

OBJEKT

MfMU_Lärm

TITEL

**Vergleich der Lärmemissionen von Winter- und Sommerpneus an den MfM-U Messstandorten:
Kurzbericht**

DOKUMENT NR.

160755 B 06_3

AUFTRAGGEBER

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Lärm und NIS
CH-3003 Bern

ORT UND DATUM

Rivera, den 17. Mai 2017

VERFASSER

 
Dr. Angelo Bernasconi Nicola Notari

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).

Auftragnehmer: IFEC ingegneria SA, 6802 Rivera

Autoren: Angelo Bernasconi, Nicola Notari

Begleitung BAFU: Dominique Schneuwly, Michael Gerber

Hinweis: Dieser Kurzbericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Ziel der Untersuchung und Vorgehen

Ziel der Untersuchung ist eine detaillierte Analyse der Lärmemissionen von Fahrzeugen mit Winterpneus und ein Vergleich der daraus resultierenden Ergebnisse mit denjenigen von Sommerpneus, anhand der an den MfM-U Messstandorten gemessenen Lärmdaten.

Um das Ziel zu erreichen, wurden folgende Merkmale für Vorbeifahrten von Personenwagen, Lieferwagen und Lasten- und Sattelzüge während der Winterperioden (Januar¹ bis März) untersucht:

- a. Dauerschallpegel der Vorbeifahrt $L_{Aeq,1h1m}$ für festgelegte Lufttemperatur, Geschwindigkeit der Vorbeifahrt und Alter des Belages;
- b. Emissionsspektrum für festgelegte Lufttemperatur, Geschwindigkeit der Vorbeifahrt und Alter des Belages;
- c. Temperaturkoeffizienten c_T ;
- d. Geschwindigkeitskoeffizienten c_v .

Die Ergebnisse wurden mit denjenigen der Sommerperioden (April bis Oktober) verglichen.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Lärmemissionen von leichten Fahrzeugen während der Winterperioden sind tendenziell höher als diejenigen während der Sommerperioden. Die beobachtete Differenz der mittleren Dauerschallpegel zwischen Winter- und Sommerpneus bei gleichen Lufttemperatur, Geschwindigkeit der Vorbeifahrt und Alter des Belages beträgt maximal 0.7 dBA (Camignolo).

Die Vorbeifahrten von leichten Fahrzeugen während der Winterperioden sind an allen Standorten durch höhere Lärmemissionen zwischen 800 und 1'250 Hz und niedrigere Lärmemissionen zwischen 1'600 und 4'000 Hz charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen ausserdem einen systematischen Anstieg der Lärmemissionen während Winterperioden für sehr tiefen Frequenzen (unterhalb 63 Hz).

Die während der Winterperioden erhaltenen Temperaturkoeffizienten sind im absoluten Wert tendenziell kleiner als diejenigen der Sommerperioden.

¹ Die Vorbeifahrten von Dezember wurden nicht berücksichtigt, da während dieses Monats viele Fahrzeuge noch mit Sommerpneus ausgestattet sind.

1 Dauerschallpegel und Emissionsspektren

Die gemessenen Dauerschallpegel $L_{Aeq,1h1m}$ der Vorbeifahrten an den verschiedenen Standorten wurden zuerst mit dem Modell

$$L_{Aeq,1h1m} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B,$$

welches die Abhängigkeit zwischen dem mittleren Dauerschallpegel der Vorbeifahrten $L_{Aeq,1h1m}$ und der Lufttemperatur T_L (in °C), der Geschwindigkeit des Fahrzeuges v (in km/h) und dem Alter des Belages t_B (in Jahren) beschreibt, getrennt für Winter- und Sommerperioden gefittet ('Multiparameter fitting'). Um die Einflüsse von Winter- und Sommerpneus auf die Lärmemissionen von Fahrzeugen zu untersuchen, wurden die gefitteten Modellwerte von Winter- und Sommerperioden bei gleichen Lufttemperatur (10°C), Geschwindigkeit der Vorbeifahrt (120 km/h für leichte Fahrzeuge, 85 km/h für schwere Fahrzeuge) und Alter des Belages (am 01/04/2015²) für jeden Messstandort und Fahrrichtung separat verglichen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 Dargestellt.

L_Aeq Modell bei T_Luft = 10°C, am 01/04/2015 und bei v = 120 km/h (PW und Lief.), 85 km/h (Lasten-Sattelzüge) [dBA]	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Roth.NS (ACMR8 06.2013)	Roth. SN (ACMR8 06.2013)
Personenwagen W	53.4 ± 1.4	53.6 ± 1.5	54.3 ± 1.0	55.6 ± 1.0	56.7 ± 1.5	57.1 ± 1.4	53.0 ± 2.4	53.3 ± 1.9
Personenwagen S	53.1 ± 1.7	53.3 ± 2.0	54.3 ± 0.7	55.7 ± 0.8	56.5 ± 1.0	57.1 ± 0.9	52.8 ± 3.7	53.1 ± 2.9
Lieferwagen W	54.8 ± 4.2	54.7 ± 4.1	55.0 ± 2.3	56.4 ± 2.3	57.5 ± 3.7	57.8 ± 3.2	53.9 ± 6.3	54.1 ± 5.2
Lieferwagen S	54.3 ± 4.7	54.4 ± 5.0	54.9 ± 1.6	56.3 ± 1.7	57.2 ± 2.3	57.9 ± 1.8	54.0 ± 9.0	53.8 ± 7.1
Lasten- und Sattelzüge W	58.6 ± 7.3	59.4 ± 10.2	58.3 ± 3.9	60.1 ± 3.4	62.0 ± 5.8	61.7 ± 3.9	58.1 ± 14.0	57.9 ± 9.7
Lasten- und Sattelzüge S	59.0 ± 10.8	59.1 ± 15.9	58.3 ± 3.8	60.1 ± 4.7	61.8 ± 4.6	61.8 ± 2.9	58.3 ± 21.9	57.8 ± 15.1

Tabelle 1: Zusammenfassung der durch die "Multiparameter fitting" Methode erhaltenen Dauerschallpegel der Vorbeifahrten während Winter- (W) und Sommerperioden (S), evaluiert bei einer Lufttemperatur von 10°C, einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 120 km/h für leichte Fahrzeuge und 85 km/h für schwere Fahrzeuge und am 01/04/2015. Die Kategorien mit mehr als 1'000 Vorbeifahrten (gute Statistik) sind grün markiert. Der angegebene Fehler wurde aus der Standardabweichung der gefitteten Parameter berechnet.

Die erhaltenen Differenzen zwischen Winter- und Sommerperioden liegen innerhalb der angegebenen Fehlerbalken. Die Lärmemissionen von Personenwagen und Lieferwagen während der Winterperioden scheinen tendenziell höher als diejenigen während Sommerperioden zu sein, vor allem in Camignolo (0.3-0.4 dBA) und Rothenbrunnen (0.1-0.2 dBA). Für schwere Fahrzeuge können keine statistisch relevanten Aussagen gemacht werden.

² Um den Einfluss der akustischen Belagsgüte zu "neutralisieren" wurde ein bestimmtes Stichdatum (01/04/2015) gewählt, um innerhalb der zur Verfügung stehenden Messdaten zu bleiben. Wenn stattdessen ein bestimmtes Belagsalter gewählt würde, würde die Auswertung der Messwerte vom Standort Reiden (Einbaujahr 1999) stark ausserhalb des Messintervalls liegen und wahrscheinlich falsche Werte liefern.

Das Emissionsspektrum (gemessen beim maximalen Vorbeifahrtpegel) wurde für Personenwagen, Lieferwagen und Lasten- und Sattelzüge auch untersucht. Die 'Multiparameter fitting' Methodologie wurde auf jede Terzbandfrequenz angewandt, um die Emissionsspektren während Winter- und Sommerperioden bei gleicher Temperatur, Geschwindigkeit und Alter des Belages zu vergleichen. Die Ergebnisse für Personenwagen und Lieferwagen sind sehr ähnlich, während für die Kategorie Lasten- und Sattelzüge (wegen der kleinen Anzahl Vorbeifahrten) keine statistisch relevante Aussage gemacht werden konnte. Die Ergebnisse für Personenwagen für den Standort Camignolo Richtung Süd-Nord sind in der Abbildung 1 als Beispiel dargestellt. Die Differenzen zwischen den erhaltenen Emissionsspektren von Personenwagen während Winter- und Sommerperioden an den verschiedenen Standorten sind in der Abbildung 2 dargestellt.

Die Vorbeifahrten von leichten Fahrzeugen während der Winterperioden sind an allen Standorten durch höhere Lärmemissionen zwischen 800 und 1'250 Hz und niedrigere Lärmemissionen zwischen 1'600 und 4'000 Hz charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen ausserdem einen systematischen Anstieg der Lärmemissionen während Winterperioden für sehr tiefen Frequenzen (≤ 63 Hz). Die beschriebenen Unterschiede sind besonders ersichtlich für die Standorte Camignolo und Rothenbrunnen.

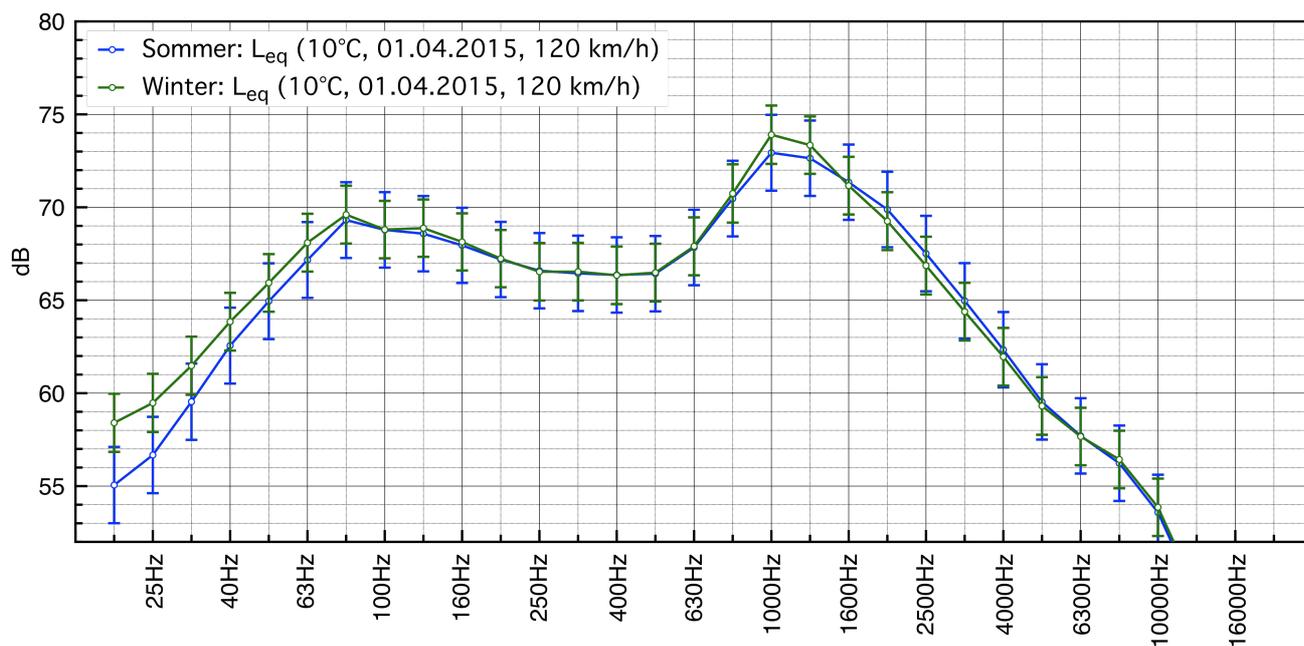


Abbildung 1: Erhaltenen Emissionsspektren von Personenwagen für den Standort Camignolo Richtung Süd-Nord während der Winter- (Grün) und Sommerperioden (Blau).

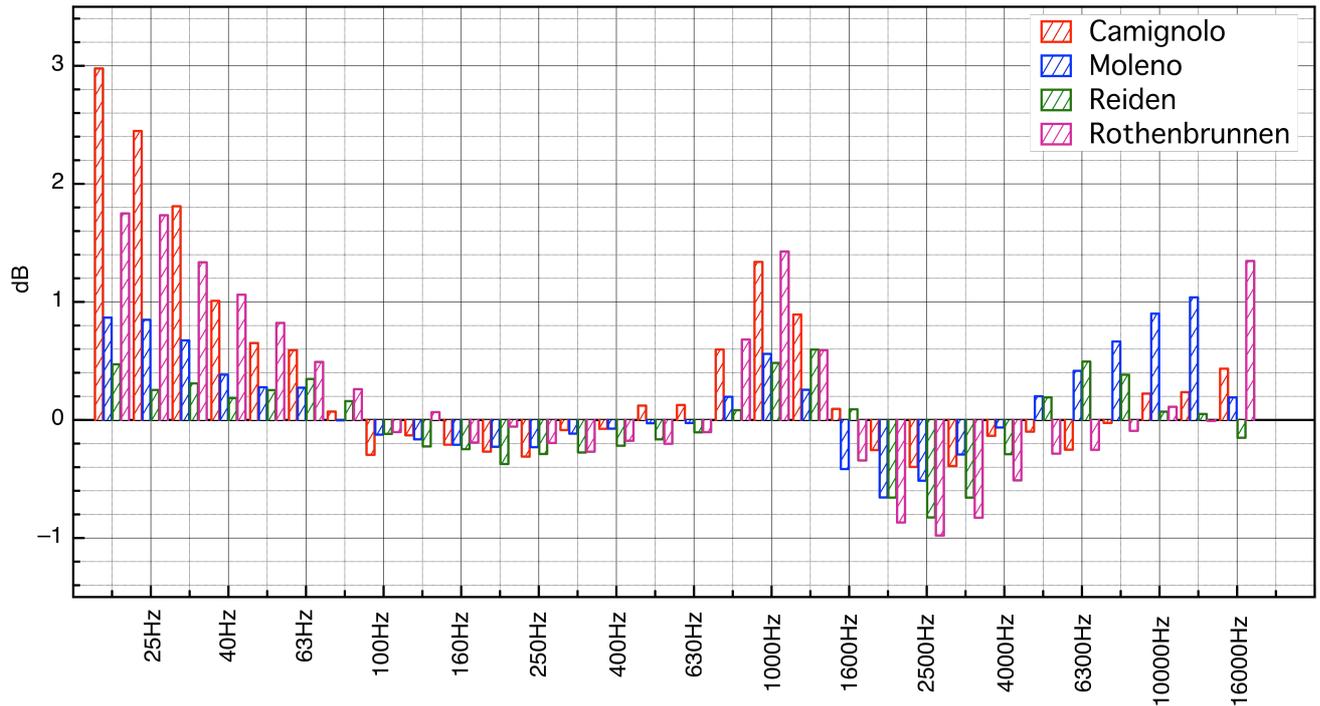


Abbildung 2: Darstellung der Differenz zwischen den Emissionsspektren von Personenwagen erhalten während der Winter- und Sommerperioden $L_{Aeq,1h1m,W} - L_{Aeq,1h1m,S}$ evaluiert am 01/04/2015 mit $T_L = 10^\circ C$ und $v = 120 \text{ km/h}$.

2 Temperatur- und Geschwindigkeitskoeffizienten

Die aus der 'Multiparameter fitting' Methode erhaltenen Temperatur- c_T (s. Tabelle 2) und Geschwindigkeitskoeffizienten c_v (s. Tabelle 3) während Winter- und Sommerperioden wurden auch untersucht und verglichen.

TEMP. KOEFF. (Luft) [dB(A)/°C]	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Rothenbrunnen NS (ACMR8 06.2013)	Rothenbrunnen SN (ACMR8 06.2013)
Personenwagen W	-0.013 ± 0.004	-0.003 ± 0.004	-0.011 ± 0.002	-0.033 ± 0.002	-0.008 ± 0.005	-0.027 ± 0.003	-0.088 ± 0.003	-0.091 ± 0.002
Personenwagen S	-0.082 ± 0.003	-0.085 ± 0.003	-0.018 ± 0.002	-0.052 ± 0.003	-0.053 ± 0.004	-0.025 ± 0.004	-0.102 ± 0.004	-0.101 ± 0.003
Lieferwagen W	-0.005 ± 0.010	-0.023 ± 0.009	-0.014 ± 0.004	-0.028 ± 0.005	0.004 ± 0.008	-0.042 ± 0.007	-0.103 ± 0.007	-0.098 ± 0.006
Lieferwagen S	-0.072 ± 0.011	-0.087 ± 0.008	-0.023 ± 0.004	-0.050 ± 0.005	-0.051 ± 0.009	-0.049 ± 0.007	-0.092 ± 0.012	-0.085 ± 0.009
Lasten- und Sattelzüge W	-0.017 ± 0.015	0.007 ± 0.019	-0.003 ± 0.004	-0.024 ± 0.004	-0.013 ± 0.008	-0.025 ± 0.004	-0.056 ± 0.017	-0.072 ± 0.010
Lasten- und Sattelzüge S	-0.028 ± 0.025	0.029 ± 0.028	-0.022 ± 0.006	-0.055 ± 0.008	-0.036 ± 0.011	-0.047 ± 0.006	-0.063 ± 0.027	-0.078 ± 0.020

Tabelle 2: Zusammenfassung der durch die "Multiparameter fitting" Methode erhaltenen Temperaturkoeffizienten während Winter- (W) und Sommerperioden (S). Die Kategorien mit mehr als 1'000 Vorbeifahrten (gute Statistik) sind grün markiert. Der angegebene Fehler entspricht die Standardabweichung der gefitteten Parameter.

