunkt Betankung	14:10 - 15:00		

Bild 73: Messprotokoll der Versuchsfahrten 2-Achser

wurde laut Fahrer auch mindestens fünfmal mit 64 km/h und mindestens zehnmals mit 80 km/h angegeben. Somit wurde hier die Bedingung nach BASt (2007) eingehalten.

### 5.3 Verwogene Lkw aus Zementwerk

In der Umgebung Bad Aibling/Rosenheim hat sich zur Erhöhung der Stichprobe ein Zementwerk angeboten, regelmäßig die Wiegeergebnisse einiger Lkw zu übermitteln.

Vom Zementwerk aus fanden unter anderem jede Nacht mit ein bis zwei Lkw rund 3 Auslieferungsfahrten nach München statt, die allesamt das Versuchsfeld durchfahren. Pro Monat sind dies somit rund 100 Fahrten, die jeweils beim Verlassen des Firmengeländes verwogen worden sind. Seitens des Zementwerks wurde mitgeteilt, dass eine generelle Bereitschaft zur Unterstützung des Forschungsprojektes vorhanden ist. Es wurde hier ver-

Lieferzeitpunkt	Hashcode des Kennzeichens	Brutto
02.07.2018 09:25		40,08
02.07.2018 10:33		40,04
02.07.2018 14:55		40,52
02.07.2018 06:29		39,44
02.07.2018 14:43		40,44
02.07.2018 09:57		39,94
03.07.2018 10:35		39,12

Bild 74: Musterdatensatz Zementwerk

einbart, dass jeweils nach Monatsende ein Datenauszug bereitgestellt wird, in dem diese Fahrten (Gesamtgewicht und Uhrzeit) zusammengefasst waren. Über das ghashte Kennzeichen konnten die Fahrzeuge in der Datenbank zugeordnet werden.

Ein Musterdatensatz der Lieferung vom Zementwerk kann in Bild 74 eingesehen werden.

Sämtliche übermittelten Fahrzeugdaten wurden in einer Datenbank zusammengefasst. Eine Zuordnung der Fahrzeuge erfolgte über das verschlüsselte Kennzeichen.

## 6 Auswertung

Um die Genauigkeit der Bridge-WIM-Systeme zu bewerten, wurden die erhobenen Daten aus vier Untersuchungen ausgewertet: Versuche mit Test-Lkw, Versuche mit ausgeleiteten und nachverwogenen Lkw, im Zementwerk vorverwogene Lkw und der Vergleich der automatisch erhobenen Daten der Bridge-WIM-Systeme mit den Daten der Vorselektionswaage. Darüber hinaus konnten abschließend die Bridge-WIM-Systeme direkt gegenübergestellt werden.

### 6.1 Genauigkeitsbewertung mittels Test-Lkw

Die Einzelfahrzeugdaten der Test-Lkw wurden den seitens der Bridge-WIM-Systeme erfassten Fahrzeugen gegenübergestellt und es wurde eine Bewertung gemäß BAST (2007) vorgenommen. Das verwendete Verfahren ist für die Prüfung der Kalibrierung und für die Abnahme von dauerhaft installierten Systemen ausgelegt und soll hier einen Hinweis auf die zu erzielende Genauigkeit der Systeme geben.

#### 6.1.1 Methodisches Vorgehen

Zur Überprüfung der Genauigkeit der Bridge-WIM-Systeme wurden die Messungen zu den beiden Test-Lkw an den Bridge-WIM-Systemen mit den tatsächlichen Messwerten der Test-Lkw verglichen. Hierzu waren die Test-Lkw auf dem Parkplatz „Im Moos“ detailliert verwogen worden. Der erste Lkw hatte die Typenklassifizierung 8 nach TLS (zweiachsiger Lkw, Achsanordnung E, E). Dieser Lkw wird im Folgenden auch als 2-Achser bezeichnet. Der zweite Lkw hatte nach TLS 2012 die Typenklassifizierung 98 (fünfschsiges Sattel-Kfz, Achsanordnung E, E + Dr). Dieser Lkw wird im Folgenden Sattel-Kfz genannt. Der 2-Achser hatte ein zulässiges Gesamtgewicht von 18 t, welches bei den ersten Testfahrten auch ausgenutzt wurde. Beim zweiten Durchgang wurde das Gesamtgewicht auf die Hälfte (9 t) reduziert. Der Sattel-Kfz hatte im ersten Durchgang ein ausgenutztes zulässiges Gesamtgewicht von 40 t und im zweiten Durchgang ebenfalls ein halbiertes Gesamtgewicht (20 t). Die Beladung der Lkw bestand, wie im Verfahren gefordert, nicht aus flüssigen Materialien.

Die Überfahrten über die beiden Erfassungssysteme erfolgten mit nicht zu verändernder Geschwin-

Messprotokolle Versuchsfahrten 2-Achser					
Fabrikat			MAN		
Amtl. Kennzeichen					
Hashcode					
Kfz-Typ			2-Achser		
Anzahl Achsen			2		
Volllast		10.07.2018	Halblast		11.07.2018
Fahrt	Geschw.	Zeit	Fahrt	Geschw.	Zeit
1	80	08:50	1	80	08:30
2	80	09:06	2	80	08:44
3	64	09:22	3	80	08:59
4	64	09:37	4	80	09:14
5	80	09:53	5	80	09:28
6	80	10:09	6	80	09:43
7	64	10:25	7	64	09:58
8	80	10:40	8	80	10:12
9	64	10:55	9	64	10:26
10	80	11:11	10	80	10:41
11	64	11:27	11	64	10:55
12	80	11:41	12	64	11:10
13	80	11:57	13	80	11:25
14	80	12:17	14	64	11:41
15	80	13:37	15	64	11:55
16	80	13:53	16	80	12:09
17	80	14:08	17	80	13:20
18	80	15:07	18	80	13:34
19	64	15:23	19	80	13:48
20	80	15:39	20	80	14:02
21	80	15:56	21	80	14:16
22	80	16:17	22	80	14:31
			23	80	14:45
			24	80	14:59
			25	80	15:13
			26	80	15:27
			27	80	15:41

Tab. 7: Messprotokoll mit Zeiten (Wendepunkt) und Geschwindigkeiten der Überfahrten 2-Achser

digkeit. Die gefahrene Geschwindigkeit und der jeweilige Zeitpunkt der Wende sind für den 2-Achser Tabelle 7 zu entnehmen. Die Daten zum Sattel-Kfz sind in Tabelle 8 dargestellt.

Die Testfahrten wurden am 10. und 11. Juli 2018 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren beide Systeme bereits mehrere Monate in Betrieb. Die

Messprotokolle Versuchsfahrten Sat					
Fabrikat			MAN		
Amtl. Kennzeichen					
Hashcode					
Kfz-Typ			Sat		
Anzahl Achsen			5		
Volllast 10.07.2018			Halblast 11.07.2018		
Fahrt	Geschw.	Zeit	Fahrt	Geschw.	Zeit
1	80	08:50	1	80	08:33
2	80	09:10	2	80	08:47
3	80	09:27	3	80	08:59
4	64	09:42	4	80	09:17
5	64	09:59	5	80	09:31
6	64	10:16	6	80	09:47
7	80	10:31	7	80	10:00
8	64	10:48	8	80	10:16
9	80	11:02	9	80	10:30
10	80	11:17	10	80	10:44
11	80	11:33	11	64	10:56
12	80	11:48	12	64	11:10
13	80	12:03	13	80	11:25
14	80	12:19	14	64	11:44
15	80	13:34	15	64	11:55
16	64	13:50	16	80	13:24
17	80	14:07	17	80	13:40
18	80	14:22	18	64	13:56
19	64	14:38	19	80	14:11
20	80	14:54	20	80	14:23
21	80	15:10	21	80	14:42
22	64	15:27	22	80	14:57
23	80	15:43	23	80	15:12
24	80	16:00	24	80	15:27
25	80	16:15	25	64	15:39

Tab. 8: Messprotokoll mit Zeiten (Wendepunkt) und Geschwindigkeiten der Überfahrten Sattel-Kfz

Kalibrierung der Systeme wurde nach der Installation (System 1 im August 2017 und System 2 im Oktober 2017) durchgeführt. In den automatisch erhobenen Daten der Bridge-WIM-Systeme wurden von den insgesamt 49 Testfahrten des 2-Achser am Standort BW 91 folgende Fahrten (nach Messprotokoll) nicht erfasst:

- 10.07.2018
  - 09:22 Uhr →  $v = 64$  km/h,

- 10:25 Uhr →  $v = 64$  km/h,
- 10:55 Uhr →  $v = 64$  km/h,
- 11:11 Uhr →  $v = 80$  km/h,
- 11:41 Uhr →  $v = 80$  km/h,
- 15:39 Uhr →  $v = 80$  km/h,
- 16:17 Uhr →  $v = 80$  km/h.

- 11.07.2018
  - 08:59 Uhr →  $v = 80$  km/h  
(nur Fahrzeugidentifikationssystem),
  - 10:41 Uhr →  $v = 80$  km/h  
(nur Fahrzeugidentifikationssystem),
  - 10:55 Uhr →  $v = 64$  km/h  
(nur Fahrzeugidentifikationssystem),
  - 11:10 Uhr →  $v = 64$  km/h,
  - 11:25 Uhr →  $v = 80$  km/h,
  - 14:02 Uhr →  $v = 80$  km/h,
  - 14:16 Uhr →  $v = 80$  km/h,
  - 14:59 Uhr →  $v = 80$  km/h.

Auch nach einer Überprüfung des Matchings im Originaldatensatz konnten die Fahrten ohne Bridge-WIM-Erfassung nicht zugeordnet werden. Vom Sattel-Kfz konnten am BW 91 alle 50 Testfahrten wiedergefunden werden. Am BW 93 wurden von den Testfahrten beider Lkw am 10.07.2018 alle Fahrten wiedergefunden und zugeordnet.

Im Datensatz vom 11.07.2018 wurde der 2-Achser 19-mal zwar identifiziert aber ohne Bridge-WIM-Erfassung abgespeichert. Nach einer Überprüfung des Matchings der Datensätze konnten bis auf zwei Datensätze (09:28 Uhr → 80 km/h und 10:26 Uhr → 64 km/h) die zugehörigen Bridge-WIM-Erfassungen zugeordnet werden.

Der Sattel-Kfz wurde am 11.07.2018 insgesamt 17-mal am BW 93 keiner Bridge-WIM-Erfassung in der Datenbank automatisch zugeordnet. Nach händischer Überprüfung der Zuordnung blieben hier noch zwei Datensätze (14:11 Uhr → 80 km/h und 15:39 Uhr → 64 km/h) nicht zugeordnet.

Nachdem die fehlenden Datensätze identifiziert waren, wurden die Berechnungen nach BASt (2007) durchgeführt. Hierbei konnten zwar immer mindestens 15 Fahrten ausgewertet werden, jedoch beinhalteten diese nicht immer auch mindestens fünf Fahrten mit 64 km/h.

Testgröße	Zul. Abweichung B(10)
Achslast	+/- 15 %
Achsgruppenlast	+/- 13 %
Gesamtgewicht	+/- 10 %
Achsen einer Achsgruppe	+/- 20 %

Tab. 9: Genauigkeitsanforderungen an Achslasterfassungsgeräte nach „Verfahren zur Überprüfung der Kalibrierung und Abnahme von Achslasterfassungsgeräten“

Nach TLS (2012) müssen Achslasterfassungsgeräte mindestens die Anforderungen der Genauigkeitsklasse B(10) erfüllen. Die Geräte sollten aber bei guten Straßenbedingungen möglichst die Anforderungen der Klasse B+(7) erreichen. Zur Einschätzung der Genauigkeit wurde zunächst die Klasse B(10) gewählt. Berechnet wurden die geforderten Wertepaare für die Achslasten, die Achslastgruppen und die Gesamtgewichte nach BAST (2007) Anhang 1. Dabei wurden für die zulässigen Abweichungen  $\delta$  die Werte aus Tabelle 9 genutzt.

Die Berechnung wurde nach BAST (2007) in einem 2-stufigen System durchgeführt. Zuerst wurde der 2-Achser mit Volllast überprüft, anschließend der 2-Achser unter Halblast sowie die Messungen mit dem Sattel-Kfz. In der folgenden Auswertung werden die Ergebnisse immer zusammen dargestellt.

Die maßgebenden Wertepaare für die Überprüfung setzen sich aus dem Betrag des Mittelwerts ( $m$ ) und der Standardabweichung ( $s$ ) der relativen Differenz zwischen dynamisch und statisch ermittelten Werten für Achslasten (AL), für Achslastgruppen (AG) bzw. für Gesamtgewichte (GG) und der jeweils geforderten Genauigkeit ( $\delta$ ) wie folgt zusammen:

- $(|m_{AL}|/s_{AL} ; \delta_{AL}/s_{AL})$  für Achslasten,
- $(|m_{AG}|/s_{AG} ; \delta_{AG}/s_{AG})$  für Achsgruppenlasten,
- $(|m_{GG}|/s_{GG} ; \delta_{GG}/s_{GG})$  für Gesamtgewichte.

Die Überprüfung der Achslasterfassung wurde über o. g. Kennwertpaare durchgeführt, wobei hierzu die Kennwertpaare in entsprechende Diagramme eingetragen werden. Die in BAST (2007) enthaltenen Diagramme gelten allerdings für genau 15 Testfahrten. Um sämtliche Fahrten berücksichtigen zu können, wurden die Diagramme jeweils entsprechend für die aktuelle Fahrtenanzahl angepasst. Darüber hinaus wurden in einem zweiten Schritt die durchgeführten Testfahrten auf die jeweils gemäß BAST (2007) notwendige Anzahl von 15 Testfahrten reduziert. Insgesamt wurden somit 4 unterschiedliche Szenarien betrachtet:

- Szenario 0: Betrachtung aller durchgeführten Fahrten mit Anpassung der Diagramme nach BAST (2007).
- Szenario 1: Wahl der ersten 15 Testfahrten.
- Szenario 2: Wahl der letzten 15 Testfahrten.
- Szenario 3: Wahl der 15 Testfahrten, bei denen die gemessenen Gewichte am besten zu den tatsächlichen Gewichten der Testfahrzeuge passen.

Die auf diese Weise ermittelten Wertepaare können zusammen in die Diagramme nach BAST (2007) eingepflegt werden und sind ebenfalls für die beiden Systeme dargestellt. Zudem wurden die Achsabstände und die Fahrzeugklassifikationen im direkten Vergleich überprüft.

Die Überprüfung der Geschwindigkeiten war nicht das Ziel der Pilotstudie und wurde somit nicht durchgeführt.

### 6.1.2 Auswertung System 1

Die für das System 1 hinsichtlich Genauigkeitsprüfung zur Verfügung stehenden Messwerte sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 zusammengestellt.

Auf der Basis dieser Zusammenstellung erfolgte die weitergehende Aufbereitung und Berechnung der Kennwerte. In einem ersten Schritt wurden alle Testfahrten berücksichtigt, bei denen Messwerte vorhanden waren. Die Ergebnisse unterteilen sich hierbei in die folgenden Auswertungen und sind in den genannten Abbildungen dargestellt:

- Stufe 1, Achslasten (siehe Bild 75),
- Stufe 1, Gesamtgewichte (siehe Bild 76),
- Stufe 2, Achslasten (siehe Bild 77),
- Stufe 2, Achsgruppen (siehe Bild 78),
- Stufe 2, Gesamtgewichte (siehe Bild 79).

In Stufe 1 nach dem Kalibrierungsverfahren kam das System 1 bei den Achslasten mit einer Abweichung von 16,6 % nah an die Klassengrenze für B(10) von 15,0 % heran (Bild 75).

Bei den Gesamtgewichten in Stufe 1 lag das System 1 ebenfalls mit einer Abweichung von 13,38 % sehr nah an den geforderten 10,0 % (Bild 76).

In Stufe 2 lagen die Abweichungen bei den Achslasten mit 19,38 % (15,0 % gefordert) und den Achs-

Fahrt	v [km/h]	Last	Zeit	Länge	v [km/h]	GG	last1	last2	abstand2
1	80	Voll	10.07.2018 08:45	716,93	75,04	19.340,24	7.433,39	11.906,92	451,93
2	80	Voll	10.07.2018 09:00	720,18	75,58	19.562,74	7.493,76	12.068,95	455,18
3	64	Voll	10.07.2018 09:16	717,74	60,04	20.174,16	8.009,17	12.164,91	452,74
4	64	Voll	10.07.2018 09:32	715,70	61,08	19.187,89	7.564,17	11.623,74	450,70
5	80	Voll	10.07.2018 09:48	720,18	75,58	18.549,86	6.855,19	11.694,71	455,18
6	80	Voll	10.07.2018 10:04	716,08	75,58	18.463,59	7.110,15	11.353,42	451,08
7	64	Voll	10.07.2018 10:20	715,17	59,69	19.431,30	7.527,53	11.903,76	450,17
8	80	Voll	10.07.2018 10:35	719,35	76,13	18.286,26	6.805,73	11.480,47	454,35
9	64	Voll	10.07.2018 10:51	720,35	60,38	19.043,09	7.536,37	11.506,78	455,35
10	80	Voll	10.07.2018 11:06	720,18	75,58	18.277,59	7.012,01	11.265,52	155,18
11	64	Voll	10.07.2018 11:22	717,74	60,04	18.653,46	7.391,17	11.262,36	452,74
12	80	Voll	10.07.2018 11:36	721,00	75,04	18.193,06	7.000,60	11.192,40	456,00
13	80	Voll	10.07.2018 11:52	719,35	76,13	18.073,85	6.940,17	11.133,77	454,35
14	80	Voll	10.07.2018 12:07	716,08	75,58	17.969,84	6.864,24	11.105,62	451,08
15	80	Voll	10.07.2018 13:32	719,35	76,13	18.637,66	6.743,95	11.893,76	454,35
16	80	Voll	10.07.2018 13:47	719,35	76,13	18.633,78	6.934,96	11.698,79	454,35
17	80	Voll	10.07.2018 14:03	716,93	75,04	17.994,32	6.954,41	11.039,96	451,93
18	80	Voll	10.07.2018 15:02	716,93	75,04	17.775,49	6.834,37	10.941,14	451,93
19	64	Voll	10.07.2018 15:18	716,25	72,96	18.041,22	7.099,64	10.941,55	451,25
20	80	Voll	10.07.2018 15:34	716,93	75,04	17.971,07	6.911,67	11.059,33	451,93
21	80	Voll	10.07.2018 15:50	716,08	75,58	18.204,68	6.932,79	11.271,94	451,08
22	80	Voll	10.07.2018 16:06	716,93	75,04	18.253,32	7.124,49	11.128,77	451,93
1	80	Halb	11.07.2018 08:25	711,09	76,13	9.118,54	5.297,98	3.820,55	446,09
2	80	Halb	11.07.2018 08:39	716,08	75,58	9.494,10	5.296,38	4.197,71	451,08
3	80	Halb	11.07.2018 08:54	718,50	76,69	9.399,73	5.347,05	4.052,68	453,50
4	80	Halb	11.07.2018 09:09	715,22	76,13	9.232,71	5.327,25	3.905,46	450,22
5	80	Halb							
6	80	Halb	11.07.2018 09:38	715,22	76,13	9.306,77	5.350,19	3.956,59	450,22
7	64	Halb	11.07.2018 09:53	713,79	60,38	9.679,12	5.539,82	4.139,30	448,79
8	80	Halb	11.07.2018 10:07	719,35	76,13	9.411,00	5.332,78	4.078,21	454,35
9	64	Halb							
10	80	Halb	11.07.2018 10:36	711,98	75,58	9.508,62	5.416,28	4.092,33	446,98
11	64	Halb	11.07.2018 10:51	717,07	60,38	9.895,18	5.669,74	4.225,44	452,07
12	64	Halb	11.07.2018 11:06	718,33	61,44	9.894,49	5.615,10	4.279,38	453,33
13	80	Halb	11.07.2018 11:20	715,22	76,13	9.273,38	5.301,65	3.971,73	450,22
14	64	Halb	11.07.2018 11:35	719,01	61,08	9.759,68	5.549,41	4.210,27	454,01
15	64	Halb	11.07.2018 11:50	713,79	60,38	9.581,00	5.504,75	4.076,24	448,79
16	80	Halb	11.07.2018 12:05	719,35	76,13	9.118,19	5.315,88	3.802,31	454,35
17	80	Halb	11.07.2018 13:15	715,22	76,13	9.346,12	5.411,57	3.934,54	450,22
18	80	Halb	11.07.2018 13:29	715,22	76,13	9.199,59	5.269,38	3.930,21	450,22
19	80	Halb	11.07.2018 13:43	716,08	75,58	9.397,67	5.259,68	4.137,99	451,08
20	80	Halb	11.07.2018 13:57	715,22	76,13	9.499,65	5.450,70	4.048,97	450,22
21	80	Halb	11.07.2018 14:12	716,08	75,58	9.510,42	5.434,82	4.075,60	451,08
22	80	Halb	11.07.2018 14:26	716,08	75,58	9.459,33	5.403,94	4.055,39	451,08
23	80	Halb	11.07.2018 14:40	719,35	76,13	9.619,25	5.466,93	4.152,31	454,35
24	80	Halb	11.07.2018 14:54	719,35	76,13	9.346,79	5.363,87	3.982,92	454,35
25	80	Halb	11.07.2018 15:08	712,86	83,38	9.324,15	5.258,61	4.065,54	447,86
26	80	Halb	11.07.2018 15:22	711,98	75,58	9.490,59	5.461,88	4.073,70	446,98
27	80	Halb	11.07.2018 15:36	715,22	76,13	9.365,50	5.400,33	3.965,17	450,22

Tab. 10: Zusammenstellung der Testfahrten (2-Achser, Typ 8) und der vom System 1 gemessenen Messwerte

Fahrt	v [km/h]	Last	Zeit	Typ	Länge	v [km/h]	GG	achsen	last1	last2	abstand2	last3	abstand3	last4	abstand4	last5	abstand5
1	80	Voll	10.07.2018 08:46	98	1.654,60	75,58	43.996,46	5	8.267,70	11.685,04	348,56	8.021,23	553,60	8.021,23	131,22	8.021,23	131,22
2	80	Voll	10.07.2018 09:02	98	1.650,36	75,04	44.631,95	5	8.314,51	11.991,86	346,07	8.108,52	553,71	8.108,52	130,29	8.108,52	130,29
3	80	Voll	10.07.2018 09:17	98	1.650,36	75,04	43.729,60	5	8.137,83	11.689,73	346,07	7.974,00	553,71	7.974,00	130,29	7.974,00	130,29
4	64	Voll	10.07.2018 09:34	0	3.491,66	60,04	70.819,99	10 <sup>1</sup>	6.520,18	12.166,23	342,00	7.501,44	556,97	7.501,44	127,03	7.501,44	130,29
5	64	Voll	10.07.2018 09:50	98	1.652,80	60,04	41.563,93	5	7.715,24	11.725,71	345,26	7.374,32	556,97	7.374,32	130,29	7.374,32	130,29
6	64	Voll	10.07.2018 10:06	98	1.652,80	60,04	41.584,53	5	7.871,99	11.596,31	345,26	7.372,10	556,97	7.372,10	127,03	7.372,10	133,54
7	80	Voll	10.07.2018 10:22	98	1.654,26	74,51	41.571,88	5	7.735,84	10.790,74	347,66	7.681,76	553,83	7.681,76	129,36	7.681,76	133,40
8	64	Voll	10.07.2018 10:38	98	1.652,80	60,04	41.159,10	5	7.666,63	11.463,55	345,26	7.342,96	556,97	7.342,96	127,03	7.342,96	133,54
9	80	Voll	10.07.2018 10:54	98	1.650,36	75,04	41.283,61	5	7.652,84	10.967,86	346,07	7.554,31	553,71	7.554,31	126,21	7.554,31	134,36
10	80	Voll	10.07.2018 11:09	98	1.654,60	75,58	41.480,11	5	7.765,29	11.039,65	344,46	7.558,40	557,70	7.558,40	131,22	7.558,40	131,22
11	80	Voll	10.07.2018 11:24	98	1.650,50	75,58	40.643,74	5	7.651,95	10.736,90	344,46	7.418,32	557,70	7.418,32	127,12	7.418,32	131,22
12	80	Voll	10.07.2018 11:39	98	1.650,36	75,04	40.676,17	5	7.690,13	10.745,05	346,07	7.413,67	553,71	7.413,67	130,29	7.413,67	130,29
13	80	Voll	10.07.2018 11:54	98	1.650,36	75,04	40.097,99	5	7.640,24	10.582,00	346,07	7.291,92	553,71	7.291,92	130,29	7.291,92	130,29
14	80	Voll	10.07.2018 12:10	98	1.654,60	75,58	40.159,07	5	7.124,64	10.777,17	348,56	7.419,08	553,60	7.419,08	131,22	7.419,08	131,22
15	80	Voll	10.07.2018 13:26	98	1.646,29	75,04	40.549,41	5	7.605,50	10.677,85	342,00	7.422,01	553,71	7.422,01	130,29	7.422,01	130,29
16	64	Voll	10.07.2018 13:41	98	1.656,21	60,38	41.533,24	5	7.611,48	12.202,64	347,24	7.239,72	560,17	7.239,72	131,03	7.239,72	127,76
17	80	Voll	10.07.2018 13:58	98	1.658,50	75,04	40.110,02	5	7.337,33	10.710,08	346,07	7.354,20	557,79	7.354,20	130,29	7.354,20	134,36
18	80	Voll	10.07.2018 14:13	98	1.650,36	75,04	40.330,58	5	7.534,30	10.735,77	346,07	7.353,49	553,71	7.353,49	130,29	7.353,49	130,29
19	64	Voll	10.07.2018 14:29	98	1.652,80	60,04	40.626,20	5	7.668,27	11.271,43	345,26	7.228,82	556,97	7.228,82	130,29	7.228,82	130,29
20	80	Voll	10.07.2018 14:45	98	1.646,29	75,04	40.571,75	5	7.690,95	10.731,70	342,00	7.383,05	553,71	7.383,05	130,29	7.383,05	130,29
21	80	Voll	10.07.2018 15:02	98	1.650,36	75,04	40.646,90	5	7.664,41	10.690,09	342,00	7.430,81	553,71	7.430,81	130,29	7.430,81	134,36
22	64	Voll	10.07.2018 15:18	98	1.646,29	60,04	40.470,08	5	7.489,20	11.295,70	342,00	7.228,39	556,97	7.228,39	127,03	7.228,39	130,29
23	80	Voll	10.07.2018 15:34	98	1.650,36	75,04	41.010,63	5	7.866,66	10.645,63	346,07	7.499,44	553,71	7.499,44	130,29	7.499,44	130,29
24	80	Voll	10.07.2018 15:52	98	1.650,36	75,04	40.649,96	5	7.363,42	10.857,43	346,07	7.476,36	553,71	7.476,36	130,29	7.476,36	130,29
25	80	Voll	10.07.2018 16:08	98	1.646,29	75,04	40.773,24	5	7.791,28	10.742,71	346,07	7.413,09	553,71	7.413,09	126,21	7.413,09	130,29
1	80	Halb	11.07.2018 08:25	98	1.654,43	75,04	20.589,80	5	7.272,37	7.883,40	346,07	1.811,34	557,79	1.811,34	135,00	1.811,34	125,57
2	80	Halb	11.07.2018 08:39	98	1.654,60	75,58	20.288,98	5	7.033,61	7.964,82	344,46	1.763,50	561,80	1.763,50	135,00	1.763,50	123,35
3	80	Halb	11.07.2018 08:54	98	1.658,71	75,58	19.693,37	5	6.323,76	8.031,83	348,56	1.779,24	561,80	1.779,24	135,00	1.779,24	123,35
4	80	Halb	11.07.2018 09:09	98	1.650,50	75,58	20.720,22	5	7.038,18	8.017,75	344,46	1.888,09	557,70	1.888,09	135,00	1.888,09	123,35
5	80	Halb	11.07.2018 09:24	98	1.654,60	75,58	20.426,75	5	7.078,83	8.125,94	348,56	1.740,68	557,70	1.740,68	135,00	1.740,68	123,35
6	80	Halb	11.07.2018 09:38	98	1.658,70	75,58	20.750,30	5	7.074,80	8.361,63	348,56	1.771,30	557,70	1.771,30	135,00	1.771,30	127,45
7	80	Halb	11.07.2018 09:53	0	3.444,43	75,04	25.083,27	7 <sup>2</sup>	6.561,68	8.218,81	346,07	2.833,95	561,86	2.918,75	260,57	1.516,38	1.437,21
8	80	Halb	11.07.2018 10:07	98	1.654,60	75,58	20.439,19	5	7.051,17	7.998,36	348,56	1.796,56	557,70	1.796,56	135,00	1.796,56	123,35
9	80	Halb	11.07.2018 10:21	98	1.650,50	75,58	20.351,19	5	6.933,90	8.245,72	344,46	1.723,86	557,70	1.723,86	135,00	1.723,86	123,35
10	80	Halb	11.07.2018 10:36	98	1.654,60	75,58	20.799,35	5	7.046,36	8.518,26	348,56	1.744,91	553,60	1.744,91	131,22	1.744,91	131,22

Ergänzung ab der sechsten Achse:

<sup>1</sup> Fahrt 4 am 10.07.2018: Achskonfiguration: E, E, Dr, E (Last = 8.200,41; At = 1.169,31), E (Last = 8.864,6; At = 358,29), Dr (Last = 4.188,06; At = 540,69) (Last = 4.188,06; At = 133,54) (Last = 4.188,06; At = 133,54)

<sup>2</sup> Fahrt 7 am 11.07.2018: Achskonfiguration: E, E, E, E, E (Last = 1.366,58; AT = 337,93), E (Last = 1.677,1; AT = 500,79)

Tab. 11: Zusammenstellung der Testfahrten (Sattel-Kfz) und der vom System 1 gemessenen Messwerte

Fahrt	v [km/h]	Last	Zeit	Typ	Länge	v [km/h]	GG	achsen	last1	last2	abstand2	last3	abstand3	last4	abstand4	last5	abstand5
11	64	Halb	11.07.2018	10,51	98	1.646,19	21.402,31	5	7.290,80	8.538,28	346,53	1.857,74	553,81	1.857,74	135,00	1.857,74	120,85
12	64	Halb	11.07.2018	11,05	98	1.646,19	20.823,11	5	7.115,37	8.140,08	343,30	1.855,87	557,05	1.855,87	135,00	1.855,87	120,85
13	80	Halb	11.07.2018	11,20	98	1.658,91	20.884,80	5	7.081,90	8.519,52	346,96	1.761,12	561,74	1.761,12	135,00	1.761,12	125,22
14	64	Halb	11.07.2018	11,35	98	1.646,19	21.043,17	5	7.069,06	8.203,33	340,06	1.923,59	557,05	1.923,59	135,00	1.923,59	124,09
15	64	Halb	11.07.2018	11,50	98	1.649,54	19.021,37	5	7.143,40	8.083,42	345,26	1.264,85	556,97	1.264,85	135,00	1.264,85	122,31
16	80	Halb	11.07.2018	13,17	98	1.654,26	20.874,91	5	7.411,81	8.180,66	343,62	1.760,81	557,87	1.760,81	135,00	1.760,81	127,77
17	80	Halb	11.07.2018	13,31	98	1.654,78	20.641,70	5	7.328,45	8.001,03	346,96	1.770,73	557,61	1.770,73	135,00	1.770,73	125,22
18	64	Halb	11.07.2018	13,46	98	1.649,66	21.362,34	5	7.239,03	8.490,06	343,97	1.877,77	560,17	1.877,77	135,00	1.877,77	120,52
19	80	Halb															
20	80	Halb	11.07.2018	14,18	98	1.658,70	20.772,23	5	7.246,92	8.133,00	348,56	1.797,43	557,70	1.797,43	135,00	1.797,43	127,45
21	80	Halb	11.07.2018	14,33	98	1.650,50	20.460,60	5	7.186,60	8.039,42	344,46	1.744,85	557,70	1.744,85	135,00	1.744,85	123,35
22	80	Halb	11.07.2018	14,48	98	1.654,60	20.720,32	5	7.165,67	8.181,45	344,46	1.791,07	557,70	1.791,07	135,00	1.791,07	127,45
23	80	Halb	11.07.2018	15,04	98	1.654,60	20.575,73	5	7.255,23	8.043,08	348,56	1.759,13	557,70	1.759,13	135,00	1.759,13	123,35
24	80	Halb	11.07.2018	15,18	98	1.654,60	20.437,66	5	7.209,74	8.052,22	344,46	1.725,24	561,80	1.725,24	135,00	1.725,24	123,35
25	64	Halb															

Tab. 11: Fortsetzung

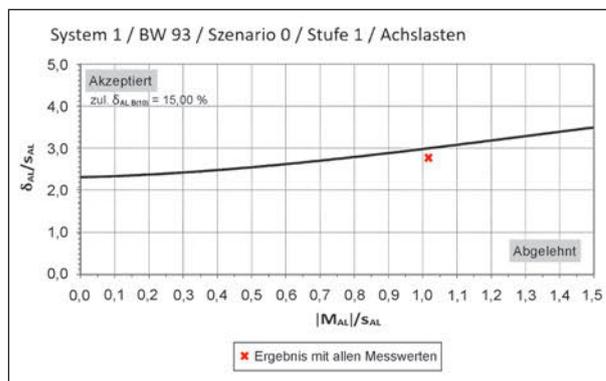


Bild 75: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)

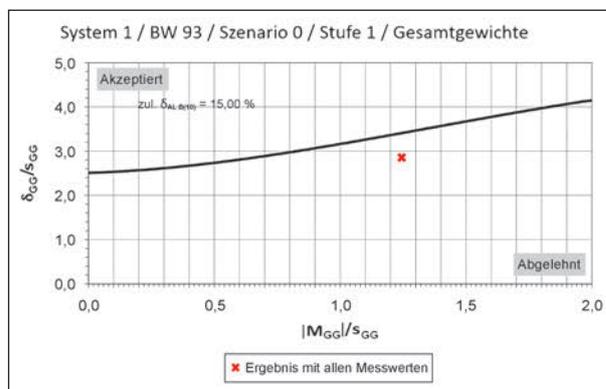


Bild 76: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)

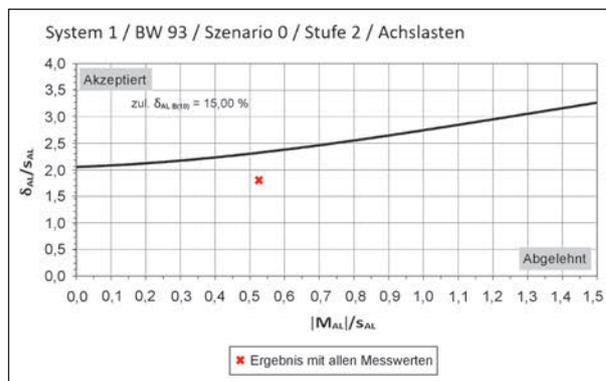


Bild 77: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)

lastgruppen mit 20,95 % (13,0 % gefordert) nicht so gut wie in Stufe 1. Dafür konnte in Stufe 2 bei den Gesamtgewichten eine Abweichung von 10,69 % (10,0 % gefordert) erreicht werden (Bild 77 bis Bild 79).

Für das System 1 an Bauwerk 93 waren in allen Stufen die Bewertungen zur Achslasterfassung unterhalb der Akzeptanzkurve. Die Werte liegen teilweise sehr nah an der Grenze zum Erreichen der Klasse B(10).

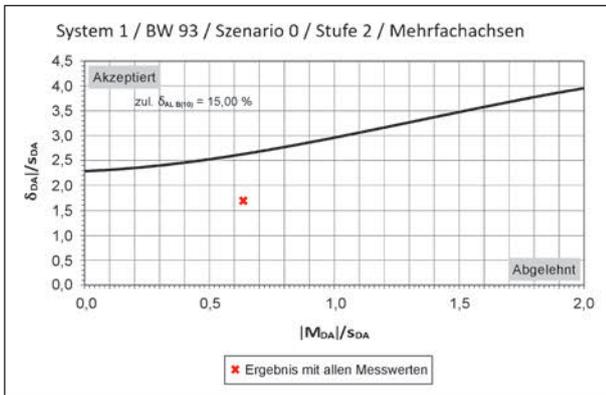


Bild 78: Abweichungen der Achsgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)

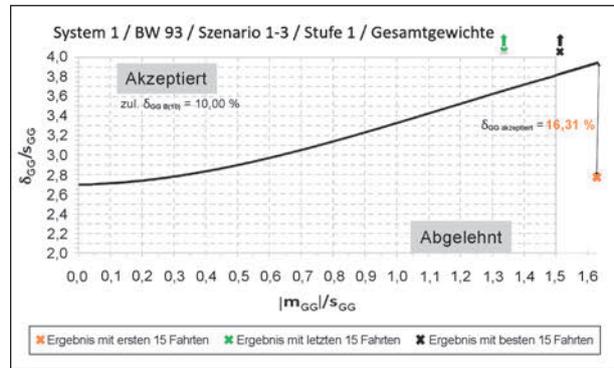


Bild 81: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

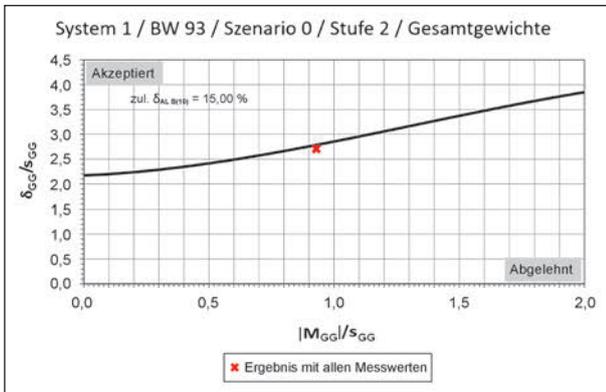


Bild 79: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)

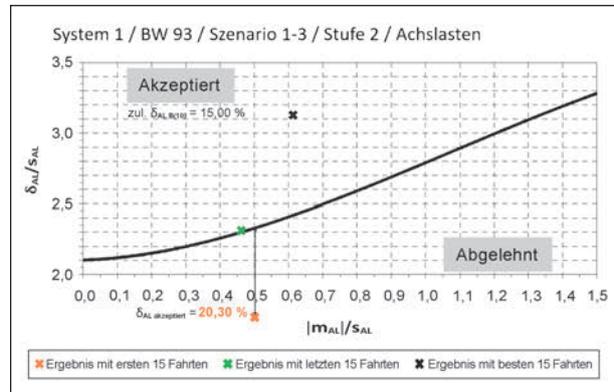


Bild 82: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

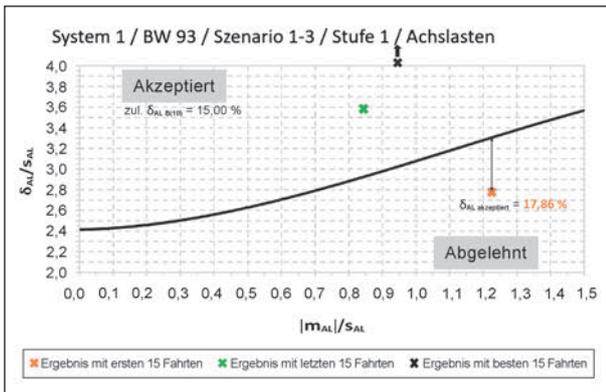


Bild 80: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

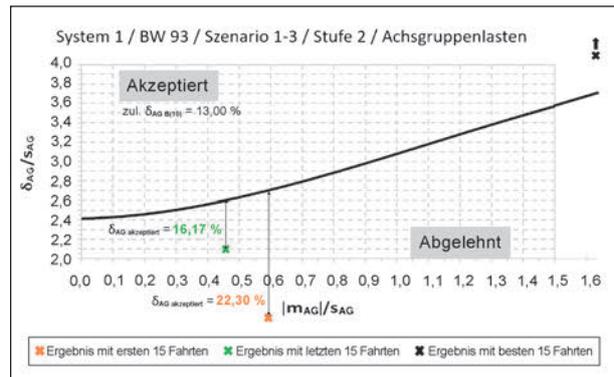


Bild 83: Abweichungen der Achsgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

In einem zweiten Schritt wurde der ursprüngliche Testplan aus BASt (2007) mit exakt 15 Fahrten in 3 Szenarien angewendet. Die Ergebnisse sind in Bild 80 bis Bild 84 dargestellt.

