

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

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

Untersuchungsbericht Nr. 446'412, int. 511.2366

Abschätzung der Unsicherheit der Freifeldemissionspegel im Lärm- monitoring MFM-U

Auftraggeber: BAFU, Abteilung Oekonomie, Forschung und Umweltbeobachtung

Ihr Auftrag vom: 7. Juni 2007

Anzahl Seiten: 11

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Auftrag	2
2 Einleitung	2
3 Vorgehen	2
4 Ergebnisse	4
5 Diskussion	10

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Abteilung Akustik
Dübendorf, 2.11.2007
Sachbearbeiter:

Abteilungsleiter:

Kurt Heutschi

Kurt Eggenschwiler

Zusammenfassung

Im Rahmen von MFM-U werden an den Haupttransitstrassen akustische Messungen vorgenommen. Aus den akustischen Messwerten sowie Angaben zum Verkehr werden rechnerisch Emissionsgrössen abgeleitet. Mittels einer Monte Carlo Simulation wurden die erwarteten Unsicherheiten dieser Emissionsgrössen bestimmt. Wenn für die Beobachtung von zeitlichen Entwicklungen die Modellunsicherheiten vernachlässigt werden, ergeben sich mit Ausnahme der Station Tenniken Standardabweichungen von 0.2 bis 0.3 dB(A), d.h. mit 95% Wahrscheinlichkeit liegen die Werte in einem Intervall von ± 0.5 dB(A) um den Mittelwert. Die bedeutend höheren Unsicherheiten in Tenniken sind darauf zurückzuführen, dass die Verkehrsmessungen nicht im Querschnitt der akustischen Messung stattfinden.

1 Auftrag

Mit Vertrag vom 7.6.2007 beauftragte das BAFU, Abteilung Oekonomie, Forschung und Umweltbeobachtung die Empa, Abteilung Akustik mit der Abschätzung der Unsicherheit der Freifeldemissionspegel im Lärmmonitoring MFM-U.

2 Einleitung

Im Rahmen der Auswertung der MFM-U Lärmmonitoringdaten werden unter anderem die Emissionswerte G des durchschnittlichen Personen- und Lastwagens sowie die Freifeldemissionspegel L bestimmt. Die G-Werte bezeichnen die Differenzen zu den in SonRoad [1] verwendeten Standardemissionspegeln. Die Freifeldemissionspegel beschreiben den Mittelungspegel L_{eq} in 1 m Abstand, wenn der ganze Verkehr auf eine Fahrspur konzentriert würde und kein Boden vorhanden wäre. Die Auswertungen basieren auf

- gemessenen Eingangsdaten
 - Verkehr (Mengen und Geschwindigkeiten nach Kategorien und Spuren)
 - Schalldruck an zwei Mikrofonpositionen
- theoretisch abgeleiteten Grössen
 - Ausbreitungsdämpfungen Fahrspur-Mikrofon
- Modellannahmen
 - SonRoad-Emissionsmodell

Sämtliche Eingangsgrössen für die Berechnung, sowie die Modellsetzungen selbst sind mit Unsicherheiten verbunden. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird die daraus resultierende Unsicherheit für die G-Werte und Freifeldemissionspegel bestimmt.

3 Vorgehen

Allgemeines

Das Zusammenspiel obgenannter Unsicherheiten hinsichtlich der Konsequenzen auf die gesuchten Grössen ist komplex und nicht mit klassischer Fehlerfortpflanzung analytisch fassbar. Deshalb wird hier mit der Methode einer Monte-Carlo Simulation der resultierende Fehler experimentell ermittelt. Dazu werden für sämtliche mit einer Unsicherheit behafteten Grössen Schwankungsverteilungen festgelegt, und dann die Auswertungen 2006 für alle Stationen wiederholt, indem die Grössen gemäss weiter unten beschriebenen Spielregeln zufällig variiert werden. Es ist zwischen zufälligen und systematischen (aber unbekannt) Fehlern zu unterscheiden. Die G-Werte und Freifeldemissionspegel werden in einer maximalen zeitlichen Auflösung von 1 Monat ausgewiesen. Auf einer Zeitskala deutlich kleiner als 1 Monat auftretende zufällige Fehler mitteln sich weitgehend aus und können vernachlässigt werden. Bedeutend kritischer sind systematische Fehler, bzw. Fehler des Mittelwerts. Diese bestehen über den ganzen Beobachtungszeitraum und beeinflussen das Ergebnis in die eine *oder* andere Richtung.

