



Lärmwirkung von Tempo 30 bei LKW Abschlussbericht

Ihre Kontaktperson: Sebastian Egger
sebastian.egger@grolimund-partner.ch, D 031 356 32 26

BAFU
A5105
22. Januar 2019

Impressum

Projektteam

Sebastian Egger (G+P AG)
Erik Bühlmann (G+P AG)
Sarah Stéhly (BAFU)
Emanuel Hammer (G+P AG)
Toni Ziegler (G+P AG)

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	01.10.2018	se, eb	1. Version	Sarah Stéhly (BAFU)
V 2.0	22.01.2019	se, eb	2. Version	Sarah Stéhly (BAFU)

Inhalt

1. Einführung und Rahmen	4
1.1 Ausgangslage & Projektkontext.....	4
2. Methoden.....	5
2.1 Messstandorte	5
2.2 Ermittlung der statistischen Emissionen	10
2.3 Belagskorrektur.....	12
2.4 Pegelkriterium und Flankenkorrektur	12
3. Ergebnisse	14
3.1 Ergebnisse der Vorbeifahrtmessungen SPB	14
3.2 Geschwindigkeitsabhängigkeit.....	14
3.3 Validierung des Emissionsansatzes VSS 2012/214	17
4. Fazit	20

Anhang

I Fahrzeugkategoriespezifischer Vergleich mit dem Emissionsmodell CNOSSOS	21
II Untersuchung des Einflusses der Anzahl Achsen auf die Lärmwirkung.....	22

1. Einführung und Rahmen

1.1 Ausgangslage & Projektkontext

Mit dem Forschungsprojekt VSS 2012/214 *Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30* wurde erfolgreich der Grundstein für die Abschätzung der Lärmwirkung von Tempo 30 gelegt. Der Fokus der im Projekt durchgeführten Erhebungen lag auf der Fahrzeugkategorie Personenfahrzeuge. Der Anteil an LKW und lauten Fahrzeugen (Kategorie N2 nach Lärmschutzverordnung, LSV 1986) wurde im Forschungsprojekt VSS 2012/214 als wichtige Einflussgrösse für die Wirksamkeit von Tempo 30 Situationen erkannt. Im Rahmen des Projektes konnten die Geräuschemissionen von Lastwagen jedoch lediglich mithilfe des europäischen Emissionsmodells CNOSSOS abgebildet werden, welches keinen direkten Bezug zu den in der Schweiz verkehrenden lauten Fahrzeugen (z.B. Verteillastwagen, Lieferwagen, Roller o.ä.) herstellt.

Mit dem vorliegenden Bericht sollen die bereits vorhandenen Grundlagen zur Lärmwirkung von Tempo 30 mit der Emissionscharakteristik der typischerweise in der Schweiz verkehrenden Lastwagen und lauten Fahrzeuge ergänzt werden. Das BAFU bezweckt Erhebungen der Lärmwirkung von Tempo 30 mit einem Fokus auf LKW auf einer Reihe von unterschiedlichen Strassenabschnitten mit hohen Anteilen von LKW und lauten Fahrzeugen (Fahrzeugkategorie N2), inklusive einer Validierungsmessungen zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der entwickelten Methode durchzuführen. Die Messungen sollen sowohl tagsüber als auch nachts durchgeführt werden. Der zu entwickelnde Emissionsansatz für LKW und laute Fahrzeuge soll auf geeignete Weise in Bezug zur Quellenformulierung des Projektes VSS 2012/214 gestellt werden.

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Lärmemissionscharakteristik von LKW und lauten Fahrzeugen aufgrund der ortspezifischen Zusammensetzung der Fahrzeugtypen stark variiert (Situation Stadt mit Verteillastwagen als dominierender Typ N2 ≠ Situation Land mit hauptsächlich Kipern als dominierender Typ N2). Für eine Reihe solcher unterschiedlicher Situationen sollen separate Erhebungen durchgeführt werden um die Emissionscharakteristik der verkehrenden Fahrzeugflotte statistisch zu ergründen. Die Ausarbeitung eines spezifischen Ansatzes ist aufgrund der gesammelten Daten im Anschluss zu prüfen. Da es sich bei der Fahrzeugkategorie N2 um eine bezüglich Lärmemissionen sehr heterogene Fahrzeugkategorie handelt, wird der statistischen Ermittlung der Emissionscharakteristik gegenüber der Durchführung von kontrollierten Messungen an einzelnen Fahrzeugen den Vorrang gegeben.

Die Emissionscharakteristik von Bussen wird im Rahmen einer anderweitigen Studie (Studie *Lärmemissionen öffentlicher Verkehr*) untersucht und ist daher nicht Bestandteil des vorliegenden Berichts.

2. Methoden

2.1 Messstandorte

2.1.1 Vorgehen bei der Evaluation potentieller Messstandorte

Die Anforderungen an Messstandorte sind neben freiem Verkehrsfluss ein hoher Anteil an schweren und lauten Fahrzeugen N2 bzw. dem dominanten Untersuchungsfahrzeugtyp. Da es kaum realisierte Tempo 30 Zonen mit diesen Anforderungen gibt, empfiehlt sich eine Durchführung in Situationen mit signalisiertem Tempo 50. Der Fokus der Standortselektion richtet sich auf Schweizer Städte, um das spezifische Fahrverhalten im Geschwindigkeitsbereich zwischen ca. 20 und 60 km/h detailgetreu statistisch zu erfassen. Die Standortauswahl wird einen breiten nationalen Abdeckungsgrad erzielen, um mögliche regionale Unterschiede im Fahrverhalten zu erfassen und den Anforderungen eines nationalen Forschungsprojektes zu genügen. Bei der Selektion der Standorte für die Messkampagne wird weiterhin das Vorkommen bestimmter Fahrzeugtypen der Kategorie N2 berücksichtigt, um die Bandbreite in der Schweiz verkehrender lauter Fahrzeuge repräsentativ abzudecken. Die Standorte werden so selektiert, dass eine möglichst repräsentative und breit angelegte statistische Stichprobe gemäss der oben beschriebenen Anforderungen erfasst werden kann, d.h. Standorte mit einer signalisierten Geschwindigkeit von max. 50 km/h, mit hohem DTV, grossem N2- Anteil und dichtem, aber stetig fließendem Verkehr werden bevorzugt.

