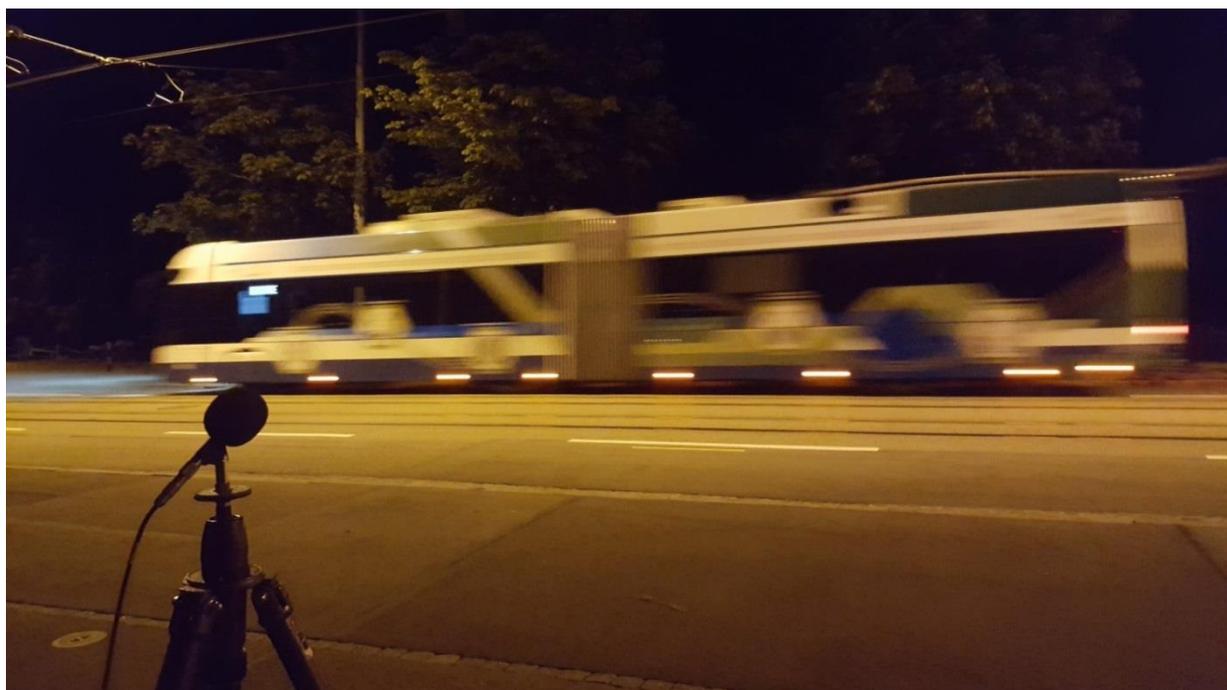




Stadt Zürich
Gesundheits- und Umweltdepartement

Lärmemissionen öffentlicher Verkehr Batteriebetriebene Busse

Messbericht 2018



Messfahrt SwisstrolleyPlus (Foto VBZ)

Berichtsverfasserin: Anne Klauser
Projektleiter: Bernhard Kindler
Datum: 11. Dezember 2018

Änderungsverzeichnis

VERSION	DATUM	VERFASSER	BEMERKUNGEN
0.1	21.11.2018	Klauser	Vernehmlassung Auftraggeber
0.2	03.12.2018	Klauser	Input UGZ / VBZ
1.0	11.12.2018	Klauser	Endversion

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
DGT	Doppelgelenktrolley
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
GT	Gelenktrolley
i	Gefälle / Steigung
kB	Belagskennwert
LE	Schallexpositionspegel
LEm	Energetisches Mittel der Schallexpositionspegel
Leq	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel)
Leqh	Stundenbezogener energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel)
LKW	Lastwagen
Lr	Beurteilungspegel
LSV	Lärmschutz-Verordnung des Bundes
SB	Standardbus
UGZ	Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich
VBZ	Verkehrsbetriebe Zürich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Ausgangslage	5
1.2	Auftrag / Zielsetzung	5
2	Grundlagen.....	5
3	Messkonzept	6
3.1	Randbedingungen	6
3.2	Messanordnung	6
3.2.1	Allgemeine Messanordnung.....	6
3.2.2	Messvorgang.....	6
3.2.3	Wesentliche Lärmquellen.....	6
3.3	Messung	7
3.3.1	Messdatum	7
3.3.2	Messstrecken	7
3.3.3	Bustypen	8
3.3.4	Messequipment	9
3.3.5	SEM-Messung	9
3.4	Methodik + Berechnungsschritte	10
4	Vergleich Messkampagnen 2017 und 2018	11
4.1	Übersicht.....	11
4.2	Spektrale Betrachtung der beiden Messkampagnen	11
5	Messergebnisse	13
5.1	Busdurchfahrten ebene Strecke	13
5.2	Steigung.....	13
6	Auswertung der Messungen	14
6.1	Pegelveränderungen / Lärmwirkung.....	14
6.2	Busdurchfahrten ebene Strecke	14
6.2.1	Messungen 2018	14
6.2.2	Standardbusse: Vergleich Diesel- und Elektroantrieb.....	15
6.2.3	Hybridbusse: Vergleich Hybridantrieb mit Elektrohybridantrieb.....	15
6.2.4	Gelenktrrolleybusse mit und ohne Gebrauch der Fahrleitungen	16
6.3	Steigung.....	17
7	Schlussfolgerungen	18
7.1	Übersicht und Vergleich	18
7.2	Zusammenfassung.....	19
Anhang.....	20

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Jahr 2017 wurden in Zusammenarbeit mit der EMPA die Emissionen von verschiedenen Bustypen messtechnisch erfasst. Die Emissionen von Dieselmotoren, Hybridbussen und Trolleybussen wurden definiert. Die neusten technischen Entwicklungen umfassen batteriebetriebene Elektrobusse mit unterschiedlichen Ladekonzepten (Stecker, Zwischenladestationen oder ab Fahrleitung). Einige dieser batteriebetriebenen Elektrobusse wurden bei den VBZ bereits getestet. Aufgrund der vielen Vorteile werden batteriebetriebene Elektrobusse in Zukunft fester Bestandteil der Fahrzeugflotten der städtischen Verkehrsbetriebe sein.

1.2 Auftrag / Zielsetzung

Im Auftrag der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) und des Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) sollen die Emissionen von Elektrobusen, welche im Frühsommer 2018 im Testbetrieb bei den VBZ waren, messtechnisch erfasst werden. Um die Daten aus der Buslärmstudie 2017 zu ergänzen, resp. zwecks Vergleichbarkeit, werden die gleichen Messanordnungen angewendet. Dieser Bericht stellt somit eine Ergänzung mit den neusten Busmodellen der Buslärmstudie 2017 dar.

Die Emissionswerte werden so ermittelt und aufgearbeitet, dass sie in das zukünftige Berechnungsmodell sonROAD18 der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) integriert werden können.

