

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

Studie Lärmdisplay Meiringen

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214.027943
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, 15.11.2021

Projektleiter:



Dr. Kurt Heutschi

Abteilung Akustik / Lärminderung

Abteilungsleiter:



Dr. Jean Marc Wunderli

Leiter Abteilung Akustik / Lärminderung

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 2021 beauftragte das BAFU den TCS, die Firma INNOLUTIONS und die Abt. Akustik / Lärminderung der Empa mit der Durchführung eines entsprechenden Experiments in Meiringen.

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 80 km/h, der Maximalpegelschwellwert auf 83 dB gesetzt.

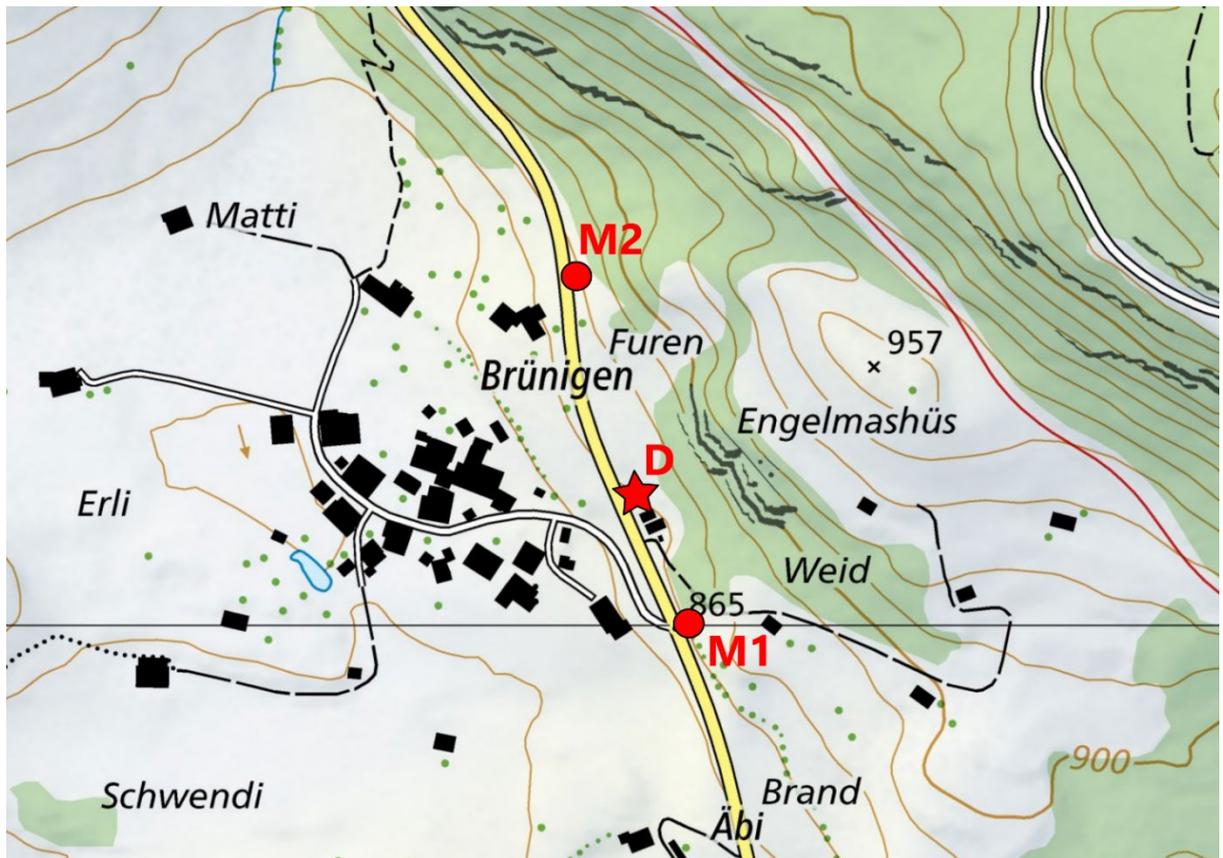
2.2 Geometrie der Installationen

Für den hier beschriebenen Versuch wurden von INNOLUTIONS in Brünigen an der Brünigpassstrasse zwei temporäre Messpunkte M1 und M2 (beide bei signalisierter Geschwindigkeit 80 km/h) zur akustischen Beobachtung der Vorbeifahrten in Richtung Brünigpass eingerichtet (Abbildung 1 bis Abbildung 4). Das die Vorbeifahrten bei M1 bewertende und anzeigende Display wurde zwischen den beiden Messpunkten installiert. Die Mikrofonhöhe 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:

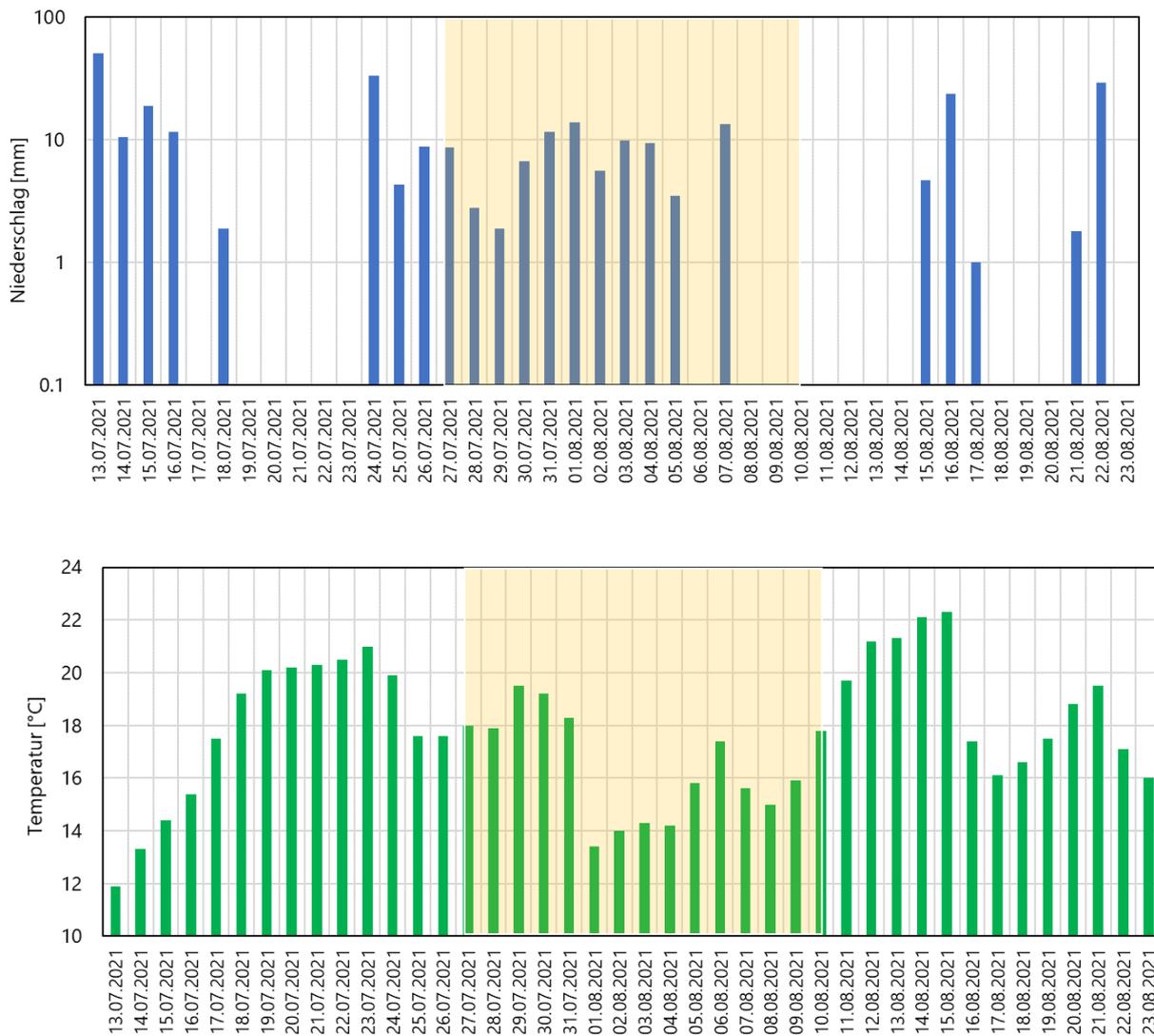
- Phase 1:** Betrieb der Messmodule ohne Display, vom 13.07.2021 bis 27.07.2021
Phase 2: Betrieb der Messmodule mit Display, vom 27.07.2021 bis 10.08.2021
Phase 3: Betrieb der Messmodule ohne Display, vom 10.08.2021 bis 23.08.2021





3 Wetterdaten

Um mögliche Wettereinflüsse auf das Fahrverhalten bzw. die akustischen Emissionen abschätzen zu können, werden in Abbildung 5 für die Messperiode die Wetterdaten der automatischen MeteoSchweiz-Station Meiringen dargestellt.



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	Fahrzeuglänge	Fahrzeugklasse	Fahrzeugklassen-Bezeichnung	Schall (dB)
72	18:54:41	20.07.2021	1	41	7	Pkw	70
74	18:57:18	20.07.2021	1	42	7	Pkw	70
74	18:58:11	20.07.2021	1	20	10	Krad	69
81	18:58:31	20.07.2021	1	17	10	Krad	68

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 rund 72'000 Vorbeifahrten, davon sind 11'033 Motorräder und 53'432 PWs. Die übrigen Ereignisse teilen sich auf in 106 Busse, 5'480 Lieferwagen, 744 LKW, 858 PWs mit einem Anhänger, 160 Sattel-KFZ und einige nicht klassierte Fahrzeuge. Am Messpunkt 2 lagen die Verkehrsmengen bei den PW's um 4%, bei den Motorrädern um 0.7% höher. Diese Daten wurden in Matlab eingelesen und es wurde 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

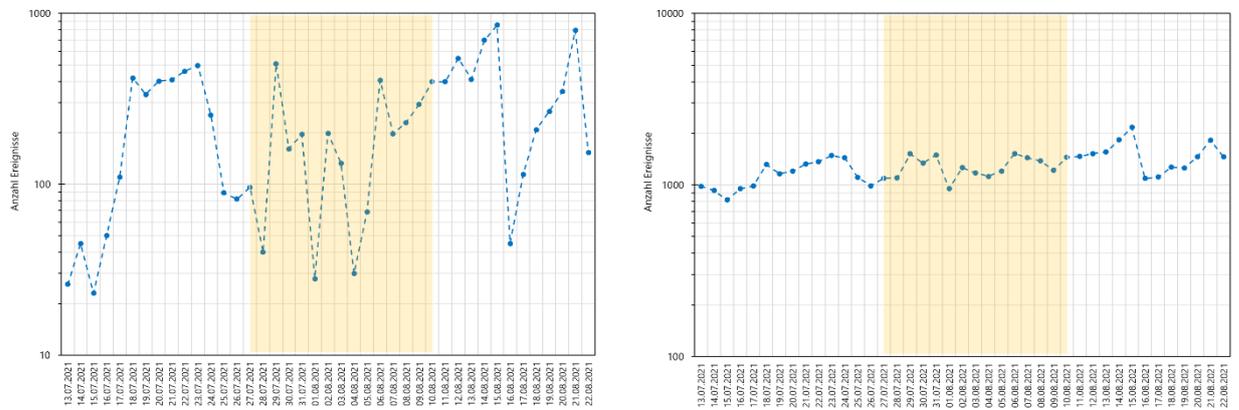


Abbildung 6: Erfasste Tages-Fahrzeugmengen am Messpunkt 1 (links: Motorräder, rechts: Personenwagen).