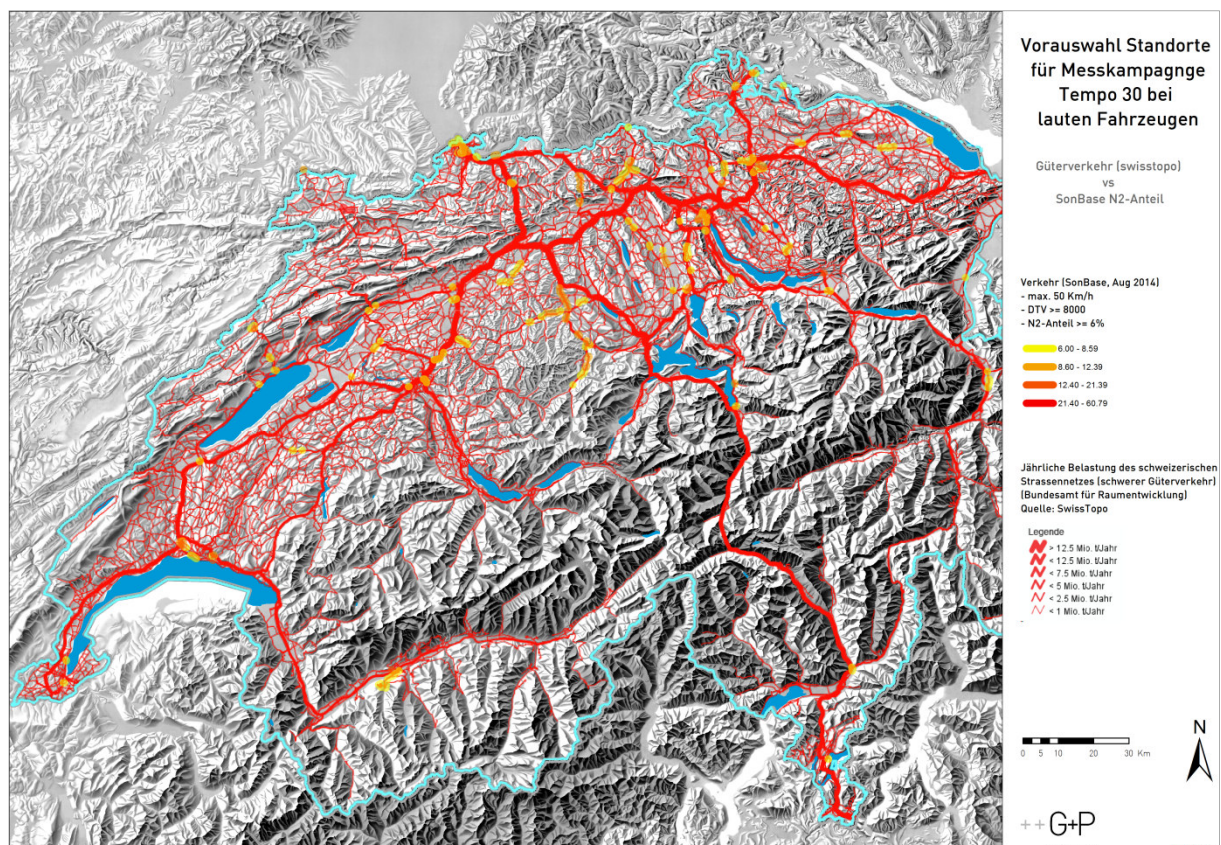


Abbildung 1: Übersichtskarte zum Schweizer Schwerververkehr mit Grundlagendaten von SonBase und Swisstopo.

Für die Vorauswahl potentieller Standorte wurden Verkehrsdaten der Lärmdatenbank sonBASE des BAFU (Datenstand: Aug. 2014) und das nationale Güterverkehrsmodell (NGVM) des UVEK (SwissTopo, Datenstand: 31.12.2012) als Datengrundlage verwendet. Beide Datensätze wurden als Masken verwendet und Übereinstimmungen zwischen beiden Datengrundlagen bei der Standortanalyse priorisiert (Abbildung 1). Potentielle Strassenabschnitte wurden anschliessend mithilfe von Google Street View und Swisstopo Satellitenaufnahmen detailliert inspiziert und auf Plausibilität sowie auf potentielle Standorte für die Durchführung von SPB-Messungen (gemäss Vorgaben der ISO 11819-1 bzw. des Leitfadens Strassenlärm, Anhang 1c: „Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen“) geprüft und bewertet.

Für die Bewertung der Standorte wurden Verkehrs- und Lärmexperten mit detaillierten Ortskenntnissen herbeigezogen. Bei der Inspektion wurden unter anderem die signalisierte Geschwindigkeit, die lokale Bebauung sowie das Schwerverkehrsaufkommen überprüft. Für jeden Standort wurden potentiell zu erwartende Fahrzeugtypen evaluiert und dokumentiert.

Die Standortbewertung erfolgte in drei Qualitätsstufen:

- Sehr gut / gut geeignet
- mässig geeignet
- eher ungeeignet

Anhand der gesammelten Standortmerkmale wurden in einem nächsten Schritt die Standorte für die Durchführung der statistischen Vorbeifahrtsmessungen bestimmt.

2.1.2 Selektierte Messstandorte für die statistischen Erhebungen

Aus den vorselektierten 27 potentiellen Messstandorten wurden in Zusammenarbeit mit dem BAFU nach folgenden Kriterien 8 Standorte für die Durchführung der statistischen Emissionsmessungen ausgewählt:

- Hoher prozentualer grossem N2- Anteil am Gesamtverkehr
- signalisierten Geschwindigkeit von max. 50 km/h,
- hoher DTV
- Messstandort innerorts entspricht Kriterien des Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c bzw. ISO 11819-1

Auf der Übersichtskarte in Abbildung 2 sind die IDs aller bewerteten Standorte eingezeichnet. Die acht für die statistischen Vorbeifahrtsmessungen selektierten Standorte sind mit fetter schwarzer Schrift hervorgehoben. Die Messreihe erreicht einen guten nationalen Abdeckungsgrad.

Es gilt zu beachten, dass zur Erfüllung der Projektanforderungen nur Standorte in dicht bebauten Siedlungsgebieten für die Messkampagne in Frage kamen. Gewisse Kriterien für SPB-Messungen des aus dem Leitfaden Strassenlärm - Anhang 1c konnten daher trotz einer sorgfältigen Selektion des Standorts nicht immer eingehalten werden. Details zu den Standortgegebenheiten sind in Tabelle 1 dokumentiert.

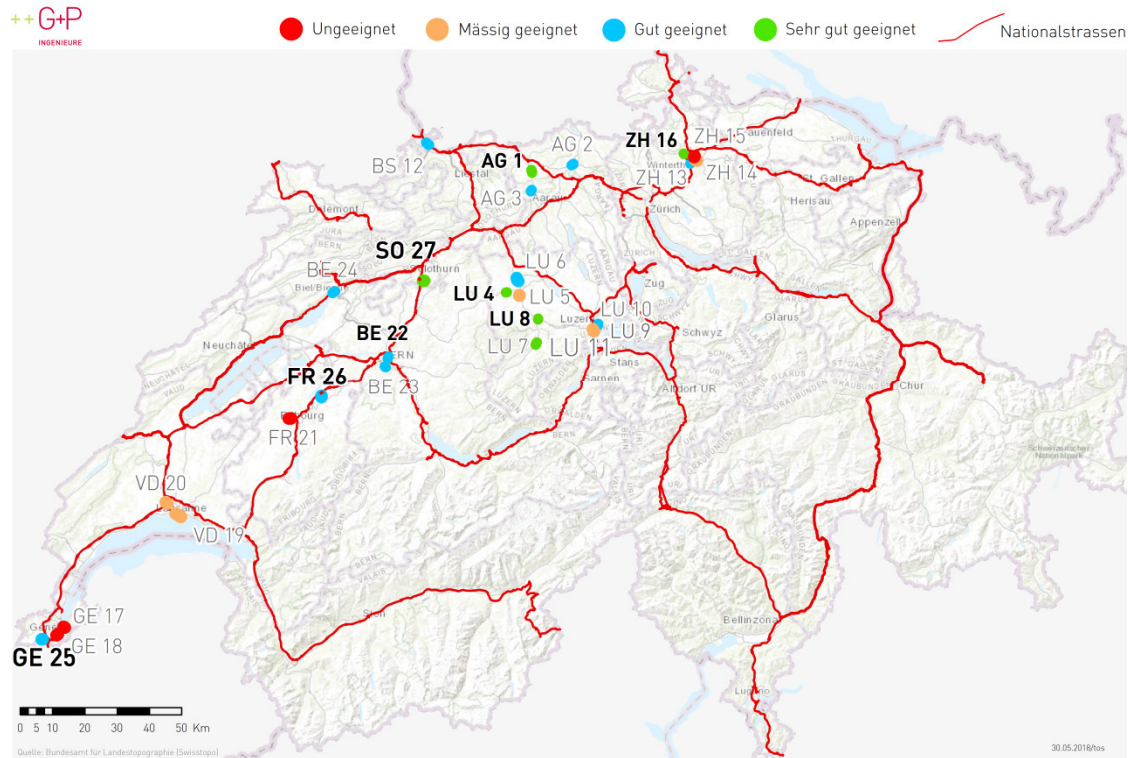





Abbildung 2: Übersichtskarte aller bewerteten Messstandorte. Die 8 Messstandorte an statistische Erhebungen durchgeführt wurden sind mit schwarzer dickgedruckter Schrift hervorgehoben.


In der nachfolgenden Übersicht sind Detailinformationen zu den 8 Messstandorten zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersichtstabelle der 8 selektierten Erhebungsstandorte.

