



Urtenen-Schönbühl, 9. Dezember 2020

Entwicklung der PKW-Lärm-Emissionen bei der Zulassung

Analyse der Stand- und Vorbeifahrtmessung der Jahre 2005 bis 2019

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Auftraggeber**Bundesamt für Umwelt BAFU**

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 93 11 · Fax. +41 58 462 99 81 · info@bafu.admin.ch · www.bafu.admin.ch

Auftragnehmer**Touring Club Schweiz**

Postadresse: Bahnhofstrasse 5, CH-3322 Urtenen-Schönbühl

Tel. +41 58 827 36 24 · Fax. +41 58 827 69 00 · experte.mobe@tcs.ch · www.tcs.ch

Autor

Sascha Grunder · Leiter Umwelt und Energie · TCS Mobilitätsberatung

„Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.“

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1.1. Einleitung	5
2. Methoden	6
2.1. MOFIS	6
2.2. TARGA-DATA	6
2.3. Rahmenbedingungen	6
2.4. Messprotokoll für Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs	6
2.4.1. Anordnung des Mikrofons	6
2.4.2. Betriebsbedingungen des Motors Solldrehzahl	8
2.4.3. Das Prüfverfahren	8
2.4.4. Validierung der Prüfung	8
2.4.5. Ergebnisse	8
2.5. Auswahl der Datensätze aus MOFIS	8
2.6. Messprotokoll für Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt	8
2.6.1. Messanordnung	8
2.6.2. Messgelände	9
2.6.3. Störgeräusche und Windeinfluss	10
2.6.4. Messbedingungen	10
2.6.5. Messmethode und Betriebszustand der Fahrzeuge	10
2.6.6. Anzahl der Messungen und Auswertung	10
2.6.7. Grenzwert für Personenwagen nach VTS	10
2.6.8. Grenzwerte nach Verordnung (EU) Nr. 540/2014	11
2.7. Aufbereitung der TARGA-DATA	12
2.7.1. Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs	12
3. Resultate	13
3.1. Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs	13
3.1.1. Allgemeine Betrachtung der Resultate über die Jahre 2005 bis 2019	13
3.1.2. Aufstellung der Resultate nach Jahr	16
3.2. Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt	20
3.2.1. Allgemeine Betrachtung der Resultate über die Jahre 2005 bis 2019	20
3.2.2. Aufstellung der Resultate nach Jahr	23
4. Diskussion	27
4.1. Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs	27
4.2. Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt	30
4.2.1. Entwicklung Reifenbreiten und -dimensionen	32
4.3. Fahrzeugentwicklung	34
4.3.1. Dieselbetriebene Fahrzeuge	34
4.4. Benzinbetriebene Fahrzeuge	35
4.4.1. Entwicklung des Fahrzeuggewichts	35
4.5. Fazit	36
5. Verzeichnisse	37
5.1. Abbildungen	37
5.2. Tabellen	37
6. Anhang	38

Zusammenfassung

Die vorliegende Analyse soll aufzeigen, ob und in welchem Ausmass sich die Lärmemissionen von Personenwagen in der Schweiz innerhalb der letzten 15 Jahre (2005 bis 2019) verändert haben. Im Fokus der Betrachtungen standen nicht die Gesamtemissionen, sondern die Auswirkungen der Motorentwicklungen und insbesondere der Abgasnachbehandlungen auf den emittierten Schallpegel. Grundlage für die Bewertung der Lärmemissionen bilden einerseits die Messwerte der Standmessung im Nahfeld, andererseits die Werte aus der Vorbeifahrtmessung. Diese Messwerte werden in der Schweiz analog dem ECE-Reglement Nr. 51 erhoben und sind in der Schweizerischen Fahrzeug-Typengenehmigung zu finden.

In der vorliegenden Studie wurden nur serienmässig hergestellte neue Personenwagen bis 3'500 kg Gesamtgewicht mit höchstens neun Sitzplätzen (M1) betrachtet.

Für die Jahre 2005 bis 2019 konnten für die Messungen im Nahfeld des Auspuffs jeweils zwischen 95.7 und 99.7 Prozent für die Standmessung und 99.2 und 99.8 Prozent für die Vorbeifahrtmessungen aller neu immatrikulierten Fahrzeuge aus MOFIS den korrespondierenden Werten aus TARGA zugeordnet werden. Dies ermöglicht sehr präzise Aussagen über die Entwicklung der emittierten Schallpegel.

Die Analyse zeigt, dass die Schallpegel, welche mittels der Standmessung im Nahfeld gemessen wurden, in den Jahren 2005 bis 2019 kontinuierlich abgenommen haben. Bei der Betrachtung der gemittelten Messwerte für das Jahr 2005 fällt ein Schallpegel von 81.17 dB(A) auf. Das ist der höchste Wert aller untersuchten Jahrgänge. Vergleicht man die gemittelten Messwerte der Jahre 2005 bis 2019 lässt sich ein kontinuierlicher Rückgang feststellen. 2019 resultierte mit 73.1 dB(A) der tiefste Wert der analysierten Jahre. Somit ging der gemittelte Messwert in den vergangenen 15 Jahren um rund 8 dB(A) zurück. Als weitere Erkenntnis lässt sich festhalten, dass der Prozentsatz von Fahrzeugen mit Schallpegeln unter 76 dB(A) über die Jahre enorm angestiegen ist. 2005 emittierten nur 3.4 % aller immatrikulierten Fahrzeuge Schallpegel unter 76 dB(A). Bis 2019 kletterte dieser Anteil auf 54.9 %. Es existieren immer noch sehr laute Fahrzeuge mit Schallpegeln über 105 dB(A). Die absolute Anzahl solcher Fahrzeuge ist aber vernachlässigbar klein und nahm 2019 signifikant ab.

Zudem konnte aufgezeigt werden, dass sowohl benzin- als auch dieselbetriebene Fahrzeuge über die Jahre bei der Standmessung im Nahfeld weniger Schallemissionen emittieren. Technisch gesehen ist dies eine erfreuliche Entwicklung, welche auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden kann.

Bei Dieselfahrzeugen lassen sich die tieferen Schallpegel unter anderem auf die, seit 2005 immer häufiger im Abgaskanal in Serie geschalteten Bauteile, wie zum Beispiel den Partikelfilter, zurückführen. Zudem wird von den Fahrzeugingenieuren eine „weichere“ Verbrennung angestrebt. Mehrfach-Einspritzungen bei modernen Common-Rail-Systemen und schneller arbeitende Piezo-Einspritzinjektoren führen zu deutlich leiseren Verbrennungsprozessen. Dies erhöht den Komfort und hat einen positiven Einfluss auf den Schallpegel.

Zur Steigerung der Energieeffizienz geht der Trend bei benzinbetriebenen Fahrzeugen in Richtung Downsizing. Dies hat in vielen Fällen positive Auswirkungen auf den Schallpegel. Allein die Tatsache, dass Motoren mit kleinem Hubraum und Turbolader verbaut werden, kann zu einer Reduzierung der gemessenen Schallpegel führen.

Betrachtet man die Analyse für die Vorbeifahrtmessungen zeigt sich ein analoges Bild. Auch hier haben die durchschnittlichen Lärmemissionen über die Jahre abgenommen. Der gemittelte Messwert für das Jahr 2005 zeigt einen Schallpegel von 72.72 dB(A). 2019 resultiert mit 68.96 dB(A) der tiefste Wert der analysierten Jahre. Somit hat der gemittelte Messwert bei der Vorbeifahrtmessung in den letzten 15 Jahren um 3.76 dB(A) abgenommen.

Interessant ist der Umstand, dass in der gleichen Periode nicht nur die Felgenreisse, sondern auch die Reifenbreite bei den Erst-Ausrüstern zugenommen hat. Wurde im 2005 noch mehrheitlich mit der Dimension 195/R15 ausgerüstet, kommt im 2015 im Durchschnitt 205/R16 zum Zuge. Der Trend setzt sich auch bis 2019 fort wo 215/R16 und 225/R17 als Präferenz dient. Dies liegt unter anderen Faktor auch daran, dass Herr und Frau Schweizer mehr und mehr SUV bevorzugen.

1.1. Einleitung

In der Schweiz wird die Lärmbelastung gemäss der Lärmschutz-Verordnung (LSV) beurteilt. Als schädlich oder lästig gelten Belastungen über den Immissionsgrenzwerten (IGW). Die Ergebnisse der schweizweiten Verkehrslärberechnung des BAFU¹ für das Jahr 2015 zeigen, dass der Strassenverkehr mit Abstand die wichtigste Lärmquelle in der Schweiz ist. Am Tag ist jede siebte und in der Nacht jede achte Person an ihrem Wohnort von schädlichem oder lästigem Strassenverkehrslärm betroffen. Bei insgesamt 8.3 Mio. Einwohner der Schweiz (Stand 2015) sind dies tagsüber ca. 1.1 Mio. und nachts ca. 1 Mio. Personen. Betroffen sind hauptsächlich Wohnlagen in den Städten und Agglomerationen, über 90% der betroffenen Personen leben in und um grössere Zentren. 2019 wurde vom privaten motorisierten Personenverkehr durch Personenwagen eine Fahrleistung von 59.8 Mia. Fahrzeugkilometern² erbracht, dies entspricht knapp einer Verdoppelung seit 1980 (32.1 Mia.). Insgesamt belaufen sich die externen Kosten des Schweizer Verkehrssystems jährlich auf rund 13.4 Mia. Franken. Der Strassenverkehr verursacht dabei mit 10.8 Mia. Franken³ den Grossteil dieser Kosten. Die höchsten externen Kosten fallen in den Schadenskategorien Luftverschmutzung, Lärm, Klima und Unfälle an. Die externen Lärmkosten betragen rund 2.7 Mia. Franken jährlich, wovon wiederum 2.2 Mia. Franken auf den Strassenverkehr entfallen

Der Bund definiert mit dem Umweltschutzgesetz und der Lärmschutzverordnung die Rahmenbedingungen für die Lärmbekämpfung. Prioritär zielt die Gesetzgebung darauf ab, die Lärmemissionen an der Quelle zu reduzieren. Im Strassenverkehr dominiert das Abrollgeräusch der Reifen ab ca. 20 bis 25 km/h die Lärmemissionen der Personenwagen. Um das Abrollgeräusch zu reduzieren kommen neben leisen Reifen optimierte Strassenbeläge zum Einsatz. Da in der Schweiz die Bevölkerung zunimmt und damit der Verkehr wächst, werden die Massnahmen an der Quelle immer wichtiger. In den Städten, wo die Geschwindigkeiten eher gering sind, ist auch das Motorengeräusch ein Thema.

Aus diesen Gründen hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) den Touring Club Schweiz (TCS) mit einer Studie beauftragt, die aufzeigen soll, wie sich die Lärmemissionen des Standgeräusches der Personenwagen in der Schweiz über die letzte Dekade verändert haben.

¹ BAFU, Stand der Lärmbelastung in der Schweiz, 2020

² BFS, Fahrleistungen und Fahrzeugbewegungen im Personenverkehr, 2020

³ ARE, Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2017

2. Methoden

2.1. MOFIS

Bereits 1945 wurde eine zentrale Kontrolle über Motorfahrzeuge und Anhänger eingeführt. Die Grundlage dafür war im Artikel 77 des damaligen Motorfahrzeuggesetzes zu finden. Ausführende Instanz bildete die damals gegründete Eidgenössische Fahrzeugkontrolle (EFKO). In den 80er-Jahren wurde die Informatiklösung MOFIS in Betrieb genommen. Ab diesem Zeitpunkt standen die Angaben zum gesamten Schweizer Fahrzeugbestand digital aufbereitet zur Verfügung. In MOFIS sind gegenwärtig rund 13,5 Millionen Fahrzeuge abgelegt. Davon sind rund 4.2 Mio. Personenwagen eingelöst. Seit Oktober 2003 wird parallel zur alten MOFIS-Datenbank ein neues System betrieben. Einerseits bilden nun drei einzelne Datenbanken (Halter-, Schilder- und Fahrzeuge) die Grundlage für die Halter- und Fahrzeugdaten, andererseits wurden verschiedene Schnittstellen geschaffen:

- Strassenverkehrsamt (StVA)
- Recherches informatisées de police (RIPOL)
- Leistungsabhängige Strassenverkehrsabgabe (LSVA)
- TARGA
- Clearingstelle und elektronischer Versicherungsnachweis (CLS, eVn)
- Nationales Versicherungsbüro (NVB)
- Armee (VBS)
- Bundesamt für Statistik (BFS)

2.2. TARGA-DATA

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) führt ein Informationssystem (www.targadata.ch), das für serienmässig hergestellte Motorfahrzeuge und Motorfahrzeuganhänger die Daten für die Zulassung und Überprüfung enthält. Das ASTRA stellt fest, ob die schweizerischen Vorschriften der Typengenehmigung gemäss Art. 12 Abs. 1 des Strassenverkehrsgesetzes (SVG) vom 19. Dezember 1958 eingehalten werden. Mit der Ausstellung einer schweizerischen Typengenehmigung bzw. einem schweizerischen Datenblatt wird dies bestätigt; die korrespondierenden Daten werden in der TARGA-DATA hinterlegt. Diese werden auf Anfrage grundsätzlich bekannt gegeben.

2.3. Rahmenbedingungen

Die Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS 741.41) regelt die Geräuschmessung und die damit verbundenen Anforderungen an Motorfahrzeuge, die typengenehmigt werden. Neben der Vorbeifahrtsmessung muss eine Standmessung im Nahfeld des Auspuffs durchgeführt werden.

Grundlage für die Lärmabschätzung neu immatrikulierter Personenwagen bilden einerseits die Messwerte der Standmessung im Nahfeld des Auspuffs. Andererseits die dürfen Fahrzeuge die korrespondierenden Grenzwerte bei der Lärmmessung bei der Vorbeifahrt nicht überschreiten. Diese Messwerte werden analog dem ECE-Reglement Nr. 51 erhoben und sind im Datenblatt der Schweizerischen Fahrzeug-Typengenehmigung (TARGA-DATA⁴) zu finden. In der vorliegenden Studie wurden nur serienmässig hergestellte, neue Personenwagen bis 3'500 kg Gesamtgewicht mit höchstens neun Sitzplätzen (M1) betrachtet; also nur TG-Nummern der Gruppe 1 (z.B. 1PF3 67 – Porsche 911 GT3). Andererseits wurden die jeweils pro Jahr im Zeitraum zwischen 2004 bis 2014 neu in Verkehr gesetzten Fahrzeuge untersucht. Die Grundlage dafür bildet das Motorfahrzeug-Informationssystem MOFIS der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (EFKO).

2.4. Messprotokoll für Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs

Im Folgenden wird das Messprotokoll für die Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs (siehe Abbildung 1) nach ECE-Regelung 51 – 3.2.5.3 kurz beschrieben.

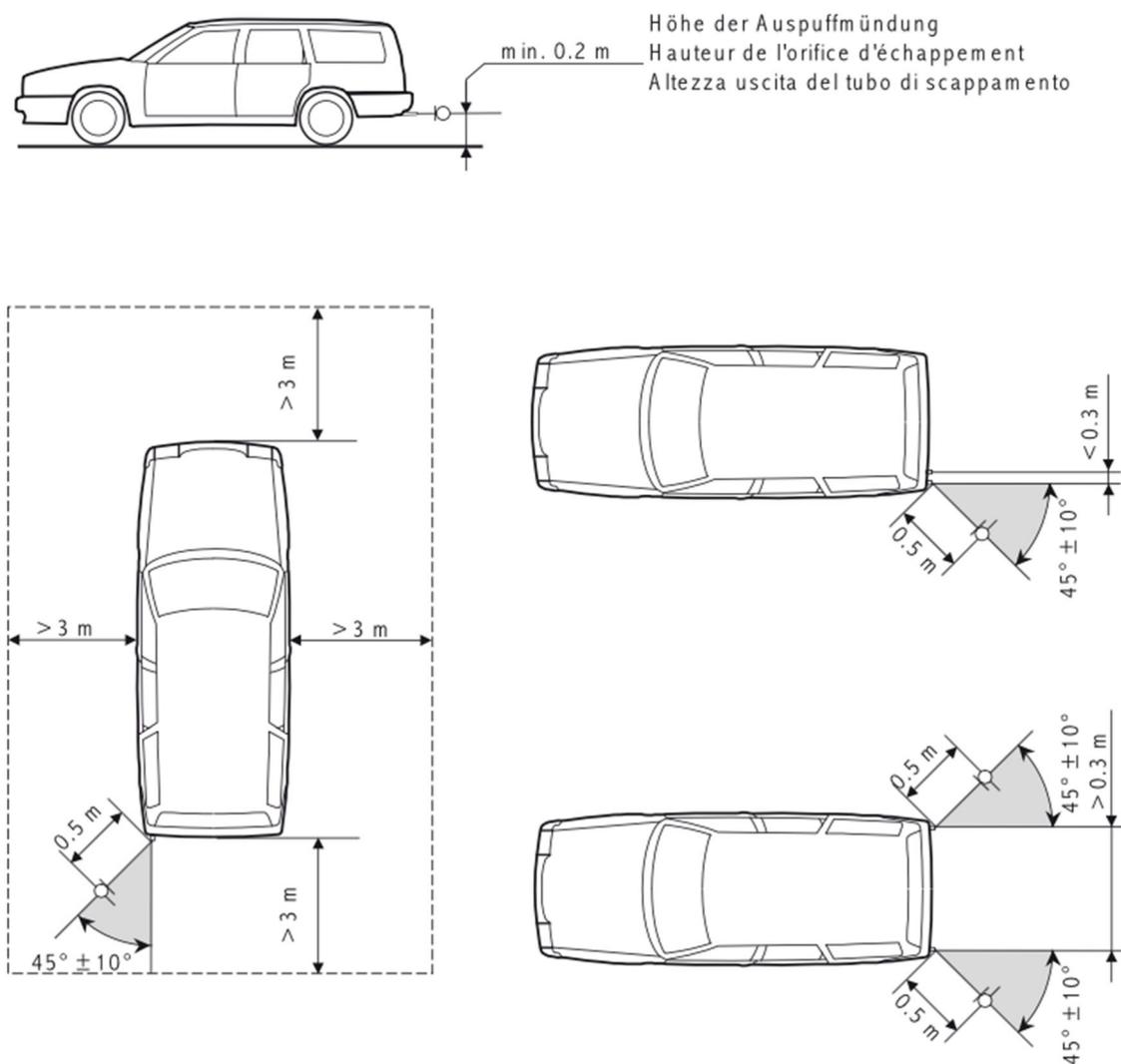
2.4.1. Anordnung des Mikrofons

Das Mikrophon ist in einem Abstand von $0,5 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ von dem in Abbildung 1 dargestellten Bezugspunkt des Auspuffrohres und in einem Winkel von $45^\circ \pm 10^\circ$ zur Achse des Auspuffendrohrs und in Höhe des Bezugspunktes, mindestens jedoch $0,2 \text{ m}$ über dem Boden aufzustellen. Die Bezugsachse des Mikrofons muss parallel zum Boden verlaufen und auf den Bezugspunkt an der Auspuffmündung

⁴ TARGA bedeutet technische Angaben, Rauch, Geräusch und Abgas - DATA bedeutet Informationen beziehungsweise Links zu allen motorisierten und nicht motorisierten Strassenfahrzeugen

ausgerichtet sein. Sind zwei Mikrofonstellungen möglich, so ist diejenige mit dem grösseren seitlichen Abstand von der Längsmittlebene des Fahrzeugs zu wählen. Bildet die Achse des Auspuffendrohrs einen rechten Winkel mit der Längsmittlebene des Fahrzeugs, so ist das Mikrofon an dem Punkt aufzustellen, der am weitesten vom Motor entfernt ist.

Abbildung 1 Messanordnung – Standmessung im Nahfeld des Auspuffs



Bei Auspuffanlagen mit mehreren Mündungen, deren Abstand grösser als 0,3 m ist, ist für jede Mündung eine Messung vorzunehmen. Der grösste gemessene Wert ist festzuhalten.

Bei Auspuffanlagen mit mehreren Mündungen, deren Abstand nicht grösser als 0,3 m ist und die mit demselben Schalldämpfer verbunden sind, ist nur eine Messung vorzunehmen, wobei das Mikrofon auf die Mündung auszurichten ist, die der Fahrzeugaussenseite am nächsten liegt oder, falls dies nicht zutrifft, auf die Mündung, die am höchsten über dem Boden liegt.

Bei Fahrzeugen mit senkrechtem Auspuffendrohr (z.B. bei Nutzfahrzeugen) ist das Mikrofon in Höhe der Auspuffmündung anzuordnen. Die Mikrofonachse ist senkrecht und nach oben zu richten. Das Mikrofon muss sich in einem Abstand von $0,5\text{ m} \pm 0,01\text{ m}$ vom Bezugspunkt des Auspuffrohrs, jedoch mindestens 0,2 m von der der Auspuffmündung am nächsten liegenden Fahrzeugseite befinden.

Liegt die Auspuffmündung unter dem Boden des Fahrzeugs, so ist das Mikrofon mindestens 0,2 m vom nächstgelegenen Teil des Fahrzeugs entfernt, so nahe wie möglich am Bezugspunkt des Auspuffs, jedoch mindestens 0,5 m von ihm entfernt und in einer Höhe von 0,2 m über dem Boden und so zu platzieren, dass es nicht vom Abgasstrom erfasst wird. Es kann in einigen Fällen unmöglich sein, den Winkel von $45^\circ \pm 10^\circ$ einzuhalten.

2.4.2. Betriebsbedingungen des Motors Solldrehzahl

Die Solldrehzahl beträgt:

- 75 % der Drehzahl S bei einer Nenndrehzahl $\leq 5\,000\text{ min}^{-1}$
- $3\,750\text{ min}^{-1}$ bei einer Nenndrehzahl über $5\,000\text{ min}^{-1}$ und unter $7\,500\text{ min}^{-1}$
- 50 % der Drehzahl S bei einer Nenndrehzahl $\geq 7\,500\text{ min}^{-1}$

Lässt sich die erforderliche Drehzahl nicht erreichen, so gilt als Solldrehzahl für die Messung des Standgeräuschs die höchste mögliche Motordrehzahl, vermindert um fünf Prozent.

