

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. Oekonomie und Umweltbeobachtung
Hr. Klaus Kammer
Postfach
3003 Bern

Untersuchungsbericht Nr. 5214'005'236

Auswertung der Lärmmonitoring-Daten 2013

Auftraggeber: BAFU, Abteilung Oekonomie und Umweltbeobachtung

Ihr Auftrag vom: 17.2.2014

Anzahl Seiten: 17

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Auftrag	2
2 Einleitung	2
3 Vorgehen	2
4 Ergebnisse	6
5 Diskussion	14
A Fehlerabschätzung als Folge der Interpretation von Bussen und Motorrädern als akustische Lastwagen	16

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Abteilung Akustik / Lärminderung
Dübendorf, 29.4.2014

Sachbearbeiter:

Kurt Heutschi

Abteilungsleiter:

Kurt Eggenschwiler

Anmerkung: Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

Impressum

Auftraggeber

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 Bundesamts für Umwelt (BAFU) verfasst.
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

In einer zweistufigen Prozedur wurden die MFM-U Strassenlärmmonitoringdaten vom 1.1.2013 bis zum 31.12.2013 aufbereitet. Dabei wurde das ganze Jahr 2013 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 2013 tags akustische Energieanteile des Güterschwerverkehrs zwischen 13 und 51 %, nachts zwischen 10 und 50 %. Dabei zeigte Camignolo die geringsten, Tenniken die grössten Güterschwerverkehrsanteile. Zusätzlich wurde eine Fehlerabschätzung vorgenommen, die untersucht, in welchem Mass die Interpretation von Bussen und Motorrädern als akustische Lastwagen die Ergebnisse verschiebt. Hierbei zeigt sich, dass der dadurch eingebrachte Fehler kleiner als die generelle Aussageunsicherheit ist.

1 Auftrag

Mit Vertrag vom 17.2.2014 beauftragte das BAFU, Abteilung Oekonomie und Umweltbeobachtung die EMPA, Abteilung Akustik / Lärminderung mit der Auswertung und Aufbereitung der MFM-U Lärmmonitoringdaten 2013 sowie einer Abschätzung der Unsicherheit, die durch die Interpretation von Bussen und Motorrädern als akustische Lastwagen entsteht.

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

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 [4] 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: $(\text{Anzahl } PW) > 30 \times (\text{Anzahl } LW)$. 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 [4]). Diese Berechnung verwendete das Emissionsmodell von

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.

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.

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:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2013 (Zähler 289)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2013

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-1.2	1.7	2	1.8	2.2	2.1			-7.8	-4.3	-4.1	-3.5	-3.8
G-LW	-1.2	0.7	-0.1	0.6	-1.1	-1.3			-2.7	-4.2	-2.6	-1.3	-2.1
v-PW-Tag	113.6	115.3	114.9	115.1	114.2	110.1			112.4	113.8	113.8	113.1	114.4
v-PW-Nacht	113.4	115	115.1	114.4	112.9	111.3			112.1	113.6	113.5	113.2	114.9
v-LW-Tag	94.1	90.6	90.3	91.1	93.1	93			97.2	99.1	98.6	93	91.4
v-LW-Nacht	96.1	93.4	93.9	93.7	95.3	94.9			94.2	100.7	101.2	96.9	94.9
N-LW-Tag	199	190	207	211	218	185			149	225	234	211	167
N-LW-Nacht	25	23	23	27	27	26			26	28	28	25	21
N-Tot-Tag	2910	2490	2516	2776	3055	2992			3296	3424	3176	2763	2586
N-Tot-Nacht	570	437	420	487	552	607			869	680	583	517	518
L-LW-Tag	81.9	83.2	82.8	83.6	82.2	81.2			79.5	79.9	81.7	81.9	79.9
L-LW-Nacht	73.1	74.3	73.5	74.9	73.4	72.9			71.8	70.9	72.6	73	71.2
L-Rest-Tag	86.2	88.3	88.6	88.9	89.6	89.3			82.3	84.2	84	83.9	83.2
L-Rest-Nacht	79.4	80.8	81	81.4	82.2	82.4			76.4	77.2	76.8	76.8	76.5
L-Tot-Tag	87.6	89.5	89.6	90	90.3	89.9			84.1	85.6	86	86	84.9
L-Tot-Nacht	80.3	81.7	81.7	82.3	82.7	82.9			77.7	78.1	78.2	78.3	77.6
v-PW-Tag6-18	113.5	115.3	114.9	115	113.9	110			112.2	113.6	113.7	113.1	114.3
v-PW-Evening	114.1	115.6	114.8	115.7	115.3	110.9			113.2	114.6	113.9	113.1	114.9
v-LW-Tag6-18	93.7	90.3	90.1	90.8	92.7	92.7			96.8	98.5	98.3	92.8	91
v-LW-Evening	96.4	92.7	91.8	93.5	95.4	94.6			99.4	102.7	101	94.7	94.1
N-LW-Tag6-18	235	223	241	247	255	217			175	266	277	249	198
N-LW-Evening	93	89	101	99	107	91			70	104	101	94	75
N-Tot-Tag6-18	3152	2714	2716	2996	3303	3240			3555	3716	3444	3001	2811
N-Tot-Evening	2177	1822	1891	2098	2315	2249			2519	2550	2350	2049	1911
L-LW-Tag6-18	82.5	83.9	83.4	84.3	82.8	81.9			80.1	80.6	82.4	82.7	80.6
L-LW-Evening	78.7	80.1	79.8	80.5	79.3	78.2			76.5	76.9	78.3	78.6	76.6
L-Rest-Tag6-18	86.6	88.6	88.8	89.2	89.9	89.5			82.5	84.5	84.4	84.2	83.5
L-Rest-Evening	85.2	87.1	87.4	87.9	88.6	88.2			81.2	83.1	82.8	82.7	82.1
L-Tot-Tag6-18	88	89.9	89.9	90.4	90.7	90.2			84.5	86	86.5	86.5	85.3
L-Tot-Evening	86.1	87.9	88.1	88.6	89.1	88.6			82.5	84	84.1	84.1	83.2
L-LW-den	82.9	84.3	83.7	84.7	83.3	82.5			81	80.9	82.6	83	81
L-Rest-den	88.4	90.2	90.4	90.8	91.5	91.4			84.9	86.3	86	85.9	85.4
L-Tot-den	89.5	91.2	91.2	91.7	92.1	91.9			86.3	87.4	87.6	87.7	86.7

