

Ermittlung des weiteren Lärm- minderungspotentials bei Kraft- fahrzeugen

Forschungsvorhaben 205 05 809

Abschlussbericht

RWTÜV Fahrzeug GmbH

Institut für Fahrzeugtechnik

**Ginsterweg 5
D 52146 Würselen**

**Tel.: 0 24 05-45550
Fax: 0 24 05-455520
E-Mail: FiGEGmbH@aol.com**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Juli 2003

Berichts Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Ermittlung des weiteren Lärm-minderungspotentials bei Kraft-fahrzeugen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Steven, Heinz		8. Abschlussdatum Juli 2003
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) RWTÜV Fahrzeug GmbH Institut für Fahrzeugtechnik Ginsterweg 5 D 52146 Würselen		9. Veröffentlichungsdatum August 2004
		10. UFOPLAN - No. 205 05 809
		11. Seitenzahl 232
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1 14193 Berlin		12. Literaturangaben 5
		13. Tabellen und Diagramme 85
		14. Abbildungen 220
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Ziel des Vorhabens war die Ermittlung des Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen bis zum Jahre 2015 und zwar sowohl als Basis für die weitere Senkung von Geräuschgrenzwerten als auch als Grundlage für die Abschätzung der Entwicklung der Emissionen im realen Straßenverkehr. Letzteres bedeutet, dass das Lärminderungspotential über die ganze Bandbreite der im realen Verkehr relevanten Betriebszustände ermittelt werden muss. Die Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Untersuchungen und Recherchen lassen sich wie folgt zusammenfassen: Für alle Fahrzeugarten sollte das Typprüf-Messverfahren in Richtung praxisgerechtere Betriebszustände geändert werden. Dies erfordert auch die Bestimmung neuer, gleichwertiger Grenzwerte. Danach sollte eine weitere Absenkung der Geräuschgrenzwerte in 2 Stufen zu je 2 dB(A) erfolgen. Bei Pkw ist zu prüfen, ob die 2. Stufe noch erforderlich ist oder ob die 1. Stufe bereits zu hinreichend leisen Fahrzeugen führt. Die zahlreichen Unterkategorien innerhalb einer Fahrzeugkategorie sollten soweit wie möglich beseitigt oder zusammengefasst werden. Die Grenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge sollten sich an denen der Pkw orientieren. Für die weitere Lärminderung ergibt sich folgende Rangordnung der Quellen: 1. Minderung der Reifen-Fahrbahngeräusche für alle Fahrzeugarten (außer Motorrädern). 2. Minderung der Antriebsgeräusche bei schweren Nutzfahrzeugen, 3. Minderung der Antriebsgeräusche bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen		
17. Schlagworte Lärminderungspotential, Kraftfahrzeuge, Typprüfwerte, KBA-Statistik, Geräuschmessungen, Geräuschemissionen im praktischen Betrieb, Recherchen bei Fahrzeug- und Reifenherstellern, Prioritäten bei der weiteren Lärmbekämpfung		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA FB	2.	3.
4. Report title Assessment of the further noise reduction potential for motorised road vehicles		
5. Author(s) Steven, Heinz		8. Report Date July 2003
6. Performing Organisation (Name, Address) RWTÜV Fahrzeug GmbH Institute for Vehicle Technology Ginsterweg 5 D 52146 Würselen		9. Publication date August 2004
		10. UFOPLAN – Ref. No. 205 05 809
		11. No. of Pages 232
		12. No. Of References 5
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environmental Agency Bismarckplatz 1, 14193 Berlin		13. No. Of Tables and Diagrams 85
		14. No. Of Figures 220
15. Supplementary Notes		
16. Abstract Aim of the project was the assessment of the further noise reduction potential for motorised road vehicles up to 2015 as basis for the further lowering of noise limits for type approval and for the estimation of the trend for the noise emission in real traffic. As a consequence the noise reduction potential had to be assessed for the whole range of operating conditions in real traffic. The conclusions drawn from the investigations and enquiries made within this project can be summarised as follows: The measurement method for the type approval should be improved for all vehicle categories in order to better reflect real world driving conditions. This requires the determination of equivalent limit values as a first step. The noise limits should then be lowered in two additional steps by 2 dB(A) each. For cars it has to be checked whether the second step of lowering limit values is necessary or whether the first lowering step had already resulted in vehicles that are quiet enough. The various subcategories within a vehicle category (with respect to the limit values) should be eliminated or merged as much as possible. The noise limits for light duty vehicles should be aligned with the limit values for cars. The rank order of reduction measures with respect to the noise sources is as follows: 1. Reduction of tyre/road noise for all vehicle categories except motorcycles. 2. Reduction of propulsion noise for heavy duty vehicles, 3. Reduction of propulsion noise for cars and light duty vehicles		
17. Keywords Noise reduction potential, vehicles, type approval values, KBA-Statistics, noise measurements, noise emissions in real traffic, enquiries with vehicle and tyre manufacturers, priorities for further noise abatement		
18. Price	19.	20.

Inhalt	Seite
1 EINLEITUNG	9
2 ZIELSETZUNG	11
3 AUFGABENSTELLUNG	11
4 ERGEBNISSE	12
4.1 Auswertung der KBA-Typprüfstatistik	12
4.1.1 Pkw (M1)	13
4.1.2 Leichte Nutzfahrzeuge (M2 und N1 $\leq$ 3,5 t zul. Gesamtmasse)	19
4.1.3 Schwere Nutzfahrzeuge (M2, M3, N2 und N3 $>$ 3,5 t zul. Gesamtmasse)	21
4.1.4 Motorräder	27
4.2 Geräuschmessungen an verschiedenen Fahrzeugtypen	33
4.2.1 Pkw (M1)	33
4.2.1.1 Technische Daten und Messprogramm	33
4.2.1.2 Fahrzeuge im Originalzustand	34
4.2.1.3 Vergleich der Ergebnisse mit Absolutdämpfern	49
4.2.2 Nutzfahrzeuge (N1, N2, N3)	57
4.2.2.1 Technische Daten	57
4.2.2.2 Leichte Nutzfahrzeuge (N1)	57
4.2.2.3 Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)	65
4.2.3 Motorräder (L3)	72
4.3 Bestimmung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb	82
4.3.1 Vorbemerkungen	82
4.3.2 Modellierungsdesign	82
4.3.3 Geräuschemissionen der in Abschnitt 4.2 behandelten Fahrzeuge im praktischen Betrieb	89
4.3.3.1 Pkw (M1)	89
4.3.3.2 Nutzfahrzeuge	100
4.3.3.2.1 Leichte Nutzfahrzeuge (N1)	100

4.3.3.2.2	Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)	105
4.3.3.3	Motorräder (L3)	111
4.3.3.4	Vergleich der Beiträge zum Leq bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten	118
4.3.4	Zeitliche Entwicklung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb, Einfluss der Fahrbahndeckschicht, Trendszenarien	121
4.3.4.1	Randbedingungen der Modellierung und Festlegung der Szenarien	121
4.3.4.2	Pegelverteilungen im realen Betrieb	128
4.3.5	Einfluss von Verkehrszusammensetzung und Fahrbahndeckschicht	134
4.4	Recherchen zum weiteren Geräuschminderungspotential bei Fahrzeug- und Reifenherstellern	141
4.4.1	Anteile verschiedener Teilquellen zum Typprüfergebnis	142
4.4.2	Minderungspotentiale aus Sicht der Fahrzeughersteller	148
4.4.2.1	Motor, Primärmaßnahmen	148
4.4.2.2	Motorraumkapseln	148
4.4.2.3	Ansaug- und Abgasschalldämpfer	148
4.4.2.4	Getriebe und Antriebsstrang	149
4.4.2.5	Reifen	149
4.4.2.6	Zeitrahmen	150
4.4.3	Bewertung und eigene Überlegungen	150
4.4.3.1	Pkw	150
4.4.3.2	Lkw	155
4.4.3.3	Reifen	156
4.5	Vergleich der Ergebnisse nach verschiedenen Messverfahren mit den Emissionen im praktischen Betrieb	156
4.5.1	Einführung, Bestimmung eines Geräuschkennwerts für den Stadtbetrieb	156
4.5.2	Beschreibung der Messverfahren	160
4.5.2.1	Derzeit gültiges Typprüfverfahren	160
4.5.2.2	ACEA-Methode (Stand ISO 362 2002(E))	160
4.5.2.3	Modifizierter FiGE-Vorschlag	163
4.5.2.4	Modifizierte ACEA-Vorschläge	165

4.5.3	Ergebnisse	166
4.5.3.1	Derzeit gültiges Typprüfverfahren	167
4.5.3.2	ACEA-Methode	168
4.5.3.3	Modifizierter FiGE-Vorschlag	172
4.5.3.4	ACEA – Modifikation 1	175
4.5.3.5	ACEA – Modifikation 2	177
4.5.3.6	ACEA – Modifikation 3	179
4.5.3.7	Auswirkung unterschiedlicher Vollastkennlinien auf Messergebnisse nach verschiedenen Messverfahren und Emissionen im realen Betrieb	181
4.6	Vergleich zwischen Grenzwertsenkung und Minderung der Geräuschemission im realen Betrieb	184
4.6.1	Pkw	184
4.6.2	Schwere Nutzfahrzeuge	194
4.6.3	Fazit	209
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	210
5.1	Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für Kraftfahrzeuge	210
5.1.1	Pkw	210
5.1.2	Nutzfahrzeuge	212
5.1.2.1	Leichte Nutzfahrzeuge (N1)	214
5.1.2.2	Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)	215
5.1.2.2.1	N2 Fahrzeuge	215
5.1.2.2.2	N3 Fahrzeuge	215
5.1.3	Motorräder	216
5.1.4	Zusammenfassung der Vorschläge	217
5.2	Weitere Minderungspotentiale beim Reifen	219
5.3	Prioritäten bei der weiteren Lärmbekämpfung	219
5.4	Schlussbemerkungen	220
6	ZUSAMMENFASSUNG	221
6.1	Einleitung und Aufgabenstellung	221

6.2	Auswertung der KBA-Typprüfstatistik	222
6.3	Geräuschmessungen an verschiedenen Fahrzeugtypen	223
6.4	Bestimmung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb	223
6.5	Zeitliche Entwicklung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb, Einfluss der Fahrbahndeckschicht, Trendszenarien	225
6.6	Recherchen zum weiteren Geräuschminderungspotential bei Fahrzeug- und Reifenherstellern	226
6.7	Vergleich der Ergebnisse nach verschiedenen Messverfahren mit den Emissionen im praktischen Betrieb	228
6.8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	229
6.9	Schlussbemerkungen	235
7	LITERATUR	235

1 Einleitung

Seit den 70er Jahren ist die Geräuschemission von Kfz im Rahmen der Typprüfung EU-einheitlich begrenzt. Die Geräuschgrenzwerte sind in den vergangenen Jahren um beträchtliche Werte gesenkt worden, zuletzt im Jahre 1995 für die Typprüfung bzw. 1996 für die Erstzulassung. Um diesen Absenkungen zu entsprechen, mussten die Hersteller die Geräuschemission ihrer Fahrzeuge z.T. sogar um größere Beträge als die Grenzwertsenkungen mindern, da zudem im Laufe der Zeit auch einige Änderungen am Messverfahren durchgeführt wurden. Allerdings sei angemerkt, dass sich nur wenige Messverfahrensänderungen wie eine Grenzwertverschärfung auswirkten, in einigen Fällen bewirkten sie eher das Gegenteil.

Auf der anderen Seite zeigen Zeitreihenmessungen der Geräuschemission von Kfz im realen Straßenverkehr, dass die Grenzwertsenkungen und die damit verbundenen Geräuschminderungsmaßnahmen bis Anfang der 90er Jahre nur erheblich geringere bis gar keine Auswirkungen auf die im Straßenverkehr erzeugten Geräuschemissionen gehabt haben.

Als wichtigste Gründe für diesen Sachverhalt sind zu nennen:

1. Die Betriebszustände in der Praxis stimmen nicht mit denjenigen der Typprüfung überein. Der Fahrzeughersteller orientiert seine Minderungsmaßnahmen aber ausschließlich an den Typprüfbedingungen
2. Die für die Praxis vor allem bei Pkw bedeutsame Geräuschquelle Reifen/Fahrbahn wird bei der Typprüfung nicht oder zumindest nicht praxisgerecht erfasst.
3. Die Festlegung verschärfter Geräuschgrenzwerte orientiert sich innerhalb einer Kategorie oder Leistungsklasse stets an den leistungsstärksten Fahrzeugtypen und dem dort technisch Machbaren. Für durchschnittliche oder leistungsschwache Fahrzeuge können die verschärften Grenzwerte auch mit weniger anspruchsvollen Maßnahmen eingehalten werden.
4. Die Auswirkung von Minderungsmaßnahmen auf die Emissionen im realen Verkehr erfolgt mit erheblichem zeitlichen Versatz (5 (schwere Lkw) bis 11 Jahre (Pkw)), nämlich der Zeit, die benötigt wird, um die im Verkehr befindliche Flotte mit der neuen Technik zu durchsetzen.
5. Die Geräuschgrenzwerte der ersten Stufe der EU-Richtlinie waren für den damaligen Stand der Technik nicht sehr anspruchsvoll.

Zu 1. Sei darauf hingewiesen, dass das Messverfahren bei den schweren Lkw so angelegt ist, dass das Fahrzeuggeräusch beim Beschleunigungsvorgang zwischen Nenndrehzahl und Abregeldrehzahl erfasst wird. Die Hersteller haben hierauf mit z.T. drastischen Absenkungen der Nenndrehzahl reagiert. In der Praxis werden die schweren Lkw jedoch überwiegend bei mittleren Drehzahlen betrieben. Dieser Drehzahlbereich ist aber im Vergleich zur Nenndrehzahl in erheblich geringerem Umfang abgesenkt worden.

Zu 3. Sei erläuternd angemerkt, dass bereits 1981 ca. 15% der neuen Pkw-Typen bei der Typprüfung einen Fahrgeräuschwert von 74 dB(A) oder darunter aufwiesen. 74 dB(A) ist der seit 1995/1996 derzeit gültige Typprüfwert.

