

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 69 93
www.empa.ch

Marco Steiger
Dipartimento del territorio
Divisione ambiente
Ufficio del monitoraggio ambientale
Via Franco Zorzi 13
6500 Bellinzona

Auswertung der Lärmmonitoring-Daten 2015

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214.012728

Ihr Auftrag vom: 13.04.2016

Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 25

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Auftrag	2
2 Einleitung	2
3 Vorgehen	3
4 Ergebnisse	6
5 Diskussion	23
A Belagshistorie	25

Dübendorf, 18. Mai 2016
Der Projektleiter:



Kurt Heutschi

Abteilung Akustik / Lärminderung
Der Abteilungsleiter:



Kurt Eggenschwiler

Impressum

Auftraggeber

Kanton Tessin und Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Autor/Auftragnehmer

Kurt Heutschi

Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Tel. +41 58 765 47 43

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Kantons Tessin und des Bundesamts für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

In einer zweistufigen Prozedur wurden die MFM-U Strassenlärmmonitoringdaten vom 1.1.2015 bis zum 31.12.2015 aufbereitet. Dabei wurde das ganze Jahr 2015 als Einheit sowie jeder Monat separat ausgewertet. In einem ersten Schritt wurden pro Standort anhand der Verkehrszahlen, Geschwindigkeiten und Messwerte Korrekturen zum Emissionsmodell aus SonRoad bestimmt. Im zweiten Schritt wurden schliesslich die totalen durchschnittlichen Freifeldemissionspegel in 1 m Abstand berechnet, unter der Annahme, dass der ganze Verkehr auf eine Spur konzentriert würde. Die Aufschlüsselung in verschiedene Fahrzeugkategorien ergab für die Monate des Jahres 2015 tags akustische Energieanteile des Güterschwerverkehrs zwischen 18 und 54 %, nachts zwischen 13 und 44 %. Dabei zeigten Camignolo, Moleno und Rothenbrunnen die tiefsten, Tenniken die höchsten Güterschwerverkehrsanteile.

Die Auswertung der durchschnittlichen Wochengänge zeigt an allen Standorten grosse Variationen in den Freifeldemissionen des Güterschwerverkehrs. Sonntags liegen die 24h-Werte typisch rund 10 dB, Samstags rund 4 dB tiefer als an Wochentagen. In den Tagesgängen der 1h-Werte springt ins Auge, dass wochentags in der Stunde von 5:00 bis 5:59 bereits bedeutende Güterschwerverkehr-Freifeldemissionen entstehen, die lediglich zwischen 1 dB (Reiden) und 5 dB (Rothenbrunnen) tiefer liegen als während der Spitzenstunde tagsüber.

1 Auftrag

Mit Vertrag vom 13.04.2016 beauftragte das Dipartimento del territorio des Kt. Tessins die EMPA, Abteilung Akustik / Lärminderung mit der Auswertung und Aufbereitung der MFM-U Lärmmonitoringdaten 2015. Die bisherigen Auswertungen wurden um die Ermittlung von Tages- und Wochenganglinien ergänzt.

2 Einleitung

Das MFM-U Strassenlärmmonitoring erfolgt an jedem Standort mittels zweier je auf einer Seite der Autobahn installierter Mikrophone. Die Nähe der Messpositionen zu den Fahrspuren führt dazu, dass die Mikrofonpegel sowohl von den Fahrzeugemissionen als auch von der befahrenen Fahrspur abhängen. Dieser Fahrspureinfluss ist unerwünscht, da dadurch systematische Abhängigkeiten z.B. von der Verkehrsstärke auftreten können. So ist zu erwarten, dass nachts bei schwachem Verkehr die meisten Fahrzeuge auf der Normalspur verkehren. Tagsüber bei hohem Verkehrsaufkommen verteilen sich die Fahrzeuge auf die Normal- und Überholspur. Da bei gleicher Emission ein Fahrzeug auf der Überholspur im Vergleich zu einem Fahrzeug auf der Normalspur rund 2 dB tiefere Pegel am Mikrophon erzeugt, liegen nach einer Korrektur für die Verkehrsstärke und die Geschwindigkeit die Pegel tags systematisch tiefer als in der Nacht. Für die Kommunikation der Emissionen an den MFM-U Standorten wäre es vorteilhaft, diesen Fahrspureffekt zu kompensieren. Überdies ist es wünschenswert, die Emissionen getrennt für den Güterschwerverkehr und den übrigen Verkehr auszuweisen.

In den EMPA-Untersuchungen 432'309 [1] und 457'657 [2] wurden für alle MFM-U Monitoringstationen die Ausbreitungsdämpfungen von den einzelnen Fahrspuren zu den Mikrophenen bestimmt. Es ist damit in Kenntnis der Geschwindigkeiten und der Verkehrsdaten pro Fahrspur im Prinzip möglich, aus den Monitoringdaten auf die durchschnittliche Emission der beiden (akustisch motivierten) Fahrzeugkategorien Personen- und Lastwagen zu schliessen [3]. Die Kategorisierung in Personen- und Lastwagen ist durch das Quellenmodell aus SonRoad [4] bedingt. Die Emissionskennwerte können als fundamentale Beschreibungsgrössen des Fahrzeugparkes auf dem jeweiligen Belag angesehen werden. In einem zweiten Schritt werden anhand dieser Emissionswerte, der Geschwindigkeiten und der Verkehrszahlen die totalen Emissionen der Strasse berechnet.

3 Vorgehen

3.1 Primäre Auswertungen

Die Grundlage bildeten folgende Daten:

- Verkehrszahlen: Stundenwerte pro Fahrspur und SWISS7 Fahrzeugkategorie (siehe Tabelle 1)
- ASTRA Zählerinformationen: für jedes Einzelereignis mit Geschwindigkeit und Aufschlüsselung nach Fahrzeugkategorie, bzw. stündliche Geschwindigkeitsmittelwerte pro Fahrspur und Fahrzeugkategorie
- Lärmmonitoringdaten: Leq-Halbstundenwerte pro Mikrophon als A-Pegel und in Terzbändern

Überdies wurde auf das akustische Emissionsmodell aus SonRoad [4] sowie auf die akustischen Ausbreitungsdämpfungen von den einzelnen Fahrspuren zu den Mikrophonen [1] zurückgegriffen.

Klassennummer	Fahrzeugkategorie
1	Busse/Cars
2	Motorräder
3	Personenwagen
4	Lieferwagen
5	Lastwagen
6	Lastenzüge
7	Sattelzüge

Tabelle 1: SWISS7 Fahrzeugklassierung.

In einem ersten Auswerteschritt wurden die halbstündigen Akustikdaten zu Stundenwerten zusammengefasst. Dies wurde durch energetische Mittelwertbildung jeweils zweier Halbstundenwerte erreicht.

Der Verkehr wurde in vier Sammelkategorien zusammengefasst:

PW (akustische Personenwagen) umfasst die SWISS7 Kategorien 3 und 4

LW (akustische Lastwagen) ¹ umfasst die SWISS7 Kategorien 1, 2, 5, 6, und 7

Güterschwerverkehr umfasst die SWISS7 Kategorien 5, 6 und 7

übriger Verkehr umfasst die SWISS7 Kategorien 1...4

In einem nächsten Schritt wurden die Stunden mit überwiegend *PW* Verkehr detektiert, wobei folgende Bedingung gestellt wurde: $(\text{Anzahl } PW) > 30 \times (\text{Anzahl } LW)$. Dies sind naturgemäss primär Nacht- und Wochenendstunden.

Anhand der ASTRA Zählerinformationen wurden für jede Stunde die durchschnittlichen Geschwindigkeiten für die Kategorien *PW* und *LW* getrennt nach Normalspur und Überholspur bestimmt. Da die ASTRA Zählerinformation nicht vollständig ist, wurden mittlere Geschwindigkeiten als Funktion der Tagesstunde bestimmt. Für die Stunden ohne ASTRA Zählerinformation wurden die entsprechenden Schätzwerte angenommen.

Basierend auf dem akustischen Emissionsmodell aus SonRoad und in Kenntnis der Ausbreitungsdämpfungen wurden mittels der Verkehrszahlen und Geschwindigkeiten in den Kategorien *PW* und *LW* die zu erwartenden Mikrophonpegel berechnet [1]. Im Vergleich mit den tatsächlich gemessenen Pegeln wurden jene 30% der Werte verworfen, die die grössten Differenzen Messung-Berechnung aufwiesen. Damit wurden aussergewöhnliche Situationen wie Stau oder nasse Fahrbahnen etc. ausgeschlossen.

¹Die rechnerische Emissionsmodellierung unterscheidet nur die beiden Fahrzeugkategorien *akustische Personenwagen* und *akustische Lastwagen*. Als *akustische Lastwagen* werden auch die vergleichbare Emissionen erzeugenden Busse und Motorräder gezählt.

In einer Optimierungsprozedur wurde die quadratische Fehlersumme Messung-Berechnung minimiert, indem an den Emissionstermen von SonRoad eine Korrektur vorgenommen wurde. Dies geschah zuerst nur durch Variation des *PW* Emissionswertes, wobei dafür lediglich die Messperioden mit überwiegend *PW* Verkehr herangezogen wurden. In einem zweiten Umlauf wurde der *LW* Emissionsterm variiert, wobei hier alle Messperioden berücksichtigt wurden. Nach Abschluss dieser Optimierung lagen zwei Korrekturwerte G_{PW} und G_{LW} vor, die die Abweichung der Emissionen in den beiden Kategorien *PW* und *LW* gegenüber SonRoad beschreiben.