Angenommene Unsicherheiten

Verkehr

Die Verkehrsdaten stammen von automatischen ASTRA-Zählstellen. Den Ergebnissen aus [2] folgend wird angenommen, dass 90% der Fahrzeuge die Induktionsschleifen sauber überfahren. Diese "sauberen" Ereignisse werden nicht völlig fehlerfrei den Swiss10 Kategorien zugeordnet. Wenn aber nur die Aufteilung in die Kategorien *Personenwagen* und *Schwerer Güterverkehr* betrachtet wird, kann von einer nahezu perfekten Zuordnungssicherheit von über 96% ausgegangen werden. Zur Genauigkeit der Geschwindigkeitsermittlung liegen unveröffentlichte Messungen des Metas an sieben Standorten vor. Der Vergleich der M660 Geschwindigkeiten mit Referenzmessungen zeigt Fehler der mittleren Geschwindigkeiten innerhalb von $\pm 1\%$ (ausgenommen ein Standort mit deutlich grösseren Abweichungen). Für die Monte Carlo Simulation wird folgende Spielregel angesetzt:

- Es wird eine gleichverteilte Zufallszahl r_1 zwischen 0 und 1 gezogen. Dann werden für das Jahr 2006 sämtliche Stundenwerte der Verkehrszahlen mit $1 + 0.1 \cdot r_1$ multipliziert.
- An der Station Tenniken wird zusätzlich die Normal/Überhol-Spuraufteilung modifiziert. Der Grund hierfür liegt im Umstand, dass die Zählstelle nicht im akustischen Messquerschnitt liegt. Dazu wird eine gleichverteilte Zufallszahl r_{1b} zwischen 0 und 1 gezogen. Dann wird $r_{1b} \cdot 50\%$ des Verkehrs auf der Normalspur auf die Überholspur verlagert und ebenso $r_{1b} \cdot 50\%$ des Verkehrs von der Überholspur auf die Normalspur verlagert. Insgesamt bleibt der Gesamtverkehr konstant.
- Es wird eine gleichverteilte Zufallszahl r_2 zwischen 0 und 1 gezogen. Dann werden für 2006 sämtliche Geschwindigkeitswerte mit $1 + 0.02 \cdot (r_2 - 0.5)$ skaliert.
- An der Station Tenniken wird eine Geschwindigkeitsunsicherheit von 10% angenommen, da die Zählstelle nicht im akustischen Messquerschnitt liegt. Dazu werden sämtliche Geschwindigkeitswerte mit $1 + 0.2 \cdot (r_2 - 0.5)$ skaliert.

Schalldruck an zwei Mikrofonpositionen

Die Unsicherheit der Messkette wurde in einer separaten Untersuchung von Norsonic Brechbühl [3] ermittelt. Daraus folgt, dass die rein messtechnisch bedingte Pegelunsicherheit normalverteilt mit Standardabweichung $\sigma = 0.32$ dB angenommen werden kann. Es wird hier vorausgesetzt, dass die Streuung an beiden Mikrofonen nicht korreliert ist. Für die Monte Carlo Simulation wird daher folgende Spielregel verwendet:

- Es werden zwei normalverteilte Zufallszahlen r_{3a}, r_{3b} mit Mittelwert 0 und Standardabweichung 0.32 gezogen. Dann werden für 2006 sämtliche Stundenwerte der Mikrofonpegel wie folgt modifiziert:

$$\text{Mikrofon 1 } L_{1,neu} = L_1 + r_{3a} \text{ [dB]}$$

$$\text{Mikrofon 2 } L_{2,neu} = L_2 + r_{3b} \text{ [dB]}$$

Ausbreitungsdämpfungen Fahrspur-Mikrofon

Die Ausbreitungsdämpfungen von den einzelnen Fahrspuren zu den beiden Mikrofonen wurden für alle MFM-U Stationen in [4] bestimmt. Mittels eines theoretischen Ausbreitungsmodells wurden provisorische spektrale Dämpfungswerte berechnet. Durch einen Optimierungsprozess wurden anschliessend diese Dämpfungswerte modifiziert um eine möglichst gute Anpassung zwischen berechneten und gemessenen Mikrofonpegeln zu erzielen. Diese Modifikationen betragen im A-Summenpegel weniger als 1 dB. Für die Ausbreitungsdämpfung zur Normalspur sind die Modifikationen kleiner als 0.3 dB. Für die Auswertungen werden jeweils die modifizierten Dämpfungen eingesetzt. Im Sinne einer worst case Betrachtung wird hier angenommen, dass die Unsicherheiten der Dämpfungen den Modifikationen entsprechen. Für die Monte Carlo Simulation wird folgende Spielregel verwendet:

- Es werden gleichverteilte Zufallszahlen r_4, r_5, r_6, r_7 zwischen 0 und 1 gezogen. Dann werden für 2006 die Ausbreitungsdämpfungen wie folgt modifiziert:

$$\text{Normalspur } NSM + 0.6 \cdot (r_4 - 0.5) \text{ [dB]}$$

$$\text{Überholspur } USM + 2.0 \cdot (r_5 - 0.5) \text{ [dB]}$$

Ferne Normalspur $FNSM + 2.0 \cdot (r_6 - 0.5)$ [dB]

Ferne Überholspur $FUSM + 2.0 \cdot (r_7 - 0.5)$ [dB]

SonRoad-Emissionsmodell

Die wesentlichen Parameter des Emissionsmodells sind die Geschwindigkeitsabhängigkeit und das absolute Pegelniveau G . Das absolute Pegelniveau wird beim Auswertvorgang durch einen iterativen Prozess angepasst. Damit verbleibt als möglicher Fehler lediglich die Geschwindigkeitsabhängigkeit. Vereinfachend wird diese in den Emissionsformeln 1 und 2 durch die Parameter m_{PW} und m_{LW} der Rollgeräuschkomponente beschrieben. Aus einer Literaturrecherche [5] folgen Werte für m_{PW} bzw. m_{LW} zwischen 33 und 38.

$$L_{W,A,PW} = 28.5 + 10 \log \left(10^{0.1(7.3+m_{PW} \log(v))} + 10^{0.1(60.5+10 \log(1+(\frac{v}{44})^{3.5})+\Delta_s)} \right) + \Delta_{BG} \quad (1)$$

$$L_{W,A,LKW} = 28.5 + 10 \log \left(10^{0.1(16.3+m_{LW} \log(v))} + 10^{0.1(74.7+10 \log(1+(\frac{v}{56})^{3.5})+\Delta_s)} \right) + \Delta_{BG} \quad (2)$$

Für die Monte Carlo Simulation wird folgende Spielregel festgelegt:

- Es werden gleichverteilte Zufallszahlen r_8, r_9 zwischen 0 und 1 gezogen. Dann werden für 2006 die Gleichungen im Emissionsmodell wie folgt modifiziert:

Personenwagen $m_{PW} = 35 + 4.0 \cdot (r_8 - 0.5)$

Lastwagen $m_{LW} = 35 + 4.0 \cdot (r_9 - 0.5)$

4 Ergebnisse

Allgemeine Erkenntnisse

Die Auswertung der Monte Carlo Simulationen anhand von jeweils 50 Durchläufen führt auf folgende allgemeine Erkenntnisse:

- Die Mittelwerte der resultierenden Zielgrößen G und L entsprechen den Ergebnissen ohne Parameterschwankungen, d.h. es entstehen durch die angenommenen Unsicherheiten der Mess- und Modellgrößen keine systematischen Abweichungen sondern nur zufällige Schwankungen.
- Die resultierenden Zielgrößen sind in guter Näherung normalverteilt, d.h. aus den ausgewiesenen empirischen Standardunsicherheiten σ kann geschlossen werden, dass rund 68% der Werte innerhalb des Intervalls $\pm\sigma$ liegen und sich rund 95% der Werte innerhalb des Intervalls $\pm 2\sigma$ befinden.

In der Folge werden monatsweise und stationsspezifisch die empirischen Standardabweichungen für die verschiedenen Auswertgrößen dargestellt. Die Standardabweichungen sind für zwei Fälle gezeigt. Im ersten Fall wurden nur die Messgrößen Verkehr und Schalldruckpegel variiert, im zweiten Fall wurden sämtliche Größen, d.h. auch die Modellunsicherheiten der Ausbreitungsdämpfungen und des Exponenten der Geschwindigkeitsabhängigkeit einbezogen.