ID	Standortinformationen		Standort- & Belagsfoto
AG 1	Ort	Herznach, Kantonsstr. 24 vor der Gemeindeverwaltung	
	Beschreibung		
	Koordinaten	2'646'137.6 1'258'330.0	
	Belagstyp:	TA 10	
	Belagsalter:	Einbaujahr: 1988	
	Belagskennwert (Abw. StL86):	+3 dB (CPX-Msg. G+P AG 2017)	
	Fahrtrichtung:	Süd	
	Bodeneigenschaften:	schallhart	
	Steigung:	ca. 1%	
	Hindernisse im Field of View:	Blumenkästen	
	Markierungen:	Fussgängerstr.	
	Sonstiges:	-	

ID	Standortinformationen		Standort- & Belagsfoto
BE 22	Ort:	Bern, Papiermühlestrasse	
	Beschreibung: Koordinaten:	Einfahrt zum EXPO-Gelände 2'601'968.5 1'200'990.5	
FR 26	Belagstyp:	SMA 11	
	Belagsalter:	ca. 5 Jahre	
	Belagskennwert (Abw. StL86):	+2 dB (Erfahrungswert G+P AG)	
	Fahrtrichtung:	Nord	
	Bodeneigenschaften:	schallhart	
	Steigung:	-	
	Hindernisse im Field of View:	Baum, ca 3m rechts vom Mik	
	Markierungen:	Velostreifen	
	Sonstiges:	-	
FR 26	Ort:	Düdingen, Hauptstrasse	
	Beschreibung: Koordinaten:	Gemeindeparkplatz 2'581'168.9 1'188'948.4	
	Belagstyp:	Famsiphonogrip 4	
	Belagsalter:	Einbaujahr 2016	
	Belagskennwert (Abw. StL86):	-4 dB (CPX-Msg. G+P AG 2017)	
	Fahrtrichtung:	Ost	
	Bodeneigenschaften:	Grösstenteils schallhart	
	Steigung:	-	
	Hindernisse im Field of View:	Blumenbeet im Ausbreitungsbereich, Höhenversatz Strasse & Messstandort von ca. 40cm Velostreifen	
	Markierungen:	-	
	Sonstiges:	-	
GE 25	Ort:	Bernex, Route de Lully	
	Beschreibung: Koordinaten:	Gemeindeparkplatz 2'494'532.5 1'113'361.5	
	Belagstyp:	Nanosoft 4	
	Belagsalter:	Einbaujahr 2012	
	Belagskennwert (Abw. StL86):	-4.5 dB (CPX-Msg. G+P AG 2017)	
	Fahrtrichtung:	West	
	Bodeneigenschaften:	schallhart	
	Steigung:	-	
	Hindernisse im Field of View:	Baum ca. 3m links vom Mik, ca. 1.5m hohe Mauer gegenüber Fussgängerstreifen	
	Markierungen:	-	
	Sonstiges:	-	

ID	Standortinformationen		Standort- & Belagsfoto
LU 4	<p>Ort</p> <p>Beschreibung Koordinaten</p> <p>Belagstyp: Belagsalter: Belagskennwert (Abw. StL86): Fahrtrichtung: Bodeneigenschaften: Steigung: Hindernisse im Field of View: Markierungen: Sonstiges:</p>	<p>Gettnau, Dorfstrasse / Guggistrasse Parkplatz Gasthof „Ochsen“ 2'640'102.1 1'221'130.1</p> <p>SMA 11 ca. 10-15 Jahre +2 dB (Erfahrungswert G+P AG) Ost schallhart - Baum, ca. 3m rechts vom Mik - -</p>	
LU 8	<p>Ort</p> <p>Beschreibung Koordinaten</p> <p>Belagstyp: Belagsalter: Belagskennwert (Abw. StL86): Fahrtrichtung: Bodeneigenschaften: Steigung: Hindernisse im Field of View: Markierungen: Sonstiges:</p>	<p>Wohlhusen, Bundesstrasse 2a Parkplatz Restaurant „Rebstock“ 2'648'179.7 1'212'665.6</p> <p>ACT 22 ca. 20 Jahre +4 dB (Erfahrungswert G+P AG) Nord schallhart - Liegenschaft gegenüber Fussgängerstr. in 10m Entferng. -</p>	
SO 27	<p>Ort:</p> <p>Beschreibung: Koordinaten:</p> <p>Belagstyp: Belagsalter: Belagskennwert (Abw. StL86): Fahrtrichtung: Bodeneigenschaften: Steigung: Hindernisse im Field of View:</p> <p>Markierungen: Sonstiges:</p>	<p>Kriegstetten, Gerlafingerstr. 14 Kurz vor der Autobahnauffahrt 2'611'849.4 1'224'905.3</p> <p>AC 11 ca. 20 Jahre +1 dB (Erfahrungswert G+P AG) West schallhart - Links hinten: Zaun mit Hecke Rechts: Beschilderung in ca. 7m Distanz Fussgängerstreifen Belagsschaden → betroffene Fz wurden nicht gemessen</p>	

ID	Standortinformationen		Standort- & Belagsfoto
ZH 16	Ort: Beschreibung: Koordinaten: Belagstyp: Belagsalter: Belagskennwert (Abw. StL86): Fahrtrichtung: Bodeneigenschaften: Steigung: Hindernisse im Field of View: Markierungen: Sonstiges:	Winterthur, Wulflingerstr. 405 Parkplatz Tamoil 2'693'382.8 1'263'593.8 ACT 22 ca. 15-20 Jahre +4 dB (Erfahrungswert G+P AG) Ost schallhart - Preistafel, Geländer - -	

2.2 Ermittlung der statistischen Emissionen

Für die am häufigsten vorkommenden Situationen mit LKW und lauten Fahrzeugen werden die typischen Lärmemissionen an den im Kapitel 2 präsentierten acht Standorten während eines Tages mithilfe von statistischen Vorbeifahrtmessungen SPB ermittelt. Ein zentrales Element der Datenerhebung ist die parallel dazu erfolgende Erhebung der detaillierten Fahrzeugklassen, welche eine flexible Erstellung von Fahrzeugklassen mit gleicher oder ähnlicher Emissionscharakteristik erlaubt.

Im folgenden Kapitel wird das bei den statistischen Erhebungen zum Einsatz kommende Erhebungskonzept sowie das Messsetup dokumentiert.

2.2.1 Erhebungskonzept

Alle Datenerhebungen wurden mittels statistischer Vorbeifahrtmessungen gemäss der Statistical Pass-By Methode (SPB) nach ISO 11819-1 durchgeführt. Dabei werden die akustischen Emissionen vorbeifahrender Fahrzeuge mittels L_{eq} und L_{max} auf einer einzelnen Fahrspur aufgezeichnet. Zusätzlich zu den, in der ISO-Norm und im Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c geforderten akustischen Parametern, wurde das Messkonzept um die Aufzeichnung von akustischen Spektraldaten, Bilddaten sowie detaillierter Fahrzeuginformationen erweitert, um die Anforderungen des Projekts abzubilden.

2.2.2 Messsetup

Das für die statistischen Erhebungen eingesetzte Messsystem besteht aus mehreren Sensoren mit unterschiedlichen Aufgaben. Der Messaufbau der beiden akustischen Messgeräte und dem Seitenrada orientiert sich an der ISO-11819-1 bzw. dem Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c. Zusätzlich wurden eine Kamera sowie ein Temperatur- und Luftfeuchtesensor eingesetzt. Abbildung 3 visualisiert den Messaufbau in einer Skizze.

