

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch

Studie Lärmdisplay Bern

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214.026665
Auftrag: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 20

Inhaltsverzeichnis

- 1 Ausgangslage und Auftrag
- 2 Situation
- 3 Wetterdaten
- 4 Auswertung der Topo-DD-Lärm Daten
- 5 Diskussion

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa

Dübendorf, 22.03.2021

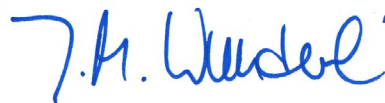
Projektleiter:



Dr. Kurt Heutschi

Abteilung Akustik / Lärmminderung

Abteilungsleiter:



Dr. Jean Marc Wunderli

Leiter Abteilung Akustik / Lärmminderung

1 Ausgangslage und Auftrag

Das BAFU und der TCS prüfen Möglichkeiten zur Sensibilisierung von Fahrzeugführerinnen und -führern hinsichtlich des von ihnen verursachten Lärms bei hochtouriger Fahrweise im siedlungsnahen Gebiet. Eine Möglichkeit bieten Lärmdisplays, die unmittelbar ein allfälliges Überschreiten einer Schallpegelschwelle anzeigen. Im August 2020 beauftragte das BAFU den TCS, die Firma INNOLUTIONS und die Abt. Akustik / Lärminderung der Empa mit der Durchführung eines entsprechenden Experiments in Bern.

Die drei Projektpartner teilten sich die Aufgaben wie folgt:

- TCS: Koordination, Standortevaluation und Kommunikation
- INNOLUTIONS: Bereitstellung, Installation, Betrieb und Datenexport der Mess- und Anzeigeräte Topo-DD-Lärm
- Empa: Analyse und Auswertung der Topo-DD-Lärm-Messdaten sowie Berichterstattung

2 Situation

2.1 Funktionsweise des Mess- und Anzeigesystems Topo-DD-Lärm

Das Messsystem Topo-DD-Lärm von INNOLUTIONS wird am Strassenrand aufgestellt und generiert Protokolle von Fahrzeugvorbeifahrten. Den Ereignissen wird eine Fahrzeugkategorie, eine Geschwindigkeit und ein akustischer Maximalpegel zugeordnet. Das Messmodul kann um eine Anzeigeeinheit erweitert werden, die gestützt auf die Informationen *Geschwindigkeit* und *Maximalpegel* eine "Bewertung" der Vorbeifahrt vornimmt und der das Fahrzeug führenden Person unmittelbar nach der Vorbeifahrt rückmeldet:

- **Danke:** Wenn sowohl die Geschwindigkeit als auch der Maximalpegel unter den vorgegebenen Schwellwerten liegen
- **Langsam!:** Wenn die Geschwindigkeit über und der Maximalpegel unter dem entsprechenden Schwellwert liegt
- **Leise!:** Wenn der Maximalpegel über dem Schwellwert liegt

In der hier eingesetzten Konfiguration wurde der Geschwindigkeitsschwellwert auf 50 km/h, der Maximalpegelschwellwert auf 83 dB gesetzt.

2.2 Geometrie der Installationen

Für den hier beschriebenen Versuch wurden von INNOLUTIONS in Bern an der Bundesgasse zwei temporäre Messpunkte M1 (signalisierte Geschwindigkeit 50 km/h) und M2 (unmittelbar beim Übergang signalisierte Geschwindigkeit 50 auf 40 km/h) (Abbildung 1 bis Abbildung 3) zur akustischen Beobachtung der Vorbeifahrten in Richtung Bundeshaus (nach Osten) eingerichtet. Das die Vorbeifahrten bei M1 bewertende und anzeigende Display wurde zwischen den beiden Messpunkten installiert. Bei beiden Messpunkten ist ein gelber Radstreifen markiert, sodass mit 4.5 m ein etwas grösserer Abstand von der Fahrspurmitte zu den Messpunkten resultiert. Die Mikrophonhöhe betrug an beiden Messpunkten einheitlich 90 cm bezogen auf die Strassenoberfläche. Von besonderem Interesse ist die Frage, ob sich bei aktiviertem Display und allenfalls danach am Messpunkt M2 eine Verhaltensänderung beobachten lässt.

2.3 Phasen des Versuchs

Der ganze Versuch setzte sich aus drei direkt aufeinanderfolgenden Phasen zusammen:

- Phase 1:** Betrieb der Messmodule ohne Display, vom 03.11.2020 bis 09.11.2020
Phase 2: Betrieb der Messmodule mit Display, vom 09.11.2020 bis 23.11.2020
Phase 3: Betrieb der Messmodule ohne Display, vom 23.11.2020 bis 30.11.2020

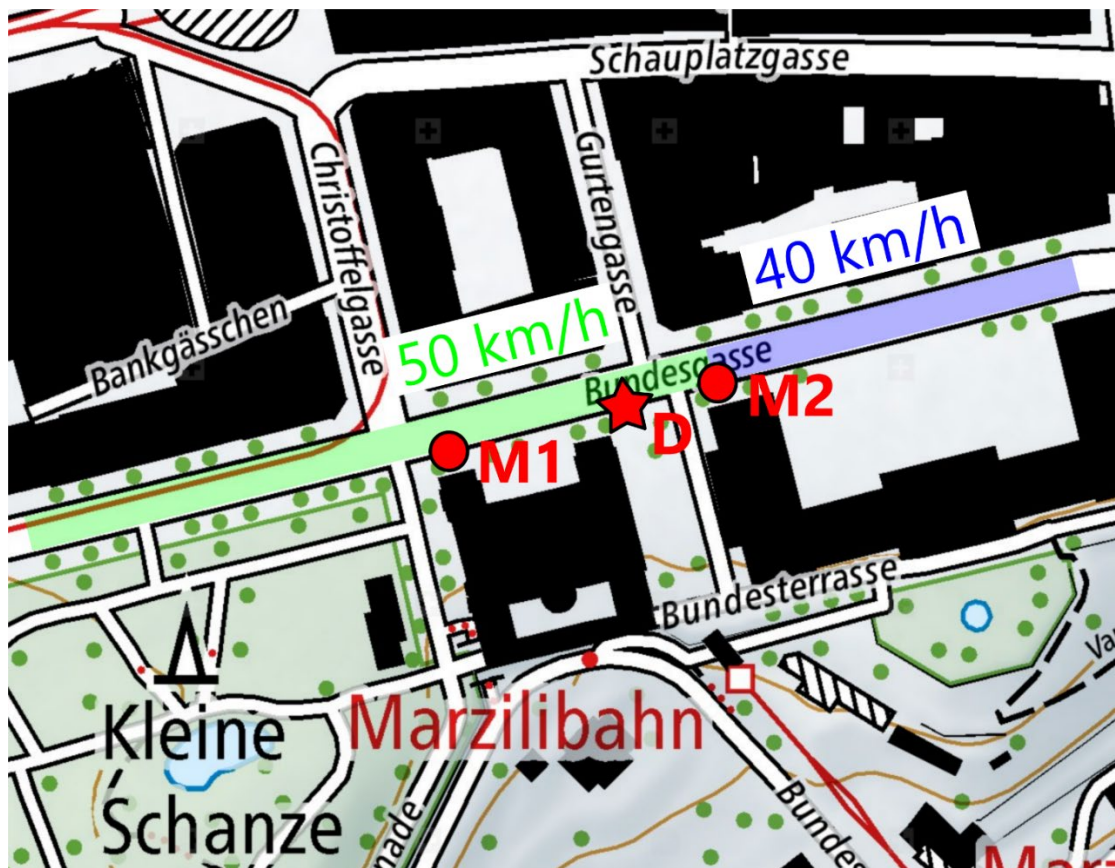


Abbildung 1: Situation der temporären Installation der Messpunkte M1 und M2 sowie des Lärmdisplays D in Bern. Der Messpunkt 1 liegt in einer Tempo 50 Zone, unmittelbar ab Messpunkt 2 ist Tempo 40 signalisiert. Karte: geodata © swisstopo