Insgesamt zeigt sich hierbei, dass bei einer Betrachtung der 15 Testfahrten mit der besten Übereinstimmung alle Wertepaare oberhalb der Grenzkurve liegen und somit das Bridge-WIM-System die

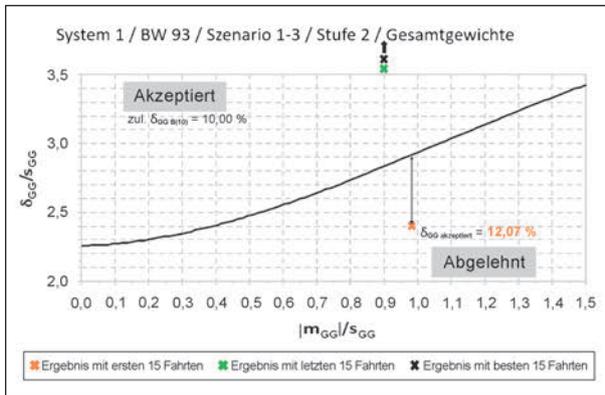


Bild 84: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

BW 93 Volllast			BW 93 Halblast		
SOLL-Klasse	A	B	SOLL-Klasse	A	B
IST-Klasse 1	8	98	IST-Klasse 1	8	98
IST-Klasse 2	8	98	IST-Klasse 2	8	98
IST-Klasse 3	8	98	IST-Klasse 3	8	98
IST-Klasse 4	8	0	IST-Klasse 4	8	98
IST-Klasse 5	8	98	IST-Klasse 5		98
IST-Klasse 6	8	98	IST-Klasse 6	8	98
IST-Klasse 7	8	98	IST-Klasse 7	8	0
IST-Klasse 8	8	98	IST-Klasse 8	8	98
IST-Klasse 9	8	98	IST-Klasse 9		98
IST-Klasse 10	8	98	IST-Klasse 10	8	98
IST-Klasse 11	8	98	IST-Klasse 11	8	98
IST-Klasse 12	8	98	IST-Klasse 12	8	98
IST-Klasse 13	8	98	IST-Klasse 13	8	98
IST-Klasse 14	8	98	IST-Klasse 14	8	98
IST-Klasse 15	8	98	IST-Klasse 15	8	98
IST-Klasse 16	8	98	IST-Klasse 16	8	98
IST-Klasse 17	8	98	IST-Klasse 17	8	98
IST-Klasse 18		98	IST-Klasse 18	8	98
IST-Klasse 19	8	98	IST-Klasse 19	8	
IST-Klasse 20	8	98	IST-Klasse 20	8	98
IST-Klasse 21	8	98	IST-Klasse 21	8	98
IST-Klasse 22	8	98	IST-Klasse 22	8	98
IST-Klasse 23	8	98	IST-Klasse 23	8	98
IST-Klasse 24		98	IST-Klasse 24	8	98
IST-Klasse 25		98	IST-Klasse 25	8	
			IST-Klasse 26	8	
			IST-Klasse 27	8	

Bild 85: Überprüfung der Fahrzeugklassifizierung System 1

Anforderungen für die Klasse B(10) erfüllt. Dieses Ergebnis wird auch weitestgehend erreicht, wenn die letzten 15 Fahrten betrachtet werden. Nur in Stufe 2 werden die Messwerte bei Betrachtung der Achsgruppen abgelehnt. Hier liegt die Abweichung bei 16, 3 % statt der geforderten 13 %. Bei der Betrachtung der ersten 15 Messfahrten (Szenario 1) wird dagegen die Klasse B(10) für alle drei Messgrößen nicht erreicht.

Die Achsabstände, welche vom System 1 erfasst wurden, wurden mit den am Testfahrzeug gemessenen Achsabständen verglichen. Hier dürfen die Werte aus dem Bridge-WIM-System um +/- 15 cm von den gemessenen abweichen. Die Toleranz bei der Erfassung des Abstands zwischen den beiden Achsen des 2-Achсers wurde lediglich unter Volllast in fünf von 22 Fällen eingehalten und unter Halblast in keinem Fall. Die Achsabstände zwischen den Achsen 1 und 2, 3 und 4 sowie 4 und 5 des Sattel-Kfzs wurden unter Volllast immer genügend genau gemessen. Der Achsabstand zwischen den Achsen 2 und 3 wurde nie eingehalten. Unter Halblast fand sich ein ähnliches Bild, jedoch wurden in Überfahrt 7 bei den hinteren Achsabständen deutlich Abweichungen festgestellt. Allerdings wurde bei dieser Überfahrt auch die Fahrzeugklasse nicht korrekt ermittelt.

Bei der Überprüfung der Fahrzeugklassifizierung konnte das System 1 fast durchweg die richtige Klasse erkennen. Lediglich in zwei Fällen wurde die Fahrzeugklasse 0 ausgegeben. Die Ergebnisse der Überprüfung der Fahrzeugklassifizierung können in Bild 85 eingesehen werden.

Die Überprüfung der Achsabstände ist in Tabelle 12 dargestellt. Bei den Leerfeldern wurde vom System nichts erfasst.

BW 93	A				B					
	1 - 2	Abweichung	1 - 2	Abweichung	2 - 3	Abweichung	3 - 4	Abweichung	4 - 5	Abweichung
Volllast	470	[cm]	355	[cm]	590	[cm]	130	[cm]	130	[cm]
Vermessung	470	[cm]	355	[cm]	590	[cm]	130	[cm]	130	[cm]
BWiM 1	451,929	-18,071	348,561	-6,439	553,597	-36,403	131,223	1,223	131,223	1,223
BWiM 2	455,18	-14,82	346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 3	452,743	-17,257	346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 4	450,698	-19,302	342	-13	556,971	-33,029	127,029	-2,971	130,286	0,286
BWiM 5	455,18	-14,82	345,257	-9,743	556,971	-33,029	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 6	451,079	-18,921	345,257	-9,743	556,971	-33,029	127,029	-2,971	133,543	3,543
BWiM 7	447	-23	347,66	-7,34	553,83	-36,17	129,362	-0,638	133,404	3,404
BWiM 8	454,348	-15,652	345,257	-9,743	556,971	-33,029	127,029	-2,971	133,543	3,543
BWiM 9	455,345	-14,655	346,071	-8,929	553,714	-36,286	126,214	-3,786	134,357	4,357
BWiM 10	455,18	-14,82	344,46	-10,54	557,698	-32,302	131,223	1,223	131,223	1,223
BWiM 11	452,743	-17,257	344,46	-10,54	557,698	-32,302	127,122	-2,878	131,223	1,223
BWiM 12	456	-14	346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 13	454,348	-15,652	346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 14	451,079	-18,921	348,561	-6,439	553,597	-36,403	131,223	1,223	131,223	1,223
BWiM 15	454,348	-15,652	342	-13	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 16	454,348	-15,652	347,241	-7,759	560,172	-29,828	131,034	1,034	127,759	-2,241
BWiM 17	451,929	-18,071	346,071	-8,929	557,786	-32,214	130,286	0,286	134,357	4,357
BWiM 18	NULL		346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 19	451,929	-18,071	345,257	-9,743	556,971	-33,029	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 20	451,25	-18,75	342	-13	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 21	451,929	-18,071	342	-13	553,714	-36,286	130,286	0,286	134,357	4,357
BWiM 22	451,079	-18,921	342	-13	556,971	-33,029	127,029	-2,971	130,286	0,286
BWiM 23	451,929	-18,071	346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 24			346,071	-8,929	553,714	-36,286	130,286	0,286	130,286	0,286
BWiM 25			346,071	-8,929	553,714	-36,286	126,214	-3,786	130,286	0,286

BW 93	A				B					
	1 - 2	Abweichung	1 - 2	Abweichung	2 - 3	Abweichung	3 - 4	Abweichung	4 - 5	Abweichung
Halblast	470	[cm]	355	[cm]	590	[cm]	130	[cm]	130	[cm]
Vermessung	470	[cm]	355	[cm]	590	[cm]	130	[cm]	130	[cm]
BWiM 1	446,087	-23,913	346,071	-8,929	557,786	-32,214	135	5	125,572	-4,428
BWiM 2	451,079	-18,921	344,46	-10,54	561,799	-28,201	135	5	123,345	-6,655
BWiM 3	453,504	-16,496	348,561	-6,439	561,799	-28,201	135	5	123,345	-6,655
BWiM 4	450,217	-19,783	344,46	-10,54	557,698	-32,302	135	5	123,345	-6,655
BWiM 5	NULL		348,561	-6,439	557,698	-32,302	135	5	123,345	-6,655
BWiM 6	450,217	-19,783	348,561	-6,439	557,698	-32,302	135	5	127,446	-2,554
BWiM 7	448,793	-21,207	346,071	-8,929	561,857	-28,143	260,571	130,571	1437,21	1307,21
BWiM 8	454,348	-15,652	348,561	-6,439	557,698	-32,302	135	5	123,345	-6,655
BWiM 9	NULL		344,46	-10,54	557,698	-32,302	135	5	123,345	-6,655
BWiM 10	446,978	-23,022	348,561	-6,439	553,597	-36,403	131,223	1,223	131,223	1,223
BWiM 11	452,069	-17,931	346,534	-8,466	553,807	-36,193	135	5	120,852	-9,148
BWiM 12	453,333	-16,667	343,295	-11,705	557,045	-32,955	135	5	120,852	-9,148
BWiM 13	450,217	-19,783	346,957	-8,043	561,739	-28,261	135	5	125,217	-4,783
BWiM 14	454,012	-15,988	340,057	-14,943	557,045	-32,955	135	5	124,091	-5,909
BWiM 15	448,793	-21,207	345,257	-9,743	556,971	-33,029	135	5	122,314	-7,686
BWiM 16	454,348	-15,652	343,617	-11,383	557,872	-32,128	135	5	127,766	-2,234
BWiM 17	450,217	-19,783	346,957	-8,043	557,609	-32,391	135	5	125,217	-4,783
BWiM 18	450,217	-19,783	343,966	-11,034	560,172	-29,828	135	5	120,517	-9,483
BWiM 19	451,079	-18,921	NULL		NULL		NULL		NULL	
BWiM 20	450,217	-19,783	348,561	-6,439	557,698	-32,302	135	5	127,446	-2,554
BWiM 21	451,079	-18,921	344,46	-10,54	557,698	-32,302	135	5	123,345	-6,655
BWiM 22	451,079	-18,921	344,46	-10,54	557,698	-32,302	135	5	127,446	-2,554
BWiM 23	454,348	-15,652	348,561	-6,439	557,698	-32,302	135	5	123,345	-6,655
BWiM 24	454,348	-15,652	344,46	-10,54	561,799	-28,201	135	5	123,345	-6,655
BWiM 25	447,857	-22,143	NULL		NULL		NULL		NULL	

Tab. 12: Überprüfung der Achsabstände System 1

### 6.1.3 Auswertung System 2

Die für das System 2 hinsichtlich Genauigkeitsprüfung zur Verfügung stehenden Messwerte der Test-Lkw sind in Tabelle 13 und Tabelle 14 zusammengestellt.

In Stufe 1 nach dem Kalibrierungsverfahren kam das System 2 bei den Achslasten mit einer Abwei-

chung von 23,89 % nicht an die geforderten 15,0 % heran (Bild 86).

Bei den Gesamtgewichten in Stufe 1 lag das System 2 ebenfalls mit einer Abweichung von 31,35 % sehr weit von den geforderten 10,0 % (Bild 87).

Vor dem Hintergrund der vielfach nicht erkannten Dreifachachsen der Sattel-Kfz ist eine Berechnung

Fahrt	v [km/h]	Last	Zeit	Länge	v [km/h]	GG	last1	last2	abstand2
1	80	Voll	10.07.2018 08:46	430,00	75,00	15.920,00	5.818,00	10.102,00	430,00
2	80	Voll	10.07.2018 09:00	414,00	75,00	16.460,00	6.195,00	10.265,00	414,00
3	64	Voll	10.07.2018 09:33	429,00	60,00	15.888,00	5.708,00	10.180,00	429,00
4	64	Voll							
5	80	Voll	10.07.2018 09:49	484,00	82,00	16.112,00	5.883,00	10.229,00	484,00
6	80	Voll	10.07.2018 10:05	427,00	77,00	16.462,00	6.367,00	10.094,00	427,00
7	64	Voll							
8	80	Voll	10.07.2018 10:36	451,00	81,00	14.837,00	5.430,00	9.407,00	451,00
9	64	Voll							
10	80	Voll							
11	64	Voll	10.07.2018 11:23	449,00	69,00	16.093,00	5.750,00	10.344,00	449,00
12	80	Voll							
13	80	Voll	10.07.2018 11:52	460,00	79,00	19.262,00	7.508,00	11.754,00	460,00
14	80	Voll	10.07.2018 12:08	446,00	76,00	19.805,00	7.719,00	12.086,00	446,00
15	80	Voll	10.07.2018 13:33	423,00	75,00	18.558,00	7.165,00	11.393,00	423,00
16	80	Voll	10.07.2018 13:48	446,00	76,00	16.245,00	5.863,00	10.382,00	446,00
17	80	Voll	10.07.2018 14:04	461,00	78,00	15.461,00	5.476,00	9.985,00	461,00
18	80	Voll	10.07.2018 14:19	435,00	76,00	16.906,00	6.302,00	10.640,00	435,00
19	64	Voll	10.07.2018 15:19	451,00	62,00	18.563,00	6.231,00	12.333,00	451,00
20	80	Voll							
21	80	Voll	10.07.2018 15:51	441,00	77,00	17.522,00	6.621,00	10.901,00	441,00
22	80	Voll							
1	80	Halb	11.07.2018 08:26	445,00	79,00	6.688,00	3.562,00	3.125,00	445,00
2	80	Halb	11.07.2018 08:40	421,00	75,00	7.824,00	4.445,00	3.379,00	421,00
3	80	Halb							
4	80	Halb	11.07.2018 09:10	451,00	75,00	7.863,00	3.986,00	3.877,00	451,00
5	80	Halb	11.07.2018 09:25	470,00	81,00	7.888,00	4.219,00	3.669,00	470,00
6	80	Halb	11.07.2018 09:39	445,00	79,00	6.977,00	3.725,00	3.252,00	445,00
7	64	Halb	11.07.2018 09:54	420,00	61,00	7.482,00	4.000,00	3.482,00	420,00
8	80	Halb	11.07.2018 10:08	409,00	74,00	8.106,00	4.264,00	3.842,00	409,00
9	64	Halb	11.07.2018 10:23	427,00	60,00	6.869,00	3.584,00	3.285,00	427,00
10	80	Halb							
11	64	Halb							
12	64	Halb							
13	80	Halb							
14	64	Halb	11.07.2018 11:36	450,00	63,00	9.449,00	4.862,00	4.588,00	450,00
15	64	Halb	11.07.2018 11:51	443,00	62,00	8.174,00	4.285,00	3.889,00	443,00
16	80	Halb	11.07.2018 12:06	467,00	76,00	9.692,00	5.044,00	4.648,00	467,00
17	80	Halb	11.07.2018 13:16	456,00	79,00	9.549,00	4.906,00	4.643,00	456,00
18	80	Halb	11.07.2018 13:30	444,00	77,00	8.286,00	4.263,00	4.024,00	444,00
19	80	Halb	11.07.2018 13:44	432,00	76,00	7.830,00	4.205,00	3.625,00	432,00
20	80	Halb							
21	80	Halb							
22	80	Halb	11.07.2018 14:27	476,00	82,00	8.096,00	4.326,00	3.770,00	476,00
23	80	Halb	11.07.2018 14:41	447,00	75,00	6.666,00	3.304,00	3.363,00	447,00
24	80	Halb							
25	80	Halb	11.07.2018 15:09	475,00	88,00	7.602,00	3.918,00	3.684,00	475,00
26	80	Halb	11.07.2018 15:23	453,00	76,00	7.047,00	3.560,00	3.487,00	453,00
27	80	Halb	11.07.2018 15:37	501,00	85,00	8.105,00	4.414,00	3.691,00	501,00

Tab. 13: Zusammenstellung der Testfahrten (2-Achser) und der vom System 2 gemessenen Messwerte

Fahrt	v [km/h]	Last	Zeit	Typ	Länge	v [km/h]	GG	last1	last2	abstand2	last3	abstand3	last4	abstand4	last5	abstand5
1	80	Voll	10.07.2018 08:47	98	1.274,00	76,00	37.422,00	7.073,00	10.107,00	318,00	6.815,00	694,00	6.745,00	131,00	6.681,00	131,00
2	80	Voll	10.07.2018 09:03	98	1.184,00	78,00	38.892,00	6.953,00	10.149,00	323,00	7.387,00	596,00	6.538,00	138,00	7.869,00	127,00
3	80	Voll	10.07.2018 09:18	98	1.166,00	78,00	40.372,00	7.256,00	10.522,00	316,00	7.212,00	603,00	7.721,00	138,00	7.661,00	109,00
4	64	Voll	10.07.2018 09:35	98	1.167,00	62,00	39.185,00	6.870,00	10.247,00	325,00	6.607,00	575,00	7.796,00	147,00	7.666,00	121,00
5	64	Voll	10.07.2018 09:51	98	1.115,00	59,00	37.137,00	6.282,00	10.160,00	320,00	6.887,00	579,00	6.800,00	118,00	7.009,00	98,00
6	64	Voll	10.07.2018 10:07	98	1.148,00	63,00	39.019,00	6.863,00	10.139,00	314,00	6.615,00	575,00	6.675,00	137,00	8.726,00	122,00
7	80	Voll	10.07.2018 10:23	98	1.206,00	82,00	41.391,00	7.905,00	11.070,00	329,00	6.799,00	631,00	7.924,00	125,00	7.693,00	121,00
8	64	Voll	10.07.2018 10:39	98	1.124,00	61,00	38.571,00	6.855,00	10.295,00	310,00	6.698,00	599,00	7.380,00	102,00	7.343,00	122,00
9	80	Voll	10.07.2018 10:55	98	1.151,00	78,00	38.039,00	6.906,00	10.025,00	323,00	7.088,00	570,00	6.695,00	145,00	7.321,00	113,00
10	80	Voll	10.07.2018 11:10	98	1.163,00	79,00	38.949,00	6.809,00	10.265,00	320,00	6.988,00	592,00	7.173,00	107,00	7.714,00	144,00
11	80	Voll	10.07.2018 11:25	98	1.197,00	81,00	38.940,00	6.992,00	10.183,00	313,00	6.903,00	619,00	7.196,00	131,00	7.667,00	134,00
12	80	Voll	10.07.2018 11:40	98	1.188,00	78,00	46.044,00	8.746,00	12.095,00	323,00	8.091,00	603,00	8.178,00	120,00	8.934,00	142,00
13	80	Voll	10.07.2018 11:55	98	1.158,00	78,00	46.773,00	9.047,00	12.081,00	320,00	8.454,00	581,00	8.400,00	120,00	8.791,00	138,00
14	80	Voll	10.07.2018 12:11	97	1.158,00	83,00	43.649,00	9.161,00	12.686,00	334,00	9.025,00	709,00	12.776,00	115,00		
15	80	Voll	10.07.2018 13:26	98	1.183,00	77,00	39.493,00	7.145,00	10.090,00	323,00	7.163,00	613,00	7.523,00	118,00	7.573,00	129,00
16	64	Voll	10.07.2018 13:42	98	1.170,00	62,00	44.095,00	8.752,00	12.502,00	319,00	7.572,00	592,00	7.382,00	121,00	7.888,00	138,00
17	80	Voll	10.07.2018 13:59	98	1.211,00	83,00	39.443,00	7.409,00	10.180,00	318,00	7.386,00	606,00	6.797,00	142,00	7.669,00	146,00
18	80	Voll	10.07.2018 14:14	98	1.175,00	81,00	40.462,00	7.422,00	10.513,00	328,00	7.543,00	586,00	6.778,00	134,00	8.207,00	127,00
19	64	Voll	10.07.2018 14:30	98	1.136,00	63,00	40.813,00	7.165,00	10.259,00	311,00	10.849,00	584,00	12.541,00	261,00		
20	80	Voll	10.07.2018 14:46	98	1.162,00	78,00	39.312,00	7.019,00	10.209,00	309,00	6.809,00	596,00	7.490,00	120,00	7.785,00	138,00
21	80	Voll	10.07.2018 15:03	98	1.166,00	78,00	40.109,00	7.277,00	10.672,00	327,00	7.208,00	577,00	7.019,00	123,00	7.932,00	138,00
22	64	Voll	10.07.2018 15:19	99	1.156,00	62,00	42.273,00	7.351,00	10.479,00	319,00	11.515,00	578,00	12.928,00	262,00		
23	80	Voll	10.07.2018 15:35	98	1.162,00	78,00	42.313,00	7.996,00	11.017,00	323,00	7.062,00	577,00	7.891,00	127,00	8.347,00	134,00
24	80	Voll	10.07.2018 15:53	98	1.140,00	77,00	42.819,00	7.853,00	11.366,00	319,00	7.155,00	584,00	8.468,00	111,00	7.978,00	125,00
25	80	Voll	10.07.2018 16:09	97	1.114,00	75,00	38.716,00	7.730,00	10.503,00	307,00	9.704,00	692,00	10.779,00	115,00		
1	80	Halb	11.07.2018 08:25	96	1.100,00	78,00	15.620,00	5.526,00	7.011,00	301,00	3.084,00	799,00				
2	80	Halb	11.07.2018 08:40	96	1.152,00	81,00	17.929,00	6.285,00	7.788,00	332,00	3.883,00	821,00				
3	80	Halb	11.07.2018 08:55	96	1.153,00	82,00	17.405,00	5.898,00	7.611,00	336,00	3.896,00	817,00				
4	80	Halb	11.07.2018 09:10	96	1.146,00	83,00	17.360,00	5.899,00	7.411,00	330,00	4.049,00	817,00				
5	80	Halb	11.07.2018 09:25	96	1.156,00	81,00	17.592,00	5.829,00	7.431,00	343,00	4.332,00	813,00				
6	80	Halb	11.07.2018 09:39	96	1.075,00	77,00	15.611,00	5.403,00	6.847,00	287,00	3.361,00	789,00				
7	80	Halb	11.07.2018 09:54	96	1.185,00	83,00	17.426,00	5.909,00	7.437,00	322,00	4.079,00	863,00				
8	80	Halb	11.07.2018 10:08	97	1.210,00	82,00	18.549,00	6.065,00	7.705,00	333,00	2.367,00	745,00	2.412,00	132,00		
9	80	Halb	11.07.2018 10:22	96	1.108,00	79,00	15.435,00	5.252,00	7.221,00	331,00	2.963,00	776,00				
10	80	Halb	11.07.2018 10:37	96	1.115,00	79,00	17.201,00	5.834,00	7.287,00	324,00	4.080,00	791,00				

Tab. 14: Zusammenstellung der Testfahrten (Sattel-Kfz) und der vom System 2 gemessenen Messwerte

Fahrt	v [km/h]	Last	Zeit	Typ	Länge	v [km/h]	GG	last1	last2	abstand2	last3	abstand3	last4	abstand4	last5	abstand5
11	64	Halb	11.07.2018	96	1.073,00	60,00	17.782,00	6.157,00	7.389,00	296,00	4.236,00	778,00				
12	64	Halb	11.07.2018	96	1.087,00	61,00	17.222,00	5.789,00	7.332,00	315,00	4.121,00	772,00				
13	80	Halb	11.07.2018	96	1.129,00	77,00	17.628,00	6.086,00	7.443,00	326,00	4.099,00	803,00				
14	64	Halb	11.07.2018	35	1.169,00	63,00	21.215,00	7.177,00	8.165,00	311,00	1.668,00	564,00	1.788,00	188,00	2.418,00	106,00
15	64	Halb	11.07.2018	96	1.081,00	63,00	18.948,00	6.563,00	7.557,00	302,00	4.828,00	779,00				
16	80	Halb	11.07.2018	96	1.071,00	78,00	19.315,00	6.472,00	7.841,00	305,00	5.002,00	766,00				
17	80	Halb	11.07.2018	96	1.134,00	82,00	19.388,00	6.641,00	8.227,00	318,00	4.521,00	817,00				
18	64	Halb	11.07.2018	96	1.121,00	63,00	18.366,00	6.614,00	7.915,00	320,00	3.838,00	802,00				
19	80	Halb	11.07.2018	96	1.119,00	79,00	17.988,00	6.162,00	7.774,00	331,00	4.051,00	788,00				
20	80	Halb	11.07.2018	96	1.146,00	83,00	17.771,00	6.229,00	7.664,00	330,00	3.878,00	817,00				
21	80	Halb	11.07.2018	96	1.176,00	82,00	16.267,00	5.909,00	7.370,00	333,00	2.988,00	843,00				
22	80	Halb	11.07.2018	96	1.142,00	82,00	16.683,00	6.062,00	7.577,00	325,00	3.044,00	817,00				
23	80	Halb	11.07.2018	96	1.164,00	82,00	17.570,00	6.293,00	7.695,00	325,00	3.582,00	839,00				
24	80	Halb	11.07.2018	96	1.065,00	76,00	16.603,00	6.081,00	7.236,00	287,00	3.286,00	778,00				
25	64	Halb	11.07.2018	96	1.092,00	63,00	16.461,00	6.027,00	7.266,00	296,00	3.168,00	796,00				

Tab. 14: Fortsetzung

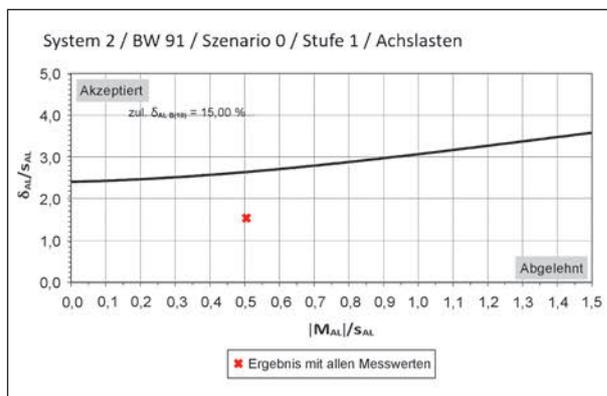


Bild 86: Abweichungen der Achslasten von System 2 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens

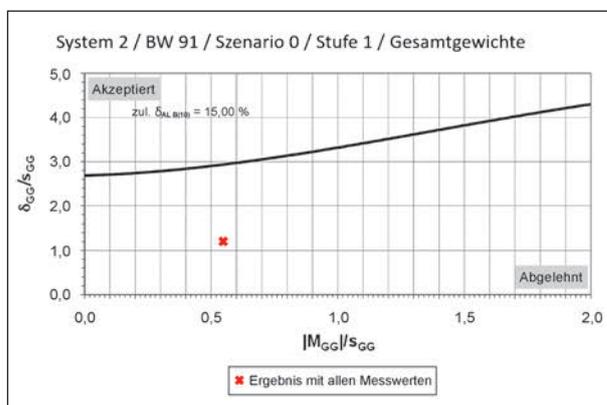


Bild 87: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens

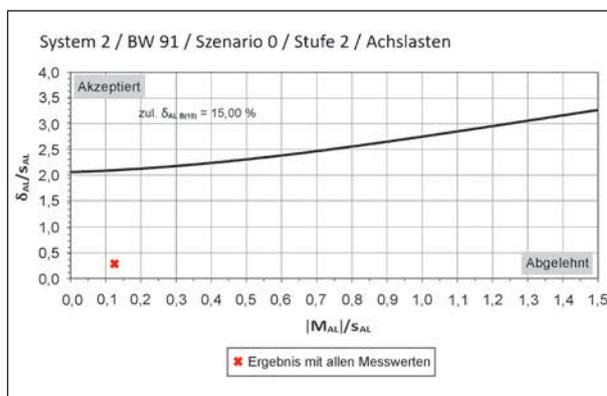


Bild 88: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens

und Einstufung nach Stufe 2 zwar möglich, aber nur sehr bedingt aussagekräftig. Hier lagen die ermittelten Abweichungen bei den Achslasten mit 86,29 % ohne Nullachsen und sogar mit 117,37 % mit Nullachsen in der Genauigkeit sehr schlecht (15,0 % gefordert).

Bei den Achslastgruppen war die Abweichung mit einer Abweichung von 47,70 % weit unterhalb der

geforderten 13,0 %. Bei den Gesamtgewichten in Stufe 2 wurde nur eine Abweichung von 27,91 % (10,0 % gefordert) erreicht (Bild 89 bis Bild 90).

Für das System 2 an Bauwerk 91 waren ebenfalls in allen Stufen die Bewertungen zur Achslasterfassung unterhalb der Akzeptanzkurve.

In einem zweiten Schritt wurden in 3 Szenarien jeweils nur 15 Fahrten betrachtet. Die Ergebnisse sind in Bild 91 bis Bild 95 dargestellt.

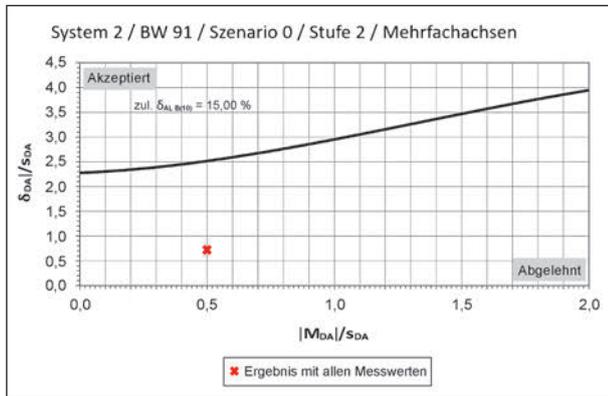


Bild 89: Abweichungen der Achslastgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens

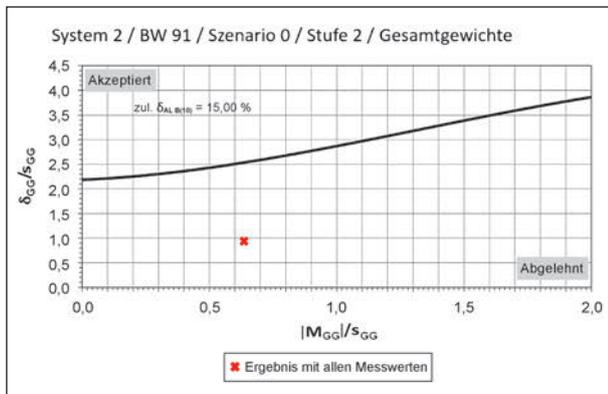


Bild 90: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens

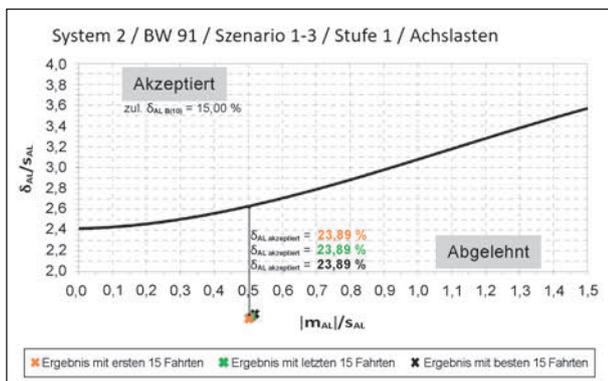


Bild 91: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

Insgesamt zeigt sich hierbei unabhängig vom Szenario, dass auch bei einer Betrachtung von 15 Fahrten alle Wertepaare unterhalb der Grenzkurve liegen und somit abgelehnt werden. Die Abweichungen, bei denen die Wertepaare akzeptiert würden, liegen hierbei deutlich über den angesetzten Grenzwerten.

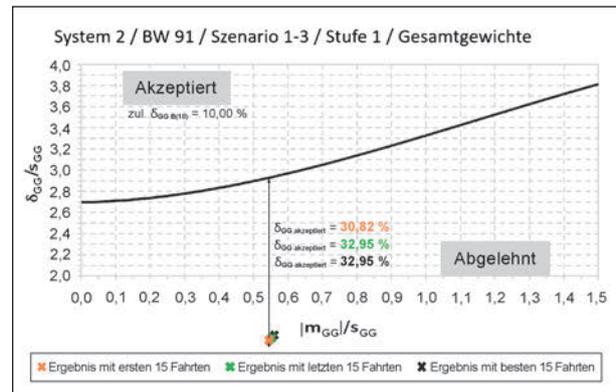


Bild 92: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

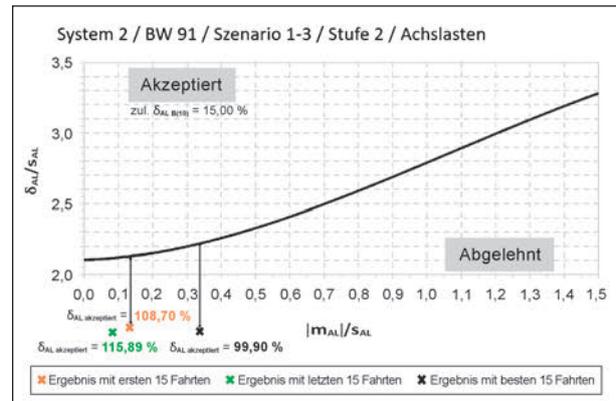


Bild 93: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

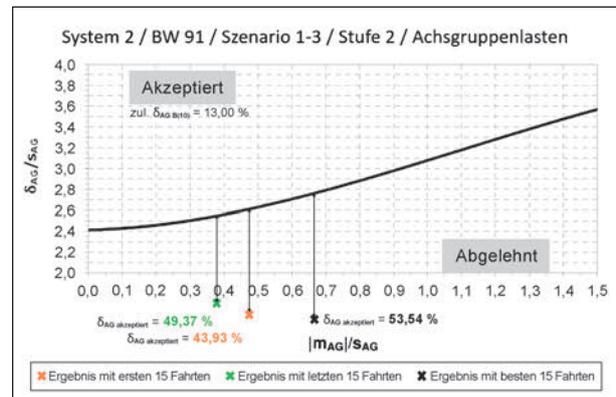


Bild 94: Abweichungen der Achslastgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

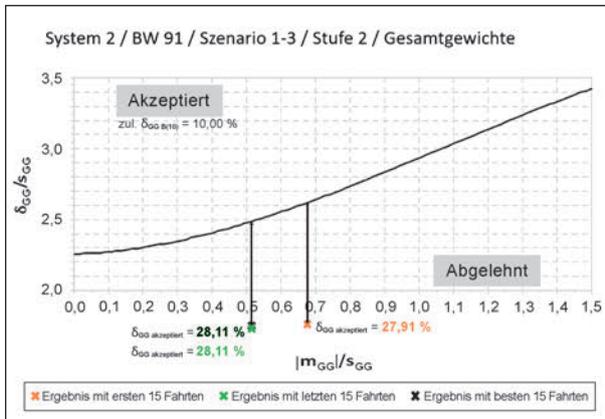


Bild 95: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

Die teilweise unterschiedlichen Ergebnisse ergeben sich dadurch, dass jeweils andere Kollektive der Auswertung zugrunde gelegt wurden.

Die nicht erkannten Dreifachachsen am Bauwerk 91 zeigten sich deutlich in der Überprüfung der Fahrzeugklassifikation. Hier wurde am Bauwerk 91 unter Halblast des Sattel-Kfz nie die richtige Fahrzeugklasse ausgewiesen. Auch unter Volllast war die Klassifizierung in vier von 25 Fällen fehlerhaft. Meistens wurden hier keine Dreifachachsen, sondern Doppel- oder Einfachachsen erkannt.

Wenn das System eine Fahrzeugklassifizierung für den 2-Achser ausgegeben hat, wurde dieser auch in allen Fällen richtig erkannt. Die Ergebnisse der Fahrzeugklassifizierung können in Bild 96 eingesehen werden.

