

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T +41 44 823 47 43  
F +41 44 823 47 93  
www.empa.ch



Materials Science & Technology

BAFU  
Abt. Klima, Oekonomie, Umweltbeobachtung  
Hr. Klaus Kammer  
Postfach  
3003 Bern

Untersuchungsbericht Nr. 448'572, int. 511.2594

## Auswertung der Lärmmonitoring-Daten 2007 für die Berichterstattung MFM-U 2008

Auftraggeber: BAFU, Abteilung Klima, Oekonomie, Umweltbeobachtung

Ihr Auftrag vom: 12. Februar 2008

Anzahl Seiten: 16

### Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>1 Auftrag</b>	<b>2</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>3 Vorgehen</b>	<b>2</b>
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>5</b>
4.1 Camignolo . . . . .	5
4.2 Moleno . . . . .	7
4.3 Reiden . . . . .	9
4.4 Rothenbrunnen . . . . .	11
4.5 Tenniken . . . . .	13
<b>5 Diskussion</b>	<b>15</b>

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Abteilung Akustik  
Dübendorf, 19.2.2008  
Sachbearbeiter:

Abteilungsleiter:

Kurt Heutschi

Kurt Eggenschwiler

---

Anmerkung: Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

## Zusammenfassung

In einer zweistufigen Prozedur wurden die MFM-U Strassenlärmmonitoringdaten vom 1.1.2007 bis zum 31.12.2007 für die Berichterstattung MFM-U 2008 aufbereitet. Dabei wurde das ganze Jahr 2007 als Einheit sowie jeder Monat separat ausgewertet. In einem ersten Schritt wurden pro Standort anhand der Verkehrszahlen, Geschwindigkeiten und Messwerte Korrekturen zum Emissionsmodell von 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 das Jahr 2007 tags akustische Energieanteile des Güterschwerverkehrs zwischen 12 und 59 %, nachts zwischen 8 und 55 %. Dabei zeigten Camignolo und Rothenbrunnen die geringsten, Tenniken die grössten Güterschwerverkehrsanteile.

## 1 Auftrag

Mit Vertrag vom 12.2.2008 beauftragte das BAFU, Abteilung Klima, Oekonomie, Umweltbeobachtung die EMPA, Abteilung Akustik mit der Auswertung und Aufbereitung der MFM-U Lärmmonitoringdaten 2007.

## 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 der EMPA-Untersuchung 432'309 [1] 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 [2]. Die Kategorisierung in Personen- und Lastwagen ist durch das Quellenmodell aus SonRoad [3] 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

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 (Camignolo und Moleno)
- Lärmmonitoringdaten: Leq-Halbstundenwerte pro Mikrophon als A-Pegel und in Terzbändern

Überdies wurde auf das akustische Emissionsmodell aus SonRoad [3] sowie auf die akustischen Ausbreitungsdämpfungen von den einzelnen Fahrspuren zu den Mikrophenen [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** umfasst die SWISS7 Kategorien 3 und 4

**LW** 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 Mikrofonpegel 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.

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 [3]). 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  $Leq$  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 Abendzeitintervalls 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.

Im folgenden Abschnitt *Ergebnisse* 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 angegeben.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Camignolo

Datengrundlagen:

- Stundenmittelwerte der Geschwindigkeiten von 2007-01-01 bis 2007-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	0.7	1	1.1	1.2	1.4
G-LW	-1.2	-0.4	-0.6	-1	-1.5	-1.7	-1.9	-1.5	-1.8	-1.9	-0.6	-0.5	-0.1
v-PW-Tag	118.7	118.9	117.6	119.6	120	119.2	118.7	118.2	117.7	118.3	119	118.4	119.9
v-PW-Nacht	119.6	120.1	118.8	120.3	121.4	119.4	118.5	119.9	117.8	119	121.2	119.9	120.8
v-LW-Tag	95.6	93.8	93.5	94.8	98.8	97.8	97.4	97.8	97.5	95.9	93.7	92	92.7
v-LW-Nacht	100.1	99.3	100.6	98.7	103.6	101	101.9	102.6	101.5	99	97.4	95.6	97.1
N-LW-Tag	204	193	219	228	185	213	221	224	157	213	228	215	155
N-LW-Nacht	28	25	29	32	26	31	30	34	24	27	30	27	21
N-Tot-Tag	2713	2239	2366	2536	2830	2825	2881	3236	3062	3041	2832	2447	2246
N-Tot-Nacht	616	444	481	492	687	610	672	970	865	659	552	469	496
L-LW-Tag	82	82.5	82.8	82.7	81.5	81.8	81.8	82.2	80.3	81.5	83	82.7	81.7
L-LW-Nacht	73.7	73.8	74.4	74.3	73.3	73.7	73.4	74.4	72.5	72.8	74.4	73.9	73.3
L-Rest-Tag	88.2	87.2	87.1	87.7	88.5	88.4	88.6	88.8	88.7	88.9	88.7	88	88
L-Rest-Nacht	82	80.7	80.9	80.8	82.6	81.9	82.4	83.8	83.2	82.3	81.9	81.2	81.7
L-Tot-Tag	89.1	88.5	88.5	88.9	89.3	89.3	89.4	89.7	89.3	89.6	89.7	89.1	88.9
L-Tot-Nacht	82.6	81.5	81.8	81.7	83.1	82.5	82.9	84.3	83.6	82.8	82.6	81.9	82.3
v-PW-Tag6-18	118.4	118.7	117.5	119.4	119.6	118.5	118.1	117.5	117.2	117.8	118.7	118.3	119.8
v-PW-Evening	120.2	119.4	117.8	120.2	121.6	121.8	121	120.9	119.3	120	120.3	118.6	120.4
v-LW-Tag6-18	95.2	93.4	93.1	94.5	98.2	97.3	97	97.1	96.9	95.4	93.4	91.8	92.3
v-LW-Evening	97.9	95.8	95.4	96.2	101.8	100.3	99.5	101.1	100.6	98	95.3	93.5	94.7
N-LW-Tag6-18	230	217	246	256	208	238	247	250	176	241	258	244	175
N-LW-Evening	129	122	141	147	114	136	143	147	99	132	138	129	95
N-Tot-Tag6-18	2889	2390	2534	2709	2982	3011	3077	3425	3224	3246	3015	2620	2400
N-Tot-Evening	2191	1784	1890	2036	2363	2266	2295	2672	2575	2431	2280	1927	1783
L-LW-Tag6-18	82.5	82.9	83.3	83.1	82	82.3	82.2	82.7	80.8	82	83.5	83.2	82.2
L-LW-Evening	80.1	80.6	81	80.9	79.6	80.1	80	80.6	78.6	79.5	80.9	80.6	79.7
L-Rest-Tag6-18	88.4	87.5	87.5	88	88.6	88.7	88.7	89	88.9	89.1	88.9	88.2	88.2
L-Rest-Evening	87.5	86.5	86.4	86.8	87.9	87.8	87.8	88.3	88.1	88.1	87.9	87	87.2
L-Tot-Tag6-18	89.4	88.8	88.9	89.2	89.5	89.6	89.6	89.9	89.5	89.9	90	89.4	89.2
L-Tot-Evening	88.2	87.5	87.5	87.8	88.5	88.5	88.5	89	88.6	88.7	88.7	87.9	87.9
L-LW-den	83.4	83.8	84.2	84.1	83	83.4	83.2	83.9	82	82.8	84.3	83.9	83.1
L-Rest-den	90.7	89.6	89.7	89.9	91.1	90.8	91	91.9	91.6	91.2	90.9	90.1	90.4
L-Tot-den	91.4	90.6	90.8	90.9	91.8	91.5	91.7	92.6	92	91.8	91.8	91.1	91.2