Die für das derzeit gültige Geräuschmessverfahren bei der Typprüfung wesentlichen Geräuschquellen sind bei Pkw:

- ☐ Reifen/Fahrbahn

- ☐ Motor und Nebenaggregate
- ☐ Luftansaugung
- ☐ Abgasanlage
- ☐ Antriebstrang

Für leistungsstarke Fahrzeuge hat das Reifen/Fahrbahngeräusch mit ca. 30% den größten Anteil, allerdings in einem nicht praxisgerechten Betriebszustand. Es folgen Motor- und Gaswechselgeräusche (Luftansaugung, Abgasanlage) mit etwa gleichen Teilen von je 20%. Die Geräusche des Antriebstranges spielen mit 10% bereits eine geringere Rolle. Bei Klein- und Kompaktwagen mit geringer Motorisierung stehen die Reifen/Fahrbahngeräusche sicherlich nicht im Vordergrund, hier haben Motor- und Gaswechselgeräusche einen höheren Stellenwert.

Bei Lkw sind die für das derzeit gültige Geräuschemessverfahren bei der Typprüfung wesentliche Geräuschquellen:

- ☐ Motor und Nebenaggregate
- ☐ Abgasanlage
- ☐ Lüfter
- ☐ Luftansaugung
- ☐ Antriebstrang
- ☐ Reifen/Fahrbahn

Bei Fahrzeugen älterer Bauart dominierte meist das Motorgeräusch (60% bis 70%), gefolgt vom Geräusch der Abgasanlage (20% bis 30%). An 3. Stelle ist bereits der Lüfter zu nennen, gefolgt von der Luftansaugung. Bei modernen schweren Lkw spielen derzeit die Reifen/Fahrbahngeräusche selbst beim Beschleunigungsvorgang eine große Rolle, doch ist dies lediglich eine Folge der Besonderheiten des Typprüf-Messverfahrens. Für die in der Praxis auftretenden Beschleunigungsgeräusche sind die Reifen/Fahrbahngeräusche von untergeordneter Bedeutung.

Bei Motorrädern stehen Motor- und Gaswechselgeräusche im Vordergrund.

Hinsichtlich der Praxisrelevanz der Typprüfbedingungen ist folgendes anzuführen:

Bei Pkw mit Handschaltgetriebe ist nur die Messung im 3. Gang praxisgerecht, die Messung im 2. Gang erfasst im Vergleich zum praktischen Betrieb zu hohe Drehzahlen und Fahrzeugbeschleunigungen. Letzteres ist auch bei den Lkw und Bussen der Fall. Hier führt zudem die Praxis der Familienbildung und Messung des „worst case“ zu zusätzlichen Problemen, da der „worst case“ in den meisten Fällen durch eine unbeladene Sattelzugmaschine mit kurzem Radstand und „kurzer“ Achsübersetzung definiert ist. Dies führt beim Beschleunigungsvorgang aus niedrigen Geschwindigkeiten zu hohem Reifenschlupf und bewirkt den nicht praxisgerechten hohen Einfluss der Bereifung auf das Messergebnis. Bei einigen Motorrad-Typen erfolgt die Geräuschemessung ebenfalls bei nicht praxisgerechten Drehzahlen, die allerdings im Gegensatz zu den Pkw zu gering ausfallen.

Der innerstädtische Fahrbetrieb ist geprägt durch eine ständige Folge von Beschleunigungs- und Schubvorgängen sowie Stopps an Kreuzungen oder Einmündungen. Auf Straßen mit zul. Höchstgeschwindigkeiten bis 50 km/h dominieren bei den Beschleunigungsvorgängen auch bei

den Pkw zumeist die Motor- und Gaswechselgeräusche. In Phasen mit geringen Geschwindigkeitsschwankungen dominiert bei den Pkw das Reifen/Fahrbahngeräusch, bei modernen Lkw ist es zumindest signifikant am Gesamtgeräusch beteiligt. Auf Straßen mit höheren zul. Höchstgeschwindigkeiten nimmt die Bedeutung der Reifen/Fahrbahngeräusche mit dem Geschwindigkeitsniveau zu. So dominiert bei Beschleunigungsvorgängen von Pkw auf Tempo 70 Straßen bereits das Reifen/Fahrbahngeräusch vor Motor- und Gaswechselgeräuschen.

2 Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist die Ermittlung des Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen bis zum Jahre 2015 und zwar sowohl als Basis für die weitere Senkung von Geräuschgrenzwerten als auch als Grundlage für die Abschätzung der Entwicklung der Emissionen im realen Straßenverkehr. Letzteres bedeutet, dass das Lärminderungspotential über die ganze Bandbreite der im realen Verkehr relevanten Betriebszustände ermittelt werden muss. Um anspruchsvolle Minderungen realisieren zu können, sind Maßnahmen an allen in Abschnitt 1 genannten Quellen bzw. Fahrzeugkomponenten erforderlich.

3 Aufgabenstellung

Nach der vom UBA vorgegebenen Leistungsbeschreibung betrifft der Schwerpunkt der Untersuchung das Lärminderungspotential bei den Antriebsgeräuschen. Das Reifen/Fahrbahngeräusch kann jedoch bei der Bewertung nicht außer Acht gelassen werden, zumindest als Abgrenzungskriterium für die praxisrelevanten Betriebszustände. Beispielsweise ist die Angabe von Minderungspotentialen für das Antriebsgeräusch nur für Betriebszustände sinnvoll, bei denen es am Gesamtgeräusch auch nennenswert beteiligt ist. Allerdings muss hier auch berücksichtigt werden, inwieweit sich die bestehende Situation verändert, wenn das Reifen/Fahrbahngeräusch signifikant gesenkt werden kann.

Laut Leistungsbeschreibung des Umweltbundesamtes (UBA) soll der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem europäischen Fahrzeugmarkt von Pkw, Lkw, Bussen und Motorrädern liegen. Letztere verfügen zwar über das größte Potential an Störwirkung, stellen jedoch kein allgemeines Lärmproblem dar. Die Störwirkung der meist als Hobbygeräte genutzten Fahrzeuge ist meist auf spezielle, für das Motorradfahren attraktive Routen beschränkt. Dieser Besonderheit wird bei den Untersuchungen Rechnung getragen.

In der Leistungsbeschreibung des Umweltbundesamtes sind folgende Arbeitsschritte aufgeführt:

- 1. Ermittlung des Lärminderungspotentials bei einzelnen Fahrzeugkomponenten**
- 2. Ermittlung der relevanten Betriebszustände im realen Verkehr bzw. Betrieb**
- 3. Korrelation der realen Betriebszustände mit dem Typprüfmessverfahren und den Kriterien der Anlage XXI StVZO**
- 4. Einfluss des Rollgeräusches bei den unterschiedlichen Betriebszuständen**
- 5. Kosten und Wirksamkeit der Minderungsmaßnahmen**

- 6. Entwicklungszeiten der Maßnahmen**
- 7. Zielkonflikte oder Synergieeffekte**
- 8. Vorschläge für weitere Stufen der Grenzwertsenkung nach Typprüfmessverfahren, Anlage XXI der StVZO, Umweltzeichen**
- 9. Ableitung von Emissionsfaktoren (Minderungspotentiale für die in der Praxis relevanten Betriebszustände)**
- 10. Ableitung von Forschungserfordernissen**
- 11. Dokumentation und wissenschaftliche Diskussion der Arbeitsergebnisse**

Das Vorhaben wurde entsprechend in folgende Teilaufgaben gegliedert:

1. Auswertung der KBA-Statistik der Typprüfwerte,
2. Gezielte Geräuschemessungen an verschiedenen Kraftfahrzeugen zur Erstellung von Geräuschkennfeldern,
3. Recherchen bei Herstellern, Importeuren und Zulieferern hinsichtlich der Geräuschquellenverteilung und weiterer Minderungspotentiale,
4. Ermittlung der im praktischen Betrieb auftretenden Geräuschemissionen bei verschiedenen Fahrzuständen/Verkehrssituationen durch Verknüpfung der Ergebnisse aus 2. mit vorliegenden Fahrverhaltensdaten,
5. Analyse der Ergebnisse im Hinblick auf Prioritäten und Effizienz weiterer Minderungsmaßnahmen sowie einer Verbesserung des bei der Typprüfung angewendeten Messverfahrens,
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertung der KBA-Typprüfstatistik

Die Analyse der Maßnahmen wurde im Hinblick auf die für den praktischen Betrieb relevanten Betriebszustände sowie im Hinblick auf die Betriebszustände des derzeitigen Typprüfmessverfahrens aber darüber hinaus auch im Hinblick auf ein verbessertes, praxisnäheres Typprüfmessverfahren durchgeführt. Ergänzend wurde die beim KBA vorliegende Statistik der Typzulassungswerte auf Zusammenhänge zwischen Typzulassungswert und technischen Auslegungsmerkmalen hin analysiert.

Grundlage der Analyse ist die Typzulassungsstatistik des KBA aus 2001, die uns vom Auftraggeber in Form von EXCEL-Tabellen zur Verfügung gestellt und in einer Datenbank zusammengefasst wurden. Die Datenbank Informationen über Herstellerschlüssel, Typschlüssel, Bezeichnung, Motortyp, Leergewicht, zul. Gesamtgewicht, Hubraum, Nennleistung, Nenndrehzahl und Höchstgeschwindigkeit sowie Typprüfpegel und Nahfeldpegel.

Um die Typprüfwerte beurteilen zu können sind in Tabelle 1 die derzeit gültigen Geräuschgrenzwerte für Fahrzeuge mit mindestens vier Rädern zusammengestellt. Tabelle 2 enthält entsprechende Grenzwerte für zwei- und dreirädrige Fahrzeuge.

No	Cat	Vehicle Category	Additional Conditions	Limit Value in dB(A)
1.1	M1	Vehicles used for the carriage of passengers and capable of having not more than nine seats, including the driver's seat	all cases except 1.2 and 1.3	74
1.2	M1		if equipped with a compression-ignition and direct-injection internal combustion engine	75
1.3	M1		if fitted with a gear box having more than 4 forward gears and equipped with an engine developing a maximum power greater than 140 kW (ECE) and having a maximum-power/maximum-mass ratio greater than 75 kW/t and if the speed at which the rear of the vehicle passes the line BB' in 3. gear is greater than 61 km/h	75
2.1.1	M2, N1	Vehicles used for the carriage of passengers having more than nine seats, including the driver's seat and vehicles used for the carriage of goods with a maximum authorized mass not exceeding 2 tonnes	all cases except 2.1.2	76
2.1.2	M2, N1		if equipped with a compression-ignition and direct-injection internal combustion engine	77
2.2.1	M2, N1	Vehicles used for the carriage of passengers having more than nine seats, including the driver's seat and vehicles used for the carriage of goods with a maximum authorized mass greater than 2 tonnes but not exceeding 3.5 tonnes	all cases except 2.2.2	77
2.2.2	M2, N1		if equipped with a compression-ignition and direct-injection internal combustion engine	78
3.1	M2, M3, N2, N3	Vehicles used for the carriage of passengers having more than nine seats, including the driver's seat and vehicles used for the carriage of goods with a maximum authorized mass greater than 3.5 tonnes	with an engine power less than 75 kW (ECE)	77
3.2			with an engine power of 75 kW (ECE) or above but less than 150 kW (ECE)	78
3.3			with an engine power of 150 kW (ECE) or above	80
For vehicle types designed for off-road / use and with a maximum authorized mass above 2 tonnes, the limit values shall be increased by 1 dB(A) if they are equipped with an engine having a power of less than 150 kW (ECE); by 2 dB(A) if they are equipped with an engine having a power of 150 kW (ECE) or above.				

Tabelle 1: Derzeitige Geräuschgrenzwerte für Fahrzeuge mit vier oder mehr Rädern

No	Cat	Vehicle Category	Additional Conditions	Limit Value in dB(A)
4.1.1	L3	Two-wheeled vehicles with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine exceeding 50 cm ³ or whatever the means of propulsion a maximum design speed exceeding 50 km/h.	Engine capacity up to 80 cm ³	75
4.1.2			Engine capacity greater than 80 cm ³ but not exceeding 175 cm ³	77
4.1.3			Engine capacity greater than 175 cm ³	80
4.2.1	L1	Two-wheeled vehicles with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine not exceeding 50 cm ³ and whatever the means of propulsion a maximum design speed not exceeding 50 km/h.	vehicles whose maximum speed is below or equal to 30 km/h	70
4.2.2			vehicles whose max. speed is above 30 km/h	73
4.3	L2, L4, L5	Three-wheeled vehicles of any wheel arrangement		82

Tabelle 2: Derzeitige Geräuschgrenzwerte für Fahrzeuge mit drei oder zwei Rädern

4.1.1 Pkw (M1)

Nach dem derzeitigen Typprüf-Messverfahren wird für Pkw eine Geräuschmessung auf einer Teststrecke von 20 m plus Fahrzeuglänge durchgeführt. Das Fahrzeug wird in der Regel aus einer Eingangsgeschwindigkeit von 50 km/h über die gesamte Streckenlänge mit Volllast beschleunigt. Normalerweise wird bei Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe je eine Messung im 2. und 3. Gang durchgeführt. Das Messergebnis ist das arithmetische Mittel aus beiden Teilergebnissen. Bei sehr leistungsstarken Fahrzeugen wird nur die Messung im 3. Gang berücksichtigt, Automatik-Fahrzeuge werden in der für normalen Betrieb vorgesehenen Wahlhebelstellung ge-

fahren, wobei ein Rückschalten der Automatik in sehr niedrige Getriebestufen vermieden werden muss.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung wurden die Pkw in folgende Leistungsklassen eingeteilt:

1. bis 45 kW (Basisversionen von Kleinwagen wie Polo)
2. über 45 bis 73 kW (Kompaktfahrzeuge wie Golf)
3. über 73 bis 100 kW (Mittelklasse wie Omega)
4. über 100 bis 150 kW (schwere Limousinen wie Mercedes E)
5. über 150 kW (Luxusfahrzeuge und leistungsstarke Sportwagen)

Zusätzlich wurde nach Otto/Diesel und Handschaltgetriebe/Automatik unterschieden.