Abbildung 2: Fotos der beiden Messstellen M1 (links) und M2 (rechts) (Aufn: Dominique Schneuwly, Bafu).



Abbildung 3: Foto mit Blick auf das Display und die Messstelle M2 (Aufn: Dominique Schneuwly, Bafu).

3 Wetterdaten

Um mögliche Wettereinflüsse auf das Fahrverhalten bzw. die akustischen Emissionen abschätzen zu können, werden in Abbildung 4 für die Messperiode die Wetterdaten der automatischen MeteoSchweiz-Station Bern-Zollikofen dargestellt.

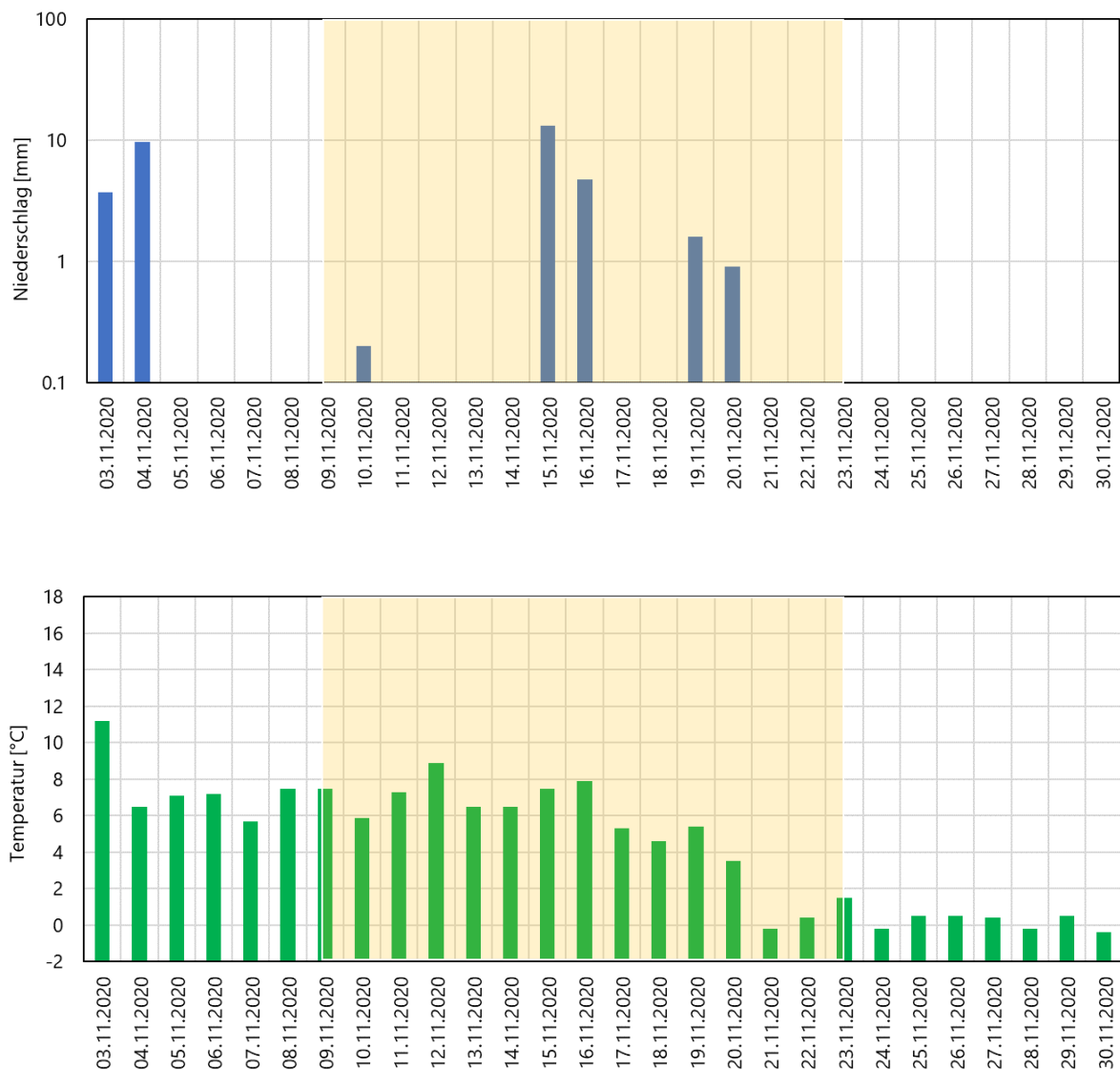


Abbildung 4: Auf jeweils 24 h bezogene Niederschlagsmenge (oben) und Lufttemperatur (unten) gemäss Daten von MeteoSchweiz für die Station Bern-Zollikofen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4 Auswertung der Topo-DD-Lärm Daten

4.1 Protokoll des Messsystems

Die Dokumentation eines Ereignisses umfasst einen Zeitstempel, eine Geschwindigkeitsangabe, die Richtungsinformation, die Fahrzeuglänge und daraus abgeleitet eine Zuordnung zu einer Fahrzeugklasse sowie den akustischen Maximalpegel der Vorbeifahrt (Tabelle 1).

Geschwindigkeit (km/h)	Uhrzeit	Datum	Richtung	Fahrzeug- länge	Fahrzeug- klasse	Fahrzeugklassen- Bezeichnung	Schall (dB)
40	01:23:45	03.11.2020	1	39	7	Pkw	71
25	01:39:42	03.11.2020	1	21	10	Krad	54
23	01:46:02	03.11.2020	1	48	7	Pkw	71
34	01:47:17	03.11.2020	1	47	7	Pkw	66

Tabelle 1: Auszug aus einem Einzelereignis-Datenfile (Pkw = Personenwagen, Krad = Motorrad).

Das Augenmerk liegt hier auf den Personenwagen *Pkw*, die als Klasse 7 eingeordnet werden und den Motorrädern *Krad*, die der Klasse 10 entsprechen.