2 Grundlagen

Folgende Grundlagen wurden für den vorliegenden Bericht verwendet:

- [1] ISO 11819-1, Acoustics – Methodes for measuring the influences of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical pass-by method (1997)
- [2] Lärmschutzverordnung (LSV) des Bundes vom 15. Dezember 1986
- [3] Schguanin G., Ziegler T., 2006: Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Stand: Dezember 2006, Umwelt-Vollzug Nr. 0637, Bundesamt für Umwelt, Bern. 46 S.
- [4] Anhang 1c, Leitfaden Strassenlärm (siehe [3])
- [5] Buslärmstudie: Lärmemissionen öffentlicher Verkehr, Definition von Emissionswerten, B+S AG, 31. Juli 2018

3 Messkonzept

3.1 Randbedingungen

Um die Vergleichbarkeit mit der Buslärmstudie 2017 zu gewährleisten wurden die gleichen Messbedingungen definiert. Zudem wurde ein während der Messkampagne 2017 eingesetzter Bustyp (MAN A35, Midibus) wieder vermessen.

3.2 Messanordnung

3.2.1 Allgemeine Messanordnung

Die Messanordnung wurde entsprechend den Normdistanzen [1] durchgeführt, das heisst 7.5 m seitlicher Abstand zur Busachse und 1.20 m über Boden.

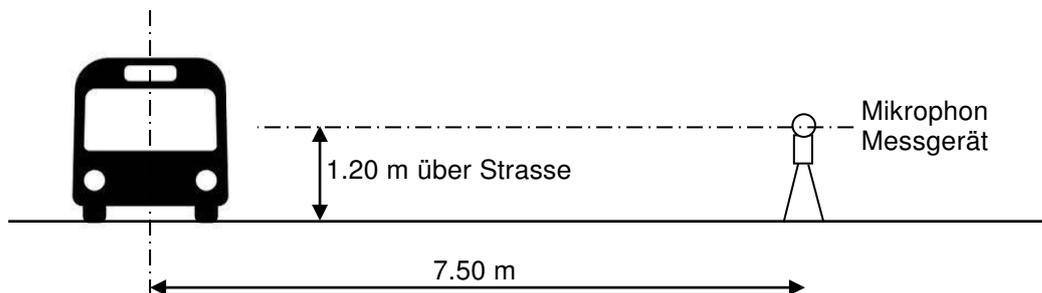


Abb. 1: Allgemeine Messanordnung

3.2.2 Messvorgang

Die Messungen wurden nachts durchgeführt, um mögliche Fremdeinflüsse und Störungen zu minimieren. Nachfolgend ist das Messprozedere erläutert:

- Nachtmessungen mit kurzfristiger Sperrung des Strassenabschnittes für den Messdurchgang.
- Konstante Geschwindigkeit des Busses, Geschwindigkeitsbereich 30, 50, und 60 km/h.
- 6-10 Messdurchgänge pro Bustyp und Geschwindigkeit mit jeweils zwei oder vier Mikrofonstandorten.
- In einer separaten Messkampagne wurden die Belageigenschaften der verwendeten Messstrecken anhand einer SEM-Messung gemäss [4] ermittelt.

3.2.3 Wesentliche Lärmquellen

Bei den Messungen der städtischen Verkehrsbusse wurde bei einer Busdurchfahrt von folgenden Lärmquellen ausgegangen:

- Motorgeräusch (Antriebsgeräusch)
- Rollgeräusch

Folgende Lärmquellen wurden mit der angewandten Messmethode nicht erfasst und sind gemäss den Erfahrungen von Busbetrieben trotzdem relevant:

- Komponenten (z.B. Lüfter) werden bei Elektrobussen vermehrt auf dem Dach platziert. Diese blasen nach oben und stören Anwohner in der zweiten oder dritten Etage.
- Bei warmem Wetter kommt es zu deutlichen Lüftergeräuschen (teilweise alternierend) von der Klimaanlage.
- Die Heizung im Winter ist nicht so laut wie die Klimaanlage.
- Die ortsfesten Aufladestationen verursachen im Betrieb teils störende Geräusche/Lärm.
- Das Aufladen des SwisstrolleyPlus an den Fahrleitungen verursacht zusätzlichen Lärm.

3.3 Messung

3.3.1 Messdatum

Die Messungen erfolgten am 12.07.2018 in der Zeitperiode von 00 bis 04 Uhr, bei trockener Witterung und rund 17°C.

3.3.2 Messstrecken

Die Messungen wurden auf einer ebenen Strecke der Emil-Klötistrasse (Abb. 2 und Abb. 4), sowie einer Steigung von 8% auf der Uetlibergstrasse (Abb. 3 und Abb. 5) in der Stadt Zürich durchgeführt.



Abb. 2: Standort Messtrecke Emil-Klötistrasse (ebener Strassenverlauf) in rot



Abb. 3: Standort Messtrecke Uetlibergstrasse (Steigung 8 %) in rot



Abb. 4: Standort Mikrophone (Dreieck) und Fahrtrichtung an der Emil-Klötistrasse



Abb. 5: Standort Mikrophone (Dreieck) und Fahrtrichtung (Pfeil) an der Uetlibergstrasse. Rot = Tal-fahrt, Blau = Berg-fahrt

	Emil-Klötistrasse	Uetlibergstrasse
Belag (Einbaujahr)	AC11 (2017)	Unbekannt (unbekannt)
Signalisierte Geschwindigkeit	60 km/h	50km/h

Tab. 1: Eigenschaften Messstandorte

3.3.3 Bustypen



SOR EBN 8, Elektromidibus

Antrieb:	120 kW-Elektromotor
Baujahr:	2015
Länge:	8 m
Anzahl Türen:	2
Leergewicht:	9 t
Sitzplätze:	16



MAN A35, Midibus

Antrieb:	Diesel
Baujahr:	2011
Länge:	10 m
Anzahl Türen:	2
Leergewicht:	10 t
Sitzplätze:	23



Volvo 7900 EH, Elektrohybridstandardbus

Antrieb:	150kW-Elektro, 175 kW-Diesel
Baujahr:	2015
Länge:	12 m
Anzahl Türen:	3
Leergewicht:	13 t
Sitzplätze:	33
Bemerkung:	Ladung 3.6 t Sandsäcke



Caetano, Elektrostandardbus

Antrieb:	160 kW-Elektromotor
Baujahr:	2016
Länge:	12 m
Anzahl Türen:	3
Leergewicht:	12 t
Sitzplätze:	35



SwisstrolleyPlus, Gelenkbus mit Batterie

Antrieb: 2x152kW-Elektromotor
 Baujahr: 2016
 Länge: 18 m
 Anzahl Türen: 4
 Leergewicht: 19 t
 Sitzplätze: 42
 Bemerkung: eingehauste Räder

3.3.4 Messequipment

Die Messungen wurden mit 4 Messgeräten durchgeführt. Gerätetyp und die entsprechenden Seriennummern sind in der Tab. 2 aufgeführt.

	Gerät 1	Gerät 2	Gerät 3	Gerät ZH
Sound Analyser Norsonic 140	1402959	1404537	1407061	1404615
Vorverstärker Norsonic 1209	12474	13861	21562	14142
Mikrofonkapsel Norsonic 1225	79565	128788	271135	271172

Tab. 2: Gerätetyp und Serie-Nummern der verwendeten Messgeräte

Sämtliches bei den Messungen verwendetes Equipment ist amtlich geprüft. Die Messgeräte wurden vor und nach den Messungen akustisch kalibriert (akustischer Kalibrator Norsonic 1251-1kHz, 114dB, Serie-Nr. 31046 und Serie-Nr. 33098).