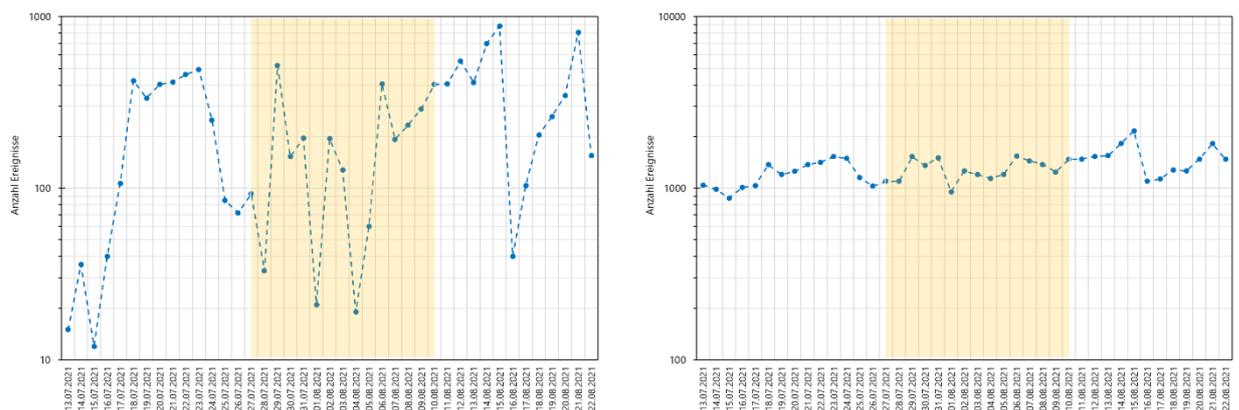


Abbildung 7: Erfasste Tages-Fahrzeugmengen am Messpunkt 2 (links: Motorräder, rechts: Personenwagen).

Wie oben bereits festgestellt, differieren im Mittel die jeweiligen Fahrzeugmengen an den beiden Messpunkten höchstens um wenige Prozent. Von Tag zu Tag variieren die Motorradmengen beträchtlich, wobei sich ein Zusammenhang mit den Niederschlagstagen aus Abbildung 5 erkennen lässt. Die Personenwagenmengen dagegen sind über die ganze Messperiode relativ konstant.

4.2.3 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Motorräder am Messpunkt 1

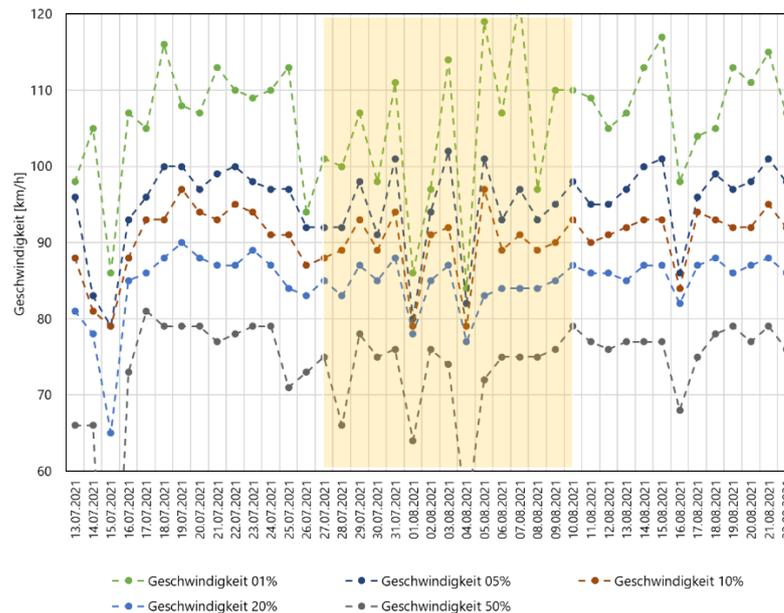


Abbildung 8: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display. Lesebeispiel: am 20.07.2021 fuhren die langsamsten 50% der Motorräder höchstens 79 km/h, die 1% schnellsten waren mit mehr als 108 km/h unterwegs. An Tagen mit wenigen Motorrädern wird das 1% Perzentil durch sehr wenige Fahrzeuge bestimmt, sodass hohe Spitzen entstehen können.

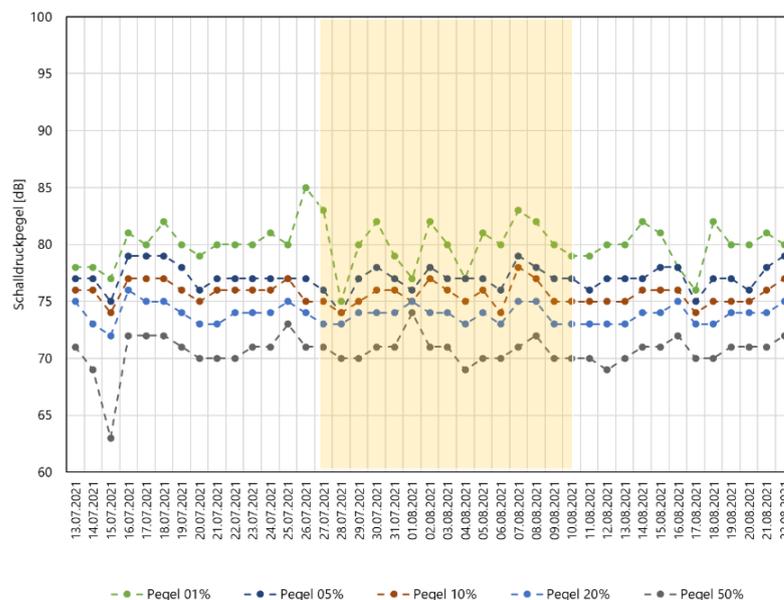


Abbildung 9: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display. Lesebeispiel: am 20.07.2021 erzeugten die leisesten 50% der Motorräder einen Schalldruckpegel von weniger als 70 dB, die 1% lautesten erzeugten mehr als 79 dB.