2.4.3. Das Prüfverfahren

Die Motordrehzahl ist allmählich von der Leerlaufdrehzahl bis zum Sollwert zu steigern und mit einer Toleranz von $\pm 3\%$ auf dem Sollwert zu halten. Dann ist die Drosseleinrichtung schlagartig in Leerlaufstellung zu bringen und die Motordrehzahl auf Leerlaufdrehzahl zurückfallen zu lassen. Der Schallpegel ist während eines Betriebsablaufes zu messen, der ein Halten auf Solldrehzahl während einer Sekunde und die gesamte Dauer des Drehzahlabfalls umfasst. Als Prüfergebnis gilt der höchste Anzeigewert des Messgerätes, mathematisch gerundet auf die erste Dezimalstelle.

2.4.4. Validierung der Prüfung

Die Messung ist gültig, wenn die Motordrehzahl während mindestens einer Sekunde um nicht mehr als $\pm 3\%$ vom Sollwert abweicht.

2.4.5. Ergebnisse

An jedem Messpunkt sind mindestens drei Messungen vorzunehmen. Der bei jeder der drei Messungen abgelesene höchste A-bewertete Schalldruckpegel ist festzuhalten. Zur Ermittlung des Ergebnisses für den jeweiligen Messpunkt werden die ersten drei aufeinander folgenden gültigen Messwerte (Voraussetzungen für die Gültigkeit: siehe die nicht die Beschaffenheit des Prüfgeländes betreffenden Bestimmungen des Absatzes 2.1) herangezogen, die sich nach Streichung der ungültigen Werte ergeben und die in einem Bereich von nicht mehr als 2 dB(A) streuen. Als Endergebnis gilt der höchste Geräuschpegel aller Messungen in allen Messpunkten.

2.5. Auswahl der Datensätze aus MOFIS

Es wurden nur Fahrzeuge der Fahrzeuggruppe⁵ «001» selektiert. Datensätze die keine TG⁶ der Form «1AA130» aufweisen, wurden nicht in die Betrachtung einbezogen. Bei Datensätzen, die ein «X» als Markencode aufweisen handelt es sich um einen Direktimport. Diese wurden nicht berücksichtigt. Des Weiteren wurden pro Jahrgang nur diese Datensätze verwendet, die im korrespondierenden Jahr erstmals in Verkehr gesetzt wurden (z.B. für die MOFIS Fahrzeugflotte von 2005 werden nur diejenigen Datensätze verwendet, die auch im 2005 erstmals in Verkehr gesetzt wurden), auch wenn es sich um ältere Fahrzeuge handelt, die in der Schweiz zum ersten Mal in Verkehr gesetzt wurden.

2.6. Messprotokoll für Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt

2.6.1. Messanordnung

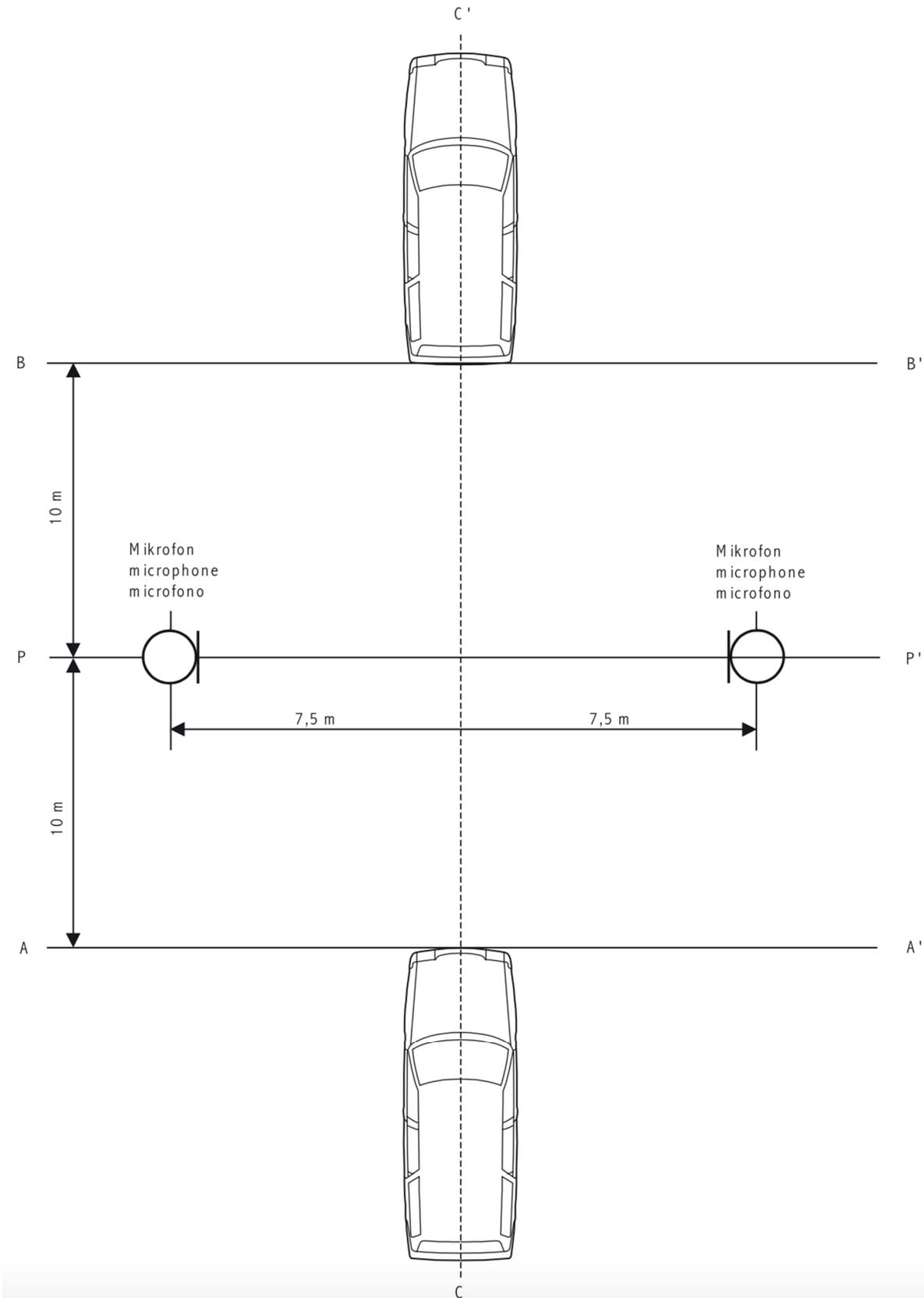
Das Mikrofon ist $1,20\text{ m} \pm 0,10\text{ m}$ über dem Boden und in $7,50\text{ m} \pm 0,20\text{ m}$ Abstand von der Mitte der Fahrspur CC' anzuordnen. Die Achse seiner höchsten Empfindlichkeit ist waagrecht anzuordnen; sie muss senkrecht zur Bahn des Fahrzeugs verlaufen (Linie CC').

Auf der Prüfstrecke sind zwei Linien AA' und BB' zu markieren, die parallel zur Linie PP' verlaufen und 10 m vor bzw. hinter dieser Linie liegen. Das Fahrzeug muss sich der Linie AA' mit gleichförmiger Geschwindigkeit entsprechend den Bedingungen nach Ziffer 35 nähern. Bei Erreichen der Linie AA' ist das Fahrzeug maximal zu beschleunigen (bei Fahrzeugen mit automatischem Getriebe ohne Betätigung der «Kickdown-Vorrichtung»), bis das Fahrzeugheck die Linie BB' überquert; in diesem Augenblick ist das Gaspedal bzw. der Gasdrehgriff loszulassen. Als Messergebnis gilt der höchste festgestellte Schallpegel.

⁵ Bei der Kategorie 001 handelt es sich um Personenwagen aus Serienproduktion unter 3'500 kg Gesamtgewicht und mit max. neun Sitzplätzen (M).

⁶ 1-AA-130: 1: Fahrzeuggruppe – AA: Markencode – 370: Modellindex

Abbildung 2 Messanordnung – Vorbeifahrtmessung



2.6.2. Messgelände

Geräuschmessungen sind auf einem freien, möglichst ebenen Platz durchzuführen. Der Platz (mindestens zwischen den Linien AA' und BB') muss einen Strassenbelag aus Beton oder Asphalt aufweisen. Er darf nicht mit Schnee bedeckt sein und kein übermässiges Reifengeräusch verursachen. Auf beiden Seiten der Fahrspur CC' muss mindestens 10 m Strassenbelag sein. Im Umkreis von 20 m um das Mikrofon dürfen keine schallreflektierenden Gegenstände vorhanden sein. Grössere Hindernisse müssen mindestens 50 m entfernt sein.

2.6.3. Störgeräusche und Windeinfluss

Die Messungen müssen bei gutem, möglichst windstillem Wetter stattfinden. Am Mikrofon ist ein Windschutz anzubringen. Der Umgebungsschallpegel und andere Geräusche, die nicht vom Fahrzeug stammen, sowie allfällige Windeinwirkungen müssen mindestens 10 dB(A) niedriger liegen als das Fahrgeräusch. Zwischen dem Fahrzeug und den Mikrofonen und unmittelbar hinter diesen dürfen sich während der Messung keine Personen aufhalten.

2.6.4. Messbedingungen

Die Messungen sind am leeren, nur mit dem Fahrzeugführer oder mit der -führerin besetzten Fahrzeug und ohne Anhänger oder Sattelanhänger durchzuführen.

Vor Beginn der Messungen muss der Motor auf seine normalen Betriebsbedingungen gebracht werden, namentlich in Bezug auf Temperaturen, Einstellungen, Zündkerzen, Vergaser und andere Teile. Bei automatisch gesteuerten Lüftern darf anlässlich der Geräuschemessung nicht in die Schaltautomatik eingegriffen werden. Bei Fahrzeugen mit mehr als zwei angetriebenen Rädern ist nur die für normalen Strassenbetrieb vorgesehene Kraftübertragung einzuschalten. Die Reifen müssen von einem Typ sein, der vom Hersteller oder von der Herstellerin üblicherweise auf diesem Fahrzeug montiert wird; der Reifendruck bzw. die Reifendrucke müssen den Anforderungen an ein nicht beladenes Fahrzeug entsprechen.

2.6.5. Messmethode und Betriebszustand der Fahrzeuge

Ist der Personenwagen mit einem Schaltgetriebe ausgerüstet und hat nicht mehr als vier Gänge wird im zweiten Gang geprüft. Besitzt er hingegen mehr als vier Gänge, wird er nacheinander im zweiten und im dritten Gang geprüft. Aus den beiden ermittelten Schallpegeln wird das arithmetische Mittel gebildet. Das Fahrzeug muss mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h mit einer Toleranz von ± 1 km/h der Linie AA' nähern. Eine konstante Annäherungsgeschwindigkeit ≤ 50 km/h darf resultieren, wenn die konstante Motordrehzahl mit einer Toleranz von ± 2 % oder ± 50 min⁻¹ (je nachdem oder mit einer, welcher Wert größer ist) bei der Annäherung dreiviertel der bauartbedingten Höchstdrehzahl überschreitet.

Bei Personenwagen mit automatischen Getrieben, die mehrere Vorwärts- Vorwählstufen aufweisen, muss die gleichförmige Annäherungsgeschwindigkeit in der entsprechenden Vorwählstufe der niedrigeren der beiden folgenden Geschwindigkeiten entsprechen:

- Dreiviertel der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit (gemessen bei der höchsten Motordrehzahl der grössten Motornutzleistung)
- 50 km/h

Bei Personenwagen mit automatischem Getriebe und mehr als zwei getrennten Übersetzungen zu einem Zurückschalten in die kleinste Abstufung, so kann der Hersteller oder die Herstellerin sich für eines der beiden folgenden Prüfverfahren entscheiden:

- entweder wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs auf höchstens 60 km/h erhöht, um dieses Zurückschalten zu verhindern;
- oder die Geschwindigkeit von 50 km/h wird beibehalten, die Treibstoffzufuhr zum Motor jedoch auf höchstens 95 Prozent der für die Vollast erforderlichen Menge begrenzt; diese Bedingung gilt als erfüllt: bei Motoren mit Fremdzündung, wenn der Öffnungswinkel der Drosselklappe 90 Prozent beträgt oder bei Motoren mit Selbstzündung, wenn die Bewegung der Regelstange der Einspritzpumpe auf 90 Prozent ihres Hubes begrenzt wird.

2.6.6. Anzahl der Messungen und Auswertung

Auf jeder Seite des Fahrzeugs ist mindestens je eine Messreihe mit zwei Messungen vorzunehmen. Um der Ungenauigkeit der Messgeräte Rechnung zu tragen, sind die während der Messung von den Geräten abgelesenen Werte um 1 dB(A) zu verringern. Die Messungen sind nur gültig, wenn der Unterschied zwischen den zwei aufeinanderfolgenden Messungen auf derselben Seite des Fahrzeugs nicht mehr als 2 dB(A) beträgt. Massgebend für die Beurteilung des Geräusches ist der höchste gemessene Schallpegel. Falls dieser Wert den für das zu prüfende Fahrzeug geltenden Grenzwert um nicht mehr als 1 dB(A) überschreitet, ist eine zweite Messreihe mit je zwei Messungen durchzuführen. Pro Fahrzeugseite müssen von den zwei Messreihen drei der vier erhaltenen Messergebnisse innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen liegen.

2.6.7. Grenzwert für Personenwagen nach VTS

Für leichte Motorwagen, mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von höchstens 25 km/h beträgt der Grenzwert in der Schweiz generell 77 dB(A).

2.6.8. Grenzwerte nach Verordnung (EU) Nr. 540/2014

Fahrzeug- klasse	Beschreibung der Fahrzeugklasse	Grenzwert [dB(A)]		
		Phase 1 anwendbar für neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2016	Phase 2 anwendbar für neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2020 und für erstmalige Zulassung ab 1. Juli 2022	Phase 3 anwendbar für neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2024 und für erstmalige Zulassung ab 1. Juli 2026
M ₁	Leistungs-Masse- Verhältnis ≤ 120 kW/1'000 kg	72 ⁷	70 ⁵	68 ⁵
M ₁	120 kW/1'000 kg < Leistungs-Masse- Verhältnis ≤ 160 kW/1'000 kg	73	71	69
M ₁	< 160 kW/1'000 kg Leistungs-Masse- Verhältnis	75	73	71
M ₁	Leistungs-Masse- Verhältnis > 200 kW/1'000 kg Anzahl Sitzplätze ≤ 4 ≤ 450 mm über dem Boden	75	74	72

- Für Fahrzeuge, die der einschlägigen Definition für Geländefahrzeuge in Anhang II Teil A Nummer 4 der Richtlinie 2007/46/EG entsprechen, werden die Grenzwerte um 1 dB(A) erhöht. Die höheren Grenzwerte für Geländefahrzeuge gelten nur, wenn die technisch zulässige Gesamtmasse in beladenem Zustand mehr als 2 Tonnen beträgt.
- Für rollstuhlgerechte Fahrzeuge und beschussgeschützte Fahrzeuge gemäss Definition in Anhang II der Richtlinie 2007/46/EG werden die Grenzwerte um 2 dB(A) erhöht.

⁷ Von Fahrzeugen der Klasse N₁ abgeleitete Fahrzeuge der Klasse M₁: Fahrzeuge der Klasse M₁ mit R-Ruhepunkt > 850 mm über dem Boden und einer Gesamtmasse in beladenem Zustand über 2'500 kg müssen die Grenzwerte der Klasse N₁ (2'500 kg < Masse ≤ 3'500 kg) einhalten.

2.7. Aufbereitung der TARGA-DATA

2.7.1. Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs

Um eine optimale Zuordnung der TARGA-DATA zu den MOFIS-Daten zu garantieren, mussten die Lärmwerte (Standmessung im Nahfeld - Position 72) aus TARGA-DATA soweit reduziert werden, dass pro TG genau ein Messwert zur Verfügung stand. Existieren pro TG mehr als ein Messwert⁸ wurde aus diesen ihr Mittelwert gebildet. Diese linear approximierten Werte wurden in der Folge weiterverwendet. Die aufbereiteten Lärmwerte aus TARGA-DATA wurden in der Folge den Datensätzen aus MOFIS zugeordnet. Die resultierenden Daten bilden die Grundlage für die Studie.

Analog zu den Lärmwerten aus der Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs wurden die Messwerte (Vorbeifahrtmessung) aus TARGA-DATA soweit reduziert, dass pro TG genau ein Messwert zur Verfügung stand. Existieren pro TG mehr als ein Messwert⁵ wurde aus diesen ihr Mittelwert gebildet. Diese linear approximierten Werte wurden in der Folge weiterverwendet.

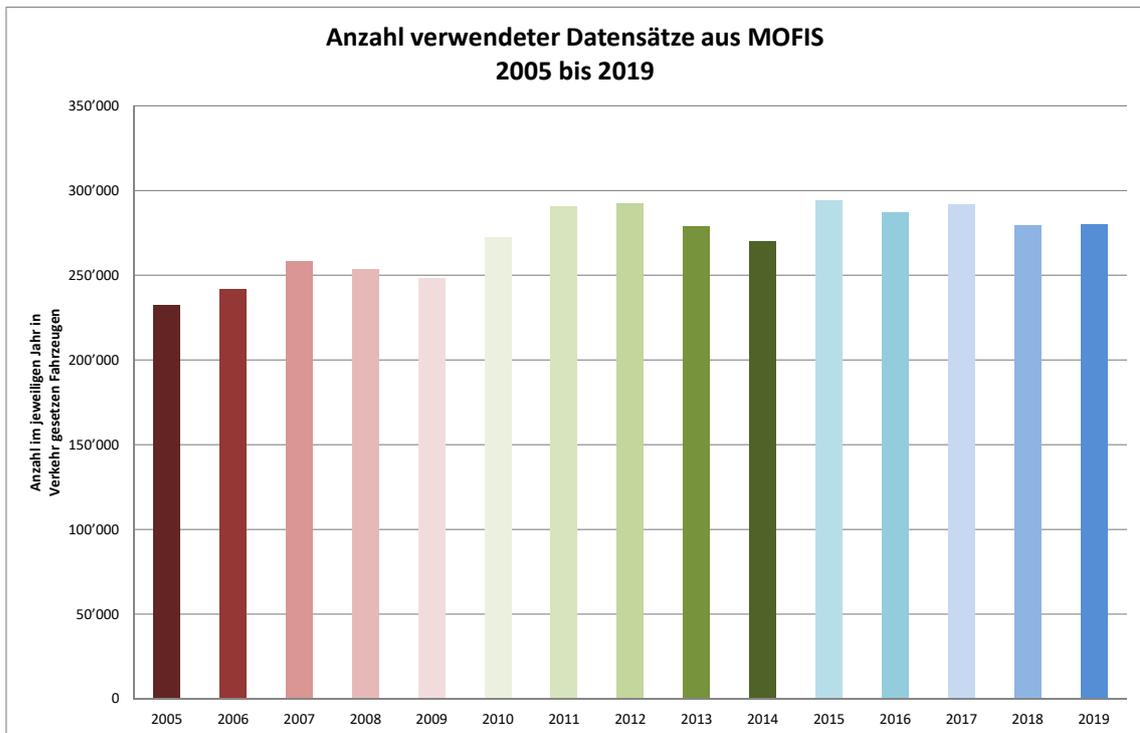
Tabelle 1: Datengrundlage

Jahr	Anzahl Fahrzeuge ⁹	[%] ¹⁰	Jahr	Anzahl Fahrzeuge ⁶	[%] ⁵
2005	232'324	95.7	2013	278'708	99.2
2006	241'719	96.3	2014	270'112	99.4
2007	258'145	97.5	2015	294'356	99.4
2008	253'259	98.3	2016	287'285	99.6
2009	248'128	98.9	2017	291'564	99.6
2010	272'022	99.4	2018	279'643	99.7
2011	290'451	99.6	2019	280'212	99.7
2012	292'481	99.1			

⁸ In TARGA-DATA können mehrere Einträge pro TG existieren. Insbesondere, wenn z.B. unterschiedliche Varianten des Fahrzeuges unterschiedliche CO2-Emissionen aufweisen. In der Regel hat dies aber nur selten Auswirkungen auf die Stillstand-Lärmmessung. Aus diesem Grund haben wir die Lärmwerte über die Bildung des Mittelwertes approximiert.

⁹ Es flossen neu immatrikulierter Fahrzeuge, welche eine TG in MOFIS aufwiesen (TG mit dem Wert «X» wurden nicht berücksichtigt) in die Statistik. Bei Elektrofahrzeugen wird laut ECE Regelung 51 auf eine Messung im Nahfeld verzichtet. Die Fahrzeuge weisen den Messwert 0 auf.

¹⁰ Prozentsatz der Fahrzeuge für welche eine Zuordnung MOFIS zu TARGA-DATA möglich war.