4.2 Datenauswertung

4.2.1 Allgemeines

Die von INNOLUTIONS für die beiden Messpositionen je in Form einer Excel-Datei bereitgestellten Ereignislisten umfassen am Messpunkt 1 etwas mehr als 54'000 Vorbeifahrten, davon sind 6'000 Motorräder und 32'000 PWs. Die übrigen Ereignisse teilen sich auf in 2'700 Busse, 5'700 Lieferwagen, 6'400 LKW, 400 PWs mit Anhänger, 800 Sattel-KFZ und einige nichtklassierte Fahrzeuge. Am Messpunkt 2 lagen die Verkehrsmengen etwas höher. Diese Daten wurden in Matlab eingelesen und eine tageweise, fahrzeugklassenspezifische Analyse vorgenommen. Diese Analyse liefert für die Motorrad- und PW-Vorbeifahrten eines jeden Messtages

- die Fahrzeugmengen
- die Geschwindigkeitsverteilung, ausgedrückt durch die Perzentilwerte 1% , 5%, 10%, 20% und 50%
- die Pegelverteilung, ausgedrückt durch die Perzentilwerte 1% , 5%, 10%, 20% und 50%

Der Perzentilwert x% wird hier als jener Wert verstanden, der von x% der Ereignisse überschritten wird. Die folgenden Abschnitte zeigen die gefundenen Ergebnisse und Analysen.

4.2.2 Fahrzeugmengen

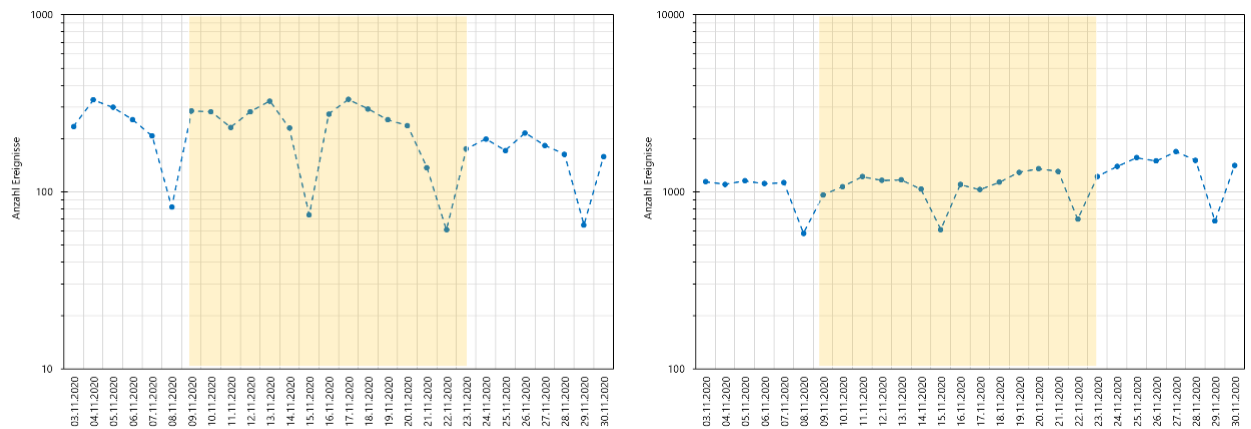


Abbildung 5: Erfasste Tages-Fahrzeugmengen am Messpunkt 1 (links: Motorräder, rechts: Personenwagen).

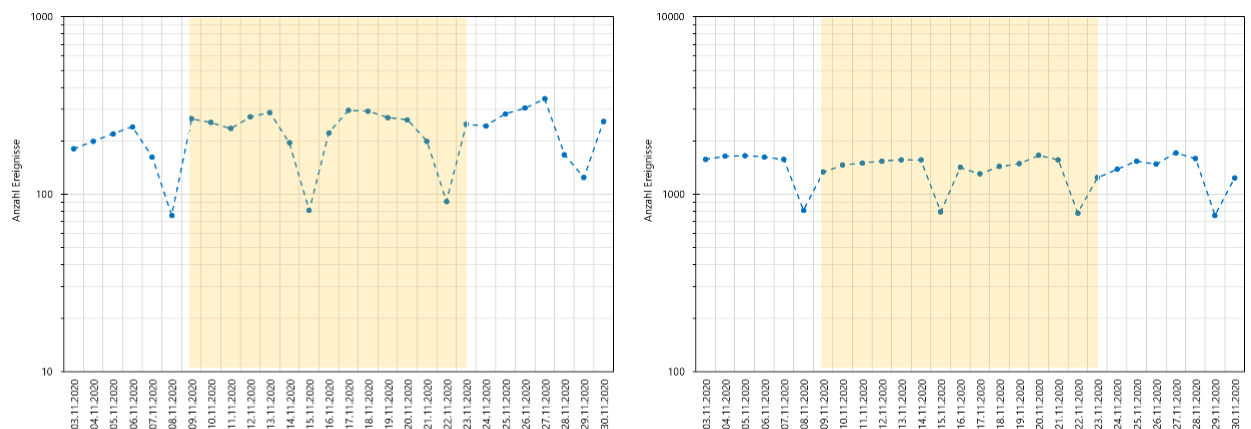


Abbildung 6: Erfasste Tages-Fahrzeugmengen am Messpunkt 2 (links: Motorräder, rechts: Personenwagen).

Sowohl die Motorrad- als auch die Personenwagen-Mengen weisen einen ausgeprägten Wochengang mit einem Minimum an Sonntagen auf. Am Messpunkt 2 liegen die Motorradmengen leicht, die Personenwagenmengen deutlich über den Werten am Messpunkt 1. Die Differenz dürfte auf Fahrzeuge zurückzuführen sein, die aus der Gurtengasse auf die Bundesgasse in Richtung Ost einbiegen. Diese Fahrzeuge passieren den Messpunkt 2 ohne Displayerfahrung, dürften allerdings so kurz nach dem Einbiegemanöver noch relativ tiefe Geschwindigkeiten aufweisen.

4.2.3 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Motorräder am Messpunkt 1 (50 km/h)

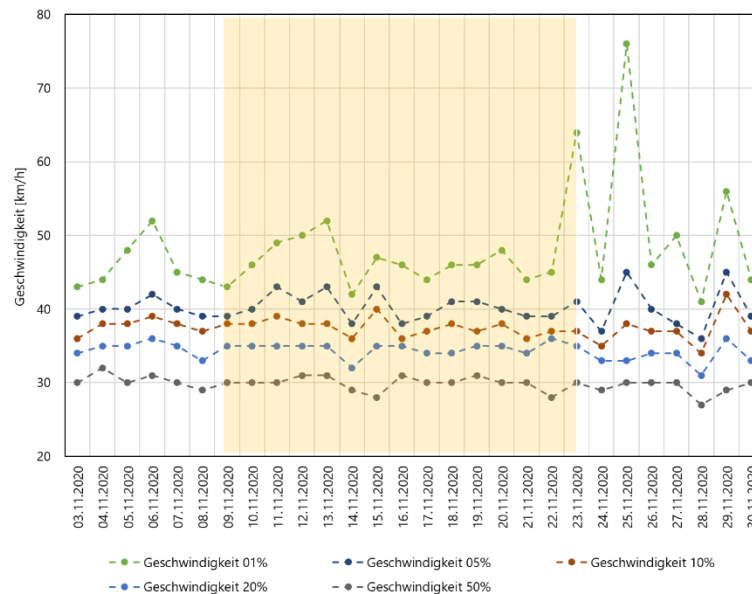


Abbildung 7: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display. Lesebeispiel: am 13.11.2020 fuhren die langsamsten 50% der Motorräder höchstens 31 km/h, die 1% schnellsten sind mit mehr als 52 km/h unterwegs. Bei durchschnittlich rund 200 Motorrädern pro Tag wird das 1% Perzentil durch sehr wenige Fahrzeuge bestimmt, sodass hohe Spitzen entstehen können (25.11).