In einem letzten Schritt wurden schliesslich im Sinne eines Mittelwertes die entstandenen Emissionen für die ganze Strasse bestimmt. Dazu wurde an jedem MFM-U Standort der Verkehr auf eine Spur konzentriert und der resultierende A-bewertete Leq_{tot} in 1 m Abstand unter Freifeldbedingungen, d.h. ohne Bodeneinfluss ausgewiesen (siehe Gl. 1 bis 4 bzw. [1] und [4]). Diese Berechnung verwendete das Emissionsmodell von SonRoad mit den gefundenen Korrekturwerten G_{PW} und G_{LW} , die Verkehrszahlen und Geschwindigkeiten. Der Leq_{tot} ist für den Gesamtverkehr und für den *Güterschwerverkehr* ausgewiesen und zwar getrennt für den Tag (6-22 Uhr) und die Nacht (22-6 Uhr).

$$Leq_{tot} = 10 \log \left(\sum_{j,k} 10^{0.1(G_j + Leq_{j,k})} \right) \quad (1)$$

mit

G_j Pegelanpassung für die beiden Fahrzeugkategorien ($j = PW$ bzw. LW)

$$Leq_{j,k} = L_{W,A,j,k} - 28.5 - 10 \log(v_{j,k}) - 7.5 + 10 \log(N_{j,k}) \quad (2)$$

mit

$L_{W,A,j,k}$ A-bewerteter Schalleistungspegel eines Fahrzeuges der Kategorie j auf der Spur k
 $v_{j,k}$ Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit eines Fahrzeuges der Kategorie j auf der Fahrspur k in km/h
 $N_{j,k}$ Stündliche Verkehrsmenge der Kategorie j auf der Fahrspur k

$$L_{W,A,PW,k} = 28.5 + 10 \log \left(10^{0.1(7.3+35 \log(v_{PW,k}))} + 10^{0.1(60.5+10 \log(1+(\frac{v_{PW,k}}{44})^{3.5}))} \right) \quad (3)$$

$$L_{W,A,LKW,k} = 28.5 + 10 \log \left(10^{0.1(16.3+35 \log(v_{LW,k}))} + 10^{0.1(74.7+10 \log(1+(\frac{v_{LW,k}}{56})^{3.5}))} \right) \quad (4)$$

mit

$v_{j,k}$ Fahrzeuggeschwindigkeit der Kategorie j auf der Spur k [km/h]

Die Rechnung für den *Güterschwerverkehr* verwendete die *Güterschwerverkehr*-Verkehrszahlen, jedoch die Quellenleistung und Geschwindigkeiten der *LW*-Kategorie. Der dadurch verursachte Fehler lässt sich als gering abschätzen. Zum einen macht der Fahrzeuganteil der zwar zur *LW*-Klasse, aber nicht zur *Güterschwerverkehr*-Klasse gehört (SWISS7 Kategorien 1 und 2) stationsabhängig typisch weniger als 30% aus. Zum anderen liegt die gemittelte Quellenleistung der SWISS7 Kategorien 1 und 2 in der gleichen Grössenordnung wie die gemittelte Quellenleistung der SWISS7 Kategorien 5 bis 7. Eine leichte Überschätzung des *Güterschwerverkehr*- Leq_{tot} ergibt sich aus dem Umstand, dass die verwendete *LW*-Geschwindigkeit mit den zusätzlichen Kategorien Busse/Cars und Motorräder tendenziell etwas höher liegen dürfte als die effektive *Güterschwerverkehr*-Geschwindigkeit.

Nebst der gemäss LSV vorgegebenen Tag/Nacht-Aufschlüsselung wird zusätzlich der sogenannte day-evening-night-Pegel L_{den} ausgewertet. Dabei wird die Lärmbelastung durch einen einzigen Pegel dargestellt, wobei

zur Abbildung der erhöhten Störwirkung in den Abend- und Nachtstunden eine entsprechende Gewichtung vorgenommen wird:

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{d}{24} \cdot 10^{0.1L_d} + \frac{e}{24} \cdot 10^{0.1(L_e+K_e)} + \frac{24-d-e}{24} \cdot 10^{0.1(L_n+K_n)} \right] \quad (5)$$

L_d entspricht dem L_{eq} während den Tagstunden, L_e dem durchschnittlichen Abendpegel und L_n dem durchschnittlichen Nachtpegel. Der Zuschlag K_e entspricht 5 dB, K_n ist 10 dB. Bei der Definition des Abend-Zeitintervalls besteht ein gewisser Spielraum. Da in der Schweiz noch keine Einteilung festgelegt wurde, wird hier die Abenddefinition von Deutschland übernommen, obwohl auf Grund der unterschiedlichen Arbeitszeiten abweichende Vorstellungen betreffend den Feierabend bestehen dürften. Es wird angenommen, dass der Tag von 6 bis 18 Uhr ($d = 12$), der Abend von 18 bis 22 Uhr ($e = 4$) und die Nacht von 22 bis 6 Uhr dauert.

3.2 Tages- und Wochenganglinien

In Erweiterung zur oben dargestellten Primärauswertung wurden zusätzlich an jedem Standort die Wochen- und Tagesgänge der Freifeldemissionen in den Fahrzeugkategorien *LW* (Güterschwerverkehr), *Rest* (übriger Verkehr) und *Tot* (Gesamtverkehr) bestimmt. Die Wochengänge zeigen die mittleren 24h Werte, aufgeschlüsselt nach Wochentagen. Die Tagesgänge zeigen die 1h Werte, aufgeschlüsselt nach Tagesstunde und Wochentag. In beiden Fällen wurden die Wochentage gemäss ihrem 7-Tage-Zyklus in die Statistik einbezogen. Hierbei wurde ignoriert, dass gewisse Feiertage auf Tage unter der Woche fielen. Wie in der Auswertung 2014 gezeigt wurde, ergeben sich dadurch nur geringe Unsicherheiten.

4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden pro Standort die Emissionskorrekturwerte zu SonRoad, die mittleren Geschwindigkeiten, die durchschnittlichen stündlichen Verkehrsmengen auf allen Fahrspuren sowie die Freifeldemissionspegel als Leq in 1 m Abstand ausgewiesen. Zusätzlich sind die prozentualen Anteile der akustischen Energie der einzelnen Fahrzeugkategorien sowie die Tages- und Wochenganglinien angegeben.

4.1 Camignolo

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2015 (Zähler 289)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2015

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-4.1	-3.4	-2.9	-4.2	-4.5	-3.5	-5.7	-5.8	-3.9	-4.5	-3.8	-3.6	-3.2
G-LW	-2.9	-1.8	-2.3	-1.9	-2.5	-2.8	-2.7	-2.9	-3.6	-2.4	-2.0	-2.0	-2.0
v-PW-Tag	114.2	114.6	113.7	114.5	114.2	113.4	114.2	113.7	114.7	113.0	114.1	115.2	115.4
v-PW-Nacht	115.2	114.8	113.1	114.9	114.1	115.5	114.6	116.0	115.2	113.8	115.3	116.6	116.9
v-LW-Tag	94.4	91.2	90.7	92.1	94.3	95.9	96.6	96.6	98.4	94.9	93.6	93.0	92.3
v-LW-Nacht	97.3	93.8	93.3	94.7	96.5	98.2	99.0	100.9	100.7	97.0	96.3	95.8	96.0
N-LW-Tag	202	171	208	215	214	196	217	230	155	227	219	206	167
N-LW-Nacht	27	22	26	26	30	28	29	33	26	29	28	26	23
N-Tot-Tag	3191	2558	2680	2915	3253	3280	3327	3744	3642	3642	3387	3000	2836
N-Tot-Nacht	665	472	466	515	626	685	702	1052	989	712	628	542	574
L-LW-Tag	80.1	80.3	80.6	81.3	80.8	80.2	80.8	80.8	78.6	81.2	81.4	81.0	80.1
L-LW-Nacht	71.7	71.7	71.8	72.4	72.5	71.9	72.3	72.8	71.1	72.5	72.7	72.2	71.7
L-Rest-Tag	84.2	83.5	84.1	83.6	84.0	84.9	83.7	84.0	85.0	84.5	84.7	84.3	84.3
L-Rest-Nacht	77.5	76.4	76.7	76.2	76.8	78.2	76.8	78.5	79.3	77.4	77.6	77.1	77.6
L-Tot-Tag	85.6	85.2	85.7	85.6	85.7	86.2	85.5	85.7	85.9	86.2	86.4	86.0	85.7
L-Tot-Nacht	78.5	77.7	77.9	77.7	78.2	79.1	78.1	79.5	79.9	78.6	78.8	78.3	78.6
v-PW-Tag6-18	113.9	114.5	113.6	114.5	113.8	113.2	113.9	113.3	114.3	112.5	113.9	115.0	115.2
v-PW-Evening	115.4	115.0	114.3	114.5	115.9	114.3	115.6	115.5	116.6	114.9	114.9	116.1	116.3
v-LW-Tag6-18	93.9	90.9	90.4	91.8	93.8	95.5	96.1	96.0	97.8	94.4	93.2	92.6	91.9
v-LW-Evening	97.4	93.4	92.6	94.0	97.5	98.3	99.7	100.2	102.5	98.0	96.2	96.2	95.3
N-LW-Tag6-18	238	201	247	254	252	230	255	269	181	270	261	245	198
N-LW-Evening	93	80	93	97	101	93	106	112	76	97	93	88	76
N-Tot-Tag6-18	3460	2768	2917	3159	3518	3542	3612	4053	3926	3979	3684	3266	3072
N-Tot-Evening	2380	1928	1971	2184	2457	2482	2473	2819	2770	2632	2496	2200	2127
L-LW-Tag6-18	80.8	81.0	81.4	82.0	81.5	80.9	81.5	81.5	79.2	81.9	82.1	81.8	80.8
L-LW-Evening	77.0	77.2	77.3	78.0	77.8	77.2	78.0	78.0	75.9	77.8	77.9	77.7	76.9
L-Rest-Tag6-18	84.4	83.9	84.3	84.0	84.3	85.2	83.9	84.4	85.4	84.8	85.0	84.7	84.6
L-Rest-Evening	83.0	82.5	83.0	82.5	82.9	83.8	82.5	83.0	84.1	83.2	83.4	83.1	83.3
L-Tot-Tag6-18	86.0	85.7	86.1	86.1	86.1	86.6	85.9	86.2	86.3	86.6	86.8	86.5	86.1
L-Tot-Evening	84.0	83.6	84.0	83.8	84.1	84.7	83.8	84.2	84.7	84.3	84.5	84.2	84.2
L-LW-den	81.3	81.5	81.7	82.3	82.1	81.5	82.1	82.2	80.2	82.3	82.4	82.1	81.3
L-Rest-den	86.4	85.6	86.0	85.5	86.0	87.1	85.7	86.8	87.7	86.5	86.7	86.3	86.5
L-Tot-den	87.5	87.0	87.3	87.2	87.5	88.2	87.3	88.1	88.4	87.9	88.1	87.7	87.7

Tabelle 2: Ergebnisse für das Jahr 2015 in Camignolo. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); v-PW und v-LW: PW und LW Geschwindigkeiten in km/h; N-LW: durchschnittlicher stündlicher Güterschwerverkehr, N-Tot: durchschnittlicher stündlicher Verkehr gesamt; L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A), Tag: 6-22, Nacht: 22-6, Tag6-18: 6-18, Evening: 18-22, Lden: Day-Evening-Night-Pegel.

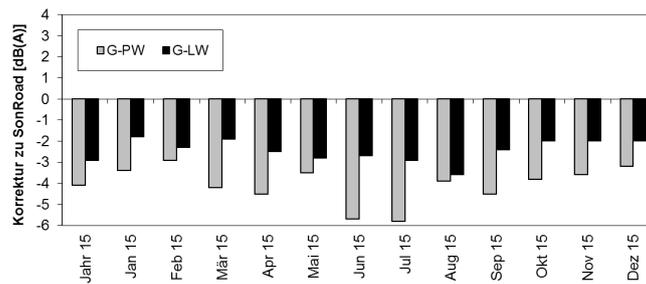


Abbildung 1: Emissions-Korrekturen *G* gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Camignolo.