Die meisten Fahrzeugtypen befinden sich in den Leistungsklassen 3 und 4, gefolgt von 2 (Bild 1). Der Anteil von Fahrzeugtypen mit Nennleistungen unter 45 kW ist nur halb so groß wie der Anteil von Fahrzeugtypen mit Nennleistungen über 150 kW. Bei den Pkw mit Handschaltgetriebe befinden sich die meisten Typen in den Klassen 2 und 3, bei denjenigen mit Automatikgetriebe in den Klassen 3 und 4. Der Anteil der Automatik-Fahrzeuge nimmt mit der Leistungsklasse zu. Zwischen 45 und 73 kW Nennleistung ist der Anteil an Diesel Fahrzeugtypen geringfügig höher als der Anteil an Fahrzeugtypen mit Ottomotor. Fahrzeuge mit Dieselmotor weisen in der Regel höhere Typprüfwerte auf als Fahrzeuge mit Ottomotor.

Fahrzeuge mit Automatikgetriebe haben im Durchschnitt niedrigere Typprüfwerte (0,5 bis 1 dB(A)) als Fahrzeuge mit Handschaltgetriebe (Bild 2). Die individuellen Unterschiede können von -3 dB(A) bis +6 dB(A) reichen (Tabelle 3). Bei Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe und Ottomotor steigen die Typprüfwerte mit der Leistungsklasse an; die Bandbreite innerhalb einer Klasse beträgt 4 bis 5 dB(A) (Bild 3). In allen Leistungsklassen bis auf die höchste Klasse wird der derzeitige Grenzwert für Pkw für erhebliche Prozentsätze der heutigen Fahrzeugtypen mit Ottomotor deutlich unterschritten (siehe Bild 4).

Da Dieselfahrzeuge mit Direkteinspritzung einen um 1 dB(A) höheren Grenzwert haben als Dieselfahrzeuge ohne Direkteinspritzung sind die Häufigkeitssummen der Typprüfwerte für beide Fahrzeuguntergruppen (unabhängig von der Motorleistung) in Bild 5 separat dargestellt. Fahrzeuge mit Ottomotor vergleichbarer Motorleistungen sowie für Pkw mit hoher Motorleistung, die nach dem derzeitigen Messverfahren nur im 3. Gang gemessen werden, sind zum Vergleich ebenfalls angegeben. Es sind nur Fahrzeuge mit Handschaltgetriebe berücksichtigt.

Wie schon aus Bild 3 ersichtlich, sind die Typprüfwerte von Diesel-Pkw etwas höher als die von Pkw mit Ottomotor vergleichbarer Motorleistung, ein höherer Grenzwert für Diesel mit Direkteinspritzung ist jedoch nicht gerechtfertigt. Deren Typprüfwerte sind sogar tendenziell niedriger als die der übrigen Dieselmotor-Fahrzeugtypen, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass es sich hierbei überwiegend um modernere Typen handelt, da Diesel ohne Direkteinspritzung nur noch eine geringe Rolle spielen. Ihr Anteil an den Diesel-Typen in der KBA-Statistik für Pkw lag 2001 bei nur noch 13%.

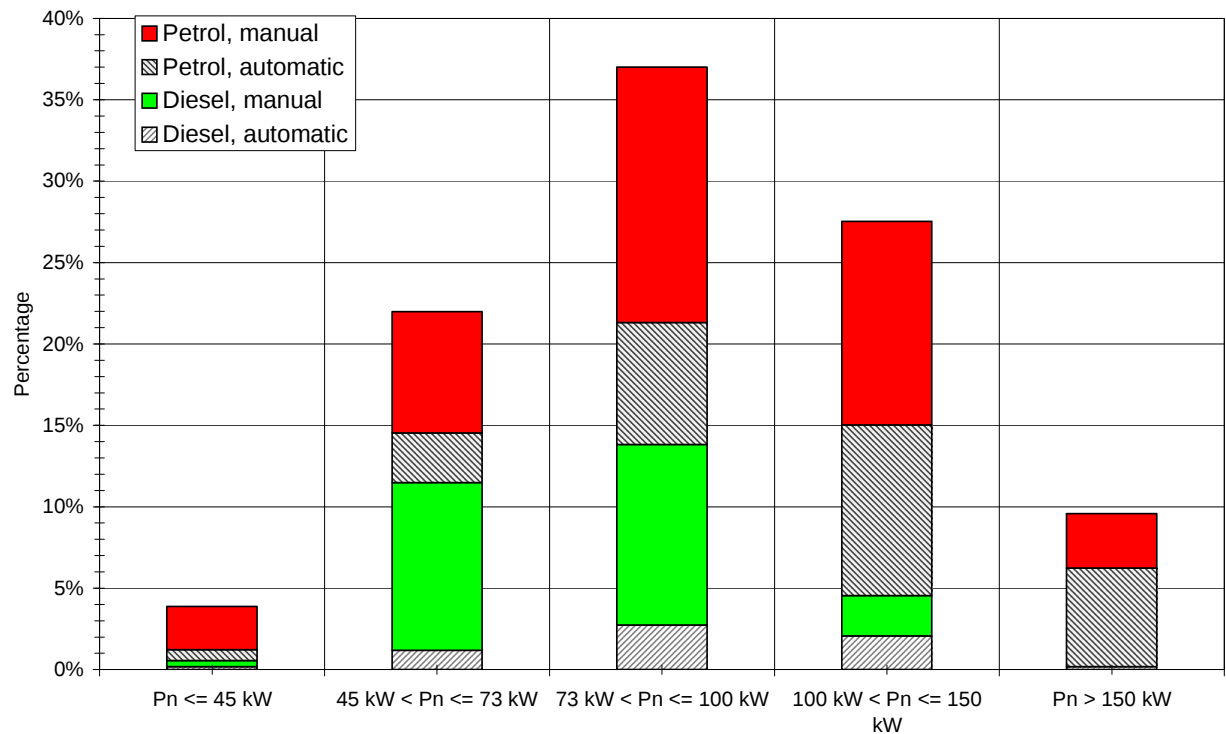


Bild 1: Anteile verschiedener Leistungsklassen, Getriebearten und Verbrennungsarten an der Typzulassungsstatistik des KBA in 2001

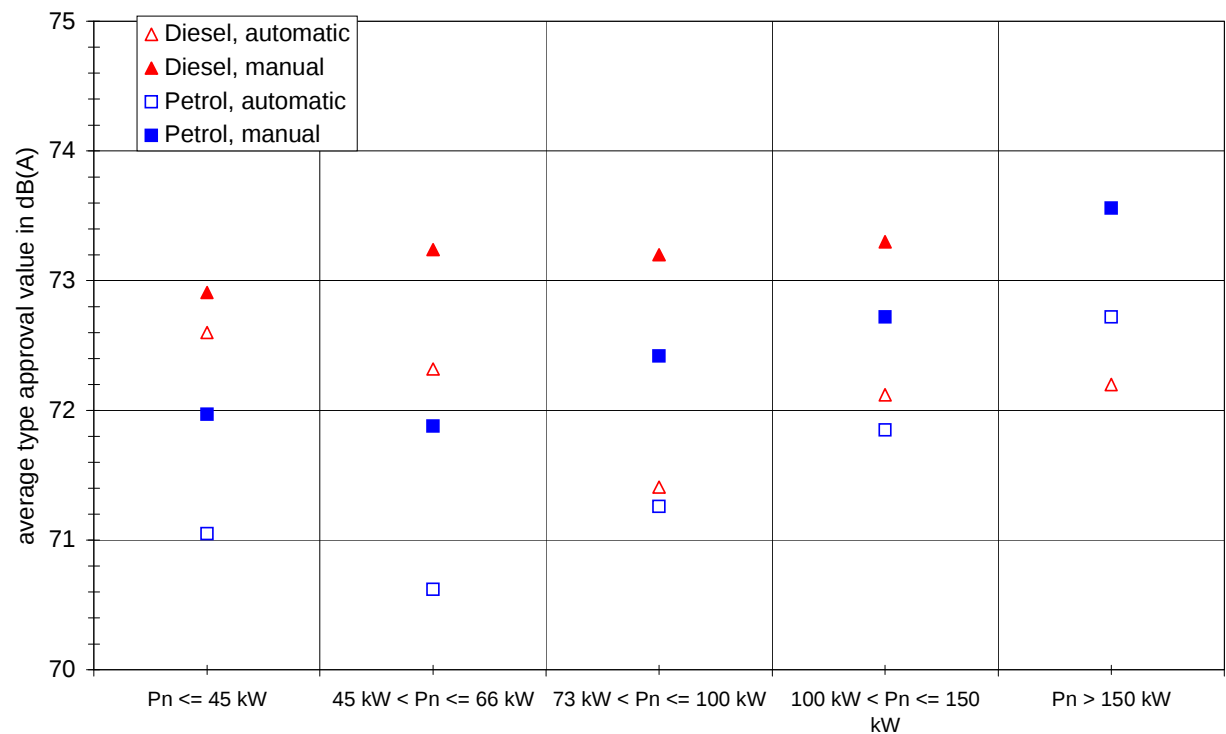


Bild 2: Mittlere Typprüfwerte in verschiedenen Leistungsklassen nach Antriebs- und Getriebeart

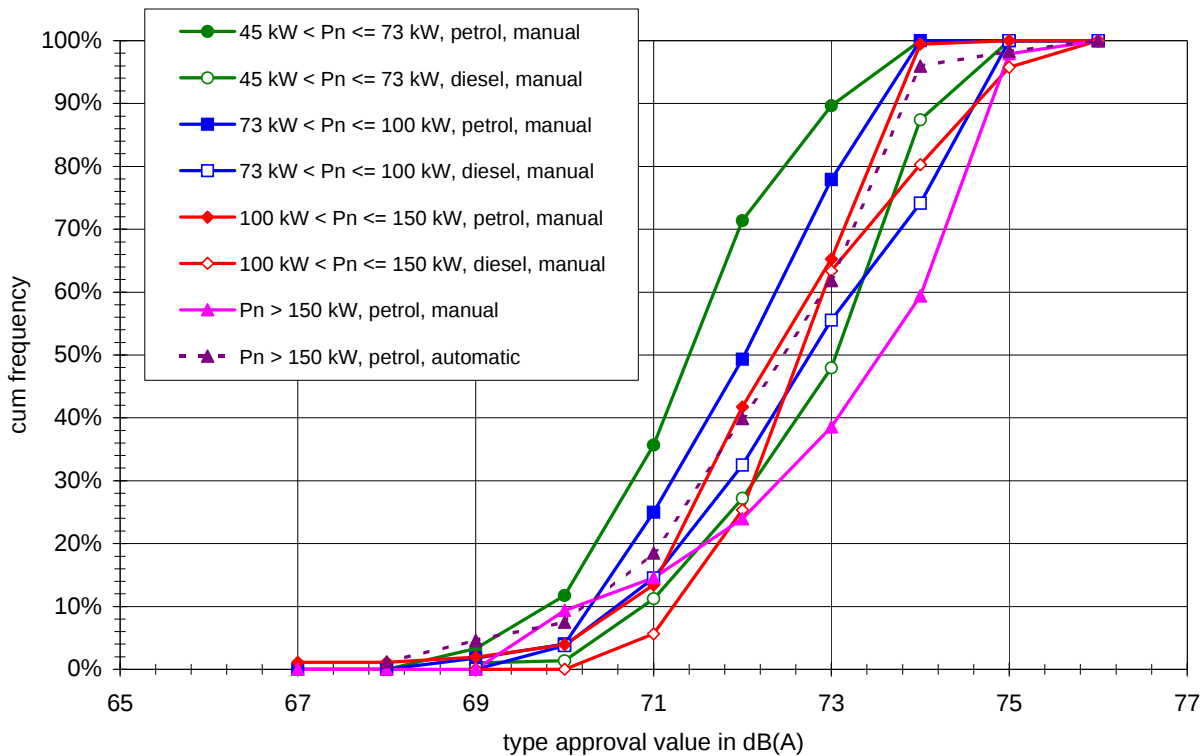


Bild 3: Häufigkeitssummen der Typprüfwerte verschiedener Pkw-Fahrzeugklassen (Typprüfwerte von 75 dB(A) können bei Fahrzeugen mit direkt einspritzenden Dieselmotoren oder bei Fahrzeugen mit einer Nennleistung über 140 kW und einem Verhältnis von Nennleistung zu zul. Gesamtmasse von mehr als 70 kW/t auftreten oder bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen unter 150 kW. Typprüfwerte von 76 dB(A) können bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen ab 150 kW auftreten. Off-road Fahrzeuge mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen ab 150 kW und direkteinspritzendem Dieselmotor haben einen Grenzwert von 77 dB(A).

Bild 5 verdeutlicht zudem noch einmal eindrucksvoll, dass bei den Pkw der Stand der Technik für den Großteil der Fahrzeugtypen inzwischen im Mittel 2 dB(A) unter dem derzeitigen geräuschgrenzwert liegt. Lediglich bei Fahrzeugtypen mit hohen Motorleistungen und hohen Leistungsgewichten liegt der überwiegende Teil dicht am Grenzwert. Aber auch in diesem Segment weisen ca. 15% der Typen Geräuschwerte auf, die 3 dB(A) oder mehr unterhalb des Grenzwertes liegen.

