



Veränderung der Lärmemissionen von Fahrzeugen auf Schweizer Strassen

Ihre Kontaktperson: Emanuel Hammer
emanuel.hammer@grolimund-partner.ch, D 031 356 32 21

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
A5146, A5323
17. September 2018

Impressum

Auftragnehmer

Grolimund + Partner AG

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU

Autoren

Emanuel Hammer

Erik Bühlmann

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	30.08.2018	E. Hammer	Endfassung	BAFU
V 2.0	17.09.2018	E. Hammer	überarbeitete Endfassung	BAFU

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

20180917_berVeranederungFzLaermemiCHStrassen_V2.docx

Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt wertet Daten von 180'000 Einzelvorbeifahrten an 980 Standorten aus und zeigt die Veränderungen der Lärmemissionen der Schweizer Fahrzeugflotte und deren Bereifung auf Schweizer Strassen auf. Im Fokus lagen die Gesamtemissionen eines Fahrzeuges bei Geschwindigkeiten von 50, 80 und 120 km/h. Diese wurden im Zeitverlauf statistisch analysiert und mit den Trends verschiedenster Entwicklungen in der Fahrzeugindustrie überlagert.

Trends der Lärmemissionen

Es zeigte sich, eine Abnahme der Lärmemissionen von Personenwagen im Innerortsbereich um ca. -2 dB und eine Zunahme der Emissionen im hohen Geschwindigkeitsbereich um +1.5 dB im Zeitraum von 1998 bis 2017. Die Lärmemissionen der Fahrzeugkategorie LKW im Innerortsbereich nahm im selben Zeitraum um +0.5 dB und im hohen Geschwindigkeitsbereich um +3 dB zu.

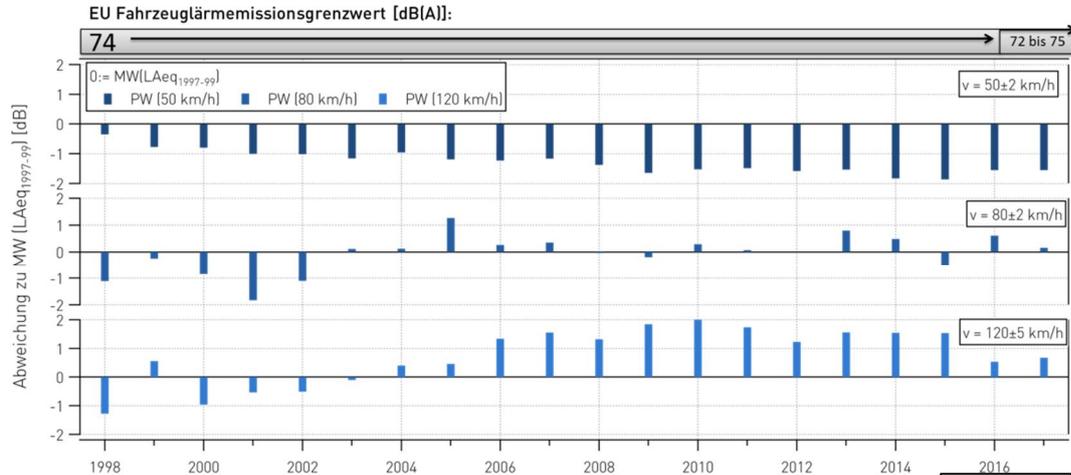
	Fahrzeugtyp/Geschwindigkeit	mittlerer Trend	
Innerortsbereich	PW @ 50±2 km/h	↓	-2.0 dB
	LKW @ 50±2 km/h	↗	+0.5 dB
hoher Geschwindigkeitsbereich	PW @ 120±5 km/h	↗	+1.5 dB
	LKW @ 88±5 km/h	↑	+3 dB

Trends der Lärmemissionen sequentiell mit erklärenden Statistiken

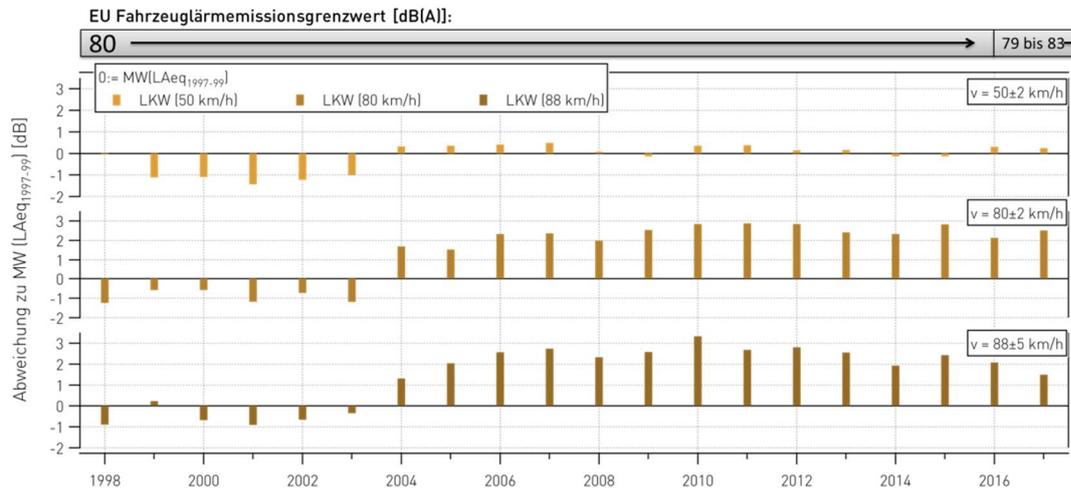
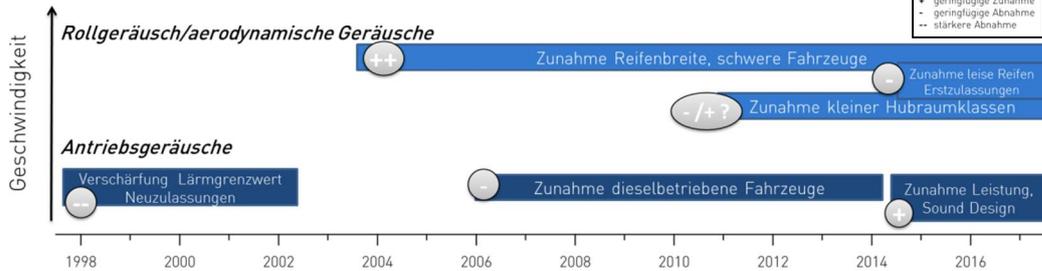
Nachfolgende Abbildung zeigt den Zeitverlauf der Abweichungen in dB indexiert auf den Mittelwert von Leq der Jahre 1997 bis 1999 für die Fahrzeugklasse PW und weiter unten für LKW zusätzlich mit den erklärenden Statistiken und den damit zu erwartenden Trends der Lärmemissionen.

Wie die Auswertungen zeigen, wirken sich die Entwicklungen im Fahrzeugpark in Abhängigkeit der jeweils dominierenden Schallentstehungsart (Rollgeräusch und Antriebsgeräusch) unterschiedlich auf die Veränderung der Lärmemissionen aus. Entsprechend sollten auch zukünftige Lärmemissionstrends für die einzelnen Fahrzeugkategorien und Geschwindigkeitsbereiche jeweils separat betrachtet und berücksichtigt werden.

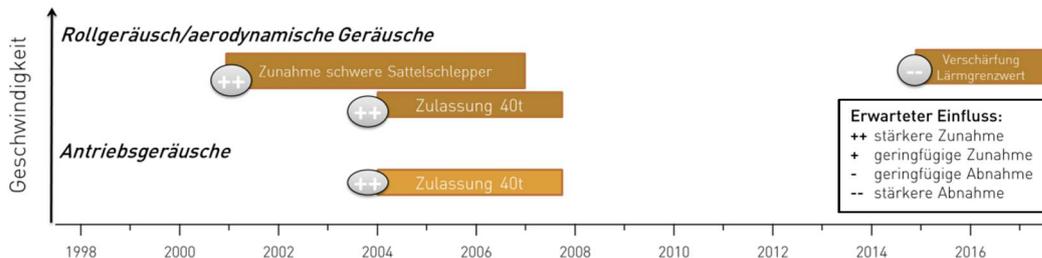
17. September 2018



Erklärende Statistiken



Erklärende Statistiken



Inhalt

1. Ausgangslage & Projektziel	6
2. Datengrundlage	7
2.1 Datenaufbereitung	7
2.2 Datenanalyse.....	7
3. Resultate	9
3.1 Veränderung der Lärmmissionen.....	9
3.2 Zusammenfassende Erkenntnisse	12
3.3 Erklärende Statistiken	12
4. Synthese	21
5. Schlussfolgerungen.....	22
Literaturverzeichnis	23

Anhang

I Überprüfung Trend	24
---------------------------	----

1. Ausgangslage & Projektziel

Das vorliegende Projekt hat zum Ziel die Veränderungen der Lärmemissionen der Schweizer Fahrzeugflotte und deren Bereifung zu ermitteln und zu analysieren. Im Fokus liegen die Gesamtemissionen eines Fahrzeuges bei Geschwindigkeiten von 50, 80 und 120 (bzw. 80 für LKW) km/h. Als Grundlage dienen die von Grolimund + Partner AG im Zeitraum zwischen 1989 und 2017 erfassten statistischen Vorbeifahrtmessungen nach der SPB-Methode. Es liegen über 1'800 statistische Vorbeifahrtmessungen von insgesamt über 180'000 Einzelvorbeifahrten vor, die über 980 Standorte der ganzen Schweiz erhoben wurden. Diese vorhandenen Daten werden gezielt bezüglich der Veränderung der Lärmemissionen der in der Schweiz verkehrenden Fahrzeugflotte ausgewertet. Trends verschiedenster Entwicklungen in der Fahrzeugindustrie werden zudem auf die Lärmemissionspegel statistisch analysiert. Somit erlaubt diese Studie eine Aussage über die Veränderung der Lärmemissionen der in der Schweiz verkehrenden Fahrzeugflotte.

2. Datengrundlage

Bei Grolimund + Partner AG liegen Daten von mehr als 1'800 statistischer Vorbeifahrtsmessungen nach der SPB-Methode (Leitfaden Strassenlärm, Anhang 1c; EN ISO 11819-1:2002) vor. Diese beinhalten mehr als 180'000 gemessene Einzelvorbeifahrten an 980 Standorten über die gesamte Schweiz verteilt auf die Kategorien Personenwagen und Lastwagen. Die SPB-Methode wird zur akustischen Charakterisierung von Strassenbelägen verwendet und erfasst die Lärmemissionen für repräsentative Fahrzeuge der jeweiligen Fahrzeugkategorie.

2.1 Datenaufbereitung

Der Datensatz von über 180'000 Einzelvorbeifahrten wird näher bezüglich der Datenverfügbarkeit für einzelne Geschwindigkeitsbereiche und Fahrzeugtypen analysiert. Anschliessend werden darauf basierend pro Fahrzeugtyp geeignete Klassengrenzen für die Bildung von Teildatensätzen mit homogener Geschwindigkeit festgelegt. Die Geschwindigkeitsklassen wurden in 50 und 80 km/h aufgeteilt und mit einer Genauigkeit von ± 2 km/h gefiltert und für die Auswertung ausgewählt. Die Lärmemissionsdaten liegen als LAeq und LAmx vor. Sandberg & Dong (1994) zeigten, dass der Unterschied zwischen LAeq und LAmx zur Charakterisierung von Fahrzeugemissionen relativ gering ist, aber für eine detaillierte Anwendung der LAeq verwendet werden soll. Aus diesem Grund wurde zur Charakterisierung der Fahrzeugemissionen der LAeq verwendet.

Die Lärmemissionsdaten LAeq sowie die dazugehörigen Lärmspektren der Einzelvorbeifahrten werden bezüglich Temperatureinfluss korrigiert sowie auf einen akustisch neutralen Belag normalisiert. Da der Temperatureinfluss abhängig vom Anteil des Rollgeräusches an der Gesamtemission ist und dieser über die Zeit zugenommen hat, wurden die Koeffizienten zeitabhängig angepasst. Abbildung 1 zeigt die zeitabhängigen Temperaturkoeffizienten. Die Koeffizienten wurden so angesetzt, dass im 2017 die Korrekturen aus Sandberg (2015) gelten und bis zum Jahr 1989 linear abnehmen, wobei eine Annahme bezüglich der im 1989 vorherrschenden Korrekturfaktoren getroffen werden musste.