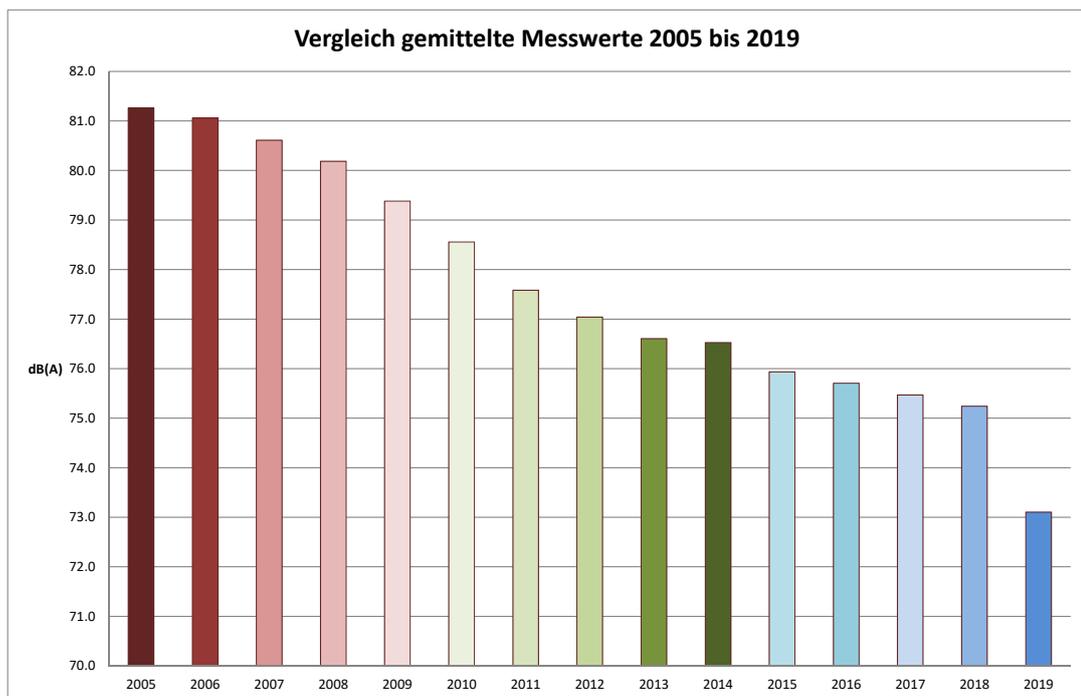


3. Resultate

3.1. Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs

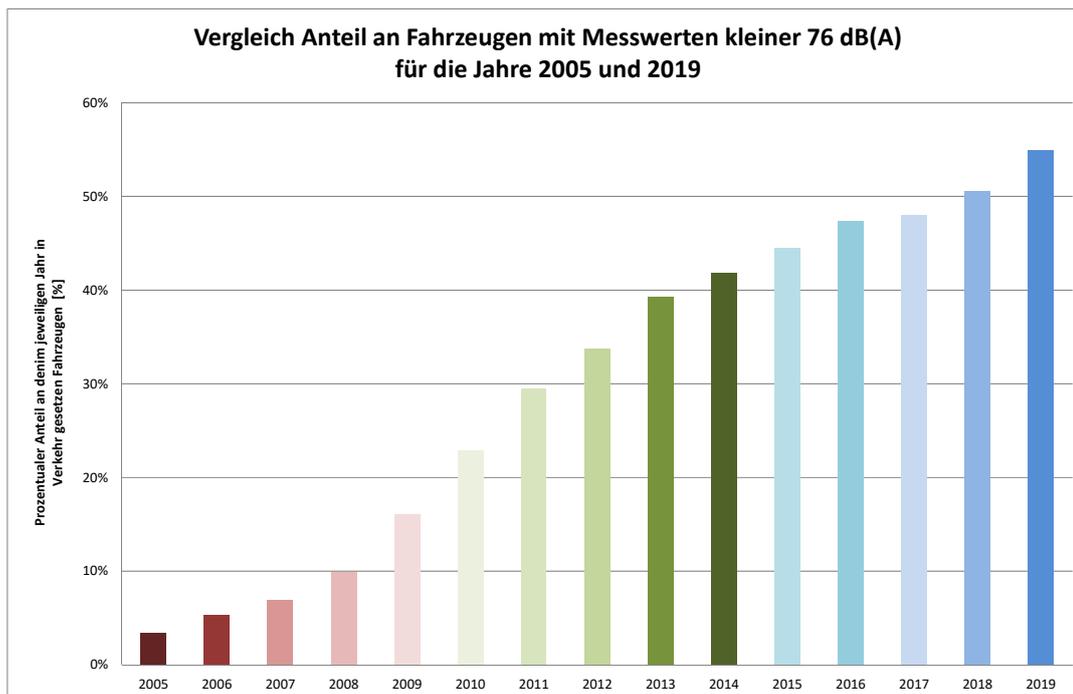
3.1.1. Allgemeine Betrachtung der Resultate über die Jahre 2005 bis 2019

Die Analyse der Daten für das Jahr 2005 zeigt, dass aus den mittels Standmessung im Nahfeld erhobenen Messwerten ein arithmetisches Mittel¹¹ von 81.2 dB(A) resultiert. Es ist der höchste Wert aller untersuchten Jahrgänge. Betrachtet man die gemittelten Messwerte der Jahre 2005 bis 2019 lässt sich eine kontinuierliche Abnahme der Schallpegel feststellen. 2019 resultiert mit 73.1 dB(A) der tiefste Wert der analysierten Jahre. Somit hat der gemittelte Messwert in den letzten 15 Jahren um 8.1 dB(A) abgenommen.

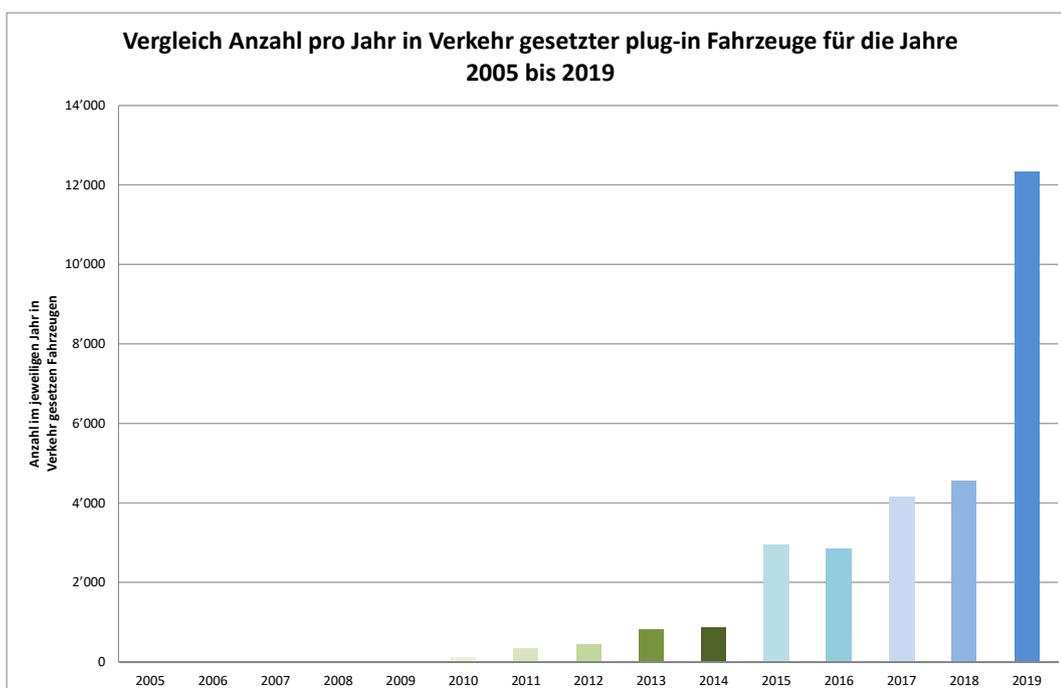


¹¹ EV und PHEV wurden in die Betrachtung nicht mit einbezogen da diese Fahrzeuge per Definition einen Geräuschpegel von Null in der Typengenehmigung aufweisen.

Der Anteil der neu immatrikulierten Fahrzeuge, die bei der Standmessung im Nahfeld einen Schallpegel von 75 dB(A) oder weniger emittierten, kletterte zwischen 2005 und 2019 von 3.8 auf 54.9 %.

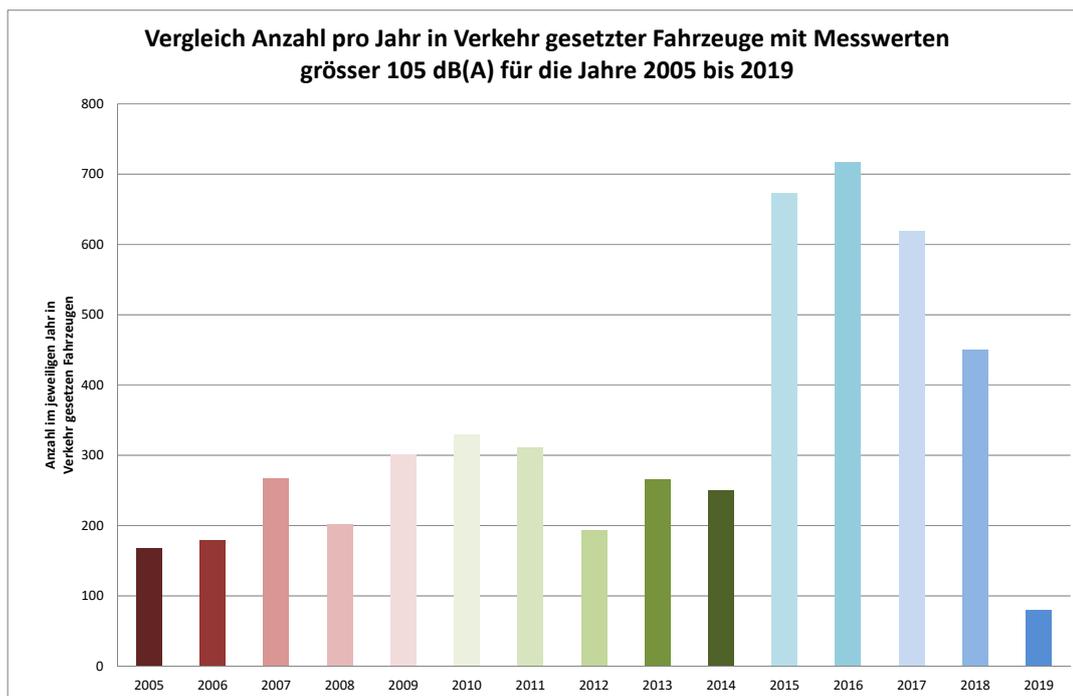


Elektrofahrzeuge mit einem zugeordneten Wert von 0 dB(A) erscheinen erst ab 2010. Im ersten Jahr handelte es sich vor allem um die Modelle Think City und Smart edition. Ab 2011 kommen die Range Extender Fahrzeuge Chevrolet Volt und Opel Ampera, sowie die Elektrofahrzeuge Citroen C-Zero, Peugeot iON, Mitsubishi i-MIEV und Nissan Leaf hinzu. 2014/15 dominierten die verschiedenen Versionen des TESLA und des BMW i3, der Renault Zoe, der Smart for two ed electric drive und die beiden VW-Modelle e Golf und e Up die Statistik der Plug-In Fahrzeuge. 2019 wurden insgesamt 35 verschiedene Modelle immatrikuliert. Der Tesla Model 3 dominierte mit einer Stückzahl von 4'992 die Verkaufscharts.



Der Anteil der verhältnismässig lauten Fahrzeuge (lauter als 85 dB(A)) hat sich zwischen 2005 (11.1%) und 2012 (3.2%) auf ca. einen Drittel reduziert. Ab diesem Zeitpunkt hat diese Kategorie wieder zugenommen und macht 2019 8.4% aller Fahrzeuge aus. 2015-17 wurden fast 3 Mal so viele sehr laute Fahrzeuge (lauter als 105 dB(A)) wie in den Vorjahren verkauft. 2019 hat die Anzahl immatrikulierter sehr lauter Fahrzeuge ein allzeit Tief erreicht. Im Vergleich zur Gesamtzahl der immatrikulierten Fahrzeuge werden solche Fahrzeuge sehr selten in Verkehr gesetzt. Anzumerken bleibt jedoch, dass die höchsten Messwerte über die Jahre zugenommen haben. 2005 lag der höchste gemessene Wert

noch bei 106 dB(A) (Ferrari F430). Ab 2014 wurde ein Maximum von 120 dB(A) für den La Ferrari gemessen.



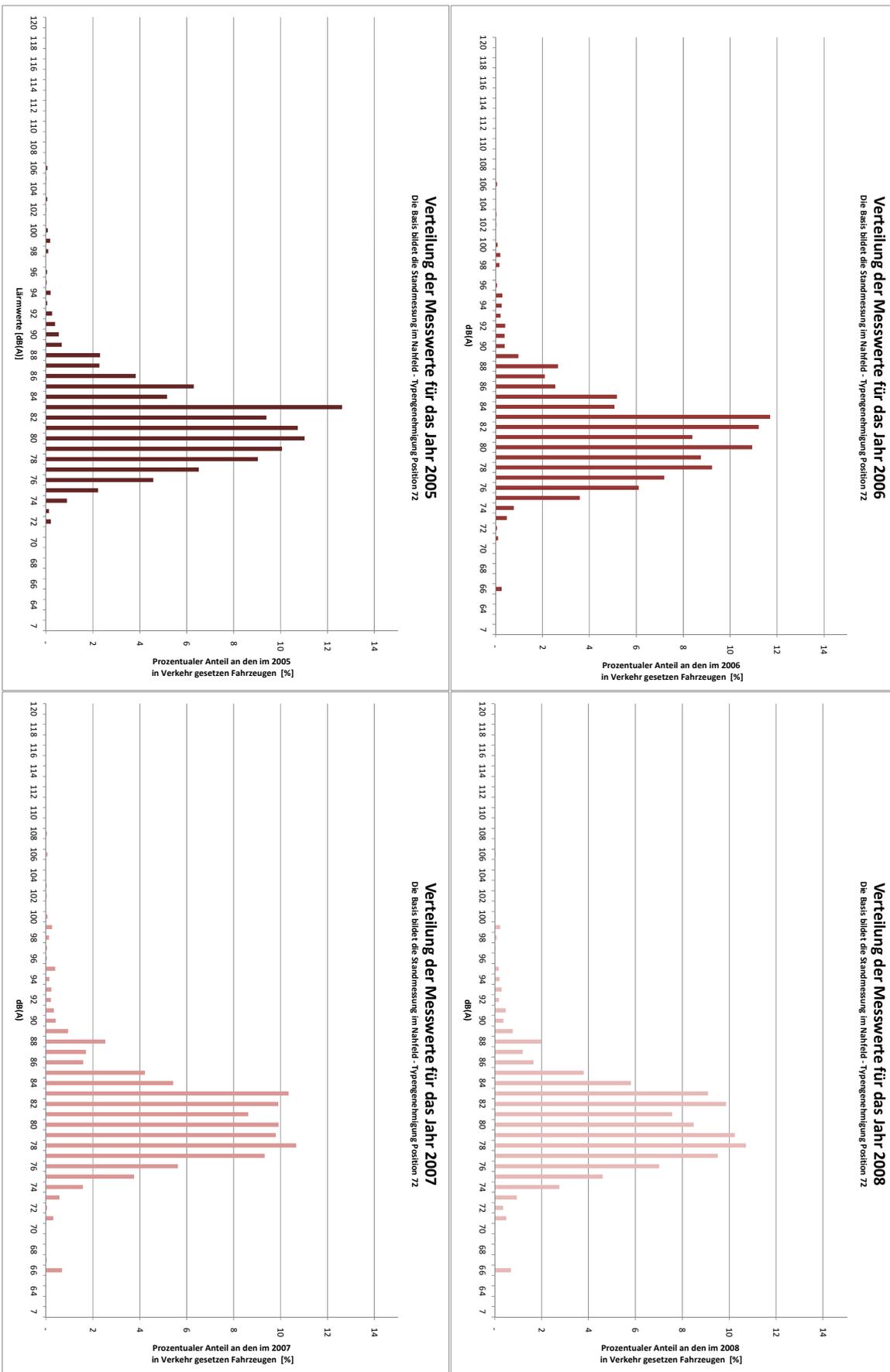
Die mit 63 dB(A) tiefsten Messwerte unter den Fahrzeugen mit klassischem Verbrennungsmotor wurden beim VW Passat CC 1.8 TSI, der in den Jahren 2008 bis 2010 erstmals in Verkehr gesetzt wurde und vom Renault Megane der 2019 in Verkehr gesetzt wurde gemessen.

Tabelle 2: Aufstellung der wichtigsten Eckwerte

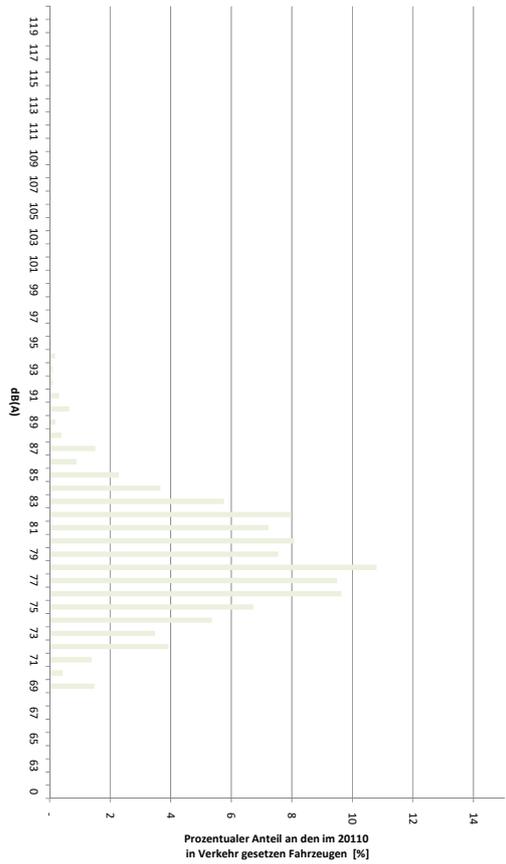
Jahr	Anzahl Fahrzeuge	Mittelwert in dB(A)	< 76 dB(A) in [%]	> 75 und < 85 dB(A) in [%]	> 85 dB(A) [in %]
2005	232'324	81.26	3.78	85.4%	11.1%
2006	241'719	81.06	5.44	83.8%	10.9%
2007	258'145	80.61	6.88	83.8%	9.2%
2008	253'259	80.18	10.12	82.1%	7.9%
2009	248'128	79.38	18.03	78.2%	5.7%
2010	272'023	78.56	24.85	72.5%	4.7%
2011	290'451	77.58	31.38	67.0%	3.5%
2012	292'481	77.04	35.35	63.1%	3.2%
2013	278'708	76.61	39.09	56.6%	4.1%
2014	270'112	76.53	42.56	52.1%	6.2%
2015	294'356	75.94	45.80	49.6%	5.9%
2016	287'285	75.70	47.3%	46.3%	6.4%
2017	291'564	75.47	48.0%	45.0%	7.1%
2018	279'643	75.24	50.5%	42.9%	6.6%
2019	280'212	73.10	54.9%	36.7%	8.4%

3.1.2. Aufstellung der Resultate nach Jahr

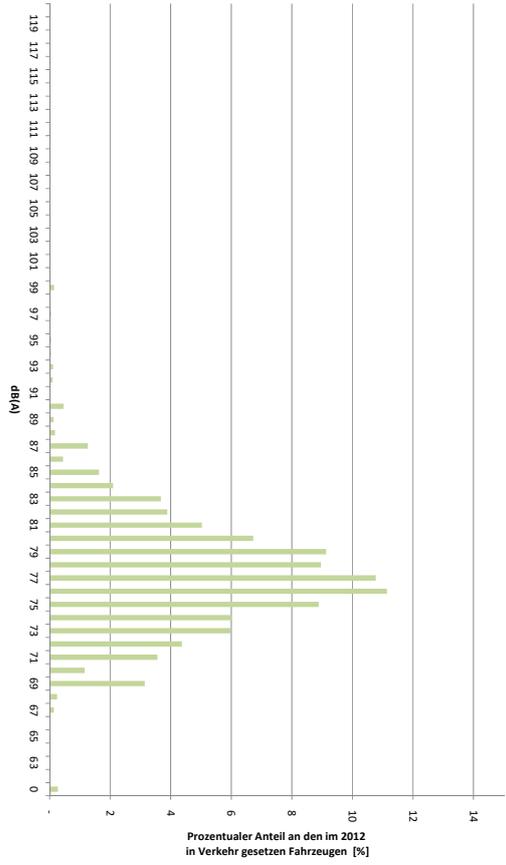
Die folgenden Abbildungen zeigen die Analyse der Messwerte im Detail. Tabelle 5 im Anhang auf Seite 38 listet die den Abbildungen zu Grunde liegenden Zahlen auf.