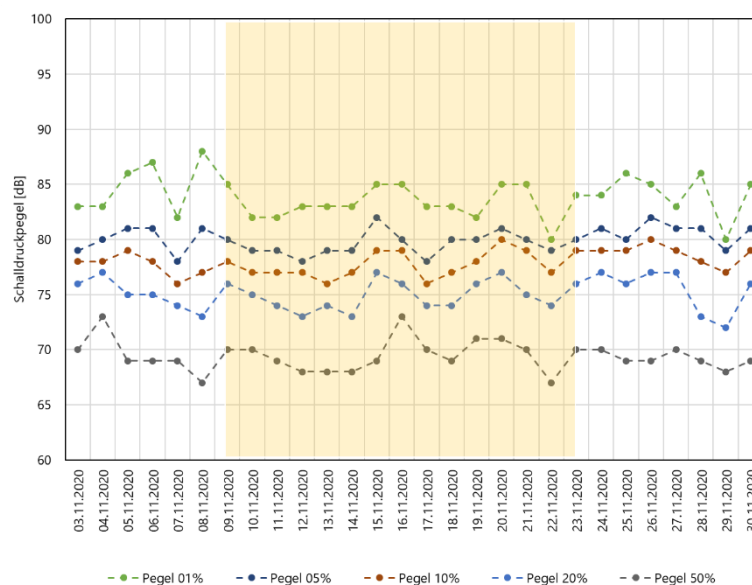


Abbildung 8: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display. Lesebeispiel: am 13.11.2020 erzeugten die leisesten 50% der Motorräder einen Schalldruckpegel von weniger als 68 dB, die 1% lautesten erzeugten mehr als 83 dB.

4.2.4 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Motorräder am Messpunkt 2 (50/40 km/h)

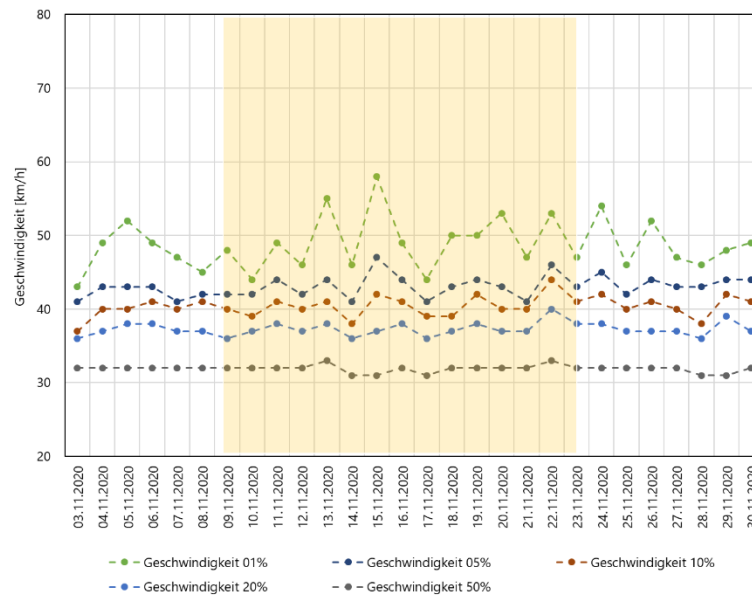


Abbildung 9: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

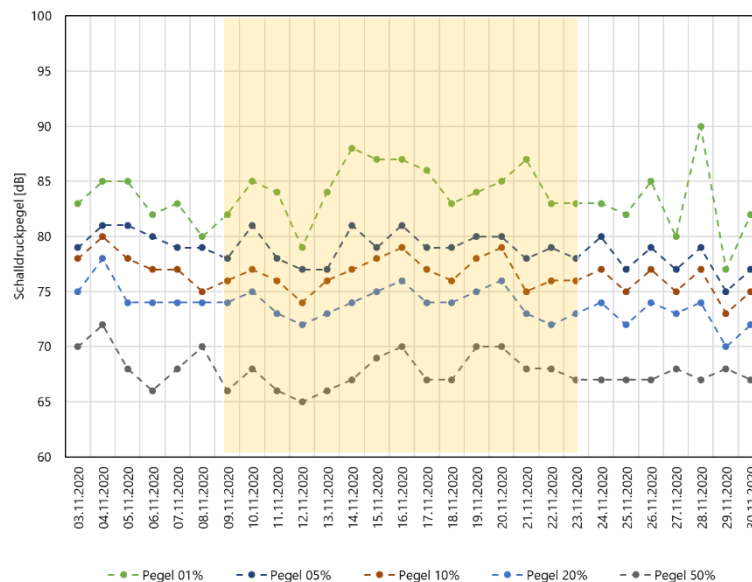


Abbildung 10: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4.2.5 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Personenwagen am Messpunkt 1 (50 km/h)