Camignolo

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	0.22	0.22	0.21	0.20	0.21	0.20	0.20	0.19
Februar	0.26	0.11	0.14	0.14	0.21	0.22	0.18	0.19
März	0.25	0.10	0.14	0.14	0.20	0.19	0.17	0.18
April	0.18	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16
Mai	0.22	0.12	0.14	0.15	0.18	0.17	0.16	0.16
Juli	0.25	0.20	0.24	0.24	0.19	0.18	0.16	0.17
August	0.23	0.20	0.27	0.27	0.18	0.16	0.14	0.15
September	0.25	0.11	0.16	0.16	0.20	0.19	0.17	0.18
Oktober	0.20	0.21	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18
November	0.19	0.22	0.20	0.20	0.18	0.19	0.18	0.18
Dezember	0.29	0.19	0.18	0.18	0.25	0.24	0.23	0.23
Durchschnitt	0.23	0.17	0.18	0.19	0.20	0.19	0.17	0.18

Tabelle 1: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Camignolo bei ausschliesslicher Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	1.36	0.87	0.71	0.72	0.46	0.43	0.32	0.33
Februar	1.34	0.68	0.86	0.88	0.48	0.45	0.35	0.36
März	1.43	0.68	0.84	0.85	0.46	0.43	0.32	0.33
April	1.35	0.57	1.00	1.01	0.43	0.41	0.37	0.37
Mai	1.40	0.67	0.90	0.90	0.43	0.43	0.33	0.35
Juli	1.47	0.57	1.04	1.06	0.40	0.41	0.33	0.35
August	1.40	0.35	1.26	1.28	0.40	0.40	0.36	0.36
September	1.46	0.69	0.91	0.93	0.40	0.38	0.34	0.34
Oktober	1.39	0.62	0.89	0.91	0.46	0.44	0.34	0.35
November	1.33	0.79	0.76	0.78	0.46	0.41	0.32	0.33
Dezember	1.32	0.73	0.90	0.92	0.46	0.43	0.34	0.36
Durchschnitt	1.39	0.66	0.92	0.93	0.44	0.42	0.34	0.35

Tabelle 2: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Camignolo bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel sowie der Modellparameter. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

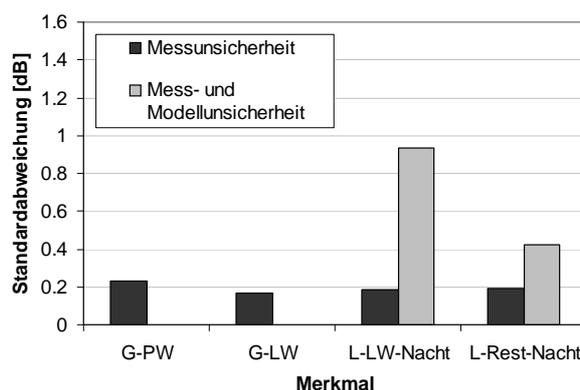


Abbildung 1: Empirische Standardabweichungen im Monatsmittel für die Auswertungen an der Station Camignolo bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel alleine (Messunsicherheit) bzw. inklusive der Modellparameter (Mess- und Modellunsicherheit).

Moleno

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	0.31	0.22	0.20	0.20	0.28	0.27	0.24	0.24
Februar	0.22	0.16	0.16	0.16	0.22	0.19	0.18	0.18
März	0.32	0.20	0.19	0.19	0.28	0.27	0.22	0.23
April	0.34	0.17	0.17	0.17	0.29	0.27	0.23	0.24
Mai	0.38	0.19	0.17	0.17	0.29	0.28	0.24	0.25
Juli	0.39	0.19	0.19	0.18	0.29	0.31	0.24	0.27
August	0.37	0.16	0.15	0.15	0.26	0.30	0.23	0.26
September	0.37	0.20	0.18	0.18	0.30	0.30	0.24	0.26
Oktober	0.33	0.17	0.20	0.20	0.26	0.26	0.20	0.22
November	0.21	0.12	0.15	0.15	0.22	0.19	0.17	0.17
Dezember	0.19	0.21	0.28	0.28	0.18	0.17	0.16	0.16
Durchschnitt	0.31	0.18	0.19	0.19	0.26	0.26	0.21	0.22