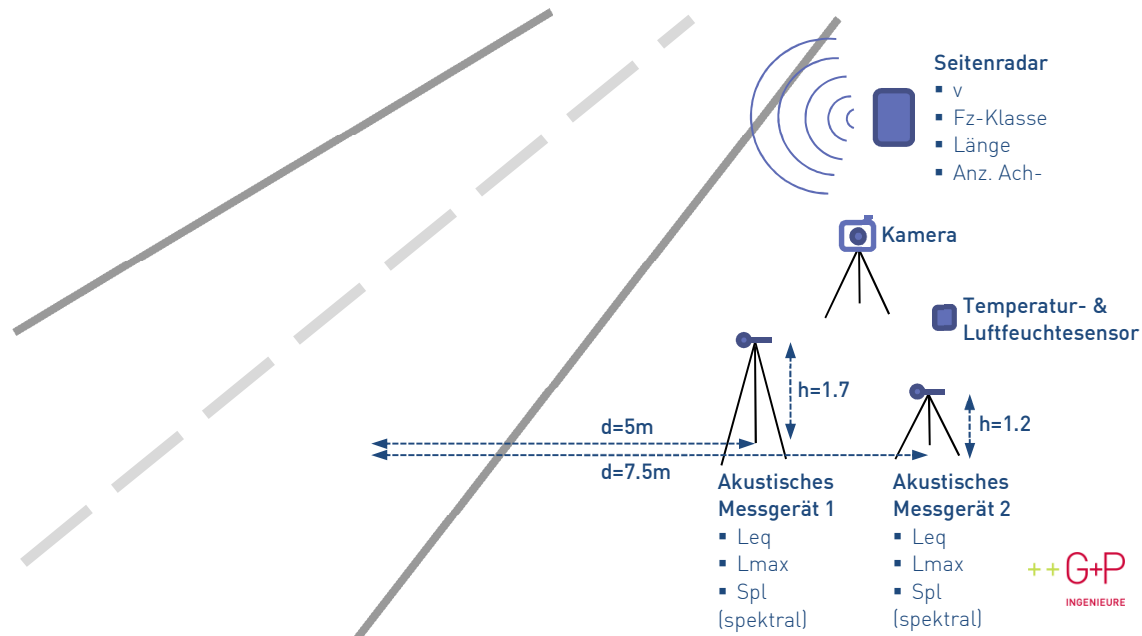


Abbildung 3: Skizze des Messaufbaus während der statistischen Erhebungen

Die eingesetzten Messgeräte und die mit ihnen erhobenen Parameter sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Geräteliste und Erhebungsparameter

Sensor	Hersteller/Vertrieb	Model	Erhebungsparameter
Akustisches Messgerät (2x)	Norsonic Brechbühl AG	Nor140	Akustische Parameter - Leq (spektral) - Lmax (spektral) - Spl (spektral)
Seitenradar	RTB GmbH	Topo.box	Fahrzeugspezifische Parameter - Geschwindigkeit - Länge - Anzahl Achsen - Fahrzeugklasse
Temperatur- & Feuchtesensor	Greisinger AG	Easy Log RTF 24	Umweltparameter - Temperatur - relative Luftfeuchte
Kamera	Axis Communications	F1005-E mit F41-Haupteinheit	Fahrzeugspezifische Parameter - Bilddaten




2.2.3 Akustische Messgrößen

Während eines Vorbeifahrtseignisses werden der lärmäquivalente Mittelungspegel und die mit der Zeitkonstante „Fast“ bewerteten Lmax und SPL spektral im Intervall zwischen 0.4 Hz und 20000 Hz an zwei Mikrofonpositionen mit einer zeitlichen Auflösung von 50 ms aufgezeichnet. Die aufgezeichnete Ereignisdauer wird mithilfe des auf 5m gemessenen A-bewerteten Leq bestimmt. Sie umfasst das Zeitintervall, welches den Bereich zwischen dem maximal gemessenen Leq des Ereignisses bis zu minimalen Pegelkriterium (i.d.R. $L(A)eq_{min} = L(A)eq_{max} - 10 \text{ dB(A)}$) aufspannt.

2.2.4 Fahrzeugspezifische Messgrössen und Fahrzeugklassen

Mithilfe des Seitenradars wurden neben der Fahrzeuggeschwindigkeit, die Fahrzeuglänge, die Anzahl der Achsen sowie die Fahrzeugklasse gemäss Swiss10 erfasst. LKWs werden dabei in die in Tabelle 3 beschriebenen drei Klassen unterteilt.

Tabelle 3: Klassifizierung unterschiedlicher Lastwagentypen entsprechend Swiss 10 Schema.

Swiss 10	Fahrzeugklasse	Beschreibung	Visualisierung
8	LKW	Lastkraftwagen ab 7.5t	
9	Lastenzug	Lastenzug (bzw. Lastkraftwagen mit Anhänger)	
10	Sattelzug	Lastkraftwagen mit Auflieger	

2.3 Belagskorrektur

Um einen Vergleich zwischen den Ergebnissen der statistischen Vorbeifahrtmessungen SPB an den unterschiedlichen Standorten zu gewährleisten, müssen die Messergebnisse entsprechend der am Messstandort vorherrschenden akustischen Belagsgüte korrigiert werden. Die Belagskorrektur orientiert sich an den Belagsgütwerten aus CPX-Messungen oder Erfahrungswerten der G+P AG mit Belägen vom gleichen Belagstyp und Einbaujahr. Die entsprechenden Belagsgütwerte im Vergleich zum Emissionsmodell StL86+ sind in Tabelle 1 für jeden der acht Standorte vermerkt. Zur Validierung des im VSS-Projekt „Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30“ präsentierten Emissionsansatz für LKW gemäss des europäischen Emissionsmodells Cnossos werden die Beläge durch eine flache Belagskorrektur auf das gleiche Emissionsniveau gebracht. Der im Emissionsmodell Cnossos verwendete Standardbelag entspricht einer Mischung aus zwei bis siebenjährigen AC11 und SMA11 Belägen (siehe S. Kephelopoulou, M. Paviotti, und Anfosso-Ledee, "Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)", 2012.). Zur Belagskorrektur wurde der in Tabelle 4 präsentierte Schlüssel verwendet.

Tabelle 4: Schlüssel für die Belagskorrektur entsprechend dem Standardbelag des Emissionsmodells Cnossos.

Belagskorrektur	Standort ID
±0 dB	AG1, BE 22, LU 4, SO 27
-1 dB	LU 8, ZH 16
+3 dB	GE 25
+2 dB	FR 26

2.4 Pegelkriterium und Flankenkorrektur

Das in der ISO-Norm und im Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c empfohlene Pegelkriterium für die Bestimmung der Ereignisdauer wurde aus praktischen Aspekten und zur Erfüllung der Projektanforderungen in-situ teilweise angepasst. Eine Anpassung war insbesondere bei schwierigen Messbedingungen erforderlich (z.B. bei sehr hohes Verkehrsaufkommen oder eher geringes Verkehrsaufkommen).

von LKW), um eine die grösstmögliche Anzahl repräsentativer Vorbeifahrten für eine statistische Analyse in bestimmten Fahrzeugkategorien zu gewährleisten. Das Pegelkriterium wurde aus den aufgeführten Gründen daher partiell zwischen 6 und 10 dB(A) variiert. Eine entsprechende Korrektur der fehlenden Ereignisenergie wird diskutiert und ggf. in Anlehnung an die Vorgehensweise bei SonRoad18 vorgenommen.

3. Ergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der statistischen Vorbeifahrtsmessungen dokumentiert. Die Erkenntnisse aus den Messungen werden mit den Ergebnissen des VSS-Projekt 2012/214 verglichen und mit dem darin verwendeten Emissionsansatz für laute Fahrzeuge aus dem Europäischen Emissionsmodell Cnossos in Bezug gesetzt.

3.1 Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen SPB

Zur Beurteilung der Vorbeifahrtsmessungen SPB wurden die Messergebnisse der Einzelvorbeifahrten in Geschwindigkeitsklassen zwischen 25 und 50 km/h in 5-km/h-Schritten unterteilt und arithmetisch gemittelt. In Tabelle 2 sind die gemessenen lärmäquivalenten Dauerschallpegel (Leq) der statistischen Vorbeifahrtsmessungen SPB (7.5m Abstand zur Fahrbahnmitte; Höhe 1.2m über dem Boden) mit den entsprechenden statistischen Kenngrössen aufgelistet. Die präsentierten Leq sind gemäss Kapitel 2.3 belagskorrigiert.