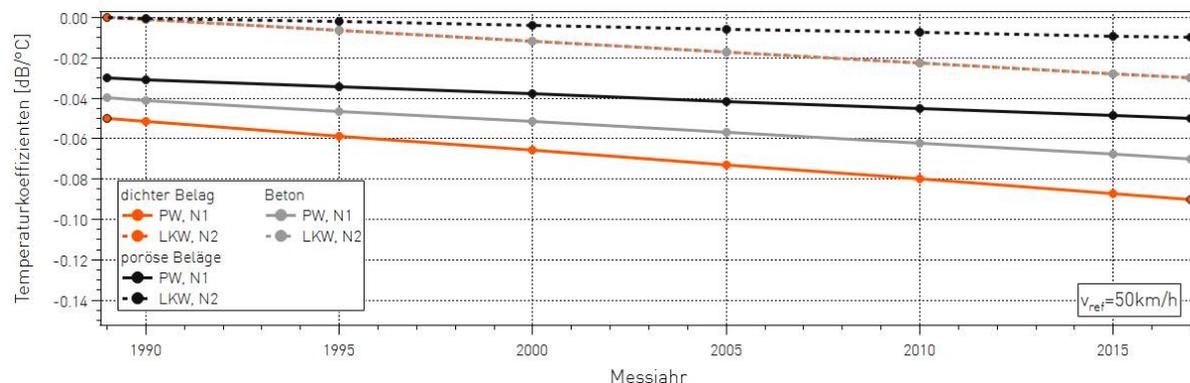


Abbildung 1: Zeitabhängige Temperaturkoeffizienten zur Korrektur der SPB-Daten

2.2 Datenanalyse

Nachdem die Parameter LAeq sowie das Spektrum der Einzelvorbeifahrtsmessungen unabhängig bezüglich Temperatur und Belagstyp aufbereitet wurden, werden diese bezüglich ihrer statistischen Verteilung analysiert und darauf basierend die Trends abgeleitet. Es werden alle Einzelvorbeifahrtsmes-

sungen mit einer Referenzgeschwindigkeit von 50, 80 km/h sowie 88 (für LKW) bzw. 120 km/h (für PW) betrachtet. Für die tieferen Geschwindigkeiten wird eine Toleranz von 2 km/h und für die höheren Geschwindigkeiten von 5 km/h verwendet um die Daten zu selektieren.

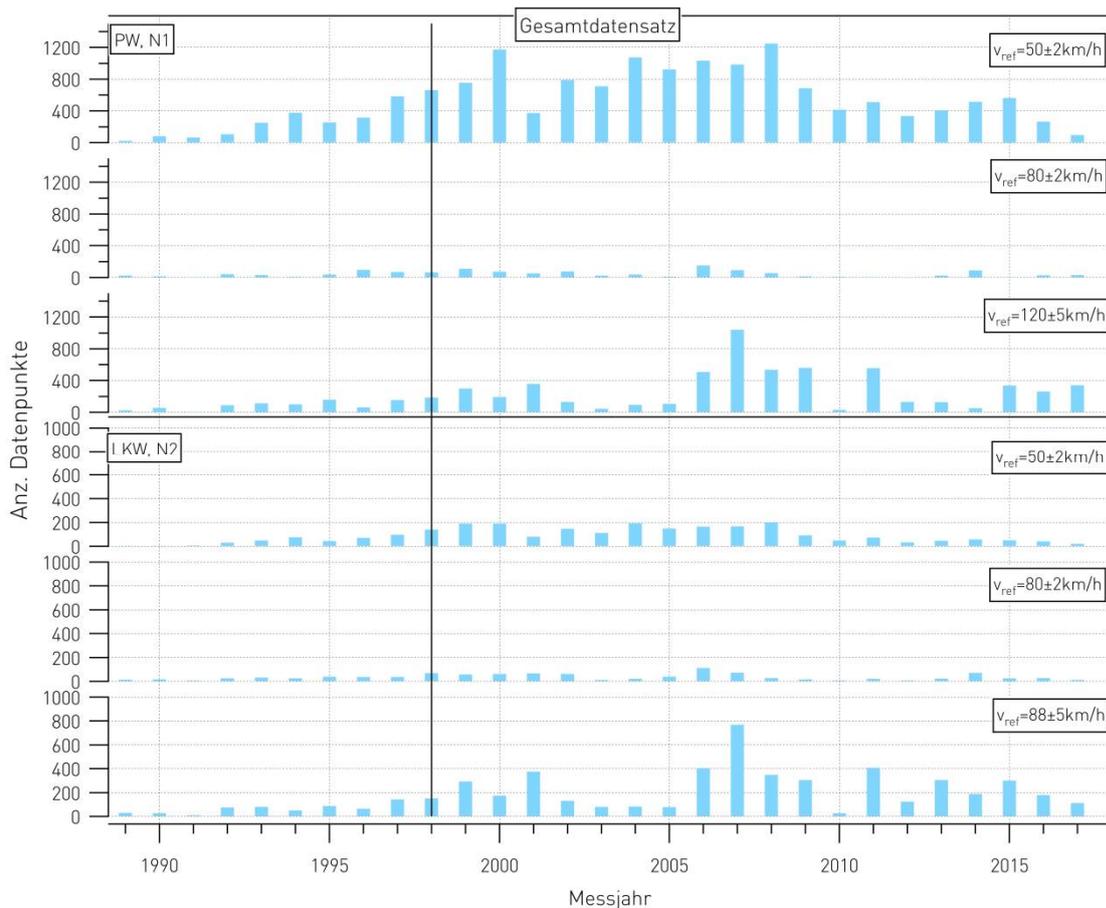


Abbildung 2: Anzahl Datensätze pro Messjahr für die Fahrzeugklassen PW und LKW sowie der Geschwindigkeitsklassen $v_{ref} = 50 \pm 2$, 80 ± 2 , 88 ± 5 bzw. 120 ± 5 km/h.

Abbildung 2 zeigt die Anzahl vorhandener Datensätze von Einzelvorbeifahrtsmessungen pro Jahr für PW und LKW sowie den beiden in dieser Studie begutachteten Referenzgeschwindigkeiten 50, 80 und 88 km/h (für LKW) bzw. 120 km/h (für PW). Da die Datenverfügbarkeit vor 1998 eher gering ist und somit zu falschen Trendinterpretationen führen könnte, werden im Kapitel 3, lediglich Trends ab 1998 begutachtet.

3. Resultate

3.1 Veränderung der Lärmemissionen

Um die Trends der Lärmemissionen ermitteln zu können wurden die Lärmemissionen der Einzelvorbeifahrtsmessungen statistisch für die einzelnen Geschwindigkeitsbereiche pro Jahr ausgewertet. Abbildung 3 zeigt die Boxplots (10., 25., 75. und 90. Perzentil sowie den Mittelwert und Median) für die Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h für die Fahrzeugkategorie PW (blau) und LKW (orange). Diese Referenzgeschwindigkeit beinhaltet ausschliesslich Vorbeifahrten die an Standorten im Innerortsbereich aufgezeichnet wurden. Es zeigt sich, dass die Lärmemission in Funktion des Trends im Innerortsbereich bei 50 km/h der Fahrzeugkategorie PW von 1998 bis 2017 im Mittel um 2 dB abnehmen. Für die Fahrzeugkategorie LKW scheinen nach einer leichten Abnahme bis 2001 im restlichen Zeitraum die Lärmemissionen um 0.6 dB zu zunehmen.

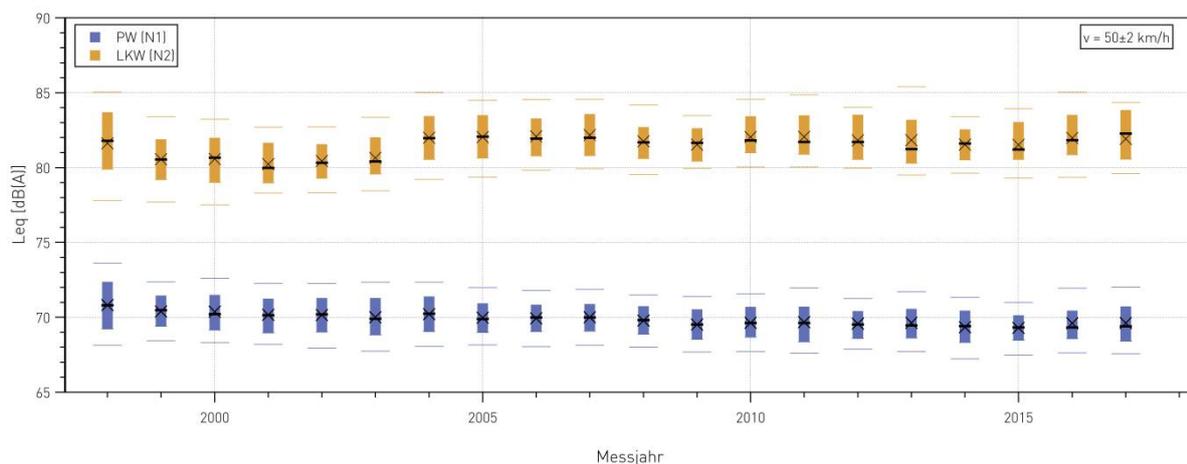


Abbildung 3: Zeitverlauf der statistischen Vorbeifahrtsmessungen SPB (Leq) von 1998 bis 2017 für Geschwindigkeiten von 50 ± 2 km/h. Die Boxplots zeigen das 10., 25., 75. und 90. Perzentile sowie den Mittelwert (Kreuz) und Median (schwarze Linie) an.

Abbildung 4 zeigt dieselbe Auswertung wie in Abbildung 3 mit dem Unterschied, dass die Messungen bei Geschwindigkeiten von 80 ± 2 km/h erfolgten. Zudem zeigt die Abbildung 5 die Messungen im Hochgeschwindigkeitsbereich von 88 ± 5 km/h für LKW und 120 ± 5 km/h für PW. Sowohl Abbildung 4 als auch Abbildung 5 beinhalten hauptsächlich Messungen auf Nationalstrassen. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die Messungen bei Geschwindigkeiten von 80 ± 2 km/h auf Lärmemissionen der Fahrzeuge im Ausserortsbereich ähnlich sind, nicht aber die Fahrzeugflottenzusammensetzung. Im Innerortsbereich ist sehr wahrscheinlich ein höherer Anteil an kleineren Verteillastwagen der Fahrzeugkategorie LKW enthalten als auf der Nationalstrasse. Auf der Nationalstrasse sind der Anteil an schwereren Sattelschleppern und Lastenzüge eher grösser, insbesondere auf Transitrouten. Somit ist anzunehmen, dass ein unterschiedlicher Fahrzeugpark in der Fahrzeugkategorie LKW auf der Nationalstrasse gemessen wurde, im Vergleich zum Innerortsbereich. Es ist anzunehmen, dass der Fahrzeugpark für die Fahrzeugkategorie PW zwischen Innerortsbereich und Nationalstrasse ähnlich ausfällt. Allerdings kann sich die Entwicklung des Fahrzeugparks in Abhängigkeit der vorherrschenden Geschwindigkeit unterschiedlich auf die Lärmemissionen auswirken.

17. September 2018

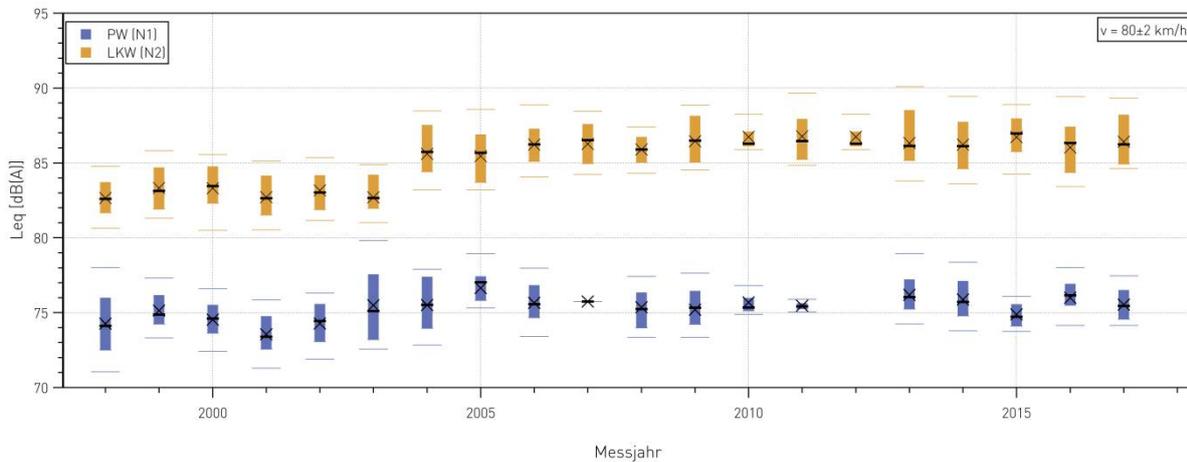


Abbildung 4: Zeitverlauf der statistischen Vorbeifahrtsmessungen SPB (Leq) von 1998 bis 2017 für Geschwindigkeiten von 80 ± 2 km/h. Die Boxplots zeigen das 10., 25., 75. und 90. Perzentile sowie den Mittelwert (Kreuz) und Median (schwarze Linie) an.

