

Grolimund + Partner AG

Schachenstrasse 5, 4543 Deitingen, T 032 614 01 41

www.grolimund-partner.ch



Akustische Untersuchungen Fahrbahnhaltestellen Schlussbericht

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Kantons Solothurn

A6173

31. August 2022

Impressum

Auftraggeber:

- Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Lärm und NIS, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
- Amt für Verkehr und Tiefbau, Kanton Solothurn

Auftragnehmer:

Grolimund + Partner AG, 3006 Bern

Autoren:

- Tina Saurer
- Daniel Schweizer

Begleitung:

- BAFU: Simon Steiner
- Kanton Solothurn: Bernhard Kindler /Rolf Müller

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des BAFU und des Kantons Solothurn verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Projektteam

Tina Saurer
Valentina Cocco
Daniel Schweizer
Lena Gafner
Tim Ziegler
Jonas Fasching

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.2	30.09.2022	ts, ds	Schlussbericht	BAFU, Kt SO

A6173_Fahrbahnhaltestellen_Kt_SO_20221026.docx

Inhalt

1. Auftrag und Ziel	4
2. Methodik	5
2.1 Standorte	5
2.2 CPX-Messungen	6
2.3 Immissionsmessungen	7
3. Messresultate	9
3.1 Messungen Fahrbahnoberfläche	9
3.2 Messungen Bus-Ereignisse	13
4. Analysen	15
4.1 Einfluss der Fahrbahnoberfläche nach Belagstyp	15
4.2 Einfluss Bus-Vorbeifahrt	17
4.3 Einfluss Bus-Vorbeifahrt im Streckenverlauf	19
4.4 Einfluss Ausführung Fahrbahnhalttestelle	20
4.5 Einfluss Bus-Vorbeifahrt auf den L_{eq}	21
4.6 Einfluss des Bustyps	21
5. Schlussfolgerung	22
I Dokumentation Busse	24
II Ergebnispläne CPX-Messungen	25

1. Auftrag und Ziel

Um den erhöhten mechanischen Anforderungen zu genügen, werden Fahrbahnhalttestellen oft mit widerstandsfähigen Oberflächen ausgeführt. Diese widerstandsfähigen Oberflächen weisen meistens andere akustischen Eigenschaften auf als herkömmliche oder leise Strassenbeläge. Insbesondere bei lärmindernden Strassenbelägen kann sich der Einbau von beispielsweise Beton-Fahrbahnhalttestellen negativ auf die Lärmsituation auswirken.

In der vorliegenden Studie wird sowohl der Einfluss der Ausführung der Fahrbahnhalttestelle (Fahrbahnoberfläche) als auch der Einfluss der Bus-Vorbeifahrten inklusive Anhalten und Anfahren mittels Messungen und Berechnungen/Modellierungen untersucht.

- **Fahrbahnoberfläche:** die Oberflächenbeschaffenheit von Betonfahrbahnen führt zu höheren Lärmemissionen und oft zu Frequenzverschiebungen, welche von den Anwohnern verstärkt wahrgenommen werden. Zudem können beim Überrollen von Fugen und von Fahrbahnübergängen (lärmarmen Belag – Fahrbahnhalttestelle – lärmarmen Belag) Impulsgeräusche entstehen.
- **Bus-Vorbeifahrt:** Fahrbahnhalttestellen führen zu Stop&Go-Situationen, welche sich in erhöhten Antriebsgeräuschen mit grösserem Störpotenzial äussern.

Hauptziel der vorliegenden Studie ist, mit gezielten Messungen, Auswertungen und Analysen die Grundlagen zu erarbeiten, auf deren Basis die akustischen Auswirkungen von Fahrbahnhalttestellen beurteilt werden können. Hierzu wurden bei fünf verschiedenen Fahrbahnhalttestellen Immissions- und CPX-Messungen durchgeführt und die gesammelten Messdaten entsprechend ausgewertet und analysiert.

2. Methodik

Nachfolgend wird die angewandte Methodik zur akustischen Analyse der Bushalttestellen vorgestellt.

2.1 Standorte

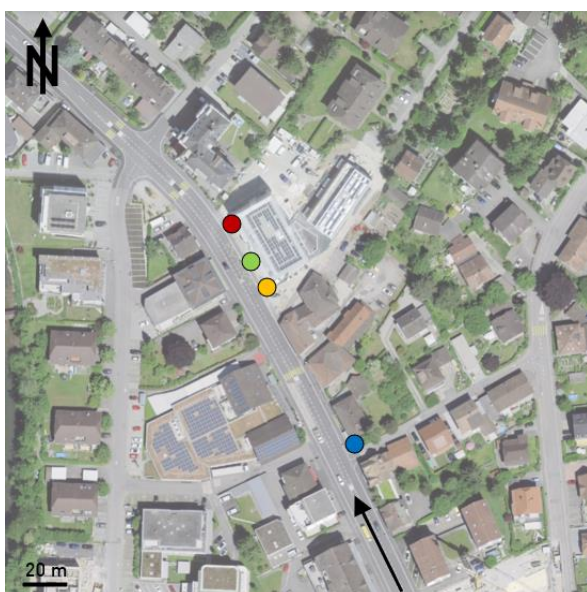
In dieser Studie wurden die folgenden fünf Fahrbahnhalttestellen in Abbildung 1 und Abbildung 2 untersucht. Die farbigen Punkte markieren hierbei die ungefähre Position der Mikrofone des Mess-Setups.

- Mikrofon 1 (ca. 100 m vor Haltestelle)
- Mikrofon 2 (ca. 10 m vor Haltestelle)
- Mikrofon 3 (Haltestelle)
- Mikrofon 4 (ca. 20 m nach Haltestelle)

1. Derendingen, Waschbeton



2. Derendingen, Markierung



3. Breitenbach, Betonplatten (T60, α -9.6)



Abbildung 1: Luftbilder der Standorte inkl. Markierung der Mikrofonpositionierung, Standorte 1-3.

4. Breitenbach, Busbucht (Betonplatten)



5. St. Gallen, ACMR 8 (über Betonplatte)



Abbildung 2: Luftbilder der Standorte inkl. Markierung der Mikrofonpositionierung, Standorte 4 & 5.

Bemerkungen:

- Der Standort Nr. 3 (Breitenbach, Halttestelle Margrieben) befindet sich auf einer Strasse mit ca. 9% Neigung
- Beim Standort Nr. 5 (Stadt St. Gallen) verkehren sowohl Benzin als auch Elektrobusse

2.2 CPX-Messungen

Als Grundlage zur Ermittlung der akustischen Eigenschaften der Fahrbahnhalttestelle sowie des angrenzenden Belags wurden CPX-Messungen durchgeführt. Mit der CPX-Methode nach SN EN ISO 11819-2:2021 werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt (siehe Abbildung 3). Bei diesem Verfahren wird der Schallpegel in zwei separaten, schallgedämpften Kammern eines Anhängers in unmittelbarer Reifennähe mit je zwei Mikrofonen aufgezeichnet.

Mittels der CPX-Messungen kann der Einfluss der Fahrbahnhalttestelle auf die Lärmemissionen ermittelt werden (Pegel und spektrale Unterschiede). An jedem Standort wurden jeweils fünf Messfahrten pro Fahrrichtung und Testreifen (PW & LKW) durchgeführt. Dies ergibt zehn Messfahrten pro Standort. Hierbei wurde jeweils die Fahrbahnhalttestelle sowie die angrenzenden Strassenabschnitte in der Radspur befahren. Beim Standort Nr. 4 handelt es sich um eine Busbucht, diese konnte mit dem CPX-Fahrzeug nicht befahren werden und dementsprechend gibt es für diesen Standort keine CPX-Messungen.

Anhand der CPX-Messdaten kann einerseits die Belagsgüte der unterschiedlichen Fahrbahnbeläge (Waschbeton, Farbmarkierung, Betonplatten, ...) quantifiziert werden, andererseits kann durch Analyse der Belagsübergänge (Bushalttestelle-Belag vs. angrenzender Belag) allfällige Impulsgeräusche entdeckt werden.



