

# Akustische Wirksamkeit von Lärmschutz- wandaufsätzen

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 334

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly rounded and have a white outline, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# Akustische Wirksamkeit von Lärmschutz- wandaufsätzen

von

Paul Lindner  
Sebastian Kluth  
Mirko Ruhnau  
Christian Schulze

Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 334

**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 FE 02.0417/2017/IRB**  
Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen

**Fachbetreuung**  
Wolfram Bartolomaeus

**Referat**  
Umweltschutz

**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 978-3-95606-525-5

Bergisch Gladbach, August 2020



## Kurzfassung – Abstract

### Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen

Um genaue Abschätzungen für die lärmtechnische Bewertung von Straßenbauwerken zu erhalten und unnötige Kosten beim Bau zu vermeiden, sind möglichst genaue Modelle für die Schallemission und Schallausbreitung nötig. Zur lärmtechnischen Beurteilung von Lärmschutzwänden (Lsw) existieren verschiedene analytische Beschreibungen. Die akustische Wirkung von Aufsätzen, sogenannten Schirmkronen, lässt sich dabei bisher nicht allgemein berücksichtigen. Der messtechnische Nachweis der akustischen Wirksamkeit von Aufsätzen im Fernbereich einer Lärmschutzwand an einer realen Verkehrsschallquelle ist ein wichtiger Schritt für die zukünftige Vorhersage des maßgeblichen Immissionschalldruckpegels unter Einsatz von Schirmkronen.

Ziel des vorliegenden Vorhabens war daher die messtechnische Bestimmung der akustischen Wirksamkeit einer Schirmkrone der Fa. CALMA-TEC, die auf bestehende Lärmschutzwände der Talbrücke Uttrichshausen installiert wurde. Dazu wurden Emissions- und Immissionsmessungen vor und nach der Baumaßnahme unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt und die gemessene Pegeldifferenz ausgewiesen. Zeitgleich erfolgte die Erfassung der Verkehrsdaten sowie der meteorologischen Bedingungen, um anschließend mithilfe eines geeigneten Schallausbreitungsmodells eine Korrektur der Immissionspegel bezüglich der zum Zeitpunkt der beiden Messungen vorliegenden Verkehrssituation (Schalleistung) sowie der meteorologischen Bedingungen durchzuführen.

Die daraus resultierende Einfügungsdämpfung der Schirmkrone nimmt an den untersuchten Immissionsorten Werte zwischen 0,4 dB und 1,7 dB an, bei einer Standardabweichung des gemessenen Immissionschalldruckpegels von ca. 1 dB. Unter Berücksichtigung der Wanderhöhung, die durch die

Schirmkrone erfolgt und des damit verbundenen Anstiegs des Abschirmmaßes kann angenommen werden, dass der angestrebte Einfluss der untersuchten Schirmkrone auf die Schallbeugung um die Oberkante der Lärmschutzwand vernachlässigbar ist.

### Acoustic effectivity of attachments to noise barriers

To estimate the acoustical behavior of road constructions precisely and to avoid unnecessary costs, accurate models are required to calculate the emission and the propagation of sound. Multiple analytical procedures exist to evaluate noise barriers acoustically. However, the acoustic impact of attachments to noise barriers (crown elements to be installed on the top of noise barriers) cannot be generally considered yet. The verification of the acoustical effectiveness of crown elements in the far sound field of a noise barrier next to a real traffic noise source by measurement is an important step towards the future predictability of the immission sound pressure level at the receiver of interest in the presence of attachments to noise barriers.

Therefore, aim of the present project was to determine the acoustic effectiveness of a crown element of the company CALMA-TEC installed on top of the existing noise barriers on the viaduct Uttrichshausen by measurement. For this purpose, the emission and the immission sound pressure level were examined before and after the installation of the crown elements under comparable conditions. Subsequently, the difference of the measured sound pressure level was identified. Simultaneously, the traffic data as well as the meteorological conditions were acquired to finally carry out a correction of the immission sound pressure level regarding the traffic situation (sound power) and the meteorological conditions being present at the time of both measurements by means of a suitable sound propagation model.

The insertion loss of the crown element resulting at the investigated receivers of interest takes values of about 0.4 dB to 1.7 dB with a standard deviation of about 1 dB. By considering the fact that the installation of the attachments leads to an increase of the height of the wall which is connected to an increase of the effectiveness of the noise barrier, it can be assumed that the intended influence of the attachment on the sound diffraction around the top edge of the noise barrier is negligible.

## Summary

### Acoustic effectivity of attachments to noise barriers

## 1 Introduction

To estimate the acoustical behavior of road constructions precisely and to avoid unnecessary costs, accurate models are required to calculate the emission and the propagation of sound. Multiple analytical procedures exist to evaluate noise barriers acoustically. However, the acoustic impact of attachments to noise barriers (crown elements to be installed on top of noise barriers) cannot be generally considered yet. The verification of the acoustical effectiveness of crown elements in the far sound field of a noise barrier next to a real traffic noise source by measurement is an important step towards the future predictability of the immission sound pressure level at the receiver of interest in the presence of attachments to noise barriers.

Therefore, aim of the present project was to determine the acoustic effectiveness of a crown element of the company CALMA-TEC installed on top of the existing noise barriers on the viaduct Utrichshausen by measurement. For this purpose,

the emission and the immission sound pressure levels were examined before and after the installation of the crown elements under comparable conditions. Subsequently, the difference of the measured sound pressure level was identified. Simultaneously, the traffic data as well as the meteorological conditions were acquired to finally carry out a correction of the immission sound pressure level regarding the traffic situation (sound power) and the meteorological conditions being present during both measurements by means of a suitable sound propagation model.

## 2 Measurements

As part of the measurements before and after the installation of the attachments on top of the noise barriers existing at both sides of the viaduct, the following parameters were to be determined:

- sound emission near the noise barrier,
- sound immission at three selected receivers of interest in the far field of the bridge,
- traffic composition of every single traffic lane and
- meteorological conditions.

The measurement setup as originally planned is shown in figure 2.1.

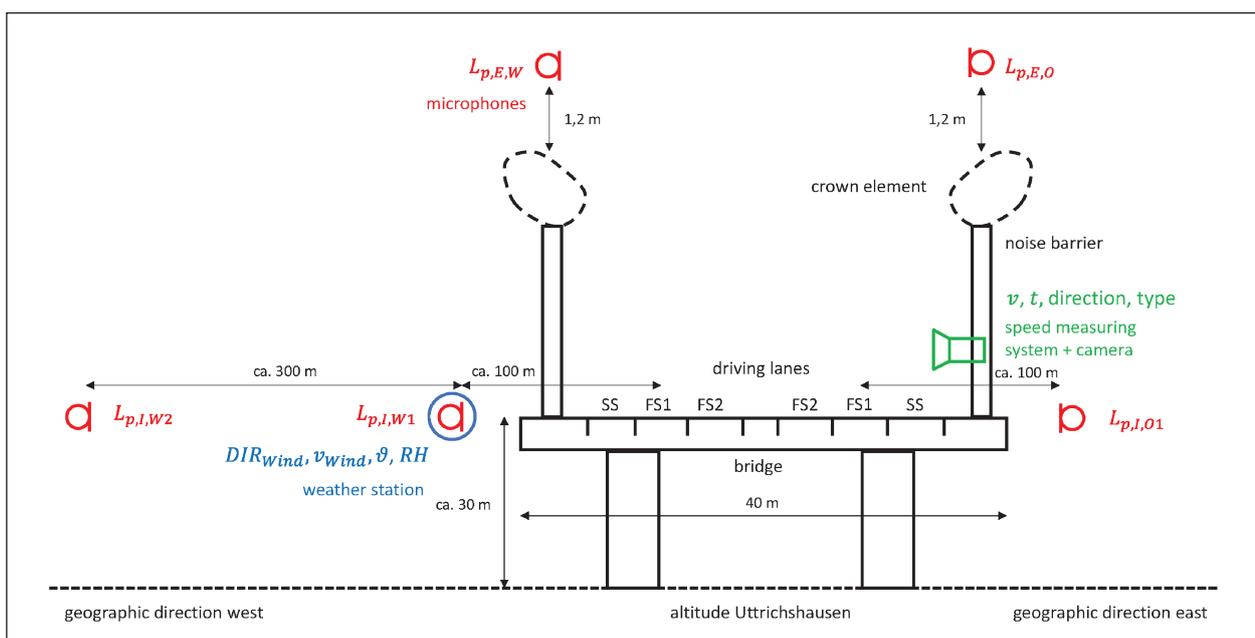


Fig. 2.1: Measurement setup as originally planned (schematic) to acquire the emission and the immission sound pressure level, traffic composition and the meteorological conditions

The measurement of the sound emission was carried out at both sides of the viaduct in a distance of 1.2 m above the top edge of the planned crown element. By means of two single microphones, the spectral emission sound pressure level  $L_{p,E}$  in eastward and westward direction was recorded as a function of time. Analogous to [BROWN, 1994], in this manner it is possible to normalize the sound pressure level at the receivers of interest regarding the noise emission caused by the traffic situation occurring at the time of the measurements.

The simultaneous measurement of the sound immission was also realized on both sides of the viaduct at an altitude equal to the one of the traffic lanes. By means of three single microphones, the spectral immission sound pressure level was to be recorded in a horizontal distance of approximately 100 m and 400 m to the closest respective traffic lane as a function of time. The microphones were positioned by means of working platforms.

The recording of the meteorological conditions was performed by means of a weather station installed approximately on a level with the microphone for the measurement of the sound immission at the selected receiver of interest closest to the bridge. The measured meteorological quantities are in particular the wind speed  $v_{Wind}$ , the wind direction  $DIR_{Wind}$ , the temperature  $\vartheta$  as well as the relative humidity  $RH$ . These quantities were applied as input parameters to a sound propagation model allowing the simulation of sound propagation under consideration of meteorological conditions. By taking into account the cloud amount provided by Deutscher Wetterdienst (DWD) to determine the stability class, it is possible to normalize the immission sound pressure levels regarding the meteorological conditions being present at the time of the measurements. The traffic composition was acquired by means of a speed measuring system for each driving direction combined with a camera system.

At the beginning of the project, the measurement location was visited together with the client and the local authority Hessen Mobil by use of a working platform. This platform allowed the direct perception of signal and noise at the planned receivers of interest. As evaluation criteria for the selection of the receivers of interest, it was taken into consideration that the total sound immission had to be dominated by the traffic on the viaduct so that the

impact of the noise immission caused by the ends of the viaduct becomes negligible.

The measurements were carried out on the 15<sup>th</sup>, 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> of September 2017 (before installation of crown elements) and on the 17<sup>th</sup>, 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> of April 2018 (after installation of crown elements). The traffic data was recorded by means of a speed measuring system combined with a camera separately for each lane, direction and vehicle category. To measure the meteorological conditions as well as to separately determine the three-dimensional components of the wind speed, a weather station with ultrasonic sensor technology was applied. In addition, the cloud amount was provided by Deutscher Wetterdienst (DWD) to determine the stability class necessary for applying the sound propagation model Harmonoise.

The acquired time signals of the sound pressure level at the receivers of interest were adjusted on the basis of receiver-specific "valid" maximum levels as well as triggers that were manually set to mark "obvious" interfering events during the measurements. Additionally, reference microphones being installed near the ground at MP III and MP IV were applied for to exclude less "obvious" disturbing events during the measurements from the time signals of the immission sound pressure level. For that purpose, a minimum level difference between the immission sound pressure level at the altitude of the traffic lane (upper microphone (o)) and the immission sound pressure level at the reference microphone (lower microphone (u)) was defined.

### 3 Simulations of sound field

To determine the acoustic effectiveness of the crown elements, the measurement results were to be normalized regarding the traffic situation as well as the meteorological conditions being present at the time of the measurements. For that purpose, a power correction and a weather correction were defined.

#### Power Correction

The power correction serves the determination of the influence of the different sound power of the line source (traffic situation) during both measurements on the immission sound pressure level. In the process, the emission sound pressure levels at the

receivers of interest MP I (for MP V) as well as MP II (for MP III and MP IV) were assumed to be proportional to the immission sound pressure levels during each situation  $i$ . Herein, the situation  $i$  was defined to be the measurement time divided into full hours. The sound pressure level considered to determine the power correction is based on the arithmetic average of the short-time sound pressure level measured during the full hour and adjusted regarding the periods containing interfering events.

The power correction for each situation  $i$  was done on the basis of the emission sound pressure level  $L_{p,E}$  recorded at the receiver of interest MP by:

$$\Delta L_{p,emi,i} = L_{p,E,MPI,i} - L_{p,E,ref} \quad (3.1)$$

(for MP V)

and

$$\Delta L_{p,emi,i} = L_{p,E,MPII,i} - L_{p,E,ref} \quad (3.2)$$

(for MP III and MP IV)

respectively. For that purpose, a reference emission sound pressure level  $L_{p,E,ref}$  of 80dB was defined.

Finally, the power-corrected immission sound pressure level for each situation  $i$  results from:

$$L_{p,I,emi,i} = L_{p,I,i} - \Delta L_{p,emi,i}. \quad (3.3)$$

### Weather correction

The weather correction serves the determination of the influence of the different meteorological conditions present at the time of the measurements on the immission sound pressure level. In the process, the meteorological conditions measured at MP III were assumed to be transferable to the other receivers of interest (whole area around the viaduct).

Herein, again, the situation  $i$  was defined to be the measurement time divided into full hours. Analogous to the determination of the power correction, the sound pressure level considered to determine the weather correction is based on the arithmetic average of the short-time sound pressure level measured during the full hour and adjusted regarding the periods containing interfering events.

To calculate the weather correction, simulations of the sound field were performed based on the sound propagation model Harmonoise. For that purpose, the software solution CadnaA® was applied. The

model Harmonoise takes into account the following meteorological input parameters:

- air temperature  $\vartheta$  in °C (measured by AED),
- relative humidity  $RH$  in % (measured by AED),
- cloud cover in eighths (measured by DWD),
- stability class S1 ... S5 (determined from cloud cover),
- wind direction (2D)  $DIR_{Wind}$  in ° (measured by AED) and
- wind speed (2D)  $v_{Wind}$  in m/s (measured by AED).

The simulations of the sound field serve the determination of the immission sound pressure level  $L_{p,I,sim,i}$  for each situation  $i$  under consideration of the respective meteorological conditions.

The calculation of the weather correction for each situation  $i$  is done on the basis of the simulated immission sound pressure level  $L_{p,I,sim}$  by

$$\Delta L_{p,met,i} = L_{p,I,sim,i} - L_{p,I,sim,0}. \quad (3.4)$$

For that purpose, a reference immission sound pressure level  $L_{p,I,sim,0}$  was simulated for the following predefined condition "without weather":

- air temperature  $\vartheta$  of 20 °C,
- relative humidity  $RH$  of 45 %,
- stability class S5 and
- wind speed (2D)  $v_{Wind}$  of 0 m/s.

Finally, the weather-corrected immission sound pressure level for each situation  $i$  results from:

$$L_{p,I,emi,met,i} = L_{p,I,emi,i} - \Delta L_{p,met,i}. \quad (3.5)$$

### Acoustic effectiveness

The insertion loss describing the acoustic effectiveness of the attachment to the noise barrier results from the difference of the immission sound pressure level under the existence of the noise barrier without crown element and the immission sound pressure level after installing the attachment to the noise barrier by:

$$D_e = L_{p,l,emi,met,without\ attachment} - L_{p,l,emi,met,with\ attachment} \quad (3.6)$$

Under consideration of N different situations before and after the construction, the insertion loss of the attachments can be calculated according to:

$$D_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{p,l,emi,met,i,without\ attachment} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{p,l,emi,met,i,with\ attachment} \quad (3.7)$$

### Simulation model

The basis for the simulations of the sound field constitutes a digital topological model of the area around the viaduct. The viaduct as well as the different receivers of interest were additionally integrated into the model. Subsequently, two line sources of constant length-related sound power were positioned in a distance of 1.7 m above the top edge of the noise barrier (equal to the altitude of MP I and MP II). The length of these line sources was limited to the length of the noise barriers.

As source spectrum the traffic noise spectrum according to [DIN EN 1793-3, 1997] was applied. Within the simulations of the immission sound pressure level, only the line source facing the respective receiver of interest was activated.

### Modifications to simulation model

To improve the simulation results, especially the variation of the power-corrected and weather-corrected immission sound pressure levels before and after the installation of the crown elements, different modifications of the power and the weather correction as well as an additional correction regarding background noise were performed, primarily concerning the influence of the position and the length of the model sound source as well as the stability class on the immission sound pressure level.

### Correction of measurement results

Figure 3.1 exemplarily shows the sound pressure level measured at the different receivers of interest MP III to MP V under consideration of the improved power and weather correction together with the

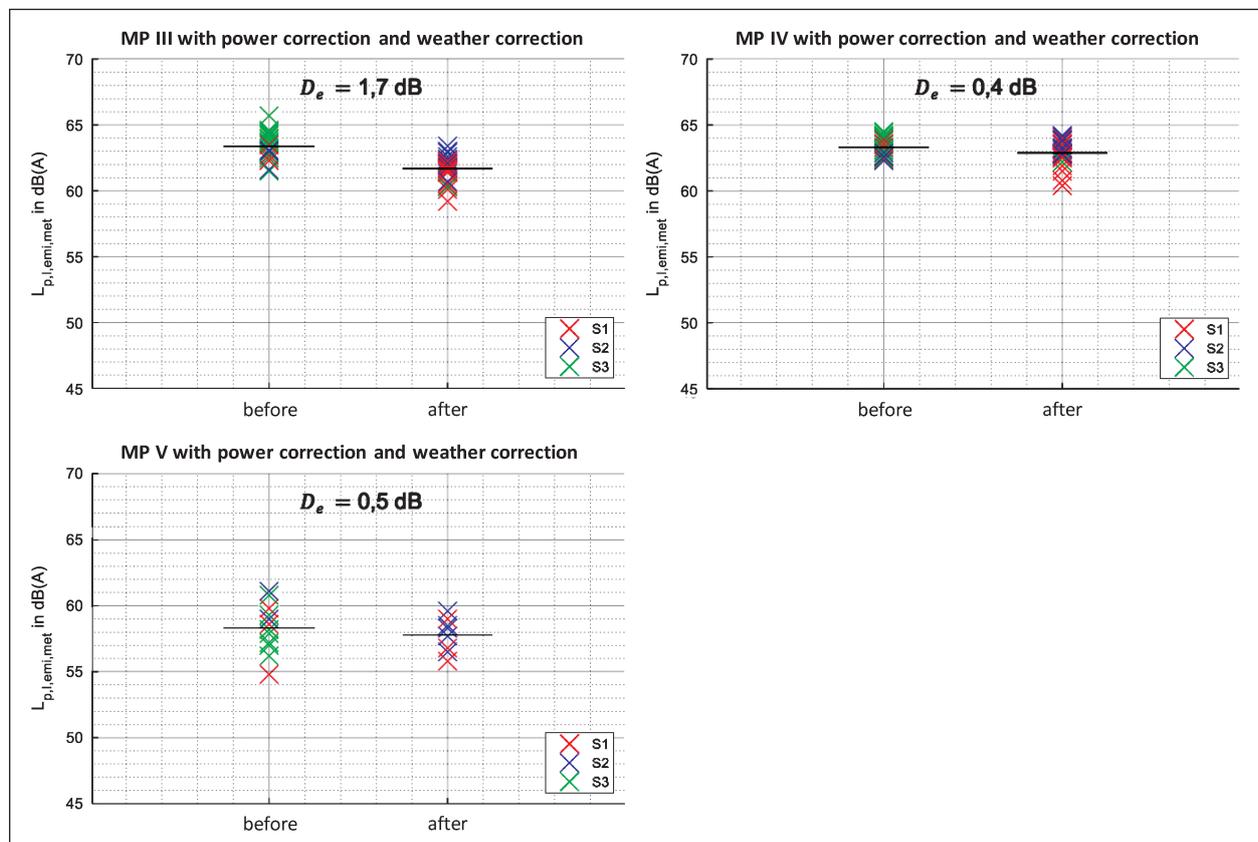


Fig. 3.1: Sound pressure level at receivers of interest MP III to MP V before and after the installation of the crown elements; with improved power correction; with improved weather correction; with correction regarding additional background noise ( $\Delta L > 6$  dB); separate display for situations  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) as well as overall mean value; stability class represented by color

additional correction regarding background noise. The immission sound pressure levels are displayed as scatter plots.

## Summary

Table 3.1 shows an overview of the resulting sound pressure levels at the receivers of interest MP III, MP IV and MP V. Therein, the sound pressure levels together with the standard deviation is given for the respective measurement days and the overall campaign before and after the installation of the attachment to the noise barrier. Furthermore, the table contains the acoustic improvement caused by the crown element in terms of the insertion loss. Table 3.1, left displays the results without power and weather correction and without additional correction regarding background noise. For reasons of direct comparison, the right table contains the results when considering the improved power correction, the improved weather correction and the additional correction regarding background noise.

While Table 3.1, left shows an insertion loss of the crown element without any corrections regarding traffic and weather of about 2dB to 3dB, after considering all necessary corrections regarding the traffic and weather conditions at the time of the measurements, the acoustic effectiveness of the crown element drops to 0.4 to 1.7dB on the right side. At the same time, the standard deviation of the measured immission sound pressure level reduces to about 1dB.

Furthermore, the fact has to be considered that the installation of the crown elements leads to an increase of the height of the wall which is connected to an increase of the effectiveness of the noise barrier. Table 3.1, right additionally contains the simulated improvement of the acoustical situation at the selected receivers of interest expected from the increase of the height of the present noise barrier of 0.5 m. This modification results in an insertion loss comparable to the measured effectiveness of the crown element. By considering the determined standard deviation of the measured immission sound pressure levels, it can be assumed that the intended influence of the attachment on the sound diffraction around the top edge of the noise barrier is negligible.

## References

- BROWN, A., L.; BURGESS, M., A.: Effect of slits on the performance of roadside timber barriers. In: Proceedings of Acoustics Australia, Vol. 22, Nr. 2, Page 41-45, 1994
- DIN EN 1793 3: Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 3: Normalised traffic noise spectrum; German version EN 1793-3:1997
- SALOMONS, H.: Deliverable 16 of the Harmonoise Project. Technical Report, TNO TPD, Delft 2004

without corrections	MP III		MP IV		MP V		with power and weather correction	MP III		MP IV		MP V	
	$L_{p,l}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB		measuring day	$L_{p,l,emi,met}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l,emi,met}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l,emi,met}$ in dB(A)
1	60,7	0,5	60,7	0,4	54,2	0,8	1	63,9	1,0	63,2	0,5	59,3	0,0
2	60,7	0,7	61,0	0,6	50,5	1,2	2	63,9	0,5	63,8	0,6	57,9	1,5
3	59,4	0,8	60,0	0,7	51,4	2,5	3	62,5	0,6	62,9	0,5	58,7	2,1
<b>TOTAL before</b>	<b>60,2</b>	<b>0,9</b>	<b>60,6</b>	<b>0,7</b>	<b>51,8</b>	<b>2,3</b>	<b>TOTAL before</b>	<b>63,4</b>	<b>0,9</b>	<b>63,3</b>	<b>0,7</b>	<b>58,3</b>	<b>1,8</b>
4	58,2	0,8	59,4	0,4	48,0	0,8	4	62,5	0,6	63,5	0,4	58,1	1,0
5	57,1	1,1	58,4	1,7	48,7	2,8	5	61,7	0,5	62,8	1,0	56,3	0,5
6	55,5	0,9	57,5	0,7	52,0	0,9	6	60,4	0,7	62,1	0,7	59,0	0,0
<b>TOTAL after</b>	<b>57,2</b>	<b>1,4</b>	<b>58,6</b>	<b>1,4</b>	<b>49,1</b>	<b>2,5</b>	<b>TOTAL after</b>	<b>61,7</b>	<b>1,0</b>	<b>62,9</b>	<b>0,9</b>	<b>57,8</b>	<b>1,2</b>
improvement	3,0		2,0		2,7		improvement	1,7		0,4		0,5	
							improvement resulting from increase of the height of the wall of 0.5m (without weather)	1,6		1,3		1,1	

Tab. 3.1: Immission sound pressure level and standard deviation at the receivers of interest MP III to MP V for single measurement days before and after the installation of the crown elements separately as well as acoustic effectiveness (improvement) of the attachment; left: without power correction; without weather correction; without additional correction regarding background noise; right: with improved power correction; with improved weather correction; with additional correction regarding background noise ( $\Delta L > 6\text{dB}$ )

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	11	<b>Literatur</b> .....	57
<b>2</b>	<b>Messtechnische Untersuchungen</b> ..	11	<b>Bilder</b> .....	57
2.1	Vorgehensweise .....	11	<b>Tabellen</b> .....	66
2.2	Potenzielle Messorte .....	12	<b>Anhang</b> .....	67
2.3	Festlegung Messorte .....	14	1 Betrachtete Messorte .....	67
2.4	Messergebnisse vor Installation der Schirmkrone .....	21	2 Überblick Schallfeldsimulationen .....	74
2.5	Messergebnisse nach Installation der Schirmkrone .....	30		
<b>3</b>	<b>Schallfeldsimulationen</b> .....	39		
3.1	Vorgehensweise .....	39		
3.1.1	Leistungskorrektur .....	39		
3.1.2	Wetterkorrektur .....	40		
3.1.3	Akustische Wirksamkeit .....	41		
3.2	Modellbeschreibung .....	41		
3.2.1	Grundmodell .....	41		
3.2.2	Modellanpassungen .....	41		
3.3	Korrektur Messergebnisse .....	42		
3.3.1	Messpunkt MP III .....	43		
3.3.2	Messpunkt MP IV .....	47		
3.3.3	Messpunkt MP V .....	51		
3.4	Zusammenfassung .....	55		
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	57		



## 1 Einleitung

Um genaue Abschätzungen für die lärmtechnische Bewertung von Straßenbauwerken zu erhalten und unnötige Kosten beim Bau zu vermeiden, sind möglichst genaue Modelle für die Schallemission und Schallausbreitung nötig. Zur lärmtechnischen Beurteilung von Lärmschutzwänden (Lsw) existieren verschiedene analytische Beschreibungen. Die akustische Wirkung von Aufsätzen, sogenannten Schirmkronen, lässt sich dabei bisher nicht allgemein berücksichtigen. Durch verschiedene Messverfahren im Nah- und Fernbereich kann jedoch der messtechnische Nachweis der schalltechnischen Wirksamkeit sowohl von Lärmschutzwänden als auch von deren Aufsätzen erfolgen. Die Möglichkeit der Übertragung einer akustischen Wirksamkeit einer Schirmkrone im Nahbereich auf den Fernbereich konnte bisher nicht ausreichend nachgewiesen werden.

Der Nachweis der akustischen Wirksamkeit von Aufsätzen im Fernbereich einer Lärmschutzwand durch praktische Messungen an einer realen Verkehrsschallquelle ist ein wichtiger Schritt, um in Zukunft die akustische Wirksamkeit von Schirmkronen in einem geeigneten Schallausbreitungsmodell zur Vorhersage des Schalldruckpegels an maßgeblichen Immissionsorten berücksichtigen zu können. Die Möglichkeit der Übertragung der akustischen Wirksamkeit einer Schirmkrone im Nahbereich auf den Fernbereich ist dazu ebenso wichtig.

Ziel des vorliegenden Vorhabens war die messtechnische Bestimmung der akustischen Wirksamkeit einer Schirmkrone der Fa. CALMA-TEC, die auf bestehende Lärmschutzwände der ca. 880 m langen Talbrücke Uttrichshausen installiert wurde. Dazu wurden Emissions- und Immissionsmessungen vor und nach der Baumaßnahme unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt und die gemessene Pegeldifferenz ausgewiesen. Zeitgleich erfolgte die Erfassung der Verkehrsdaten der einzelnen Fahrspuren sowie der meteorologischen Bedingungen. Diese dienten anschließend als Eingangsparameter eines geeigneten Schallausbreitungsmodells, um die gemessene Pegeldifferenz des Immissionspegels bezüglich der zum Zeitpunkt der beiden Messungen vorliegenden Verkehrssituation (Schalleistung) sowie der meteorologischen Bedingungen (Pegelminderung durch Schallausbreitung vom Emissionsort zum Immissionsort) zu korrigieren. Die daraus resultierende korrigierte Pegeldifferenz entspricht schließlich der akustischen Wirksamkeit, der Einfügedämpfung der Schirmkrone.

## 2 Messtechnische Untersuchungen

### 2.1 Vorgehensweise

Innerhalb der messtechnischen Untersuchungen vor und nach Installation der Schirmkrone auf den beidseitig bestehenden Lärmschutzwänden der Brücke waren jeweils zeitgleich die folgenden Messgrößen zu ermitteln:

- Schallemission im Bereich der Lärmschutzwand ohne geplante Schirmkrone,
- Schallimmission an drei ausgewählten Immissionsorten im Fernbereich der Brücke,
- Verkehrszusammensetzung der einzelnen Fahrstreifen sowie
- meteorologische Bedingungen.

Der dafür ursprünglich geplante prinzipielle Messaufbau ist in Bild 2.1 dargestellt. Im Einzelnen waren darin folgende technische Aufbauten angebracht:

- Die messtechnische Erfassung der Schallemission erfolgte zu beiden Seiten der Brücke im Abstand von 1,2 m oberhalb der geplanten Schirmkrone. Durch zwei Einzelmikrofone wurde der spektrale Emissionsschalldruckpegel  $L_{p,E}$  in östlicher und westlicher Richtung als Funktion der Zeit aufgezeichnet. Analog zu [BROWN, 1994] ist damit die Normierung des Schalldruckpegels an den maßgeblichen Immissionsorten auf die Schallemission der zum Zeitpunkt der Messung auftretenden Verkehrszusammensetzung möglich.
- Die zeitgleiche Messung der Schallimmission erfolgte ebenso zu beiden Seiten der Brücke auf Fahrbahnniveau. Durch drei Einzelmikrofone war der spektrale Immissionsschalldruckpegel  $L_{p,I}$  in östlicher und westlicher Richtung in horizontalem Abstand von ca. 100 m bzw. 400 m zum jeweils ersten Fahrstreifen als Funktion der Zeit aufzuzeichnen. Die Einzelmikrofone wurden jeweils mithilfe von Arbeitsbühnen etwa auf Fahrbahnniveau positioniert.
- Die Aufzeichnung der meteorologischen Bedingungen erfolgte mithilfe einer Wetterstation, die etwa in Höhe des Einzelmikrofons zur Messung der brückennahen Schallimmission installiert wurde. Die gemessenen meteorologischen Grö-

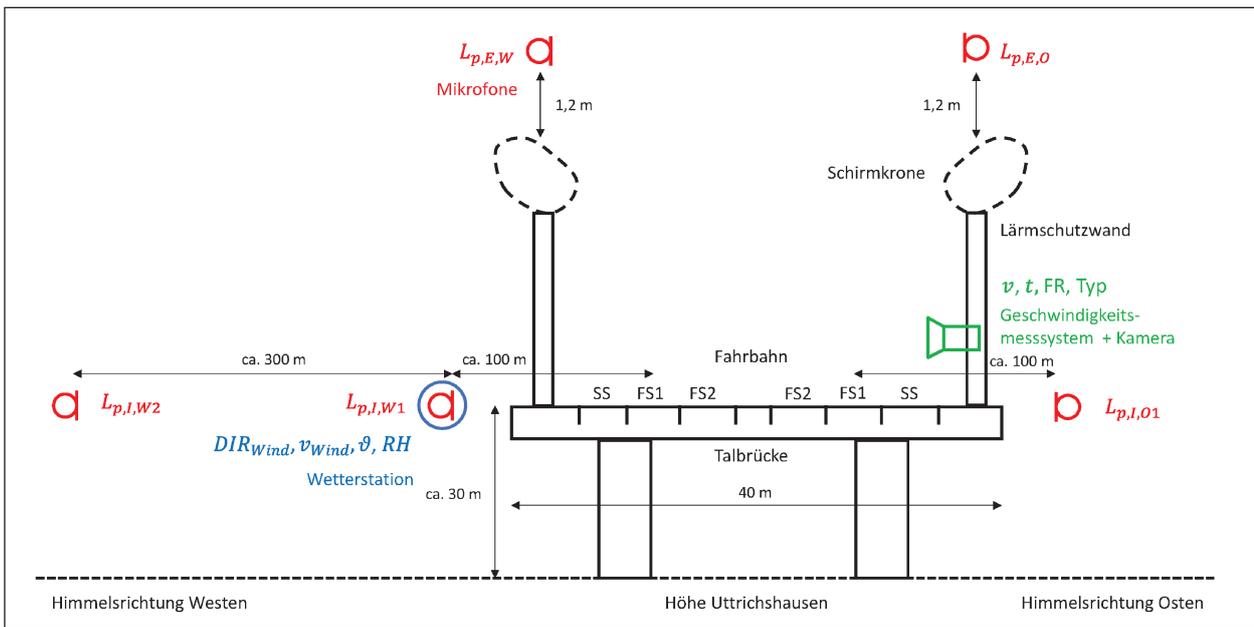


Bild 2.1: Ursprünglich geplanter Messaufbau (schematisch) zur Erfassung von Emissions- und Immissionspegel, Verkehrszusammensetzung und meteorologischen Bedingungen

ßen sind insbesondere die Windgeschwindigkeit  $v_{Wind}$ , die Windrichtung  $DIR_{Wind}$ , die Temperatur  $\vartheta$  sowie die Luftfeuchte  $RH$ . Sie dienten als Eingangsparameter für ein Schallausbreitungsmodell, das die Simulation der Schallausbreitung unter Berücksichtigung von meteorologischen Bedingungen ermöglicht. In Verbindung mit dem Bedeckungsgrad, der durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt wurde (Ermittlung der Stabilitätsklasse) ist damit die Normierung des Schalldruckpegels an den maßgeblichen Immissionsorten auf die zum Zeitpunkt der Messung auftretenden meteorologischen Bedingungen möglich.

- Die Verkehrszusammensetzung wurde durch den Einsatz eines Geschwindigkeitsmesssystems je Fahrtrichtung in Verbindung mit jeweils einem Kamerasystem erfasst.

## 2.2 Potenzielle Messorte

Im Hinblick auf die Realisation der angedachten technischen Aufbauten erfolgte am 30.08.2017 eine Erstbegehung. Eine grafische Übersicht der betrachteten Messorte ist in Bild 2.2 enthalten. Bild 2.3 enthält zusätzliche Informationen zur Höhe der Messorte über Normal-Null.

Ziel des vorliegenden Vorhabens ist die akustische Bewertung der spezifischen Schirmkronen, die auf die vorhandenen Lsw auf der Brücke installiert wer-

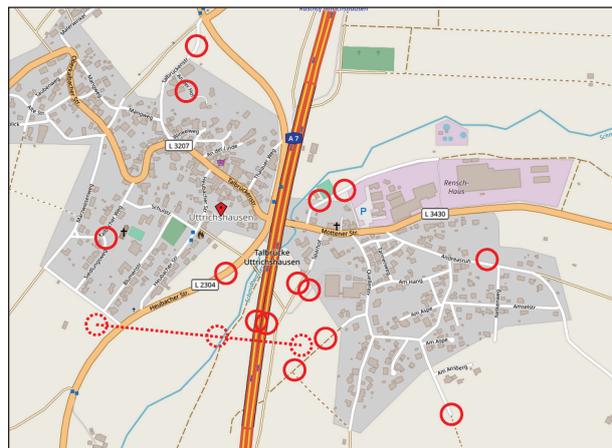


Bild 2.2: Betrachtete Messorte; gestrichelte Linie: angestrebte Messorte (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

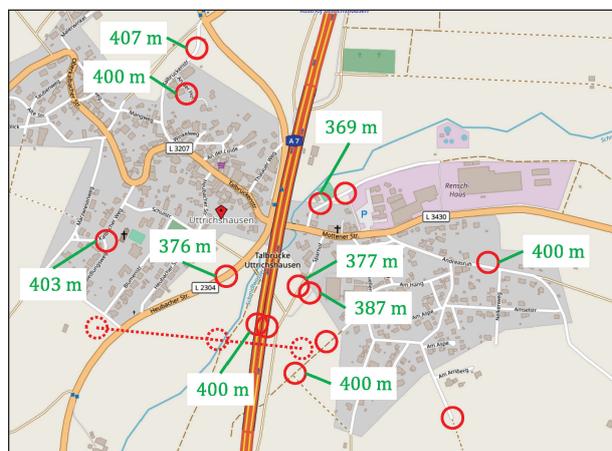


Bild 2.3: Betrachtete Messorte und Höhe ü. NN; (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

den sollten. Daher liegt das Bewertungskriterium für die Eignung der potenziellen Messorte auf einer angestrebten ungestörten Erfassung der Schallimmission, die ausschließlich von dem Brückenbereich herrührt, auf dem die Lsw installiert sind. Die Schallimmission, die durch die Brückenenden hervorgerufen wird, an denen die Lärmschutzwände abrupt enden, soll an den gewählten Messorten möglich keinen Einfluss auf das akustische Messergebnis haben.

Im Anhang A des Berichts ist eine Übersicht der akustischen Bewertung der verschiedenen besichtigten Messorte gegeben. Es zeigte sich, dass es nur wenige Messorte gibt, an denen die angestrebten Kriterien erfüllt werden können. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese erste Bewertung in Kopfhöhe über Bodenniveau stattfand.

Um zu bewerten, ob eine Erhöhung des Messortes auf Fahrbahnniveau zu einer Verbesserung der für die angestrebten Messungen gewünschten akustischen Situation führt, wurde im ersten Schritt eine abschätzende Berechnung des Signal-Rausch-Abstands für einen Messort in Bodennähe sowie einen Messort auf Fahrbahnniveau durchgeführt. Die berücksichtigte Geometrie zeigt Bild 2.4.