Die Achsabstände, welche vom System 2 erfasst wurden, wurden mit den am Testfahrzeug gemessenen Achsabständen verglichen. Auch hier durften die Werte aus dem Bridge-WIM-System um +/- 15 cm von den gemessenen abweichen. Die Erfassung des Achsabstands zwischen den beiden Achsen des 2-Achlers lag unter Volllast in drei von 15 Fällen im Toleranzbereich und unter Halblast in fünf von 15 Fällen. Die Achsabstände zwischen den Achsen 1 und 2 wurden unter Volllast nie genau genug gemessen und unter Halblast auch nur in einem von 25 Fällen genügend genau ausgegeben. Der Achsabstand zwischen den Achsen 2 und 3 wurde unter Volllast in 16 von 25 Fällen eingehalten, jedoch unter Halblast ist keine Messung genau genug. Die hinteren drei Achsen des Sattel-Kfz wurden unter Volllast meistens erkannt und auch in 19 (Achsabstand 3 und 4) bzw. 17 (Achsabstand 4 und 5) Fällen genau genug gemessen. Unter Halb-

BW 91 Volllast			BW 91 Halblast		
	A	B		A	B
SOLL-Klasse	8	98	SOLL-Klasse	8	98
IST-Klasse 1	8	98	IST-Klasse 1	8	96
IST-Klasse 2	8	98	IST-Klasse 2	8	96
IST-Klasse 3	8	98	IST-Klasse 3		96
IST-Klasse 4	8	98	IST-Klasse 4	8	96
IST-Klasse 5	8	98	IST-Klasse 5	8	96
IST-Klasse 6	8	98	IST-Klasse 6	8	96
IST-Klasse 7	8	98	IST-Klasse 7	8	96
IST-Klasse 8	8	98	IST-Klasse 8	8	97
IST-Klasse 9	8	98	IST-Klasse 9	8	96
IST-Klasse 10	8	98	IST-Klasse 10		96
IST-Klasse 11	8	98	IST-Klasse 11		96
IST-Klasse 12	8	98	IST-Klasse 12	8	96
IST-Klasse 13	8	98	IST-Klasse 13	8	96
IST-Klasse 14	8	97	IST-Klasse 14	8	35
IST-Klasse 15	8	98	IST-Klasse 15	8	96
IST-Klasse 16		98	IST-Klasse 16	8	96
IST-Klasse 17		98	IST-Klasse 17	8	96
IST-Klasse 18		98	IST-Klasse 18	8	96
IST-Klasse 19		99	IST-Klasse 19	8	96
IST-Klasse 20		98	IST-Klasse 20	8	96
IST-Klasse 21		98	IST-Klasse 21	8	96
IST-Klasse 22		99	IST-Klasse 22	8	96
IST-Klasse 23		98	IST-Klasse 23		96
IST-Klasse 24		98	IST-Klasse 24		96
IST-Klasse 25		97	IST-Klasse 25		96
IST-Klasse 26			IST-Klasse 26		
IST-Klasse 27			IST-Klasse 27		

Bild 96: Überprüfung der Fahrzeugklassifizierung System 2

last wurden am Bauwerk 91 lediglich zweimal eine vierte und nur einmal eine fünfte Achse erkannt.

Die Überprüfung der Achsabstände ist in Tabelle 15 dargestellt. Bei den Leerfeldern in der Darstellung wurde vom System nichts erfasst.

BW 91	A				B					
Volllast	1 - 2	Abweichung	1 - 2	Abweichung	2 - 3	Abweichung	3 - 4	Abweichung	4 - 5	Abweichung
Vermessung	470	[cm]	355	[cm]	590	[cm]	130	[cm]	130	[cm]
BWiM 1	430	-40	318	-37	694	104	131	1	131	1
BWiM 2	414	-56	323	-32	596	6	138	8	127	-3
BWiM 3	429	-41	316	-39	603	13	138	8	109	-21
BWiM 4	484	14	325	-30	575	-15	147	17	121	-9
BWiM 5	427	-43	320	-35	579	-11	118	-12	98	-32
BWiM 6	451	-19	314	-41	575	-15	137	7	122	-8
BWiM 7	449	-21	329	-26	631	41	125	-5	121	-9
BWiM 8	460	-10	310	-45	589	-1	102	-28	122	-8
BWiM 9	446	-24	323	-32	570	-20	145	15	113	-17
BWiM 10	423	-47	320	-35	592	2	107	-23	144	14
BWiM 11	446	-24	313	-42	619	29	131	1	134	4
BWiM 12	461	-9	323	-32	603	13	120	-10	142	12
BWiM 13	435	-35	320	-35	581	-9	120	-10	138	8
BWiM 14	451	-19	334	-21	709	119	115	-15	NULL	
BWiM 15	441	-29	323	-32	613	23	118	-12	129	-1
BWiM 16			319	-36	592	2	121	-9	138	8
BWiM 17			318	-37	606	16	142	12	146	16
BWiM 18			328	-27	586	-4	134	4	127	-3
BWiM 19			311	-44	564	-26	261	131	NULL	
BWiM 20			309	-46	596	6	120	-10	138	8
BWiM 21			327	-28	577	-13	123	-7	138	8
BWiM 22			319	-36	575	-15	262	132	NULL	
BWiM 23			323	-32	577	-13	127	-3	134	4
BWiM 24			319	-36	584	-6	111	-19	125	-5
BWiM 25			307	-48	692	102	115	-15	NULL	

BW 91	A				B					
Halblast	1 - 2	Abweichung	1 - 2	Abweichung	2 - 3	Abweichung	3 - 4	Abweichung	4 - 5	Abweichung
Vermessung	470	[cm]	355	[cm]	590	[cm]	130	[cm]	130	[cm]
BWiM 1	445	-25	301	-54	799	209	NULL		NULL	
BWiM 2	421	-49	332	-23	821	231	NULL		NULL	
BWiM 3	451	-19	336	-19	817	227	NULL		NULL	
BWiM 4	470	0	330	-25	817	227	NULL		NULL	
BWiM 5	445	-25	343	-12	813	223	NULL		NULL	
BWiM 6	420	-50	287	-68	789	199	NULL		NULL	
BWiM 7	409	-61	322	-33	863	273	NULL		NULL	
BWiM 8	427	-43	333	-22	745	155	132	2	NULL	
BWiM 9	450	-20	331	-24	776	186	NULL		NULL	
BWiM 10	443	-27	324	-31	791	201	NULL		NULL	
BWiM 11	467	-3	296	-59	778	188	NULL		NULL	
BWiM 12	456	-14	315	-40	772	182	NULL		NULL	
BWiM 13	444	-26	326	-29	803	213	NULL		NULL	
BWiM 14	432	-38	311	-44	564	-26	188	58	106	-24
BWiM 15	476	6	302	-53	779	189	NULL		NULL	
BWiM 16	447	-23	305	-50	766	176	NULL		NULL	
BWiM 17	475	5	318	-37	817	227	NULL		NULL	
BWiM 18	453	-17	320	-35	802	212	NULL		NULL	
BWiM 19	501	31	331	-24	788	198	NULL		NULL	
BWiM 20			330	-25	817	227	NULL		NULL	
BWiM 21			333	-22	843	253	NULL		NULL	
BWiM 22			325	-30	817	227	NULL		NULL	
BWiM 23			325	-30	839	249	NULL		NULL	
BWiM 24			287	-68	778	188	NULL		NULL	
BWiM 25			296	-59	796	206	NULL		NULL	

Tab. 15: Überprüfung der Achsabstände System 2

### 6.1.4 Ergebnis

Die Ergebnisse der Auswertung nach BASt (2007) zeigen, dass beide getesteten Bridge-WIM-Systeme zu große Abweichungen aufweisen und somit nicht die geforderten Abnahmekriterien erreichen. Dies betrifft sowohl die Achslasten, die Gesamtge-

wichte, die Fahrzeugklassifizierung als auch die Achsabstände.

Es zeigen sich allerdings große Unterschiede in der Bewertung der Ergebnisse beider Bridge-WIM-Systeme. So weist in allen Bereichen das System 1 geringere Abweichungen auf und liegt somit deut-

lich näher an der Akzeptanzkurve. Auch die Fahrzeugklassifizierung und die Ermittlung der Achsabstände ist besser. Bei beiden Bridge-WIM-Systemen wurden neben der Berücksichtigung aller Fahrten der Test-Lkw auch Analysen durchgeführt, bei denen die besten 15 Fahrten Berücksichtigung fanden. Hier konnte festgestellt werden, dass in diesem Fall die Abweichungen des Systems 1 oberhalb der Akzeptanzkurve lagen.

Als Ergebnis kann somit festgehalten werden, dass in der hier durchgeführten Testreihe die Systeme zwar zu große Abweichungen aufwiesen, aber durchaus Systeme bereits vorhanden sind, die nahe an die geforderte Akzeptanzkurve herankommen und in einigen Auswertungen die geforderten Anforderungen auch erfüllen.

## 6.2 Versuche mit ausgeleiteten und nachverwogenen Lkw

Während der Laufzeit des Pilotprojektes wurden seitens der Polizei und des BAG an ausgewählten Tagen Lkw ausgeleitet und am Parkplatz „Im Moos“

nachverwogen. Auch diese Daten standen für einen Vergleich der erreichten Genauigkeiten zur Verfügung.

### 6.2.1 Methodisches Vorgehen

Um eine Aussage über die Genauigkeit treffen zu können, wurde zunächst die Vorselektionswaage den Daten der ausgeleiteten und nachverwogenen Lkw gegenübergestellt (siehe Bild 97). Allerdings waren nur 13 Lkw vom Kontrollplatz an der Vorselektionswaage wiedergefunden worden. Alle 13 Fahrzeuge wiesen an der Vorselektionswaage ein sehr ähnliches Gewicht zu der Wägung am Kontrollplatz auf. Die größte Abweichung liegt hier bei 8,6 % und auch die Trendlinie durch den Ursprung liegt sehr nah an der idealen Winkelhalbierenden.

In Bild 98 sind die Achsanzahlen aus den Kontrollen den Achsanzahlen der Vorselektionswaage gegenübergestellt. Hierbei weisen alle 13 Fahrzeuge, die den Fahrzeugen auf dem Parkplatz zugeordnet worden sind, die korrekte Anzahl an Achsen auf.

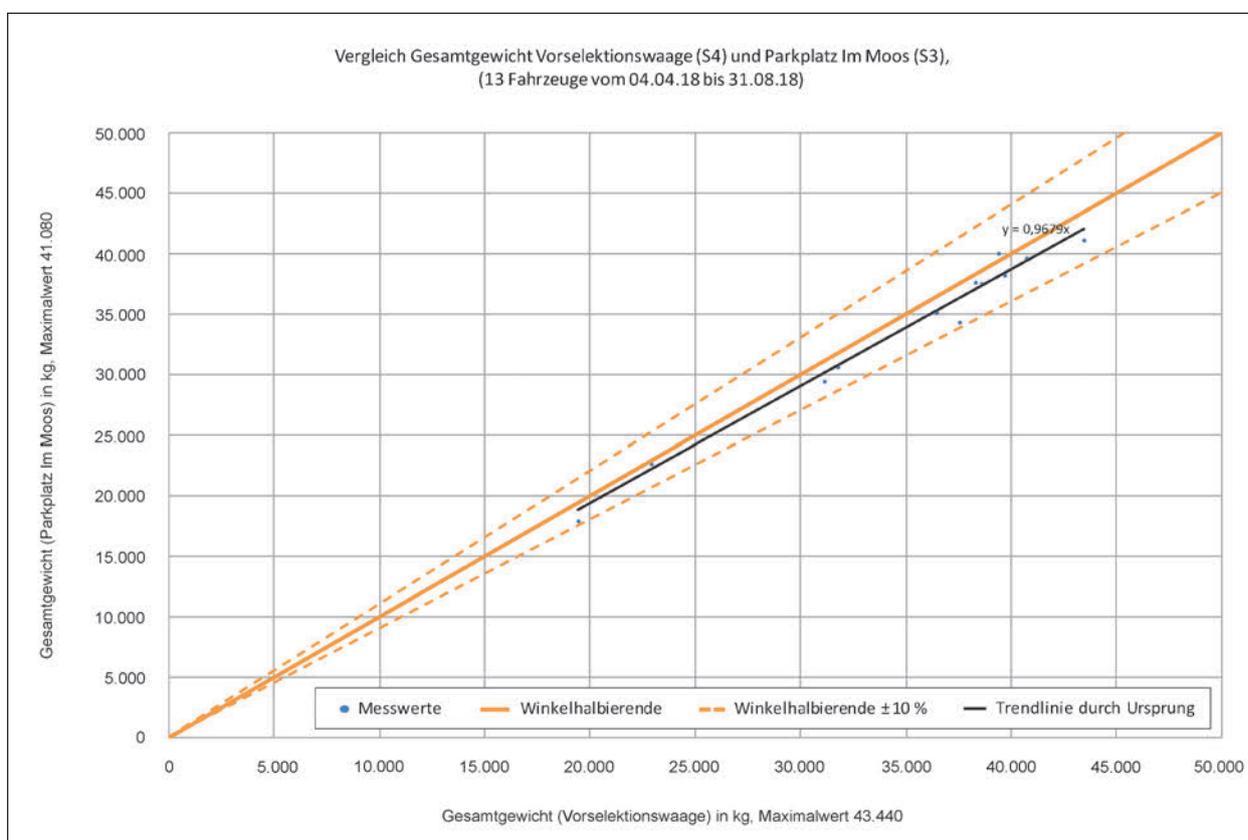


Bild 97: Vergleich Gesamtgewicht Parkplatz „Im Moos“ und Vorselektionswaage

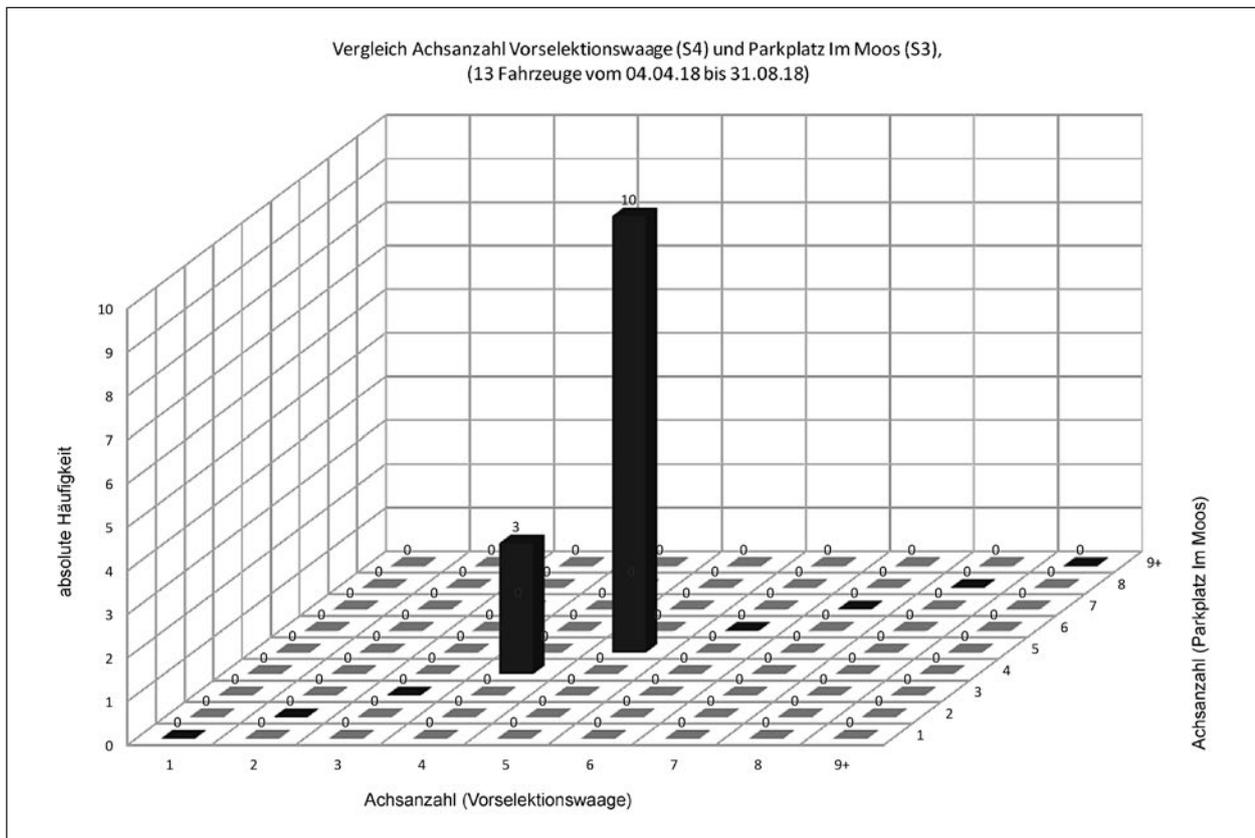


Bild 98: Vergleich Achszahl Parkplatz „Im Moos“ und Vorselektionswaage

Insgesamt zeigt sich, dass die Vorselektionswaage eine gute Erfassung der Fahrzeuge durchführt. Wie bei der Vorselektionswaage wurden auch die Daten der beiden Bridge-WIM-Systeme ausgewertet.

### 6.2.2 Auswertung System 1

Wie bei der Vorselektionswaage gezeigt lassen sich auch die Gesamtgewichte der Fahrzeuge beim System 1 mit den Verwiegungen auf dem Parkplatz „Im Moos“ vergleichen (Bild 99). Hier zeigt sich, dass lediglich 4 der 14 erfassten Fahrzeuge innerhalb einer Ungenauigkeit von 10 % erfasst worden sind. Neun Fahrzeuge wurden vom System 1 mehr als 10 % zu schwer erfasst. Ein Fahrzeug wurde von System 1 als viel zu leicht erfasst.

Betrachtet man die Achszahl, so zeigt sich, dass von den 14 Fahrzeugen, die auch am Parkplatz „Im Moos“ verwogen wurden, bei 12 Fahrzeugen eine korrekte Achszahl ermittelt wurde (siehe Bild 100). Zwei Fahrzeuge wiesen Abweichungen auf, wobei in beiden Fällen weniger Achsen detektiert wurden.

### 6.2.3 Auswertung System 2

Beim Vergleich der Daten des Systems 2 mit den Verwiegungen auf dem Parkplatz „Im Moos“ (siehe Bild 101) zeigten sich keine extremen Abweichungen. Jedoch liegen hier 7 der 19 erfassten Fahrzeuge über einer Ungenauigkeit von 10 %. Die lineare Trendlinie weicht von der Winkelhalbierenden weniger als 10 % ab.

Ein Vergleich der beiden Verwiegungen am Parkplatz „Im Moos“ erfassten Achszahlen mit den vom Bridge-WIM-Systeme erfassten Achszahlen ist in Bild 102 dargestellt. Hier sind es drei fünfsichtige Fahrzeuge, die zu wenige Achsen aufwiesen.

### 6.2.4 Ergebnis

Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass die Abweichungen der gemessenen Gesamtgewichte der Bridge-WIM-Systeme von den tatsächlichen Gesamtgewichten der ausgeleiteten und nachverwogenen Lkw größer sind als bei den Daten der Vorselektionswaage. Beim System 1 werden die Gesamtgewichte eher zu hoch gemessen, beim System 2 eher zu niedrig.

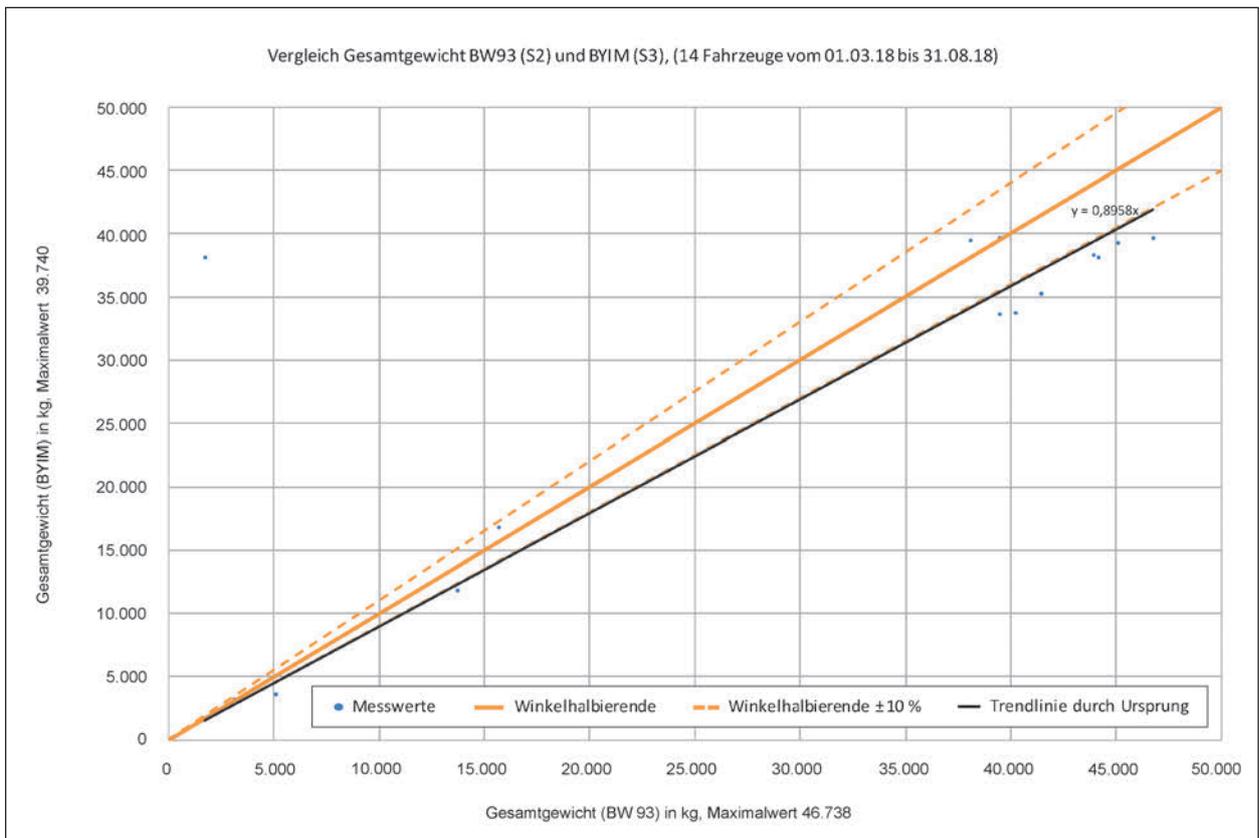


Bild 99: Vergleich Gesamtgewicht Parkplatz „Im Moos“ und System 1 (BW 93)

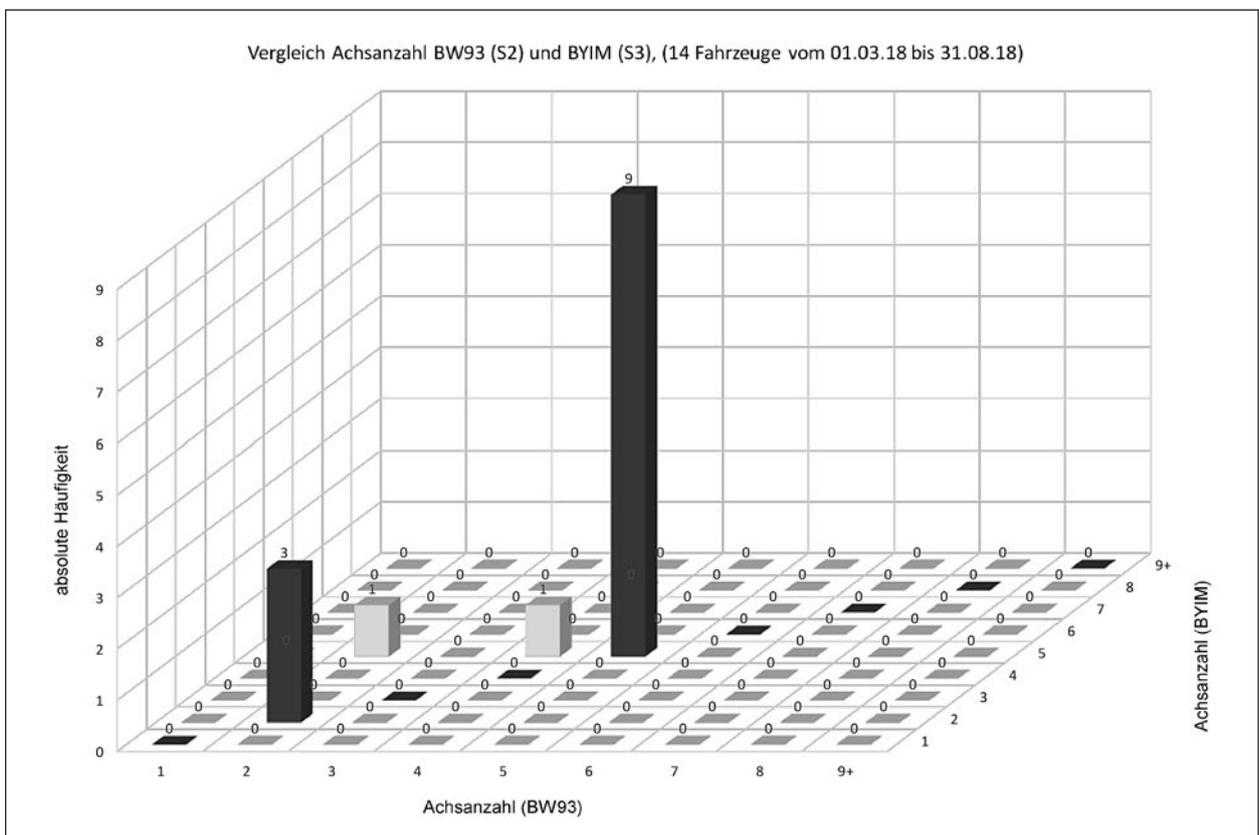


Bild 100: Vergleich Achszahl Parkplatz „Im Moos“ und System 1 (BW 93)

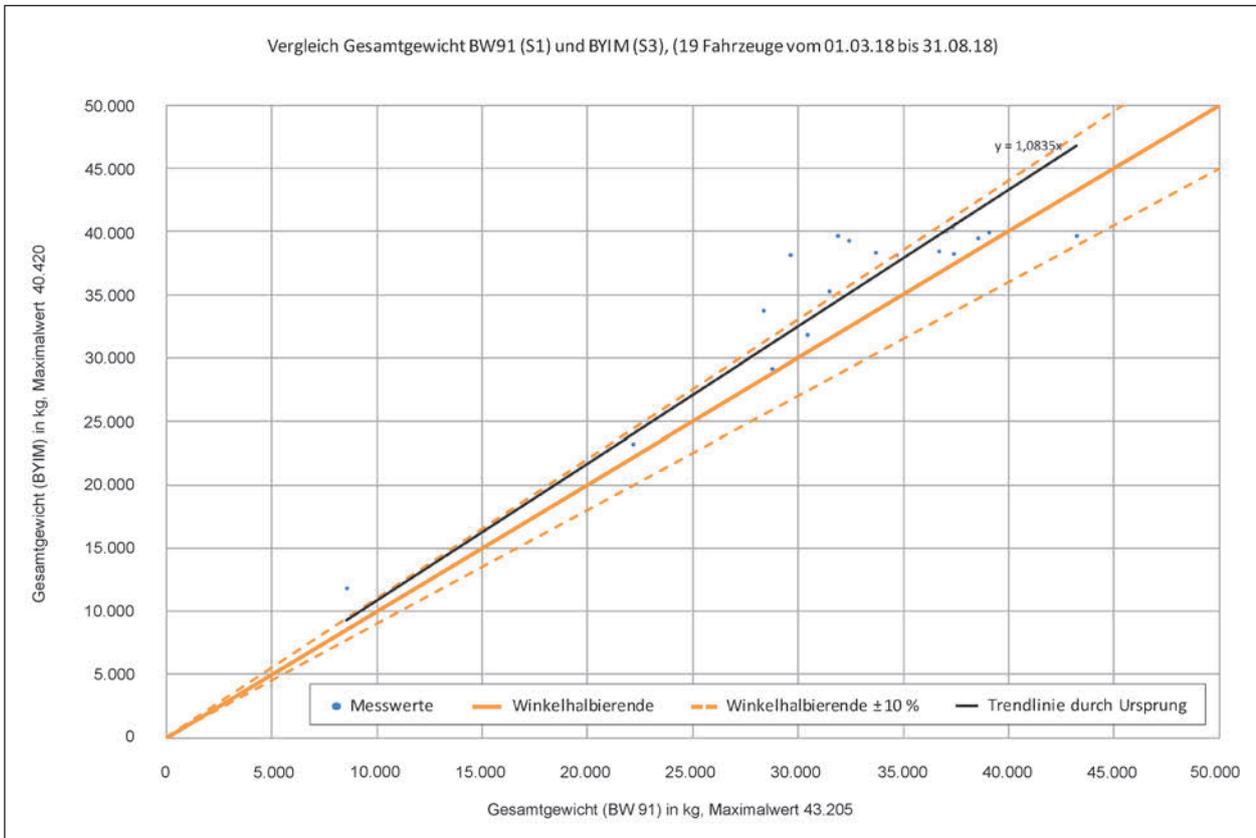


Bild 101: Vergleich Gesamtgewicht Parkplatz „Im Moos“ und System 2 (BW 91)

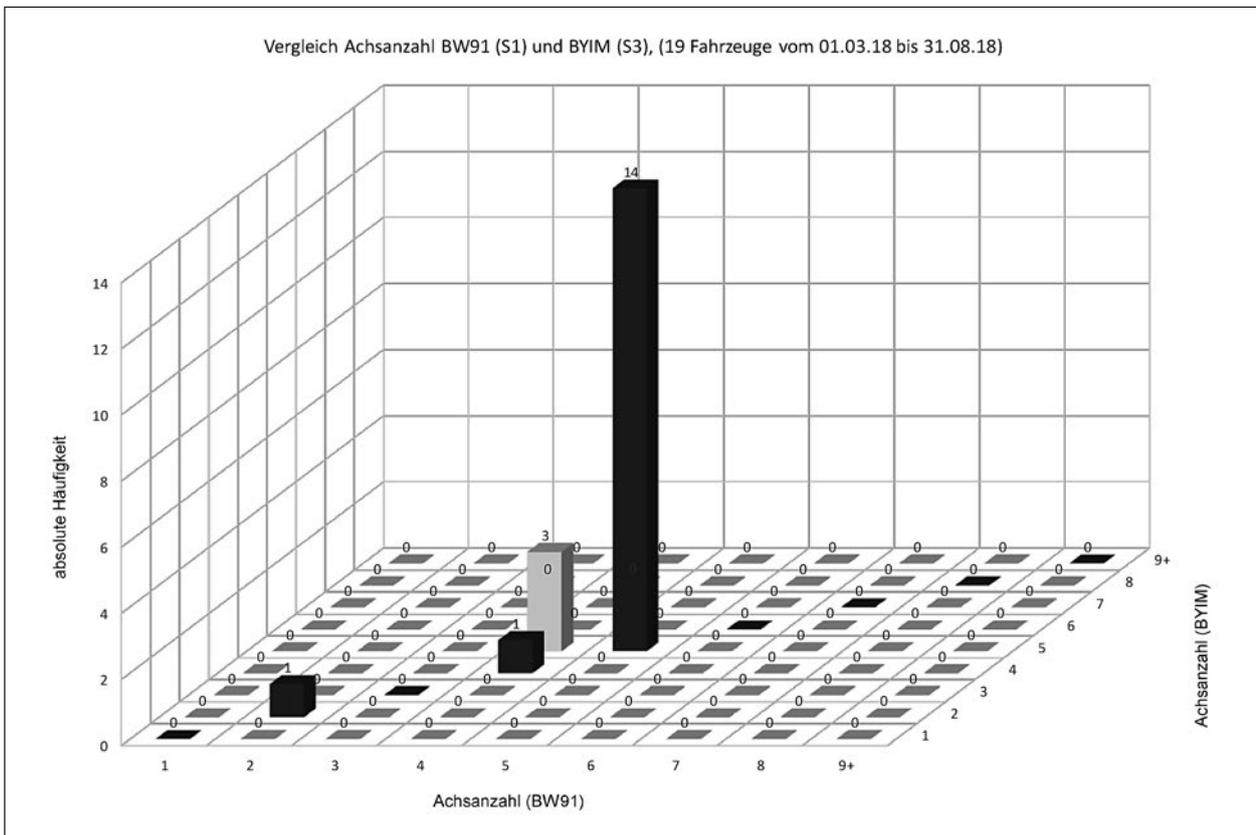


Bild 102: Vergleich Achszahl Parkplatz „Im Moos“ und System 2 (BW 91)

Hinsichtlich der Fahrzeugerkennung werden von beiden Systemen weitgehend die richtigen Achsanzahlen erkannt. Die Genauigkeit ist aber auch hier geringer als bei der Vorselektionswaage.

### 6.3 Vergleich mit im Zementwerk vorverwogene Lkw

Zusätzlich standen noch die Gesamtgewichtsdaten der im Zementwerk vorverwogenen Lkw zur Verfügung, die für einen Genauigkeitsvergleich herangezogen wurden. Auch konnte hiermit ein Vergleich der Achsanzahlen durchgeführt werden, da der Fahrzeugtyp bekannt war.

#### 6.3.1 Methodisches Vorgehen

Um auch hier eine Aussage über die Genauigkeit treffen zu können, wurden zunächst die Daten der Vorselektionswaage den Daten der im Zementwerk vorverwogenen Lkw gegenübergestellt. Hier konnten die Gesamtgewichte verglichen werden.

Im Vergleich der im Zementwerk vorverwogenen Gesamtgewichte der Lkw mit den an der Vorselek-

tionswaage ermittelten Gesamtgewichte ist zu erkennen, dass von den 405 an der Vorselektionswaage wiedergefundenen Fahrzeugen nur insgesamt 18 außerhalb einer Abweichung von 10 % lagen (Bild 103). Ein Großteil der Messwerte liegt somit innerhalb dieses Toleranzbereiches von 10 %. Auch die Trendlinie durch den Ursprung zeigte eine sehr nahe Lage an der Winkelhalbierenden, auf der die Wertepaare bei einer fehlerfreien Erfassung liegen müssen.

Eine weitere Analyse wurde auch hier in Bezug auf die Achsanzahlen durchgeführt, wobei die im Zementwerk vorverwogenen Fahrzeuge alle fünf Achsen hatten. Dies zeigte sich auch deutlich an der Vorselektionswaage, bei der 403 Fahrzeuge, die den im Zementwerk vorverwogenen Lkw zugeordnet worden sind, ebenfalls fünf Achsen aufwiesen (Bild 104). Insgesamt 2-mal wurden weniger als fünf Achsen erfasst. Einen Hinweis auf falsch gemachte Fahrzeuge liefert die Datengrundlage hier allerdings nicht.

Somit hat sich gezeigt, dass die im Zementwerk vorverwogenen Lkw an der Vorselektionswaage wiedergefunden werden konnten und eine gute

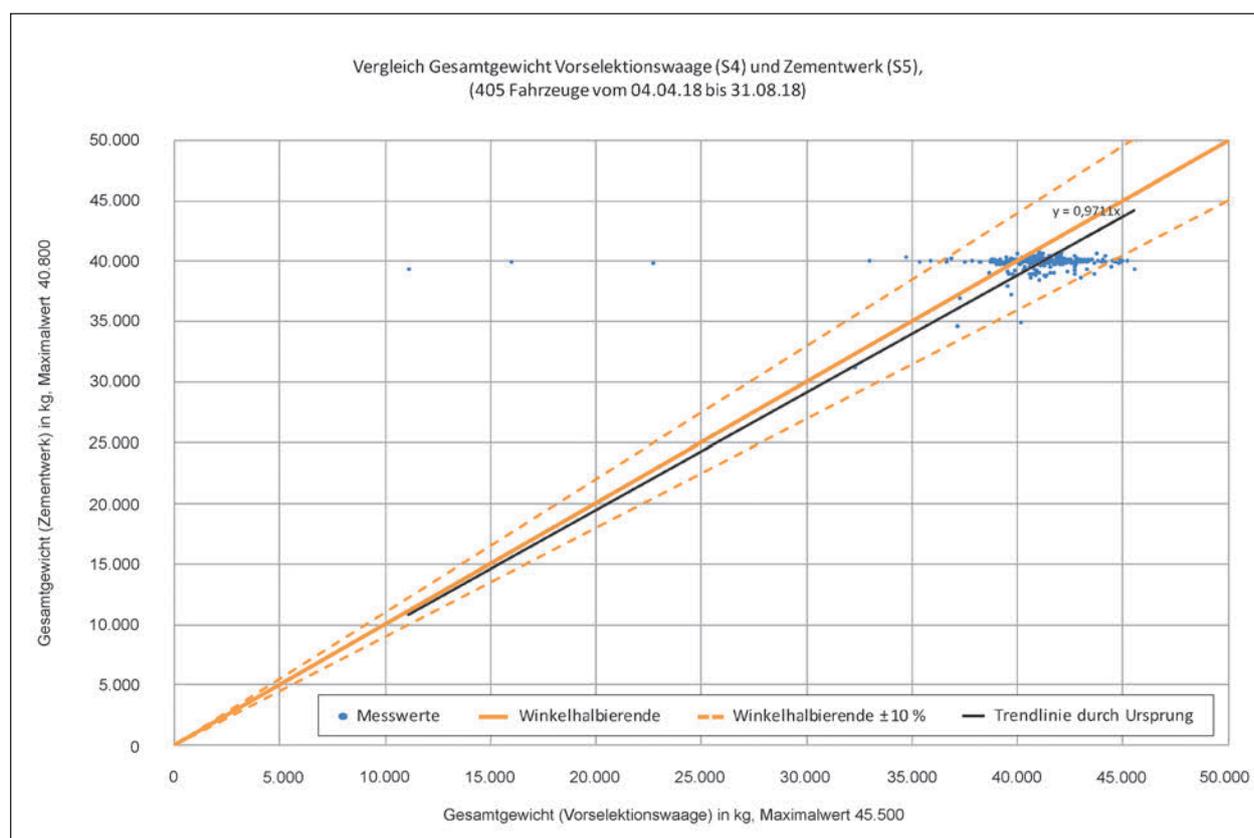


Bild 103: Vergleich Gesamtgewicht Zementwerk und Vorselektionswaage

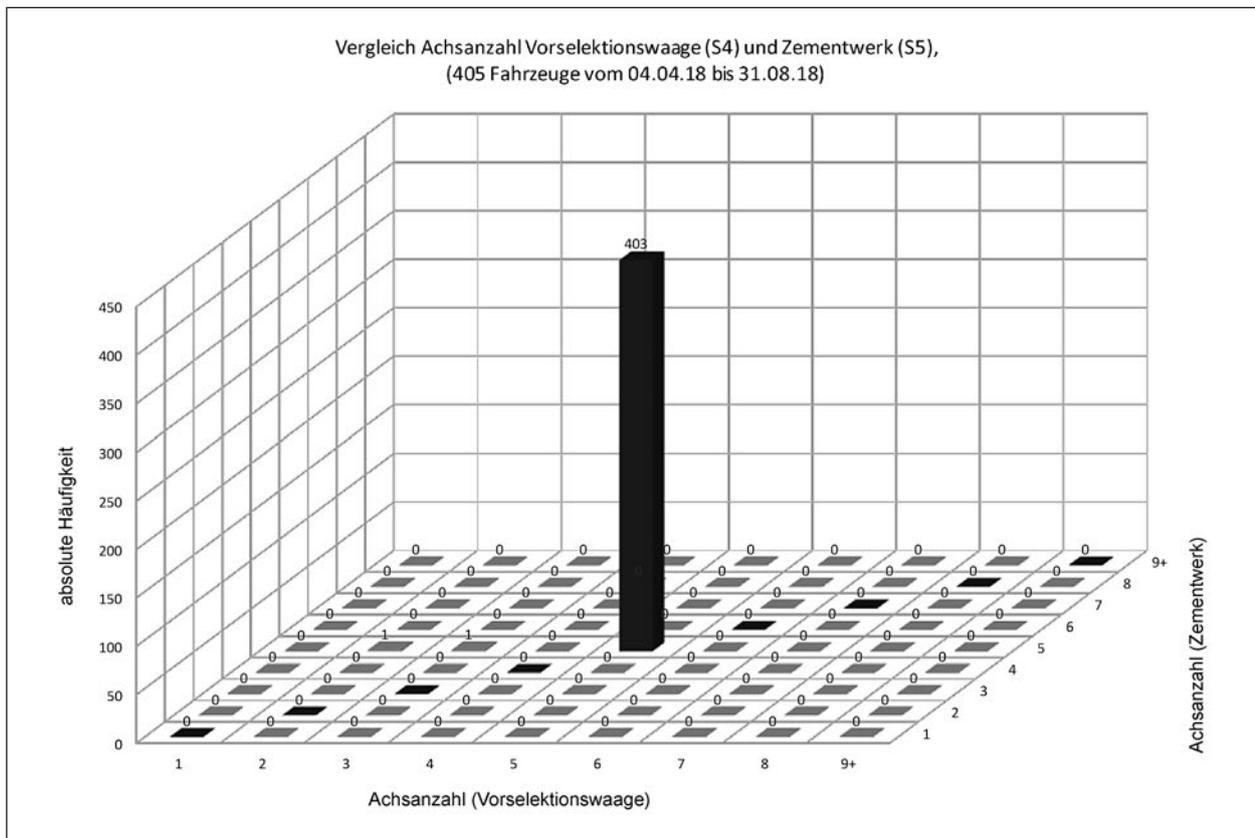


Bild 104: Vergleich Achszahl Fahrzeuge Zementwerk und Vorselektionswaage

Übereinstimmung sowohl hinsichtlich der Gesamtgewichte als auch hinsichtlich der Achszahl erreicht wurde. Mittels dieser Methodik konnten nun auch die beiden Bridge-WIM-Systeme überprüft werden.