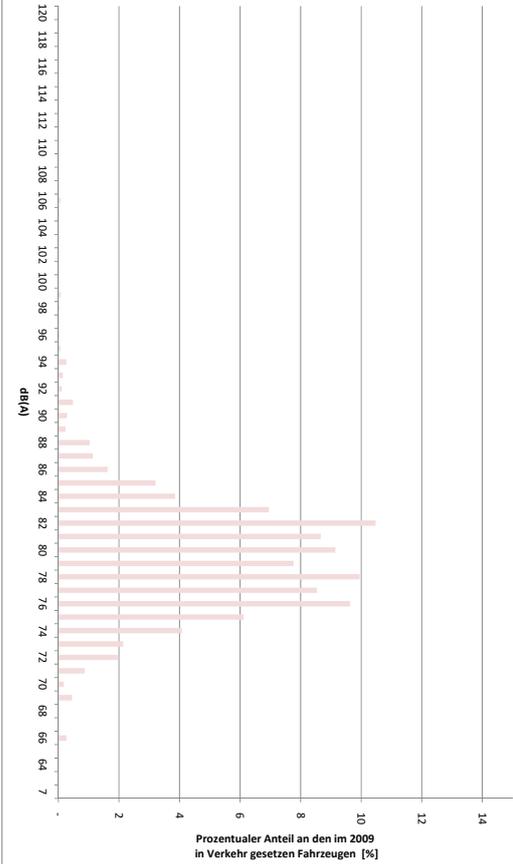
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2010
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



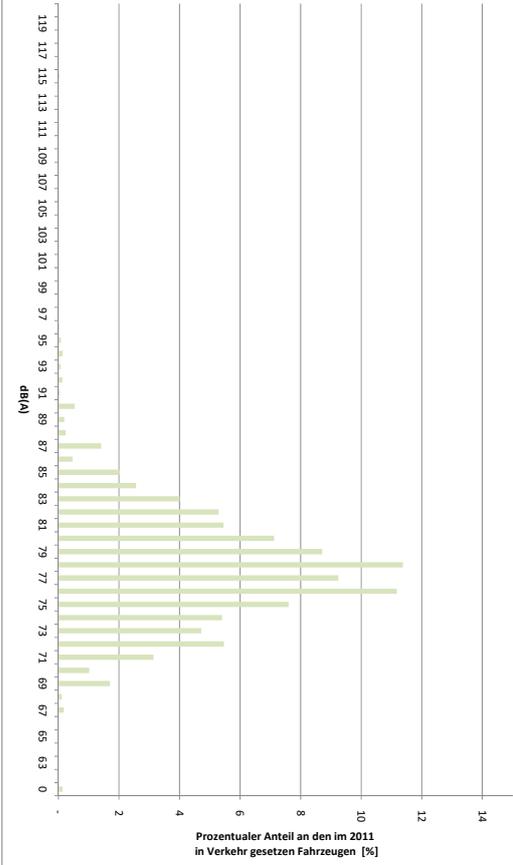
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2012
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



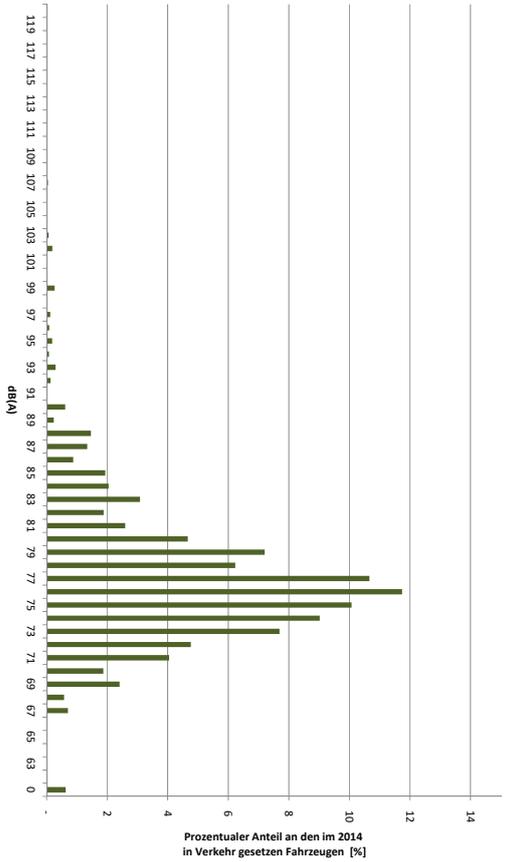
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2009
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



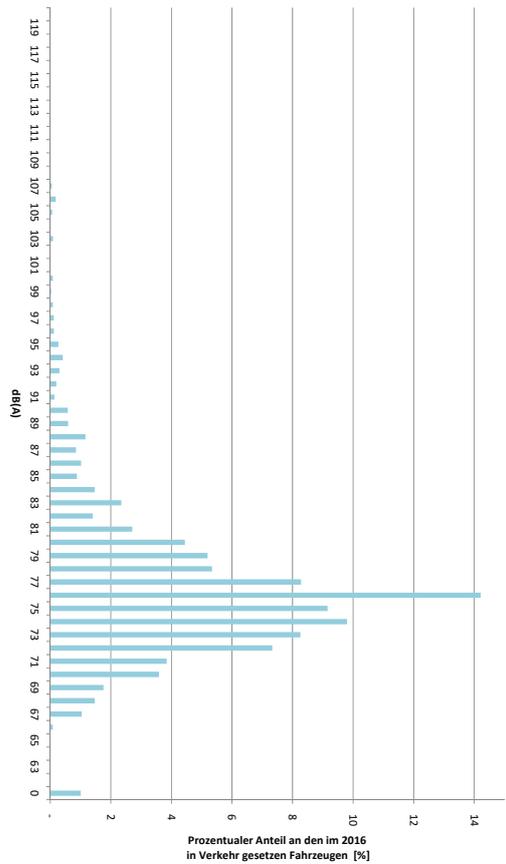
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2011
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



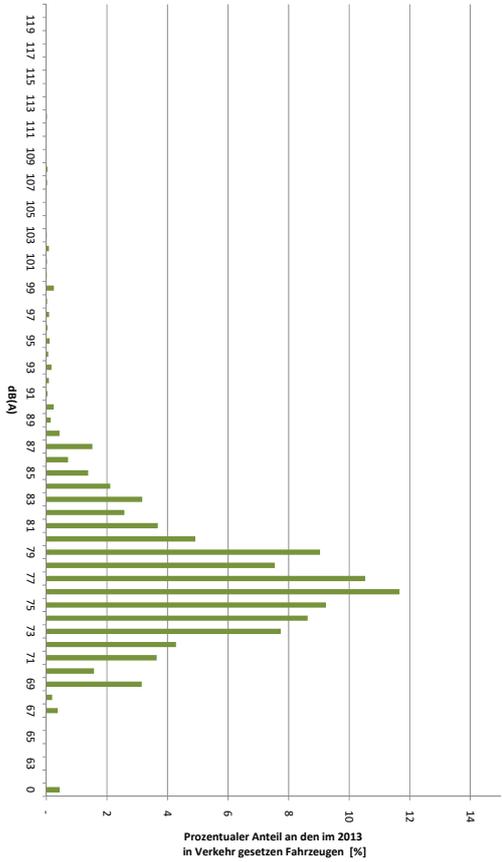
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2014
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



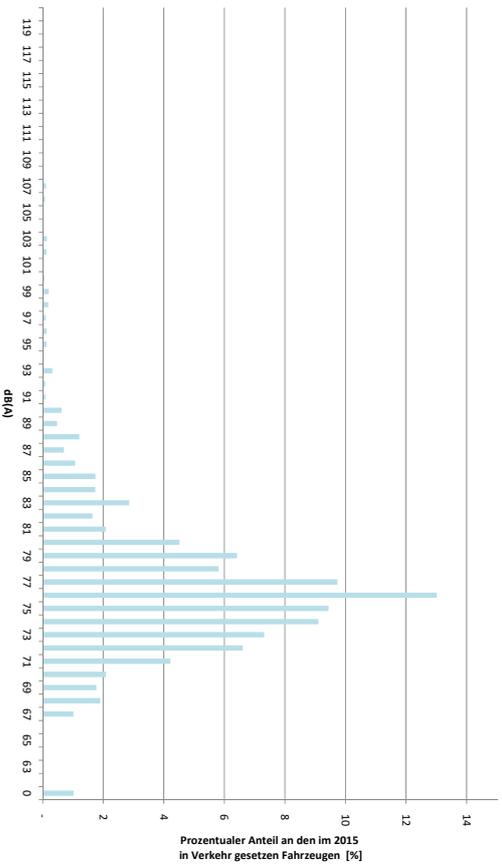
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2016
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



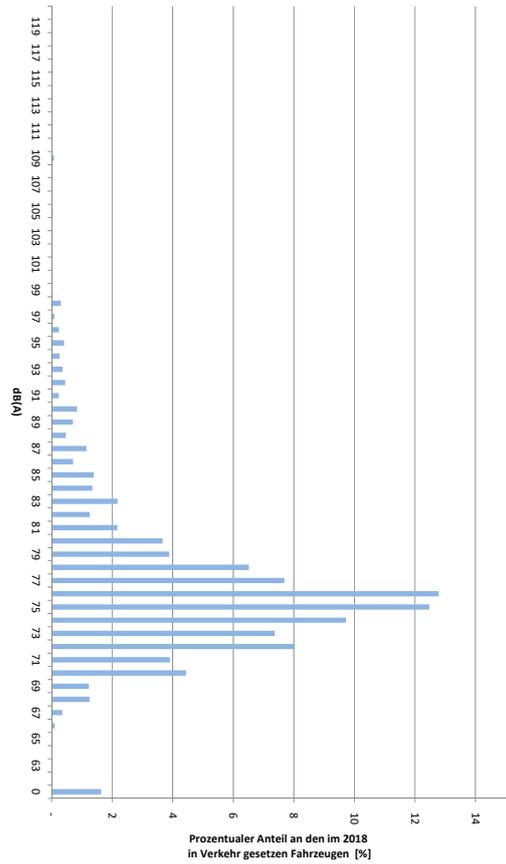
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2013
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



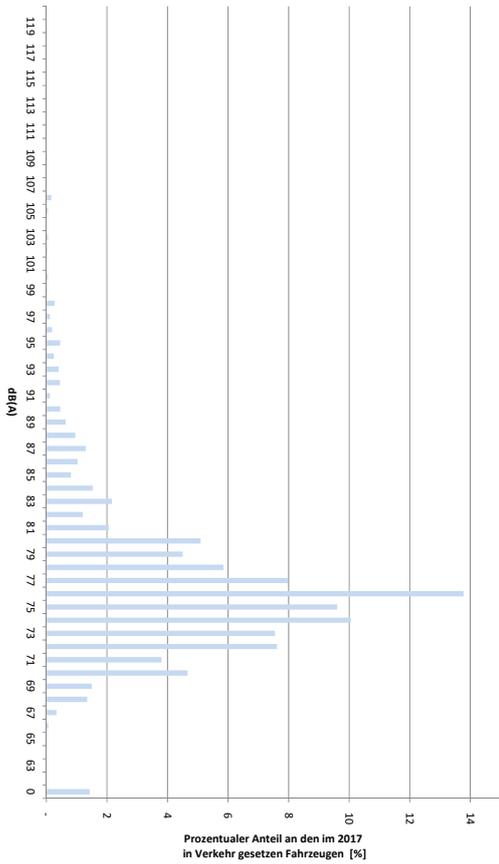
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2015
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



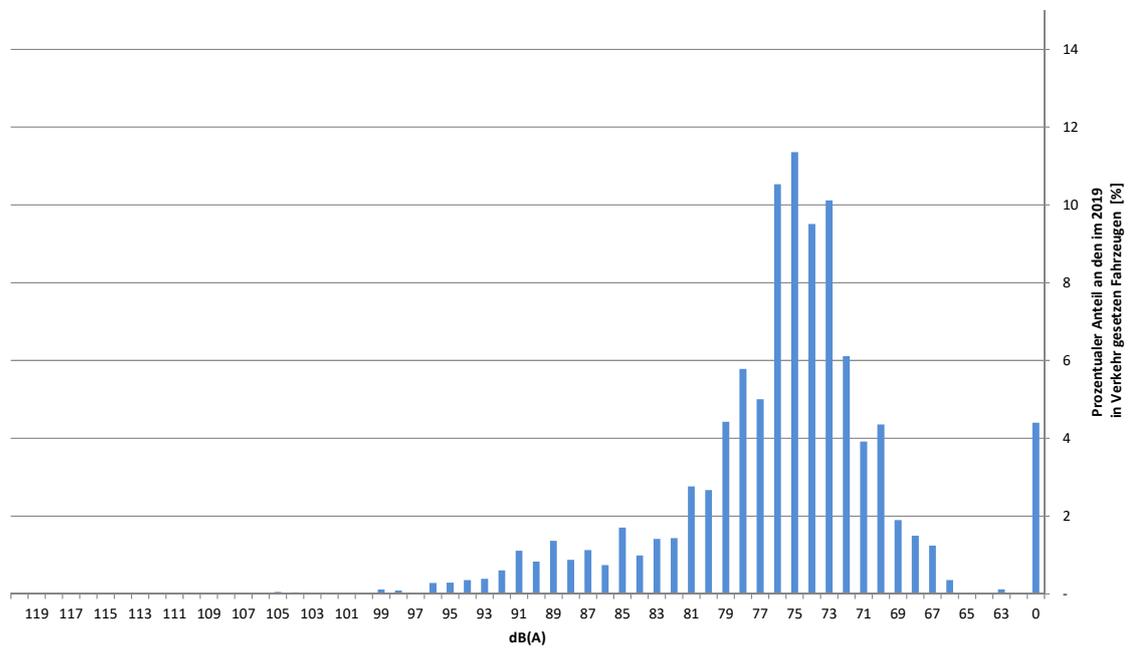
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2018
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



Verteilung der Messwerte für das Jahr 2017
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



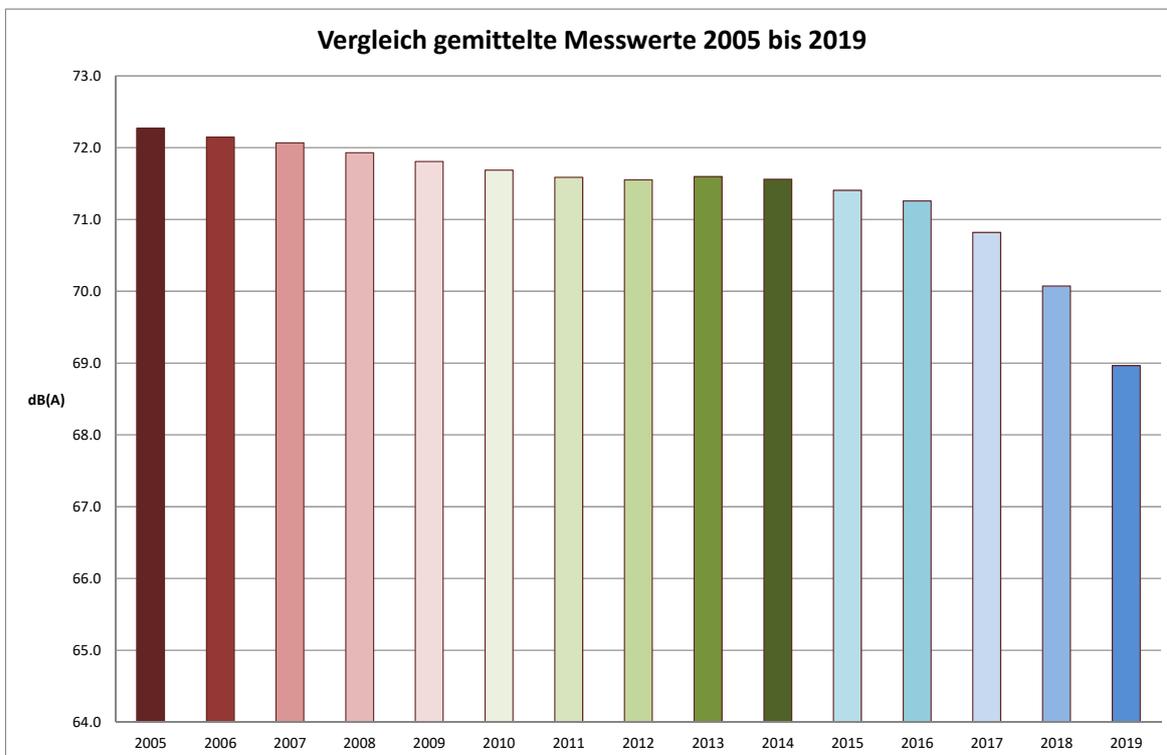
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2019
Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



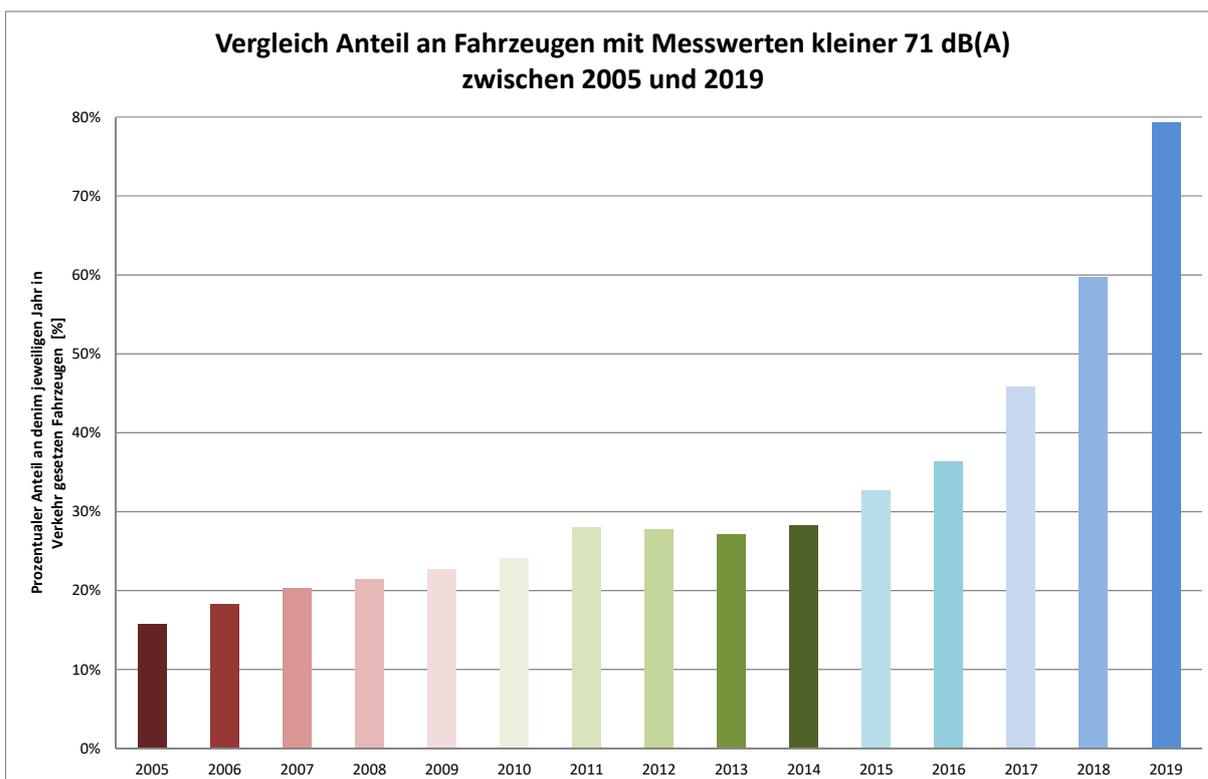
3.2. Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt

3.2.1. Allgemeine Betrachtung der Resultate über die Jahre 2005 bis 2019

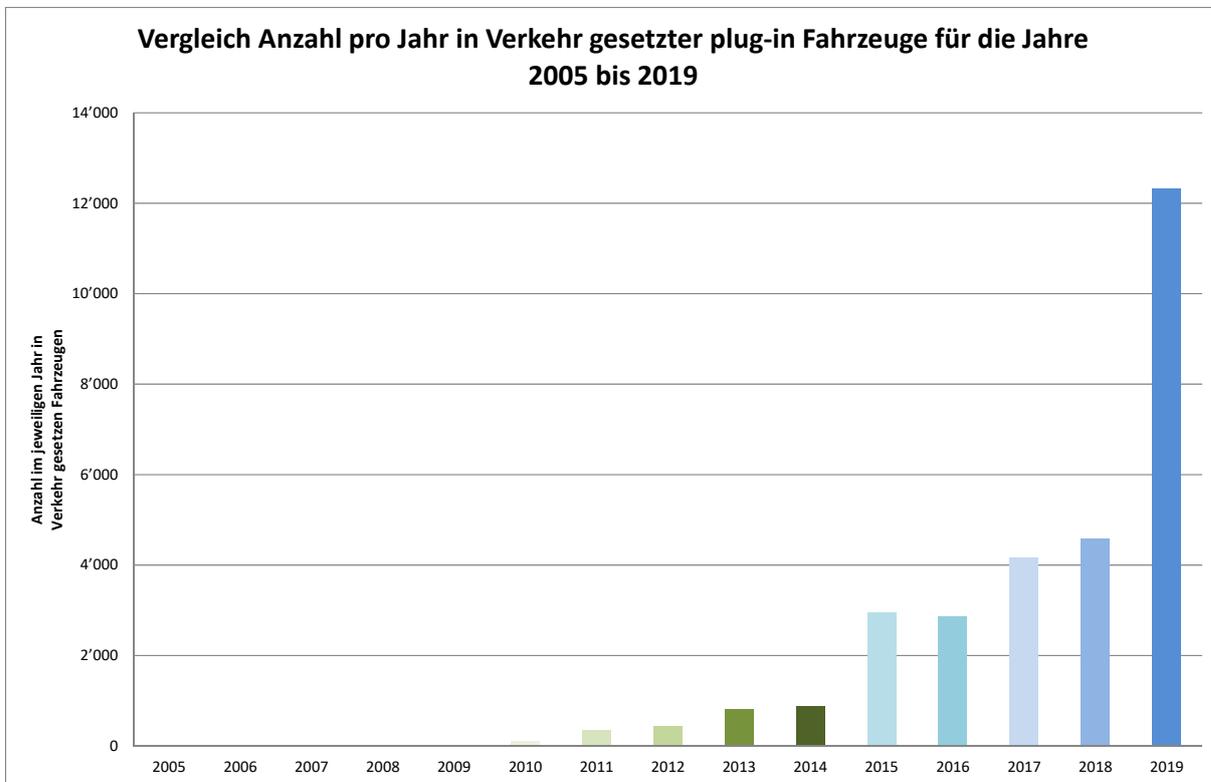
Die Analyse der Daten für das Jahr 2005 zeigt, dass aus den mittels Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt ein arithmetisches Mittel von 72.72 dB(A) resultiert. Es ist der höchste Wert aller untersuchten Jahrgänge. Betrachtet man die gemittelten Messwerte der Jahre 2005 bis 2019 lässt sich eine kontinuierliche Abnahme der Schallpegel feststellen. 2019 resultiert mit 68.96 dB(A) der tiefste Wert der analysierten Jahre. Somit hat der gemittelte Messwert in den letzten 15 Jahren um 3.76 dB(A) abgenommen.



Der Anteil der neu immatrikulierten Fahrzeuge, die bei der Vorbeifahrtmessung weniger als 71 dB(A) emittierten, kletterte zwischen 2005 und 2019 von 15.7 auf 79.25 %.



Elektrofahrzeuge mit einem zugeordneten Wert von 0 dB(A) erscheinen ab 2010. Im ersten Jahr handelte es sich vor allem um die Modelle Think City und Smart fort wo ed electric drive. Ab 2011 kommen die Range Extender Fahrzeuge Chevrolet Volt und Opel Ampera sowie die Elektrofahrzeuge Citroen C-Zero, Peugeot iON, Mitsubishi i-MIEV und Nissan Leaf hinzu. Ab 2014/15 dominieren die verschiedenen Versionen des TESLA und des BMW i3, der Renault Zoe, der Smart fort wo ed electric drive und die beiden VW-Modelle e Golf und e Up die Statistik der Plug-In Fahrzeuge. 2019 wurden insgesamt 35 verschiedene Modelle immatrikuliert. Der Tesla Model 3 dominierte mit einer Stückzahl von 4'992 die Verkaufscharts.



