

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. 454'330, int. 511.2455

Auswertung der Lärmmonitoring-Daten 2009

Auftraggeber: BAFU, Abteilung Klima, Oekonomie, Umweltbeobachtung

Ihr Auftrag vom: 25. Januar 2010

Anzahl Seiten: 16

Inhaltsverzeichnis

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

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Abteilung Akustik
Dübendorf, 9.3.2010
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 1.1.2009 bis zum 31.12.2009 aufbereitet. Dabei wurde das ganze Jahr 2009 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 2009 tags akustische Energieanteile des Güterschwerverkehrs zwischen 5 und 56 %, nachts zwischen 6 und 54 %. Dabei zeigten Camignolo und Rothenbrunnen die geringsten, Tenniken die grössten Güterschwerverkehrsanteile.

1 Auftrag

Mit Vertrag vom 25.1.2010 beauftragte das BAFU, Abteilung Klima, Oekonomie, Umweltbeobachtung die EMPA, Abteilung Akustik mit der Auswertung und Aufbereitung der MFM-U Lärmmonitoringdaten 2009.

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 Mikrofonen 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 Mikrofonen [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: (Anzahl *PW*) > 30×(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).

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.

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

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 2009-01-01 bis 2009-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	1.6	1.9	1.4	1.1	2.0	1.7	1.7	1.7	1.5	2.1	1.5	1.8	1.8
G-LW	-0.7	-0.4	-0.3	0.1	-0.5	-1.3	-1.6	-1.6	-1.3	-1.3	0.0	-0.5	-0.3
v-PW-Tag	117.3	117.8	117.3	118.5	117.6	118.5	118.0	116.9	116.8	114.5	117.3	117.9	117.1
v-PW-Nacht	117.3	116.5	117.8	119.1	118.4	119.0	117.9	117.6	116.3	114.5	117.6	118.8	114.4
v-LW-Tag	94.7	91.4	91.3	93.0	94.4	97.8	97.0	96.8	99.4	94.9	93.8	92.0	91.7
v-LW-Nacht	98.2	94.9	95.8	96.8	98.1	100.6	100.1	101.0	102.4	96.5	96.8	96.2	93.8
N-LW-Tag	194	165	194	203	196	189	204	215	145	228	222	204	166
N-LW-Nacht	27	22	27	27	28	27	28	32	24	36	28	24	21
N-Tot-Tag	2751	2131	2257	2491	2838	2867	2901	3296	3294	3163	3002	2437	2303
N-Tot-Nacht	605	415	444	458	585	634	647	974	965	690	552	455	450
L-LW-Tag	82.2	81.6	82.4	83.1	82.4	81.7	81.6	81.9	80.6	82.3	83.4	82.5	81.7
L-LW-Nacht	73.9	73.2	74.1	74.6	74.2	73.4	73.3	74.0	73.1	74.5	74.7	73.5	72.9
L-Rest-Tag	89.0	88.0	87.7	88.1	89.5	89.4	89.3	89.9	89.8	89.8	89.3	88.5	88.2
L-Rest-Nacht	82.5	81.0	81.0	81.0	82.8	82.9	83.0	84.6	84.4	83.3	82.1	81.5	81.2
L-Tot-Tag	89.8	88.9	88.8	89.3	90.3	90.1	90.0	90.5	90.3	90.5	90.3	89.5	89.1
L-Tot-Nacht	83.1	81.7	81.8	81.9	83.4	83.4	83.4	85.0	84.7	83.8	82.8	82.1	81.8
v-PW-Tag6-18	117.2	117.8	117.2	118.4	117.2	118.0	117.4	116.2	116.2	115.7	117.5	117.9	117.3
v-PW-Evening	117.9	117.6	117.3	118.9	119.3	120.4	120.3	119.8	119.3	109.5	116.6	118.1	116.0
v-LW-Tag6-18	94.4	91.1	91.0	92.7	94.0	97.3	96.4	96.1	98.6	95.2	93.6	91.7	91.6
v-LW-Evening	96.7	93.1	93.0	94.7	96.7	100.3	99.9	100.2	103.5	93.3	95.0	93.8	92.2
N-LW-Tag6-18	221	187	222	230	224	215	233	243	165	255	255	235	188
N-LW-Evening	113	100	112	123	112	111	115	130	83	136	123	110	100
N-Tot-Tag6-18	2937	2272	2411	2652	3024	3062	3104	3512	3509	3347	3216	2614	2477
N-Tot-Evening	2188	1705	1798	2012	2280	2284	2292	2648	2648	2550	2351	1910	1781
L-LW-Tag6-18	82.7	82.1	83.0	83.6	83.0	82.2	82.2	82.4	81.2	82.8	84.0	83.1	82.3
L-LW-Evening	80.0	79.5	80.1	81.1	80.2	79.6	79.4	79.9	78.6	79.9	81.0	79.9	79.5
L-Rest-Tag6-18	89.2	88.3	88.0	88.3	89.6	89.7	89.6	90.0	90.0	90.1	89.5	88.8	88.6
L-Rest-Evening	88.1	87.1	86.9	87.3	88.7	88.6	88.6	89.2	89.1	88.5	88.3	87.6	87.1
L-Tot-Tag6-18	90.1	89.2	89.2	89.6	90.5	90.4	90.3	90.7	90.5	90.8	90.6	89.8	89.5
L-Tot-Evening	88.7	87.8	87.7	88.2	89.3	89.1	89.1	89.7	89.5	89.1	89.0	88.3	87.8
L-LW-den	83.6	83.0	83.8	84.4	83.8	83.1	83.0	83.5	82.4	83.8	84.6	83.6	82.9
L-Rest-den	91.3	90.1	90.0	90.2	91.7	91.8	91.7	92.8	92.7	92.0	91.3	90.6	90.3
L-Tot-den	92.0	90.9	90.9	91.2	92.4	92.3	92.3	93.3	93.0	92.6	92.1	91.4	91.0