Abbildung 3: CPX Messfahrzeug mit Anhänger zur direkten Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche

2.3 Immissionsmessungen

Um abzuschätzen, inwiefern sich die Gesamtlärmsituation an einer Strasse durch den Einsatz einer Fahrbahnhaltestelle verändert, wurden Immissionsmessungen an den oben genannten Standorten Lärm-Immissionsmessungen entlang der Strasse durchgeführt.

Hierbei wurden jeweils vier Mikrofone auf dem Trottoir längs der Strasse aufgestellt. Die Lage der Mikrofone ist schematisch in Abbildung 4 illustriert. Das Mikrofon 1 wurde jeweils ca. 100 m vor der Haltestelle aufgestellt. In dieser Entfernung zur Haltestelle sind die Lärmemissionen eines an der Haltestelle haltenden Busses vernachlässigbar. Das zweite Mikrofon wurde in ca. 10 m Distanz zur Bushaltestelle aufgestellt. Mit diesem Mikrofon wird sowohl der direkte Lärm des haltenden Busses als auch der Lärm der hinter dem Bus haltenden Fahrzeuge gemessen. Das Mikrofon 3 wurde bei der Haltestelle und möglichst auf Höhe des Bus-Motors aufgestellt. Von besonderem Interesse sind dabei Messungen während des Bus-Stillstandes sowie während der Beschleunigungsphase bei Abfahrt des Busses. Mit dem Mikrofon 4, welches rund 20 m nach der Haltestelle aufgestellt wurde, kann ebenfalls der Lärm während der Beschleunigungsphase gut festgehalten werden.

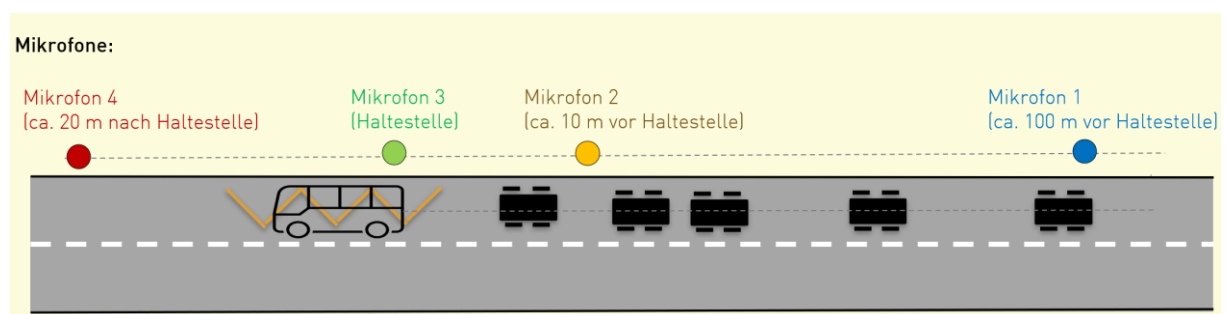


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Mikrofonpositionierung entlang der Strasse mit den Fahrbahnhaltestelle.

Eine Bus-Vorbeifahrt kann in mehrere Phasen unterteilt werden. Für die Analyse wurden die vier Phasen definiert, welche in Abbildung 5 ersichtlich sind.

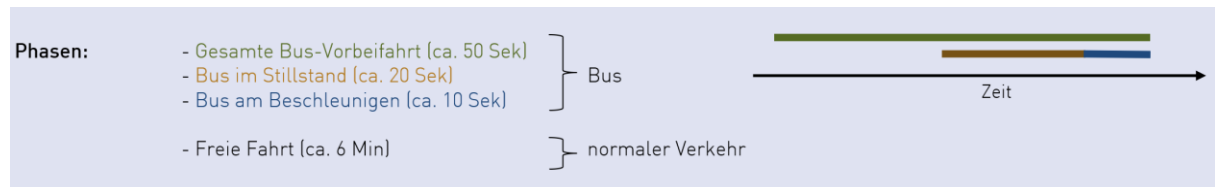


Abbildung 5: Definierte Messphasen des Messsetups.

Die Phase «Freie Fahrt» beschreibt hierbei die Lärmsituation bei «normaler» Verkehrssituation ohne Bus-Vorbeifahrt. In den durchgeführten Messungen dauerten die Freie-Fahrt-Messungen ca. 6 Minuten. Um das Anhalten und Beschleunigen des Busses sowie des übrigen Verkehrs (Rückstau aufgrund des Busses) akustisch zu erfassen, wurden die zwei Phasen «Bus im Stillstand» sowie «Bus am Beschleunigen» definiert. Zusätzlich wurde der durchschnittliche Lärm während einer gesamten Bus-Vorbeifahrt an allen vier Mikrofonen mittels «Gesamte Bus-Vorbeifahrt» ausgewertet.

Anhand dieses Mess-Setups mit den vier Mikrofonen und den vier unterschiedlichen Messphasen bei den fünf verschiedenen Standorten können die Lärmimmissionen eines Busses quantitativ ausgewertet werden. Die Messungen wurden am 14. Oktober und 10. November 2021 durchgeführt. Die Tabelle 1 gibt Aufschluss über die Anzahl gemessener Bus-Vorbeifahrten sowie der Anzahl «Freie Fahrt»-Messungen. Leider kann nicht jede gemessene Bus-Vorbeifahrt für die Analyse verwendet werden (siehe Anzahl «gemessene» vs. Anzahl «brauchbare» Vorbeifahrten). Bei gewissen Messungen hielt der Bus nicht bei der Fahrbahnhaltestelle an oder er hielt zwar an, jedoch nicht an der erwarteten Stelle; das Mikrofon 3 sollte hierbei immer möglichst auf der Höhe des Motors zu liegen kommen. Zudem wurden einige Messungen aufgrund von Störgeräuschen wie beispielsweise vorbeifahrende, laute Lastwagen, vorbeigehende Fussgänger oder auch das Läuten von Kirchenglocken verfälscht. Diese Messungen mit den Störgeräuschen wurden somit für die weitere Analyse nicht verwendet.

Tabelle 1: Datengrundlage der Immissionsmessungen mit Anzahl Messungen je Standort.

Standort	Datum	Uhrzeit	Bus-Vorbeifahrten		"Freie Fahrt"-Messungen	
			# gemessen	# brauchbar	# gemessen	# brauchbar
1. Derendingen, Waschbeton	14.10.2021	9-11	11	4	9	9
2. Derendingen, Markierung	14.10.2021	12-14	10	5	7	7
3. Breitenbach, Betonplatten	14.10.2021	15-17	7	4	5	5
4. Breitenbach, Busbucht	14.10.2021	17-19	6	5	6	5
5. St. Gallen, ACMR 8	10.11.2021	10-12	14	7	13	10

3. Messresultate

Im folgenden Kapitel sind die Ergebnisse der Messungen zur Beurteilung der Fahrbahnoberfläche und der Messungen zur Beurteilung der Bus-Ereignisse aufgeführt. Die daraus folgenden Analysen sind in Kapitel 4 dargestellt.

3.1 Messungen Fahrbahnoberfläche

In Tabelle 2 sind die mit dem CPX-Messverfahren gemessenen Belagsgütewerte (PW, LKW und Mischverkehrswert mit 8 % Schwerverkehrsanteil) für die Fahrbahnhaltestellen sowie der angrenzenden Beläge angegeben. Die graphischen Darstellungen der Messergebnisse sind zudem im Anhang II aufgeführt. Wie oben erwähnt, konnte die Busbucht in Breitenbach nicht mit dem CPX-Verfahren gemessen werden (keine konstante Befahrung mit 50 km/h möglich).

Tabelle 2: CPX-Messwerte der Fahrbahnhaltestellen und der angrenzenden Beläge.