3.3.5 SEM-Messung

Da bei beiden Messstandorten keine Belagsgütemessungen vorhanden waren, wurden SEM-Messungen gemäss den Weisungen des Anhangs 1c des Leitfadens Strassenlärm [4] durchgeführt.

Das SEM-Verfahren ist ein vereinfachtes nicht normiertes Verfahren. Gemessen wird strassennah der Leq der auf allen Fahrspuren verkehrenden Fahrzeuge, bei gleichzeitiger Verkehrszählung (analog Immissionsmessungen).

Die Auswertung der SEM-Messungen (siehe Anhang 1) ergeben folgende Belagskennwerte (kB):

Standort	Belag	Einbaujahr	kB gemäss SEM-Messung
Emil-Klötistrasse	AC11	2017	-5 dB(A)
Uetlibergstrasse	unbekannt	unbekannt	+2 dB(A)

3.4 Methodik + Berechnungsschritte

Nachfolgend werden kurz die einzelnen Berechnungsschritte aufgezeigt:

SEM-Messungen

- Messtechnische Erhebung gemäss Anhang 1c Leitfaden Strassenlärm
- Normalisierung auf Leq/h unter Berücksichtigung der effektiv gefahrenen Geschwindigkeit
- Modellrechnung mithilfe des stündlichen Messverkehrs in den Berechnungstools sonRoad18 und StL-86+ unter Berücksichtigung der signalisierten Geschwindigkeit und Steigung sowie mit einem neutralen Belag (sonRoad18: ACMR8).
- Vergleich normalisierter Leq/h mit Modellrechnung und Definition Belagskorrektur für die beiden Messtrecken

Emissionsmessungen

- Messtechnische Erhebung gemäss Kap. 3.2.1
- Umrechnung der Messergebnisse in den Quellenwert:
 - Pro Messort, Belagstyp, Geschwindigkeit und Bustyp wird aus den Expositionspelmessungen das energetische Mittel des LE (LEm) in dB(A) gebildet
 - Umrechnung des gemittelten Schallexpositionspiegels (LEm) in einen energieäquivalenten Dauerschallpegel unter Berücksichtigung der Messzeit (T)
 - Bildung des stundenbezogenen energieäquivalenten Dauerschallpegel (Leqh)
 - Bildung des sogenannte Quellenwert für $d = 1.0$ m (eine Busdurchfahrt pro Stunde in 1m Abstand)
 - Definition Quellenwert unter Berücksichtigung der ermittelten Belagskorrektur

4 Vergleich Messkampagnen 2017 und 2018

4.1 Übersicht

Zwecks Vergleichbarkeit resp. Kontrolle wurde ein während der Messkampagne 2017 eingesetzter Bustyp (MAN A35, Midibus) wieder vermessen. Die Messwerte 2017 des MAN A35 weisen eine gute Übereinstimmung mit der Messung 2018 auf (siehe Tab. 3)

Messjahr	kB	Quellenwert Leqh 1m ab Achse			Normalisiert Leqh 1m ab Achse		
		30 km/h	50 km/h	60km/h	30 km/h	50 km/h	60km/h
2017	1.5	47.4	50.6	52.5	45.9	49.1	51.0
2018	-5	41.2	43.1	45.1	46.2	48.1	50.1
		Differenz (2017-2018)			-0.3	1.0	0.9

Tab. 3: Vergleich Messungen 2018 des Bustyp MAN A35 mit dem Messungen aus 2017 (Anhang 4, Buslärmstudie 2017 [5])

4.2 Spektrale Betrachtung der beiden Messkampagnen

Die Spektren des zeitunabhängigen LE in dB der Messungen des MAN A35 sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Messanordnung der beiden Messkampagnen ist identisch.

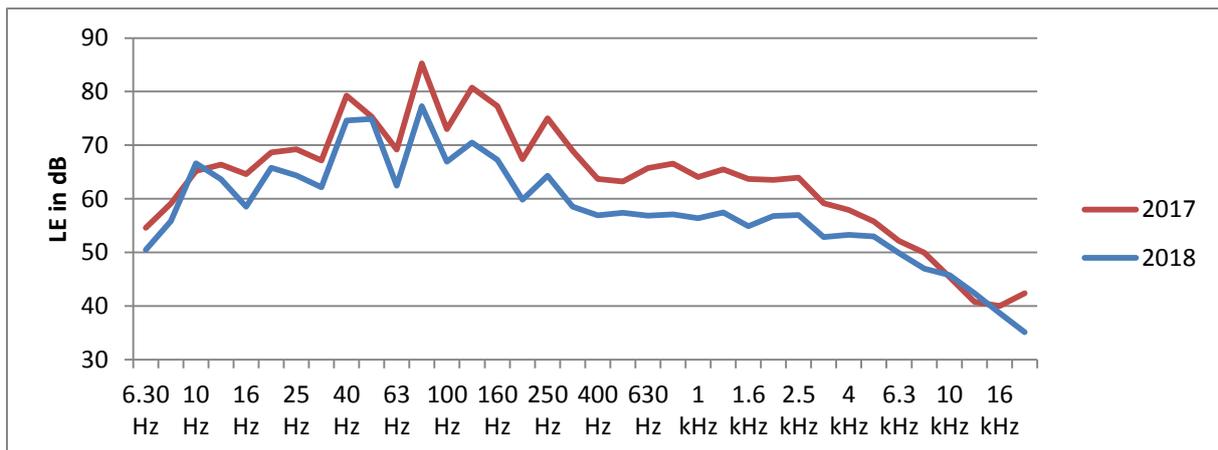


Abb. 6: Frequenzspektrum des MAN A35 bei 30 km/h im Vergleich der beiden Messkampagnen

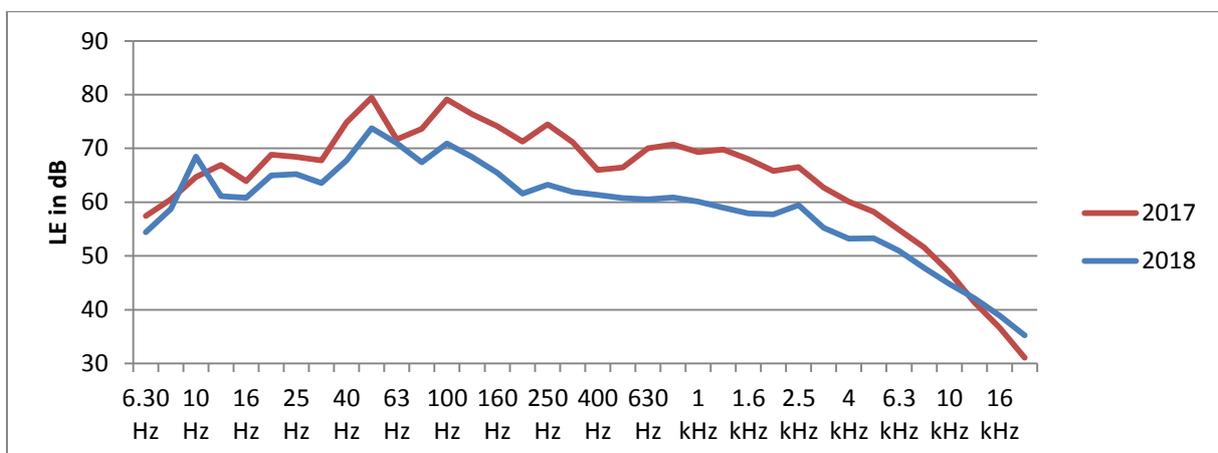


Abb. 7: Frequenzspektrum des MAN A35 bei 50 km/h im Vergleich der beiden Messkampagnen