Tabelle 2: Ergebnisse für das Jahr 2009 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.

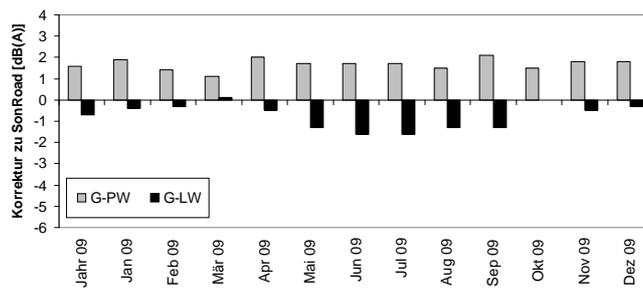


Abbildung 1: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Camignolo.

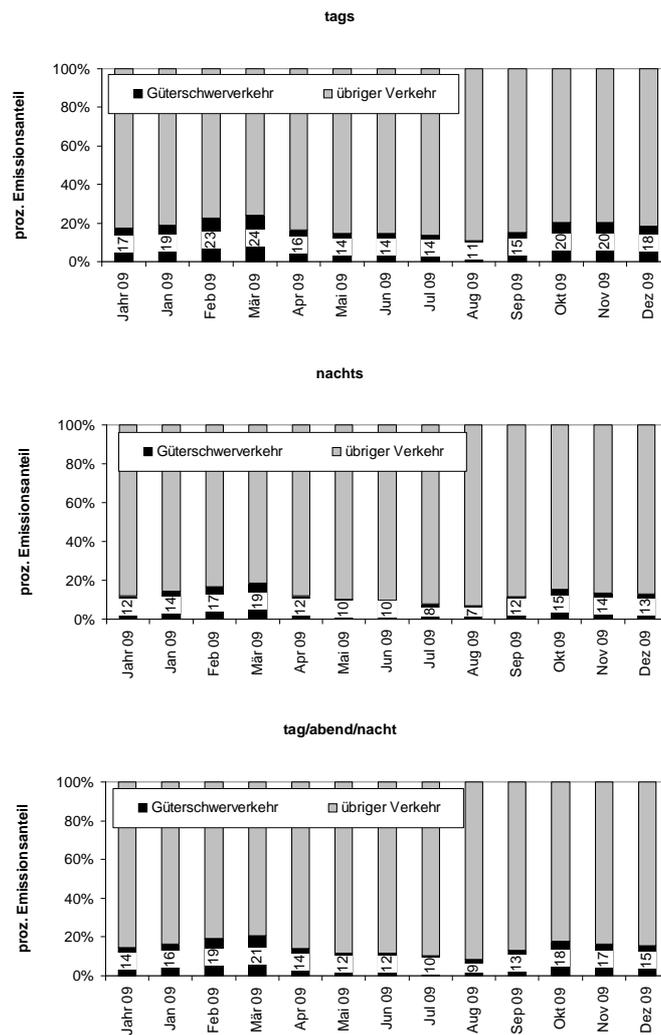


Abbildung 2: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Camignolo.

4.2 Moleno

Datengrundlagen:

- Stundenmittelwerte der Geschwindigkeiten von 2009-01-01 bis 2009-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-0.5	0.1	-0.8	-1.1	-0.8	-1.2	-1.6	-1.3	-1.0	-1.0	-1.3	-0.2	-0.2
G-LW	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.7	-1.4	-0.9	-1.2	-1.5	-0.5	-0.6	-1.1	-0.9
v-PW-Tag	122.1	122.2	121.3	123.1	122.9	123.1	121.5	121.0	121.6	121.9	122.6	122.9	122.3
v-PW-Nacht	121.1	119.6	120.8	123.4	122.3	122.9	120.3	119.9	119.4	121.9	123.6	122.7	120.1
v-LW-Tag	95.2	92.2	91.6	92.8	94.7	97.4	97.2	97.3	100.8	96.1	94.3	92.5	92.8
v-LW-Nacht	99.5	95.7	96.6	98.3	99.9	101.1	99.8	101.5	103.6	100.2	99.3	97.3	96.4
N-LW-Tag	159	135	163	169	160	153	167	181	122	182	176	163	133
N-LW-Nacht	23	19	24	22	24	22	23	29	21	23	24	21	19
N-Tot-Tag	1621	1116	1166	1340	1613	1666	1796	2251	2236	1896	1743	1283	1229
N-Tot-Nacht	351	205	220	231	339	349	358	684	652	363	315	228	231
L-LW-Tag	81.1	80.2	81.2	81.5	81.4	80.7	81.5	81.6	79.9	82.3	81.9	80.9	80.3
L-LW-Nacht	73.0	71.8	73.2	73.0	73.7	72.7	73.1	74.1	72.6	73.6	73.8	72.4	72.1
L-Rest-Tag	85.2	83.7	83.0	83.6	84.9	84.8	84.8	85.9	86.3	85.5	84.8	84.1	83.9
L-Rest-Nacht	78.5	76.5	76.1	76.3	78.3	78.1	77.7	80.6	80.7	78.5	77.6	76.9	76.8
L-Tot-Tag	86.6	85.3	85.2	85.7	86.5	86.2	86.5	87.3	87.2	87.2	86.6	85.8	85.5
L-Tot-Nacht	79.6	77.8	77.9	78.0	79.6	79.2	79.0	81.5	81.3	79.7	79.1	78.2	78.1
v-PW-Tag6-18	121.7	122.4	121.2	122.9	122.4	122.5	120.7	120.3	121.0	121.3	122.1	122.7	122.5
v-PW-Evening	123.8	121.7	122.0	123.7	124.8	125.4	124.7	123.8	124.0	124.3	124.2	123.5	121.6
v-LW-Tag6-18	94.9	92.0	91.2	92.5	94.3	97.1	96.9	97.0	100.4	95.8	94.0	92.2	92.7
v-LW-Evening	96.8	93.3	93.6	94.4	96.5	98.8	98.6	98.9	102.8	97.7	95.9	94.5	93.4
N-LW-Tag6-18	178	149	183	189	180	171	188	201	137	206	201	185	147
N-LW-Evening	102	92	107	111	102	97	104	121	78	107	108	98	95
N-Tot-Tag6-18	1749	1202	1255	1433	1731	1799	1945	2419	2413	2056	1891	1382	1333
N-Tot-Evening	1241	859	906	1063	1256	1265	1350	1747	1704	1416	1327	989	935
L-LW-Tag6-18	81.6	80.6	81.6	82.0	81.9	81.1	82.0	82.0	80.3	82.8	82.4	81.5	80.7
L-LW-Evening	79.3	78.6	79.5	79.8	79.6	78.8	79.6	80.0	78.1	80.1	79.9	78.9	78.8
L-Rest-Tag6-18	85.4	84.1	83.2	83.8	85.1	85.2	85.2	86.2	86.6	85.9	85.0	84.4	84.3
L-Rest-Evening	84.2	82.7	82.1	82.7	83.9	83.8	83.8	85.0	85.2	84.4	83.7	83.1	82.9
L-Tot-Tag6-18	86.9	85.7	85.5	86.0	86.8	86.6	86.9	87.6	87.5	87.6	86.9	86.2	85.9
L-Tot-Evening	85.4	84.1	84.0	84.5	85.3	85.0	85.2	86.2	86.0	85.8	85.2	84.5	84.3
L-LW-den	82.6	81.6	82.8	82.9	83.1	82.2	82.9	83.4	81.7	83.5	83.4	82.3	81.8
L-Rest-den	87.4	85.8	85.1	85.6	87.1	87.0	86.9	88.8	89.0	87.6	86.7	86.1	86.0
L-Tot-den	88.6	87.2	87.1	87.5	88.6	88.3	88.4	89.9	89.7	89.0	88.4	87.6	87.4

Tabelle 3: Ergebnisse für das Jahr 2009 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.

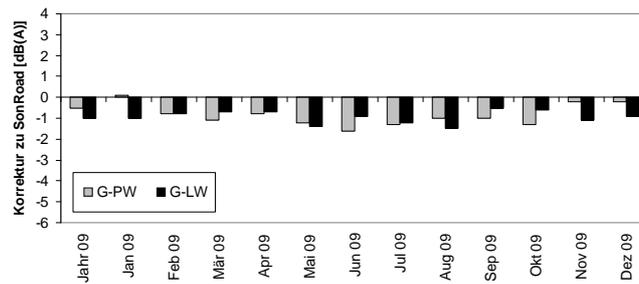


Abbildung 3: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Moleno.