Der Anteil der verhältnismässig lauten Fahrzeuge (ab 75 dB(A)) hat sich zwischen 2005 (1.0%) und 2019 (0.05%) nahezu um einen Faktor 20 verkleinert.

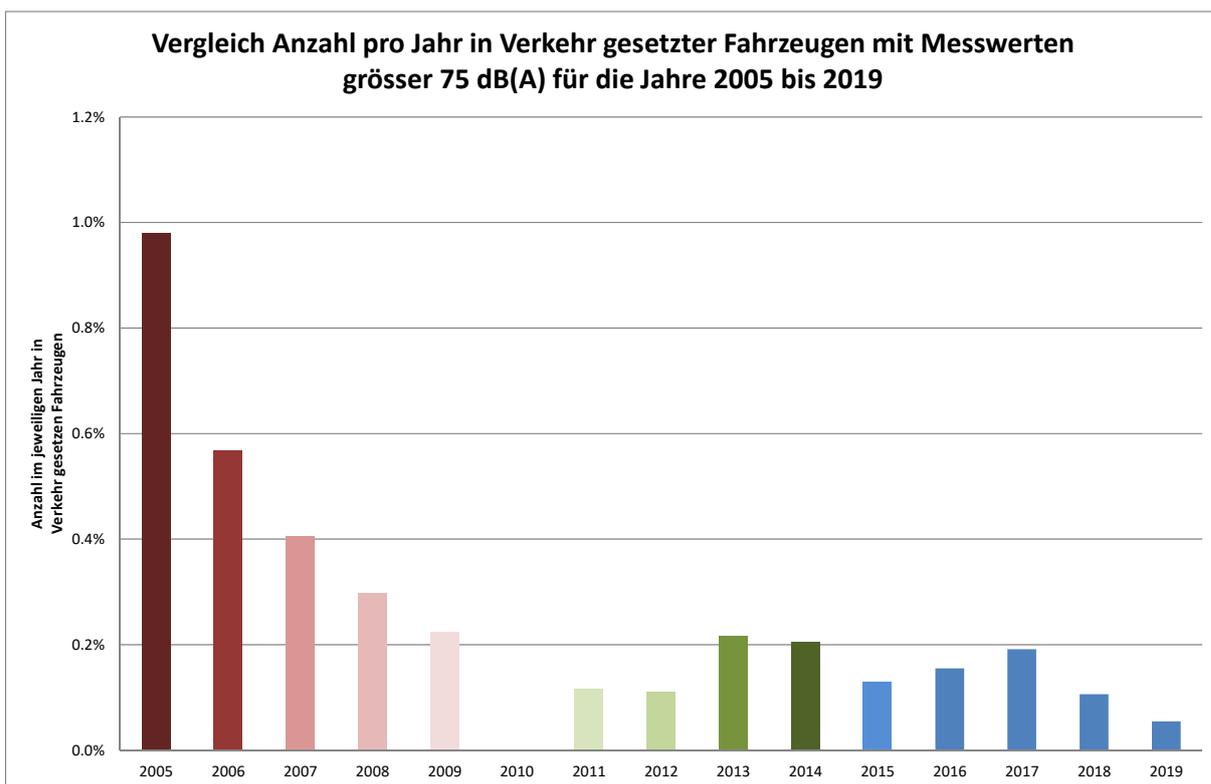
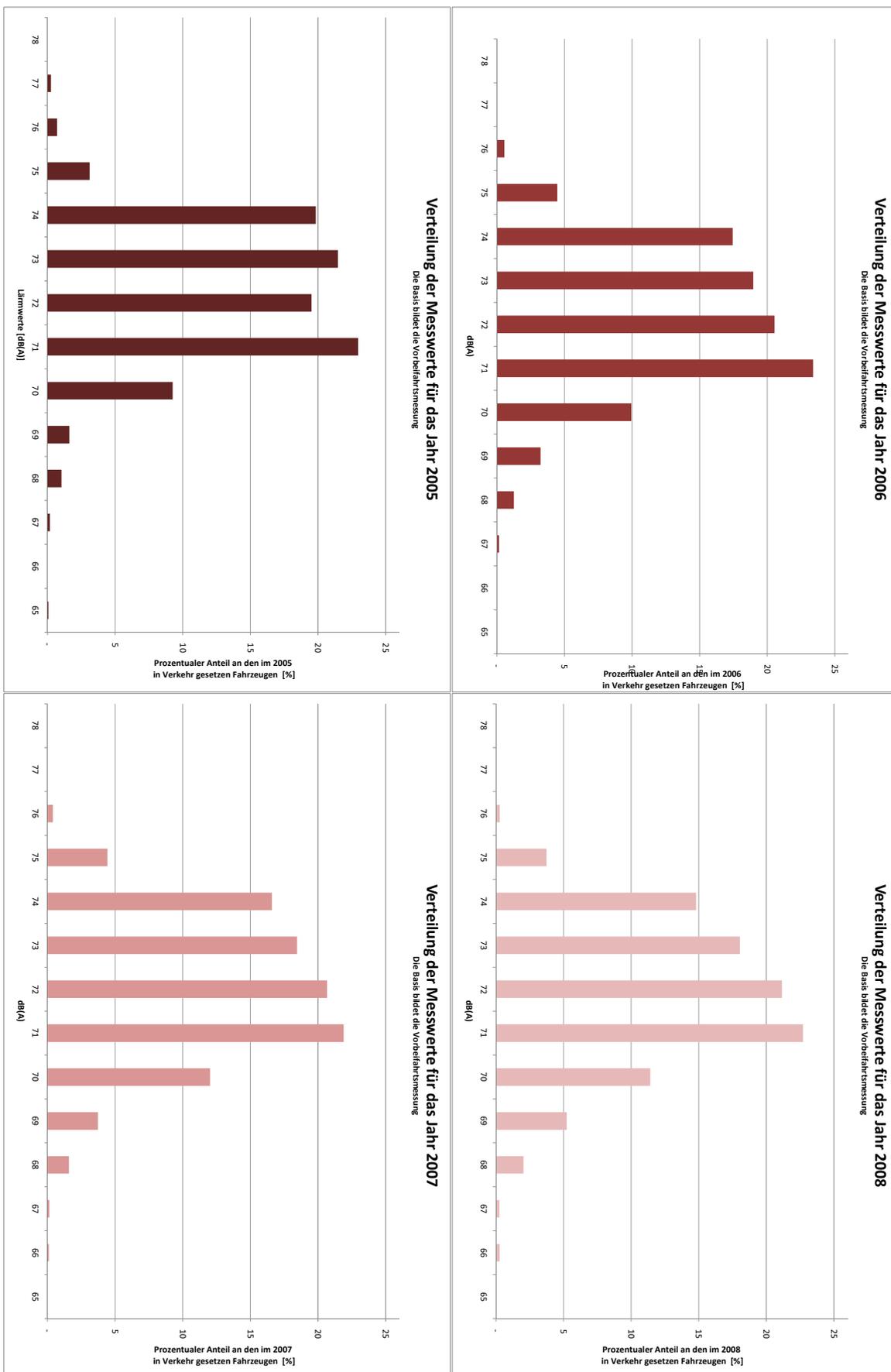


Tabelle 3: Aufstellung der wichtigsten Eckwerte

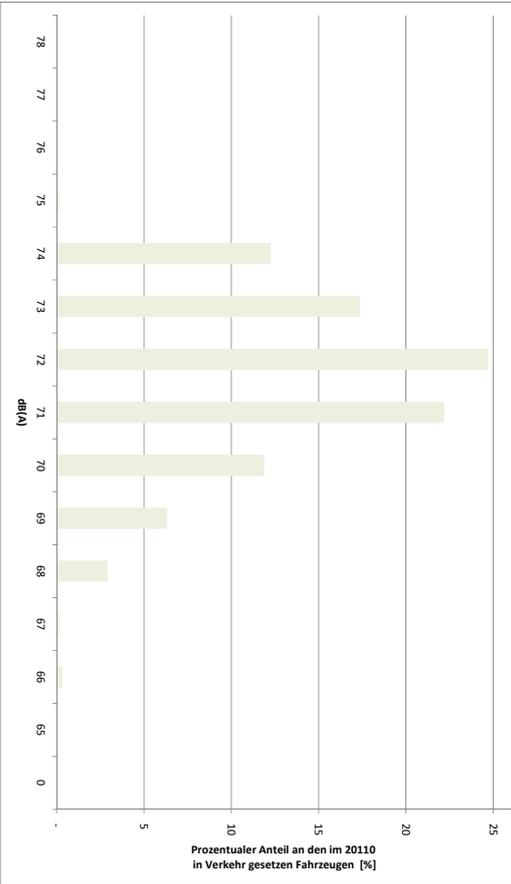
Jahr	Anzahl Fahrzeuge	Mittelwert in dB(A)	< 71 dB(A) in [%]	ab 71 und < 75 dB(A) in [%]	> 75 dB(A) [in %]
2005	232'324	72.27	15.73%	83.29%	0.98%
2006	241'719	72.15	18.26%	81.17%	0.57%
2007	258'145	72.07	20.23%	79.36%	0.41%
2008	253'259	71.93	21.36%	78.34%	0.30%
2009	248'128	71.81	22.65%	77.12%	0.22%
2010	272'023	71.69	24.03%	75.97%	0.00%
2011	289'941	71.58	28.00%	71.88%	0.12%
2012	294'180	71.55	27.74%	72.15%	0.11%
2013	280'016	71.60	27.10%	72.68%	0.22%
2014	270'779	71.56	28.20%	71.59%	0.20%
2015	294'356	71.40	32.64%	67.23%	0.13%
2016	287'285	71.26	36.27%	63.57%	0.15%
2017	291'564	70.82	45.77%	54.04%	0.19%
2018	279'643	70.07	59.77%	40.13%	0.11%
2019	280'212	68.96	79.25%	20.70%	0.05%

3.2.2. Aufstellung der Resultate nach Jahr

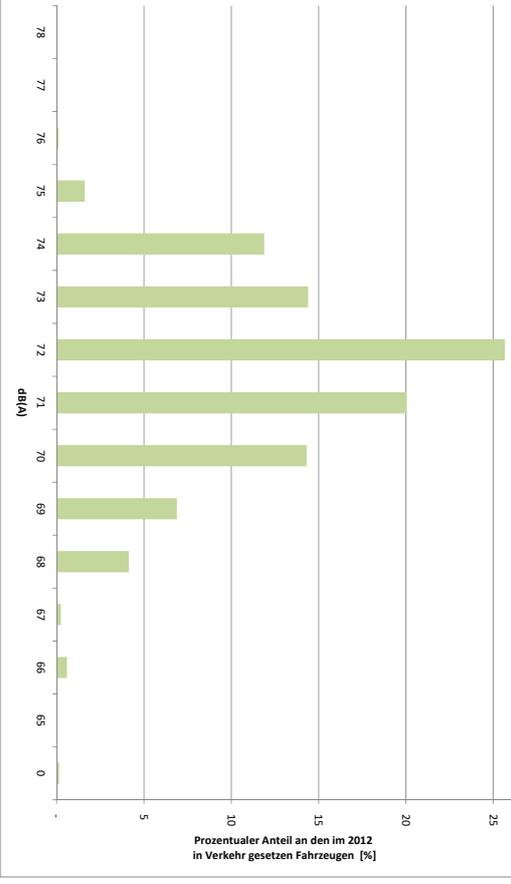
Die folgenden Abbildungen zeigen die Analyse der Messwerte im Detail. Tabelle 6 im Anhang auf Seite 38 listet die den Abbildungen zu Grunde liegenden Zahlen auf.



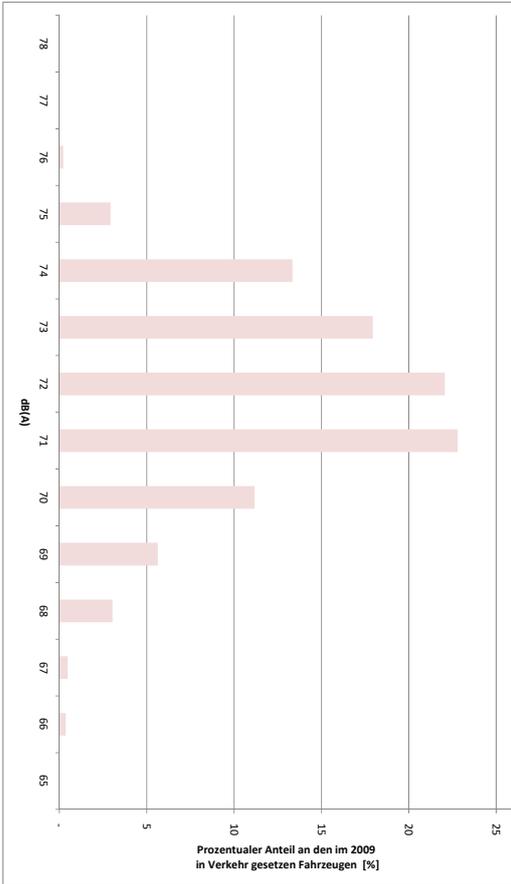
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2010
Die Basis bildet die Vorbehaltsmessung



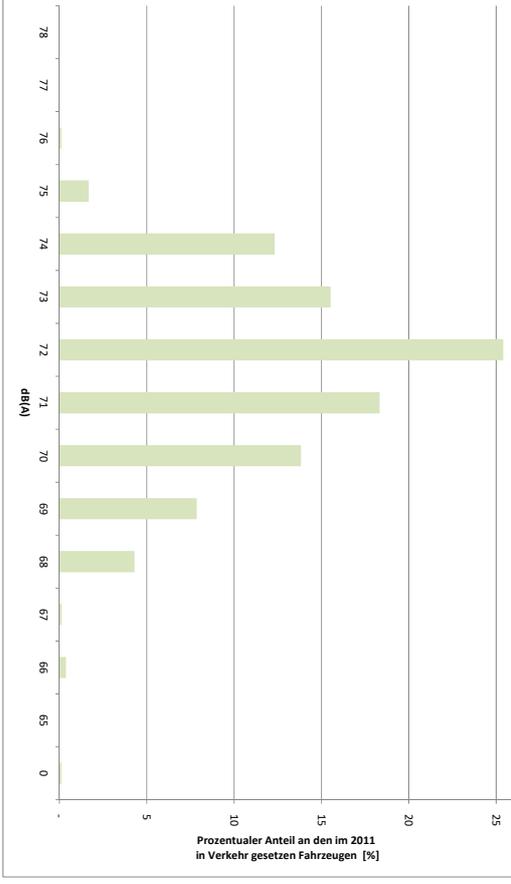
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2012
Die Basis bildet die Vorbehaltsmessung



Verteilung der Messwerte für das Jahr 2009
Die Basis bildet die Vorbehaltsmessung

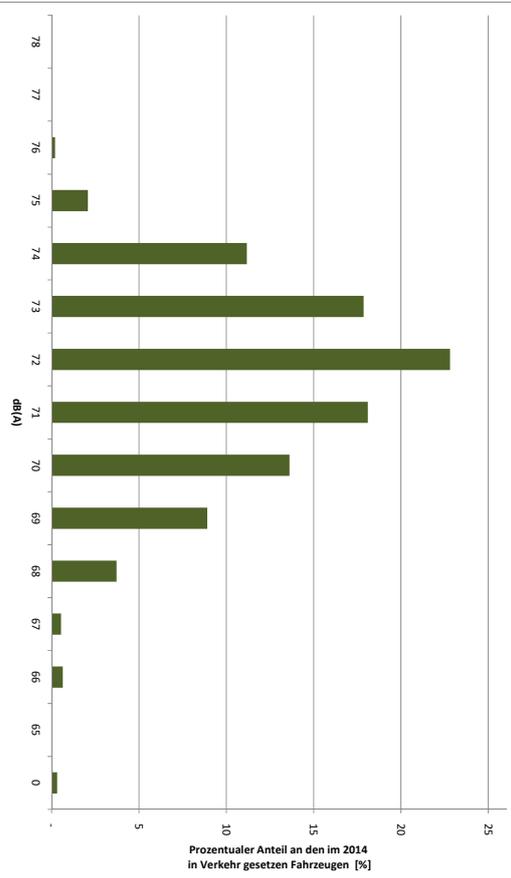


Verteilung der Messwerte für das Jahr 2011
Die Basis bildet die Vorbehaltsmessung



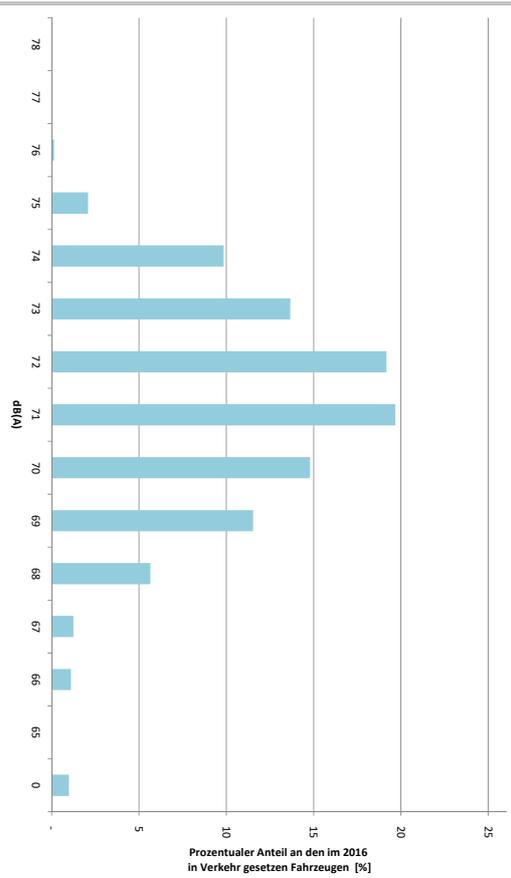
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2014

Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung



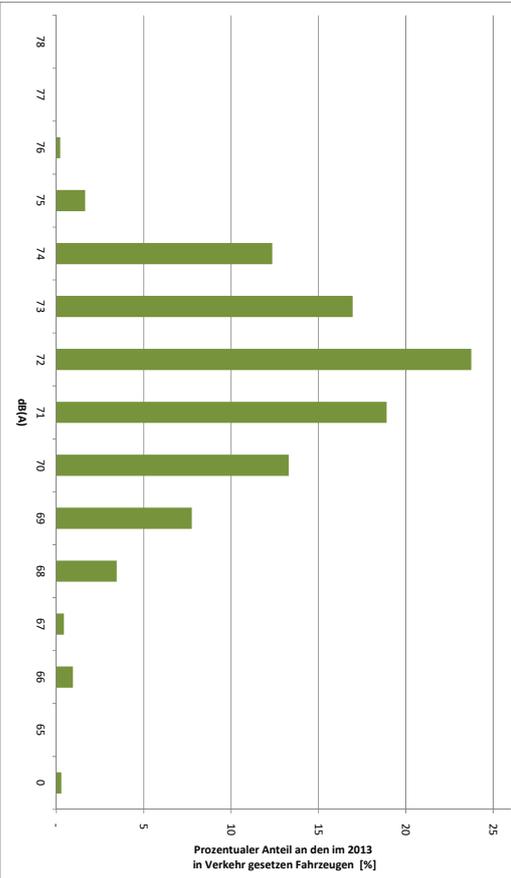
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2016

Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung



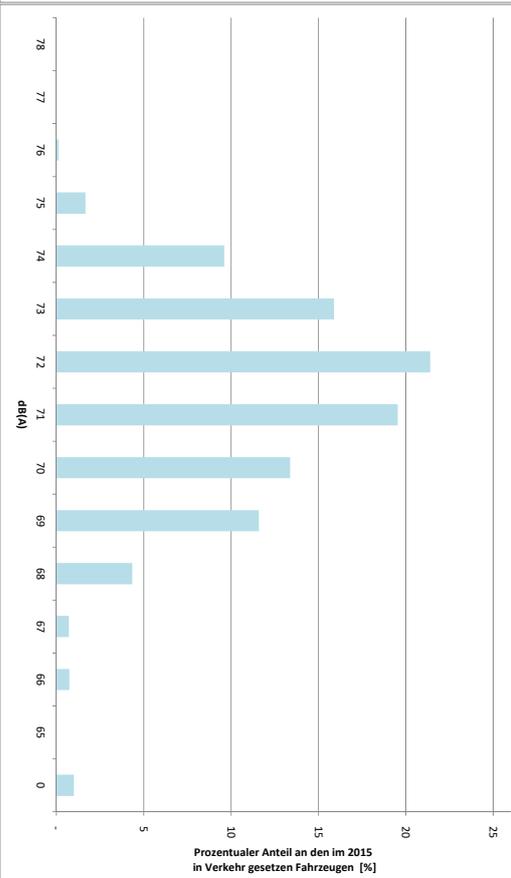
Verteilung der Messwerte für das Jahr 2013