Der abschätzenden Berechnung liegen die Annahmen zugrunde, dass nur zwei Punktschallquellen (keine Linienschallquellen) existieren. Die erste Punktschallquelle modelliert den interessierenden

Schall (Nutzsignal) eines Fahrzeugs auf der Brücke hinter der Lsw. Die zweite Punktschallquelle bildet den störenden Schall (Störsignal) eines Fahrzeugs ab, das sich auf der Brücke seitlich der Lsw (südliches Brückenende) befindet. Die spektrale Schalleistung beider Punktschallquellen wurde auf Basis des standardisierten Verkehrslärmspektrums gemäß [DIN EN ISO 1793-3, 1997] festgelegt. Die Berechnung berücksichtigt ausschließlich die Effekte der geometrischen Divergenz sowie die Abschirmung durch die Lsw (Abschirmmaß). Effekte wie z. B. eine horizontale Richtcharakteristik der Schallquelle oder eine ggf. auftretende Ausbreitungsdämpfung infolge der Geländetopologie wurden außen vor gelassen.

Bild 2.5 zeigt den simulierten relativen spektralen Schallimmissionspegel in Bodennähe sowie auf



Bild 2.4: Berücksichtigte Geometrie zur abschätzenden Berechnung des Signal-Rausch-Abstands für einen Messort in Bodennähe sowie einen Messort auf Fahrbahnniveau (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

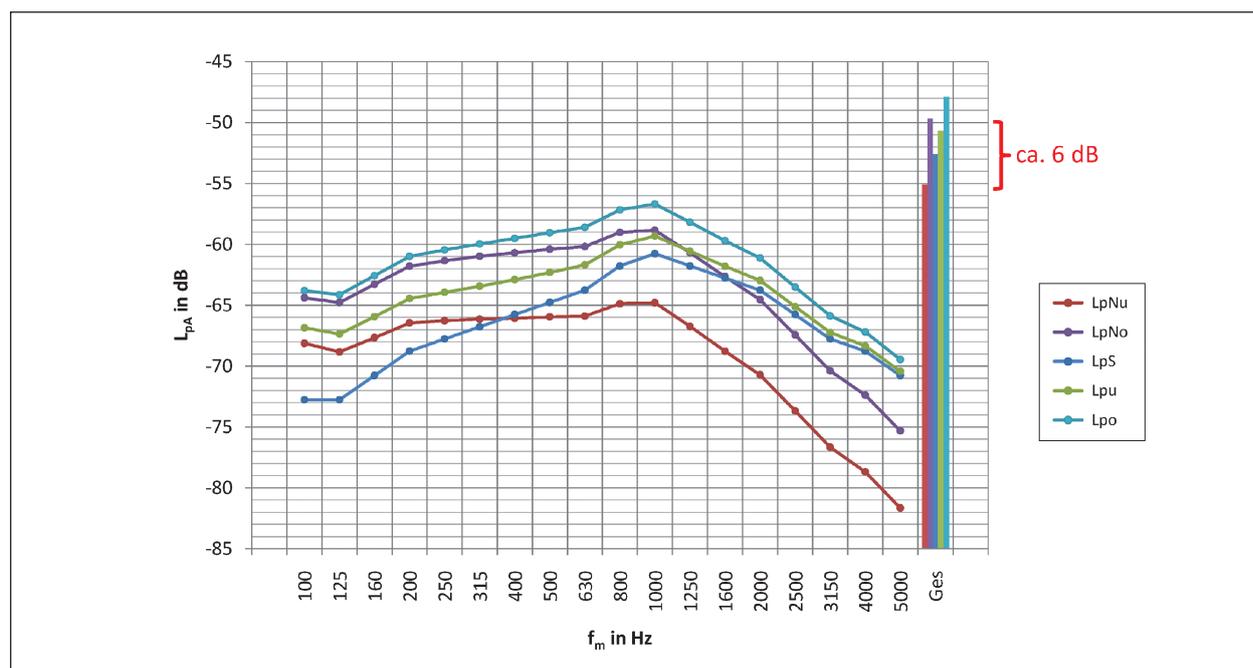


Bild 2.5: Simulierter relativer spektraler Schallimmissionspegel; braun: Nutzsignal in Bodennähe; lila: Nutzsignal auf Fahrbahnniveau; blau: Störsignal; grün: Nutzsignal + Störsignal in Bodennähe; hellblau: Nutzsignal + Störsignal auf Fahrbahnniveau

Fahrbahnniveau als Gesamtpegel sowie getrennt nach Nutzsignal und Störsignal.

Darin ist zu erkennen, dass sich das Nutzsignal auf Fahrbahnniveau gegenüber dem Nutzsignal in Bodennähe um ca. 6 dB erhöht. Bei gleichbleibendem Störsignal führt dies zu einer Erhöhung des Signal-Rausch-Abstands auf ca. 5 dB. Eine Erhöhung des Messorts von Bodennähe auf Fahrbahnniveau ist damit zwingend erforderlich. Unter der Annahme, dass im Allgemeinen mehrere Fahrzeuge die Brücke befahren, erhöht sich der Signal-Rausch-Abstand weiter.

### 2.3 Festlegung Messorte

Auf Basis der Erstbegehung erfolgte am 05.09.2017 eine gemeinsame Vorortbegehung mit dem Auftraggeber sowie der Landesbehörde Hessen Mobil unter Einsatz einer Arbeitsbühne. Diese ermöglichte die direkte Wahrnehmung von Nutz- und Störgeräu-

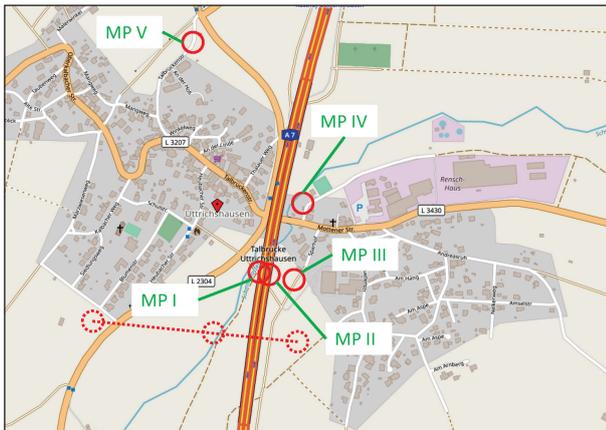


Bild 2.6: Festgelegte Messorte und Bezeichnung (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

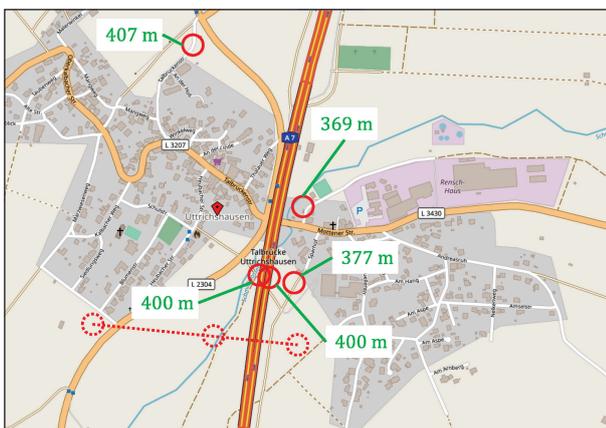


Bild 2.7: Festgelegte Messorte und Höhe ü. NN (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

schquelle an den angedachten Immissionsorten. Weiterhin galt als Bewertungskriterium für die Auswahl der Messorte, dass die Gesamtschallimmission durch den Verkehr auf der Talbrücke dominiert und der Einfluss der Schallimmission von den Brückenenden vernachlässigbar ist. Bild 2.6 bis Bild 2.18 vermitteln einen Eindruck von den festgelegten Messorten MP I bis MP V und zeigen Details der Messaufbauten.



Bild 2.8: Messpunkt MP I (auf Brücke): südliche Fahrtrichtung; ca. 360 m vom südlichen Brückenende entfernt; Mikrofön in ca. 3,7 m Höhe über Boden (ca. 1,7 m über Oberkante Lsw, ca. 1,2 m über Oberkante von angedachtem Lsw-Aufsatz); Geschwindigkeitsmesssystem + Kamera

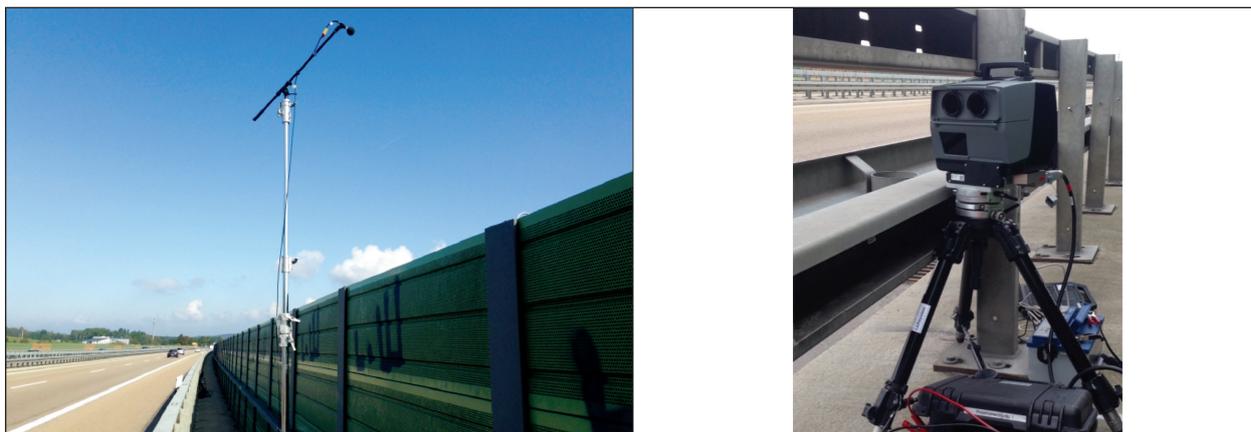


Bild 2.9: Messpunkt MP II (auf Brücke): nördliche Fahrtrichtung; ca. 360 m vom südlichen Brückende entfernt; Mikrofon in ca. 3,7 m Höhe über Boden (ca. 1,7 m über Oberkante Lsw, ca. 1,2 m über Oberkante von angedachtem Lsw-Aufsatz); Geschwindigkeitsmesssystem + Kamera



Bild 2.10: Messpunkt MP II (auf Brücke): links: Blick zum Messpunkt MP IV; rechts: Blick zum Messpunkt MP III



Bild 2.11: MP III (Nahbereich zur Brücke): östlich der Talbrücke, auf Straße südlich der Mottener Straße; in ca. 75 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon + Wetterstation in ca. 23,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,9 m über Boden (Referenzmikrofon)



Bild 2.12: MP III (Nahbereich zur Brücke), Blick von Höhe Fahrbahniveau: östlich der Talbrücke, auf Straße südlich der Mottener Straße; in ca. 75 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung



Bild 2.13: MP IV (Nahbereich zur Brücke): östlich der Talbrücke, nördlich der Mottener Straße auf Basketballplatz nahe Tennisplatz; in ca. 54 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon in ca. 29,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,7 m über Boden (Referenzmikrofon)



Bild 2.14: MP IV (Nahbereich zur Brücke), Blick von Höhe Fahrbahnniveau: östlich der Talbrücke, nördlich der Mottener Straße auf Basketballplatz nahe Tennisplatz; in ca. 54 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung



Bild 2.15: MP V (Fernbereich zur Brücke): westlich der Talbrücke, neben Talbrückenstraße auf Wiese; in ca. 282 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in südlicher Fahrtrichtung; in ca. 1,5 m Höhe über Boden

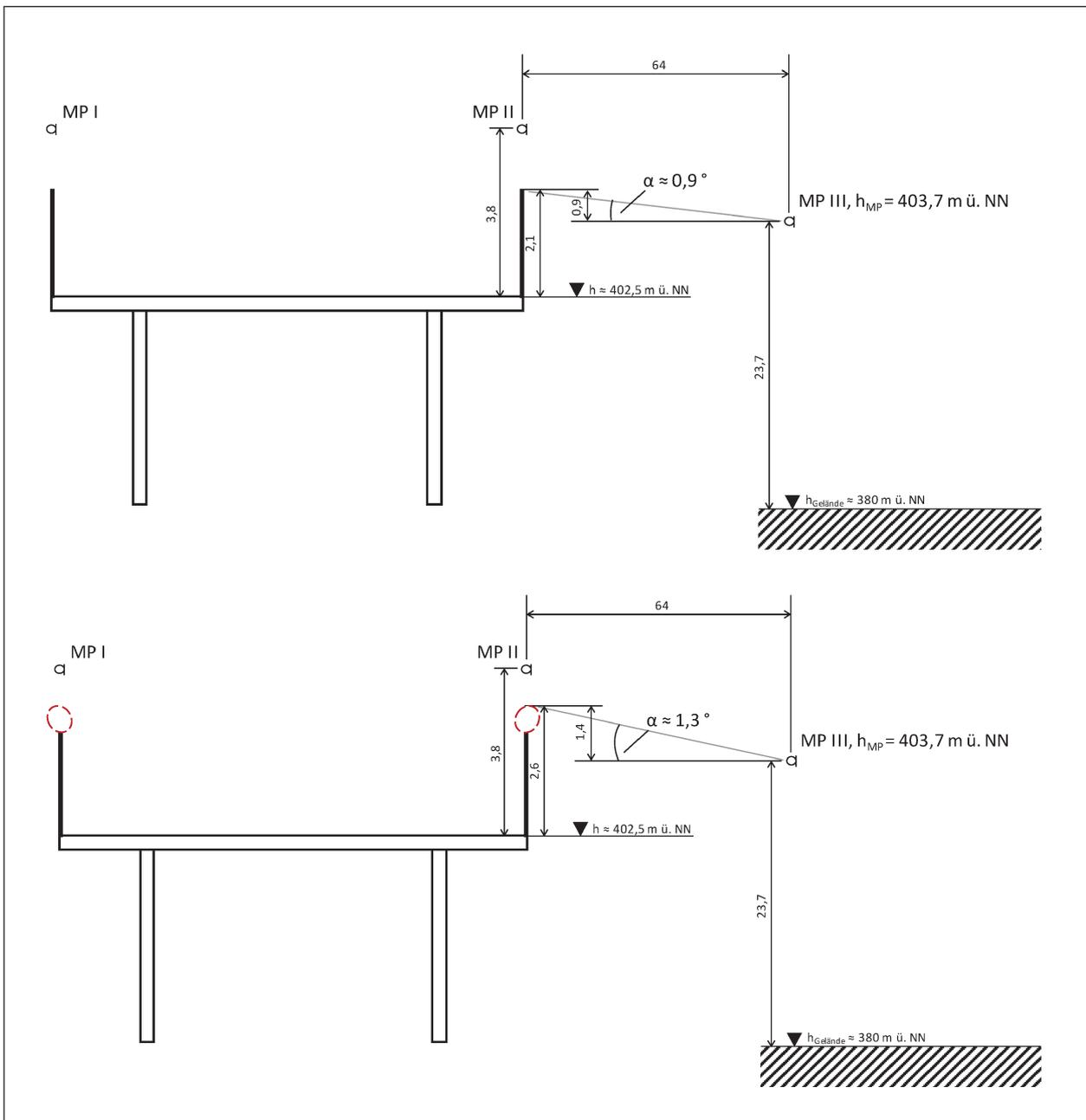


Bild 2.16: MP III (Nahbereich zur Brücke), Lage des Messorts (schematisch) in Seitenansicht: östlich der Talbrücke, auf Straße südlich der Mottener Straße; in ca. 75 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon + Wetterstation in ca. 23,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,9 m über Boden (Referenzmikrofon); oben: vor Installation der Schirmkrone; unten: nach Installation der Schirmkrone

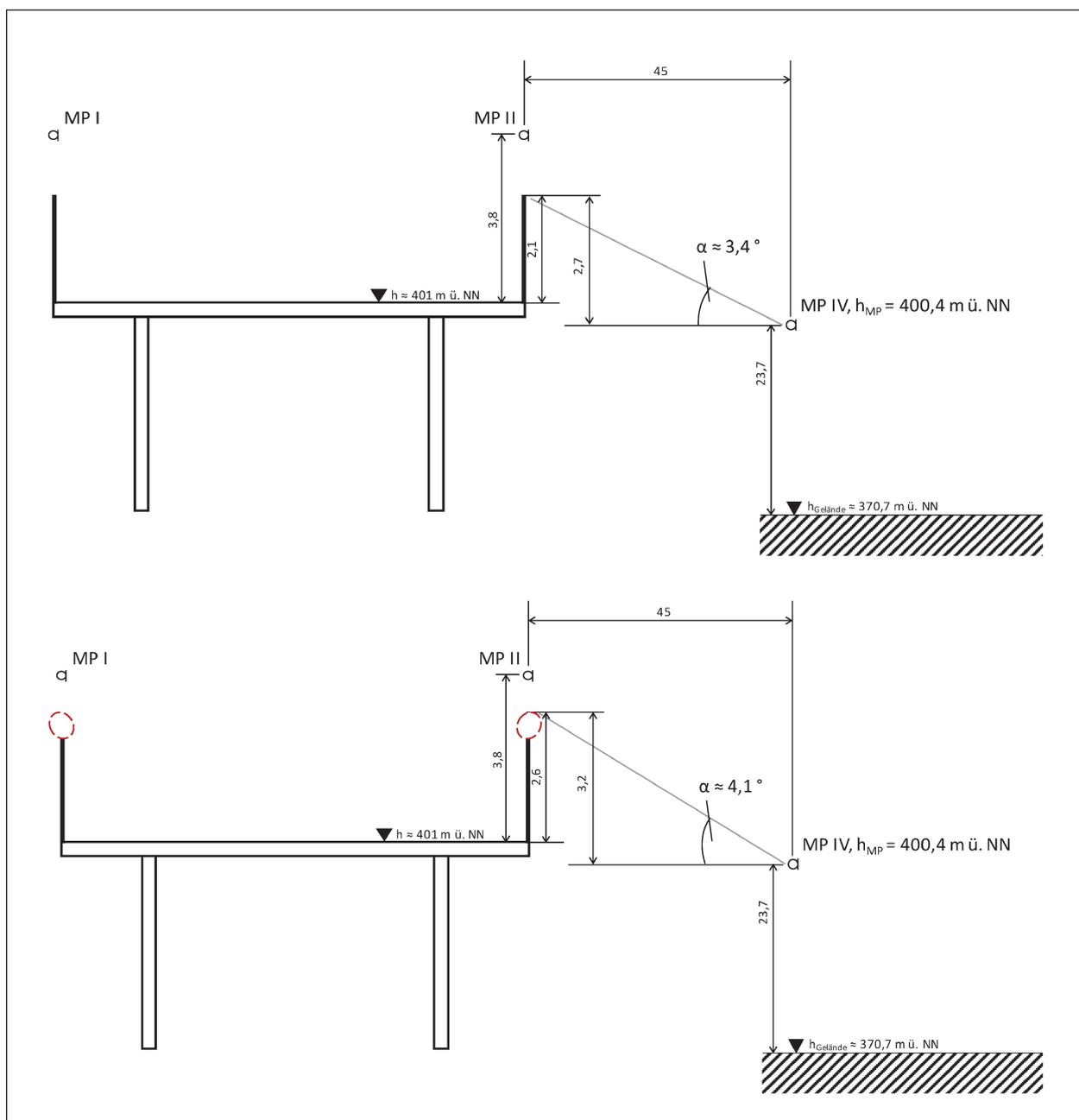


Bild 2.17: MP IV (Nahbereich zur Brücke), Lage des Messorts (schematisch) in Seitenansicht: östlich der Talbrücke, nördlich der Mottener Straße auf Basketballplatz nahe Tennisplatz; in ca. 54 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon in ca. 29,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,7 m über Boden (Referenzmikrofon); oben: vor Installation der Schirmkrone; unten: nach Installation der Schirmkrone

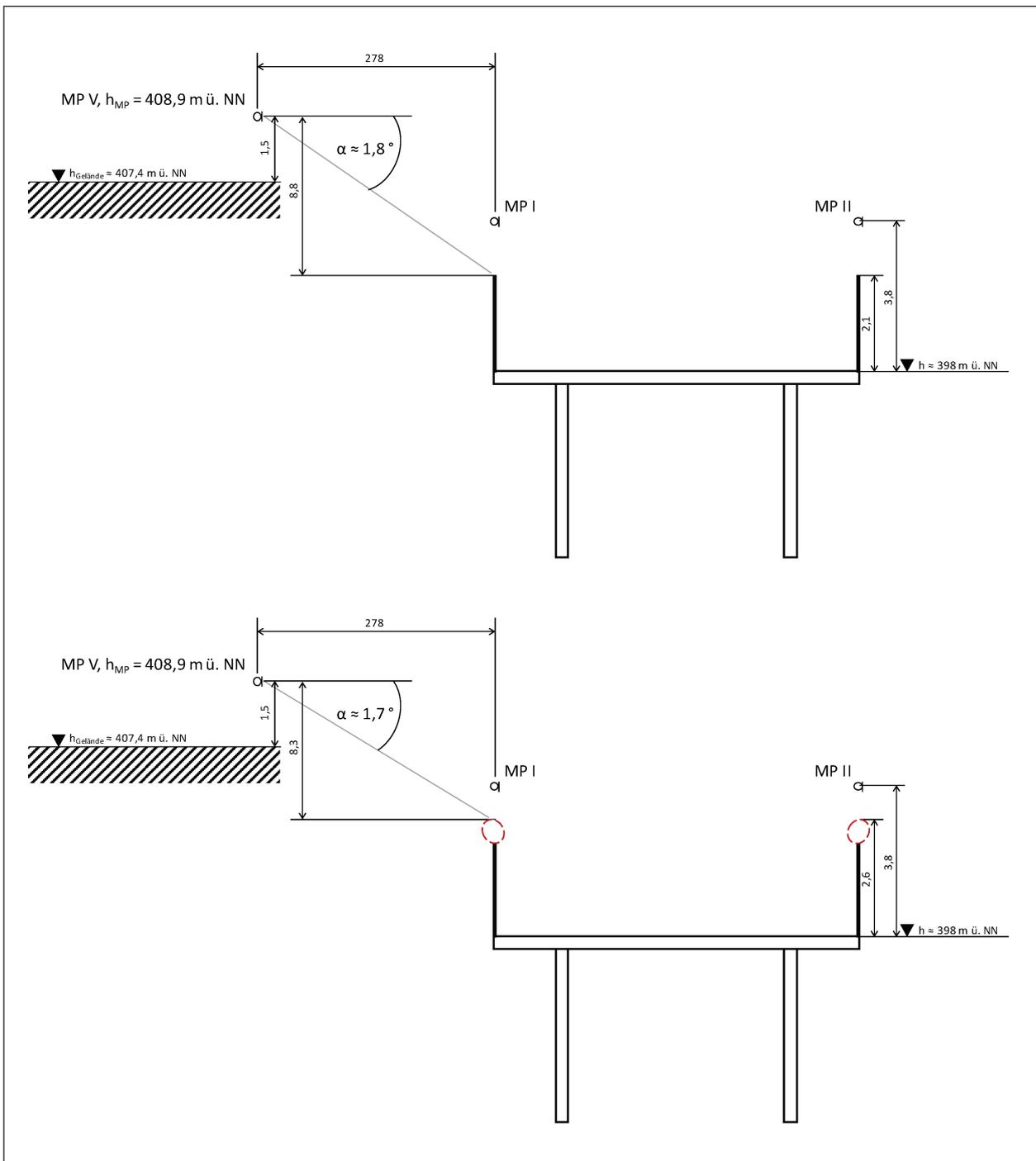


Bild 2.18: MP V (Fernbereich zur Brücke), Lage des Messorts (schematisch) in Seitenansicht: westlich der Talbrückenstraße auf Wiese; in ca. 282 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in südlicher Fahrtrichtung; in ca. 1,5 m Höhe über Boden; oben: vor Installation der Schirmkrone; unten: nach Installation der Schirmkrone

## 2.4 Messergebnisse vor Installation der Schirmkrone

Die messtechnischen Untersuchungen vor Installation der Schirmkrone fanden am 15., 20. und 21.09.2017 statt.

Die Erfassung der Daten zur Verkehrssituation erfolgte mithilfe eines Geschwindigkeitsmesssystems mit Kamera getrennt nach Fahrspur, Fahrtrichtung und Fahrzeugkategorie.

Zur Messung der meteorologischen Bedingungen sowie zur getrennten Bestimmung der dreidimensionalen Komponenten der Windgeschwindigkeit kam eine Wetterstation mit Ultraschall-Sensorik zum Einsatz. Der Zusammenhang zwischen der Windrichtung und den Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$  ist in Bild 2.19 dargestellt.

Durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) wurde zusätzlich der Bedeckungsgrad zur Verfügung gestellt. Er dient der Bestimmung der Stabilitätsklasse (stability class), die für die Anwendung des Schallausbreitungsmodells Harmonoise in Kapitel 3 bekannt sein muss (siehe Tabelle 2.1).

Die Zeitsignale des Schalldruckpegels an Emissions- und Immissionsorten wurden durch Messmikrofone in Verbindung mit einer 24-bit Datenakquisitionshardware erfasst. Sämtliche Zeitsignale des Schalldruckpegels wurden unter Berücksichtigung eines messortabhängigen „zulässigen“ Maximalpegels sowie von manuellen Triggern von „offensichtlichen“ Störereignissen während der Messungen bereinigt. Die an den Messpunkten MP III und MP IV in Bodennähe installierten Referenzmikrofone dienten der zusätzlichen Bereinigung der Zeitsignale des Immissionsschalldruckpegels zum Ausschluss weniger „offensichtlicher“ Störereignisse während der Messungen. Dazu wurde eine Mindestpegeldifferenz zwischen dem Immissionsschalldruckpegel auf Fahrbahnniveau (oberes Mikrophon (o)) und dem Immissionsschalldruckpegel am Referenzmikrophon (unteres Mikrophon (u)) definiert.

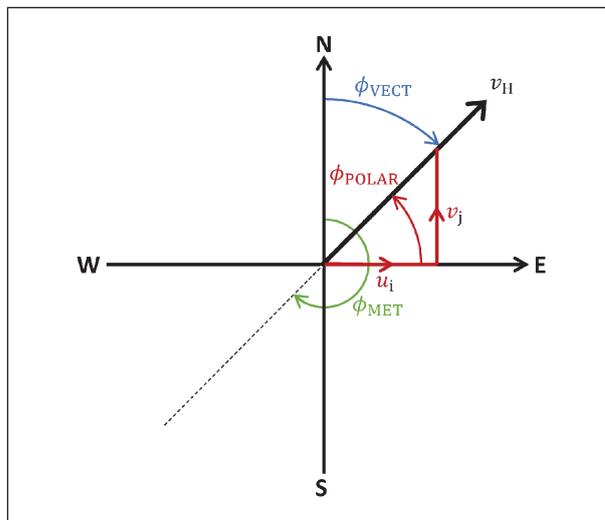


Bild 2.19: Zusammenhang zwischen Windrichtung und Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$

Stabilitätsklasse (stability class)	Tag/Nacht, Bedeckungsgrad
S1	Tag, 0/8 ... 2/8
S2	Tag, 3/8 ... 5/8
S3	Tag, 6/8 ... 8/8
S4	Nacht, 5/8 ... 8/8
S5	Nacht, 0/8 ... 4/8

Tab. 2.1: Stabilitätsklasse (stability class) zur Verwendung im Harmonoise-Modell gemäß [SALOMONS, 2004]

Bild 2.20 bis Bild 2.36 zeigen die Messergebnisse der Untersuchungen. Dabei enthalten:

- Bild 2.20 bis Bild 2.23 die Daten zur Verkehrssituation,
- Bild 2.24 bis Bild 2.31 die Daten der meteorologischen Bedingungen und
- Bild 2.32 bis Bild 2.36 die akustischen Messergebnisse an den Emissions- und Immissionsorten vor sowie nach Bereinigung hinsichtlich Störgeräusche.