GESCHW. KOEFF. [dB(A)]	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Rothenbrunnen NS (ACMR8 06.2013)	Rothenbrunnen SN (ACMR8 06.2013)
<i>Personenwagen W</i>	20.2 ± 0.3	18.9 ± 0.4	17.5 ± 0.2	16.3 ± 0.3	21.4 ± 0.4	18.7 ± 0.4	23.2 ± 0.6	23.0 ± 0.4
<i>Personenwagen S</i>	17.8 ± 0.3	17.9 ± 0.3	18.4 ± 0.2	19.4 ± 0.3	20.6 ± 0.4	18.5 ± 0.3	20.0 ± 0.6	20.4 ± 0.5
<i>Lieferwagen W</i>	15.3 ± 1.0	12.9 ± 1.0	13.2 ± 0.5	12.2 ± 0.6	12.6 ± 1.0	13.9 ± 0.8	18.6 ± 1.5	20.6 ± 1.3
<i>Lieferwagen S</i>	14.2 ± 1.0	8.5 ± 0.9	14.1 ± 0.4	14.1 ± 0.6	12.3 ± 0.8	15.1 ± 0.7	19.5 ± 1.8	16.7 ± 1.4
<i>Lasten- und Sattelzüge W</i>	28.2 ± 4.8	13.5 ± 6.2	18.5 ± 1.6	10.7 ± 1.3	19.5 ± 3.0	17.3 ± 1.6	18.6 ± 6.1	22.0 ± 3.1
<i>Lasten- und Sattelzüge S</i>	23.9 ± 5.6	24.6 ± 8.6	18.6 ± 2.0	12.6 ± 2.6	20.5 ± 2.9	19.4 ± 1.5	17.0 ± 7.1	27.4 ± 4.1

Tabelle 3: Zusammenfassung der durch die "Multiparameter Fitting" Methode erhaltenen Geschwindigkeitskoeffizienten während Winter- (W) und Sommerperioden (S). Die Kategorien mit mehr als 1'000 Vorbeifahrten (gute Statistik) sind grün markiert. Der angegebene Fehler entspricht die Standardabweichung der gefitteten Parameter.

Die während der Winterperioden erhaltenen Temperaturkoeffizienten sind im absoluten Wert tendenziell kleiner als diejenigen von Sommerperioden. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Messdaten von Winter- und Sommerperioden auf unterschiedlichen Temperaturintervallen bezogen sind.

In Camignolo, Reiden und Rothenbrunnen sind die Geschwindigkeitskoeffizienten von Personenwagen während der Winterperioden grösser, während in Moleno diese kleiner als diejenigen der Sommerperioden sind.

Die spektrale Abhängigkeit der Geschwindigkeitskoeffizienten wurde kurz untersucht. Die Resultate sind im Anhang 1 vorgestellt.

3 Interpretation der Ergebnisse

Die an den verschiedenen Standorten erhaltenen Ergebnisse hängen von den Eigenschaften der eingebauten Beläge und der Anteil der Fahrzeuge ab, welche während der Winterperiode mit Winterreifen ausgestattet sind. Unter der Annahme³, dass während der Sommerperioden 30% und während der Winterperioden 75% der Vorbeifahrten auf Fahrzeugen mit Winterpneus zurückführbar sind, kann man sagen, dass Winterreifen im Mittel eine Erhöhung von 0.7 dBA des Dauerschallpegels der Vorbeifahrt eines leichten Fahrzeuges in Camignolo verursachen. An den anderen Standorten sind die beobachteten Differenzen kleiner.

Die niedrigeren Lärmmissionen zwischen 1'600 Hz und 4'000 Hz der Vorbeifahrten von leichten Fahrzeugen während der Winterperioden sind vermutlich auf die weicheren Gummi-Mischungen der Winterreifen zurückzuführen. Die höheren Lärmmissionen bei 1000 Hz sind stattdessen wahrscheinlich mit den grösseren Profilen der Winterpneus verbunden.

Die Ursache der Differenz der Lärmmissionen bei niedrigen Frequenzen (≤ 63 Hz) ist nicht klar. Der Beitrag von diesen Frequenzen zum Gesamtpegel ist auf jeden Fall vernachlässigbar.

Die im absoluten Wert kleineren Temperaturkoeffizienten erhalten während der Winterperioden sind wahrscheinlich auf die weicheren Gummi-Mischungen der Winterreifen zurückzuführen. Es ist

³ Die Annahme basiert auf den Ergebnissen einer Auswertung des TCS für den Kanton Luzern.

jedoch wichtig zu beachten, dass die Messdaten von Winter- und Sommerperioden auf unterschiedlichen Temperaturintervallen bezogen sind.

4 Schlussbemerkungen

Die riesige Anzahl gesammelter Lärmdaten an den MfM-U Messstandorten hat erlaubt, die Lärmemissionen von Winter- und Sommerreifen in Detail zu untersuchen und zu vergleichen. Die erhaltenen Ergebnisse sind sehr interessant und sind kohärent mit denjenigen von anderen Studien⁴.

Die Repräsentativität und Interpretation der Resultate ist natürlich von der Anteil der Fahrzeuge, welche während der Winterperioden mit Winterreifen ausgestattet sind, abhängig.

⁴ Siehe z.B. Sandberg, Ulf: "Tyre/Road Noise — Myths and Realities," Proc. INTERNOISE 2001, The Hague, The Netherlands (2001)

5 Anhänge

Anhang 1: Folien der Powerpoint Präsentation, welche die Ergebnisse der Untersuchungen ausführlich beschreibt.



MfM-U Lärm

Vergleich der Lärmemissionen von Winter- und Sommerpneus an den MfM-U Messstandorten

Angelo Bernasconi und Nicola Notari

17/05/2017

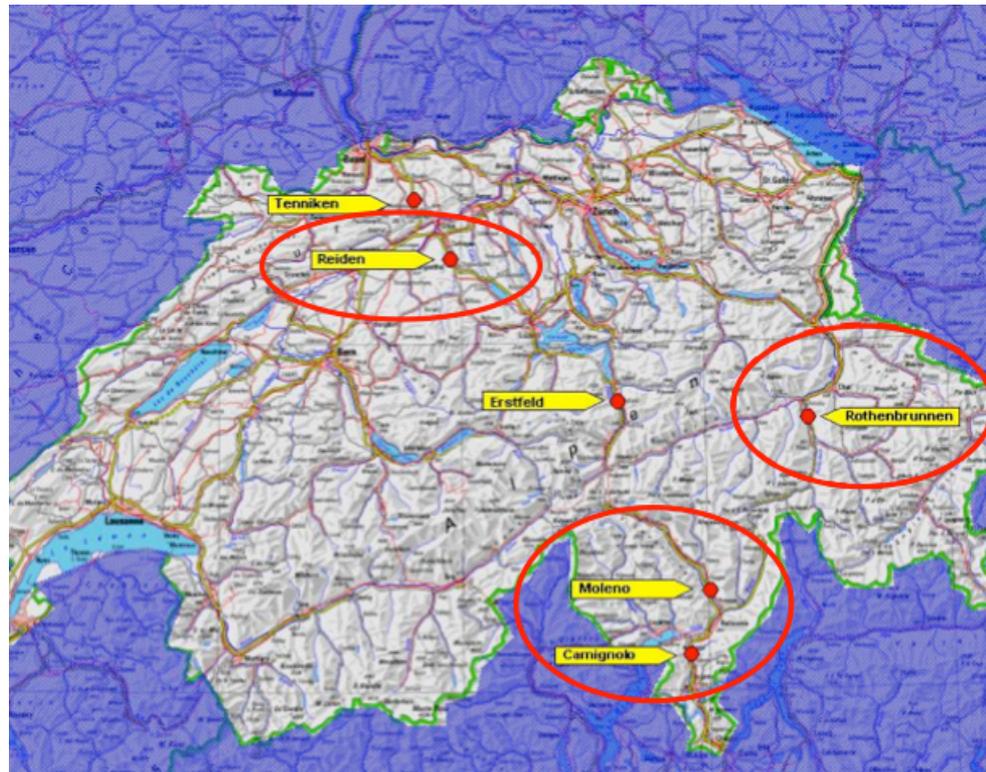
Inhalt

1. Ausgangslage
2. Ziel der Untersuchung
3. Messwerte
4. Dauerschallpegel $L_{Aeq,1h|1m}$
5. Emissionsspektrum
6. Temperaturkoeffizienten c_T
7. Geschwindigkeitskoeffizienten c_v
8. Nebenergebnis: Spektrale Abhängigkeit der Geschwindigkeitskoeffizienten c_v
9. Zusammenfassung der Ergebnisse
10. Anmerkungen

1. Ausgangslage

MfM-U: Monitoring Flankierende Massnahmen - Umwelt

- ▶ Erhebung von Luft- und Lärmdaten an 7 Standorten Entlang der Autobahnen A2 und A13.
- ▶ Untersuchung der Lärmemissionen an 4 Standorten: Camignolo, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen

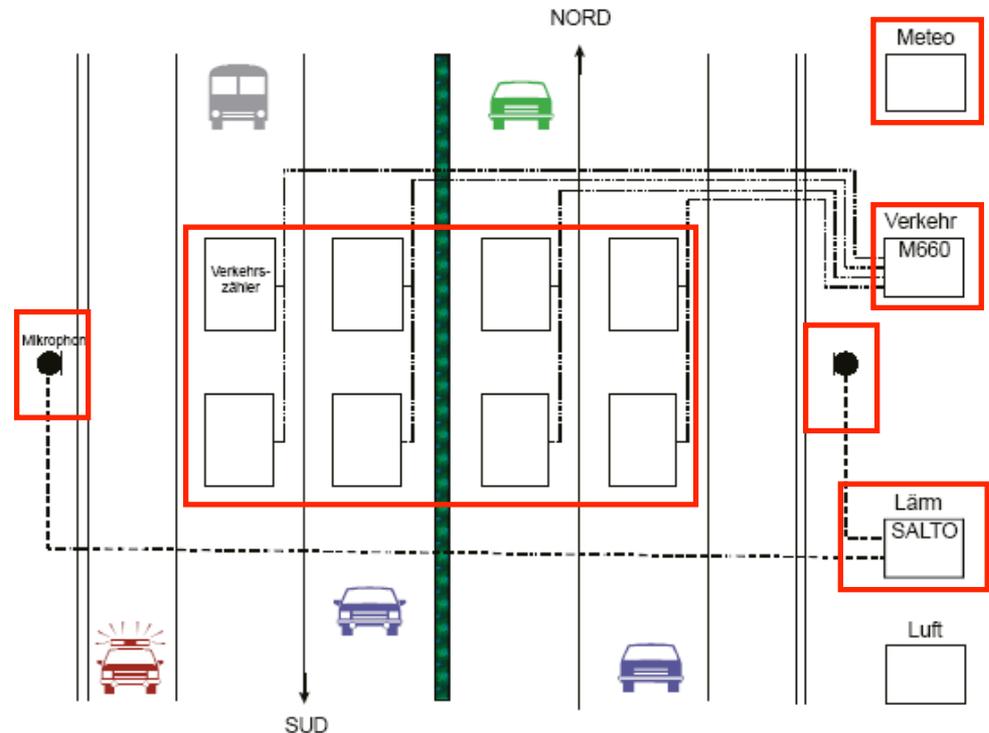


MfM-U: Messapparatur

Verkehr: Verkehrszählstelle vom Typ M660 (Taxomex) (Induktionsschleifen). Messung von Geschwindigkeit, Fahrzeuglänge und Fahrzeugklasse (SWISS10).

Meteo: Meteorologische Messstation. Messung der Lufttemperatur, Belagtemperatur, RH, Niederschlagsintensität,...

Lärm: SALTO-Messstelle bestehend aus 2 Mikrofonen und einem Symphonie 01dB Gerät



MfM-U: Messapparatur Lärm



- ▶ **Mikrofone** sind seitlich der beiden Normalspuren angeordnet, in einem **Abstand von 6.5 m** von der Mitte der Fahrspur und auf einer **Höhe von 3.2 m**;
- ▶ **Alle 9 Tage** wird eine Messung **von ca. 24 h** Dauer zwischen 11:00 und 11:00 des nachfolgenden Tages aktiviert;
- ▶ **L_{AF} , L_{Aeq}** sowie die **Terzspektren von L_{eq}** zwischen 20 Hz und 20 kHz werden alle **100 ms** automatisch ausgewertet

Automatisierte Erfassung und Auswertung der gesammelten Lärmdaten

Die Auswertung einzelner Vorbeifahrten aus Lärmdaten mit hoher Auflösung gemäss ISO 11819 SPB-Methode erfolgt seit 2014 vollautomatisch.

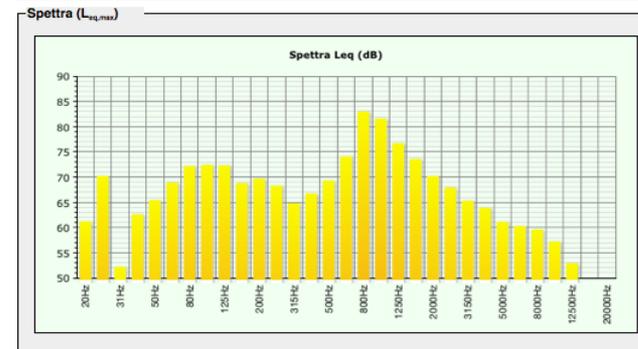
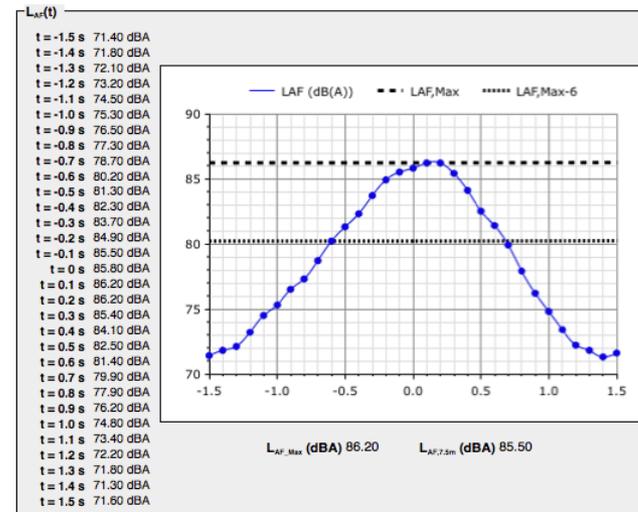
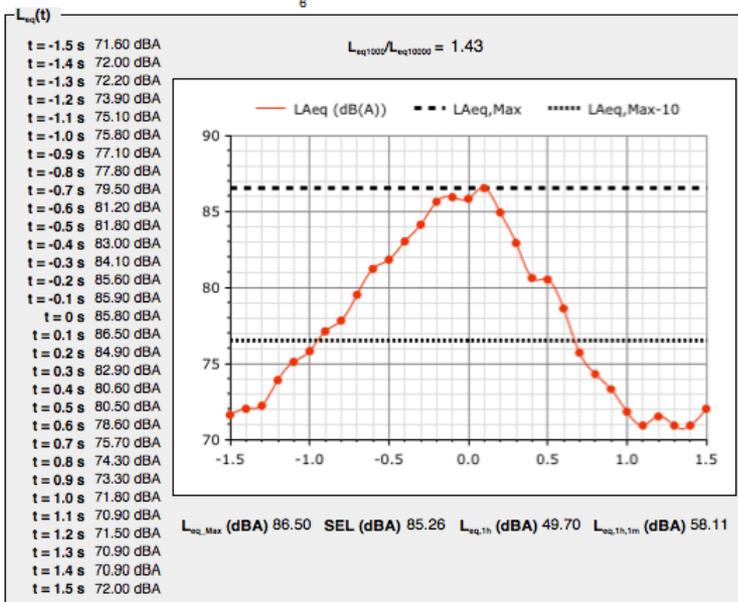
iNoise DB

Statistical Pass-By
381733/381733



-Veicolo-		
N. veicolo 13003	Data e ora passaggio 29.10.2010	03.27.53
Categoria CS 3	Classe N1	Auto
Velocità (km/h) 119	Lunghezza (cm) 462	

-Passaggio e altri parametri-		
Corsia (lane) 1	Direzione Nord-Sud	Canale microfono CH1
Dt (s) 6.1	ID StandOrt 289	T _{aria} (°C) 2.8
Precipitazione (mm) 0	0	0
	Asfalto SMA 11	T _{asfalto} (°C) 4.2

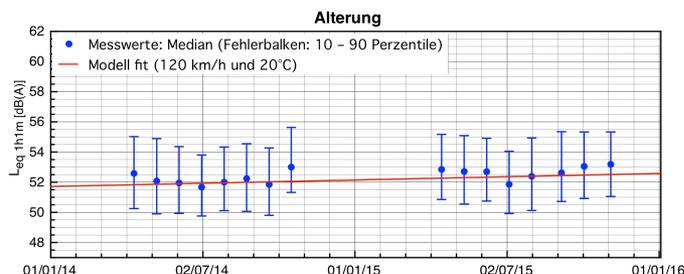
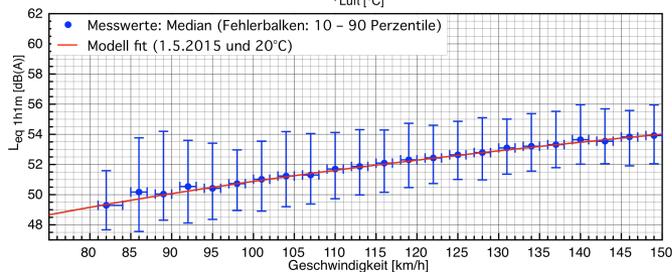
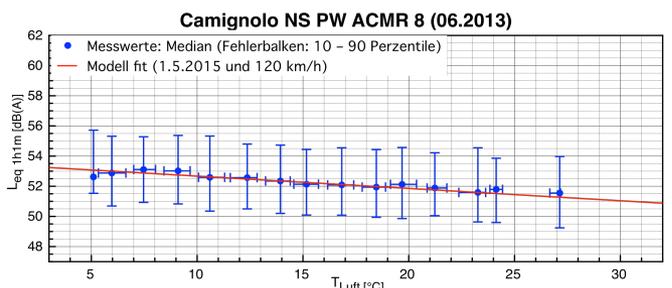


Stand 01.04.2016: **714'896** Vorbeifahrten im informativen System gespeichert.