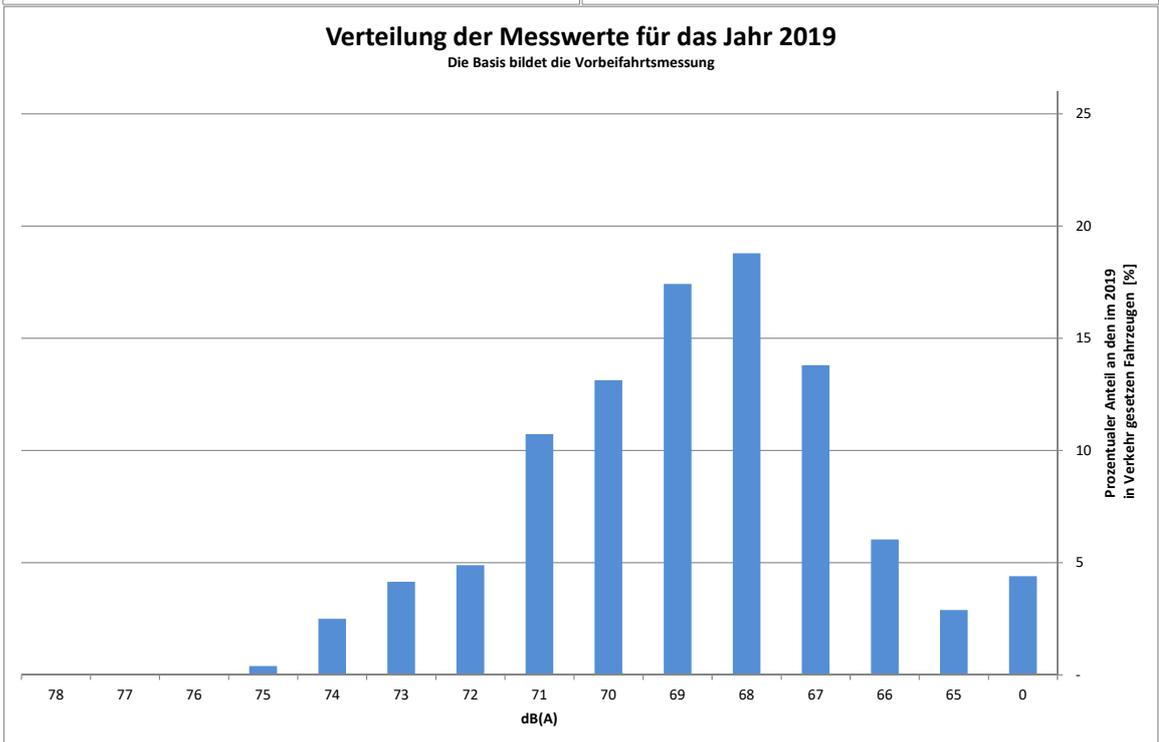
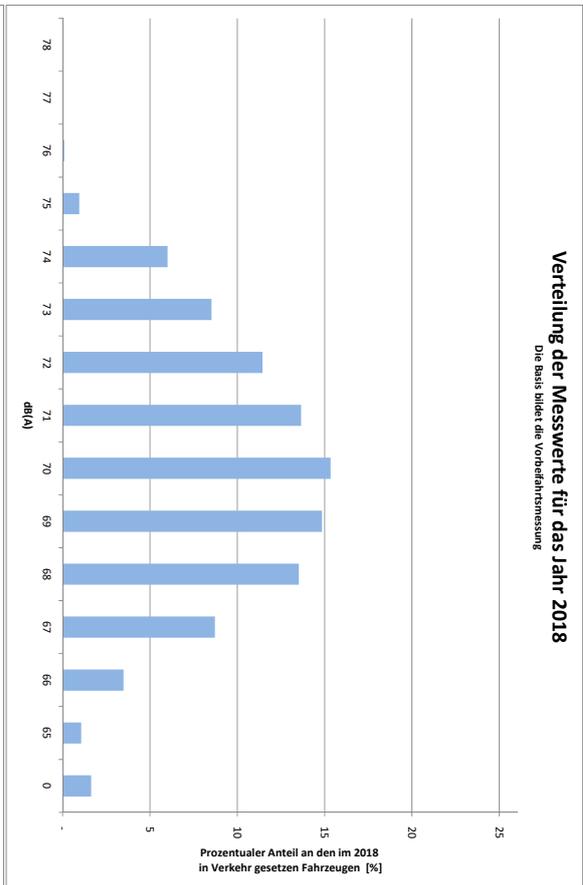
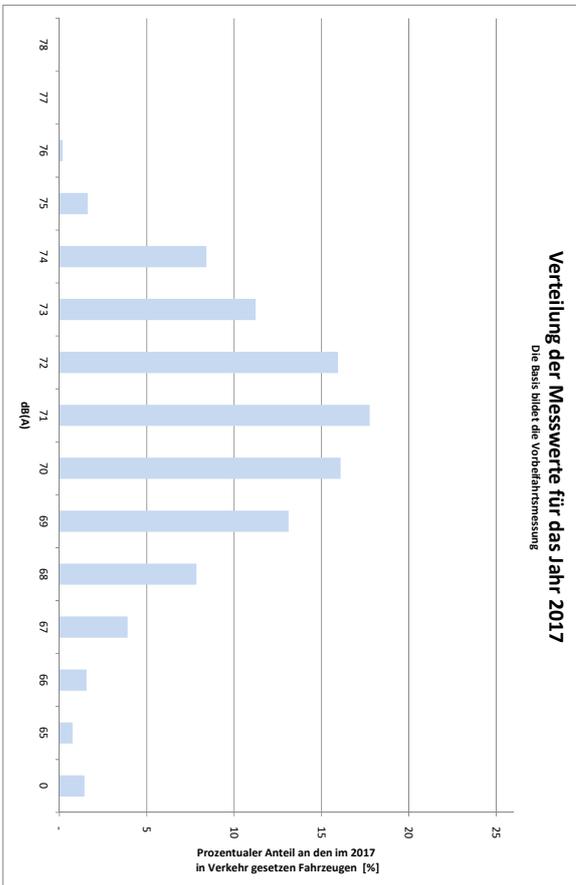
Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung



Verteilung der Messwerte für das Jahr 2015

Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung

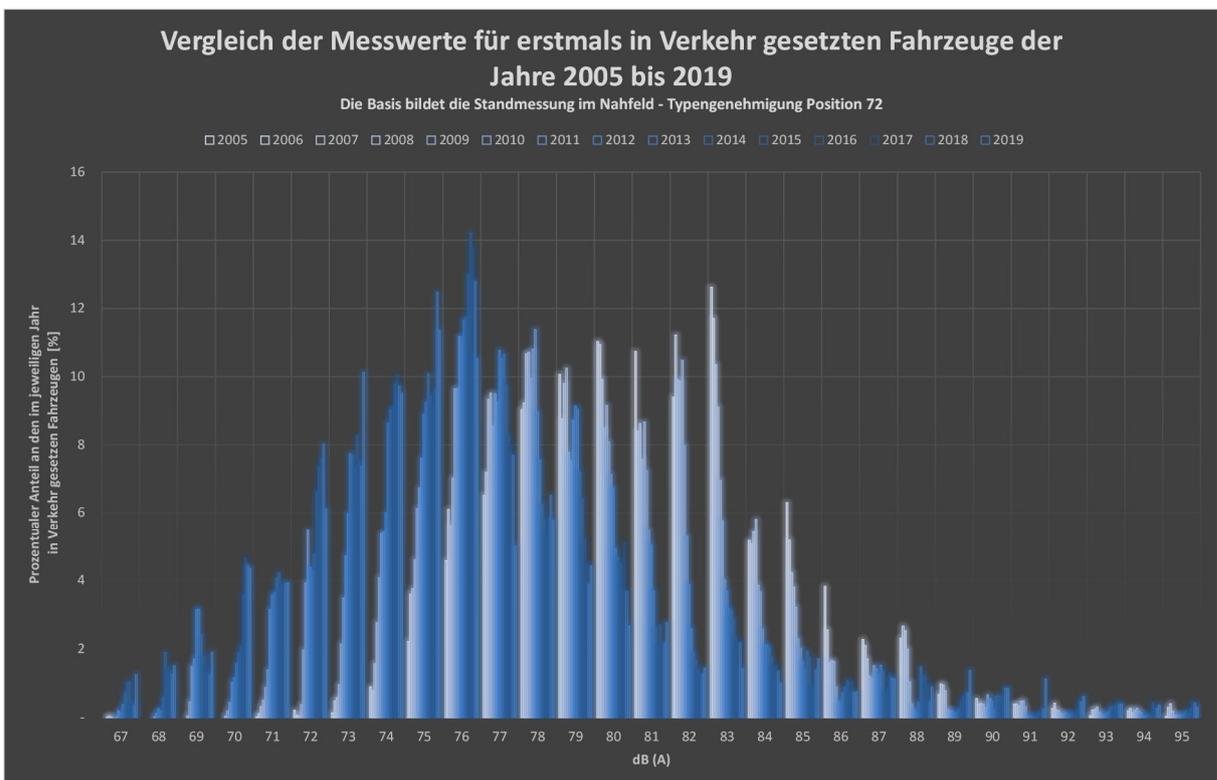
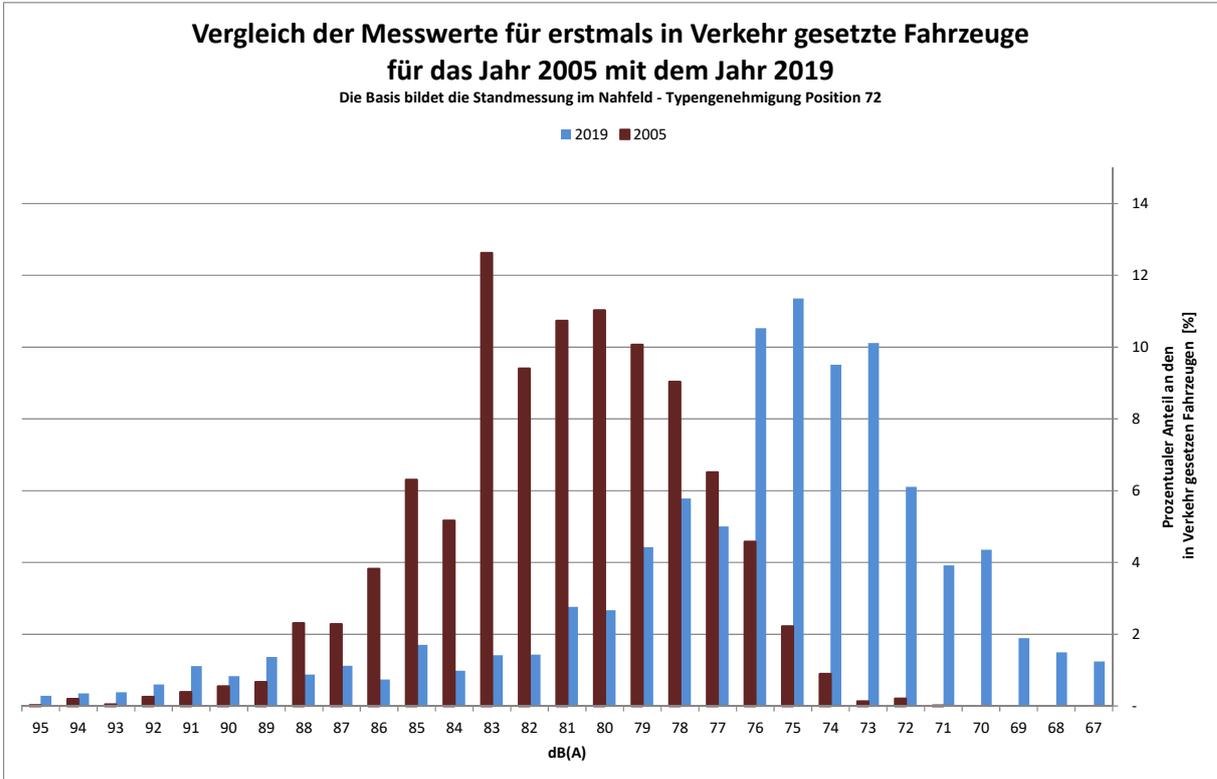




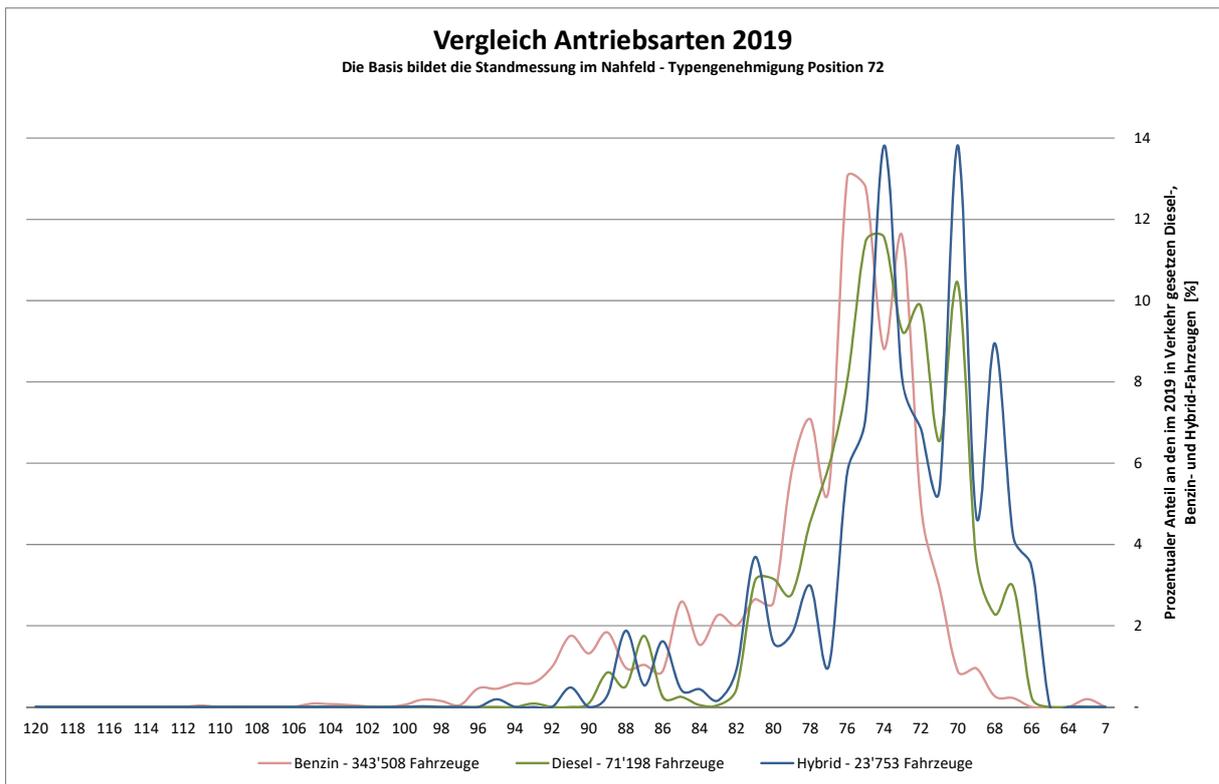
4. Diskussion

4.1. Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs

Der Vergleich der Messwerte für erstmals in Verkehr gesetzte Fahrzeuge für die Jahre 2005 bis 2019 zeigt, dass die Mittelwerte der mittels Standmessung im Nahfeld erhobenen Messwerte rückläufig sind. Neuere Fahrzeuge emittieren somit bei der verwendeten Messmethode weniger Lärm als ältere. Diese Tendenz ist sowohl bei diesel- als auch bei benzinbetriebenen Personenwagen feststellbar. Auch die zugrundeliegenden Verteilungen der Messwerte haben sich in Richtung geringere Lärmemissionen verschoben. Die folgenden Darstellungen veranschaulichen diesen Trend sehr gut.

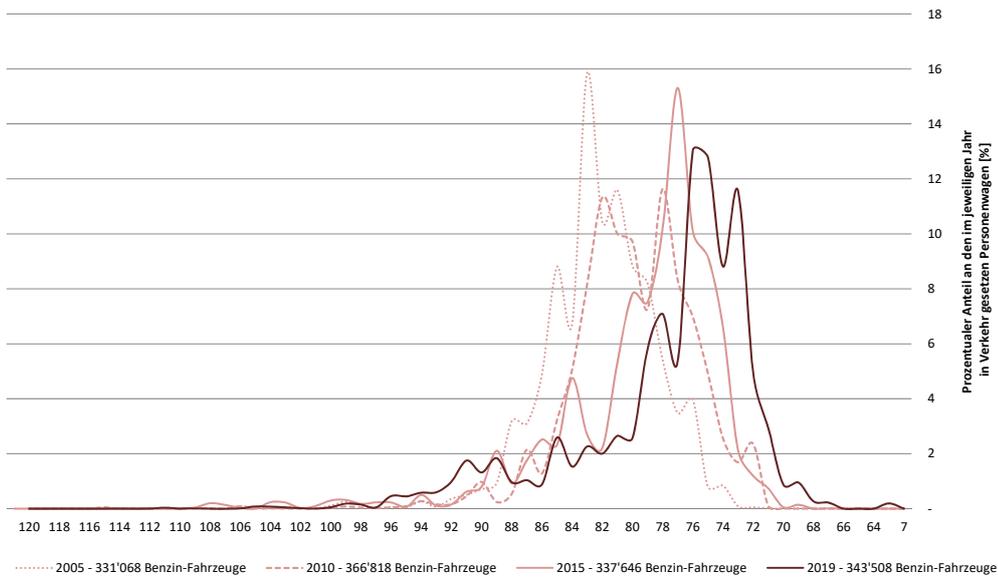


Einen gesetzlichen Anreiz zu Gunsten tieferer Lärmemissionen gibt es nicht. Somit ist es wahrscheinlich, dass dieser Effekt ungewollt oder beiläufig auftritt. Zudem lässt sich aufzeigen, dass dieselbetriebene Fahrzeuge unabhängig vom Jahrgang tendenziell weniger hohe Schallpegel emittieren als Benzinler.