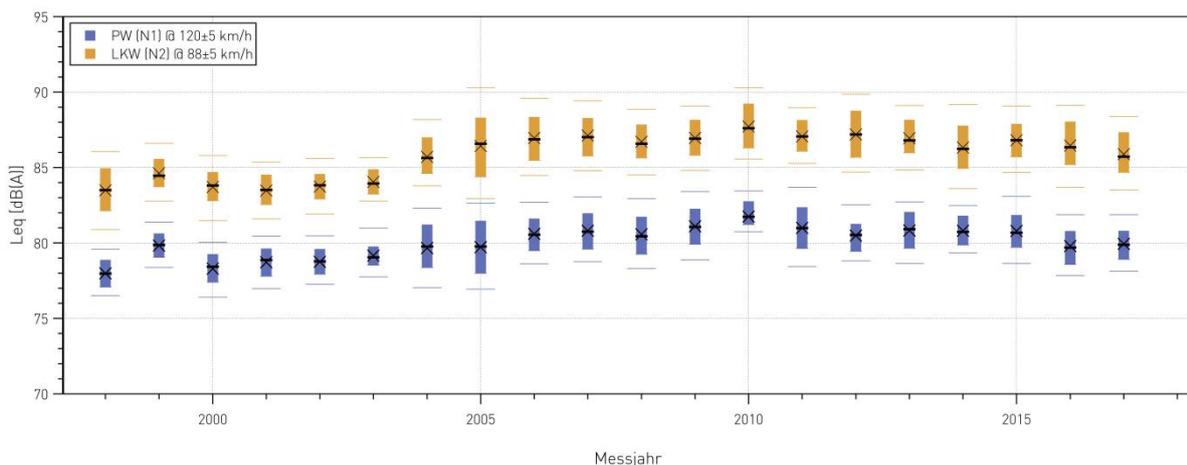


Abbildung 5: Zeitverlauf der statistischen Vorbeifahrtsmessungen SPB (Leq) von 1998 bis 2017 für Geschwindigkeiten von 88 ± 5 km/h für LKW und 120 ± 5 km/h für PW. Die Boxplots zeigen das 10., 25., 75. und 90. Perzentile sowie den Mittelwert (Kreuz) und Median (schwarze Linie) an.

Abbildung 6 zeigt die mittlere Abweichung der Lärmemissionen der Fahrzeugkategorie PW pro Jahr in Bezug zum Mittelwert der Lärmemissionen der Jahre 1997 bis 1999. Für die Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h ist eine stetige Abnahme der Lärmemissionen von PWs im Zeitraum von 1998 bis 2010 von bis zu -1.5 dB im Vergleich zu 1998 zu erkennen. Im Zeitraum von 2010 bis 2017 zeichnet sich eine Stagnierung der Lärmemissionen von PWs ab. Bei den Einzelvorbeifahrten bei einer Geschwindigkeit von 80 ± 2 km/h im Zeitraum von 1998 bis 2002 zeichnet sich ein Trend in Richtung Abnahme von bis zu ca. 1 dB ab verglichen zu den Lärmemissionen im Jahre 1998. Derselbe Trend ist auch im hohen Geschwindigkeitsbereich von 120 ± 5 km/h erkennbar. Ab 2002 ist bei der Geschwindigkeit von 80 ± 2 km/h kein weiterer eindeutiger Trend erkennbar. Da die Datenbasis für diese Referenzgeschwindigkeit relativ gering ist, sind keine weiteren Interpretationen möglich. Im höheren Geschwindigkeitsbereich ist ab 2004 eine leichte Zunahme von ca. 0.5 dB im Vergleich zu 1998 zu verzeichnen. Ab 2006 zeigt sich eine Zunahme von 1 bis 2 dB im Vergleich zu den Lärmemissionen von 1998 und scheint relativ konstant bis 2015 zu bleiben.

17. September 2018

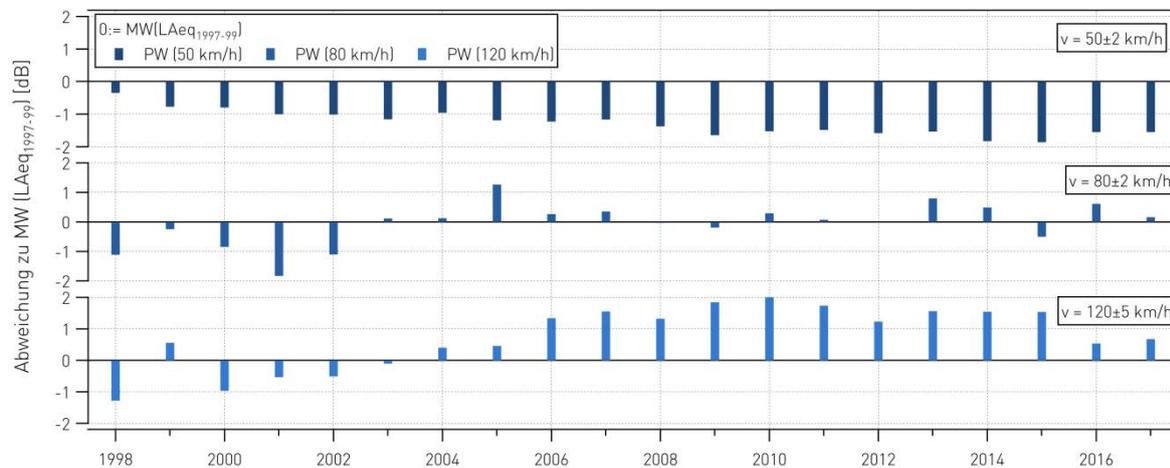


Abbildung 6: Zeitverlauf der Abweichungen in dB indexiert auf den Mittelwert von LAeq der Jahre 1998 bis 1991 für die Fahrzeugklasse PW und die Referenzgeschwindigkeiten 50 ± 2 km/h (oben), 80 ± 2 km/h (Mitte) und 120 ± 5 km/h (unten).

Abbildung 7 zeigt dieselbe Darstellung wie in Abbildung 6 für die Fahrzeugkategorie LKW. Es ist eine Abnahme der Lärmmissionen im Zeitraum von 1998 bis 2003 im Vergleich zu 1998 um 1 bis 1.5 dB zu erkennen. Dies zeigt sich in allen drei Geschwindigkeitsklassen 50, 80 und 88 km/h. Die Reduktion der Lärmmissionen scheint bei den innerorts verkehrenden LKWs stärker auszufallen als im höheren Geschwindigkeitsbereich von 80 und 88 km/h. Ab 2004 ist eine Zunahme von ca. 2 dB der mittleren Lärmmissionen im Vergleich zu 1998 erkennbar. Die Lärmmissionen scheinen zwischen 2004 bis 2017 relativ konstant für den höheren Geschwindigkeitsbereich zu bleiben. Im Zeitraum von 2004 bis 2007 sind die Lärmmissionen der innerorts verkehrenden LKWs im Vergleich zu 1998 um ca. 0.5 dB höher. Ab 2008 bleiben die Lärmmissionen relativ zur Referenz im 1998 ähnlich um ca. ± 0.3 dB.

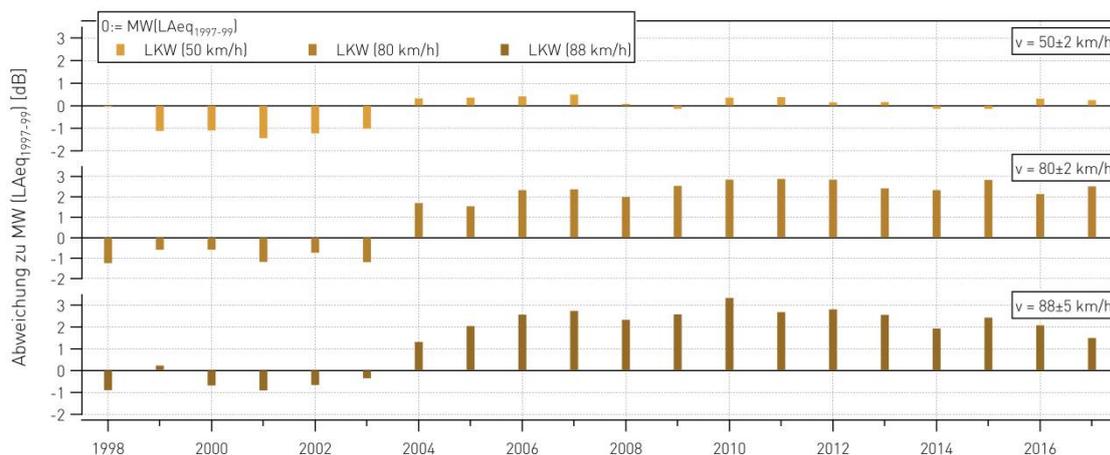


Abbildung 7: Zeitverlauf der Abweichungen in dB indexiert auf den Mittelwert von Leq der Jahre 1998 bis 1991 für die Fahrzeugklasse LKW und die Referenzgeschwindigkeiten 50 ± 2 km/h (oben), 80 ± 2 km/h (Mitte) und 88 ± 5 km/h (unten).

17. September 2018

3.2 Zusammenfassende Erkenntnisse

In Tabelle 1 sind die mittleren Trends im Zeitraum von 1998 bis 2017 der drei untersuchten Geschwindigkeitsklassen Innerortsbereich (50 ± 2 km/h), Ausserorts (80 ± 2 km/h) und hoher Geschwindigkeitsbereich (120 ± 5 bzw. 88 ± 5 km/h) für die beiden Fahrzeugklassen PW und LKW. Im Innerortsbereich zeigt sich ein Rückgang der Lärmemissionen der Personenwagen von -2 dB. Die LKWs scheinen eine Zunahme von +0.5 dB im selben Zeitraum aufzuweisen. Ausserorts ist kein Trend seit 1998 der Lärmemissionen von PWs erkennbar. Bei den LKWs ist jedoch eine Zunahme von +3 dB zu erkennen. Allerdings sind bei dieser Geschwindigkeitsklasse eher wenige Fahrzeuge gemessen worden, so dass diese Trends mit Vorsicht zu betrachten sind. Im hohen Geschwindigkeitsbereich ist die Stichprobe grösser, wobei die Trends als gefestigt genommen werden können. Hierbei ist bei den PWs eine Zunahme der mittleren Lärmemissionen um +1.5 dB seit 1998 zu sehen. Die LKWs weisen gar eine Zunahme von +3 dB auf.

Tabelle 1: Mittlere Trend pro Geschwindigkeitsklasse für die beiden Fahrzeugtypen im Zeitraum von 1998 bis 2017. Die dargestellten Trends für die Geschwindigkeitsklasse „Ausserorts“ sind in grau hinterlegt, da diese eine geringe Datengrundlage aufweisen.

	Fahrzeugtyp/Geschwindigkeit	mittlerer Trend	
Innerortsbereich	PW @ 50 ± 2 km/h	↓	-2.0 dB
	LKW @ 50 ± 2 km/h	↗	+0.5 dB
Ausserorts	PW @ 80 ± 2 km/h	→	±0 dB
	LKW @ 80 ± 2 km/h	↑	+3 dB
hoher Geschwindigkeitsbereich	PW @ 120 ± 5 km/h	↗	+1.5 dB
	LKW @ 88 ± 5 km/h	↑	+3 dB

3.3 Erklärende Statistiken

In den Kapitel 3.1 und 3.2 wurde gezeigt, dass die im Innerortsbereich verkehrenden Personenwagen leiser geworden sind und im hohen Geschwindigkeitsbereich um +1.5 dB zugenommen haben. Zudem gab es eine Zunahme der Lärmemissionen der LKWs um +0.5 im Innerortsbereich und um +1.5 dB im hohen Geschwindigkeitsbereich. In diesem Kapitel werden diese Trends anhand der Statistiken von technischen Veränderungen sowie neuen Verordnungen an der Fahrzeugflotte analysiert und darauf basierend Trends abgeleitet.

Abbildung 8 zeigt die Verschärfung der EU Fahrzeugemissionsgrenzwerte bei den Fahrzeugkategorien Personenwagen, Lastwagen und Motorräder. Nachdem im Zeitraum von 1985 bis 1995 eine Verschärfung der Grenzwerte um 8 dB für LKW, 6 dB für PW und 4 dB für Motorräder erfolgte, blieben diese Grenzwerte bis im Jahr 2016 bestehen. Im Jahr 2016 gab es zusätzliche Kategorien für die EU Fahrzeugemissionsgrenzwerte bei den Lastwagen. Ab 2016 werden die Lastwagen mit einem Gewicht von mehr als 12 Tonnen in drei Kategorien unterteilt: Leistung < 150 kW, zwischen 150 und 250 kW und > 250 kW. Dabei werden die Grenzwerte für alle drei Kategorien bis 2030 in zwei Schritten um 3 bis 4 dB gesenkt. Auch die Emissionsgrenzwerte für Personenwagen werden im Zeitraum von 2016 bis 2030 um 4 dB gesenkt. Lediglich die Grenzwerte für Motorräder bleiben bestehen basierend auf den

Grenzwerten seit 1995. Ab 2025 werden die Lastwagen mit einer Leistung von > 250 kW unter den Emissionsgrenzwert von Motorräder fallen.