Tabelle 2: Ergebnisse für das Jahr 2013 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.

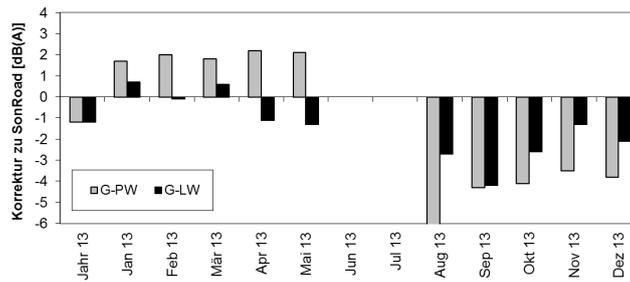


Abbildung 1: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Camignolo.

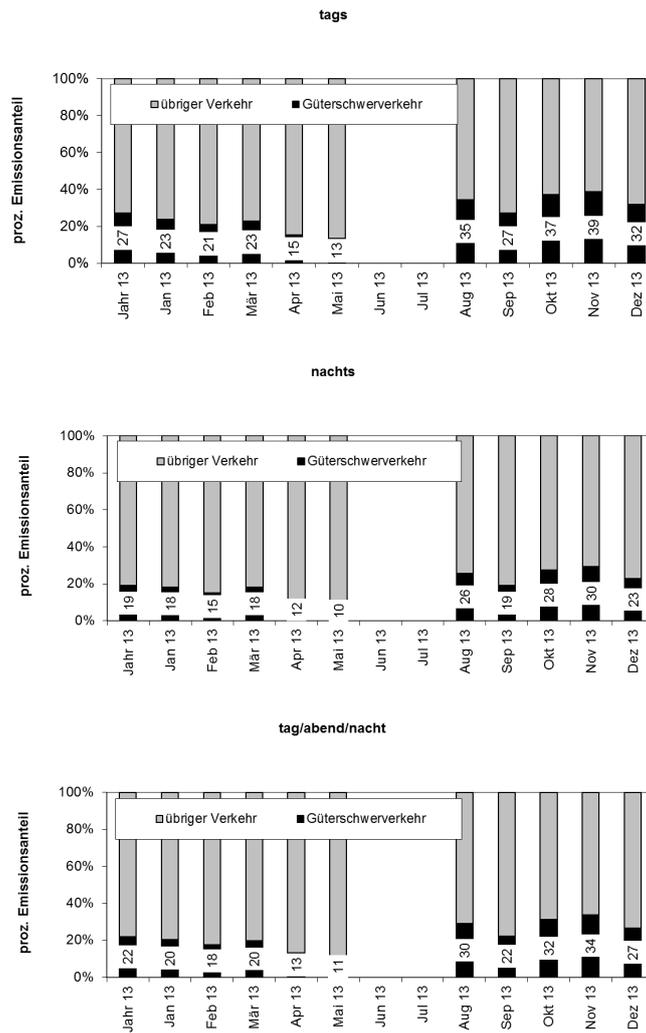


Abbildung 2: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Camignolo.

4.2 Moleno

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2013 (Zähler 265)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2013