Charakterisierung der Lärmemissionen von Sommerpneus (Ende Jahr 2015)

Die Abhängigkeit des Dauerschallpegels $L_{Aeq,1h1m}$ der Vorbeifahrten von der Geschwindigkeit, der Lufttemperatur und dem Alter des Belages wurde mittels “Multiparameter Fitting” für verschiedene Fahrzeugklassen untersucht.

$$L_{eq,1h1m} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$



TEMP. KOEFF. (Luft) [dB(A)/°C]	Camignolo NS ACMR8 06.2013	Camignolo SN ACMR8 06.2013	Moleno NS ACMR8 05.2011	Moleno SN ACMR8 05.2011	Reiden NS SMA11 1999	Reiden SN SMA11 1999	Rothenbr. NS ACMR8 06.2013	Rothenbr. SN ACMR8 06.2013
Bus	-0.054 ± 0.045	-0.136 ± 0.050	-0.021 ± 0.021	-0.137 ± 0.023				
Personenwagen	-0.082 ± 0.003	-0.085 ± 0.003	-0.018 ± 0.002	-0.052 ± 0.003	-0.053 ± 0.004	-0.025 ± 0.004	-0.113 ± 0.004	-0.113 ± 0.003
Personenwagen mit Anhänger	-0.132 ± 0.030		-0.072 ± 0.016	-0.078 ± 0.022	-0.082 ± 0.042	-0.012 ± 0.025	-0.192 ± 0.031	-0.053 ± 0.033
Lieferwagen	-0.072 ± 0.011	-0.087 ± 0.008	-0.023 ± 0.004	-0.050 ± 0.005	-0.051 ± 0.009	-0.049 ± 0.007	-0.117 ± 0.011	-0.095 ± 0.009
Lieferwagen mit Anhänger	-0.134 ± 0.033		-0.043 ± 0.016	-0.091 ± 0.033	-0.062 ± 0.036	-0.030 ± 0.026		-0.198 ± 0.037
Lastwagen	0.088 ± 0.056		0.050 ± 0.032	-0.032 ± 0.035	-0.055 ± 0.035	-0.073 ± 0.021		-0.089 ± 0.051
Lasten- und Sattelzüge	-0.028 ± 0.025	0.029 ± 0.028	-0.022 ± 0.006	-0.055 ± 0.008	-0.036 ± 0.011	-0.047 ± 0.006	-0.074 ± 0.025	-0.119 ± 0.019

GESCHW. KOEFF. [dB(A)]	Camignolo NS ACMR8 06.2013	Camignolo SN ACMR8 06.2013	Moleno NS ACMR8 05.2011	Moleno SN ACMR8 05.2011	Reiden NS SMA11 1999	Reiden SN SMA11 1999	Rothenbr. NS ACMR8 06.2013	Rothenbr. SN ACMR8 06.2013
Bus	43.2 ± 16.9	45.1 ± 15.4	26.9 ± 7.2	22.9 ± 7.0				
Personenwagen	17.8 ± 0.3	17.9 ± 0.3	18.4 ± 0.2	19.4 ± 0.3	20.6 ± 0.4	18.5 ± 0.3	19.9 ± 0.6	20.2 ± 0.5
Personenwagen mit Anhänger	14.7 ± 2.4		15.8 ± 1.5	13.1 ± 2.3	11.5 ± 3.3	13.7 ± 1.9	22.8 ± 4.5	15.4 ± 4.9
Lieferwagen	14.2 ± 1.0	8.5 ± 0.9	14.1 ± 0.4	14.1 ± 0.6	12.3 ± 0.8	15.1 ± 0.7	18.2 ± 1.6	16.8 ± 1.4
Lieferwagen mit Anhänger	21.4 ± 2.6		16.2 ± 1.7	13.1 ± 3.7	12.8 ± 3.1	15.5 ± 1.9		12.7 ± 4.3
Lastwagen	6.2 ± 11.3		27.9 ± 11.5	18.6 ± 9.2	8.5 ± 7.8	6.0 ± 5.4		28.8 ± 10.1
Lasten- und Sattelzüge	23.9 ± 5.6	24.6 ± 8.6	18.6 ± 2.0	12.6 ± 2.6	20.5 ± 2.9	19.4 ± 1.5	16.2 ± 6.9	27.6 ± 4.1

Charakterisierung der Lärmemissionen von Sommerpneus

- ▶ Während der bis jetzt durchgeführten Analysen wurden die Messdaten der Vorbeifahrten der Monate November bis März nicht berücksichtigt, um die **Untersuchungen auf Fahrzeugen mit Sommerpneus zu beschränken.**

Dank der **grossen Anzahl verfügbarer Messdaten** ist es möglich, auch die **Emissionseigenschaften von Fahrzeugen mit Winterreifen zu analysieren.**

2. Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung ist eine **detaillierte Analyse der Lärmemissionen von Fahrzeugen mit Winterpneus** und ein **Vergleich** der daraus resultierenden Ergebnisse mit denjenigen von **Sommerpneus** anhand der an den MfM-U Messstandorten gemessenen Lärmdaten.

Vorgehen

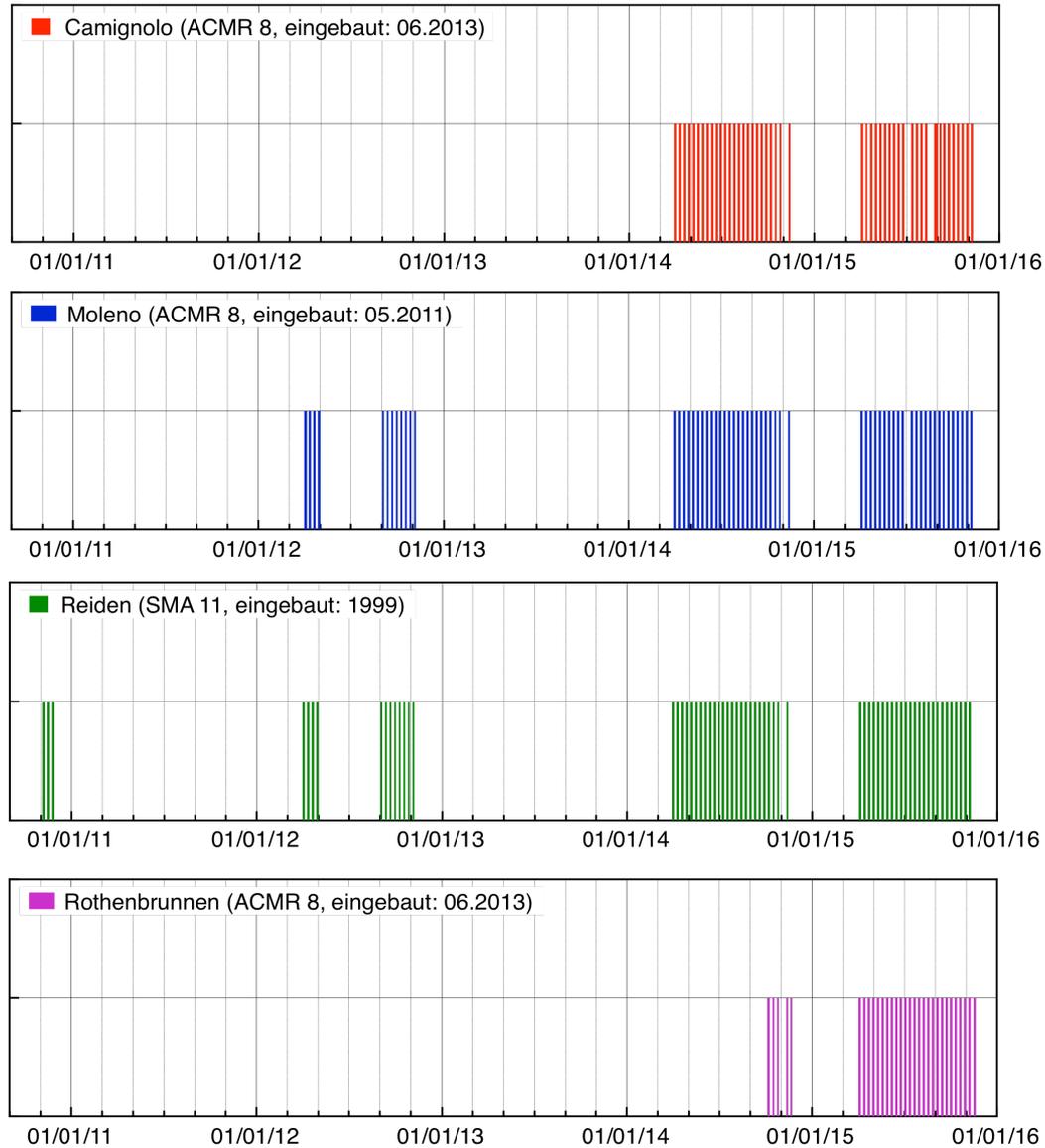
Folgende Merkmale werden für **Vorbeifahrten** von Personenwagen, Lieferwagen und Lasten- und Sattelzüge **während der Winterperioden** untersucht und mit denjenigen der Sommerperioden verglichen:

- A. **Dauerschallpegel** $L_{Aeq,1hIm}$ (für bestimmte Temperatur, Geschwindigkeit und Alter des Belages);
- B. **Emissionsspektrum** (für bestimmte Temperatur, Geschwindigkeit und Alter des Belages);
- C. **Temperaturkoeffizienten** c_T bestimmt mittels “Multiparameter fitting”;
- D. **Geschwindigkeitskoeffizienten** c_v bestimmt mittels “Multiparameter fitting”.

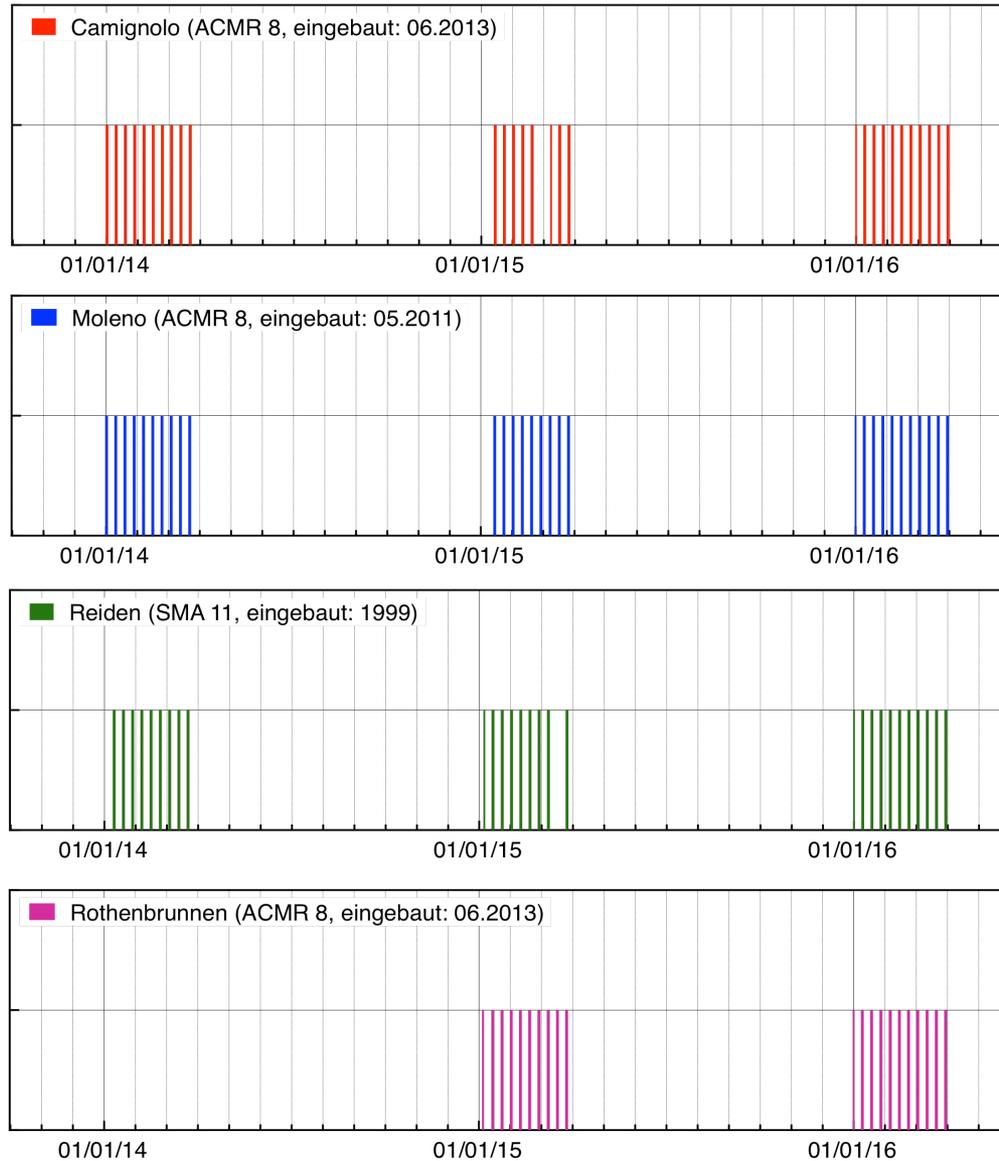
Die **Repräsentativität der Ergebnisse** hängt vom **Anteil der Fahrzeuge**, welche während der Winterperiode mit **Winterreifen** ausgestattet sind.

3. Messwerte

Messwerte Sommerpneus: April bis Oktober



Messwerte Winterpneus: Januar bis März



Anzahl benutzter Vorbeifahrten

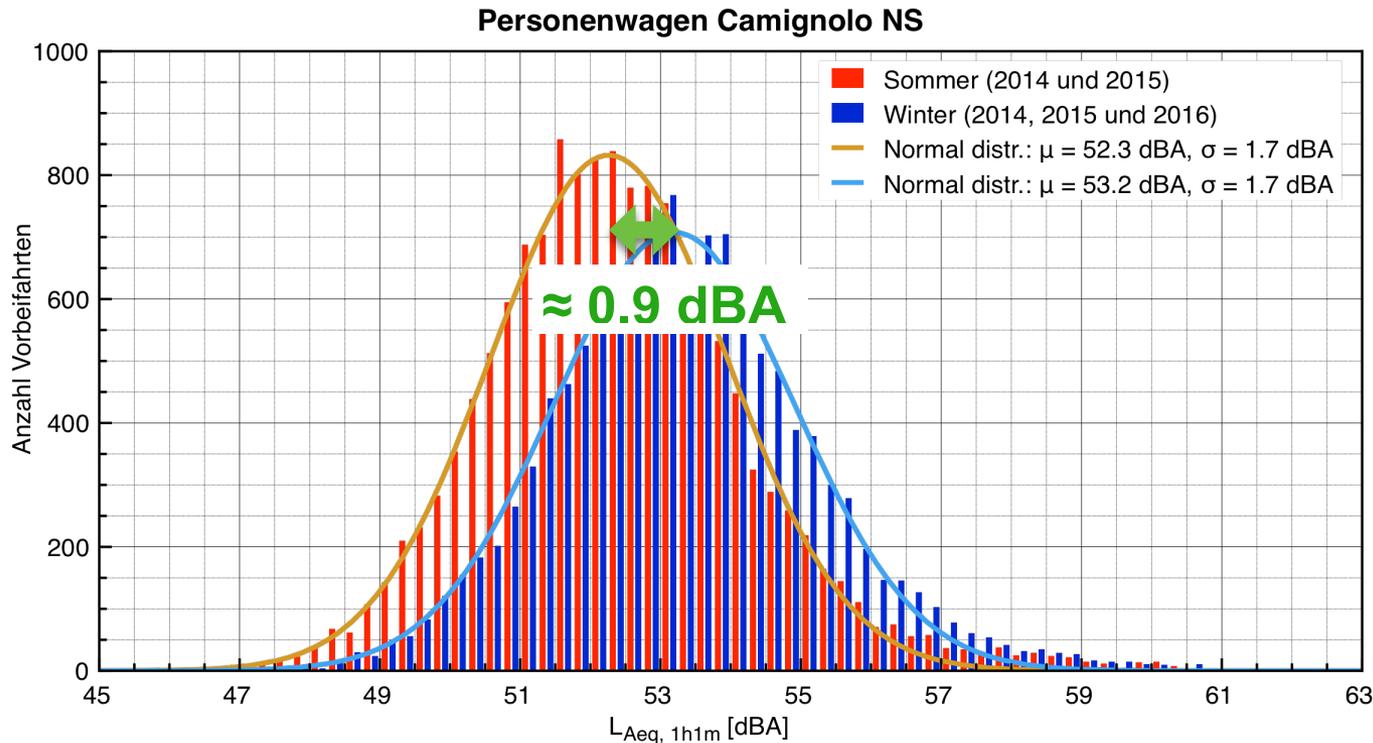
ANZAHL BENUTZTER VORBEIFAHRTEN	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Roth. NS (ACMR8 06.2013)	Roth. SN (ACMR8 06.2013)
<i>Personenwagen W</i>	12'159	9'370	19'280	17'606	9'316	11'473	9'387	14'572
<i>Personenwagen S</i>	14'450	10'900	22'884	12'543	12'343	16'518	7'029	11'040
<i>Lieferwagen W</i>	1'545	1'401	3'822	3'663	1'529	2'116	1'372	1'997
<i>Lieferwagen S</i>	2'052	1'868	4'607	2'902	2'158	3'491	1'183	1'767
<i>Lasten- und Sattelzüge W</i>	699	410	2'341	2'470	1'067	2'439	317	627
<i>Lasten- und Sattelzüge S</i>	525	275	1'928	1'210	1'318	3'269	242	417

- **W:** Winterperioden, **S:** Sommerperioden
- Grün markierte Felder: Anzahl Vorbeifahrten > 1'000

4. Dauerschallpegel $L_{Aeq,1h1m}$

Statistischer Vergleich

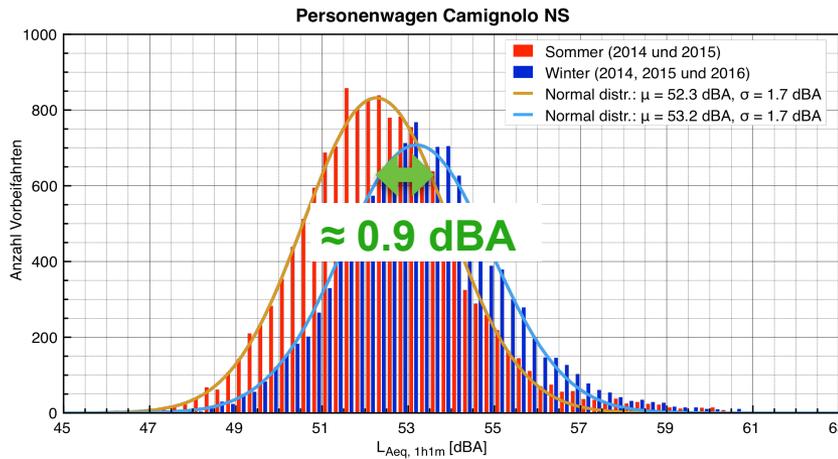
Verteilung der gemessenen Dauerschallpegel $L_{Aeq,1h1m}$ der Vorbeifahrten von Personenwagen während der Winter- und Sommerperioden in Camignolo Richtung Nord-Süd:



Ursachen:

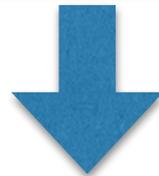
- Winter- vs Sommerpneus
- Temperaturdifferenz (W 4.6°C, S 14.8°C)
- mittlere Geschwindigkeit der Vorbeifahren (W 118.7 km/h, S 119.3 km/h)
- Alter des Belages
- ...