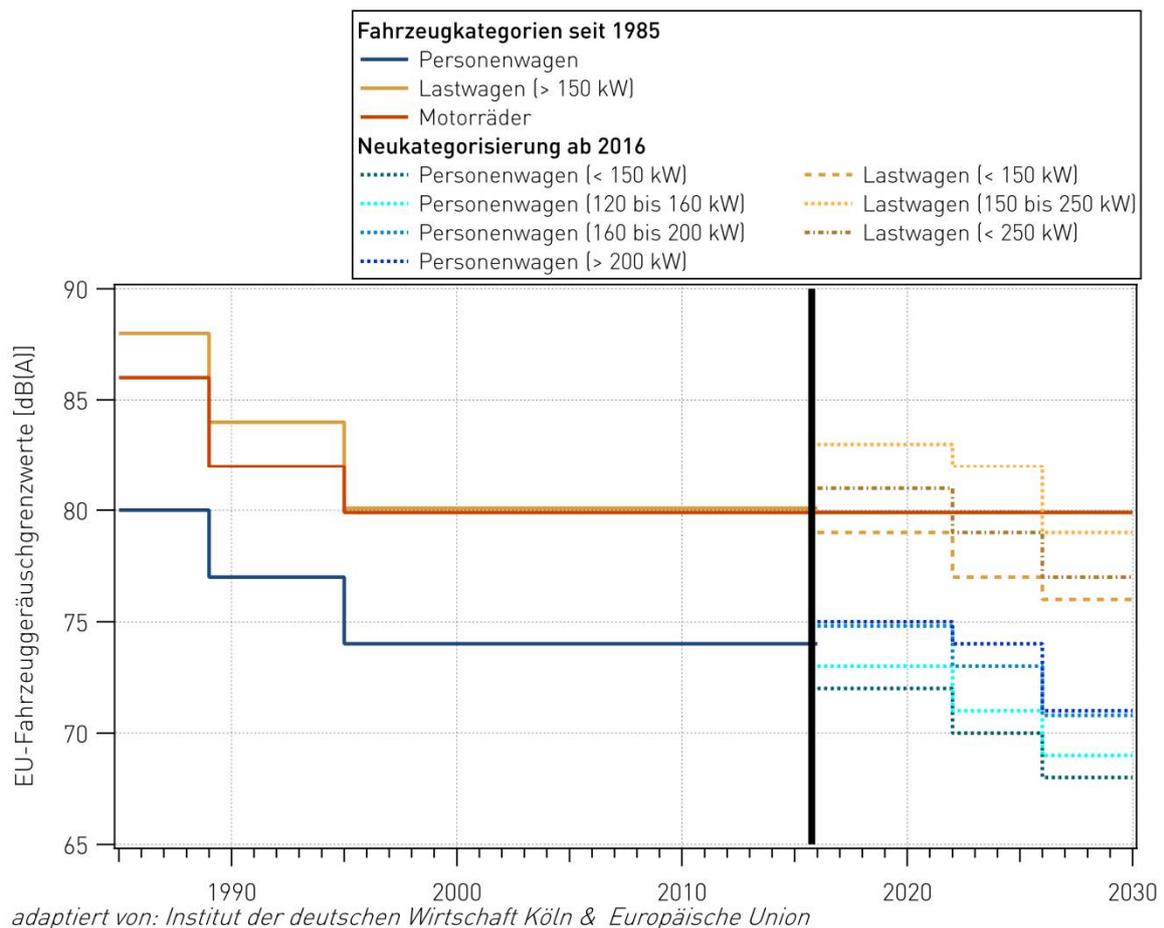


Abbildung 8: EU Lärmvorschriften für die Fahrzeugkategorien Personenwagen, Motorräder und Lastwagen mit einem Gewicht von > 12 t (Regulation EU No 540/2014). Ab 2016 gab es eine Neueinteilung der Personenwagen und Lastwagen in Kategorien abhängig des Leistungs-Masse-Verhältnis (kW/1'000 kg).

Diese Verschärfung der von der EU vorgegebenen Fahrzeugemissionsgrenzwerte zeigt sich auch auf Schweizer Strassen. Abbildung 9 zeigt die Roll- und Antriebsgeräusche der in der Schweiz verkehrenden Personenwagen in den 1980er Jahren (EMPA, 1987) sowie der in Europa verkehrenden Fahrzeuge im 2014 (Egger et al., 2017; Hammer et al., 2016). Es ist deutlich erkennbar, dass das Antriebsgeräusch im Vergleich dieser beiden Fahrzeugflotten stark abgenommen hat und somit die Rollgeräusche bei heutigen Personenwagen bereits ab einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h dominieren. Der Rückgang der Antriebsgeräusche scheint sich auf ca. -10.5 dB zu belaufen, was einhergeht mit den EU Lärmvorschriften (im Jahr 1980 lagen die EU Fahrzeugemissionsgrenzwerte für Personenwagen bei 82 dB; Zeller, 2012). Weiter ist erkennbar, dass die Rollgeräusche insbesondere bei Geschwindigkeiten unter 50 km/h, um ca. 1 bis 2 dB zugenommen haben. Dies kann einerseits auf eine Zunahme der Reifenbreite als auch eine Zunahme des Fahrzeuggewichtes zurückzuführen sein. In den nachfolgenden Kapiteln wird dies näher erläutert.

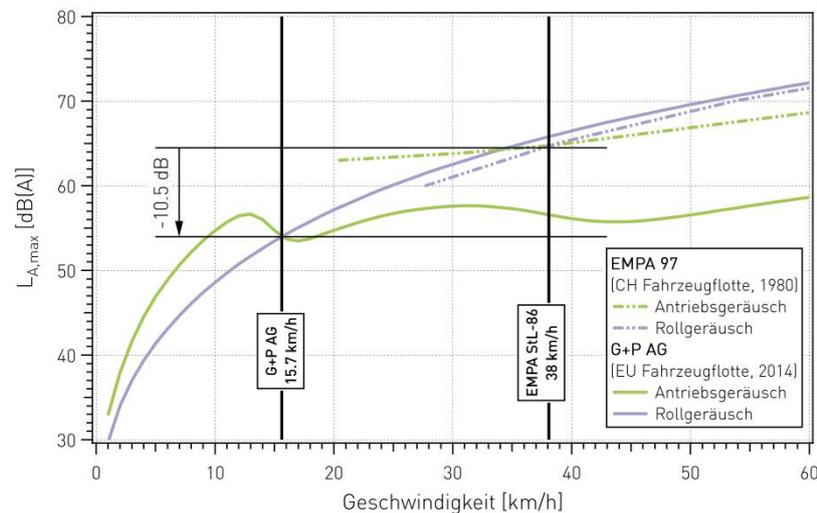


Abbildung 9: Vergleich der Übergangs-Geschwindigkeiten zwischen Antriebs- und Rollgeräusch des EMPA 97 Modells (Schweizer Fahrzeugflotte aus dem Jahr 1980) und des im Projekt VSS2012/214 von G+P AG erarbeiteten Modells (europäische Fahrzeugflotte aus dem Jahr 2014).

Fazit EU Lärmvorschriften

- Die Verschärfung der EU Lärmvorschriften im Zeitraum von 1985 bis 1995 bei den PWs als auch bei den LKWs zeigt sich womöglich in der leichten Abnahme im niedrigen Geschwindigkeitsbereich bis 2000. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Verschärfung der EU Lärmvorschriften offenbar im Realverkehr nur marginal niedergeschlagen hat.
- Während die EU Lärmemissionsgrenzwerte von 1995 bis 2016 konstant blieben, ist tendenziell eine Stagnierung der gemessenen Lärmemissionen der PWs und LKWs in den tiefen wie auch hohen Geschwindigkeitsbereichen sichtbar. Lediglich im niedrigen Geschwindigkeitsbereich bei den PWs ist eine leichte Abnahme der gemessenen Lärmemissionen zu verzeichnen, welche evtl. eine verzögerte Auswirkung der Verschärfung der EU Lärmvorschriften im Zeitraum von 1985 bis 1995 sein könnte.

3.3.1 Fahrzeugklasse PW

In diesem Kapitel werden die ermittelten Trends aus Kapitel 3.1 (zusammengefasst in Tabelle 1) mittels Statistiken der Fahrzeugklasse Personenwagen näher analysiert.

Motorisierung

Abbildung 10 zeigt die Anzahl Inverkehrsetzungen von Personenwagen pro Jahr kategorisiert nach Hubraumklassen. Im Zeitraum von 1990 bis 2016 ist eine Verdoppelung der Klasse 1'800 bis 1'900 ccm zu erkennen. Im Zeitraum von 2010 bis 2016 nahm auch die Anzahl der Kleinwagen (Hubraumklasse kleiner 1'400 ccm) stark zu. Gemäss Bundesamt für Statistik wurde bekannt, dass im Zeitraum von 2008 bis 2017 590'000 neuimmatrikulierte Personenwagen verzeichnet (dies entspricht einer relativen Zunahme von 15 % seit 2008). Somit ist diese Zunahme hauptsächlich durch die Hubraumklassen kleiner 1'400 sowie 1'800 bis 1'999 ccm geprägt. Die anderen Hubraumklassen blieben im Zeitraum von 2010 bis 2017 relativ konstant bzw. die Hubraumklasse 2'000 bis 2'4999 verzeichnet eine leichte Abnahme. Im Zeitraum von 1990 bis 2006 gab es eine relative starke Zunahme der stärker motorisierten Fahrzeuge. Bei den Hubraumklassen über 2'500 ccm gab es fast eine Verdoppelung im Vergleich zu 1990. Ab 2008 gab es nur noch eine geringe Zunahme bis 2017. Die Hubraumklasse 2'000 bis 2499 ver-

17. September 2018

zeichnet eine Zunahme von ca. 40 %. Ab 2006 ist eine Abnahme in dieser Hubraumklasse zu erkennen. Generell zeigt sich eine Stagnierung bzw. leichte Abnahme der grossen Hubraumklassen seit 2006 und die kleinen bis mittleren Hubraumklassen nehmen stärker zu.

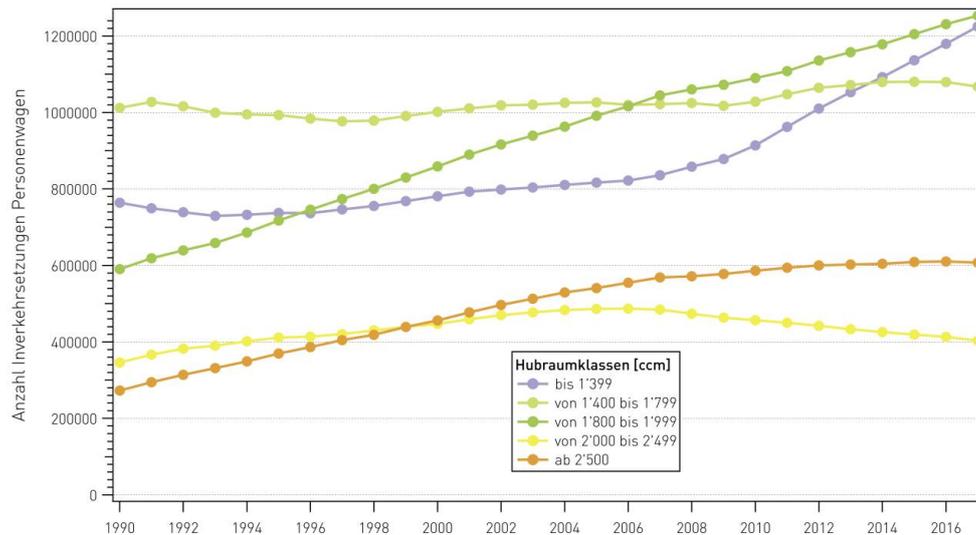


Abbildung 10: Verlauf der Anzahl Inverkehrsetzung von Personenwagen in der Schweiz von 1990 bis 2016 nach Hubraumklassen. Quelle: Bundesamt für Statistik

Da die Gösse des Motors noch nichts über dessen Leistung aussagt, ist auch die Veränderung der Motorleistung zu berücksichtigen um allfällige Lärmtrends erklären zu können. Abbildung 11 zeigt den Verlauf der Leistungsklassen der Motoren im Zeitraum von 2005 bis 2016. Die Anzahl Inverkehrsetzung von Personenwagen mit geringerer Motorenleistung von 60 bis 80 kW verzeichnete bis 2011 eine leichte Zunahme. Die Leistungsklasse 0 bis 60 kW blieb während dieser Zeit konstant. Danach gab es einen Rückgang in der Leistungsklassen kleiner 80 kW bis 2016 um ca. 40 %. Während die Leistungsklasse von 140 bis 200 kW keine markante Veränderung im Zeitraum von 2005 bis 2016 aufweist, verzeichnen die anderen Leistungsklassen 80 bis 100 sowie 120 bis 140 und grösser als 200 kW eine Zunahme an Inverkehrsetzung ab 2009. Generell ist eine Verschiebung hin zu grösseren Leistungsklassen erkennbar.