Tabelle 2: Ergebnisse für das Jahr 2007 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.

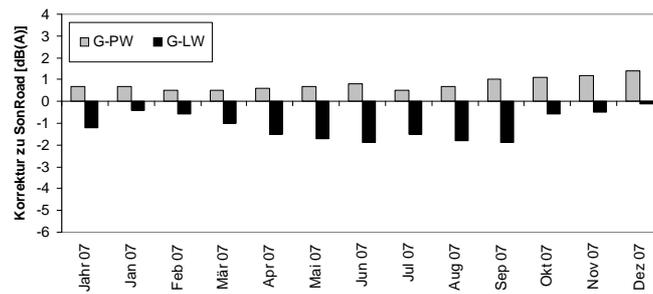


Abbildung 1: Emissions-Korrekturen  $G$  gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Camignolo.

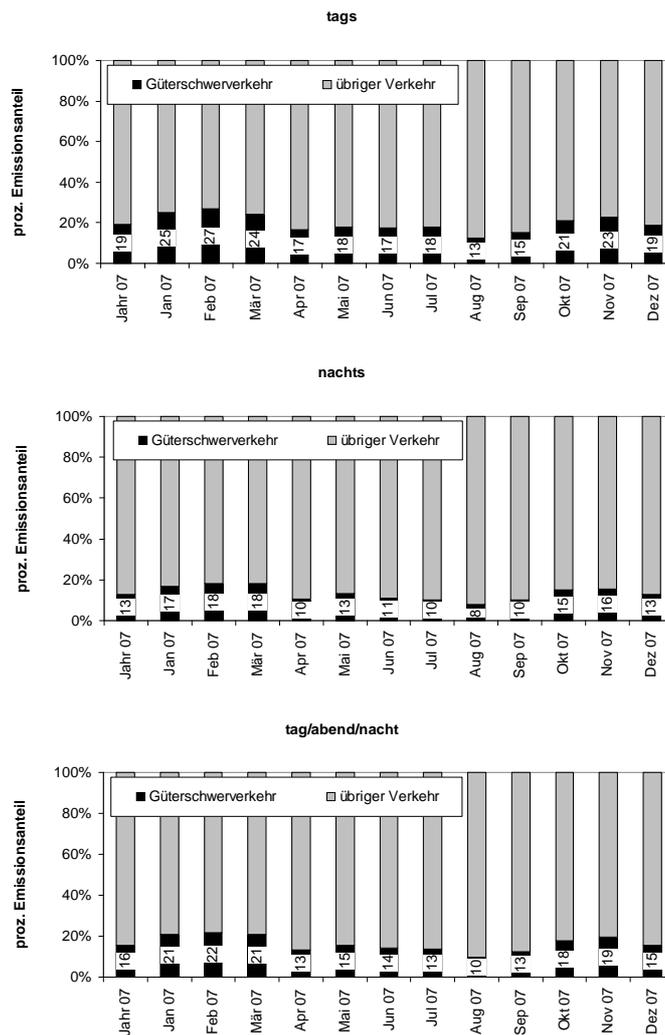


Abbildung 2: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Camignolo.