### 6.3.2 Auswertung System 1

Im Vergleich der im Zementwerk vorverwogenen Fahrzeuge und der Verwiegung dieser Fahrzeuge am System 1 (Bild 105) zeigt sich zunächst, dass 15 der 334 wiedererkannten Fahrzeuge eine Abweichung von mehr als 10 % aufwiesen. Auch die lineare Trendlinie der Einzelmessungen zeigte eine sehr gute Annäherung an die Winkelhalbierende, welche den Idealfall darstellt.

Es lag die Vermutung nahe, dass es sich bei den Fahrzeugen mit starker Abweichung um eine falsche Zuordnung im System handelt und fälschlicherweise ein anderes Fahrzeug zugeordnet wurde. Nach Prüfung der Rohdaten konnte dieser Verdacht bestätigt werden. Anscheinend hat in der Datenerfassung zwischen der Fahrzeugidentifizierung und der Erfassung durch das Bridge-WIM-System

am Bauwerk 93 durch einen Zeitversatz von zwei Sekunden eine Verschiebung stattgefunden.

Für die durch das System 1 erhobenen Daten konnte ebenfalls ein Vergleich der Achszahlen durchgeführt werden (Bild 106). Von den 334 Fahrzeugen wurden bei lediglich einem Fahrzeug weniger Achsen vom System 1 registriert.

### 6.3.3 Auswertung System 2

Am System 2 konnten für die Auswertung insgesamt 642 Messwerte analysiert werden. Hier zeigte sich, dass insgesamt 226 von 642 Messwerte außerhalb einer Ungenauigkeit von 10 % liegen. Die lineare Trendlinie durch den Ursprung liegt nah an der Winkelhalbierenden. Einzelne Werte zeigen auch hier größere Abweichungen (beispielsweise 21 t statt 40 t), die möglicherweise durch ein verschobenes Matching erklärt werden können.

Bei den Achszahlen ist im Vergleich zwischen System 2 und der im Zementwerk vorverwogenen Lkw (Bild 108) zu erkennen, dass fast 30 % (179 von 642 Fahrzeugen) der Erfassungen des Systems 2 eine Achse zu wenig aufweisen.

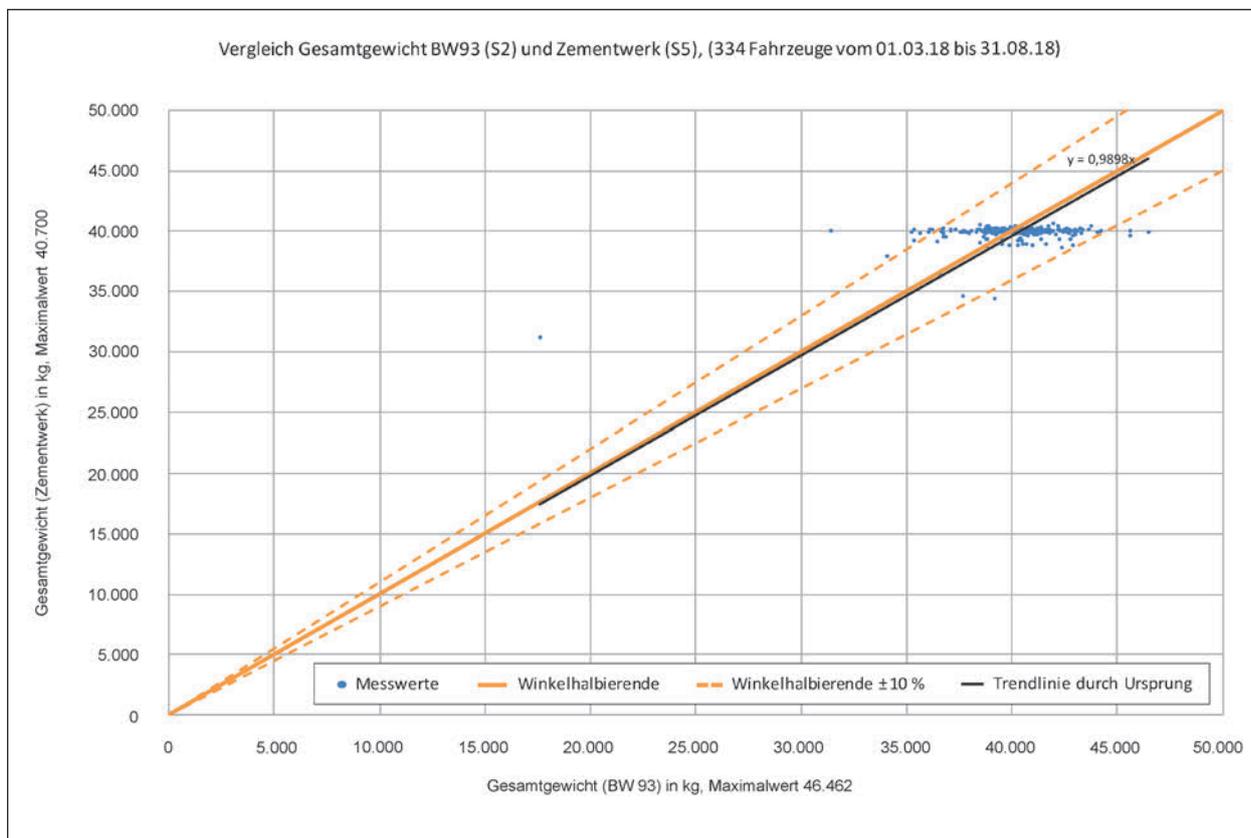


Bild 105: Vergleich Gesamtgewicht Zementwerk und System 1 (BW 93)

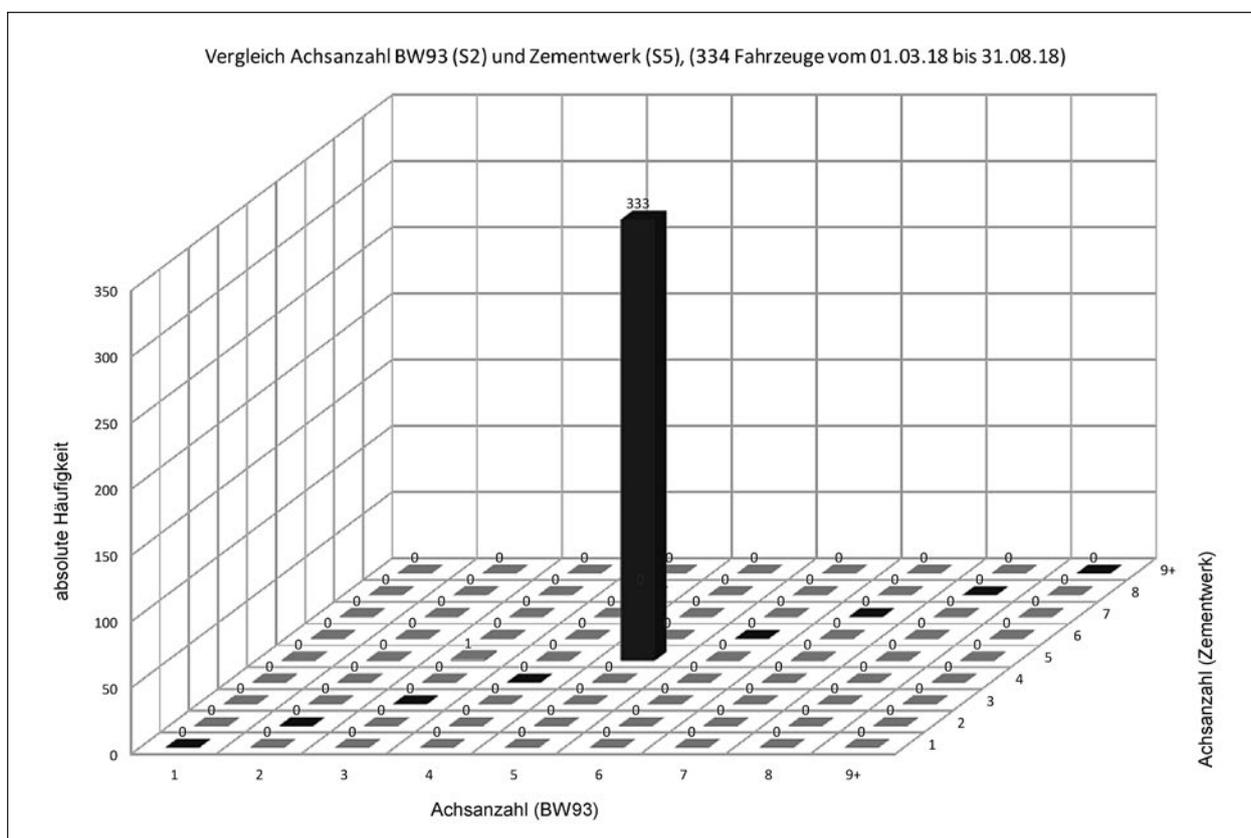


Bild 106: Vergleich Achszahl im Zementwerk vorverwogener Lkw und System 1 (BW 93)

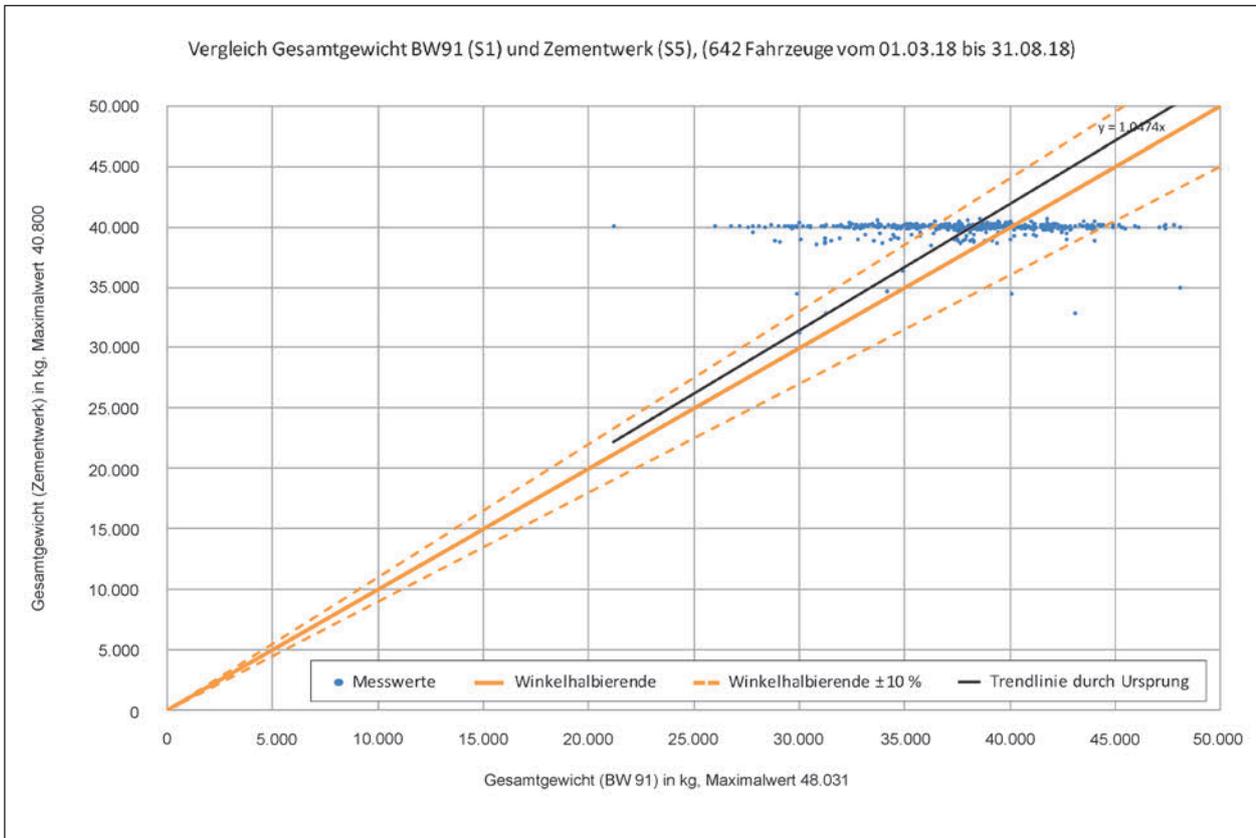


Bild 107: Vergleich Gesamtgewicht Zementwerk und System 2 (BW 91)

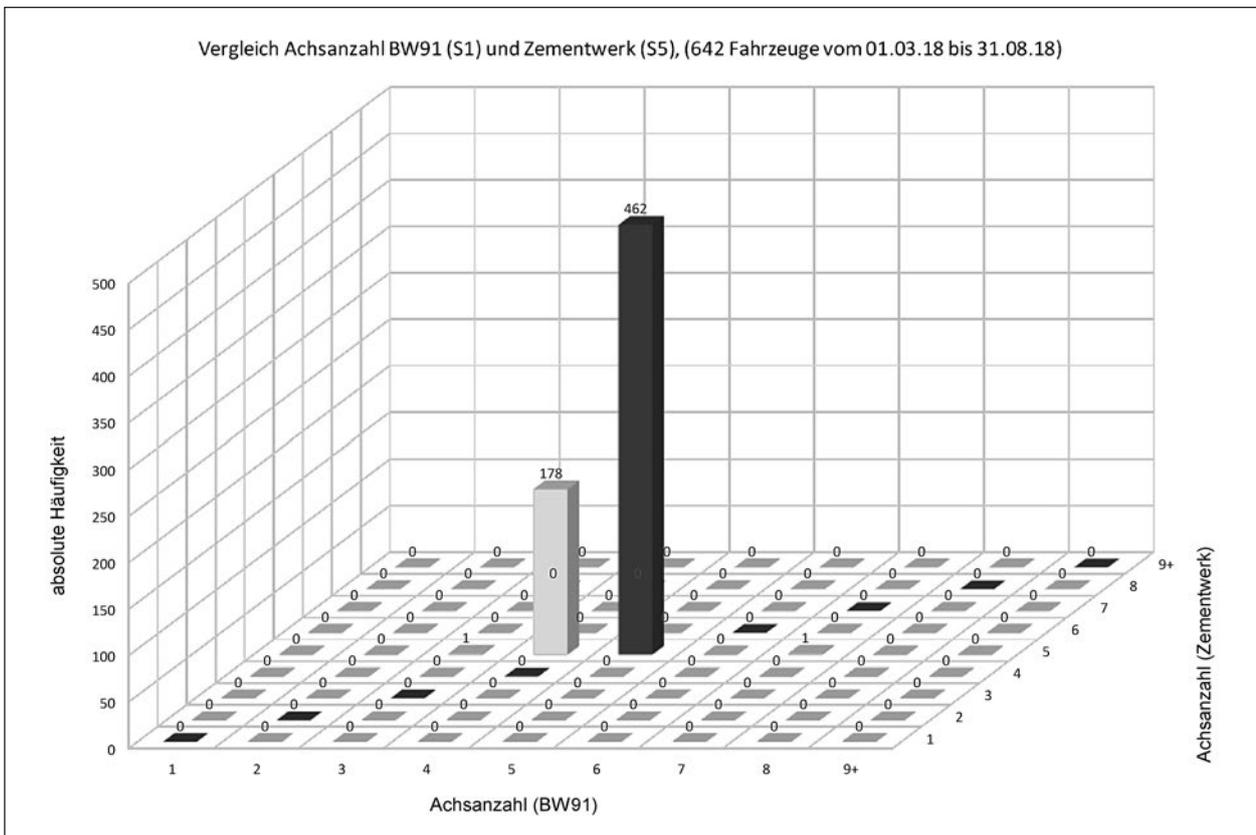


Bild 108: Vergleich Achszahl Zementwerk und System 2 (BW 91)

### 6.3.4 Ergebnis

Insgesamt zeigt die Auswertung, dass sowohl bei der Vorselektionswaage als auch bei den beiden Bridge-WIM-Systeme Unterschiede zwischen den ermittelten Gesamtgewichten auftreten.

Das System 1 weist eine ähnliche Bandbreite auf wie die Vorselektionswaage, während das System 2 eine deutliche größere Streuung zeigt.

Ein vergleichbares Ergebnis zeigt sich auch bei der Betrachtung der Achszahlen. Sowohl Vorselektionswaage als auch das System 1 erkennen sehr gut die Achszahlen, während bei System 2 bei rund 30 % der Achsbestimmungen Unterschiede auftraten.

## 6.4 Vergleich der automatisch erhobenen Daten der Bridge-WIM-Systeme mit den Daten der Vorselektionswaage

In den bisherigen Kapiteln konnte bereits gezeigt werden, dass die Daten der Vorselektionswaage eine hohe Genauigkeit besitzen. Somit bietet es

sich an, die Daten der Vorselektionswaage mit den Daten der beiden Bridge-WIM-Systeme zu vergleichen. Dies hat insbesondere den Vorteil, dass – anders als bei den bislang durchgeführten Analysen – die Stichprobe deutlich größer ist.

### 6.4.1 Methodisches Vorgehen

Um die Ergebnisse der Auswertung nicht durch extreme Ausreißer verfälschen zu lassen, wurden diese im Vorhinein herausgefiltert. Eine Auswertung der Gesamtgewichte als relative Summenhäufigkeit (Bild 109) zeigte, dass bei einer Eingrenzung der Gesamtgewichte auf weniger als 55 t mehr als 99,85 % der Fahrzeuge einbezogen wurden.

Für die untere Grenze wurde 5 t Gesamtgewicht gewählt, da es sich bei solch kleinen Gesamtgewichten nicht zweifelsfrei um Schwerverkehr handelt. Durch die untere Grenze wurden weitere 3,14 % der Fahrzeuge an der Vorselektionswaage ausgeschlossen. Hierdurch sollten auch kleinere Lkw, die leer gefahren werden, miterfasst worden sein, da diese in der Regel ein zulässiges Gesamtgewicht von bis zu 7,5 t haben. Die festgelegte Grenze bei 5 t wurde aus dem zulässigen Gesamt-

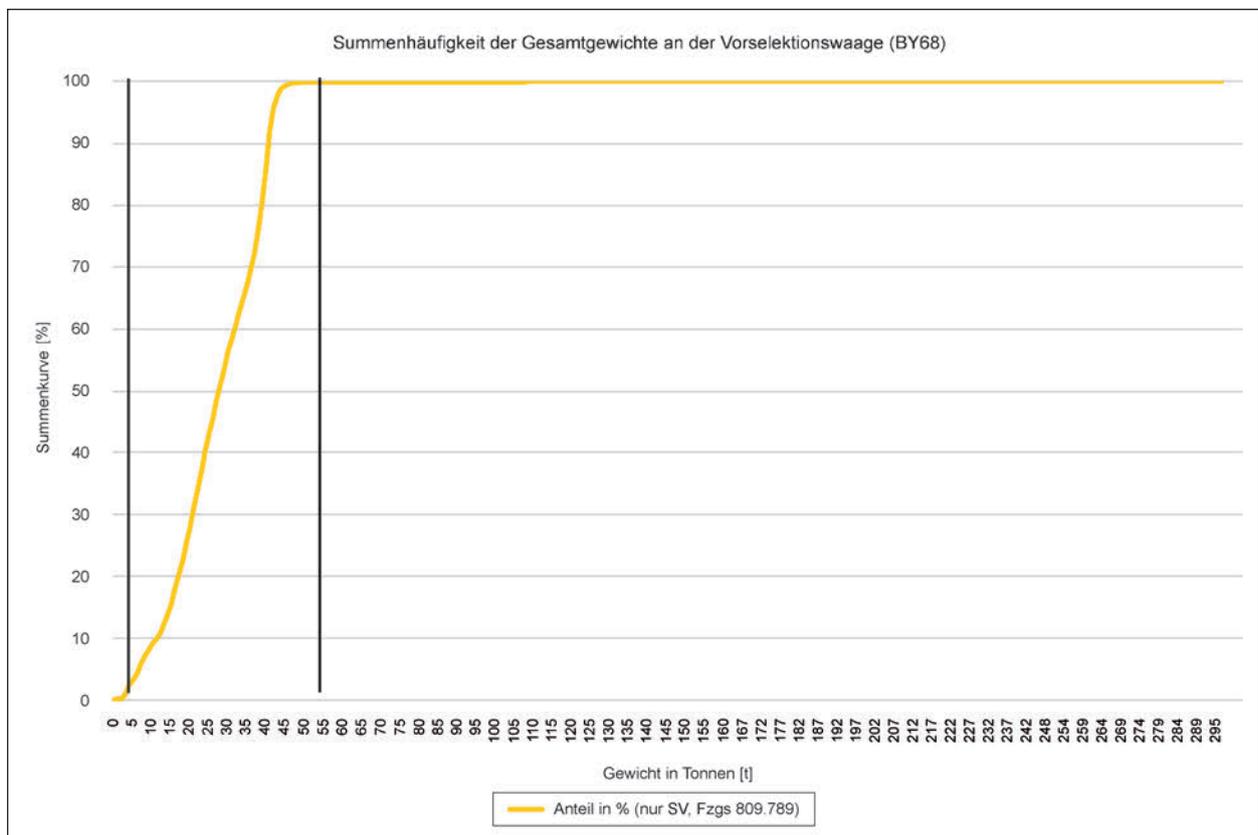


Bild 109: Summenhäufigkeit der Gesamtgewichte an der Vorselektionswaage

gewicht abzüglich der maximalen Nutzlast gleich des ungefähren betriebsfähigen Leergewichtes (z. B. 7,5 t zGG – 2,1 t Ntzl = 5,4 t oder 12 t zGG – 5,7 t Ntzl = 6,3 t) ermittelt.

Der Ausschluss von Daten außerhalb der Grenzen wurde nicht für die am Parkplatz „Im Moos“ verworbenen Fahrzeuge und die vorverwogenen Fahrzeuge der Spedition durchgeführt, da durch die sehr genaue Verwiegung auf dem Parkplatz bzw. im Zementwerk hier das reale Gesamtgewicht sehr genau festgehalten wurde.

Die so bereinigten Daten konnten nun gegenübergestellt werden. Hierbei wurden Auswertungen durchgeführt, wie sie bereits in den Kapiteln 6.2 und 6.3 beschrieben wurden.

Neben dem direkten Vergleich der Messwerte bot es sich in diesem Zusammenhang auch an, weitergehende Einflussfaktoren zu analysieren. Als mögliche Einflussfaktoren wurden hierbei Temperatur und Geschwindigkeit weitergehend betrachtet.

Bei einem Einfluss aufgrund unterschiedlicher Temperatur wäre die Temperatur der Fahrbahn zu betrachten. Beide Systeme waren an Bauwerken mit einer Fahrbahn aus Asphalt installiert. So beeinflussen die Temperaturen in der Fahrbahn physikali-

sche Eigenschaften von Asphalt und des Betons (Überbau) und könnten sich auf die Messungen der Systeme auswirken. Bei Asphalt könnten tiefe Temperaturen zu einer Versteifung des Materials führen oder bei hohen Temperaturen das Material weicher werden. Bei Beton können Temperaturgradienten zu Verformungen bzw. zu Eigenspannungen führen. Für die Eingrenzung der Temperaturen wurden Werte aus der Literatur bzw. aus der Bitumenprüfung herangezogen. So gibt der Brechpunkt nach Fraaß die Temperatur an, bei der Asphalt so spröde wird, dass das Bitumen im Asphalt bricht. Diese Temperatur liegt bei etwa  $-5\text{ °C}$  –  $-10\text{ °C}$ , je nach Art des Bitumens. Für hohe Temperaturen wird in der Bitumenprüfung die Temperatur im Versuch Erweichungspunkt Ring und Kugel festgestellt. Diese Temperatur gibt diejenige Temperatur an, bei der das Bitumen weich wird und nicht mehr genug Last abtragen kann. Der Erweichungspunkt Ring und Kugel liegt in der Literatur etwa bei  $55\text{ °C}$ . Ebenso wie die tatsächlichen Temperaturen ist als mögliche Ursache für Unterschiede in der Genauigkeit auch die Differenz zwischen der aktuellen Temperatur und der bei der Kalibrierung vorhandenen Temperatur denkbar. Bei der Kalibrierung des Systems 1 lagen die Lufttemperaturen bei etwa  $20\text{ °C}$ , bei System 2 bei rund  $10\text{ °C}$ .

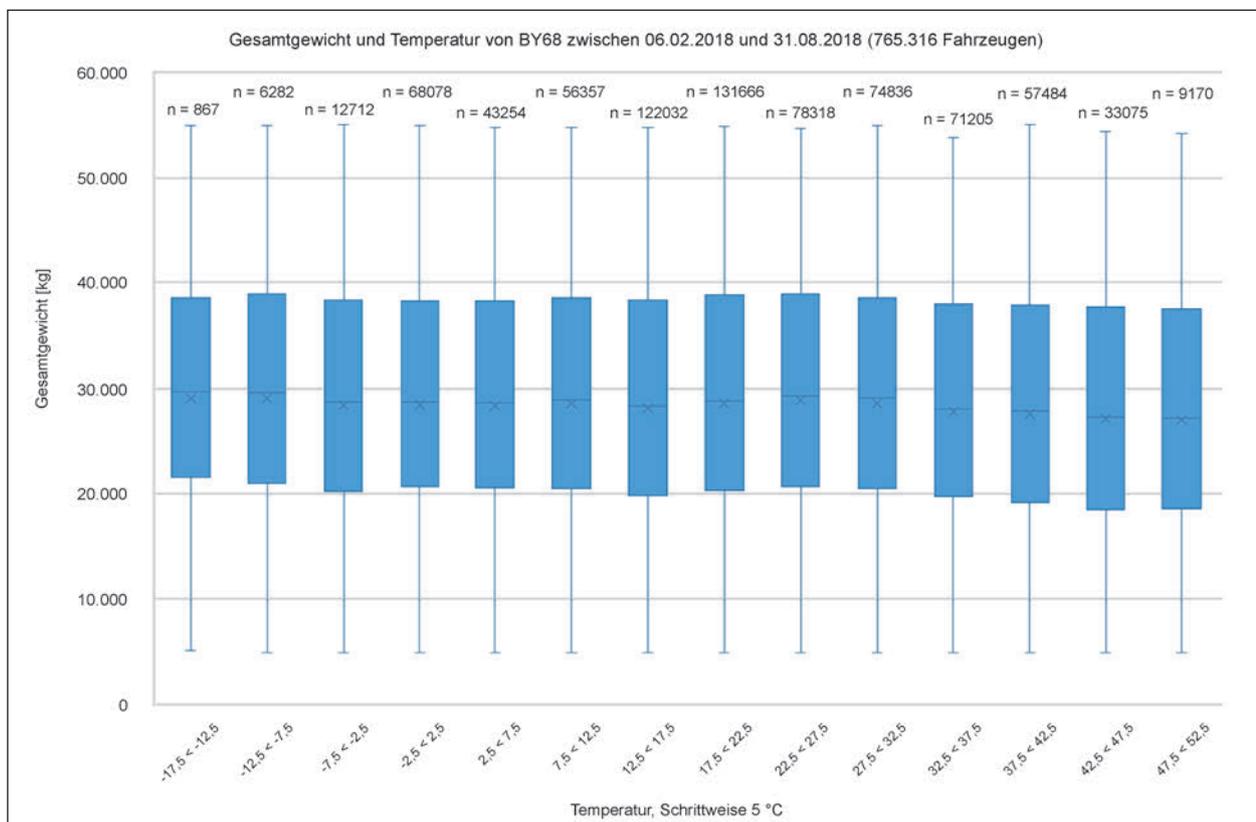


Bild 110: Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen der Vorselektionswaage

Bei der Vorselektionswaage handelt es sich um ein geprüftes und regelmäßig kalibriertes System, bei dem keine Temperaturabhängigkeit erwartet wird. Um hier eine Überprüfung durchzuführen, wurden die ermittelten Gesamtgewichte den Fahrbahnoberflächentemperaturen zugeordnet und die Verteilung in Form von Boxplots dargestellt. Dies geschieht auf der Grundlage, dass aufgrund der Gleichmäßigkeit des Schwerverkehrs ist zu erwarten, dass die Verteilung der Gesamtgewichte unabhängig von Jahreszeit und somit Temperaturverlauf ist. Die Temperaturen zum Zeitpunkt der Kalibrierung waren allerdings nicht bekannt. In dieser Art der Darstellung wird der Median als horizontale Linie innerhalb der Box gekennzeichnet. Die Box selbst markiert den Bereich, in dem 50 % aller Werte liegen. Demnach wird sie durch das obere (75 %) und untere (25 %) Quartil begrenzt. Die Länge der Box wird als Interquartilsabstand (interquartile range, IQR) bezeichnet. Die Linien ober- und unterhalb der Box, die sogenannten Whisker, enden bei dem Wert aus den Daten, der gerade noch innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands liegt, ragen jedoch nicht über/unter den größten/kleinsten Einzelwert hinaus. Zusätzlich sind die darüber hinaus liegenden Einzelwerte dargestellt. Die jeweiligen Verteilungen wurden hierbei in 5°-Schritten vorgenommen.

Es ist zu erkennen, dass unabhängig vom Temperaturbereich die Gesamtgewichtsverteilungen sich kaum unterscheiden. Somit sind die Messergebnisse der Vorselektionswaage weitgehend unabhängig von der Lufttemperatur und die Messwerte können als Referenz herangezogen werden.

Ebenso wie bei der Fahrbahnoberflächentemperatur ist auch ein Einfluss der Geschwindigkeit auf das Ergebnis der Messung möglich. Hierfür wurden die Abweichungen der Gesamtgewichte zwischen der Vorselektionswaage und dem jeweiligen System über Intervalle mit einer Schrittweite von 10 km/h dargestellt. Als Geschwindigkeit wurde hierbei die jeweils am Bridge-WIM-System gemessene Geschwindigkeit zugrunde gelegt.

#### 6.4.2 Auswertung System 1

Die in Bild 111 dargestellte Auswertung zeigt bereits, dass durch den Vergleich der Ergebnisse der Vorselektionswaage (BY68) und den Ergebnissen von System 1 eine deutlich größere Stichprobe zur Auswertung bereitgestellt werden konnte. Hier wurden 188.924 Fahrzeuge zwischen 5 und 55 t an beiden Systemen registriert. Insgesamt sind 21,7 % der Messungen mit einer Ungenauigkeit von mehr als

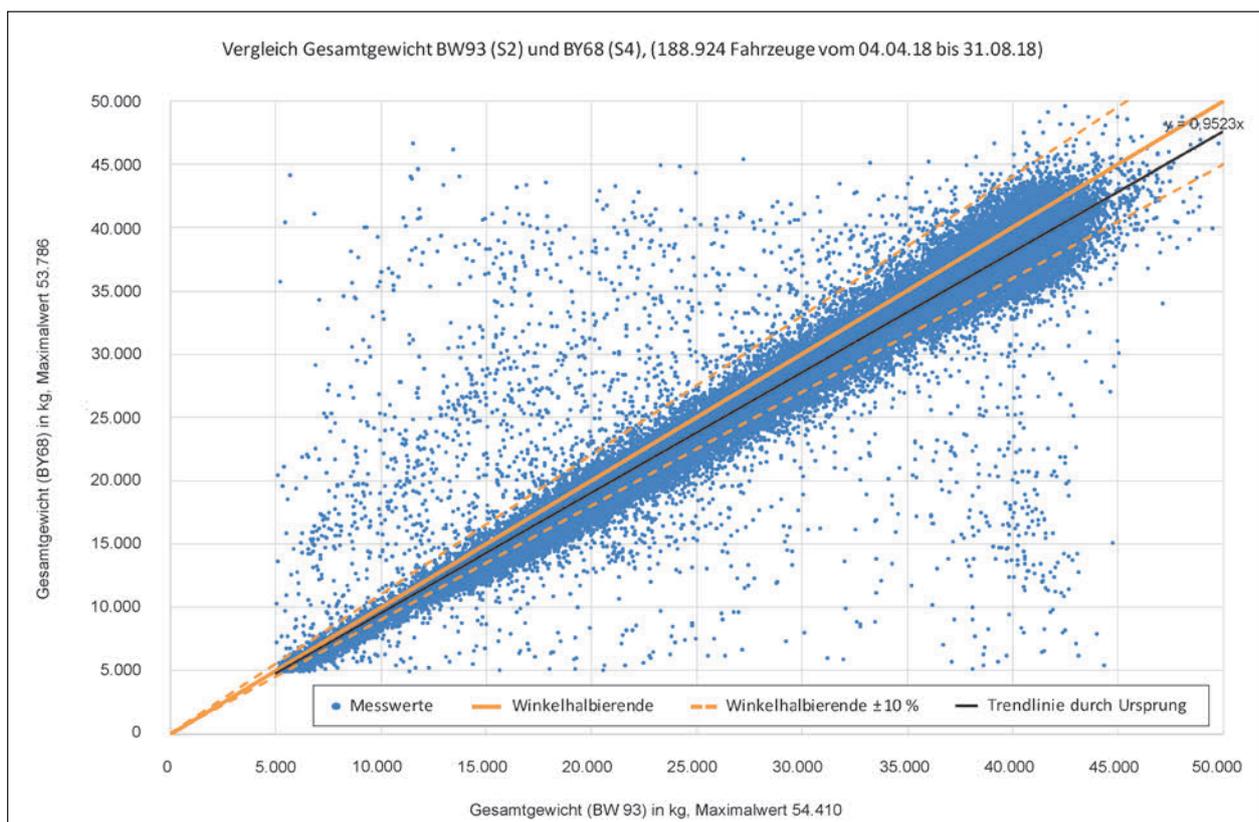


Bild 111: Vergleich Gesamtgewicht Vorselektionswaage und System 1 (BW 93)

10 % behaftet. Die lineare Trendlinie durch den Ursprung zeigt, dass eine gute Annäherung an die Winkelhalbierende erreicht wurde. Bei einer so großen Stichprobe konnte auch das Bestimmtheitsmaß der Messungen berechnet werden, um so einen Rückschluss auf die Güte der Trendlinie zu erhalten. Mit einem Wert von 0,914 liegt das Bestimmtheitsmaß hier in einem sehr guten Bereich.

Bei der Betrachtung des Vergleichs der Achsanzahlen zwischen der Vorselektionswaage und dem System 1 fällt auf, dass es zwar falsch erfasste Achsanzahlen gibt, diese jedoch im Vergleich zu den von beiden Systemen gleich erfassten Achsanzahlen sehr gering ausfallen (Bild 112). Insgesamt wurden in 180.454 von 188.924 Messungen die Achsanzahlen korrekt detektiert. Dies entspricht einem Anteil von 95,5 %.

Zusätzlich wurden exemplarisch einzelne Werte mit großer Abweichung geprüft. In Bild 112 wurden Prüfungsergebnisse von System 1 (BW 93) und der Vorselektionswaage visualisiert. Ein Fahrzeug mit guter Übereinstimmung wurde an beiden Standorten grün markiert. Außer dem exakten Hash-Wert des Kennzeichens wurden auch Fahrzeugtyp (98), Achsen (5) sowie die Achskonfiguration (E, E + Dr) an beiden Standorten erkannt. Die Messwerte der Fahrzeuglänge, des Gesamtgewichtes und der einzelnen Achsgewichte wurden mit gewissen Toleranzen erkannt. Ein offensichtliches Matchingproblem wurde orange markiert. Bei gleichen Hash-Wert wurden unterschiedliche Fahrzeugtypen (98 und 8) und Achsanzahlen (5 und 2) ausgegeben. Dies wird bei einer Abweichung von ca. 38,5 t (44,179 t zu 5,640 t) des Fahrzeuggewichtes deutlich. Bei dem orange markierten Fahrzeug an System 1 könnte eines der gelb markierten Fahrzeuge an der Vorselektionswaage zugeordnet werden. Diese enthalten keinen oder einen anderen Hash-Wert, aber die weiteren Werte (Fahrzeugtyp, -länge, -gesamtgewicht, -achsen und die Gewichte der einzelnen Achsen) weisen starke Ähnlichkeit auf. Die Fahrzeuge (Gelb und Orange) an der Vorselektionswaage wurden innerhalb von 20 Sekunden erkannt.

