

Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen

FA 2.417

Forschungsstelle: Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, Dresden

Bearbeiter: Schulze, C. / Kluth, S. / Ruhнау, M. / Lindner, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Mai 2019

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. 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 Immissionserschalldruckpegels unter Einsatz von Schirmkronen.

Ziel des Vorhabens war daher die messtechnische Bestimmung der akustischen Wirksamkeit einer Schirmkrone, 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 (Schallleistung) sowie der meteorologischen Bedingungen durchzuführen.

2 Messtechnische Untersuchungen

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,
- 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 dargestellt.

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 beziehungsweise 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 Größen sind insbesondere die Windgeschwindigkeit v_{Wind} , die Windrichtung DIR_{Wind} , die Temperatur ϑ 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.

Zum Projektbeginn erfolgte eine gemeinsame Vorortbegehung mit dem Auftraggeber sowie der Landesbehörde Hessen Mobil unter Einsatz einer Arbeitsbühne. Diese ermöglichte die direkte Wahrnehmung von Nutz- und Störgeräuschquellen an den angedachten Immissionsorten. Als Bewertungskriterium für die Auswahl der Messorte galt, dass die Gesamtschallimmission durch den Verkehr auf der Talbrücke dominiert und der Einfluss der Schallimmission von den Brückenenden vernachlässigbar ist. Bild 1 zeigt die festgelegten Messorte MP I bis MP V.

Die messtechnischen Untersuchungen fanden am 15., 20. und 21.09.2017 (vor Installation der Schirmkrone) sowie am 17., 18. und 19.04.2018 (nach Installation der Schirmkrone) 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. Durch den DWD wurde zusätzlich der Bedeckungsgrad zur Verfügung gestellt. Er dient der Bestimmung der Stabilitätsklasse (stability class), die für die Anwendung des Schallausbreitungsmodells HARMONOISE bekannt sein muss.

Die erfassten Zeitsignale des Schalldruckpegels an Emissions- und Immissionsorten 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 Immissions-schall-druck-pegels zum Ausschluss weniger "offensichtlicher" Störereignisse während der Messungen. Dazu wurde eine

Mindestpegeldifferenz zwischen dem Immissions-schall-druck-pegel auf Fahrbahnniveau (oberes Mikrofon (o)) und dem Immissions-schall-druck-pegel am Referenzmikrofon (unteres Mikrofon (u)) definiert.