4.2.4 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Motorräder am Messpunkt 2

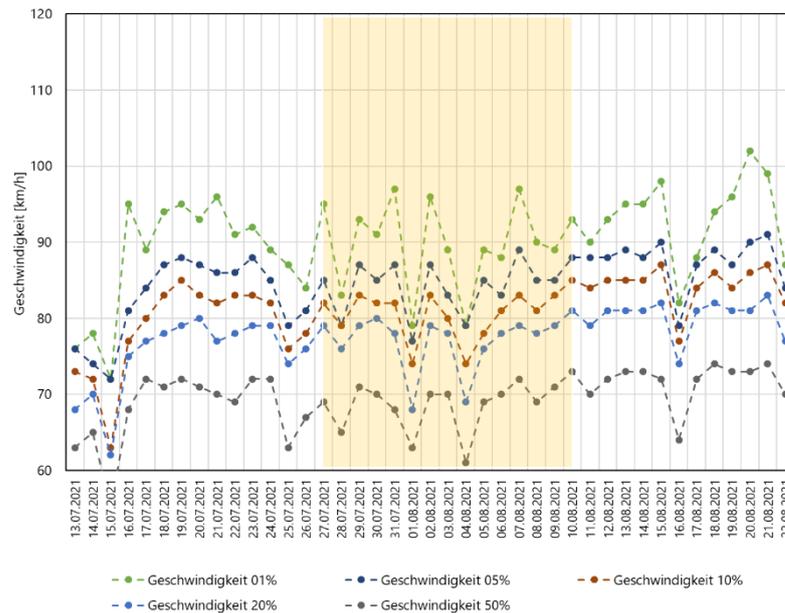


Abbildung 10: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

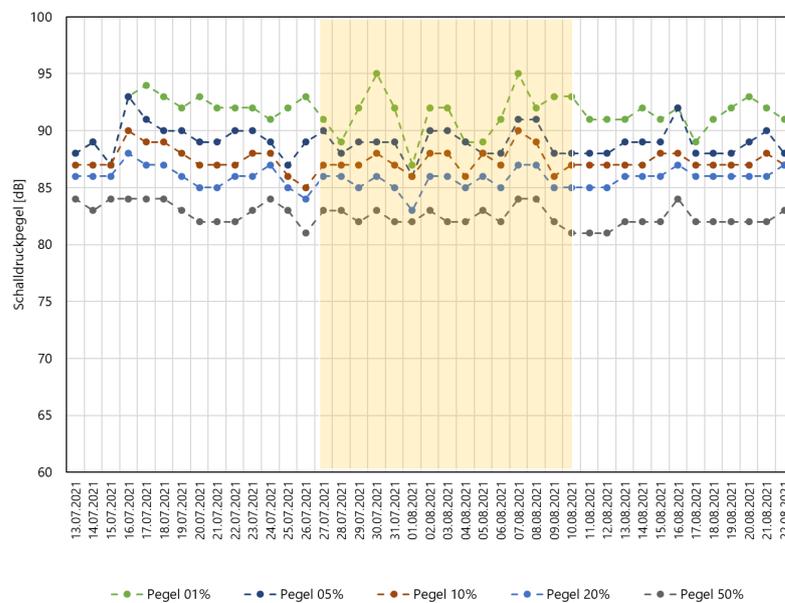


Abbildung 11: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die Motorrad-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4.2.5 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Personenwagen am Messpunkt 1

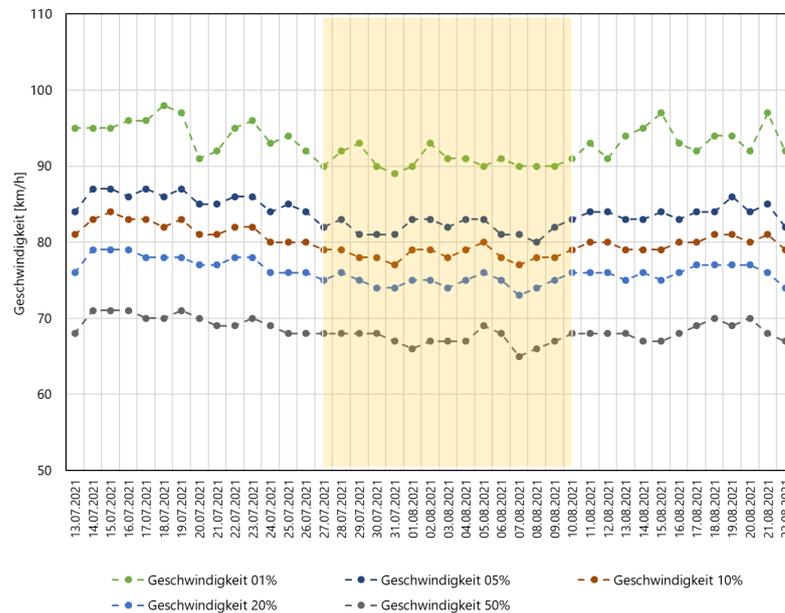


Abbildung 12: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

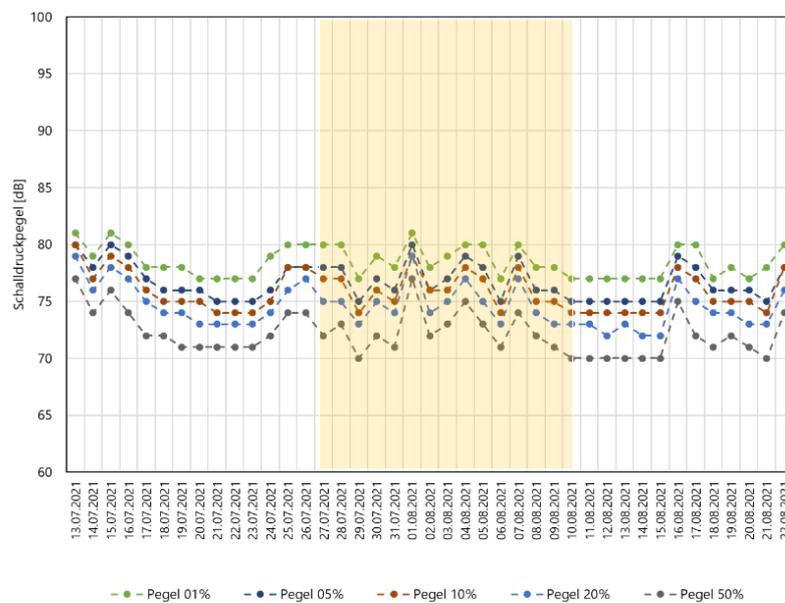


Abbildung 13: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 1. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4.2.6 Geschwindigkeiten und Schalldruckpegel der Personenwagen am Messpunkt 2