Fazit

- Anlässlich der Messkampagne 2017 zeigte sich, dass der Frequenzverlauf "Bustyp-abhängig" ist und für die verschiedenen Beläge einen identischen resp. ähnlichen Verlauf der Spektren zeigt.
 - Die Messkampagne 2017 zeigte bei tiefen Geschwindigkeiten in der Tendenz eine bessere Belagswirkung resp. die Pegeldifferenzen sind bei tiefen Geschwindigkeiten in der Tendenz höher.
 - Der Vergleich des Quellenwerts des während der Messkampagne 2017 eingesetzten Bustyp (MAN A35, Midibus) zeigt - unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit - eine gute Übereinstimmung mit den Messungen 2018.
- ☞ Aus den oben genannten Gründen wird in der vorliegenden Messkampagne die aus den SEM-Messungen ($v= 50$ resp. 60km/h) ermittelte Belagskorrektur für alle Geschwindigkeitsmodi angewendet.

5 Messergebnisse

5.1 Busdurchfahrten ebene Strecke

Die berechneten Quellenwerte der Busdurchfahrten an der Emil-Klötistrasse sind Tab. 4 dargestellt. Diese zeigt die korrigierten (bzw. normalisierten) Quellwerte, welche gemäss StL-86+ auf einen akustisch neutralen Belag (Belagskennwert = 0) korrigiert wurden, indem der Belagskennwert des jeweiligen Asphaltes (siehe Kapitel 3.3.5) berücksichtigt wurde. Dadurch sind die Quellenwerte untereinander vergleichbar.

Marke	Kat.	kB	Quellenwert Leqh 1m ab Achse			Normalisiert Leqh 1m ab Achse		
			30 km/h	50 km/h	60km/h	30 km/h	50 km/h	60km/h
SOR EBN 8	Midibus	-5	38.3	44.1	46.4	43.3	49.1	51.4
Volvo 7900 EH*	Standardbus	-5	38.3	42.6	45.4	43.3	47.6	50.4
Caetano	Standardbus	-5	36.8	42.1	45.3	41.8	47.1	50.3
SwisstrolleyPlus	Gelenktrolley	-5	40.9	45.4	47.8	45.9	50.4	52.8
MAN 35A	Diesel, Midibus	-5	41.2	43.1	45.1	46.2	48.1	50.1

* Beladen mit 3.6 t Sandsäcken

Tab. 4: Übersicht Quellenwerte sowie normalisierte Werte der batteriebetriebenen Busse bei der Emil-Klötistrasse, Angaben in dB(A) (kB = Belagskorrektur)

5.2 Steigung

An der Uetlibergstrasse wurde die Berg- und Talfahrt auf einer Strecke mit einer Steigung von 8% gemessen. Bei der Talfahrt wurden die Durchfahrten mit den Geschwindigkeiten 30 und 50 km/h messtechnisch erfasst. Bei der Bergfahrt konnten nur die Fahrten mit einer Geschwindigkeit von 30km/h gemessen werden, da die Motorleistung nicht ausreichte.

Marke	Kat.	kB	Quellenwert Leqh 1m ab Achse			Normalisiert Leqh 1m ab Achse		
			Bergfahrt 30 km/h	Talfahrt 30 km/h	Talfahrt 50 km/h	Bergfahrt 30 km/h	Talfahrt 30 km/h	Talfahrt 50 km/h
SOR EBN 8	Midibus	2	47.1	41.9	47.9	45.1	39.9	45.9
Volvo 7900 EH*	Standardbus	2	49.2	41.8	48.3	47.2	39.8	46.3
Caetano	Standardbus	2	45.7	42.8	47.4	43.7	40.8	45.4
SwisstrolleyPlus	Gelenktrolley	2	49.3	44.7	50.8	47.3	42.7	48.8

* Beladen mit 3.6 t Sandsäcken

Tab. 5: Übersicht der normalisierten Quellenwerte der batteriebetriebenen Busse an der Steigung Uetlibergstrasse, alle Angaben in dB(A) (kB = Belagskorrektur)

6 Auswertung der Messungen

Für sämtliche Vergleiche von Emissionen wurden die auf einen neutralen Belag normalisierten Quellenwerte (Leq/h in 1 m ab Achse) verwendet.

6.1 Pegelveränderungen / Lärmwirkung

In den folgenden Kapitel werden die Pegelveränderungen in dB(A) dokumentiert. Das Schallempfinden des menschlichen Gehörs ist einerseits stark frequenzabhängig andererseits von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Die subjektive Beurteilung von Schalldruckpegelveränderungen - basierend auf momentanen Schalldruckpegeln - wird gemäss Literatur oft wie folgt beschrieben:

Delta	Beschreibung der Wahrnehmung
<2 dB(A)	nicht wahrnehmbar
2 – 4 dB(A)	gerade wahrnehmbar, kleine Veränderungen
5 – 10 dB(A)	deutlich wahrnehmbare Veränderung
11 – 19 dB(A)	grosse und überzeugende Veränderung
> 20 dB(A)	überaus grosse und überzeugende Wahrnehmung

Gemäss aktueller Rechtsprechung gilt als wahrnehmbar die Veränderung des Beurteilungspegels um 1 dB(A).

Die beschriebene Beurteilung kann jedoch nicht ohne weiteres auf die Differenz beim Leq (Mittelungspegel) übertragen werden. Sind doch für die Wahrnehmbarkeit nebst der effektiven Leq-Differenz auch die Veränderungen des Maximalpegels sowie allfällige Verschiebungen des Frequenzbereiches massgebend. Ausserdem entspricht eine Verdoppelung des Schalldruckpegels einer Zunahme um 3 dB(A), was gemäss Literatur für das menschliche Ohr eine kleine Veränderung des Lärmpegels darstellt.

6.2 Busdurchfahrten ebene Strecke

Im Vergleich zu den in der Buslärmstudie 2017 untersuchten Bustypen sind die Emissionen der batteriebetriebenen Busse alle zwischen 0 und 4 dB(A) geringer als die des leisesten Busses der Messkampagne 2017 (Hybridbus Volvo 7900 H).