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-2.1	-2.1	-2.1	-1.6	-1.7	-1.5	-2.5	-3	-2.7	-2	-0.5	-1.4	-1.7
G-LW	-2.7	-1.2	-0.7	-0.6	-2.5	-2.2	-2.8	-3	-3.2	-3.4	-2.6	-1.9	-2
v-PW-Tag	120.2	120.5	120.2	121.2	120.8	120.4	120.3	119.5	119.8	119.7	119.9	120.1	120.3
v-PW-Nacht	119.1	119.3	119.4	118.9	119.2	119.3	119.7	119.1	118.4	119.2	119.3	119.5	118.3
v-LW-Tag	95.3	92.3	92	93	94.2	95.9	97.4	98.1	100.5	96.8	93.7	92.3	93
v-LW-Nacht	98.3	95.8	95.9	94.4	97.1	98.6	99.7	100.8	102.6	99.5	96.9	95.8	96.9
N-LW-Tag	151	140	152	153	164	151	162	172	121	164	168	152	120
N-LW-Nacht	21	18	19	23	22	22	21	26	21	21	23	21	17
N-Tot-Tag	1710	1231	1249	1429	1636	1743	1920	2336	2326	2040	1750	1407	1349
N-Tot-Nacht	360	211	202	248	286	361	377	671	657	395	332	258	260
L-LW-Tag	79.2	80.2	81	81.2	79.7	79.8	79.6	79.6	78.1	79	79.7	79.8	78.7
L-LW-Nacht	70.9	71.5	72.4	73.1	71.3	71.6	70.8	71.8	70.8	70.4	71.3	71.4	70.5
L-Rest-Tag	83.5	82	82.1	83.3	83.6	84.3	83.9	84.3	84.6	84.4	85	83.1	82.8
L-Rest-Nacht	76.8	74.6	74.5	75.7	76.2	77.5	76.8	78.7	78.9	77.3	77.8	76	75.8
L-Tot-Tag	84.9	84.2	84.6	85.4	85.1	85.6	85.3	85.6	85.5	85.5	86.1	84.8	84.2
L-Tot-Nacht	77.8	76.3	76.6	77.6	77.4	78.5	77.8	79.5	79.5	78.1	78.7	77.3	76.9
v-PW-Tag6-18	119.9	120.5	120.1	121	120.6	119.9	119.8	118.9	119.4	119.3	119.7	120.1	120.4
v-PW-Evening	121.4	120.8	120.8	121.8	122	122.6	122.7	121.7	121.6	121.3	120.6	120.4	119.9
v-LW-Tag6-18	95	92.1	91.7	92.7	94	95.6	97.2	97.8	100.1	96.5	93.4	92.1	92.6
v-LW-Evening	96.9	93.7	93.6	94.9	95.6	97.2	98.8	99.8	102.9	98.3	95.5	93.9	95.1
N-LW-Tag6-18	172	158	172	174	185	170	185	192	136	188	193	174	136
N-LW-Evening	90	87	92	89	101	94	93	110	74	91	95	87	72
N-Tot-Tag6-18	1848	1341	1352	1538	1759	1875	2082	2512	2506	2226	1892	1520	1464
N-Tot-Evening	1295	902	942	1092	1270	1347	1433	1810	1786	1484	1325	1067	1004
L-LW-Tag6-18	79.7	80.7	81.5	81.8	80.2	80.3	80.1	80.1	78.6	79.6	80.3	80.4	79.2
L-LW-Evening	77.1	78.2	79	79	77.7	77.8	77.3	77.9	76.2	76.6	77.3	77.5	76.7
L-Rest-Tag6-18	83.9	82.3	82.4	83.6	84	84.6	84.3	84.6	84.9	84.7	85.2	83.5	83.1
L-Rest-Evening	82.5	80.8	81.1	82.3	82.7	83.3	82.8	83.4	83.6	83.1	83.9	82.1	81.6
L-Tot-Tag6-18	85.3	84.6	85	85.8	85.5	86	85.7	85.9	85.8	85.9	86.4	85.2	84.6
L-Tot-Evening	83.6	82.7	83.2	84	83.9	84.4	83.9	84.5	84.3	84	84.8	83.4	82.8
L-LW-den	80.6	81.5	82.3	82.7	81.1	81.3	80.8	81.3	79.9	80.3	81	81.2	80.2
L-Rest-den	85.8	83.9	84	85.2	85.6	86.5	86	87	87.2	86.4	87	85.2	84.8
L-Tot-den	86.9	85.8	86.2	87.1	86.9	87.6	87.1	88.1	88	87.3	88	86.6	86.1

Tabelle 3: Ergebnisse für das Jahr 2013 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.

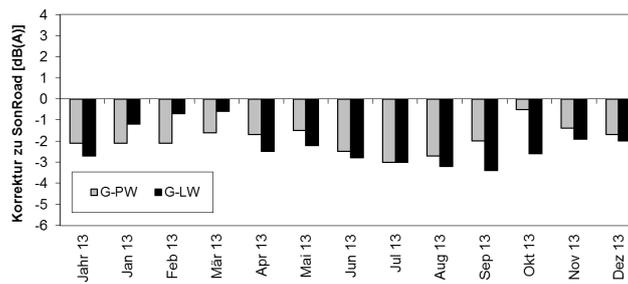


Abbildung 3: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Moleno.