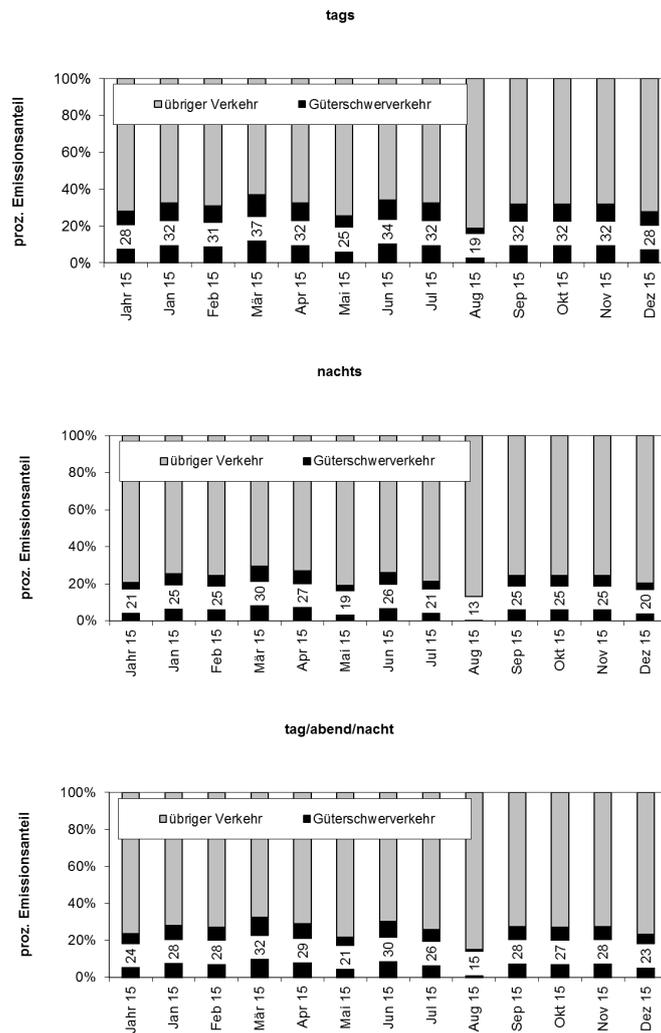


Abbildung 2: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Camignolo.

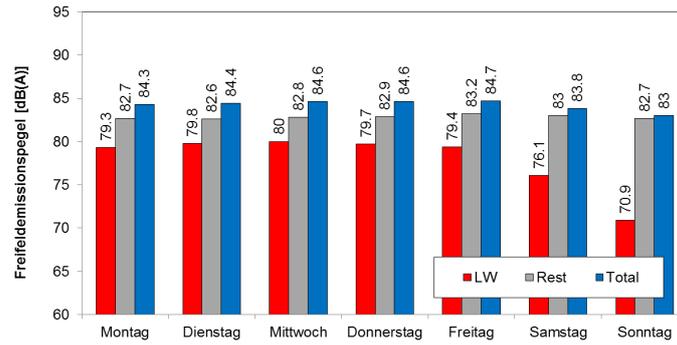


Abbildung 3: Wochengang der 24h Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (LW), den übrigen Verkehr (Rest) und den Gesamtverkehr (Total) an der Messstelle in Camignolo.

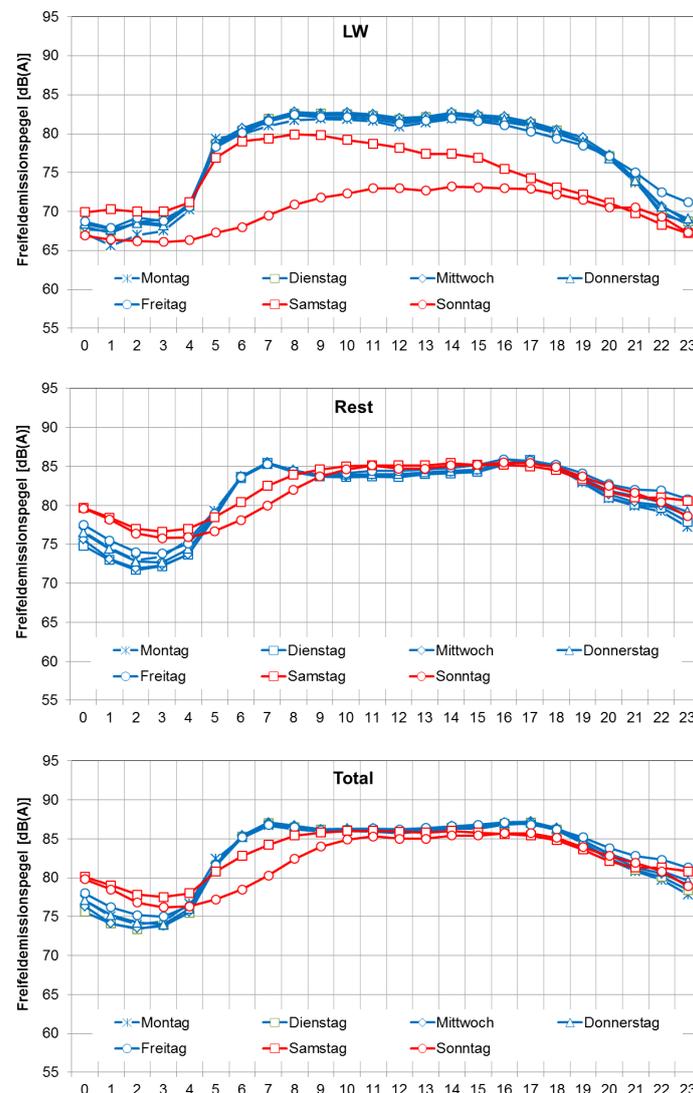


Abbildung 4: Tagesgang der stündlichen Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (oben), den übrigen Verkehr (mitte) und den Gesamtverkehr (unten) an der Messstelle Camignolo.

4.2 Moleno

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2015 (Zähler 265)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2015

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-1.9	-1.3	-1.3	-2.1	-2.4	-2.0	-2.4	-2.8	-2.1	-1.5	-1.4	-1.9	-1.8
G-LW	-2.8	-1.6	-2.2	-1.6	-2.5	-2.8	-3.2	-3.3	-2.8	-1.5	-2.2	-1.9	-1.9
v-PW-Tag	119.3	119.1	118.3	119.7	119.7	119.8	119.3	119.3	118.6	118.8	119.7	119.9	120.1
v-PW-Nacht	118.2	117.3	115.8	118.9	118.8	118.9	118.5	118.6	117.0	117.8	118.1	119.5	119.4
v-LW-Tag	95.2	92.2	91.9	92.8	94.4	96.6	96.9	98.0	99.9	96.0	94.1	92.9	93.9
v-LW-Nacht	97.7	94.2	93.9	96.3	97.7	98.6	99.0	100.5	101.4	97.8	96.4	95.6	96.5
N-LW-Tag	149	126	149	159	160	150	162	166	117	165	161	150	120
N-LW-Nacht	22	18	20	20	23	22	23	28	22	23	23	20	19
N-Tot-Tag	1734	1254	1319	1481	1731	1814	1853	2292	2288	2015	1831	1473	1421
N-Tot-Nacht	375	240	222	260	346	392	394	691	666	401	341	255	275
L-LW-Tag	79.0	79.3	79.4	80.4	79.6	79.2	79.2	79.2	78.4	80.9	79.9	79.8	79.0
L-LW-Nacht	70.9	71.0	70.9	71.6	71.6	71.1	70.9	71.8	71.3	72.4	71.7	71.3	71.1
L-Rest-Tag	83.7	82.6	82.7	82.8	83.2	83.9	83.7	84.3	84.9	85.0	84.4	83.0	82.9
L-Rest-Nacht	77.1	75.6	75.1	75.4	76.3	77.3	76.8	78.9	79.4	77.8	77.1	75.5	75.8
L-Tot-Tag	85.0	84.3	84.4	84.8	84.8	85.2	85.0	85.5	85.8	86.4	85.7	84.7	84.4
L-Tot-Nacht	78.0	76.9	76.5	76.9	77.6	78.2	77.8	79.7	80.0	78.9	78.2	76.9	77.1
v-PW-Tag6-18	119.1	119.2	118.3	119.5	119.4	119.4	118.7	118.8	118.3	118.3	119.5	119.8	120.1
v-PW-Evening	120.5	118.9	118.2	120.2	121.1	121.6	121.8	121.4	120.0	120.8	120.6	120.3	120.0
v-LW-Tag6-18	94.9	91.9	91.6	92.4	94.1	96.4	96.7	97.7	99.6	95.7	93.8	92.5	93.6
v-LW-Evening	96.8	93.8	93.1	94.6	96.2	98.2	98.0	99.6	101.5	97.9	96.2	95.0	95.4
N-LW-Tag6-18	170	142	169	180	181	171	184	188	132	193	187	173	137
N-LW-Evening	85	75	89	94	95	86	97	101	71	82	84	80	70
N-Tot-Tag6-18	1878	1351	1428	1587	1862	1962	2006	2469	2485	2213	1990	1602	1541
N-Tot-Evening	1302	962	992	1165	1340	1368	1395	1760	1695	1422	1353	1085	1060
L-LW-Tag6-18	79.6	79.8	79.9	80.9	80.1	79.7	79.7	79.7	78.9	81.5	80.6	80.4	79.5
L-LW-Evening	76.8	77.2	77.3	78.2	77.5	76.9	77.0	77.2	76.4	78.0	77.3	77.2	76.7
L-Rest-Tag6-18	84.1	83.0	83.1	83.0	83.6	84.3	84.0	84.7	85.3	85.3	84.7	83.3	83.3
L-Rest-Evening	82.6	81.7	81.6	82.0	82.4	82.9	82.7	83.4	83.8	83.5	83.2	81.8	81.7
L-Tot-Tag6-18	85.4	84.7	84.8	85.1	85.2	85.6	85.4	85.9	86.2	86.8	86.1	85.1	84.8
L-Tot-Evening	83.6	83.0	83.0	83.5	83.6	83.9	83.7	84.3	84.5	84.6	84.2	83.1	82.9
L-LW-den	80.5	80.7	80.7	81.6	81.1	80.6	80.6	81.0	80.3	82.1	81.3	81.1	80.5
L-Rest-den	85.9	84.8	84.6	84.7	85.4	86.2	85.8	87.2	87.7	86.9	86.3	84.8	84.9
L-Tot-den	87.0	86.2	86.1	86.5	86.8	87.3	87.0	88.1	88.4	88.1	87.5	86.4	86.3

Tabelle 3: Ergebnisse für das Jahr 2015 in Moleno. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); v-PW und v-LW: PW und LW Geschwindigkeiten in km/h; N-LW: durchschnittlicher stündlicher Güterschwerverkehr, N-Tot: durchschnittlicher stündlicher Verkehr gesamt; L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A), Tag: 6-22, Nacht: 22-6, Tag6-18: 6-18, Evening: 18-22, Lden: Day-Evening-Night-Pegel.