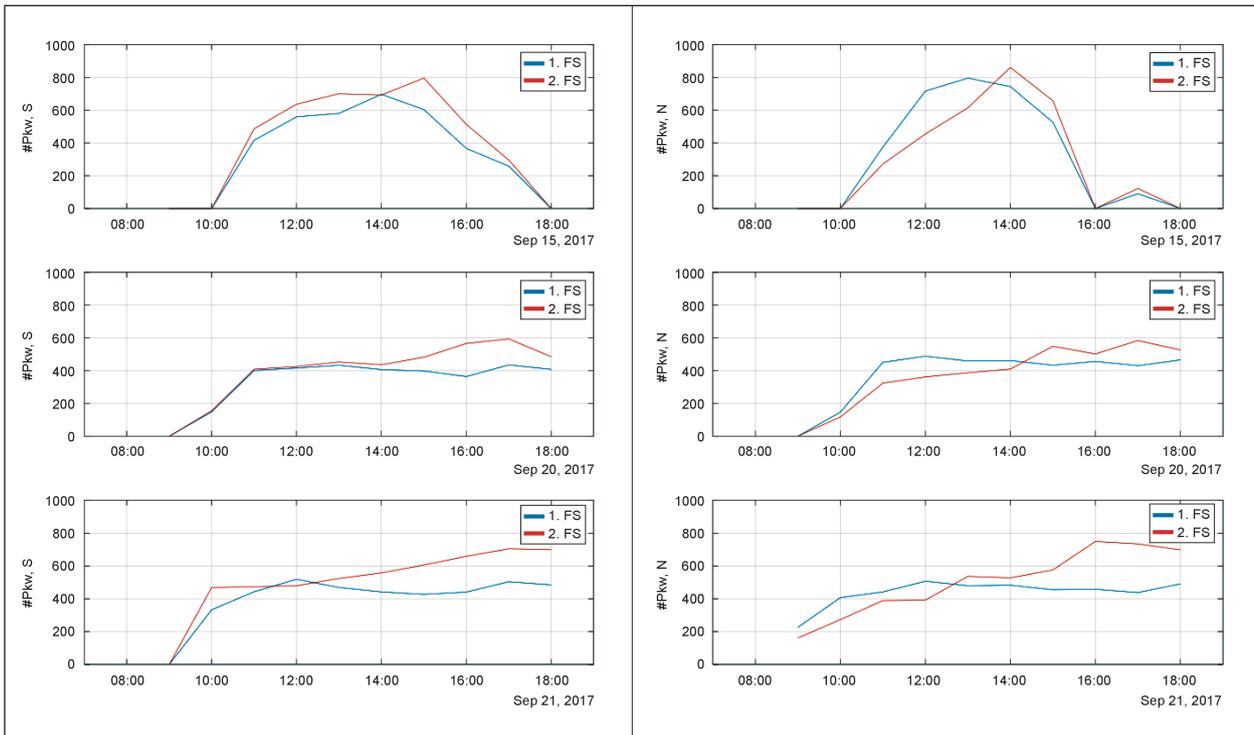


Bild 2.20: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS

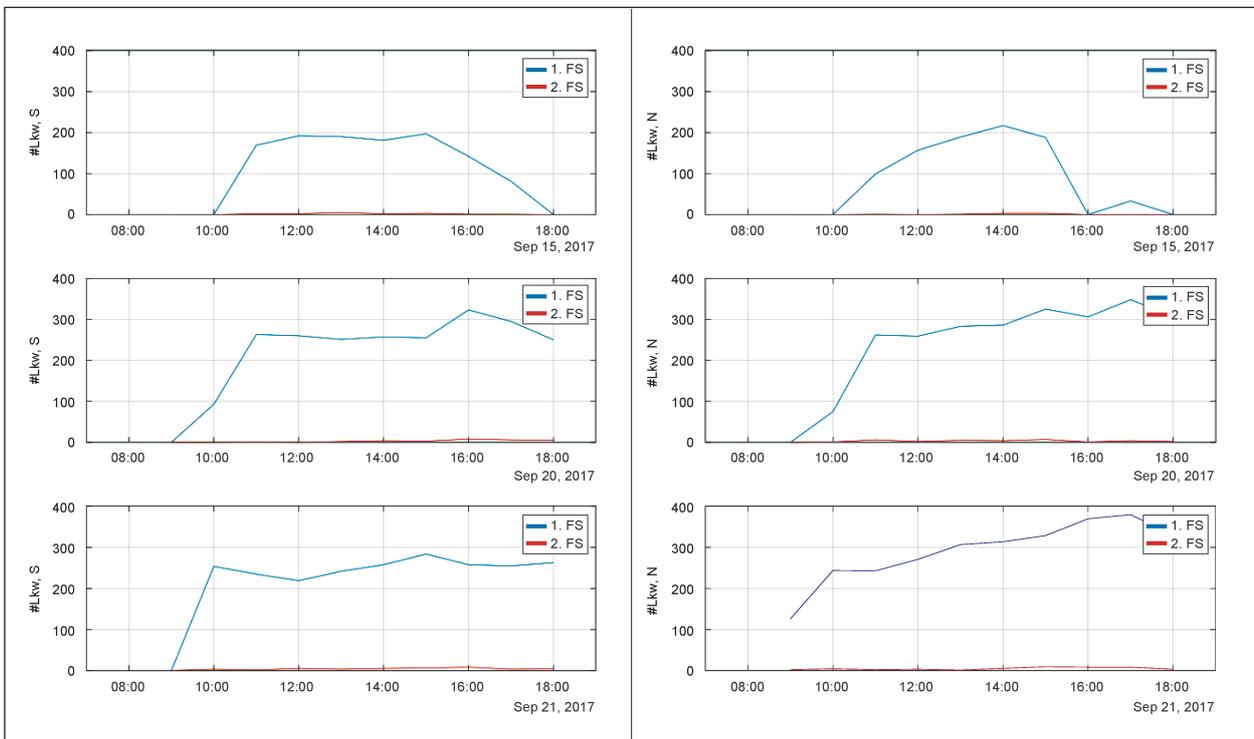


Bild 2.21: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS

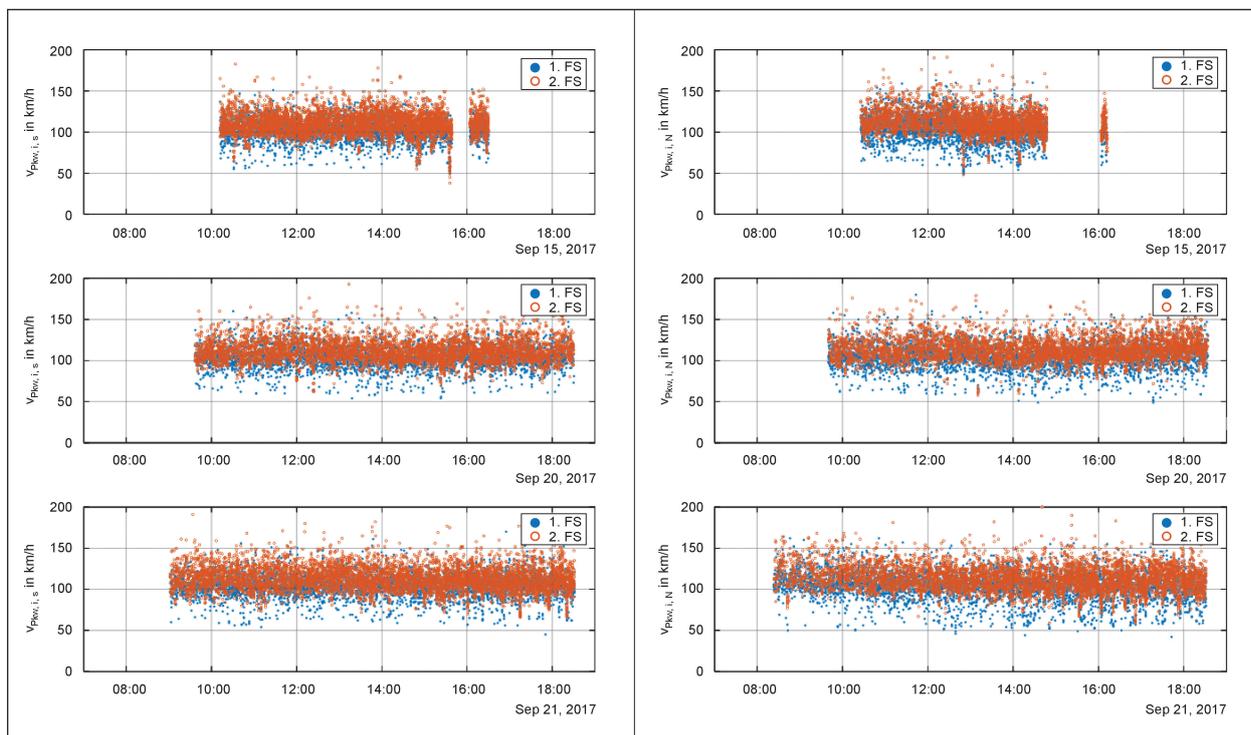


Bild 2.22: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS

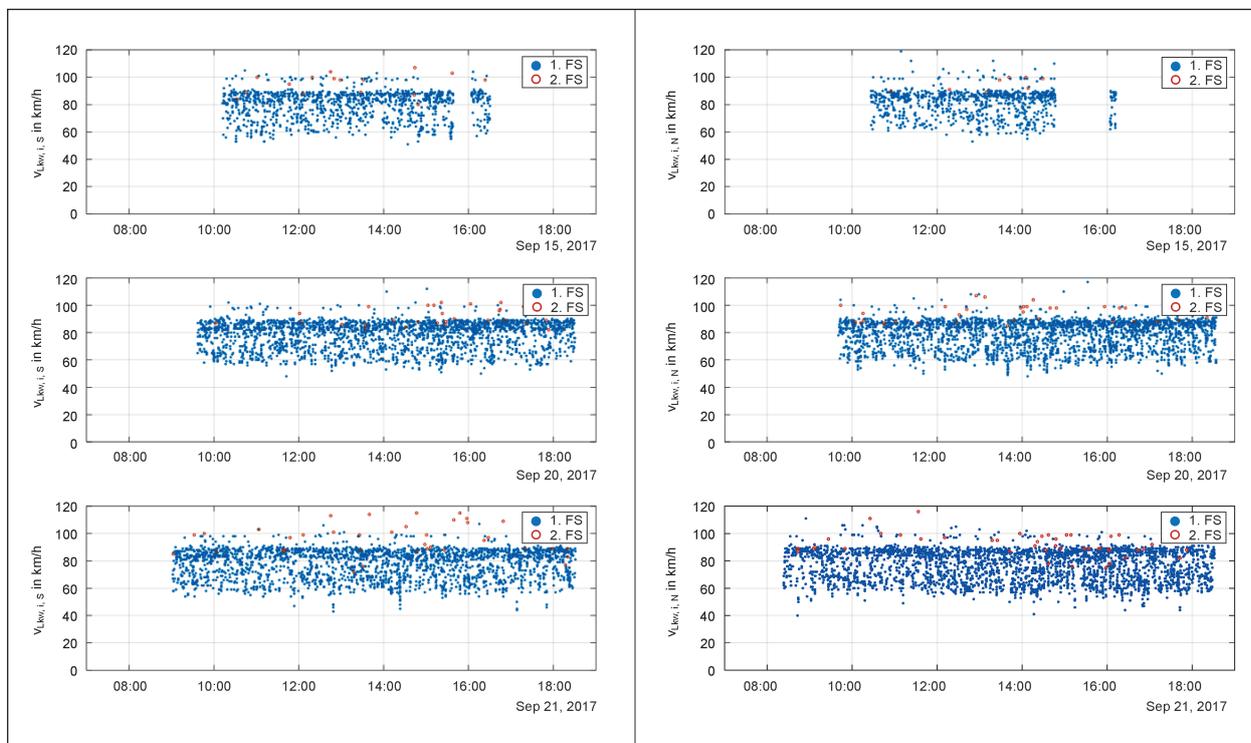


Bild 2.23: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS

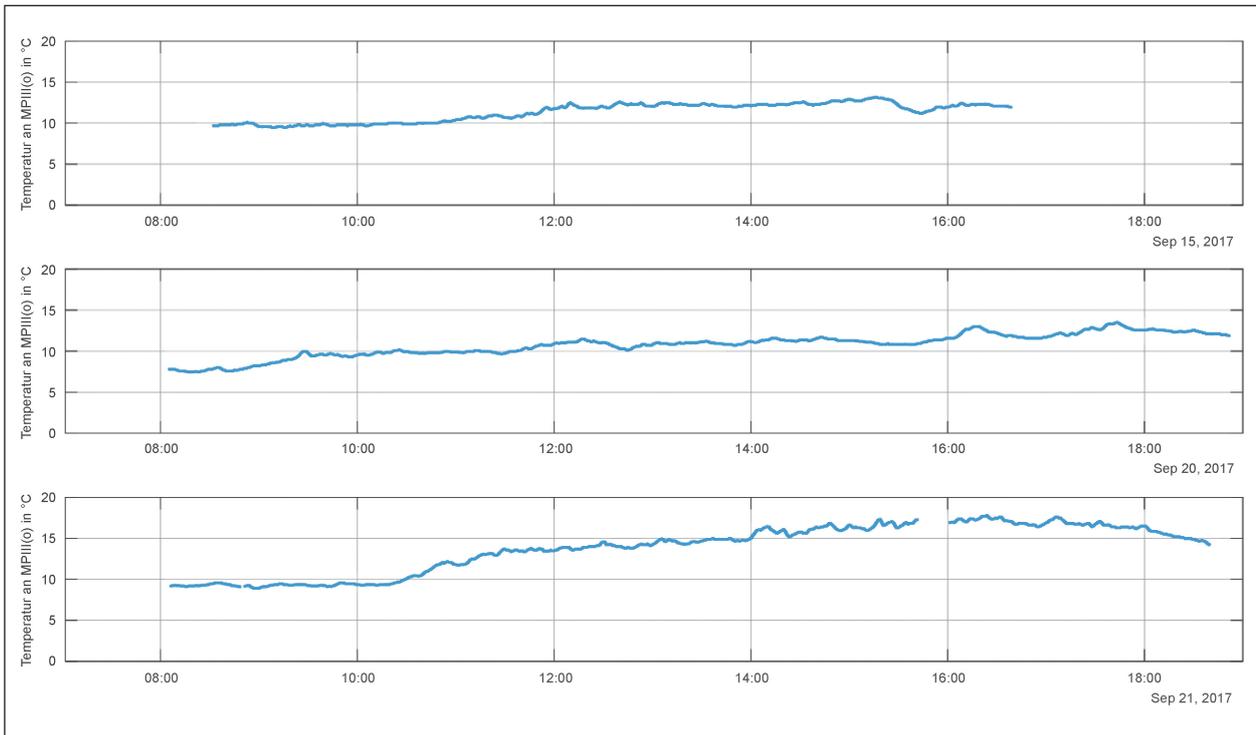


Bild 2.24: Meteorologische Bedingungen – Temperatur

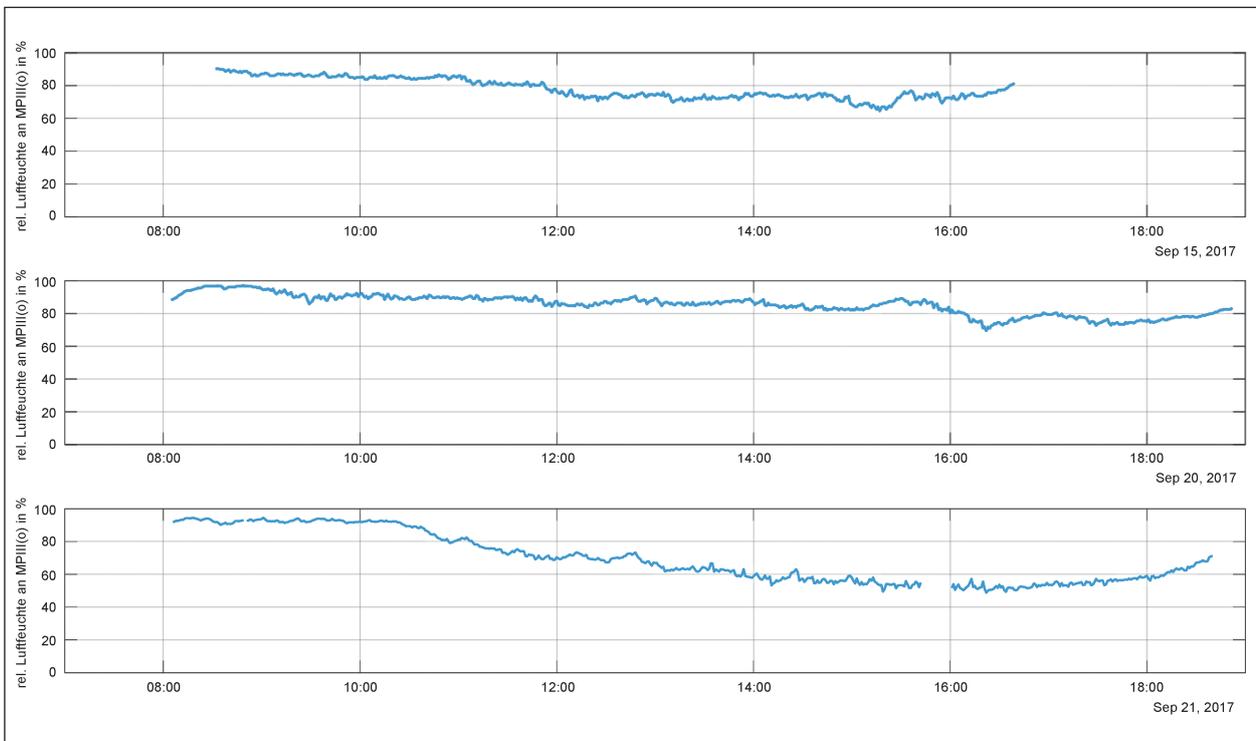


Bild 2.25: Meteorologische Bedingungen – relative Luftfeuchte

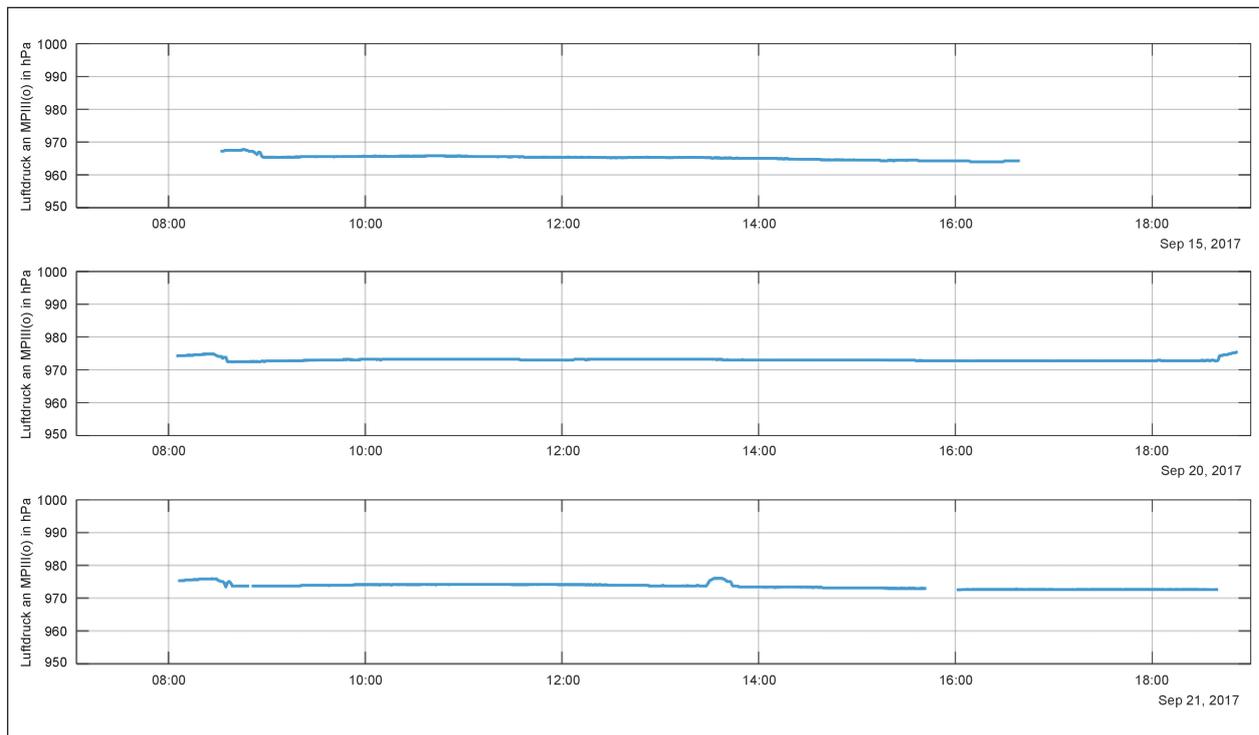


Bild 2.26: Meteorologische Bedingungen – Luftdruck (kurzzeitige Erhöhungen des Luftdrucks infolge von kalibrierungsbedingtem Herablassen der Arbeitsbühne mit daran befestigter Wetterstation und installiertem Messmikrofon)

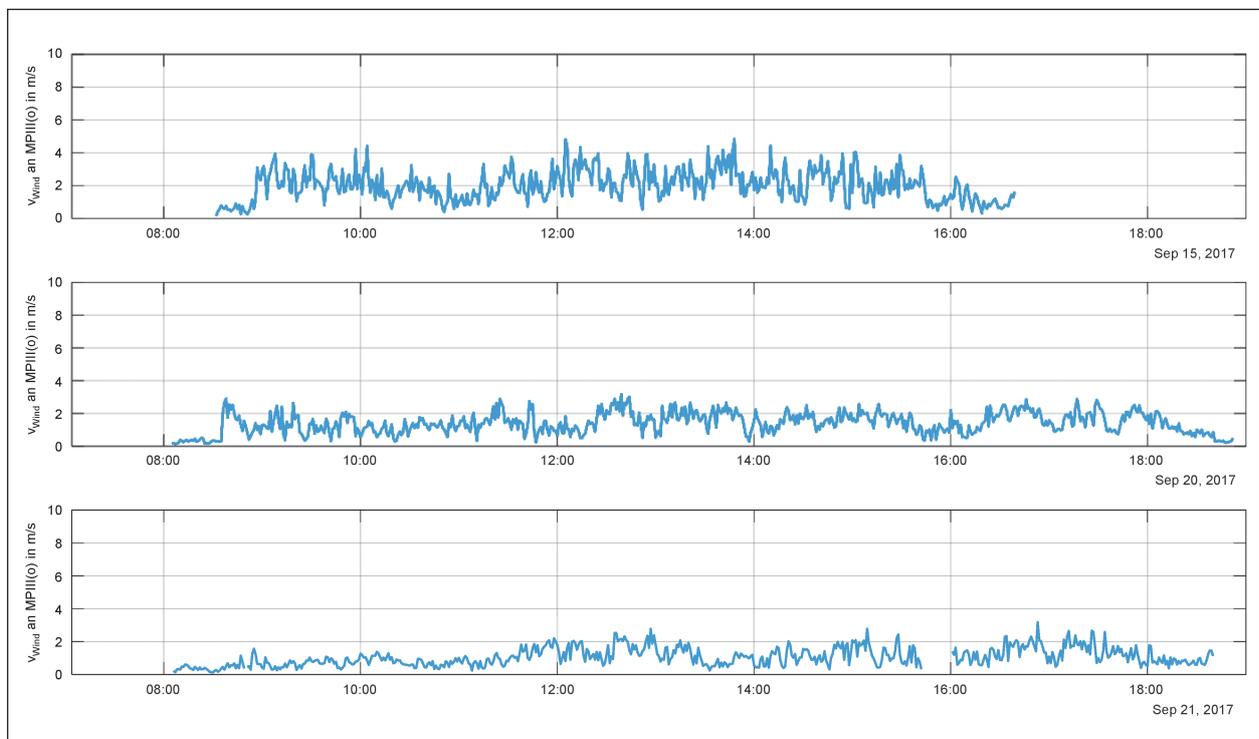


Bild 2.27: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeit

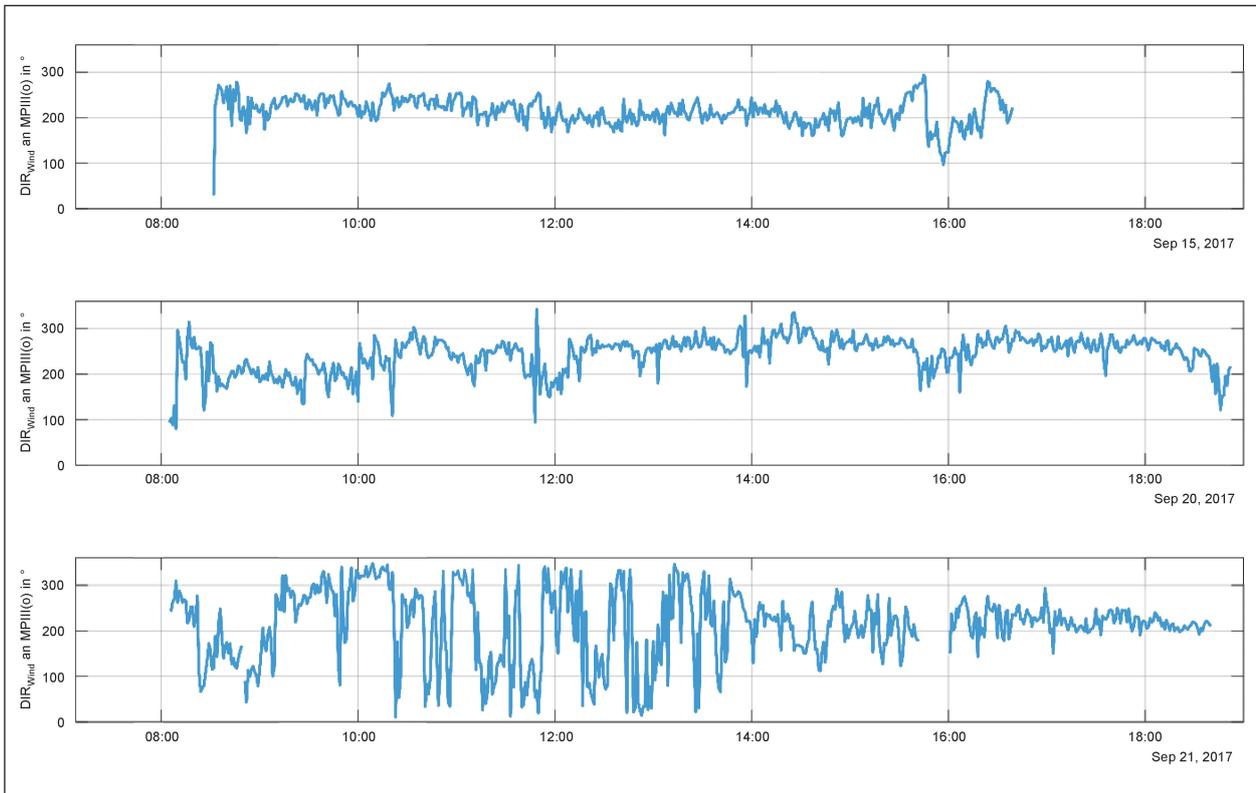


Bild 2.28: Meteorologische Bedingungen – Windrichtung

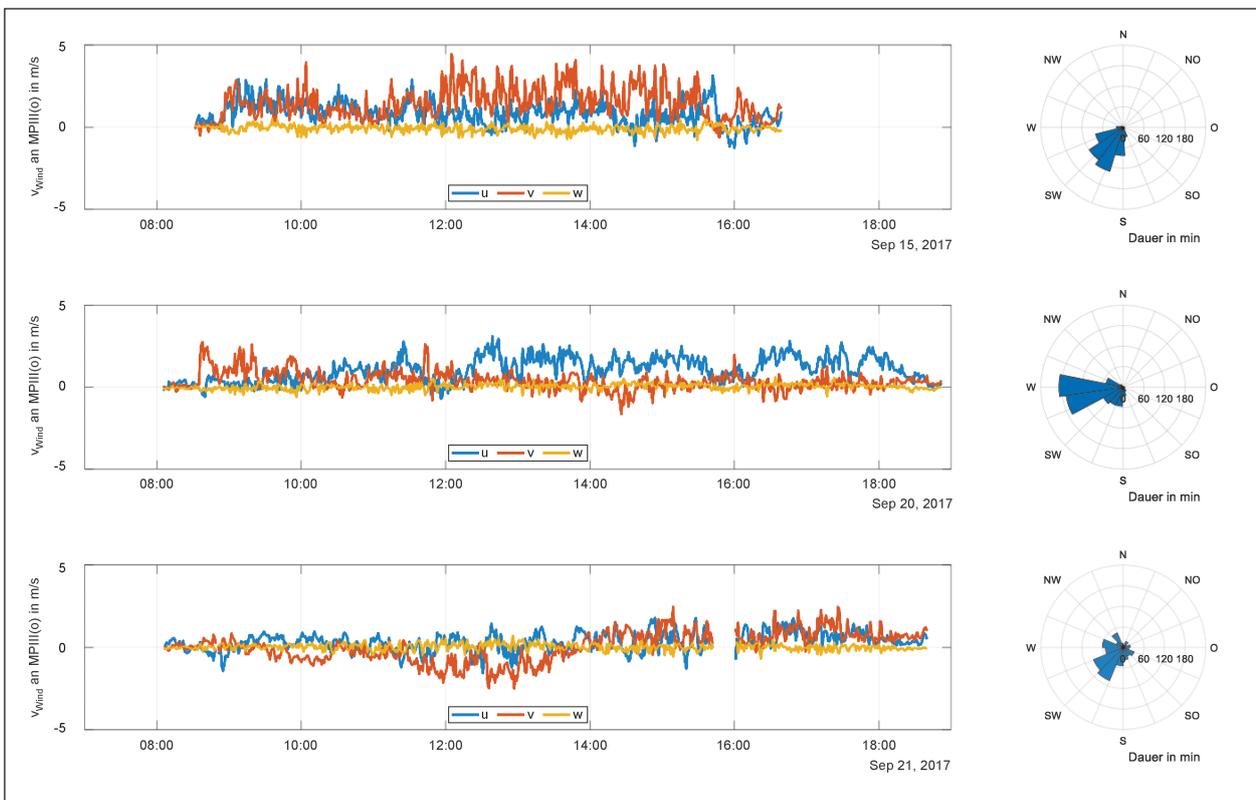


Bild 2.29: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$

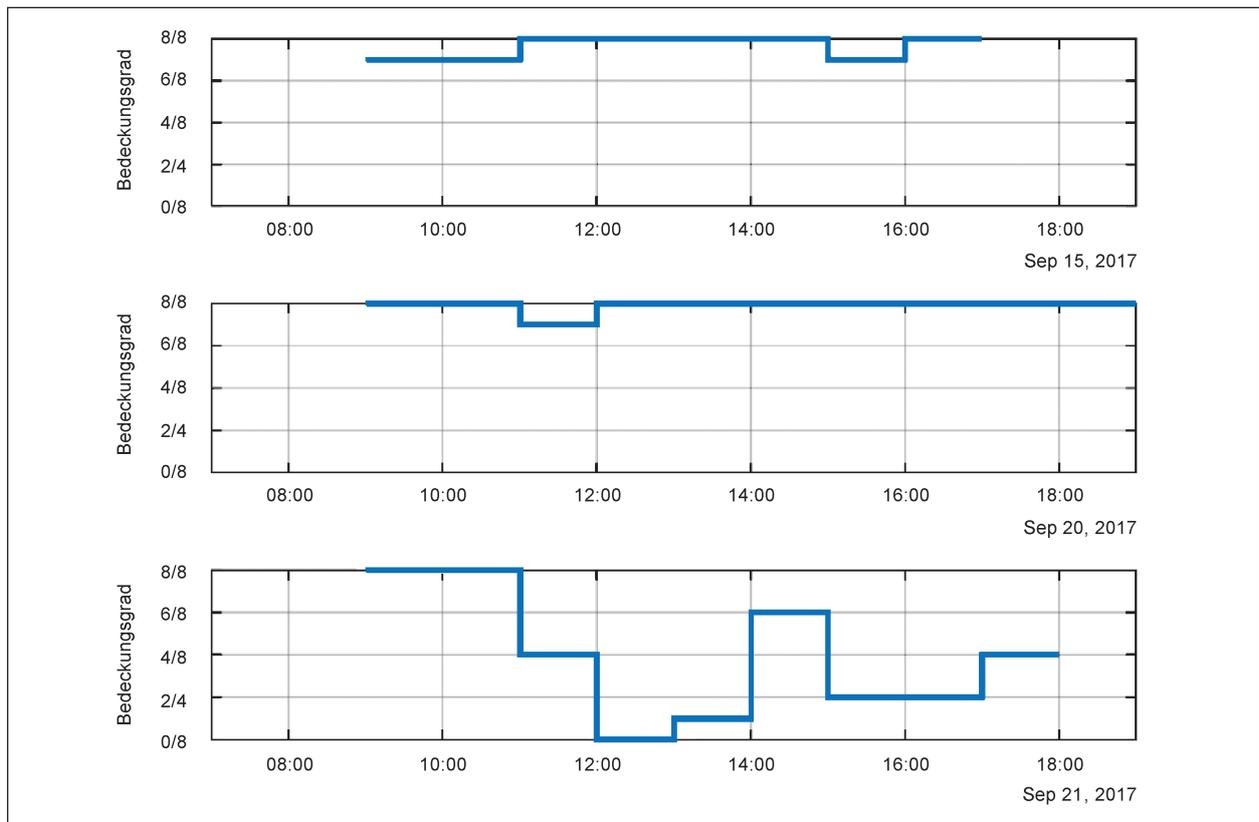


Bild 2.30: Meteorologische Bedingungen – Bedeckungsgrad

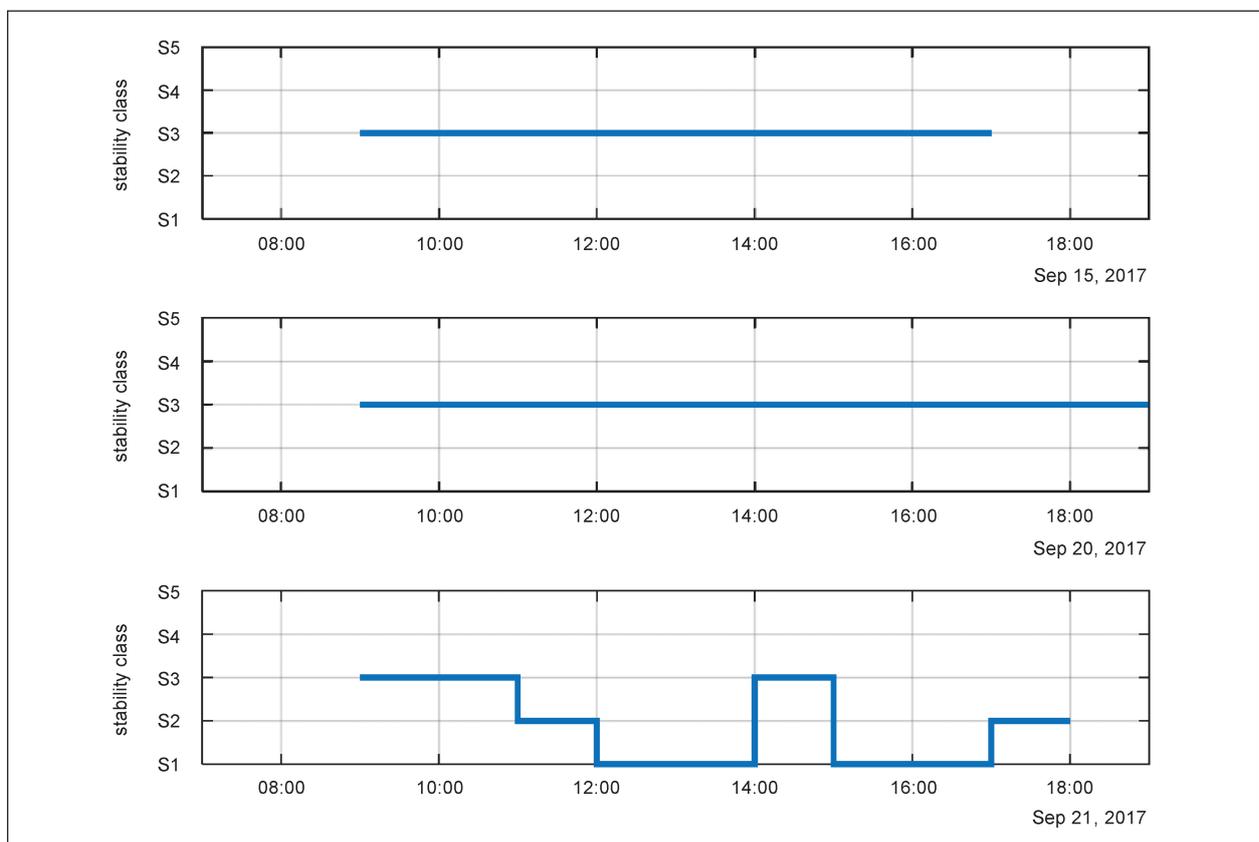


Bild 2.31: Meteorologische Bedingungen – Stabilitätsklasse (stability class)



Bild 2.32: Verkehrsgläusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt

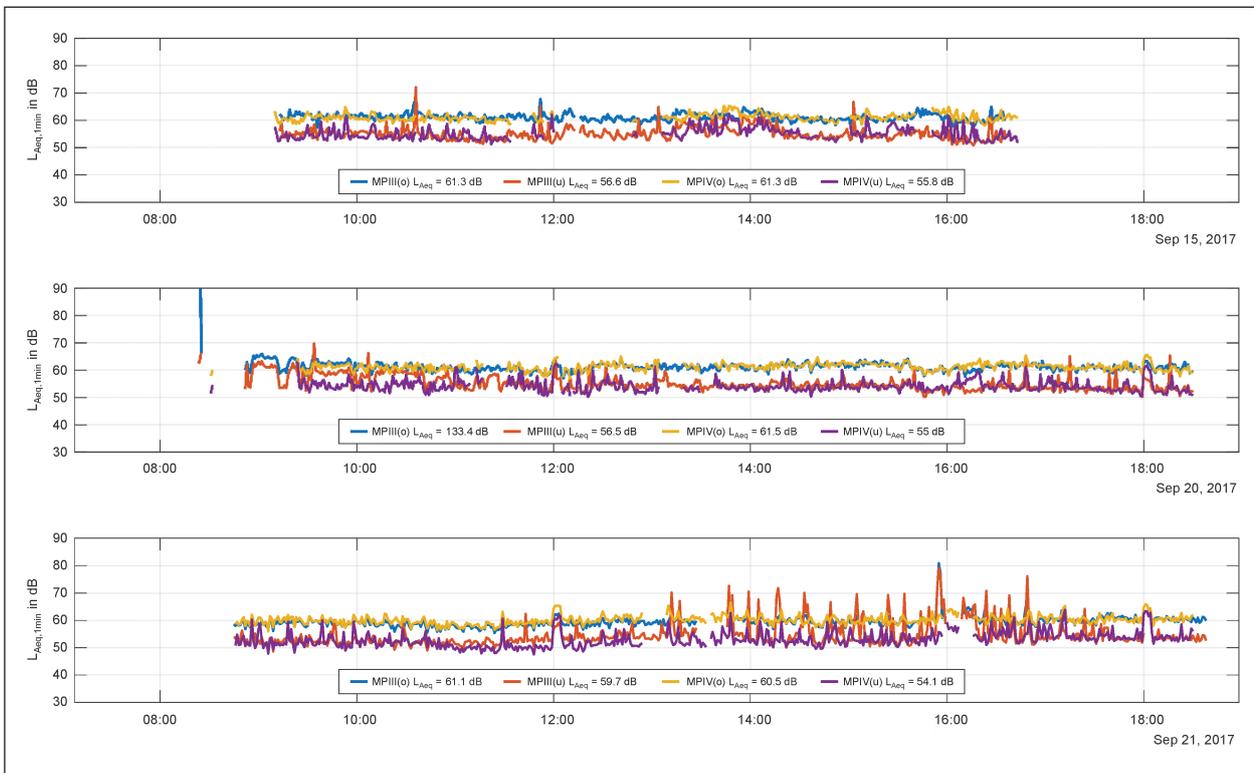


Bild 2.33: Verkehrsgläusche – MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon,  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt

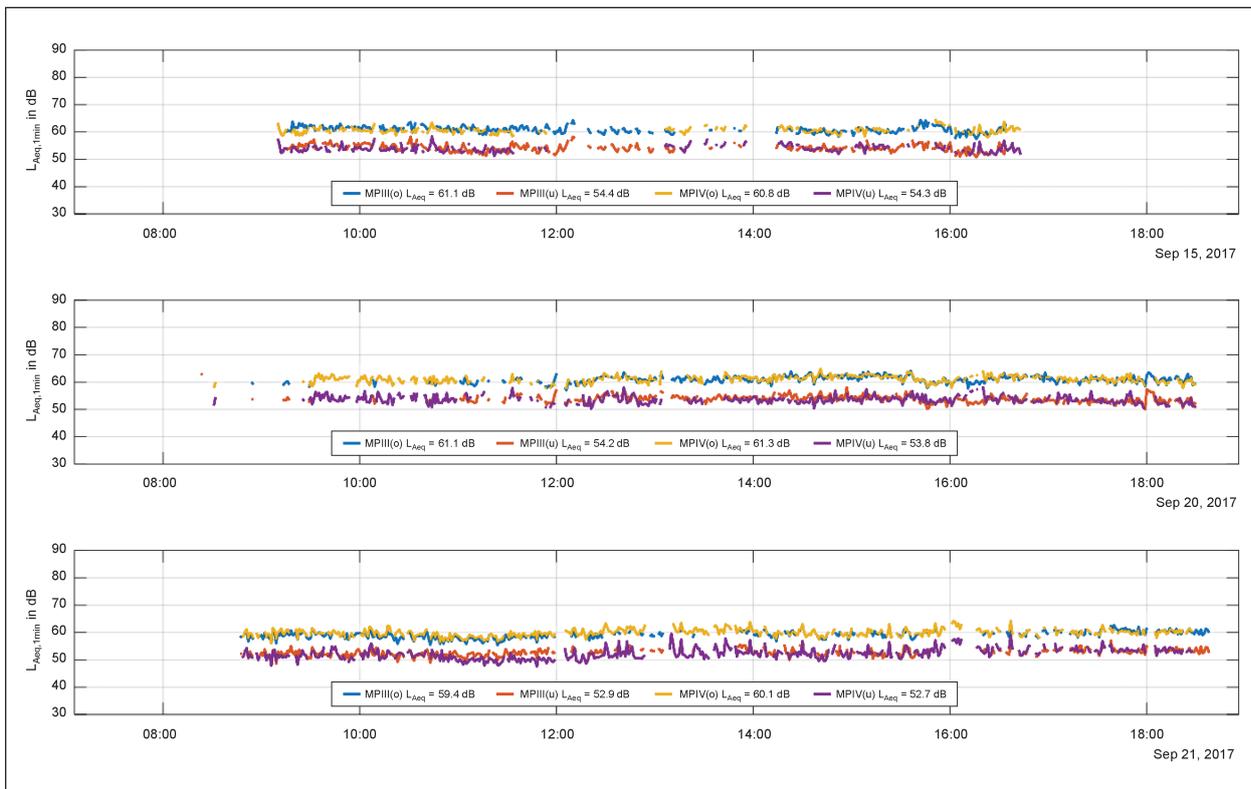


Bild 2.34: Verkehrsgeräusche – MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, bereinigt

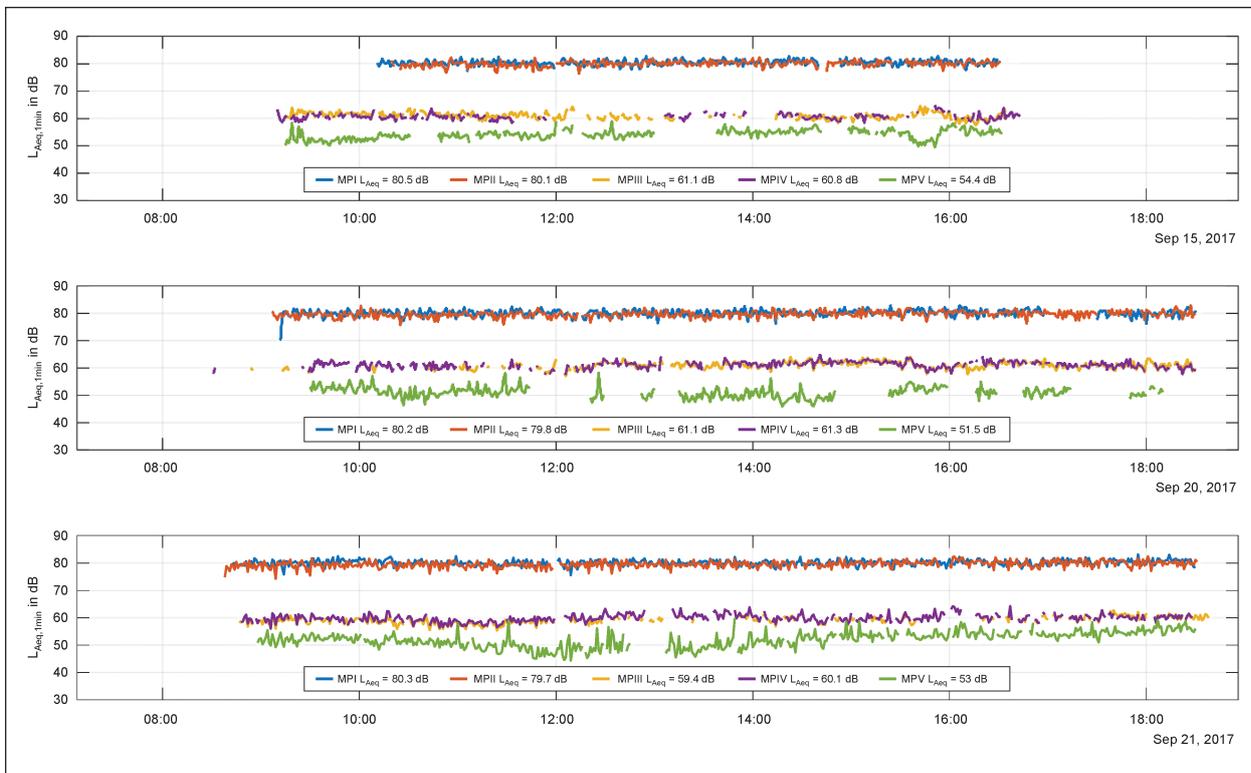


Bild 2.35: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, bereinigt

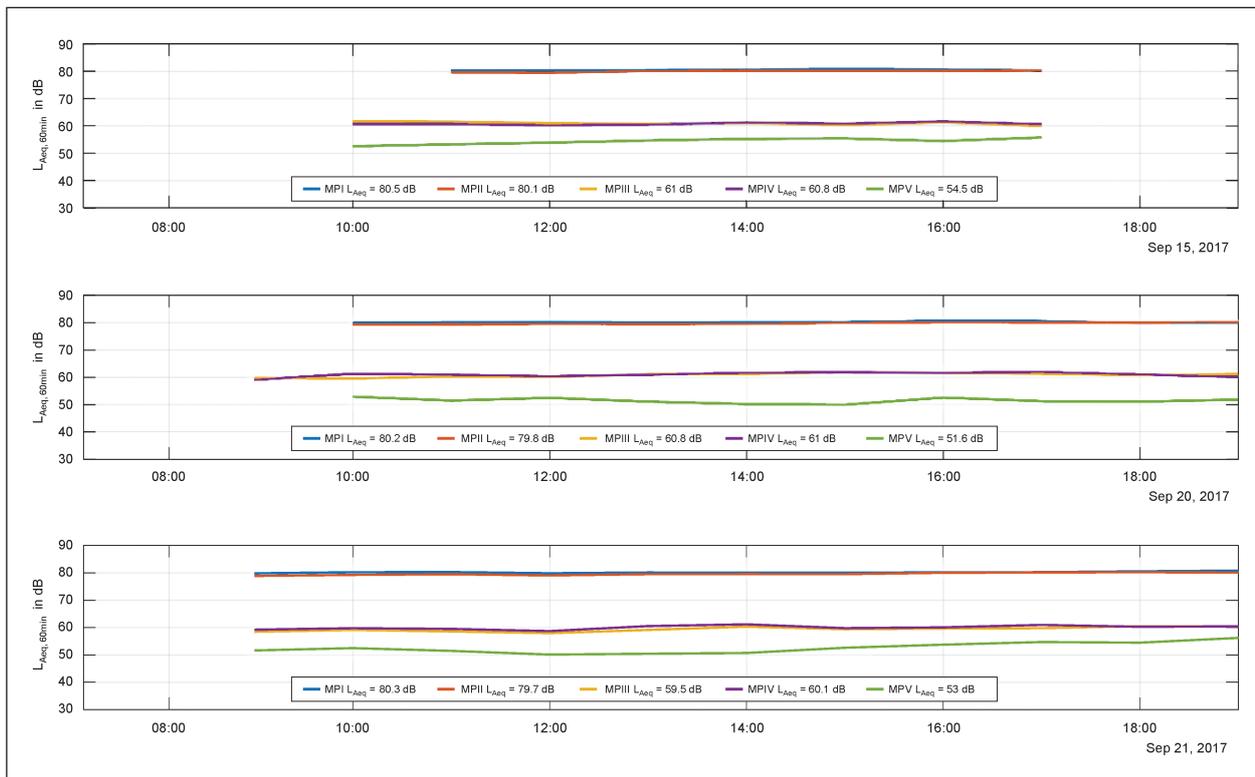


Bild 2.36: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  h, bereinigt

## 2.5 Messergebnisse nach Installation der Schirmkrone

Die messtechnischen Untersuchungen nach Installation der Schirmkrone fanden in Absprache mit dem Auftraggeber am 17., 18. und 19.04.2018 statt.