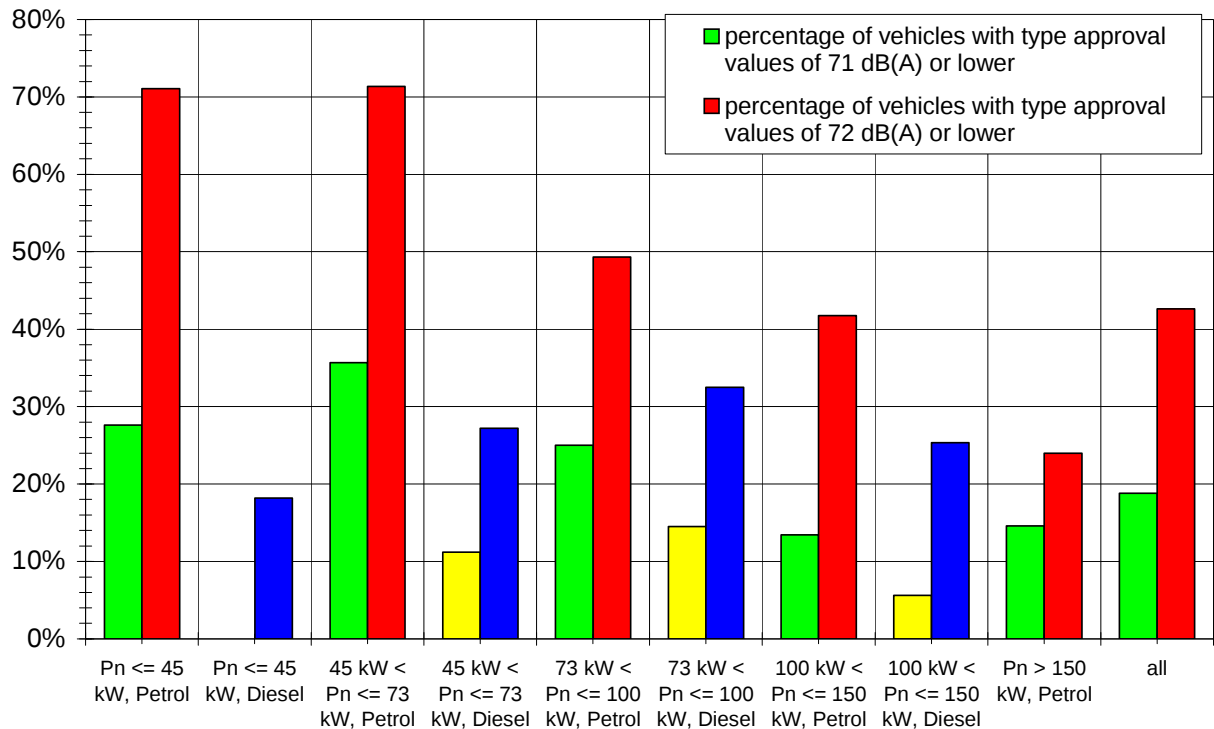


Bild 4: Anteil der Fahrzeugtypen mit Typprüfwerten bis 71 dB(A) bzw. 72 dB(A) in verschiedenen Fahrzeugklassen (Fahrzeuge mit Benzinmotoren sind in grün und rot gekennzeichnet, bei Fahrzeugen mit Dieselmotoren wurde grün durch gelb und rot durch blau ersetzt)

vehicle class	number of types	Difference between manual and auto version in dB(A)		
		min	average	max
Petrol, Pn ≤ 45 kW	9	-1	0.9	5
Diesel, 45 kW < Pn ≤ 73 kW	15	-2	1.1	3
Petrol, 45 kW < Pn ≤ 73 kW	47	-2	1.1	6
Diesel, 73 kW < Pn ≤ 100 kW	54	-1	1.7	6
Petrol, 73 kW < Pn ≤ 100 kW	146	-2	1.2	6
Diesel, 100 kW < Pn ≤ 150 kW	40	-2	1.0	4
Petrol, 100 kW < Pn ≤ 150 kW	184	-3	0.7	5
Petrol, > 150 kW	48	-3	0.4	4

Tabelle 3: Differenzen zwischen den Typprüfwerten von Fahrzeugtypen mit Handschaltgetriebe und Automatikgetriebe bei identischem Antriebsaggregat (Anmerkung: Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich auch die Auspuffanlagen unterscheiden)

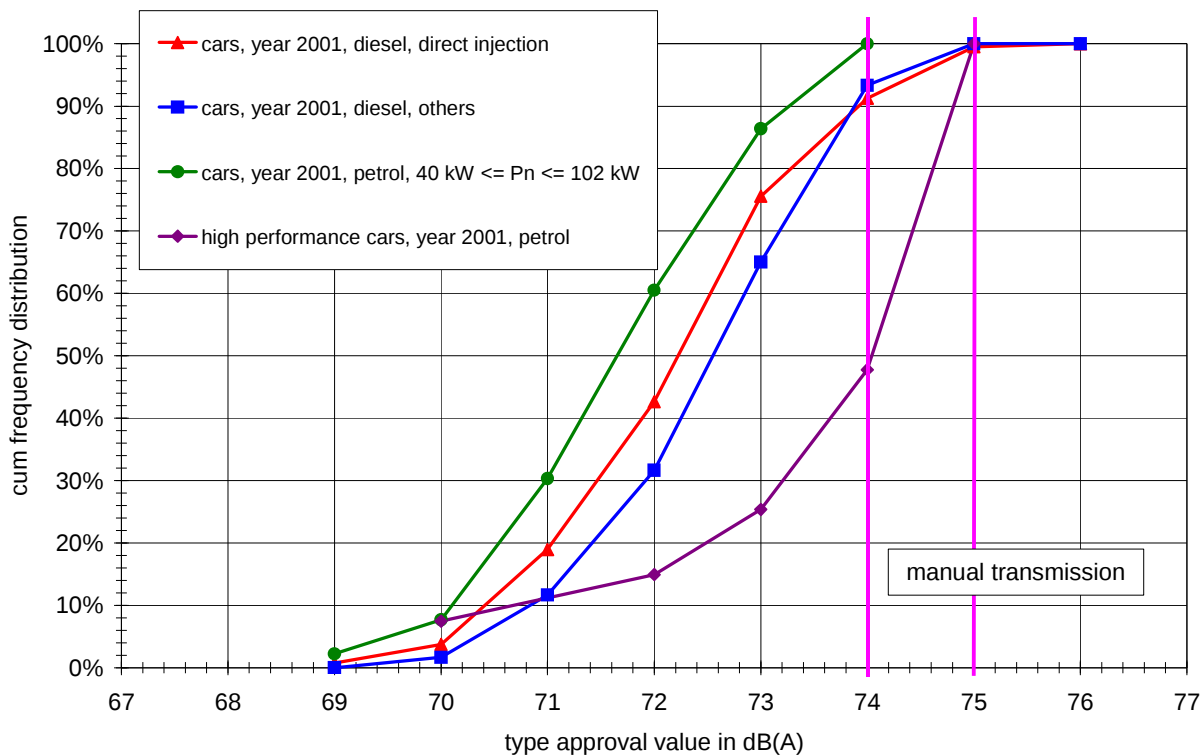


Bild 5: Summenhäufigkeiten der Typprüfwerte für Pkw in 2001 nach Antriebsart (Typprüfwerte von 75 dB(A) können bei Fahrzeugen mit direkt einspritzenden Dieselmotoren oder bei Fahrzeugen mit einer Nennleistung über 140 kW und einem Verhältnis von Nennleistung zu zul. Gesamtmasse von mehr als 70 kW/t auftreten oder bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen unter 150 kW. Typprüfwerte von 76 dB(A) können bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen ab 150 kW auftreten. Off-road Fahrzeuge mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen ab 150 kW und direkteinspritzendem Dieselmotor haben einen Grenzwert von 77 dB(A).

Bei den Pkw gibt es eine weitere Untergruppe, die einer gesonderten Betrachtung wert ist. Dies sind Fahrzeuge aus der Kategorie der leichten Nutzfahrzeuge, die aber aus nichttechnischen Gründen als Pkw zugelassen werden. Deren Häufigkeitssummen der Typprüfwerte sind in Bild 6 den Kurven aus Bild 5 vergleichend gegenübergestellt. Es muss betont werden, dass es sich hierbei ausschließlich um Fahrzeuge mit zul. Gesamtmasse über 2 t handelt.

Wie nicht anders zu erwarten sind die Typprüfwerte für diese Fahrzeuggruppe in der Regel deutlich höher als bei durchschnittlichen Pkw, Ansätze für eine weitere Minderung sind jedoch auch hier erkennbar. Im Gegensatz zu den „echten“ Pkw weisen Fahrzeugtypen mit Diesel-Direkteinspritzung allerdings höhere Typprüfwerte auf als Fahrzeugtypen mit anderen Dieselmotoren. Eine Ursache für diesen Gegensatz ist sicherlich, dass für leichte Nutzfahrzeuge niedrige Kosten weit schwerer und Fahrkomfort weit weniger wiegen als für „echte“ Pkw.

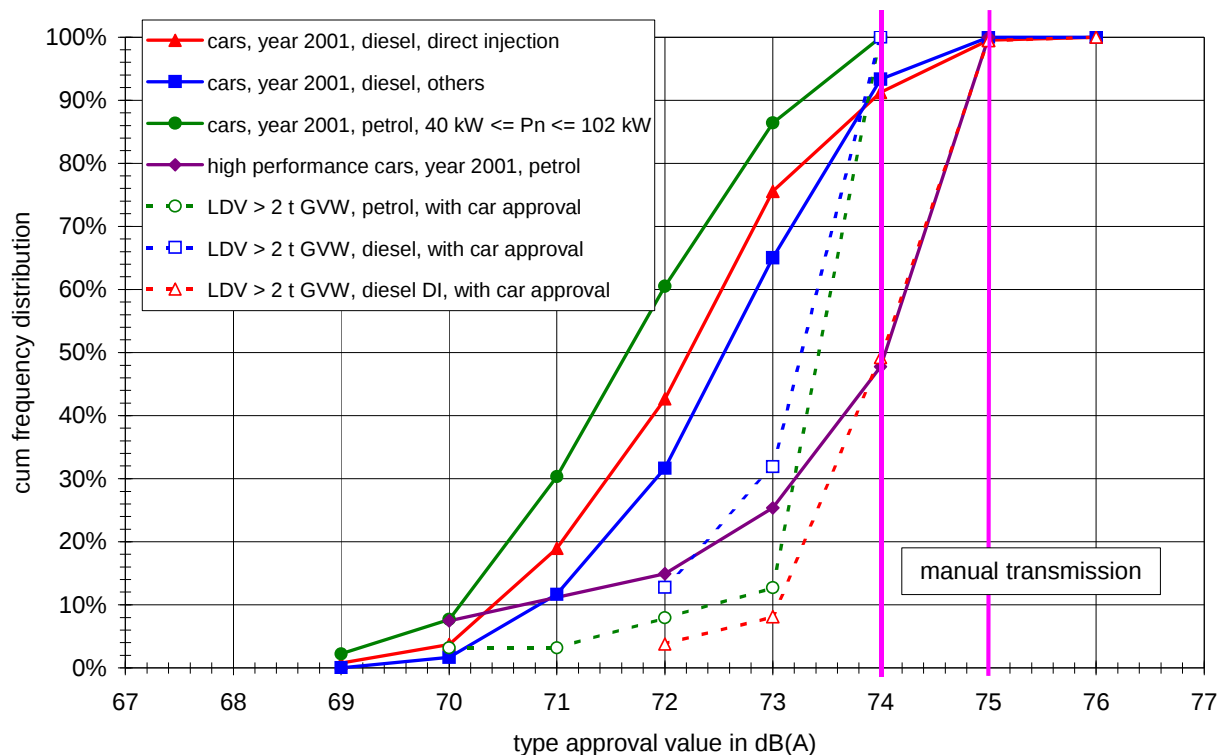


Bild 6: Häufigkeitssummen der Typprüfwerte für verschiedene Pkw-Untergruppen

4.1.2 Leichte Nutzfahrzeuge (M2 und N1 ≤ 3,5 t zul. Gesamtmasse)

Hinsichtlich der Geräuschgrenzwerte werden bei den leichten Nutzfahrzeugen zwei Gruppen unterschieden:

1. Fahrzeuge mit einer Gesamtmasse von bis zu 2 t,
2. Fahrzeuge mit einer Gesamtmasse über 2 t aber nicht höher als 3,5 t.

Leichte Nutzfahrzeuge mit bis zu 2 t zul. Gesamtmasse haben einen Geräuschgrenzwert von 76/77 dB(A). Der letztgenannte Wert gilt für Fahrzeuge mit direkteinspritzenden Dieselmotoren. Technisch handelt es sich bei diesen Fahrzeugen sämtlich um modifizierte Pkw.

Leichte Nutzfahrzeuge der 2. Gruppe haben um 1 dB(A) höhere Grenzwerte (77/78 dB(A)).

Anteilmäßig spielen die von Pkw abgeleiteten Fahrzeugtypen gegenüber den „echten“ leichten Nutzfahrzeugen nur eine geringe Rolle ca. 6%, (siehe Tabelle 4). Bei den „echten“ leichten Nutzfahrzeugtypen ist der Anteil der Fahrzeuge mit Ottomotor inzwischen auf knapp 14% zurückgegangen, der Anteil der Fahrzeuge mit direkteinspritzendem Dieselmotor dagegen auf über 60% angestiegen.

	no of types	percentage
LDV, <= 2 t GVW, petrol	22	2.8%
LDV, <= 2 t GVW, diesel	16	2.0%
LDV, <= 2 t GVW, diesel DI	10	1.3%
LDV, > 2 t GVW, petrol	103	13.0%
LDV, > 2 t GVW, diesel	181	22.8%
LDV, > 2 t GVW, diesel DI	461	58.1%
	793	100.0%

Tabelle 4: Anteil der Untergruppen an der Gesamtzahl leichter Nutzfahrzeugtypen in der KBA Statistik von 2001

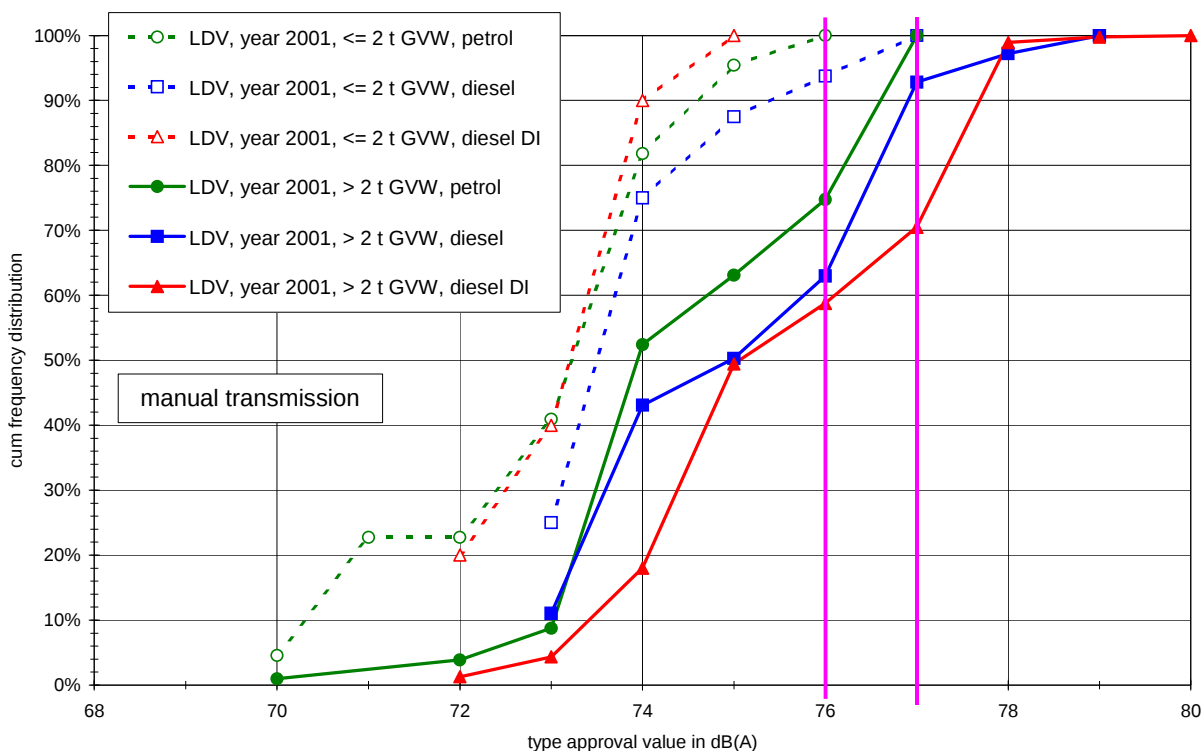


Bild 7: Häufigkeitssummen der Typprüfwerte leichter Nutzfahrzeuge aus der KBA Statistik von 2001 (Typprüfwerte von 79 dB(A) können bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen unter 150 kW mit direkt einspritzendem Dieselmotor oder bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen ab 150 kW mit Benzinmotor auftreten. Typprüfwerte von 80 dB(A) können bei off-road Fahrzeugen mit zul. Gesamtgewicht über 2 t und Nennleistungen ab 150 kW und direkt einspritzendem Dieselmotor auftreten.)