Standort	Einbaujahr	Bemerkung	StL86-N1	StL86-N2	MV 8 %
1. Derendingen Richtung Süd, SDA 8-12	2021	Angrenzender Belag	-2.6	-6.1	-4.2
1. Derendingen Richtung Süd, Waschbeton	2021	Haltestelle	0.2	-4.1	-1.7
2. Derendingen Richtung Nord, SDA 8-12	2021	Angrenzender Belag	-2.5	-5.8	-4
2. Derendingen Richtung Nord, SDA 8-12 mit Markierung	2021	Haltestelle	-2.7	-5.8	-4.1
3. Breitenbach, SDA 8-12	2019	Angrenzender Belag	-2	-5.3	-3.5
3. Breitenbach, Betonplatten	2010	Haltestelle	0.7	-2.3	-0.7
5. St. Gallen, SDA 8	2018	Angrenzender Belag	-0.2	-4	-1.9
5. St. Gallen, ACMR 8 über Betonplatten	2018	Haltestelle	0.5	-3	-1.1

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der flächendeckenden Messungen der akustischen Belagsgüte der Fahrbahnhaltestellen und des jeweils angrenzenden Belags. Die Betonplatte weist um ca. 1 dB lautere akustische Werte auf als der Waschbeton.

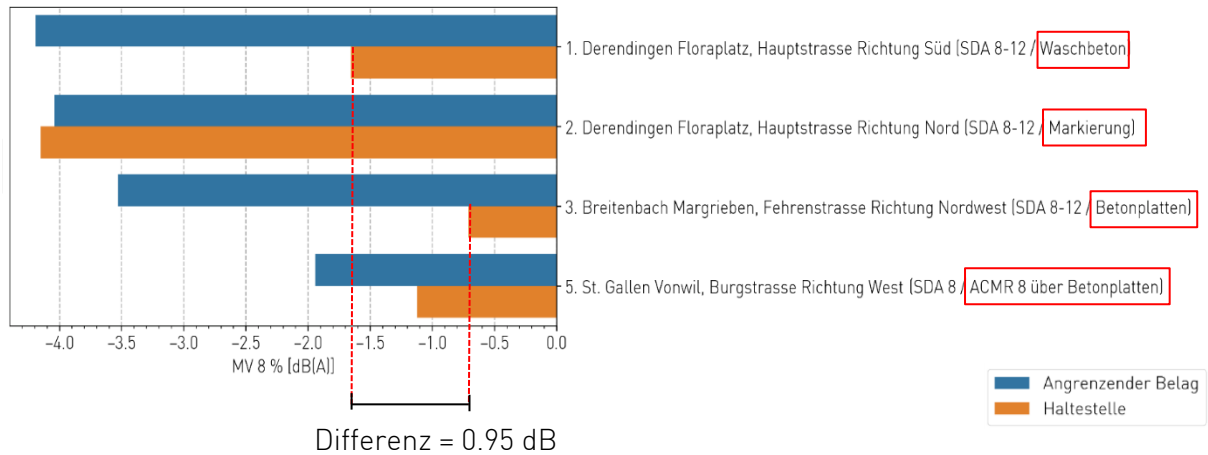


Abbildung 6: Mittelwerte der mittels CPX-Messungen erhobenen akustischen Belagsgüte (Mischverkehr 8%)

In Abbildung 7 sind die gemessenen CPX-Messwerte (MV 8%) vor, bei und nach der Haltestelle als Liniendiagramm dargestellt. Im oberen Liniendiagramm sind die effektiv gemessenen Messwerte der bei den Haltestellen angrenzenden Belägen aufgeführt, im unteren Liniendiagramm wurden die angrenzenden Belagswerte auf den leisesten gemessenen Belag (-4.1 dB) gesetzt. Mit dieser schematischen Darstellung können die akustischen Sprünge beim Wechsel von einem lärmarmen zu einem lärmreichen Belag veranschaulicht werden. Solche Sprünge sind im unteren Liniendiagramm mit akustischen Differenzen von bis zu 3.4 dB besonders gut sichtbar.

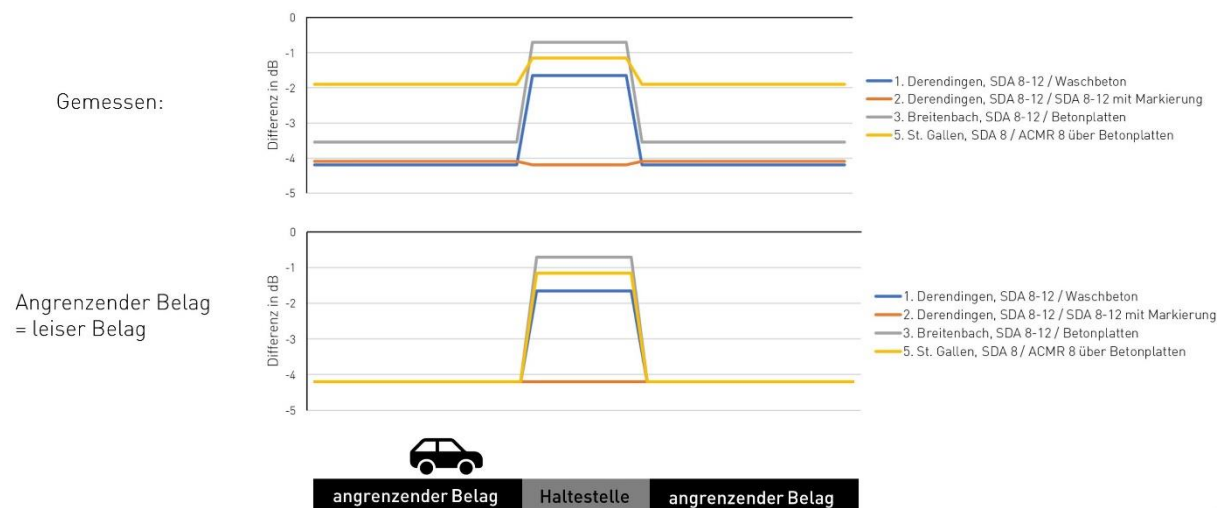


Abbildung 7: Schematische Darstellung Pegelverläufe angrenzender Belag und Fahrbahnhaltestelle (oben: gemessen; unten: Annahme angrenzender Belag = leiser Belag)

Die spektrale Darstellung der CPX-Messwerte ist in Abbildung 8 dargestellt. Für Vergleichszwecke ist neben den gemessenen Werten der Haltestelle und der angrenzenden Beläge auch ein SMA 11 als Referenzbelag aufgeführt. Wie ersichtlich, sind die Spektren der angrenzenden Beläge sowie der Haltestelle für die zwei Standorte 2 und 5 (SDA 8-12 mit Markierung, ACMR 8 (über Betonplatte)) jeweils identisch oder ähnlich (siehe orange und blaue Kurven auf der rechten Seite).