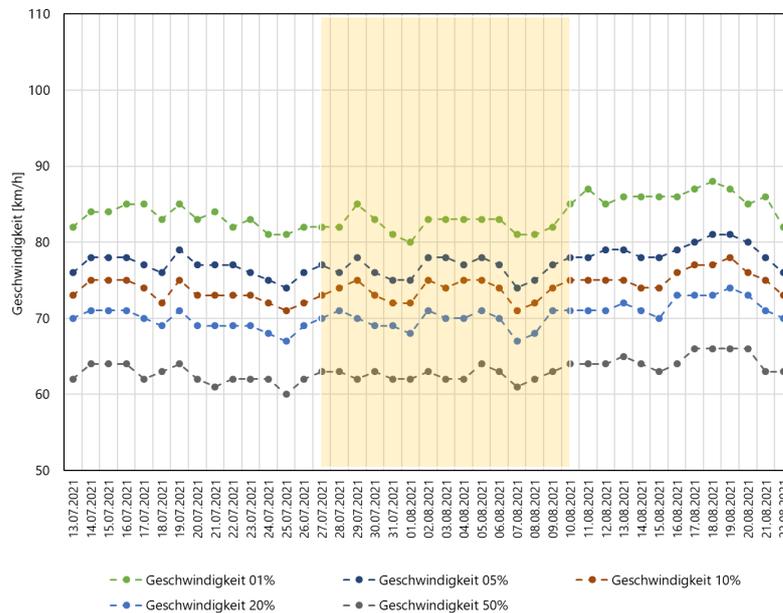


Abbildung 14: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

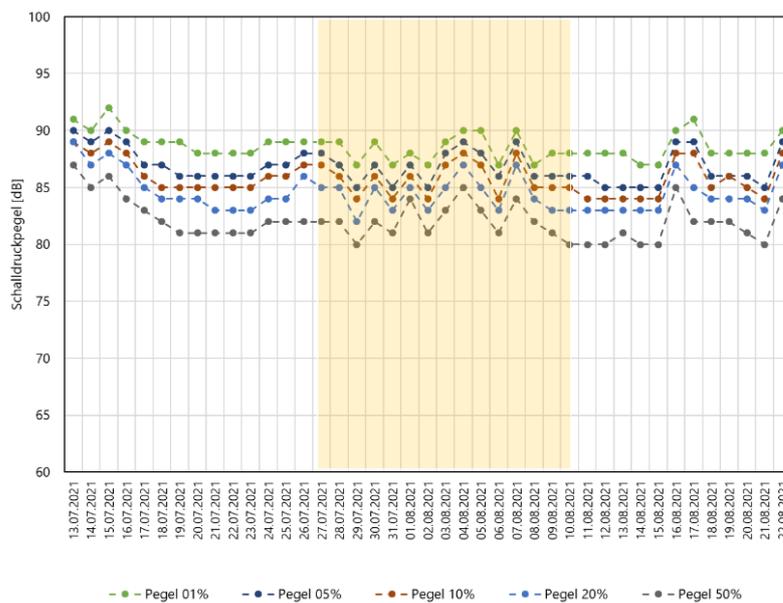


Abbildung 15: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 2. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

4.2.7 Pegelverteilungen als Histogramme am Messpunkt 1

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind pro Phase die vollständigen Verteilungen der gemessenen Vorbeifahrtpegel am Messpunkt 1 für Motorräder bzw. Personenwagen gezeigt.

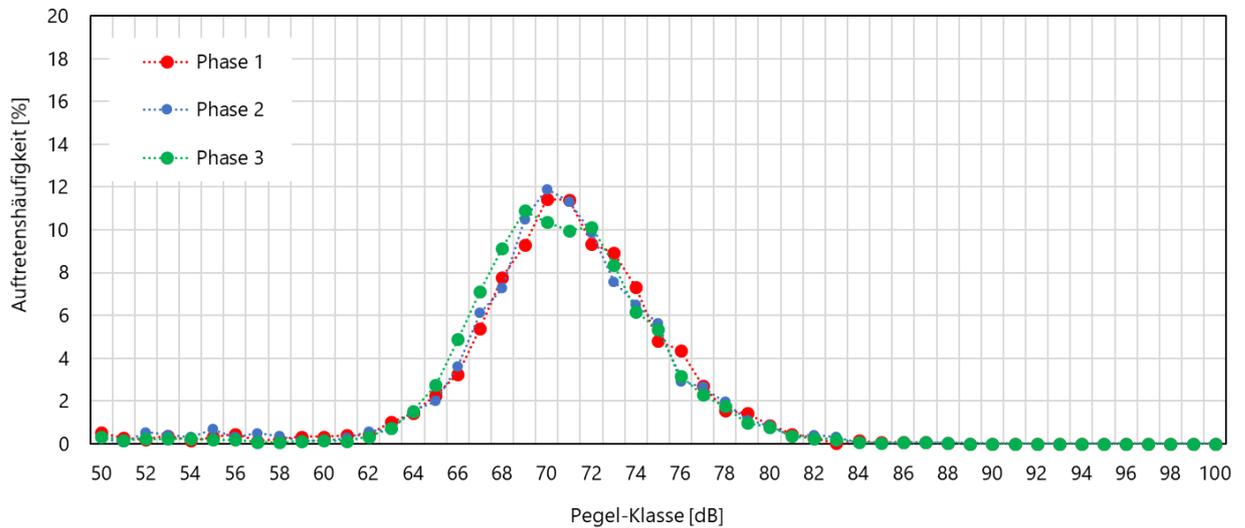


Abbildung 16: Phasenabhängige Pegelverteilung der Motorradereignisse am Messpunkt 1.