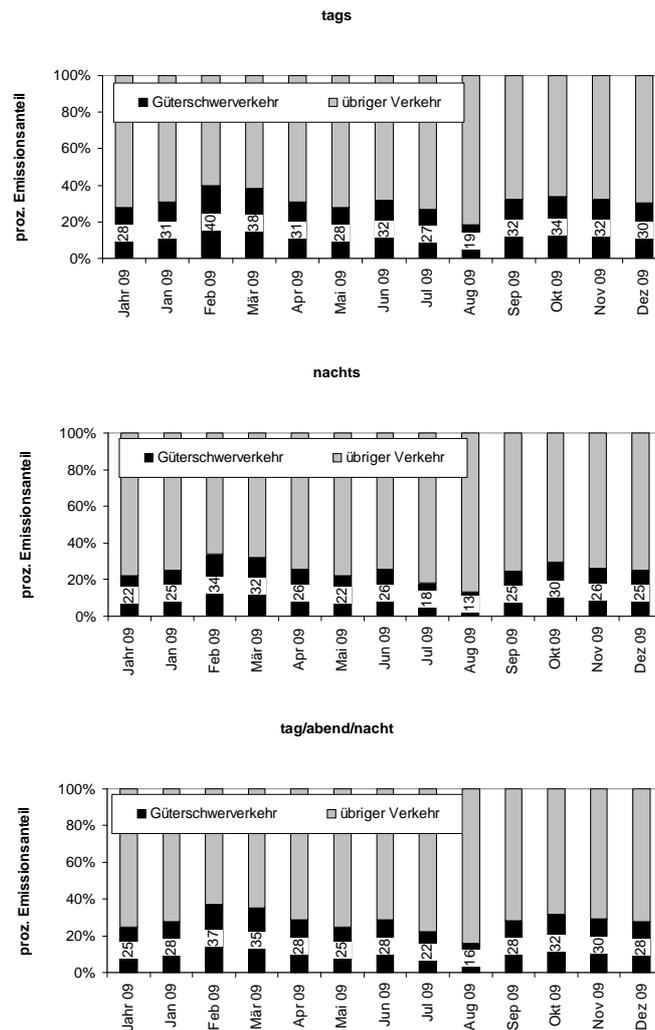


Abbildung 4: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Moleno.

4.3 Reiden

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	0.3	0.5	0.6	0.1	-0.1	-0.1	0.2	0.3	-0.1	0.0	0.4	0.5	0.9
G-LW	-0.6	-0.3	-0.7	-0.2	-0.3	-0.5	-1.2	-1.7	-1.4	-0.8	-0.5	-0.3	0.0
v-PW-Tag	118.2	117.0	116.4	118.1	118.4	118.7	118.9	118.0	119.0	118.6	118.5	118.1	117.5
v-PW-Nacht	120.3	115.8	116.3	121.2	119.2	119.0	121.9	119.8	121.6	122.4	122.5	121.5	119.2
v-LW-Tag	97.9	90.7	92.8	98.3	92.8	93.8	102.0	101.5	103.5	100.9	99.5	98.2	98.3
v-LW-Nacht	99.8	92.1	95.3	100.0	94.2	93.9	104.5	103.6	104.8	102.5	101.5	100.5	100.1
N-LW-Tag	295	262	294	323	287	287	311	298	258	331	327	309	257
N-LW-Nacht	65	54	61	65	61	63	62	108	60	66	66	62	58
N-Tot-Tag	2675	2226	2306	2572	2765	2745	2823	2978	3127	2972	2791	2505	2285
N-Tot-Nacht	607	419	426	472	593	624	614	1022	916	640	567	504	475
L-LW-Tag	84.7	83.7	84.1	85.6	84.2	84.0	84.8	84.0	83.9	85.3	85.5	85.3	84.8
L-LW-Nacht	78.4	77.0	77.5	78.8	77.6	77.5	78.1	79.9	77.7	78.5	78.7	78.5	78.5
L-Rest-Tag	87.5	86.6	86.7	86.9	87.3	87.5	87.7	87.9	88.1	87.7	87.6	87.3	87.2
L-Rest-Nacht	81.2	79.1	79.5	79.9	80.8	81.0	81.3	83.4	82.8	81.4	81.1	80.6	80.6
L-Tot-Tag	89.3	88.4	88.6	89.3	89.0	89.1	89.5	89.4	89.5	89.7	89.7	89.4	89.2
L-Tot-Nacht	83.0	81.2	81.6	82.4	82.5	82.6	83.0	85.0	84.0	83.2	83.1	82.7	82.7
v-PW-Tag6-18	117.7	117.0	116.2	117.7	117.9	118.2	118.1	117.6	118.3	117.9	118.0	117.8	117.4
v-PW-Evening	120.0	116.9	117.3	119.6	120.4	120.6	121.8	120.2	121.5	121.3	120.4	119.5	118.1
v-LW-Tag6-18	97.3	90.4	92.5	97.6	92.3	93.3	101.1	100.9	102.5	100.0	98.7	97.5	97.6
v-LW-Evening	103.2	93.0	95.2	103.7	96.9	97.6	108.6	107.2	109.9	107.7	106.0	103.8	103.6
N-LW-Tag6-18	353	313	352	386	343	342	370	362	308	393	392	371	308
N-LW-Evening	121	109	122	135	123	121	133	102	111	143	134	123	103
N-Tot-Tag6-18	2909	2440	2528	2812	2980	2968	3046	3329	3335	3187	3012	2745	2516
N-Tot-Evening	1974	1583	1637	1844	2132	2077	2159	1901	2502	2319	2127	1789	1593
L-LW-Tag6-18	85.4	84.4	84.8	86.3	84.9	84.8	85.5	84.8	84.6	86.0	86.2	86.0	85.5
L-LW-Evening	81.4	80.0	80.4	82.4	80.8	80.6	81.8	80.0	80.9	82.4	82.3	81.9	81.4
L-Rest-Tag6-18	87.7	87.0	87.1	87.2	87.5	87.7	87.9	88.3	88.2	88.0	87.8	87.5	87.6
L-Rest-Evening	86.5	85.4	85.5	85.9	86.6	86.5	87.1	86.4	87.4	87.1	86.9	86.1	86.0
L-Tot-Tag6-18	89.7	88.9	89.1	89.8	89.4	89.5	89.9	89.9	89.8	90.1	90.1	89.8	89.7
L-Tot-Evening	87.7	86.5	86.7	87.5	87.6	87.5	88.2	87.3	88.3	88.4	88.2	87.5	87.3
L-LW-den	86.8	85.5	86.0	87.5	86.1	86.0	86.7	87.2	86.1	87.2	87.4	87.1	86.9
L-Rest-den	89.8	88.5	88.7	89.0	89.6	89.8	90.1	91.1	91.0	90.2	90.0	89.4	89.5
L-Tot-den	91.6	90.3	90.5	91.3	91.2	91.3	91.8	92.6	92.2	92.0	91.9	91.4	91.4