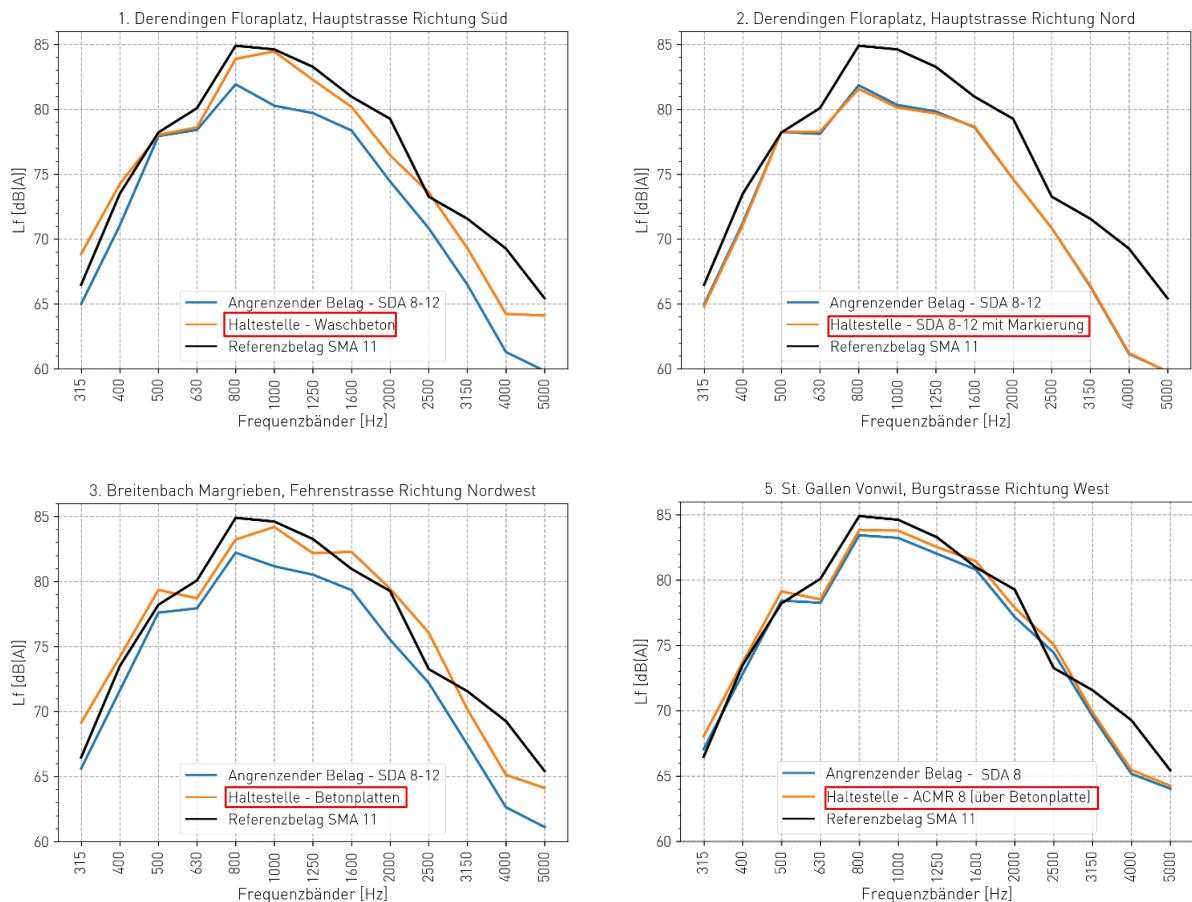


Abbildung 8: Spektrale Darstellung der gemessenen Schalldruckpegel je Frequenzband für die vier Haltestellen sowie deren angrenzenden Beläge.

Die gemessenen Spektren der Betonplatten zeigen in allen Frequenzbereichen eine deutliche Zunahme der Reifen-Fahrbahn-Geräusche. Beim Waschbeton ist im Bereich von 500 Hz (Peak-Frequenz für Vibrationsschall) keine Zunahme festzustellen (vgl. Abbildung 8).

Während den «Freie Fahrt»-Messungen wurden jeweils pro Fahrzeug die durch den Belagswechsel (angrenzender Belag – Fahrbahnhaltestelle) entstehenden Impulsgeräusche dokumentiert. Die Beurteilung des Impulsgeräusches erfolgte qualitativ (starker/schwacher Impuls). Aufgrund der geringen Anzahl an Vorbeifahrten (wenig Verkehrsaufkommen) konnten die erhobenen Daten statistisch nicht ausgewertet werden (zu kleine Stichproben). In der folgenden Tabelle sind dennoch die erhobenen Tendenzen dargestellt:

Tabelle 3: Dokumentation Hörbarkeit Impulsgeräusche während den »Freie Fahrt«-Messungen

Standort	PW		LKW	
	Stark	Schwach	Stark	Schwach
1. Derendingen Richtung Süd, Waschbeton	22%	78%	0%	100%
2. Derendingen Richtung Nord, SDA 8-12 mit Markierung	-	100% (sehr schwach)	-	100% (sehr schwach)
3. Breitenbach, Betonplatten	57%	43%	50%	50%
4. Breitenbach, Busbucht Beton	keine Überrollungen			
5. St. Gallen, ACMR 8 über Betonplatten	vergleichbar mit Markierung			

Rund jeder vierte Personenwagen verursachte beim Überrollen des Waschbetons in Derendingen ein störendes Impulsgeräusch. Beim Überrollen von Lastwagen waren hingegen keine Impulsgeräusche hörbar. Beim Standort Derendingen Nord wurden keine wahrnehmbaren Impulsgeräusche festgestellt. Hingegen wiesen die Überfahrten am Standort Breitenbach (Nr. 3) in ca. 50 % der Fälle deutlich hörbare Impulsgeräusche auf.

3.2 Messungen Bus-Ereignisse

Die Ergebnisse der Immissionsmessungen sind in der Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse näher analysiert.

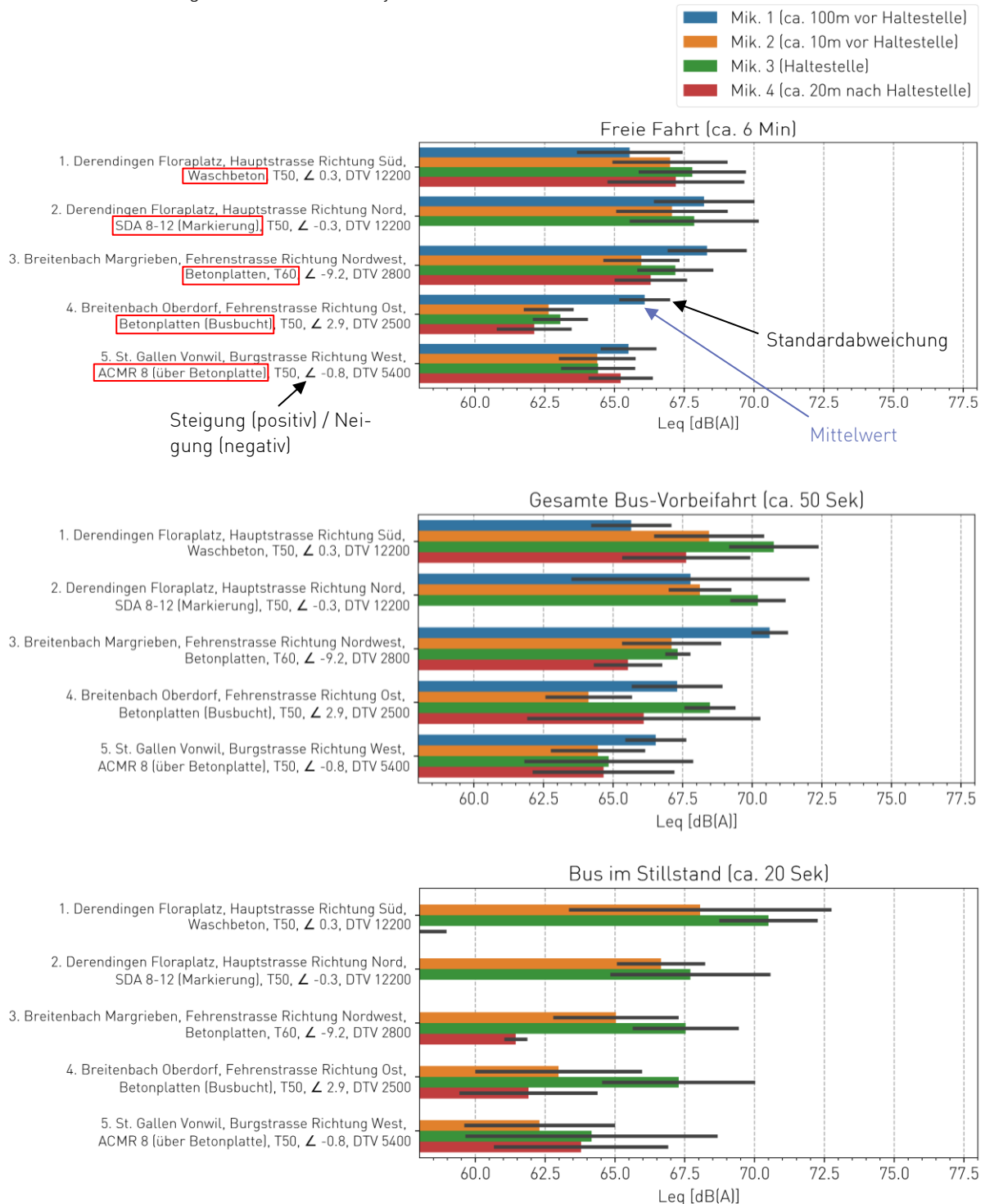


Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Immissionsmessungen für die Phasen «Freie Fahrt», «Gesamte Bus-Vorbeifahrt» und «Bus im Stillstand».

