

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

## Studie Lärmdisplay Metzerlen

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214.022857  
Auftrag: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)  
Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 13

### Inhaltsverzeichnis

- 1 Ausgangslage und Auftrag
- 2 Situation
- 3 Auswertung der Topo-DD-Lärm Daten
- 4 Fazit und Ausblick

---

Eidg. Materialsprüfungs- und Forschungsanstalt Empa

Dübendorf, 17. 10. 2019

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 Motorradfahrerinnen und -fahrern hinsichtlich des von ihnen verursachten Lärms bei hochtouriger Fahrweise im siedlungsnahen Gebiet. In der hier dokumentierten Studie wurde zu diesem Zweck temporär ein "Lärmdisplay" am Ortsausgang von Metzleren im Kanton Solothurn auf der beliebten Strecke in Richtung Challpass bzw. Laufen installiert. Durch Analyse der Geschwindigkeit und eines akustischen Indikators der vorbeifahrenden Fahrzeuge sollte untersucht werden, ob sich bei aktiviertem Display eine Verhaltensänderung beobachten lässt. Im Juli 2019 beauftragte das BAFU den TCS und die Firma INNOLUTIONS sowie die Abt. Akustik / Lärminderung der Empa mit der Durchführung des Experiments.

Die drei Projektpartner teilten sich die Aufgaben wie folgt:

- TCS: Koordination, Standortevaluation und Kommunikation
- INNOLUTIONS: Bereitstellung, Installation, Betrieb und Datenexport des Mess- und Anzeigegerätes Topo-DD-Lärm
- Empa: eigene Kurzzeitmessung, 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 (Abbildung 1) kann grundsätzlich Fahrzeugvorbeifahrten in beide Richtungen erfassen, ist aber in Zusammenhang mit dem Akustikmodul und der Anzeigeeinheit für eine Referenzfahrtrichtung ausgelegt. Mit dem Messmodul werden für die in Referenzrichtung erfassten Vorbeifahrten die Geschwindigkeit und der akustische Maximalpegel registriert. Gestützt auf diese beiden Informationen wird eine "Bewertung" der Vorbeifahrt vorgenommen und auf einem in Fahrtrichtung rund 50 m abgesetzten und verzögert angesteuerten Anzeigemodul ausgegeben. Damit erhält die das Fahrzeug führende Person unmittelbar nach der Vorbeifahrt eine Rückmeldung:

- **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

Eine allfällige Verhaltensänderung der Lenkerin oder des Lenkers während dem Passieren des Displays wird durch die hier gewählte Messanordnung nicht erfasst.



Abbildung 1: Temporär installiertes Messsystem Topo-DD-Lärm von INNOLUTIONS, Messeinheit linkes Bild, Anzeigeeinheit rechtes Bild.

### 2.2 Geometrie der Installationen

Das Mess- und Anzeigesystem wurde am Dorfausgang von Metzleren auf der Challstrasse in Richtung Challpass bzw. Laufen in der Tempo 50 Zone installiert (Abbildung 2, Koordinaten: [2'601'838.0, 1'256'703.5](#)). Das Anzeigemodul kam etwa 10 m vor der signalisierten Tempofreigabe zu liegen. Der horizontale Abstand des Messsystems von der bergwärts führenden Fahrspurmitte betrug rund 3 m, das Mikrophon der Empa-Kurzzeitmessung wurde in 7.5 m von der Fahrspurmitte in einem Querschnitt rund 24 m bergwärts und 2.3 m über Strassenniveau installiert.