Methodologisches Vorgehen



Multiparameter fitting

$$L_{Aeq,1h1m} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$



Vergleich der gefitteten Dauerschallpegel während der Winter- und Sommerperioden bei gleichen Temperatur, Geschwindigkeit der Vorbeifahrt und Alter des Belages

Ursachen:

- Winter- vs Sommerpneus
- Temperaturdifferenz (W 4.6°C, S 14.8°C)
- mittlere Geschwindigkeit der Vorbeifahren (W 118.7 km/h, S 119.3 km/h)
- Alter des Belages
- ...

Multiparameter Fitting

**Messwerte der Vorbeifahrten
(Fahrzeugkategorie, Messstandort)**

$L_{Aeq,1h1m}$ v t_B T_L

Multiple Fit

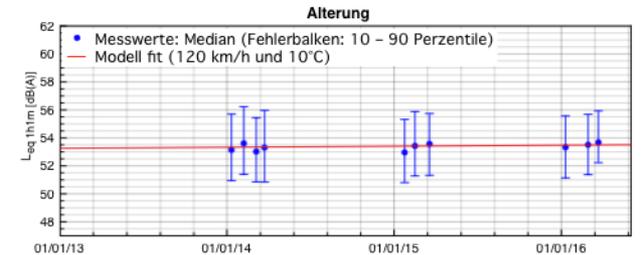
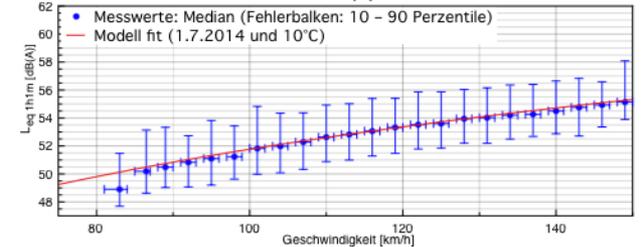
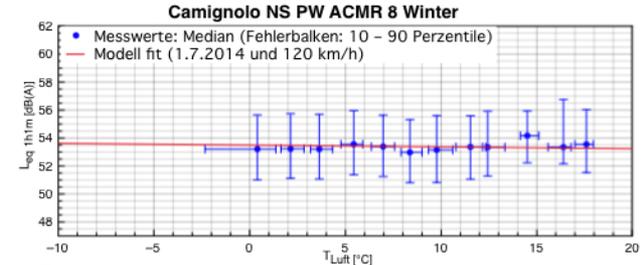
$$L_{Aeq,1h1m} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$

Koeffizienten

c_0 c_v c_T c_A

$L_{Aeq,1h1m}$ (v_{ref} , $T_L = 10^\circ\text{C}$, Datum = 01/04/2015)

mit: $v_{ref} = 85$ km/h für Lasten- und Sattelzüge
 $v_{ref} = 120$ km/h für PW und Lieferwagen



Gefittete Werte

$$c_T = -0.013 \pm 0.004 \text{ dBA}/^\circ\text{C}$$

$$c_A = 0.07 \pm 0.02 \text{ dBA}/\text{Jahr}$$

$$c_v = 20.2 \pm 0.3 \text{ dBA}$$

L_{Aeq,1h1m} (V_{ref}, T_L = 10°C, Datum = 01/04/2015)

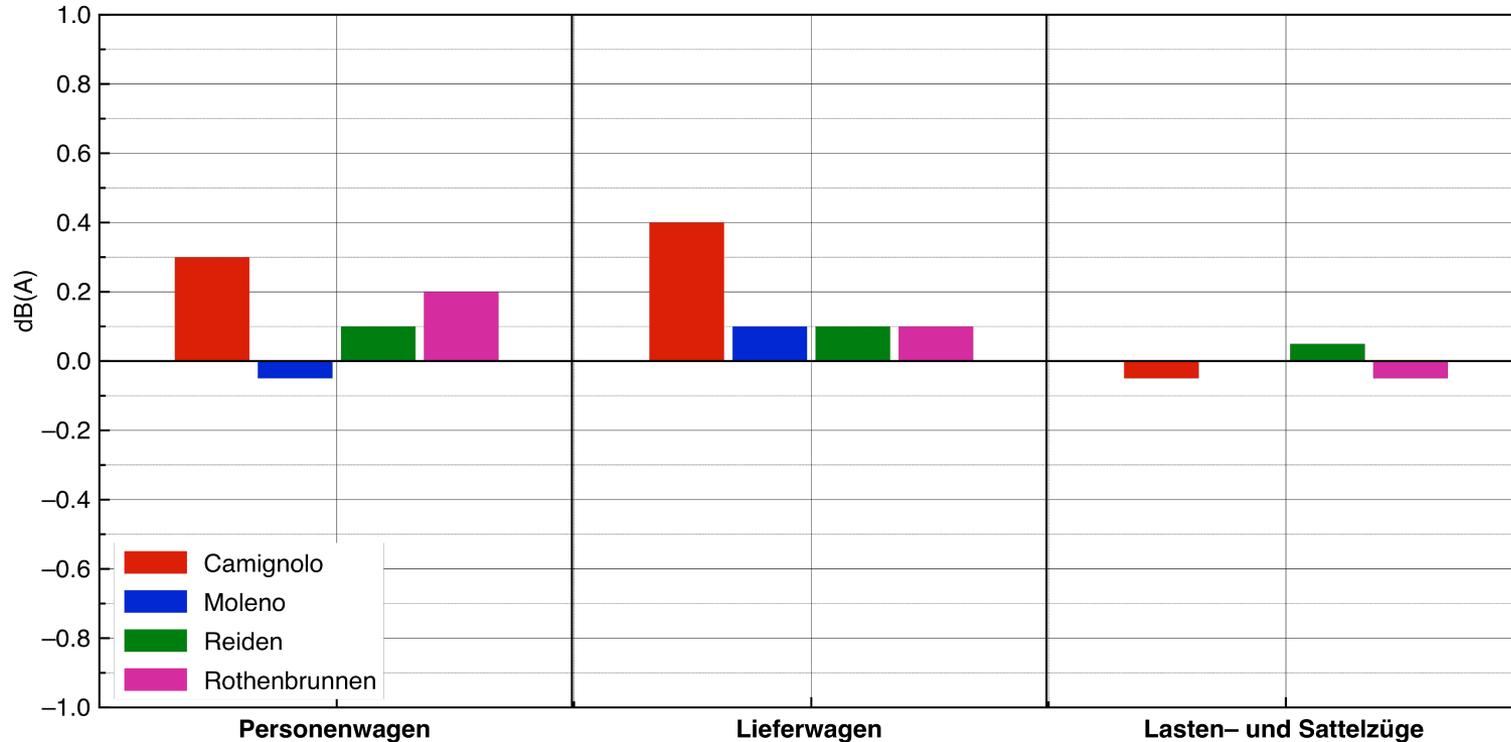
L _{Aeq} Modell bei T _{Luft} = 10°C, am 01/04/2015 und bei v = 120 km/h (PW und Lief.), 85 km/h (Lasten-Sattelzüge) [dBA]	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Roth.NS (ACMR8 06.2013)	Roth. SN (ACMR8 06.2013)
<i>Personenwagen W</i>	53.4 ± 1.4	53.6 ± 1.5	54.3 ± 1.0	55.6 ± 1.0	56.7 ± 1.5	57.1 ± 1.4	53.0 ± 2.4	53.3 ± 1.9
<i>Personenwagen S</i>	53.1 ± 1.7	53.3 ± 2.0	54.3 ± 0.7	55.7 ± 0.8	56.5 ± 1.0	57.1 ± 0.9	52.8 ± 3.7	53.1 ± 2.9
<i>Lieferwagen W</i>	54.8 ± 4.2	54.7 ± 4.1	55.0 ± 2.3	56.4 ± 2.3	57.5 ± 3.7	57.8 ± 3.2	53.9 ± 6.3	54.1 ± 5.2
<i>Lieferwagen S</i>	54.3 ± 4.7	54.4 ± 5.0	54.9 ± 1.6	56.3 ± 1.7	57.2 ± 2.3	57.9 ± 1.8	54.0 ± 9.0	53.8 ± 7.1
<i>Lasten- und Sattelzüge W</i>	58.6 ± 7.3	59.4 ± 10.2	58.3 ± 3.9	60.1 ± 3.4	62.0 ± 5.8	61.7 ± 3.9	58.1 ± 14.0	57.9 ± 9.7
<i>Lasten- und Sattelzüge S</i>	59.0 ± 10.8	59.1 ± 15.9	58.3 ± 3.8	60.1 ± 4.7	61.8 ± 4.6	61.8 ± 2.9	58.3 ± 21.9	57.8 ± 15.1

- **W:** Winterperioden, **S:** Sommerperioden
- Grün markierte Felder: Anzahl Vorbeifahrten > 1'000

Dauerschallpegel $L_{Aeq,1h1m}$ Winter- vs. Sommerpneus:

Ergebnisse

($L_{Aeq,1h1m, Winter} - L_{Aeq,1h1m, Sommer}$) bei v_{ref} , $T_L = 10^\circ C$, Datum = 01/04/2015

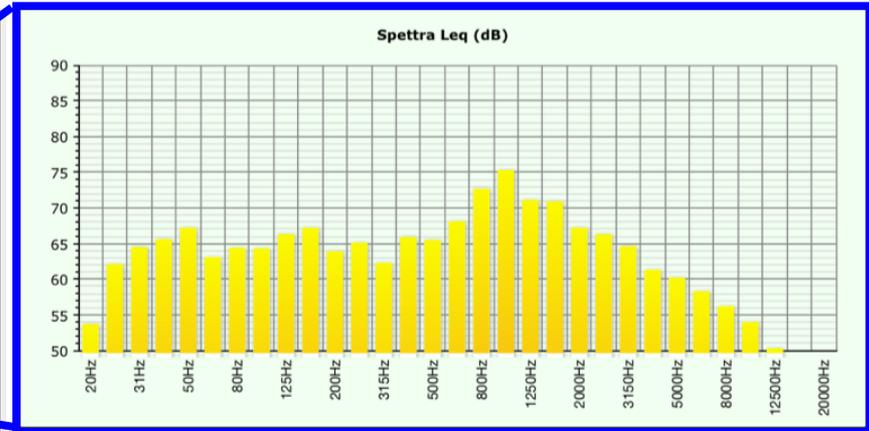
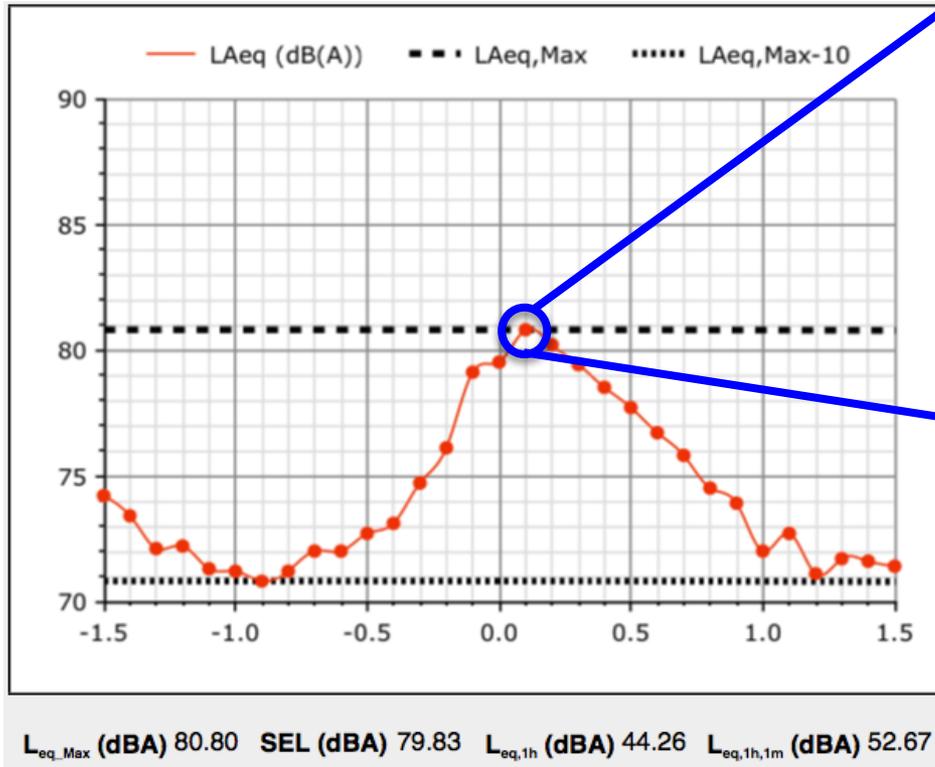


- ▶ Die erhaltenen Differenzen ($L_{Aeq,1h1m,Winter} - L_{Aeq,1h1m,Sommer}$) sind viel kleiner als die Standardabweichungen der Dauerschallpegel.
- ▶ Die Lärmemissionen von Personenwagen und Lieferwagen während der Winterperioden scheinen tendenziell höher als diejenigen während Sommerperioden zu sein, vor allem in Camignolo (0.3-0.4 dBA) und Rothenbrunnen (0.1-0.2 dBA).
- ▶ Für schwere Fahrzeuge können keine statistisch relevanten Aussagen gemacht werden.

5 Emissionsspektrum

Emissionsspektrum

Für die Analyse wurde das **Emissionsspektrum der Vorbeifahrten** gemessen beim **maximalen Vorbeifahrtpegel** (gemittelt auf 100 ms) benutzt.



Die Emissionsspektren von Personenwagen, Lieferwagen und Lasten- und Sattelzüge wurden untersucht. Die Ergebnisse für Personenwagen und Lieferwagen sind sehr ähnlich, während für die Kategorie Lasten- und Sattelzüge (wegen der kleinen Anzahl Vorbeifahrten) keine statistisch relevante Aussage gemacht werden konnte.

Methodologisches Vorgehen: "Multiparameter Fitting" für jede Terzbandfrequenz f

**Messwerte der Vorbeifahrten
(Fahrzeugkategorie, Messstandort)**

$L_{eq,f}$ v t_B T_L

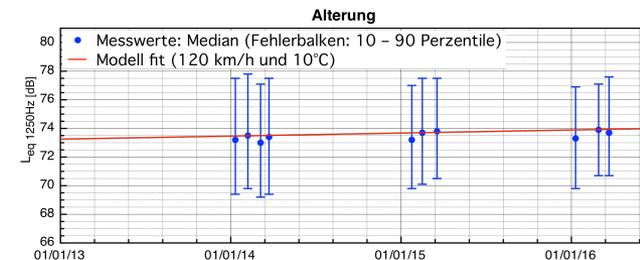
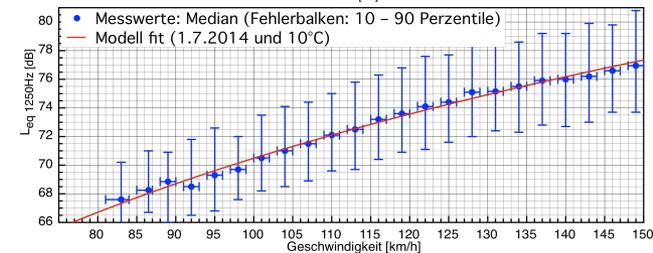
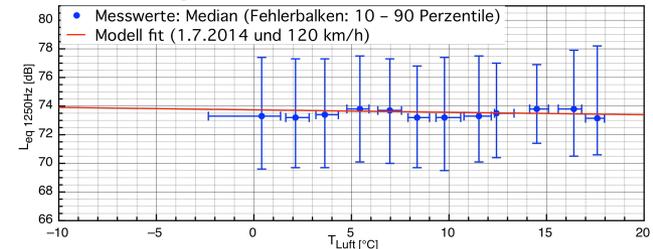
Multiple Fit