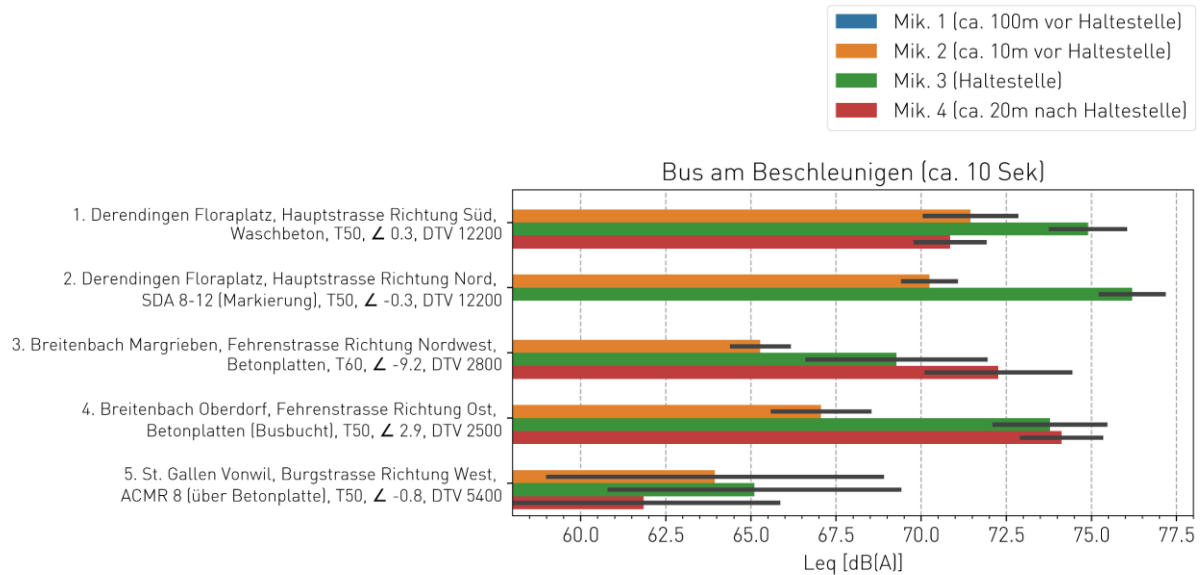


Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Immissionsmessungen für die Phase «Bus am Beschleunigen».

4. Analysen

Die Analysen der im vorangehenden Kapitel dargestellten Messergebnisse werden im folgenden Kapitel aufgezeigt.

4.1 Einfluss der Fahrbahnoberfläche nach Belagstyp

Die folgende Tabelle zeigt die erwarteten akustischen Wirkungen gegenüber Stl-86+ von SDA 4 und SDA 8 Belägen im Neuzustand und am Ende der Lebensdauer. Zusätzlich sind die Wirkungen von neutralen und lauten Belägen (Annahme +2 dB) aufgelistet. In den drei rechten Spalten sind die erwarteten akustischen Differenzen zu den Fahrbahnhaltestellen mit verschiedenen Ausführungen der Fahrbahnoberflächen (Markierung, Waschbeton und Beton) aufgezeigt.

Tabelle 4: Akustische Differenzen zwischen dem angrenzenden Belag und der Fahrbahnhaltestelle.

		Akustische Wirkung in dB(A)	Differenz zu Markie- rung	Differenz zu Waschbeton 8 mm ca. -2 bis 0 dB(A)	Differenz zu Beton ca. 2 dB(A)*
Angrenzender Belag	SDA 4	Neuzustand	-9 bis -6**	0	bis zu +9
		Ende Lebens- dauer	-3*	0	+1 bis +3
	SDA 8	Neuzustand	-5 bis -3**	0	bis zu +5
		Ende Lebens- dauer	-1*	0	-1 bis +1
	neutral	0	0	-2 bis 0	+2
	Laut	+2	0	x	0

* Belagskennwert gemäss Leitfaden Strassenlärm ** Erfahrungswert

Die folgenden Abbildungen zeigen den akustischen Einfluss von unterschiedlichen, angrenzenden Belägen (neutral, SDA4 & SDA8) in Kombination mit unterschiedlichen Fahrbahnausführungen (Waschbeton vs. Beton). Für jede der sechs möglichen Kombinationen wurden je zwei Zustände hinsichtlich der Lärmauswirkung für die Phase «Freie Fahrt» berechnet: einmal mit und einmal ohne angegebene Fahrbahnhaltestelle. Die akustischen Differenzen dieser Lärmsimulationen sind in jeder Abbildung farbig dargestellt, so dass die Lärmauswirkungen im Ausbreitungsbereich einer Fahrbahn ersichtlich sind.

Annahmen: Modellierung in eine Fahrtrichtung; DTV 4'000; Schwerverkehrsanteil 8%; Länge der Haltestelle 20 m; Höhe Empfangspunkte 4.5m; keine Hindernisse; ohne Berücksichtigung von Bus-Vorbeifahrten; Beläge: SDA 4 (-3 dB), SDA 8 (-1 dB), neutral (0 dB), Waschbeton (-1 dB) & Beton (+2 dB)