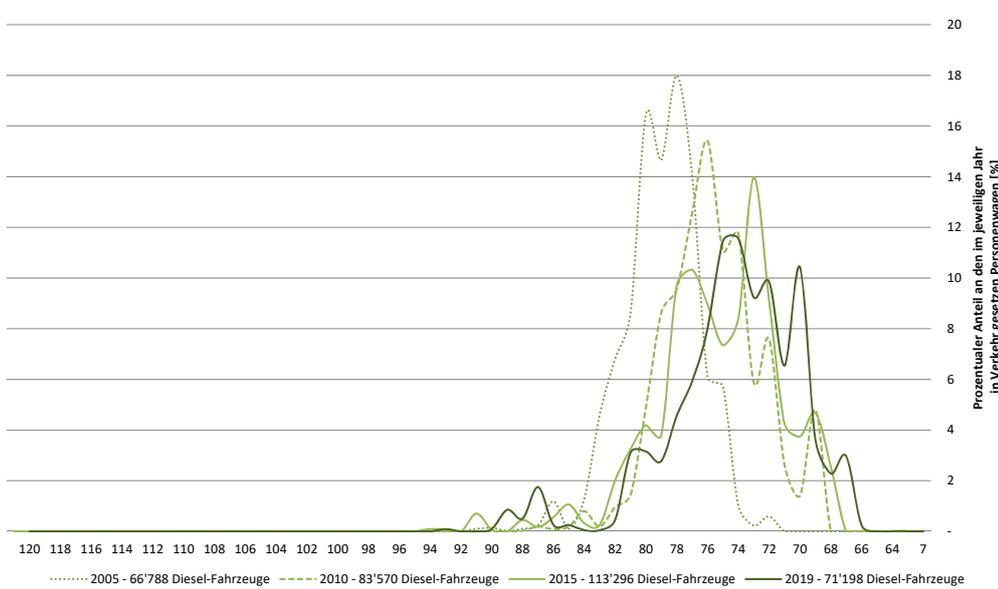
Benzinbetriebene Personenwagen

Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



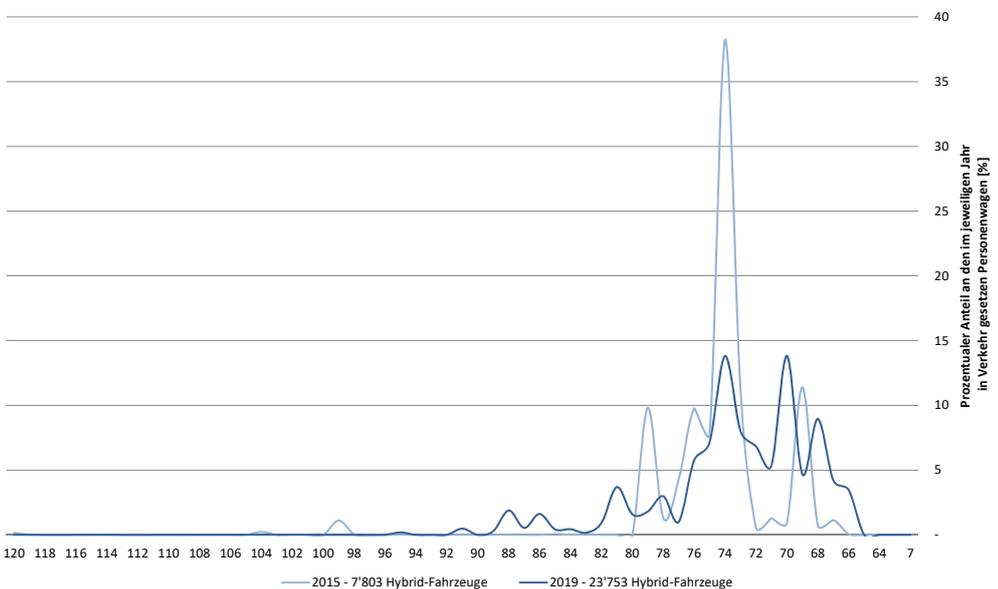
Dieseltbetriebene Personenwagen

Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



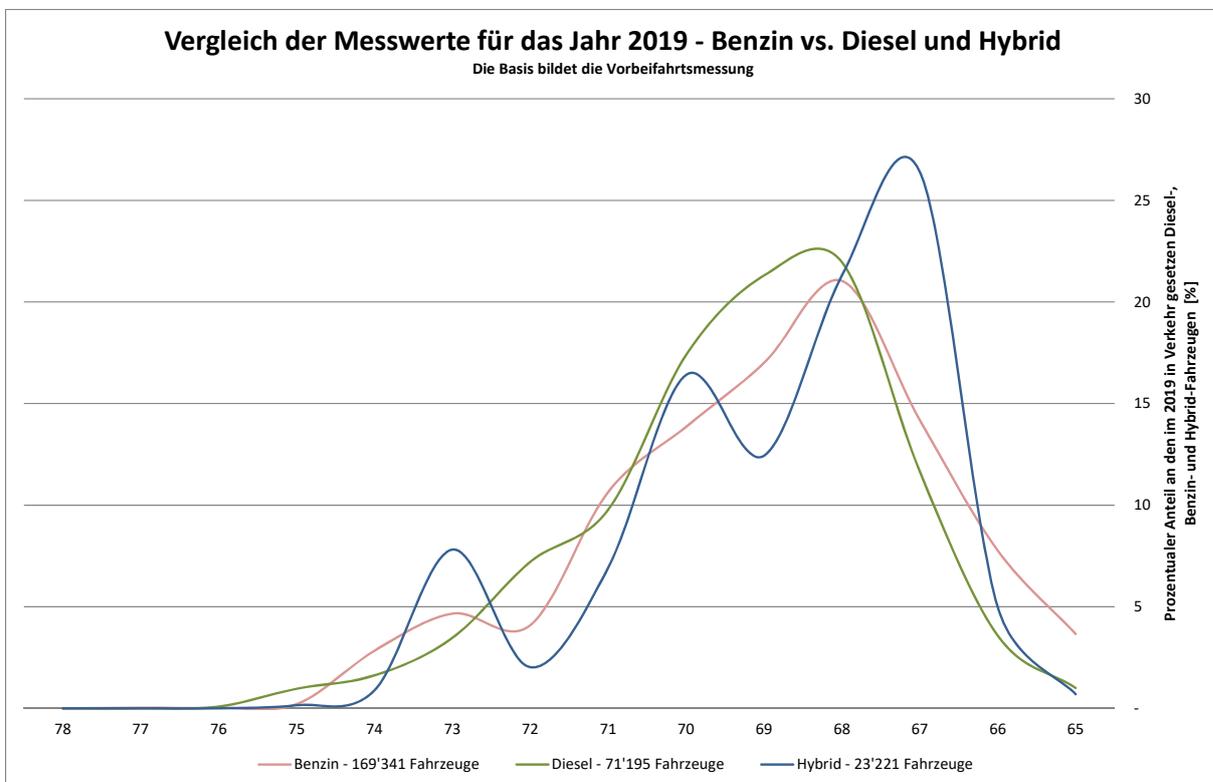
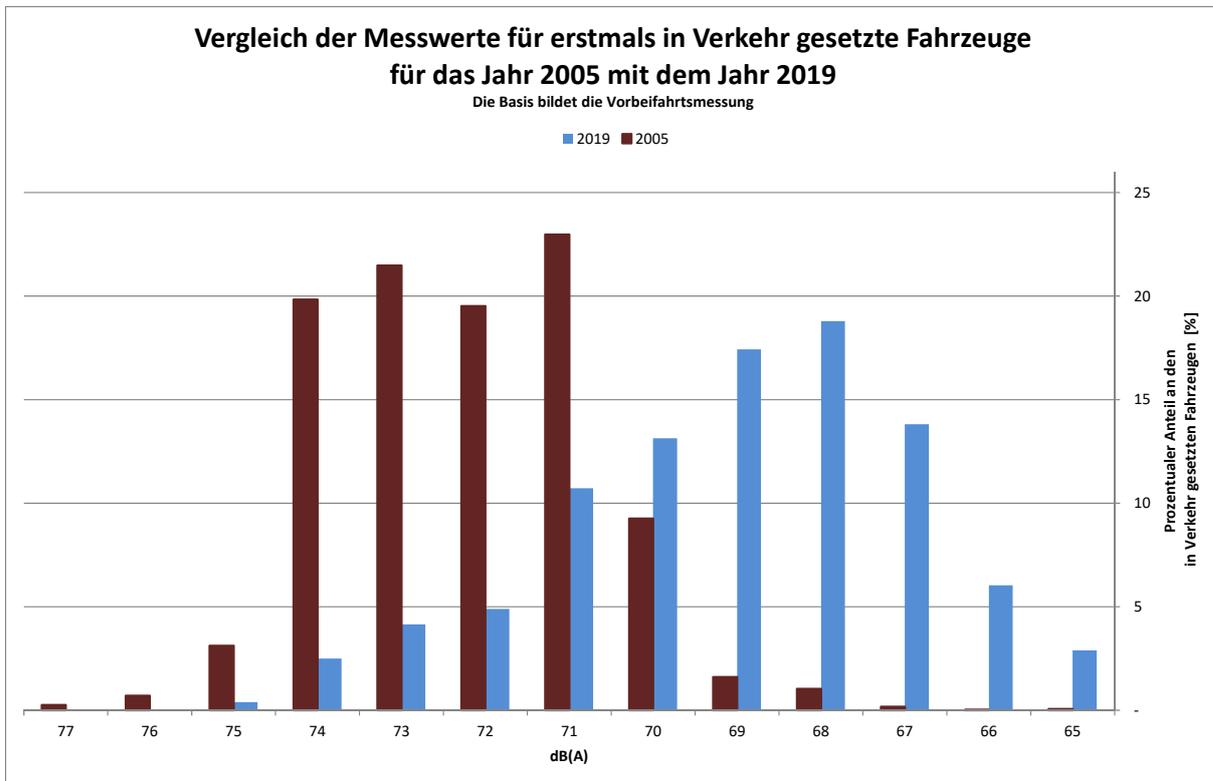
Hybridbetriebene Personenwagen

Die Basis bildet die Standmessung im Nahfeld - Typengenehmigung Position 72



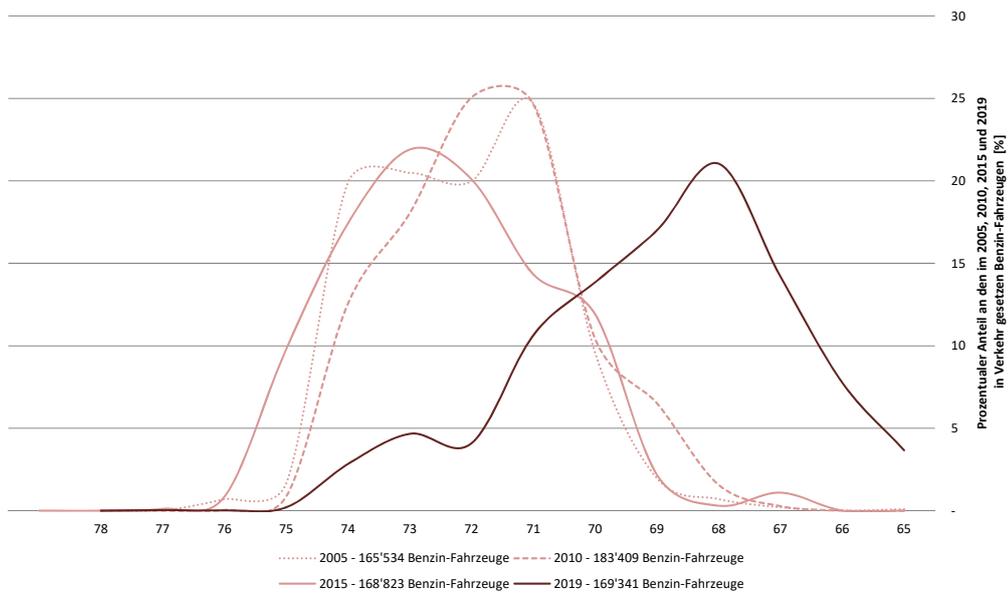
4.2. Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt

Auch die Analyse der Daten für die Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt für die Jahre 2005 bis 2019 zeigt, dass die erhobenen Schallpegel tendenziell rückläufig sind. Neuere Fahrzeuge emittieren somit bei der verwendeten Messmethode tendenziell weniger Lärm als ältere. Diese Entwicklung ist sowohl bei diesel- als auch bei benzinbetriebenen Personenwagen feststellbar.



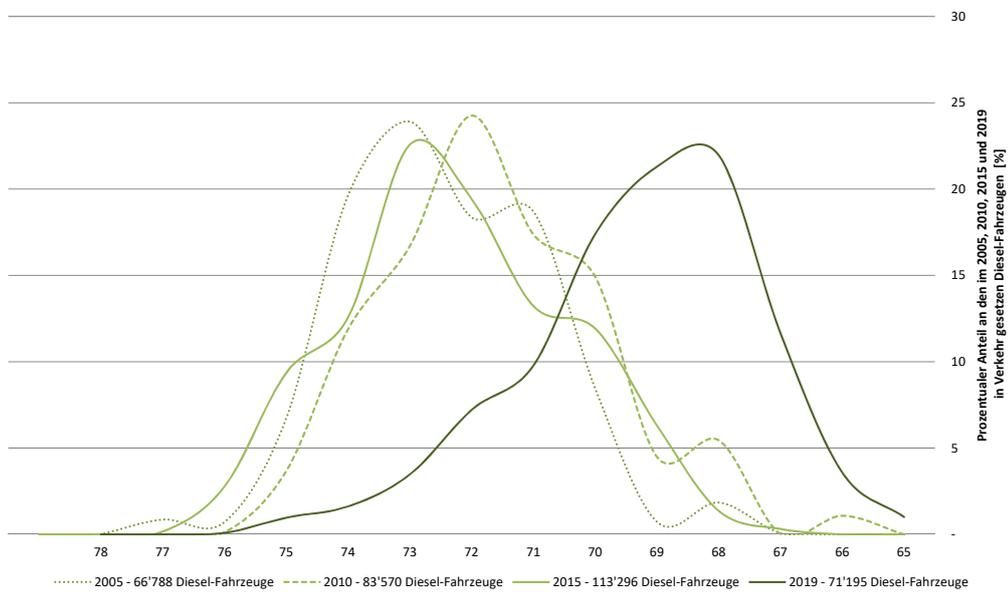
Vergleich der Messwerte Benzin-Fahrzeuge für 2005, 2010, 2015 und 2019

Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung



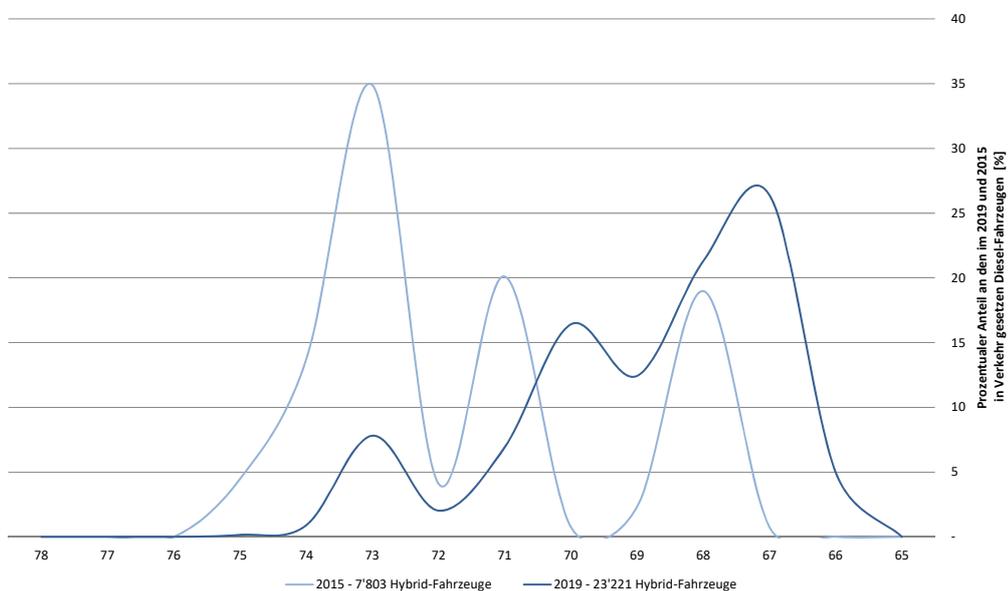
Vergleich der Messwerte Diesel-Fahrzeuge für 2005, 2010, 2015 und 2019

Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung



Vergleich der Messwerte Hybrid-Fahrzeuge für die Jahre 2015 und 2019

Die Basis bildet die Vorbeifahrtsmessung



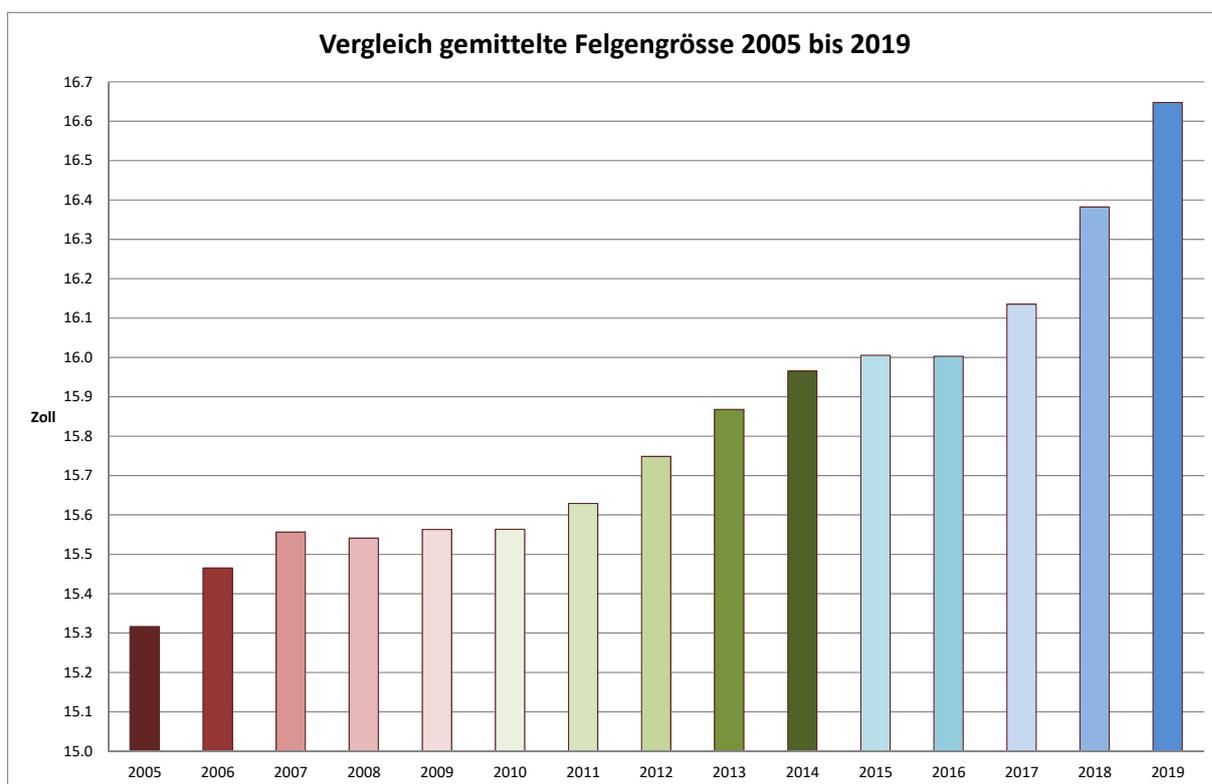
4.2.1. Entwicklung Reifenbreiten und -dimensionen

Die Analyse der Reifenbreiten und -dimensionen für die Erst-Bereifung neuer Fahrzeuge wurde analog zu den Lärmpegeln mithilfe der Einträge in TARGA-DATA erstellt. Die Abdeckung ist mit rund 99% sehr hoch.

Tabelle 4: Datengrundlage – Reifenbreiten und -dimensionen

Jahr	Anzahl Fahrzeuge ¹²	[%] ¹³	Jahr	Anzahl Fahrzeuge ⁶	[%] ⁵
2005	242'120	99.78%	2013	280'999	99.52%
2006	250'736	99.89%	2014	270'164	99.45%
2007	264'601	99.92%	2015	293'569	99.15%
2008	257'480	99.97%	2016	288'605	98.55%
2009	250'641	99.95%	2017	288'431	98.54%
2010	272'651	99.60%	2018	277'353	98.89%
2011	290'562	99.66%	2019	277'601	98.75%
2012	293'792	99.58%			

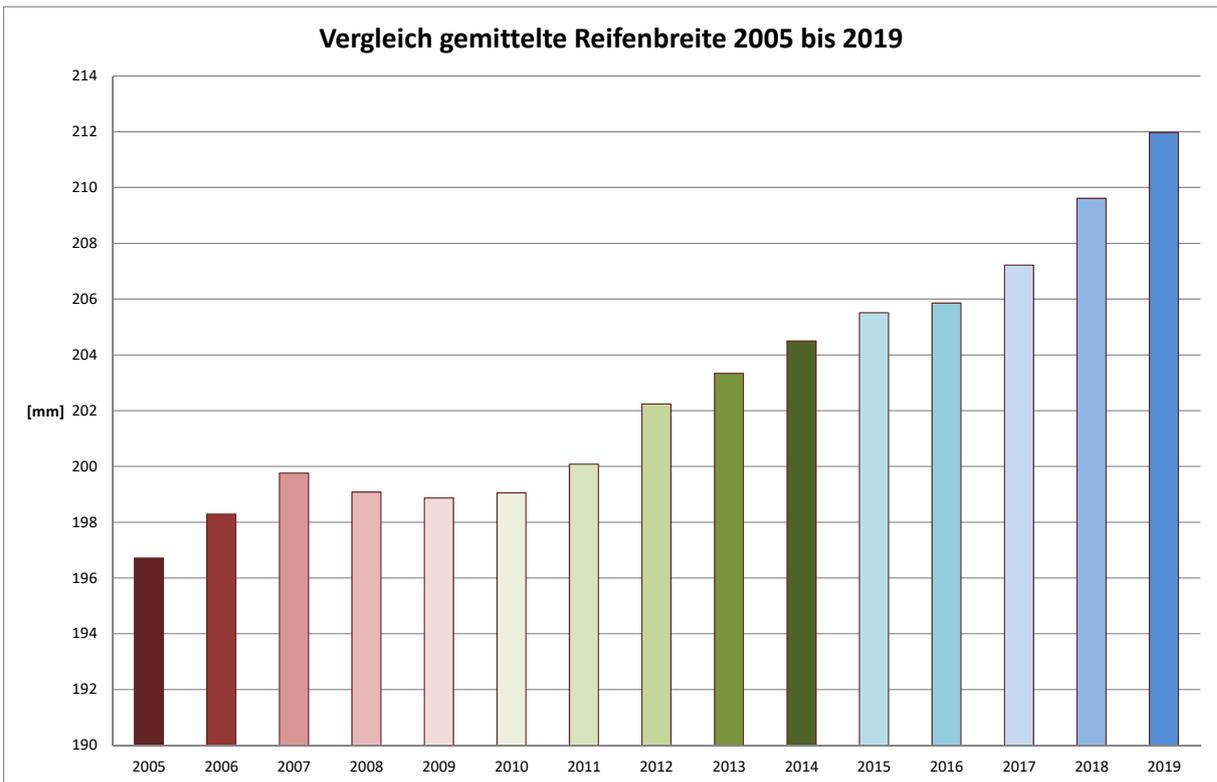
Wie die folgende Grafik zur Felgenreisse zeigt haben die Felgenreissen über die letzten Jahre stetig zugenommen. Im 2005 betrug die durchschnittliche Felgenreisse noch ca. 15.32 Zoll. Im 2019 stieg der Wert um 1.33 auf 16.65 Zoll.



Auch bei den Reifenbreiten sehen wir einen analogen Trend zu allgemein breiteren Reifen. Im 2005 wurden die neuen Fahrzeuge mit durchschnittlich 196.7 mm breiten Reifen ausgeliefert. Im Jahr 2019 gelangten die Fahrzeuge mit durchschnittlich 225.26 mm breiten Reifen auf die Strasse. Somit wurde festgestellt, dass der Erst-Ausrüster-Reifen im 2005 eine Dimension von 195/R15 hatte, im 2019 dagegen zwischen 2015/R16 und 225/R17.

¹² Es flossen nur Datensätze, welche eine TG in MOFIS aufwiesen (TG mit dem Wert «X» wurden nicht berücksichtigt).

¹³ Prozentsatz der Fahrzeuge für welche eine Zuordnung MOFIS zu TARGA-DATA möglich war.



Interessant ist der Umstand, dass trotz der Tendenz zu grösseren Felgen und breiteren Reifen die Lärmemissionen bei der Vorbeifahrt-Messung über die vergangenen Jahre stetig abgenommen haben, obschon in der Regel breitere Reifen höhere Lärmemissionen zur Folge haben. Der Umstand, dass die Lärmemissionen bei der Vorbeifahrt trotz breiteren Reifen stetig abgenommen haben, kann darauf zurückzuführen sein, dass die angebotenen Reifen in der Regel im Kriterium Lärm verbessert wurden. Dies ist aber nur eine Vermutung und lässt sich mit den vorhandenen Informationen nicht abschliessend beurteilen.

Lärmreduktion durch Radkasten Abdeckung

Fahrzeughersteller kleiden den Radkasten speziell aus, um die Lärmimmissionen für die Insassen zu optimieren (Komfort). Dadurch werden die Lärmemissionen bei der Vorbeifahrt auch positiv beeinflusst.