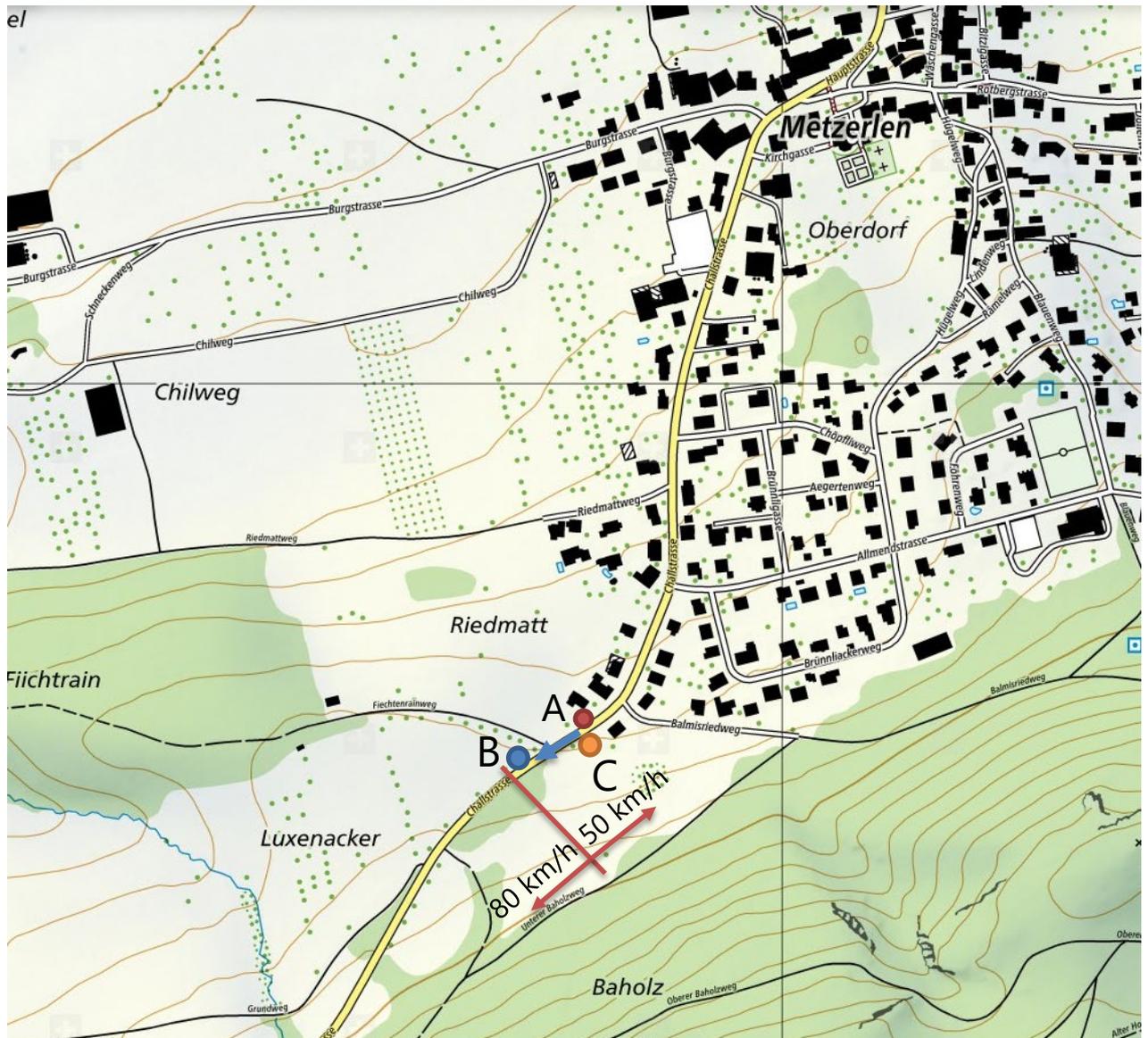


Abbildung 2: Situation der temporären Installation des Lärmdisplays. Punkt A bezeichnet den Messstandort, B ist die Displayposition, C markiert den Standort der Kurzzeitmessung durch die Empa. Der blaue Pfeil zeigt die Messrichtung.

### 2.3 Phasen des Versuchs

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

- Phase 1:** Betrieb des Messmoduls ohne Display, vom 19.08.2019 bis 29.08.2019
- Phase 2:** Betrieb des Messmoduls mit Display, vom 30.08.2019 bis 04.09.2019
- Phase 3:** Betrieb des Messmoduls ohne Display, vom 05.09.2019 bis 15.09.2019