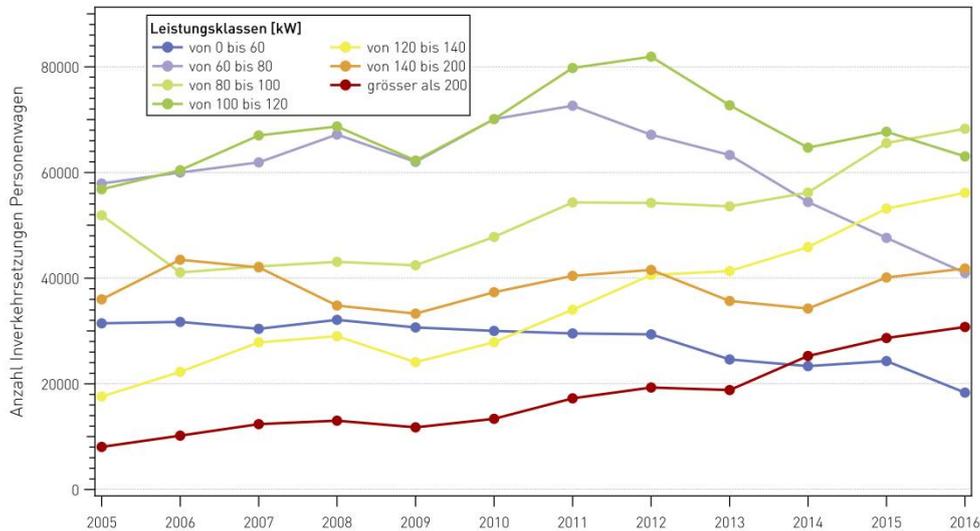


Abbildung 11: Verlauf der Anzahl Inverkehrsetzung von Personenwagen in der Schweiz von 2005 bis 2016 nach Leistungsklassen. Quelle: Bundesamt für Statistik

Fazit

- Trotz der starken Zunahme von kleineren Hubraumklassen, gibt es eine Verschiebung hin zu grösseren Leistungsklassen. Dies bedeutet, dass die Motoren zwar kleiner werden, aber leistungsfähiger sind. Lärmseitig könnte dies eine Erklärung für die stetige Abnahme der Lärmemissionen von PW im tiefen Geschwindigkeitsbereich sein. Zudem wird die zunehmende Verbesserung in der Lärmdämmung der Motoren und Antriebsstranges in den letzten Jahren unabhängig der Motorleistung und Hubraumgrösse eine weitere Erklärung für die Abnahme der Lärmemission beigetragen haben.
- Die Zunahme der Anzahl Inverkehrsetzung von schweren PWs könnte die Zunahme der Lärmemissionen im Vergleich zu 1998 im hohen Geschwindigkeitsbereich erklären. Bei schwereren Personenwagen ist eine breitere und grössere Bereifung notwendig, die zu mehr Rollgeräuschen führt. Zudem weisen grössere Personenwagen oft grössere Lärmemissionen durch aerodynamische Geräusche auf, wie dies zum Beispiel bei Fahrzeugkategorien SUV der Fall ist.

Antriebskategorie

In den letzten Jahren gab es eine relativ grosse Veränderung der Antriebskategorien, insbesondere bei den Personenwagen. Bis 2003 gab es einen stetigen Anstieg der benzinbetriebenen Fahrzeuge, dieser Anstieg wurde durch die seit 2000 ansteigende Anzahl an dieselbetriebenen Fahrzeuge gebremst (siehe Abbildung 12). Ab dem Jahr 2004 gab es einen Anstieg der alternativen Antriebe und ab 2010 nahm die Anzahl an Elektrofahrzeugen zu. Aus diesem Grund gab es seit 2005 einen Rückgang der benzinbetriebenen Fahrzeuge. Der relative Anteil der Antriebskategorien „Andere“ und „Elektrisch“ am gesamten Bestand an Personenwagen beträgt im 2017 lediglich je 0.01 %, wobei sich der Anteil an Dieselbetriebenen Fahrzeugen bei 33 % liegt. Die benzinbetriebenen Fahrzeuge liegen mit 65 % am Höchsten. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, wird das Rollgeräusch bereits ab einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h dominant und das Antriebgeräusch hat bei 50 km/h bereits einen relativ geringen Anteil und im hohen Geschwindigkeitsbereich gar einen vernachlässigenden Anteil. Somit ist die Zunahme der elektrisch betriebenen und der „Anderen“ Antriebe kaum der Grund für den Rückgang der Lärmemissionen im tiefen Geschwindigkeitsbereich. Die Studie Grunder (2017) zeigte, dass dieselbetriebene

geringe Lärmemissionen verursachen als benzinbetriebene Fahrzeuge und dies unabhängig vom Baujahr. Somit könnte die Zunahme dieselbetriebenen Fahrzeuge zum Rückgang der Lärmemissionen um -2.0 dB im Jahr 2017 im Vergleich zu 1998 (siehe Tabelle 1) beigetragen haben.

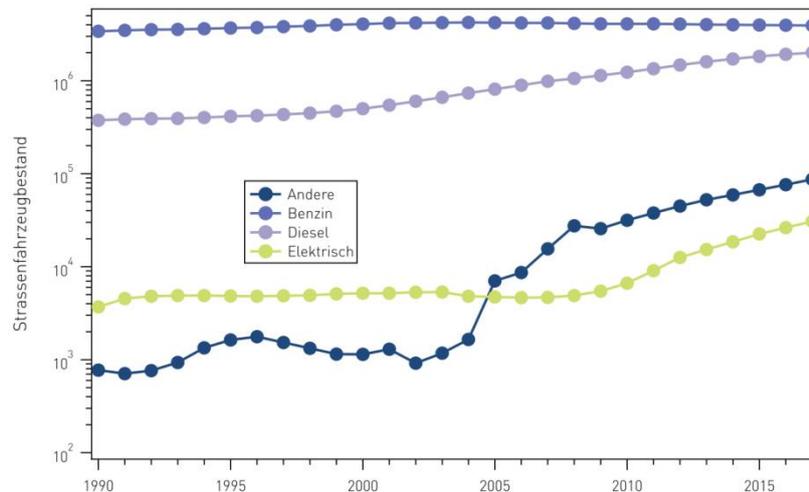


Abbildung 12: Strassenfahrzeugbestand in der Schweiz von 1990 bis 2017 kategorisiert nach Antriebsarten Benzin, Diesel, elektrisch und andere (Erdgas, Brennstoffzellen, etc.). Quelle: Bundesamt für Statistik, Mobilität & Verkehr

Fazit

- Die Zunahme an alternativen Antriebskategorien (elektrisch, Hybrid, Erdgas, etc.) scheinen einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Lärmemissionen bei Geschwindigkeiten > 50 km/h zu haben. Ein Grund dafür ist sicherlich das bereits ab tiefen Geschwindigkeiten dominierende Rollgeräusch das bei allen Fahrzeugkategorien auftritt. Zudem ist der Anteil an alternativen Antriebskategorien am gesamten Strassenfahrzeugbestand relativ gering.
- Der seit 2005 zunehmende Anteil an dieselbetriebenen Fahrzeuge kann einen möglichen Beitrag an der Abnahme der Lärmemissionen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich haben. Auch in diesen Geschwindigkeiten kann das Antriebsgeräusch noch einen gewissen Einfluss auf die gesamten Lärmemissionen eines Fahrzeuges haben (insbesondere bei Fahrzeugen mit Baujahr anfangs der 2000er).

Bereifung

Da das Rollgeräusch bei aktuellen Personenwagen bereits ab tiefen Geschwindigkeiten von ca. 20 km/h dominiert, stellt die Bereifung der Fahrzeuge einen wichtigen Bestandteil der Lärmemissionen für alle in dieser Studie untersuchten Geschwindigkeitsklassen dar. Seit 2005 nehmen die Felgenreisse sowie die mittlere im Verkehr eingesetzte Reifenbreite relativ stark zu (siehe Abbildung 13). In diesem Zeitraum von 10 Jahren gab es eine Zunahme der mittleren Reifenbreite um 8.8 mm und die mittlere Felgenreisse nahm um 0.7 Zoll (1.8 cm) zu. Wie die Studie Hammer & Bühlmann (2018) zeigte, weisen grössere Reifenbreiten tendenziell höhere Lärmemissionen auf, allerdings mit einem relativ grossen Lärminderungspotential beim Einsatz von Reifen mit lärmmindernden Eigenschaften. Es ist davon auszugehen, dass die Entwicklung der Reifen bezüglich lärmmindernden Eigenschaften erst in den letzten paar Jahren voranschritt und der Einfluss auf die Trends der Lärmemissionen in der Vergangenheit eher gering ist. Allerdings könnte die Zunahme der Reifenbreite eine mögliche Erklärung

17. September 2018

für die Zunahme im hohen Geschwindigkeitsbereich von +1.5 dB im Jahr 2017 verglichen mit den Emissionen im 1998 sein.

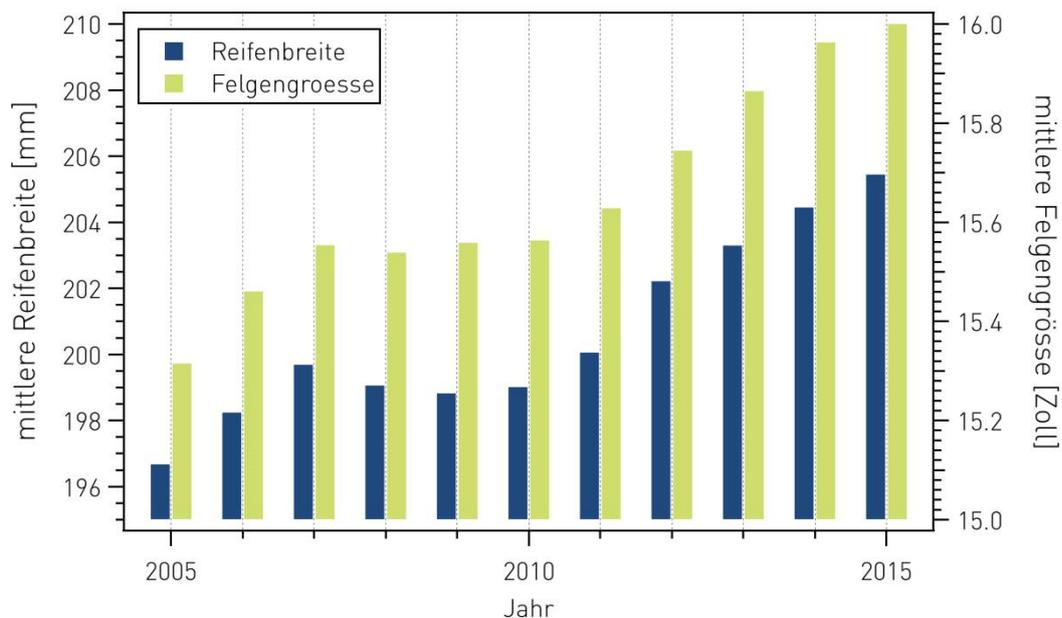


Abbildung 13: Verlauf der mittleren Reifenbreite und mittleren Felgengrösse von 2005 bis 2015 in der Schweiz. *adaptiert von Grunder [2017]*

Fazit

Die Zunahme der Bereifung um 8.8 mm im Zeitraum von 2005 bis 2010 könnte eine mögliche Erklärung für die Zunahme der Lärmemissionen bei Personenwagen im hohen Geschwindigkeitsbereich ab ca. 2005 sein.

- Der leichte Rückgang der Lärmemissionen in den Jahren 2016 und 2017 könnte auf die vermehrt eingesetzten Reifen mit lärm mindernden Eigenschaften hindeuten. Laut Informationen (pers. Komm. EuroNoise und InterNoise Tagungen) aus der Reifenindustrie werden diese vermehrt bei der Erstbereifung montiert um die EU Fahrzeugemissionsgrenzwerte einhalten zu können. Wie die Studie Hammer & Bühlmann (2018) zeigt, ist im besten Fall ein Lärminderungspotential durch solche Reifen um bis zu 3.5 dB möglich.