## 4.2 Moleno

Datengrundlagen:

- Stundenmittelwerte der Geschwindigkeiten von 2007-01-01 bis 2007-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-1.3	-1.1	-1	-1.9	-1.7	-0.7	-1.6	-2.5	-1.3	-1.4	-1.9	-1.1	-1
G-LW	-0.8	-1.1	-1.5	-0.6	-2.3	-1.5	-0.3	-1.3	-0.3	-0.7	-1	-1.4	-0.6
v-PW-Tag	122.9	123.5	123.9	123.4	124.2	123.2	122.5	122	121.8	121.8	122.8	122.9	124.3
v-PW-Nacht	122.5	123.7	123.9	123.8	124.4	122.7	121.4	121.5	120.1	122.1	123.7	123.2	124
v-LW-Tag	93.5	90.8	90.7	91.2	94.8	94.9	95	96.4	97.5	95	92.2	90.7	91.6
v-LW-Nacht	97.3	95.3	95.1	95.4	98	97.7	98.1	99.2	100.2	98.3	96.7	95	96.5
N-LW-Tag	163	154	180	192	145	170	177	161	125	169	186	175	123
N-LW-Nacht	22	19	21	23	23	24	24	26	20	20	23	22	17
N-Tot-Tag	1557	1132	1192	1326	1580	1621	1685	2040	2062	1892	1643	1289	1207
N-Tot-Nacht	344	222	221	244	371	344	365	635	559	384	309	233	242
L-LW-Tag	81.3	80.6	80.8	82	79.3	80.8	82.2	80.9	80.9	81.6	81.6	80.8	80.1
L-LW-Nacht	72.8	71.7	71.9	73.2	71.6	72.5	73.8	73.2	73.1	72.7	72.9	72.1	72
L-Rest-Tag	84.2	82.6	82.9	82.7	83.9	85	84.6	84.5	85.8	85.1	83.7	83.1	83.3
L-Rest-Nacht	77.8	76	76	75.8	77.8	78.3	78	79.4	79.9	78.2	76.8	76.2	76.6
L-Tot-Tag	86	84.7	85	85.4	85.2	86.4	86.6	86.1	87	86.7	85.8	85.1	85
L-Tot-Nacht	79	77.4	77.4	77.7	78.7	79.3	79.4	80.3	80.7	79.3	78.3	77.6	77.9
v-PW-Tag6-18	122.4	123.4	123.7	123	123.9	122.5	121.8	121.3	121.3	121.3	122.5	122.7	124.3
v-PW-Evening	124.5	123.8	124.4	124.8	125.6	126	125.3	124.6	123.5	124	124.2	123.4	124.5
v-LW-Tag6-18	93.3	90.6	90.4	91	94.5	94.8	94.9	96.1	97.3	94.8	92	90.5	91.2
v-LW-Evening	94.5	91.5	91.9	92.2	96.2	95.7	95.4	97.7	98.8	95.6	93.4	91.8	93.2
N-LW-Tag6-18	181	170	198	211	162	187	196	177	137	189	209	196	136
N-LW-Evening	110	108	124	132	96	116	120	112	88	111	118	112	85
N-Tot-Tag6-18	1670	1208	1272	1411	1688	1741	1820	2183	2204	2048	1765	1386	1306
N-Tot-Evening	1216	902	950	1070	1265	1259	1280	1605	1636	1434	1280	997	909
L-LW-Tag6-18	81.7	81	81.2	82.5	79.8	81.3	82.7	81.3	81.3	82.1	82.1	81.3	80.5
L-LW-Evening	79.7	79.1	79.3	80.5	77.7	79.3	80.6	79.4	79.4	79.8	79.7	79	78.7
L-Rest-Tag6-18	84.5	82.8	83.2	82.9	84.1	85.2	84.8	84.8	86	85.4	84.1	83.4	83.6
L-Rest-Evening	83.2	81.7	82.1	82	83.1	84	83.5	83.7	84.8	84	82.8	82.2	82.2
L-Tot-Tag6-18	86.3	85	85.3	85.7	85.5	86.7	86.9	86.4	87.3	87.1	86.2	85.5	85.3
L-Tot-Evening	84.8	83.6	83.9	84.3	84.2	85.3	85.3	85.1	85.9	85.4	84.5	83.9	83.8
L-LW-den	82.7	81.9	82.1	83.4	81	82.3	83.7	82.6	82.6	82.9	82.9	82.1	81.7
L-Rest-den	86.5	84.9	85	84.9	86.4	87.2	86.8	87.5	88.3	87.2	85.9	85.3	85.5
L-Tot-den	88	86.6	86.8	87.2	87.5	88.4	88.5	88.7	89.4	88.6	87.7	87	87

Tabelle 3: Ergebnisse für das Jahr 2007 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.

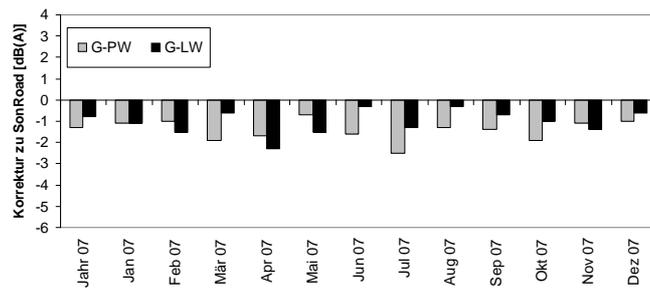


Abbildung 3: Emissions-Korrekturen  $G$  gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Moleno.