## **2.4 Kurzeitmessung**

Am 3.9.2019 von 14:04 bis 15:12 Uhr wurde durch die Empa ein zusätzlicher Messpunkt im Normabstand von 7.5 m betrieben. Damit wird der Anschluss der INNOLUTIONS Akustikmessung an mögliche weitere Indikatoren hergestellt. Die Empa Messeinrichtung setzte sich aus einer Mikrofonkapsel B&K 4189, S/N: 2542921, einem Impedanzwandler: Microtech-Gefell MV 220 P48 S/N: 0110 und einem Audiorekorder: Sound Devices 702, Empa Nr. 11, Kanal 2 zusammen. Die kalibrierte Aufzeichnung wurde anschliessend mit dem Analysator Norsonic 121, Empa Nr. 3 in Form eines A- und Terzband-Pegelschriebs in 0.1 s Auflösung dargestellt. Durch Vergleich der zeitlichen Anordnung der Vorbeifahrtspegelspitzen mit der Ereignisliste von INNOLUTIONS wurde eine Synchronisation der Zeitachsen vorgenommen.

### 3 Auswertung der Topo-DD-Lärm Daten

#### 3.1 Output des Messsystems

Das INNOLUTIONS-Messsystem registriert und protokolliert Vorbeifahrten in beide Richtungen. Für das Zusammenspiel mit dem Mikrophon und die Anwendung des Displays interessiert hier nur die Richtung 1 (Richtung Laufen). Die Dokumentation eines erfassten Ereignisses umfasst einen Zeitstempel, eine Geschwindigkeitsangabe, die Richtungsinformation, die Fahrzeuglänge ("Länge") und daraus abgeleitet eine Zuordnung zu einer Fahrzeugklasse sowie den akustischen Maximalpegel der Vorbeifahrt (Tabelle 1).

Geschwindigkeit (km/h)	Uhrzeit	Datum	Richtung	Länge	Klasse	Fahrzeugklassen-Bezeichnung	Schall (dB)
47	10:40:16	19.08.2019	2	57	11	Lfw	0
47	10:40:22	19.08.2019	2	47	7	Pkw	0
50	10:40:34	19.08.2019	2	49	7	Pkw	0
48	10:41:50	19.08.2019	1	36	7	Pkw	72
55	10:41:53	19.08.2019	1	39	7	Pkw	76

Tabelle 1: Auszug aus dem Einzelereignis-Datenfile.

Das Augenmerk liegt hier primär auf den Motorrädern, die als Klasse 10 eingeordnet werden. Ergänzend wurden aber auch Auswertungen für Personenwagen (Klasse 7) vorgenommen.

#### 3.2 Datenauswertung

Die von INNOLUTIONS in Form einer Excel-Datei bereitgestellte Ereignisliste umfasst etwas mehr als 66'000 Vorbeifahrten. In einem ersten Schritt wurden die Ereignisse in die nicht interessierende Richtung 2 eliminiert. In einem zweiten Schritt wurden die Daten in Matlab eingelesen und eine tageweise, fahrzeugklassenspezifische Analyse vorgenommen. Diese Analyse liefert für die Motorradvorbeifahrten eines jeden Messtages

- 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. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen für die Motorräder die gefundenen Geschwindigkeits- und Pegelverteilungen, Abbildung 5 stellt die Anzahl Motorradereignisse pro Tag dar.