Tabelle 3: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Moleno bei ausschliesslicher Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	1.35	1.28	1.52	1.52	1.02	0.91	0.36	0.45
Februar	1.21	1.07	1.53	1.54	1.06	0.94	0.45	0.51
März	1.60	0.67	0.96	0.98	0.76	0.65	0.37	0.38
April	1.59	0.59	1.23	1.24	0.74	0.67	0.38	0.41
Mai	1.98	0.74	0.87	0.88	0.74	0.76	0.31	0.36
Juli	2.09	0.62	0.94	0.96	0.57	0.68	0.32	0.40
August	1.90	0.49	1.21	1.22	0.54	0.60	0.38	0.38
September	1.97	0.63	1.00	1.01	0.58	0.58	0.38	0.36
Oktober	1.73	0.55	1.11	1.12	0.71	0.67	0.43	0.41
November	1.31	0.75	0.90	0.91	0.73	0.68	0.40	0.43
Dezember	1.10	0.89	1.49	1.51	0.98	0.92	0.59	0.63
Durchschnitt	1.62	0.75	1.16	1.17	0.77	0.73	0.40	0.43

Tabelle 4: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Moleno bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel sowie der Modellparameter. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

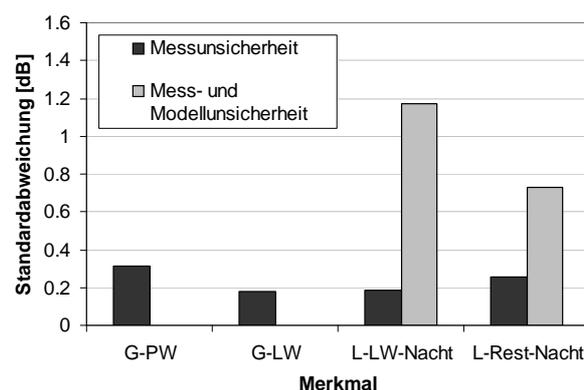


Abbildung 2: Empirische Standardabweichungen im Monatsmittel für die Auswertungen an der Station Moleno bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel alleine (Messunsicherheit) bzw. inklusive der Modellparameter (Mess- und Modellunsicherheit).

Reiden

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	0.21	0.14	0.14	0.14	0.18	0.19	0.16	0.17
Februar	0.19	0.08	0.15	0.15	0.17	0.17	0.12	0.12
März	0.08	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.12	0.12
April	0.15	0.12	0.17	0.17	0.15	0.16	0.12	0.12
Mai	0.27	0.15	0.16	0.15	0.25	0.23	0.19	0.20
Juli	0.30	0.18	0.17	0.17	0.24	0.26	0.22	0.24
August	0.26	0.19	0.18	0.18	0.23	0.23	0.21	0.21
September	0.30	0.15	0.15	0.15	0.25	0.26	0.21	0.21
Oktober	0.25	0.19	0.18	0.18	0.22	0.22	0.21	0.20
November	0.19	0.13	0.14	0.14	0.17	0.17	0.15	0.15
Dezember	0.22	0.10	0.12	0.12	0.20	0.19	0.16	0.16
Durchschnitt	0.22	0.15	0.16	0.16	0.20	0.20	0.17	0.17

Tabelle 5: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Reiden bei ausschliesslicher Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	1.55	0.95	0.57	0.58	0.49	0.48	0.28	0.29
Februar	1.45	0.79	0.71	0.72	0.54	0.51	0.34	0.35
März	1.15	0.95	0.76	0.77	0.76	0.70	0.34	0.33
April	1.40	0.65	0.84	0.86	0.58	0.54	0.39	0.39
Mai	1.55	0.67	0.85	0.86	0.57	0.56	0.34	0.34
Juli	1.83	0.81	0.62	0.64	0.44	0.46	0.29	0.31
August	1.43	0.74	0.91	0.91	0.55	0.55	0.36	0.36
September	1.58	0.75	0.76	0.78	0.50	0.49	0.33	0.33
Oktober	1.46	0.97	0.67	0.68	0.54	0.53	0.31	0.31
November	1.49	0.93	0.63	0.64	0.54	0.50	0.30	0.29
Dezember	1.54	0.92	0.68	0.70	0.51	0.49	0.30	0.30
Durchschnitt	1.49	0.83	0.73	0.74	0.55	0.53	0.33	0.33