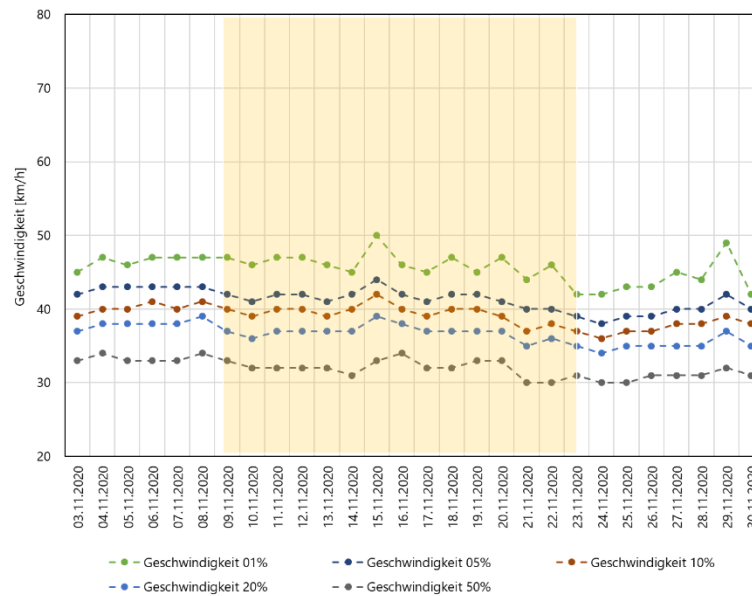


Abbildung 11: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

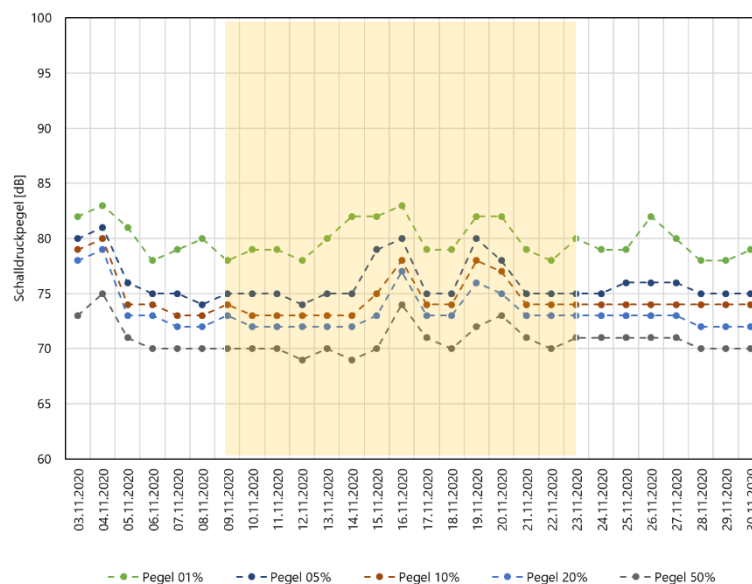


Abbildung 12: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4.2.6 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Personenwagen am Messpunkt 2 (50/40 km/h)

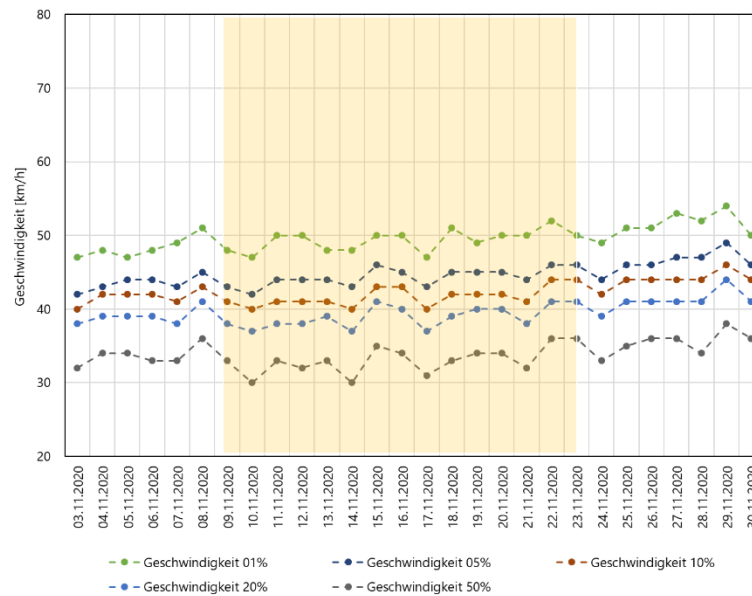


Abbildung 13: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

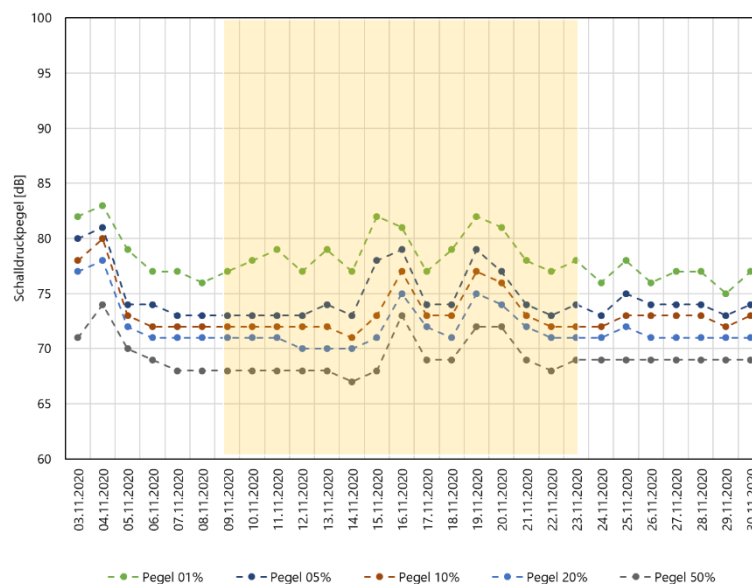


Abbildung 14: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4.2.7 Pegelverteilungen als Histogramme am Messpunkt 1

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind pro Phase die vollständigen Verteilungen der gemessenen Vorbeifahrtpegel am Messpunkt 1 für Motorräder bzw. Personenwagen gezeigt. Im Vergleich zu den PWs ist die Verteilung der Motorradereignisse bedeutend breiter.

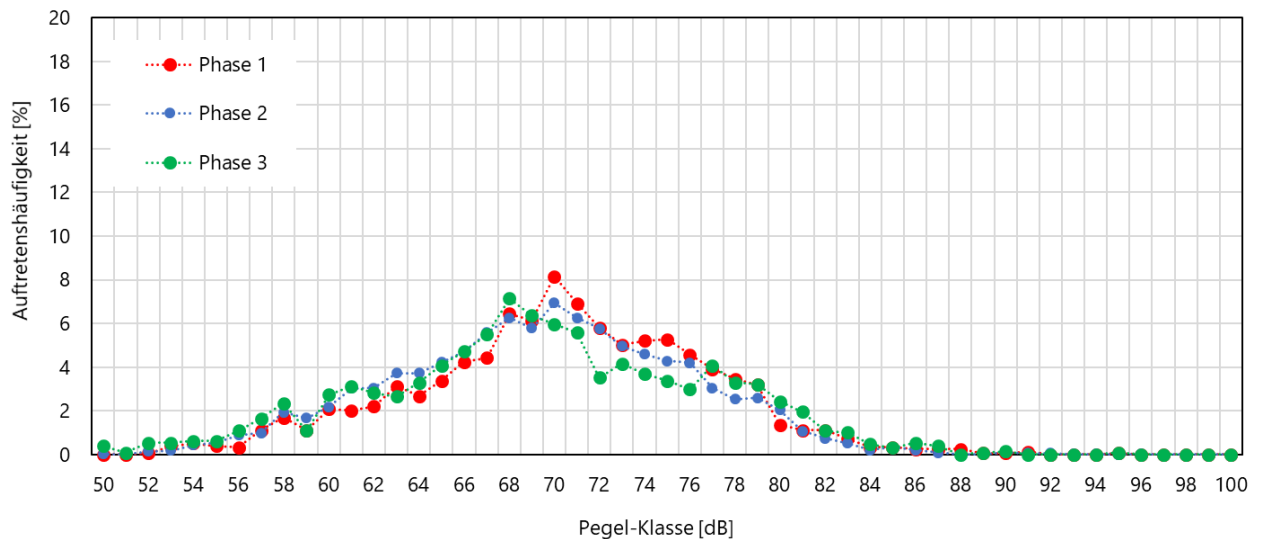


Abbildung 15: Phasenabhängige Pegelverteilung der Motorradereignisse am Messpunkt 1.