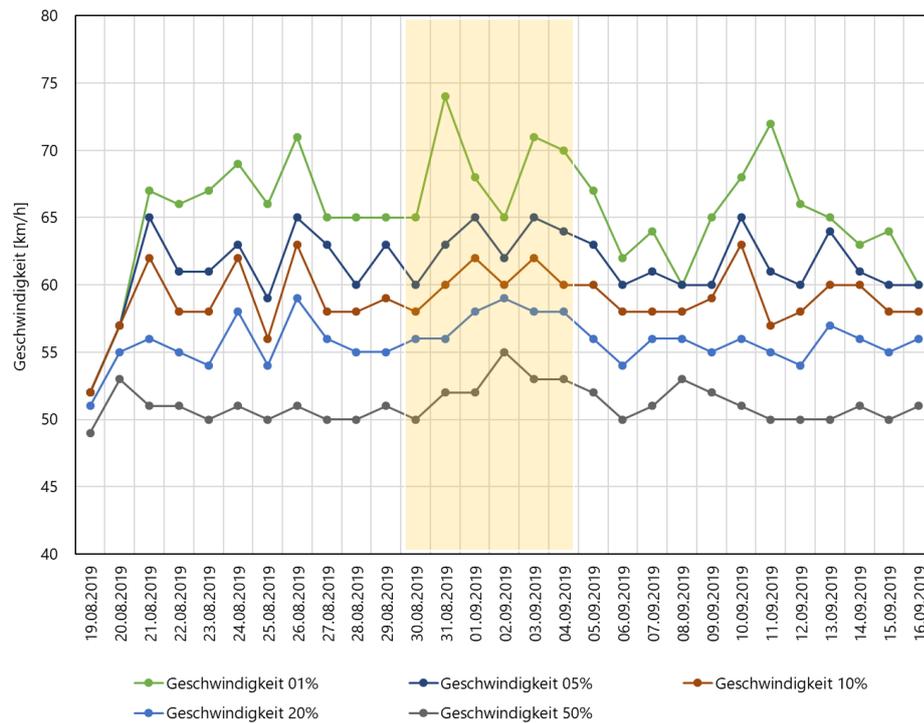


Abbildung 3: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die Motorradereignisse bergwärts in Richtung Laufen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

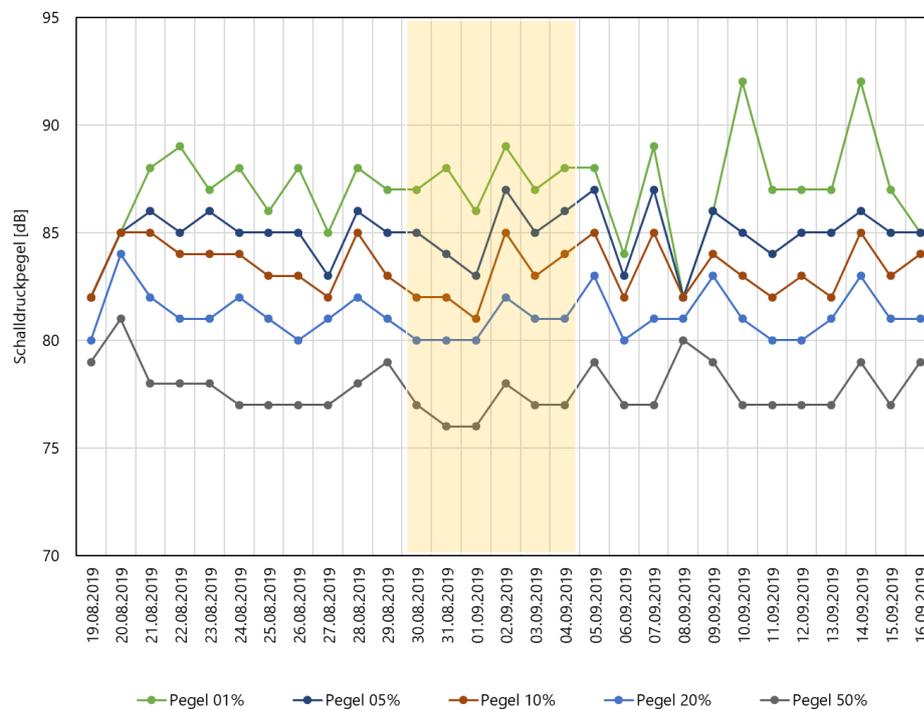


Abbildung 4: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die Motorradereignisse bergwärts in Richtung Laufen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