6.2.1 Messungen 2018

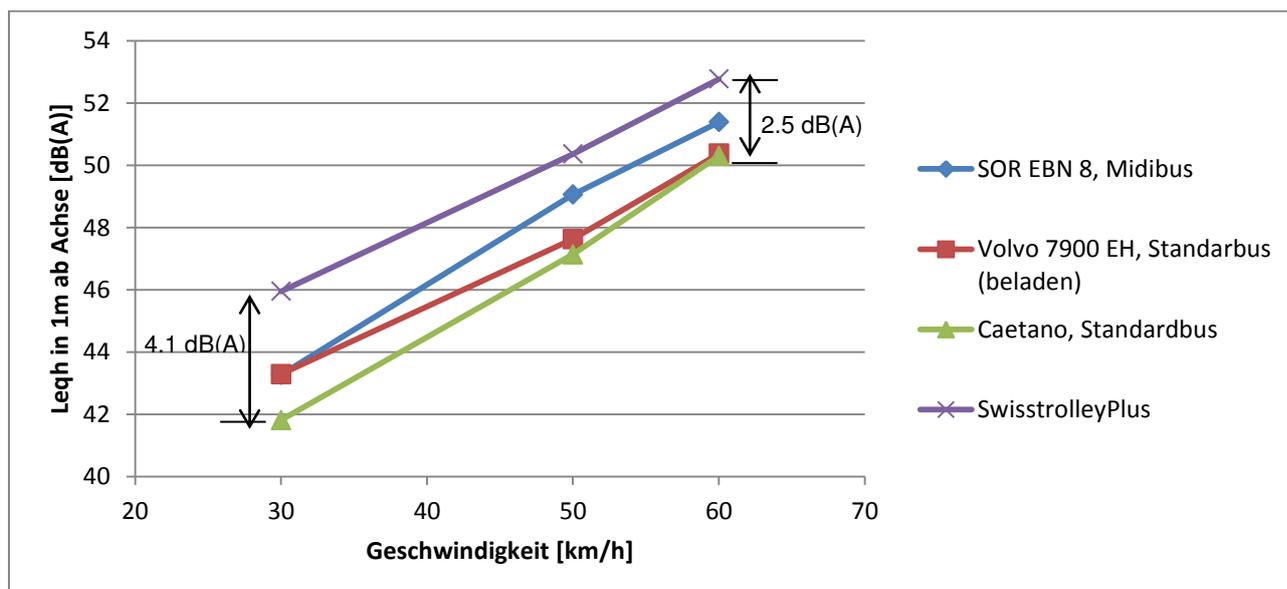


Abb. 8: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der während der Messkampagne 2018 gemessenen batteriebetriebenen Busse

Kommentar

- Standardbusse: Bei tiefen Geschwindigkeiten emittiert der Volvo rund 2 dB(A) mehr als der Caetano
- Midibus: Der SOR EBN 8 (8 m lang) emittiert rund 1 dB(A) mehr als die beiden Standardbusse (12 m lang), alle Fahrzeuge weisen 2 Achsen auf.
- Gelenktrolley: Der SwisstrolleyPlus weist die höchsten Emissionen aus und ist um 3 – 4 dB(A) lauter als der leiseste Bus (Caetano).
- Elektrohybridbus: Der Volvo 7900 EH weist bei Geschwindigkeit 60km/h rund 2 dB(A) weniger, und bei Geschwindigkeit 30 km/h gleich viel wie der elektrische Midibus aus.

6.2.2 Standardbusse: Vergleich Diesel- und Elektroantrieb

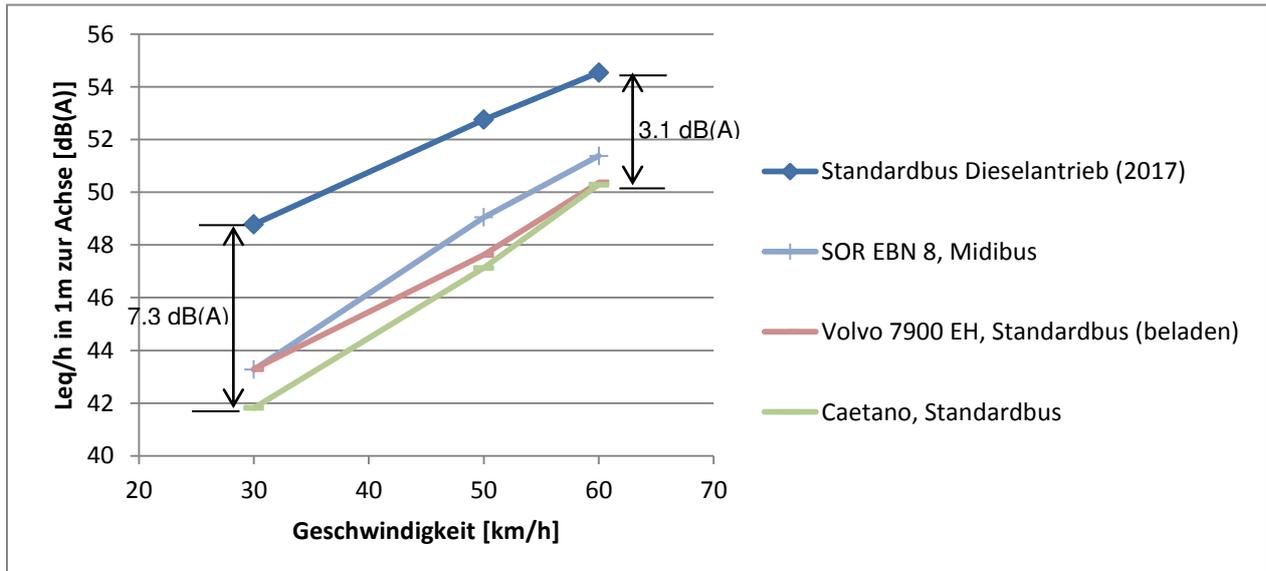


Abb. 9: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Standardbusse mit Diesel-, Elektro- oder Elektrohybridantrieb. Standardbus Dieselantrieb = Durchschnitt aller im 2017 vermessenen Busse des gleichen Bus-types.

Kommentar

Die Emissionen der Elektrobusse sind zwischen 3 und 7 dB(A) tiefer als der Diesel-Standardbus. Sie haben insbesondere bei tieferen Geschwindigkeiten sehr grosse Vorteile.

6.2.3 Hybridbusse: Vergleich Hybridantrieb mit Elektrohybridantrieb

Sowohl der im 2017 vermessene Hybrid-Gelenkbus (Volvo 7900 LAH) wie auch der Elektrohybridbus (Volvo 7900 EH) werden jeweils durch einen 175 kW-Diesel- und 150kW-Elektromotor angetrieben.