$$L_{eq,f} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$

Koeffizienten

c_0 c_v c_T c_A

Camignolo NS PW ACMR 8 Winter 1250 Hz



Gefittete Werte

$$c_T = -0.017 \pm 0.005 \text{ dBA/}^\circ\text{C}$$

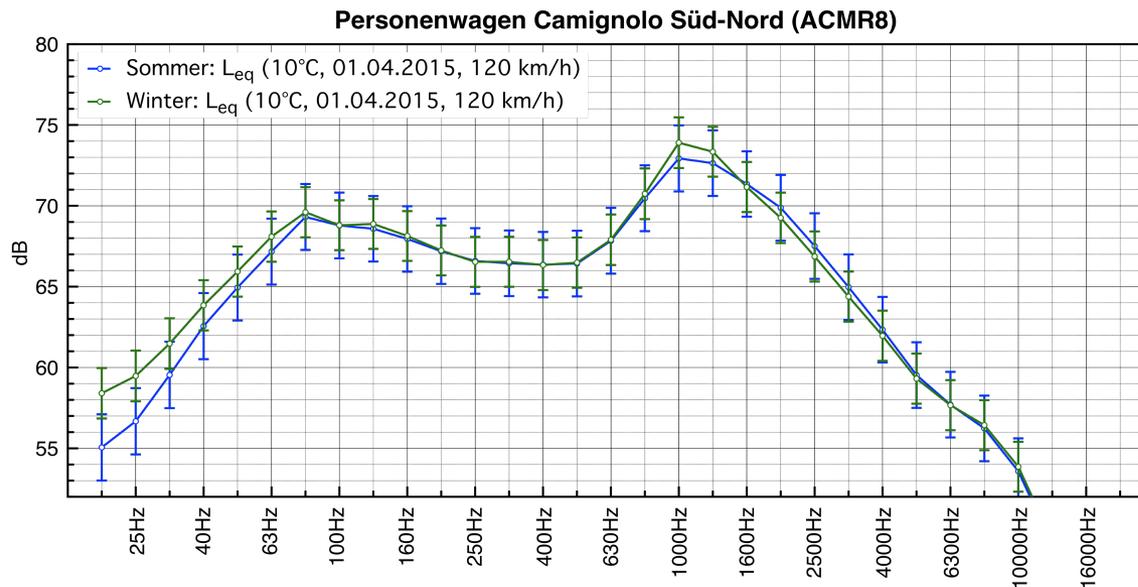
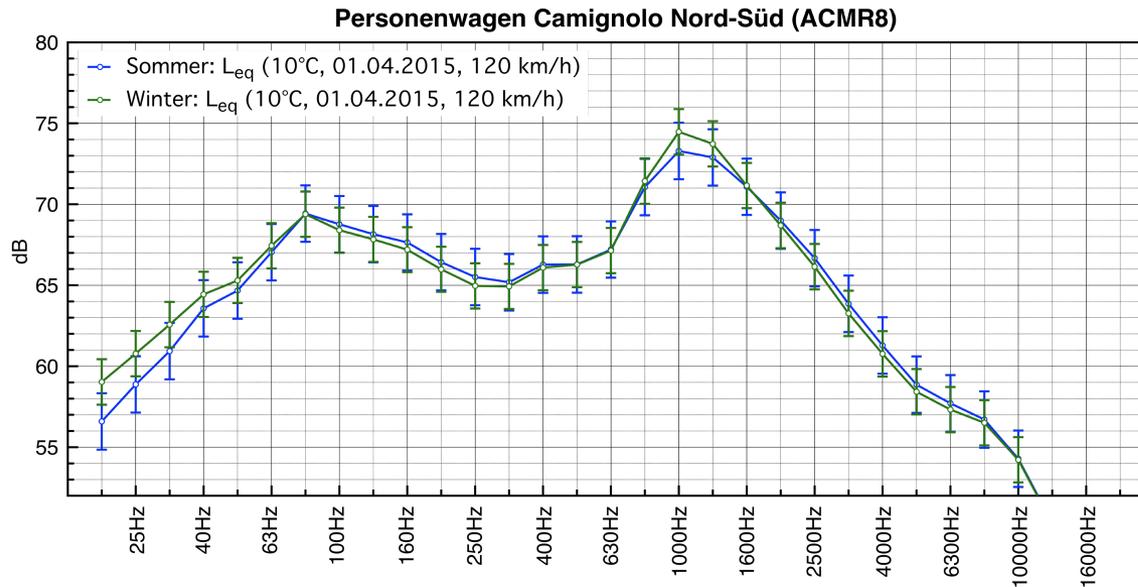
$$c_A = 0.21 \pm 0.03 \text{ dBA/Jahr}$$

$$c_v = 39.0 \pm 0.5 \text{ dBA}$$

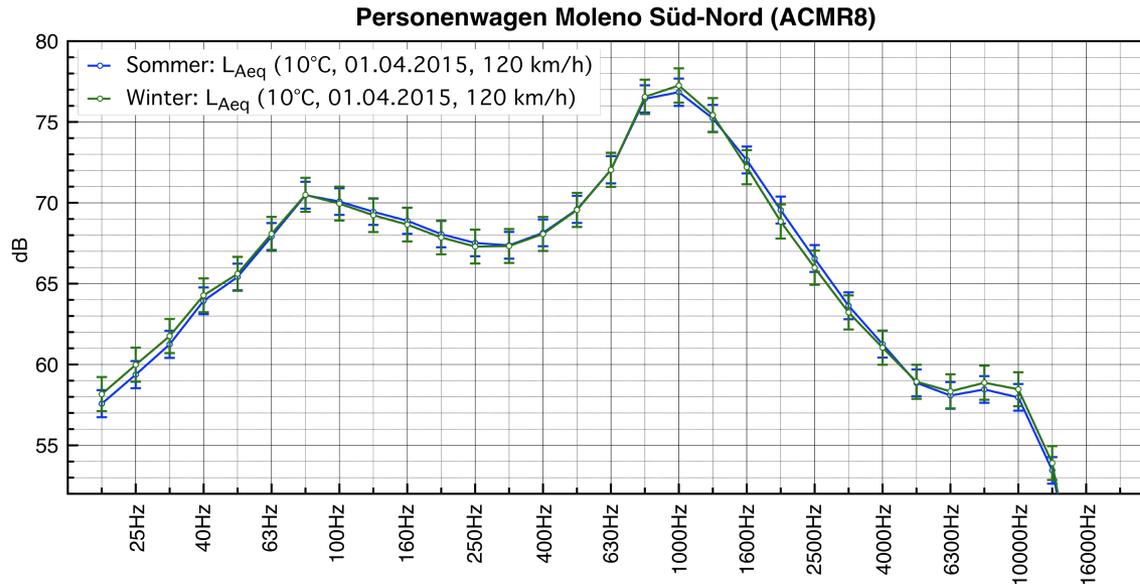
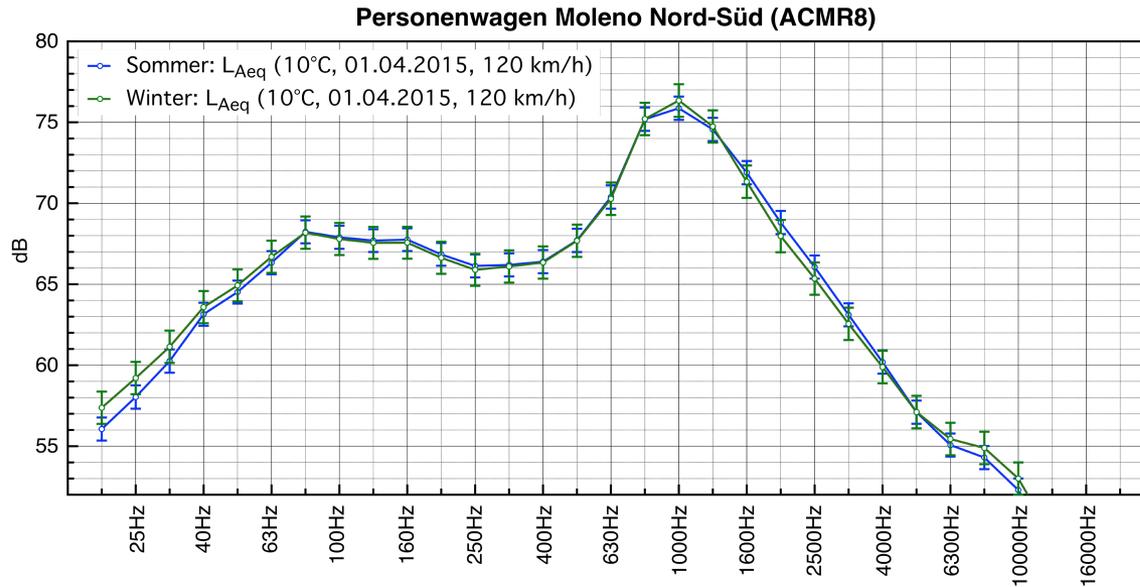
$L_{eq, f} (v_{ref}, T_L = 10^\circ\text{C}, \text{Datum} = 01/04/2015)$

für jede Terzbandfrequenz f

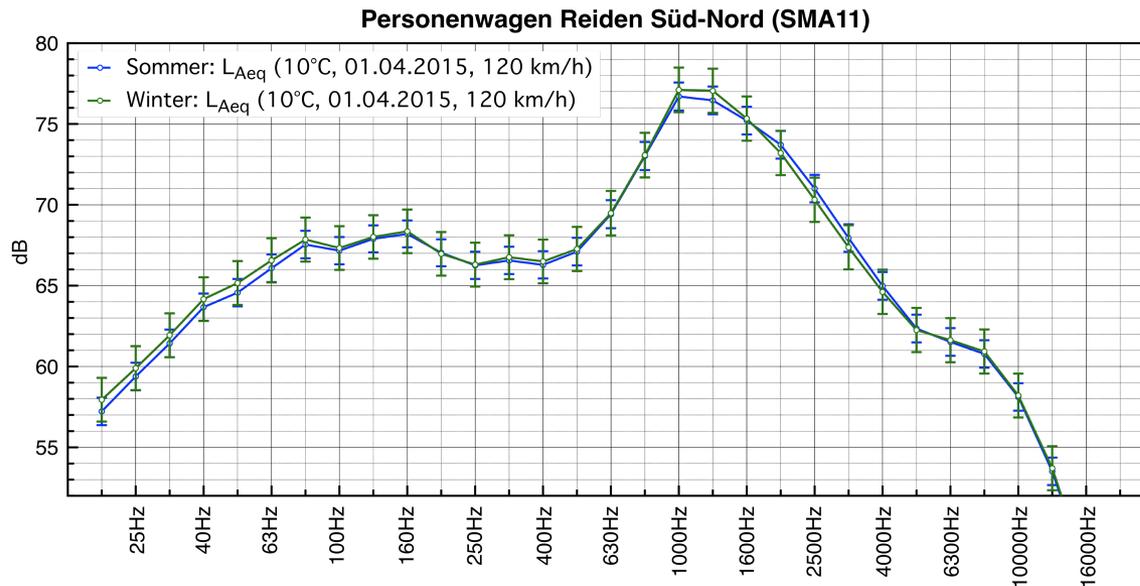
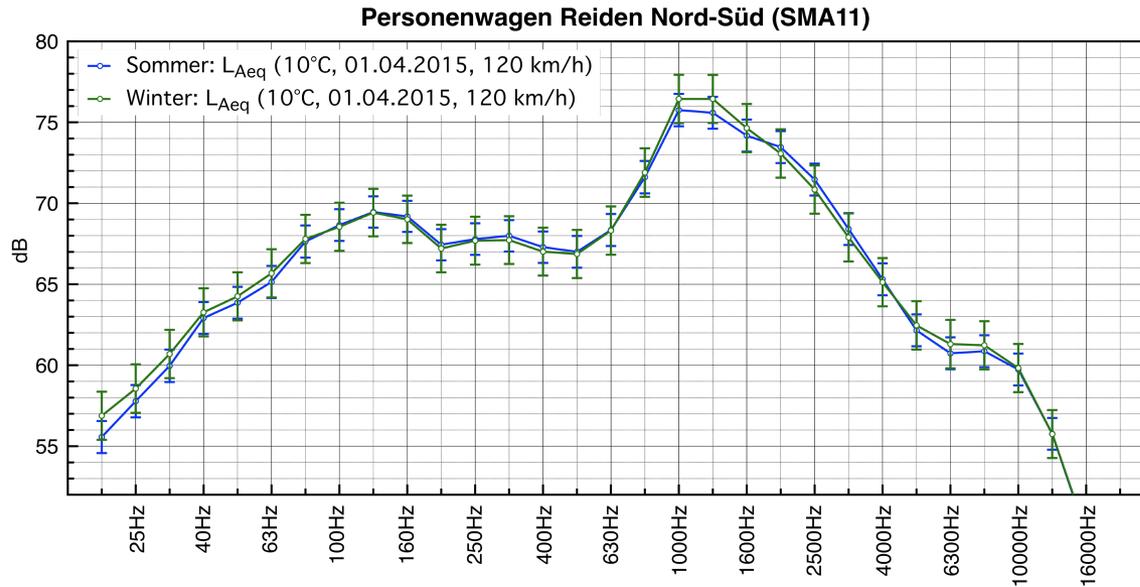
Ergebnisse: Emissionsspektrum Personenwagen Camignolo



Ergebnisse: Emissionsspektrum Personenwagen Moleno

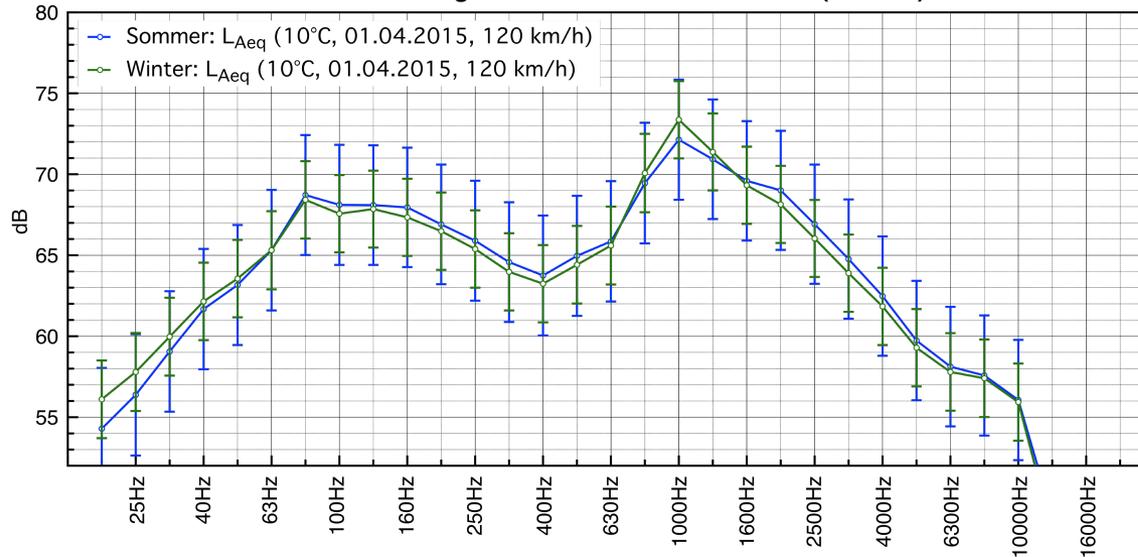


Ergebnisse: Emissionsspektrum Personenwagen Reiden

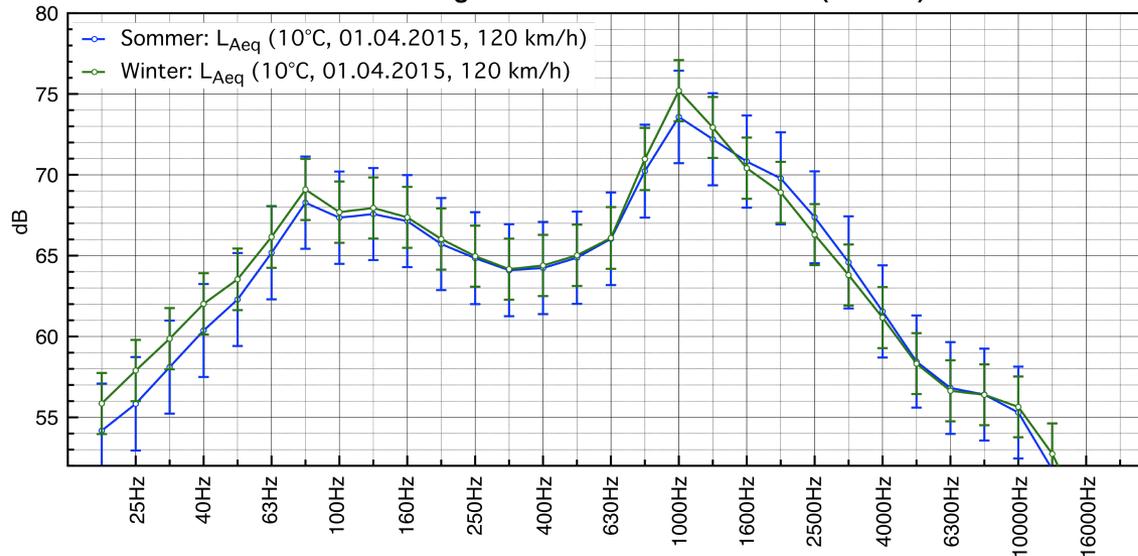


Rothenbrunnen

Personenwagen Rothenbrunnen Nord-Süd (ACMR8)

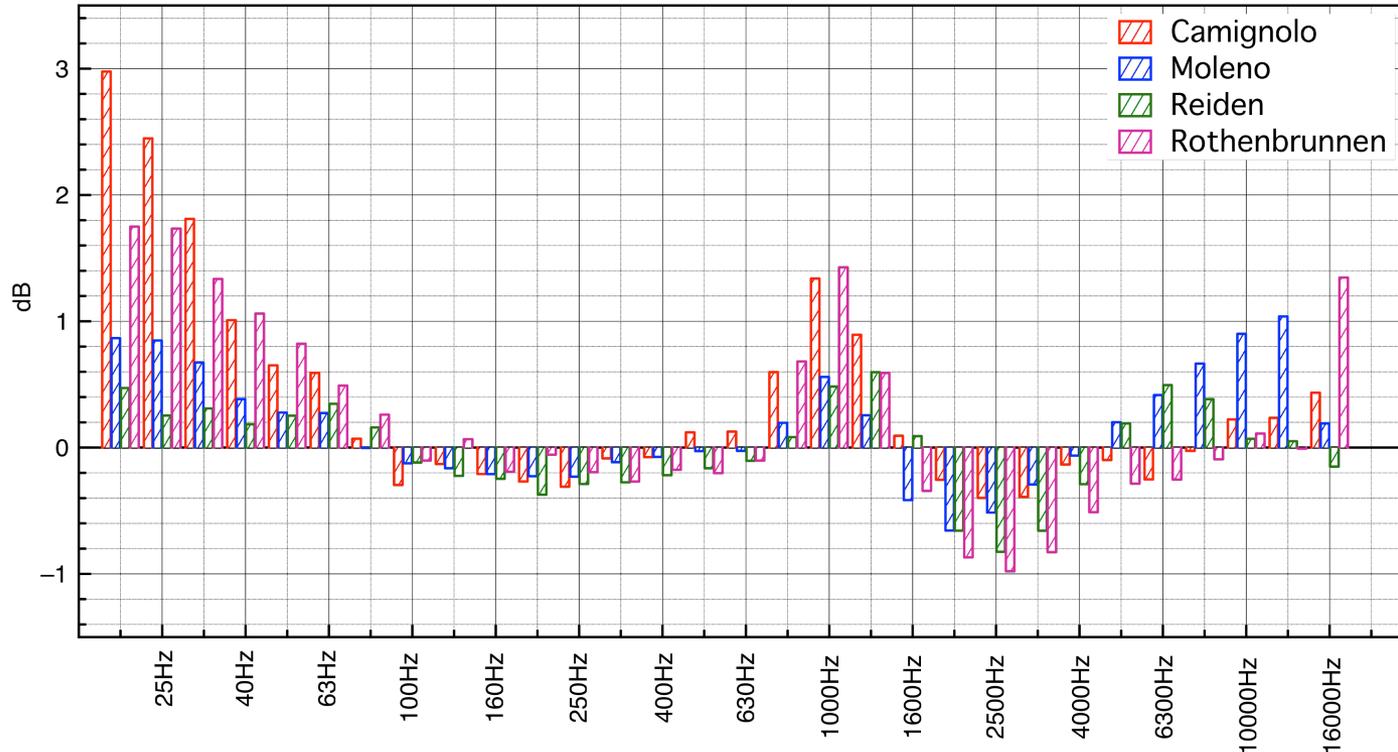


Personenwagen Rothenbrunnen Süd-Nord (ACMR8)



Ergebnisse: Vergleich der Emissionsspektren von Personenwagen während Winter- und Sommerperioden

Differenz Spektrum (Terzspektrum des maximalen Lärmpegels) ($L_{eq\ 1h1m\ W\ f} - L_{eq\ 1h1m\ S\ f}$) für
Personenwagen evaluiert für den 01/04/2015 mit $T_{Luft} = 10^{\circ}C$ und $v = 120\ km/h$



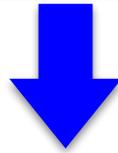
- ▶ Vorbeifahrten während der Winterperioden sind an allen Standorten durch höhere Lärmemissionen zwischen 800 und 1'250 Hz und niedrigere Lärmemissionen zwischen 1'600 und 4'000 Hz charakterisiert;
- ▶ Die Ergebnisse zeigen einen systematischen Unterschied in der Lärmemissionen während Winter- und Sommerperioden für sehr tiefen Frequenzen ($\leq 63\ Hz$) (der Beitrag von diesen Frequenzen zum Gesamtpegel ist auf jeden Fall vernachlässigbar);
- ▶ Die beschriebenen Unterschiede sind besonders ersichtlich für die Standorten Camignolo und Rothenbrunnen.