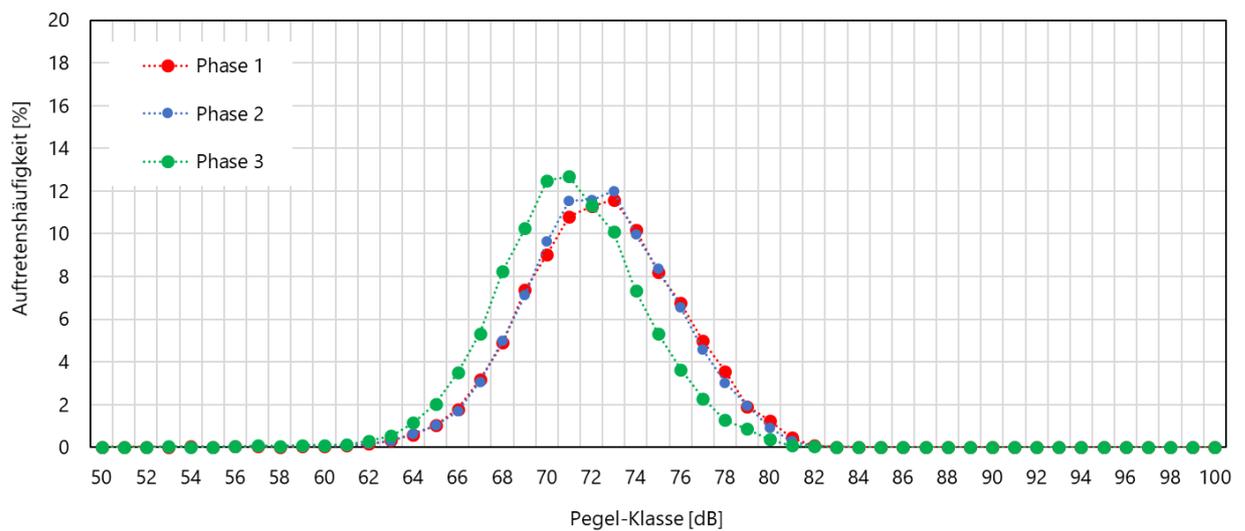


Abbildung 17: Phasenabhängige Pegelverteilung der PW-Ereignisse am Messpunkt 1.

4.2.8 Pegelverteilungen als Histogramme am Messpunkt 2

In Abbildung 18 und Abbildung 19 sind pro Phase die vollständigen Verteilungen der gemessenen Vorbeifahrtpegel am Messpunkt 2 für Motorräder bzw. Personenwagen gezeigt.

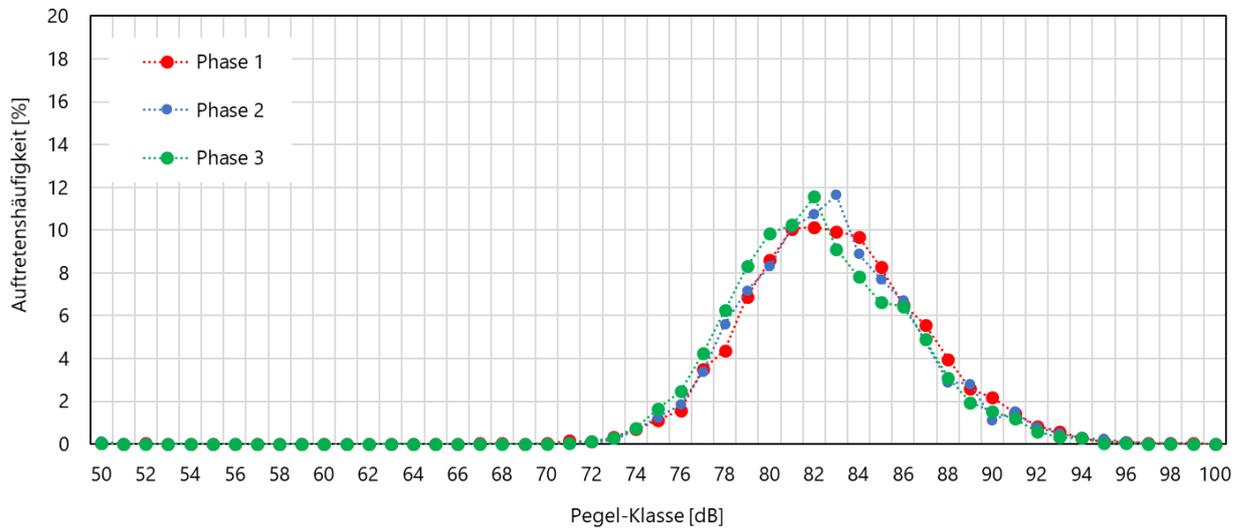


Abbildung 18: Phasenabhängige Pegelverteilung der Motorradereignisse am Messpunkt 2.

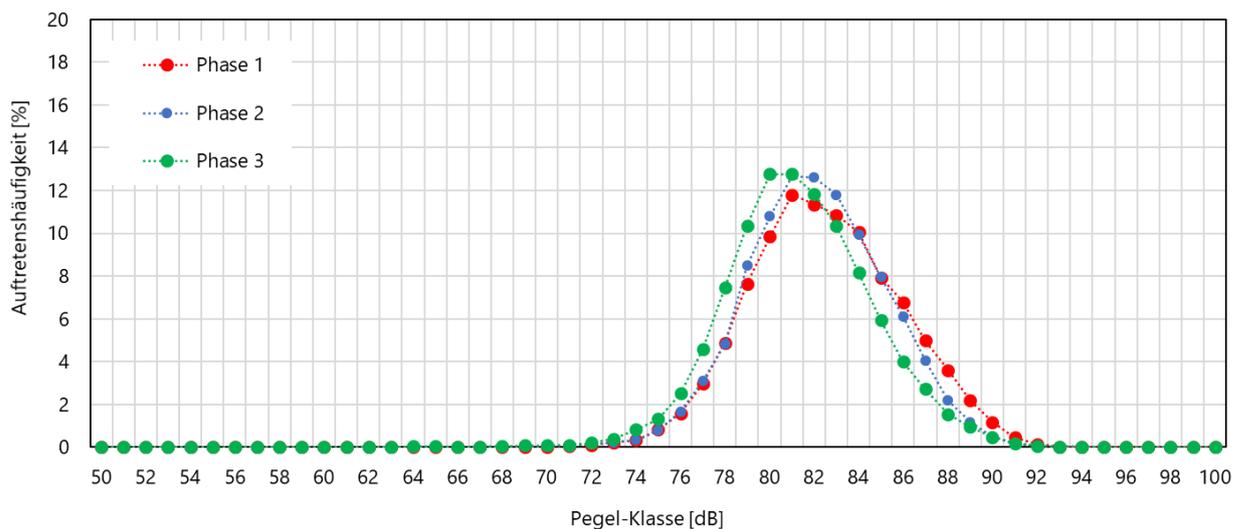


Abbildung 19: Phasenabhängige Pegelverteilung der PW-Ereignisse am Messpunkt 2.