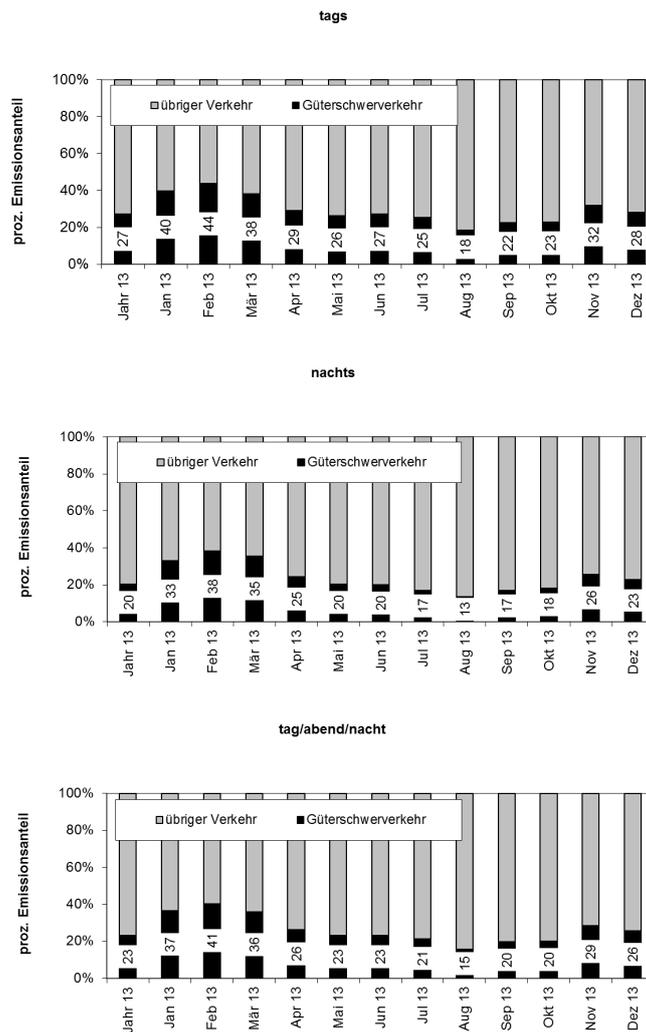


Abbildung 4: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Moleno.

4.3 Reiden

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2013 (Zähler 239)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2013

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	0	0.6	0.8	0.3	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-0.5	-0.1	0.4	0.4
G-LW	-1	0.2	0	0	-0.4	-0.6	-1.5	-2	-1.4	-0.9	-0.9	-0.4	0.1
v-PW-Tag	116.4	115.5	115.2	116	116.5	117.3	116.9	116.7	117.3	116.3	116.8	115.9	115.9
v-PW-Nacht	116.1	114.8	112.1	115.7	116.3	117	116.8	116.5	116.7	116.7	116.6	116	115.3
v-LW-Tag	91.9	90	89.7	90.5	91.3	94.2	94.1	93.2	94.2	92.4	91.7	90.2	90.4
v-LW-Nacht	92.5	90.8	89.2	90.9	91.9	95.2	95.1	93.8	94.3	92.6	92.2	90.9	91.1
N-LW-Tag	293	272	298	284	311	295	303	317	263	312	322	296	241
N-LW-Nacht	65	57	62	61	67	67	67	72	63	66	71	65	58
N-Tot-Tag	2731	2305	2366	2590	2759	2798	2897	3094	3146	3011	2794	2598	2372
N-Tot-Nacht	607	440	432	509	553	616	677	868	888	658	572	535	508
L-LW-Tag	83.5	84.3	84.4	84.3	84.3	84.2	83.4	82.9	82.8	83.9	84.1	84	83.7
L-LW-Nacht	77	77.6	77.5	77.7	77.7	77.9	77	76.6	76.6	77.2	77.6	77.5	77.5
L-Rest-Tag	87.1	86.7	87	87.1	87.1	87.1	87	87.1	87.1	87.1	87	87.1	86.8
L-Rest-Nacht	80.5	79.4	79.3	79.8	80.1	80.5	80.6	81.5	81.5	80.5	80	80.3	80.1
L-Tot-Tag	88.7	88.7	88.9	88.9	88.9	88.9	88.6	88.5	88.5	88.8	88.8	88.8	88.5
L-Tot-Nacht	82.1	81.6	81.5	81.9	82.1	82.4	82.2	82.7	82.7	82.2	82	82.1	82
v-PW-Tag6-18	116.1	115.5	115.2	115.9	116.1	116.8	116.3	116	116.8	115.8	116.5	115.8	115.9
v-PW-Evening	117.9	115.4	115.2	116.5	118.5	119.3	119.4	119.3	119.2	118.4	118.1	116.4	116
v-LW-Tag6-18	91.5	89.7	89.5	90.2	90.8	93.7	93.6	92.6	93.6	91.8	91.3	90	90.1
v-LW-Evening	95.5	92.3	91.6	93.1	94.7	97.6	98	97.8	99.1	96.9	94.6	92.7	93
N-LW-Tag6-18	352	326	355	345	375	353	364	378	314	376	385	359	291
N-LW-Evening	116	106	115	109	124	120	119	134	108	122	132	108	91
N-Tot-Tag6-18	2975	2529	2594	2845	3006	3044	3159	3352	3380	3256	3023	2862	2618
N-Tot-Evening	1996	1617	1631	1854	2031	2061	2112	2319	2444	2274	2107	1807	1633
L-LW-Tag6-18	84.3	85	85.2	85.1	85.1	85	84.2	83.7	83.5	84.7	84.8	84.9	84.5
L-LW-Evening	79.8	80.4	80.4	80.3	80.7	80.6	79.6	79.6	79.4	80.2	80.4	79.8	79.6
L-Rest-Tag6-18	87.4	87.1	87.3	87.4	87.4	87.4	87.3	87.2	87.4	87.3	87.2	87.3	87.1
L-Rest-Evening	86.1	85.4	85.7	85.8	86.2	86.3	86	86.2	86.4	86.4	86.2	85.8	85.4
L-Tot-Tag6-18	89.1	89.2	89.4	89.4	89.4	89.4	89	88.8	88.9	89.2	89.2	89.3	89
L-Tot-Evening	87	86.6	86.8	86.9	87.3	87.3	86.9	87.1	87.2	87.3	87.2	86.8	86.4
L-LW-den	85.5	86.1	86.1	86.2	86.2	86.3	85.4	85	84.9	85.8	86	85.9	85.8
L-Rest-den	89.3	88.6	88.7	89	89.2	89.4	89.4	89.8	89.9	89.4	89.1	89.2	88.9
L-Tot-den	90.8	90.6	90.6	90.8	91	91.1	90.8	91	91.1	91	90.9	90.9	90.6