Tabelle 6: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Reiden bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel sowie der Modellparameter. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

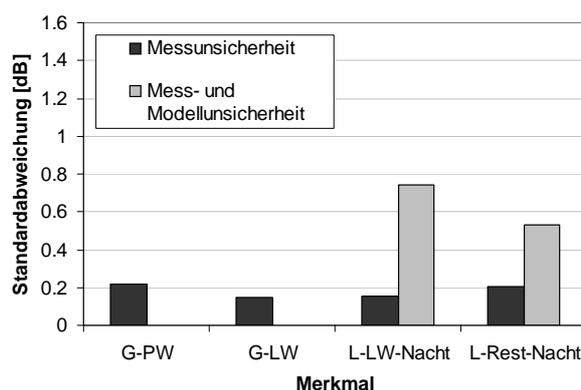


Abbildung 3: Empirische Standardabweichungen im Monatsmittel für die Auswertungen an der Station Reiden bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel alleine (Messunsicherheit) bzw. inklusive der Modellparameter (Mess- und Modellunsicherheit).

Rothenbrunnen

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	0.22	0.24	0.22	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20
Februar	0.24	0.19	0.18	0.17	0.24	0.20	0.21	0.20
März	0.23	0.18	0.17	0.16	0.21	0.19	0.19	0.19
April	0.23	0.17	0.17	0.17	0.20	0.19	0.19	0.18
Mai	0.24	0.24	0.26	0.27	0.18	0.19	0.15	0.15
Juli	0.13	0.21	0.20	0.20	0.13	0.14	0.12	0.13
August	0.25	0.13	0.14	0.14	0.21	0.19	0.18	0.19
September	0.15	0.43	0.40	0.40	0.14	0.15	0.14	0.14
Oktober	0.23	0.13	0.13	0.14	0.21	0.21	0.18	0.18
November	0.21	0.19	0.17	0.17	0.19	0.19	0.18	0.18
Dezember	0.25	0.20	0.18	0.18	0.23	0.23	0.21	0.21
Durchschnitt	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18

Tabelle 7: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Rothenbrunnen bei ausschliesslicher Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	1.43	0.91	0.78	0.79	0.41	0.37	0.32	0.31
Februar	1.55	0.73	0.77	0.79	0.37	0.34	0.32	0.32
März	1.41	0.75	0.79	0.81	0.45	0.39	0.33	0.33
April	1.33	0.74	0.93	0.95	0.51	0.48	0.40	0.39
Mai	1.35	0.63	0.93	0.93	0.44	0.46	0.40	0.41
Juli	1.45	0.62	1.14	1.16	0.42	0.44	0.40	0.40
August	1.51	0.48	1.10	1.12	0.42	0.43	0.39	0.38
September	1.26	0.99	1.22	1.23	0.48	0.51	0.37	0.40
Oktober	1.47	0.64	0.84	0.87	0.42	0.41	0.34	0.34
November	1.41	0.88	0.67	0.69	0.44	0.40	0.33	0.32
Dezember	1.57	0.74	0.80	0.81	0.36	0.35	0.32	0.32
Durchschnitt	1.43	0.74	0.91	0.92	0.43	0.42	0.36	0.36

Tabelle 8: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Rothenbrunnen bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel sowie der Modellparameter. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

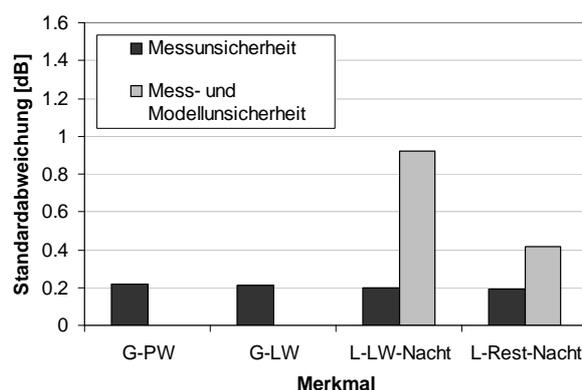


Abbildung 4: Empirische Standardabweichungen im Monatsmittel für die Auswertungen an der Station Rothenbrunnen bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel alleine (Messunsicherheit) bzw. inklusive der Modellparameter (Mess- und Modellunsicherheit).