Tabelle 5: Ergebnisse der statistischen Vorbeifahrtsmessungen SPB (7.5m Abstand zur Fahrbahnmitte; Höhe 1.2m über dem Boden) pro Geschwindigkeitsklasse (+/- 2.5 km/h), belagsbereinigt

Projekt	Parameter	Einheit	Geschwindigkeitsklasse (± 2.5 km/h)					
			25 km/h	30 km/h	35 km/h	40 km/h	45 km/h	50 km/h
Stat. Msg. LKW	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	43.3*	42.7	43.5	44.8	46.6	47.2
	Standardabweichung	[dB(A)]	3.2	4.3	3.0	2.8	2.4	1.5
	Standardfehler	[dB(A)]	0.8	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2
	mittlere Zeitdauer	[s]	5.0	4.2	3.8	3.5	3.2	2.8
	Anzahl Vorbeifahrten	-	15	28	94	165	159	64
VSS 2012/214**	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	45.5	45.3	45.2	45.2	45.3	45.5
Δ Leq (VSS 2012/214** - Stat. Msg. LKW)	Δ Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	-2.2	-2.6	-1.7	-0.4	1.3	1.7

* kleine Stichprobengrösse

** Emissionsansatz aus VSS 2012/214, d.h. Emissionsmodell Cnossos (Fahrzeugkategorie = 3, heavy vehicles)

Kommentare

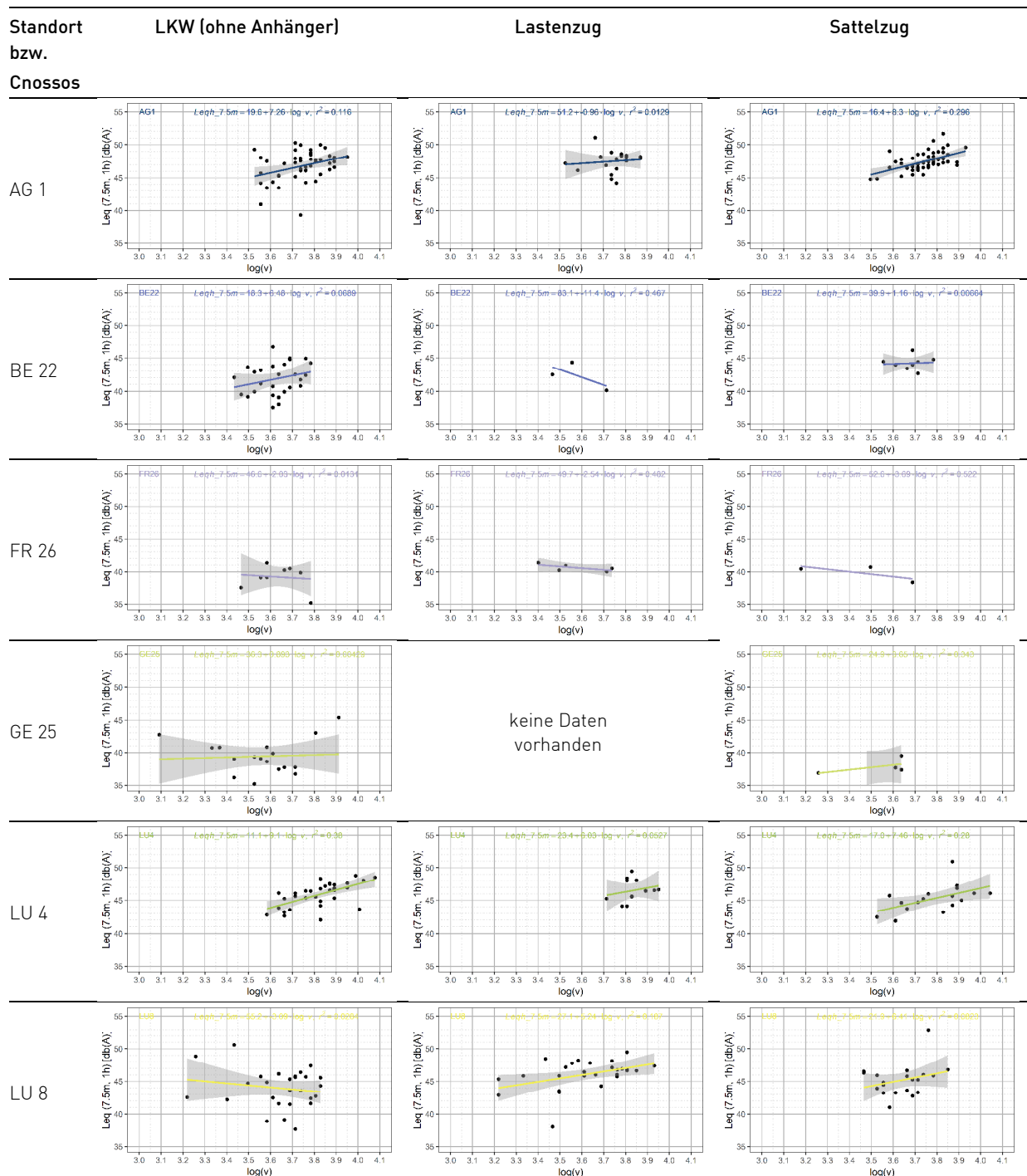
- Die gemessenen Lärmemissionen der statistischen Vorbeifahrtsmessungen für LKW fallen bei 40 km/h ähnlich wie bei Cnossos (FzKat=3) aus. (Stat. Msg LKW : 44.8 dB(A), Cnossos: 45.2 dB(A))
- Bei 30 km/h sind die statistischen Messungen für LKW um 2.6 dB leiser als bei Cnossos.
- Insgesamt zeigen die Messergebnisse eine deutlich stärkere Abhängigkeit der Lärmemission von der Geschwindigkeit als durch Cnossos prognostiziert.
- Im Geschwindigkeitsbereich zwischen 25 und 40 km/h kann von einer Überschätzung der Lärmemissionen durch Cnossos von ca. 0.5 bis 2.5 dB ausgegangen werden. Bei Geschwindigkeiten ab ca. 45 km/h lassen die Messergebnisse auf eine Unterschätzung der Lärmemissionen durch Cnossos von ca. 1.5 dB schliessen.

3.2 Geschwindigkeitsabhängigkeit

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Abhängigkeit der akustischen Messergebnisse von der gefahrenen Geschwindigkeit näher untersucht. In Tabelle 6 ist für jedes Messereignis die gefahrene Geschwindigkeit als dekadischer Logarithmus ($\log(v)$) gegen den gemessenen lärmäquivalenten Dauer-

schallpegel L_{eq} aufgetragen. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit ist pro Standort und Fahrzeugklasse mithilfe eines linearen Regressionsmodells abgebildet.

Tabelle 6: Auswertung der Geschwindigkeitsabhängigkeit. Dekadischer Logarithmus der Geschwindigkeit ($\log(v)$) gegen den gemessenen L_{eq} ($d=7.5m, h=1.2m$) pro Messereignis mit linearem Regressionsmodell pro Standort und Fahrzeugklasse. Daten ohne Belagskorrektur. Kleine Stichprobengrößen ≤ 8 wurden nicht betrachtet.



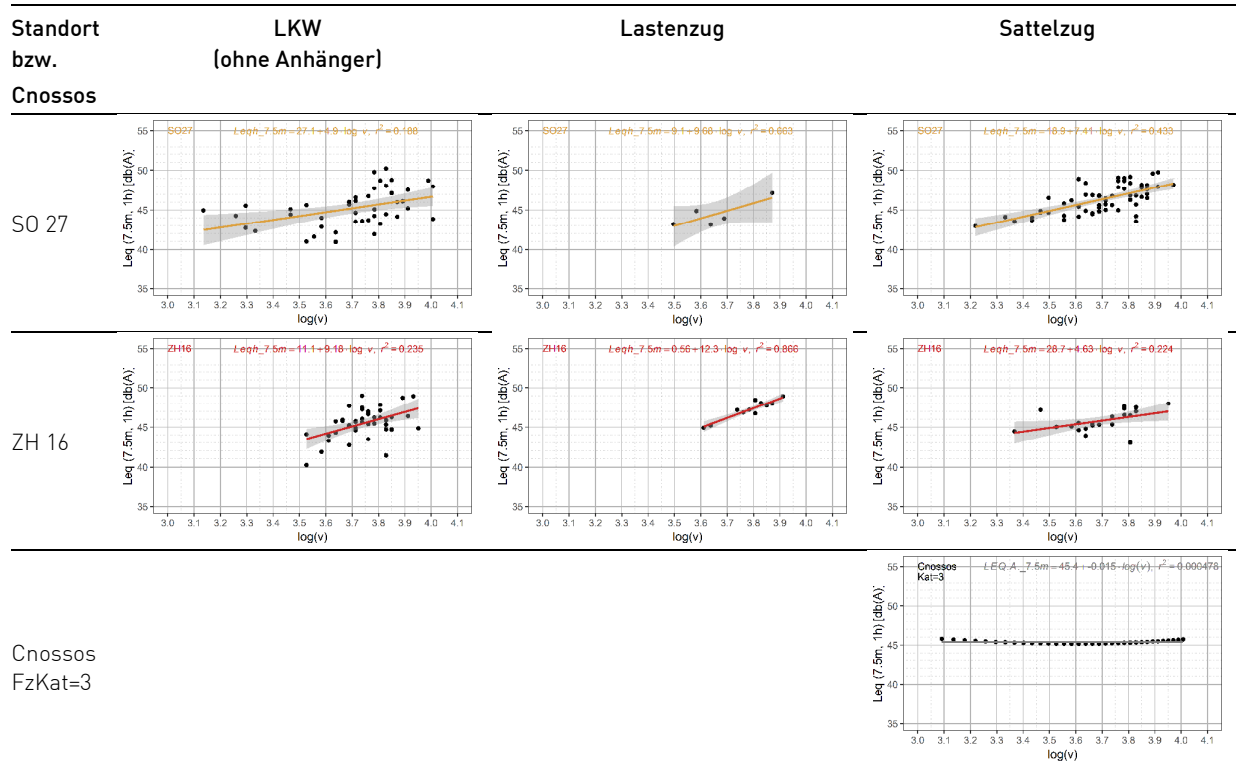


Tabelle 7 enthält eine Zusammenfassung der Parameter der linearen Regressionsmodelle.