Bild 7 zeigt die Häufigkeitssummenkurven der Typprüfwerte für leichte Nutzfahrzeuge. Die von Pkw abgeleiteten Fahrzeuge weisen geringere Typprüfwerte auf als die „echten“ leichten Nutzfahrzeuge. Die Werte liegen überwiegend unter dem zulässigen Grenzwert für Pkw, aber höher als bei den Pkw-Typen, von denen sie abgeleitet sind. Zudem sind für diese Fahrzeugtypen im mittleren Pegelbereich praktisch keine Unterschiede zwischen Otto- und Dieselmotor (mit und ohne Direkteinspritzung) festzustellen.

Die Verteilungen der Typprüfwerte der „echten“ leichten Nutzfahrzeuge weisen eine deutlich größere Streubreite auf als diejenigen der auf modifizierten Pkw basierenden Fahrzeugtypen. Dies liegt vor allem daran, dass ein erheblicher Teil der Fahrzeugtypen offensichtlich so gebaut ist, dass sie ohne oder ohne große technische Änderungen auch als Pkw zugelassen werden können, während andere weniger aufwendig geräuschgemindert sind und somit dichter am Grenzwert liegen. Nur so ist es zu erklären, dass die größten Einzelhäufigkeiten für alle Untergruppen beim jeweiligen Pkw-Grenzwert und beim jeweiligen LNfz-Grenzwert auftreten.

Fahrzeuge mit Dieselmotor weisen durchschnittlich knapp 1 dB(A) höhere Typprüfwerte auf, die Unterschiede zwischen direkteinspritzenden und anderen Dieselmotoren sind jedoch kaum noch signifikant.

4.1.3 Schwere Nutzfahrzeuge (M2, M3, N2 und N3 > 3,5 t zul. Gesamtmasse)

Bei den schweren Nutzfahrzeugen sind die Geräuschgrenzwerte nach Motornennleistung gestaffelt. Fahrzeuge mit Nennleistungen unter 75 kW haben einen Grenzwert von 77 dB(A). Die KBA Statistik aus 2002 weist für diese Klasse nur 28 Lkw-Typen und 2 Kraftomnibus-Typen auf, die technisch sämtlich von den leichten Nutzfahrzeugen abstammen. Nähere Angaben zu den Lkw-Typen sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Etwa die Hälfte der Fahrzeugtypen hält auch die Pkw-Grenzwerte ein, der niedrigste Typprüfwert wird von Fahrzeugtypen mit Automatikgetriebe erreicht.

Diese Fahrzeugklasse hat sich im Laufe der zurückliegenden Jahre durch den Trend zu höheren Nennleistungen praktisch überlebt. Selbst bei den leichten Nutzfahrzeugen, die nicht vom Pkw abstammen ist der Mittelwert der Nennleistungen der Fahrzeugtypen in 2001 mit 77,3 kW bereits höher als die Leistungsgrenze dieser Fahrzeugklasse. Ihre Bedeutung für Fahrzeugbestand und Fahrleistungen ist gering. Deshalb wird auf diese Klasse nicht weiter eingegangen.

Auch die nächsthöhere Leistungsklasse mit Nennleistungen ab 75 kW bis unter 150 kW besteht in der KBA Statistik von 2001 praktisch ausschließlich aus Lkw, ist jedoch deutlich stärker besetzt als die zuvor behandelte Klasse. Der Grenzwert beträgt 78 dB(A), die Spanne der Typprüfwerte reicht von 71 dB(A) bis 79 dB(A), wobei der überwiegende Teil der Typen direkt am Grenzwert liegt (Tabelle 6). Der oberste Wert wird von Fahrzeugtypen mit Allradantrieb erreicht, niedrige Typprüfwerte von Fahrzeugtypen, die von leichten Nutzfahrzeugen abstammen und/oder Fahrzeugtypen mit Automatikgetriebe (Tabelle 7). Das Gros der Fahrzeugtypen ist Fahrzeuge mit zul. Gesamtmassen von 7,5 t, 10 t und 13 t. Kraftomnibusse und Sattelzugmaschinen sind in dieser Klasse praktisch nicht vertreten.

Vehicle cat.	Manufacturer	Pn in kW	Brandname	Gearbox type	Type approval level in dB(A)
LKW	DAIMLERCHRYSLER	60	308 CDI	Automatisiertes Schaltgetriebe	73
LKW	DAIMLERCHRYSLER	60	408 CDI	Automatisiertes Schaltgetriebe	73
LKW	ISUZU	70	NPR 55	Hand-/Fußschaltung	74
LKW	FORD	66	TRANSIT FT 410 L EF	Hand-/Fußschaltung	74
LKW	FORD	66	TRANSIT FT 420 L EF	Hand-/Fußschaltung	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	60	308 CDI	Automatisiertes Schaltgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	60	408 CDI	Automatisiertes Schaltgetriebe	74
LKW	FORD	55	TRANSIT FT 410 L EF	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	FORD	55	TRANSIT FT 420 M	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	FORD	66	TRANSIT FT 420 M	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	FORD	55	TRANSIT FT 420 L EF	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	VW	66	LT 40/46 TDI	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	FORD	55	TRANSIT FT 420 L	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	ISUZU	70	NKR 55	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	FORD	66	TRANSIT FT 420 L	Hand-/Fußschaltung	75
LKW	FORD	63	TRANSIT TDI	Hand-/Fußschaltung	76
LKW	FORD	55	TRANSIT TDI	Hand-/Fußschaltung	76
LKW	FORD	63	TRANSIT TDI	Hand-/Fußschaltung	76
LKW	DAIMLERCHRYSLER	60	308 CDI	Hand-/Fußschaltung	76
LKW	DAIMLERCHRYSLER	60	408 CDI	Hand-/Fußschaltung	76
LKW	IVECO-MAGIRUS	63	35 E 8 / 35-8	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	FORD	56	TRANSIT	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	FORD	74	TRANSIT TDI	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	IVECO-MAGIRUS	63	40C9./40-9.	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	IVECO-MAGIRUS	63	35 E 8 / 35-8	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	IVECO-MAGIRUS	63	35 E 8 / 35-8	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	IVECO-MAGIRUS	63	40C9./40-9.	Hand-/Fußschaltung	77
LKW	IVECO-MAGIRUS	63	40C9./40-9.	Hand-/Fußschaltung	77

Tabelle 5: Typprüfwerte der KBA Statistik aus 2001 für schwere Nutzfahrzeuge mit Nennleistungen unter 75 kW

Type approval level in dB(A)	Automatic gearbox		Manual gearbox	
	Number	Percentage	Number	Percentage
71	2	0.6%		0.0%
72	1	0.3%		0.0%
73	4	1.3%	1	0.3%
74	6	1.9%	1	0.3%
75		0.0%	7	1.8%
76	4	1.3%	11	2.8%
77	18	5.8%	49	12.7%
78	272	87.7%	291	75.4%
79	3	1.0%	26	6.7%
Sum	310	100.0%	386	100.0%

Tabelle 6: Verteilung der Typprüfwerte der KBA Statistik aus 2001 für schwere Nutzfahrzeuge mit Nennleistungen ab 75 kW bis unter 150 kW

Vehicle cat.	Manufacturer	Pn in kW	Brandname	Gearbox type	Type approval level in dB(A)
LKW	DAIMLERCHRYSLER	80	411 CDI/4X4	Automatikgetriebe	71
LKW	DAIMLERCHRYSLER	95	413 CDI/4X4	Automatikgetriebe	71
LKW	DAIMLERCHRYSLER	115	416 CDI/4X4	Automatikgetriebe	72
LKW	DAIMLERCHRYSLER	80	311 CDI	Automatikgetriebe	73
LKW	DAIMLERCHRYSLER	95	313 CDI	Automatikgetriebe	73
LKW	DAIMLERCHRYSLER	80	411 CDI	Automatikgetriebe	73
LKW	DAIMLERCHRYSLER	80	411 CDI/4X4	Handschaltgetriebe	73
LKW	DAIMLERCHRYSLER	95	413 CDI	Automatikgetriebe	73
LKW	DAIMLERCHRYSLER	115	316 CDI	Automatikgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	95	413 CDI/4X4	Handschaltgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	115	416 CDI	Automatikgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	100	614 D	Automatikgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	100	614 DK	Automatikgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	100	814 D	Automatikgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	100	814 DK	Automatikgetriebe	74
LKW	DAIMLERCHRYSLER	105	314	Handschaltgetriebe	75
LKW	DAIMLERCHRYSLER	105	414	Handschaltgetriebe	75
LKW	FORD	92	TRANSIT FT 410 L EF	Handschaltgetriebe	75
LKW	FORD	92	TRANSIT FT 420 L	Handschaltgetriebe	75
LKW	FORD	92	TRANSIT FT 420 L EF	Handschaltgetriebe	75
LKW	FORD	92	TRANSIT FT 420 M	Handschaltgetriebe	75
LKW	VW	80	LT 40/46 TDI	Handschaltgetriebe	75
LKW	DAIMLERCHRYSLER	110	615 D	Automatikgetriebe	76
LKW	DAIMLERCHRYSLER	110	615 DK	Automatikgetriebe	76
LKW	DAIMLERCHRYSLER	110	815 D	Automatikgetriebe	76
LKW	DAIMLERCHRYSLER	110	815 DK	Automatikgetriebe	76
LKW	FORD	88	TRANSIT FT 410 L EF	Handschaltgetriebe	76
LKW	FORD	88	TRANSIT FT 420 L	Handschaltgetriebe	76
LKW	FORD	88	TRANSIT FT 420 L EF	Handschaltgetriebe	76
LKW	FORD	88	TRANSIT FT 420 M	Handschaltgetriebe	76
LKW	ISUZU	98	NPR 70	Handschaltgetriebe	76
LKW	ISUZU	107	NQR 70	Handschaltgetriebe	76
LKW	MITSUBISHI	85	CANTER	Handschaltgetriebe	76
LKW	MULTICAR	78	M26....	Handschaltgetriebe	76
LKW	MULTICAR	78	M26....ALLRAD	Handschaltgetriebe	76

Tabelle 7: Fahrzeugtypen mit niedrigen Typprüfwerten in der KBA Statistik für 2001 (schwere Nutzfahrzeuge mit Nennleistungen ab 75 kW bis unter 150 kW)

Die Klasse der schweren Nutzfahrzeuge ab 150 kW Nennleistung weist einen Geräuschgrenzwert von 80 dB(A) auf. Die Spanne der Typprüfwerte reicht bei Kraftomnibussen von 75 bis 80 dB(A), bei Lkw und Sattelzugmaschinen von 76 bis 82 dB(A) (Tabelle 8). Werte über 80 dB(A) werden von Allrad-Fahrzeugtypen erreicht. Die Kraftomnibus Typen mit Typprüfwerten unter 80 dB(A) sind in Tabelle 9 zusammengestellt; es handelt sich überwiegend um Fahrzeugtypen mit Automatikgetriebe. Bei den Lkw sind Typprüfwerte von 78 dB(A) oder darunter bis auf 2 Ausnahmen ausschließlich für Fahrzeugtypen mit Automatikgetriebe anzutreffen. Die beiden Ausnahmen bilden Verteilerfahrzeuge von DAF mit 157 bzw. 171 kW Nennleistung. Dieser Fahrzeugtyp wird auch mit Nennleistungen unter 150 kW angeboten.

Bei den Sattelzugmaschinen ergibt sich ein ähnliches Bild (Tabelle 10).