Die Erfassung der Daten zur Verkehrssituation, der meteorologischen Bedingungen sowie der Zeitsignale des Schalldruckpegels an Emissions- und Immissionsorten erfolgte analog zu den in Kapitel 2.4 beschriebenen Messungen vor Installation der Schirmkrone.

Bild 2.37 bis Bild 2.53 zeigen die Messergebnisse der Untersuchungen. Dabei enthalten:

- Bild 2.37 bis Bild 2.40 die Daten zur Verkehrssituation,
- Bild 2.41 bis Bild 2.48 die Daten der meteorologischen Bedingungen,

- Bild 2.49 bis Bild 2.53 die akustischen Messergebnisse an den Emissions- und Immissionsorten vor sowie nach Bereinigung hinsichtlich Störgeräusche.

Analog zu den Messungen vor Installation der Schirmkrone ist erkennbar, dass die Emissions-schalldruckpegel an MP I und MP II zwischen den einzelnen Messtagen einer geringen Schwankung unterliegen. Dagegen weisen die Schalldruckpegel an den Immissionsorten erneut eine größere zeitliche Schwankung auf, die tendenziell mit dem Abstand zum Emissionsort zunimmt.

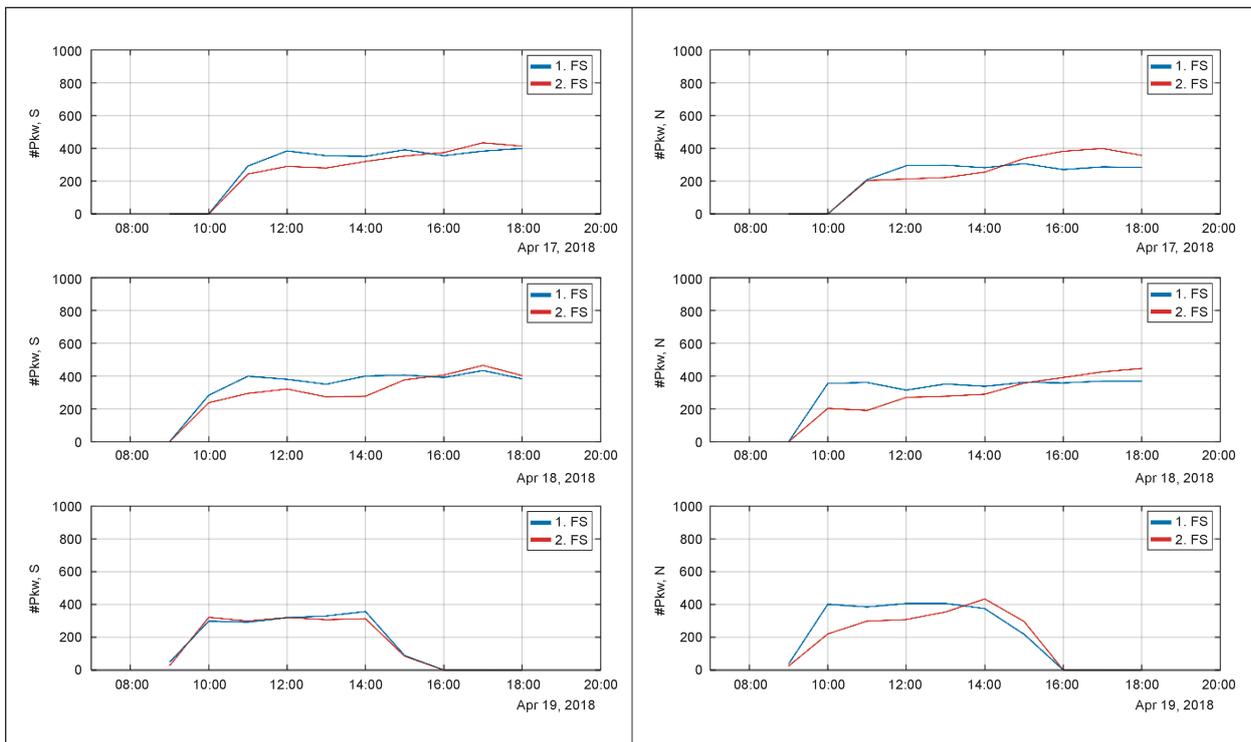


Bild 2.37: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS

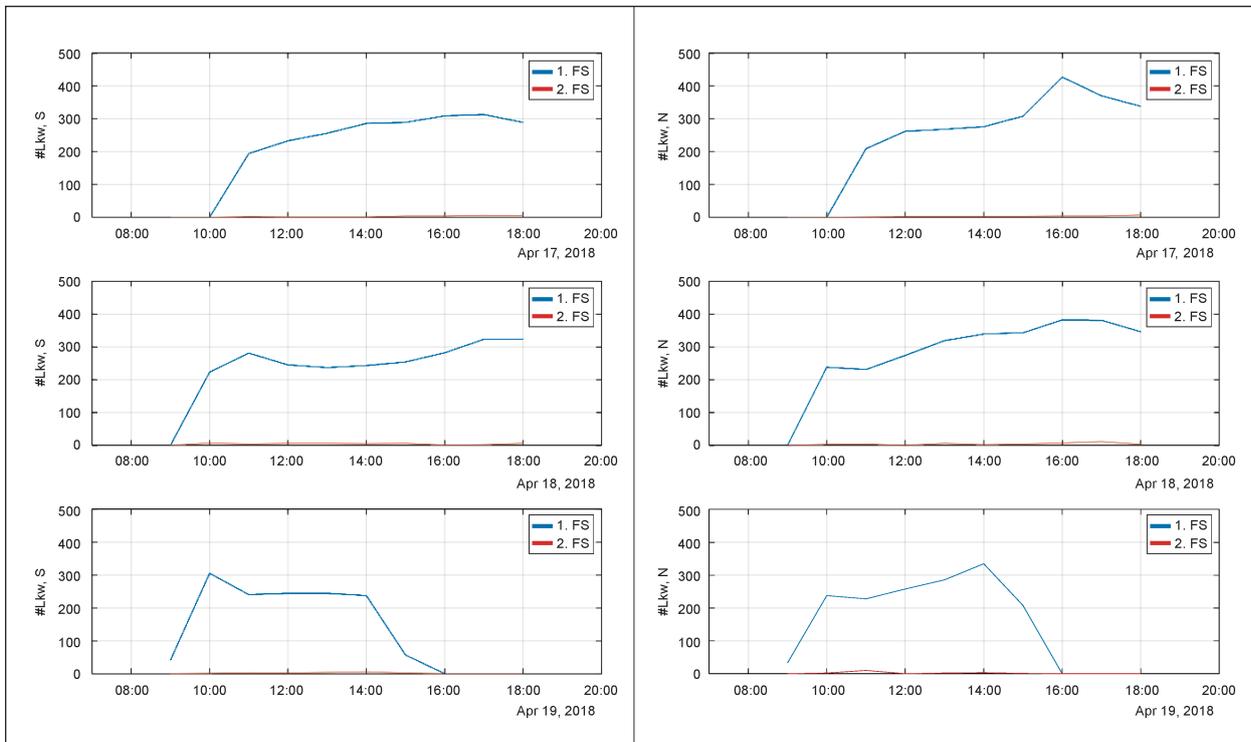


Bild 2.38: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS

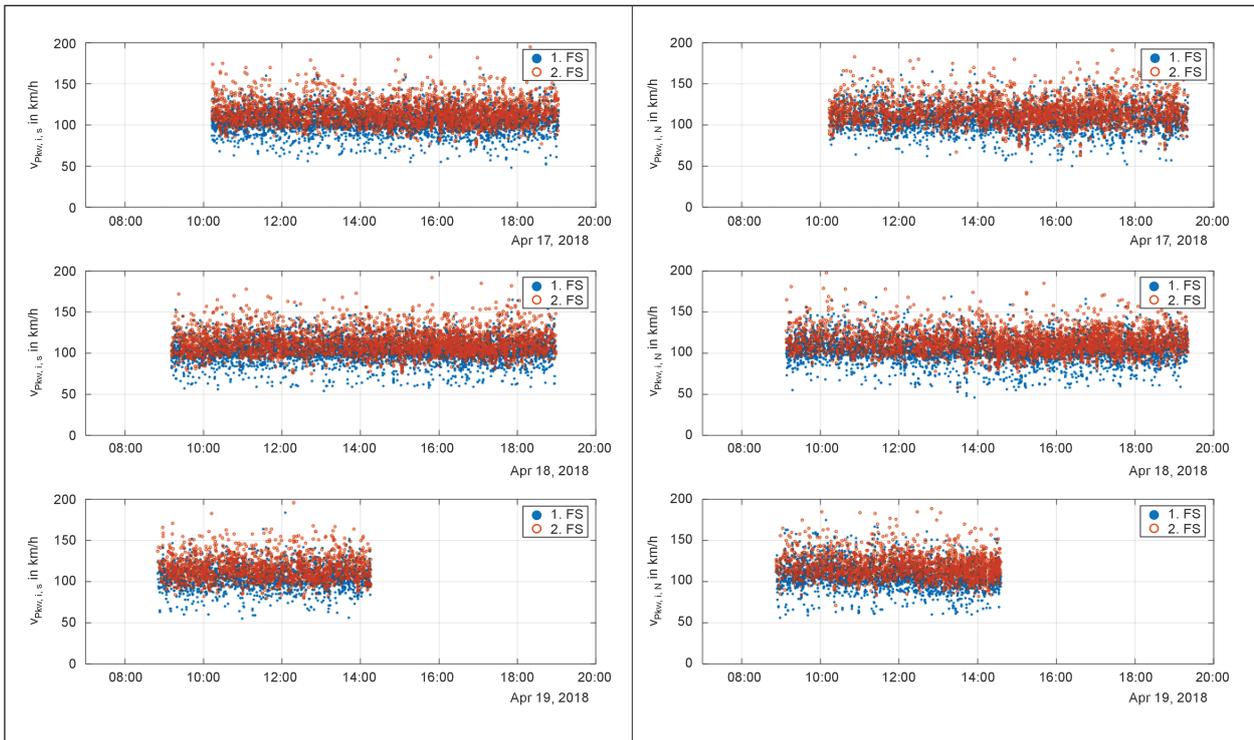


Bild 2.39: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS

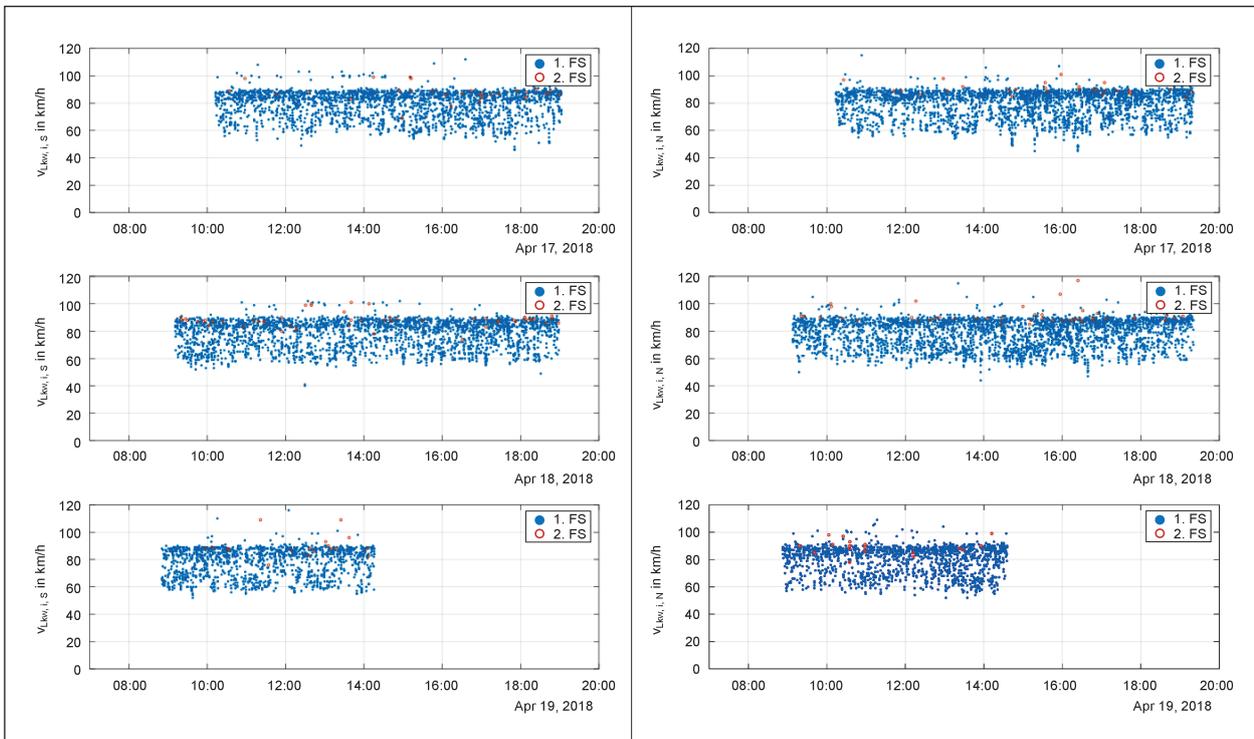


Bild 2.40: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS

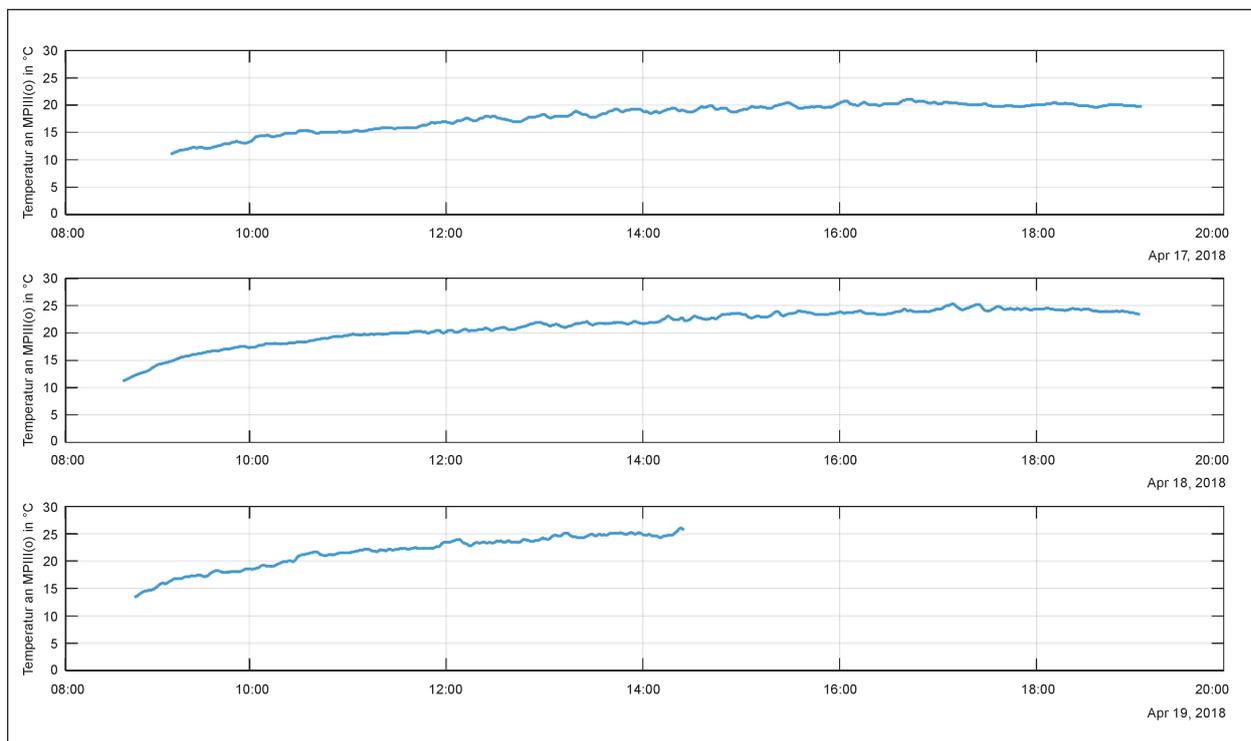


Bild 2.41: Meteorologische Bedingungen – Temperatur

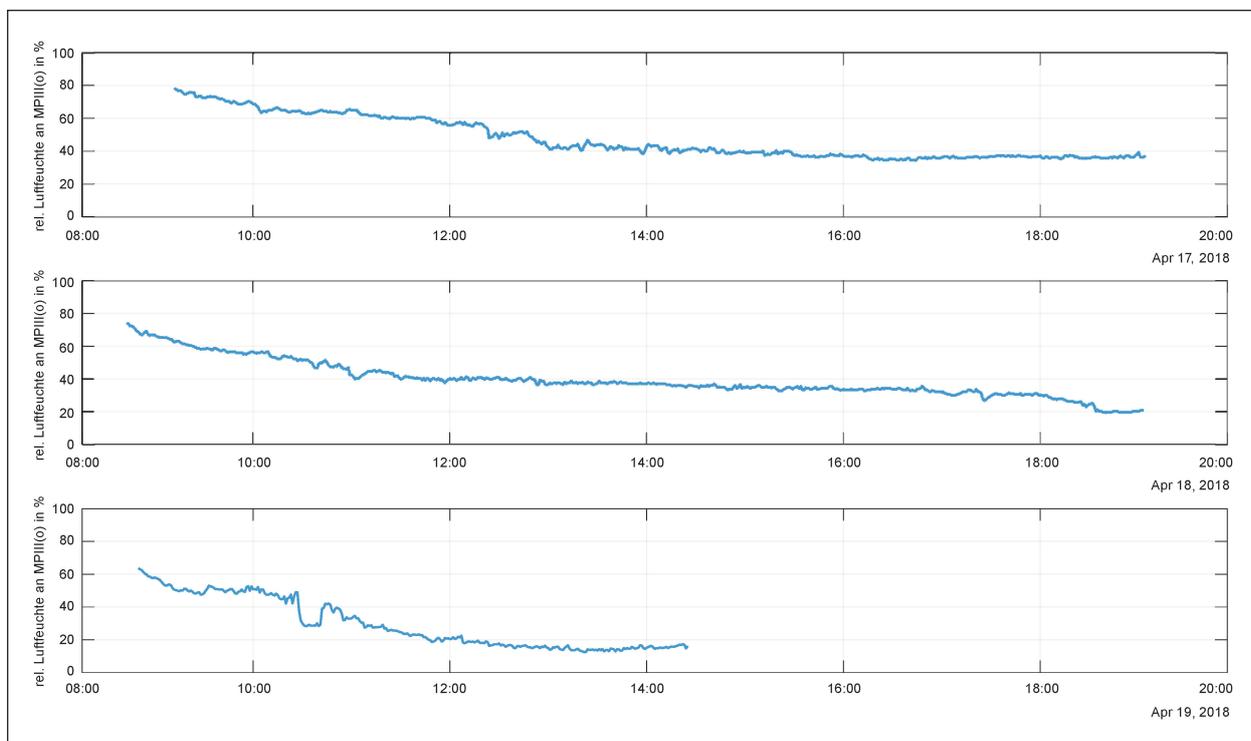


Bild 2.42: Meteorologische Bedingungen – relative Luftfeuchte

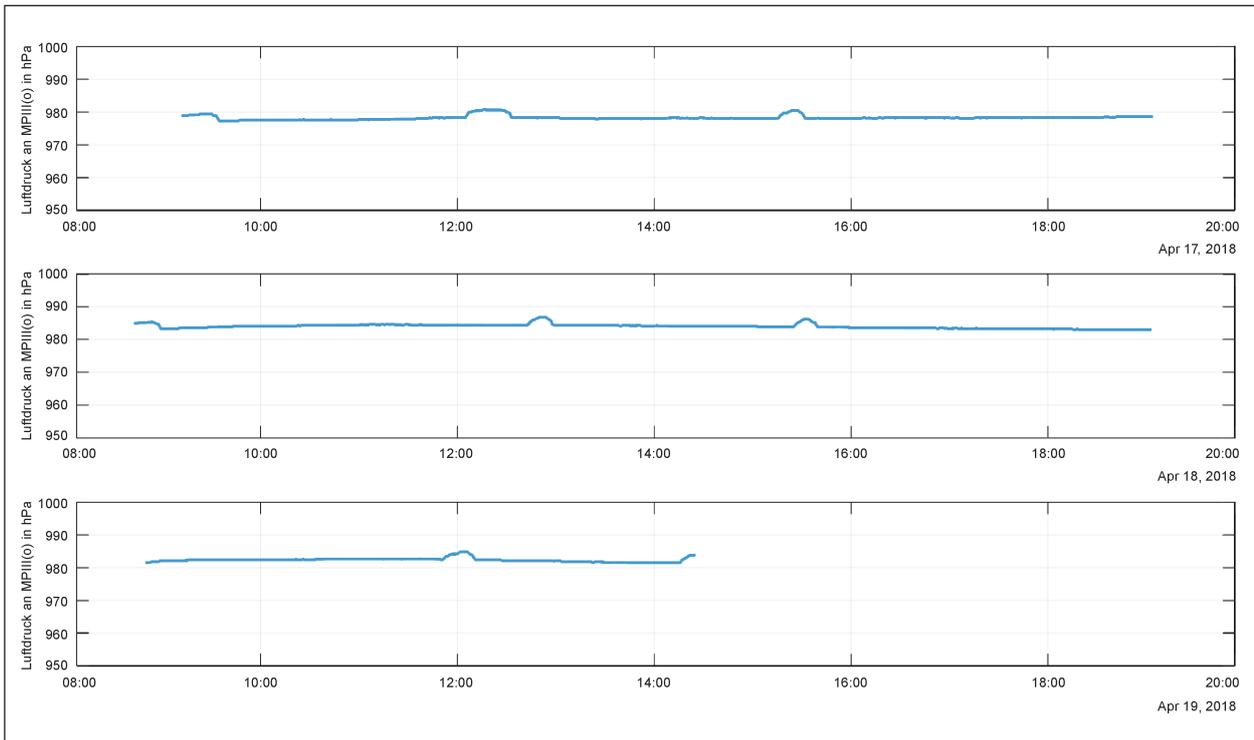


Bild 2.43: Meteorologische Bedingungen – Luftdruck (kurzzeitige Erhöhungen des Luftdrucks infolge von kalibrierungsbedingtem Herablassen der Arbeitsbühne mit daran befestigter Wetterstation und installiertem Messmikrofon)

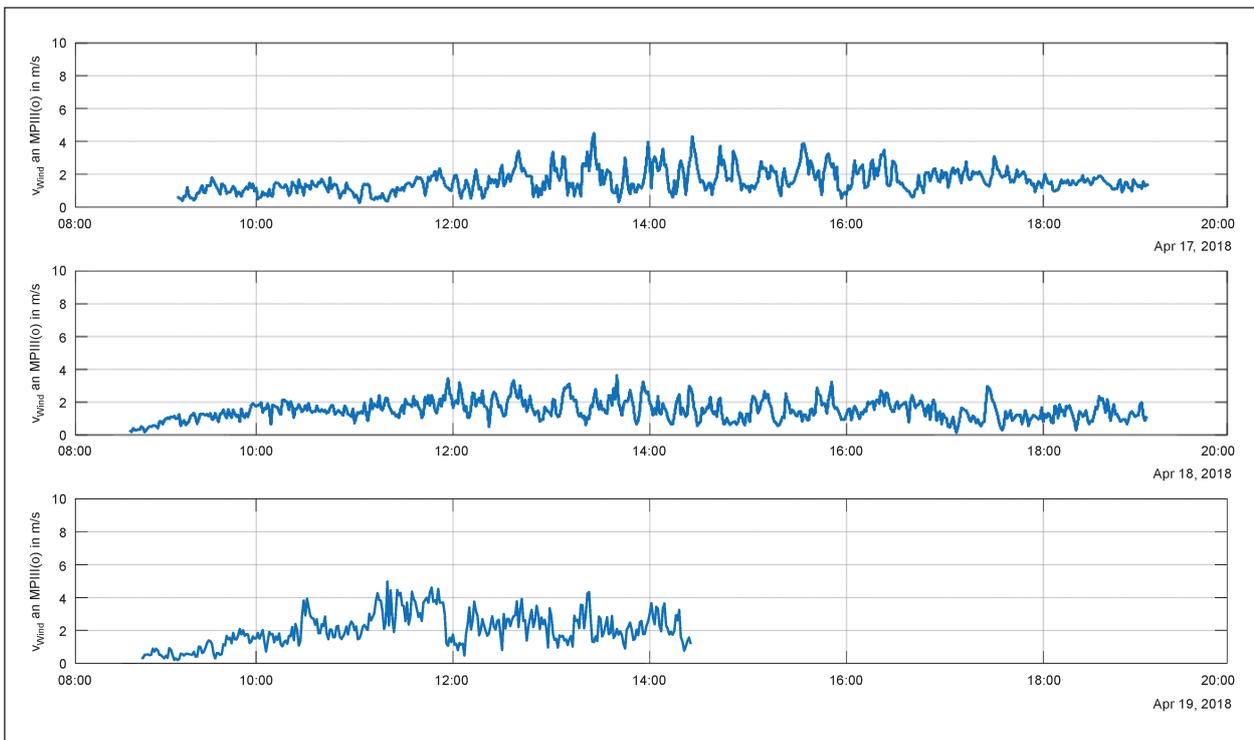


Bild 2.44: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeit

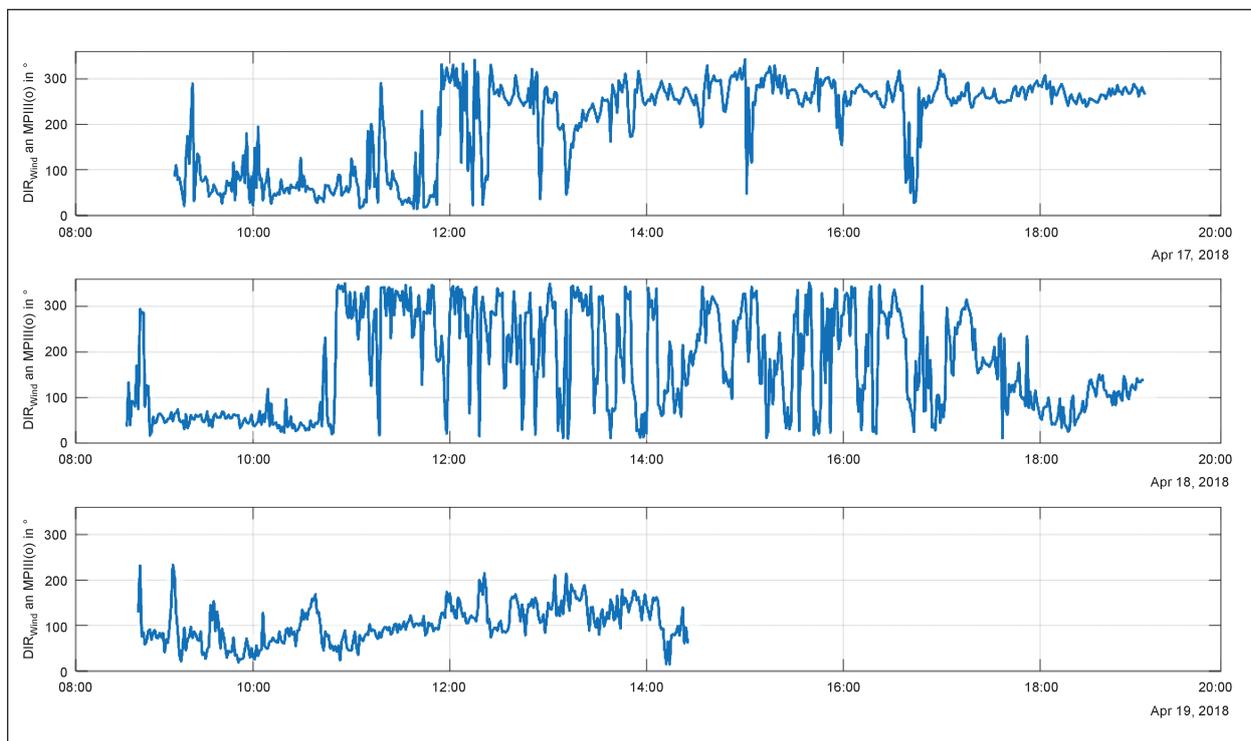
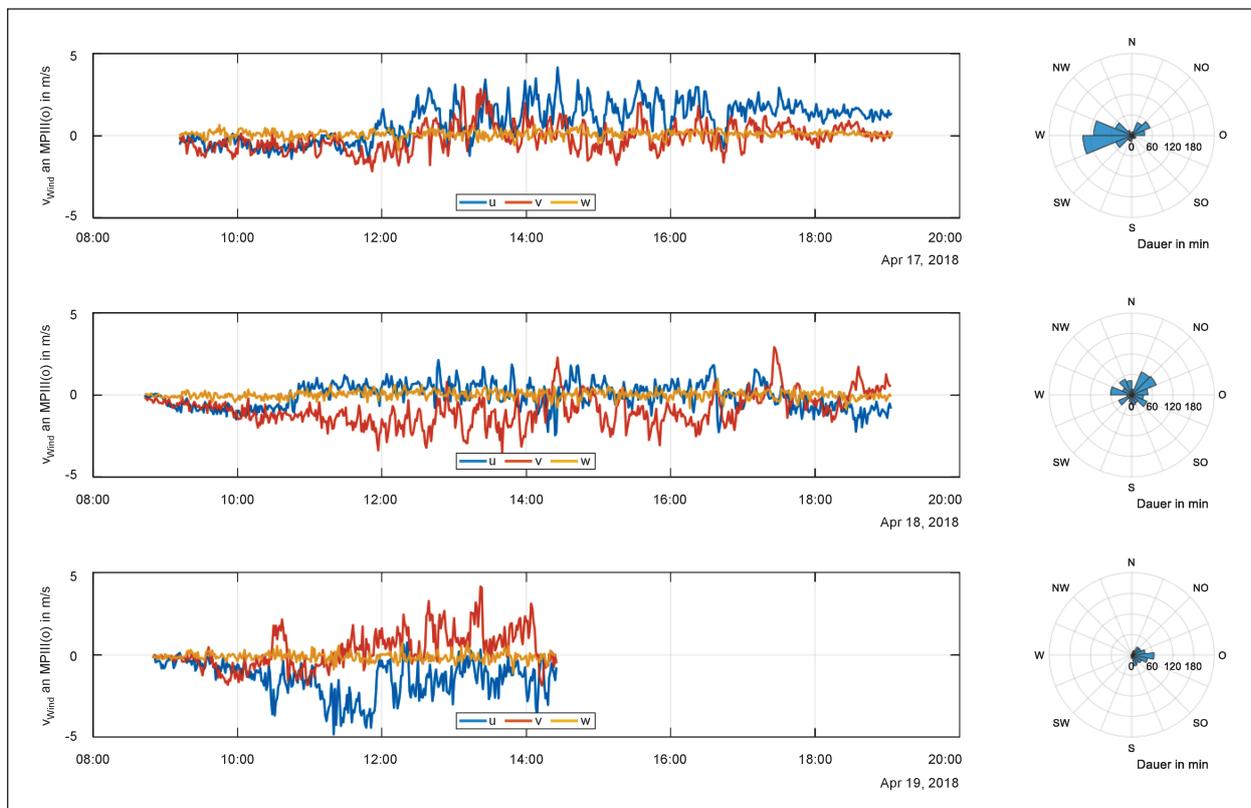


Bild 2.45: Meteorologische Bedingungen – Windrichtung

Bild 2.46: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$

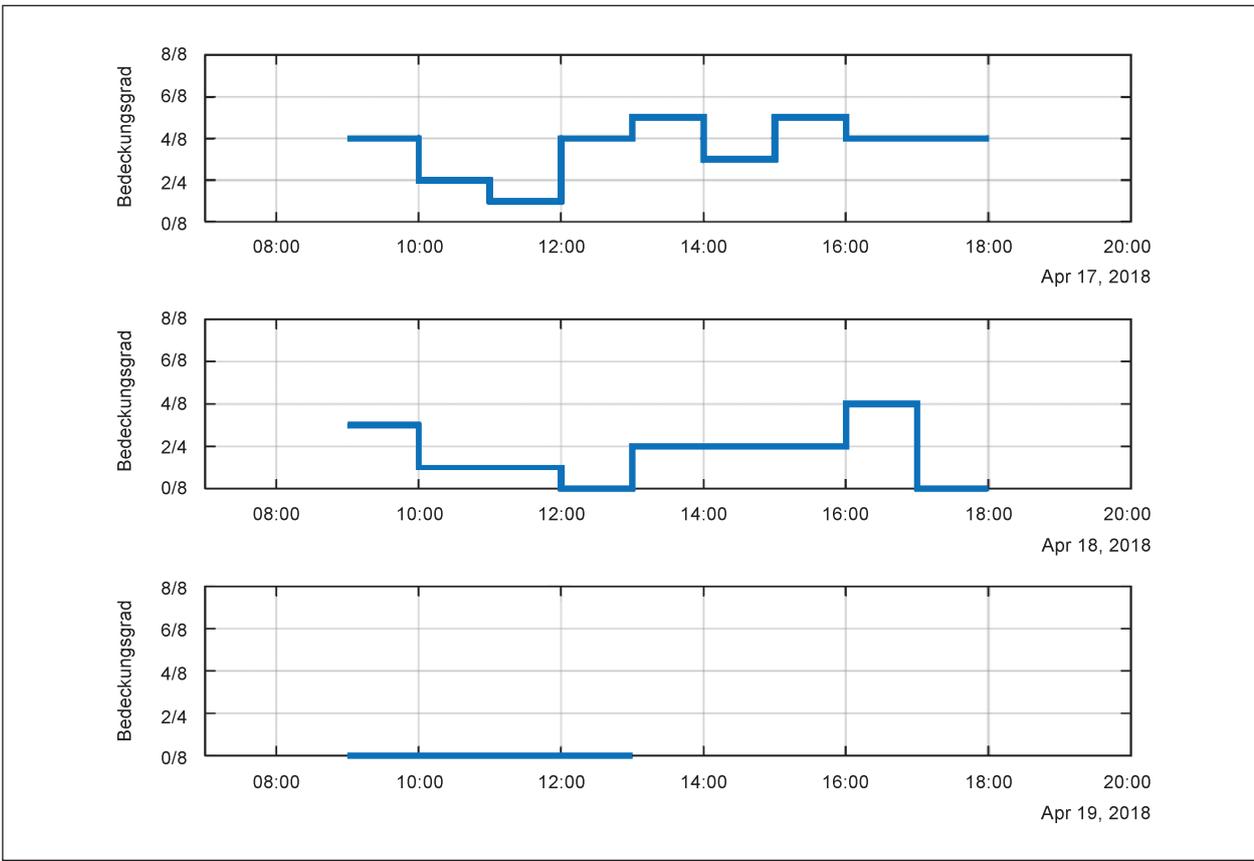


Bild 2.47: Meteorologische Bedingungen – Bedeckungsgrad

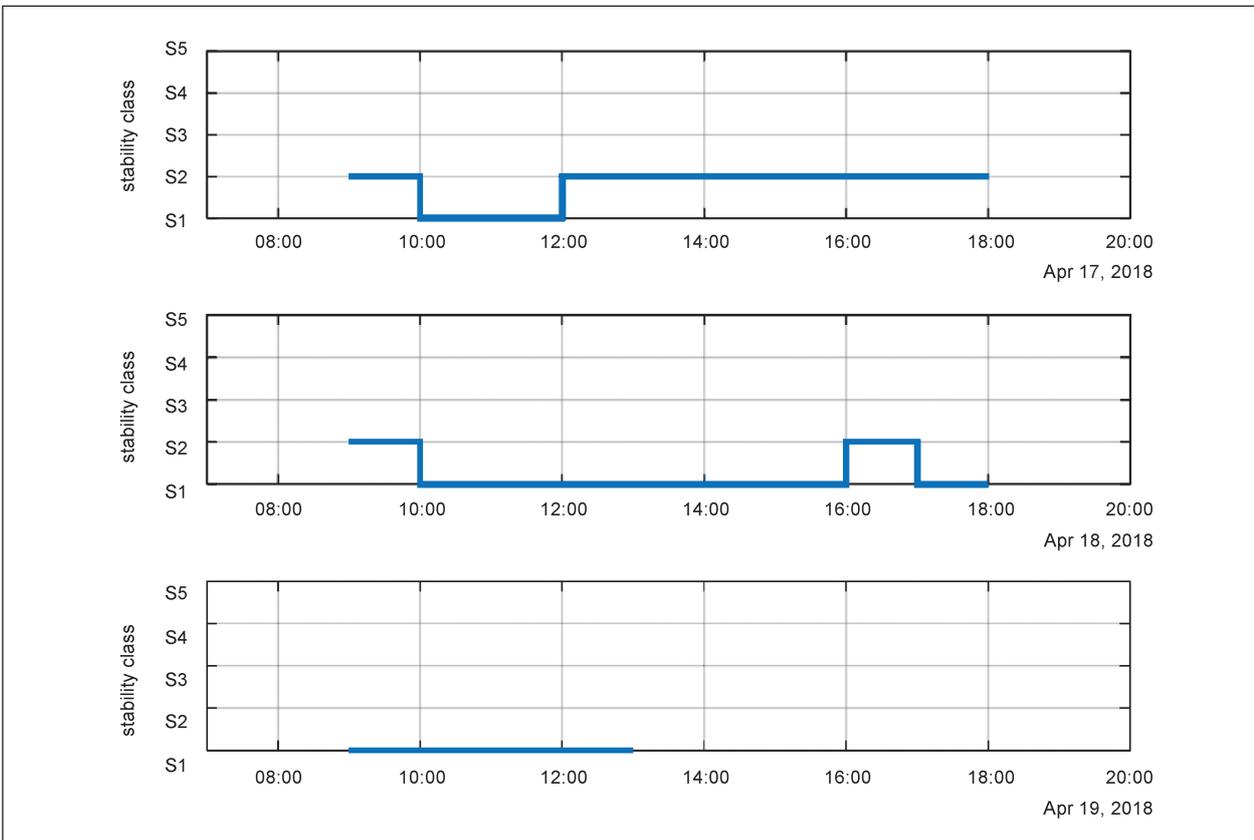
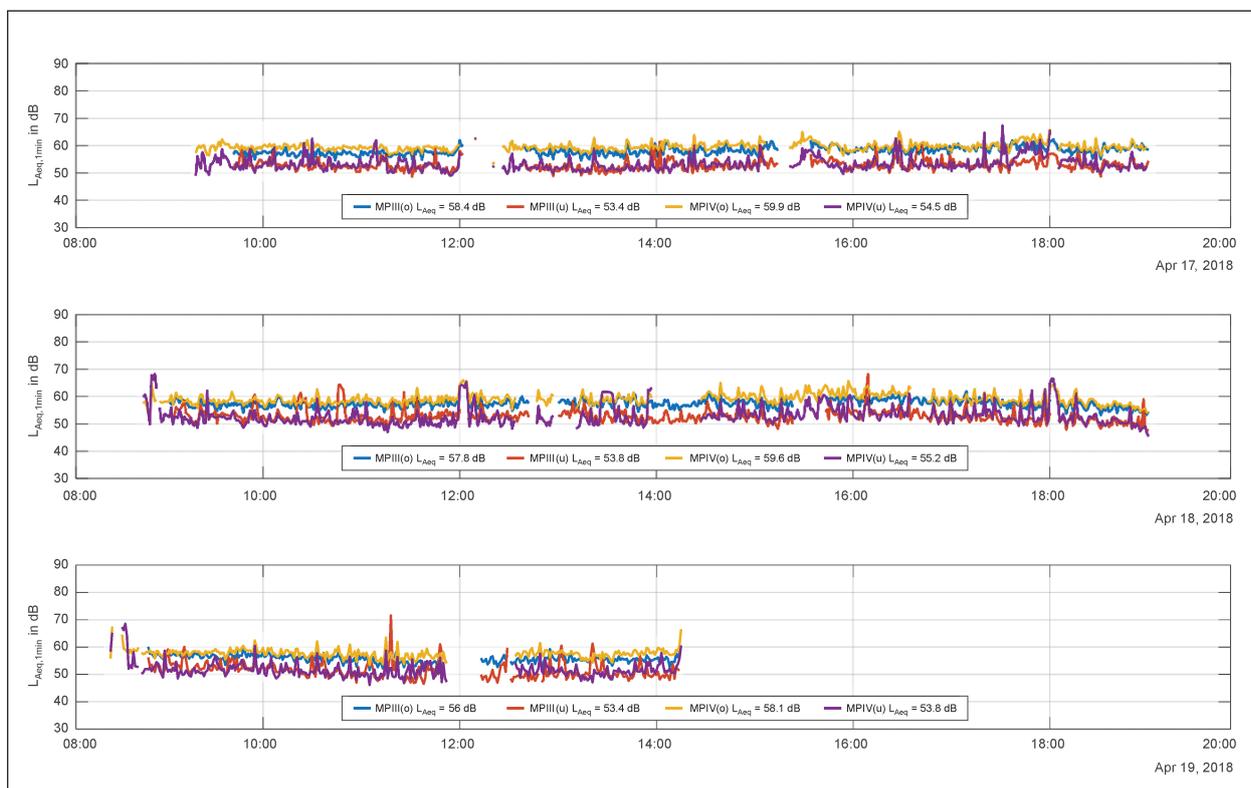