3.3.2 Fahrzeugklasse LKW

In diesem Kapitel werden die ermittelten Trends aus Kapitel 3.1 (zusammengefasst in Tabelle 1) mittels Statistiken der Fahrzeugklasse LKW näher analysiert.

17. September 2018

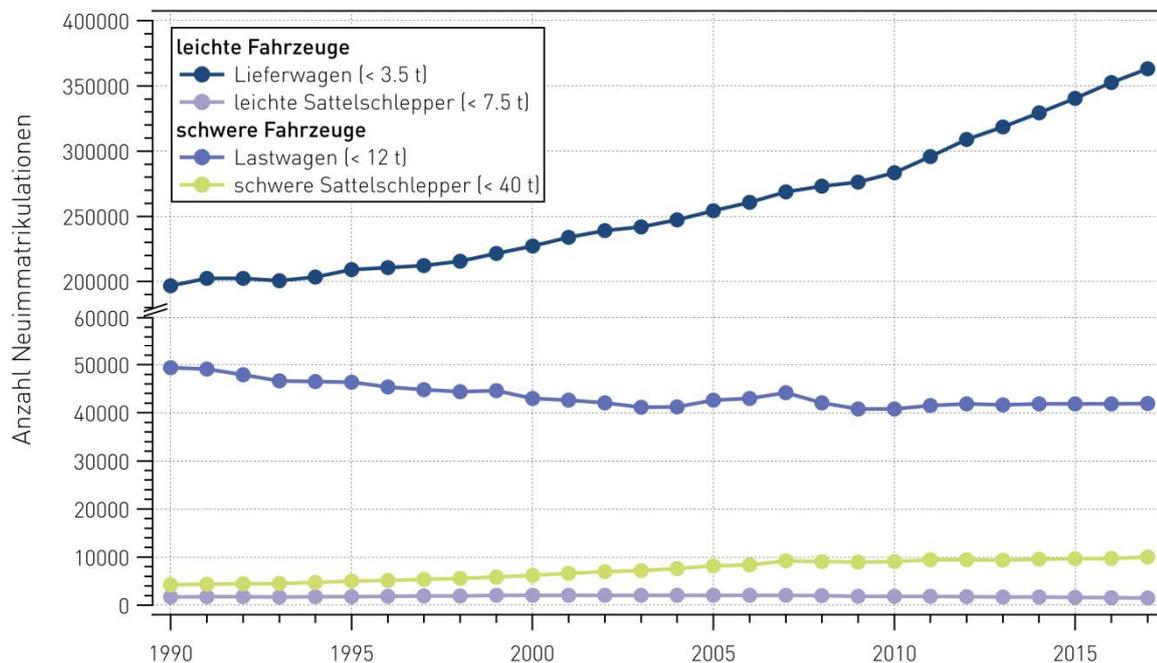


Abbildung 14: Verlauf der Neuimmatrikulationen (in der Schweiz) von leichten (Lieferwagen und leichte Sattelschlepper) und schweren Transportfahrzeugen (Lastwagen und schwere Sattelschlepper) im Zeitraum von 1990 bis 2017. Quelle: Bundesamt für Statistik, Mobilität & Verkehr

In den Kapitel 3.1 und 3.2 wurden die Lärmemissionen der Fahrzeugklasse LKW gezeigt. Dabei wurden lediglich Lastwagen ab einem Gewicht von 3.5 t berücksichtigt. Abbildung 14 zeigt die Anzahl Neuimmatrikulationen (in der Schweiz) der Transportfahrzeuge seit 1990 nach Gewichtsklasse kategorisiert. Die Anzahl Neuimmatrikulationen von Lieferwagen nahm seit 1990 stetig zu. Ein Grund dafür ist sehr wahrscheinlich die im Jahr 1985 eingeführte pauschale Schwerverkehrsabgabe für Fahrzeuge > 3.5 t. Diese machte es für Lieferwagen kostengünstiger auf Nationalstrassen zu fahren. Es zeichnet sich eine leichte Zunahme von 20 % der Neuimmatrikulationen von schweren Sattelschleppern im Zeitraum von 1995 bis 2000. Von 2000 bis 2005 nahm die Fahrzeugkategorie stärker zu und stieg um mehr als 30 %. Dies kann auf die höher zugelassene Gewichtslimite von 34 Tonnen zurückzuführen sein. Die im Jahr 2005 relativ stark zugenommene Anzahl an schweren Sattelschlepper (bis 40 Tonnen) wird auf die neue Gewichtslimite von 40 Tonnen zurückzuführen sein. Im 2005 wurden doppelt so viele schwere Sattelschlepper immatrikuliert wie im Jahr 1990. Die Anhebung der Gewichtslimite wird den relativ starken Rückgang an Neuimmatrikulationen von Lastwagen mit einem Gewicht unter 12 Tonnen erklären können. Die Anzahl Neuimmatrikulationen leichter Sattelschlepper (bis 7.5 Tonnen) zeigte bis zur Anhebung der Gewichtslimite auf 34 Tonnen einen leichten Anstieg von knapp 20 % und nahm danach wieder ab und liegt im Jahr 2016 um 15 % tiefer als im Jahr 1990.

Abbildung 15 zeigt die Fahrleistungen der oben erläuterten Fahrzeugkategorien pro Jahr. Hierbei sind auch die ausländischen in der Schweiz verkehrenden Fahrzeuge miteingerechnet. Diese bilden ziemlich genau dieselben Trends der Anzahl Neuimmatrikulationen ab. Die Fahrleistung der Lieferwagen nahm im Vergleich zu 1993 bis 2016 um fast das Doppelte zu. Ab Anhebung der Gewichtslimite von 28 auf 34 Tonnen im Jahr 2001 nahm die Fahrleistung der Lastwagen (< 12 t) kontinuierlich ab und betrug im Jahr 2016 um 20 % weniger als im Jahr 2000. Die Fahrleistung der schweren Sattelschlepper

17. September 2018

(< 40 t) ab 2001 bis 2016 um fast 50 % zu. Seit 2010 scheint sich die Zunahme abzuschwächen. Dies kann womöglich durch die Eröffnung des NEAT-Lötschberg-Basistunnels erklärt werden und der einhergehenden Verlagerung auf die Schiene. Die Fahrleistung der leichten Sattelschlepper (< 7.5 t) hatte bereits 1993 einen relativ geringen Anteil an der gesamten Fahrleistung der Transportfahrzeuge und verzeichnet im 2016 einen Rückgang um 40 % verglichen mit 1993.

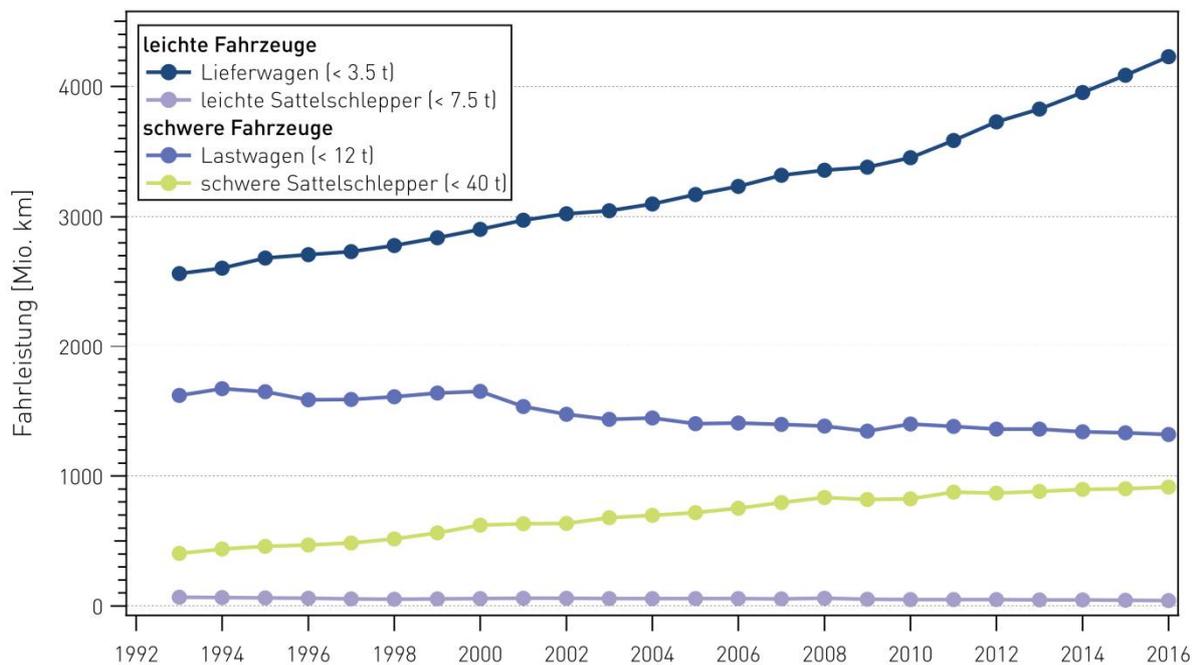


Abbildung 15: Verlauf der Fahrleistungen (in Mio. Kilometern) in der Schweiz der verschiedenen Transportfahrzeuge.
Quelle: Bundesamt für Statistik, Mobilität & Verkehr

Fazit Fahrleistung der Transportfahrzeuge

- Eine mögliche Erklärung des Rückgangs der Lärmemissionen von LKWs im niedrigen Geschwindigkeitsbereich bis 2001 sind technische Fortschritte bei den Motoren und der akustischen Abschirmung des Motorenraums.
- Die ab 2004 starke Zunahme der Lärmemissionen der LKWs im hohen Geschwindigkeitsbereich ist wahrscheinlich durch den relativ starken Anstieg der Fahrleistung von schweren Sattelschleppern (bis 40 Tonnen) erklärbar. Sattelschlepper sind mehrachsrig und verursachen höhere Rollgeräuschpegel, die im höheren Geschwindigkeitsbereich verstärkt auftreten.

4. Synthese

Nachfolgende Abbildung 16 zeigt den Zeitverlauf der Abweichungen in dB indexiert auf den Mittelwert von Leq der Jahre 1997 bis 1999 für die Fahrzeugklasse PW und weiter unten für LKW zusätzlich mit den erklärenden Statistiken und den damit zu erwartenden Trends der Lärmemissionen.

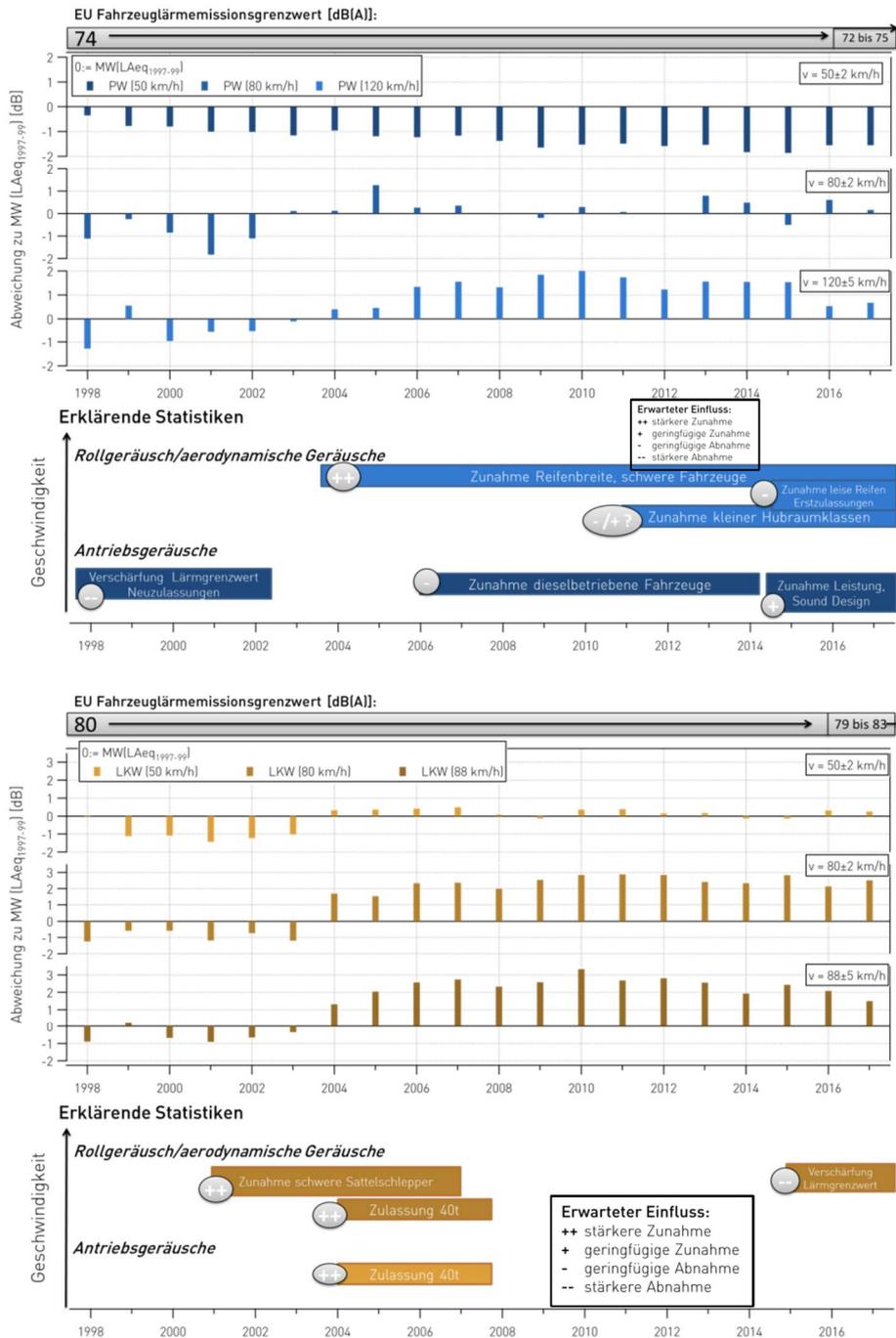


Abbildung 16: Trends der Lärmemissionen für die Fahrzeugkategorien PW (blau) und LKW (braun). Die erklärenden Statistiken weisen auf mögliche Erklärungen der jeweiligen Lärmemissionstrends des Zeitabschnittes hin. Die Stärke des erwarteten Einflusses ist mit der Anzahl „+“ und „-“ angezeigt.