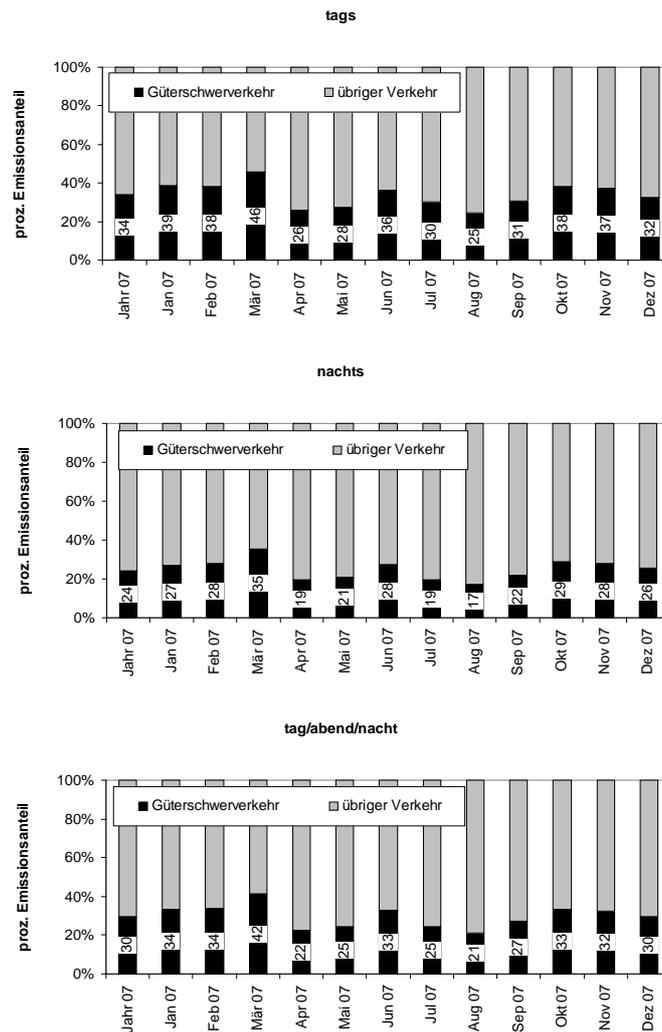


Abbildung 4: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Moleno.

### 4.3 Reiden

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.5	0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0.2	0.3	0.7
G-LW	-0.5	-0.4	-0.4	-0.2	-0.5	-1	-0.8	-0.5	-0.6	-0.4	-0.5	-0.2	-0.2
v-PW-Tag	117.9	116.7	117.5	117.6	118.7	118.7	118.7	117.8	118.1	118.3	117.9	116.2	117.5
v-PW-Nacht	118.5	117.7	118.5	117.7	119.7	118.7	119.2	117.8	118.3	119.4	119.5	117.7	117.9
v-LW-Tag	92.4	90.3	91.9	91.2	93.3	93.1	93.7	93.5	94.4	93.4	91.8	90.3	91.4
v-LW-Nacht	95	93.3	94.9	93.8	95.6	95.1	95.7	96.3	96.4	95.5	94.7	93.3	94.5
N-LW-Tag	306	283	316	315	298	312	315	323	278	318	344	332	242
N-LW-Nacht	61	53	59	60	60	64	65	68	63	64	66	63	52
N-Tot-Tag	2604	2138	2291	2482	2616	2610	2774	2932	2975	2882	2748	2502	2258
N-Tot-Nacht	571	419	421	478	559	570	634	830	784	624	536	481	490
L-LW-Tag	84.3	83.9	84.5	84.6	84.2	83.9	84.2	84.6	83.9	84.6	84.7	84.8	83.5
L-LW-Nacht	77.6	76.8	77.6	77.6	77.5	77.2	77.6	78.1	77.7	77.9	77.8	77.8	77.1
L-Rest-Tag	87.1	85.9	86.3	86.6	86.8	87.1	87.3	87.5	87.5	87.4	87.3	86.8	87
L-Rest-Nacht	80.7	79.1	79.1	79.6	80.3	80.5	80.9	82.2	81.8	80.8	80.6	79.9	80.4
L-Tot-Tag	88.9	88	88.5	88.7	88.7	88.8	89	89.3	89.1	89.2	89.2	88.9	88.6
L-Tot-Nacht	82.4	81.1	81.4	81.7	82.1	82.2	82.6	83.6	83.2	82.6	82.4	82	82.1
v-PW-Tag6-18	117.5	116.7	117.4	117.3	118.2	118.2	118.1	117.3	117.6	117.8	117.5	115.9	117.5
v-PW-Evening	119.3	117	118.1	118.8	120.6	120.4	121.1	119.7	119.8	120.1	119.3	117.5	117.7
v-LW-Tag6-18	91.9	90	91.6	90.8	92.7	92.6	93.1	93	93.7	92.8	91.3	89.9	90.9
v-LW-Evening	95.9	92	94.1	94.2	96.9	96.7	97.5	97.4	99.1	97.4	95.1	93.5	94.7
N-LW-Tag6-18	362	333	373	373	351	369	373	380	328	376	408	395	290
N-LW-Evening	139	132	146	147	139	140	146	152	127	143	154	142	99
N-Tot-Tag6-18	2809	2322	2496	2686	2792	2809	2992	3146	3177	3095	2961	2729	2471
N-Tot-Evening	1989	1586	1679	1885	2089	2015	2132	2287	2369	2245	2110	1818	1618
L-LW-Tag6-18	84.9	84.5	85.2	85.3	84.9	84.6	84.8	85.2	84.5	85.3	85.4	85.5	84.2
L-LW-Evening	81.1	80.7	81.4	81.5	81.2	80.7	81.1	81.6	80.8	81.4	81.5	81.3	79.9
L-Rest-Tag6-18	87.3	86.3	86.7	86.8	86.9	87.4	87.6	87.8	87.8	87.6	87.5	87.1	87.3
L-Rest-Evening	86.4	84.9	85.2	85.7	86.2	86.4	86.6	86.7	87	86.7	86.6	85.8	85.8
L-Tot-Tag6-18	89.3	88.5	89	89.1	89	89.2	89.4	89.7	89.5	89.6	89.6	89.4	89
L-Tot-Evening	87.5	86.3	86.7	87.1	87.4	87.4	87.7	87.9	87.9	87.8	87.8	87.1	86.8
L-LW-den	86.2	85.6	86.3	86.4	86.1	85.8	86.1	86.6	86	86.5	86.5	86.5	85.5
L-Rest-den	89.5	88.1	88.3	88.7	89.1	89.4	89.7	90.4	90.3	89.7	89.6	88.9	89.2
L-Tot-den	91.1	90	90.4	90.7	90.9	91	91.3	91.9	91.7	91.4	91.3	90.9	90.8

Tabelle 4: Ergebnisse für das Jahr 2007 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.