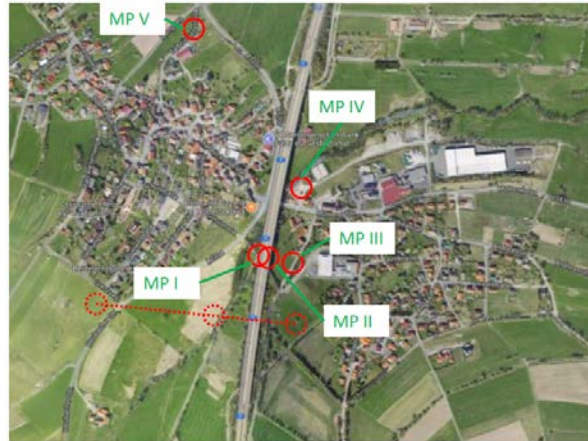


Bild 1: Festgelegte Messorte

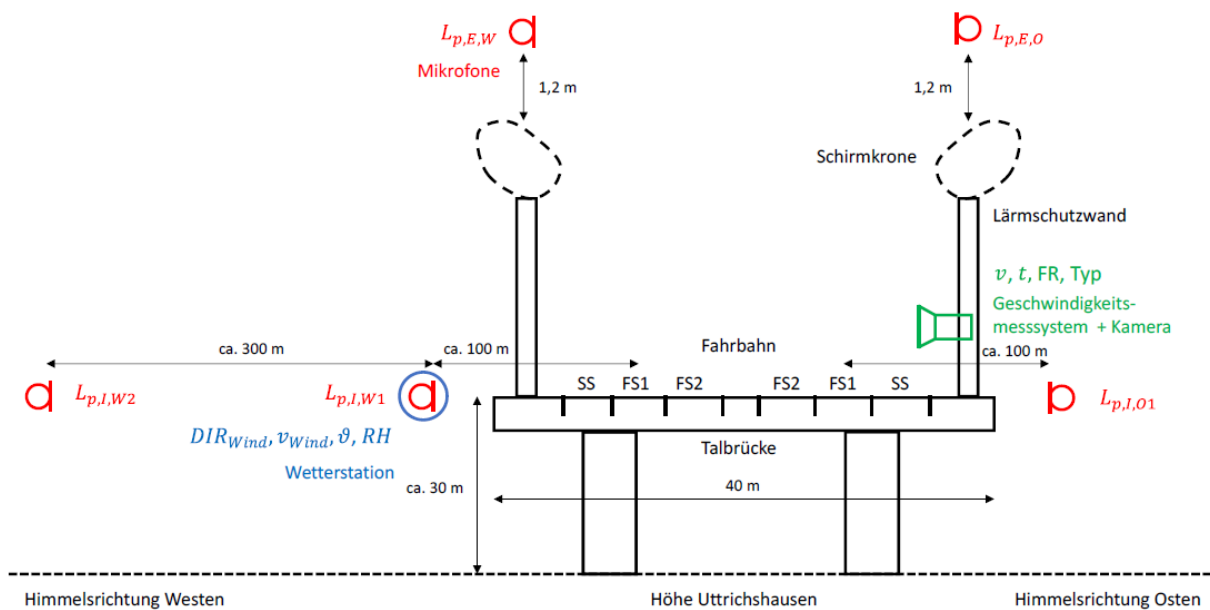


Bild 2: Ursprünglich geplanter Messaufbau (schematisch) zur Erfassung von Emissions- und Immissionspegel, Verkehrszusammensetzung und meteorologischen Bedingungen

3 Schallfeldsimulation

Um die akustische Wirksamkeit der Schirmkron 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.

Leistungskorrektur

Die Leistungskorrektur dient der Bestimmung der Beeinflussung des Immissions-schall-druck-pegels infolge der unterschiedlichen zum Zeitpunkt der beiden Messungen vorliegenden Schall-

leistungen der Linienquelle (Verkehrssituation). Dabei wurde angenommen, dass der Emissionsschall-druck-pegel an den Messpunkten MP I (für MP V) beziehungsweise MP II (für MP III und MP IV) in einer definierten Situation i proportional zum Immissions-schall-druck-pegel ist. Als Situation i wurde die in Stunden unterteilte Messzeit angesetzt. Der innerhalb der Ermittlung der Leistungskorrektur berücksichtigte Schall-druck-pegel basiert auf einer arithmetischen Mittelung der während der Stunde gemessenen Kurzzeit-Schall-druck-pegel 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

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

(für Messpunkt MP V)

beziehungsweise

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

(für Messpunkte MP III und MP IV).

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

Schließlich ergibt sich der leistungskorrigierte Immissionsschalldruckpegel für jede Situation i zu

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

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® zum Einsatz. Das Schallausbreitungsmodell HARMONOISE berücksichtigt die folgenden meteorologischen Eingangsgrößen:

- Lufttemperatur ϑ 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).

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 definierte Bezugssituation "ohne Wetter" mit

- Lufttemperatur ϑ 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

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

Akustische Wirksamkeit

Die akustische Wirksamkeit der Schirmkrone, der sogenannten Einfügungsdämpfung des Schallschirmaufsatzes, resultiert aus der Differenz des Immissionsschalldruckpegels bei vorhandener L_{sw} ohne Schirmkrone und des Immissionsschalldruckpegels bei vorhandener L_{sw} mit Schirmkrone:

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

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

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

Simulationsmodell

Grundlage für die Schallfeldsimulationen bildet ein digitales Geländemodell für das Gebiet um die Brücke. In dieses Modell wurden nachträglich die Brücke eingebunden und die verschiedenen Immissionsorte an den jeweiligen Messpunkten integriert. Im Simulationsmodell erfolgte anschließend die Positionierung zweier Linienschallquellen konstanter längenbezogener Schalleistung im Abstand von 1,7 m oberhalb der Oberkante der L_{sw} (entspricht der Höhe der Messpunkte MP I und MP II). Die Länge der Linienquelle wurde dabei auf die Länge der L_{sw} begrenzt. Als Quellspektrum fand das in DIN EN 1793-3 (1997) definierte Verkehrslärmspektrum Anwendung. Für die Simulation der Immissionsschalldruckpegel wurde ausschließlich die dem jeweiligen Immissionsort zugewandte Linienquelle "eingeschaltet".

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 eine zusätzliche 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.

Korrektur der Messergebnisse

Bild 3 zeigt exemplarisch die Ergebnisse des Schalldruckpegels an den einzelnen Immissionsorten an den Messpunkten MP III bis MP V unter Anwendung der verbesserten Leistungs- und Wetterkorrektur sowie der zusätzlichen Störgeräuschkorrektur. Die jeweiligen Immissionsschalldruckpegel sind als Punktwolke dargestellt.