Tabelle 4: Ergebnisse für das Jahr 2009 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.

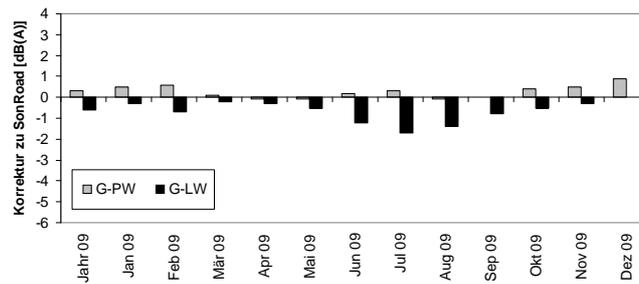


Abbildung 5: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Reiden.

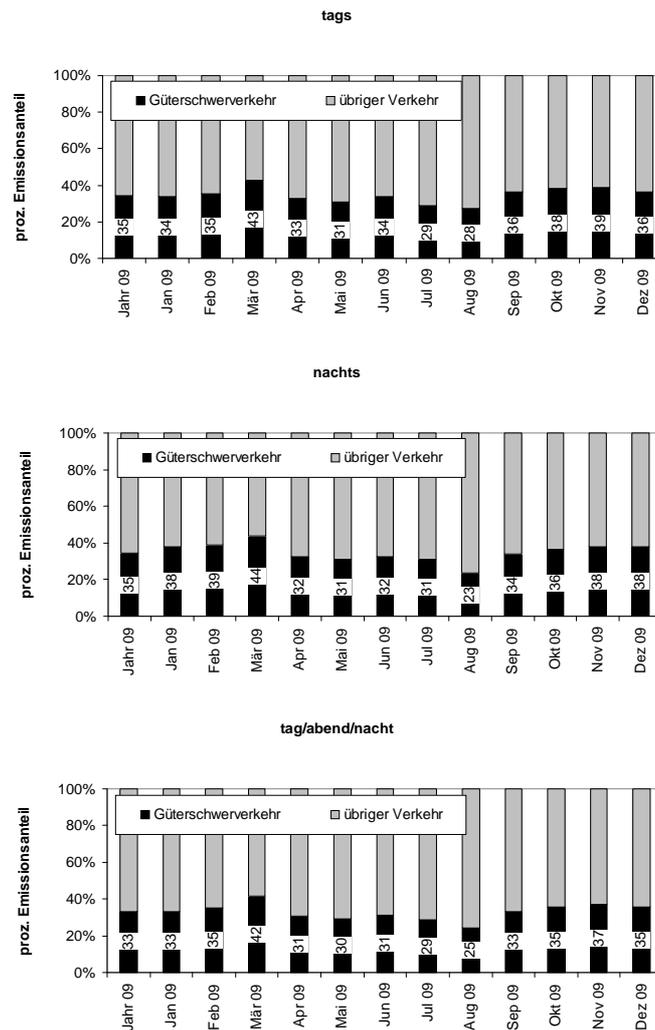


Abbildung 6: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Reiden.