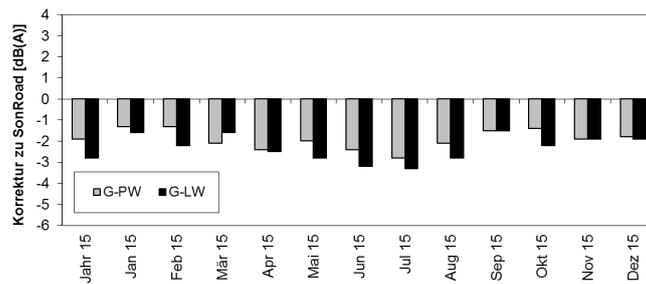


Abbildung 5: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Moleno.

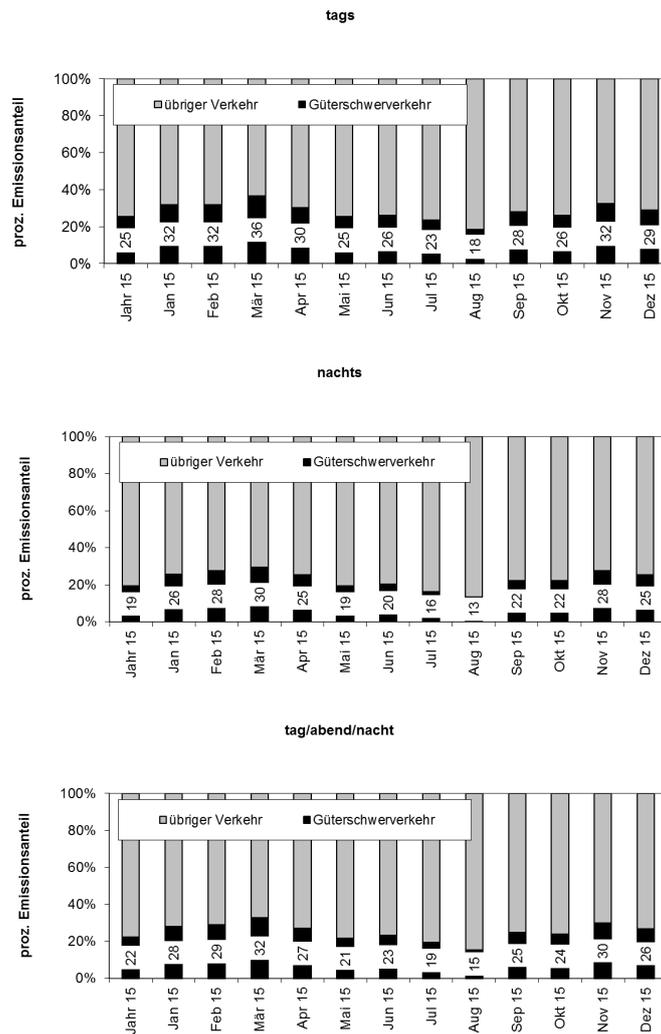


Abbildung 6: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Moleno.

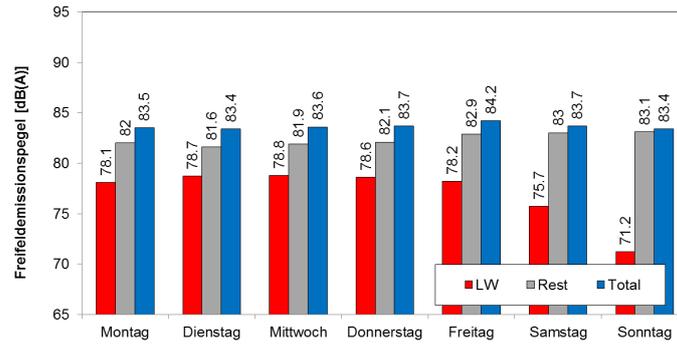


Abbildung 7: Wochengang der 24h Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (LW), den übrigen Verkehr (Rest) und den Gesamtverkehr (Total) an der Messstelle in Moleno.

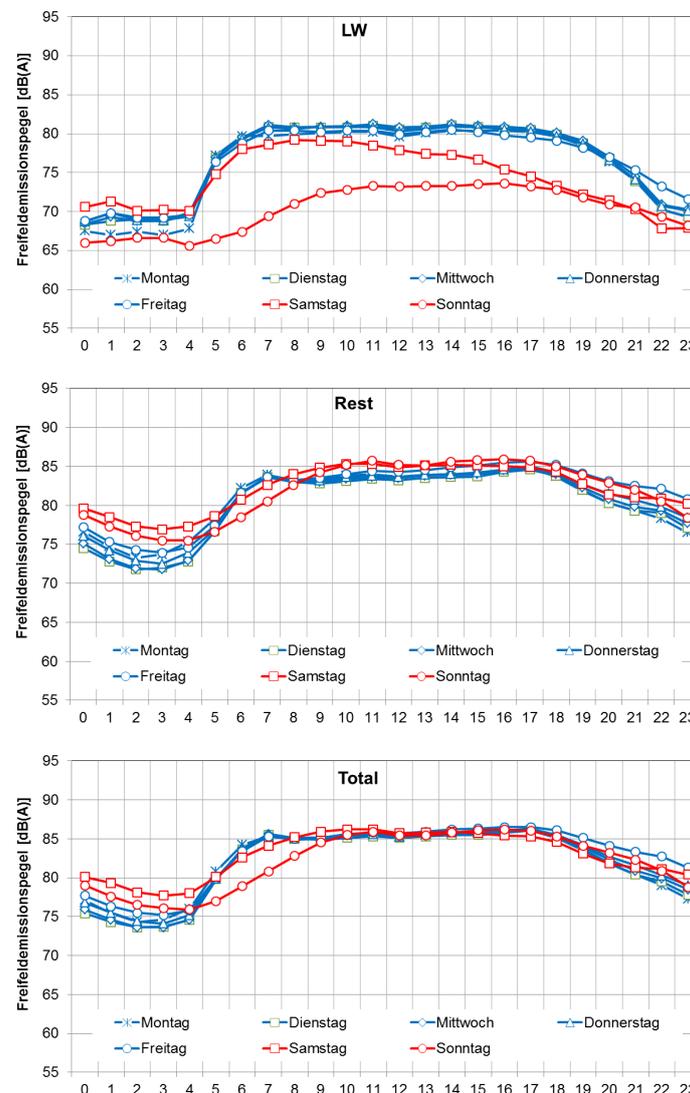


Abbildung 8: Tagesgang der stündlichen Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (oben), den übrigen Verkehr (mitte) und den Gesamtverkehr (unten) an der Messstelle Moleno.

4.3 Reiden

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2015 (Zähler 239)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2015

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	0.1	0.6	0.3	-0.1	-0.1	0.0	-0.5	-1.0	-0.3	-0.1	0.2	0.3	0.6
G-LW	-0.8	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.7	-1.2	-1.3	-1.8	-0.5	-0.2	-0.2	0.2
v-PW-Tag	116.0	114.8	115.3	115.8	116.4	116.5	116.9	116.6	116.3	115.7	115.6	115.5	115.8
v-PW-Nacht	116.0	113.3	114.5	116.4	116.4	116.3	116.8	116.5	115.7	116.4	116.8	116.2	116.0
v-LW-Tag	91.7	89.6	89.6	90.2	91.7	93.7	93.0	93.3	94.6	91.8	90.8	90.4	90.3
v-LW-Nacht	92.2	89.8	90.5	91.0	92.0	94.0	93.2	94.4	95.0	91.9	91.3	91.1	90.7
N-LW-Tag	298	263	299	316	308	286	323	316	263	327	314	303	259
N-LW-Nacht	68	58	64	69	69	64	72	74	66	73	71	68	65
N-Tot-Tag	2933	2424	2568	2837	2929	3003	3098	3226	3361	3183	3041	2847	2657
N-Tot-Nacht	649	476	479	543	610	668	697	897	954	688	620	578	562
L-LW-Tag	83.8	83.6	84.2	84.4	84.3	83.9	83.8	83.7	82.5	84.5	84.5	84.3	84.1
L-LW-Nacht	77.4	77.0	77.6	77.9	77.9	77.5	77.4	77.5	76.6	78.0	78.1	77.9	78.1
L-Rest-Tag	87.4	86.8	86.8	87.0	87.4	87.7	87.3	87.0	87.8	87.7	87.7	87.4	87.4
L-Rest-Nacht	80.9	79.8	79.6	79.9	80.5	81.0	80.7	81.4	82.3	81.1	80.9	80.5	80.7
L-Tot-Tag	89.0	88.5	88.7	88.9	89.1	89.2	88.9	88.7	88.9	89.4	89.4	89.1	89.1
L-Tot-Nacht	82.5	81.6	81.7	82.0	82.4	82.6	82.4	82.9	83.3	82.8	82.7	82.4	82.6
v-PW-Tag6-18	115.6	115.0	115.2	115.5	115.9	116.0	116.4	116.0	115.9	115.2	115.3	115.3	115.7
v-PW-Evening	117.3	114.2	115.8	117.1	118.2	118.4	119.0	118.8	117.9	117.5	116.9	116.0	116.1
v-LW-Tag6-18	91.2	89.4	89.3	89.9	91.3	93.2	92.4	92.6	93.9	91.3	90.4	90.1	90.0
v-LW-Evening	95.3	91.5	91.9	93.3	95.3	97.9	96.9	98.0	98.9	95.6	94.2	92.9	92.9
N-LW-Tag6-18	358	318	362	383	371	342	387	378	315	391	379	366	312
N-LW-Evening	116	97	111	115	119	117	133	131	108	133	121	114	99
N-Tot-Tag6-18	3198	2676	2840	3120	3190	3251	3367	3496	3611	3446	3305	3121	2927
N-Tot-Evening	2139	1670	1752	1987	2148	2259	2291	2414	2611	2395	2247	2025	1845
L-LW-Tag6-18	84.5	84.4	85.0	85.2	85.1	84.6	84.6	84.4	83.2	85.2	85.3	85.1	84.8
L-LW-Evening	80.0	79.4	80.1	80.3	80.5	80.4	80.3	80.3	78.9	80.9	80.7	80.3	80.1
L-Rest-Tag6-18	87.7	87.3	87.3	87.3	87.5	87.9	87.5	87.3	88.1	88.0	87.9	87.7	87.9
L-Rest-Evening	86.4	85.4	85.5	85.8	86.4	86.8	86.3	86.2	87.1	86.8	86.7	86.2	86.1
L-Tot-Tag6-18	89.4	89.1	89.3	89.4	89.5	89.6	89.3	89.1	89.3	89.8	89.8	89.6	89.6
L-Tot-Evening	87.3	86.4	86.6	86.9	87.4	87.7	87.3	87.2	87.7	87.8	87.7	87.2	87.1
L-LW-den	85.8	85.4	86.1	86.3	86.3	85.9	85.8	85.8	84.7	86.4	86.5	86.3	86.2
L-Rest-den	89.7	88.9	88.8	89.0	89.5	89.9	89.6	89.8	90.6	90.0	89.8	89.5	89.6
L-Tot-den	91.2	90.5	90.6	90.9	91.2	91.4	91.1	91.2	91.6	91.6	91.5	91.2	91.2

Tabelle 4: Ergebnisse für das Jahr 2015 in Reiden. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); v-PW und v-LW: PW und LW Geschwindigkeiten in km/h; N-LW: durchschnittlicher stündlicher Güterschwerverkehr, N-Tot: durchschnittlicher stündlicher Verkehr gesamt; L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A), Tag: 6-22, Nacht: 22-6, Tag6-18: 6-18, Evening: 18-22, Lden: Day-Evening-Night-Pegel.