Tabelle 7: Koeffizienten der linearen Regressionsmodelle pro Standort und Fahrzeugklasse und für die Fahrzeugkategorie 3 des europäischen Emissionsmodells Cnossos in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit v , d.h. $f(v) = A \cdot \log(v) + B$

	LKW (ohne Anhänger)			Lastenzug			Sattelzug			Cnossos (FzKat=3)		
	A	B	r ²	A	B	r ²	A	B	r ²	A	B	r ²
AG1	19.6	7.3	0.116	51.2	-1.0	0.013	16.4	8.3	0.296	-	-	-
BE22	18.3	6.5	0.069	83.1*	-11.4*	0.467	39.9*	1.2*	0.007	-	-	-
FR26	46.6*	-2.0*	0.013	49.7*	-2.5*	0.482	52.6*	-3.7*	0.522	-	-	-
GE25	36.3	0.9	0.004	-	-	-	24.9*	3.7*	0.343	-	-	-
LU4	11.1	9.1	0.380	23.4	6.0	0.053	17.0	7.5	0.280	-	-	-
LU8	55.2	-3.1	0.028	27.1	5.2	0.187	21.9	6.4	0.082	-	-	-
SO27	27.1	4.9	0.188	9.1*	9.7*	0.663	18.9	7.4	0.433	-	-	-
ZH16	11.1	9.2	0.235	0.6	12.3	0.866	28.7	4.6	0.224	-	-	-
Cnos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.015	45.4	0.0005
MW**	25.5	5.0	-	25.6	5.6	-	20.6	6.8	-	-0.015	45.4	-
StAbw**	15.8	4.6	-	20.7	5.4	-	5.0	1.4	-	-	-	-

* kleine Stichprobengröße ($n < 10$)

** Stichprobengrößen $n < 10$ wurden bei der Berechnung von Mittelwert (MW) und Standardabweichung (StAbw) nicht berücksichtigt

Mithilfe der Steigung der linearen Regressionsmodelle kann der Einfluss der gefahrenen Geschwindigkeit auf die emittierte Schallenergie des jeweiligen Fahrzeugtyps untersucht werden.

Kommentar

- Im Mittel zeigen die Messergebnisse im betrachteten Geschwindigkeitsbereich eine deutlich grössere Steigung A als Cnossos. Gemäss der Messdaten müsste die Geschwindigkeitsabhängigkeit abhängig von der Fahrzeugklasse im Mittel eine positive Steigung A zwischen 5.0 und 6.8 dB pro $\log(v)$ aufweisen, während von Cnossos im tiefen Geschwindigkeitsbereich nahezu kein Geschwindigkeitseinfluss auf die Schallemissionen vorhergesagt wird ($A_{\text{Cnossos, Kat=3}} = -0.015$).
- Aufgrund der in der vorliegenden Studie realisierten Stichprobengrösse ist die Variabilität der linearen Modelle insgesamt relativ gross.
- Die ermittelten Bestimmtheitsmasse r^2 variieren zwischen 0 und 0.76. Ursachen für die geringen Bestimmtheitsmasse könnten neben dem Auftreten von Ausreissern auch in einem nicht-linearen Zusammenhang zwischen dem L_{eq} und dem dekadischen Logarithmus der Geschwindigkeit bei ganz tiefen Geschwindigkeiten liegen (Zunahme der Gesamtenergie durch längere Ereignisdauer).
- Im Europäischen Emissionsmodell Cnossos werden für den betrachteten Geschwindigkeitsbereich sehr ähnliche Schallemissionen vorhergesagt. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies vorrangig auf die Datengrundlage des Modells mit einem deutlich älteren Fahrzeugpark zuzuführen ist, in der das Motorengeräusch die Gesamtlärmemission im tiefen Geschwindigkeitsbereichs dominiert.

3.3 Validierung des Emissionsansatzes VSS 2012/214

Der dritte Teil der Ergebnisdokumentation widmet sich der Validierung des im Projekt VSS 2012/214 entwickelten Emissionsansatzes. Es wird davon ausgegangen, dass die hier im Projekt erhobenen Messdaten die aktuell beste Schätzung für Lärmemissionen von Lastwagen auf Schweizer Strassen im tiefen Geschwindigkeitsbereich darstellen. Die Ergebnisse der Messungen werden daher herbeigezogen, um den im Projekt VSS 2012/214 eingesetzten Emissionsansatz für laute Fahrzeuge zu überprüfen. Für diesen Zweck wurde folgende Vergleichsmethode eingesetzt:

1. Ermittlung der Lärmemissionen für Tempo 50 und Tempo 30 gemäss VSS 2012/214 für eine Verkehrszusammensetzung von 100% PW auf akustisch neutralem Belag
2. Ermittlung der Lärmemissionen für Tempo 50 und Tempo 30 gemäss VSS 2012/214 für eine Verkehrszusammensetzung von 100% LKW auf akustisch neutralem Belag
3. Herbeiziehen der Resultate der Statischen Vorbeifahrtmessungen LKW für $v=50$ km/h und $v=30$ km/h
4. Ermitteln der Lärmwirkung für eine Geschwindigkeitsreduktion von Tempo 50 auf Tempo 30 mittels energetischer Gewichtung der Schallemissionen, d.h. für die Kombination von (1) + (2) bzw. (1) + (3)
5. Vergleich der ermittelten Schallemissionen (1) + (2) mit (1) + (3)

Das zuvor beschriebene Vorgehen ist in Abbildung 4 nochmals detailliert illustriert.