Tabelle 4: Ergebnisse für das Jahr 2013 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.

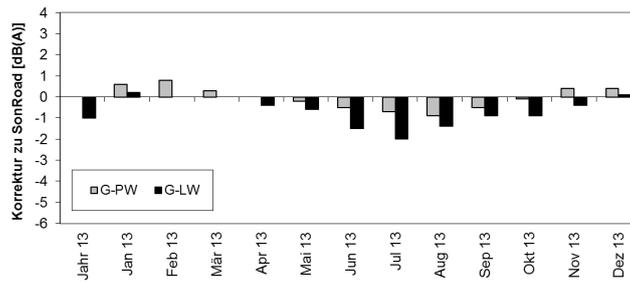


Abbildung 5: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Reiden.

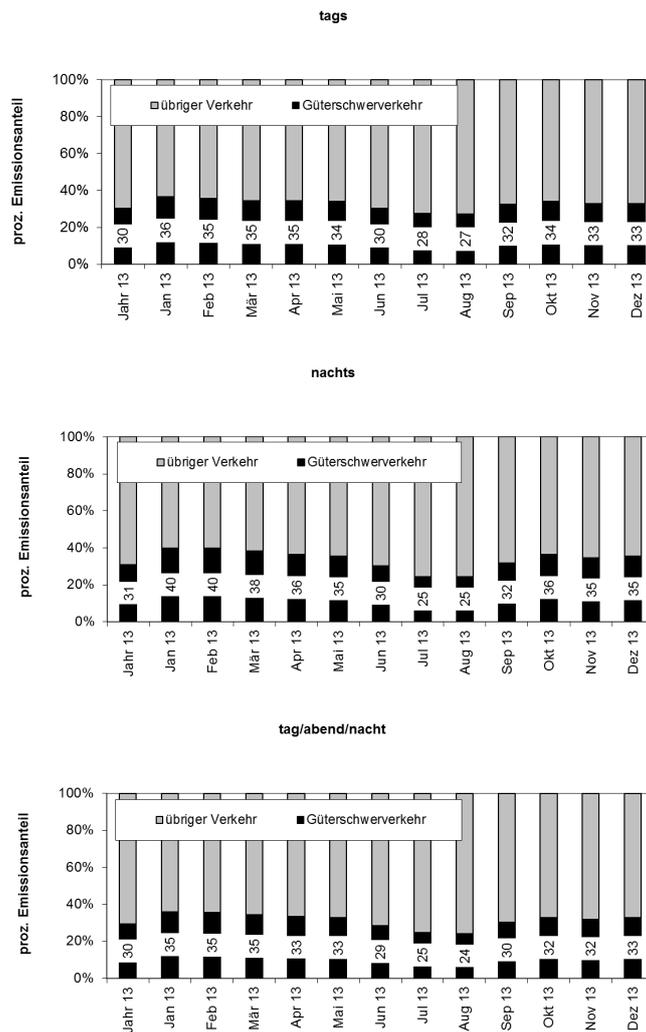


Abbildung 6: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Reiden.

4.4 Tenniken

Datengrundlagen:

- ASTRA Einzelereignisdaten 2013 (Zähler 033)
- Verkehrs- und Akustikdaten 2013

	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
G-PW	-1.5	-1.7	-1	-1.8	-0.8	-0.7	-2.9	-4.3	-3.8	-2.5	-1.6	-0.5	-0.9
G-LW	-2.3	-1.9	-1.8	-1.7	-1.4	-0.9	-2.2	-2.4	-2.5	-2.5	-1.8	-2.4	-2.5
v-PW-Tag	107.3	108.1	105.5	102.7	92.9	92.5	112.3	115.7	116.5	113.4	111.8	103.5	107.5
v-PW-Nacht	110	113.5	106.4	109.9	95.9	98.3	114.1	116	115.2	114.3	114.1	100.4	112.4
v-LW-Tag	95.4	101.3	100.5	100.4	92	90.8	93.1	92	92.9	91.5	93	98.3	102.4
v-LW-Nacht	95.3	101.2	97.2	96.8	101.6	90.8	94.4	94.4	94.2	92.6	91.6	90.8	99.9
N-LW-Tag	329	306	340	339	367	325	335	352	291	343	358	332	271
N-LW-Nacht	49	44	47	49	52	50	50	55	49	50	52	48	43
N-Tot-Tag	2964	2522	2656	2912	2986	2948	3025	3399	3488	3142	3015	2727	2702
N-Tot-Nacht	613	430	457	538	564	605	655	875	915	655	578	533	521
L-LW-Tag	83.3	84	84.5	84.7	84.5	84.3	83.1	82.9	82.1	82.8	83.9	83.6	83
L-LW-Nacht	75.4	76.1	76.1	76.5	78	76.6	75.1	75.2	74.6	74.6	75.4	74.7	75
L-Rest-Tag	85.1	84.2	84.7	84.5	84.3	84.5	84.6	84.2	84.7	84.9	85.4	85.1	85.1
L-Rest-Nacht	78.7	77.4	77.7	78.5	78	78.4	78	78.3	78.8	78.4	78.6	78	78.6
L-Tot-Tag	87.3	87.1	87.6	87.6	87.4	87.4	86.9	86.6	86.6	87	87.7	87.4	87.2
L-Tot-Nacht	80.4	79.8	80	80.6	81	80.6	79.8	80	80.2	79.9	80.3	79.7	80.2
v-PW-Tag6-18	106.9	107.5	105	101.9	92.4	92.3	111.4	114.8	116.1	112.6	111.8	103.6	107.1
v-PW-Evening	109.2	110.6	107.4	105.9	94.4	93.5	116	119.2	118.1	116.1	111.5	102.8	109.3
v-LW-Tag6-18	95.1	100.9	100.1	99.9	92	90.4	92.5	91.3	92.4	90.9	92.9	98.6	102.1
v-LW-Evening	98.3	105.3	103.8	104.4	92.2	94.2	97.8	98	96.8	96.6	94.3	94.8	105.1
N-LW-Tag6-18	398	369	410	412	442	391	404	423	351	414	432	402	328
N-LW-Evening	125	116	128	126	143	128	129	138	110	131	134	121	99
N-Tot-Tag6-18	3195	2740	2871	3143	3210	3162	3258	3659	3736	3367	3238	2964	2949
N-Tot-Evening	2270	1865	1999	2236	2314	2309	2323	2617	2745	2468	2347	2019	1962
L-LW-Tag6-18	84.1	84.8	85.2	85.5	85.3	85	83.9	83.7	82.9	83.5	84.7	84.4	83.8
L-LW-Evening	79.5	80.3	80.7	81.1	80.4	80.7	79.5	79.5	78.4	79.1	79.8	79	79
L-Rest-Tag6-18	85.4	84.4	85	84.6	84.7	84.8	84.6	84.3	84.9	85.1	85.6	85.5	85.4
L-Rest-Evening	84.4	83.4	84	83.9	83.7	83.8	84	83.4	84.1	84.5	84.7	84.1	84.3
L-Tot-Tag6-18	87.8	87.6	88.1	88.1	88	87.9	87.3	87	87	87.4	88.2	88	87.7
L-Tot-Evening	85.6	85.1	85.7	85.7	85.4	85.5	85.3	84.9	85.1	85.6	85.9	85.3	85.4
L-LW-den	84.6	85.4	85.6	86	86.4	85.7	84.4	84.4	83.6	84	85	84.4	84.3
L-Rest-den	87.5	86.4	86.9	87.1	86.8	87	86.9	86.7	87.3	87.3	87.6	87.2	87.5
L-Tot-den	89.3	88.9	89.3	89.5	89.6	89.4	88.8	88.7	88.9	89	89.5	89.1	89.2

Tabelle 5: Ergebnisse für das Jahr 2013 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.

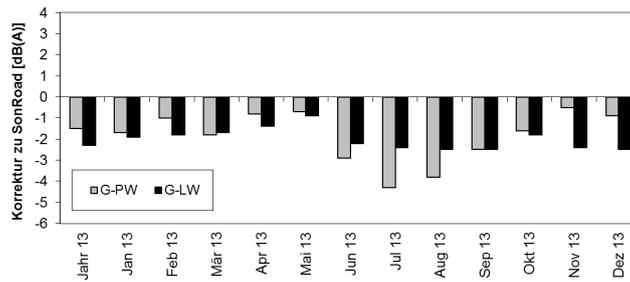


Abbildung 7: Emissions-Korrekturen G gegenüber SonRoad (Standardbelag) für PW und LW an der Messstelle Tenniken.