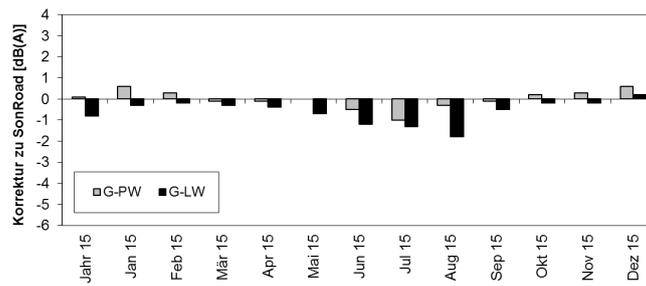


Abbildung 9: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Reiden.

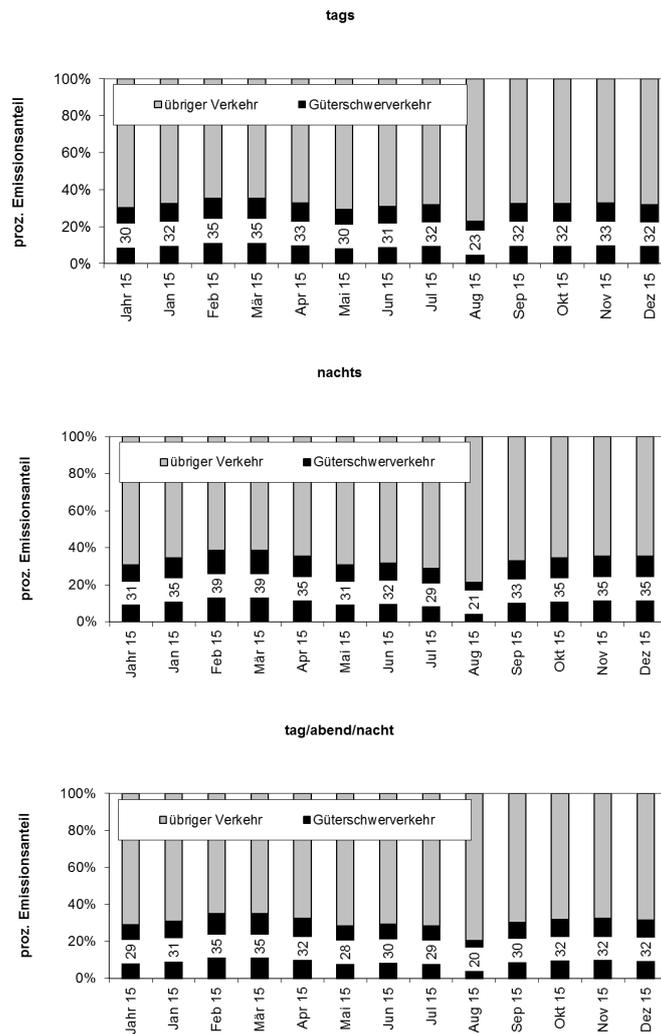


Abbildung 10: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Reiden.

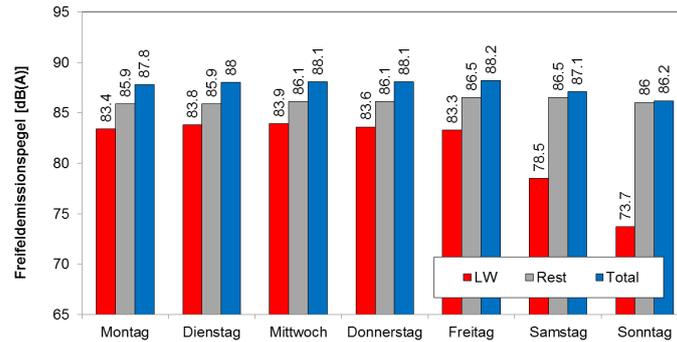


Abbildung 11: Wochengang der 24h Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (LW), den übrigen Verkehr (Rest) und den Gesamtverkehr (Total) an der Messstelle in Reiden.

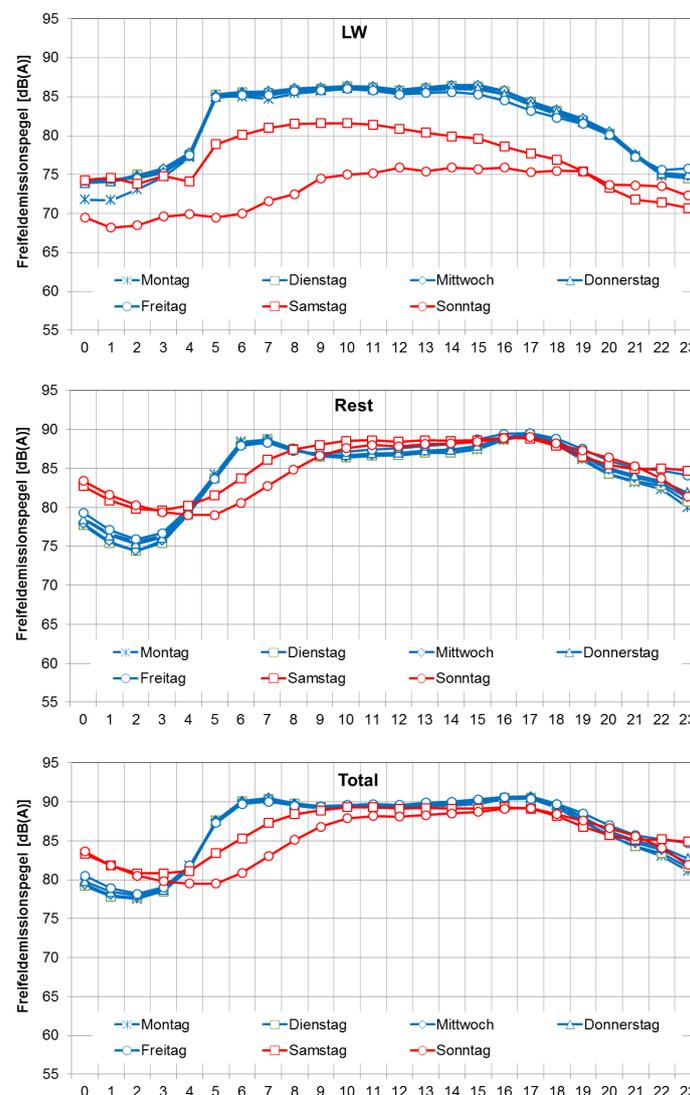


Abbildung 12: Tagesgang der stündlichen Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (oben), den übrigen Verkehr (mitte) und den Gesamtverkehr (unten) an der Messstelle Reiden.

4.4 Rothenbrunnen

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2015 (Zähler 238)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2015

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-3.2	-1.3	-1.7	-2.6	-3.5	-4.2	-4.5	-5.7	-5.0	-4.1	-3.6	-2.8	-2.6
G-LW	-2.4	-1.9	-1.0	-0.9	-2.7	-1.0	-2.6	-3.2	-2.3	-2.1	-1.3	-1.5	-0.9
v-PW-Tag	101.2	101.3	101.3	101.6	101.1	101.1	101.0	101.7	100.5	101.2	101.6	101.0	101.7
v-PW-Nacht	100.9	100.1	101.2	101.6	98.8	100.9	101.1	101.2	100.8	100.6	101.7	101.1	101.5
v-LW-Tag	90.2	88.6	87.8	88.6	89.6	91.4	91.4	92.0	92.1	90.5	89.3	87.8	88.5
v-LW-Nacht	92.3	91.3	91.2	92.4	90.4	93.2	93.3	92.7	93.3	92.2	92.3	91.8	92.0
N-LW-Tag	50	33	40	47	52	50	59	60	50	62	55	48	38
N-LW-Nacht	7	5	6	7	8	7	7	8	7	10	8	6	6
N-Tot-Tag	1008	765	865	903	992	1061	1092	1275	1338	1154	1026	800	817
N-Tot-Nacht	142	92	96	113	142	164	162	211	218	169	127	102	104
L-LW-Tag	74.1	72.8	74.4	75.3	74.1	75.7	74.8	74.3	74.5	75.4	75.6	74.7	74.4
L-LW-Nacht	65.9	64.6	66.4	67.5	65.8	67.4	65.9	65.7	66.2	67.7	67.3	66.1	66.4
L-Rest-Tag	78.8	79.0	79.3	78.6	78.2	78.9	78.6	78.2	79.0	78.9	78.7	77.9	78.2
L-Rest-Nacht	70.2	69.9	70.0	70.1	69.6	70.5	69.8	69.9	70.7	70.5	69.9	69.3	69.6
L-Tot-Tag	80.1	79.9	80.5	80.3	79.6	80.6	80.1	79.7	80.3	80.5	80.4	79.6	79.7
L-Tot-Nacht	71.6	71.0	71.6	72.0	71.1	72.2	71.3	71.3	72.0	72.3	71.8	71.0	71.3
v-PW-Tag6-18	101.2	101.3	101.3	101.5	101.0	100.9	101.1	101.5	100.5	101.1	101.6	100.9	101.7
v-PW-Evening	101.5	101.1	101.5	101.9	101.5	101.7	100.6	102.4	100.7	101.8	101.7	101.2	101.6
v-LW-Tag6-18	90.0	88.4	87.6	88.3	89.4	91.1	91.3	91.6	91.9	90.3	89.1	87.6	88.2
v-LW-Evening	92.0	89.8	89.6	90.3	91.5	93.0	92.3	94.7	94.0	92.2	90.8	89.2	90.6
N-LW-Tag6-18	59	39	47	55	61	59	69	71	60	73	65	58	45
N-LW-Evening	23	16	19	23	25	24	28	28	21	29	23	20	17
N-Tot-Tag6-18	1102	846	963	994	1070	1146	1177	1385	1460	1255	1123	880	912
N-Tot-Evening	727	523	569	630	757	806	835	946	971	852	733	563	532
L-LW-Tag6-18	74.8	73.4	75.1	76.0	74.7	76.3	75.5	75.0	75.2	76.1	76.3	75.5	75.1
L-LW-Evening	70.9	69.6	71.4	72.3	71.0	72.6	71.7	71.3	70.9	72.3	72.0	71.0	70.9
L-Rest-Tag6-18	79.1	79.4	79.7	79.1	78.6	79.4	78.8	78.6	79.4	79.3	79.1	78.3	78.7
L-Rest-Evening	77.3	77.3	77.4	77.2	77.0	77.5	77.1	76.8	77.4	77.4	77.1	76.4	76.4
L-Tot-Tag6-18	80.5	80.4	81.0	80.8	80.1	81.1	80.5	80.2	80.8	81.0	80.9	80.1	80.3
L-Tot-Evening	78.2	78.0	78.4	78.4	78.0	78.7	78.2	77.9	78.3	78.6	78.3	77.5	77.5
L-LW-den	75.4	74.0	75.8	76.8	75.3	76.9	75.9	75.5	75.7	76.9	76.8	75.8	75.7
L-Rest-den	80.2	80.2	80.4	80.1	79.7	80.4	79.9	79.8	80.5	80.4	80.0	79.3	79.6
L-Tot-den	81.4	81.1	81.7	81.7	81.1	82.0	81.3	81.1	81.7	82.0	81.7	80.9	81.1