Bild 2.48: Meteorologische Bedingungen – Stabilitätsklasse (stability class)

Bild 2.49: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, unbereinigtBild 2.50: Verkehrsgeräusche – MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt

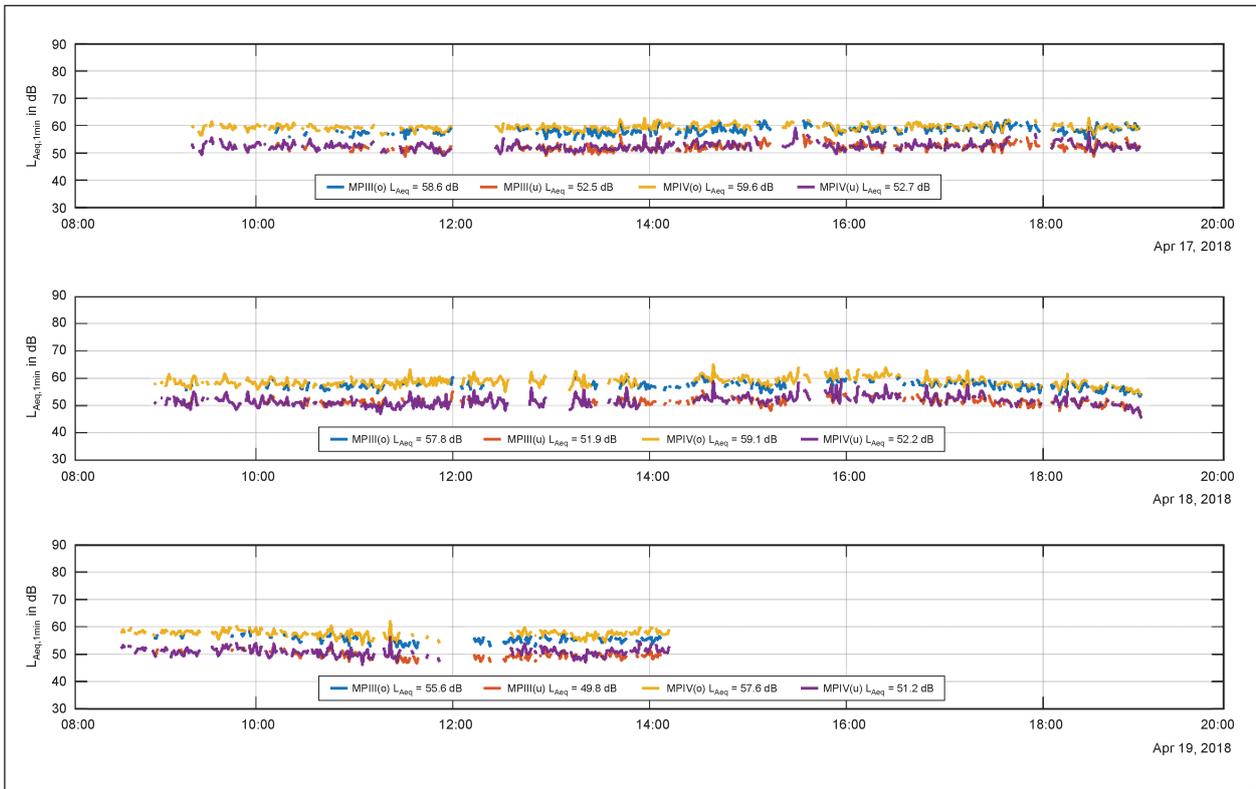


Bild 2.51: Verkehrsgläusche: MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, bereinigt

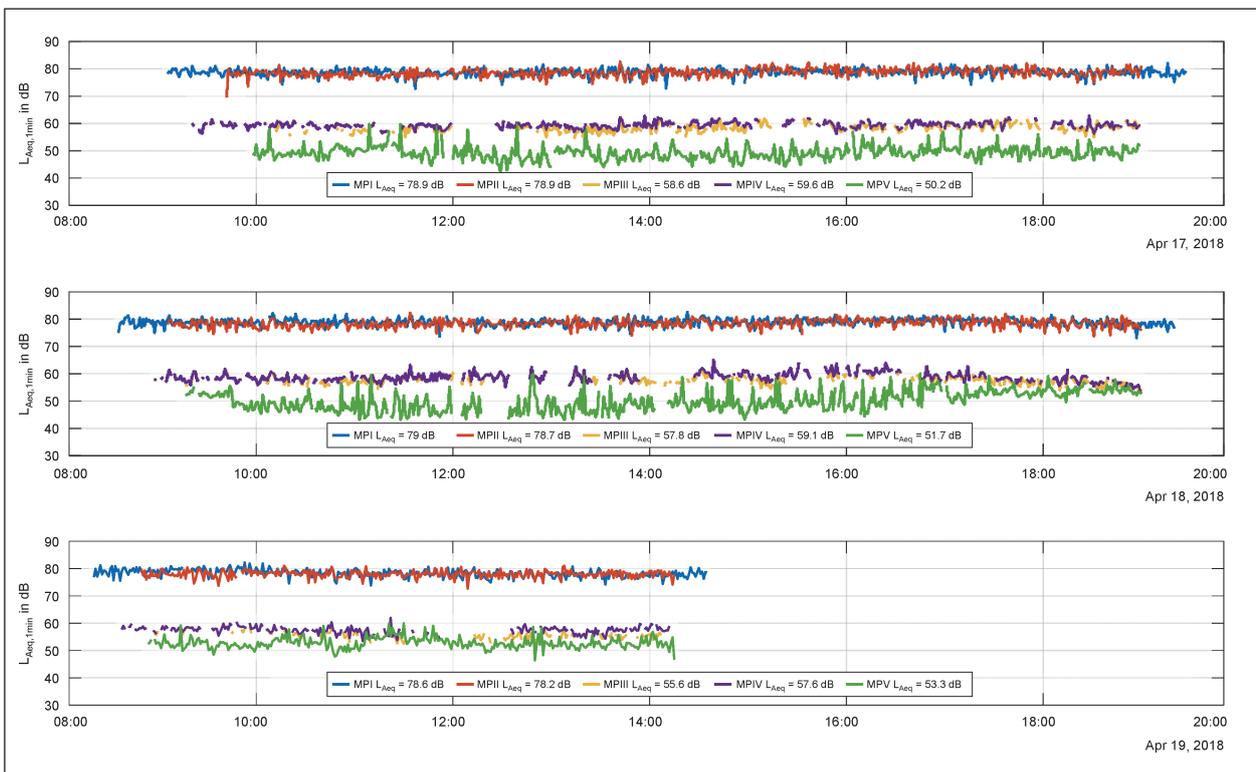


Bild 2.52: Verkehrsgläusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, bereinigt

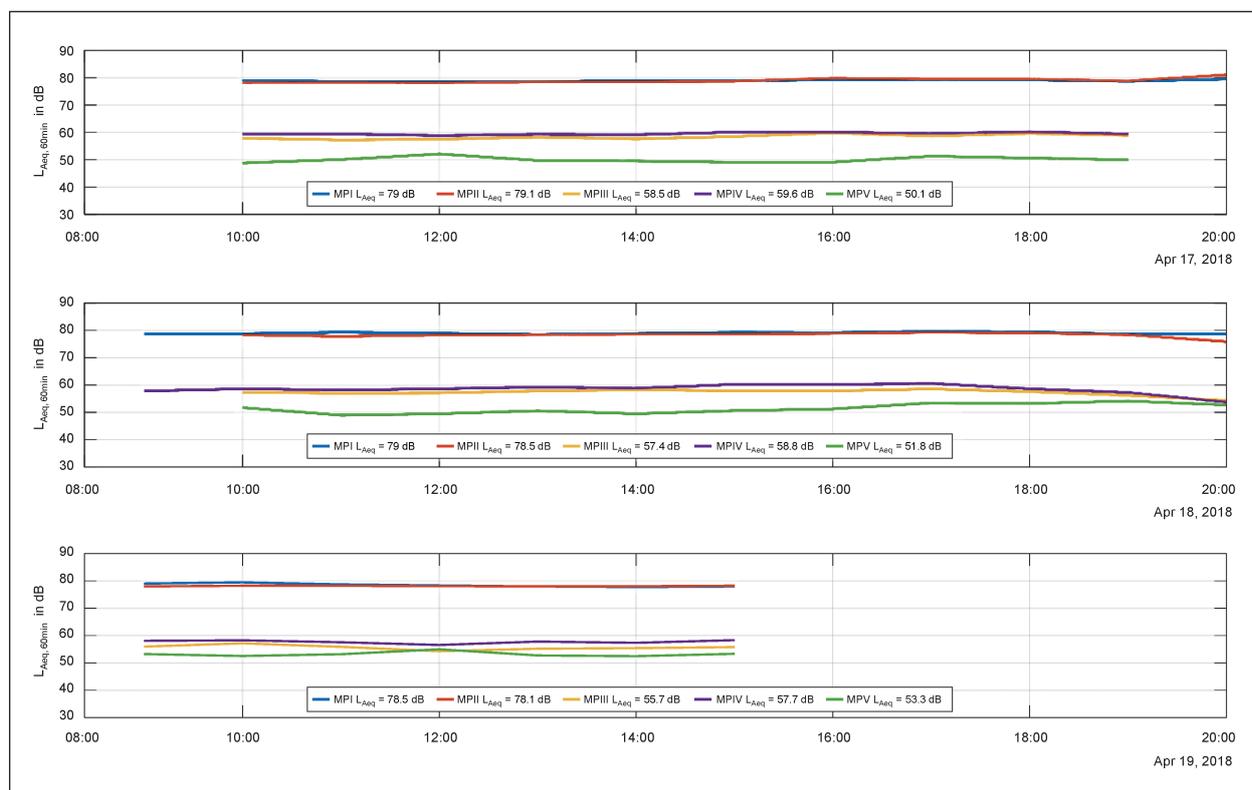


Bild 2.53: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  h, bereinigt

## 3 Schallfeldsimulationen

### 3.1 Vorgehensweise

Um die akustische Wirksamkeit der Schirmkrone zu ermitteln, war es erforderlich, die Messergebnisse bezüglich der zum Zeitpunkt der Messungen vorliegenden Verkehrssituation und meteorologischen Bedingungen zu korrigieren. Dazu wurden eine Leistungskorrektur und eine Wetterkorrektur definiert.

#### 3.1.1 Leistungskorrektur

Die Leistungskorrektur dient der Bestimmung der Beeinflussung des Immissionsschalldruckpegels infolge der unterschiedlichen zum Zeitpunkt der beiden Messungen vorliegenden Schalleistung der Linienquelle (Verkehrssituation). Dabei wurde angenommen, dass der Emissionsschalldruckpegel an den Messpunkten MP I (für MP V) bzw. MP II (für MP III und MP IV) in einer definierten Situation  $i$  proportional zum Immissionsschalldruckpegel ist. Als Situation  $i$  wurde die in Stunden unterteilte Messzeit angesetzt. Der innerhalb der Ermittlung der

Leistungskorrektur berücksichtigte Schalldruckpegel basiert auf einer arithmetischen Mittelung der während der Stunde gemessenen Kurzzeit-Schalldruckpegel unter Ausschluss fremdbeeinflusster Zeitabschnitte.

Die Berechnung der Leistungskorrektur für jede Situation  $i$  erfolgte auf Grundlage des am Messpunkt MP gemessenen Emissionsschalldruckpegels  $L_{p,E}$  zu

$$\Delta L_{p,emi,i} = L_{p,E,MPI,i} - L_{p,E,ref} \quad (\text{für Messpunkt MP V}) \quad (3.1)$$

bzw.

$$\Delta L_{p,emi,i} = L_{p,E,MPII,i} - L_{p,E,ref} \quad (\text{für Messpunkte MP III und MP IV}) \quad (3.2)$$

Dazu wurde ein Referenz-Emissionsschalldruckpegel  $L_{p,E,ref}$  von 80 dB festgelegt.

Schließlich ergibt sich der leistungskorrigierte Immissionsschalldruckpegel zu

$$L_{p,I,emi,i} = L_{p,I,i} - \Delta L_{p,emi,i} \quad (3.3)$$

### 3.1.2 Wetterkorrektur

Die Wetterkorrektur dient der Bestimmung der Beeinflussung des Immissionsschalldruckpegels infolge der unterschiedlichen zum Zeitpunkt der beiden Messungen vorliegenden meteorologischen Bedingungen. Dabei wurde angenommen, dass die meteorologischen Bedingungen gemessen am Messpunkt MP III auf alle Messpunkte übertragbar sind (gesamtes Gebiet um Brücke). Als Situation  $i$  wurde wiederum die in Stunden unterteilte Messzeit angesetzt. Der innerhalb der Ermittlung der Wetterkorrektur berücksichtigte Schalldruckpegel basiert analog zur Leistungskorrektur auf einer arithmetischen Mittelung der während der Stunde gemessenen Kurzzeit-Schalldruckpegel unter Ausschluss fremdbeeinflusster Zeitabschnitte.

Zur Berechnung der Wetterkorrektur wurden Schallfeldsimulationen auf Basis des Schallausbreitungsmodells Harmonoise durchgeführt. Dazu kam die Softwarelösung CadnaA<sup>®</sup> zum Einsatz.

Das Schallausbreitungsmodell Harmonoise berücksichtigt die folgenden meteorologischen Eingangsgrößen:

- Lufttemperatur  $\vartheta$  in °C (gemessen durch AED),
- relative Luftfeuchtigkeit  $RH$  in % (gemessen durch AED),
- Bedeckungsgrad in Achteln (gemessen durch DWD),
- Stabilitätsklasse (stability class) S1 ... S5 (bestimmt aus Bedeckungsgrad),
- Windrichtung (2D)  $DIR_{Wind}$  in ° (gemessen durch AED) und
- Windgeschwindigkeit (2D)  $v_{Wind}$  in m/s (gemessen durch AED).

Bild 3.1 zeigt die Eingabemaske der Eingangsparameter des Schallausbreitungsmodells Harmonoise innerhalb der Softwarelösung CadnaA<sup>®</sup>.

Zur akustischen Charakterisierung des Bodens zur Verwendung innerhalb des Harmonoise-Modells gemäß [SALOMONS, 2004] wurde ein Bodenfaktor (ground factor)  $G$  von 1 verwendet (vgl. Tabelle 3.1).

Die Schallfeldsimulationen dienen der Ermittlung des Immissionsschalldruckpegels  $L_{p,I,Sim,i}$  für sämtliche Situationen  $i$  unter Berücksichtigung der jeweiligen meteorologischen Bedingungen.

Die Berechnung der Wetterkorrektur für jede Situation  $i$  erfolgte auf Grundlage des simulierten Immissionsschalldruckpegels  $L_{p,I,Sim}$  zu

$$\Delta L_{p,met,i} = L_{p,I,Sim,i} - L_{p,I,Sim,0} \quad (3.4)$$

Dazu wurde ein Referenz-Immissionsschalldruckpegel  $L_{p,I,Sim,0}$  für eine definierten Bezugssituation „ohne Wetter“ mit

- Lufttemperatur  $\vartheta$  von 20 °C,
- relative Luftfeuchtigkeit  $RH$  von 45 %,
- Stabilitätsklasse (stability class) S5 und
- Windgeschwindigkeit (2D)  $v_{Wind}$  von 0 m/s

simuliert.

Schließlich ergibt sich der wetterkorrigierte Immissionsschalldruckpegel zu

$$L_{p,I,emi,met,i} = L_{p,I,emi,i} - \Delta L_{p,met,i} \quad (3.5)$$

Bodenfaktor $G$ (ground factor)	Strömungsresistenz $\sigma$ in kNs/m <sup>4</sup>
0	20.000
0,33	1.000
0,50	600
0,67	400
1,00	50

Tab. 3.1: Bodenfaktor (ground factor) zur akustischen Charakterisierung des Bodens innerhalb des Harmonoise-Modells gemäß [SALOMONS, 2004]

Temperatur (°C):	<input type="text" value="20"/>
rel. Feuchte (%):	<input type="text" value="45"/>
<b>Harmonoise DLL-Version:</b>	
Stabilitätsklasse D/E/N:	<input type="text" value="S5"/>
Windrichtung (°) D/E/N:	<input type="text" value="0"/>
Windgeschw. (m/s) D/E/N:	<input type="text" value="0"/>

Bild 3.1: Eingabemaske für Eingangsparameter des Schallausbreitungsmodells Harmonoise innerhalb der Softwarelösung CadnaA<sup>®</sup>

### 3.1.3 Akustische Wirksamkeit

Die Berechnung der akustischen Wirksamkeit der Schirmkrone, der sogenannten Einfügungsdämpfung des Schallschirmaufsatzes, resultiert aus der Differenz des Immissionsschalldruckpegels bei vorhandener Lsw ohne Schirmkrone und des Immissionsschalldruckpegels bei vorhandener Lsw mit Schirmkrone:

$$D_e = L_{p,l,emi,met,ohne\ Aufsatz} - L_{p,l,emi,met,mit\ Aufsatz} \quad (3.6)$$

Unter Berücksichtigung von jeweils  $N$  verschiedenen Situationen vor und nach Umsetzung der Baumaßnahme ergibt sich die Einfügungsdämpfung der Schirmkrone zu:

$$D_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{p,l,emi,met,i,ohne\ Aufsatz} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{p,l,emi,met,i,mit\ Aufsatz} \quad (3.7)$$

## 3.2 Modellbeschreibung

### 3.2.1 Grundmodell

Grundlage für die Schallfeldsimulationen bildet ein digitales Geländemodell für das Gebiet um die Brücke. In dieses Modell wurde nachträglich die Brücke eingebunden und die verschiedenen Immissionsorte an den jeweiligen Messpunkten integriert.

Im Grundmodell erfolgte anschließend die Positionierung zweier Linienschallquellen konstanter längenbezogener Schalleistung im Abstand von 1,7 m oberhalb der Oberkante der Lsw (entspricht der Höhe der Messpunkte MP I und MP II). Die Länge der Linienschallquelle wurde dabei auf die Länge der Lsw begrenzt. Als Quellspektrum fand das in [DIN EN 1793-3, 1997] definierte Verkehrslärmspektrum Anwendung. Für die Simulation der Immissionsschalldruckpegel auf der östlichen Seite (für MP III und MP IV) bzw. der westlichen Seite (für MP V) wurde ausschließlich die dem jeweiligen Immissionsort zugewandte Linienschallquelle eingeschaltet.

### 3.2.2 Modellanpassungen

Zur Verbesserung der Ergebnisse, insbesondere der Streuung der leistungs- und wetterkorrigierten

Immissionsschalldruckpegel vor und nach Durchführung der Baumaßnahme wurden verschiedene Anpassungen der Leistungskorrektur, der Wetterkorrektur sowie der Störgeräuschkorrektur vorgenommen. Als Grundlage dafür diente unter anderem ein Überblick von Schallfeldsimulationen zum Einfluss der Lage und der Länge der Modellschallquelle sowie der Stabilitätsklasse auf den Immissionsschalldruckpegel. Die Ergebnisse dieser Schallfeldsimulationen sind im Anhang B des Berichts enthalten.

### Verbesserte Leistungskorrektur

Die im Grundmodell umgesetzte Beschneidung des Zeitsignals des Emissionsschalldruckpegels am Messpunkt MP II bezieht sich ausschließlich auf kritische Zeitabschnitte an MP III. Eine Anwendung desselben Zeitsignals für MP IV, ungeachtet der immissionsortspezifischen kritischen Zeitabschnitte, führt zu nicht vollständig zueinander passenden Zeitvektoren von Emissions- und Immissionsschalldruckpegeln für MP IV.

Zur Bestimmung der verbesserten Leistungskorrektur wurden daher zwei getrennte Zeitvektoren des Emissionsschalldruckpegels am Messpunkt MP II erstellt, bei denen jeweils ausschließlich kritische Zeitabschnitte von MP III oder MP IV herausgeschnitten wurden. Die Korrektur des Immissionsschalldruckpegels an MP III und MP IV erfolgte somit bezüglich des zugehörigen zeitlich beschnittenen Emissionsschalldruckpegels an MP II.

### Verbesserte Wetterkorrektur

Die im Grundmodell umgesetzte Simulation einer Linienschallquelle oberhalb der jeweiligen dem Immissionsort zugewandten Lsw auf der Brücke bewirkt, dass eine frequenzabhängige Färbung des Immissionsschalldruckpegels infolge einer frequenzabhängigen Abschirmung der Lsw keine Berücksichtigung findet.

Zur Bestimmung der verbesserten Wetterkorrektur wurden daher gemäß den [RLS 90, 1994] zwei Linienschallquellen oberhalb der beiden äußeren Fahrstreifen auf der Brücke (in 0,5 m Höhe über Fahrbahnniveau) positioniert und die Immissionsschalldruckpegel für die Situationen  $i$  sowie für die Bezugssituation „ohne Wetter“ neu simuliert.

### Zusätzliche Störgeräuschkorrektur

Die im Grundmodell umgesetzte Störgeräuschkorrektur basiert auf der Annahme, dass die Brückennenden keinen wesentlichen Einfluss auf den Immissionsschalldruckpegel haben. Durch die an den Messpunkten MP III und MP IV in Bodennähe installierten Referenzmikrofone ist diese Annahme sehr gut vertretbar. Am Messpunkt MP V kann es jedoch möglicherweise zur Verfälschung der Ergebnisse kommen, wenn insbesondere durch das nördliche Brückenende dominierte Zeitabschnitte der interessierenden Schallquelle auf der Brücke zugeordnet werden.

Um dieser möglichen Verfälschung des Immissionsschalldruckpegels entgegenzuwirken, wurde eine zusätzliche Störgeräuschkorrektur eingeführt. Im ersten Schritt erfolgte im Simulationsmodell die Ermittlung der längenbezogenen Schalleistung der beiden Linienquellen oberhalb der äußeren Fahrstreifen durch Leistungskorrektur der Simulationsergebnisse analog zur Leistungskorrektur der Messergebnisse. Im zweiten Schritt wurden die beiden Linienschallquellen über die Brückennenden hinaus verlängert und die simulierte Leistungskorrektur auf die Linienquellen angewendet. Die anschließend durchgeführte Simulation des Immissionsschalldruckpegels bei ausschließlich außerhalb der Brücke „angeschalteten“ Linienquellen ermöglichte die Bestimmung des theoretischen Störgeräuschpegels  $L_{p,S}$  an den einzelnen Messpunkten.

Zur Bestimmung der zusätzlichen Störgeräuschkorrektur wurde dieser Störgeräuschpegel energetisch vom gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,N+S}$  subtrahiert:

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \left( 10^{\frac{L_{p,N+S}}{10 \text{ dB}}} - 10^{\frac{L_{p,S}}{10 \text{ dB}}} \right) \text{ dB.} \quad (3.8)$$

Dadurch können Situationen  $i$  ausgeschlossen werden, die einen zu geringen Signal-Rausch-Abstand aufweisen.

### 3.3 Korrektur Messergebnisse

Bild 3.4 bis Bild 3.41 zeigen die Ergebnisse des Schalldruckpegels an den einzelnen Immissionsorten. Dabei enthalten:

- Bild 3.4 bis Bild 3.15 die Ergebnisse am Messpunkt MP III,

- Bild 3.16 bis Bild 3.27 die Ergebnisse am Messpunkt MP IV und
- Bild 3.28 bis Bild 3.41 die Ergebnisse am Messpunkt MP V.

Die jeweiligen Immissionsschalldruckpegel sind zum einen als Punktwolke, zum anderen als Box-Plot dargestellt. Die jeweiligen Legenden sind in Bild 3.2 und Bild 3.3 erläutert.

Beginnend mit den Ergebnissen ohne Leistungskorrektur, ohne Wetterkorrektur und ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur werden schrittweise die einzelnen Korrekturen und deren Verbesserungen zugeschaltet. Es ist zu erkennen, dass die Streuung der leistungs- und wetterkorrigierten Immissionsschalldruckpegel schrittweise sinkt.

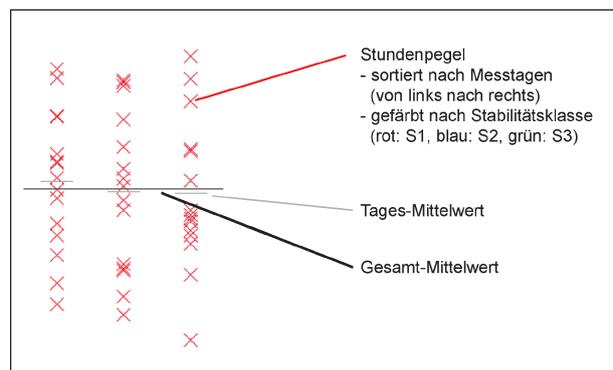
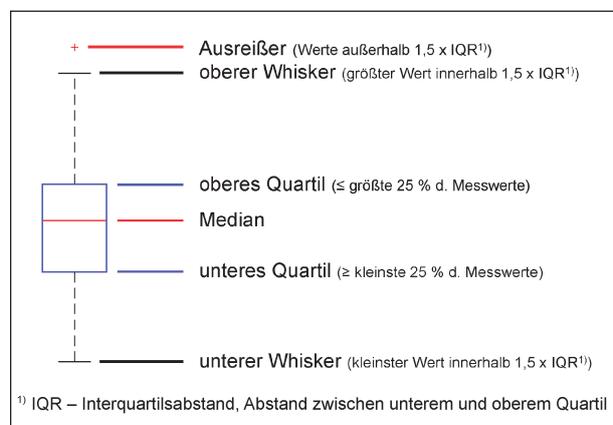


Bild 3.2: Legende für Punktwolkendarstellung; getrennte Darstellung des Immissionsschalldruckpegels für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1 \text{ h}$ ) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse



<sup>1)</sup> IQR – Interquartilsabstand, Abstand zwischen unterem und oberem Quartil

Bild 3.3: Legende für Box-Plot; Darstellung des Immissionsschalldruckpegels in Form von Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

### 3.3.1 Messpunkt MP III

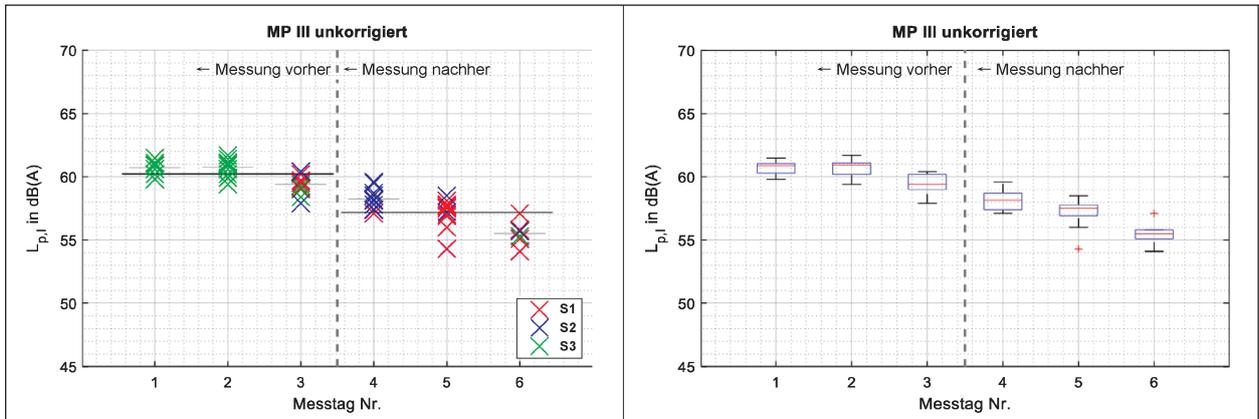


Bild 3.4: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

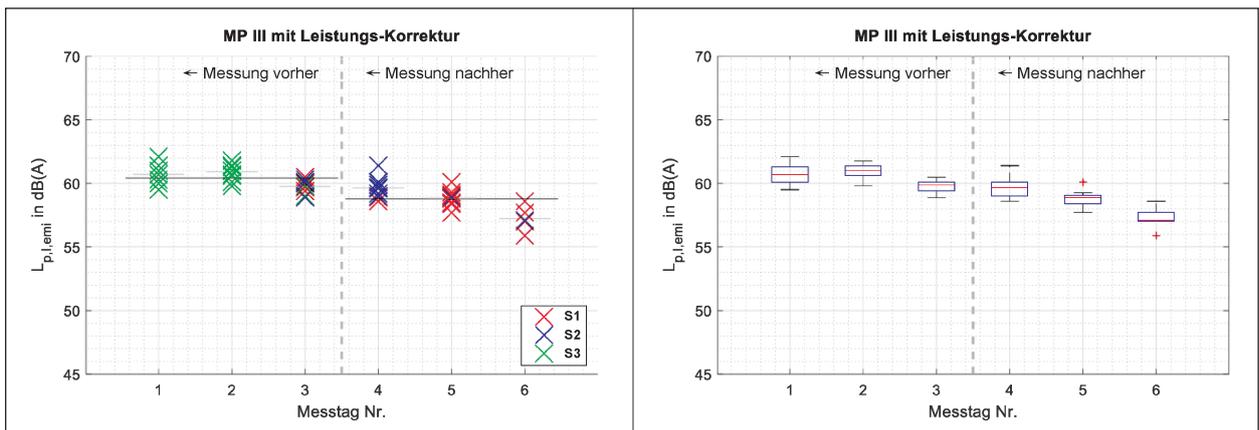


Bild 3.5: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

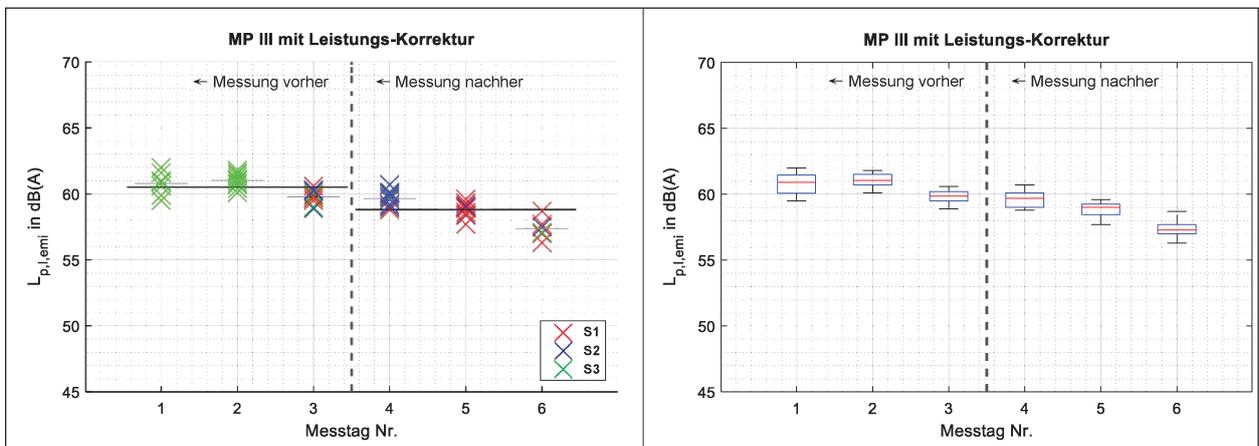


Bild 3.6: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

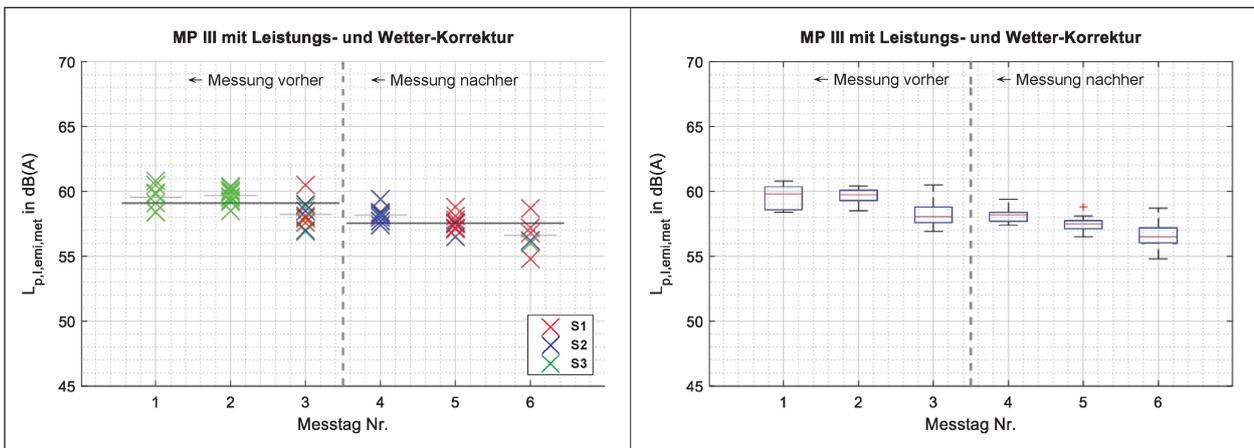


Bild 3.7: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

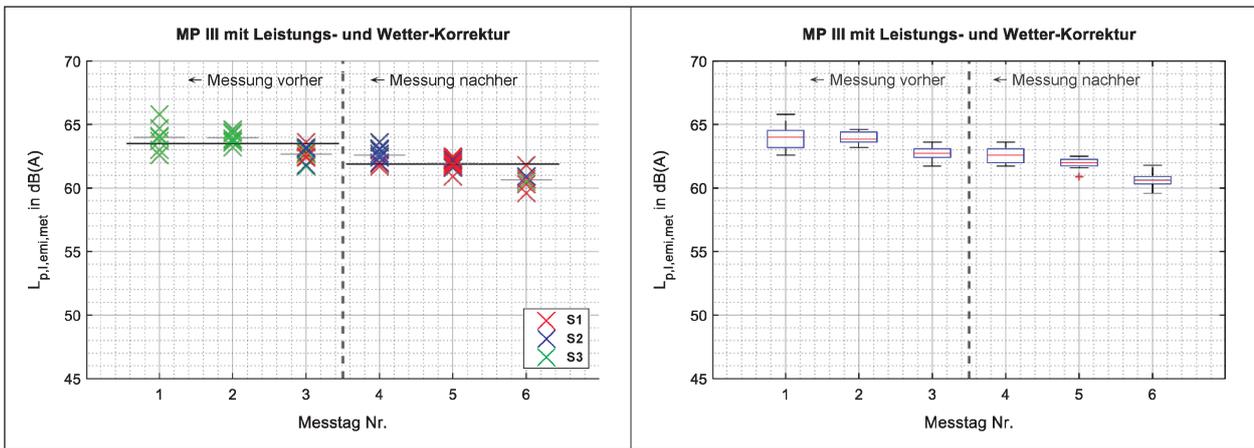


Bild 3.8: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

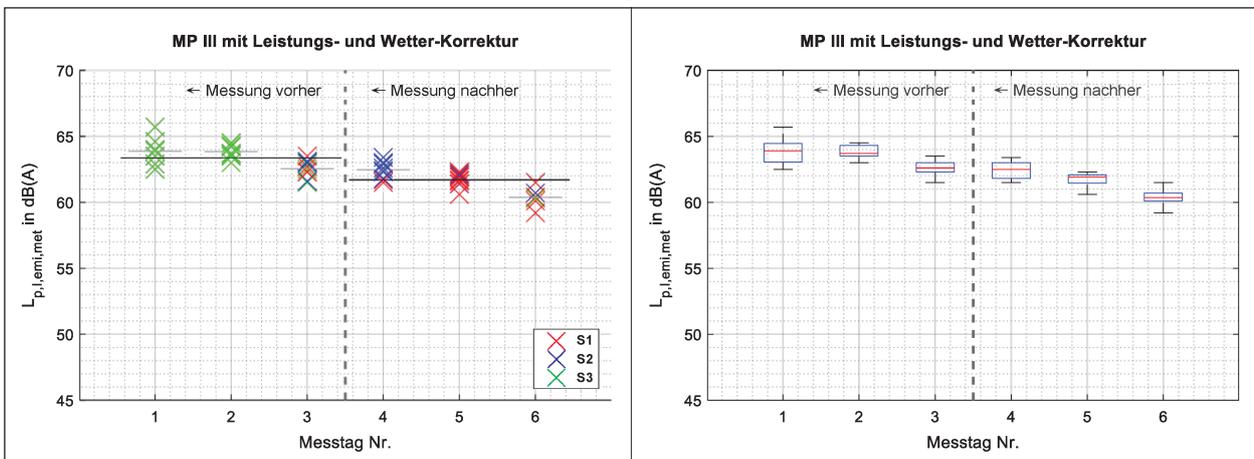


Bild 3.9: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

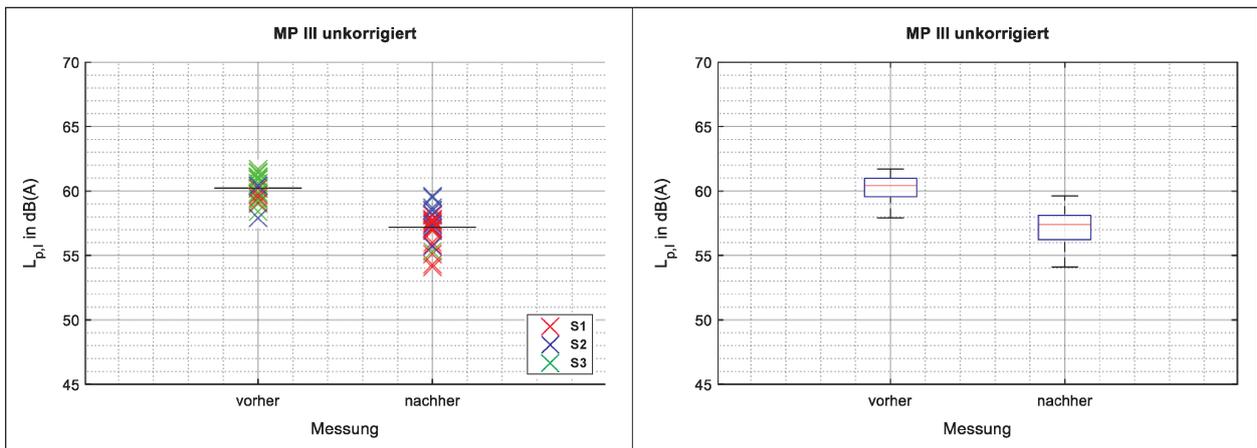


Bild 3.10: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamtmittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