Vehicle cat.	Type approval level in dB(A)	No information		Automatic gearbox		Manual gearbox	
		Number	Percentage	Number	Percentage	Number	Percentage
Bus and coach	75		0.0%	1	1.4%		0.0%
	77		0.0%	4	5.6%	1	7.1%
	78		0.0%	4	5.6%	3	21.4%
	79		0.0%	9	12.5%	2	14.3%
	80	21	100.0%	54	75.0%	8	57.1%
	Sum	21	100.0%	72	100.0%	14	100.0%
	Type approval level in dB(A)	No information		Automatic gearbox		Manual gearbox	
		Number	Percentage	Number	Percentage	Number	Percentage
Rigid truck	76		0.0%	10	3.7%		0.0%
	77		0.0%	43	16.1%		0.0%
	78	6	0.2%	104	39.0%	2	0.3%
	79	69	2.6%	51	19.1%	73	11.7%
	80	1944	73.7%	50	18.7%	450	71.9%
	81	443	16.8%	9	3.4%	60	9.6%
	82	175	6.6%		0.0%	41	6.5%
	Sum	2637	100.0%	267	100.0%	626	100.0%
	Type approval level in dB(A)	No information		Automatic gearbox		Manual gearbox	
		Number	Percentage	Number	Percentage	Number	Percentage
Semitrailer tractor	76		0.0%	5	16.7%		0.0%
	78	6	0.9%	12	40.0%	6	1.8%
	79	47	7.3%	13	43.3%	11	3.3%
	80	538	84.1%		0.0%	269	80.3%
	81	33	5.2%		0.0%	33	9.9%
	82	16	2.5%		0.0%	16	4.8%
	Sum	640	100.0%	30	100.0%	335	100.0%

Tabelle 8: Verteilung der Typprüfwerte der KBA Statistik aus 2001 für schwere Nutzfahrzeuge mit Nennleistungen ab 150 kW

Vehicle cat.	Manufacturer	Pn in kW	Brandname	Gearbox type	Type approval level in dB(A)
Bus and coach	EVOBUS	220	O 405 N	Automatikgetriebe	75
	EVOBUS	184	O 407	Automatikgetriebe	77
	EVOBUS	220	O 405 N	Automatikgetriebe	77
	EVOBUS	220	O 407	Automatikgetriebe	77
	EVOBUS	280	O 404-15R	Handschaltgetriebe	77
	EVOBUS	184	O 407	Handschaltgetriebe	78
	EVOBUS	185	O 530	Automatikgetriebe	78
	EVOBUS	185	O 530 G	Automatikgetriebe	78
	EVOBUS	213	O 404-10R	Handschaltgetriebe	78
	EVOBUS	213	O 404-15R	Handschaltgetriebe	78
	EVOBUS	220	O 405 GN	Automatikgetriebe	78
	EVOBUS	220	O 407	Automatikgetriebe	78
	DAIMLERCHRYSLER	280	O 350	Handschaltgetriebe	79
	EVOBUS	157	O 405 N	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	184	O 405 GN	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	184	O 405 N	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	220	O 405 GN	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	220	O 530	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	220	O 530 G	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	250	O 404-13R	Handschaltgetriebe	79
	EVOBUS	260	O 530	Automatikgetriebe	79
	EVOBUS	260	O 530 G	Automatikgetriebe	79

Tabelle 9: Fahrzeugtypen mit Typprüfwerten unter dem Grenzwert in der KBA Statistik für 2001 (Kraftomnibusse mit Nennleistungen ab 150 kW)

Vehicle cat.	Manufacturer	Pn in kW	Brandname	Gearbox type	Type approval level in dB(A)
Semitrailer tractor	VOLVO	228	FM7	Automatikgetriebe	76
	VOLVO	250	FM12	Automatikgetriebe	78
	VOLVO	279	FM12	Automatikgetriebe	78
	VOLVO	309	FM12	Automatikgetriebe	78
	VOLVO	346	FH16	Handschaltgetriebe	78
	VOLVO	346	FH16-4X2T		78
	VOLVO	382	FH16	Handschaltgetriebe	78
	VOLVO	382	FH16-4X2T		78
	DAIMLERCHRYSLER	205	1328 LS	Handschaltgetriebe	79
	IVECO-MAGIRUS	254	..440E34.	Handschaltgetriebe	79
	IVECO-MAGIRUS	276	..440E38.	Handschaltgetriebe	79
	IVECO-MAGIRUS	309	..440E42.	Handschaltgetriebe	79
	SAAB-SCANIA	250	.114.A4X2..340	Handschaltgetriebe	79
	SAAB-SCANIA	280	.114.A4X2..380	Handschaltgetriebe	79
	SAAB-SCANIA	309	.124.A4X2..420	Handschaltgetriebe	79
	VOLVO	184	FM7		79
	VOLVO	184	FM7	Automatikgetriebe	79
	VOLVO	213	FM7		79
	VOLVO	213	FM7	Automatikgetriebe	79
	VOLVO	228	FM7		79
	VOLVO	250	FH12		79
	VOLVO	250	FH12	Automatikgetriebe	79
	VOLVO	250	FM12		79
	VOLVO	279	FH12		79
	VOLVO	279	FH12	Automatikgetriebe	79
	VOLVO	279	FM12		79
	VOLVO	309	FH12		79
	VOLVO	309	FH12	Automatikgetriebe	79
	VOLVO	309	FM12		79
	VOLVO	338	FH12		79
	VOLVO	338	FH12	Automatikgetriebe	79

Tabelle 10: Fahrzeugtypen mit Typprüfwerten unter dem Grenzwert in der KBA Statistik für 2001 (Sattelzugmaschinen mit Nennleistungen ab 150 kW)

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass die Typprüfwerte des überwiegenden Teils der schweren Nutzfahrzeuge dem Grenzwert entsprechen oder 1 dB(A) darunter liegen. Dies deutet darauf hin, dass weitere Minderungen nur mit aufwendigen Maßnahmen möglich ist, die zum Teil Zielkonflikte mit anderen Eigenschaften hervorrufen (z.B. Herabsetzung der Nutzlast).

4.1.4 Motorräder

Motorräder werden hinsichtlich des Geräuschgrenzwertes in 3 Hubraumklassen eingeteilt.

1. bis 80 cm³, Grenzwert 75 dB(A),
2. > 80 cm³ bis 175 cm³, Grenzwert 77 dB(A),
3. > 175 cm³, Grenzwert 80 dB(A).

Die der Geräuschmessung im Rahmen der Typprüfung zugrundeliegenden Betriebszustände entsprechen in etwa denjenigen der Pkw.

Motorräder mit Hubvolumen bis 80 cm³ werden in Deutschland praktisch nicht mehr angeboten. Die KBA Statistik weist 3 Typen desselben Herstellers mit 70 cm³ und einer Höchstgeschwindigkeit von 75 km/h aus, die als Leichtkrafträder geführt werden. Die Typprüfwerte betragen 73/74 dB(A).

Auch Fahrzeugtypen der nächsthöheren Hubraumklasse haben bestandsmäßig nur geringe Bedeutung. In dieser Klasse überwiegen inzwischen die Motorroller; die meisten Typen sind als Leichtkrafträder eingestuft. Die Nennleistungen liegen zwischen 5 und 12 kW (eine Ausnahme 22 kW), die typprüfwerte zwischen 72 und 77 dB(A). Die Verteilung der Typprüfwerte ist in Tabelle 11 dargestellt. Die größte Bandbreite weisen Fahrzeugtypen mit Automatikgetriebe auf. Nähere Angaben zu den Fahrzeugtypen mit Typprüfwerten von 75 dB(A) oder niedriger sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass bei dieser Fahrzeugklasse ein weiteres Minderungspotential durchaus vorhanden ist.

	Type approval level in dB(A)	4 gears	5 gears	6 gears	automatic
Engine capacity > 80 cm ³ and ≤ 175 cm ³	72		1		2
	73			1	1
	74		2		5
	75	1	5	8	13
	76	2	8	4	21
	77	2	23	17	31
	Sum	5	39	30	73

Tabelle 11: Verteilung der Typprüfwerte der KBA Statistik aus 2001 für Motorräder und Leichtkrafträder mit Hubvolumen zwischen 80 und 175 cm³

Engine capacity	v_max in km/h	Manufacturer	Brandname	Pn in kW	Gearbox	Type approval level in dB(A)
100	87	PEUGEOT	ELYSEO 100	6	SA	72
125	80	SUZUKI	TU 125 XTU	6	5M	72
100	86	PEUGEOT	TREKKER/FIGHT/VIVACI	6	SA	72
152	105	MALAGUTI	MADISON 150	10	SA	73
125	80	APRILIA	RS 125	5	6M	73
125	80	SUZUKI	GZ 125 U	6	5M	74
101	85	YAMAHA	YN 100	5	SA	74
124	80	KAWASAKI	ELIMINATOR	6	5M	74
151	101	SAN YANG	ATTILA 150	8	SA	74
151	102	SAN YANG	SHARK 150	8	SA	74
125	93	SAN YANG	ATTILA 125	7	SA	74
125	91	BETA MOTOR	EIKON 125	8	SA	74
125	98	HONDA	FES 125 PANTHEON	11	SA	75
125	88	BETA MOTOR	ALP 125 4T	8	6M	75
150	88	BAJAJ	CLASSIC SL 150	6	4M	75
124	97	HYOSUNG	HYPER	8	SA	75
125	120	APRILIA	RS 125	11	6M	75
124	93	KWANG YANG	KYMC0 SPACER 125	8	SA	75
124	80	APRILIA	HABANA 125	6	SA	75
125	80	APRILIA	ETX 125	7	6M	75
95	90	MALAGUTI	F12/100	7	SA	75
124	100	MALAGUTI	MADISON 125	9	SA	75
125	125	HONDA	NSR 125 R	11	6M	75
125	105	SUZUKI	UC 125	11	SA	75
124	93	YAMAHA	XV 125	8	5M	75
125	86	YAMAHA	XC 125 T /TR	6	SA	75
125	105	YAMAHA	TDR 125	11	6M	75
125	103	YAMAHA	SR 125	9	5M	75
101	84	YAMAHA	BW'S 100/MBK BOOSTER	6	SA	75
124	80	PIAGGIO	COGUAR 125	7	5M	75
125	80	SUZUKI	UC 125 U	9	SA	75
100	83	PEUGEOT	LOOXOR 100	7	SA	75
125	100	SUZUKI	GZ 125	8	5M	75
125	80	SACHS	XTC /-N	8	6M	75
125	80	SACHS	XTC /-N	8	6M	75
125	80	SACHS	XTC /-N	8	6M	75
124	105	PIAGGIO	SUPER HEXAGON GTX125	11	SA	75
150	105	APRILIA	SCARABEO 150	10	SA	75
124	80	SUZUKI	VL 125 U	8	5M	75

Tabelle 12: Fahrzeugtypen mit niedrigen Typprüfwerten in der KBA Statistik für 2001 (Motorräder und Leichtkrafträder mit Hubvolumen zwischen 80 und 175 cm³)

Die Hubraumklasse über 175 cm³ hat bestandsmäßig die größte Bedeutung. Allerdings enthält diese Klasse immer noch ein sehr breites Spektrum an technischen Auslegungsmerkmalen. Es reicht von Motorrollern mit 176 cm³ Hubvolumen und Nennleistungen von 13 bis 15 kW oder Enduro-Fahrzeugen mit noch geringerer Motornennleistung (7 kW) bis zu Hochleistungsfahrzeugen mit Nennleistungen bis 133 kW. Der Geräuschgrenzwert für diese Fahrzeuge ist einheitlich 80 dB(A).

Die meisten Typen dieser Klasse sind mit Handschaltgetriebe mit 5 oder 6 Gängen ausgerüstet; einige Motorroller haben Automatikgetriebe; Fahrzeuge mit 4-Gang Schaltgetriebe bilden die Ausnahme. Die Verteilung der Typprüfwerte ist in Tabelle 13 dargestellt. Die Spanne reicht von 74 bis 80 dB(A); allerdings hat der überwiegende Teil der Fahrzeugtypen (69%) Typprüfwerte von 79 oder 80 dB(A).

Nähere Angaben zu Fahrzeugtypen mit niedrigen Typprüfwerten sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Von wenigen Ausnahmen abgesehen handelt es sich um Motorroller mit Automatikgetriebe oder um Fahrzeugtypen mit aus Gründen des Fahrerlaubnisrechts gegenüber den Normalversionen stark gedrosselter Nennleistung (Anfängerversionen). Bei Fahrzeugtypen, die mit unterschiedlichen Nennleistungsvarianten angeboten werden, besteht häufig ein Zusammenhang zwischen Nennleistung und Typprüf-Geräuschwert (Tabelle 15). Dennoch gibt es auch bei höheren Nennleistungen bereits vereinzelte Typen mit Typprüfwerten, die deutlich unter dem Grenzwert liegen (siehe Tabelle 14 und Bild 8).

Es ist bekannt, dass bei einigen Motorradtypen cycle bypass Maßnahmen angewendet werden, um ein günstiges Typprüfergebnis zu erreichen. Cycle bypass Maßnahmen sind Maßnahmen, die Schwächen des Messverfahrens legal ausnutzen. Diese Maßnahmen sind meistens so ausgelegt, dass die Fahrzeuge **unter den Betriebsbedingungen der Typprüfung** wesentlich schlechter beschleunigen als nach dem Leistungsgewicht erwartet und bei anderen Betriebszuständen auch festgestellt werden kann. Durch die schlechte Beschleunigung wird der Anstieg der Motordrehzahl während der Vorbeifahrt begrenzt und damit ein niedrigeres Messergebnis erzielt.

Ein mögliches Indiz für derartige Maßnahmen ist eine vom Mittelwert deutlich abweichende Differenz des Standgeräuschwertes vom Typprüfwert. Nach Bild 9 beträgt die mittlere Differenz für Fahrzeugtypen mit Nennleistungen über 25 kW 11 dB(A). Dieses Indiz soll hier nicht verwendet werden, um derartige Fahrzeugtypen aufzuzeigen, sondern um auszuschließen, dass die wenigen leistungsstarken Typen mit Geräuschgrenzwerten, die deutlich unter dem Grenzwert liegen, Vorteil aus solchen Maßnahmen gezogen haben. Daher sind in Tabelle 14 zusätzlich diese Differenzen und die Nahfeldgeräuschpegel mit angegeben.