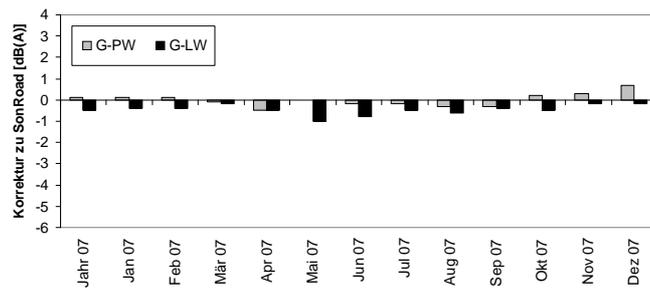


Abbildung 5: Emissions-Korrekturen  $G$  gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Reiden.

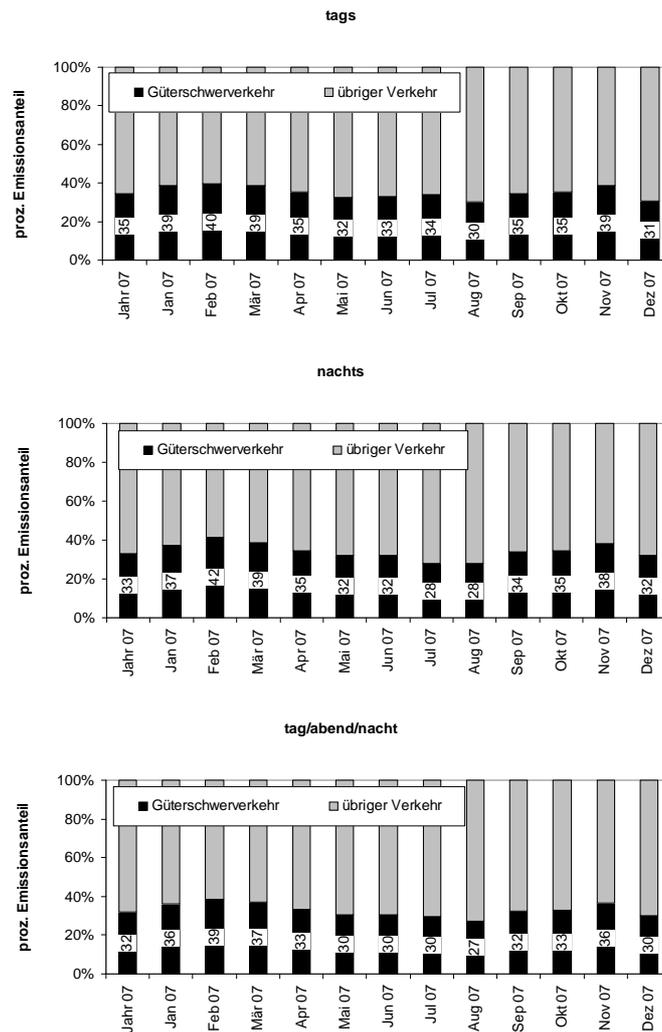


Abbildung 6: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Reiden.