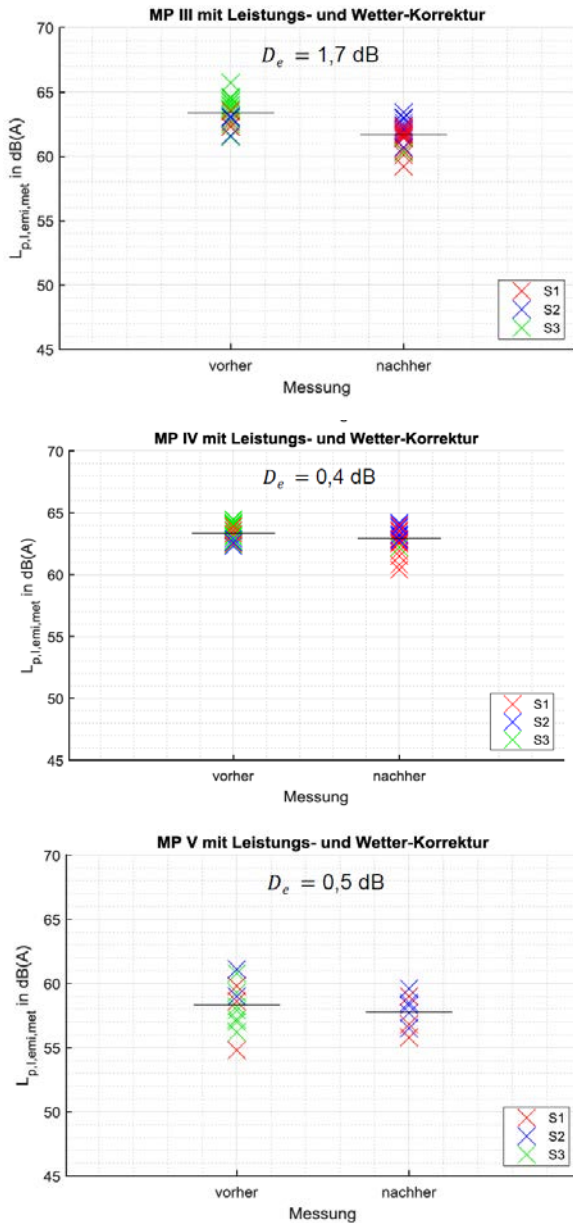


Bild 3: Schalldruckpegel an Messpunkten MP III bis MP V vor und nach Installation der Schirmkrone; mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ($\Delta L > 6 \text{ dB}$); getrennte Darstellung für Situationen t ($\Delta t = 1 \text{ h}$) sowie Gesamt-Mittelwert; farbliche Kennzeichnung der Stabilitätsklasse

4 Zusammenfassung

Eine Übersicht der Ergebnisse des Schalldruckpegels an den Immissionsorten MP III, MP IV und MP V zeigt Tabelle 1. Dabei sind jeweils der Immissionsschalldruckpegel und dessen Standardabweichung für die einzelnen Messtage sowie der

Einzahlwert bei Gesamtbetrachtung der Messkampagne vor und nach Installation der Schirmkrone dargestellt. Die ebenso ausgewiesene Verbesserung entspricht der akustischen Wirksamkeit, das heißt der Einfügungsdämpfung der Schirmkrone. Tabelle 1, oben zeigt die Ergebnisse ohne Leistungskorrektur, ohne Wetterkorrektur und ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur. Zum direkten Vergleich sind unten die Ergebnisse mit verbesserter Leistungskorrektur, mit verbesserter Wetterkorrektur und mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur enthalten.

Ist in Tabelle 1 ohne jegliche Korrektur bezüglich Verkehr und Wetter noch eine Einfügungsdämpfung der Schirmkrone von 2 bis 3 dB erkennbar, sinkt die akustische Wirksamkeit der Schirmkrone nach der erforderlichen Berücksichtigung der zu den jeweiligen Messungen vorliegenden Verkehrs- und Wetterbedingungen rechts auf 0,4 bis 1,7 dB. Gleichzeitig sinkt die Standardabweichung des gemessenen Immissionsschalldruckpegels 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 Abschirmaßes verbunden ist. Tabelle 1 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 berücksichtigten Messorten vergleichbare Werte an wie die Verbesserung durch die Installation der Schirmkrone. Unter Berücksichtigung der ermittelten Standardabweichung des gemessenen Immissionsschalldruckpegels ist daher anzunehmen, dass der angestrebte Einfluss der installierten Schirmkrone auf die Schallbeugung um die Oberkante der Lsw vernachlässigbar ist.

Tabelle 1: 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; oben: ohne Leistungskorrektur; ohne Wetterkorrektur; ohne zusätzliche Störgeräuschkorrektur unten: mit verbesserter Leistungskorrektur; mit verbesserter Wetterkorrektur; mit zusätzlicher Störgeräuschkorrektur ($\Delta L > 6 \text{ dB}$)

unkorrigiert	MP III		MP IV		MP V	
	$L_{p,t}$ in dB(A)	σ in dB	$L_{p,t}$ in dB(A)	σ in dB	$L_{p,t}$ in dB(A)	σ in dB
Messtag Nr.						
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
GESAMT vorher	60,2	0,9	60,6	0,7	51,8	2,3
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
GESAMT nachher	57,2	1,4	58,6	1,4	49,1	2,5
Verbesserung	3,0		2,0		2,7	

leistungs- und wetterkorrigiert	MP III		MP IV		MP V	
	$L_{p,1,emi,met}$ in dB(A)	σ in dB	$L_{p,1,emi,met}$ in dB(A)	σ in dB	$L_{p,1,emi,met}$ in dB(A)	σ in dB
Messtag Nr.						
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
GESAMT vorher	63,4	0,9	63,3	0,7	58,3	1,8
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
GESAMT nachher	61,7	1,0	62,9	0,9	57,8	1,2
Verbesserung	1,7		0,4		0,5	
Verbesserung durch Erhöhung der Wand um 0,5 m („ohne Wetter“)	1,6		1,3		1,1	

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, Seite 41-45, 1994

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

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