Tenniken

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	1.03	0.52	0.22	0.24	0.37	0.36	0.22	0.22
Februar	0.69	0.70	0.36	0.36	0.26	0.27	0.21	0.22
März	0.78	0.61	0.20	0.21	0.35	0.31	0.21	0.22
April	0.75	0.47	0.24	0.27	0.28	0.26	0.23	0.24
Mai	1.07	0.52	0.22	0.24	0.40	0.33	0.22	0.24
Juli	1.55	0.44	0.26	0.29	0.51	0.51	0.22	0.26
August	0.85	0.41	0.32	0.33	0.29	0.29	0.22	0.23
September	1.08	0.43	0.28	0.31	0.39	0.39	0.23	0.26
Oktober	0.93	0.37	0.31	0.34	0.34	0.32	0.22	0.23
November	0.86	0.53	0.23	0.25	0.29	0.28	0.21	0.22
Dezember	0.91	0.49	0.24	0.26	0.32	0.30	0.21	0.23
Durchschnitt	0.95	0.50	0.26	0.28	0.34	0.33	0.22	0.23

Tabelle 9: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Tenniken bei ausschliesslicher Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

	G-PW	G-LW	L-LW-Tag	L-LW-Nacht	L-Rest-Tag	L-Rest-Nacht	L-tot-Tag	L-tot-Nacht
Januar	2.39	0.99	0.80	0.85	1.04	0.85	0.35	0.35
Februar	1.53	1.88	1.89	1.90	1.08	1.01	0.39	0.45
März	2.62	1.12	1.20	1.21	1.87	1.57	0.38	0.42
April	1.90	0.80	1.10	1.14	0.86	0.76	0.51	0.53
Mai	2.47	0.96	0.93	0.96	0.88	0.85	0.40	0.37
Juli	2.14	1.23	0.72	0.76	0.86	0.86	0.35	0.34
August	1.89	1.04	1.57	1.59	0.80	0.78	0.43	0.47
September	2.40	1.64	2.08	2.09	1.34	1.25	0.38	0.48
Oktober	2.01	1.36	1.73	1.73	0.96	0.91	0.38	0.42
November	1.92	1.09	1.03	1.07	0.89	0.85	0.39	0.43
Dezember	2.12	0.89	0.89	0.91	0.78	0.69	0.39	0.38
Durchschnitt	2.13	1.18	1.27	1.29	1.03	0.94	0.40	0.42

Tabelle 10: Empirische Standardabweichungen für die Auswertungen an der Station Tenniken bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel sowie der Modellparameter. G-PW, G-LW: PW und LW Emissions-Korrekturen zu SonRoad in dB(A); L-LW, L-Rest, L-tot: Freifeldemission Güterschwerverkehr, übriger Verkehr und Gesamtverkehr (Leq in 1 m) in dB(A).

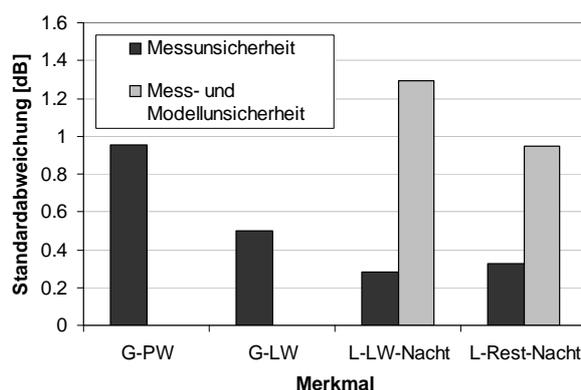


Abbildung 5: Empirische Standardabweichungen im Monatsmittel für die Auswertungen an der Station Tenniken bei Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel alleine (Messunsicherheit) bzw. inklusive der Modellparameter (Mess- und Modellunsicherheit).