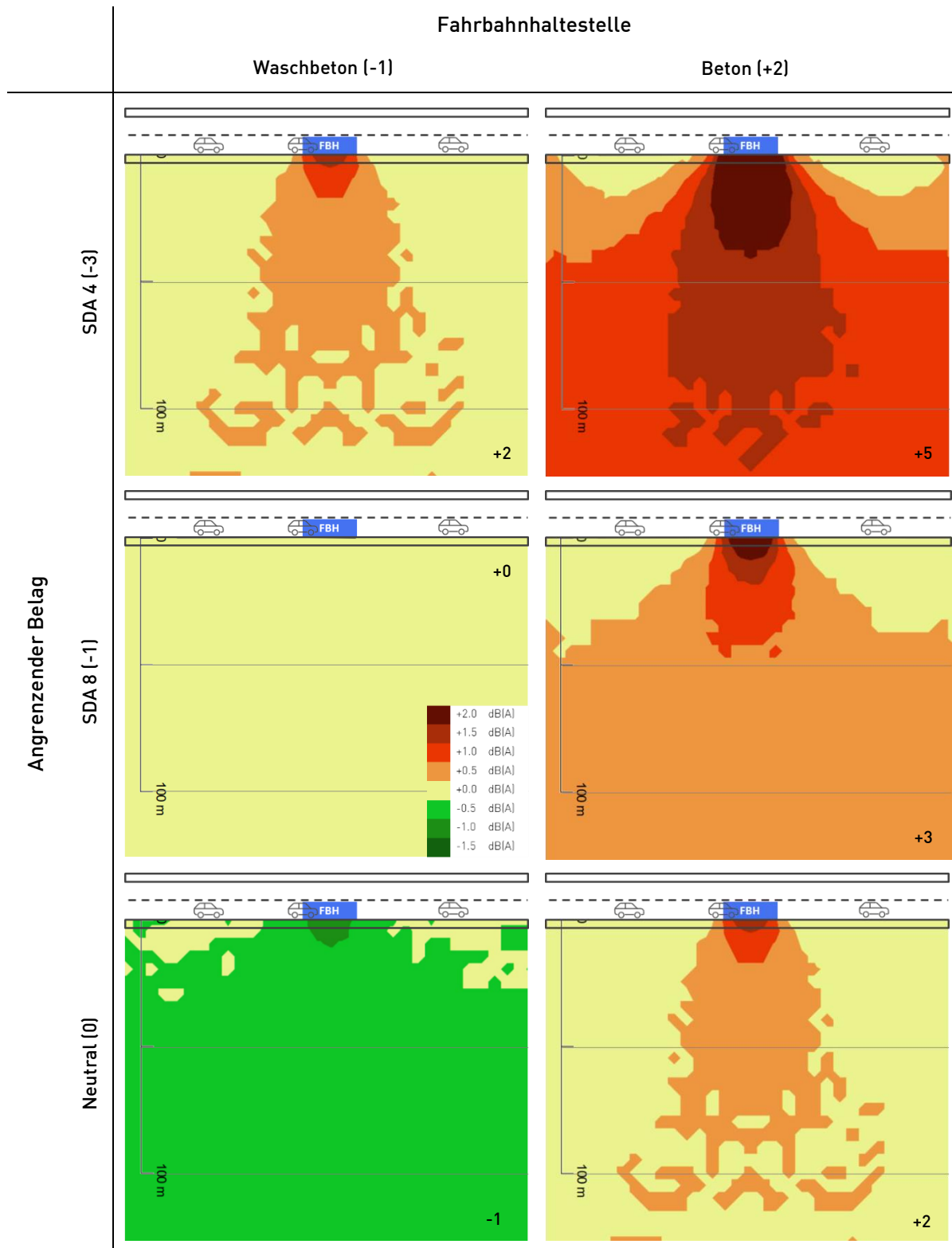
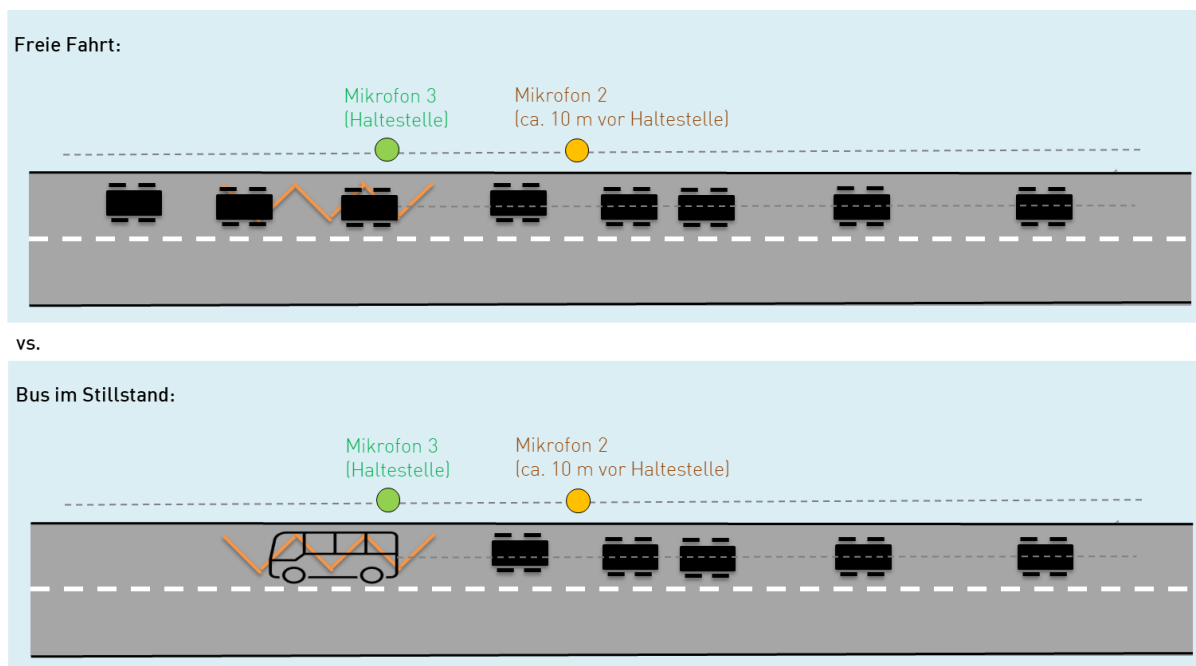


Abbildung 11: Auswirkung Ausführung Fahrbahnhaltestelle und angrenzender Belag im Ausbreitungsbereich gegenüber der Situation ohne Fahrbahnhaltestelle für die Phase «Freie Fahrt» (ohne berücksichtigte Bus-Ereignisse).

Am stärksten sind die Differenzen bei einem Einbau einer Beton-Haltestelle auf einem SDA 4 Belag (Differenz 5 dB(A)). In diesem Fall ist ein Unterschied von ca. +1 dB(A) mehrere hundert Meter weit wahrzunehmen. Bei einer Differenz der Belgaskennwerte von +2 dB(A) sind die Unterschiede im Ausbreitungsbereich ab einer Distanz von ca. 100 m kaum mehr wahrzunehmen. Auf einem neutralen Belag hat der Einsatz von Waschbeton sogar eine positive Wirkung auf die Lärmimmissionen.

4.2 Einfluss Bus-Vorbeifahrt

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Immissionsmessungen jeweils bei der Haltestelle und 10 m vor der Haltestelle dargestellt. Berechnet wurden die Differenzen der Phasen «Freie Fahrt» (ohne Bus) und «Bus im Stillstand» (vgl. Abbildung 12) sowie «Bus am Beschleunigen» (vgl. Abbildung 15). Die berechneten Differenzen basieren auf den Mittelwerten der Messungen. Es ist zu beachten, dass die einzelnen Messungen stark variieren (siehe die hohen Standardabweichungen in Abbildung 9 und Abbildung 10).



Oberfläche Fahrbahnhaltestelle	Differenz freie Fahrt vs. Bus im Stillstand	
	Haltestelle (Bus im Stillstand – freie Fahrt in dB)	10m vor der Haltestelle (Bus im Stillstand – freie Fahrt in dB)
Waschbeton	+2.5	+1
Markierung	0	+0.5
Beton	0	-1
Busbucht Beton	+4.5	+0.5
ACMR 8 über Betonplatte	0	-2
Mittelwert	+1.4	-0.2

Abbildung 12: Differenz der gemessenen Pegel mit Bus-Ereignis (Stillstand und Freie Fahrt) minus freie Fahrt direkt bei der Haltestelle und 10 m vor der Haltestelle.