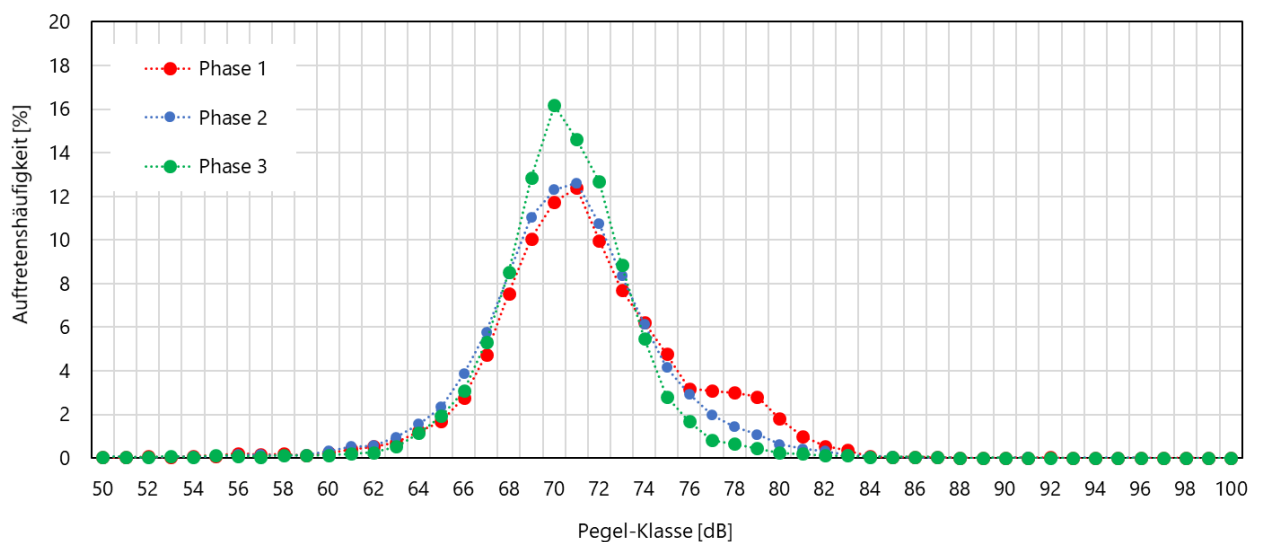


Abbildung 16: Phasenabhängige Pegelverteilung der PW-Ereignisse am Messpunkt 1.

4.2.8 Pegelverteilungen als Histogramme am Messpunkt 2

In Abbildung 17 und Abbildung 18 sind pro Phase die vollständigen Verteilungen der gemessenen Vorbeifahrtpegel am Messpunkt 2 für Motorräder bzw. Personenwagen gezeigt. Im Vergleich zu den PWs ist die Verteilung der Motorradereignisse bedeutend breiter.

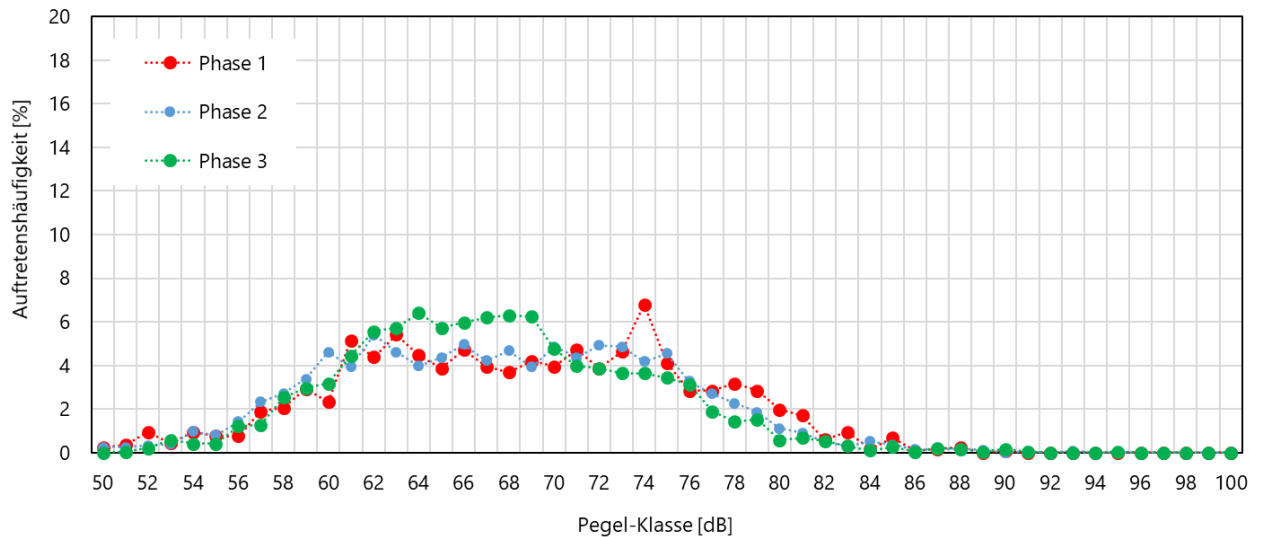


Abbildung 17: Phasenabhängige Pegelverteilung der Motorradereignisse am Messpunkt 2.

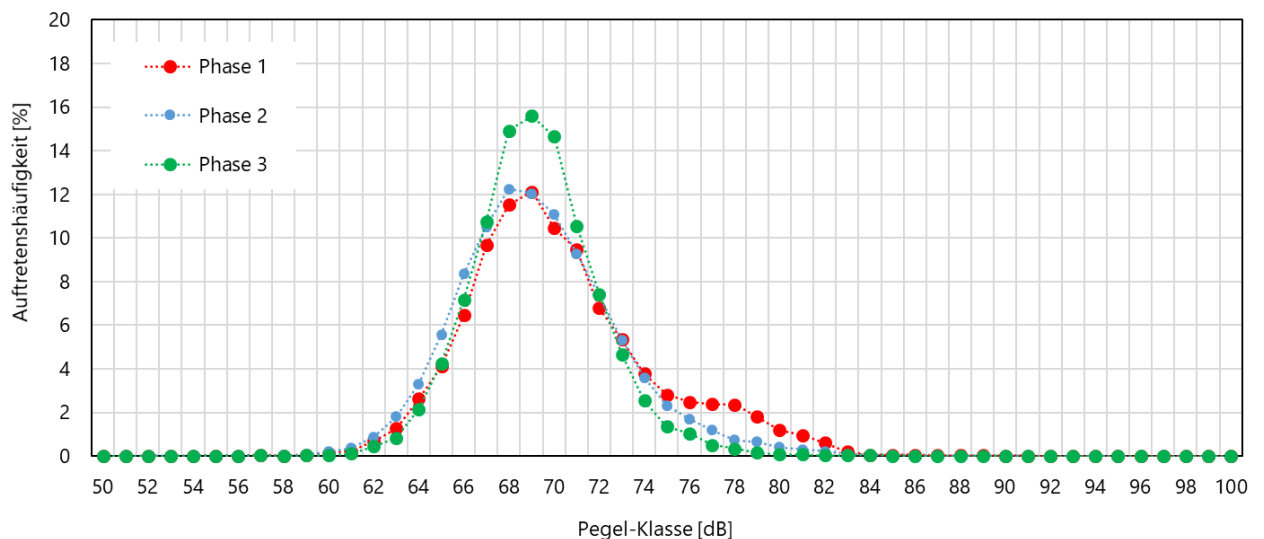


Abbildung 18: Phasenabhängige Pegelverteilung der PW-Ereignisse am Messpunkt 2.