Die Analyse der Laufzeitstabilität der Messgenauigkeit wird über die Abweichung der Gesamtgewichte zwischen der Vorselektionswaage (BY 68) und dem jeweiligen System über den Gesamtzeitraum gezeigt (Bild 113). Die auffälligen Zeitbereiche mit bekannten Matchingproblemen (Ende Mai und ab Mitte August) wurden bei der Darstellung bereits ausgeblendet. In den dargestellten übrigen Zeitberei-

Standort: BW 93		Datei: merged-2018-04-18.csv													Standort: BW 68		Datei: merged-2018-04-18.csv												
Zeile: 1688-1691		Zeile: UTC+2 => + 0 Stunden													Zeile: 1310-1316		Zeile: UTC+2 => + 0 Stunden												
date ANPR	time ANP	ID-ANPR	time B-W	vehicle	length of	velocity	gross-weight	number of ax	type of	load of 1. ax	type of	load of 2. ax	type of	load of 3. ax	type of	load of 4. ax	type of	load of 5. ax											
18.04.2018	06:03:04	(SHA256)jd1b6acf1ec3caaa4886b7360396478d631a507257340e2c128d30e03e11d260c	06:03:21	98	1660	78,99444	44179,9095	5	1	8924,17359	1	12129,5218	3	7742,07136	3	7742,07136	3	7742,07136	3										
18.04.2018	06:03:21	(SHA256)6989ec5b68f96cb73cbb2f3c16077898e438944eaf027756a775ce15e5c6f1	06:03:23	98	1647,14	78,99444	38439,9281	5	1	7857,09533	1	10567,4189	3	6671,77745	3	6671,77745	3	6671,77745	3										
18.04.2018	06:03:27	(SHA256)cf685276d02eae022a4cb5ab05462924aed9a9c9e68e284ccc23927ed91c68																											
18.04.2018	04:08:33	(923272b3edd476b56f6e0c0806f93234eb822383fc72871f7e2903473612	04:08:32	8	870	88	10490	2	1	4290	1	6190																	
18.04.2018	04:08:34	7e68bdea9e72a20c10525b9d430e2c72a8a5f238f1da0c6b9b69b174e70b9	04:08:33	98	1170	90	42780	5	1	8210	1	12010	3	7540	3	7320	3	7690	3										
			04:08:20	98	1610	85	41330	5	1	7170	1	12400	3	7300	3	7110	3	7340	3										
18.04.2018	04:08:47	389d7a990c32c6a1d0c927c6a705c814e5bd7b-ab4d40475704e4ed5c7b1ba8e	04:08:46	97	1580	84	23460	4	1	7020	1	7950	2	4360	2	4130	2												
18.04.2018	04:08:51	7791aed55d3242aaccd8e1d9dc6daa0ce2c4f6c8d63c666af1410c38d30e143	04:08:50	0	2490	82	22300	4	1	6030	1	9610	1	3770	1	2900	1												
18.04.2018	04:08:59	5989ec5b68f96cb73cbb2f3c16077898e438944eaf027756a775ce15e5c6f1	04:08:58	8	800	89	5640	2	1	3070	1	2570																	
18.04.2018	04:09:01	e3154a5556ca22be77fe12029b510269f10c8cb0c6305075ba81bc2daaee4a	04:09:00	98	1610	88	39420	5	1	8100	1	1320	3	6650	3	6650	3	6670	3										
18.04.2018	04:09:02	049c5a14479e61b5610ea9e119ef9ca68070265e18a3a901dfe1bc1b54ae6fe	04:09:02	98	1670	90	23880	5	1	7320	1	7130	3	3070	3	3190	3	3180	3										

Tab. 16: Vergleich von Fahrzeugen System 1 (BW 93) und Vorselektionswaage

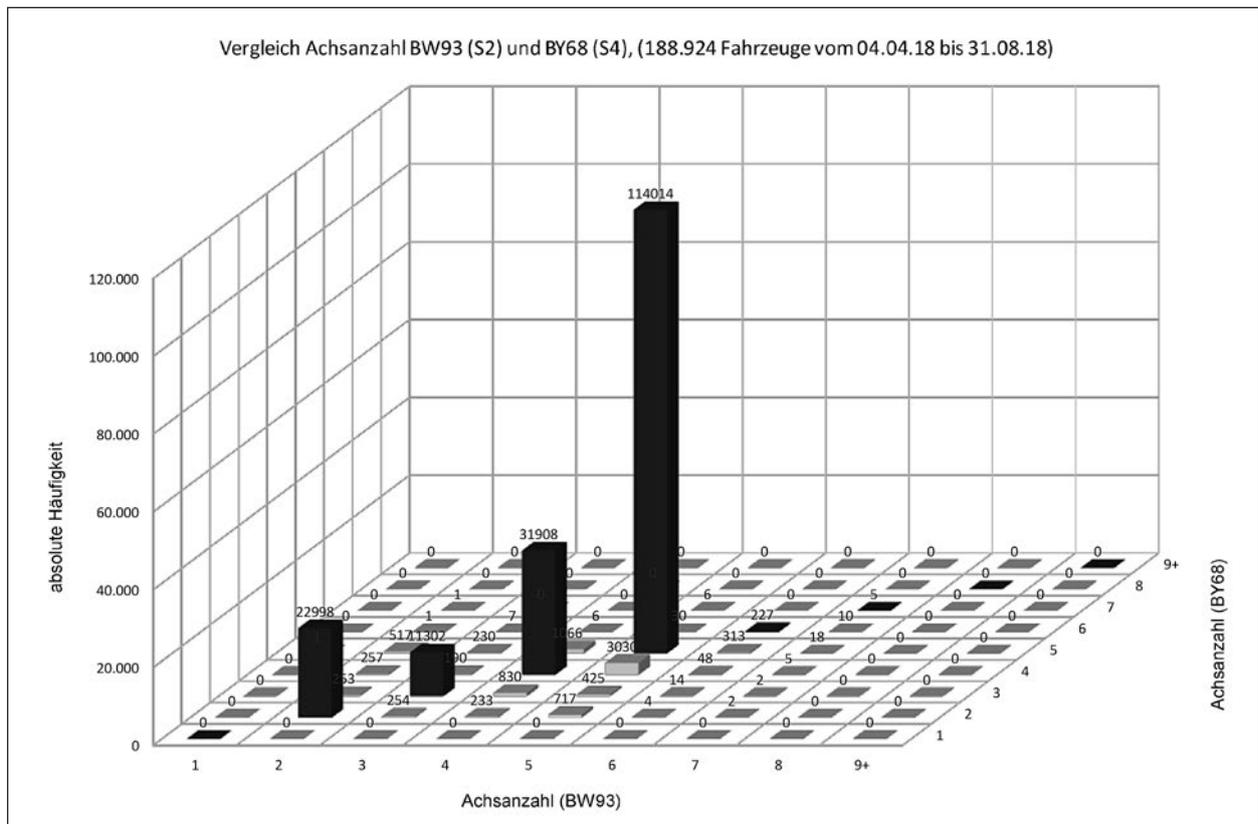


Bild 112: Vergleich Achszahl Vorselektionswaage und System 1 (BW 93)

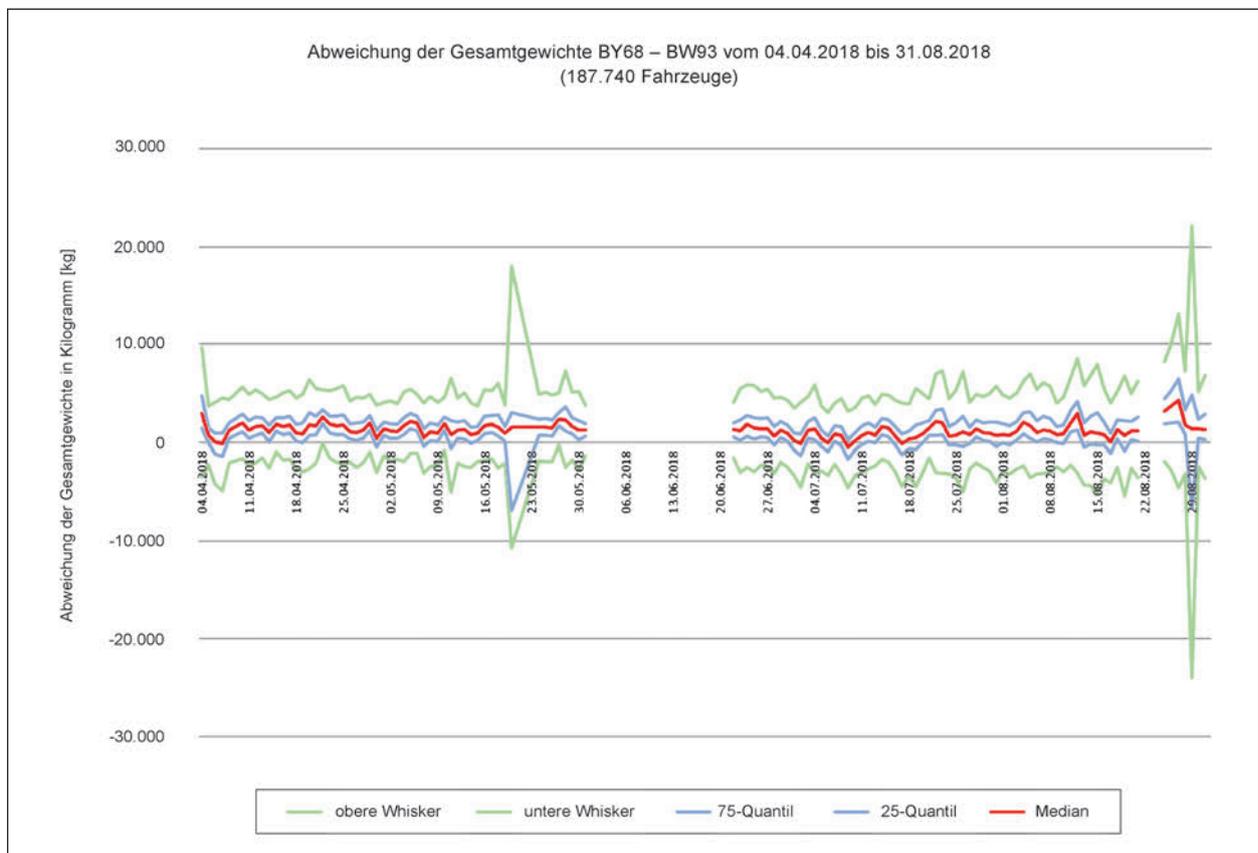


Bild 113: Abweichungen der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage und System 1 (BW 93) über die Laufzeit

chen liegen die Streuungen bei System 1 (BW 93) bei etwa 5 t.

Die Auswertung der Temperaturabhängigkeit ist für das System 1 (BW 93) in Bild 114 dargestellt. Es zeigt sich für alle Temperaturklassen ein sehr gleiches Verhalten, da die extrem tiefen Fahrbahnoberflächentemperaturen in der Zeit vor dem 04. April 2018 aufgetreten sind und somit hier nicht aufgeführt werden können. In diesem Zeitbereich wurden zwar Daten vom System 1 erfasst, allerdings standen die Daten der Vorselektionswaage nicht zur Verfügung. Das System 1 wurde bei Lufttemperaturen von etwa 20 °C kalibriert, sodass in diesem Fall das System ziemlich in der Mitte der vorkommenden Temperaturen kalibriert wurde.

Da System 1 jedoch bereits seit dem 15.11.2017 regelmäßig Daten geliefert hat, konnten die Gesamtgewichte an diesem System bereits seit dem 01.01.2018 in die Temperaturklassen eingeteilt und dargestellt werden (Bild 115). Hierbei ist zu erkennen, dass sich bei sehr tiefen Fahrbahntemperaturen < -5 °C die Gesamtgewichte der Fahrzeuge deutlich nach unten verschieben. Ob es sich hierbei wirklich um eine Temperaturabhängigkeit handelt, oder aufgrund der Wetterlage auch nur weniger

schwere Fahrzeuge unterwegs waren, kann hier nicht nachgewiesen werden. Die Abweichung zur Temperatur zum Zeitpunkt der Kalibrierung beträgt aber hier rund 35 °C.

Die niedrigsten Fahrbahntemperaturen wurden in der Nacht vom 27.02. auf den 28.02.2018 zwischen 6 und 7 Uhr mit -16,73 °C gemessen. Der niedrigste Wert der Fahrbahntemperatur für ein Wochenende wurde 04.03.2018 zwischen 5 und 6 Uhr mit -2,6 °C gemessen.

Die Betrachtung des Geschwindigkeitseinflusses ist in Bild 116 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Abweichungen bei System 1 in allen Geschwindigkeitsklassen nahezu identisch sind. Hierbei ist zu beachten, dass bei System 1 keine Geschwindigkeiten kleiner als 40 km/h ausgegeben wurden, sodass diese Geschwindigkeitsintervalle entsprechend in der Auswertung nicht dargestellt werden.

Laut Herstellerangaben liegt dies darin begründet, dass auf der Autobahn nur Geschwindigkeit über 40 km/h erwartet wurden und entsprechend die Konfiguration der Parameter vorgenommen wurde. Prinzipiell könne im Bridge-WIM-System der Grenzwert der Geschwindigkeit bis zu 5 m/s (18 km/h) eingestellt werden.

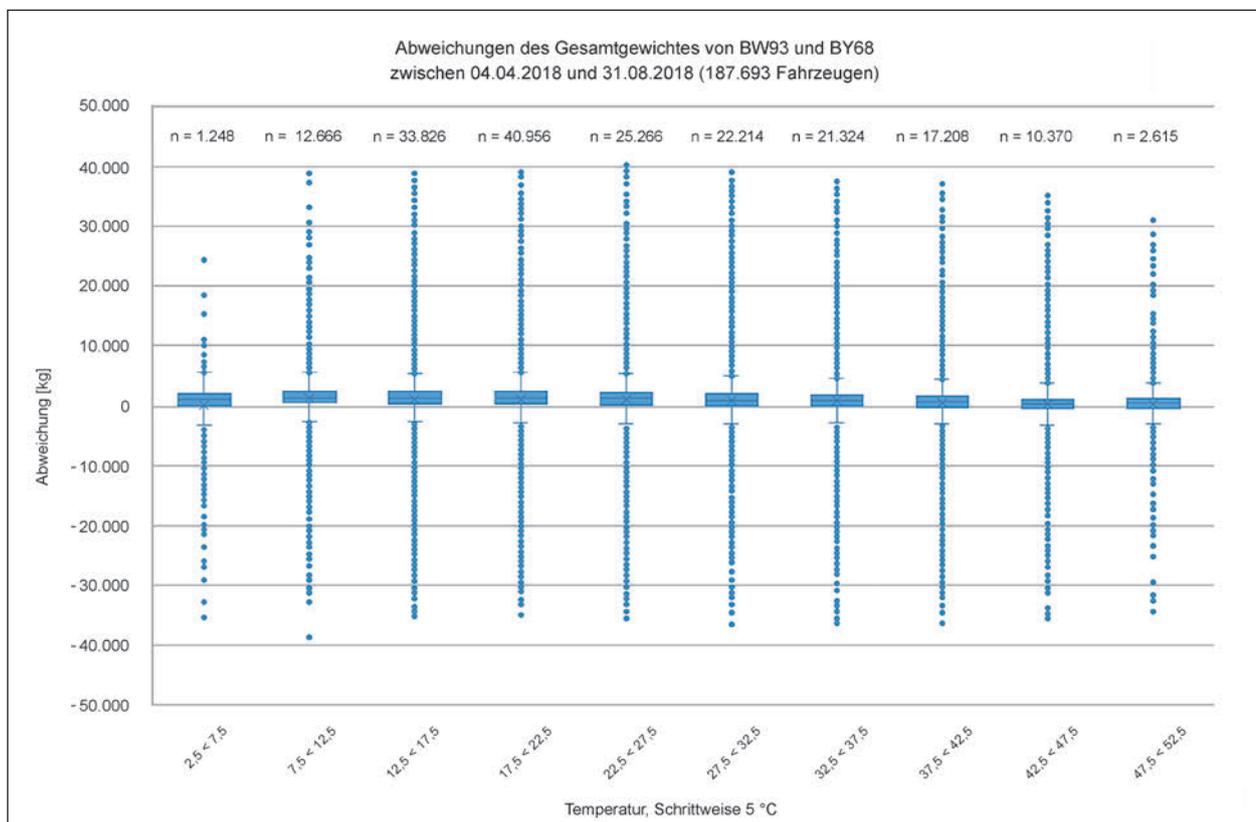


Bild 114: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 1 (BW 93) über Fahrbahntemperaturintervalle

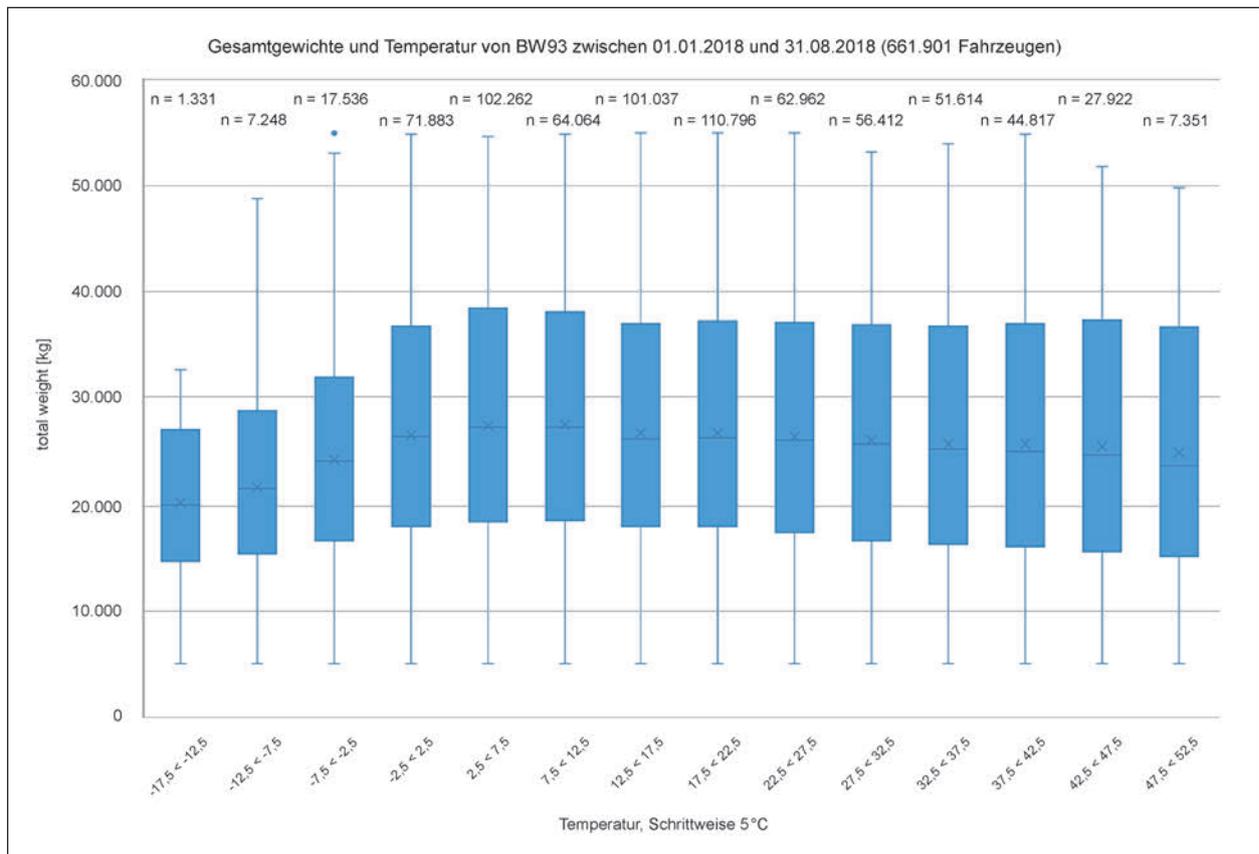


Bild 115: Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen von System 1 (BW 93)

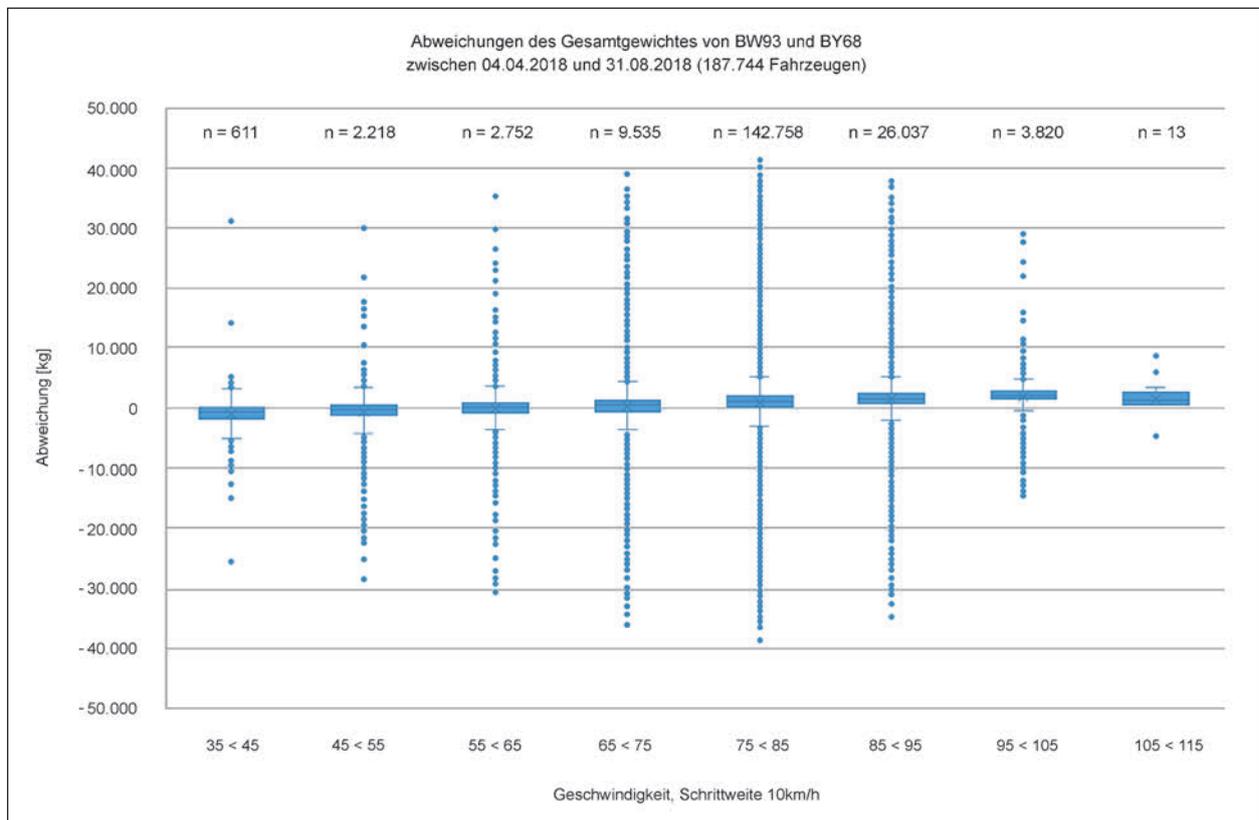


Bild 116: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 1 (BW 93) über Geschwindigkeitsintervalle

### 6.4.3 Auswertung System 2

Der Vergleich zwischen System 2 und der Vorselektionswaage (Bild 117) zeigte ein ähnliches Bild wie der Vergleich der Vorselektionswaage zu System 1. Jedoch sind bei System 2 die Streuung der Messwerte und die Verschiebung der Trendlinie durch den Ursprung hin zu schwereren Fahrzeugen stärker ausgeprägt. Insgesamt liegen bei System 2 53,2 % der Messwerte in einem Bereich außerhalb von 10 % Genauigkeit. Die lineare Trendlinie durch den Ursprung ist deutlich nach unten verschoben und weicht etwa 10 % von der Winkelhalbierenden ab. Die Streuung ist durch das Bestimmtheitsmaß gegeben, welches hier lediglich bei 0,867 liegt.

Auch der Vergleich mit der Vorselektionswaage (Bild 118) in Bezug auf die detektierten Achsen zeigt, dass viele der fünfsachsigen Fahrzeuge mit weniger Achsen am System 2 detektiert wurden. Insgesamt wurden bei 106.899 von 177.048 Messungen die Achsanzahlen korrekt detektiert. Das entspricht einem Anteil von lediglich 60,3 %.

Die Analyse der Laufzeitstabilität der Messgenauigkeit wird über die Abweichung der Gesamtgewichte zwischen der Vorselektionswaage (BY 68) und dem jeweiligen System über den Gesamtzeitraum ge-

zeigt (Bild 119). Wie bereits erläutert sind hier auffällige Zeitbereiche nicht mehr enthalten. In den dargestellten Zeitbereichen liegen die Streuungen bei System 2 (BW 91) bei bis zu 10 t.

Die Auswertung des Temperatureinflusses für System 2 ist in Bild 120 dargestellt. Auch beim System 2 streuen die Abweichungen über alle Temperaturbereiche. Jedoch streuen die Abweichungen stärker als bei System 1, was an den größeren Boxen erkennbar ist. Zudem liegen die Mittelwerte der Boxen bei tieferen Fahrbahnoberflächentemperaturen höher, was auf eine Zunahme der Ungenauigkeit bei tiefen Fahrbahnoberflächentemperaturen hindeutet. Allerdings sind die Änderungen nur sehr gering, sodass sich auch hier keine eindeutige Aussage zu einer Temperaturabhängigkeit treffen lässt. Auch für System 2 zeigt sich in Bild 121, dass bei tieferen Fahrbahnoberflächentemperaturen geringere Gesamtgewichte detektiert wurden. Hier konnte ein Einfluss sogar bereits ab +10 °C erkannt werden. Durch die geringere Laufzeit von System 2 erst ab dem 01.03.2018 konnten hier keine Temperaturintervalle unterhalb von -12,5 °C ausgewertet werden.

Das System 2 wurde bei einer Temperatur von etwa 10 °C – 12 °C kalibriert. Somit liegen die größten

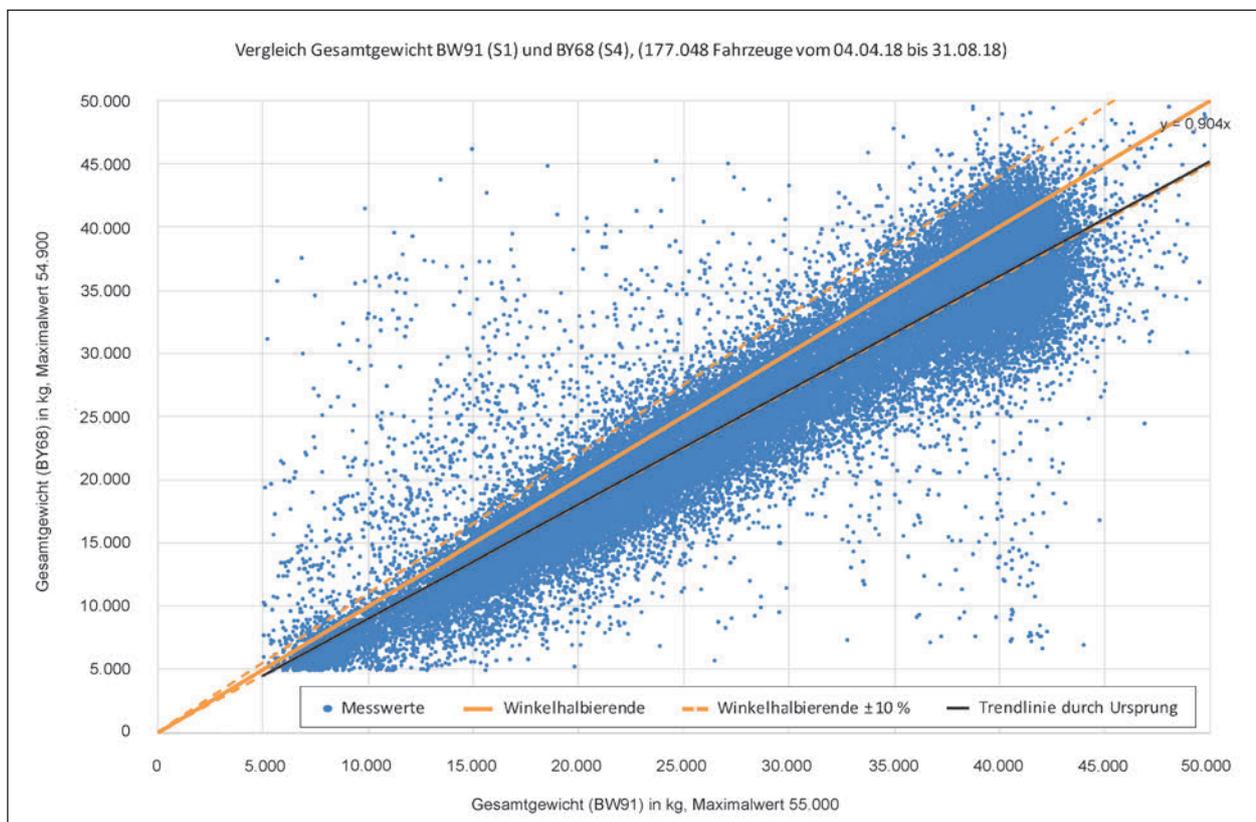


Bild 117: Vergleich Gesamtgewicht Vorselektionswaage und System 2 (BW 91)

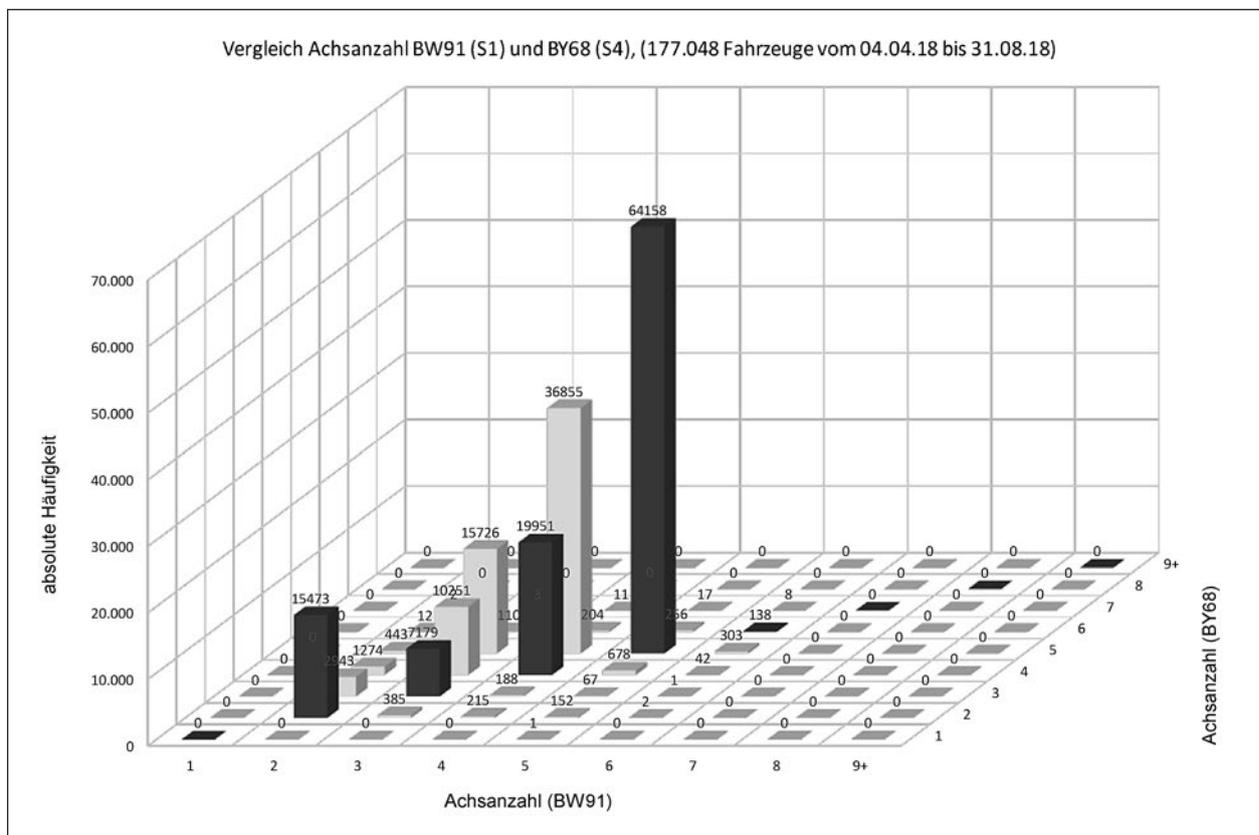


Bild 118: Vergleich Achszahl Vorselektionswaage und System 2 (BW 91)

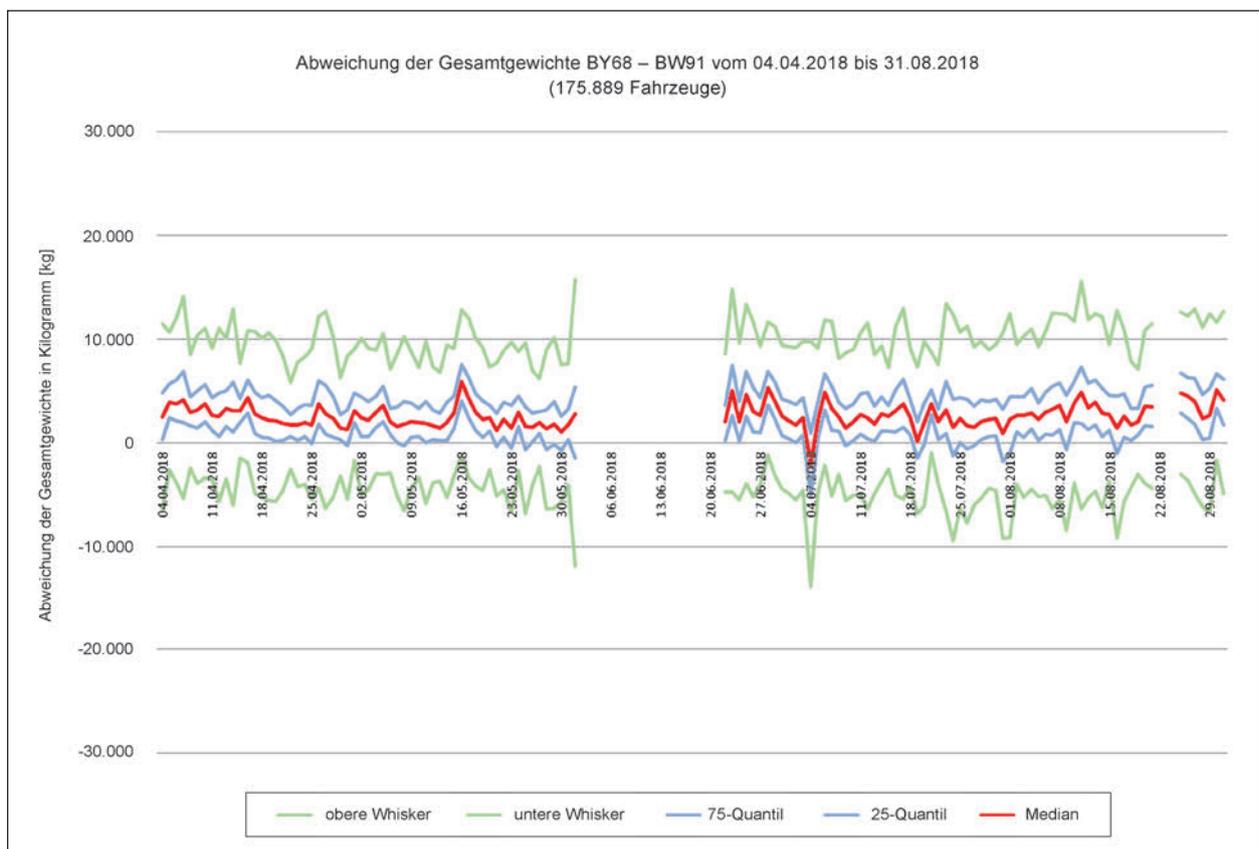


Bild 119: Abweichungen der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage und System 2 (BW 91) über die Laufzeit

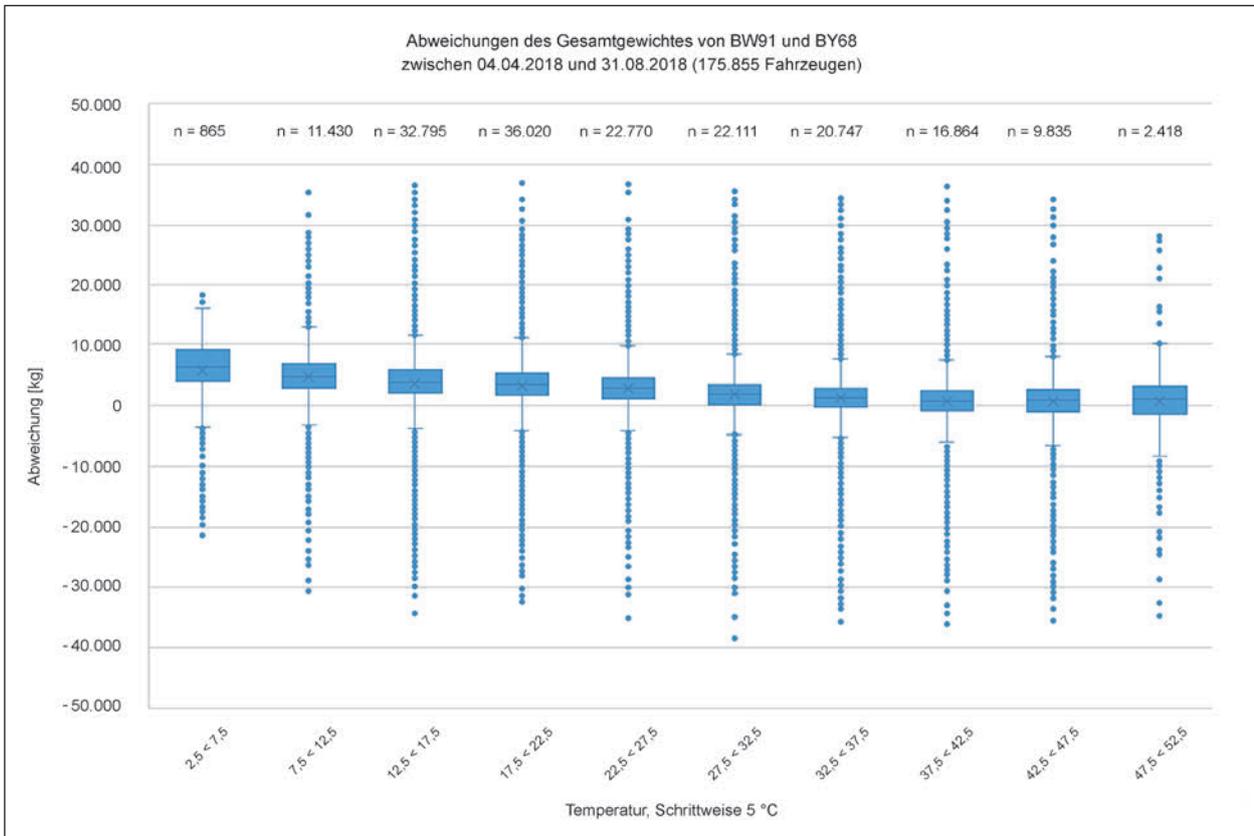


Bild 120: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 2 (BW 91) über Temperaturintervalle

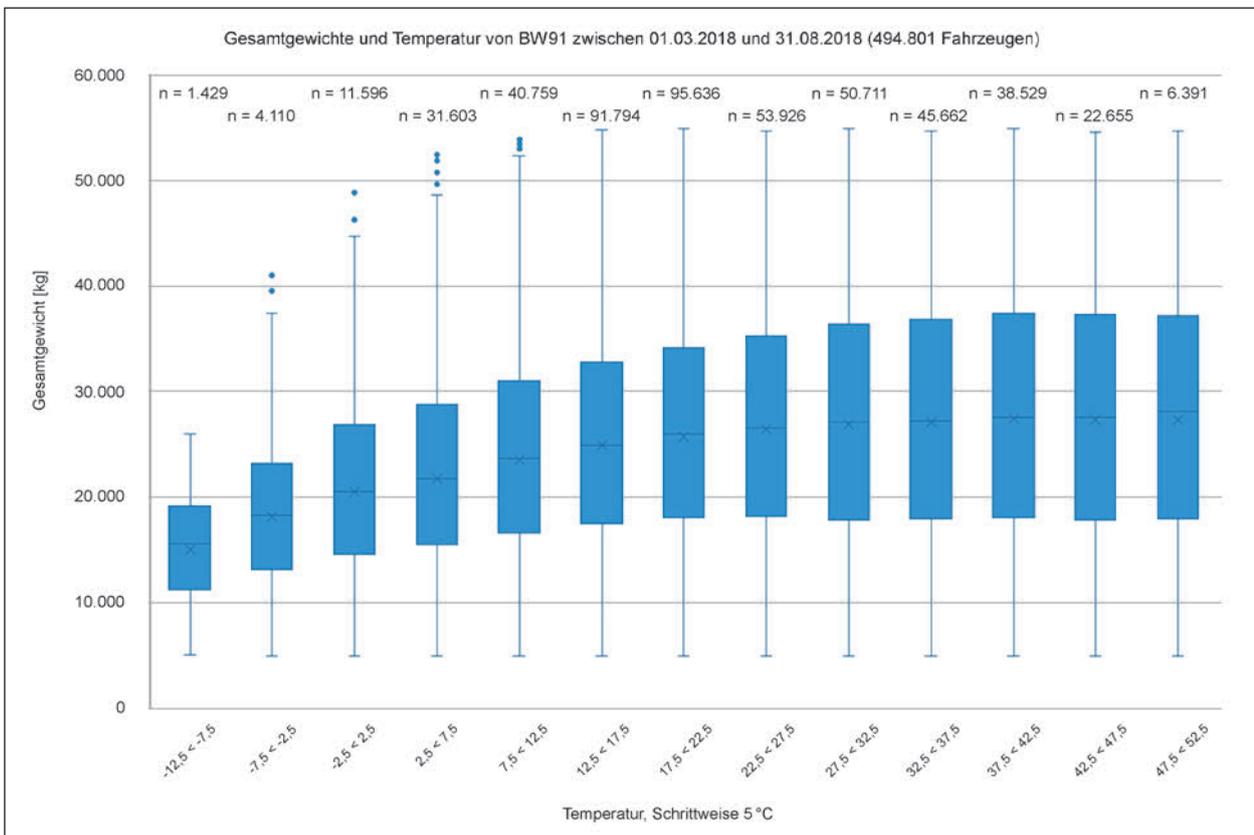


Bild 121: Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen von System 2 (BW 91)

Temperaturdifferenzen zwischen Kalibriertemperatur und tatsächlicher Temperatur eher bei den höheren Temperaturen. Eine Auffälligkeit ist in diesem Bereich allerdings nicht zu erkennen.