Abbildung 3 Radkastenabdeckung



(Quelle: TCS 2016)

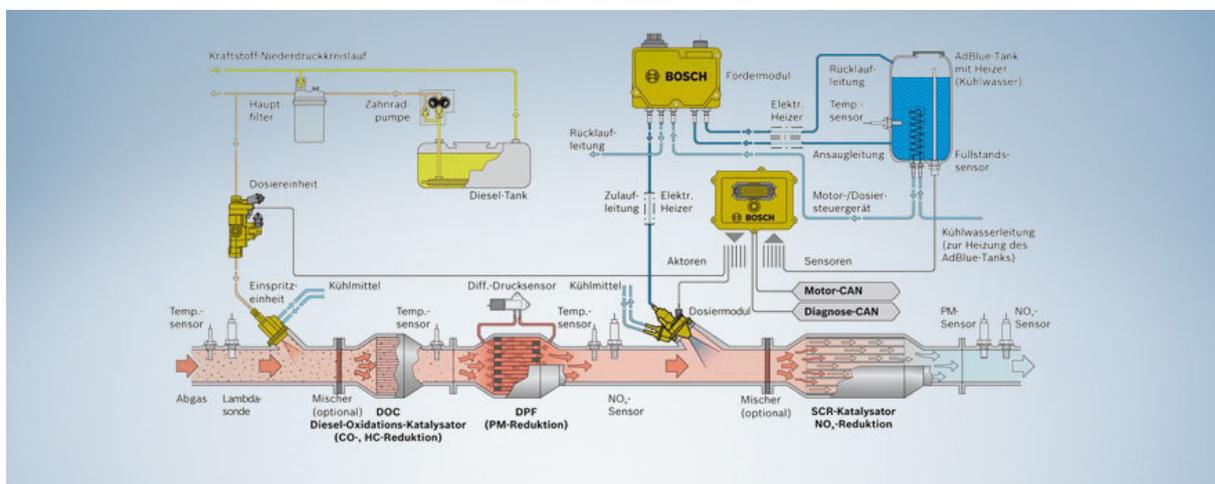
4.3. Fahrzeugentwicklung

Die Hersteller optimieren ihre Fahrzeuge laufend bezüglich Geräuschdämmung. Dies verbessert den Komfort und vermittelt einen hochwertigen Eindruck. So werden die Motorräume heutzutage mit geräuschabsorbierenden Materialien in der Motorhaube sowie am Unterboden ausgestattet. Dies kann mitunter ein Grund für die tendenziell sinkenden Schallpegel sein.

4.3.1. Dieselbetriebene Fahrzeuge

Bei dieselbetriebenen Fahrzeugen können die tieferen Schallpegel unter anderem durch zusätzliche im Abgaskanal in Serie geschaltete Bauteile verursacht werden. Im Jahr 2006 wurde die Abgasnorm Euro 4 und 2011 die Norm Euro 5 eingeführt. Damit war die Anpassung des Partikelmassen-Grenzwertes von 50 auf 25 mg/km (Euro 4) respektive auf 5 mg/km (Euro 5) verbunden. Um die strengen Grenzwerte einzuhalten - insbesondere Euro 5 und später auch Euro 6 - drängten sich in der Motorenentwicklung geregelte Partikelfilter auf. Ab 2014 zählte der geregelte Partikelfilter zur Standardausrüstung eines modernen Diesel-Fahrzeugs. Mit der Abgasnorm Euro 5 wurde der Grenzwert für die NO_x-Emissionen von 250 auf 180 mg/km reduziert (Wikipedia - Abgasnorm, 2016). Um diesen Wert einzuhalten, wurden zunehmend auch NO_x-Speicher-Katalysatoren eingesetzt. In Kombination mit den Dreiwegkatalysatoren (CO, HC und NO_x) werden somit heutzutage neben den Schalldämpfern bis zu drei weitere schallpegelhemmende Bauteile eingesetzt (Bosch Mobility Solutions, 2016)

Abbildung 4 Systemintegration – Diesel PKW



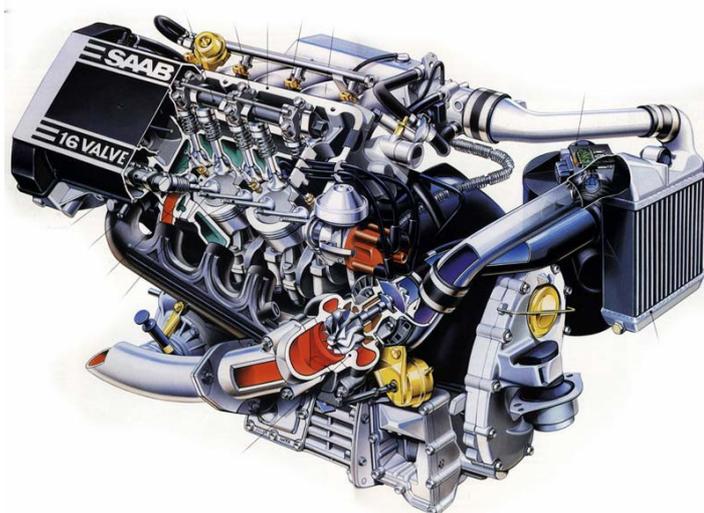
(Quelle: Bosch Mobility Solutions, 2016)

Als weiterer Grund für die niedrigeren Schallpegel-Messwerte bei Dieselmotoren ist die „weichere“ Verbrennung aufzuführen. Eine einzelne Einspritzung pro Arbeitstakt führt bei dieselbetriebenen Motoren zum bekannten „Nageln“, welches durch die harte, schlagartige Verbrennung entsteht. Eine deutlich „weichere“ Verbrennung wird durch Mehrfach-Einspritzungen bei modernen Common-Rail-Systemen erreicht, welche im Automobilbau seit Ende der 90er Jahre zum Einsatz kommen (Wikipedia - Common-Rail-Einspritzung, 2016). Eine Weiterentwicklung gelang ab 2005 mit den deutlich schneller arbeitenden Piezo-Einspritzinjektoren. Heutzutage werden bis zu sieben Einspritzungen pro Arbeitstakt erreicht, was zur deutlich „weicheren“, leiseren Verbrennung führt (kfz-tech.de, 2016).

4.4. Benzinbetriebene Fahrzeuge

Eine mögliche Erklärung für die tieferen Schallpegel bei Benzinmotoren ist der Trend hin zum Downsizing. Um den heutigen Ansprüchen betreffend Verbrauch und Leistung gerecht zu werden, werden Benzinmotoren vorzugsweise mit Turboladern ausgerüstet. Dies gestattet eine deutliche Reduzierung des Hubraums ohne Einbussen bezüglich Leistung. Der reduzierte Hubraum kann zu einer Verminderung der gemessenen Schallpegel führen. Einen deutlich höheren Einfluss hat jedoch der sich im Abgasstrom befindende Abgasturbolader, der die Geräusche des Arbeitstaktes dämpft (Borg Warner, 2016).

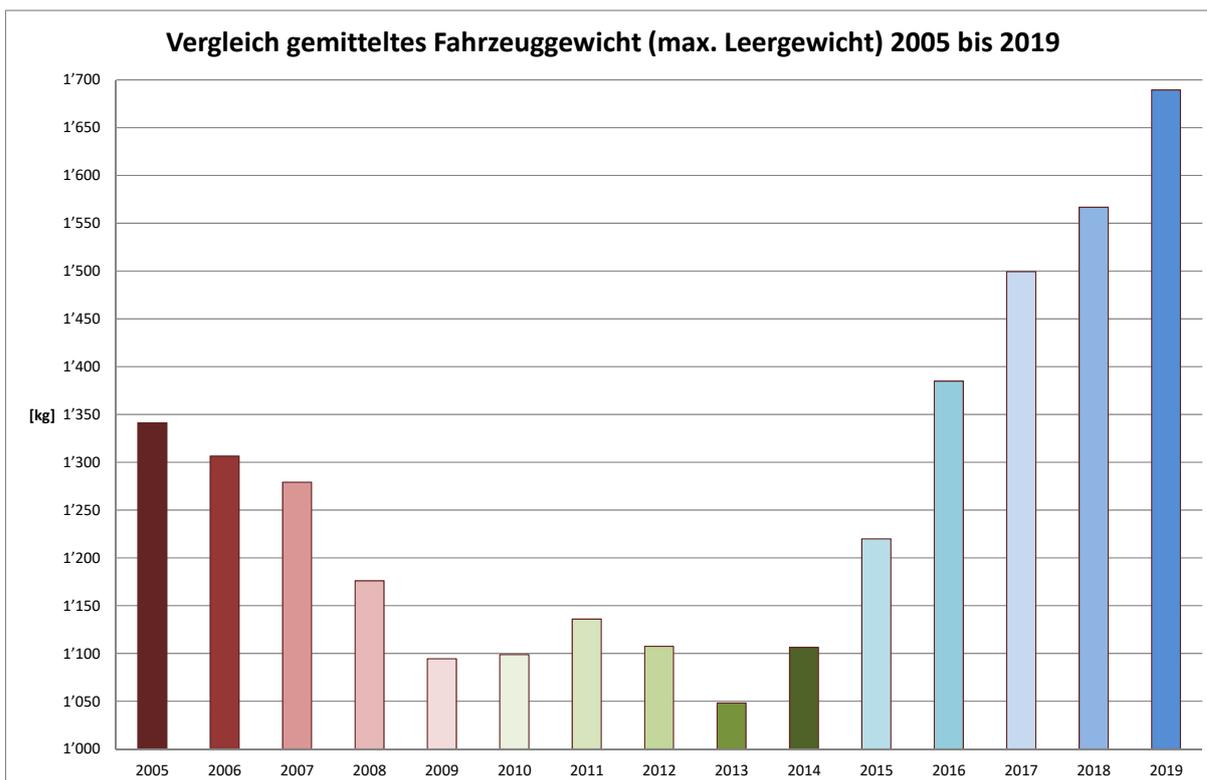
Abbildung 5 Turbolader beim PKW



(Quelle: Wikipedia)

4.4.1. Entwicklung des Fahrzeuggewichts

Es lassen sich zwei Tendenzen in Bezug auf das Fahrzeuggewicht erkennen. In den Jahren 2005 bis 2009 hat das arithmetische Mittel des maximalen Leergewichts kontinuierlich abgenommen (jährlich zwischen 2 und 8 %), danach ist es bis 2014 recht stabil geblieben um in den Jahren 2015 bis 2019 wieder klar anzusteigen (jährlich zwischen 4.5 und 13.5 %). Im Vergleich zum minimalen Wert (2013) hat das gemittelte Fahrzeuggewicht im 2019 um rund 640 kg (61.2 %) zugenommen.



4.5. Fazit

Die Ergebnisse der Studie lassen darauf schliessen, dass moderne Fahrzeuge über die letzten Jahre grundsätzlich leiser geworden sind. Diese Erkenntnis beruht auf der Auswertung der Zulassungsdaten. In der Praxis hängen die Lärmemissionen aber von weiteren Faktoren ab. Insbesondere die gefahrene Geschwindigkeit, der Strassenbelag und die Reifendimension beeinflussen die Lärmemissionen im Praxisbetrieb signifikant. Dies konnten verschiedene neuere Studien zeigen.

5. Verzeichnisse

5.1. Abbildungen

Abbildung 1 Messanordnung – Standmessung im Nahfeld des Auspuffs	7
Abbildung 2 Messanordnung – Vorbeifahrtmessung	9
Abbildung 3 Radkastenabdeckung	33
Abbildung 4 Systemintegration – Diesel PKW	34
Abbildung 5 Turbolader beim PKW	35

5.2. Tabellen

Tabelle 1: Datengrundlage	12
Tabelle 2: Aufstellung der wichtigsten Eckwerte	15
Tabelle 3: Aufstellung der wichtigsten Eckwerte	22
Tabelle 4: Datengrundlage – Reifenbreiten und -dimensionen.....	32
Tabelle 5: Geräuschemessung im Nahfeld des Auspuffs - Verteilung der Messwerte Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 66 dB(A) - 95 dB(A) in [%]	38
Tabelle 6: Geräuschemessung bei der Vorbeifahrt - Verteilung der Messwerte Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 65 dB(A) - 77 dB(A) in [%].....	39
Tabelle 7: Reifenbreite - Verteilung der Erst-Ausrüster-Reifen Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 145 – 265 mm in [%].....	40
Tabelle 8: Felgenreöße - Verteilung der Erst-Ausrüster-Felgen Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 12 – 22 Zoll in [%].....	41

6. Anhang

Tabelle 5: Geräuschmessung im Nahfeld des Auspuffs - Verteilung der Messwerte Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 66 dB(A) - 95 dB(A) in [%]

Jahr	Fahrzeuge	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
2005	232'324	-	-	-	-	-	-	0.01	0.20	0.13	0.89	2.22	4.58	6.51	9.03	10.06	11.02	10.73	9.40	12.62	5.16	6.30	3.82	2.28	2.31	0.67	0.55	0.39	0.26	0.05	0.19	0.03
2006	241'719	-	0.26	0.01	-	-	-	0.11	0.06	0.48	0.77	3.60	6.10	7.19	9.23	8.75	10.94	8.39	11.22	11.71	5.07	5.18	2.55	2.10	2.66	0.97	0.39	0.39	0.41	0.21	0.26	0.29
2007	258'145	-	0.69	0.03	-	-	-	0.31	0.04	0.57	1.57	3.75	5.63	9.33	10.66	9.80	9.92	8.62	9.90	10.34	5.42	4.22	1.59	1.70	2.53	0.94	0.41	0.34	0.21	0.23	0.14	0.39
2008	253'259	-	0.70	0.01	-	0.04	0.03	0.50	0.37	0.95	2.76	4.60	7.02	9.51	10.72	10.24	8.49	7.56	9.87	9.10	5.81	3.80	1.66	1.20	1.99	0.77	0.38	0.47	0.18	0.30	0.21	0.18
2009	248'128	-	0.27	-	-	0.45	0.18	0.87	1.96	2.14	4.08	6.12	9.64	8.54	9.95	7.77	9.15	8.66	10.47	6.95	3.86	3.21	1.63	1.13	1.04	0.23	0.29	0.48	0.11	0.15	0.26	0.07
2010	272'023	-	0.00	0.00	0.01	1.48	0.44	1.38	3.93	3.48	5.37	6.73	9.64	9.50	10.80	7.55	8.08	7.23	7.97	5.76	3.66	2.29	0.89	1.51	0.39	0.19	0.65	0.31	0.11	0.10	0.18	0.06
2011	290'451	-	0.00	0.18	0.11	1.70	1.02	3.15	5.47	4.72	5.41	7.60	11.18	9.24	11.38	8.71	7.12	5.46	5.29	4.00	2.57	2.02	0.47	1.41	0.24	0.19	0.54	0.04	0.13	0.07	0.14	0.09
2012	292'481	-	0.00	0.14	0.25	3.15	1.16	3.57	4.37	5.97	6.00	8.89	11.14	10.77	8.96	9.13	6.73	5.03	3.89	3.68	2.10	1.63	0.44	1.26	0.18	0.13	0.46	0.03	0.10	0.12	0.04	0.05
2013	278'708	0.00	0.00	0.38	0.19	3.15	1.57	3.64	4.28	7.74	8.62	9.23	11.66	10.53	7.55	9.04	4.91	3.68	2.58	3.17	2.11	1.38	0.72	1.52	0.44	0.14	0.24	0.04	0.08	0.17	0.06	0.10
2014	270'112	0.00	0.00	0.71	0.58	2.41	1.88	4.05	4.77	7.69	9.02	10.07	11.74	10.66	6.23	7.20	4.66	2.60	1.88	3.09	2.05	1.94	0.88	1.34	1.47	0.24	0.61	0.02	0.13	0.30	0.08	0.18
2015	294'356	0.00	0.01	1.02	1.90	1.77	2.08	4.22	6.61	7.31	9.10	9.44	13.02	9.74	5.81	6.42	4.52	2.08	1.65	2.86	1.74	1.74	1.07	0.70	1.21	0.48	0.63	0.09	0.08	0.32	0.04	0.13
2016	287'285	0.00	0.08	1.04	1.46	1.76	3.59	3.85	7.33	8.26	9.80	9.16	14.22	8.28	5.34	5.19	4.45	2.71	1.40	2.35	1.47	0.88	1.02	0.85	1.16	0.59	0.58	0.14	0.20	0.30	0.41	0.27
2017	291'564	-	0.06	0.34	1.35	1.50	4.66	3.80	7.62	7.55	10.06	9.60	13.77	7.97	5.85	4.50	5.09	2.06	1.21	2.17	1.53	0.81	1.03	1.30	0.96	0.64	0.46	0.12	0.45	0.40	0.25	0.46
2018	279'643	-	0.10	0.35	1.25	1.23	4.44	3.91	8.02	7.37	9.72	12.47	12.79	7.69	6.52	3.89	3.67	2.17	1.26	2.18	1.35	1.39	0.71	1.15	0.47	0.71	0.85	0.24	0.45	0.37	0.26	0.41
2019	280'212	-	0.35	1.24	1.50	1.90	4.36	3.92	6.11	10.12	9.51	11.35	10.53	5.00	5.78	4.42	2.67	2.77	1.43	1.41	0.99	1.71	0.74	1.12	0.88	1.37	0.83	1.11	0.60	0.39	0.36	0.29

Tabelle 6: Geräuschmessung bei der Vorbeifahrt - Verteilung der Messwerte Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 65 dB(A) - 77 dB(A) in [%]

Jahr	Fahrzeuge	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
2005	232'324	0.06	0.01	0.17	1.03	1.61	9.25	22.97	19.52	21.47	19.83	3.11	0.70	0.26
2006	241'719	0.01	0.01	0.17	1.27	3.24	9.95	23.38	20.54	18.96	17.44	4.47	0.55	-
2007	258'145	-	0.10	0.13	1.58	3.73	12.01	21.90	20.67	18.45	16.59	4.42	0.39	0.01
2008	253'259	-	0.27	0.26	2.04	5.24	11.42	22.71	21.15	18.04	14.81	3.75	0.29	0.01
2009	248'128	-	0.37	0.48	3.04	5.64	11.18	22.79	22.06	17.94	13.35	2.93	0.22	-
2010	272'023	-	0.33	0.19	2.93	6.32	11.88	22.19	24.70	17.37	12.25	0.17	-	-
2011	289'941	-	0.38	0.13	4.30	7.86	13.83	18.33	25.40	15.53	12.32	1.67	0.12	-
2012	294'180	-	0.59	0.24	4.13	6.88	14.31	20.03	25.66	14.40	11.88	1.61	0.11	-
2013	280'016	-	0.95	0.43	3.46	7.75	13.30	18.90	23.74	16.95	12.36	1.65	0.22	-
2014	270'779	-	0.65	0.55	3.72	8.91	13.61	18.10	22.81	17.86	11.18	2.08	0.20	-
2015	294'356	-	0.75	0.71	4.34	11.59	13.38	19.54	21.40	15.89	9.61	1.67	0.13	0.00
2016	287'285	0.04	1.11	1.25	5.65	11.54	14.79	19.67	19.18	13.67	9.85	2.09	0.15	0.01
2017	291'564	0.76	1.56	3.90	7.85	13.12	16.10	17.76	15.94	11.23	8.42	1.62	0.19	0.00
2018	279'643	1.07	3.49	8.72	13.52	14.85	15.33	13.66	11.45	8.52	6.02	0.95	0.10	0.00
2019	280'212	2.62	6.04	13.81	20.19	16.73	14.18	9.49	4.48	4.37	2.20	0.38	0.04	0.02

Tabelle 7: Reifenbreite - Verteilung der Erst-Ausrüster-Reifen Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 145 – 265 mm in [%]

Reifenbreite	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
145	1.31	1.13	0.63	0.42	0.31	0.16	0.14	0.08	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.07	0.04
155	3.92	4.33	4.31	4.44	4.28	3.94	3.44	2.68	2.09	1.35	0.66	0.51	0.34	0.21	0.44
165	5.92	4.99	4.39	4.89	5.49	4.82	3.31	2.93	2.07	2.55	4.13	3.45	2.64	2.60	2.25
175	9.52	8.75	7.40	8.58	11.59	12.63	13.36	12.70	10.76	8.97	7.52	6.51	7.09	5.53	4.93
185	11.61	12.74	13.49	13.97	11.19	10.30	9.83	8.50	9.10	9.51	10.01	8.58	8.28	8.01	6.74
195	23.52	20.06	19.89	19.73	19.95	19.20	19.83	17.62	16.16	14.25	11.24	11.96	11.64	10.96	8.45
205	19.93	21.32	20.76	19.41	17.33	16.70	17.02	17.27	22.41	25.90	23.21	21.18	18.48	18.69	17.82
215	10.88	10.66	12.03	11.34	11.43	12.70	13.97	15.21	13.90	12.42	15.02	17.40	18.40	17.99	18.73
225	7.10	8.52	8.80	9.47	9.42	9.50	8.17	11.68	12.91	12.55	13.44	14.34	14.74	15.83	15.90
235	3.37	4.68	4.54	4.51	6.06	6.02	6.46	6.13	5.00	5.71	6.64	7.02	8.51	9.66	12.72
245	0.75	0.65	1.15	1.10	1.35	1.92	2.24	2.46	2.47	3.37	3.69	3.48	4.42	4.90	4.62
255	1.62	1.63	2.20	1.83	1.31	1.35	1.41	1.48	1.57	1.88	2.30	2.35	1.86	1.96	2.92
265	0.14	0.17	0.14	0.10	0.14	0.29	0.39	0.65	0.81	0.76	0.76	0.94	1.32	1.51	1.16

Tabelle 8: Felgengrösse - Verteilung der Erst-Ausrüster-Felgen Jahre 2005 bis 2019 – Bereich 12 – 22 Zoll in [%]

Felgengrösse	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
12	0.10	0.08	0.06	0.00	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-
13	3.92	2.65	1.93	1.90	1.51	1.51	1.14	0.86	0.43	0.38	0.36	0.39	0.09	0.02	0.24
14	17.20	16.35	15.97	17.73	17.48	16.21	13.74	12.49	9.77	8.38	7.60	6.93	6.47	5.75	5.13
15	33.95	31.53	28.71	27.29	28.58	28.28	29.44	26.63	24.79	22.92	22.36	20.83	20.40	17.49	12.76
16	33.83	34.41	37.34	37.64	34.31	34.84	36.02	35.99	39.50	39.70	37.08	34.08	30.41	30.93	28.82
17	6.82	9.85	10.36	10.27	13.43	12.30	13.14	15.88	15.33	16.80	19.46	22.70	24.35	22.35	21.22
18	3.06	4.14	3.60	2.80	2.64	4.40	3.66	4.09	5.78	6.39	5.95	6.95	8.37	10.98	15.42
19	0.83	0.79	1.83	2.15	1.69	1.45	1.87	2.79	2.53	3.03	4.01	3.87	4.78	6.32	7.23
20	0.06	0.08	0.12	0.15	0.20	0.53	0.60	0.79	1.32	1.79	2.22	2.52	3.27	3.42	5.15
21	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0.08	0.05	0.03	0.06	0.05	0.08	0.22	0.37	1.55	2.63
22	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.06	0.17