4.2.9 Displaymeldungen am Messpunkt 1

Ausgewertet über die Messperiode mit aktiviertem Display zeigen Tabelle 2 und Tabelle 3 die Gesamtzahlen der erfassten Motorrad- und PW-Vorbeifahrten und die durch den Messpunkt 1 gesteuerte Anzahl Displaymeldungen.

	Gesamtzahl M.rad	Anzahl M.rad "zu laut"	Anzahl M.rad "zu schnell"	Anzahl M.rad "zu laut" und "zu schnell"
absolut	3'241	39	28	1
in Prozent bzgl. Gesamtzahl	100	1.2	0.9	0.03

Tabelle 2: Gesamtzahl und Anteile an Motorrad-Vorbeifahrten mit Displaymeldungen.

	Gesamtzahl PW	Anzahl PW "zu laut"	Anzahl PW "zu schnell"	Anzahl PW "zu laut" und "zu schnell"
absolut	15'280	56	38	1
in Prozent bzgl. Gesamtzahl	100	0.4	0.2	0.007

Tabelle 3: Gesamtzahl und Anteile an PW-Vorbeifahrten mit Displaymeldungen.

4.2.10 Mittelwerte der Geschwindigkeits- und Schalldruckpegelperzentilwerte für die Motorräder

Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen für die Motorräder die Mittelwerte der oben gezeigten tageweisen Perzentilgrössen für die drei Perioden "vor Aktivierung des Displays", "während aktiviertem Display" und "nach Aktivierung des Displays".

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	46.0	40.0	37.7	34.7	30.3	84.8	80.0	77.7	75.0	69.5
Während Aktivierung	47.5	40.3	37.5	34.7	29.9	83.3	79.6	77.7	74.9	69.5
Nach Aktivierung	51.0	40.0	37.1	33.4	29.3	84.1	80.7	78.7	75.4	69.1

Tabelle 4: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die Motorradereignisse am Messpunkt 1 (50 km/h).

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	47.5	42.2	39.8	37.2	32.0	83.0	79.8	77.5	74.8	69.0
Während Aktivierung	49.3	43.1	40.5	37.3	31.9	84.5	79.0	76.7	73.9	67.6
Nach Aktivierung	48.9	43.6	40.6	37.3	31.7	82.7	77.7	75.6	72.7	67.3

Tabelle 5: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die Motorradereignisse am Messpunkt 2 (50/40 km/h).

4.2.11 Mittelwerte der Geschwindigkeits- und Schalldruckpegelperzentilwerte für die PW

Tabelle 6 bis Tabelle 7 zeigen für die Personenwagen die Mittelwerte der oben gezeigten tageweisen Perzentilgrössen für die drei Perioden "vor Aktivierung des Displays", "während aktiviertem Display" und "nach Aktivierung des Displays".

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	46.5	42.8	40.2	38.0	33.3	80.5	76.8	75.5	74.5	71.5
Während Aktivierung	46.0	41.4	39.3	36.8	32.0	80.0	76.1	74.5	73.3	70.7
Nach Aktivierung	44.0	39.7	37.6	35.1	30.9	79.3	75.4	74.0	72.6	70.6

Tabelle 6: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 1 (50 km/h).

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	48.3	43.5	41.7	39.0	33.7	79.0	75.8	74.5	73.3	70.0
Während Aktivierung	49.3	44.3	41.7	38.9	33.1	78.8	74.7	73.1	71.7	69.1
Nach Aktivierung	51.4	46.4	44.0	41.1	35.4	76.6	73.9	72.7	71.1	69.0

Tabelle 7: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 2 (50/40 km/h).

4.2.12 Perzentilpegel als Differenzen zu Phase 1

Mit Phase 1 (Messbetrieb vor Displayaktivierung) als Referenz lassen sich aus den Mittelwerten der tagesweisen Perzentilpegel für die Phasen 2 (aktiviertes Display) und 3 (deaktiviertes Display) Differenzen bilden, die als Displaywirkung interpretiert werden können (Abbildung 19, Abbildung 20). Im Unterschied zu der Auswertung in Tabelle 4 bis Tabelle 7 wurden hier nur die regenfreien Tage berücksichtigt. In der Kategorie PW liegen diese Differenzen an beiden Messpunkten nahe bei 0. Bei den Motorrädern zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Am hinter dem Display liegenden Messpunkt 2 sind jedoch mit Ausnahme des durch wenige Ereignisse gebildeten 1% Perzentils die Differenzen systematisch negativ und suggerieren damit eine erwünschte Wirkung des Displays.

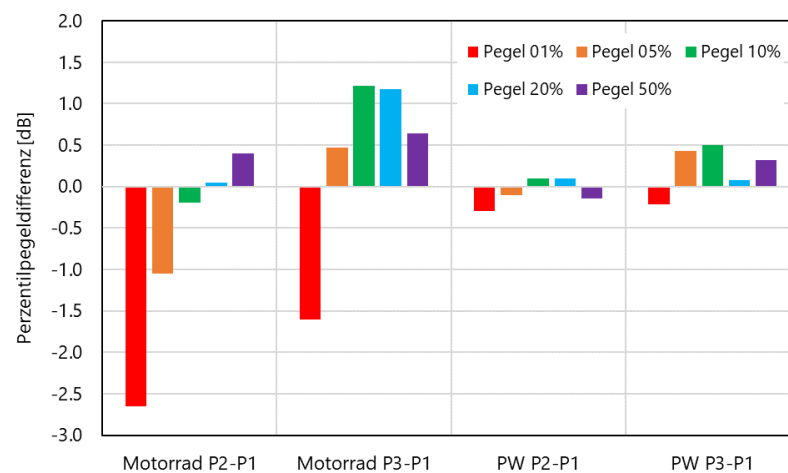


Abbildung 19: Perzentilpegeldifferenzen (1, 5, 10, 20, 50%) am Messpunkt 1 für die beiden Fahrzeugkategorien Motorräder und PW. P2-P1 steht für Phase 2 minus Phase 1, P3-P1 ist Phase 3 minus Phase 1.