6 Temperaturkoeffizienten c_T

Temperaturkoeffizienten c_T : Ergebnisse

Multiple Fit

$$L_{Aeq,1h1m} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$



Literaturwerte (Merkblatt ASTRA und BAFU):

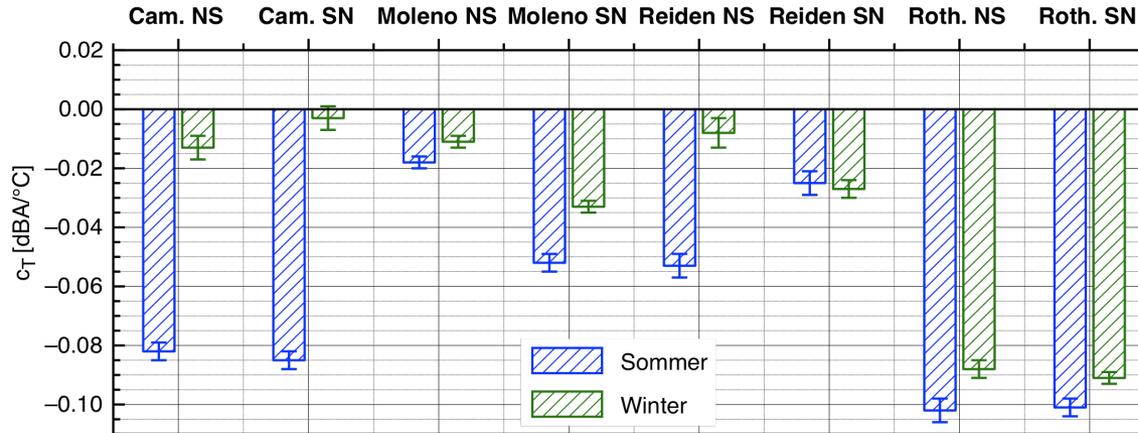
Temperaturkorrektur [dB(A)/°C]	N1	N2
Drainbeläge	-0.050	-0.030
dichte Beläge	-0.030	0
Betonbeläge	-0.010	0

TEMP. KOEFF. (Luft) [dB(A)/°C]	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Rothenbrunnen NS (ACMR8 06.2013)	Rothenbrunnen SN (ACMR8 06.2013)
<i>Personenwagen W</i>	-0.013 ± 0.004	-0.003 ± 0.004	-0.011 ± 0.002	-0.033 ± 0.002	-0.008 ± 0.005	-0.027 ± 0.003	-0.088 ± 0.003	-0.091 ± 0.002
<i>Personenwagen S</i>	-0.082 ± 0.003	-0.085 ± 0.003	-0.018 ± 0.002	-0.052 ± 0.003	-0.053 ± 0.004	-0.025 ± 0.004	-0.102 ± 0.004	-0.101 ± 0.003
<i>Lieferwagen W</i>	-0.005 ± 0.010	-0.023 ± 0.009	-0.014 ± 0.004	-0.028 ± 0.005	0.004 ± 0.008	-0.042 ± 0.007	-0.103 ± 0.007	-0.098 ± 0.006
<i>Lieferwagen S</i>	-0.072 ± 0.011	-0.087 ± 0.008	-0.023 ± 0.004	-0.050 ± 0.005	-0.051 ± 0.009	-0.049 ± 0.007	-0.092 ± 0.012	-0.085 ± 0.009
<i>Lasten- und Sattelzüge W</i>	-0.017 ± 0.015	0.007 ± 0.019	-0.003 ± 0.004	-0.024 ± 0.004	-0.013 ± 0.008	-0.025 ± 0.004	-0.056 ± 0.017	-0.072 ± 0.010
<i>Lasten- und Sattelzüge S</i>	-0.028 ± 0.025	0.029 ± 0.028	-0.022 ± 0.006	-0.055 ± 0.008	-0.036 ± 0.011	-0.047 ± 0.006	-0.063 ± 0.027	-0.078 ± 0.020

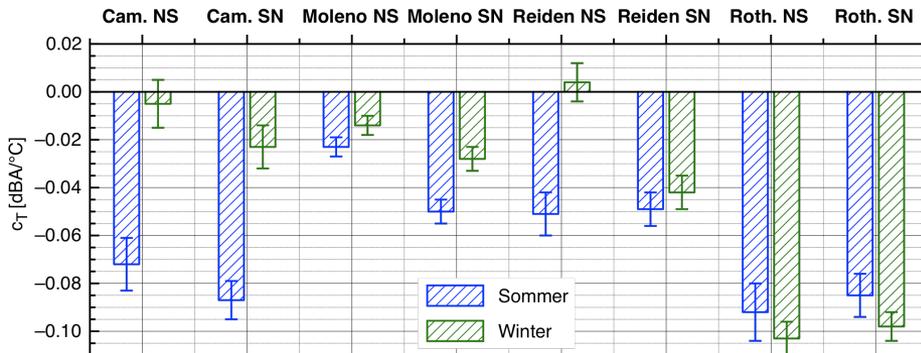
- **W**: Winterperioden, **S**: Sommerperioden
- Grün markierte Felder: Anzahl Vorbeifahrten > 1'000

Temperaturkoeffizienten c_T : Ergebnisse

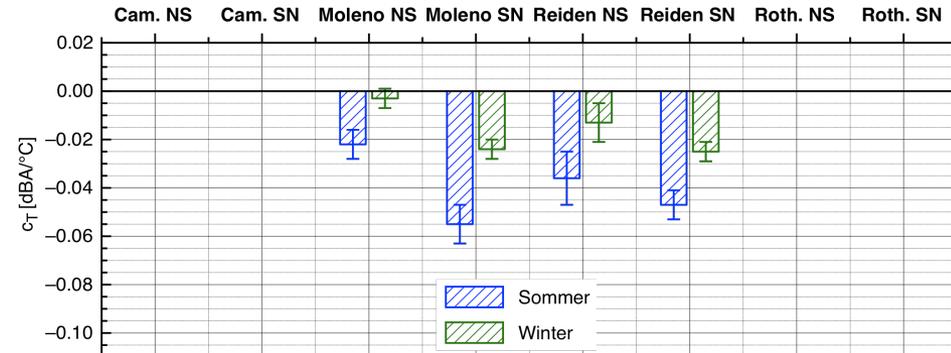
PERSONENWAGEN



LIEFERWAGEN



LASTEN- UND SATTELZUGE



- ▶ Die während der Winterperioden erhaltenen Temperaturkoeffizienten sind im absoluten Wert tendenziell kleiner als diejenigen von Sommerperioden.
- ▶ Es ist wichtig zu beachten, dass die Messdaten von Winter- und Sommerperioden auf unterschiedlichen Temperaturintervallen bezogen sind.

7 Geschwindigkeitskoeffizienten c_v

Geschwindigkeitskoeffizienten c_v : Ergebnisse

Multiple Fit

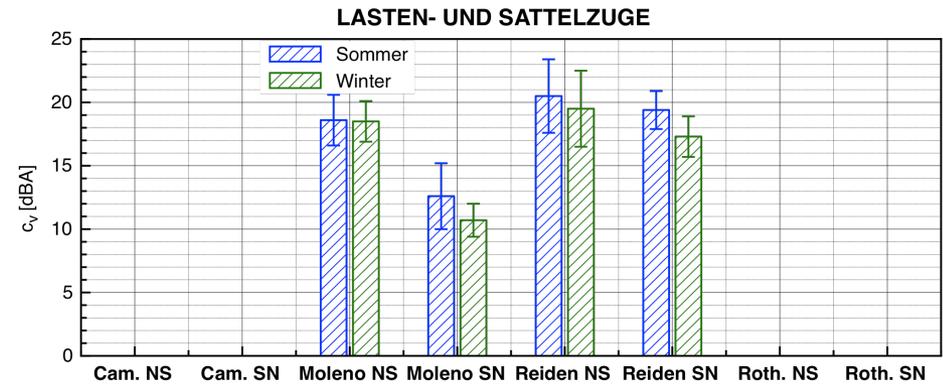
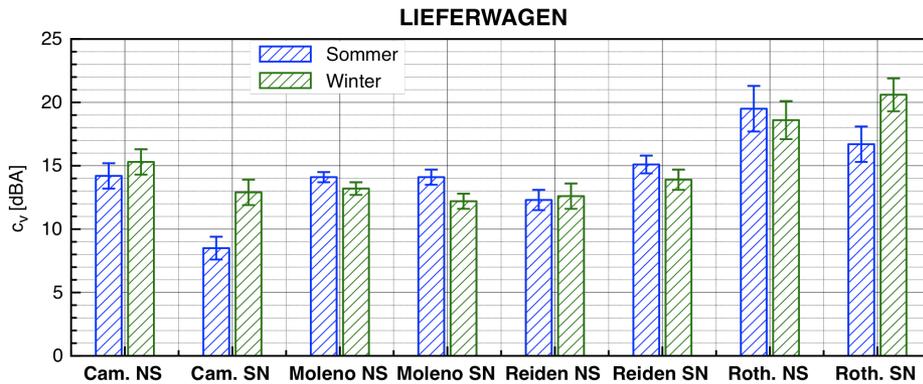
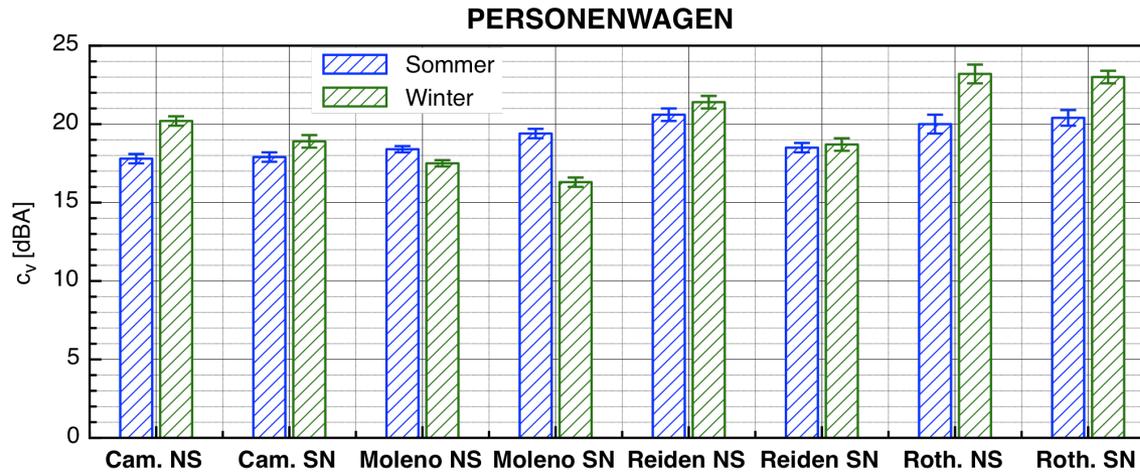
$$L_{Aeq,1h1m} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$



GESCHW. KOEFF. [dB(A)]	Camignolo NS (ACMR8 06.2013)	Camignolo SN (ACMR8 06.2013)	Moleno NS (ACMR8 05.2011)	Moleno SN (ACMR8 05.2011)	Reiden NS (SMA11 1999)	Reiden SN (SMA11 1999)	Rothenbrunnen NS (ACMR8 06.2013)	Rothenbrunnen SN (ACMR8 06.2013)
<i>Personenwagen W</i>	20.2 ± 0.3	18.9 ± 0.4	17.5 ± 0.2	16.3 ± 0.3	21.4 ± 0.4	18.7 ± 0.4	23.2 ± 0.6	23.0 ± 0.4
<i>Personenwagen S</i>	17.8 ± 0.3	17.9 ± 0.3	18.4 ± 0.2	19.4 ± 0.3	20.6 ± 0.4	18.5 ± 0.3	20.0 ± 0.6	20.4 ± 0.5
<i>Lieferwagen W</i>	15.3 ± 1.0	12.9 ± 1.0	13.2 ± 0.5	12.2 ± 0.6	12.6 ± 1.0	13.9 ± 0.8	18.6 ± 1.5	20.6 ± 1.3
<i>Lieferwagen S</i>	14.2 ± 1.0	8.5 ± 0.9	14.1 ± 0.4	14.1 ± 0.6	12.3 ± 0.8	15.1 ± 0.7	19.5 ± 1.8	16.7 ± 1.4
<i>Lasten- und Sattelzüge W</i>	28.2 ± 4.8	13.5 ± 6.2	18.5 ± 1.6	10.7 ± 1.3	19.5 ± 3.0	17.3 ± 1.6	18.6 ± 6.1	22.0 ± 3.1
<i>Lasten- und Sattelzüge S</i>	23.9 ± 5.6	24.6 ± 8.6	18.6 ± 2.0	12.6 ± 2.6	20.5 ± 2.9	19.4 ± 1.5	17.0 ± 7.1	27.4 ± 4.1

- **W**: Winterperioden, **S**: Sommerperioden
- Grün markierte Felder: Anzahl Vorbeifahrten > 1'000

Geschwindigkeitskoeffizienten c_v : Ergebnisse



In Camignolo, Reiden und Rothenbrunnen sind die Geschwindigkeitskoeffizienten von Personenwagen während der Winterperioden grösser, während in Moleno diese kleiner als diejenigen der Sommerperioden sind.

8 Nebenergebnis: Spektrale Abhängigkeit der Geschwindigkeitskoeffizienten c_v

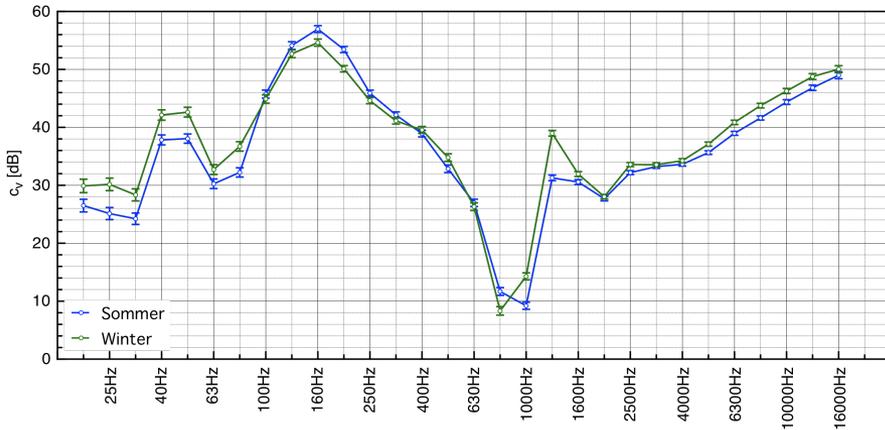
Spektrale Abhängigkeit der Geschwindigkeitskoeffizienten c_v für Personewagen

Multiple Fit

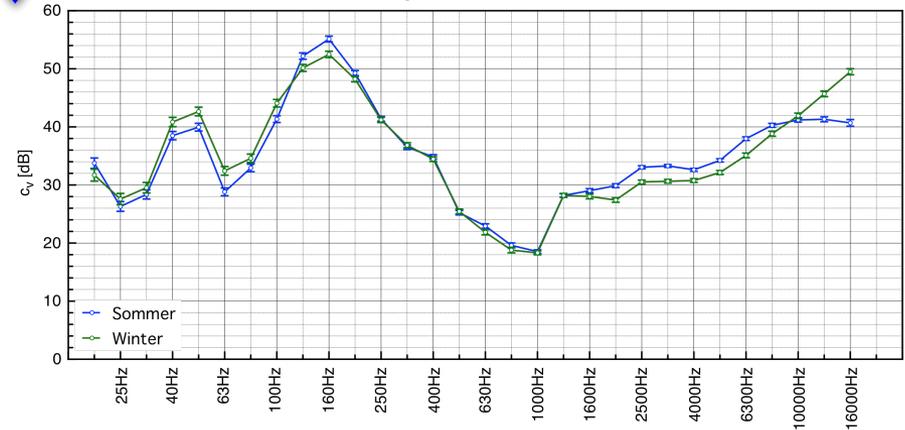
$$L_{eq,f} = c_0 + c_v \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_T \cdot (T_L - T_0) + c_A \cdot t_B$$