## 4.4 Rothenbrunnen

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	1.2	1.8	1.4	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1.3	1.3	1.5	1.6
G-LW	-2	-0.7	-0.9	0	-0.9	-1.4	-1.4	-1.6	-1.8	-2.5	-0.8	-0.3	0.1
v-PW-Tag	102.4	102.2	102.2	102.8	103.2	102.6	102.3	102.2	102.1	102.2	102.4	101.5	102.8
v-PW-Nacht	102.7	102.6	102.8	103.5	103.7	102.2	102.7	102.8	101.9	102.9	103.8	100.9	102.8
v-LW-Tag	91.7	97	93.8	88.8	92.3	91.9	92.2	92.4	93.1	92.1	89.9	87.6	89.1
v-LW-Nacht	95	98.8	96.6	95.3	94.8	93.7	95	96.2	96	93.2	94.3	91.7	92.9
N-LW-Tag	44	32	38	43	42	47	50	49	43	51	52	45	31
N-LW-Nacht	5	4	5	5	6	7	7	6	5	8	6	5	5
N-Tot-Tag	875	667	771	790	947	892	947	1090	1130	1035	891	664	682
N-Tot-Nacht	129	83	88	100	145	169	152	199	179	202	112	88	91
L-LW-Tag	74.1	74.8	75.1	75.8	75.1	75	75.3	75	74.3	74.3	75.9	75.6	74.6
L-LW-Nacht	65.4	65.5	66.1	67.2	66.7	66.8	66.8	66.1	65.6	66.5	66.8	66.4	66.6
L-Rest-Tag	82.2	81.6	81.7	81.6	82.2	82	82.2	82.8	83.1	83.1	82.4	81.1	81.5
L-Rest-Nacht	73.9	72.8	72.6	73	74.2	74.6	74.2	75.4	75	76	73.7	72.6	73
L-Tot-Tag	82.8	82.4	82.6	82.6	83	82.8	83	83.5	83.6	83.6	83.3	82.2	82.3
L-Tot-Nacht	74.5	73.5	73.5	74	74.9	75.3	74.9	75.9	75.5	76.5	74.5	73.5	73.9
v-PW-Tag6-18	102.2	102.1	102.2	102.6	103	102.4	102	101.8	101.9	102	102.2	101.6	102.8
v-PW-Evening	103	102.7	102.6	103.3	103.9	103.4	103.2	103.6	102.8	102.9	103	101.3	103
v-LW-Tag6-18	91.4	96.7	93.5	88.5	91.9	91.6	91.9	92	92.8	91.8	89.6	87.4	88.7
v-LW-Evening	93.9	98.8	95.6	90.6	94.7	94	94	95.1	95.4	94.6	92.3	88.7	91.3
N-LW-Tag6-18	51	37	44	50	49	55	58	57	50	59	61	53	37
N-LW-Evening	21	17	20	22	22	21	24	25	21	25	24	20	15
N-Tot-Tag6-18	942	730	843	857	996	949	1018	1165	1211	1081	962	728	758
N-Tot-Evening	670	477	555	589	791	708	734	865	889	877	674	471	454
L-LW-Tag6-18	74.8	75.4	75.7	76.4	75.7	75.7	75.9	75.6	74.9	74.8	76.6	76.4	75.3
L-LW-Evening	71.2	72.2	72.4	73.1	72.4	71.8	72.3	72.4	71.3	71.3	72.7	72.2	71.5
L-Rest-Tag6-18	82.5	81.9	82.1	81.8	82.5	82.2	82.5	83.1	83.4	83.2	82.8	81.4	81.9
L-Rest-Evening	81.2	80.2	80.4	80.4	81.6	81	81.2	81.9	82.2	82.4	81.3	79.7	79.9
L-Tot-Tag6-18	83.2	82.8	83	82.9	83.3	83.1	83.4	83.8	84	83.8	83.7	82.6	82.8
L-Tot-Evening	81.6	80.8	81	81.1	82.1	81.5	81.7	82.4	82.5	82.7	81.9	80.4	80.5
L-LW-den	75.3	75.8	76.2	77	76.4	76.3	76.5	76.1	75.4	75.7	76.9	76.5	76
L-Rest-den	83.8	82.9	83	83	84	83.9	83.9	84.8	84.8	85.2	83.9	82.5	82.9
L-Tot-den	84.4	83.7	83.8	84	84.7	84.6	84.6	85.3	85.3	85.6	84.7	83.5	83.7

Tabelle 5: Ergebnisse für das Jahr 2007 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.

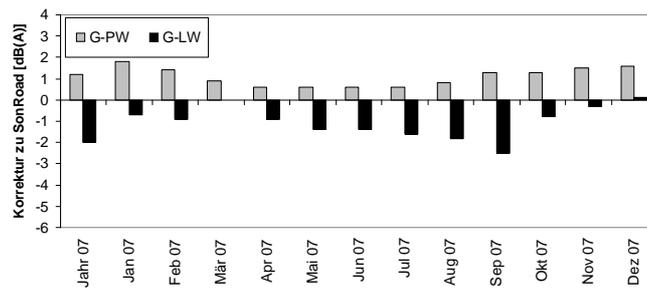


Abbildung 7: Emissions-Korrekturen  $G$  gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Rothenbrunnen.

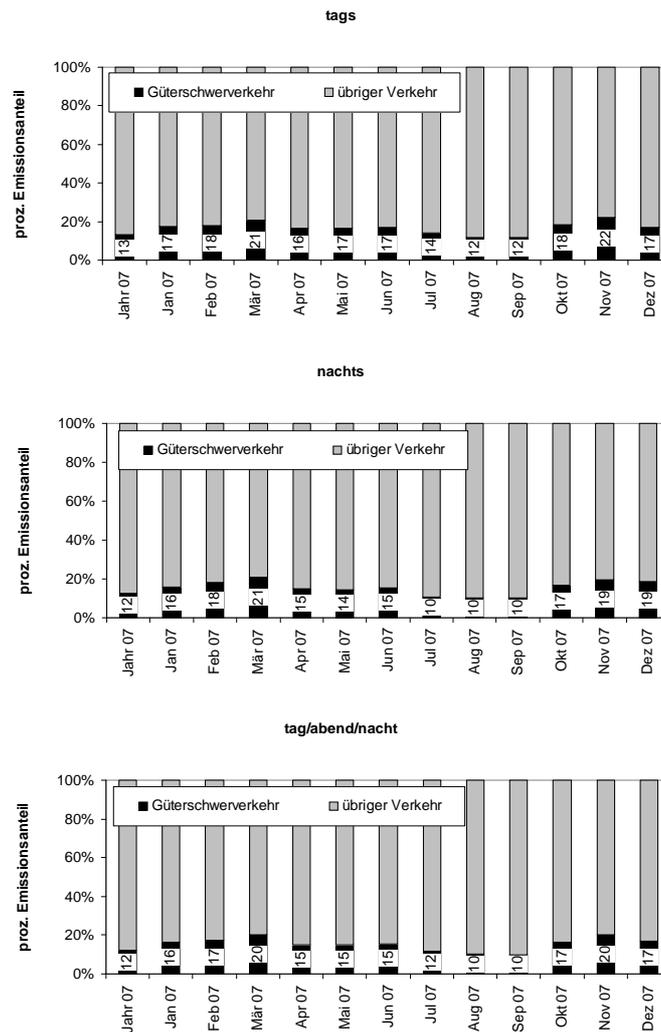


Abbildung 8: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Rothenbrunnen.