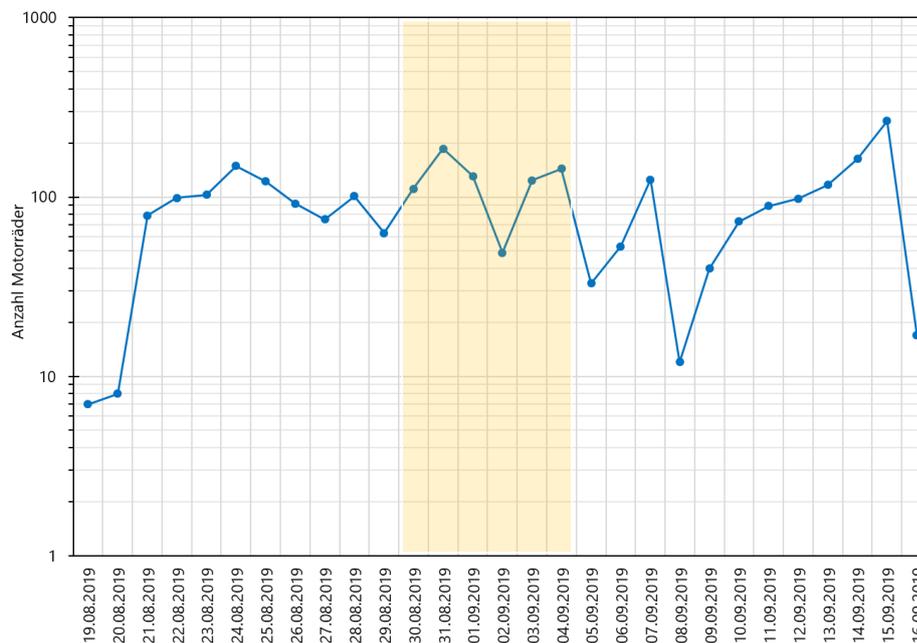


Abbildung 5: Tageweise ausgewertete Anzahl von Motorradereignissen bergwärts in Richtung Laufen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

Die Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte der oben gezeigten 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	66.8	62.2	59.3	55.8	50.6	87.3	85.1	83.7	81.2	77.7
Während Aktivierung	68.8	63.2	60.3	57.5	52.5	87.5	85.0	82.8	80.7	76.8
Nach Aktivierung	64.7	61.3	58.9	55.5	50.9	87.2	85.0	83.3	81.3	77.9

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

Ergänzend zu obiger Beobachtung der Motorradereignisse werden in der Abbildung 6 bis Abbildung 8 und in Tabelle 3 analoge Auswertungen für die Personenwagen-Ereignisse gezeigt.

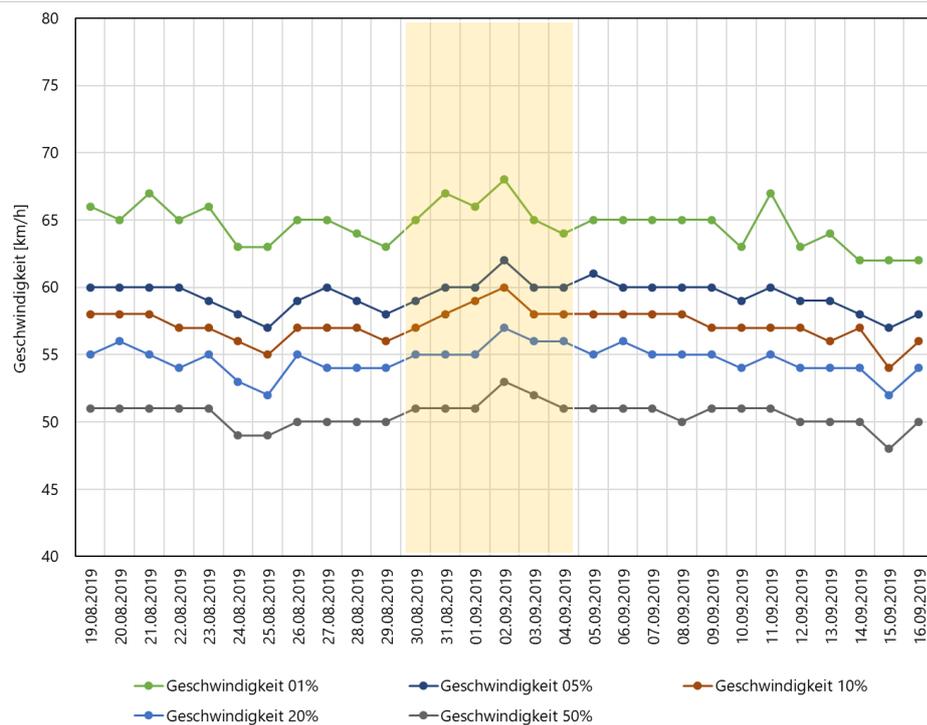


Abbildung 6: Tageweise ausgewertete Geschwindigkeitsperzentilwerte für die Personenwagenereignisse bergwärts in Richtung Laufen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