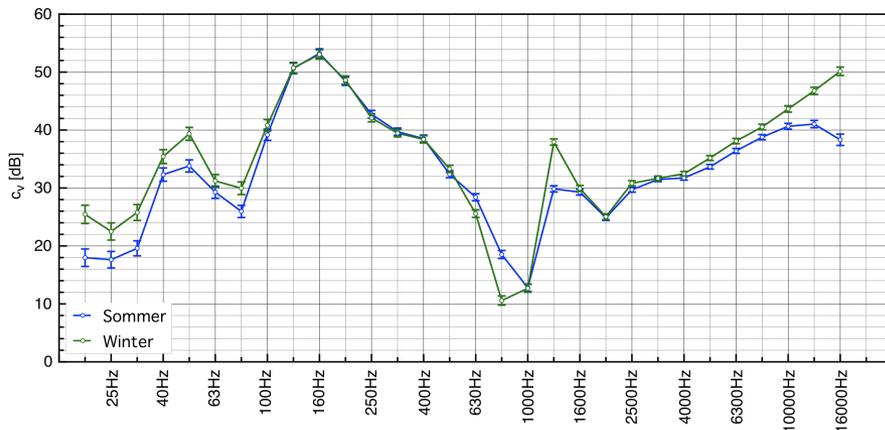
Personewagen Camignolo Nord-Süd (ACMR8)



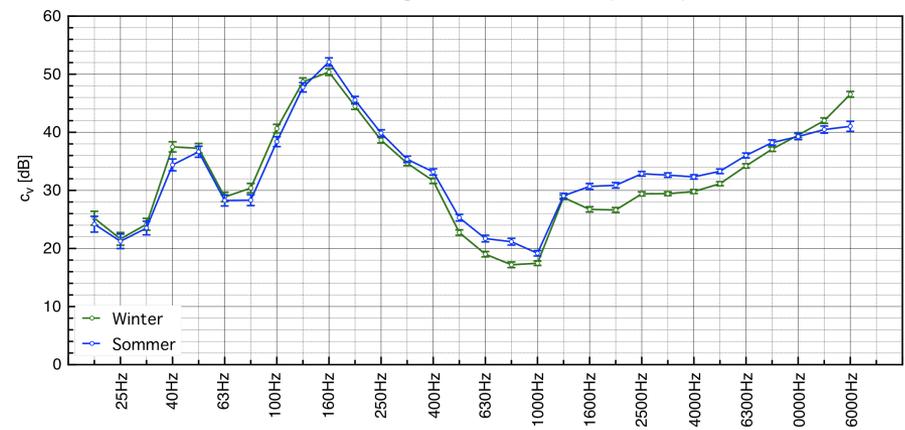
Personewagen Moleno Nord-Süd (ACMR8)



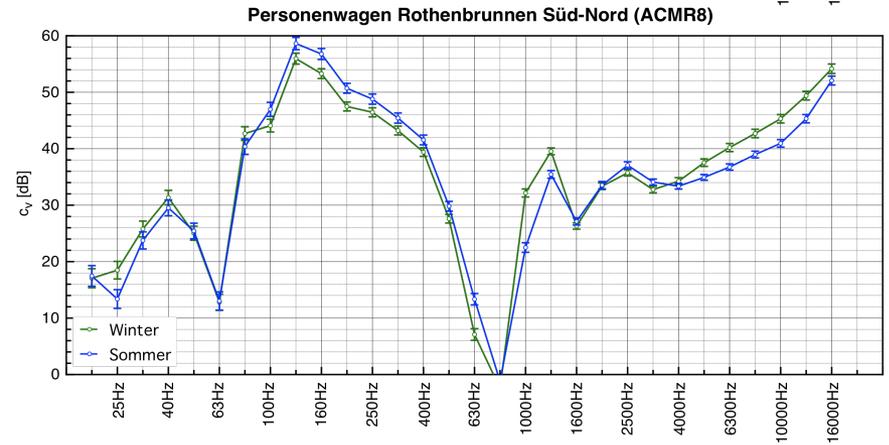
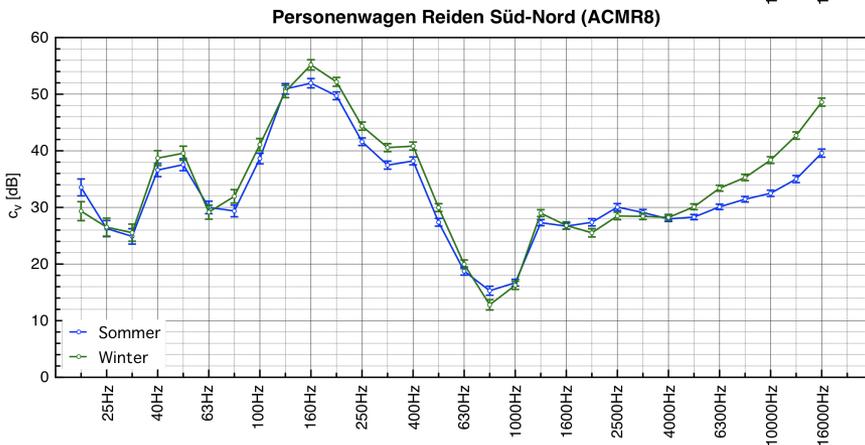
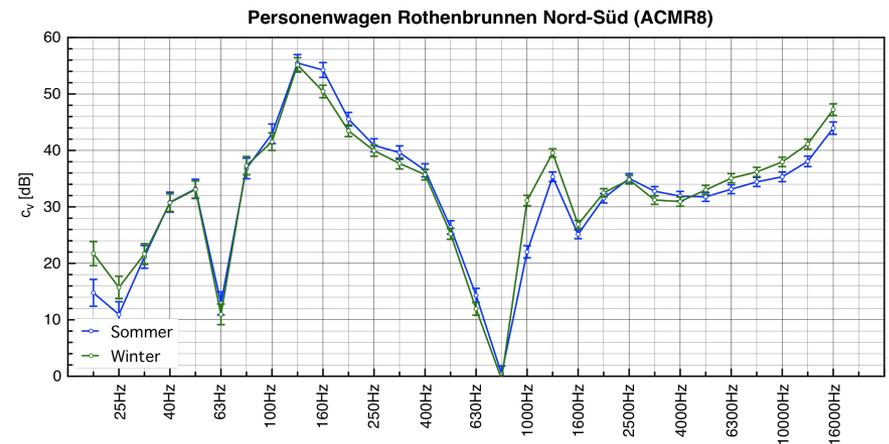
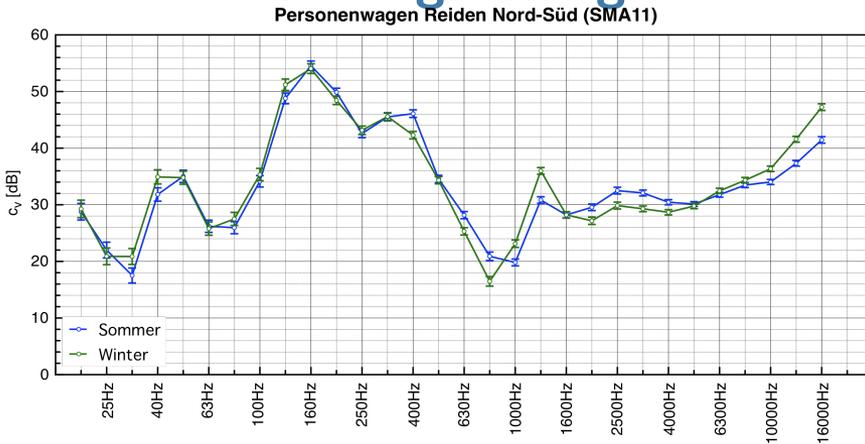
Personewagen Camignolo Süd-Nord (ACMR8)



Personewagen Moleno Süd-Nord (ACMR8)



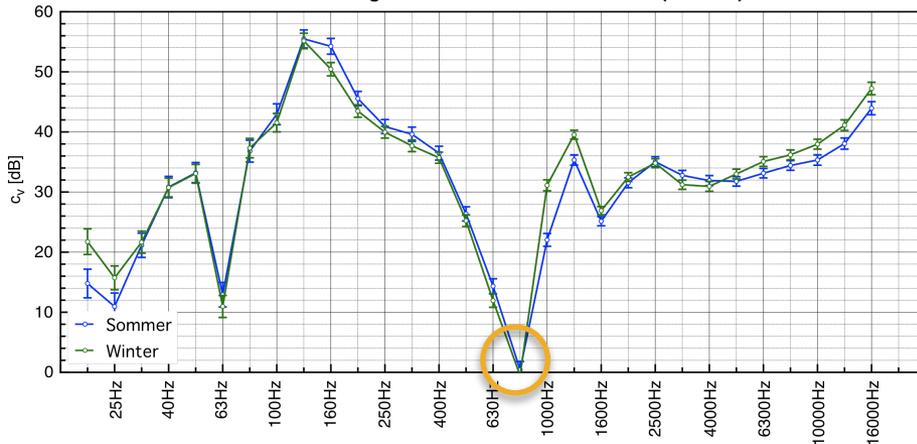
Spektrale Abhängigkeit der Geschwindigkeitskoeffizienten c_v für Personenwagen: Ergebnisse



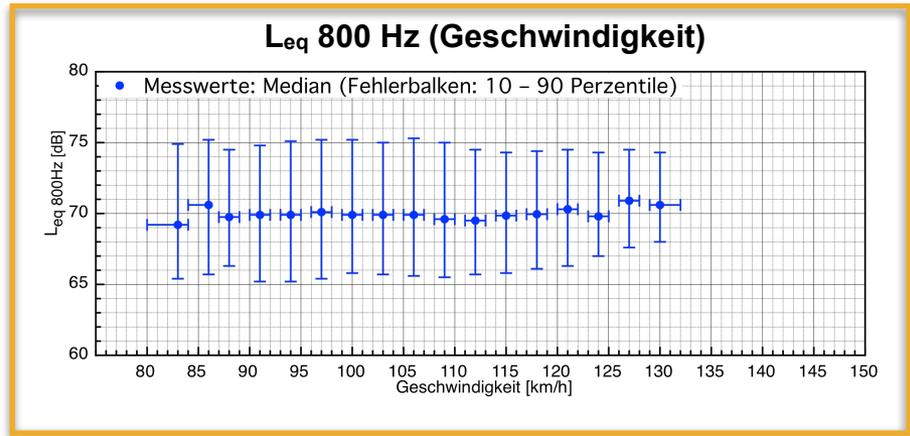
- ▶ Die erhaltenen Geschwindigkeitskoeffizienten zeigen eine ähnliche Frequenzabhängigkeit an allen Standorten. Besonders interessant ist die schwache Geschwindigkeitsabhängigkeit der Lärmemissionen bei 800-1'000 Hz (insbesondere in Rothenbrunnen).
- ▶ Die spektrale Abhängigkeit der Lärmemissionen für Winter- und Sommerperioden ist ähnlich. In Camignolo, Rothenbrunnen und zum Teil Reiden erkennt man allerdings, dass die Lärmemissionen während der Winterperioden durch höhere Geschwindigkeitskoeffizienten bei 1'000-1'250 Hz und $\geq 4'000$ Hz charakterisiert sind.

Spektrale Abhängigkeit der Geschwindigkeitskoeffizienten c_v für Personenwagen: Minimum bei 800-1'000 Hz

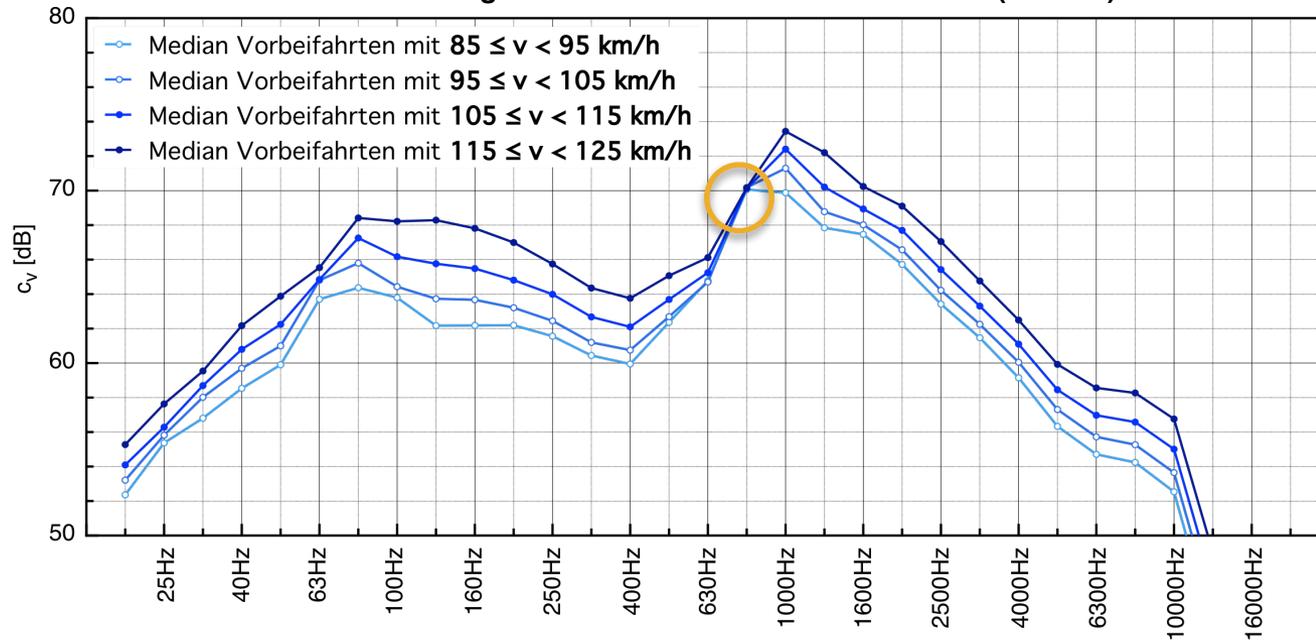
Personenwagen Rothenbrunnen Nord-Süd (ACMR8)



L_{eq} 800 Hz (Geschwindigkeit)



Personenwagen Rothenbrunnen Nord-Süd Winter (ACMR8)



9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Leichte Fahrzeuge (Personenwagen und Lieferwagen):

- ▶ Die Lärmemissionen von leichten Fahrzeugen während der Winterperioden scheinen tendenziell höher als diejenigen während der Sommerperioden zu sein. Die beobachtete Differenz der mittleren Dauerschallpegel bei gleichen Lufttemperatur, Geschwindigkeit der Vorbeifahrt und Alter des Belages beträgt maximal 0.4 dBA (Camignolo).
- ▶ Vorbeifahrten während der Winterperioden sind durch höhere Lärmemissionen zwischen 800 und 1'250 Hz und niedrigere Lärmemissionen zwischen 1'600 und 4'000 Hz charakterisiert.
- ▶ Die Ergebnisse zeigen einen systematischen Anstieg der Lärmemissionen während Winterperioden für sehr tiefen Frequenzen (≤ 63 Hz).
- ▶ Die während der Winterperioden erhaltenen Temperaturkoeffizienten sind im absoluten Wert tendenziell kleiner als diejenigen der Sommerperioden.

Schwere Fahrzeuge: wegen der kleinen Anzahl Vorbeifahrten konnte keine statistisch relevante Aussage gemacht werden.

Interpretation der Ergebnisse

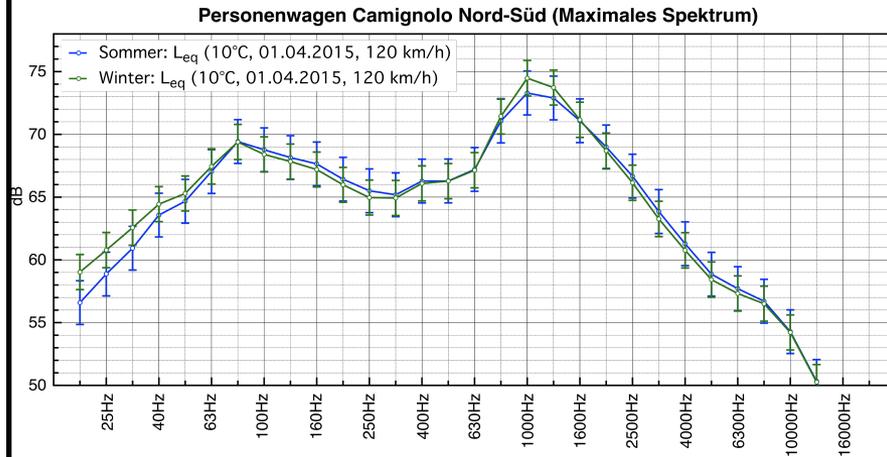
- ▶ Die an den verschiedenen Standorten erhaltenen Ergebnisse hängen von den Eigenschaften der eingebauten Beläge und der Anteil der Fahrzeuge ab, welche während der Winterperiode mit Winterreifen ausgestattet sind.
- ▶ Unter der Annahme (Studie TCS Kanton Luzern), dass während der Sommerperioden 30% und während der Winterperioden 75% der Vorbeifahrten auf Fahrzeugen mit Winterpneus zurückführbar sind, kann man sagen, dass Winterreifen im mittel eine Erhöhung von 0.7 dBA des Dauerschallpegels der Vorbeifahrt eines leichten Fahrzeuges in Camignolo verursachen. An den anderen Standorten sind die beobachteten Differenzen kleiner.
- ▶ Die niedrigeren Lärmemissionen zwischen 1'600 Hz und 4'000 Hz der Vorbeifahrten von leichten Fahrzeugen während der Winterperioden sind vermutlich auf die weicheren Gummi-Mischungen der Winterreifen zurückzuführen. Die höheren Lärmemissionen bei 1000 Hz sind stattdessen wahrscheinlich mit den gröberen Profilen der Winterpneus verbunden¹.
- ▶ Die Ursache der Differenz der Lärmemissionen bei niedrigen Frequenzen (≤ 63 Hz) ist nicht klar. Der Beitrag von diesen Frequenzen zum Gesamtpegel ist auf jeden Fall vernachlässigbar.
- ▶ Die im absoluten Wert kleineren Temperaturkoeffizienten erhalten während der Winterperioden sind wahrscheinlich auf die weicheren Gummi-Mischungen der Winterreifen zurückzuführen. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Messdaten von Winter- und Sommerperioden auf unterschiedlichen Temperaturintervallen bezogen sind.