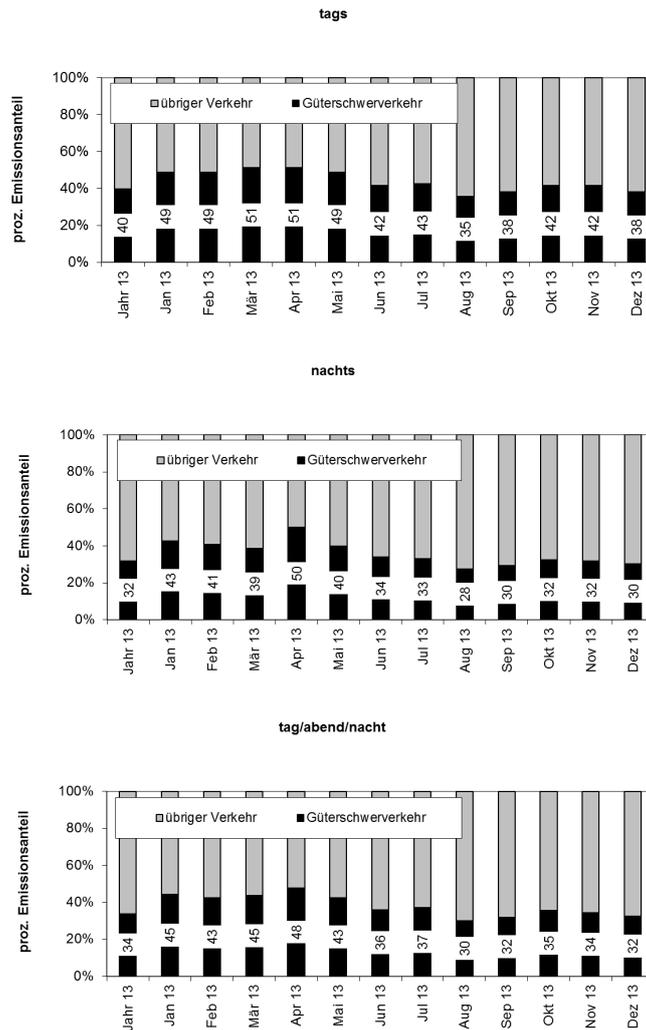


Abbildung 8: Prozentualer Emissionsanteil des Güterschwerverkehrs an der gesamten Energie, tags (oben), nachts (mitte) bzw. tag/abend/nacht (unten) an der Messstelle Tenniken.

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.

In Camignolo und Rothenbrunnen wurden im Jahr 2013 Belagssanierungen ausgeführt. Da als Folge davon für das ganze Jahr in Rothenbrunnen keine Verkehrsdaten zur Verfügung stehen, musste auf eine Auswertung verzichtet werden. In Camignolo entstand durch die Sanierung nur ein kürzerer Unterbruch, sodass in der Auswertung lediglich die Monate Juni und Juli fehlen.

- Für das Jahr 2013 ergeben sich Güterschwerverkehrsenergieanteile tags zwischen 13 und 51 %, nachts liegen die Werte zwischen 10 und 50 %. Camignolo zeigt die geringsten, Tenniken die höchsten Schwerverkehrsanteile.
- Die übers Jahr 2013 gemittelten Korrekturen G gegenüber dem Emissionsmodell SonRoad ergeben sich als arithmetischer Durchschnitt für PW und LW zu -1.2 dB bei Camignolo, -2.4 dB bei Moleno, -0.5 dB bei Reiden und -1.9 dB bei Tenniken.
- Gegenüber dem Vorjahr haben sich die jahresdurchschnittlichen G -Werte wie folgt verändert: Camignolo: -1.9, Moleno: -1.3, Reiden: -0.3 dB und Tenniken: +0.4 dB. In Reiden und Tenniken liegen die Veränderungen in der Grössenordnung der Resultatunsicherheit, währenddem in Camignolo (vorerst nur verdünnt) die Belagskorrektur sichtbar wird. In Moleno wurde im Jahr 2011 der Belag saniert. Die jetzt beobachtete Veränderung suggeriert, dass der Belag im Jahr 2013 noch etwas leiser geworden ist als im ersten Belagsjahr 2012.

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 Fehlerabschätzung als Folge der Interpretation von Bussen und Motorrädern als akustische Lastwagen

Die Methodik zur Bestimmung der akustischen Güterschwerverkehrsemissionen basiert auf den Güterschwerverkehrszahlen und auf der Quellenleistung und der Geschwindigkeit der LW-Kategorie. Da im Emissionsmodell diese LW-Kategorie nebst den Güterschwerverkehrsfahrzeugen auch die SWISS7-Klassen 1 (Busse/Cars) und 2 (Motorräder) umfasst, entsteht ein systematischer Fehler in der für den Güterschwerverkehr angenommenen Geschwindigkeit und in der anhand der Messungen angepassten Quellenleistung. Hier wird der dadurch verursachte Fehler abgeschätzt.

Die Fehleruntersuchung verwendet die ASTRA-Verkehrszählerdaten an den MFM-U Standorten aus dem Jahre 2013 bzw. 2012 (Rothenbrunnen). Hierbei ergeben sich in der SWISS7 Fahrzeugklassierung die in Tabelle 6 und 7 gezeigten Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten.

	Bus	Motorrad	Personenw.	Lieferw.	Lastwagen	Lastenzug	Sattelzug
Camignolo	12.2	32.7	1737.5	201.8	42.5	21.0	77.4
Moleno	9.6	22.7	926.2	191.1	24.1	19.7	64.0
Reiden	6.8	25.2	1504.2	268.3	57.4	78.1	81.3
Rothenbrunnen	5.1	11.3	559.2	90.5	13.3	5.1	16.5
Tenniken	12.5	18.5	1681.2	233.0	51.9	50.0	132.7

Tabelle 6: Für das Jahr 2013 bzw. 2012 (Rothenbrunnen) ausgewertete Verkehrsmengen an den MFM-U Standorten in Fz/h.