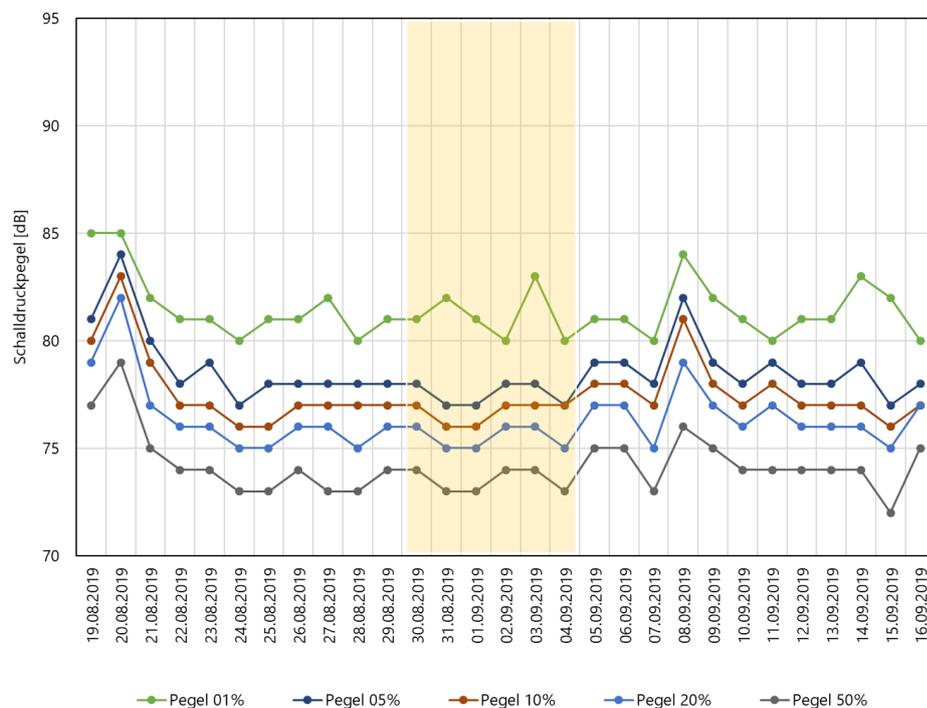


Abbildung 7: Tageweise ausgewertete Schalldruckpegelperzentilwerte für die Personenwagenereignisse bergwärts in Richtung Laufen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