Die Betrachtung der Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen (siehe Bild 121) von System 2 zeigt, dass auch hier bei niedrigeren Temperaturen Abweichungen vorhanden sind. Ab Temperaturen von 20 °C sind die Werte sehr stabil.

Bei einer Betrachtung der Gesamtgewichte in Abhängigkeit von den gefahrenen Geschwindigkeiten zeigt sich das in Bild 122 dargestellte Ergebnis. Dargestellt sind jeweils die Abweichungen der Gesamtgewichte zwischen der Vorselektionswaage (BY 68) und dem System 2 (BW 91). Insgesamt zeigt sich über alle Geschwindigkeitsbereiche ein sehr gleichmäßiger Verlauf. Die Boxen und somit die Streuung der Abweichungen sind allerdings in einigen Temperaturbereichen größer.

#### 6.4.4 Ergebnis

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass auch bei der deutlich größeren Stichprobe beide Bridge-WIM-Systeme die Ergebnisse der Vorselektions-

waage gut treffen. Diese zeigt sich an der Häufung der Messwerte entlang der Winkelhalbierenden (auf dieser liegen die fehlerfreien Wertepaare). Beide Systeme weisen allerdings eine gewisse Streuung auf, wobei nicht auszuschließen ist, dass einzelnen Wertepaare durch ein falsches Matching hervorgerufen worden sind. Insgesamt ist die Streuung bei System 1 deutlich geringer, was sich auch an der Lage der Trendlinie und am Regressionskoeffizienten zeigt.

Auch hinsichtlich der richtigen Erkennung der Fahrzeuge anhand der Achsanzahl gibt es bei beiden Systemen Fehlerfassungen in Bezug zu den Daten der Vorselektionswaage. Diese sind allerdings bei System 1 deutlich geringer und im Verhältnis zur Stichprobengröße fast vernachlässigbar.

Die Analyse über die Laufzeit hat gezeigt, dass bei beiden Systemen die Abweichungen relativ konstant sind.

Die Analyse der Genauigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur hat gezeigt, dass diese Abweichungen bei beiden Systemen mit niedrigeren Temperaturen zunehmen. Auffällig ist hierbei zudem, dass zwar die mittleren Abweichungen zunehmen, die Streuung der Messwerte aber abnimmt. Anhand der

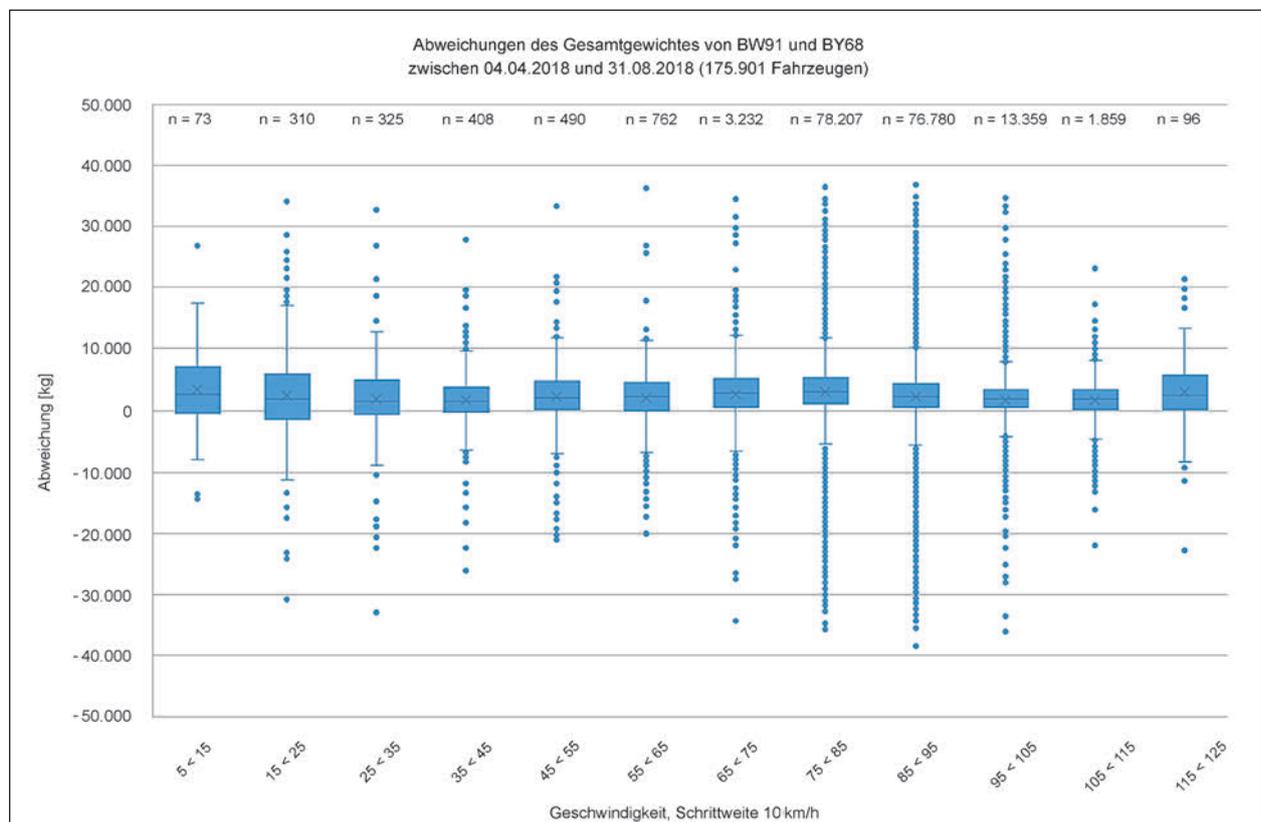


Bild 122: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 2 (BW 91) über Geschwindigkeitsintervalle

vorliegenden Daten kann nicht abschließend geklärt werden, ob die Abweichungen bei niedrigen Temperaturen systembedingt auftreten oder ob diese Abweichungen in Abhängigkeit von der Temperatur zum Kalibrierzeitpunkt zu sehen sind. Aufgrund des Verlaufs der Abweichungen (konstant ab einer Temperatur) spricht allerdings vieles dafür, dass die extrem niedrigen Temperaturen Probleme bereiten.

Eine Abhängigkeit der Genauigkeit von den gefährlichen Geschwindigkeiten konnte nicht festgestellt werden.

### 6.5 Vergleichende Gegenüberstellung der Bridge-WIM-Systeme

Für die vergleichende Gegenüberstellung der Bridge-WIM-Systeme wurden die beiden Systeme über die Laufzeit hinsichtlich der Anzahl der erfassten Schwerverfahrzeuge, der Gesamtgewichtsverteilung und der Achsanzahlverteilung verglichen. Die Auswertung erfolgte hierbei in der Art, dass alle Fahrzeuge unabhängig vom Matching Berücksichtigung fanden. Diese Betrachtungsweise hat den Vorteil, dass aller erfassten Daten aus der Erhebungszeit (auch Zeitbereiche mit offensichtlichen Problemen

der Bridge-WIM-Systeme) in die Untersuchung einbezogen werden konnten. Es wurden die Fahrzeuganzahlen dargestellt und aufgetretene Probleme werden sofort erkennbar, wie zum Beispiel der Ausfall der Vorselektionswaage im Juni. Zusätzlich konnten auch die fahrstreifenscharf vorliegenden Stundenwerte der Dauerzählstelle vor dem BW 93 als Vergleichsgröße hinzugenommen werden.

Der Vergleich der täglichen Anzahlen der Schwerverkehrsfahrzeuge über den Gesamtzeitraum (Bild 123) zeigt, dass System 2 (BW 91) deutlich weniger Schwerverkehrsfahrzeuge erkannt hat als die Dauerzählstelle. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass der Schwerverkehr an der AS Rosenheim die Autobahn verlassen wollte und somit nicht mehr vom Bridge-WIM-System erfasst wurde. System 1 (BW 93) weist eine gute Übereinstimmung zu der Dauerzählstelle (DZ, FS1) auf. Lediglich im Juni konnte hier festgestellt werden, dass die Anzahl der erfassten Fahrzeuge deutlich zu niedrig ausfiel. Dies konnte durch die Probleme an dem System erklärt werden, welche bereits im Zeitstrahl (Bild 64) zu erkennen waren. Deutlich mehr Schwerverkehr wurde an der Vorselektionswaage (BY 68) detektiert. Jedoch liegt die Vorselektionswaage auch im Streckenverlauf hinter dem Autobahndreieck Intal,

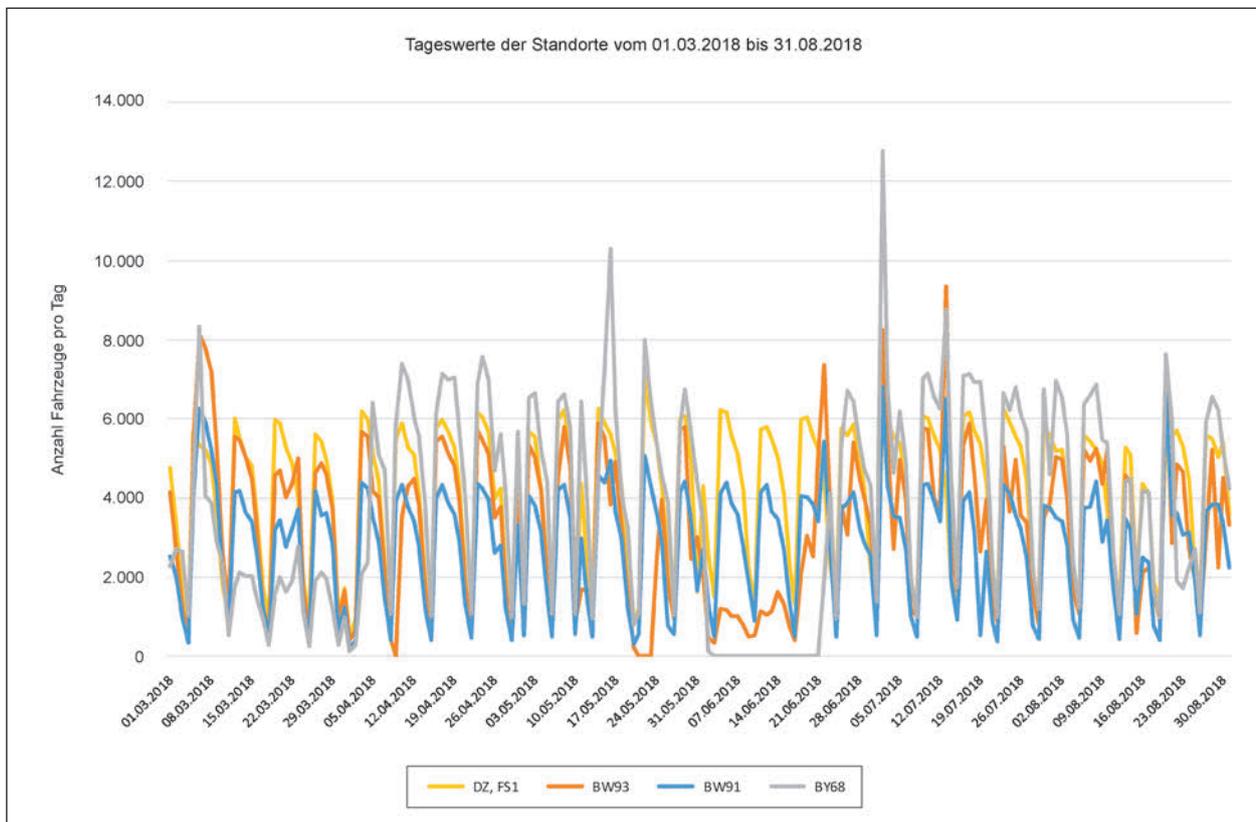


Bild 123: Anzahl von Schwerverkehrsfahrzeugen je Tag an den einzelnen Standorten

sodass der Verkehr nur eingeschränkt vergleichbar ist.

Werden die Gesamtgewichtsverteilungen aller erfassten Schwerverkehrsfahrzeuge an den jeweiligen Standorten (Bild 124) gegenübergestellt, so zeigte sich, dass bei System 1 (BW 93) in den leichten und schweren Klassen deutlich mehr Fahrzeuge erfasst wurden als bei System 2 (BW 91). Hier sind mehr Fahrzeuge in den mittleren Gewichtsklassen erfasst worden. Im Vergleich zur Vorselektionswaage zeigte sich, dass beide Systeme deutlich weniger Schwerverkehr in den schwersten Klassen (bis 44 t) aufweisen, wobei der Effekt bei System 2 (BW 91) deutlich stärker ausgeprägt ist. Dies kann aber auch durch die unterschiedliche Verkehrszusammensetzung an den Standorten der Bridge-WIM-Systeme gegenüber der Vorselektionswaage (Dreieck Inntal dazwischen) mit zu erklären sein.

Bild 125 zeigt die aufsummierten Häufigkeiten. Die Kurve der Vorselektionswaage (BY 68) liegt fast komplett unterhalb der beiden Systeme, was darauf hindeutet, dass die unteren Klassen bei der Vorselektionswaage geringer besetzt sind als bei den beiden Systemen.

Der Vergleich der Achsanzahlen (Bild 126) zeigt, dass System 2 (BW 91) weniger 5-achsige Fahrzeuge erfasste als System 1 (BW 93) und die Vorselektionswaage (BY 68). Die Fünfachser wurden teilweise als Drei- bzw. Vierachser erkannt.

Auch diese Häufigkeiten lassen sich in Summenkurven darstellen (siehe Bild 127). Hier liegen die Kurven der Vorselektionswaage (BY 68) und des System 1 (BW 93) näher beieinander als die Kurve von System 2 (BW 91). Dies bestätigt die Probleme von System 2 bei der Erfassung von 5-achsigen Fahrzeugen.

In Bild 128 sind die Achslastklassen gegenübergestellt. Es ist ein deutlich erhöhter Wert bei System 2 (BW 91) in den Klassen 5-6 t und 6-7 t zu erkennen. Wohingegen das System 1 (BW 93) eher in den unteren Klassen bis 4 t erhöhte Anteile aufweist. In Bezug auf das System 2 kann vermutet werden, dass durch die häufige Fehlerfassung der Achsen (zu geringe Achsanzahl) den erfassten Achsen ein zu hohes Gewicht zugeschrieben wird. Die Erfassung der geringen Achslasten am System 1 lässt darauf schließen, dass durch das Bridge-WIM-System auch leichtere Fahrzeuge detektiert wurden.

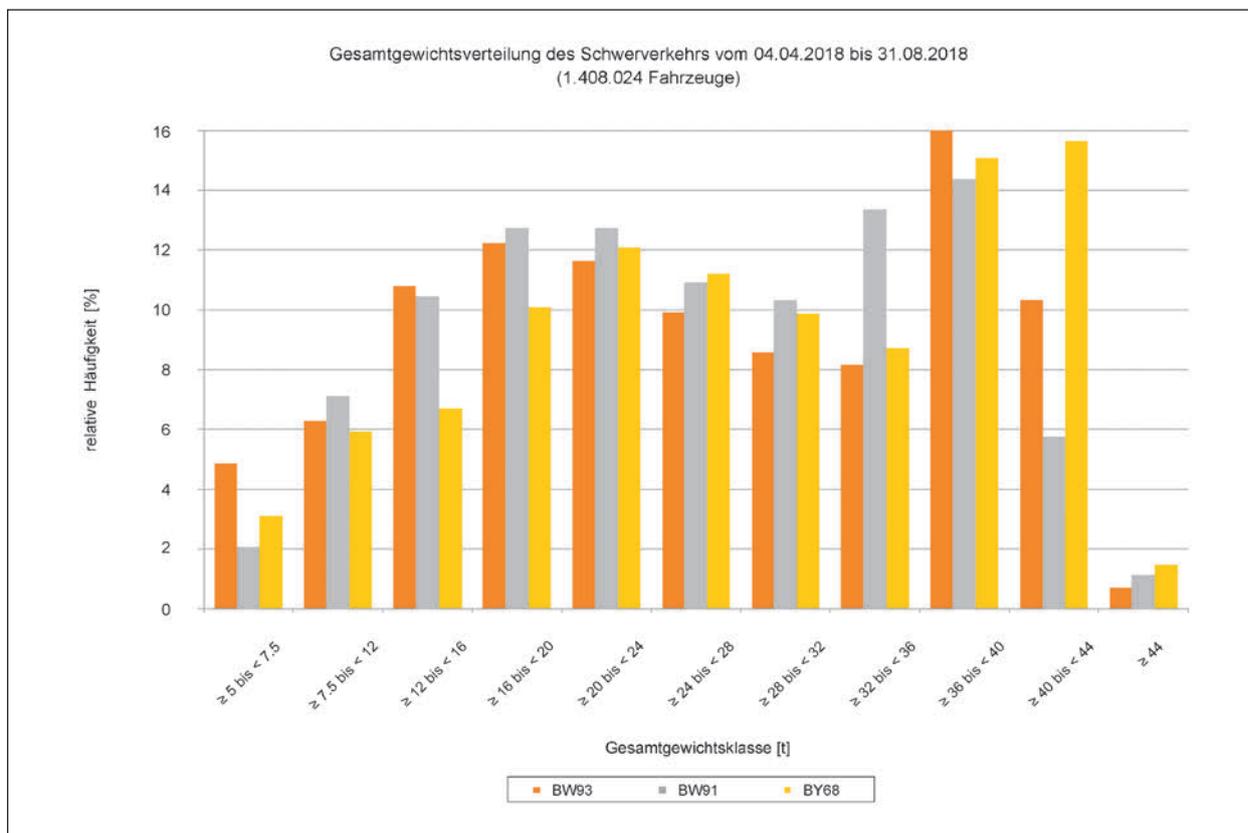


Bild 124: Relative Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Gesamtgewichtsklassen

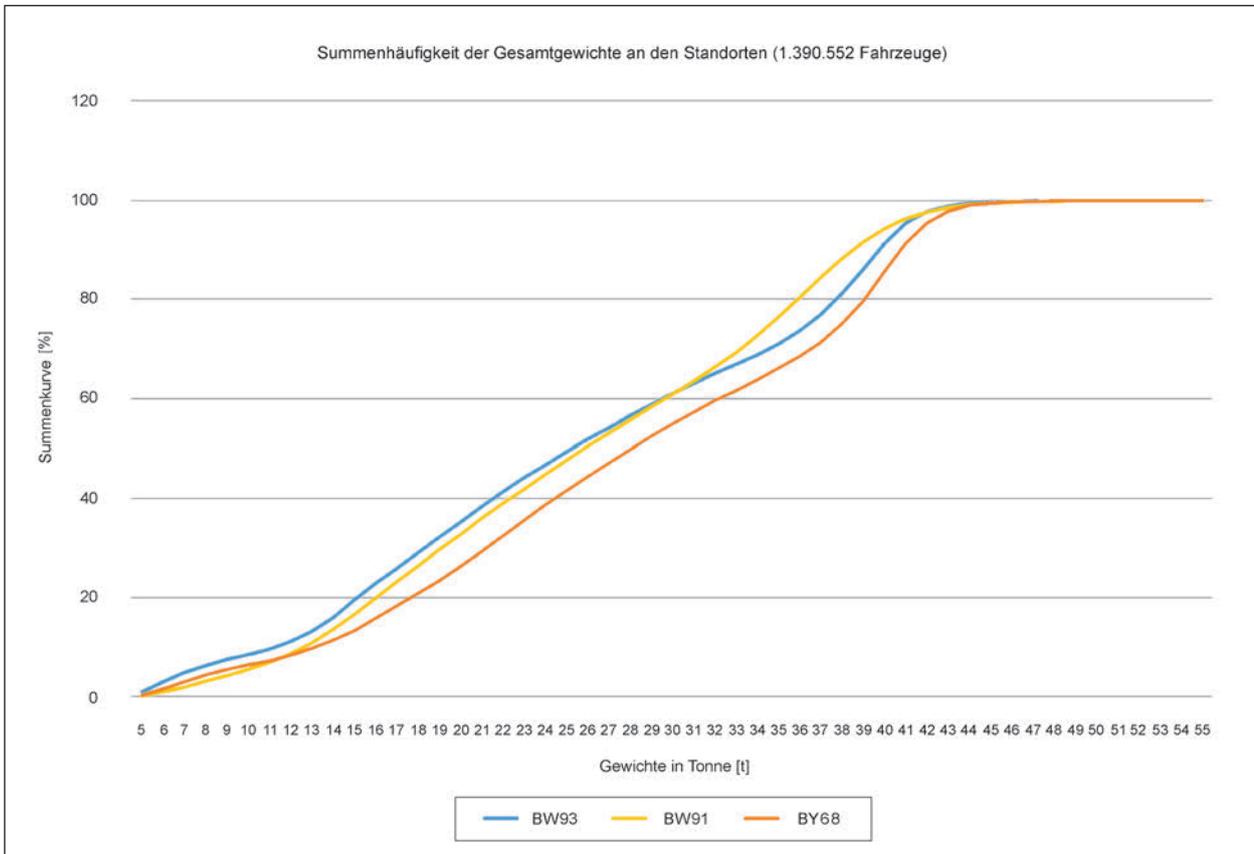


Bild 125: Summenhäufigkeit der Gesamtgewichte an den einzelnen Standorten

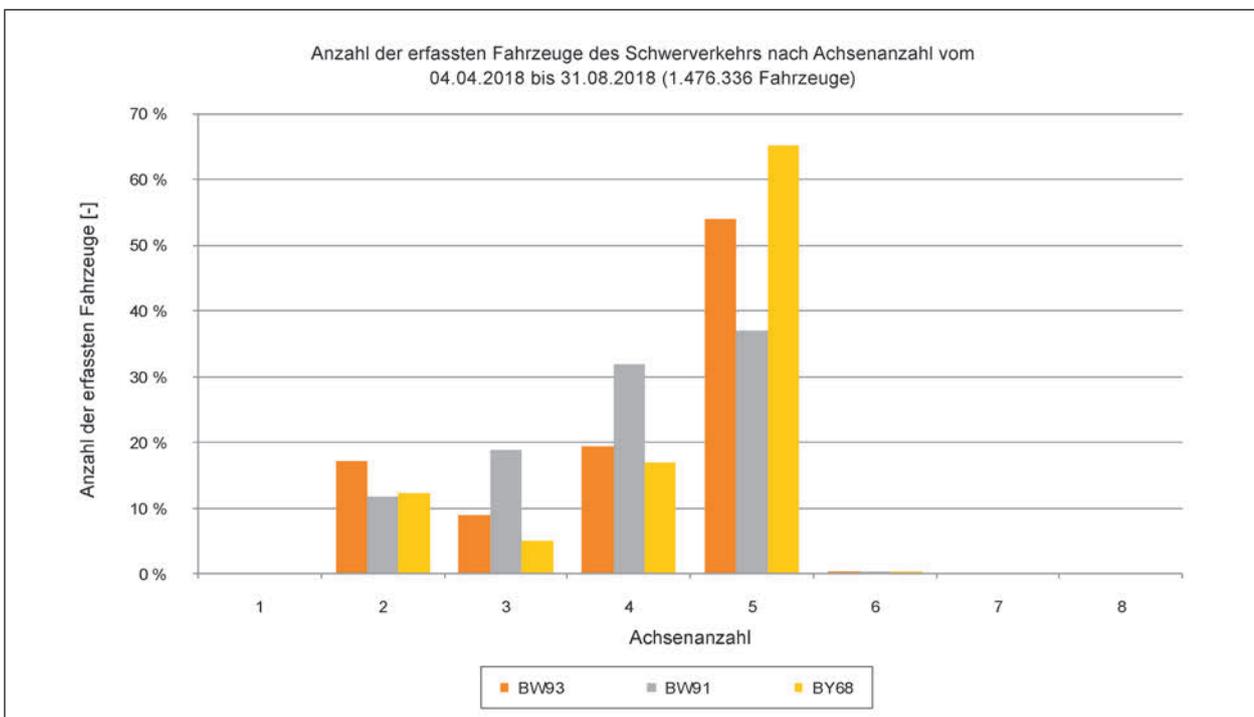


Bild 126: Relative Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Anzahl Fahrzeugachsen

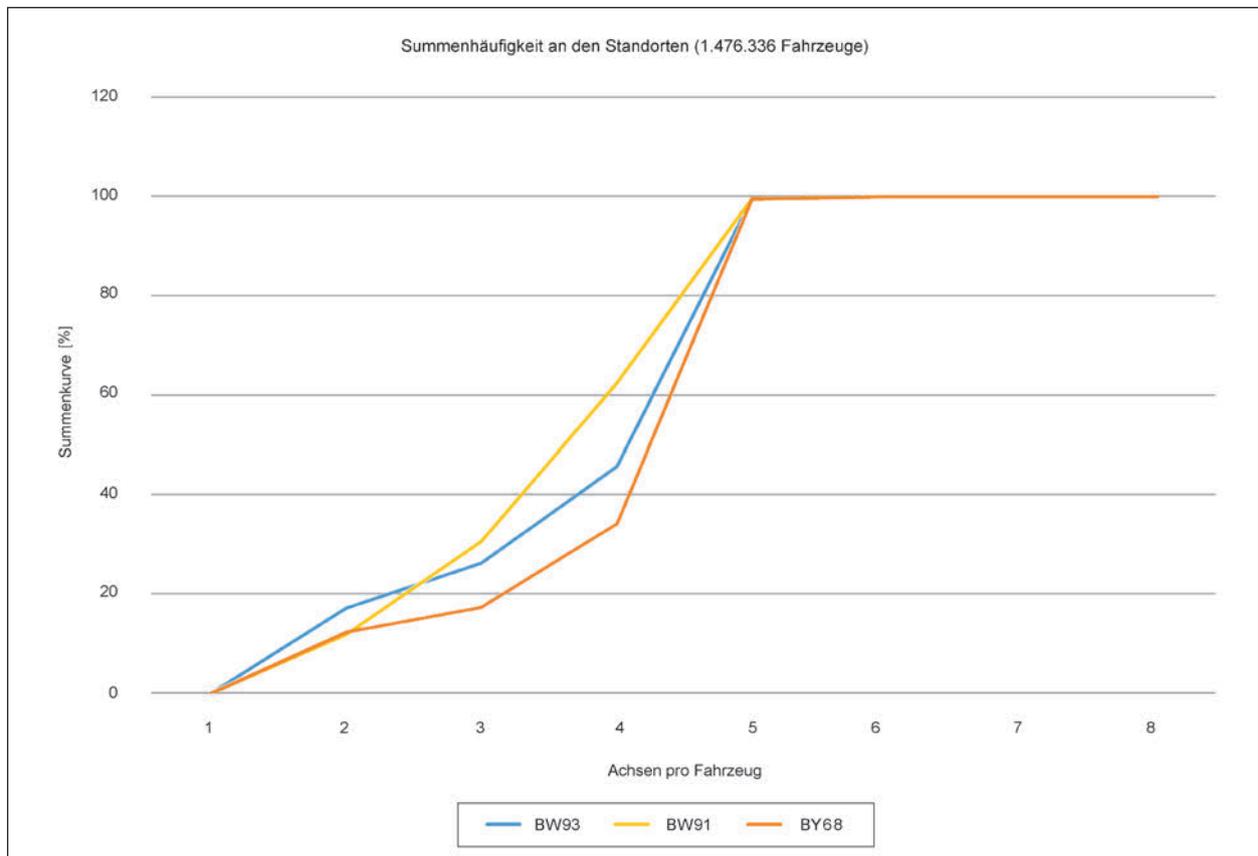


Bild 127: Summenkurven über Fahrzeugachsen an den einzelnen Standorten

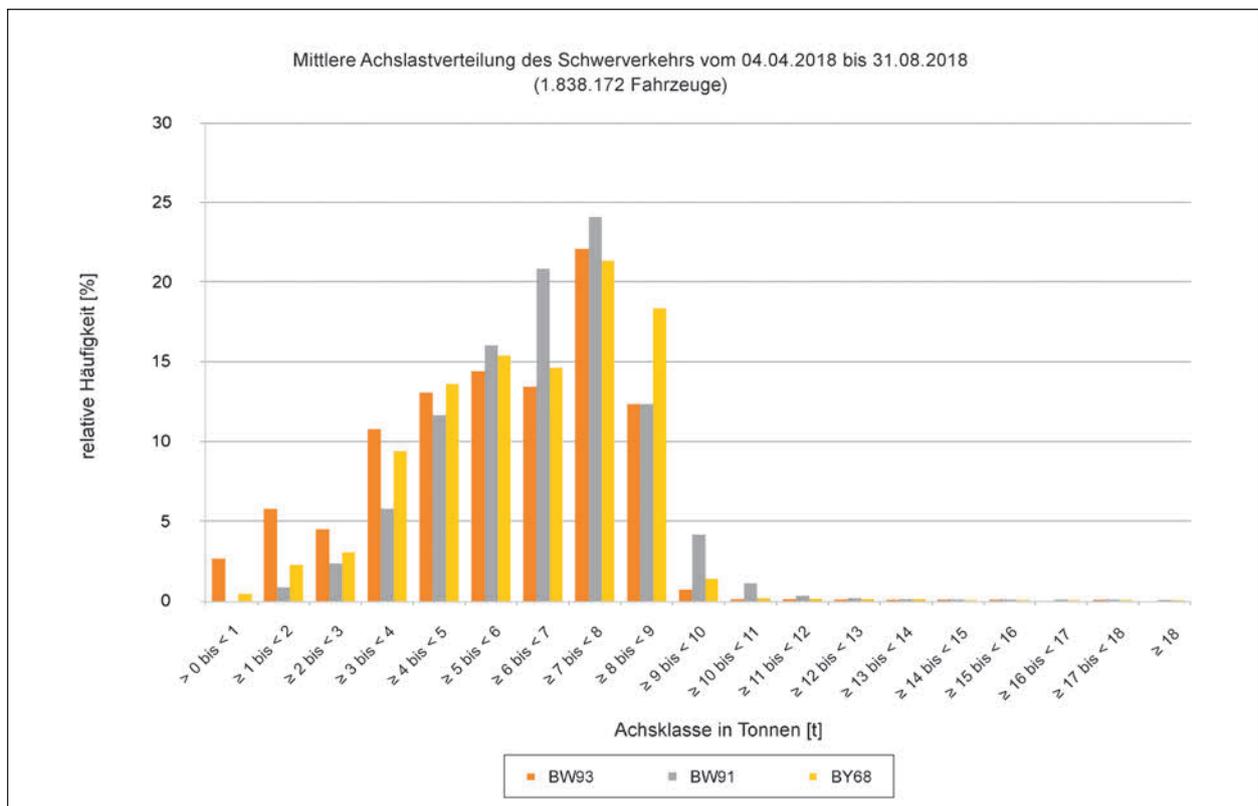


Bild 128: Relative Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Achslastklassen

Im Vergleich des erfassten Schwerverkehrs nach Fahrzeugarten (Bild 129) zeigt sich, dass System 1 (BW 93) kaum Busse erkannt hat. System 2 (BW 91), die Vorselektionswaage (BY 68) und die Dauerzählstelle weisen dagegen ähnliche Häufigkeiten auf.

Bei den Lkw ohne Anhänger (LoA) haben beide Systeme geringere Fahrzeuganteile als die Dauerzählstelle erfasst.

Bei Lkw mit Anhänger (LmA) weisen das System 1 (BW 93) und die Dauerzählstelle ähnliche Häufigkeiten auf. Bei System 2 (BW 91) und der Vorselektionswaage (BY 68) ist der Anteil der Lkw mit Anhänger deutlich geringer. Bei der Vorselektionswaage (BY 68) könnte dies auch an der geänderten Zusammensetzung der Fahrzeugarten nach dem Autobahndreieck Inntal liegen. Hier fahren viele Sattelzüge aus dem europäischen Fernverkehr auf die BAB A 8 Richtung München und werden somit nicht von den Systemen, wohl aber von der Vorselektionswaage erfasst.

Bei den Sattelzügen liegen System 2 (BW 91) und die Vorselektionswaage (BY 68) deutlich über den Häufigkeiten an der Dauerzählstelle (DZ, FS1). System 1 erreicht die Häufigkeiten an der Dauerzählstelle (DZ, FS1) relativ gut.

## 7 Beurteilung der Systeme

Nach Abschluss des Pilotbetriebs wurden alle Ergebnisse zusammenfassend bewertet, sodass eine Beurteilung der beiden getesteten Systeme und eine Empfehlung über den zukünftigen Einsatz von Bridge-WIM-Systemen in Deutschland gegeben werden kann. Hierbei gliedert sich die Beurteilung in die Bereiche Genauigkeit und Handhabung. Die Kosten sind aus dem Pilotbetrieb nur ansatzweise herzuleiten, da beide Hersteller für den Pilotbetrieb erhöhten Aufwand betrieben haben. Zudem lag von einem Hersteller noch kein marktreifes System vor. Eine Kostenabschätzung für ein System mit Marktreife wird in Kapitel 8.5 vorgenommen.

### 7.1 Genauigkeit

Die Einstufung der Messgenauigkeit erfolgte nach BAST (2007), wobei die Messgrößen Gesamtgewicht, Einzelachslasten und Achslastgruppen betrachtet wurden. Zusammenfassend kann die Auswertung der Messdaten dahingehend bewertet werden, dass keines der beiden Systeme die Genauigkeiten, welche für die Genauigkeitsklasse B(10) gefordert werden, einhält.

Es zeigen sich allerdings große Unterschiede in der Bewertung der Ergebnisse beider Bridge-WIM-Systeme.