	Type approval level in dB(A)	4 gears	5 gears	6 gears	automatic
Engine capacity > 175 cm ³	74			1	
	75			1	3
	76		11	4	3
	77	2	17	11	3
	78		38	26	4
	79		72	66	5
	80		41	86	5
	Sum	2	179	195	23

Tabelle 13: Verteilung der Typprüfwerte der KBA Statistik aus 2001 für Motorräder mit Hubvolumen über 175 cm³

Engine capacity	v_max in km/h	Manufacturer	Brandname	Pn in kW	Gearbox	Stationary nearfield result in dB(A)	Type approval level in dB(A)	Difference in dB(A)
600	150	SUZUKI	GSX 600 FU	25	6M	88	74	14
249	119	HONDA	NSS 250	14	SA	83	75	8
249	119	HONDA	NSS 250	14	SA	83	75	8
250	120	YAMAHA	YP 250 D/A	15	SA	84	75	9
599	135	YAMAHA	XJ 600 N/S	25	6M	86	75	11
250	120	MALAGUTI	MADISON 250	14	SA	85	76	9
249	118	KWANG YANG	KYMC0 DINK 250	15	SA	79	76	3
250	123	YAMAHA	YP 250	16	SA	83	76	7
499	158	HONDA	CB 500 /S	24	6M	85	76	9
848	140	BMW	R 850 GS/R	25	6M	88	76	12
625	144	KTM	DUKE II	25	5M	87	76	11
644	145	SACHS	ROADSTER 650 V1.6	25	5M	89	76	13
1449	130	HARLEY DAVIDSON	ELECTRA GLIDE	25	5M	89	76	13
1165	160	KAWASAKI	ZRX 1200/R/S	25	5M	86	76	10
1449	130	HARLEY DAVIDSON	ELECTRA GLIDE	25	5M	91	76	15
645	160	SUZUKI	SV 650 SU/U	25	6M	84	76	8
1064	145	MOTO GUZZI	QUOTA 1100 ES	25	5M	87	76	11
1471	140	KAWASAKI	VN 1500 DRIFTER	25	5M	91	76	15
1471	123	KAWASAKI	VN 1500 CLASS.TOURER	25	5M	92	76	16
599	174	HONDA	CBR 600 F	25	6M	88	76	12
1449	130	HARLEY DAVIDSON	DYNA SUPER GLIDE/LOW	25	5M	95	76	19
644	166	SACHS	ROADSTER 650 V1.6	37	5M	90	76	14
849	200	YAMAHA	TDM 850	60	5M	83	76	7
199	103	BETA MOTOR	ALP 200 4T	11	5M	79	77	2
244	110	PIAGGIO	HEXAGON GT 250	12	SA	86	77	9
176	110	PIAGGIO	HEXAGON 180	13	SA	89	77	12
176	118	PIAGGIO	HEXAGON 180	15	SA	91	77	14
249	125	YAMAHA	XVS 250	16	5M	85	77	8
499	145	KAWASAKI	EN 500	25	6M	85	77	8
848	140	BMW	R 850 C	25	5M	88	77	11
600	154	HONDA	CB 600 F/S	25	6M	83	77	6
599	174	HONDA	CBR 600 F	25	6M	90	77	13
649	140	YAMAHA	XVS 650 /A	25	5M	86	77	9
1099	133	HONDA	VT 1100 C3	25	5M	88	77	11
1449	130	HARLEY DAVIDSON	FAT BOY/SOFTAIL DUEC	25	5M	93	77	16
583	149	HONDA	VT 600 C	25	4M	90	77	13
1449	130	HARLEY DAVIDSON	HERITAGE SPRINGER	25	5M	97	77	20
848	140	BMW	R 850 C	25	5M	88	77	11
805	143	KAWASAKI	VN 800 DRIFTER	25	5M	90	77	13
739	158	KAWASAKI	ZR-7 /S	25	5M	87	77	10
600	150	SUZUKI	GSF 600 U/SU	25	6M	89	77	12
487	150	SUZUKI	GS 500 U	25	6M	86	77	9
1449	130	HARLEY DAVIDSON	ELECTRA GLIDE	25	5M	89	77	12
487	150	SUZUKI	GS 500 HU	25	6M	89	77	12
649	145	YAMAHA	XVS 650 /A	29	5M	86	77	9
583	158	HONDA	VT 600 C	29	4M	90	77	13
644	160	SUZUKI	XF 650	35	5M	86	77	9
625	152	KTM	640 LC4 / ADVENTURE	36	5M	93	77	16
625	152	KTM	640 LC4 / ADVENTURE	36	5M	93	77	16
1099	152	HONDA	VT 1100 C3	37	5M	90	77	13
1462	170	SUZUKI	VL 1500	49	5M	94	77	17
600	208	SUZUKI	GSX 600 F	57	6M	89	77	12
750	212	SUZUKI	GSX 750	63	6M	90	77	13
998	236	YAMAHA	YZF-R1	72	6M	88	77	11
998	236	YAMAHA	YZF-R1	72	6M	90	77	13
998	250	YAMAHA	FZS 1000	105	6M	88	77	11

Tabelle 14: Fahrzeugtypen mit niedrigen Typprüfwerten in der KBA Statistik für 2001 (Motorräder mit Hubvolumen über 175 cm³)

Engine capacity in cm ³	Pn in kW	Manufacturer	Brandname	Number of gears	Stationary nearfield result in dB(A)	Type approval level in dB(A)
599	25	HONDA	CBR 600 F	6	88	76
599	78	HONDA	CBR 600 F	6	91	79
599	78	HONDA	CBR 600 F SPORT	6	91	80
599	81	HONDA	CBR 600 F	6	91	79
599	25	YAMAHA	XJ 600 N/S	6	86	75
599	37	YAMAHA	XJ 600 N/S	6	87	79
599	45	YAMAHA	XJ 600 N/S	6	88	78
600	25	SUZUKI	GSX 600 FU	6	88	74
600	57	SUZUKI	GSX 600 F	6	89	77
600	72	SUZUKI	GSX-R 600	6	94	80
848	25	BMW	R 850 GS/R	6	88	76
848	52	BMW	R 850 GS/R	6	86	79
848	25	BMW	R 850 C	5	88	77
848	37	BMW	R 850 C	5	85	78
848	54	BMW	R 850 RT	6	90	79
899	72	KAWASAKI	NINJA ZX-9R	6	91	78
899	78	KAWASAKI	NINJA ZX-9R	6	93	78
899	104	KAWASAKI	NINJA ZX-9R	6	92	79
899	105	KAWASAKI	NINJA ZX-9R	6	93	79
899	106	KAWASAKI	NINJA ZX-9R	6	94	79
998	72	YAMAHA	YZF-R1	6	88	77
998	78	YAMAHA	YZF-R1	6	88	78
998	110	YAMAHA	YZF-R1	6	88	78
1165	25	KAWASAKI	ZRX 1200/R/S	5	86	76
1165	78	KAWASAKI	ZRX 1200/R/S	5	91	79
1165	90	KAWASAKI	ZRX 1200/R/S	5	91	78
1449	25	HARLEY DAVIDSON	ELECTRA GLIDE	5	89	76
1449	49	HARLEY DAVIDSON	ELECTRA GLIDE	5	86	79
1449	50	HARLEY DAVIDSON	ELECTRA GLIDE	5	87	80
1449	25	HARLEY DAVIDSON	HERITAGE SPRINGER	5	97	77
1449	49	HARLEY DAVIDSON	HERITAGE SPRINGER	5	89	79
1449	50	HARLEY DAVIDSON	HERITAGE SPRINGER	5	88	80

Tabelle 15: Typprüfwerte verschiedener Motorradtypen mit gleichem Motor- aber unterschiedlichen Nennleistungen

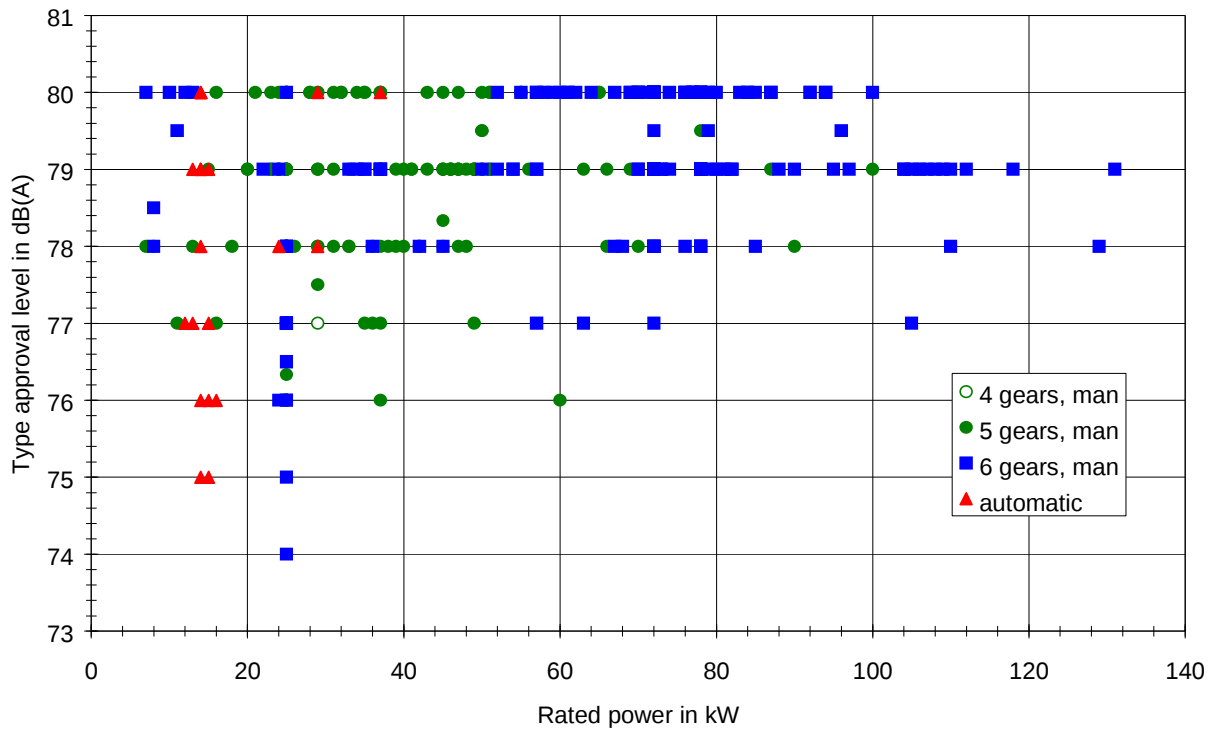


Bild 8: Abhängigkeit der Typprüfwerte von der Nennleistung für Motorräder mit Hubvolumen über 175 cm³ (Werte mit Nachkommastellen sind Mittelwerte verschiedener Varianten desselben Typs)

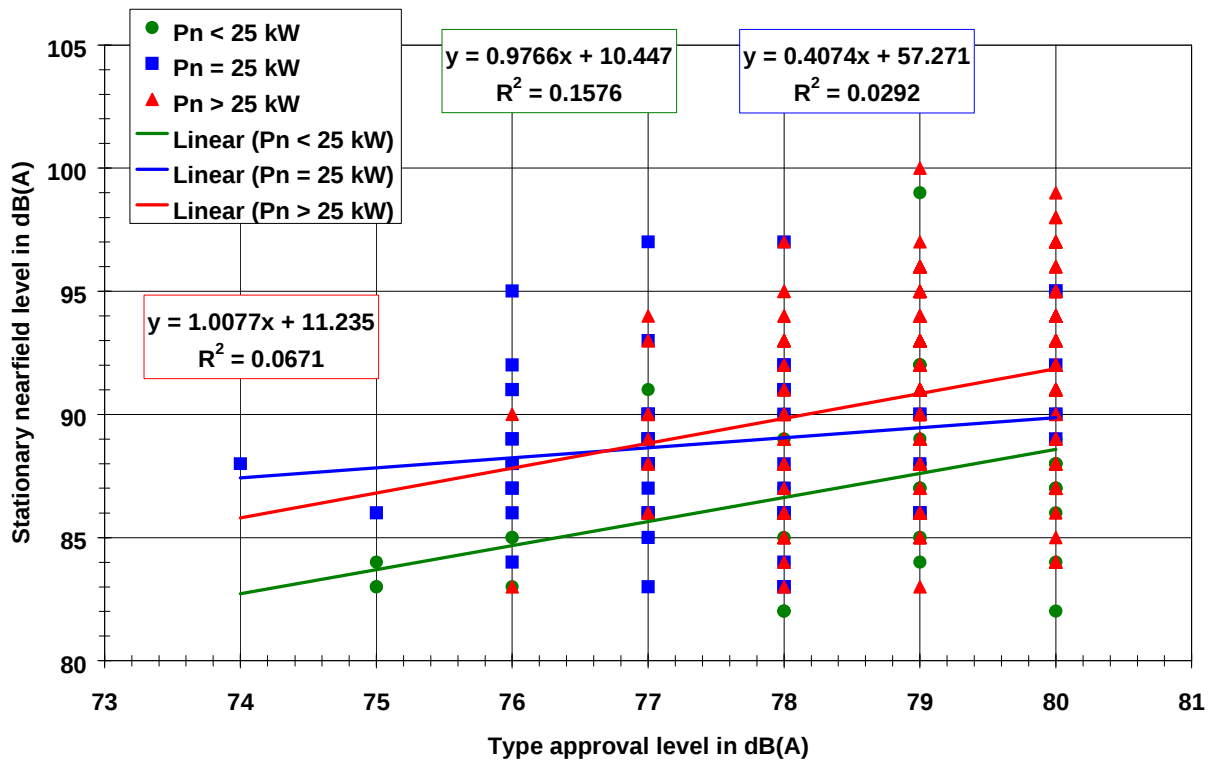


Bild 9: Zusammenhang zwischen Typprüfwert und stationärem Nahfeldgeräusch an der Auspuffmündung für Motorräder mit Hubvolumen über 175 cm³

4.2 Geräuschmessungen an verschiedenen Fahrzeugtypen

Um die Geräuschentwicklung eines Fahrzeugs nicht nur unter Typprüfbedingungen, sondern für alle für den praktischen Betrieb relevanten Fahrzustände beurteilen und damit die Effizienz weiterer Minderungsmaßnahmen bei bestehendem oder verbesserten Messverfahren abschätzen zu können, wurden Geräuschmessungen bei verschiedenen Betriebszuständen auf einer Teststrecke durchgeführt.

Das Messprogramm bestand aus Vorbeifahrtmessungen unter definierten Betriebszuständen im Originalzustand sowie ergänzenden Messungen mit Absolutschalldämpfern für Ansaug- und Abgastrakt zur Ermittlung des Einflusses von Teilschallquellen. Letztere wurden bei den Pkw nur bei den jüngeren Fahrzeugen durchgeführt.

Die Vorbeifahrtmessungen wurden auf einer ISO-Messstrecke in Allach durchgeführt.