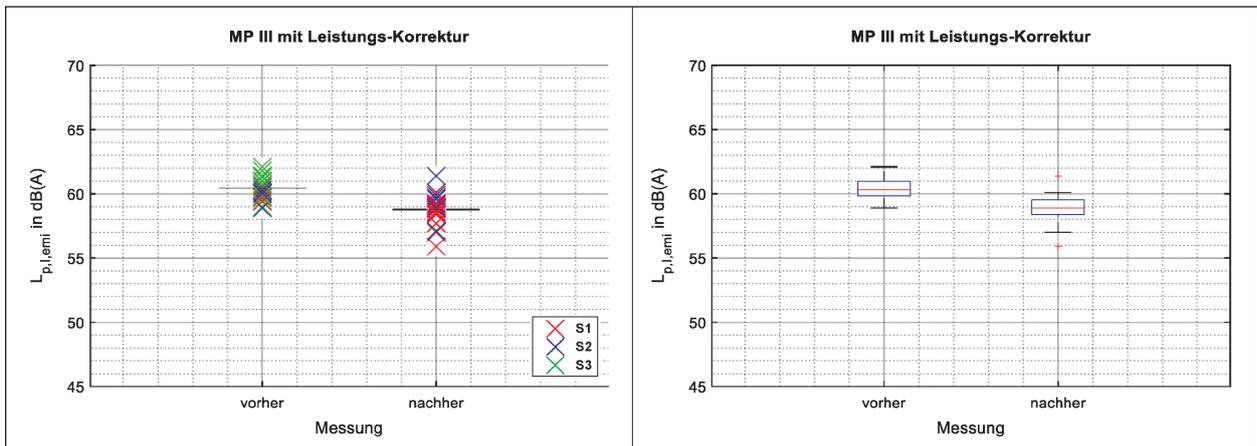


Bild 3.11: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamtmittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

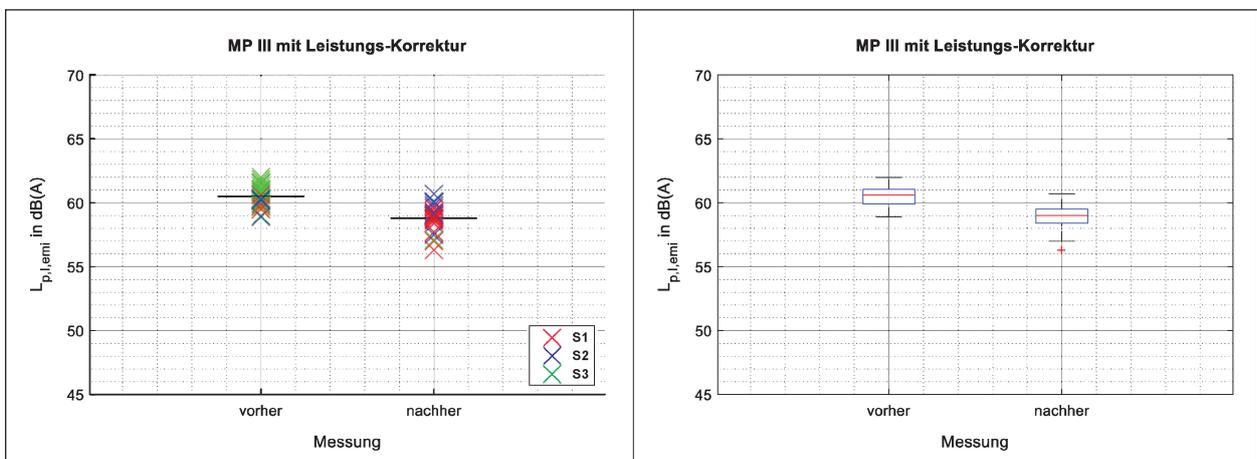


Bild 3.12: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamtmittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

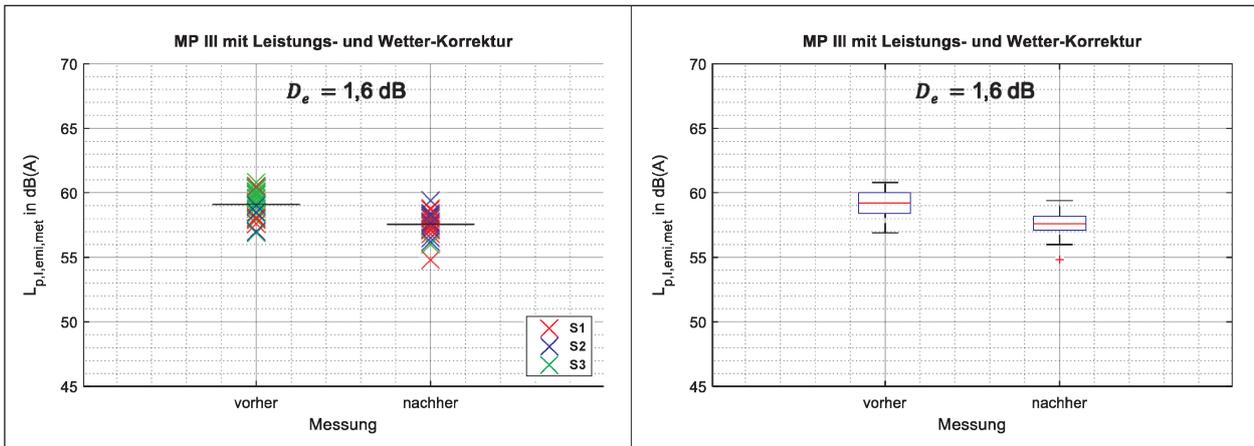


Bild 3.13: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

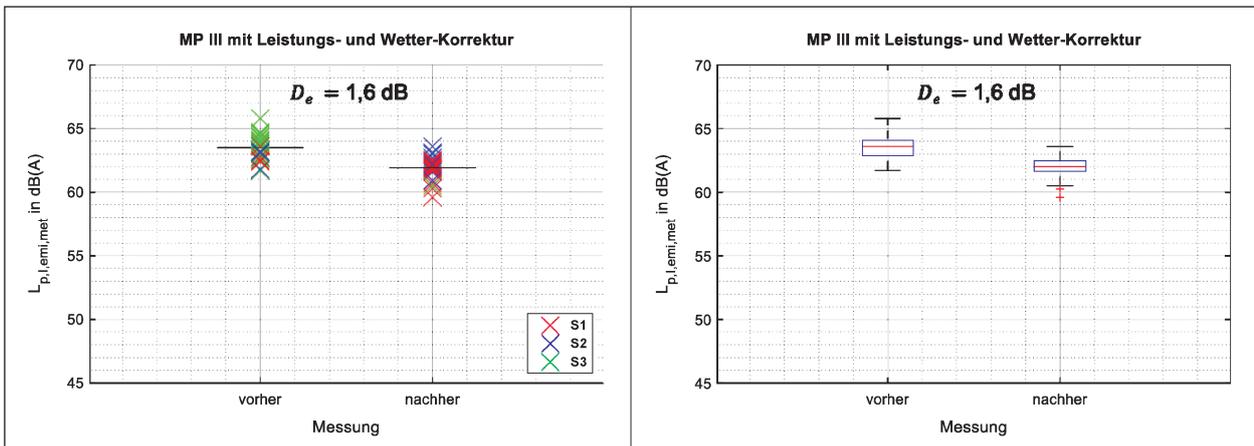


Bild 3.14: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

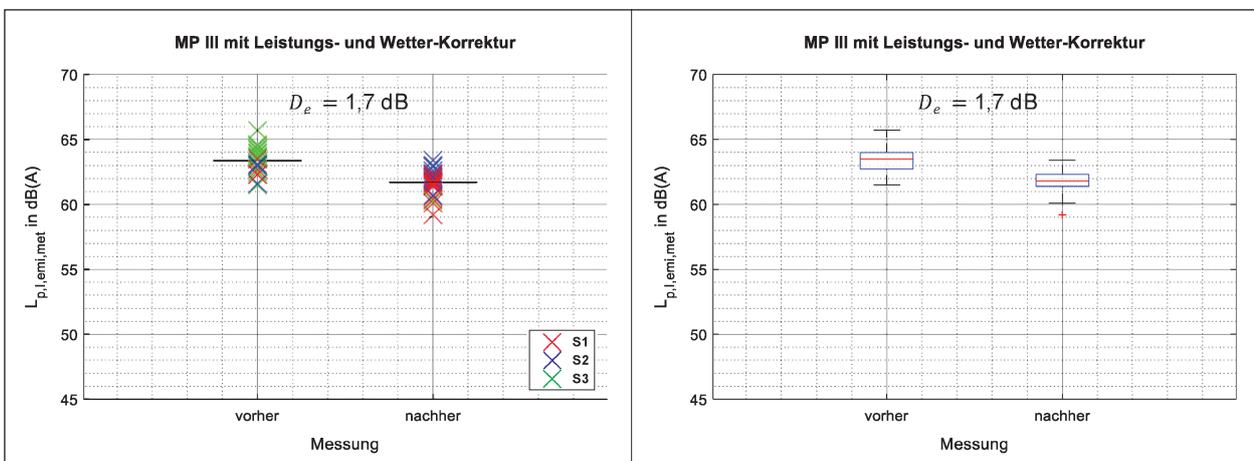


Bild 3.15: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

### 3.3.2 Messpunkt MP IV

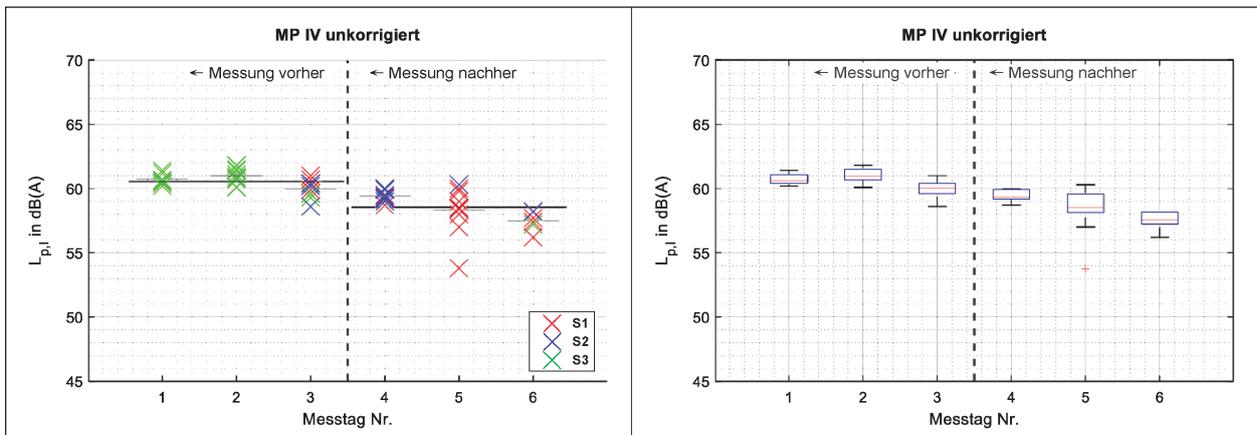


Bild 3.16: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

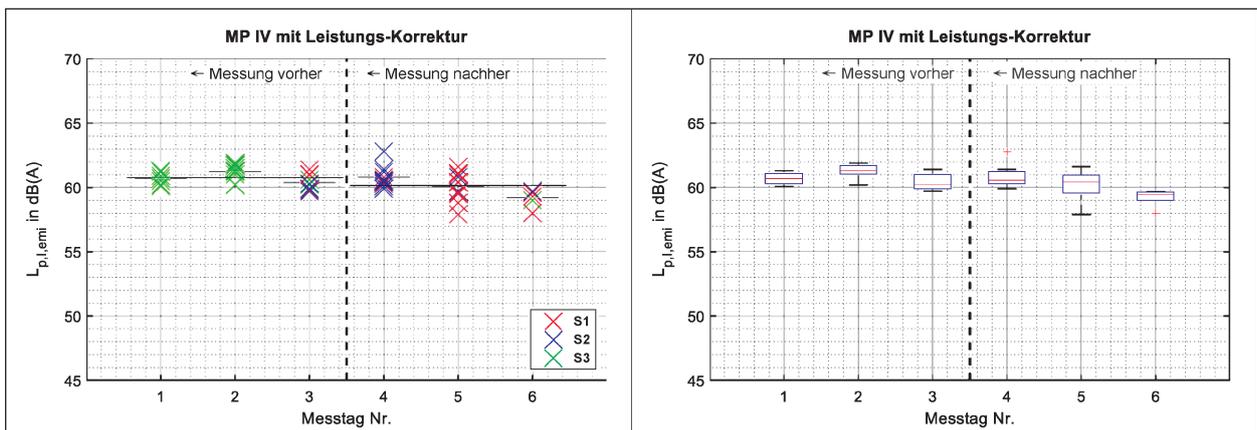


Bild 3.17: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

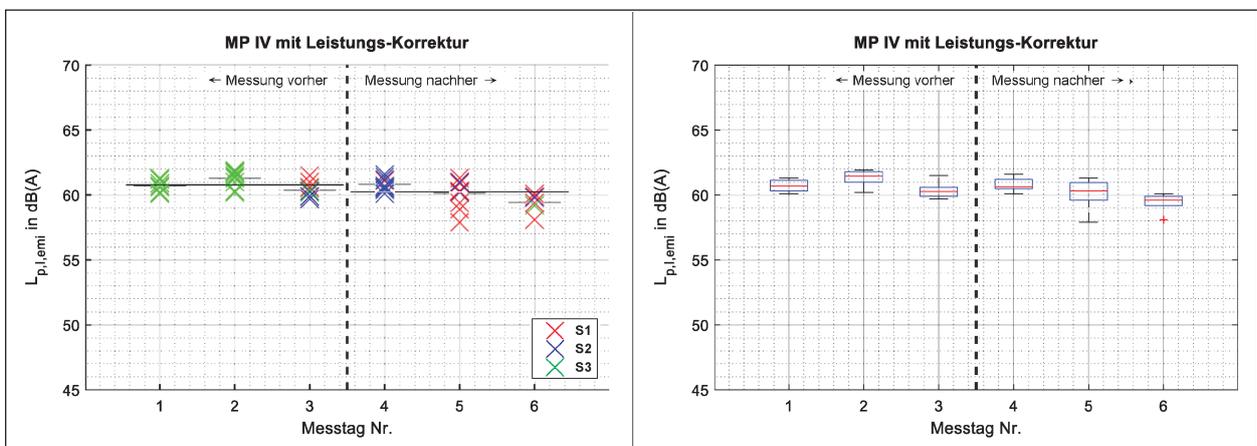


Bild 3.18: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

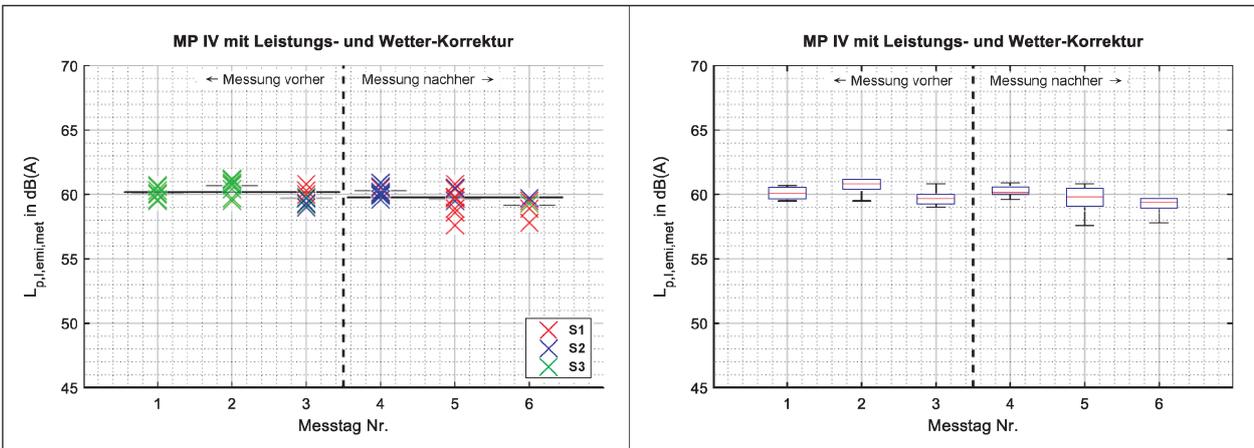


Bild 3.19: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

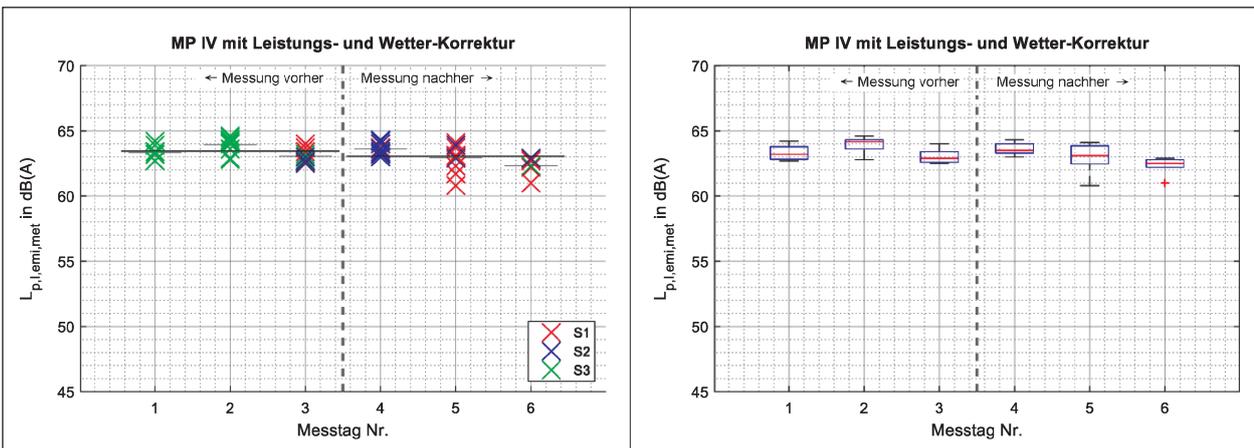


Bild 3.20: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

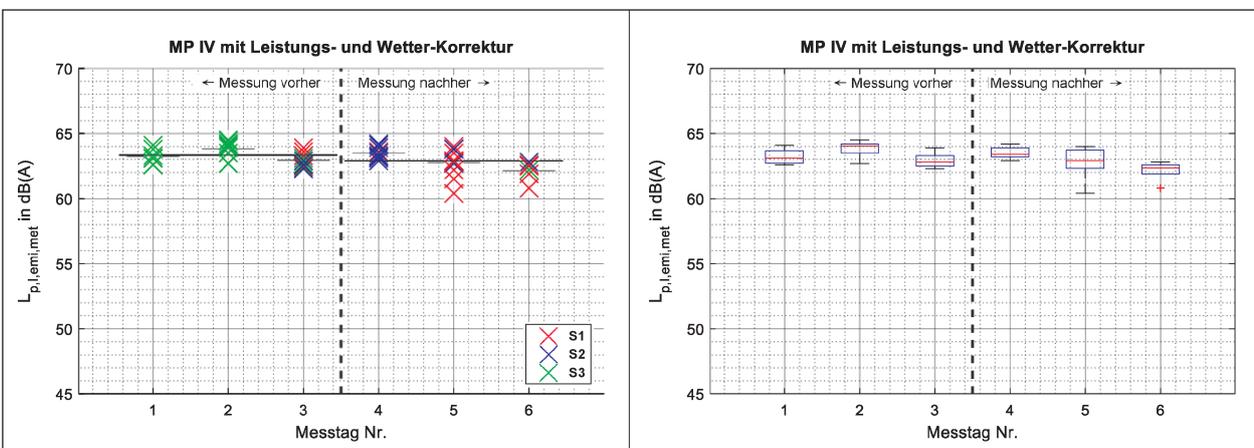


Bild 3.21: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

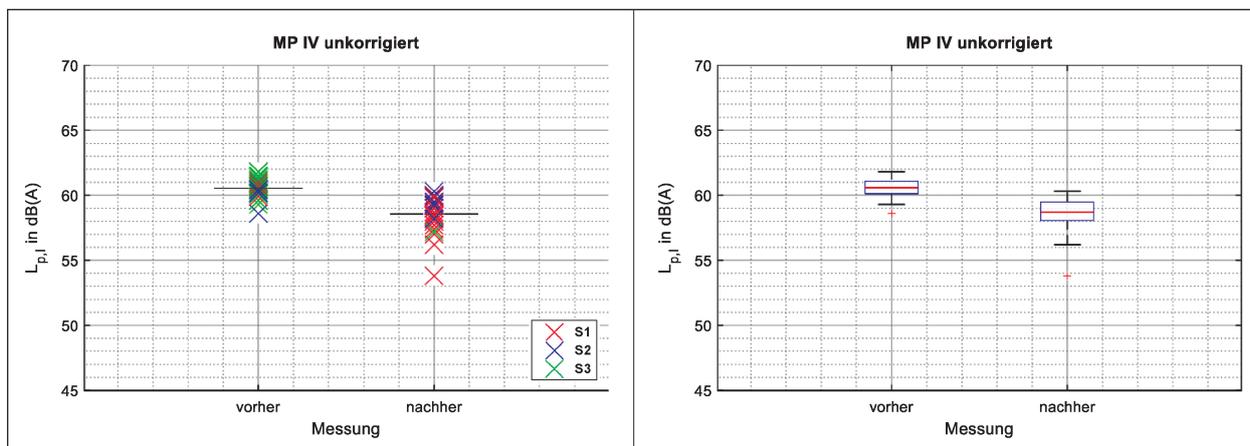


Bild 3.22: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

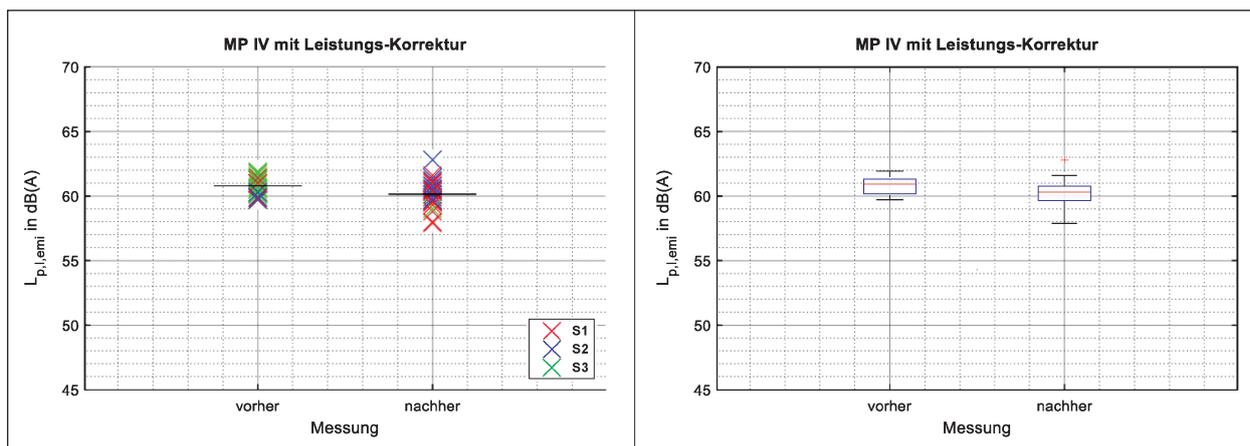


Bild 3.23: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

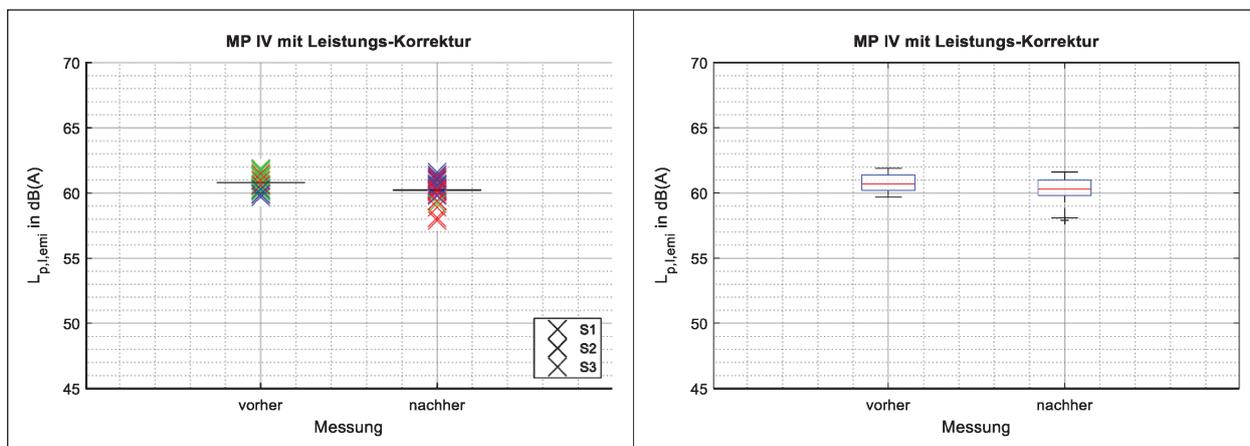


Bild 3.24: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

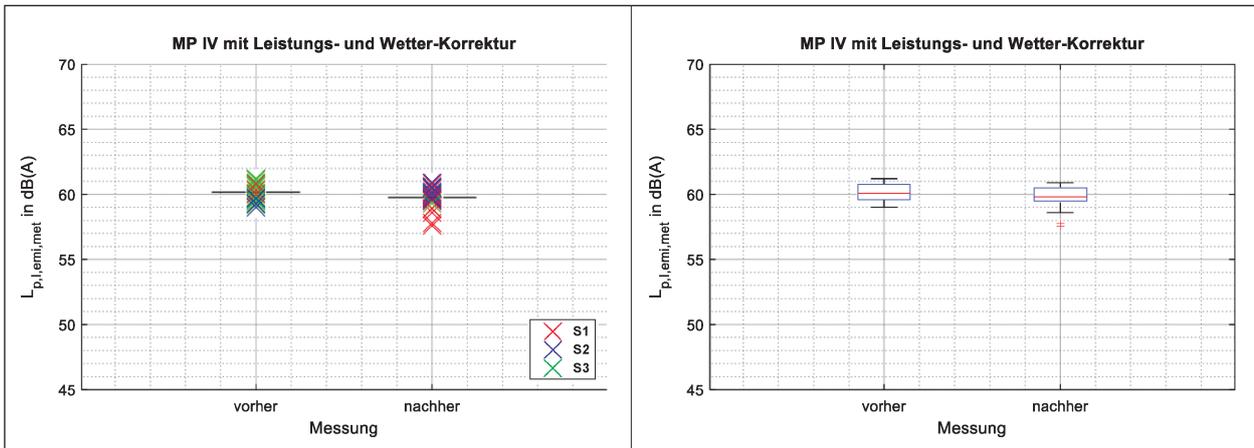


Bild 3.25: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

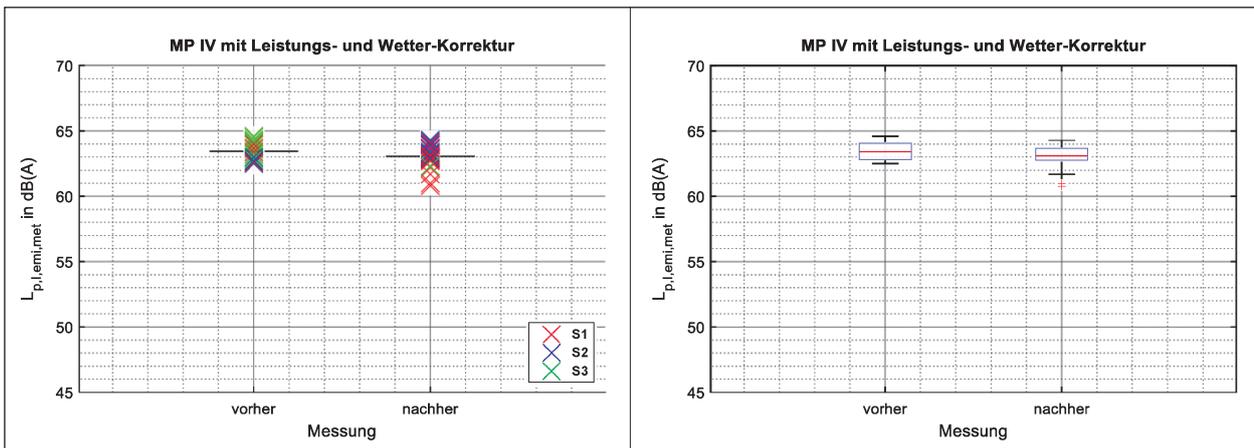


Bild 3.26: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

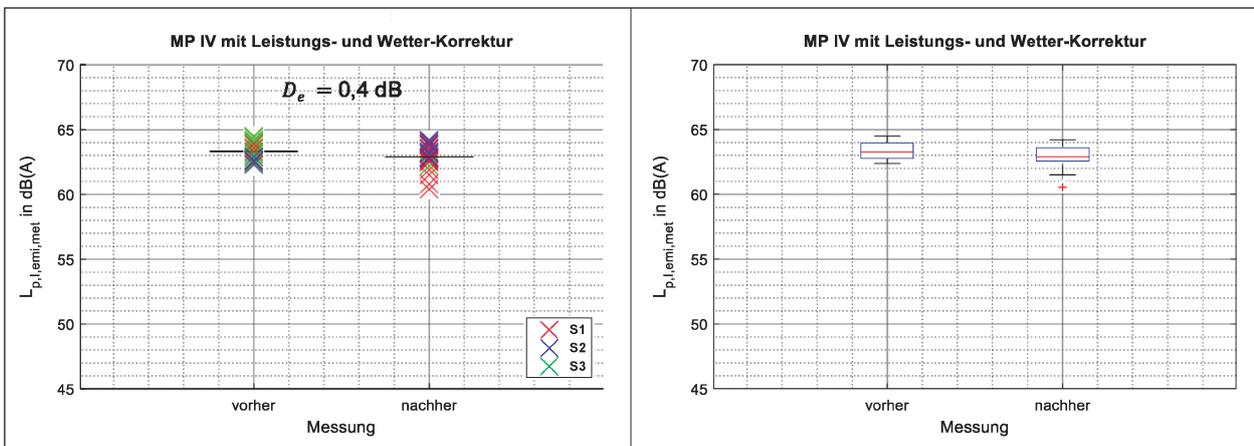


Bild 3.27: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

### 3.3.3 Messpunkt MP V

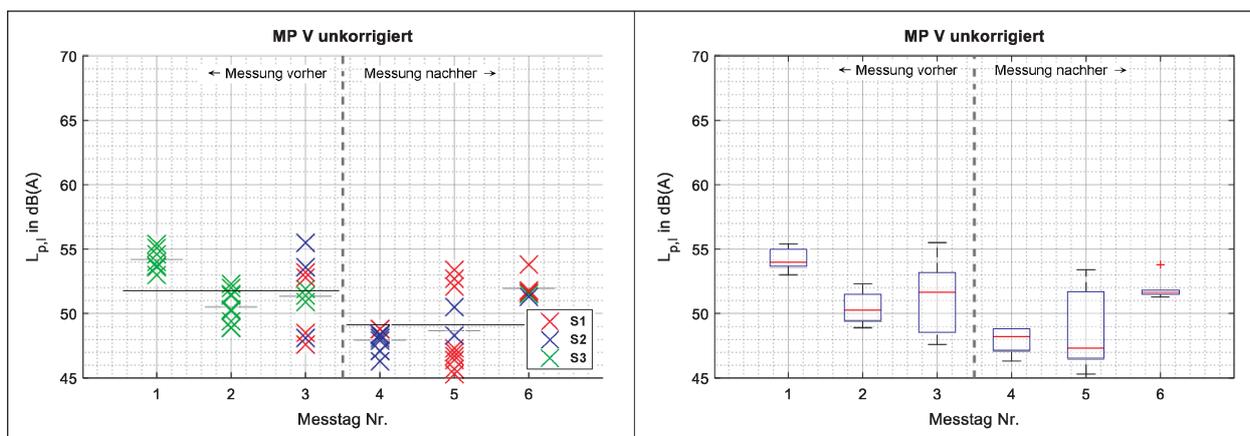


Bild 3.28: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

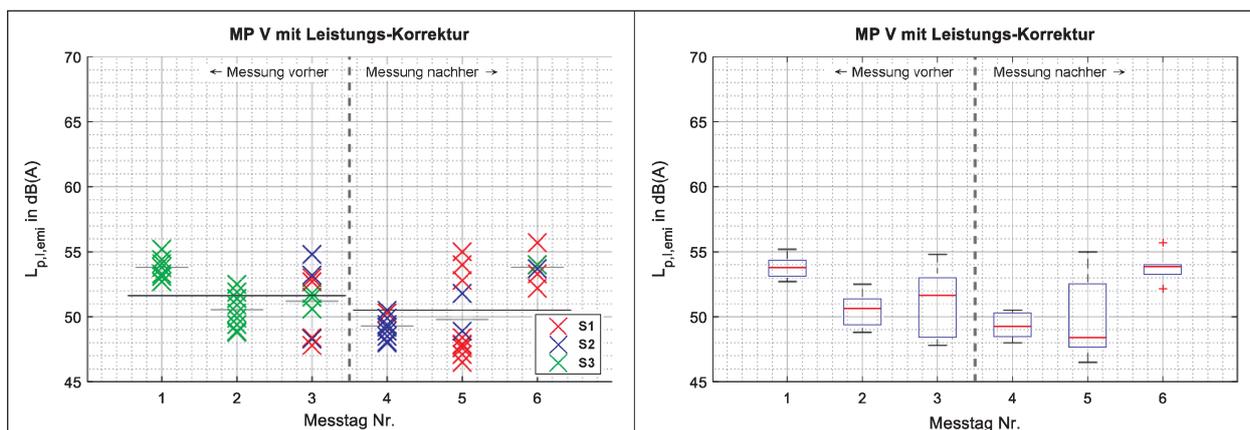


Bild 3.29: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

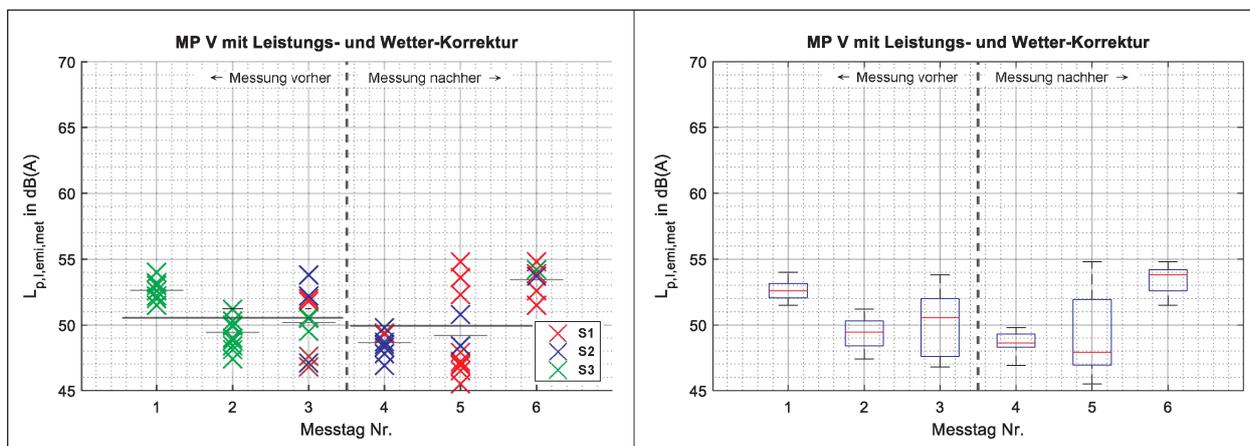


Bild 3.30: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

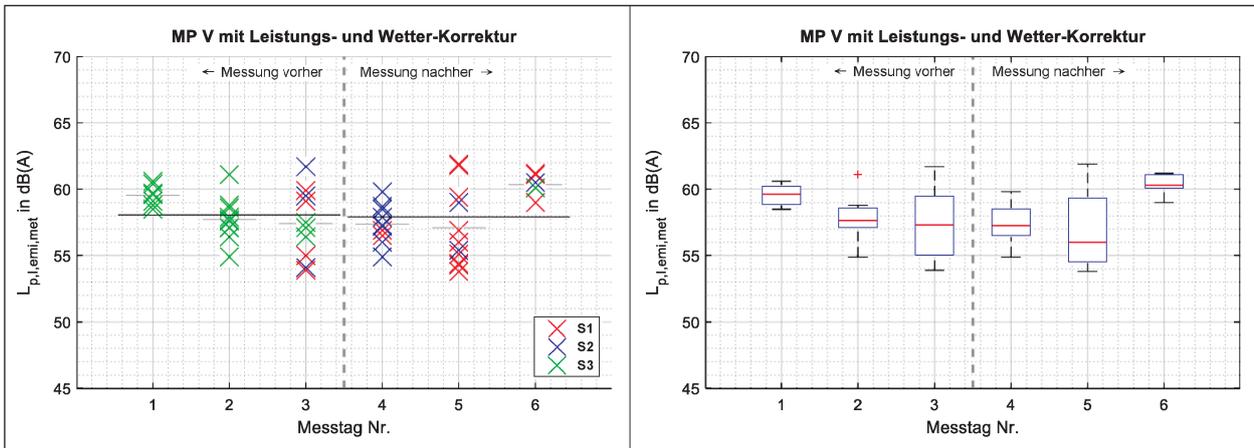


Bild 3.31: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

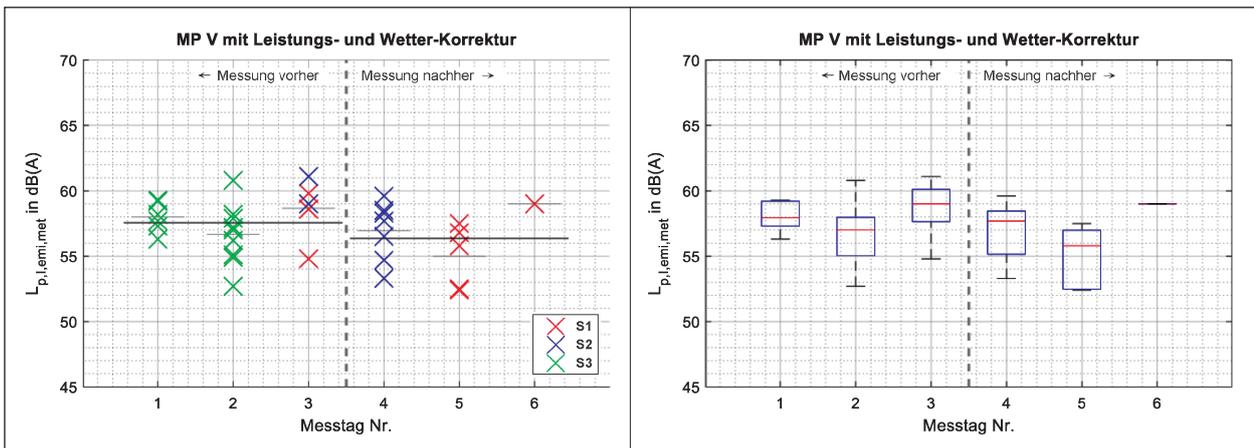


Bild 3.32: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 3$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