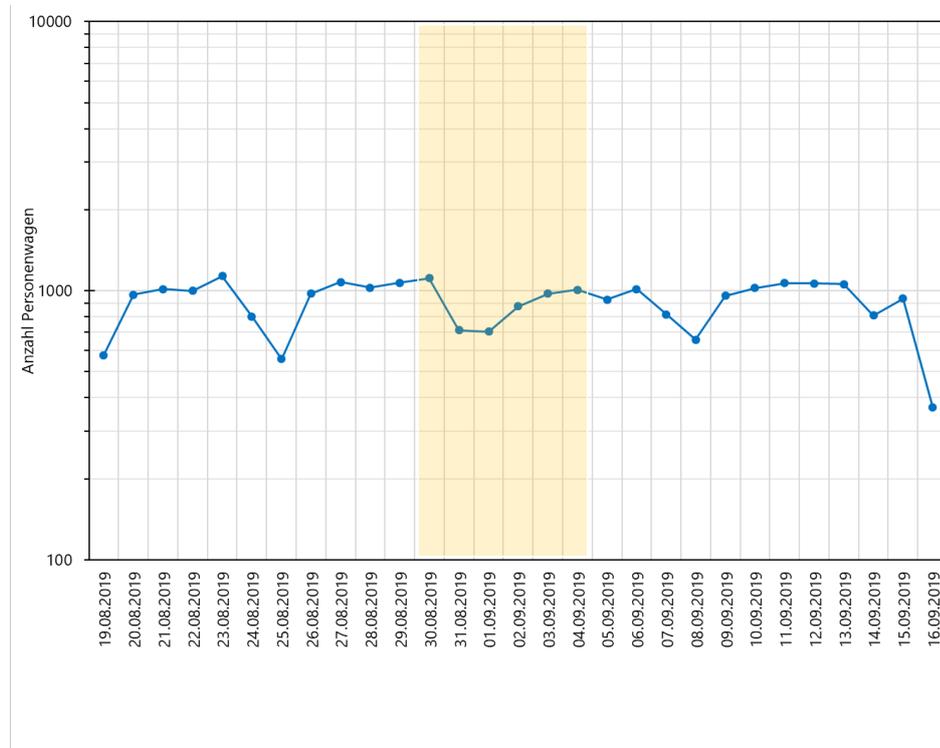


Abbildung 8: Tageweise ausgewertete Anzahl von Personenwagenereignissen bergwärts in Richtung Laufen. Gelb unterlegt ist die Periode mit eingeschaltetem Display.

	Geschwindigkeit [km/h]					Schalldruckpegel [dB]				
	1%	5%	10%	20%	50%	1%	5%	10%	20%	50%
Vor Aktivierung	64.6	58.9	56.7	54.0	50.1	81.0	78.2	77.0	75.8	73.7
Während Aktivierung	65.8	60.2	58.3	55.7	51.5	81.2	77.5	76.7	75.5	73.5
Nach Aktivierung	64.0	59.3	56.9	54.4	50.3	81.3	78.7	77.6	76.5	74.3

Tabelle 3: Mittelwerte der oben gezeigten Geschwindigkeits- und Schalldruckpegel-Perzentilwerte für die Personenwagenereignisse.

Schliesslich zeigt die Abbildung 9 für alle Motorrad- und Personenwagenereignisse in Richtung 1 die Schalldruckpegel/Geschwindigkeitspaare in einer XY-Darstellung. Man beachte, dass Topo-DD-Lärm sowohl die Geschwindigkeiten als auch die Schalldruckpegel nur als ganzzahlige Werte ausweist. Die logarithmischen Trendlinien zeigen mit

Motorräder:  $L = 13.743 \ln(v) + C_M = 31.6 \log(v) + C_M$

Personenwagen:  $L = 11.908 \ln(v) + C_{PW} = 27.4 \log(v) + C_{PW}$

eine Geschwindigkeitsabhängigkeit, die in etwa den Erwartungen entspricht. Die Streuung der Schalldruckpegel für konstant gehaltene Geschwindigkeit im Bereich von 50 km/h liegt bei den Motorrädern bei etwa 4 dB, bei den Personenwagen bei etwa 2.5 dB. Diese eher hohen Streuungen sind den Variationen innerhalb der Fahrzeugklasse, nicht eliminierten Störgeräuscheinflüssen, der Beschleunigungssituation und als Konsequenz des relativ kleinen Messabstandes der höheren Empfindlichkeit gegenüber Spurabweichungen geschuldet.