Tabelle 5: Ergebnisse für das Jahr 2015 in Rothenbrunnen. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); v-PW und v-LW: PW und LW Geschwindigkeiten in km/h; N-LW: durchschnittlicher stündlicher Güterschwerverkehr, N-Tot: durchschnittlicher stündlicher Verkehr gesamt; L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A), Tag: 6-22, Nacht: 22-6, Tag6-18: 6-18, Evening: 18-22, Lden: Day-Evening-Night-Pegel.

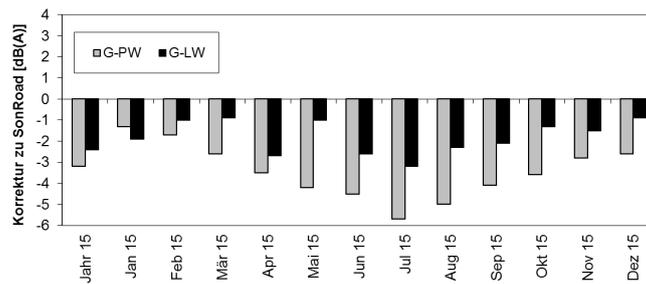


Abbildung 13: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Rothenbrunnen.

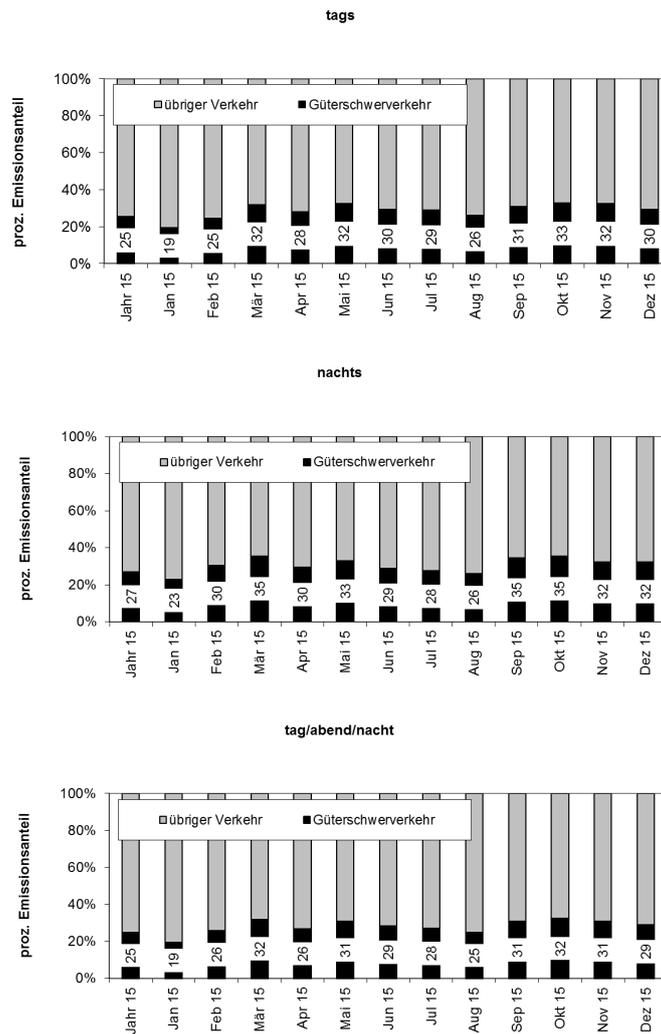


Abbildung 14: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Rothenbrunnen.

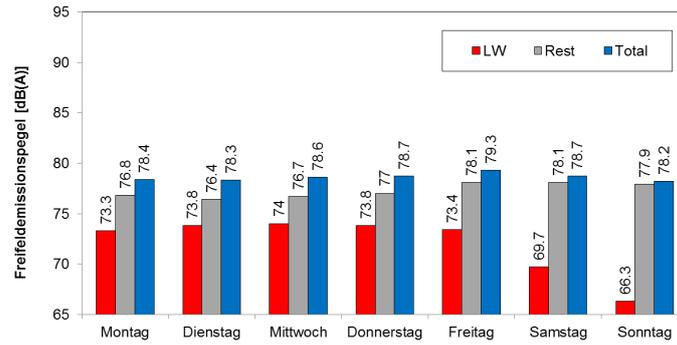


Abbildung 15: Wochengang der 24h Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (LW), den übrigen Verkehr (Rest) und den Gesamtverkehr (Total) an der Messstelle in Rothenbrunnen.

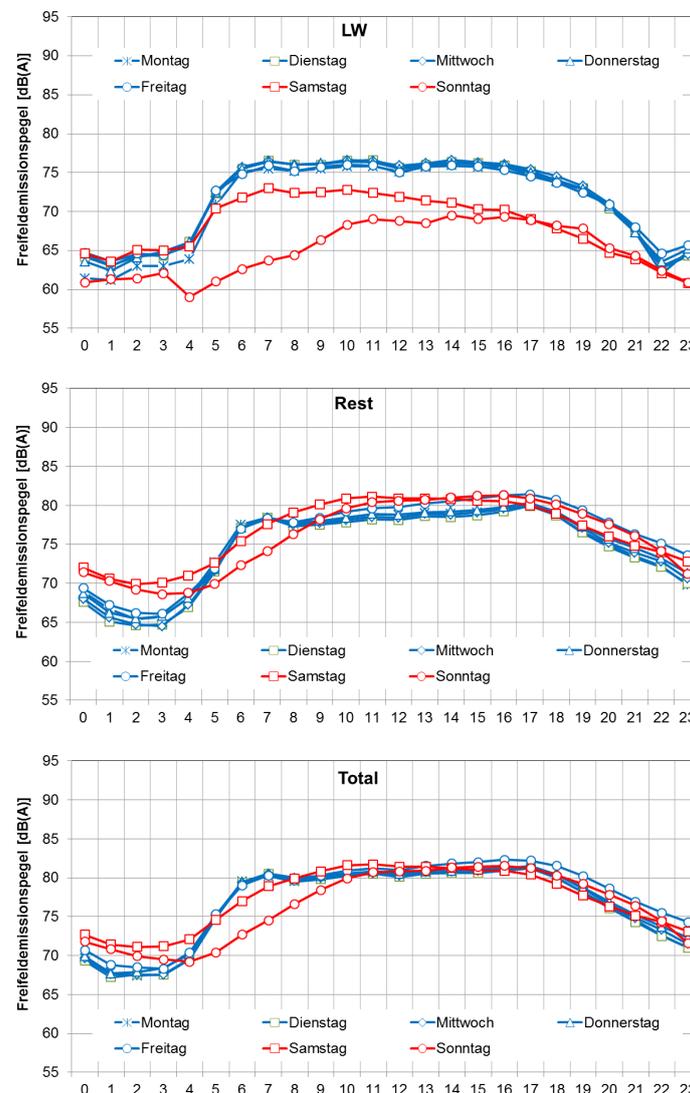


Abbildung 16: Tagesgang der stündlichen Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (oben), den übrigen Verkehr (mitte) und den Gesamtverkehr (unten) an der Messstelle Rothenbrunnen.

4.5 Tenniken

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2015 (Zähler 033)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2015 (Zusammenfassung von R1 und R2 als Normalspur)

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-3.5	0.0	-1.8	-2.5	-3.0	-2.9	-4.4	-5.2	-4.4	-3.3	-3.4	-3.3	-2.7
G-LW	-3.6	-3.1	-3.0	-3.0	-3.2	-2.6	-3.7	-3.6	-4.0	-3.8	-3.5	-3.6	-2.6
v-PW-Tag	107.2	106.3	106.9	109.0	107.6	107.1	107.0	105.9	105.9	106.9	107.3	108.4	109.4
v-PW-Nacht	112.5	110.6	112.4	116.2	111.7	109.7	110.5	114.2	112.9	113.2	110.0	112.7	115.3
v-LW-Tag	104.1	103.3	102.9	104.4	104.2	103.7	104.4	104.4	105.3	104.3	103.6	103.9	104.0
v-LW-Nacht	107.4	104.2	112.1	111.4	105.6	105.1	104.8	111.6	110.7	106.1	106.1	103.0	107.5
N-LW-Tag	331	294	343	356	340	309	360	345	293	362	346	337	288
N-LW-Nacht	50	46	49	50	50	46	52	53	46	53	53	49	58
N-Tot-Tag	3187	2684	2915	3073	3203	3191	3281	3549	3690	3383	3295	2973	2949
N-Tot-Nacht	661	484	506	552	614	670	686	907	959	697	634	572	634
L-LW-Tag	82.9	82.8	83.5	83.8	83.4	83.6	83.2	83.2	82.1	83.1	83.2	83.0	83.3
L-LW-Nacht	75.3	75.2	76.3	76.4	75.4	75.8	75.1	76.0	74.8	75.1	75.5	74.7	76.8
L-Rest-Tag	83.5	85.9	84.6	84.4	84.1	84.3	83.0	82.6	83.4	84.0	83.8	83.4	84.0
L-Rest-Nacht	77.4	79.0	77.8	77.9	77.5	77.9	76.7	77.6	78.3	77.9	77.1	76.7	77.9
L-Tot-Tag	86.2	87.6	87.1	87.1	86.8	87.0	86.1	85.9	85.8	86.6	86.5	86.2	86.7
L-Tot-Nacht	79.5	80.5	80.1	80.2	79.6	80.0	79.0	79.9	79.9	79.7	79.4	78.8	80.4
v-PW-Tag6-18	106.7	106.0	106.2	108.5	107.6	106.8	106.6	104.9	104.9	106.5	107.1	107.9	108.7
v-PW-Evening	109.2	107.6	109.9	111.3	107.8	108.2	108.3	110.0	109.4	108.4	107.9	110.6	112.5
v-LW-Tag6-18	103.6	102.7	102.1	103.6	103.8	103.5	104.0	103.8	104.9	103.9	103.4	103.6	103.3
v-LW-Evening	108.5	108.3	110.4	111.9	107.7	105.5	108.0	109.5	108.9	108.4	106.0	107.4	110.3
N-LW-Tag6-18	401	357	416	432	411	373	434	416	354	438	420	410	349
N-LW-Evening	122	106	123	128	126	120	140	135	110	133	124	116	102
N-Tot-Tag6-18	3435	2927	3182	3329	3437	3417	3537	3812	3941	3621	3532	3216	3228
N-Tot-Evening	2440	1953	2117	2305	2504	2513	2515	2760	2938	2671	2586	2246	2101
L-LW-Tag6-18	83.7	83.6	84.3	84.6	84.2	84.4	84.0	83.9	82.9	83.9	84.0	83.8	84.0
L-LW-Evening	79.1	79.0	79.9	80.2	79.6	79.7	79.5	79.6	78.3	79.3	79.1	78.7	79.5
L-Rest-Tag6-18	83.7	86.2	84.7	84.6	84.4	84.6	83.1	82.8	83.6	84.1	84.0	83.6	84.4
L-Rest-Evening	82.7	84.9	83.7	83.5	83.2	83.6	82.3	82.0	82.9	83.4	83.0	82.6	83.1
L-Tot-Tag6-18	86.7	88.1	87.5	87.6	87.3	87.5	86.6	86.4	86.3	87.0	87.0	86.7	87.2
L-Tot-Evening	84.3	85.9	85.2	85.2	84.8	85.1	84.1	84.0	84.2	84.8	84.5	84.1	84.7
L-LW-den	84.4	84.3	85.2	85.4	84.7	85.0	84.5	84.8	83.7	84.4	84.6	84.1	85.2
L-Rest-den	86.0	88.0	86.7	86.7	86.4	86.7	85.4	85.7	86.5	86.5	86.1	85.6	86.5
L-Tot-den	88.3	89.6	89.0	89.1	88.6	88.9	88.0	88.3	88.3	88.6	88.4	87.9	88.9