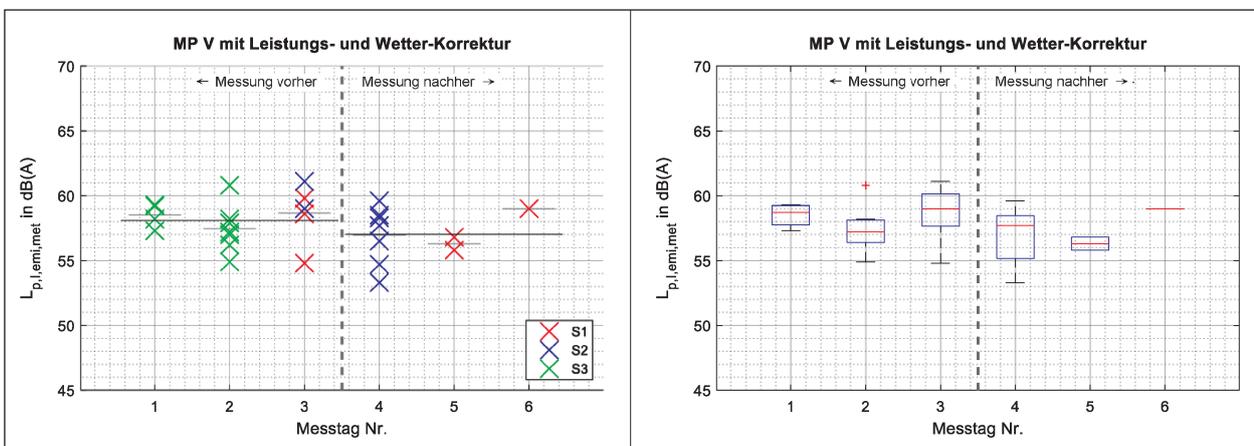


Bild 3.33: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 5$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

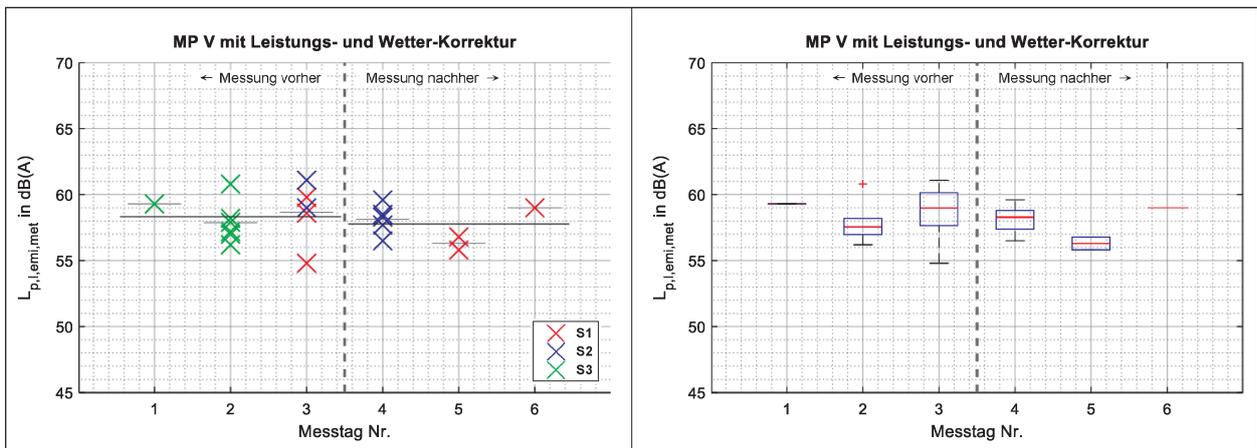


Bild 3.34: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

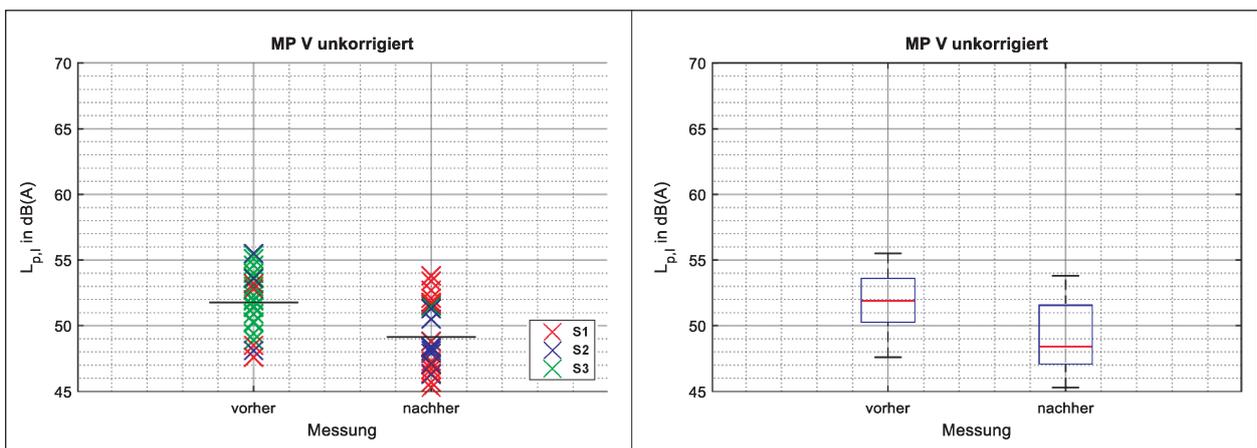


Bild 3.35: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

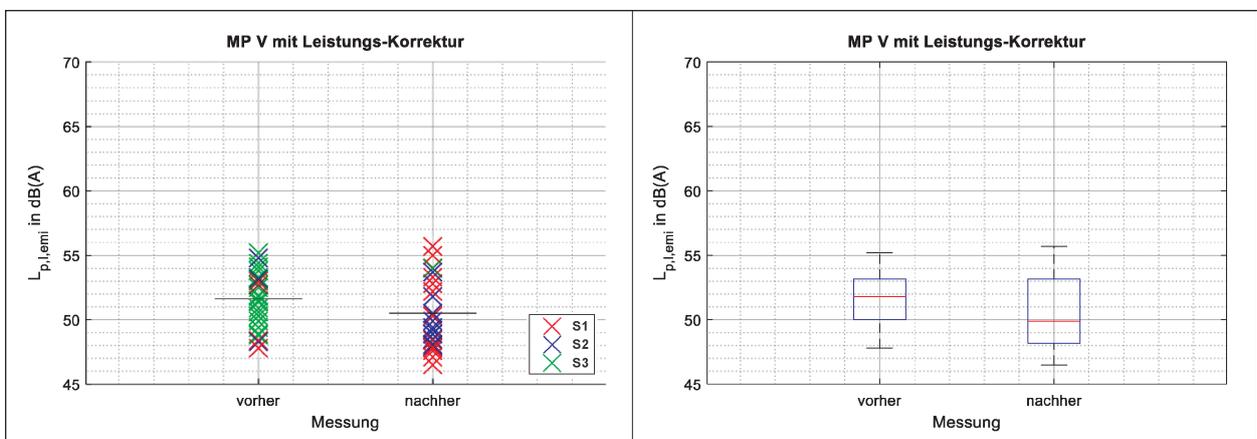


Bild 3.36: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

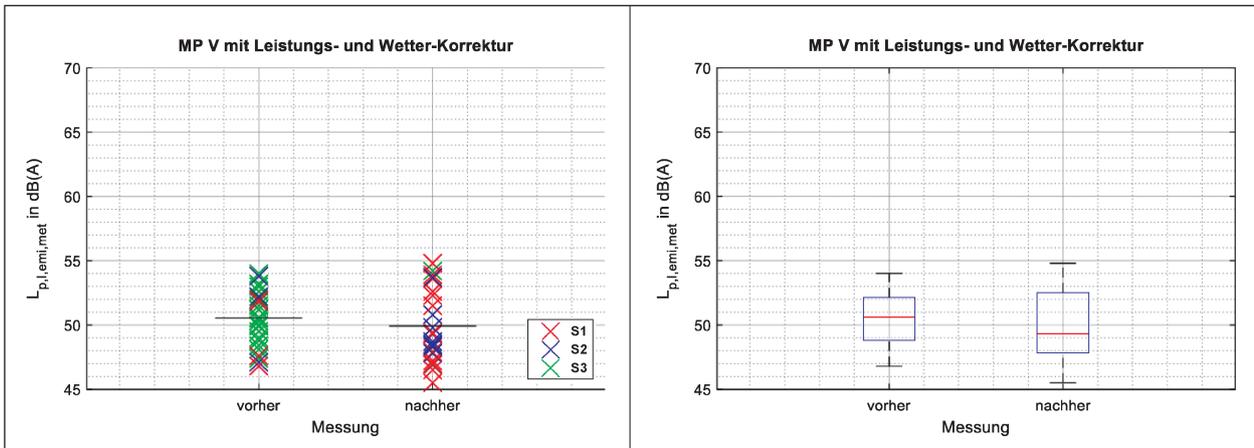


Bild 3.37: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

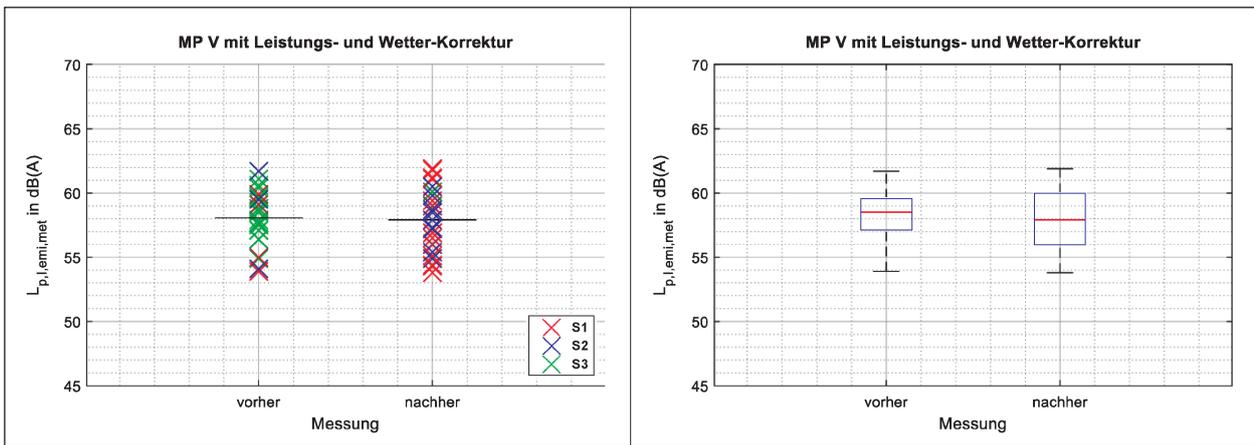


Bild 3.38: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

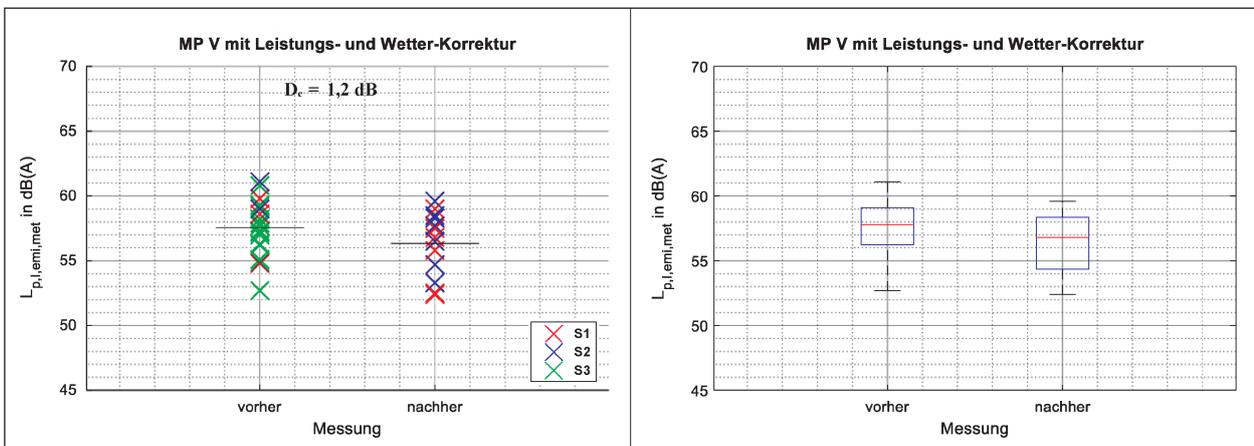


Bild 3.39: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 3$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

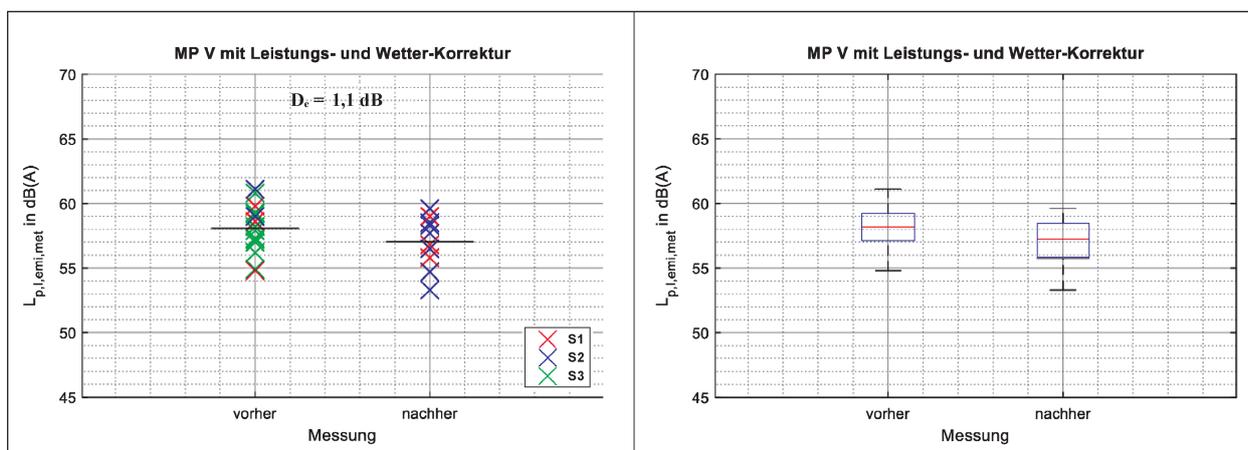


Bild 3.40: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 5$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

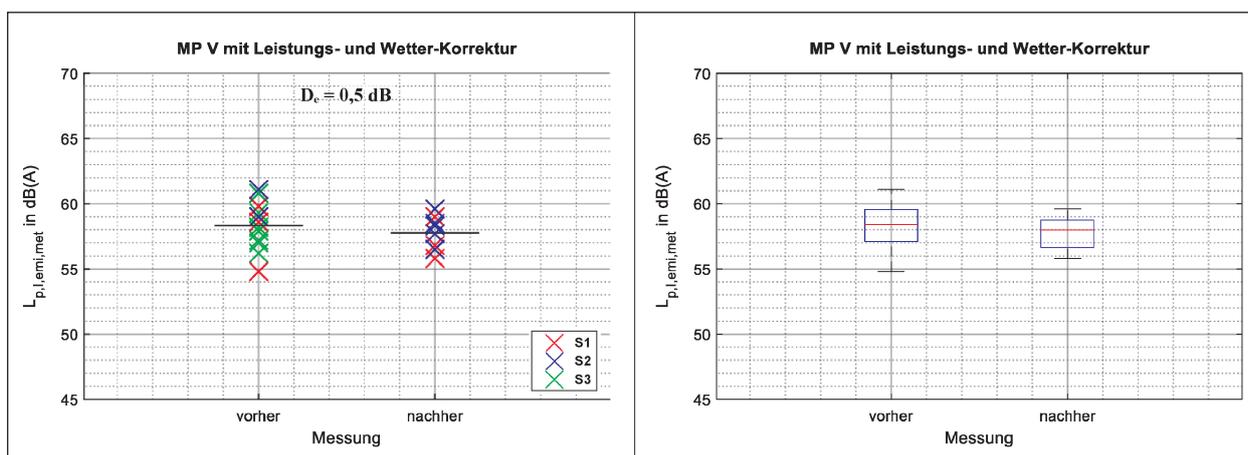


Bild 3.41: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

### 3.4 Zusammenfassung

Eine Übersicht der Ergebnisse des Schalldruckpegels an den Immissionsorten MP III, MP IV und MP V zeigen Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3. Dabei sind jeweils der Immissionschalldruckpegel und dessen Standardabweichung für die einzelnen Messstage sowie der Einzahlwert bei Gesamtbetrachtung der Messkampagne vor und nach Installation der Schirmkrone dargestellt. Die ebenso ausgewiesene Verbesserung entspricht der akustischen Wirksamkeit, d. h. der Einfügungsdämpfung der Schirmkrone. Tabelle 3.2 zeigt die Ergebnisse ohne Leistungskorrektur, ohne Wetterkorrektur und ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur. Zum direkten Vergleich sind in Tabelle 3.3 die Ergebnisse mit verbesserter Leistungskorrektur, mit verbesserter Wetter-

korrektur und mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur enthalten.

Ist in Tabelle 3.2 ohne jegliche Korrektur bzgl. Verkehr und Wetter noch eine Einfügungsdämpfung der Schirmkrone von 2 dB bis 3 dB erkennbar, sinkt die akustische Wirksamkeit der Schirmkrone nach der erforderlichen Berücksichtigung der zu den jeweiligen Messungen vorliegenden Verkehrs- und Wetterbedingungen gemäß Tabelle 3.3 auf 0,4 dB bis 1,7 dB. Gleichzeitig sinkt die Standardabweichung des gemessenen Immissionschalldruckpegels auf ca. 1 dB.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Installation der Schirmkrone mit einer Erhöhung der Lärmschutzwand und damit mit einer Erhöhung des

Abschirmmaßes verbunden ist. Tabelle 3.3 enthält daher zusätzlich eine Angabe zur simulierten Verbesserung der akustischen Situation an den Immissionsorten infolge einer Erhöhung der bestehenden Lsw um 0,5 m. Diese Verbesserung nimmt an den untersuchten Messorten vergleichbare Werte an wie die Verbesserung durch die Installation der

Schirmkrone. Unter Berücksichtigung der ermittelten Standardabweichung des gemessenen Immissionsschalldruckpegels kann daher angenommen werden, dass der angestrebte Einfluss der installierten Schirmkrone auf die Schallbeugung über die Oberkante der Lsw vernachlässigbar ist.

unkorrigiert	MP III		MP IV		MP V	
Messtag Nr.	$L_{p,l}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB
1	60,7	0,5	60,7	0,4	54,2	0,8
2	60,7	0,7	61,0	0,6	50,5	1,2
3	59,4	0,8	60,0	0,7	51,4	2,5
<b>Gesamt vorher</b>	<b>60,2</b>	<b>0,9</b>	<b>60,6</b>	<b>0,7</b>	<b>51,8</b>	<b>2,3</b>
4	58,2	0,8	59,4	0,4	48,0	0,8
5	57,1	1,1	58,4	1,7	48,7	2,8
6	55,5	0,9	57,5	0,7	52,0	0,9
<b>Gesamt nachher</b>	<b>57,2</b>	<b>1,4</b>	<b>58,6</b>	<b>1,4</b>	<b>49,1</b>	<b>2,5</b>
Verbesserung	3,0		2,0		2,7	

Tab. 3.2: Immissionsschalldruckpegel und Standardabweichung an den Messpunkten MP III bis MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone sowie akustische Wirksamkeit (Verbesserung) der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur

leistungs- und wetterkorrigiert	MP III		MP IV		MP V	
Messtag Nr.	$L_{p,l,emi,met}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l,emi,met}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB	$L_{p,l,emi,met}$ in dB(A)	$\sigma$ in dB
1	63,9	1,0	63,2	0,5	59,3	0,0
2	63,9	0,5	63,8	0,6	57,9	1,5
3	62,5	0,6	62,9	0,5	58,7	2,1
<b>Gesamt vorher</b>	<b>63,4</b>	<b>0,9</b>	<b>63,3</b>	<b>0,7</b>	<b>58,3</b>	<b>1,8</b>
4	62,5	0,6	63,5	0,4	58,1	1,0
5	61,7	0,5	62,8	1,0	56,3	0,5
6	60,4	0,7	62,1	0,7	59,0	0,0
<b>Gesamt nachher</b>	<b>61,7</b>	<b>1,0</b>	<b>62,9</b>	<b>0,9</b>	<b>57,8</b>	<b>1,2</b>
Verbesserung	1,7		0,4		0,5	
Verbesserung durch Erhöhung der Wand um 0,5 m (ohne Wetter)	1,6		1,3		1,1	

Tab. 3.3: Immissionsschalldruckpegel und Standardabweichung an den Messpunkten MP III bis MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone sowie akustische Wirksamkeit (Verbesserung) der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB)

## 4 Zusammenfassung

Innerhalb des vorliegenden Vorhabens erfolgte die messtechnische Bestimmung der akustischen Wirksamkeit einer Schirmkrone der Fa. CALMA-TEC, die auf bestehende Lärmschutzwände der ca. 880 m langen Talbrücke Uttrichshausen installiert wurde. Dazu wurden Emissions- und Immissionsmessungen vor und nach der Baumaßnahme unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt und die gemessene Pegeldifferenz ausgewiesen. Zeitgleich erfolgte die Erfassung der Verkehrsdaten der einzelnen Fahrspuren sowie der meteorologischen Bedingungen. Diese dienten anschließend als Eingangsparameter eines geeigneten Schallausbreitungsmodells, um die gemessene Pegeldifferenz des Immissionspegels bezüglich der zum Zeitpunkt der beiden Messungen vorliegenden Verkehrssituation (Schalleistung) sowie der meteorologischen Bedingungen (Pegelminderung durch Schallausbreitung vom Emissionsort zum Immissionsort) zu korrigieren. Die daraus resultierende Einfügungsdämpfung der Schirmkrone nimmt an den untersuchten Immissionsorten Werte zwischen 0,4 dB und 1,7 dB an, bei einer Standardabweichung des gemessenen Immissionsschalldruckpegels von ca. 1 dB. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Installation der Schirmkrone mit einer Erhöhung der Lärmschutzwand und damit mit einer Erhöhung des Abschirmmaßes verbunden ist, kann angenommen werden, dass der angestrebte alleinige Einfluss der untersuchten Schirmkrone auf die Schallbeugung um die Oberkante der Lärmschutzwand vernachlässigbar ist.

## 5 Literatur

BROWN, A., L.; BURGESS, M., A.: Effect of slits on the performance of roadside timber barriers. In: Proceedings of Acoustics Australia, Vol. 22, Nr. 2, pp. 41-45, 1994

DIN EN 1793 3: Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum. November 1997

RLS 90: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Bundesministerium für Verkehr, 1992 (Ausgabe 1990, berichtigte Fassung 1992)

SALOMONS, H.: Deliverable 16 of the Harmonoise Project. Technical Report, TNO TPD, Delft 2004

## Bilder

Bild 2.1: Ursprünglich geplanter Messaufbau (schematisch) zur Erfassung von Emissions- und Immissionspegel, Verkehrszusammensetzung und meteorologischen Bedingungen

Bild 2.2: Betrachtete Messorte; gestrichelte Linie: angestrebte Messorte (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Bild 2.3: Betrachtete Messorte und Höhe ü. NN; (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Bild 2.4: Berücksichtigte Geometrie zur abschätzenden Berechnung des Signal-Rausch-Abstands für einen Messort in Bodennähe sowie einen Messort auf Fahrhahnniveau (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Bild 2.5: Simulierter relativer spektraler Schallimmissionspegel; braun: Nutzsignal in Bodennähe; lila: Nutzsignal auf Fahrhahnniveau; blau: Störsignal; grün: Nutzsignal + Störsignal in Bodennähe; hellblau: Nutzsignal + Störsignal auf Fahrhahnniveau

Bild 2.6: Festgelegte Messorte und Bezeichnung (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Bild 2.7: Festgelegte Messorte und Höhe ü. NN (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Bild 2.8: Messpunkt MP I (auf Brücke): südliche Fahrtrichtung; ca. 360 m vom südlichen Brückenende entfernt; Mikrofon in ca. 3,7 m Höhe über Boden (ca. 1,7 m über Oberkante Lsw, ca. 1,2 m über Oberkante von angedachtem Lsw-Aufsatz); Geschwindigkeitsmesssystem + Kamera

Bild 2.9: Messpunkt MP II (auf Brücke): nördliche Fahrtrichtung; ca. 360 m vom südlichen Brückenende entfernt; Mikrofon in ca. 3,7 m Höhe über Boden (ca. 1,7 m über Oberkante Lsw, ca. 1,2 m über Oberkante von angedachtem Lsw-Aufsatz); Geschwindigkeitsmesssystem + Kamera

- Bild 2.10: Messpunkt MP II (auf Brücke): links: Blick zum Messpunkt MP IV; rechts: Blick zum Messpunkt MP III  
über Boden (Referenzmikrofon); oben: vor Installation der Schirmkrone; unten: nach Installation der Schirmkrone
- Bild 2.11: MP III (Nahbereich zur Brücke): östlich der Talbrücke, auf Straße südlich der Mottener Straße; in ca. 75 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon + Wetterstation in ca. 23,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,9 m über Boden (Referenzmikrofon)
- Bild 2.12: MP III (Nahbereich zur Brücke), Blick von Höhe Fahrbahnniveau: östlich der Talbrücke, auf Straße südlich der Mottener Straße; in ca. 75 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung
- Bild 2.13: MP IV (Nahbereich zur Brücke): östlich der Talbrücke, nördlich der Mottener Straße auf Basketballplatz nahe Tennisplatz; in ca. 54 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon in ca. 29,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,7 m über Boden (Referenzmikrofon)
- Bild 2.14: MP IV (Nahbereich zur Brücke), Blick von Höhe Fahrbahnniveau: östlich der Talbrücke, nördlich der Mottener Straße auf Basketballplatz nahe Tennisplatz; in ca. 54 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung
- Bild 2.15: MP V (Fernbereich zur Brücke): westlich der Talbrücke, neben Talbrückenstraße auf Wiese; in ca. 282 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in südlicher Fahrtrichtung; in ca. 1,5 m Höhe über Boden
- Bild 2.16: MP III (Nahbereich zur Brücke), Lage des Messorts (schematisch) in Seitenansicht: östlich der Talbrücke, auf Straße südlich der Mottener Straße; in ca. 75 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon + Wetterstation in ca. 23,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,9 m
- Bild 2.17: MP IV (Nahbereich zur Brücke), Lage des Messorts (schematisch) in Seitenansicht: östlich der Talbrücke, nördlich der Mottener Straße auf Basketballplatz nahe Tennisplatz; in ca. 54 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in nördlicher Fahrtrichtung; Mikrofon in ca. 29,7 m Höhe über Boden (mit Arbeitsbühne); zusätzliches Mikrofon in 1,7 m über Boden (Referenzmikrofon); oben: vor Installation der Schirmkrone; unten: nach Installation der Schirmkrone
- Bild 2.18: MP V (Fernbereich zur Brücke), Lage des Messorts (schematisch) in Seitenansicht: westlich der Talbrücke, neben Talbrückenstraße auf Wiese; in ca. 282 m horizontalem Abstand zur Mitte des Hauptfahrstreifens in südlicher Fahrtrichtung; in ca. 1,5 m Höhe über Boden; oben: vor Installation der Schirmkrone; unten: nach Installation der Schirmkrone
- Bild 2.19: Zusammenhang zwischen Windrichtung und Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$
- Bild 2.20: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.21: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.22: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.23: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.24: Meteorologische Bedingungen: Temperatur
- Bild 2.25: Meteorologische Bedingungen – relative Luftfeuchte
- Bild 2.26: Meteorologische Bedingungen – Luftdruck (kurzzeitige Erhöhungen des Luftdrucks infolge von kalibrierungsbedingtem Herablassen der Arbeitsbühne mit daran befestigter Wetterstation und installiertem Messmikrofon)

- Bild 2.27: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeit
- Bild 2.28: Meteorologische Bedingungen – Windrichtung
- Bild 2.29: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$
- Bild 2.30: Meteorologische Bedingungen – Bedeckungsgrad
- Bild 2.31: Meteorologische Bedingungen – Stabilitätsklasse (stability class)
- Bild 2.32: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt
- Bild 2.33: Verkehrsgeräusche: –MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt
- Bild 2.34: Verkehrsgeräusche – MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, bereinigt
- Bild 2.35: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, bereinigt
- Bild 2.36: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  h, bereinigt
- Bild 2.37: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.38: Verkehrssituation – Anzahl erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.39: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Pkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.40: Verkehrssituation – Geschwindigkeit erfasster Lkw auf Fahrstreifen FS
- Bild 2.41: Meteorologische Bedingungen – Temperatur
- Bild 2.42: Meteorologische Bedingungen – relative Luftfeuchte
- Bild 2.43: Meteorologische Bedingungen – Luftdruck (kurzzeitige Erhöhungen des Luftdrucks infolge von kalibrierungsbedingtem Herablassen der Arbeitsbühne mit daran befestigter Wetterstation und installiertem Messmikrofon)
- Bild 2.44: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeit
- Bild 2.45: Meteorologische Bedingungen – Windrichtung
- Bild 2.46: Meteorologische Bedingungen – Windgeschwindigkeitskomponenten  $u$ ,  $v$ ,  $w$
- Bild 2.47: Meteorologische Bedingungen – Bedeckungsgrad
- Bild 2.48: Meteorologische Bedingungen – Stabilitätsklasse (stability class)
- Bild 2.49: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt
- Bild 2.50: Verkehrsgeräusche – MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, unbereinigt
- Bild 2.51: Verkehrsgeräusche – MP III und MP IV; (o): oberes Mikrofon; (u): unteres Referenzmikrofon),  $\Delta t = 1$  min, bereinigt
- Bild 2.52: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  min, bereinigt
- Bild 2.53: Verkehrsgeräusche – MP I bis MP V,  $\Delta t = 1$  h, bereinigt
- Bild 3.1: Eingabemaske für Eingangsparameter des Schallausbreitungsmodells Harnoise innerhalb der Softwarelösung CadnaA®
- Bild 3.2: Legende für Punktwolkendarstellung; getrennte Darstellung des Immissions-schalldruckpegels für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse
- Bild 3.3: Legende für Box-Plot; Darstellung des Immissions-schalldruckpegels in Form von Median, Quartilen, Wiskern und Ausreißern
- Bild 3.4: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

- Bild 3.5: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.6: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.7: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.8: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.9: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.10: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.11: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.12: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.13: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.14: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur;

- mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.15: Schalldruckpegel am Messpunkt MP III vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.16: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.17: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.18: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.19: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.20: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.21: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.22: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.23: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

lung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

- Bild 3.24: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.25: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.26: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.27: Schalldruckpegel am Messpunkt MP IV vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.28: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetter-

korrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

- Bild 3.29: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.30: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.31: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.32: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 3$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeich-

- nung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.33: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 5$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.34: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Tages- und Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.35: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.36: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.37: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.38: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.39: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 3$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.40: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 5$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern
- Bild 3.41: Schalldruckpegel am Messpunkt MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6$  dB) links: getrennte Darstellung für Situationen  $i$  ( $\Delta t = 1$  h) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse; rechts: Box-Plot mit Median, Quartilen, Whiskern und Ausreißern

- Bild A1: Potenzieller Messort auf Brücke: Messort über Rettungstrepfen sehr gut zugänglich; Aufbau von Mikrofonstativen und Geschwindigkeitsmesssystem hinter Leitschutzplanke; absorbierende Lsw beidseitig der Fahrbahn, Wandoberkante 2,07 m über Fahrbahnniveau; Oberkante Leitschutzplanke 1,05 m über Fahrbahnniveau (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A2: Potenzieller Messort östlich der Brücke: sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission stark durch Schallquelle am südlichen Brückeneende beeinflusst (direkte Sichtverbindung, keine Lsw); Einfluss der Störquelle durch Abschirmung minderbar (Holzhütte) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A3: Potenzieller Messort östlich der Brücke: längerer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission stark durch Schallquelle am südlichen Brückeneende beeinflusst (direkte Sichtverbindung, keine Lsw); Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung minderbar (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A4: Potenzieller Messort östlich der Brücke: kurzer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch nahezu nicht wahrnehmbar; Gesamtmission durch Schallquelle am südlichen Brückeneende dominiert; Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung minderbar (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A5: Potenzieller Messort östlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission teilweise stark durch Schallquelle am südlichen Brückeneende beeinflusst (insbesondere bei geringer Verkehrsstärke auf der Brücke); Einfluss der Störquelle ggf. teilweise durch Abschirmung vermindert (Geländemodell); ggf. Verbesserung des SNR durch Erhöhung des Messpunkts (Arbeitsbühne) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A6: Potenzieller Messort östlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission teilweise stark durch Schallquelle am südlichen Brückeneende beeinflusst (insbesondere bei geringer Verkehrsstärke auf der Brücke); Einfluss der Störquelle ggf. teilweise durch Abschirmung vermindert (Geländemodell); ggf. Verbesserung des SNR durch Erhöhung des Messpunkts (Arbeitsbühne) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A7: Potenzieller Messort östlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission teilweise stark durch Schallquelle am südlichen Brückeneende beeinflusst (insbesondere bei geringer Verkehrsstärke auf der Brücke); Einfluss der Störquelle ggf. teilweise durch Abschirmung vermindert (Geländemodell) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A8: Potenzieller Messort westlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt kaum akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission durch Schallquelle am südlichen Brückeneende bestimmt; Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung vermindert (direkte Sichtverbindung); ggf. Verbesserung des SNR durch Abschirmung von Störquelle (Haus) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A9: Potenzieller Messort westlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt kaum akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission durch Schallquelle am südlichen Brückeneende bestimmt; Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung vermindert (direkte Sichtverbindung) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A10: Potenzieller Messort westlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt kaum akustisch wahrnehmbar; Gesamtmission durch Schallquelle am südlichen Brückeneende bestimmt; Einfluss der Störquelle nicht durch Abschir-