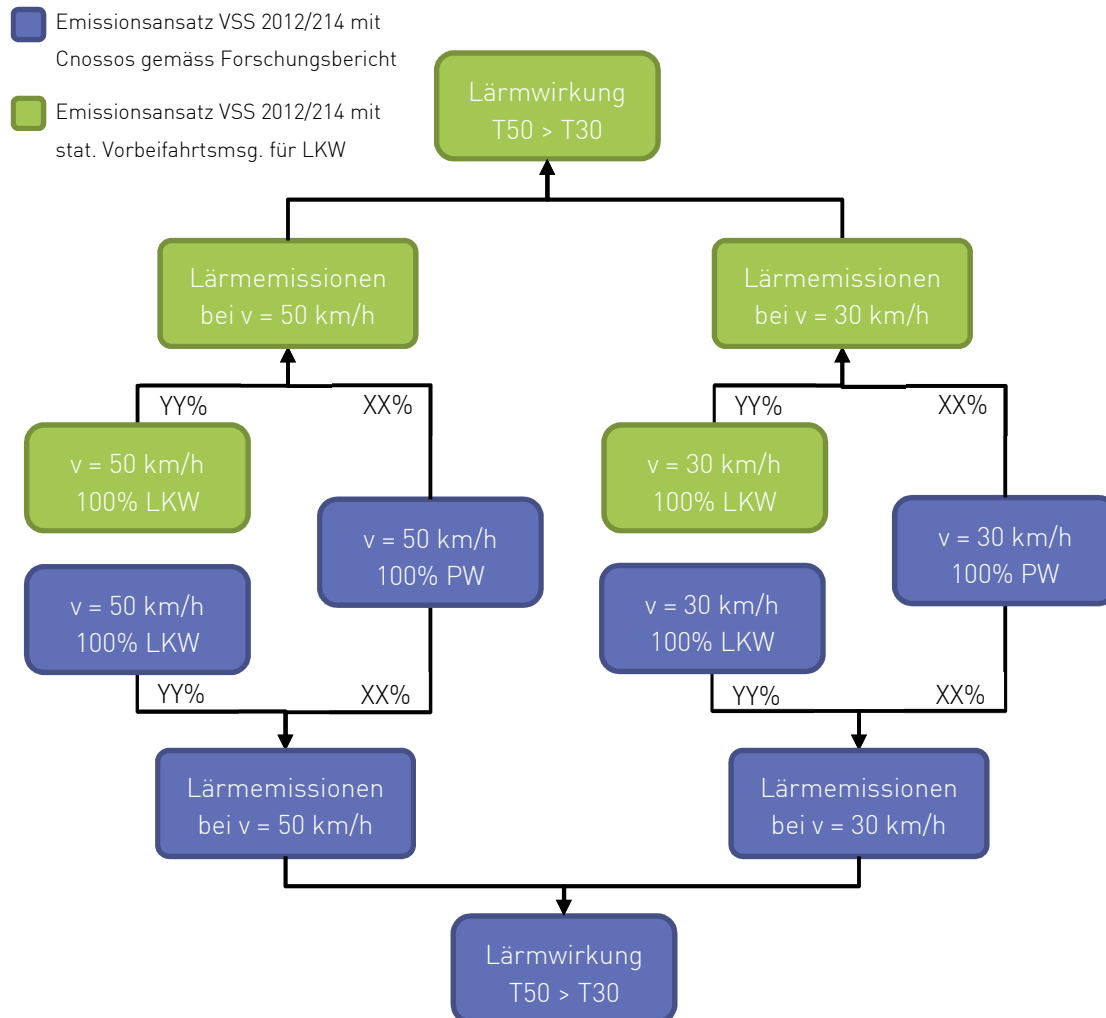


Abbildung 4: Flowchart der verwendeten Methode zur Validierung des Emissionsansatzes VSS 2012/214.
(Hinweis: $XX\% + YY\% = 100\%$)

Zur Validierung des Emissionsansatzes VSS 2012/214 wurden die Lärmwirkungen von jeweils drei, in Tempo 30 Situationen typisch vorkommenden Schwerverkehrsanteilen (1%, 2% und 4%) gemäss Abbildung 4 ermittelt. Die Differenzen zwischen den beiden berechneten Lärmwirkungen für die reine Verwendung des VSS Ansatzes 2012/214 und unter Verwendung der statistischen Vorbeifahrtsmessungen für LKW sind in Tabelle 8 präsentiert.

Tabelle 8: Differenzen zwischen dem VSS Ansatz 2012/214 mit Cnossos und dem VSS Ansatz mit statistischen Vorbeifahrtsmessungen für LKW

Lärmwirkung bei Geschwindigkeitsreduktion von 30 auf 50 km/h	N2-Anteil	$\Delta \text{Leq}_{\text{VSS}} - \text{Leq}_{\text{T30 LKW}}$
VSS 2012/214 (CNOSSOS) - VSS 2012/214 (stat. Msg. LKW)	1%	-0.4 dB
VSS 2012/214 (CNOSSOS) - VSS 2012/214 (stat. Msg. LKW)	2%	-0.8 dB
VSS 2012/214 (CNOSSOS) - VSS 2012/214 (stat. Msg. LKW)	4%	-1.3 dB

Kommentar

- Bei einer Geschwindigkeitsreduktionen von Tempo 50 auf Tempo 30 zeigen sich unter Berücksichtigung der statistischen Vorbeifahrtmessungen LKW im Emissionsansatz VSS 2012/214 für typische N2-Anteile (1% , 2% und 4%) Abweichungen zwischen -0.4 und -1.3 dB.
- Der Emissionansatz VSS 2012/214 mit Cnossos unterschätzt demnach die Lärmwirkung einer Temporeduktion von 30 auf 50 km/h in Abhängigkeit des LKW-Anteils geringfügig.

4. Fazit

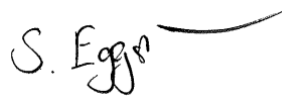
Aus den präsentierten Ergebnissen der statistischen Vorbeifahrtmessungen (siehe Kapitel 3) lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- In diesem Projekt wurde ein in der Schweiz einzigartiger Datensatz zur Lärmemission von LKW im tiefen Geschwindigkeitsbereich akquiriert und analysiert. Die gesammelten statistischen Daten stellen eine gute Grundlage für die Bewertung von Modellansätzen (z.B. VSS 2012/214) dar.
- Der Geschwindigkeitseffekt der Lärmemissionen von LKW ist grösser als durch das Emissionsmodell CNOSSOS prognostiziert. In der Folge wird die Lärmwirkung nach dem Emissionsansatz VSS 2012/214 mit CNOSSOS in typischen Situationen zwischen ca. 0.5 und 1.5 dB unterschätzt. Bei höheren LKW-Anteilen ist die Unterschätzung der Lärmwirkung grösser.
- Gemäss LSV umfasst die Kategorie N2 jedoch auch Motorräder, Traktoren und andere lautere Fahrzeuge. Verkehren wesentliche Anteile anderer lauter Fahrzeuge auf einer Strasse, würde aufgrund des lauteren Motorengeräuschs die Lärmwirkung zwischen VSS 2012/214 mit CNOSSOS und VSS 2012/214 mit den statistischen Vorbeifahrtmessungen für LKW liegen.
- Setzt sich der N2-Anteil gemäss LSV primär aus LKW zusammen, wird die Lärmwirkung von Tempo 30 entgegen den Schlussfolgerungen im Bericht VSS 2012/214 durch den N2-Anteil nur marginal beeinträchtigt. Entsprechend verbleiben die Geschwindigkeitsverteilung, das Fahrverhalten, der Strassenbelag und gegebenenfalls die besonders lauten Fahrzeuge als die bedeutendsten Einflussfaktoren für die Wirksamkeit von Tempo 30.

Grolimund + Partner AG



Erik Bühlmann



Sebastian Egger

Anhang

I Fahrzeugkategoriespezifischer Vergleich mit dem Emissionsmodell CNOSSOS

Zur differenzierten Beurteilung der Ergebnisse im Vergleich zum Europäischen Emissionsmodell Cnossos wurden die Messergebnisse pro Fahrzeugkategorie (Swiss 10) in Geschwindigkeitsklassen zwischen 25 und 50 km/h in 5-km/h-Schritten (analog Kapitel 3.1) arithmetisch gemittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 visualisiert. Die zugehörigen Parameter sind in Tabelle 9 aufgeführt.

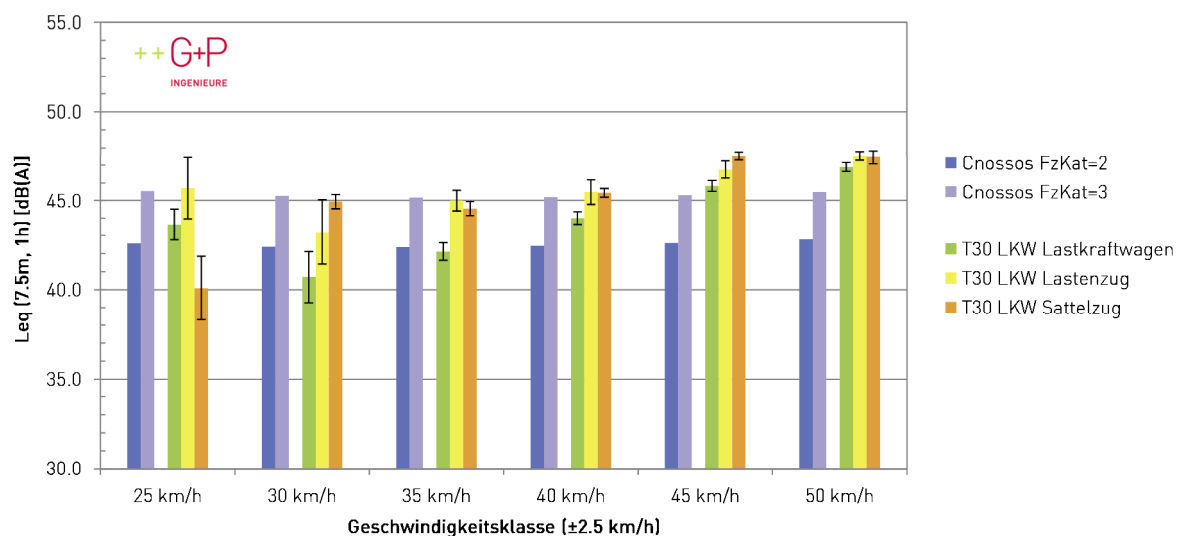


Abbildung 5: Fahrzeugkategoriespezifischer Vergleich der mittleren lärmäquivalenten Dauerschallpegel Leq (7.5m, 1h) der statistischen Vorbeifahrtmessungen SPB (T30 LKW) mit dem Emissionsmodell Cnossos. Die Fehlerbalken sind mithilfe des Standardfehlers angegeben. Die Resultate sind belagskorrigiert.