4.4 Rothenbrunnen

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	1.2	1.7	1.6	1.1	0.6	0.8	1.0	1.9	1.2	1.1	1.5	1.1	1.8
G-LW	-1.9	0.0	-0.6	-0.2	-0.4	-1.7	-2.1	-6.5	-3.8	-1.6	-1.3	-0.5	-0.5
v-PW-Tag	104.4	102.0	102.0	105.8	102.8	102.8	105.3	105.3	104.9	104.8	105.2	104.9	105.7
v-PW-Nacht	105.1	100.3	100.8	106.9	102.2	101.4	107.1	106.3	106.2	107.4	107.0	106.8	105.2
v-LW-Tag	96.3	88.8	87.9	96.9	90.4	93.2	99.7	99.2	100.4	98.4	97.9	96.5	97.0
v-LW-Nacht	96.7	90.2	91.2	97.1	93.0	93.7	99.1	98.8	99.5	97.9	98.8	98.9	95.0
N-LW-Tag	44	31	38	41	45	44	50	50	41	56	53	44	35
N-LW-Nacht	7	5	5	5	7	7	7	13	6	8	6	6	5
N-Tot-Tag	925	726	779	809	918	963	998	1169	1239	1071	968	688	721
N-Tot-Nacht	140	85	93	100	142	181	150	243	203	175	120	93	90
L-LW-Tag	75.0	74.4	74.6	76.6	75.8	74.6	75.7	71.2	73.1	76.6	76.6	76.6	75.6
L-LW-Nacht	66.8	66.3	66.3	67.6	67.9	66.6	67.1	65.5	64.3	68.2	67.5	67.8	66.8
L-Rest-Tag	82.7	81.8	82.0	82.1	82.0	82.6	83.1	84.2	84.0	83.4	83.2	81.2	82.2
L-Rest-Nacht	74.6	72.6	72.8	73.4	73.9	75.0	74.9	77.4	76.2	75.7	74.4	72.9	73.3
L-Tot-Tag	83.4	82.5	82.7	83.2	82.9	83.2	83.8	84.4	84.3	84.2	84.1	82.5	83.1
L-Tot-Nacht	75.3	73.5	73.7	74.4	74.9	75.6	75.6	77.7	76.5	76.4	75.2	74.1	74.2
v-PW-Tag6-18	104.2	102.1	102.1	105.7	102.6	102.6	104.8	105.0	104.5	104.4	105.0	104.9	105.7
v-PW-Evening	105.2	101.4	101.9	106.1	103.8	103.4	107.1	107.0	106.6	106.4	105.9	105.2	105.7
v-LW-Tag6-18	96.0	88.6	87.7	96.5	90.2	92.9	99.3	98.8	100.0	98.1	97.4	96.2	96.6
v-LW-Evening	98.6	90.1	89.4	99.3	92.3	95.1	102.5	102.9	103.0	100.5	101.1	98.4	99.6
N-LW-Tag6-18	52	36	44	48	53	52	58	61	47	66	62	52	42
N-LW-Evening	21	16	18	21	22	21	25	17	21	27	26	21	16
N-Tot-Tag6-18	1011	801	861	886	987	1035	1073	1336	1341	1154	1055	753	797
N-Tot-Evening	666	502	542	584	710	746	769	670	932	823	707	491	486
L-LW-Tag6-18	75.6	75.1	75.3	77.2	76.4	75.2	76.3	72.0	73.7	77.3	77.2	77.3	76.3
L-LW-Evening	71.9	71.5	71.6	73.8	72.9	71.5	73.0	67.0	70.5	73.6	73.8	73.5	72.4
L-Rest-Tag6-18	83.1	82.2	82.4	82.5	82.3	82.8	83.3	84.8	84.3	83.7	83.6	81.6	82.6
L-Rest-Evening	81.3	80.3	80.5	80.8	81.0	81.4	82.1	82.1	83.0	82.4	82.0	79.9	80.6
L-Tot-Tag6-18	83.8	83.0	83.2	83.6	83.3	83.5	84.1	85.0	84.7	84.6	84.5	83.0	83.5
L-Tot-Evening	81.8	80.8	81.0	81.6	81.6	81.8	82.6	82.2	83.2	82.9	82.6	80.8	81.2
L-LW-den	76.3	75.8	75.9	77.6	77.2	75.9	76.9	73.5	74.2	77.8	77.6	77.7	76.7
L-Rest-den	84.3	83.0	83.2	83.5	83.7	84.4	84.7	86.2	85.8	85.2	84.6	82.8	83.5
L-Tot-den	85.0	83.8	84.0	84.5	84.6	85.0	85.4	86.5	86.1	85.9	85.4	84.0	84.3

Tabelle 5: Ergebnisse für das Jahr 2009 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.

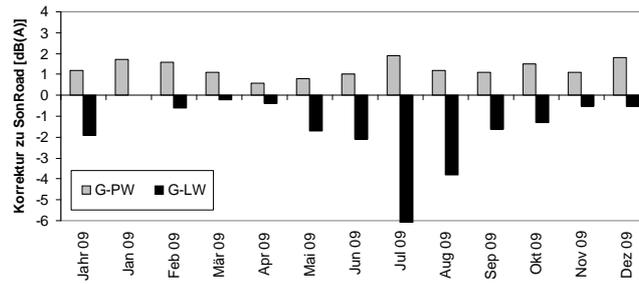


Abbildung 7: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Rothenbrunnen.