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	2'596	7	869	3
in Prozent bzgl. Gesamtzahl	100	0.3	33.5	0.1

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	17'905	0	1'183	0
in Prozent bzgl. Gesamtzahl	100	0	6.6	0

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". Der Vergleich zwischen Messpunkt 1 und Messpunkt 2 zeigt grosse Unterschiede in den gemessenen Schalldruckpegeln von rund 10 dB.

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	105.8	94.8	90.3	84.1	71.7	80.1	77.3	76.0	74.1	70.4
Während Aktivierung	104.2	93.9	89.5	84.1	72.7	80.0	76.9	75.6	73.8	70.7
Nach Aktivierung	108.7	96.9	91.8	86.3	76.3	79.9	77.1	75.4	73.8	70.7

Tabelle 4: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die Motorradereignisse am Messpunkt 1.

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	87.9	82.4	78.6	75.1	67.9	91.5	89.4	87.5	86.0	83.1
Während Aktivierung	89.9	84.3	80.7	77.1	68.7	91.5	88.9	87.4	85.5	82.5
Nach Aktivierung	93.3	87.5	84.3	80.3	71.7	91.3	88.8	87.3	86.0	82.1

Tabelle 5: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die Motorradereignisse am Messpunkt 2.

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". Der Vergleich zwischen Messpunkt 1 und Messpunkt 2 zeigt grosse Unterschiede in den gemessenen Schalldruckpegeln von rund 10 dB.

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	94.6	85.6	81.8	77.5	69.6	78.7	77.1	76.3	75.1	72.9
Während Aktivierung	90.7	81.9	78.4	74.8	67.3	78.8	77.0	76.1	74.8	72.4
Nach Aktivierung	93.7	83.8	79.9	76.0	68.3	77.9	76.1	75.2	73.7	71.3

Tabelle 6: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 1.

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	83.1	76.7	73.3	69.5	62.4	89.2	87.4	86.4	85.1	82.7
Während Aktivierung	82.5	76.6	73.6	69.7	62.6	88.3	86.8	85.7	84.3	82.1
Nach Aktivierung	85.9	78.9	75.4	71.8	64.5	88.4	86.3	85.3	84.1	81.4

Tabelle 7: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die PW-Ereignisse am Messpunkt 2.

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 20, Abbildung 21). 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 am Messpunkt 1 bei durchschnittlich ca. -0.2 dB, am hinter dem Display liegenden Messpunkt 2 betragen die Differenzen im Mittel ca. -0.5 dB. Bei den Motorrädern zeigt sich hinsichtlich der verschiedenen Perzentilpegel ein uneinheitlicheres Bild. Wie schon bei den PW's überwiegen aber mit typisch -0.5 bis -1 dB die negativen Differenzen, was sich als erwünschte Wirkung des Displays interpretieren lässt. Da nur sehr wenige "zu laut" Meldungen ausgelöst wurden, beschränkt sich diese Aussage auf die Meldungen "zu schnell".

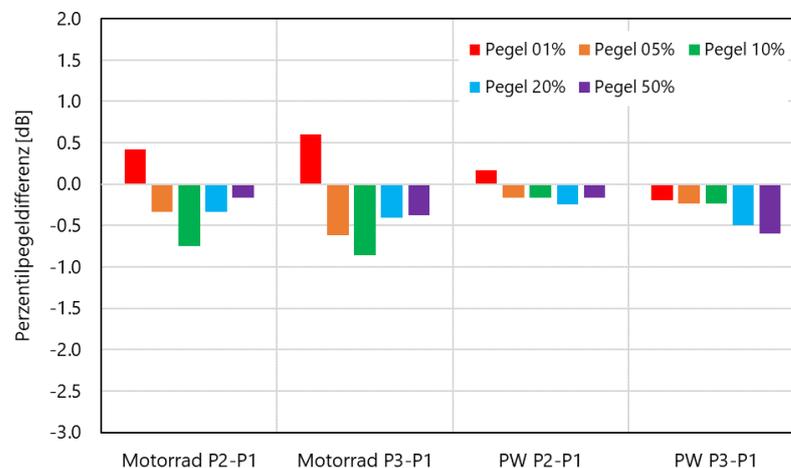


Abbildung 20: Perzentilpegeldifferenzen (1, 5, 10, 20, 50%) am Messpunkt 1 für die beiden Fahrzeugkategorien Motorräder und PW. P2-P1 steht für Phase 2 minus Phase 1, P3-P1 ist Phase 3 minus Phase 1.

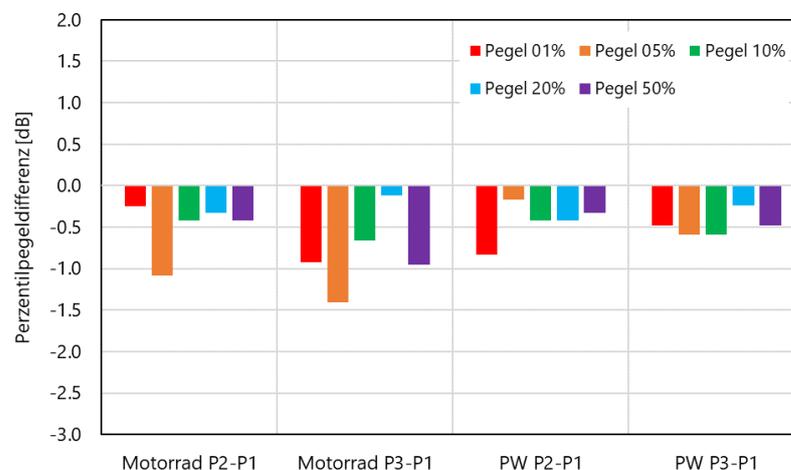


Abbildung 21: Perzentilpegeldifferenzen (1, 5, 10, 20, 50%) am Messpunkt 2 für die beiden Fahrzeugkategorien Motorräder und PW. P2-P1 steht für Phase 2 minus Phase 1, P3-P1 ist Phase 3 minus Phase 1.