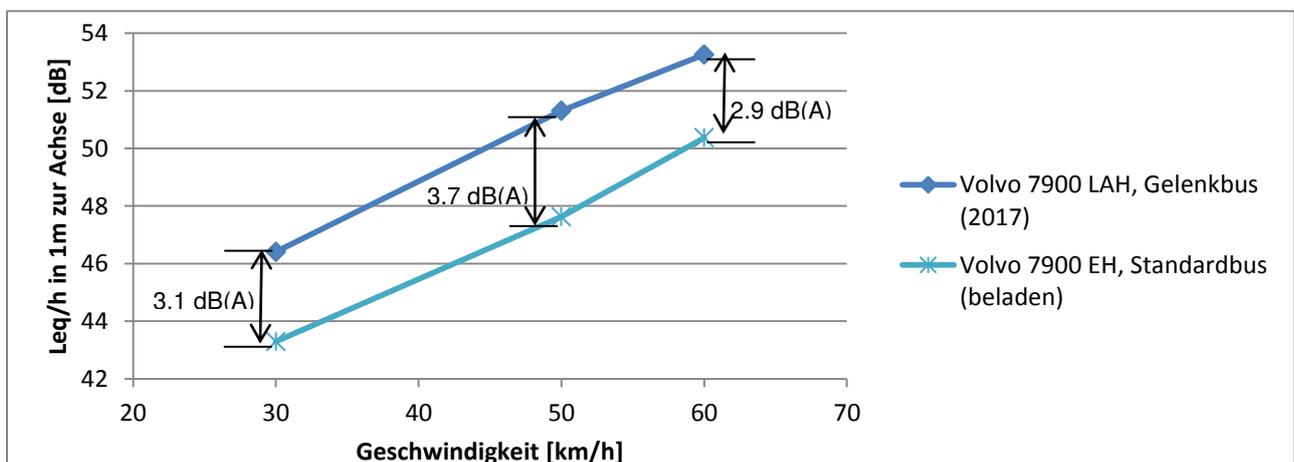


Abb. 10: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Hybridbusse

Kommentar

Der Hybrid-Gelenkbus ist bei 30 und 60 km/h rund 3 dB(A) und bei 50 km/h rund 4 dB(A) lauter als der Elektrohybridbus.

6.2.4 Gelenktrolleybusse mit und ohne Gebrauch der Fahrleitungen

Während den Messfahrten fuhr der SwisstrolleyPlus ohne Fahrleitungen. Im Vergleich zu den normalen Gelenktrolleybussen, verfügt der SwisstrolleyPlus über deutlich grössere Batterien, so dass er auf Streckenabschnitten ohne Fahrleitungen mit Elektromotor fahren kann.

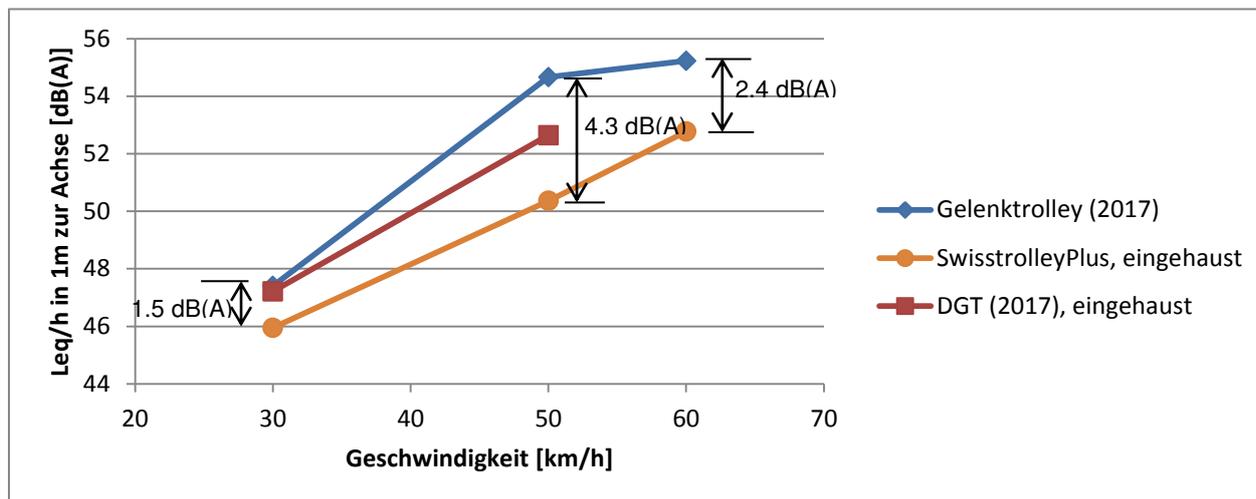


Abb. 11: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit verschiedener Trolleybusse (DGT=Doppelgelenktrolley)

Kommentar

Die Emissionen des SwisstrolleyPlus sind bei 30 km/h rund 1.5 dB(A) tiefer als beim Gelenktrolley (beide 3-achsig). Bei 50km/h sind die Emissionen des SwisstrolleyPlus 4 dB(A) geringer, bei 60 km/h gut 2 dB(A).

Bemerkung: Die Emissionsunterschiede zwischen den Gelenktrolley und dem SwisstrolleyPlus liegen vermutlich einerseits an ihrem unterschiedlichen Antrieben: Der SwisstrolleyPlus hat zwei wassergekühlte Dauermagnet-Synchron-Zentralkmotoren mit je 152 kW Antriebsleistung. Die im 2017 vermessenen Gelenktrolleys haben jeweils 2 fremdbelüftete Drehstrom-Asynchronmotoren, Nennleistung 2 x 120 kW.

Andererseits könnten auch die eingehausten Räder des SwisstrolleyPlus und des Doppelgelenktrolleys ein Grund sein, warum die Emissionen bei höheren Geschwindigkeiten geringer sind als beim Gelenktrolley: Ab einer Geschwindigkeit von 30km/h werden die Rollgeräusche dominanter und beeinflussen die Emissionen bei 50 km/h stärker als bei 30 km/h.

6.3 Steigung

Die Unterschiede Bergfahrt und Talfahrt im Vergleich mit einer Durchfahrt bei 30 km/h sind in Abb. 12 ersichtlich.

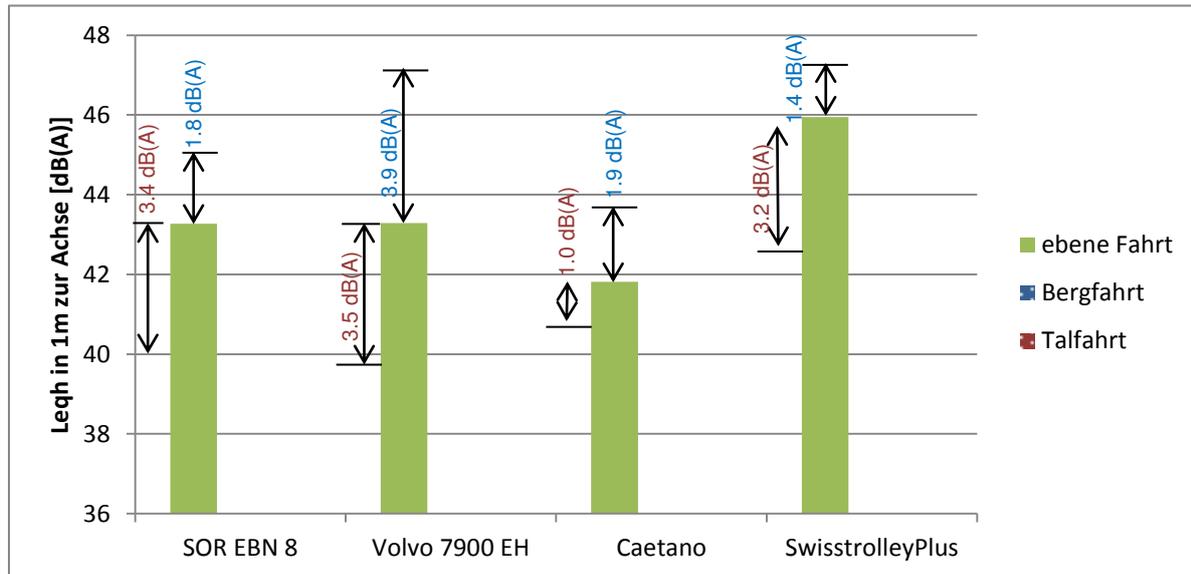


Abb. 12: Emissionen bei einer Durchfahrt mit 30 km/h auf der Ebene sowie Berg- und Talfahrt

Kommentar

Die Emissionen einer Talfahrt sind bei batteriebetriebenen Bussen im Mittel ca. 3 dB(A) tiefer als bei einer Durchfahrt auf flacher Strecke. Die Ausnahme bildet der Caetano, welcher nur 1 dB(A) tiefer ist.