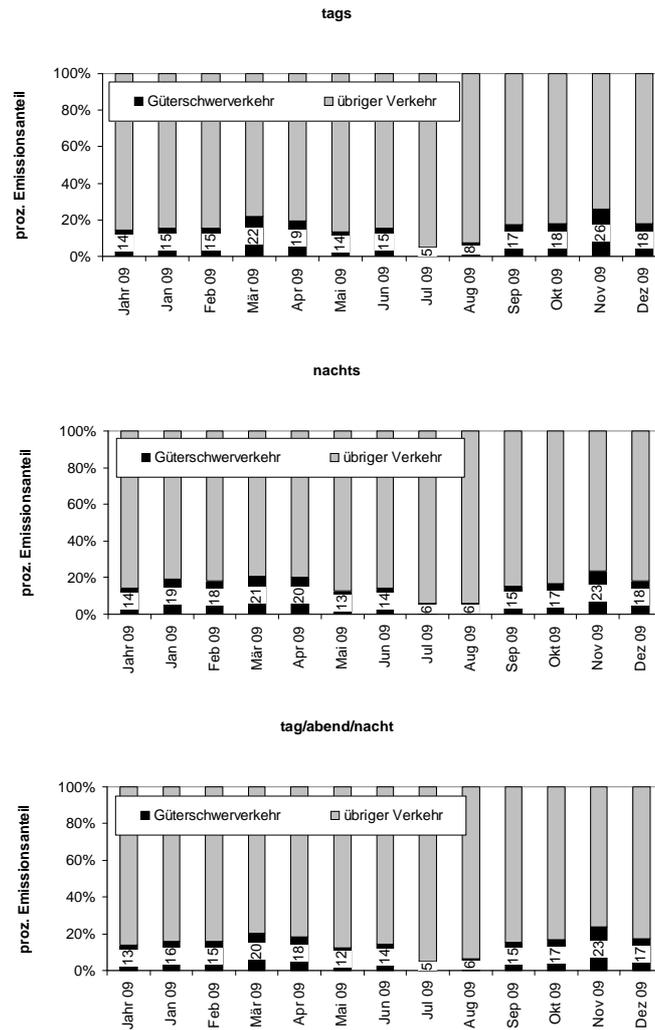


Abbildung 8: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Rothenbrunnen.

4.5 Tenniken

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten (Zähler Eptingen) von 2009-01-01 bis 2009-04-30 und von 2009-09-01 bis 2009-12-31 (mehrheitlicher Ausfall des Zählers in den Monaten Mai bis August als Folge von Belagsrenewungen)
- Verkehrs- und Lärmdaten von 2009-01-01 bis 2009-12-31

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-1.3	-2.1	-0.3	-1.9	-3.8					-1.9	-0.4	-0.2	0.2
G-LW	-4.3	-3.1	-3.5	-0.8	-3.0					-2.3	-2.7	-1.2	-0.9
v-PW-Tag	106.1	109.4	107.6	109.7	105.6					104.5	104.3	104.5	103.9
v-PW-Nacht	110.3	114.2	109.7	111.4	115.0					108.9	109.2	108.1	105.7
v-LW-Tag	103.1	111.8	110.6	100.5	108.7					98.9	98.7	98.9	99.0
v-LW-Nacht	110.6	113.8	113.6	108.8	123.7					106.8	105.8	106.9	105.2
N-LW-Tag	222	291	343	347	331					373	356	346	297
N-LW-Nacht	34	46	54	52	53					54	53	49	47
N-Tot-Tag	1780	2425	2562	2709	2876					3067	2865	2531	2507
N-Tot-Nacht	332	418	444	478	570					613	525	480	473
L-LW-Tag	80.6	83.6	83.8	85.6	84.3					84.5	83.9	85.2	84.7
L-LW-Nacht	73.3	75.9	76.2	78.5	77.9					76.9	76.5	77.6	77.5
L-Rest-Tag	82.7	83.8	85.4	84.7	83.2					84.9	85.7	85.2	85.6
L-Rest-Nacht	76.2	77.0	78.5	77.9	77.5					78.5	78.9	78.7	78.8
L-Tot-Tag	84.8	86.7	87.7	88.2	86.8					87.7	87.9	88.2	88.2
L-Tot-Nacht	78.0	79.5	80.5	81.2	80.7					80.8	80.9	81.2	81.2
v-PW-Tag6-18	105.6	108.9	107.1	109.4	104.5					103.7	103.9	104.2	103.7
v-PW-Evening	108.1	111.6	110.0	110.8	109.4					107.0	105.9	105.6	104.7
v-LW-Tag6-18	102.6	110.7	109.8	100.0	108.1					98.5	98.7	98.7	98.7
v-LW-Evening	106.7	119.6	117.1	104.0	113.2					101.8	99.2	100.4	101.1
N-LW-Tag6-18	265	349	411	416	393					443	424	415	355
N-LW-Evening	94	123	139	144	142					166	155	143	120
N-Tot-Tag6-18	1914	2647	2781	2927	3065					3262	3044	2732	2725
N-Tot-Evening	1380	1790	1904	2065	2308					2493	2335	1938	1840
L-LW-Tag6-18	81.3	84.3	84.5	86.4	85.0					85.2	84.6	85.9	85.5
L-LW-Evening	77.2	80.7	80.6	82.2	81.3					81.3	80.2	81.5	80.9
L-Rest-Tag6-18	82.9	84.1	85.8	84.8	83.2					85.0	85.9	85.7	85.9
L-Rest-Evening	82.2	83.0	84.7	83.8	82.6					84.4	85.2	84.4	84.7
L-Tot-Tag6-18	85.2	87.2	88.2	88.7	87.2					88.1	88.3	88.8	88.7
L-Tot-Evening	83.4	85.0	86.1	86.1	85.0					86.1	86.4	86.2	86.2
L-LW-den	82.2	85.1	85.3	87.3	86.4					86.0	85.4	86.6	86.3
L-Rest-den	85.1	86.0	87.6	86.8	85.9					87.3	88.0	87.6	87.8
L-Tot-den	86.9	88.6	89.6	90.1	89.1					89.7	89.9	90.2	90.1

Tabelle 6: Ergebnisse für das Jahr 2009 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.