Tabelle 6: Ergebnisse für das Jahr 2015 in Tenniken. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); v-PW und v-LW: PW und LW Geschwindigkeiten in km/h; N-LW: durchschnittlicher stündlicher Güterschwerverkehr, N-Tot: durchschnittlicher stündlicher Verkehr gesamt; L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A), Tag: 6-22, Nacht: 22-6, Tag6-18: 6-18, Evening: 18-22, Lden: Day-Evening-Night-Pegel.

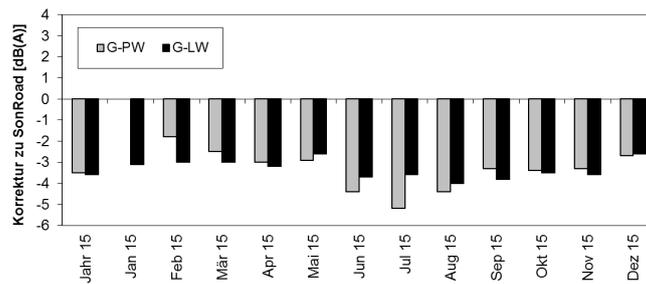


Abbildung 17: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Tenniken.

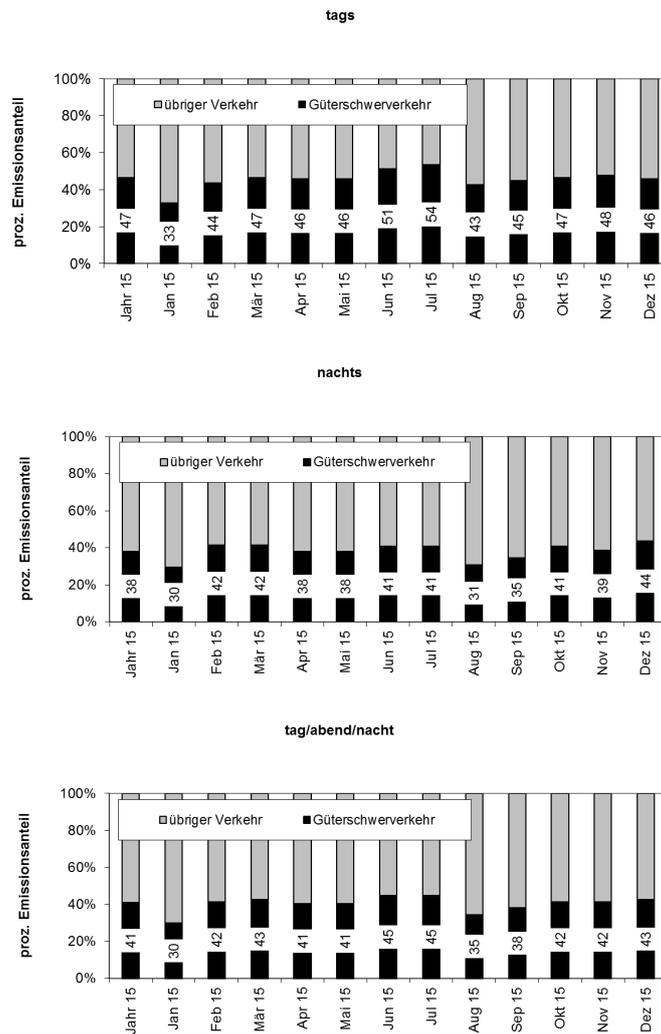


Abbildung 18: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Tenniken.

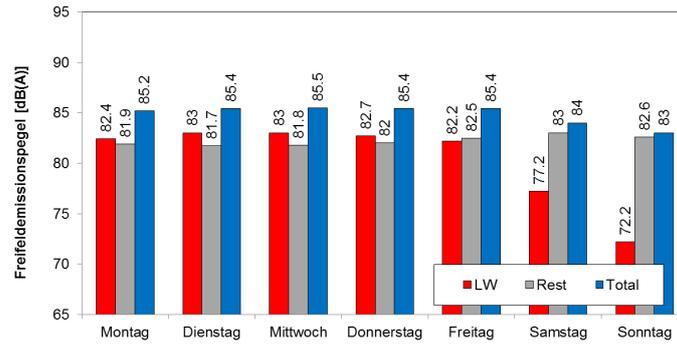


Abbildung 19: Wochengang der 24h Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (LW), den übrigen Verkehr (Rest) und den Gesamtverkehr (Total) an der Messstelle in Tenniken.

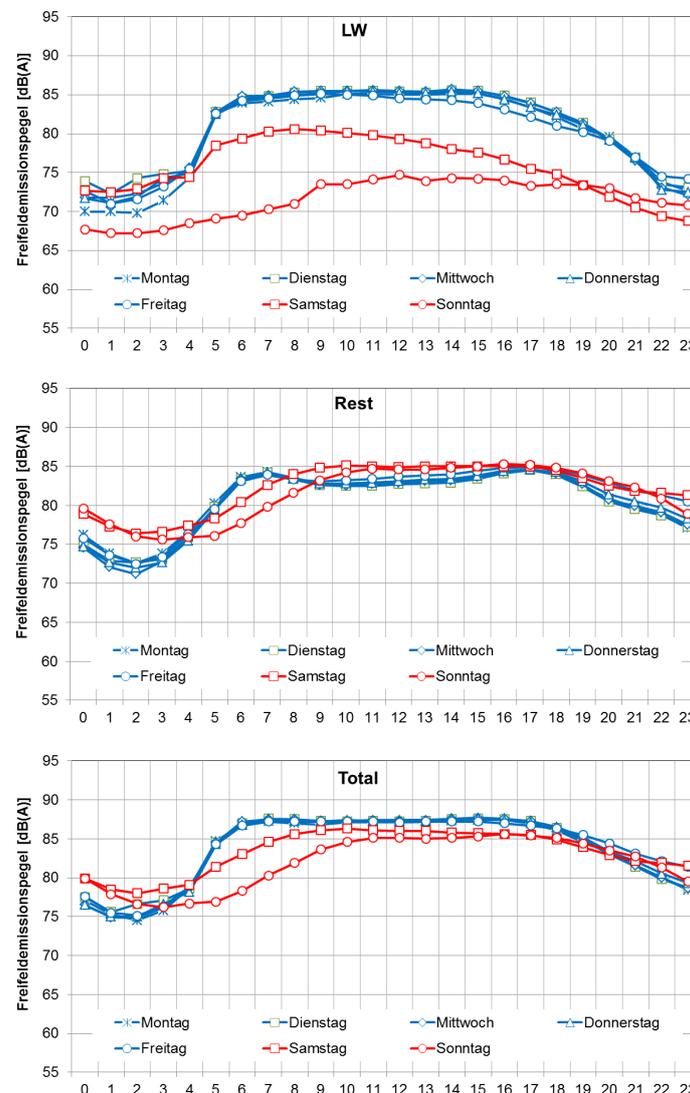


Abbildung 20: Tagesgang der stündlichen Freifeldemissionspegel für den Güterschwerverkehr (oben), den übrigen Verkehr (mitte) und den Gesamtverkehr (unten) an der Messstelle Tenniken.

4.6 Saisonale Abhängigkeiten der G-Werte für Personenwagen

Bei der Beobachtung der nach Monaten aufgeschlüsselten G-Werte für die Personenwagenkategorie fällt an allen Stationen ein ähnliches Muster auf. Hierbei resultieren in den Sommermonaten signifikant tiefere Werte als während der Wintermonate, d.h. die akustischen Emissionen sind im Sommer tiefer als im Winter. Da im hier vorherrschenden hohen Geschwindigkeitsbereich das Reifengeräusch klar dominiert, bietet sich an, eine Korrelation zwischen der akustischen Emission und einer Temperaturgrösse zu vermuten und zu untersuchen. In der Literatur wird die Abhängigkeit des Reifengeräusches sowohl von der Lufttemperatur (z.B. CNOS-SOS) als auch von der Belagstemperatur beschrieben. An den MFM-U Stationen stehen unter anderem hier interessierende Temperaturmessungen gemäss Tabelle 7 zur Verfügung. Die Messwerte 2015 sind in Abbildung 21 gezeigt. An allen Standorten wird das Temperaturmaximum auf beiden Höhen im Juli erreicht. Die Maximum-Minimum-Spanne über das ganze Jahr fällt erwartungsgemäss auf Höhe 1 grösser aus als auf Höhe 2.

	Höhe 1	Höhe 2
Camignolo	0.0 m	2.4 m
Moleno	0.0 m	2.6 m
Reiden	0.0 m	3.0 m
Rothenbrunnen	0.0 m	4.0 m

Tabelle 7: Messhöhen der Temperaturmessung an den MFM-U Standorten Camignolo, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen.