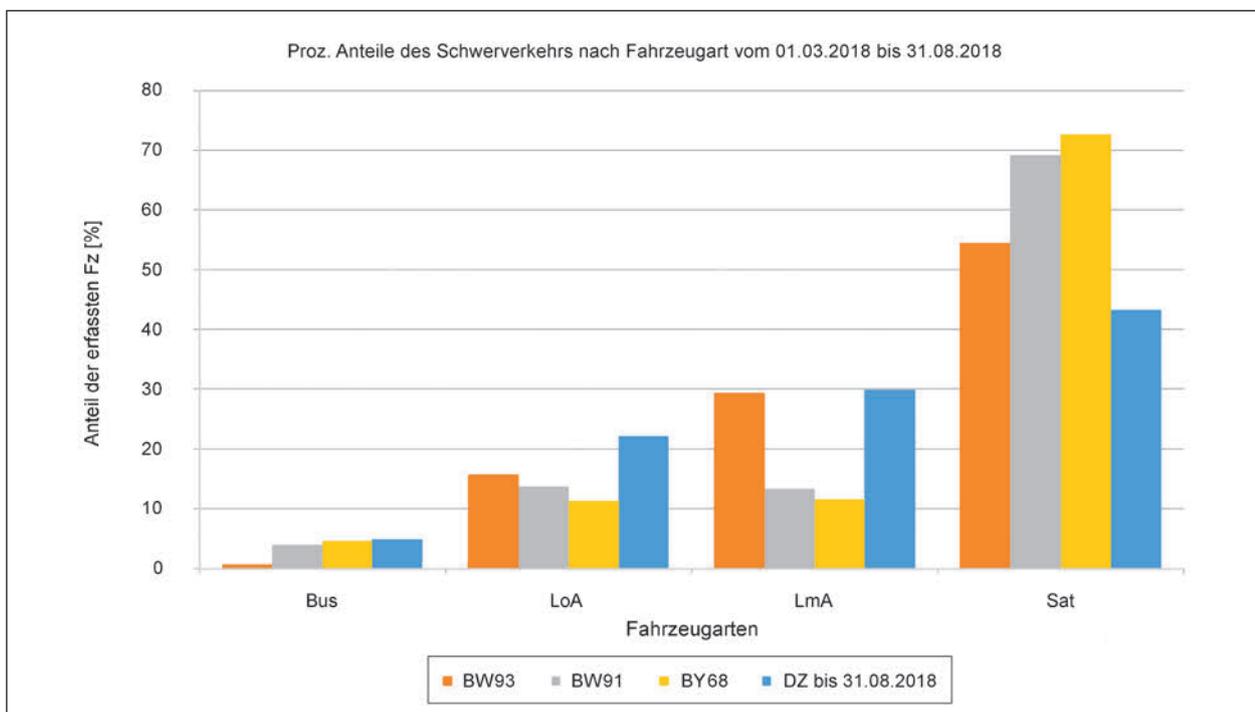


Bild 129: Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Fahrzeugarten

teme. So weist in allen Bereichen das System 1 geringere Abweichungen auf und liegt somit deutlich näher an der Akzeptanzkurve für die Genauigkeitsklasse B(10). Bei der Erkennung von Mehrfachachsen wies das System 2 erhebliche Schwächen – vor allem bei geringer beladenen Fahrzeugen – auf. Dies hatte dann auch eine falsche Fahrzeugklassifizierung zur Folge.

Beim System 1 konnte die Genauigkeit für Gesamtgewichte bei mehreren Testfahrten erreicht werden. Bei System 2 waren die Abweichungen bei den Testfahrten so deutlich, dass hier die Genauigkeit der Ergebnisse nicht ausreichend ist.

Die Fehlerquote bei den erfassten Achsabständen ist ebenfalls bei System 2 höher. Jedoch hatte auch System 1 hier Probleme, die geforderten Messgenauigkeiten, vor allem zwischen der zweiten und dritten Achse, zu erreichen. Zudem hatten beide Systeme Probleme bei den Achsabständen von zweiachsigen Lkw.

Im Vergleich der Erfassungen der beiden Systeme zu den Erfassungen auf dem Parkplatz „Im Moos“ und der Fahrten der Spedition zeigte sich, dass die Gesamtgewichte sowie die Achszahl der Fahrzeuge gut von den Systemen erkannt wurden. Allerdings ist auch hier das System 1 besser als das System 2. Vor allem bei der Erfassung der Mehrfachachsen hat sich dieser Sachverhalt auch bereits in den Auswertungen der Überfahrten mit den Test-Lkw gezeigt.

Diese Unterschiede zwischen den beiden getesteten Systemen lassen sich auch beim Vergleich mit der Vorselektionswaage finden. Hier liegt das System 1 ebenfalls in der Erfassung der Gesamtgewichte und der Achszahlen näher an den Erfassungen der Vorselektionswaage. Jedoch zeigten beide Systeme eine recht gute Korrelation mit der Winkelhalbierenden, auf der die Wertepaare bei einer hundertprozentigen Genauigkeit liegen.

Hinsichtlich der Temperaturempfindlichkeit konnte kein eindeutiges Ergebnis festgestellt werden. Die Auswertungen zeigten jedoch bei tiefen Fahrbahntemperaturen Abweichungen. Hohe Fahrbahntemperaturen waren hingegen kein Problem für die eingesetzten Systeme. Möglicherweise hat hier die Temperatur beim Kalibrieren einen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Da allerdings ab einer gewissen Temperatur die Abweichungen konstant bleiben, kann alleine die Temperaturdifferenz zwischen Temperatur beim Kalibrieren und Temperatur bei der

Messung nicht ausschlaggebend sein. Daher wird zunächst davon abgeraten, die Systeme an sehr kalten Tagen zu nutzen. Die Temperaturempfindlichkeit sollte nochmals genauer untersucht werden.

Die Geschwindigkeit, mit der die Fahrzeuge über die Systeme gefahren sind, hatte keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Dabei ist allerdings zu beachten, dass aufgrund der eingestellten Parameter am System 1 für Geschwindigkeiten kleiner als 40 km/h keine Auswertungen durchgeführt werden konnten.

Die Laufzeitstabilität der Messgenauigkeit war bei beiden Systemen gegeben, System 1 wies dabei eine geringere Streuung auf als System 2.

Im direkten Vergleich der beiden Systeme untereinander sowie mit der Dauerzählstelle wurde deutlich, dass System 2 geringere Schwerverkehrsmengen als die Dauerzählstelle detektierte. Ein Teil dieser zu geringen Erfassung lässt sich darauf zurückführen, dass teilweise der Schwerverkehr die Autobahn an der AS Rosenheim verlassen hat und somit nicht mehr vom Bridge-WIM-System detektiert werden konnte. Darüber hinaus zeigte sich, dass es zu Unterschieden in der Fahrzeugartenklassifizierung kommt.

## 7.2 Handhabung

Da die getesteten Systeme zukünftig mobil und temporär eingesetzt werden sollen, kam der Handhabung neben der Genauigkeit eine besondere Bedeutung zu. Unter Handhabung wurden hier die notwendigen Arbeiten zur Montage und Demontage des Bridge-WIM-Systems verstanden. Diese wurden entsprechend sowohl bei der Montage als auch Demontage dokumentiert.

Bei der Handhabung von System 1 waren keine Probleme oder Auffälligkeiten ersichtlich. Sowohl der Auf- als auch der Abbau waren innerhalb sehr kurzer Zeit realisiert. Dies liegt insbesondere an der Marktreife und der sehr großen Erfahrung mit dem System, welches in vielen anderen Projekten weltweit bereits zum Einsatz kommt. Sämtliche Bestandteile des Bridge-WIM-Systems sind aufeinander abgestimmt, vorkonfektioniert und können somit problemlos montiert werden.

Die Kalibrierung konnte sehr schnell durchgeführt werden, da ein vorab verwogener Lkw im fließen-

den Verkehr mehrfach die Stelle des Bridge-WIM-Systems passiert hatte. Somit war das System in sehr kurzer Zeit einsatzbereit. Die Verschraubung der Sensoren an der Brückenunterseite macht auch das Entfernen der Sensoren einfach möglich. Zudem können die Schraublöcher für weitere Messungen genutzt werden. Auch ein Verschließen der Bohrlöcher nach dem Abbau ist bei Bedarf sehr schnell möglich. Für den Auf- und Abbau von System 1 wurden zwei Personen benötigt, die das ganze System an einem Tag aufbauen und innerhalb von etwas mehr als zwei Stunden wieder abbauen konnten. Falls durch örtliche Gegebenheiten Kleben statt Verschrauben der Sensoren notwendig sein sollte, kann nach Aussage des Unternehmens dies ebenso erfolgen, würde allerdings geringfügig länger dauern. Innerhalb von zwei Tagen sollte ein Aufbau inkl. Kalibrierung möglich sein, ggfs. kann dies bereits nach einem Tag erreicht sein.

Der Aufbau von System 2 erforderte neben dem Kleben der Sensoren (örtliche Vorgabe) auch die Verlotung der Kabel. Diese Umstände haben den Ablauf entsprechend verzögert. Die Montagearbeiten wurden von 2 Personen einer Fachfirma durchgeführt, die sich auf das Anbringen von Messeinrichtungen spezialisiert hat. Im Vergleich zum System 1 ist die Montage nicht so strukturiert, da es sich nicht um ein kommerzielles System handelt, sondern eine Einzellösung realisiert wurde.

Auch der Abbau ist durch die geklebten Sensoren etwas aufwendiger, da diese möglichst rückstandsfrei entfernt werden mussten ohne die Betonoberfläche zu beschädigen. Ansonsten war auch hier der Rückbau innerhalb weniger Stunden durchgeführt. Bei einer eventuellen Wiederverwendung der Messstelle können bei den geklebten Sensoren des Systems 2 die Sensoren nicht entfernt und wiederverwendet werden. Die Sensoren würden bei Entfernung zerstört werden. Die Sensoren könnten jedoch einfach an der Brücke verbleiben. Die Kontakte an den Sensoren müssten lediglich mit Schrumpfschläuchen versehen werden und stünden bei einer erneuten Messung wieder zur Verfügung. Ein großer Unterschied bestand in der Kalibrierung des Systems 2. Um die Fahrten mit verworbenen Lkw durchzuführen, mussten hierzu eigens Lkw angemietet werden. Da zur Kalibrierung teilweise sehr langsame Fahrten notwendig waren bzw. sich nur ein Fahrzeug auf dem Brückenbauwerk befinden durfte, müssen die Fahrten bei geringer Verkehrsbelastung bzw. innerhalb einer

Sperrung erfolgen. Der Aufbau inkl. Kalibrierung dauert somit hier eher 3 Tage. Darüber hinaus muss für jedes Brückenbauwerk ein Lastmodell entwickelt werden. Genau Angaben zu dem hierfür notwendigen Zeitbedarf liegen nicht vor, es kann aber davon ausgegangen werden, dass hierfür mehrere Tage notwendig sind.

Ansonsten konnte bei beiden Standorten festgestellt werden, dass die örtlichen Randbedingungen Einfluss auf den Zeitbedarf haben. Dies trifft sowohl auf die Arbeiten im Bachlauf zu als auch die Arbeiten mit dem Hubsteiger, die ein regelmäßiges Umsetzen erfolgten. Derartige Einflüsse sind allerdings als systemunabhängig zu betrachten.

## 8 Schwerverkehrsmonitoring mittels Bridge-WIM in Deutschland

Bisher wurden die beiden Bridge-WIM-Systeme ausführlich untersucht und die Ergebnisse dokumentiert. Im Rahmen dieses Kapitels sollen nun aufbauend auf den Erfahrungen für ein Schwerverkehrsmonitoring in Deutschland Einsatzempfehlungen gegeben werden.

### 8.1 Schwerverkehrsmonitoring mit Bridge-WIM

Bislang liegen in Deutschland nur für wenige Streckenabschnitte auf Autobahnen, die mit einer Achslastmessstelle ausgestattet sind, Daten zu Achslasten und zu Gesamtgewichten vor. Da insbesondere die Achslasten einen großen Einfluss auf die Beanspruchung der Fahrbahn und auch der Lebenserwartung der Brücken haben, kommt der flächendeckende Erfassung eine große Bedeutung zu. Außerdem liefern die bislang eingerichteten Achslastmessstellen nur Daten für Autobahnen, für das nachgeordnete Netz liegen keinerlei Daten vor.

Um dennoch flächendeckend Daten zur Verfügung zu stellen, bietet sich der Einsatz von Bridge-WIM-Systemen an. Da diese mobil eingesetzt werden können und sich im Rahmen des Pilotprojektes gezeigt hat, dass sowohl Montage- als auch Demontage mit vertretbarem Zeitaufwand durchführbar sind, bietet es sich an, die jeweiligen Systeme für Kurzzeitmessungen – beispielsweise über einige Wo-

chen – einzusetzen und so in einem definiertem Turnus – beispielsweise 5 Jahre – die Erhebungen durchzuführen.

Hinsichtlich der Standorte ist für die Autobahnen eine Erfassung auf jedem Abschnitt zwischen 2 Anschlussstellen nicht wirtschaftlich. In anderen Projekten der Verkehrsstatistik (z. B. Straßenverkehrszählung) wurde hier seitens der BAST ein Streckenzugmodell entwickelt und validiert (siehe beispielsweise KATHMANN et al., 2009), welches auch hier zum Einsatz kommen könnte und für eine erste Abschätzung angesetzt wird. Hierbei handelt es sich um die Strecken auf Autobahnen zwischen Knotenpunkten wie Autobahnkreuzen, Autobahndreiecken oder besonders bedeutsamen Anschlussstellen. Insgesamt werden so 496 Streckenzüge auf BAB und weitere 24 auf Bundesstraßen, die gleichzeitig Europastraßen darstellen, aufgelistet. Innerhalb dieser Streckenzüge ändern sich die Fahrzeuganzahl und Fahrzeugzusammensetzungen im Schwerverkehr nur unwesentlich und man erhält ein sehr gutes Bild über die Situation auf dem gesamten Streckenzug.

Nach Durchführung aller Zählungen eines Turnus könnten für sämtliche definierten Streckenabschnitte Belastungsdaten ermittelt werden. Auf die stationären Achslastmessstellen sollte in diesem Zusammenhang aber nicht verzichtet werden, da diese Standorte aufgrund ihrer besseren Messgenauigkeit und dem Dauerbetrieb wesentliche Stützstellen darstellen und zur Bewertung, Plausibilitätsprüfung und auch möglichen Hochrechnung bei geringen saisonalen Schwankungen herangezogen werden müssen.

Mithilfe der mit temporären Messungen zusätzlich erhobenen Daten können verschiedene Ziele erreicht werden, unter anderem:

- Flächendeckende Bereitstellung von Achslastdaten und Gewichtsdaten.
- Detaillierte Abschätzung der Belastung der Brücken und verbesserte Abschätzung der Restnutzungsdauer.
- Ermittlung der Streckenabschnitte mit häufig überladenen Lkw, um hier gezielte Kontrollen durchzuführen.
- Durch die regelmäßige Durchführung der Erhebungen können Veränderungen in den Achslasten und Gesamtgewichten detektiert werden.

- Durch den Einsatz der mobilen Bridge-WIM-Systeme kann die Erfassung auch auf das nachgeordnete Netz ausgedehnt werden, wo somit erstmalig Daten vorlägen.
- Belastbare Achslastdaten werden auch für verschiedene Regelwerke im Straßenbau benötigt (beispielsweise RDO, RStO), sodass die mittels Bridge-WIM-Systemen ermittelten Daten zur Fortschreibung und Aktualisierung der Werte genutzt werden könnten.

Neben den bereits definierten und bewerteten Anforderungen hinsichtlich Handhabung sind für ein Schwerverkehrsmonitoring weitere Aspekte zu betrachten. Hierzu gehören Anforderungen an die Messgenauigkeit, Anforderungen an die Standorte bzw. Brückenbauwerke, Anforderungen an den Erhebungszeitraum sowie letztlich eine Abschätzung der mit einem Schwerverkehrsmonitoring einhergehenden Kosten. Diese Aspekte sollen in den nachfolgenden Unterkapiteln behandelt werden.

## 8.2 Anforderungen an die Genauigkeit

Im Rahmen des Pilotprojektes wurde die Genauigkeit der beiden getesteten Bridge-WIM-Systeme untersucht. Hierbei konnte festgestellt werden, dass beide Systeme nicht die Genauigkeit nach BAST (2007) erreichen. Diese Anforderungen gelten allerdings primär für stationär installierte Achslastmessstellen.

Bei der Betrachtung der Genauigkeiten hat sich auch gezeigt, dass eines der getesteten Systeme in vielen Fällen nur knapp unter dem zum Bestehen notwendigen Grenzwert lag. Je nach Auswahl der Testfahrten wurden die Genauigkeitsanforderungen zumindest für die Gesamtgewichte erfüllt.

Darüber hinaus ist es das Ziel eines Schwerverkehrsmonitorings, Veränderungen über einen definierten Zeitraum aufzuzeigen. Es ist daher zu prüfen, welche Messgrößen und Messgenauigkeiten für die temporären Messungen eines Verkehrsmonitorings hier ausreichend sind.

Die Hersteller beider getesteten Bridge-WIM-Systeme haben erläutert, dass die Systeme kontinuierlich weiterentwickelt werden bzw. weitere Genauigkeitssteigerungen realistisch sind.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, Bridge-WIM-Systeme für die Erhebungen innerhalb eines

Schwerverkehrsmonitoring einzusetzen. Bei einer Ausschreibung sollten allerdings die zugelassenen Toleranzen definiert werden und zumindest die bisher erreichten Genauigkeiten gefordert werden.

### 8.3 Auswahlkriterium Standorte

Die Standorte für die Bridge-WIM-Systeme hängen zum einen von der Strecke ab, auf der der Schwerverkehr erfasst werden soll, und zum anderen von der Brücke selbst, an der das System installiert werden soll. Nachfolgend werden die wesentlichen Anforderungen kurz beschrieben.

#### 8.3.1 Brückenart und -zustand

Die Brücke muss laut Herstellerangaben zu den Systemen entweder eine Stahl-, Beton- oder Verbundbrücke aus Stahl und Beton sein. Bei diesen Brückentypen sind die Ergebnisse am eindeutigsten und es lässt sich ein sehr guter Rückschluss auf die überfahrenden Lkw ziehen. Falls die Brücke bereits Risse oder andere strukturelle Veränderungen aufweist, müssen diese in der Messung speziell berücksichtigt werden.

Nicht möglich sind Messungen an Holz- oder Backsteinbrücken.

Das Brückenbauwerk an sich sollte sich in einem guten Zustand befinden. Gleichzeitig ist in jedem Fall mit der zuständigen Behörde zu klären, ob eine Montage des Bridge-WIM-Systems mit der vorgesehenen Methode (Kleben, Bohren) zulässig ist.

#### 8.3.2 Brückendimensionen

Ein weiterer Faktor, welcher bei der Auswahl des Messstandortes berücksichtigt werden sollte, ist die Spannweite der Brücke. Diese lässt sich allerdings nicht pauschal definieren, sondern muss in Abhängigkeit des einzusetzenden Bridge-WIM-Systems betrachtet werden.

An kleineren Brücken haben die getesteten Bridge-WIM-Systeme gezeigt, dass sie an die geforderte Messgenauigkeit heranreichen. Die Hersteller der Systeme geben auch die Nutzung für größere Spannweiten an. Hierdurch werden Peaks in einer Messung deutlicher erkannt, welches die Fahrzeugklassifizierung verbessern soll. Allerdings sollte die Fahrzeugdichte für eine akkurate Messung möglichst gering sein, da es sonst zu sehr vielen Ereignissen

mit mehreren Fahrzeugen auf der Brücke kommt. Des Weiteren beeinflusst die Brückenkonstruktion, zum Beispiel Fahrbahnübergänge und statische Substrukturen, den Einsatz der Systeme an größeren Spannweiten. Diese Herstellerangaben müssen an weiteren Standorten validiert werden.

Brücken mit größerer Spannweite verfügen darüber hinaus auch in der Regel über einen Hohlkörper mit Zugangsmöglichkeiten, sodass die Montage der Messeinrichtung problemlos möglich ist. Auch ein Stromanschluss ist hier in der Regel vorhanden.

#### 8.3.3 Verkehrliche Aspekte

Es sollten nur solche Brücken mit dem Messsystem ausgestattet werden, bei denen Bremsen oder starkes Lenken der überfahrenden Lkw im Normalfall nicht vorkommen. Dies könnte beispielsweise hervorgerufen werden, wenn sich die Brücke im Annäherungsbereich einer Kurve befindet. Auch sollte die Brücke nicht in Bereichen liegen in denen es häufig zu Stauereignissen kommt. Zudem sollten vor der Brücke keine größeren Bodenwellen liegen, welche das Ergebnis negativ beeinflussen würden.

Für die Strecken, an denen die Messsysteme installiert werden können, gilt weiterhin, dass diese am besten nur Schwerverkehr auf dem äußerst rechten Fahrstreifen aufweisen, um zu vermeiden, dass zwei Lkw auf der Brücke nebeneinanderfahren. Durch die parallel fahrenden Lkw kann es dazu kommen, dass die Messergebnisse verfälscht werden, gleichzeitig wird der Lkw außerhalb des rechten Fahrstreifens nicht erfasst. Ohne weitere Maßnahmen wären optimale Standorte somit zweistreifige Richtungsfahrbahnen mit Überholverbot. Auch wenn ein Überholverbot für Lkw die Nutzung des Überholfahrstreifens nicht vollständig unterbindet, sollten hier doch die wenigsten Lkw den Überholfahrstreifen verwenden. Bei mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen ohne Überholverbot wäre eine Möglichkeit, für die Messung temporär ein Lkw-Überholverbot an der betroffenen Stelle einzurichten.

#### 8.3.4 Aufbaumöglichkeiten für Bridge-WIM-Systeme

Neben den bisher genannten Randbedingungen, die häufig systemspezifischer Natur sind, gibt es Randbedingungen für die Aufbaumöglichkeiten von

Bridge-WIM-Systemen, die allgemeine Gültigkeit besitzen.

Hier ist an erster Stelle die Zugänglichkeit zu nennen. Es sollten nach Möglichkeit Brücken ausgewählt werden, die eine sichere Zufahrtsmöglichkeit besitzen. Optimalerweise bietet das Umfeld der Brücke genügend Parkmöglichkeiten, sodass das Montageteam in unmittelbarer Nähe parken kann und kurze Transportwege der Messeinrichtungen vorhanden sind. Gleichzeitig sollte darauf geachtet werden, dass eine Montage nach Möglichkeit ohne Störung und Beeinflussung des weiteren Verkehrs realisierbar ist. Auch die Zugänglichkeit des Brückenbauwerks an sich sollte bei der Planung berücksichtigt werden. Hier bieten sich Brückenbauwerke an, bei denen eine Montage ohne erschwerte Bedingungen (beispielsweise Gewässer unter der Brücke) oder auch ohne umfangreiche technische Hilfsmittel (beispielsweise Hubsteiger) realisierbar ist.

Ebenfalls wichtig für den Betrieb des Bridge-WIM-Systems ist die Energieversorgung. Bei modernen Brückenbauwerken mit Hohlkasten ist die Stromversorgung aufgrund des häufig vorhandenen Stromanschlusses kein Problem. Teilweise kann der Strom auch über andere Straßeninfrastrukturen (z. B. automatische Dauerzählstellen, Wechselverkehrszeichen, Wetterstationen, Beleuchtungsmasten) bezogen werden. Je nach geplanter Einsatzdauer bieten die Bridge-WIM-Systeme auch die Möglichkeit einer komplett autarken Stromversorgung an, die entsprechend über Solarpaneele oder über Brennstoffzellen erfolgt. In der Regel reichen hier normale Batterien (z. B. Autobatterien) nicht aus oder erfordern ein häufiges und somit unwirtschaftliches Wechseln.

Die erfassten Daten werden in der Steuereinheit des Bridge-WIM-Systems gespeichert, sodass ein Auslesen der Daten nach Abschluss der Erhebungsperiode möglich ist. Dennoch bietet es sich an, die erfassten Daten zumindest täglich zu übertragen. Hierdurch ist eine kontinuierliche Überprüfung der korrekten Funktionsweise möglich. Bei einer ersten Überprüfung der erhobenen Daten können Unplausibilitäten in den Daten sowie Funktionsstörungen des Bridge-WIM-Systems frühzeitig detektiert, Gegenmaßnahmen ergriffen und somit einem Datenverlust entgegengewirkt werden. Hierzu ist eine stabile Mobilfunkübertragung notwendig. Dies sollte bei der Standortauswahl ebenfalls berücksichtigt werden.

## 8.4 Einsatzdauer

Bei dem hier beschriebenen Schwerverkehrsmonitoring handelt es sich um ein Konzept, bei dem ergänzend zu den in der Fahrbahn fest eingebauten Achslastmessstellen Bridge-WIM-Systeme für temporäre Messungen eingesetzt werden. Um ein Schwerverkehrsmonitoring wirtschaftlich durchzuführen, sollte – unter Berücksichtigung der notwendigen Zeiten für Montage und Demontage – die Erhebungszeit unter Beachtung der erforderlichen Mindestgenauigkeit minimiert werden. In diesem Fall ist eine Abwägung zwischen Genauigkeitsgewinn und Kosten vorzunehmen.

Für die Festlegung einer sinnvollen Einsatzdauer wurde auf die Auswertung der Gesamtgewichte über die einzelnen Kalenderwochen zurückgegriffen (Bild 130, Bild 131 und Bild 132).

Hierbei zeigt sich, dass die Boxplots der Gesamtgewichte bei beiden Systemen gut miteinander vergleichbar waren und sich keine Änderung der Gesamtgewichte über verschiedene Zeiträume ergab. Lediglich Wochen mit tiefen Temperaturen weichen stärker ab, was möglicherweise auf die Kalibrierung bei einer höheren Temperatur zurückzuführen ist.

Grundsätzlich kann somit festgestellt werden, dass für ein Schwerverkehrsmonitoring eine Woche als Messzeitraum ausreichend ist. Um Störeinflüsse und eventuelle Zwischenfälle zu minimieren, wird allerdings empfohlen, über einen Zeitraum von mindestens zwei Wochen zu messen. Dies passt auch gut zu den benötigten Zeiten für Montage, Kalibrierung und Demontage der Bridge-WIM-Systeme.

## 8.5 Kostenabschätzung

Um einen Überblick über die Kosten eines Schwerverkehrsmonitorings zu erhalten, wurde eine Kalkulationsgrundlage geschaffen, in der die ermittelten Aufwendungen sowie entsprechenden Kostenkomponenten zusammengefügt wurden. Die Kalkulationsgrundlage mit einer ersten Beispielrechnung für ein mögliches und sinnvolles Szenario ist in Bild 133 und Bild 134 dargestellt.

Um die Abschätzungen vornehmen zu können, mussten zu Beginn einige Randbedingungen angenommen werden. Die nachfolgend aufgeführten Randbedingungen beeinflussen hierbei in erster Linie die für ein Schwerverkehrsmonitoring benötigten Geräteanzahlen:

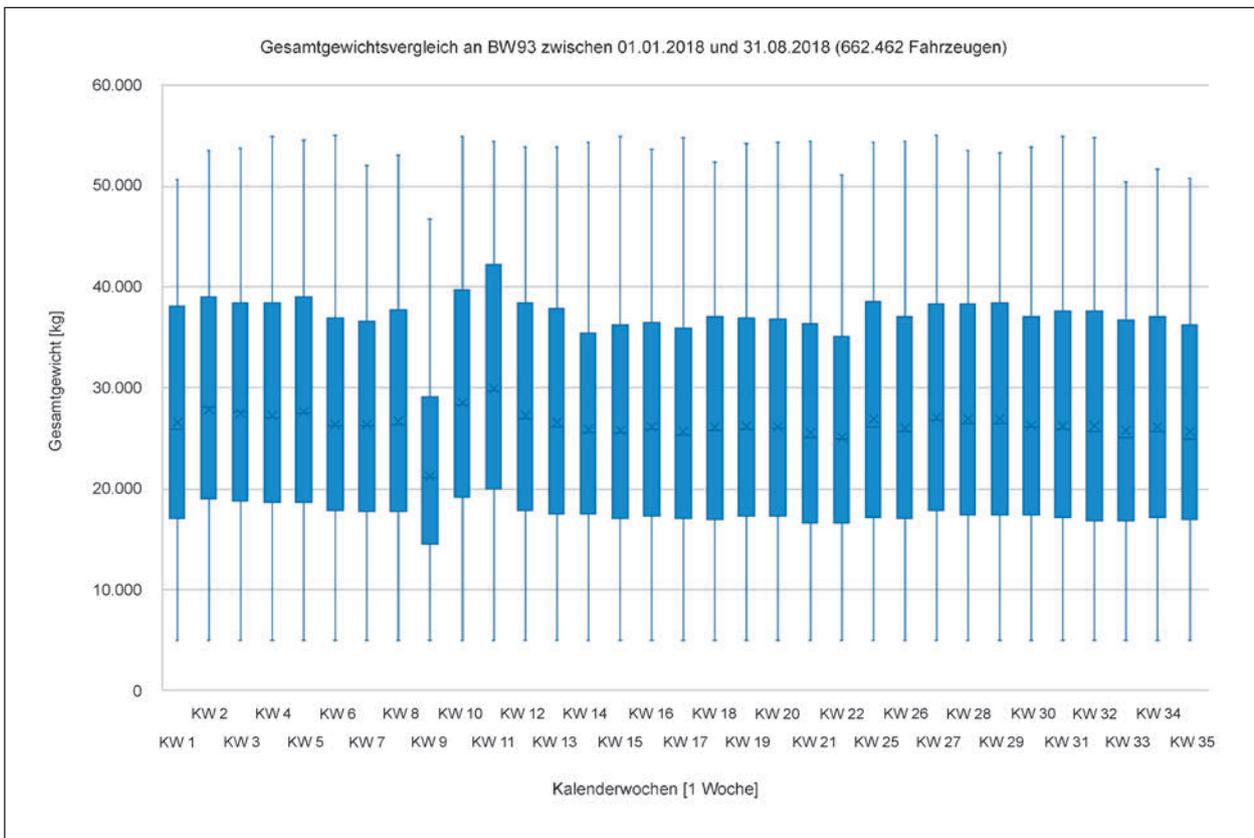


Bild 130: Gesamtgewichtsvergleich über Kalenderwochen an System 1 (BW 93)

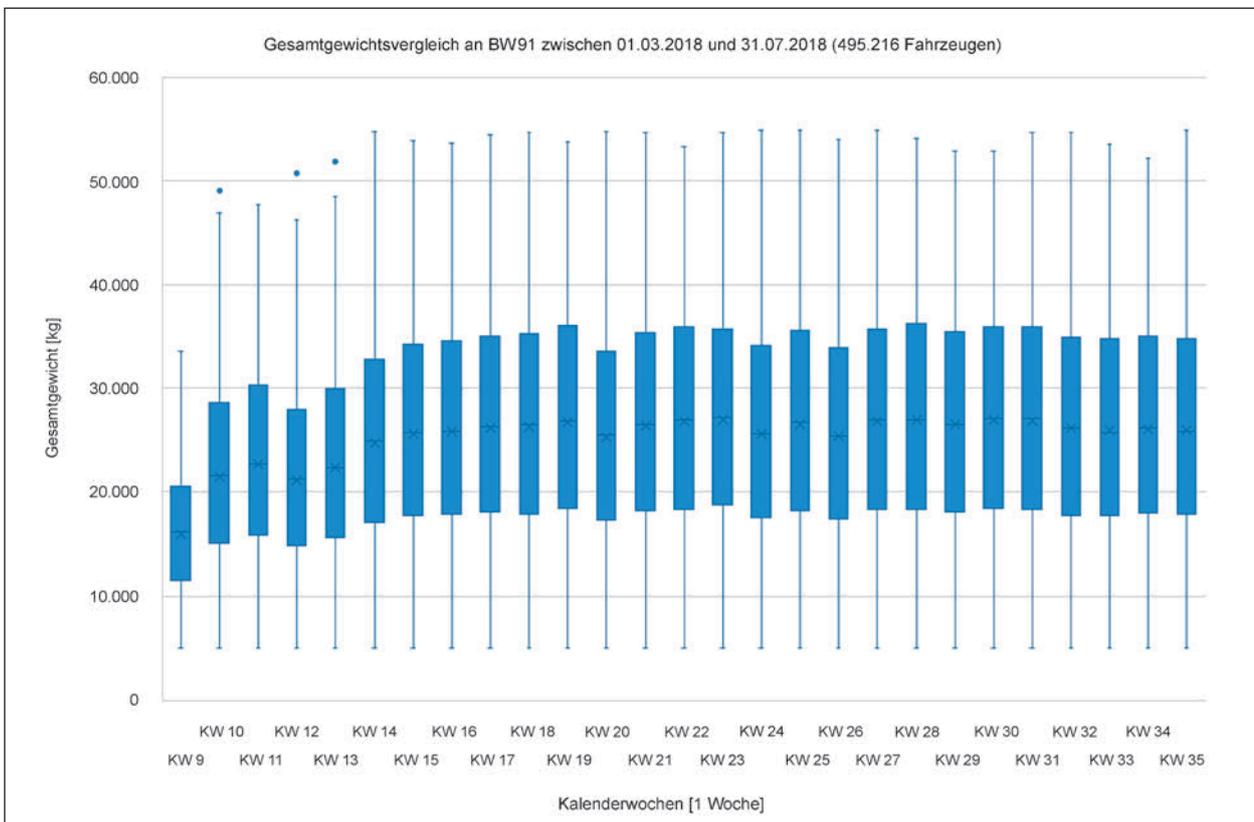


Bild 131: Gesamtgewichtsvergleich über Kalenderwochen an System 2 (BW 91)

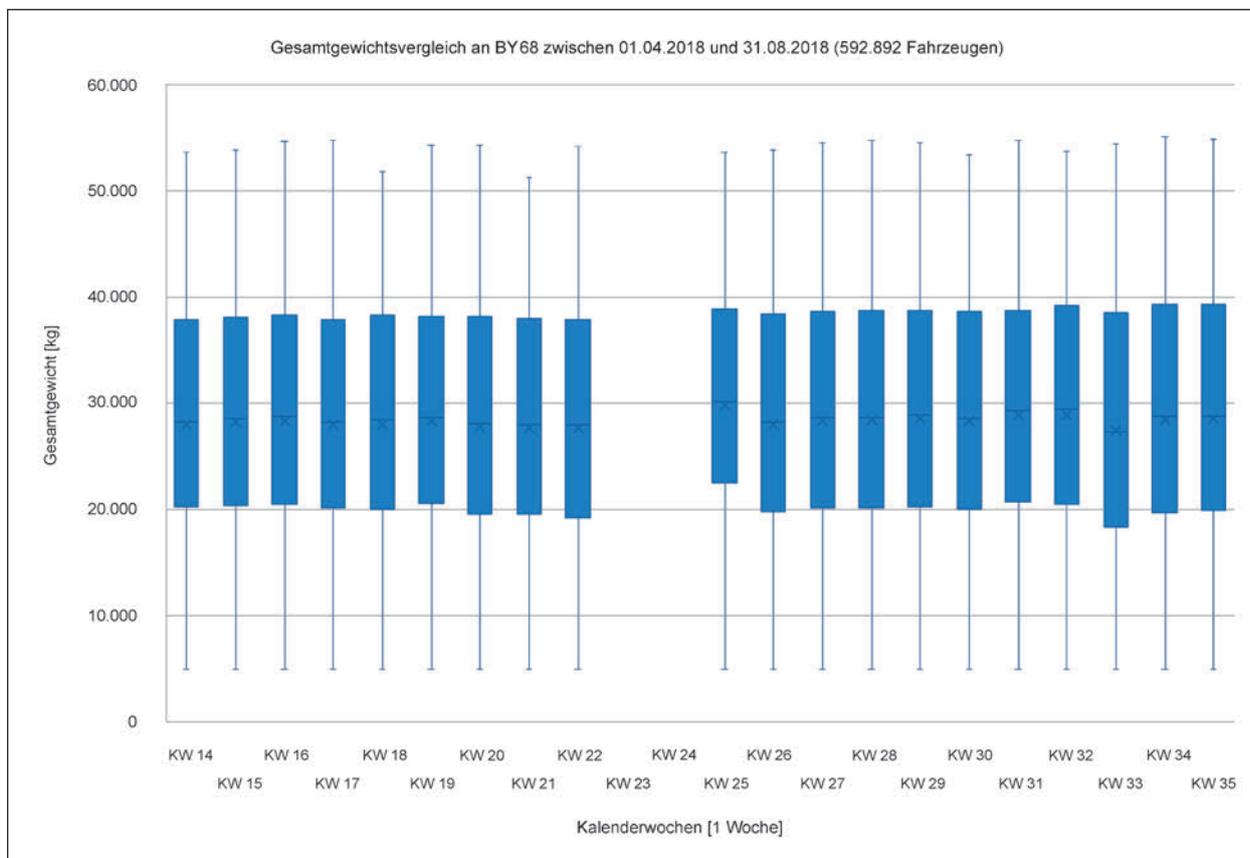


Bild 132: Gesamtgewichtsvergleich über Kalenderwochen an der Vorselektionswaage (BY 68)

- Es sollen alle rund 520 Abschnitte der Bundesautobahnen und Bundesstraßen gemäß Streckenzugmodell überprüft werden.
- Geeignete Brückenbauwerke sind in jedem Abschnitt vorhanden.
- Die Überprüfung soll – in Anlehnung an die Straßenverkehrszählung – innerhalb einer 5-Jahres-Periode durchgeführt werden.
- Für den Auf- und Abbau der Systeme werden insgesamt 4 Tage benötigt.
- Es sollen die Daten in einem Zeitraum von 2 Wochen erhoben werden.
- Die Erhebungen werden nur in den Monaten April bis Dezember durchgeführt, um nicht in Monaten mit extrem niedrigen Temperaturen zu messen.
- Die Bridge-WIM-Systeme werden nur zu 80 % verplant, um Ausfallzeiten durch Feiertage, Ferien etc. zu berücksichtigen.

Geht man von diesen Randbedingungen aus, so ergibt sich ein Bedarf von insgesamt 9 Bridge-WIM-

Systemen (siehe Bild 133). Bei einer Änderung des Erhebungszeitraums und auch der für die Erhebung vorgesehenen Monate ergeben sich entsprechend andere Geräteanzahlen.

Nachfolgend werden weiterhin die wesentlichen Parameter und Eingabegrößen erläutert. Hierbei ist es das Ziel, grundsätzlich alle anfallenden Kostenpunkte abzuschätzen. Die Abschätzungen beinhalten somit die Beschaffung der Geräte, die Planungsphase, die Durchführungen der Messungen vor Ort sowie die abschließende Auswertung und Dokumentation. Hierbei wurde von einem marktreifen System ausgegangen und die im Rahmen des Pilotprojektes ermittelten Zeitbedarfssätze angesetzt. Weitere Angaben, beispielsweise Stundensätze, basieren auf praxisüblichen Erfahrungen.

Die grau hinterlegten Felder stellen dabei Eingabefelder dar und legen somit die Rahmenbedingungen der Kalkulation fest.