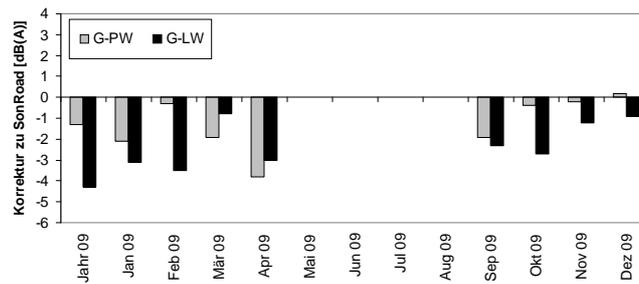


Abbildung 9: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Tenniken.

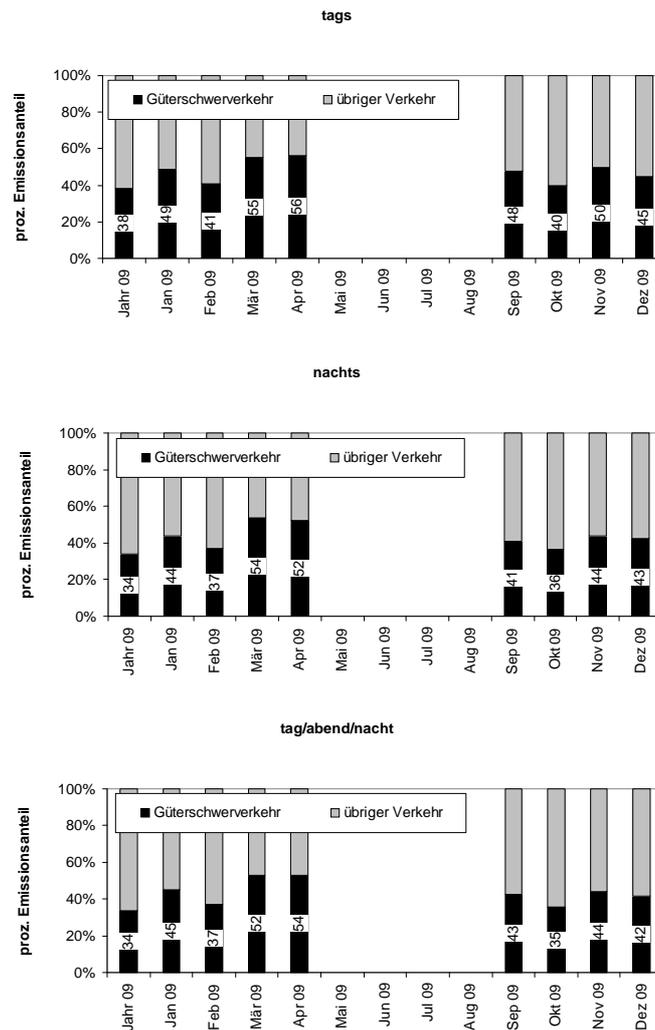


Abbildung 10: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Tenniken.

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 2009 ergeben sich Güterschwerverkehrsenergieanteile tags zwischen 5 und 56 %, nachts liegen die Werte zwischen 6 und 54 %. Camignolo und Rothenbrunnen zeigen die geringsten, Tenniken die höchsten Schwerverkehrsanteile.
- Die übers Jahr 2009 gemittelten Korrekturen G gegenüber dem Emissionsmodell SonRoad liegen an den Stationen Camignolo und Reiden für PW zwischen 0.3 und 1.6 dB(A), für LW zwischen -0.7 und -0.6 dB(A). In Rothenbrunnen wurden für PW 1.2 dB(A) höhere Pegel registriert, währenddem die Pegel für LW 1.9 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 -1.3...-0.5 dB(A) für PW bzw. -4.3...-1.0 dB(A) für LW deutliche Korrekturen gegenüber SonRoad (Standardbelag).
- Gegenüber dem Vorjahr haben die jahresdurchschnittlichen G -Werte an den Stationen Camignolo und Tenniken im Mittel um rund 0.5 dB(A) zugenommen. Die im Juli 2009 ausgeführte Belagserneuerung an der Messstelle Tenniken (nur Fahrtrichtung Basel) widerspiegelt sich in dieser Jahresauswertung nicht. An den Standorten Moleno, Reiden und Rothenbrunnen sind die G -Werte konstant geblieben. Die Änderungen sind allerdings kleiner als die erwarteten Aussageunsicherheiten [5] und haben damit nur bedingte Aussagekraft.
- An der Station Tenniken sind die über das 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 Lärmmonitoring MFM-U, 2007.