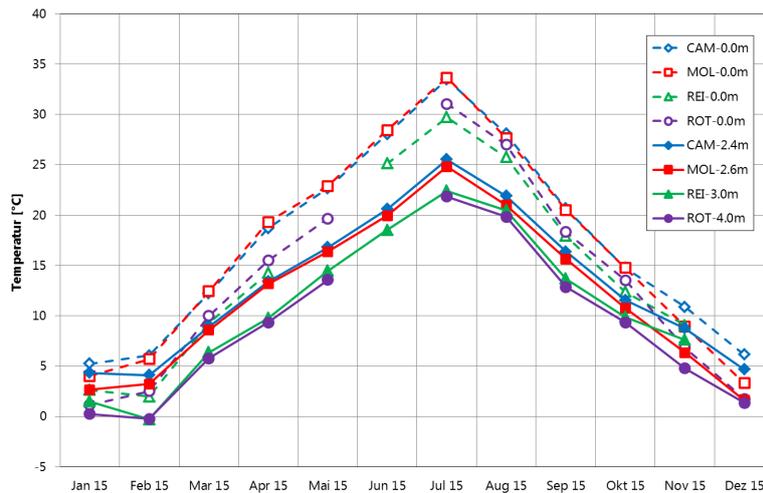


Abbildung 21: Monatsmittelwerte der Temperaturen auf Höhe 1 und 2 an den vier MFM-U Standorten Camignolo, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen.

Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die XY-Plots der Temperaturwerte auf Höhe 2 und der G-Werte für Personenwagen. An den Stationen Reiden und Rothenbrunnen ist für eine lineare Regression das Bestimmtheitsmass R^2 mit 0.74 und 0.96 sehr hoch, bei Camignolo und Moleno liegt R^2 mit 0.61 und 0.49 etwas darunter. Auffallend sind die sehr unterschiedlichen Steigungen der Regressionsgeraden. In Rothenbrunnen verändert sich das Totalgeräusch um -0.17 dB(A) pro Grad Celsius Temperaturzunahme. Diese Ausprägung ist deutlich grösser als die in CNOSOS verwendeten $-0.08 \text{ dB(A)/Grad C}$. Die flachsten Steigungen (rund $-0.05 \text{ dB(A)/Grad C}$) resultieren für Reiden und Moleno. Wenn die Temperaturwerte auf Höhe 1, d.h. auf Belagsniveau verwendet werden, ergeben sich leicht höhere Bestimmtheitsmasse und als Folge des grösseren Temperaturhubes etwas geringere Steigungen.

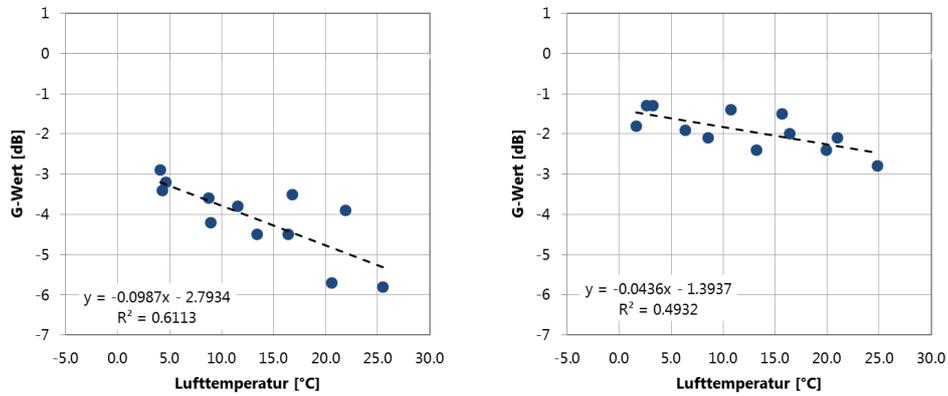


Abbildung 22: XY-Darstellung der Monats-G-Werte für PW's und der Lufttemperatur-Monatsmittelwerte an den Stationen Camignolo (links) und Moleno (rechts).

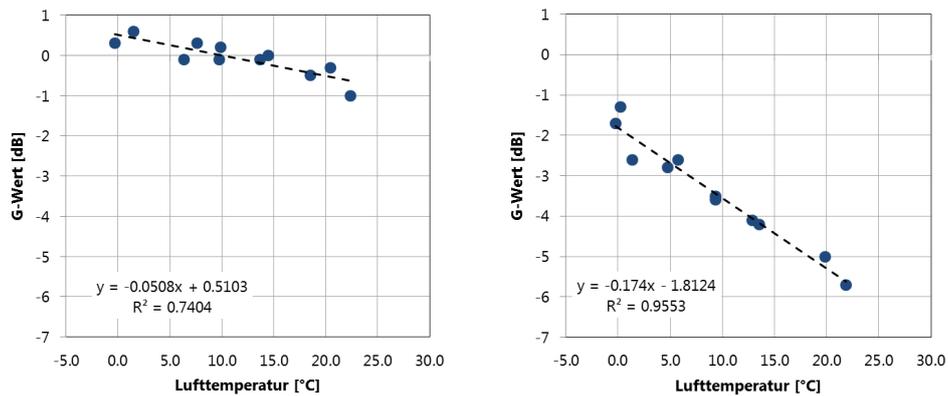


Abbildung 23: XY-Darstellung der Monats-G-Werte für PW's und der Lufttemperatur-Monatsmittelwerte an den Stationen Reiden (links) und Rothenbrunnen (rechts).

5 Diskussion

Die Diskussion bezieht sich primär auf die Korrekturwerte G . Diese Pegelkorrekturen beschreiben die Anpassung des Emissionsmodells aus SonRoad für beste Übereinstimmung Messung-Berechnung. G bildet mögliche Änderungen des Fahrzeugparks (aufgeschlüsselt in die beiden Kategorien PW und LW) und die Belagskorrektur gegenüber dem SonRoad zu Grunde gelegten Schwarzbelag ab. Überdies werden die monatlichen Güterschwerverkehrsenergieanteile und die Wochen- und Tagesgänge zusammengefasst.

- Die übers Jahr 2015 gemittelten Korrekturen G gegenüber dem Emissionsmodell SonRoad ergeben sich als arithmetischer Durchschnitt für PW und LW wie folgt: Camignolo: -3.5 dB, Moleno: -2.4 dB, Reiden: -0.4 dB, Rothenbrunnen: -2.8 dB und Tenniken: -3.6 dB.
- Gegenüber dem Vorjahr haben sich die jahresdurchschnittlichen G -Werte wie folgt verändert: Camignolo: +0.1, Moleno: -0.4, Reiden: +0.3 dB, Rothenbrunnen: +0.4 und Tenniken: -0.4 dB. An allen Standorten liegen die Veränderungen in der Grössenordnung der Resultatunsicherheit.
- Für das Jahr 2015 ergaben sich monatliche Energieanteile des Güterschwerverkehrs tags zwischen 18 und 54 %, nachts lagen die Werte zwischen 13 und 44 %. Camignolo, Moleno und Rothenbrunnen weisen die geringsten, Tenniken die höchsten Schwerverkehrsanteile auf.
- Die Wochengänge der Freifeldemissionen des Güterschwerverkehrs zeigen an allen Standorten an Sonntagen ein Minimum, gefolgt von den Samstagen. Sonntags liegen die Güterschwerverkehr-Freifeldemissionen 8 dB (Moleno) bis 11 dB (Tenniken) tiefer als an Wochentagen, samstags sind die Werte 3 dB (Moleno) bis 6 dB (Tenniken) geringer als unter der Woche.
- Die Tagesgänge zeigen an allen Standorten von Montag bis Freitag und etwas abgeschwächt am Samstag in der Stunde von 5:00 bis 5:59 eine bedeutende Zunahme der Güterschwerverkehr-Freifeldemissionen. Im Vergleich zum tagsüber erreichten Stundenhöchstwert liegen die Emissionen von 5:00 bis 5:59 lediglich zwischen 1 dB (Reiden) und 5 dB (Rothenbrunnen) tiefer.
- Eine Gegenüberstellung der Monatswerte von G für die PW -Kategorie und der Lufttemperatur hat unter Annahme einer linearen Regression stationsabhängig Bestimmtheitsmasse R^2 zwischen 0.47 und 0.97 ergeben. Die Steigungen der Regressionsgeraden variierten von -0.05 bis -0.18 dB/Grad C. In dieser Analyse unberücksichtigt blieb die Frage des Effekts von saisonalen Veränderungen am Reifenset (Sommer/Winterreifen). Dazu wäre eine zeitlich höher aufgelöste Analyse notwendig, die z.B. die Temperaturabhängigkeit des Reifengeräusches im Tagesgang untersuchen würde.

Literatur

- [1] EMPA Untersuchungsbericht 432'309, int. 511.2206, MFM-U: Ermittlung der akustischen Ausbreitungsdämpfungen, 2004.
- [2] EMPA Untersuchungsbericht 457'657, int. 511.2511, Auswertung der Lärmmonitoring-Daten 2010, 2011.
- [3] K. Heutschi, Schätzung der mittleren akustischen Leistungen von Personen- und Lastwagen anhand von quellennahen Strassenlärmimmissionsmessungen, Tagung Fortschritte der Akustik DAGA 2005.
- [4] K. Heutschi, SonRoad: New Swiss Road Traffic Noise Model, Acta Acustica united with Acustica, vol. 90, p. 548-554, 2004.
- [5] U. Sandberg, J. A. Ejsmont, Tyre/Road Noise Reference Book, Informex, 2002.
- [6] EMPA Untersuchungsbericht 446412, int. 511.2366, Abschätzung der Unsicherheit der Freifeldemissionspegel im Lärmmonitoring MFM-U, 2007.

A Belagshistorie

An den Standorten Camignolo, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen kann gemäss IFEC Studie² folgende Belagsgeschichte aufgestellt werden:

	Camignolo	Moleno	Reiden	Rothenbrunnen
2003	SMA11	AB16s	SMA11	AB16s
2004	SMA11		SMA11	AB16s
2005	SMA11	AC8HLeca18%	SMA11	AB16s
2006	SMA11	AC8HLeca18%	SMA11	AB16s
2007	SMA11	AC8HLeca18%	SMA11	AB16s
2008	SMA11	AC8HLeca18%	SMA11	AB16s
2009	SMA11	AC8HLeca18%	SMA11	AB16s
2010	SMA11	AC8HLeca18%	SMA11	AB16s
2011	SMA11		SMA11	AB16s
2012	SMA11	SDA8	SMA11	AB16s
2013		SDA8	SMA11	
2014	SDA8	SDA8	SMA11	SDA8
2015	SDA8	SDA8	SMA11	SDA8

Tabelle 8: Belagshistorie an den MFM-U Standorten.

²A. Bernasconi, Akustische Merkmale der einzelnen Fahrzeugklassen an den MFM-U-Standorten mit Hilfe der SPB-Analyse, IFEC, März 2015.