¹ Die Hypothesen basieren auf den Ergebnissen von: U. Sandberg, J.A. Ejsmont, Tyre/Road Noise reference Book, 2002

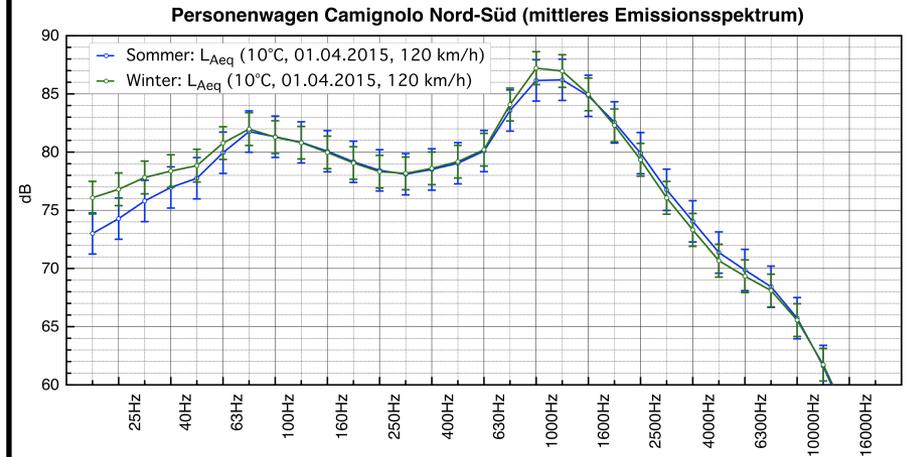
10 Anmerkungen

“Maximales vs. Mittleres Emissionsspektrum”

Maximales Emissionsspektrum:
Emissionsspektrum der Vorbeifahrten
gemessen beim maximalen Vorbeifahrtpegel



Mittleres Emissionsspektrum:
energetische Summe des
Emissionsspektrums während der Vorbeifahrt



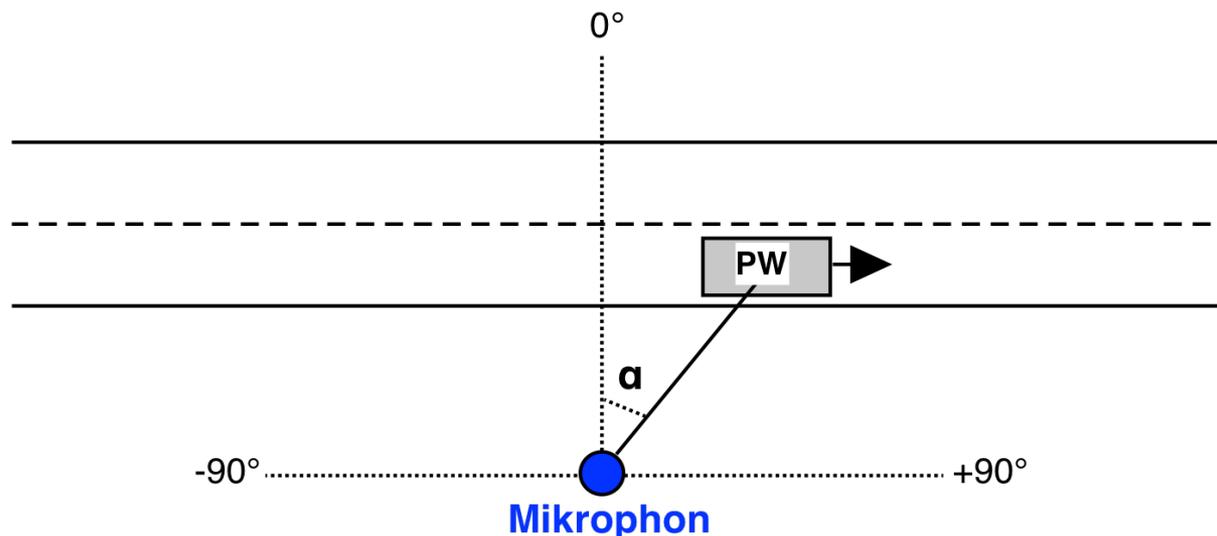
- ▶ Für die Messdaten vom Standort Camignolo in der Nord-Süd Richtung wurde auch das mittlere Emissionsspektrum (energetische Summe des Emissionsspektrums während der Vorbeifahrt) von Personenwagen untersucht.
- ▶ Die Analyse hat gezeigt, dass man ähnliche Ergebnisse erhält, wie bei der Benutzung des “maximalen Emissionsspektrums”.

Spektrale Richtungsabhängigkeit der Lärmemissionen

Für den Standort Camignolo in der Nord-Süd Richtung wurde die Entwicklung des Emissionsspektrums während der Vorbeifahrten von Personenwagen kurz untersucht.

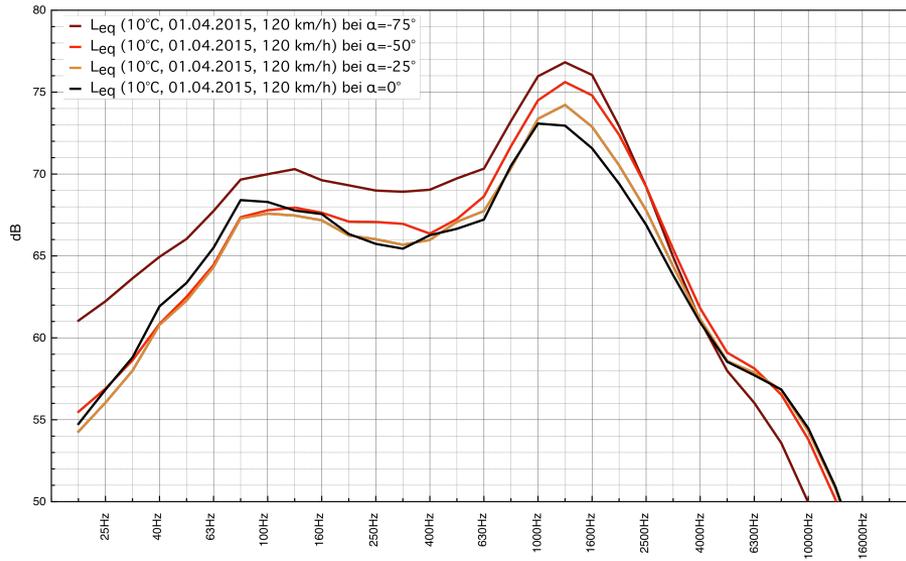
Methodologie:

- ▶ Die gemessenen Lärmspektren wurden normalisiert auf den Abstand $\sqrt{6.5^2 + 3.2^2} \cong 7.5 \text{ m}$
- ▶ Die Messwerte wurden anhand des Emissionswinkels α in Richtungskategorien unterteilt
- ▶ Für jede Richtungskategorie wurde ein “Multiple fit” für jede Frequenz durchgeführt und das mittlere Emissionsspektrums bei $v_{\text{ref}} = 120 \text{ km/h}$ und $T_L = 10^\circ\text{C}$ am 01/04/2015 bestimmt.

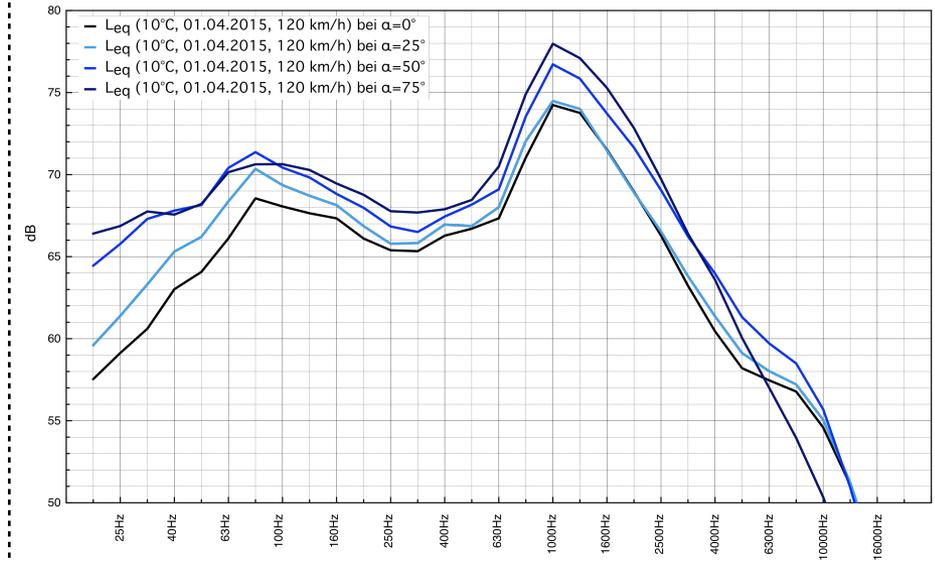
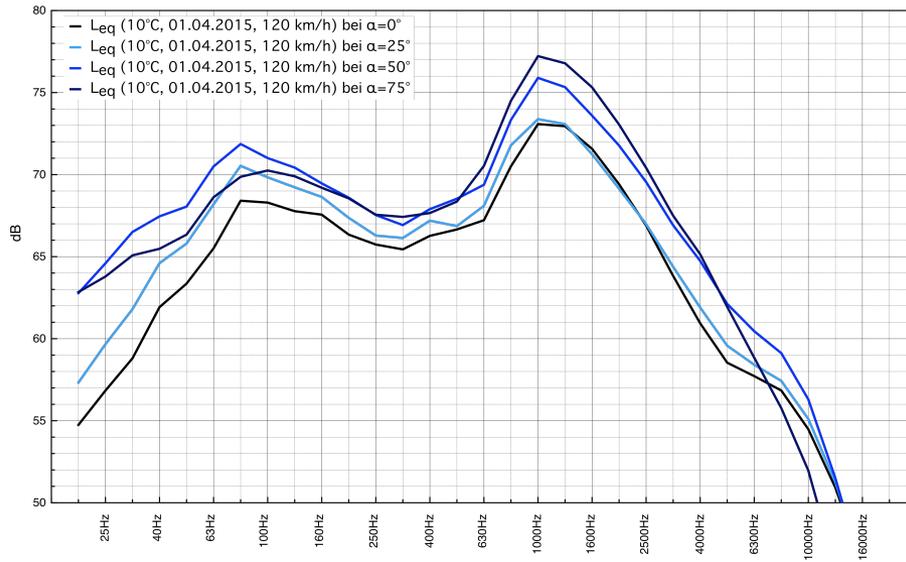
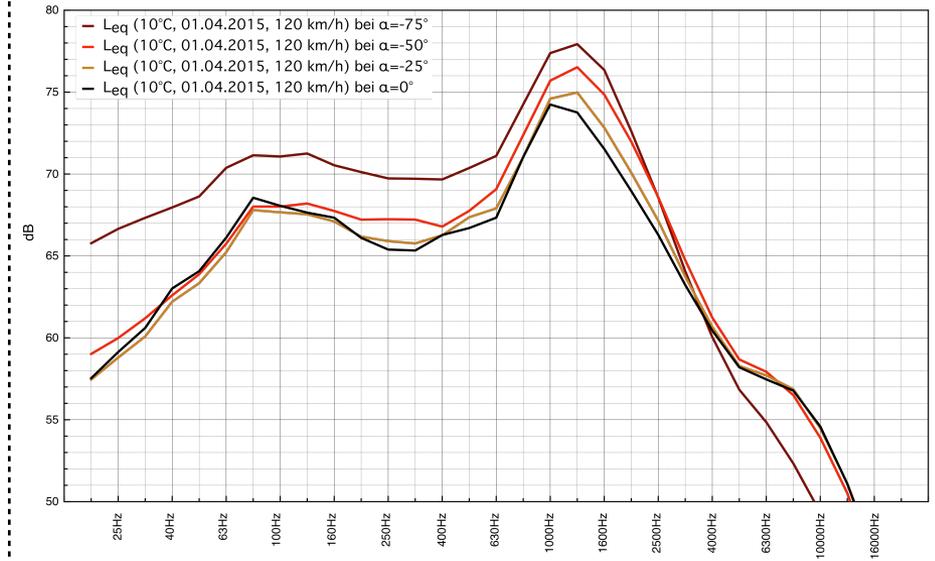


Spektrale Richtungsabhängigkeit der Lärmemissionen: Ergebnisse für PW in Camignolo Nord-Süd

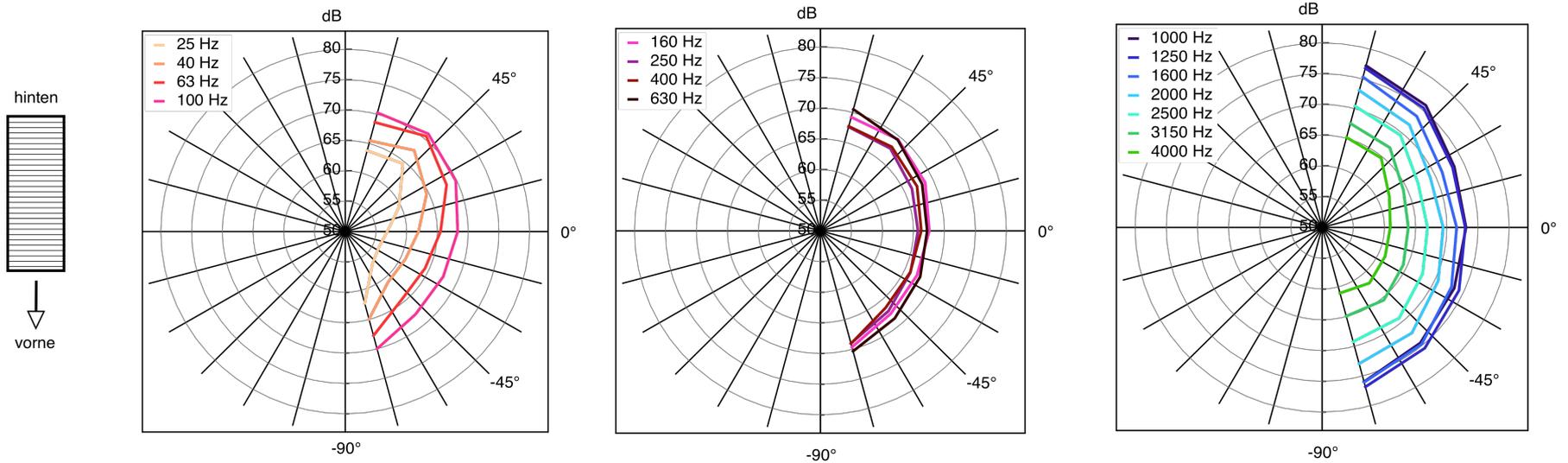
Sommerpneus



Winterpneus



Spektrale Richtungsabhängigkeit der Lärmemissionen: Ergebnisse für PW in Camignolo Nord-Süd (Sommer)



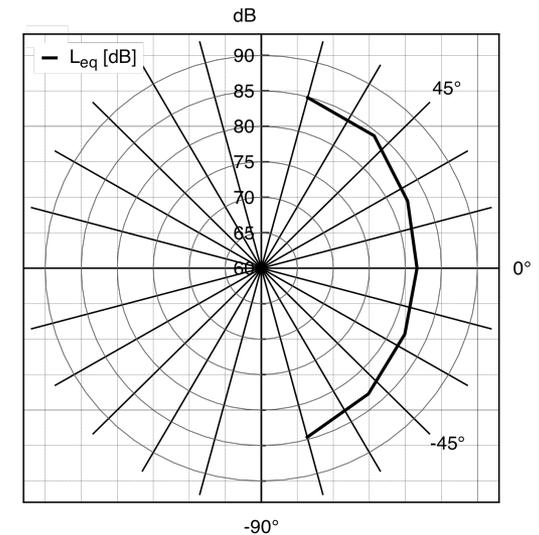
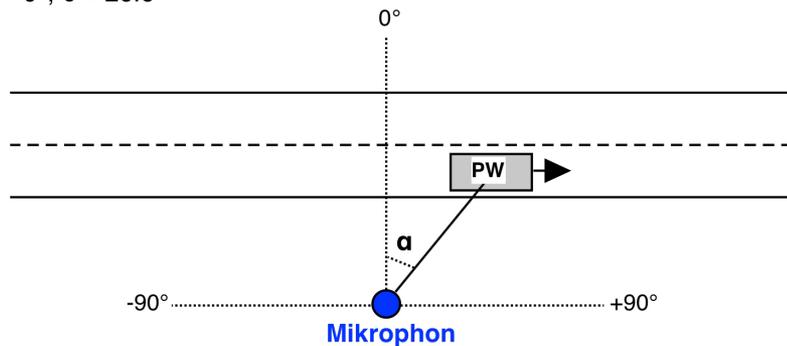
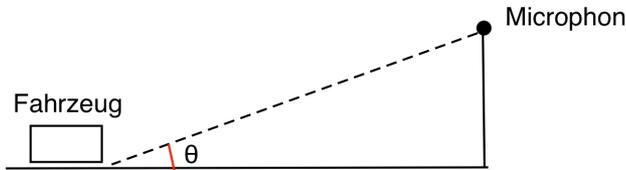
Bemerkung: Azimutwinkel θ ändert sich:

$$\alpha = \pm 75^\circ, \theta \approx 7.4^\circ$$

$$\alpha = \pm 50^\circ, \theta \approx 17.8^\circ$$

$$\alpha = \pm 25^\circ, \theta \approx 24.4^\circ$$

$$\alpha = 0^\circ, \theta \approx 26.6^\circ$$



Spektrale Richtungsabhängigkeit der Lärmemissionen:

Kommentare

- ▶ Es handelt sich um eine **Voranalyse**: viele Einflüsse (z.B. Einfluss anderer Vorbeifahrten (vor und nach die betrachtete Vorbeifahrt)) wurden nicht berücksichtigt.
- ▶ Die spektrale Richtungsabhängigkeit der Lärmemissionen von Personenwagen während Winter- und Sommerperioden ist sehr ähnlich.
- ▶ Man erkennt ein unterschiedliches Verhalten der Lärmemissionen während der Annäherung (Winkel $\alpha < 0^\circ$) und der Entfernung (Winkel $\alpha > 0^\circ$) des Fahrzeuges, vor allem bei niedrigen (< 200 Hz) und hohen ($> 2'500$ Hz) Frequenzen.

Die durchgeführte Analyse zeigt, dass eine detaillierte Untersuchung der spektralen Richtungsabhängigkeit der Lärmemissionen anhand der an den MfM-U Standorten gemessenen Daten machbar wäre und interessante Ergebnisse liefern könnte.