Im ersten Schritt ist der Messumfang zu definieren. Neben den insgesamt zu zählenden Streckenabschnitten sind die Anzahl der geplanten Zähljahre sowie die Messdauer pro Zählung anzugeben. Mithilfe der zur Verfügung stehenden Zähltag pro

<b>Messumfang</b>		<b>Kostensätze</b>	
Zu zählende Streckenabschnitte	520	Stundenlohn Projektingenieur [€/h]	70,00
Geplante Zähljahre	5	Stundenlohn Techniker [€/h]	55,00
Messdauer [d] (inkl. Auf-/Abbau)	18	Stundenlohn Hiwi [€/h]	22,00
Messzeitraum [d] (ohne Auf-/Abbau)	14	Tagessatz Reisekosten [€]	18,00
Anzahl Zähltag pro Jahr	275	Übernachungskosten Hotel [€/Nacht]	60,00
Prozentuale Auslastung	0,80	Kilometerpauschale [€/km]	0,30
Zählintervalle pro Jahr	12	Energiekosten [€/h]	1,00
Erforderliche Anzahl Systeme	9		
Durchschnittliche Entfernung zur Messstelle [km]	400		

<b>Investitionskosten (Laufzeit: 5 Jahre)</b>		<b>Systembestandteil</b>		<b>Kamerasystem (2 Kameras)</b>		<b>Software (Lizenz + Integration) 5 Jahre</b>		<b>Systemeinführung + technischer Support</b>	
Kosten [€]	55.000,00	1,00	7.000,00	0,00	35.000,00	1,00	16.500,00		
Stückzahl pro System (Querschnitt: 2 Fahrstreifen)									
Prozentualer Zuschlag für Beschädigungen bei Wiederverwendung   einmalige Anschaffung für alle Systeme [x]	0,10		0,10						
Kosten des Systembestandteils [€]	60.500,00								
Gesamtinvestitionskosten	596.000,00								

<b>Vorbereitungskosten für einen Querschnitt</b>		<b>Arbeitsschritt</b>		<b>Dauer Projektingenieur [h]</b>		<b>Dauer Techniker [h]</b>		<b>Dauer Hiwi [h]</b>		<b>Zusatzkosten [€]</b>		<b>Gesamtkosten [€]</b>	
Auswahl Standorte	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	140,00	140,00	
Erstellung von Karten	3,00	0,00	3,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	209,00	209,00	
Bestimmung der Sensorkpunkte	4,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	220,00	220,00	
Einholung der Ausnahmegenehmigung	2,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	170,00	170,00	
Abstimmung	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,00	125,00	
Routenplanung	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,50	27,50	
Hotelsuche	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,50	27,50	
Sonstige Tätigkeiten	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Gesamtkosten Vorbereitung:</b>													919,00

<b>Montagekosten für einen Querschnitt</b>		<b>Kostenkomponente</b>		<b>Projektingenieur</b>		<b>Techniker</b>		<b>Hiwi</b>		<b>Zusatzkosten [€]</b>		<b>Gesamtkosten [€]</b>	
Übernachungskosten [Anzahl Übernachtungen]	240,00	Anzahl:	0	Anzahl:	2	Anzahl:	0	Anzahl:	0	0,00	0,00	240,00	240,00
Tagessatz Kosten [Anzahl Tage]	108,00	0	2	2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	108,00	108,00
Fahrtkosten Hin-/Rückfahrt	240,00	0	3	3	0	240,00	0,00	0,00	0,00	240,00	0,00	240,00	240,00
Zubehörkosten (Dübel, Kabelbinder, etc.)	30,00	-	-	-	-	30,00	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	30,00	30,00
Kosten Arbeitsstunden Hin-/Rückfahrt [Anzahl Stunden]	550,00	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	550,00	550,00
Kosten Arbeitsstunden Montage [Anzahl Stunden]	1.100,00	0,00	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.100,00	1.100,00
Kosten Kalibrierung [Anzahl Stunden/Externe Kosten]	420,00	0,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	420,00	420,00
Kosten Arbeitsstunden Rückfahrt [Anzahl Stunden]	550,00	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	550,00	550,00
<b>Gesamtkosten Montage:</b>													3.238,00

Bild 133: Exemplarische Kostenkalkulation (Teil 1)

<b>Betriebskosten für einen Querschnitt</b>						
Kostenkomponente	Projektingenieur	Techniker	Hiwi	Zusatzkosten [€]	Gesamtkosten [€]	
	Anzahl:	Anzahl:	Anzahl:			
Übernachtungskosten [Anzahl Übernachtungen]	0	1	1	0,00	0,00	0,00
Tagessatz Kosten [Anzahl Tage]	0	0	0	0,00	0,00	36,00
Fahrtkosten Hin-/Rückfahrt	-	1	1	240,00	240,00	600,00
Kosten Arbeitsstunden Hin- und Rückfahrt [Anzahl Stunden]	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	480,00
Kosten Arbeitsstunden Wartung [Anzahl Stunden]	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00	600,00
Kosten Arbeitsstunden Rückfahrt [Anzahl Stunden]	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	97,80
Risikofaktor für eine Wartung für eine Wartung	-	-	-	-	-	10,00
Wartungskosten	-	-	-	-	-	55,00
Kosten für den Datenabruf	0,00	0,00	0,00	10,00	10,00	336,00
Kosten für die Betriebsüberwachung	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	336,00
Energiekosten	-	-	-	336,00	336,00	498,80
<b>Gesamtkosten Betrieb:</b>						
<b>1.315,50</b>						
<b>Demontagekosten für einen Querschnitt</b>						
Kostenkomponente	Projektingenieur	Techniker	Hiwi	Zusatzkosten [€]	Gesamtkosten [€]	
	Anzahl:	Anzahl:	Anzahl:			
Übernachtungskosten [Anzahl Übernachtungen]	0	1	1	0,00	0,00	0,00
Tagessatz Kosten [Anzahl Tage]	0	0	0	0,00	0,00	36,00
Fahrtkosten Hin-/Rückfahrt	-	1	1	240,00	240,00	240,00
Zubehörkosten (Beton, etc.)	-	-	-	-	-	0,00
Kosten Arbeitsstunden Hin- und Rückfahrt [Anzahl Stunden]	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	385,00
Kosten Arbeitsstunden Demontage [Anzahl Stunden]	0,00	3,50	3,50	0,00	0,00	269,50
Kosten Arbeitsstunden Rückfahrt [Anzahl Stunden]	0,00	5,00	5,00	0,00	0,00	385,00
<b>Gesamtkosten Demontage:</b>						
<b>1.315,50</b>						
<b>Datenaufbereitungskosten für einen Querschnitt</b>						
Arbeitsschritt	Dauer Projektgenieur [h]	Dauer Techniker [h]	Dauer Hiwi [h]	Zusatzkosten [€]	Gesamtkosten [€]	
Datenprüfung	0,00	0,00	3,00	0,00	66,00	66,00
Datenaufbereitung	0,00	0,00	1,00	0,00	22,00	22,00
Tägliche Qualitätssicherung [Zeit pro Erhebung]	0,00	2,00	0,00	0,00	110,00	110,00
Erstellung eines zusammenfassenden Fact Sheets	0,00	8,00	0,00	0,00	440,00	440,00
Dokumentation	0,00	1,00	0,00	0,00	55,00	55,00
Abstimmung mit dem Auftraggeber	2,00	0,00	0,00	0,00	140,00	140,00
Sonstige Tätigkeiten	1,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00
<b>Gesamtkosten Nachbereitung:</b>						
<b>903,00</b>						
<b>Gesamtkostenübersicht</b>						
Gesamtinvestitionskosten [€]	596.000,00					
Vorbereitungskosten [€]	477.880,00					
Montagekosten [€]	1.683.760,00					
Betriebskosten [€]	259.376,00					
Demontagekosten [€]	684.060,00					
Datenaufbereitungskosten [€]	469.560,00					
<b>Gesamtkosten Netto [€]</b>	<b>4.170.636,00</b>					
Mehrwertsteuer [19%]	792.420,84					
<b>Gesamtkosten Brutto [€]</b>	<b>4.963.056,84</b>					

Bild 134: Exemplarische Kostenkalkulation (Teil 2)

Jahr und einer angenommenen prozentualen Auslastung lässt sich folglich die erforderliche Anzahl der zu beschaffenden Systeme bestimmen. Für die eingangs angesetzten Randbedingungen ergibt sich hier der Gerätebedarf zu 9 Geräten. Weiterhin ist eine durchschnittliche Entfernung zur Messstelle anzugeben. Diese Angabe wird im weiteren Verlauf für die Fahrtkostenberechnung herangezogen. Im Rahmen der Kostensätze sind die Stundenlöhne für die Arbeitskräfte, die Reisekosten, eine Kilometerpauschale sowie die Energiekosten festzulegen.

Die Berechnung der Investitionskosten basiert auf einer vom Hersteller bereitgestellten Aufstellung der Kostenpunkte für ein System. Dabei wird zwischen den Bestandteilen Messsystem, Kamerasystem, Software und Systemeinführung (inkl. technischer Support) unterschieden. Ein Kamerasystem wird international häufig in Kombination mit dem Bridge-WIM-System eingesetzt, um an einem späteren Querschnitt überladene Fahrzeuge anhand des Kennzeichens/Fotos herauszufiltern und nachzuverfolgen. Im Rahmen der hier vorgenommenen Kostenabschätzung wird das Kamerasystem als optionales Zubehör betrachtet und findet somit kostenmäßig keine weitere Berücksichtigung.

Zum Betrieb der Bridge-WIM-Systeme ist eine entsprechende Energieversorgung (Brennstoffzelle, Solarpanel) notwendig. Für die hierzu notwendige Hardware wurden die Kosten pauschal bei den Systemkosten berücksichtigt. Hierdurch wird berücksichtigt, dass vermutlich an vielen Standorten kein frei zugänglicher Netzanschluss vorhanden ist und auf eine autarke Stromversorgung zurückgegriffen werden muss. Als autarke Energieversorgung kann hier beispielsweise eine Brennstoffzelle zur Anwendung kommen. Die Laufzeit einer Brennstoffzelle kann mit rund 6.000 Stunden abgeschätzt werden, sodass sich bei Verrechnung der anfallenden Anschaffungskosten für die Zellen ein Kostensatz von rund 1,00 Euro pro Stunde ergibt. Im Zuge der Betriebskosten wird dieser Kostensatz mit dem entsprechenden Erhebungszeitraum verrechnet, um die anfallenden Energiekosten zu bestimmen.

Für jeden dieser Bestandteile sind die Stückzahl pro System sowie ein prozentualer Zuschlag für potenzielle Beschädigungen anzugeben. Das Setzen eines „x“ berücksichtigt Systembestandteile, die nur einmalig angeschafft werden müssen und dessen Kosten unabhängig von der Systemanzahl sind. Dies zeigt sich für dieses Monitoring bei den Kostenpositionen für die Software sowie für die zu Be-

ginn des Projektes notwendige Systemeinführung. Die ausgewiesenen Gesamtinvestitionskosten stellen abschließend die Kosten für die Anschaffung aller benötigten Systeme und Systemkomponenten dar.

Zur Durchführung der Messungen sind weitere vorbereitende Maßnahmen notwendig, die unter den folgenden Arbeitsschritten zusammengefasst wurden:

- Auswahl Standorte,
- Erstellung von Karten,
- Bestimmung der Sensorpunkte,
- Einholung der Ausnahmegenehmigungen,
- Abstimmungen,
- Routenplanung,
- Hotelsuche,
- sonstige Tätigkeiten.

Für jeden Arbeitsschritt sind die aufgewendeten Stunden jeder Arbeitskraft anzugeben. Hierbei wurden die Zeitbedarfswerte für einen einzelnen Standort abgeschätzt und angegeben. An dieser Stelle wird angenommen, dass Projekttechniker, Techniker und wissenschaftliche Hilfskräfte in die Vorbereitung einbezogen werden. Die Kostensätze sind hierfür im oberen Bereich der Tabelle angegeben. Darüber hinaus können zu den einzelnen Arbeitsschritten auch weitere Zusatzkosten angesetzt werden, beispielweise für verkehrsrechtliche Ausnahmegenehmigungen.

Bei den Montagekosten ist zunächst die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte anzugeben. Im vorliegenden Beispiel wird hierbei von zwei Technikern ausgegangen. Zur Kostenreduzierung kann möglicherweise auch ein Techniker und ein Hiwi eingesetzt werden. Gleichzeitig sind entsprechend die Anzahl der benötigten Übernachtungen einzupflegen. Bei den Arbeitsstunden ist eine Eingabe bezüglich der reinen Montageleistung nötig. Die Berechnung der Arbeitsstunden für die Hin- und Rückfahrt basiert auf der angegebenen Entfernung sowie einer angenommenen durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit von 80 km/h. Zusätzlich sind noch Kosten für mögliches Zubehörmaterial festzulegen.

Bei den Betriebskosten ist zwischen den Kosten für eine zusätzliche Wartung bei Störungen und den

laufenden Betriebskosten zu unterscheiden. Die Berechnung einer zusätzlichen Wartungsfahrt orientiert sich an der Vorgehensweise bei der Berechnung der Montagekosten. Da nicht anzunehmen ist, dass bei jeder Zählung eine solche Fahrt durchzuführen ist, werden die Wartungskosten mit einem Risikofaktor verrechnet. Dadurch ergeben sich die Wartungskosten, die durchschnittlich für eine Zählung anfallen. Die laufenden Betriebskosten setzen sich aus den Kosten für den Datenabruf sowie die Betriebsüberwachung zusammen. Die einzelnen Stundensätze werden dabei nicht mit der Anzahl der oben angegebenen Arbeitskräfte verrechnet. Schließlich wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass die beiden Tätigkeiten von einem externen Standort erfolgen. Ebenfalls unter die laufenden Betriebskosten fallen die Energiekosten, die für den Betrieb des Systems notwendig sind. Berechnet werden diese mithilfe des Energiekostensatzes und dem Messzeitraum.

Die Struktur zur Berechnung der Demontagekosten ist vergleichbar mit der Struktur der Montagekostenberechnung. Für die Demontage wird angenommen, dass sich das Team infolge eines geringeren Anspruchs der Tätigkeit aus einem Techniker sowie einem Hiwi zusammensetzt. Durch die entsprechende Verrechnung mit den Übernachtungskosten, den Tagessatzkosten sowie den Kosten für die anfallenden Arbeitsstunden ergeben sich die Gesamtkosten für die Demontage.

Die Berechnung der Datenaufbereitungskosten orientiert sich an dem Vorgehen zur Berechnung der Vorbereitungskosten. Dabei erfolgt jedoch die notwendige Anpassung der zu tätigenen Arbeitsschritte. Für die folgenden Schritte gilt es, die entsprechenden Zeitbedarfswerte anzugeben:

- Datenprüfung,
- Datenaufbereitung,
- Datenlieferung,
- tägliche Qualitätssicherung des Gesamtsystems und Überprüfung der Auswertungen,
- Erstellung eines zusammenfassenden Fact-Sheets,
- Dokumentation der Erhebung und Ergebnisse,
- Abstimmung mit dem Auftraggeber,
- sonstige Tätigkeiten.

In der Gesamtkostenübersicht werden abschließend alle Kostenkomponenten zusammenfassend aufgeführt. Dabei gilt es zu beachten, dass die Kosten für die Vorbereitung, die Montage, den Betrieb, die Demontage sowie die Datenaufbereitung jeweils die Gesamtkosten für alle 520 Abschnitte (2-wöchige Messung) darstellen. Unter den getroffenen Annahmen und Eingaben (siehe Bild 133 und Bild 134) ergeben sich folglich für die Durchführung eines fünfjährigen Schwerverkehrsmonitorings Nettokosten in einer Höhe von rund 4,2 Mio. Euro. Die Bruttokosten belaufen sich nach der Verrechnung mit einem Steuersatz von 19 Prozent zu rund 5,0 Millionen Euro.

Mithilfe der generierten Eingabemaske lassen sich nun für unterschiedliche Randbedingungen die Kosten abschätzen. Wird beispielsweise statt einer 2-wöchigen Erhebung der Erhebungszeitraum auf 4 Wochen ausgedehnt, so ergeben sich die Kosten aufgrund der zusätzlich notwendigen Geräte bei ansonsten unveränderten Randbedingungen zu brutto 5,8 Mio. Euro. Falls zusätzlich die Systemkosten nicht nur 55.000 €, sondern 100.000 € betragen, so erhöhen sich die Gesamtkosten auf rund 6,8 Mio. Euro.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des Forschungsprojektes war es, einen Bridge-WIM-Pilotversuch in Deutschland zu begleiten und detailliert auszuwerten. Hierzu wurden im Auftrag der BAST zwei Systeme an einem Brückenbauwerk eingebaut. Die erhobenen Daten, in Kombinationen mit genau verwogenen Fahrzeugen, wurden ausgewertet und erlauben so Aussagen zu erreichbaren Genauigkeiten. Darüber hinaus wurde sowohl der Einbau als auch der Rückbau durch den Forschungsnehmer intensiv begleitet, um hier mögliche Probleme zu dokumentieren. Daraus konnten Randbedingungen definiert werden und es konnten Zeitbedarfswerte für die unterschiedlichen Arbeitsschritte ermittelt werden, die im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen genutzt werden können.

Der Pilotversuch hat gezeigt, dass eine Erhebung des Schwerverkehrs durch Bridge-WIM-Systeme eine mögliche Ergänzung zu dem bestehenden Achslastmessstellennetz in Deutschland ist. Die Systeme sind mobil und lassen sich an geeigneten

Brücken im Netz installieren. Die Qualität der Messungen wurde im Pilotversuch insbesondere für die Gesamtgewichte als gut befunden, bei den weiteren Messgrößen gab es bei den beiden getesteten Systemen unterschiedliche Einschränkungen. Die Systeme liefen während des Testzeitraums von sechs Monaten ohne Nachkalibrierung durch Überfahrten mit Testfahrzeugen stabil und die Daten wurden in den vorgegebenen einheitlichen Formaten übersendet, sodass ein Vergleich bei der Auswertung problemlos möglich war. Auch die Temperaturempfindlichkeit der Systeme wurde betrachtet. Um einen Temperatureinfluss zu minimieren und eine hohe Messgenauigkeit zu erreichen, empfiehlt es sich, die Kalibrierung nach Herstellerangaben möglichst zeitnah zu dem Messzeitraum durchzuführen. Die getesteten Bridge-WIM-Systeme eignen sich insbesondere für Anwendungen, die schwerpunktmäßig Gesamtgewichte benötigen.

Der Einsatz von Bridge-WIM-Systemen bietet sich im Rahmen eines Schwerverkehrsmonitorings an. Hierbei werden mithilfe der Systeme Kurzzeitmessungen – beispielsweise über einige Wochen – durchgeführt und so in einem definierten Turnus – beispielsweise 5 Jahre – flächendeckend Daten auf den Streckenzügen erhoben.

Die Bewertung hinsichtlich der getesteten Systeme lautet dahingehend, dass das marktreife System eher für den Einsatz in einem Schwerverkehrsmonitoring geeignet ist. Das eher experimentelle System konnte zwar auch in gewissen Teilen überzeugen, hatte jedoch bei der Genauigkeit und hinsichtlich der Erfassung aller Achsen bei Fahrzeugen mit Mehrfachachsen Probleme.

Nach Durchführung aller Messungen eines Turnus könnten für sämtliche definierten Streckenabschnitte Belastungsdaten ermittelt werden. Basierend auf dem stationären Achslastmessstellennetz, das wesentliche Stützstellen darstellt, ergibt sich durch diese zusätzlichen Standorte ein deutlich dichteres Netz für Bewertung, Plausibilitätsprüfung und möglichen Hochrechnungen. Saisonale Schwankungen können durch Vergleichen der stationären Achslastmessstellen und der Kurzzeitmessungen an diesen temporären Messstandorten reduziert werden.

Mithilfe eines Schwerverkehrsmonitorings könnten flächendeckend Gesamtgewichts- und Achslastverteilungen ermittelt werden. Die Kosten eines Schwerverkehrsmonitorings werden hierbei in einem ersten exemplarischen Ansatz für 2-wöchige

Erhebungen und Erfassung von 520 Abschnitten über einen 5-Jahres-Zeitraum mit rund 5,0 Mio. Euro abgeschätzt. Hinsichtlich der Durchführung und der möglichen Varianten sollten weitergehende Forschungsarbeiten durchgeführt werden, die als Ergebnis ein umfassendes Konzept haben.

## Literatur

- BASSt (2005): Schwere Achslasten – was hält eine Fahrbahn aus? Jahresbericht 2004 der BASSt, Reihe Allgemein, Heft A 28, Bergisch Gladbach, 2005
- BASSt (2007): Verfahren zur Überprüfung der Kalibrierung und Abnahme von Achslasterfassungsgeräten, BASSt-S4f/V2d, Stand: Juni 2007
- BASSt (2010): Achslasterfassung auf Bundesfernstraßen, Jahresbericht 2009/2010 der BASSt, Reihe Allgemein, Heft A 34, Bergisch Gladbach, Dezember 2010
- BASSt (2015): Datensatzformat der Achslast-Einzelfahrzeugdaten, BASSt V2c-xa (Achslastdaten), Stand: 20.10.2015
- BASSt (2015): Achslastdaten an Dauerzählstellen – Jahresauswertungen, V2c-xa (Achslastdaten), Bergisch Gladbach 28.10.2015
- BRIDGEMON (2014) Research project from the Research for the Benefit of SMEs (Small and Medium size Enterprises) scheme of the 7<sup>th</sup> Framework Programme of the European Commission, Abschluss November 2014, siehe <http://bridgemon.zag.si/> (Aufruf: 22.03.2019)
- FITSCHEN, A.; NORDMANN, H. (2014): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 244, Bergisch Gladbach, Oktober 2014
- FITSCHEN, A.; TETZNER, S. (2009): Auf Achse – Ausblick auf das Achslasterfassungssystem in Deutschland, Mitteilungen der Bundesanstalt für Straßenwesen 3/2009, Zeitschrift Straßenverkehrstechnik, Heft 12, 2009
- FITSCHEN, A. (2013): Wie schwer sind Lkw wirklich? Jahresbericht 2011/2012 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Allgemein, Heft A35, Bergisch Gladbach, April 2013

- KATHMANN, T.; SCHROEDER, S. (2017): Ermittlung der realistischen Verkehrsverteilung auf mehrstreifigen Bundesfernstraßen als Einganggröße für die rechnerische Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz (FE 83.0028/2013), Schlussbericht (unveröffentlicht), Aachen, Juni 2017
- KATHMANN, T.; ZIEGLER, H.; THOMAS, B. (2009): Straßenverkehrszählung 2005: Methodik, BAST-Bericht V 179 Bergisch Gladbach, 2009
- KÖHLER, R.; WOLF, A. (2009): Die Last mit der Last, Jahresbericht 2007/2008 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Allgemein, Heft A 32, Bergisch Gladbach, Februar 2009
- StVO (2015): Straßenverkehrs-Ordnung vom 06. März 2013 (BGBl. I S. 367), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 25. September 2015 (BGBl. I S. 1573) geändert worden ist, 2015
- TLS (2012): Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012, Bundesministerium Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), [www.bast.de](http://www.bast.de) → Verkehrstechnik → Publikationen → Regelwerke zum Download, Bonn, 2013
- VILLARET, S. et al. (2017): Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung (FE 04.0285/2014/ORB), Bearbeitung: Villaret Ingenieurgesellschaft, Institut für Straßenwesen Aachen, DTV-Verkehrsconsult GmbH, RIWE Ingenieure (in Bearbeitung)
- WOLF, A. (1999): Analyse der im 1. Quartal 1998 im Rahmen des Probestriebs von 13 Achslastwaagen auf Bundesautobahnen in Hessen erfassten Achslasten und Einzelfahrzeugdaten im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen, Forschungsprojekt 98.341 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1999
- WOLF, A. (2010): Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Straßenbau, Heft S 61, Bergisch Gladbach, April 2010
- ZIEGLER, H.; KATHMANN, T.; POZYBILL, M.; MAYER-KREITZ, M. (2011): Erfahrungsbericht Verkehrsmonitoring Baden-Württemberg. Straßenverkehrstechnik 7, 442-450, 2011
- ZIEGLER, H.; POZYBILL, M.; KATHMANN, T. (2009): Verkehrsmonitoring Baden-Württemberg – Entwicklung zur Umsetzungsreife. Straßenverkehrstechnik 6, 345-356, 2009

## Tabellen

- Tab. 1: Abfolge Bridge-WIM-Pilotversuch
- Tab. 2: Zeitbedarfswerte für die Installation des Bridge-WIM-Systems 1
- Tab. 3: Zeitbedarfswerte für die Installation des Bridge-WIM-Systems 2
- Tab. 4: Zeitbedarfswerte für die Demontage des Bridge-WIM-Systems 1
- Tab. 5: Zeitbedarfswerte für die Demontage des Bridge-WIM-Systems 2
- Tab. 6: Mittlere Tagesganglinie der Zählstelle 9023 Rosenheim (O)
- Tab. 7: Messprotokoll mit Zeiten (Wendepunkt) und Geschwindigkeiten der Überfahrten 2-Achser
- Tab. 8: Messprotokoll mit Zeiten (Wendepunkt) und Geschwindigkeiten der Überfahrten Sattel-Kfz
- Tab. 9: Genauigkeitsanforderungen an Achslasterfassungsgeräte nach „Verfahren zur Überprüfung der Kalibrierung und Abnahme von Achslasterfassungsgeräten“
- Tab. 10: Zusammenstellung der Testfahrten (2-Achser, Typ 8) und der vom System 1 gemessenen Messwerte
- Tab. 11: Zusammenstellung der Testfahrten (Sattel-Kfz) und der vom System 1 gemessenen Messwerte
- Tab. 12: Überprüfung der Achsabstände System 1
- Tab. 13: Zusammenstellung der Testfahrten (2-Achser) und der vom System 2 gemessenen Messwerte

Tab. 14: Zusammenstellung der Testfahrten (Sat-  
tel-Kfz) und der vom System 2 gemessenen  
Messwerte

Tab. 15: Überprüfung der Achsabstände System 2

Tab. 16: Vergleich von Fahrzeugen System 1 (BW  
93) und Vorselektionswaage

## Bilder

Bild 1: Übersicht über die unterschiedlichen  
Standorte im Bridge-WIM-Pilotversuch  
(Karte hergestellt mit OpenStreetMap-  
Daten | Lizenz: Open Database License  
(ODbL))

Bild 2: Mittlere Ganglinien des Gesamtverkehrs  
(Jahr 2016) an der Zählstelle Rosen-  
heim-Ost (9023)

Bild 3: Anteil Fahrzeugarten am Schwerverkehr  
(Jahr 2016) an der Zählstelle Rosen-  
heim-Ost (9023)

Bild 4: Lageplan Bauwerk 93 (Karte hergestellt  
aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open  
Database License (ODbL))

Bild 5: Zuweg zum Brückenbauwerk vom Park-  
platz aus

Bild 6: Bereich oberhalb des Brückenbauwerks

Bild 7: Frei geschnittener Böschungszugang

Bild 8: Arbeitsbereich unterhalb der Brücke

Bild 9: Entwurfsskizze der Sensorpositionen  
(Pflichtenheft des Herstellers)

Bild 10: Stufe 1 – Ausmessen der Brücke und  
Festlegung der Positionen

Bild 11: Stufe 1 – Prüfung auf Bewehrung

Bild 12: Stufe 2 – Herstellung der Bohrlöcher

Bild 13: Stufe 3 – Befestigung der Sensoren

Bild 14: Stufe 4 – Verbindung der Sensoren

Bild 15: Stufe 5 – Montage des Schaltschranks

Bild 16: Stufe 6 – Herstellung der Verbindung Sen-  
soren – Signalverteiler – Auswerteeinheit

Bild 17: Stufe 7 – Montage der Datenübertra-  
gungseinheit

Bild 18: Stufe 8 – Systemkonfiguration und Setup

Bild 19: Stufe 9 – Durchführung der Fahrten zur  
Kalibrierung

Bild 20: Übersicht über die Route der Testfahrten  
(Karte hergestellt aus OpenStreetMap-  
Daten | Lizenz: Open Database License  
(ODbL))

Bild 21: Erschwerte Bedingungen (Beispiel 1)

Bild 22: Erschwerte Bedingungen (Beispiel 2)

Bild 23: Lageplan Bauwerk 91 (Karte hergestellt  
aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open  
Database License (ODbL))

Bild 24: Zuweg zum Brückenbauwerk im unterge-  
ordneten Netz

Bild 25: Baustromverteiler auf dem Brückenbau-  
werk

Bild 26: Hubsteiger unter der Brücke

Bild 27: Arbeitsbereich unterhalb der Brücke

Bild 28: Skizze der DMS-Sensorpositionen

Bild 29: Stufe 1 – Anbringen Halterungen Traverse

Bild 30: Stufe 2 – Einmessen der Sensorpositionen

Bild 31: Stufe 3 – Anbringen Traverse

Bild 32: Stufe 4 – Aufstellen Schaltschrank

Bild 33: Stufe 5 – Verlegung Kabel in Traverse

Bild 34: Stufe 6 – Anbringen der DMS und Tem-  
peratursensoren

Bild 35: Stufe 7 – Verkabeln der Sensoren

Bild 36: Stufe 8 – Anschluss und Einrichten  
Schaltschrank

Bild 37: Erschwerte Bedingungen (Beispiel 1)

Bild 38: Zustand Signalverteiler bei der Demon-  
tage

Bild 39: Aufwickeln und Fixieren der Kabel am  
Signalverteiler

Bild 40: Abschrauben eines Sensors

Bild 41: Trennen der Befestigung eines Kabel

- Bild 42: Bohrlöcher (inklusive Dübel) nach der Demontage
- Bild 43: Plastikreste der Kabelhalterung nach der Demontage
- Bild 44: Füllen der Löcher mit Injektionsmörtel
- Bild 45: Zustand des Bauwerks nach dem Füllen mit Injektionsmörtel
- Bild 46: Abschrauben der Übertragungseinheit
- Bild 47: Transport des Schaltschranks die Böschung hoch
- Bild 48: Durchhängendes Kabel
- Bild 49: Entfernen der Silberfolie mit einem Spachtel
- Bild 50: Abschlagen des Sensors mit einem Hammer
- Bild 51: Führung der Kabel entlang des Geländers
- Bild 52: Entfernen eines Trägers durch die Hinzunahme eines Brenners und eines Brecheisens
- Bild 53: Entfernen der Klebereste
- Bild 54: Zustand der Brücke nach der Demontage der Sensoren
- Bild 55: Zustand der Brücke nach der Demontage der Träger
- Bild 56: Minimale Betonrückstände am demontierten Träger
- Bild 57: Aufwickeln der Kabel
- Bild 58: Abtransport des Schaltschranks
- Bild 59: Lage der Wetterstation Karolinenfeld und der Glättemeldeanlage (GMA) auf der Inntalbrücke sowie Foto der GMA (Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Open Database License (ODbL)) (Foto: BAST)
- Bild 60: Beispiel für mittlere Ganglinien des Gesamt- (links) und Schwerverkehrs (rechts) an der Zählstelle Rosenheim-Ost (9023)
- Bild 61: Steckbrief (Beispiel) mit den Ergebnissen der täglichen Prüfung
- Bild 62: Beispiel eines ausgefallenen Bridge-WIM-Systems 2
- Bild 63: Beispiel einer auffälligen Zuordnung der Fahrzeugarten an System 1
- Bild 64: Datenverfügbarkeit der einzelnen Datenquellen über die Laufzeit 15.11.2017 – 31.08.2018
- Bild 65: Abweichung der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage (BY 68) und System 1 (BW 93) über die Laufzeit
- Bild 66: Abweichung der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage (BY 68) und System 2 (BW 91) über die Laufzeit
- Bild 67: Verwiegestation auf dem Parkplatz „Im Moos“
- Bild 68: Eichstempel auf der Waage am Parkplatz „Im Moos“
- Bild 69: Verwiegung des 2-achsigen Lkw auf dem Parkplatz „Im Moos“
- Bild 70: Geplanter Ablauf der Testfahrten mit angemietetem 2-achsigen Lkw
- Bild 71: Geplanter Ablauf der Testfahrten mit angemietetem Sattel-Kfz
- Bild 72: Messprotokoll Versuchsfahrten Sattel-Kfz
- Bild 73: Messprotokoll der Versuchsfahrten 2-Achser
- Bild 74: Musterdatensatz Zementwerk
- Bild 75: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)
- Bild 76: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)
- Bild 77: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)
- Bild 78: Abweichungen der Achsgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)
- Bild 79: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierverfahrens (alle Fahrten)
- Bild 80: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierverfahrens (jeweils 15 Fahrten)

- Bild 81: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 82: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 83: Abweichungen der Achsgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 84: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 85: Überprüfung der Fahrzeugklassifizierung System 1
- Bild 86: Abweichungen der Achslasten von System 2 in Stufe 1 des Kalibrierfahrens
- Bild 87: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierfahrens
- Bild 88: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens
- Bild 89: Abweichungen der Achslastgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens
- Bild 90: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens
- Bild 91: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 92: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 1 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 93: Abweichungen der Achslasten von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 94: Abweichungen der Achslastgruppen von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 95: Abweichungen der Gesamtgewichte von System 1 in Stufe 2 des Kalibrierfahrens (jeweils 15 Fahrten)
- Bild 96: Überprüfung der Fahrzeugklassifizierung System 2
- Bild 97: Vergleich Gesamtgewicht Parkplatz „Im Moos“ und Vorselektionswaage
- Bild 98: Vergleich Achszahl Parkplatz „Im Moos“ und Vorselektionswaage
- Bild 99: Vergleich Gesamtgewicht Parkplatz „Im Moos“ und System 1 (BW 93)
- Bild 100: Vergleich Achszahl Parkplatz „Im Moos“ und System 1 (BW 93)
- Bild 101: Vergleich Gesamtgewicht Parkplatz „Im Moos“ und System 2 (BW 91)
- Bild 102: Vergleich Achszahl Parkplatz „Im Moos“ und System 2 (BW 91)
- Bild 103: Vergleich Gesamtgewicht Zementwerk und Vorselektionswaage
- Bild 104: Vergleich Achszahl Fahrzeuge Zementwerk und Vorselektionswaage
- Bild 105: Vergleich Gesamtgewicht Zementwerk und System 1 (BW 93)
- Bild 106: Vergleich Achszahl im Zementwerk vorverwogener Lkw und System 1 (BW 93)
- Bild 107: Vergleich Gesamtgewicht Zementwerk und System 2 (BW 91)
- Bild 108: Vergleich Achszahl Zementwerk und System 2 (BW 91)
- Bild 109: Summenhäufigkeit der Gesamtgewichte an der Vorselektionswaage
- Bild 110: Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen der Vorselektionswaage
- Bild 111: Vergleich Gesamtgewicht Vorselektionswaage und System 1 (BW 93)
- Bild 112: Vergleich Achszahl Vorselektionswaage und System 1 (BW 93)
- Bild 113: Abweichungen der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage und System 1 (BW 93) über die Laufzeit
- Bild 114: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 1 (BW 93) über Fahrbahntemperaturintervalle
- Bild 115: Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen von System 1 (BW 93)

- 
- Bild 116: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 1 (BW 93) über Geschwindigkeitsintervalle
- Bild 117: Vergleich Gesamtgewicht Vorselektionswaage und System 2 (BW 91)
- Bild 118: Vergleich Achszahl Vorselektionswaage und System 2 (BW 91)
- Bild 119: Abweichungen der Gesamtgewichte zwischen Vorselektionswaage und System 2 (BW 91) über die Laufzeit
- Bild 120: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 2 (BW 91) über Temperaturintervalle
- Bild 121: Verteilung der Gesamtgewichte in Temperaturintervallen von System 2 (BW 91)
- Bild 122: Abweichungen der Gesamtgewichte Vorselektionswaage und System 2 (BW 91) über Geschwindigkeitsintervalle
- Bild 123: Anzahl von Schwerverkehrsfahrzeugen je Tag an den einzelnen Standorten
- Bild 124: Relative Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Gesamtgewichtsklassen
- Bild 125: Summenhäufigkeit der Gesamtgewichte an den einzelnen Standorten
- Bild 126: Relative Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Anzahl Fahrzeugachsen
- Bild 127: Summenkurven über Fahrzeugachsen an den einzelnen Standorten
- Bild 128: Relative Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Achslastklassen
- Bild 129: Häufigkeit des Schwerverkehrs nach Fahrzeugarten
- Bild 130: Gesamtgewichtsvergleich über Kalenderwochen an System 1 (BW 93)
- Bild 131: Gesamtgewichtsvergleich über Kalenderwochen an System 2 (BW 91)
- Bild 132: Gesamtgewichtsvergleich über Kalenderwochen an der Vorselektionswaage (BY 68)
- Bild 133: Exemplarische Kostenkalkulation (Teil 1)
- Bild 134: Exemplarische Kostenkalkulation (Teil 2)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

#### 2017

V 280: **Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien**

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: **Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren**

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: **Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen**

Lippold, Vettters, Steinert € 19,50

V 283: **Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten**

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: **Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten**

Geistefeldt, Sievers  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 285: **Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz**

Kamptner, Thümmeler, Ohmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 286: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung**

Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: **Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle**

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: **Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf**

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

V 289: **Verkehrsqualität an verkehrsabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen**

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

V 290: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung**

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

V 291: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50

V 292: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**

Burg, Schrempf, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 293: **Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**

Geistefeldt, Hohmann, Estel  
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50

V 294: **Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**

Maibach, Tacke, Kießig € 15,50

V 295: **Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**

Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50

V 296: **Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße**

Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 297: **Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen**

Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 298: **Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme**

Balck, Schüller, Balmberger, Rossol  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 299: **Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckeneinflussungsanlagen**

Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

#### 2018

V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten**

Werkenthin, Kluge, Wessolek  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50

V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**

Fitschen, Nordmann € 31,00  
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: [www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,00

V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**

Hartmann, Londong € 16,00

V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**

Lippold, Wittig  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**

Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**

Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO<sub>2</sub>-Pilotstudie Lärm-schutzwand**  
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**  
Wang, Oeser, Steinauer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**  
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**  
Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- ## 2019
- V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**  
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50
- V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**  
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50
- V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**  
Kappich, Westermann, Holst € 15,50
- V 316: **Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**  
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübel € 18,50
- V 317: **Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**  
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00
- V 318: **Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen**  
Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50
- V 319: **Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen**  
Lippold, Veters, Ressel, Alber  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 320: **Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Rad-schnellverbindungen**  
Malik, Lange, Andriesse, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00
- V 322: **Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren**  
Hausmann € 18,00
- V 323: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016**  
Fitschen, Nordmann € 31,50  
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: [www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,00
- V 324: **Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA**  
Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 325: **Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**  
D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 326: **Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**  
Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50
- V 327: **Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**  
Frenken, Mahmoudi € 16,50
- V 328: **Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen**  
Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 329: **Streckenbezogene Glättevorhersage**  
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50
- V 330: **Führung des Radverkehrs an Landstraßen**  
Baier, Leu, Rittershaus  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 331: **Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**  
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00
- V 332: **Räumliche Linienführung von Autobahnen**  
Lippold, Zösch  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 333: **Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**  
Hänisch, Heidebrunn € 17,00
- V 334: **Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**  
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00
- V 335: **Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**  
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00
- V 336: **Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**  
Ungureau, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50
- V 337: **Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**  
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50
- 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 03-48
- Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
- [www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)
- Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.
- ## 2020
- V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**  
Diegmann, Wursthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00