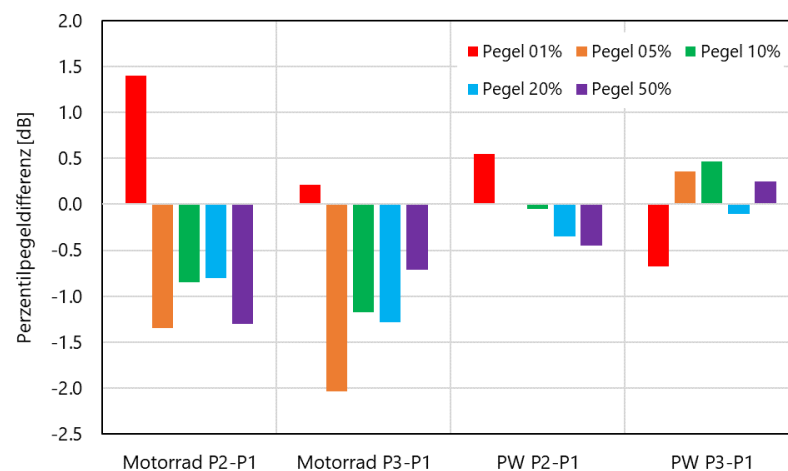


Abbildung 20: Perzentilpegeldifferenzen (1, 5, 10, 20, 50%) am Messpunkt 2 für die beiden Fahrzeugkategorien Motorräder und PW. P2-P1 steht für Phase 2 minus Phase 1, P3-P1 ist Phase 3 minus Phase 1.

4.2.13 Geschwindigkeitsmodelle für Motorräder und PW

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Geschwindigkeit/Schalldruckpegel-Messpaare an den beiden Standorten für Motorräder und PW. Man beachte, dass Topo-DD-Lärm sowohl die Geschwindigkeiten als auch die Schalldruckpegel nur als ganzzahlige Werte ausweist. Auffallend an beiden Standorten und sowohl für PW als auch Motorräder ist die sehr schwache Korrelation zwischen Schalldruckpegel und Geschwindigkeit. Dies deutet darauf hin, dass hier andere Einflussfaktoren, wie Beschleunigung oder Störgeräusche eine wichtige Rolle spielen. Möglicherweise wurde zeitweise auch der Radstreifen befahren, sodass als Folge des bedeutend kleineren Abstands zum Mikrophon höhere Pegel resultierten.

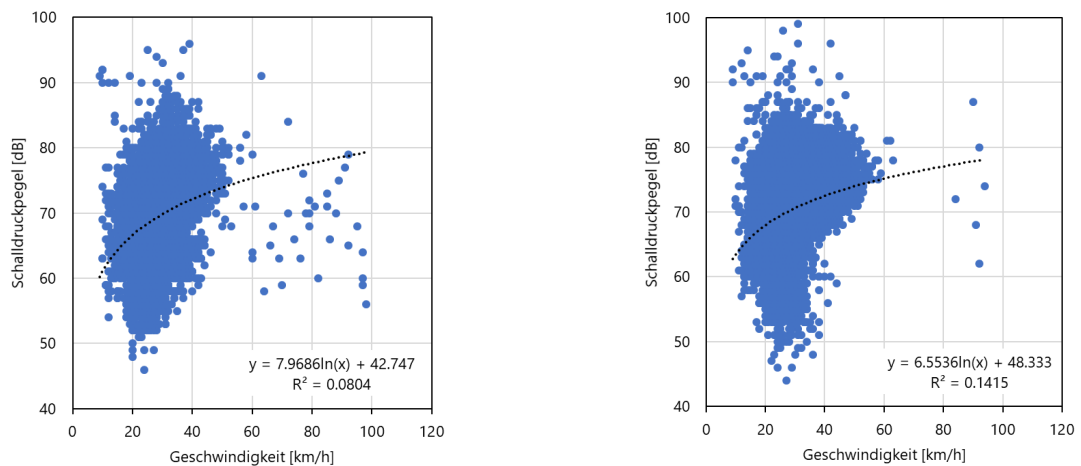


Abbildung 21: X-Y Darstellung der Geschwindigkeit/Schalldruckpegel-Paare am Messpunkt 1 für die Motorräder (links) und PW (rechts).

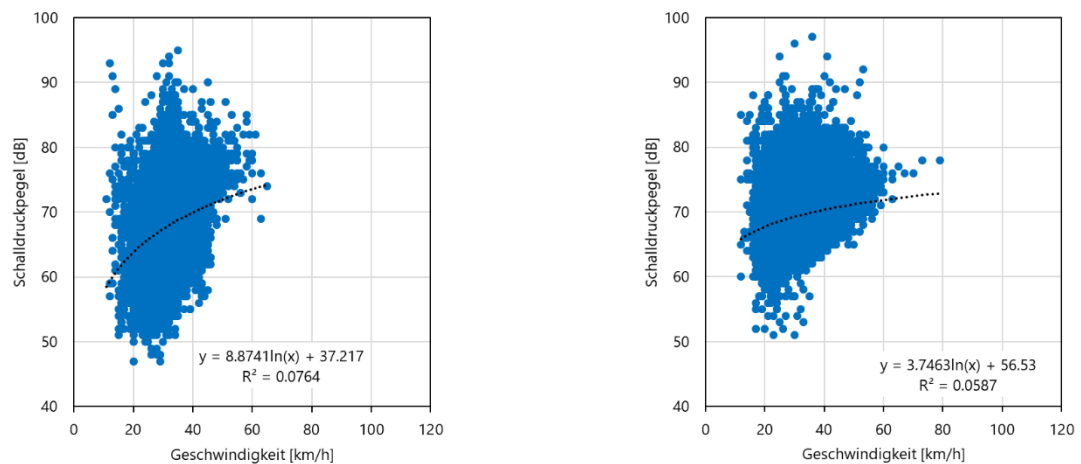


Abbildung 22: X-Y Darstellung der Geschwindigkeit/Schalldruckpegel-Paare am Messpunkt 2 für die Motorräder (links) und PW (rechts).

5 Diskussion

Die Analyse der Schalldruckpegel-Perzentilwerte bzw. der Histogramme bestätigt die Erfahrungstatsache, dass wenige laute Fahrzeuge sehr viel höhere Pegel als das Medianfahrzeug verursachen. Bei Motorrädern ist die 1%→50% Spanne mit rund 15 dB deutlich grösser als bei Personenwagen mit etwa 9 dB.

Die an regenfreien Tagen während den Phasen 2 (aktiviertes Display) und 3 (nach Displayaktivierung) gemessenen Perzentilpegel unterscheiden sich in der Kategorie PW an beiden Messstandorten nicht wesentlich von jenen aus Phase 1. Bei den Motorrädern sind am Messpunkt 1 ebenfalls keine systematischen Unterschiede zwischen den Phasen zu erkennen, am Messpunkt 2 dagegen liegen die Werte mit Ausnahme des 1% Perzentils während Phase 2 und 3 rund 1 dB tiefer als während Phase 1.

Die beobachtete Streuung der Vorbeifahrtpegel ist ungewöhnlich hoch, entsprechend ist die Korrelation zwischen Vorbeifahrtpegel und Geschwindigkeit ungewöhnlich tief.