## 4.5 Tenniken

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten (Zähler Eptingen) von 2007-01-01 bis 2007-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2007-01-01 bis 2007-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-1.5	-0.1	0	-2.7	-4.9	-0.8	-3.5	-1.3	-4.7	-1.4	-3.7	-1	-1
G-LW	-2.2	-3.4	-2.8	-0.8	-3	-4.4	-1.1	-1.7	-0.5	-3.2	-2.6	-1.9	-0.2
v-PW-Tag	108	107.9	107.3	106.8	109	109.1	107.4	106.7	107.4	108.5	108.7	109.5	108.7
v-PW-Nacht	111.2	111.1	111.2	109	112.2	111.7	109.9	110.9	111.3	112.1	112.3	113	109.9
v-LW-Tag	97.4	105.7	97.5	95.2	97.2	97.1	95.8	96.8	97.5	97.6	96.5	96.2	97
v-LW-Nacht	105.3	111.1	107.1	102.3	107.6	105.6	103.9	105.9	104.6	106.2	104.1	102.6	103.1
N-LW-Tag	343	324	361	377	315	350	364	355	314	337	385	358	275
N-LW-Nacht	51	48	54	54	49	52	52	56	50	50	54	50	43
N-Tot-Tag	2699	2317	2477	2675	2765	2637	2811	3111	3112	2888	2752	2439	2386
N-Tot-Nacht	554	413	446	481	564	545	606	798	755	583	504	453	471
L-LW-Tag	83.7	83.1	83.4	85.3	82.5	81.6	84.9	84.3	85	82.6	83.8	84.1	84.7
L-LW-Nacht	76.4	75.3	76.2	77.8	75.7	74.3	77.5	77.3	77.9	75.4	76.1	76.3	77.5
L-Rest-Tag	84.8	85.2	85.5	83.7	82.3	85.2	83.8	85.8	83.7	85.4	82.9	84.8	85.1
L-Rest-Nacht	78.5	78.2	78.8	76.9	76.1	78.9	77.5	80.5	77.9	78.9	76.3	78.1	78.2
L-Tot-Tag	87.3	87.3	87.6	87.6	85.4	86.8	87.4	88.1	87.4	87.2	86.4	87.5	87.9
L-Tot-Nacht	80.6	80	80.7	80.4	78.9	80.2	80.5	82.2	80.9	80.5	79.2	80.3	80.9
v-PW-Tag6-18	107.3	107.3	106.7	106.1	108.3	108.3	106.4	105.8	106.5	107.7	108.4	108.9	108.3
v-PW-Evening	110.7	110.6	109.5	109.5	111.7	112	111	110.3	110.8	111	110	111.6	109.9
v-LW-Tag6-18	96.7	105	96.7	94.4	96.3	96.2	95.1	95.9	96.7	96.7	96	95.5	96.4
v-LW-Evening	102.8	110.4	103	101.2	103.5	103.5	101.2	102.4	103.4	103	100.3	101.8	101.1
N-LW-Tag6-18	407	384	427	448	373	416	431	420	374	401	457	430	329
N-LW-Evening	151	143	160	166	143	152	163	163	133	160	163	151	114
N-Tot-Tag6-18	2904	2520	2690	2895	2937	2829	3019	3350	3327	3077	2929	2646	2602
N-Tot-Evening	2091	1707	1833	2015	2254	2061	2186	2402	2466	2365	2201	1848	1745
L-LW-Tag6-18	84.4	83.8	84	86	83.2	82.2	85.6	84.9	85.7	83.3	84.4	84.9	85.5
L-LW-Evening	80.7	80	80.5	82.5	79.7	78.6	82	81.5	81.9	80	80.4	81	81.3
L-Rest-Tag6-18	85	85.4	85.8	83.9	82.3	85.4	84	85.8	83.9	85.4	83.1	84.9	85.3
L-Rest-Evening	84.2	84.3	84.7	82.9	81.8	84.8	83.3	85.1	83	84.9	82.5	84.1	84.1
L-Tot-Tag6-18	87.7	87.7	88	88.1	85.8	87.1	87.9	88.4	87.9	87.5	86.8	87.9	88.4
L-Tot-Evening	85.8	85.7	86.1	85.7	83.9	85.7	85.7	86.7	85.5	86.1	84.6	85.8	85.9
L-LW-den	85.4	84.6	85.1	86.9	84.4	83.2	86.6	86.1	86.7	84.4	85.2	85.6	86.4
L-Rest-den	87.3	87.3	87.8	85.9	84.8	87.7	86.3	88.7	86.4	87.7	85.3	87	87.2
L-Tot-den	89.4	89.2	89.6	89.5	87.6	89	89.4	90.6	89.6	89.4	88.3	89.4	89.8

Tabelle 6: Ergebnisse für das Jahr 2007 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.

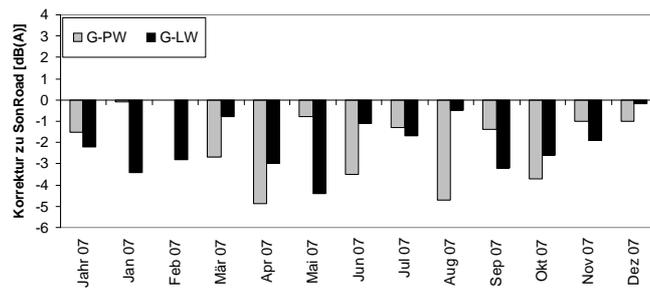


Abbildung 9: Emissions-Korrekturen  $G$  gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Tenniken.