5. Schlussfolgerungen

Das vorliegende Projekt wertet Daten von 180'00 Einzelvorbeifahrten an 980 Standorten aus und zeigt die Veränderungen der Lärmemissionen der Schweizer Fahrzeugflotte und deren Bereifung auf Schweizer Strassen auf. Im Fokus lagen die Gesamtemissionen eines Fahrzeuges bei Geschwindigkeiten von 50, 80 und 120 km/h. Diese wurden im Zeitverlauf statistisch analysiert und mit den Trends verschiedenster Entwicklungen in der Fahrzeugindustrie überlagert.

Trends der Lärmemissionen

Es zeigte sich, eine Abnahme der Lärmemissionen von Personenwagen im Innerortsbereich um ca. -2 dB und eine Zunahme der Emissionen im hohen Geschwindigkeitsbereich um +1.5 dB im Zeitraum von 1998 bis 2017. Die Lärmemissionen der Fahrzeugkategorie LKW im Innerortsbereich nahm im selben Zeitraum um +0.5 dB und im hohen Geschwindigkeitsbereich um +3 dB zu.

	Fahrzeugtyp/Geschwindigkeit	mittlerer Trend	
Innerortsbereich	PW @ 50±2 km/h	↓	-2.0 dB
	LKW @ 50±2 km/h	↗	+0.5 dB
hoher Geschwindigkeitsbereich	PW @ 120±5 km/h	↗	+1.5 dB
	LKW @ 88±5 km/h	↑	+3 dB

Trends der Lärmemissionen sequentiell mit erklärenden Statistiken

Wie die Auswertungen zeigen, wirken sich die Entwicklungen im Fahrzeugpark in Abhängigkeit der jeweils dominierenden Schallentstehungsart (Roll- und Antriebsgeräusche) unterschiedlich auf die Veränderung der Lärmemissionen aus. Entsprechend sollten auch zukünftige Lärmemissionstrends für die einzelnen Fahrzeugkategorien und Geschwindigkeitsbereiche jeweils separat betrachtet und berücksichtigt werden.

Empfehlung

Diese Studie zeigte, dass in der Entwicklung der Abschirmung des Antriebsstranges sowie mit der Senkung des EU Fahrzeugemissionsgrenzwertes teilweise eine Abnahme der Fahrzeugemissionen erfolgen konnte. Allerdings gab es teilweise Zunahmen der Fahrzeuginneremissionen zum Teil durch breitere Reifen sowie schwerere Fahrzeuge (beider Fahrzeugkategorien PW und LKW) bedingt. Ein mögliches Potential die Fahrzeuginneremissionen zu mindern besteht somit in der Senkung der Rollgeräuschemissionen durch den verbreiteten Einsatz von leiseren Reifen sowie allenfalls auch durch Senkung der aerodynamischen Geräusche.

Grolimund + Partner AG



Erik Bühlmann



Emanuel Hammer

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Strassen (ASTRA) & Bundesamt für Umwelt (BAFU): Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c : Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen., 2013.

Egger, S., Bühlmann, E., Hammer, E. and Ziegler, T.: Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30, Forschungsprojekt VSS 2012/214 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute, 2017.

EMPA: Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, in Schriftenreihe Umwelt Nr. 60, p. 47, Bundesamt für Umweltschutz, Bern., 1987.

EN ISO 11819-1:2002: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method., 2002.

Europäisches Parlament, R. der E. U.: Verordnung (EU) Nr. 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157., 2014.

Grunder, S.: Entwicklung der PKW-Lärm-Emissionen bei der Zulassung - Analyse der Stand- und Vorbeifahrtsmessung der Jahre 2005 bis 2015., 2017.

Hammer, E. and Bühlmann, E.: Lärminderungspotential leiser Reifen auf gängigen Schweizer Strassenbelägen, Bundesamt für Umwelt BAFU, 2018.

Hammer, E., Egger, S., Saurer, T. and Bühlmann, E.: Traffic noise emission modelling at lower speeds, in Conference Proceeding ICSV 2016, pp. 1–8., 2016.

Sandberg, U.: Standardized corrections for temperature influence on tire/road noise, Conf. Proc. Internoise San Fr., 2015.

Sandberg, U. and Dong, M.: Shall We Measure Lmax or Leq of Road Vehicles?, Conf. Proceeding Internoise 1994, 26(3), 397–303, 1994.

Zeller, P.: Handbuch Fahrzeugakustik., 2012.

Anhang

I Überprüfung Trend

Wie in Kapitel 2.1 erläutert, wurden die Einzelvorbeifahrten mittels des Belagsgütewerts neutralisiert, so dass alle Einzelvorbeifahrten unterschiedlicher Strassenbelagstypen miteinander verglichen werden können. Dabei wurde der Belagsgütewert aus den Einzelvorbeifahrten an den jeweiligen Messstandorten ermittelt. Der so ermittelte Belagsgütewert kann deshalb durch die Veränderung der Fahrzeugflotte beeinflusst sein. Um dies zu überprüfen wurden zwei unabhängige Zusatzauswertungen durchgeführt:

1. Um die ermittelten Trends zu überprüfen wird ein unabhängiger Datensatz von CPX-Messungen herangezogen. Da sich SMA Beläge als akustisch relativ stabil erweisen, werden ausschliesslich Messungen auf SMA Belägen verwendet. Mittels dieses SMA-Datensatzes wird ein Belagsalterungsmodell erstellt. Den SPB-Messdaten auf SMA Belägen wird anhand dieses Belagsalterungsmodells der Einfluss des Belags abgezogen, um den reinen Einfluss der Fahrzeugemissionen zu eruieren. Insgesamt wurden an 1'877 SPB-Einzelvorbeifahrtsmessungen auf SMA Belägen durchgeführt, welche für die vorliegende Validierung des Trends verwendet werden können.
2. Leidglich Einzelvorbeifahrtsmessungen aus SPB-Messstandorten wurden berücksichtigt, bei denen im selben Jahr auch CPX Messungen durchgeführt wurden. Um die Einzelvorbeifahrten zu neutralisieren und belagsunabhängig zu machen wurde der Belagsgütewert aus den jeweiligen CPX Messungen verwendet. Dabei wurden für jeden SPB-Standort jeweils 60 m des Belages der CPX-Messungen als Mittel für den Belagskennwert ermittelt. Dieser Belagskennwert diente für die jeweiligen Einzelvorbeifahrten zur Belagsneutralisierung.

Die Datenlage ist bei beiden Methoden geringer als die gesamte Zeitreihe. Allerdings bietet die Methode 1) einen grösseren Datensatz (siehe Abbildung 17) als Methode 2), wobei die Methode 2) robustere Ergebnisse liefert aufgrund der direkten CPX Messungen. Bei Methode 1) gilt jedoch zu beachten, dass die Verwendung eines Belagsalterungsmodells zu Ungenauigkeiten führt, welche sich aufgrund der eher geringen akustischen Streuung von SMA Belägen in Grenzen halten. Für Methode 1) wurden die Geschwindigkeiten 50 und 80 km/h mit jeweils einer Toleranz von 2 km/h betrachtet. Bei Methode 2) wurden Daten mit Referenzgeschwindigkeiten von 50 km/h mit einer Toleranz von 5 km/h und 120 km/h für PW sowie 88 km/h für LKW jeweils mit einer Toleranz von 5 km/h verwendet. Für Methode 2) wurden die Daten mit Referenzgeschwindigkeiten von 80 km/h nicht verwendet, da eine zu geringe Anzahl an Einzelvorbeifahrten bei diesen Geschwindigkeiten gemessen wurde (siehe Abbildung 18). Die Geschwindigkeit vor 88 km/h für LKW wurde gewählt, da die grösste Anzahl an Einzelvorbeifahrtsmessungen bei dieser Referenzgeschwindigkeit gefunden wurde.

17. September 2018

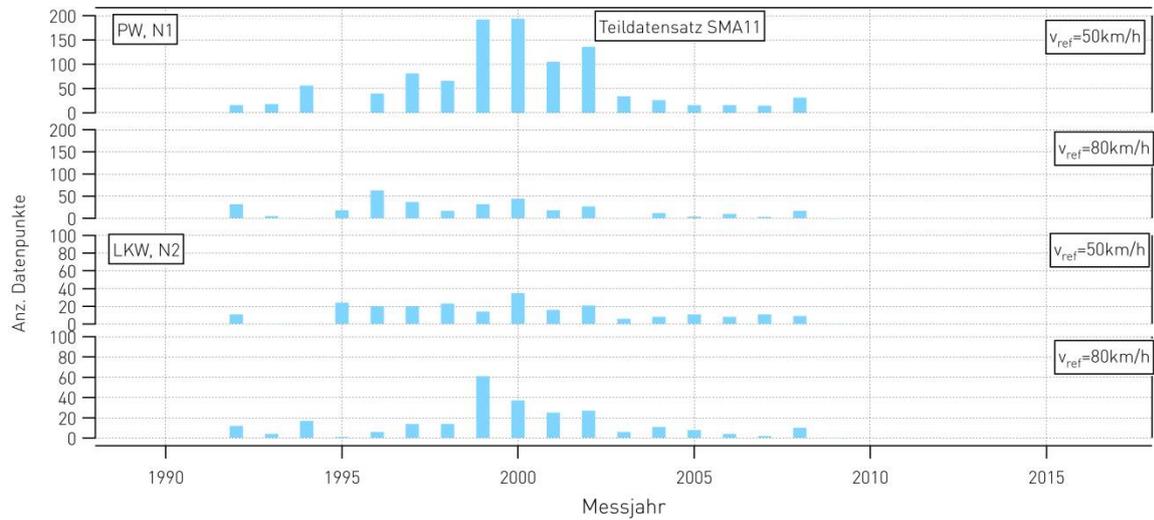


Abbildung 17: Anzahl Datensätze pro Messjahr für die Fahrzeugklassen PW und LKW sowie der Geschwindigkeitsklassen $v_{ref} = 50 \pm 2$ und 80 ± 2 km/h auf SMA 11 Belägen (Methode 1).