Bemerkung: Der Caetano scheint einen besonders leisen Antrieb zu haben, auch der Unterschied Berg- und Talfahrt ist am kleinsten.

Die Emissionen einer Bergfahrt sind bei batteriebetriebenen Bussen im Mittel ca. 2 dB(A) höher als eine Durchfahrt auf flacher Strecke. Ausnahme bildet der beladene Volvo 7900 EH (+4 dB(A)).

Bemerkung: Die im Vergleich zu den batteriebetriebenen Bussen hohen Emissionen des Volvo 7900 EH bei der Bergfahrt sind auf seine Beladung zurückzuführen, da der (laute) Dieselmotor in vollem Einsatz war.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Übersicht und Vergleich

Alle untersuchten batteriebetriebenen Busse sind bei einer Durchfahrt mit 30, 50 oder 60 km/h deutlich leiser als Busse mit Dieselantrieb, Hybridantrieb, sowie "normale" Trolleybusse. Dies ist in folgender Tabelle ersichtlich (alle Werte beschreiben den Quellenwert auf einem neutralen Belag).

Jahr Messkam- pagne	Bustyp / -kategorie	Emission einer Durchfahrt Quellenwert (Leqh in 1 m ab Achse) in dB(A)		
		30 km/h	50 km/h	60 km/h
2018	Standardbus batteriebetriebener Bus (Caetano)	42	47	50
2017	<i>Dieselantrieb</i>	49	53	55
2018	Elektrohybridbus (2 Achsen)	43	48	50
2017	<i>Hybridbus (3 Achsen)</i>	46	51	53
2018	Trolley SwisstrolleyPlus	46	50	53
2017	<i>Gelenktrolley</i>	48	55	56

Tab. 6: Übersicht Emissionen einer Durchfahrt von batteriebetriebenen Bussen im Vergleich mit herkömmlichen Bussen. (Hintergrundfärbung hell = Messkampagne 2018, dunkel = Messkampagne 2017 aus Tabelle 11, für Hybridbus aus Anhang 4 von [5])

In der Steigung (8 %) fallen die Messresultate im Vergleich zu 2017 ebenfalls leiser aus. Wie in Tab. 7 ersichtlich, liegen die Unterschiede Berg-/Talfahrt bei der Messkampagne 2018 zwischen 4 und 7 dB(A) (beim leisen Caetano sind es nur 2 dB(A)). Bei den im 2017 vermessenen Diesel- und Hybridbussen lag die Differenz zwischen 2 und 3 dB(A) und bei den Trolleybussen wies die Tal- und Bergfahrt gleiche Emissionen aus.

Jahr Mess- kampa- gne	Bustyp / -kategorie	Emission Flache Stre- cke 30 km/h	Emission Bergfahrt 30 km/h		Emission Talfahrt 30 km/h	
		Quellenwert Lqr	Quellenwert (Leqh in 1 m ab Achse) Lqr	Bemerkung	Quellenwert (Leqh in 1 m ab Achse) Lqr	Bemerkung
2018	SOR EBN 8, Midibus	43	45	+2 dB(A)	40	- 3 dB(A)
2018	Caetano, Standardbus	42	44	+2 dB(A)	41	- 1 dB(A)
2017	<i>Diesel, Gelenkbus</i>	49	53	+4 dB(A)	51	+ 2 dB(A)
2018	Volvo 7900 EH	43	47	+4 dB(A)	40	- 3 dB(A)
2017	<i>Hybridbus</i>	46	50	+4 dB(A)	48	+ 2 dB(A)
2018	SwisstrolleyPlus	46	47	+ 1 dB(A)	43	- 3 dB(A)
2017	<i>Gelenktrolley</i>	48	48	+ 0 dB(A)	48	+ 0 dB(A)

Tab. 7: Übersicht Emissionen Bergfahrt und Talfahrt im Vergleich mit einer Durchfahrt auf flacher Strecke bei batteriebetriebenen Bussen. (Hintergrundfärbung hell = Messkampagne 2018, dunkel = Messkampagne 2017 aus Tabelle 12 in [5])

7.2 Zusammenfassung

Im Jahr 2017 wurden in Zusammenarbeit mit der EMPA die Emissionen von verschiedenen Bustypen messtechnisch erfasst. Die Messungen zeigten, dass grosse Unterschiede in den Emissionswerten zwischen den einzelnen Bustypen vorhanden sind.

Mit den vorliegenden Messungen wurden Messdaten von batteriebetriebenen Bussen gewonnen. Basierend deren Auswertungen sowie unter Berücksichtigung der Studie 2017 [5] resultieren folgende wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse:

- Bezüglich ihrer Lärmemissionen sind Hybridbusse deutlich vorteilhafter, sprich leiser als dieselbetriebene Busse
- Bezüglich ihrer Lärmemissionen sind batteriebetriebene Busse deutlich vorteilhafter als dieselbetriebene Busse oder Hybridbusse
- Bei tiefen Geschwindigkeiten sowie in der Berg- resp. Talfahrt akzentuieren sich die Vorteile der batteriebetriebenen Bustypen.

Fazit

Für den Einsatz im innerstädtischen Bereich (insbesondere durch Wohnquartiere) stellen batteriebetriebene Busse eine optimale Variante für städtische Verkehrsbetriebe dar.

Bern, 11.12.2018

B+S AG

Bernhard Kindler
Projektleiter

A. Klauser
Berichtverfasserin

Anhang

Anhang 1 SEM-Messungen

SEM-Messung

Im August 2018 wurden an den beiden folgenden Standorten in der Gemeinde Zürich SEM-Messungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten gemäss Leitfaden Strassenlärm, Anhang 1c.

Die beiden Messstandorte weisen folgende Eigenschaften auf.