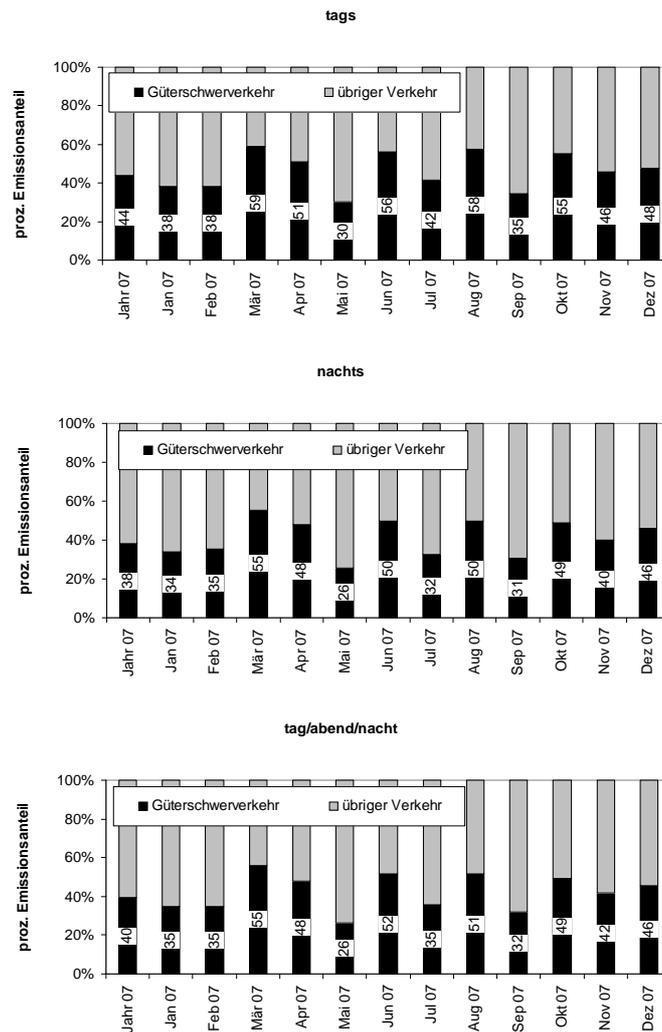


Abbildung 10: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Tenniken.

## 5 Diskussion

Die Diskussion bezieht sich im Wesentlichen 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.

- Für das Jahr 2007 ergeben sich Güterschwerverkehrsenergieanteile tags zwischen 12 und 59 %, nachts liegen die Werte zwischen 8 und 55 %. Camignolo und Rothenbrunnen zeigen die geringsten, Tenniken die höchsten Schwerverkehrsanteile.
- Die übers Jahr 2007 gemittelten Korrekturen  $G$  gegenüber dem Emissionsmodell SonRoad liegen an den Stationen Camignolo und Reiden für  $PW$  zwischen 0.1 und 0.7 dB(A), für  $LW$  zwischen -1.2 und -0.5 dB(A). In Rothenbrunnen wurden für  $PW$  1.2 dB(A) höhere Pegel registriert, währenddem die Pegel für  $LW$  2.0 dB(A) unter SonRoad liegen. Diese deutlich tiefer liegenden Pegel für  $LW$  wurden bereits in früheren Auswertungen beobachtet und könnten unter Umständen mit einem speziellen Fahrzeugmix auf dieser Route zusammenhängen. An den Stationen Moleno und Tenniken ergeben sich als Folge des lärmarmen Belags mit -1.5...-1.3 dB(A) für  $PW$  bzw. -2.2...-0.8 dB(A) für  $LW$  deutliche Korrekturen gegenüber SonRoad (Standardbelag).
- Gegenüber dem Vorjahr haben sich die jahresdurchschnittlichen  $G$ -Werte an den Stationen Camignolo und Reiden um lediglich 0 bis 0.1 dB(A) verändert. Diese Änderung ist kleiner als die erwartete Aussageunsicherheit [5] und ist damit nicht signifikant. An den Stationen Moleno und Tenniken sind die  $G$ -Werte um ca. 0.3 dB(A) angewachsen, d.h. die an diesen Standorten eingesetzten lärmarmen Beläge haben etwas an positiver Wirkung verloren. Allerdings liegt die Veränderung in der Grössenordnung der Unsicherheit und hat damit nur bedingt Aussagekraft. In Rothenbrunnen sind die Personenwagen 0.2 dB(A) lauter, die Lastwagen 0.7 dB(A) leiser geworden.
- An der Station Tenniken sind die über's Jahr auftretenden monatlichen Streuungen der Korrekturen  $G$  deutlich grösser als an den übrigen Messstellen. Die Ursache dafür liegt im Umstand begründet, dass die Verkehrszählung und die Geschwindigkeitsmessung nicht im gleichen Querschnitt wie die akustische Messung erfolgt.

## Literatur

- [1] EMPA Untersuchungsbericht 432309, int. 511.2206, MFM-U: Ermittlung der akustischen Ausbreitungsdämpfungen, 2004.
- [2] K. Heutschi, Schätzung der mittleren akustischen Leistungen von Personen- und Lastwagen anhand von quellennahen Strassenlärmimmissionsmessungen, Tagung Fortschritte der Akustik DAGA 2005.
- [3] K. Heutschi, SonRoad: New Swiss Road Traffic Noise Model, Acta Acustica united with Acustica, vol. 90, p. 548-554, 2004.
- [4] U. Sandberg, J. A. Ejsmont, Tyre/Road Noise Reference Book, Informex, 2002.
- [5] EMPA Untersuchungsbericht 446412, int. 511.2366, Abschätzung der Unsicherheit der Freifeldemissionspegel im Lärm- monitoring MFM-U, 2007.