- mung vermindert (direkte Sichtverbindung); ggf. Verbesserung des SNR durch Erhöhung des Messpunkts (Arbeitsbühne) (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A11: Potenzieller Messort westlich der Brücke: sichtbarer Brückenabschnitt nicht akustisch wahrnehmbar; Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A12: Potenzieller Messort westlich der Brücke: kürzerer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar; Gesamtimmission teilweise durch Schallquelle am südlichen Brückenende beeinflusst; Gesamtimmission nicht durch Schallquelle am nördlichen Brückenende beeinflusst (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A13: Potenzieller Messort östlich der Brücke: sichtbarer Brückenabschnitt nicht akustisch wahrnehmbar; Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A14: Potenzieller Messort östlich der Brücke: langer sichtbarer Brückenabschnitt, aber kaum akustisch wahrnehmbar; Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild A15: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen ca. 1,7 m über östlicher Lsw-Oberkante, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A16: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen ca. 1,7 m über östlicher Lsw-Oberkante, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S5,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A17: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A18: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, „unendlich lange Straße“; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A19: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 381,85 m ü. NN (MP III, unten); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A20: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 381,85 m ü. NN (MP III, unten); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, „unendlich lange Straße“; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A21: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S2,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A22: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S3,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$
- Bild A23: Simulierter Immissionsschalldruckpegel: Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, nur auf

Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S4,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  
 $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$

Bild A24: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben); Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßenoberfläche, nur auf Brücke; Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S5,  $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  
 $v_{Wind} = 0\text{ m/s}$

## Tabellen

- Tab. 2.1: Stabilitätsklasse (stability class) zur Verwendung im Harmonoise-Modell gemäß [SALOMONS, 2004]
- Tab. 3.1: Bodenfaktor (ground factor) zur akustischen Charakterisierung des Bodens innerhalb des Harmonoise-Modells gemäß [SALOMONS, 2004]
- Tab. 3.2: Immissionsschalldruckpegel und Standardabweichung an den Messpunkten MP III bis MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone sowie akustische Wirksamkeit (Verbesserung) der Schirmkrone; ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur
- Tab. 3.3: Immissionsschalldruckpegel und Standardabweichung an den Messpunkten MP III bis MP V getrennt nach einzelnen Messtagen vor und nach Installation der Schirmkrone sowie akustische Wirksamkeit (Verbesserung) der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ( $\Delta L > 6\text{ dB}$ )

## Anhang

### 1 Betrachtete Messorte



Bild A1: Potenzieller Messort auf Brücke:  
 Messort über Rettungstrepfen sehr gut zugänglich;  
 Aufbau von Mikrofonstativen und Geschwindigkeitsmesssystem hinter Leitschutzplanke;  
 absorbierende Lsw beidseitig der Fahrbahn, Wandoberkante 2,07 m über Fahrbahnniveau;  
 Oberkante Leitschutzplanke 1,05 m über Fahrbahnniveau  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

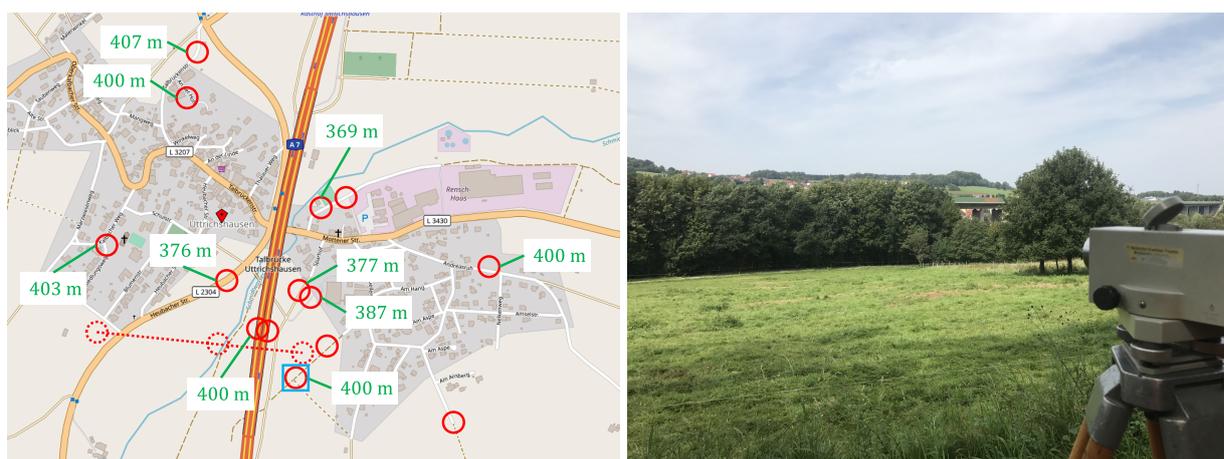
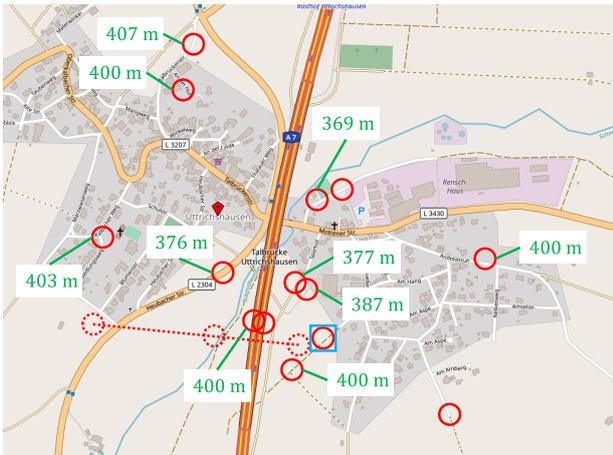
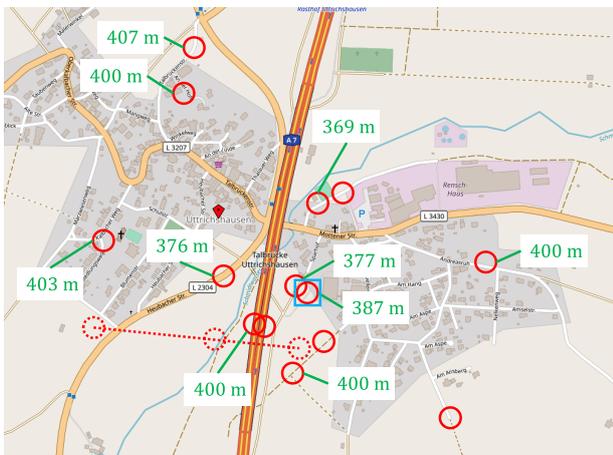


Bild A2: Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
 sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission stark durch Schallquelle am südlichen Brückenende beeinflusst (direkte Sichtverbindung, keine Lsw);  
 Einfluss der Störquelle durch Abschirmung minderbar (Holzhütte)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



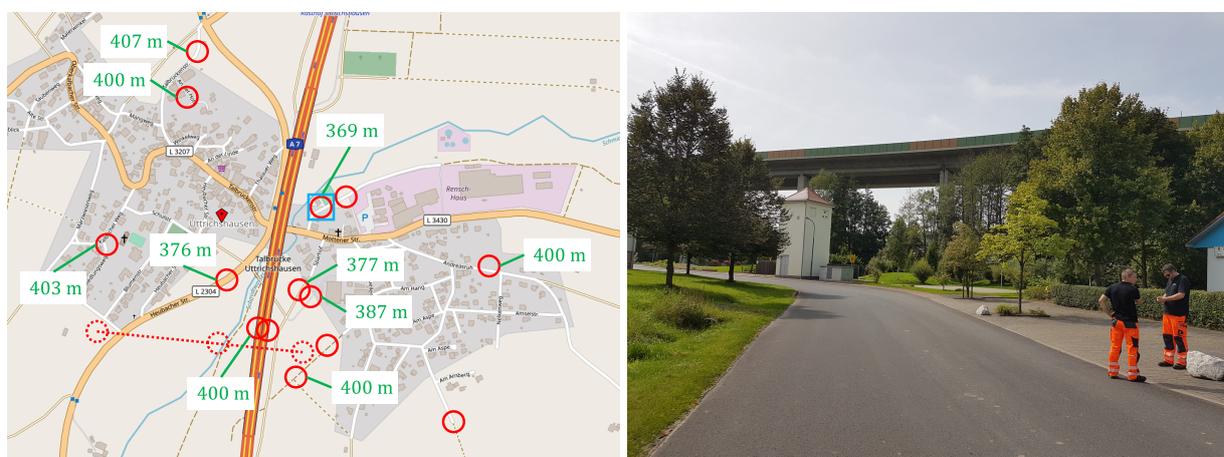
**Bild A3:** Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
 längerer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission stark durch Schallquelle am südlichen Brückende beeinflusst (direkte Sichtverbindung, keine Lsw);  
 Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung minderbar  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



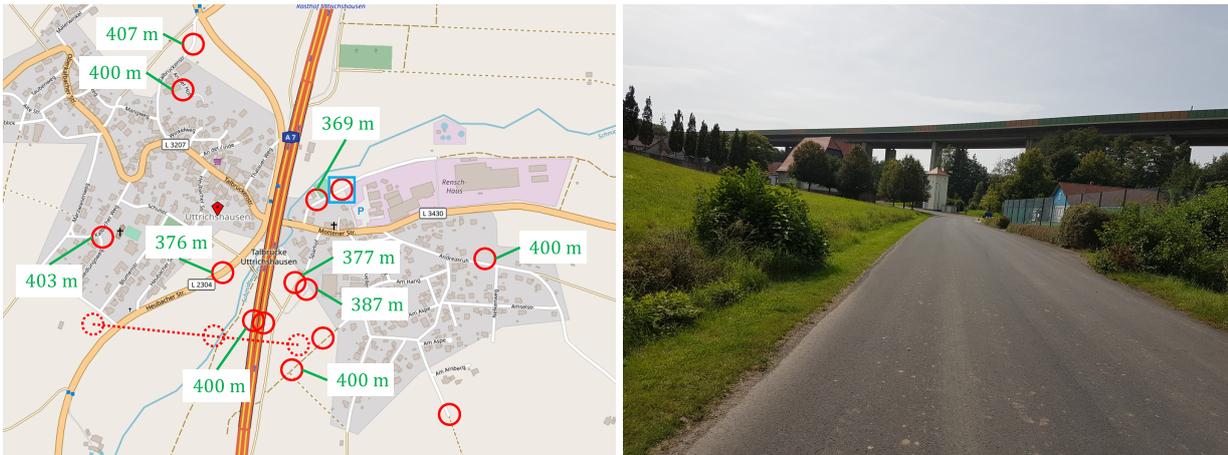
**Bild A4:** Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
 kurzer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch nahezu nicht wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückende dominiert;  
 Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung minderbar  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



**Bild A5:** Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
 langer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission teilweise stark durch Schallquelle am südlichen Brückende beeinflusst (insbesondere bei geringer Verkehrsstärke auf der Brücke);  
 Einfluss der Störquelle ggf. teilweise durch Abschirmung vermindert (Geländemodell);  
 ggf. Verbesserung des SNR durch Erhöhung des Messpunkts (Arbeitsbühne)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



**Bild A6:** Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
 langer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission teilweise stark durch Schallquelle am südlichen Brückende beeinflusst (insbesondere bei geringer Verkehrsstärke auf der Brücke);  
 Einfluss der Störquelle ggf. teilweise durch Abschirmung vermindert (Geländemodell);  
 ggf. Verbesserung des SNR durch Erhöhung des Messpunkts (Arbeitsbühne)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



**Bild A7:** Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
 langer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission teilweise stark durch Schallquelle am südlichen Brückeneende beeinflusst (insbesondere bei geringer Verkehrsstärke auf der Brücke);  
 Einfluss der Störquelle ggf. teilweise durch Abschirmung vermindert (Geländemodell)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



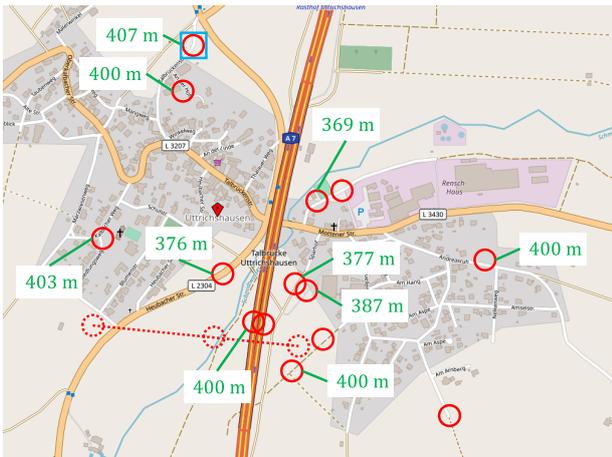
**Bild A8:** Potenzieller Messort westlich der Brücke:  
 langer sichtbarer Brückenabschnitt kaum akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückeneende bestimmt;  
 Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung vermindert (direkte Sichtverbindung);  
 ggf. Verbesserung des SNR durch Abschirmung von Störquelle (Haus)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



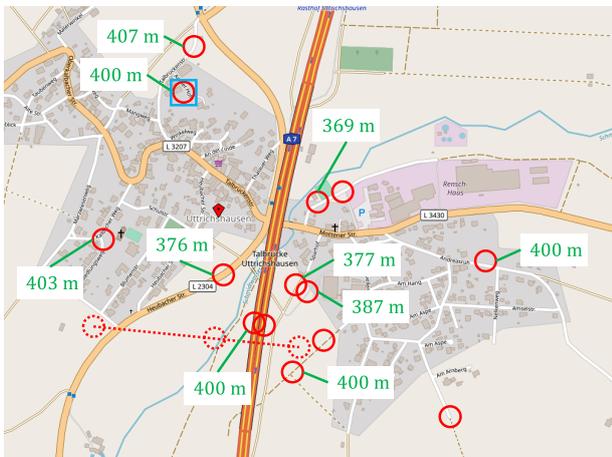
Bild A9: Potenzieller Messort westlich der Brücke:  
 langer sichtbarer Brückenabschnitt kaum akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt;  
 Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung vermindert (direkte Sichtverbindung)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild A10: Potenzieller Messort westlich der Brücke:  
 langer sichtbarer Brückenabschnitt kaum akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt;  
 Einfluss der Störquelle nicht durch Abschirmung vermindert (direkte Sichtverbindung);  
 ggf. Verbesserung des SNR durch Erhöhung des Messpunkts (Arbeitsbühne)  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



**Bild A11: Potenzieller Messort westlich der Brücke:**  
 sichtbarer Brückenabschnitt nicht akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückendenende bestimmt  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



**Bild A12: Potenzieller Messort westlich der Brücke:**  
 kürzerer sichtbarer Brückenabschnitt akustisch wahrnehmbar;  
 Gesamtimmission teilweise durch Schallquelle am südlichen Brückendenende beeinflusst;  
 Gesamtimmission nicht durch Schallquelle am nördlichen Brückendenende beeinflusst  
 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

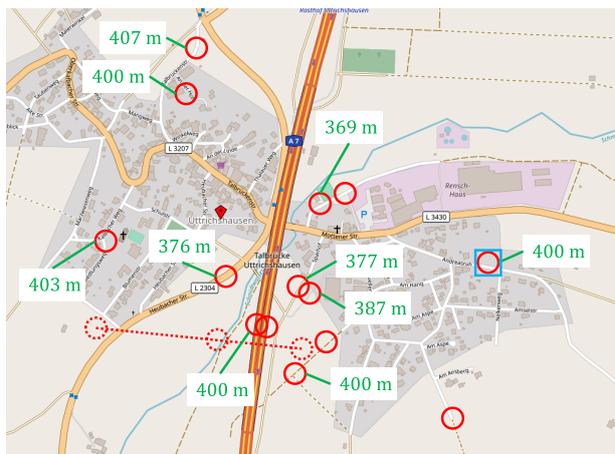


Bild A13: Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
sichtbarer Brückenabschnitt nicht akustisch wahrnehmbar;  
Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt  
(Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

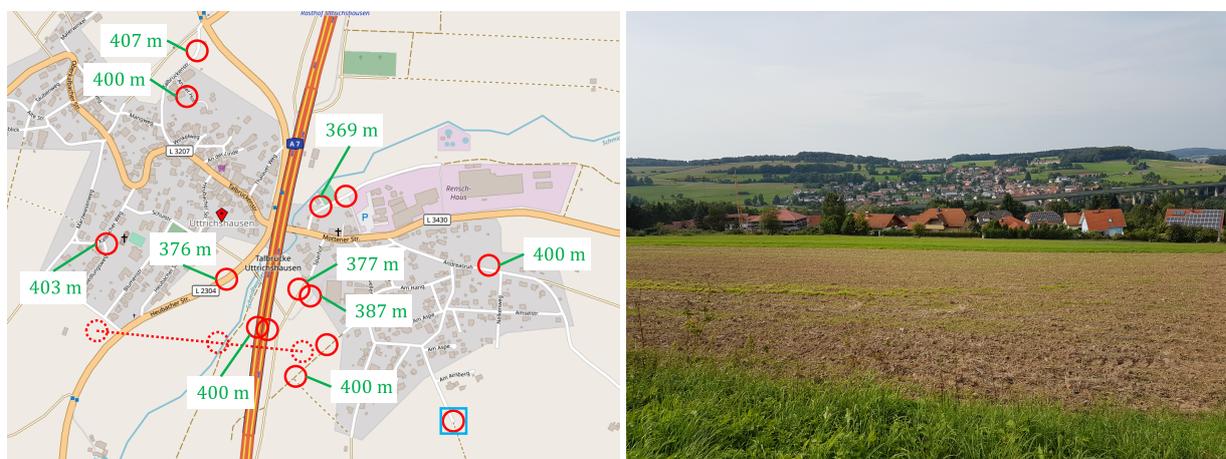


Bild A14: Potenzieller Messort östlich der Brücke:  
langer sichtbarer Brückenabschnitt, aber kaum akustisch wahrnehmbar;  
Gesamtimmission durch Schallquelle am südlichen Brückenende bestimmt  
(Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

## 2 Überblick Schallfeldsimulationen

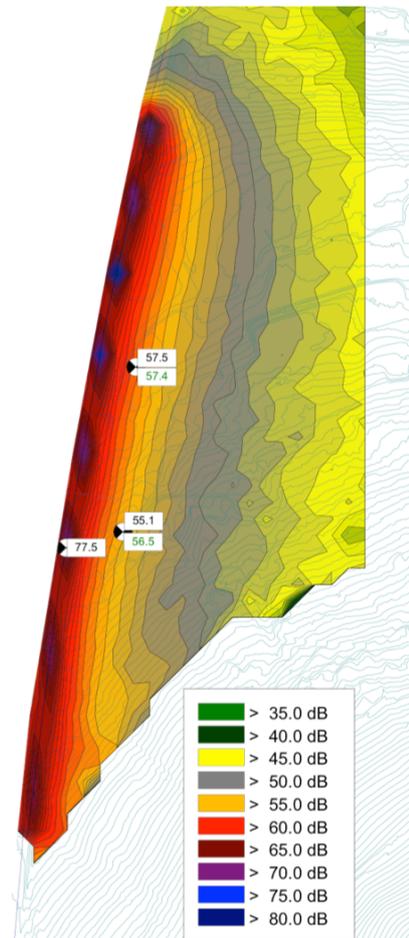


Bild A15: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen ca. 1,7 m über östlicher Lsw-Oberkante, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  
 $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{wind} = 0\text{ m/s}$

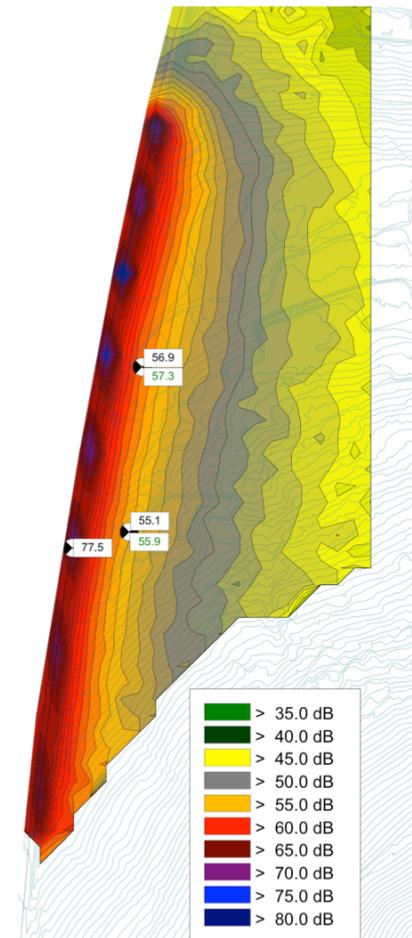


Bild A16: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen ca. 1,7 m über östlicher Lsw-Oberkante, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S5,  
 $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{wind} = 0\text{ m/s}$

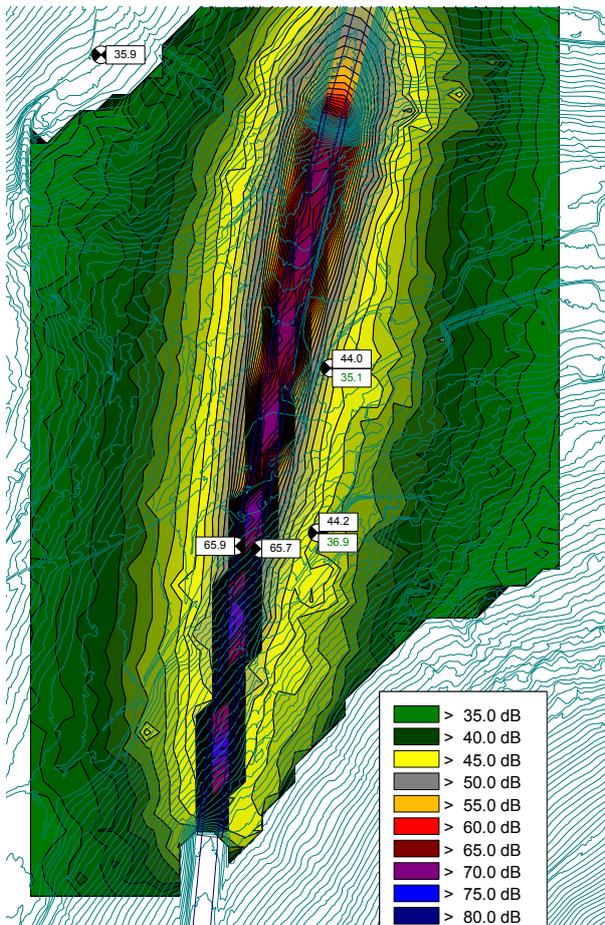


Bild A17: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  
 $\vartheta = 20 \text{ °C}$ ,  $RH = 45 \%$ ,  $v_{Wind} = 0 \text{ m/s}$

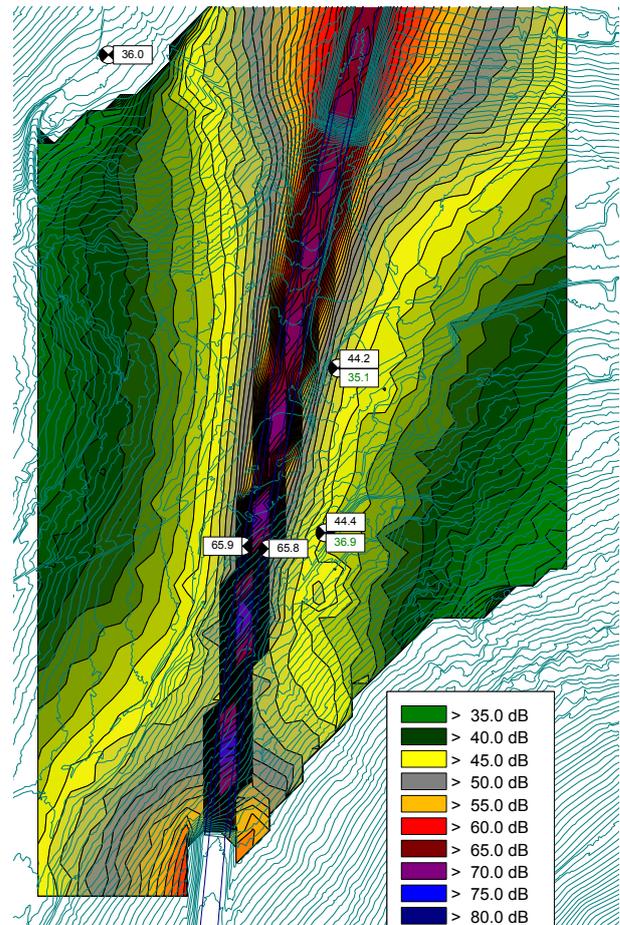


Bild A18: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, „unendlich lange Straße“;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  
 $\vartheta = 20 \text{ °C}$ ,  $RH = 45 \%$ ,  $v_{Wind} = 0 \text{ m/s}$

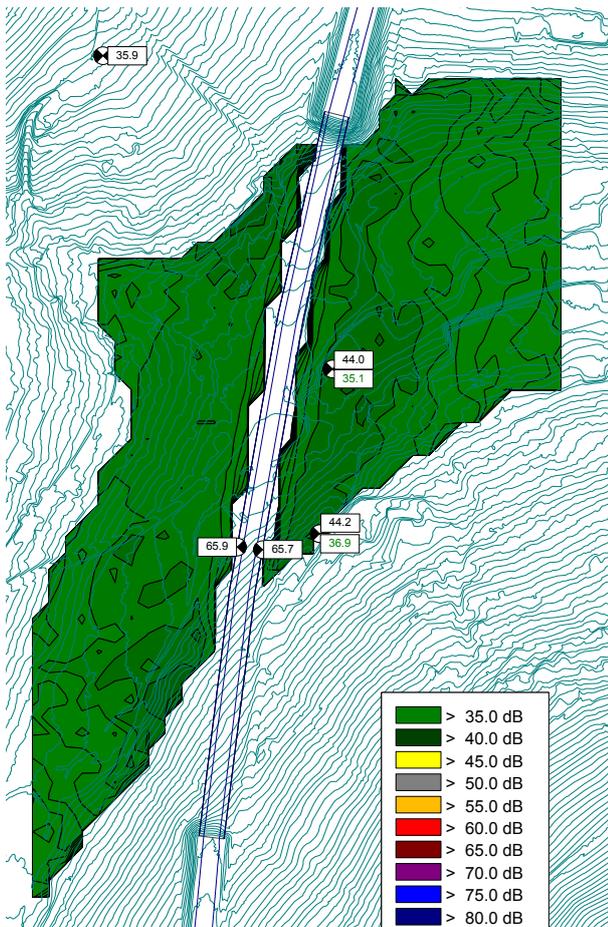


Bild A19: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 381,85 m ü. NN (MP III, unten);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  
 $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{wind} = 0\text{ m/s}$

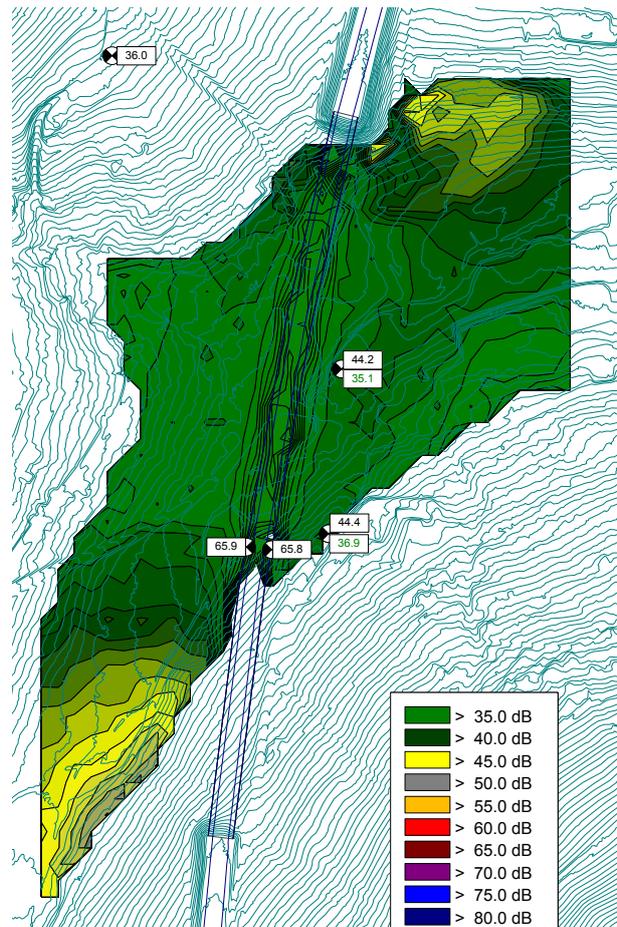


Bild A20: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 381,85 m ü. NN (MP III, unten);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, „unendlich lange Straße“;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S1,  
 $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{wind} = 0\text{ m/s}$

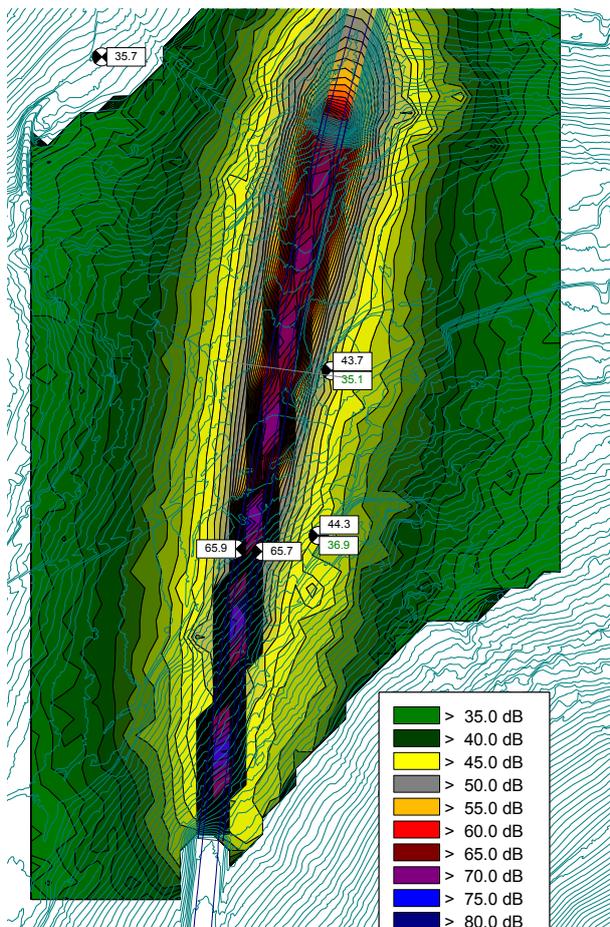


Bild A21: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S2,  
 $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{wind} = 0\text{ m/s}$

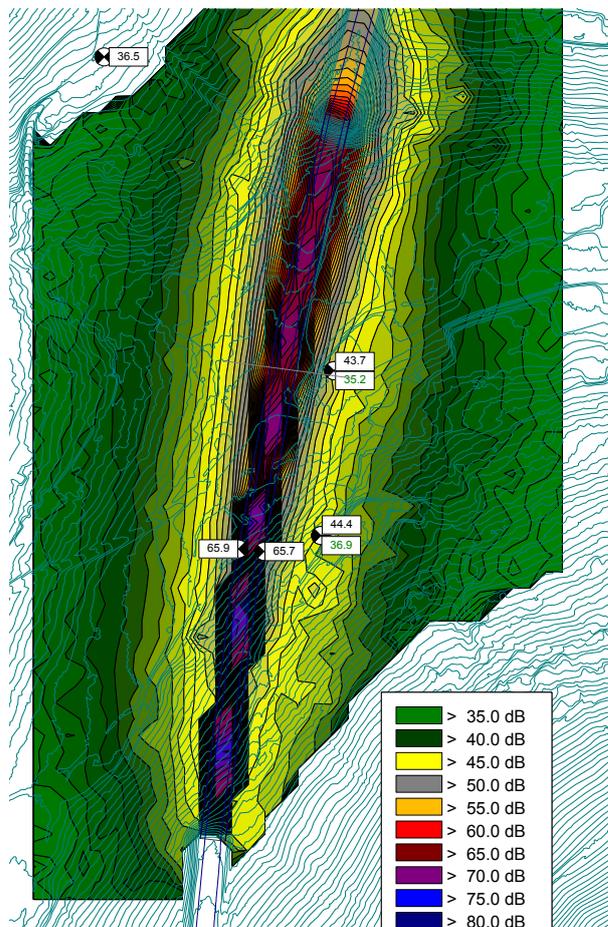


Bild A22: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S3,  
 $\vartheta = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 45\%$ ,  $v_{wind} = 0\text{ m/s}$

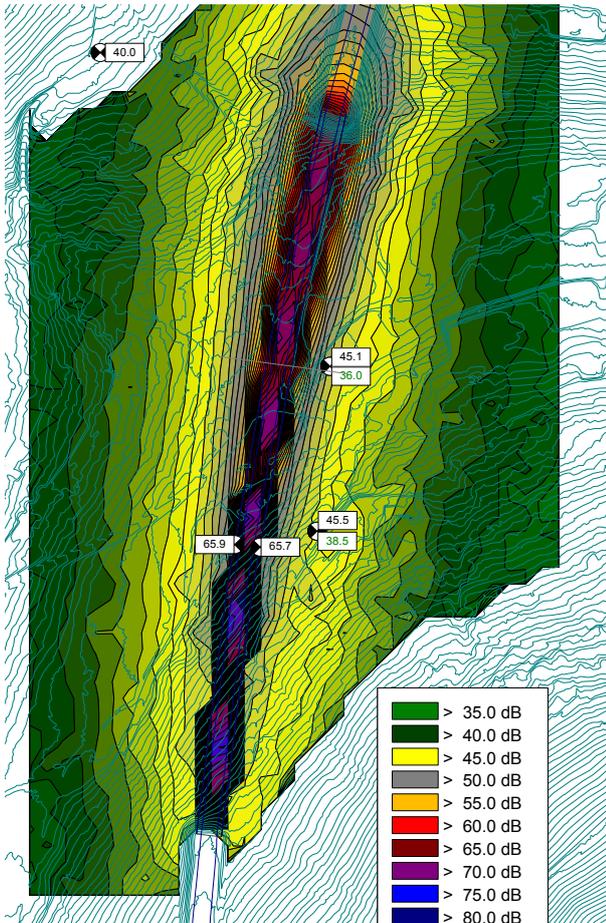


Bild A23: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S4,  
 $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $RH = 45 \%$ ,  $v_{wind} = 0 \text{ m/s}$

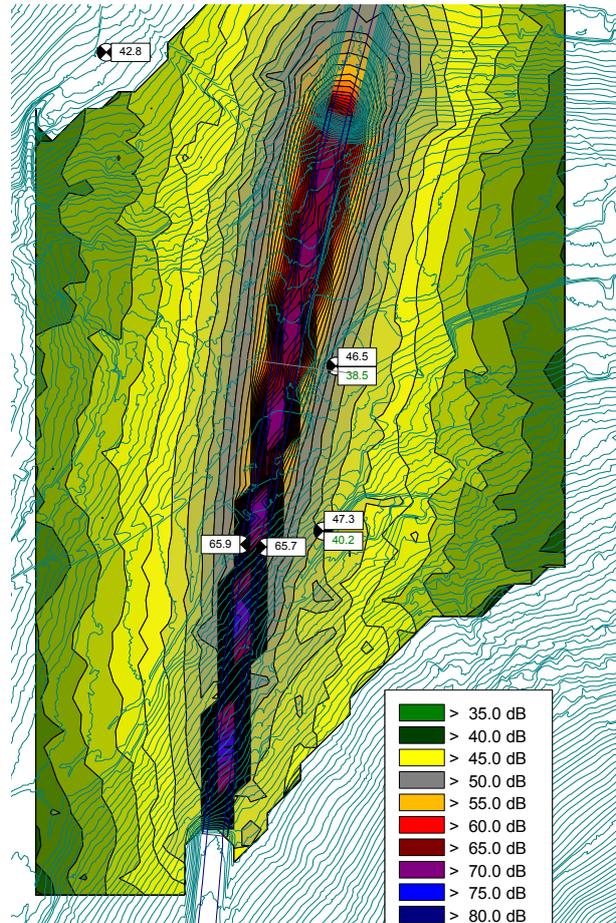


Bild A24: Simulierter Immissionsschalldruckpegel:  
 Simulationshöhe: 403,65 m ü. NN (MP III, oben);  
 Quellpositionen: Linienquellen 0,5 m über Straßen-  
 oberfläche, nur auf Brücke;  
 Simulationsbedingungen: Stabilitätsklasse S5,  
 $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $RH = 45 \%$ ,  $v_{wind} = 0 \text{ m/s}$

## 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, Vettors, 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 verkehrsunabhängig 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 Streckenbeeinflussungsanlagen**

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, Hübelt € 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, Vettors, 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, Andriess, 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

## 2020

**V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**  
Diegmann, Wurstthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

**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: Entwurfparameter 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 in Vorbereitung

**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 in Vorbereitung

**V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**

Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

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.