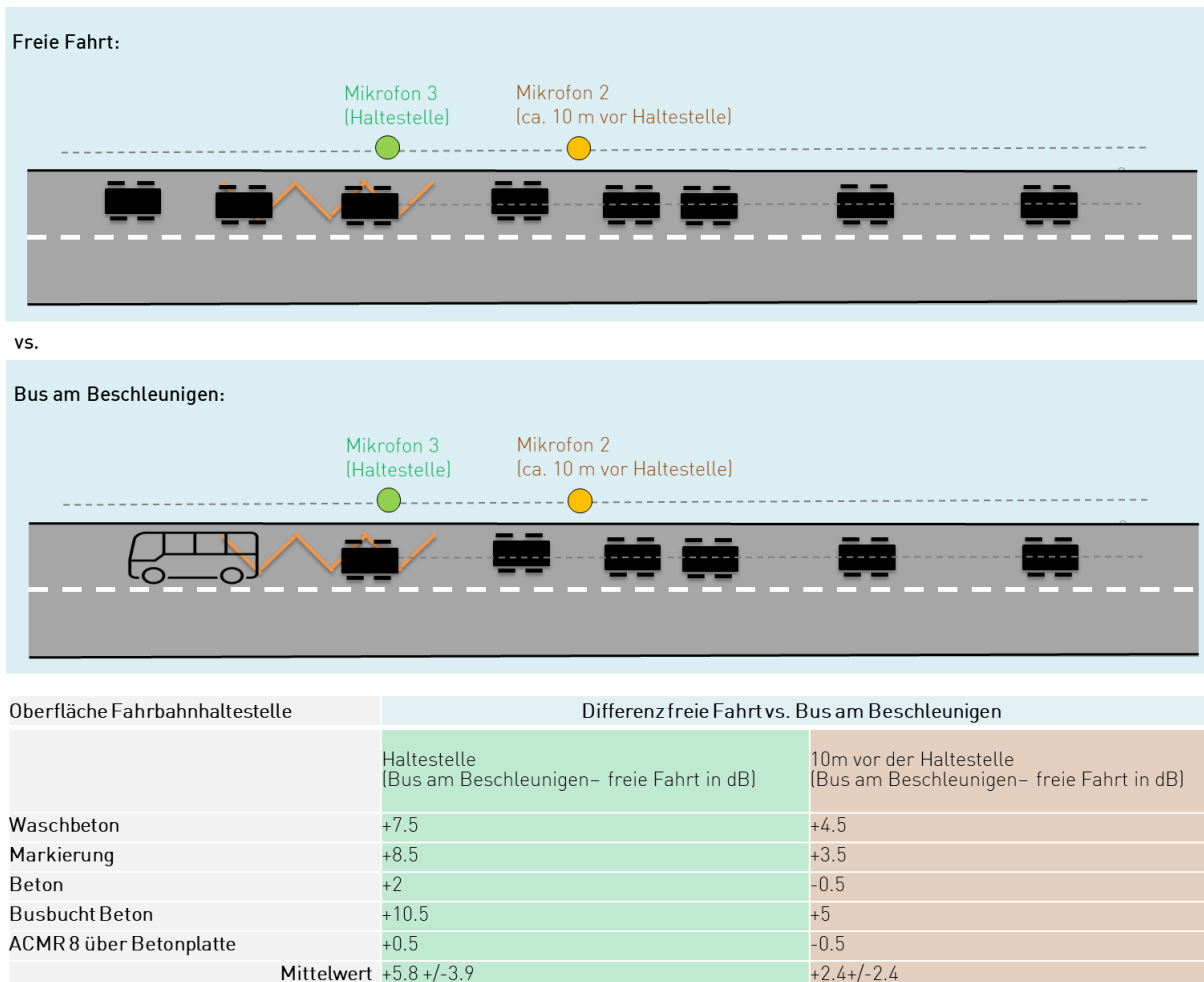


Abbildung 13: Differenz der gemessenen Pegel mit Bus-Ereignis (Beschleunigung und freie Fahrt) minus freie Fahrt direkt bei der Haltestelle und 10m vor der Haltestelle.

Bus-Einfluss im Stillstand: Die Messungen zeigen während der Phase «Bus im Stillstand» gegenüber der Phase «Freie Fahrt» bei allen untersuchten Fahrbahnhaltestellen um 0 bis zu 2.5 dB lautere Messpegel auf. Bei der Busbucht beträgt die Differenz des Busses im Stillstand zur freien Fahrt +4.5 dB. Bei den untersuchten Standorten konnten im Rückstaubereich hinter dem anhaltenden Bus keine relevanten Pegeldifferenzen festgestellt werden.

Bus-Einfluss während des Beschleunigens: Während der Beschleunigungsphase des Busses treten an beiden Standorten in Derendingen und auch am Standort Breitenbach (Busbucht) gegenüber der freien Fahrt um 7.5 bis 10.5 dB lautere Pegel auf. Beim Standort Breitenbach Margrieben betragen diese Differenzen lediglich +2 dB. Dieser geringe Unterschied ist auf die starke Neigung der Strasse zurückzuführen. Beim Standort in Sankt Gallen ist die Differenz mit 0.5 dB aufgrund des Anteils an Elektrobussen noch geringer.

4.3 Einfluss Bus-Vorbeifahrt im Streckenverlauf

Das vorliegende Kapitel zeigt die akustischen Auswirkungen einer gesamten Busvorbeifahrt (inkl. Anhalten) im Nahbereich der Haltestelle.

Tabelle 5: Vergleich der akustischen Differenzen des Mikrofons 3 (Haltestelle) mit den Mikrofonen 2 (10 m vor der Haltestelle) und 4 (20 m nach der Haltestelle) für die Phase «**Gesamte Bus-Vorbeifahrt**» und für die fünf Messstandorte. Die Werte widerspiegeln Mittelwerte und sind in dB(A) angegeben.

Standort	$\Delta (M3 - M2)$	$\Delta (M3 - M4)$
1. Derendingen Richtung Süd, Waschbeton	2.3	3.1
2. Derendingen Richtung Nord, SDA 8-12 mit Markierung	2.1	keine Msg.
3. Breitenbach, Betonplatten	0.2	1.8
4. Breitenbach, Betonplatten Busbucht	4.4	2.4
5. St. Gallen, ACMR 8 über Betonplatten	0.4	0.2

Während der gesamten Bus-Vorbeifahrt wurden direkt bei der Haltestelle Werte von 0 – 4 dB lauter als 10 m vor der Haltestelle gemessen. Die kleinsten Differenzen weisen die Fahrbahnhaltestelle in Beton und ACMR über Beton auf. Dabei ist zu beachten, dass sich die Betonhaltestelle auf einer geneigten Strasse befindet und beim Standort mit ACMR 8 über Beton sowohl Diesel als auch Elektrobusse verkehren.

Tabelle 6: Vergleich der akustischen Differenzen des Mikrofons 3 (Haltestelle) mit den Mikrofonen 2 (10 m vor der Haltestelle) und 4 (20 m nach der Haltestelle) für die Phase «**Bus im Stillstand**» und für die fünf Messstandorte. Die Werte widerspiegeln Mittelwerte und sind in dB(A) angegeben.

Standort	$\Delta (M3 - M2)$	$\Delta (M3 - M4)$
1. Derendingen Richtung Süd, Waschbeton	2.5	13.6
2. Derendingen Richtung Nord, SDA 8-12 mit Markierung	1.1	keine Msg.
3. Breitenbach, Betonplatten	2.5	6.1
4. Breitenbach, Betonplatten Busbucht	4.3	5.4
5. St. Gallen, ACMR 8 über Betonplatten	1.9	0.4

Direkt bei der Haltestelle wurden im Vergleich zu 10 m vor und 20 m nach der Haltestelle die lautesten Pegel während des Busstillstands gemessen.

Tabelle 7: Vergleich der akustischen Differenzen des Mikrofons 3 (Haltestelle) mit den Mikrofonen 2 (10 m vor der Haltestelle) und 4 (20 m nach der Haltestelle) für die Phase «Bus am Beschleunigen» und für die fünf Messstandorte. Die Werte widerspiegeln Mittelwerte und sind in dB(A) angegeben.

Standort	$\Delta (M3 - M2)$	$\Delta (M3 - M4)$
1. Derendingen Richtung Süd, Waschbeton	3.5	4.1
2. Derendingen Richtung Nord, SDA 8-12 mit Markierung	6.0	keine Msg.
3. Breitenbach, Betonplatten	4.0	-3.0
4. Breitenbach, Betonplatten Busbucht	7.4	0.3
5. St. Gallen, ACMR 8 über Betonplatten	1.0	2.4

Die Busbeschleunigungen im Bereich der Haltestellen führen zu Pegelanstiegen von bis zu 6 dB. Der Standort 5 in St. Gallen weist aufgrund des Anteils an Elektrobussen die kleinste Differenz auf.

4.4 Einfluss Ausführung Fahrbahnhaltstelle

Beim Überrollen von Übergängen und Fugen mit Niveauunterschieden können verstärkte Impulsgeräuschen auftreten, welche zu einer zusätzlichen Lästigkeit führen. Mit geringen Niveauunterschieden der Fahrbahnhaltstellen zum Strassenbelag, kann das immissionsseitige Störmass, insbesondere bei Überfahrten durch beladene Fahrzeuge, verringert werden.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Störwirkung von niveaungleichen Übergängen und Fugen. Grundsätzlich gilt, je leiser der angrenzende Belag ist, desto störender wirken Übergänge und Fugen.

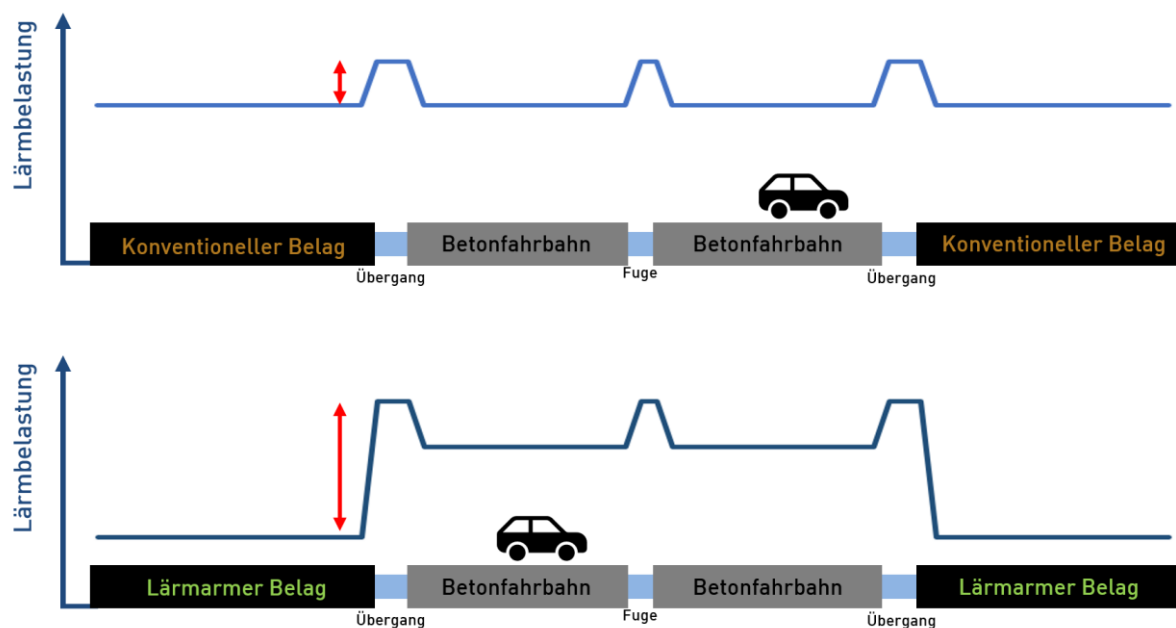


Abbildung 14: Schematische Darstellung des störenden Effekts von Übergängen und Fugen.