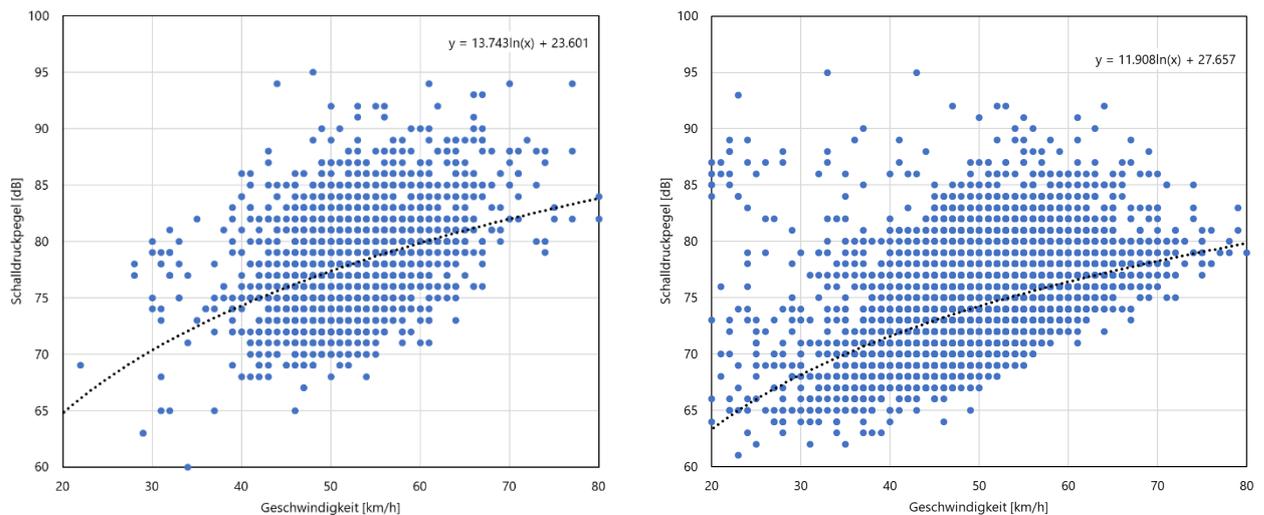


Abbildung 9: XY-Darstellung der Schalldruckpegel/Geschwindigkeits-Paare für die Motorräder (links) und die Personenwagen (rechts).

### 3.3 Transformation der Topo-DD-Lärm-Daten in 100 ms-Leq-Maximalpegel in der Referenzgeometrie 7.5 m

Aus dem Vergleich sämtlicher 47 Vorbeifahrtseignisse während der Kurzzeitmessung resultiert als Transformation der Topo-DD-Lärm-Werte  $L_{Topo-DD}$  in den A-bewerteten 100 ms-Leq-Maximalpegel  $L_{A,max,7.5m}$  in 7.5 m Abstand folgendes Modell

$$L_{A,max,7.5m} = L_{Topo-DD} - 1.2$$

Die Abbildung 10 zeigt in einer XY-Darstellung die Gegenüberstellung der mit den beiden Messsystemen erfassten Daten. Das Bestimmtheitsmass  $R^2$  findet sich zu 0.78.

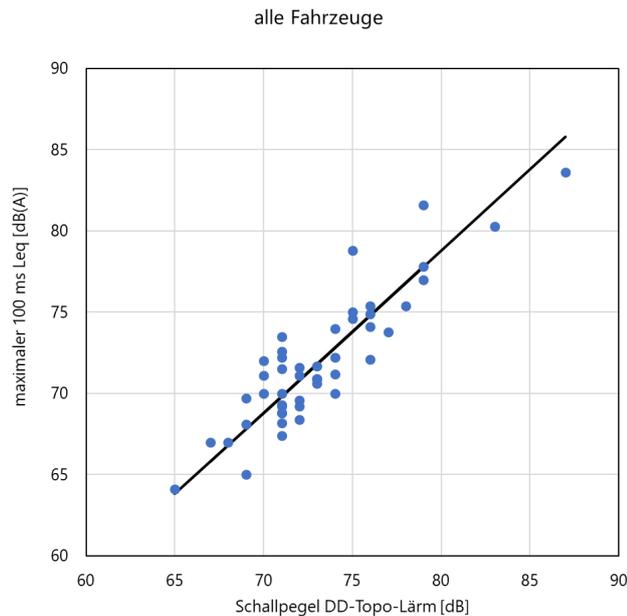


Abbildung 10: XY-Darstellung der während der Kurzzeitmessung erfassten DD-Topo-Lärm-Schallpegel und der A-bewerteten Maximalpegel in der Referenzgeometrie von 7.5 m. Die ausgezogene Linie entspricht dem Transformationsmodell.

## 4 Fazit und Ausblick

Die Analyse der Perzentilwerte zeigt, dass bei Motorrädern das lauteste Prozent im Vergleich zum Medianwert rund 10 dB höhere Emissionen erzeugt hat. Ein 10 dB lauterer Motorrad entspricht 10 Median-Motorrädern. Wahrnehmungsbezogen wird ein 10 dB lauterer Ereignis als doppelt so laut empfunden. Im vorliegenden Setting hat die Aktivierung des Displays zu keinem Reduktionseffekt der Geschwindigkeit oder des Lärms geführt. Möglicherweise würde sich eine allfällige Verhaltensänderung erst beim wiederholten Vorbeifahren durch Beobachtung über einen längeren Zeitraum feststellen lassen.