Tabelle 9: Fahrzeugkategoriespezifischer Vergleich der Ergebnisse der statistischen Vorbeifahrtmessungen SPB (T30 LKW) mit dem Emissionsmodell Cnossos. Angegeben sind jeweils der mittlere lärmäquivalente Dauerschallpegel Leq (7.5m, 1h), der Standardfehler se und die Stichprobengrösse n . Resultate belagskorrigiert.

Projekt	Fahrzeugkategorie	Parameter	Einheit	Geschwindigkeitsklasse (± 2.5 km/h)					
				25 km/h	30 km/h	35 km/h	40 km/h	45 km/h	50 km/h
T30 LKW	Lastkraftwagen	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	43.6	40.7	42.1	44.0	45.8	46.9
	Lastkraftwagen	se	[dB(A)]	0.9	1.4**	0.5	0.4	0.3	0.2
	Lastkraftwagen	n		9*	13	45	80	69	34
	Lastenzug	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	45.7	43.2	45.0	45.5	46.7	47.5
	Lastenzug	se	[dB(A)]	1.7**	1.8**	0.6	0.7	0.5	0.3
	Lastenzug	n		3*	5*	16	19	32	10
	Sattelzug	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	40.1	44.9	44.6	45.4	47.5	47.4
	Sattelzug	se	[dB(A)]	1.8**	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4
	Sattelzug	n		3*	10	33	66	58	20
Cnossos	FzKat=2***	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	42.6	42.4	42.4	42.4	42.6	42.8
	FzKat=3****	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	45.5	45.3	45.2	45.2	45.3	45.5

* Stichprobengrösse $n < 10$
 ** Sehr grosser Standardfehler
 *** Cnossos (Fahrzeugkategorie = 2, d.h. medium heavy duty vehicles)
 **** Cnossos (Fahrzeugkategorie = 3, d.h. heavy duty vehicles)

II Untersuchung des Einflusses der Anzahl Achsen auf die Lärmwirkung

Zur Untersuchung des Einflusses der Anzahl Fahrzeugachsen auf die Lärmwirkung wurden die Messergebnisse in Geschwindigkeitsklassen zwischen 25 und 50 km/h in 5-km/h-Schritten (analog Kapitel 3.1) arithmetisch gemittelt. In Abbildung 5 ist der mittlere energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} ($D=7.5m$, $H=1.2m$) der gemessenen LKW-Vorbeifahrten pro Anzahl der Achsen im Vergleich zum Europäischen Emissionsmodell Cnossos visualisiert. Tabelle 9 präsentiert die statistischen Kennwerte.

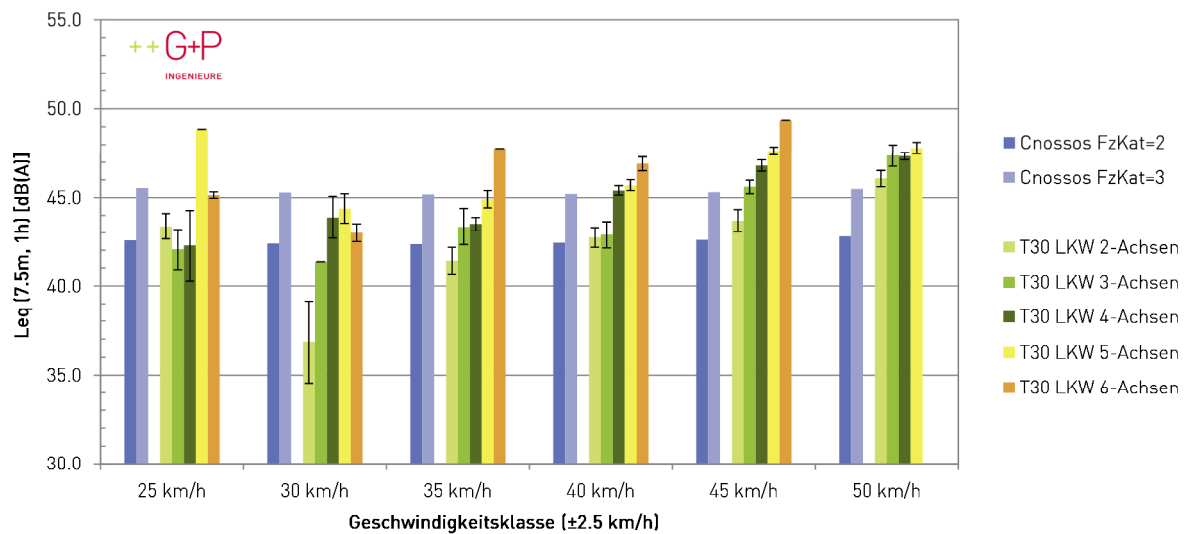


Abbildung 6: Nach der Anzahl der Achsen kategorisierter Vergleich der mittleren lärmäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} (7.5m, 1h) der statistischen Vorbeifahrtmessungen SPB (T30 LKW) mit dem Emissionsmodell Cnossos, Fehlerbalken sind mithilfe des Standardfehlers angegeben. Die Resultate sind belagskorrigiert.

Tabelle 10: Fahrzeugkategorisierung nach Anzahl der Achsen. Vergleich der Ergebnisse der statistischen Vorbeifahrtsmessungen SPB (T30 LKW) mit dem Emissionsmodell Cnossos. Angegeben sind jeweils der mittlere lärmäquivalente Dauerschallpegel Leq (7.5m, 1h), der Standardfehler se und die Stichprobengrösse n. Resultate belagskorrigiert.

Projekt	Fahrzeug-kategorie	Parameter	Einheit	Geschwindigkeitsklasse (± 2.5 km/h)					
				25 km/h	30 km/h	35 km/h	40 km/h	45 km/h	50 km/h
T30 LKW	2-Achsen	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	43.4*	36.8*	41.4	42.7	43.7	46.1
		se	[dB(A)]	0.7	2.3**	0.8	0.6	0.6	0.5
		n		4	5	23	35	20	14
	3-Achsen	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	42.1*	41.4*	43.4*	42.9	45.6	47.4*
		se	[dB(A)]	1.1	-	1.0	0.8	0.4	0.6
		n		3	1	6	15	19	8
	4-Achsen	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	42.3*	43.9*	43.5	45.4	46.8	47.3
		se	[dB(A)]	2.0**	1.2	0.4	0.3	0.3	0.2
		n		5	9	35	54	53	29
	5-Achsen	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	48.8*	44.4	44.9	45.7	47.6	47.8
		se	[dB(A)]	-	0.8	0.5	0.3	0.2	0.3
		n		1	11	29	56	66	13
	6-Achsen	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	45.2*	43.0*	47.8*	46.9*	49.4*	-
		se	[dB(A)]	0.2	0.5	-	0.4	-	-
		n		2	2	1	5	1	-
Cnossos	FzKat=2	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	42.6	42.4	42.4	42.4	42.6	42.8
	FzKat=3	Leq (7.5m, 1h)	[dB(A)]	45.5	45.3	45.2	45.2	45.3	45.5

* Stichprobengrösse $n < 10$
 ** Sehr grosser Standardfehler
 *** Cnossos (Fahrzeugkategorie = 2, d.h. medium heavy duty vehicles)
 **** Cnossos (Fahrzeugkategorie = 3, d.h. heavy duty vehicles)