5 Diskussion

- Die Monatsauswertungen zeigen keine signifikanten saisonalen Schwankungen (siehe exemplarische Auswertung in Abbildung 6).
- An den Stationen Camignolo, Reiden und Rothenbrunnen liegen die totalen Standardabweichungen der LW Freifeldemissionspegel L zwischen 0.7 und 0.9 dB. In Moleno liegt der Wert bei 1.2 und in Tenniken bei 1.3 dB
- Wenn nur der Einfluss der Messgrössen alleine untersucht wird, d.h. die Ausbreitungsdämpfungen und der Exponent der Geschwindigkeitsabhängigkeit wird fest gehalten, reduzieren sich in Camignolo, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen die Standardabweichungen der G und L-Werte auf 0.2 bis 0.3 dB. In Tenniken resultieren Werte für G zwischen 0.5 und 1.0 dB bzw. für L von 0.3 dB. Die bedeutend grösseren Unsicherheiten in Tenniken sind auf den Umstand zurückzuführen, dass die Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung nicht im akustisch vermessenen Querschnitt erfolgen.
- Zur Beobachtung von Trends in der Fahrzeugentwicklung dürfen die Modellunsicherheiten ignoriert werden. Mit Ausnahme von Tenniken darf davon ausgegangen werden, dass die G-Werte wie auch die L-Werte mit 95% Wahrscheinlichkeit in einem Intervall von ± 0.5 dB(A) liegen.
- An einigen Stationen ist die messunsicherheitsbedingte Standardabweichung kleiner als die Unsicherheit der Mikrofonpegel. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die ausgewerteten Pegel aus einem Mittelungsprozess über die beiden Mikrophone pro Standort hervorgehen. Die Unsicherheiten der Mikrofonpegel werden als unkorreliert angenommen, da sie durch exemplarstreuende Effekte wie Frequenzgang und Richtcharakteristik dominiert sind. Eine exemplarische Rechnung für Camignolo unter der Annahme von korrelierten Streuungen zeigt eine typisch um den Faktor $\sqrt{2}$ erhöhte Streuung.

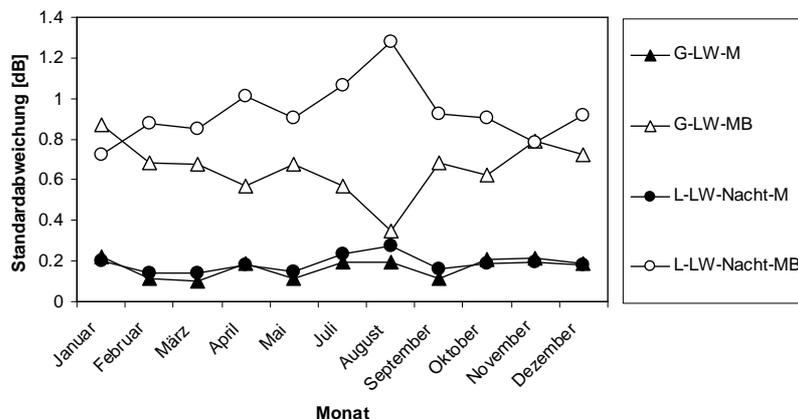


Abbildung 6: Empirische Standardabweichungen im Jahresverlauf für die Auswertungen an der Station Camignolo für die Grössen *G-LW* und *L-LW-Nacht*. Der Bezeichner *M* steht für Variation der Messgrössen Verkehr und Mikrofonpegel alleine (Messunsicherheit), der Bezeichner *MB* für Variation der Messgrössen inklusive der Modellparameter (Mess- und Modellunsicherheit).

Literatur

- [1] K. Heutschi, SonRoad: New Swiss Road Traffic Noise Model, Acta Acustica united with Acustica, vol. 90, p. 548-554, 2004.
- [2] G. Kooijman, U. Haftka-Reis, Gerätetest zur Automatischen Fahrzeugklassifizierung, Sigmaplan im Auftrag des ASTRA, 2001.
- [3] M. Brechbühl, Projekt MfM-U Lärm, Messunsicherheiten Mess-Stationen, 2007.
- [4] EMPA Untersuchungsbericht 432309, int. 511.2206, MFM-U: Ermittlung der akustischen Ausbreitungsdämpfungen, 2004.
- [5] Bericht zum F+E-Projekt Neues EMPA-Modell für Strassenlärm, Teil Quellenbeschreibung Nr. 156'479, int. 511.1773 (1997).