	Bus	Motorrad	Personenw.	Lieferw.	Lastwagen	Lastenzug	Sattelzug
Camignolo	94.4	100.8	111.5	108.3	90.5	86.4	86.7
Moleno	97.3	120.3	120.3	118.8	97.8	87.5	87.8
Reiden	97.6	115.4	116.8	113.6	93.3	86.9	87.1
Rothenbrunnen	83.6	89.5	91.1	90.4	83.1	80.7	81.2
Tenniken	86.8	90.4	99.1	97.2	86.4	82.1	82.2

Tabelle 7: Für das Jahr 2013 bzw. 2012 (Rothenbrunnen) ausgewertete Geschwindigkeiten an den MFM-U Standorten in km/h.

Für jeden Standort wurden zwei Emissionsberechnungen durchgeführt:

Rechnung mit den beiden Kategorien PW und LW

Die Verkehrsmengen und Durchschnittsgeschwindigkeiten wurden wie folgt gebildet:

PW: SWISS7-Kategorien 'Personenwagen' und 'Lieferwagen'

LW: SWISS7-Kategorien 'Bus', 'Motorrad', 'Lastwagen', 'Lastenzug' und 'Sattelzug'

Als Quellenmodell wurde SonRoad verwendet. Diese Berechnung entspricht dem in den MFM-U-Auswertungen verwendeten Formalismus.

Rechnung mit separaten Kategorien PW, LW', Bus und Motorrad

Die Verkehrsmengen und Durchschnittsgeschwindigkeiten wurden wie folgt gebildet:

PW: SWISS7-Kategorien 'Personenwagen' und 'Lieferwagen'

LW': SWISS7-Kategorien 'Lastwagen', 'Lastenzug' und 'Sattelzug'

Bus: SWISS7-Kategorie 'Bus'

Motorrad: SWISS7-Kategorie 'Motorrad'

Als Quellenmodell für PW und LW' wurde SonRoad verwendet, für die Kategorie 'Bus' wurde der Ansatz $L_{\max} = 86.9 + 30 \log(v/80)$ [2] und für die Kategorie 'Motorrad' $L_{\max} = 77.3 + 46.3 \log(v/80)$ [3] verwendet.

Die Tabelle 8 zeigt die nach den beiden Varianten bestimmten Emissionswerte und die Differenzen. An allen Standorten liefert die Rechnung mit den beiden Kategorien PW und LW höhere Werte, wobei die Differenzen zwischen 0.2 und 0.4 dB(A) liegen.

	PW,LW	PW,LW',Bus,Motorrad	Differenz
Camignolo	80.5	80.2	0.3
Moleno	79.3	78.9	0.4
Reiden	81.1	80.9	0.3
Rothenbrunnen	73.9	73.5	0.4
Tenniken	80.1	79.9	0.2

Tabelle 8: Ergebnisse der Emissionsberechnungen mit den beiden Kategorienvarianten *PW,LW* bzw. *PW,LW',Bus,Motorrad* und Differenzen in dB(A).

Bei der Anpassung des Emissionsmodells führt die oben gefundene Überschätzung der Emissionen mit der Rechnung mit den beiden Kategorien PW und LW zu einer entsprechenden Unterschätzung des *G*-Wertes um 0.2 bis 0.4 dB(A). Bei der Berechnung des Schallenergieanteils, der durch den Schwerverkehr beigesteuert wird, spielt zusätzlich die für den Schwerverkehr eingesetzte Geschwindigkeit eine Rolle. Wie Tabelle 9 zeigt, wird die Geschwindigkeit mit der Betrachtung der beiden Kategorien PW und LW überschätzt. Dies entspricht einem Pegelfehler zwischen 0.1 und 0.5 dB(A).

	PW,LW	PW,LW',Bus,Motorrad	Pegelfehler
Camignolo	91	88	0.4
Moleno	95	90	0.5
Reiden	92	89	0.4
Rothenbrunnen	84	82	0.2
Tenniken	84	83	0.1

Tabelle 9: Berechnete Geschwindigkeiten des Schwerverkehrs in den beiden Kategorienvarianten *PW,LW* bzw. *PW,LW',Bus,Motorrad* und dadurch entstehender Pegelfehler in dB(A).

Fazit

Durch die Interpretation von Bussen und Motorrädern als akustische Lastwagen entsteht ein systematischer Fehler im angepassten Emissionsmodell (*G*-wert) zwischen 0.2 und 0.4 dB(A). Mit der gleichzeitigen Geschwindigkeitsüberschätzung kompensieren sich zwei gegenläufige Effekte, sodass sich die Unsicherheit in der Bestimmung des Schwerverkehrsemissionsanteils auf einen Wert deutlich kleiner als 0.4 dB(A) reduziert. Generell liegen diese Unsicherheiten in der gleichen Grössenordnung wie die grundsätzlichen Mess- und Auswertungsunsicherheiten. Überdies ist festzuhalten, dass die durch die Kategorienbildung eingeführte Unsicherheit bis zu einem gewissen Grad eine Eigenschaft des Standortes mit dem jeweiligen Verkehrsmix darstellt und sich damit über die Zeit nur langsam ändert. Damit kann insgesamt die Unsicherheit der in den MFM-U Auswertungen verwendeten Emissionsmodellierung als vernachlässigbar klein eingestuft werden.

²K. Heutschi, L. Poulikakos, Noise monitoring of trucks, Conference Euronoise 2012.

³K. Heutschi, Ermittlung der durch Motorräder verursachten akustischen Immissionen im Nationalpark, Empa-Bericht 455'585, 2011.