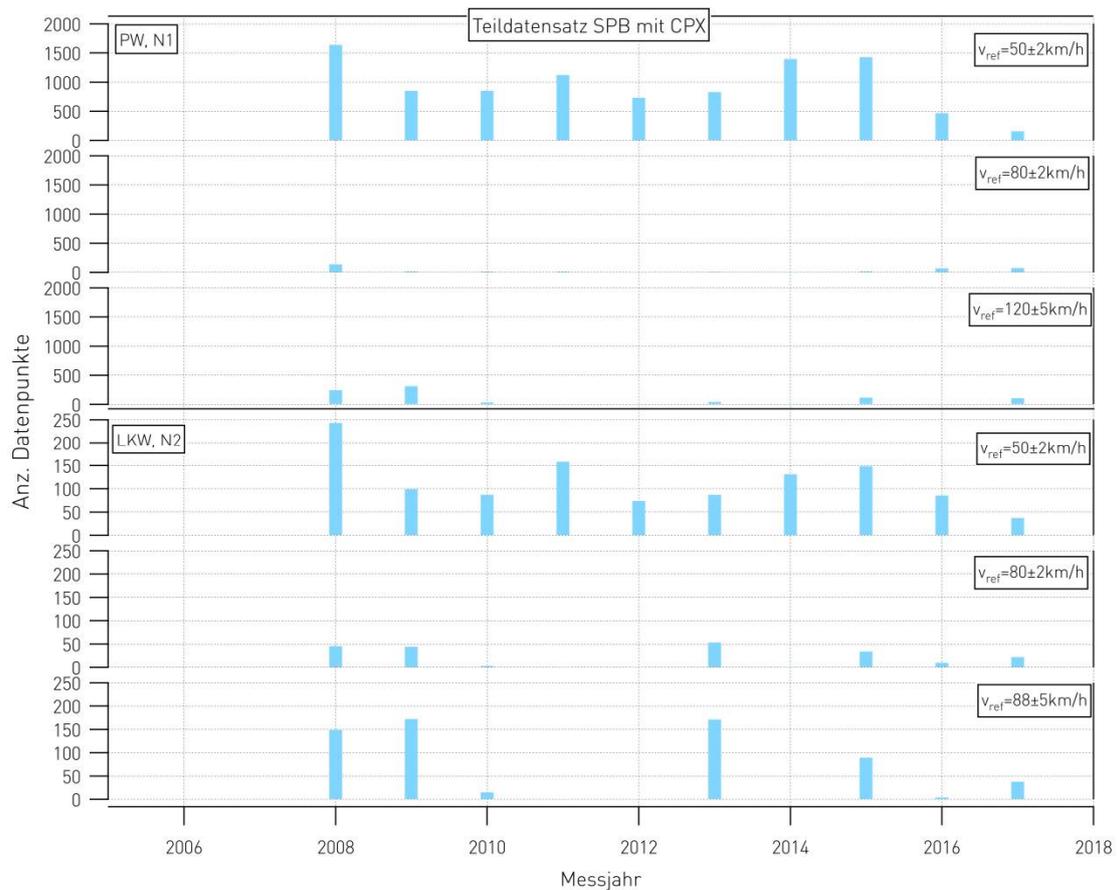


Abbildung 18: Anzahl Datensätze pro Messjahr für die Fahrzeugklassen PW und LKW sowie der Geschwindigkeitsklassen $v_{ref} = 50 \pm 2$, 80 ± 2 km/h und 120 ± 5 km/h (für PW) und 88 ± 5 km/h (für LKW) von Einzelvorbeifahrtmessungen bei denen im selben Jahr auch CPX Messungen durchgeführt wurden (Methode 2).

17. September 2018

Resultate Methode 1)

In Abbildung 19 sind zusätzlich zu den in Abbildung 3 und 4 angegebenen Einzelvorbeifahrtspegel (Leq) mit Belagsneutralisierung durch die jeweilige SPB-Messung, die nach Methode 1) ermittelten Einzelvorbeifahrtspegel als 10. – 90. Perzentile (graue Fläche) und Median (graue Linie) dargestellt. Die Überprüfung des Trends zeigt:

- Die im Gesamtdatensatz festgestellten Trends (siehe Abbildung 3 und 4) erhärten sich
- geringfügige Abweichungen sind von 2004 bis 2008 feststellbar, was darauf hindeuten könnte, dass die Emissionen von PW und LKW etwas stärker abgenommen haben als die Analysen des Gesamtdatensatzes hergeben. Allerdings muss beachtet werden, dass gerade in diesem Zeitraum die Stichprobe mit ca. 20 Fahrzeugen pro Jahr klein ist.
- Die unabhängige Auswertung für SMA-Beläge bei Geschwindigkeiten von 80 km/h folgte ebenfalls des Trends des Gesamtdatensatzes, sowohl für PW als auch LKW.

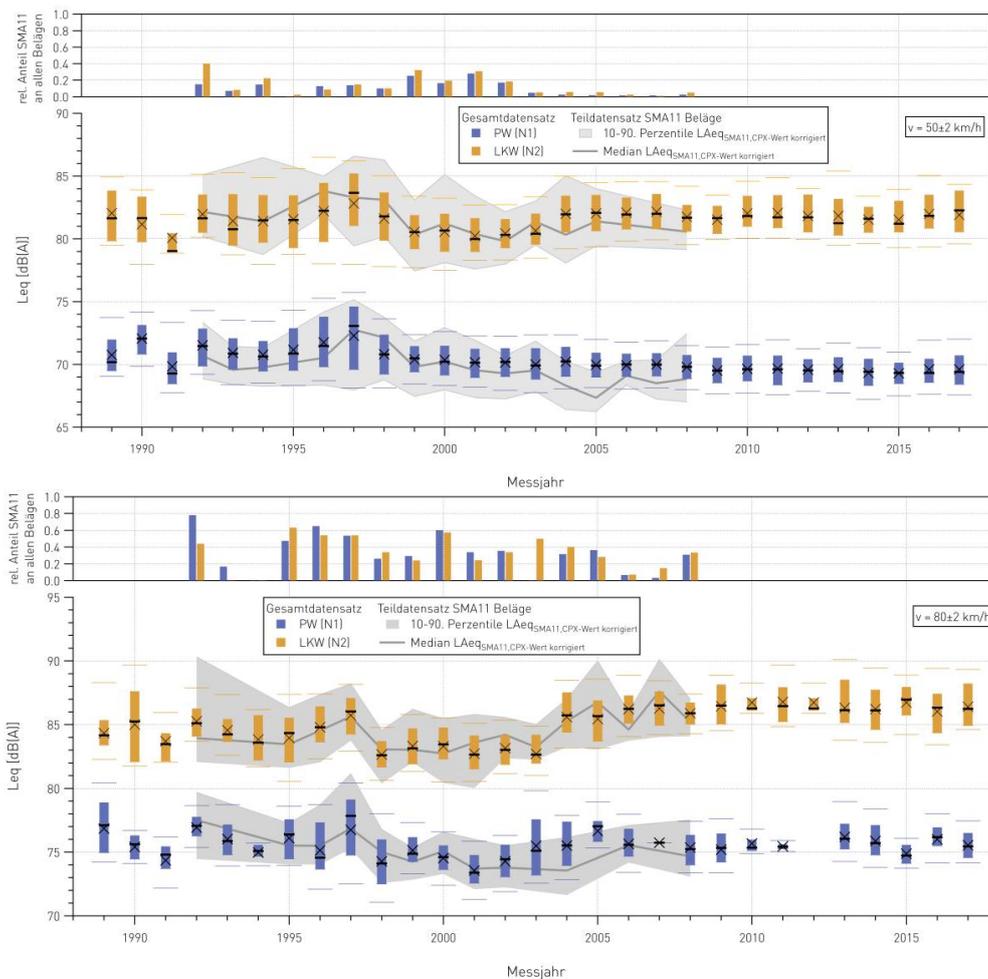


Abbildung 19: Überprüfung der Lärmemissionstrends nach Methode 1) für die Referenzgeschwindigkeiten 50 km/h (oben) und 80 km/h (unten). Die ermittelten Leq-Werte sind als Boxplots (10., 25., 75. und 90. Perzentile mit Median [schwarze Linie] und Mittelwert [X]) dargestellt. Die ermittelten Leq-Werte, welche nach Methode 1) belagsunabhängig gemacht wurden, sind als graues Band (10. – 90. Perzentile) und Median (dunkelgraue Linie) hinterlegt. Im jeweils oberen Teil der Abbildung sind die Anteile der SMA 11 Beläge relativ zur Gesamtanzahl der im jeweiligen Jahr gemessenen Beläge dargestellt.

Resultate Methode 2)

In Abbildung 20 sind zusätzlich zu den in Abbildung 3 und 4 angegebenen Einzelvorbeifahrtspegel als Boxplots (Leq) mit Belagsneutralisierung durch die jeweilige SPB-Messung, die nach Methode 2) ermittelten Einzelvorbeifahrtspegel als 10. – 90. Perzentile (graue Fläche) und Median (graue Linie) dargestellt. Die Überprüfung des Trends zeigt:

- Es ist eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden unabhängigen Datensätzen sichtbar
- Im hohen Geschwindigkeitsbereich scheinen die Trends durch den Einfluss der Fahrzeugflottenänderung im Belagsgütwert (blaue und rote Boxplots;) leicht abgeschwächt.
- Die Trends zeigen allerdings in die richtige Richtung und verlaufen fast parallel zueinander. Was somit als wichtige Bestätigung unserer Datenanalyse dient.

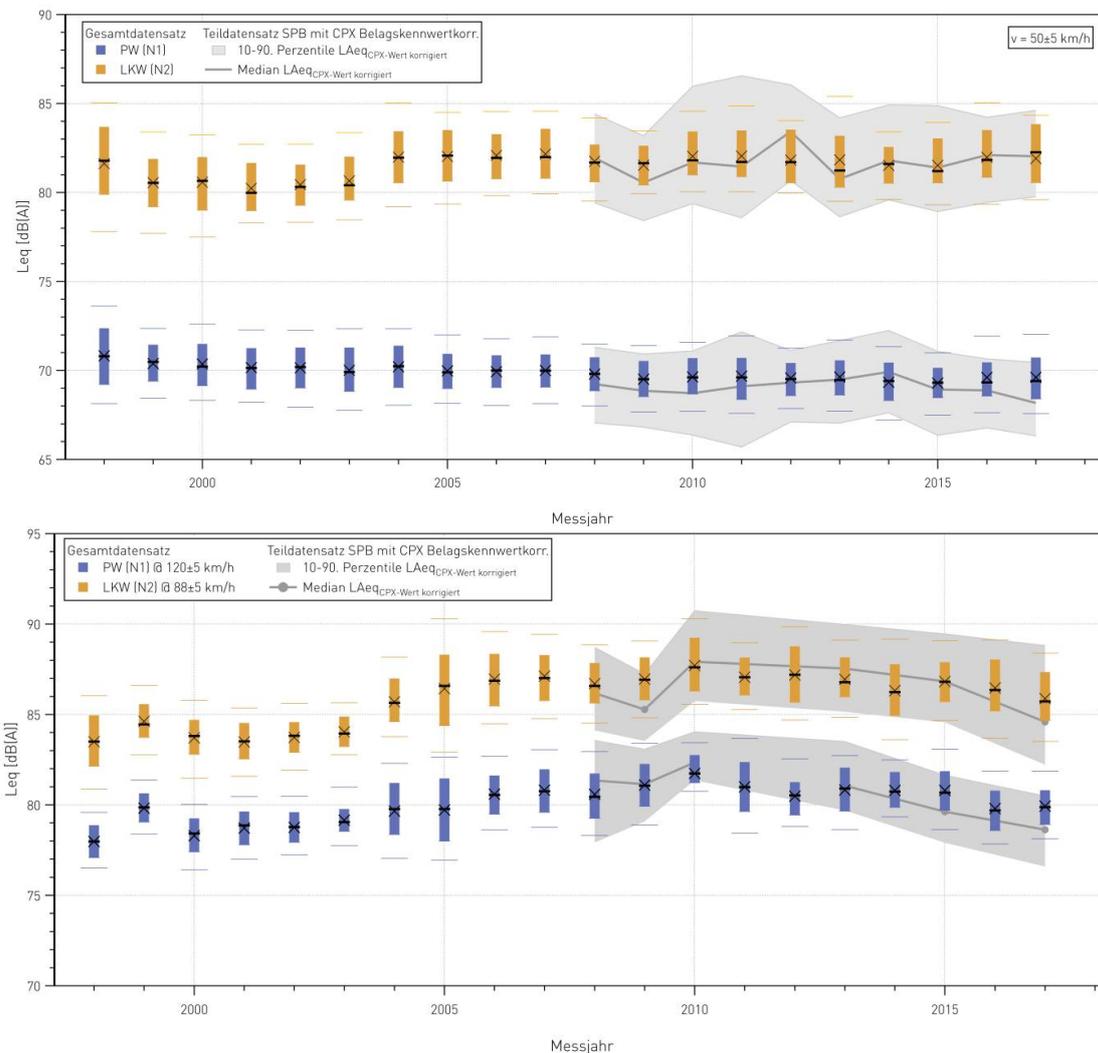


Abbildung 20: Überprüfung der Lärmemissionstrends nach Methode 2) für die Referenzgeschwindigkeiten 50 km/h (oben) und 88 km/h für LKW bzw. 120 km/h für PKW (unten). Die ermittelten Leq-Werte sind als Boxplots (10., 25., 75. und 90. Perzentile mit Median [schwarze Linie] und Mittelwert [X]) dargestellt. Die ermittelten Leq-Werte, welche nach Methode 2) belagsunabhängig gemacht wurden (Belagsneutralisierung der Einzelvorbeifahrten anhand von in selben Jahr durchgeführten CPX-Messungen), sind als graues Band (10. – 90. Perzentile) und Median (dunkelgraue Linie) hinterlegt.

Fazit Überprüfung Trend

- Beide Methoden zeigen unabhängig voneinander vergleichbare Entwicklungen analog der Auswertung der Gesamtdaten und untermauern damit die gezeigten Trends.