4.5 Einfluss Bus-Vorbeifahrt auf den Leq

Das vorliegende Kapitel beschreibt die vorgenommenen Simulationen, um den Einfluss des Bus-Takts auf den Leq aufzuzeigen. Die Simulationen basieren auf den Ereignissen «Bus im Stillstand» und «Bus am Beschleunigen». Der Einfluss der verschiedenen Belagstypen von Fahrbahnhaltestellen wurde für diese Berechnungen nicht mitberücksichtigt. Um die Auswirkung der Anzahl Busse pro Stunde auf den äquivalenten Dauerschallpegel Leq 1h abzuschätzen, wurden die folgenden Modellberechnungen vorgenommen:

→ 4 x Phase «Bus im Stillstand» während je 30 Sekunden + 4 x Phase «Bus am Beschleunigen» während je 5 Sekunden + Phase «Freie Fahrt» während 3460 ($60 \cdot 60 - 4 \cdot 30 - 4 \cdot 5$) Sekunden. → anschließend wurden die Leq's mit und ohne Bus verglichen.

Tabelle 8: Auswirkung der Anzahl Busvorbeifahrten auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel Leq (ohne Einfluss der Fahrbahnoberfläche).

Anzahl Busse pro Stunde	Differenz (Leq ohne Bus - Leq mit Bus) in dB(A)
2	0.0
4	0.0
6	0.1
8	0.1
10	0.1
16	0.1
18	0.2

Im Mittel haben die Busvorbeifahrten keinen Einfluss auf den Leq. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Einzelereignisse, wie die in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen Messresultate bestätigen, dennoch deutlich wahrnehmbar sind.

4.6 Einfluss des Bustyps

Am Standort St. Gallen waren während den Messungen sowohl Diesel als auch Elektrobusse im Einsatz. Direkt bei der Fahrbahnhaltestelle weisen die Elektrobusse während den Phasen Stillstand und Beschleunigung deutlich leisere Pegel auf.

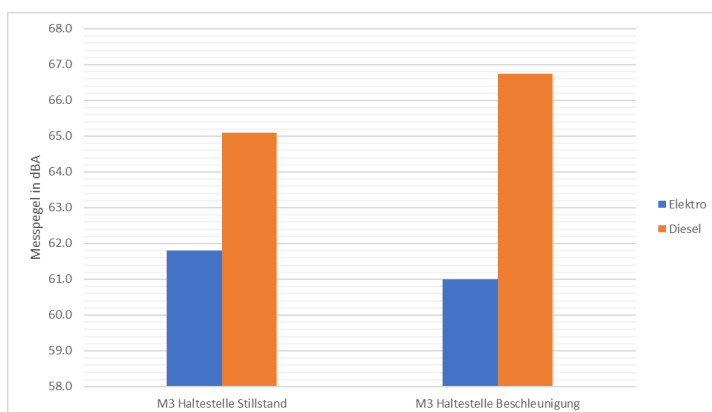


Abbildung 15: Vergleich Elektro- und Dieselbus direkt bei der Fahrbahnhaltestelle für die Phasen Stillstand und Beschleunigung am Standort St. Gallen.

5. Schlussfolgerung

Einfluss der Fahrbahnoberfläche

Je nach Ausführung der Fahrbahnhaltestelle führt die Oberfläche durch den überrollenden Verkehr zu Pegelveränderungen. Grundsätzlich gilt: je grösser die Differenz zum angrenzenden Belag desto störender die Fahrbahnhaltestelle.

Tabelle 9: Auswirkung Ausführung Fahrbahnhaltestelle und angrenzender Belag im Ausbreitungsbereich gegenüber der Situation ohne Fahrbahnhaltestelle für die Phase «Freie Fahrt» (ohne Bus-Vorbeifahrten).

Angrenzender Belag	Oberfläche Fahrbahnhaltestelle	Pegelzunahme	
		> 1dB	> 2dB
SDA 4	Waschbeton	> bis ca. 20m	0m
SDA 4	Beton	bis > 150m	bis ca. 40m
SDA 4	Markierung	0m	0m
SDA 8	Waschbeton	0m	0m
SDA 8	Beton	bis ca. 45m	bis ca. 10m
SDA 8	Markierung	0m	0m
Neutral	Waschbeton	0m	0m
Neutral	Beton	bis > 20m	0m
Neutral	Markierung	0m	0m

Empfehlung Fahrbahnoberfläche

Aus akustischer Sicht wird empfohlen, die Fahrbahnhaltestellen lediglich mit Markierungen (vorliegende Studie Markierung auf SDA oder Markierung auf ACMR 8 über Betonplatte) zu gestalten oder aber mit Waschbeton auszuführen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass mit Waschbeton oder Beton ausgeführte Fahrbahnhaltestellen geringe Niveauunterschiede zum angrenzenden Belag und innerhalb der Fahrbahnhaltestelle aufweist, damit das immissionsseitige Störmass, insbesondere bei Überfahrten durch beladene Fahrzeuge, verringert werden.

Einfluss Bus-Vorbeifahrt

Die einzelnen Busvorbeifahrten können zu deutlich wahrnehmbaren Lärmemissionen führen, insbesondere bei der Bushaltestelle während des Bus-Stillstandes (bis zu + 4 dB) und der Bus-Beschleunigung (bis zu + 10 dB). Für den energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} sind diese Ereignisse mit den Spitzenwerten nicht relevant. Die Einzelereignisse (einzelne Busvorbeifahrten) der verschiedenen Bus-typen «Diesel» und «Elektro» wirken sich stark unterschiedlich aus. Während den Phasen Stillstand und Beschleunigung fallen die Elektrobusse deutlich leiser aus.

Limitierungen

Die obigen Auswertungen beruhen auf Einzelereignissen. Die im vorliegenden Auftrag durchgeführten akustischen Messungen von Fahrbahnhaltestellen zeigen hohe Varianzen der einzelnen Vorbeifahrten auf. Dies ist auf die jeweilige Lage des Motors gegenüber den Mikrofonen, unterschiedlichen Bustypen, unterschiedlich umliegende Bedingungen, etc. zurückzuführen. Die fünf untersuchten Standorte weisen sowohl unterschiedliche Ausführungen der Fahrbahnhaltestellen auf als auch unterschiedliche Gegebenheiten (DTV, Anteil lauter Fahrzeuge, Steigung, etc.), was die Vergleichbarkeit erschwert. Zudem konnte aufgrund des jeweils geringen Verkehrsaufkommens die Phase «Rückstau hinter einem haltenden Bus» messtechnisch nicht genügend abgebildet werden. Allfällige Verkehrsberuhigungen durch die Verlangsamung der gefahrenen Geschwindigkeiten wurden nicht geprüft. Es wird empfohlen, die Datengrundlage mit weiteren Messungen zu erweitern und die Studie fortzuführen.

Grolimund + Partner AG



Tina Saurer



Daniel Schweizer

Anhang

I Dokumentation Busse



II Ergebnispläne CPX-Messungen