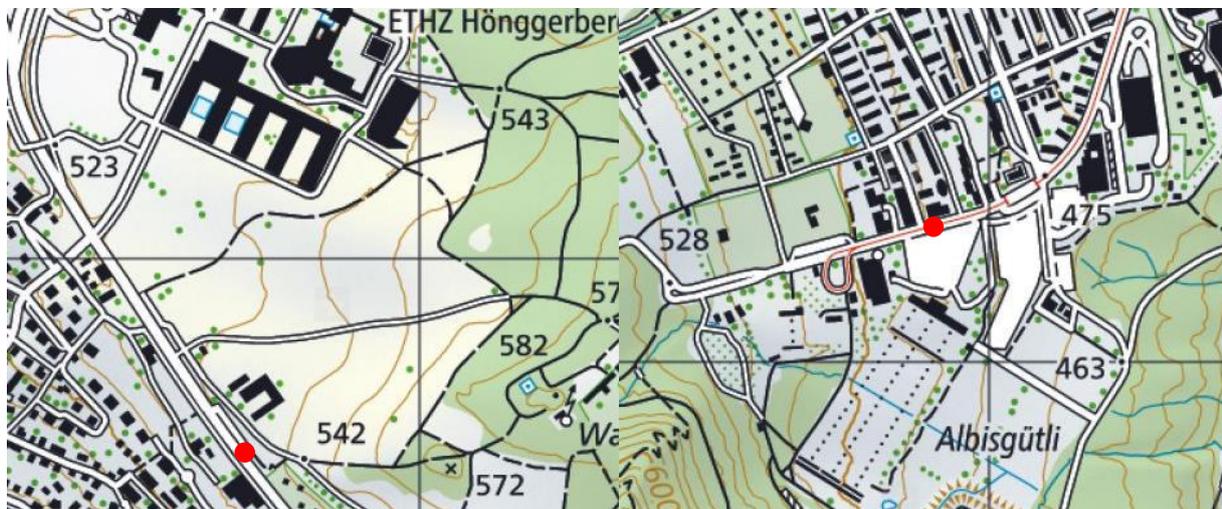


Abb. 1: Standort Messung Emil-Klötistrasse (ebener Strassenverlauf) in rot

Abb. 2: Standort Messung Uetlibergstrasse (Steigung 8%) in rot

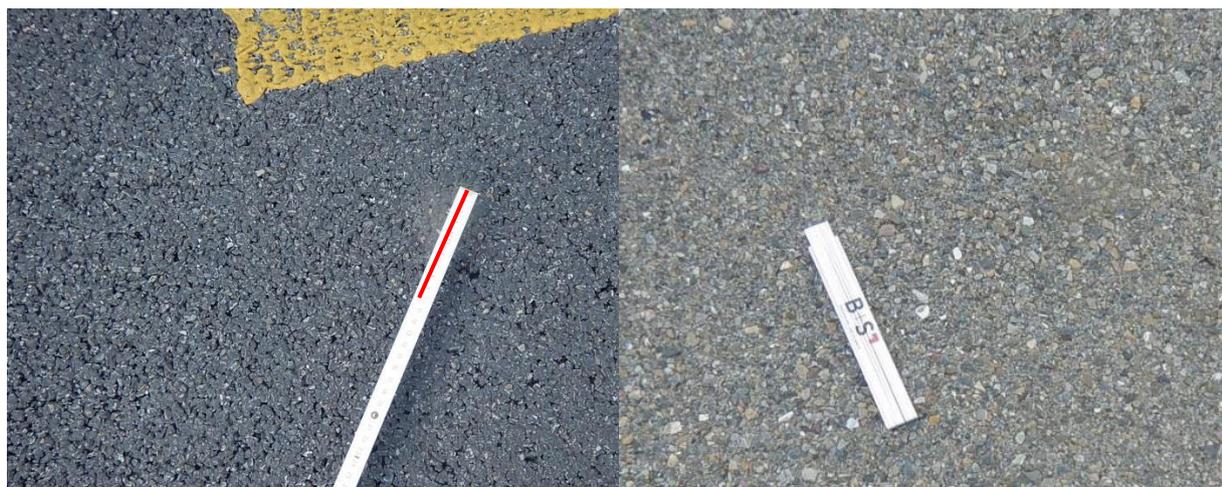


Abb. 3: Belag Emil-Klötistrasse (rot = 10cm)

Abb. 4: Belag Uetlibergstrasse

Standortangaben

	Emil-Klötistrasse	Uetlibergstrasse
Koordinaten Mikrofonstandort	680'731/250'692	680'904/245'214
Belagstyp	AC11	unbekannt
Einbaujahr	2017	unbekannt
Messdatum	14.08.2018	14.08.2018
Zeit der Messung	10:14 Uhr	11:58 Uhr
Distanz Mikrofon - Strassenachse	10 m	7.5 m
Höhe des Mikrofons	2 m	2 m
Witterung	trocken	trocken

Messresultate

	Emil-Klötistrasse	Uetlibergstrasse
Total Fahrzeuge	224	200
Anzahl PW	201	179
Anzahl laute Fahrzeuge (% an Total Fahrzeuge)	23 (10.3%)	21 (10.5%)
Messzeit	35 min	114 min
Signalisierte Geschwindigkeit	60 km/h	50 km/h
Gefahrene Geschwindigkeit	60 km/h	45 km/h
Messresultat (Leq/h) in 10 resp. 7.5 m Abstand	61.9 dB(A)	59.0 dB(A)
Quellenwert* (Leq/h in 1 m ab Achse)	71.9 dB(A)	68.3 dB(A)**

*Der Quellenwert wurde unter Berücksichtigung des jeweiligen Abstandes berechnet

**inkl. Korrektur von +0.5 dB aufgrund der Differenz gefahrene und signalisierte Geschwindigkeit

Messverkehr (normalisiert auf 1 Stunde) und berechnete Quellenwerte

Mit dem Seitenradar wurde die Anzahl PW, Busse, LKW und Motorräder erfasst.

	Emil-Klötistrasse	Uetlibergstrasse
Total Fahrzeuge	384	105
Anzahl PW (Kat. 5):	345	47 / 47*
Anzahl LKW (Kat. 8)	13	2 / 3*
Anzahl Busse (Kat. 1)	16	-
Anzahl Motorräder (Kat. 2)	10	3 / 3*
Leq/h gemäss SonRoad18 (ACMR8-Belag)	75.5 dB(A)	66.5 / 66.2 → energetisches Mittel 66.4 dB(A)
Leq/h gemäss StL-86+	76.7 dB(A)	70.0 dB(A)

* Bergfahrt (Steigung 8%) / Talfahrt (Steigung -8%)

Vergleich Messresultate mit StL-86+ bzw. sonRoad18

Um den Belagskennwert zu ermitteln, wurde bei der Emil-Klötistrasse auf den Wert des STL-86+ zurückgegriffen (aufgrund guter Übereinstimmung mit Messkampagne 2017), bei der Uetlibergstrasse aufgrund der Steigung auf den Wert des sonRoad18.

	Emil-Klötistrasse	Uetlibergstrasse
Quellenwert der Messung	71.9 dB(A)	68.3 dB(A)
StL-86+ Quellenwert	76.7 dB(A)	70.0 dB(A)
SonRoad18 Quellenwert	75.5 dB(A)	66.4 dB(A)
Differenz Messung – StL-86+/SonRoad	- 4.8 dB(A)	1.9 dB(A)
Belagskennwert	- 5 dB(A)	+ 2 dB(A)

Bern, 05.12.2018, A. Klausner / B. Kindler