4.2.13 Geschwindigkeitsmodelle für Motorräder und PW

Abbildung 22 und Abbildung 23 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 ist der bereits oben angesprochene systematische Unterschied zwischen den beiden Messpunkten, die Regressionsmodelle am Messpunkt 2 liegen rund 10 dB höher als am Messpunkt 1. Die Bestimmtheitsmasse belegen die erwartete, relativ hohe Korrelation zwischen Pegel und Geschwindigkeit. Wenn die Differenzen der Messpegel zum Regressionsmodell gebildet werden, ergeben sich plausible Standardabweichungen von 3.5 bzw. 3.6 dB für die Motorräder und 2.9 bzw. 2.7 für die PW.

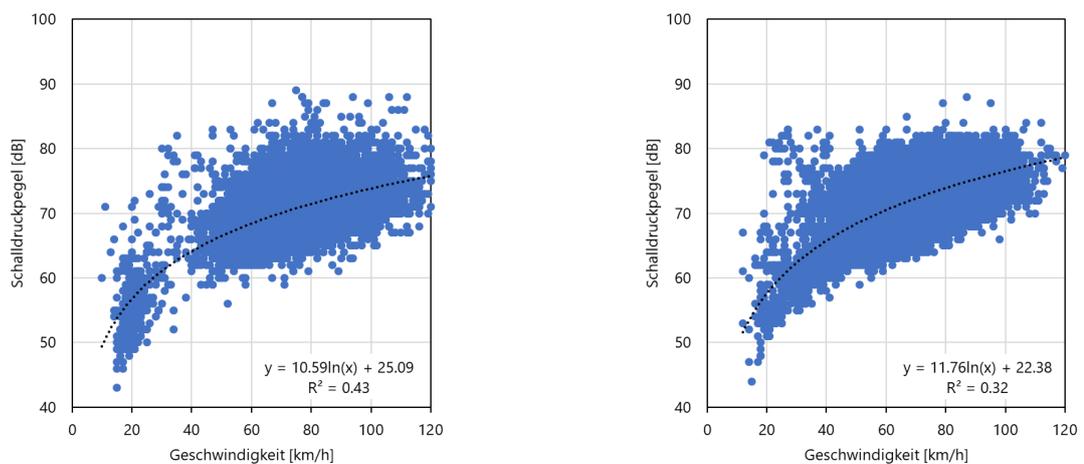


Abbildung 22: X-Y Darstellung der Geschwindigkeit/Schalldruckpegel-Paare am Messpunkt 1 für die Motorräder (links) und PW (rechts).

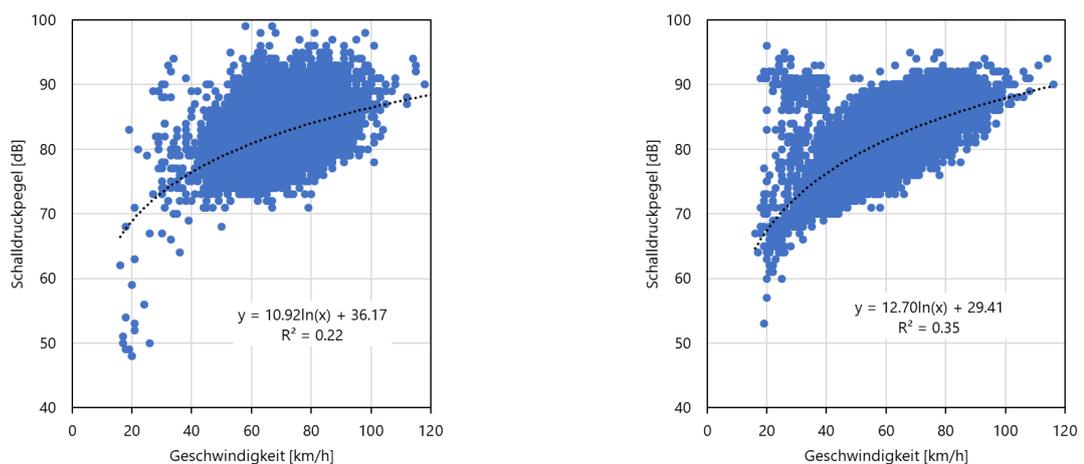


Abbildung 23: X-Y Darstellung der Geschwindigkeit/Schalldruckpegel-Paare am Messpunkt 2 für die Motorräder (links) und PW (rechts).

5 Diskussion

Der Vergleich der Schalldruckpegel an den beiden Messpunkten zeigt am Messpunkt 2 sowohl bei PW's als auch bei Motorrädern rund 10 dB höhere Werte als am Messpunkt 1. Dieser Unterschied kann auch nach Nachfrage bei Innolutions nicht erklärt werden. Auf Grund der relativ tiefen Messpegel am Messpunkt 1 wurde bei nur sehr wenigen Ereignissen eine "zu laut" Displaymeldung ausgelöst.

Die Analyse der Schalldruckpegel-Perzentilwerte bzw. der Histogramme bestätigt die Erfahrungstatsache, dass wenige laute Fahrzeuge bedeutend höhere Pegel als das Medianfahrzeug verursachen. Bei Motorrädern ist die 1%→50% Spanne mit rund 9 dB deutlich grösser als bei Personenwagen mit etwa 6 dB.

Die an regenfreien Tagen während den Phasen 2 (aktiviertes Display) und 3 (nach Displayaktivierung) gemessenen Perzentilpegel liegen bei den PWs typisch 0.2 bis 0.5 dB tiefer als während Phase 1 (vor Displayaktivierung). Bei den Motorrädern liegen insbesondere am Messpunkt 2 die Perzentilpegel während Phase 2 und 3 typisch 0.5 bis 1 dB tiefer als während Phase 1. Damit lässt sich aus den Messdaten insgesamt eine Wirkung des Displays in der Grössenordnung von 0.5 bis 1 dB ableiten.