4.2.1 Pkw (M1)

4.2.1.1 Technische Daten und Messprogramm

Einzelheiten zu den technischen Daten der Fahrzeuge sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

No	Vehicle	Rated power in kW	Engine capacity in cm³	Rated engine speed in min-1	No of cylinders	No of gears	Max. speed in km/h	Stationary nearfield level in dB(A)	Type approval level in dB(A)	kerb mass in kg	Gross vehicle mass in kg	First registration date
1	MB C 180	90	1799	5500	4	5	193	81	74	1350	1830	01.11.95
2	BMW 540 i	210	4000	5800	6	6	250	82	70	1680	2275	08.08.97
3	Seat Ibiza	110	1984	6000	4	5	215	87	74	1090	1565	01.03.97
4	VW Golf	55	1781	5000	4	5	168	85	74	1005	1535	01.01.93
5	VW Passat	110	1781	5700	4	5	223	78	71	1355	1830	01.10.97
6	Honda Civic	66	1396	6300	4	5	177	81	72	1040	1475	01.03.98
7	Renault Twingo	40	1239	5300	4	5	150	84	73	810	1160	01.03.95
8	VW Golf	51	1439	5600	4	5	162	74	75	800	1210	11.10.88
9	VW Scirocco	51	1576	5200	4	4	162	80	79	888	1400	27.04.78
10	Alfa Romeo Julia	64	1281	5500	4	5	168	76	80	1060	1500	01.07.72
11	Nissan Maxima	142	2988	6400	6	5	230	81	69	1425	2005	14.11.95
15	MB 210 D	75	2874	5300	5	5	145	86	75	1920	2800	19.08.97
16	MB C 200 CDI	92	2151	4200	4	5	198	80	71	1410	1890	23.02.99
17	VOLVO 850	142	2435	5100	4	5	220	76	70	1712	2120	11.03.97

Tabelle 16: Technische Daten der untersuchten Pkw

Das Messprogramm für die Vorbeifahrtmessungen sah folgende Fahr- bzw. Betriebszustände vor:

- ☐ Rollgeräuschmessungen bei 30 km/h, 50 km/h und 80 km/h
- ☐ Fahrgeräuschmessungen im 2. Gang bei 20 km/h, 30 km/h und 50 km/h, jeweils konstant und beschleunigt mit voller Motorbelastung
- ☐ Fahrgeräuschmessungen im 3. Gang bei 30 km/h, 50 km/h und 80 km/h, jeweils konstant und beschleunigt mit voller Motorbelastung

- ☐ Fahrgeräuschmessungen im 4. Gang bei 50 km/h und 80 km/h, jeweils konstant und beschleunigt mit voller Motorbelastung
- ☐ Standgeräuschmessungen von Leerlauf- bis Nenndrehzahl

Bei diesen Messungen wurde der Schalldruck rechts und links vom Fahrzeug registriert. Die Vorbeifahrtmessungen wurden jeweils einmal wiederholt. Um den Einfluss von Ansauggeräusch und Auspuffgeräusch zu ermitteln, wurden die Messungen jeweils im Originalzustand des Fahrzeugs und mit Absolutdämpfern im Ansaug- und Auspufftrakt durchgeführt.

4.2.1.2 Fahrzeuge im Originalzustand

Zunächst seien die Ergebnisse nach dem derzeit gültigen und früheren Typprüfverfahren diskutiert, die in Tabelle 17 zusammengestellt sind.

Die Basis bilden Geräuschmessungen rechts und links während der Vorbeifahrt eines Kraftfahrzeugs. Die Mikrophone befinden sich 7,5 m seitlich der Messstreckenmittellinie in 1,2 m Höhe über dem Fahrbahnniveau. Das Fahrzeug wird mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit von 50 km/h an die Messstrecke herangefahren. Ist die Motordrehzahl bei dieser Geschwindigkeit im gewählten Gang höher als 75% der Nennleistungsdrehzahl, so wird sie soweit reduziert, dass die Motordrehzahl 75% der Nennleistungsdrehzahl entspricht. Wenn die Fahrzeugfront eine Bezugslinie 10 m vor der Mikrophonebene erreicht hat, wird es mit Volllast beschleunigt, und zwar so lange, bis das Fahrzeugheck eine Bezugsebene 10 m nach Mikrophonebene erreicht. Der Maximalwert des Schalldruckpegels während der Vorbeifahrt bildet das Einzelergebnis. Es sind mindestens 2 Messungen je Getriebestufe durchzuführen, deren Ergebnisse sich um nicht mehr als 2 dB(A) unterscheiden dürfen. Der höchste Wert dieser 2 Messungen definiert das Einzelergebnis im jeweiligen Gang.

Veh. No.	Result 2. Gear in dB(A)	Result 3. Gear in dB(A)	Average 2./3. Gear in dB(A)	Lroll in dB(A) at 50 km/h	70/157/EEC result in dB(A)	81/334/EEC result in dB(A)	84/372/EEC result in dB(A)	Type approval level in dB(A)	Noise limit in dB(A)
1	77.3	71.9	74.6	68.3	71	74	73	74	77
2	83.7	72.3	78.0	66.0	71	77	71	70	75
3	78.3	72.2	75.3	64.9	71	74	74	74	74
4	72.4	71.1	71.8	64.8	70	71	70	74	77
5	71.8	69.1	70.5	65.2	68	69	69	71	74
6	75.5	70.0	72.8	62.4	69	72	71	72	74
7	73.9	69.2	71.6	65.8	68	71	70	73	77
8	75.3	70.9	73.1	66.0	70	72	72	75	80
9	79.9	74.4	77.2	64.9	79	79	78	79	82
10	84.0	76.9	80.5	68.3	76	79	79	80	82
11	73.7	69.6	71.7	65.1	69	71	70	69	77
15	76.9	74.0	75.5	68.8	73	74	74	75	74
16	71.6	69.8	70.7	67.3	69	70	69	71	74
17	74.9	68.9	71.9	65.6	68	71	70	70	74

Tabelle 17: Messergebnisse nach derzeitigem und früheren Typprüfverfahren für Pkw (entsprechend der derzeitig angewendeten Rundungsvorschrift wurden die Messergebnisse auf ganze dB abgerundet und um 1 dB reduziert.)

Bei Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe werden diese Messungen in der Regel im 2. und 3. Gang durchgeführt. Die Einzelergebnisse sowie ihr arithmetischer Mittelwert sind in Tabelle 17 zusammengestellt. Die zugehörigen Geschwindigkeiten liegen je nach Fahrzeug zwischen 53 und 67 km/h (Tabelle 18), Fahrzeug 15 (als Pkw zugelassenes leichtes Nutzfahrzeug) wurde im 2. Gang mit niedrigerer Geschwindigkeit als 50 km/h gefahren. Zum Vergleich sind die Rollgeräusche bei 50 km/h in Tabelle 17 ebenfalls mit angegeben. Der Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem Rollgeräuschpegel beträgt immerhin 6,4 dB(A). Er reduziert sich auf 4 dB(A), wenn man den extrem leisen Reifen von Fahrzeug 6 nicht berücksichtigt. Der Verlauf der Rollgeräusche über der Geschwindigkeit ist in Bild 10 dargestellt.

Veh. No.	Gear	vA in km/h	vB in km/h	v(Lmax) in km/h	am in m/s ²	nA in min-1	nB in min-1	n(Lmax) in min-1	n/s	Lmax in dB(A)	Lroll in dB(A)	Difference in dB(A)
1	2	49.9	62.8	59.5	2.24	3629	4461	4225	76.8%	77.3	70.6	6.7
1	3	50.3	58.0	55.3	1.31	2308	2620	2500	45.4%	71.9	69.5	2.4
2	2	49.9	70.0	66.9	3.74	2987	4125	3944	68.0%	83.7	70.1	13.6
2	3	49.5	62.9	58.7	2.33	1975	2477	2297	39.6%	72.3	68.2	4.1
3	2	50.3	63.8	58.1	2.36	3306	4143	3774	62.9%	78.3	66.7	11.6
3	3	49.5	58.8	55.3	1.56	2201	2573	2418	40.3%	72.2	66.0	6.2
4	2	48.9	60.5	58.6	1.95	3265	3964	3840	76.8%	72.4	66.8	5.6
4	3	49.8	58.8	55.6	1.51	2170	2546	2414	48.3%	71.1	66.1	5.0
5	2	50.3	63.0	58.0	2.22	3399	4169	3814	66.9%	71.8	67.1	4.7
5	3	50.1	58.3	54.9	1.37	2033	2365	2228	39.1%	69.1	66.3	2.8
6	2	50.6	62.3	58.9	2.06	3651	4442	4191	66.5%	75.5	64.5	11.0
6	3	51.3	59.0	55.4	1.32	2402	2763	2592	41.1%	70.0	63.6	6.4
7	2	50.0	61.1	56.6	1.88	3950	4715	4358	82.2%	73.9	67.6	6.3
7	3	51.2	58.4	54.9	1.23	2580	2928	2744	51.8%	69.2	67.1	2.1
8	2	49.8	60.4	56.2	1.44	3674	4369	4049	72.3%	75.3	67.4	7.9
8	3	50.0	57.6	54.8	1.08	2408	2747	2613	46.7%	70.9	67.1	3.8
9	2	50.1	60.4	57.9	1.76	3640	4304	4127	79.4%	79.9	66.4	13.5
9	3	49.8	56.9	54.1	1.17	2364	2685	2547	49.0%	74.4	65.6	8.8
10	2	50.8	61.2	57.9	1.78	4291	5069	4803	87.3%	84.0	70.0	14.0
10	3	50.0	56.9	53.7	1.13	2852	3236	3047	55.4%	76.9	69.0	7.9
11	2	50.4	65.7	62.2	2.59	2846	3611	3414	53.3%	73.7	67.8	5.9
11	3	50.0	61.1	55.9	1.78	1943	2325	2130	33.3%	69.6	66.4	3.2
15	2	43.8	49.2	46.6	1.03	3975	4465	4220	79.6%	76.9	67.6	9.3
15	3	49.5	57.6	53.3	1.28	2694	3124	2888	54.5%	74.0	69.3	4.7
16	2	49.5	61.6	58.0	1.97	2719	3304	3097	73.7%	71.6	69.2	2.4
16	3	49.8	55.0	53.1	0.87	1716	1949	1865	44.4%	69.8	68.0	1.8
17	2	50.3	63.9	61.6	2.28	3048	3802	3639	71.4%	74.9	68.2	6.7
17	3	50.3	59.9	57.1	1.50	2055	2438	2317	45.4%	68.9	67.1	1.8

Tabelle 18: Angaben zu Fahrgeschwindigkeiten und Drehzahlen für die Typprüfgeräuschemessungen (Suffix A bedeutet 10 m vor, Suffix B 10 m nach Mikrophonebene; s bedeutet Nennleistungsdrehzahl)

In den rechten Spalten von Tabelle 17 sind die Messergebnisse fettgedruckt dargestellt. Sie sind auf ganze dB gerundet und um 1 dB(A) reduziert, wie im derzeitigen Typprüfverfahren festgelegt. Das mit 70/157/EEC bezeichnete Messergebnis ist für Fahrzeuge mit bis zu 4 Getriebestufen das Ergebnis im 2. Gang, für Fahrzeuge mit mehr als 4 Getriebestufen das Ergebnis im 3. Gang. Der Typprüfwert der Fahrzeuge 9 und 10 wurde nach diesem Verfahren ermittelt.

Das mit 81/334/EEC bezeichnete Ergebnis stellt für Fahrzeuge mit mehr als 4 Getriebestufen das arithmetische Mittel aus 2. und 3. Gang dar. Bei dem mit 84/372/EEC bezeichneten Ergebnissen wird für Fahrzeuge mit einer Nennleistung von mehr als 140 kW und einem Verhältnis von Nennleistung zu zul. Gesamtmasse von mehr als 75 kW/t nur das Ergebnis im 3. Gang berücksichtigt, wenn die Ausfahrgeschwindigkeit in diesem Gang über 61 km/h liegt. Dies ist für Fahrzeug 2 der Fall. Fahrzeug 9 ist mit einem 4-Gang Getriebe ausgerüstet, so dass auch nach derzeitigem messverfahren nur das Ergebnis im 2. Gang berücksichtigt wird.

Die beiden letzten Spalten von Tabelle 17 zeigen die in den Fahrzeugpapieren eingetragenen Typprüfwerte und die jeweiligen Geräuschgrenzwerte der Fahrzeuge. Ein Vergleich mit den Messergebnissen zeigt, dass die Messergebnisse in 11 von 14 Fällen dem Typprüfwert entsprechen oder sogar darunter liegen. In 2 weiteren Fällen wird der Typprüfwert um 1 dB(A) überschritten, in einem Fall um 2 dB(A). Dabei muss man aber berücksichtigen, dass die Fahrzeuge mit den zufällig vorhandenen Bereifungen gemessen wurden. Bei der Typprüfung kann der Hersteller jedoch einen bestimmten Reifen für die Geräuschmessung festlegen. Daher wurden die Ergebnisse noch einmal neu berechnet, wobei das Rollgeräusch der vorhandenen Bereifung herausgerechnet wurde und statt dessen das Rollgeräusch eines Reifens mit 64 dB(A) bei 50 km/h und einer logarithmischen Steigung von 32 je Dekade hereingerechnet wurde. (Dies ist nicht der leiseste Reifen der Fahrzeugstichprobe!)

Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammengestellt. Im Extremfall wird das Messergebnis um 2 dB(A) verbessert; die Überschreitung der Typprüfwerte wird auf 1 dB reduziert und liegt damit im Bereich der Toleranz.

Die Ergebnisse sind auch geeignet, die Auswirkung von Messverfahrensänderungen zu demonstrieren. In den 70er Jahren war nämlich der überwiegende Teil der Pkw mit 4-Gang Schaltgetriebe ausgerüstet. Das Messergebnis wäre damals für alle Fahrzeuge außer Nr. 2 und Nr. 10 das Ergebnis im 2. Gang gewesen, das in Tabelle 20 noch einmal aufgeführt ist. Die Differenz zum Mittelwert aus 2. und 3. Gang ist ebenfalls angegeben. Diese ist auch für Fahrzeug 9 aufgeführt, das heute sicherlich mit einem 5-Gang Getriebe ausgerüstet wäre. Die Differenzen liegen zwischen 0 und 3 dB(A), im Mittel bei 2 dB(A). Die ausschließliche Berücksichtigung des Ergebnisses im 3. Gang für Fahrzeug 2 nach 84/372/EEC bedeutet gegenüber dem Mittelwert eine Minderung um 6 dB(A).

Interessant ist, dass diese Ergebnisse sehr gut mit einem entsprechenden Vergleich bei einer Fahrzeugstichprobe aus 1983 (siehe [5]) übereinstimmt (Tabelle 21), also zu einer Zeit, als der Geräuschgrenzwert noch bei 80 dB(A) lag.

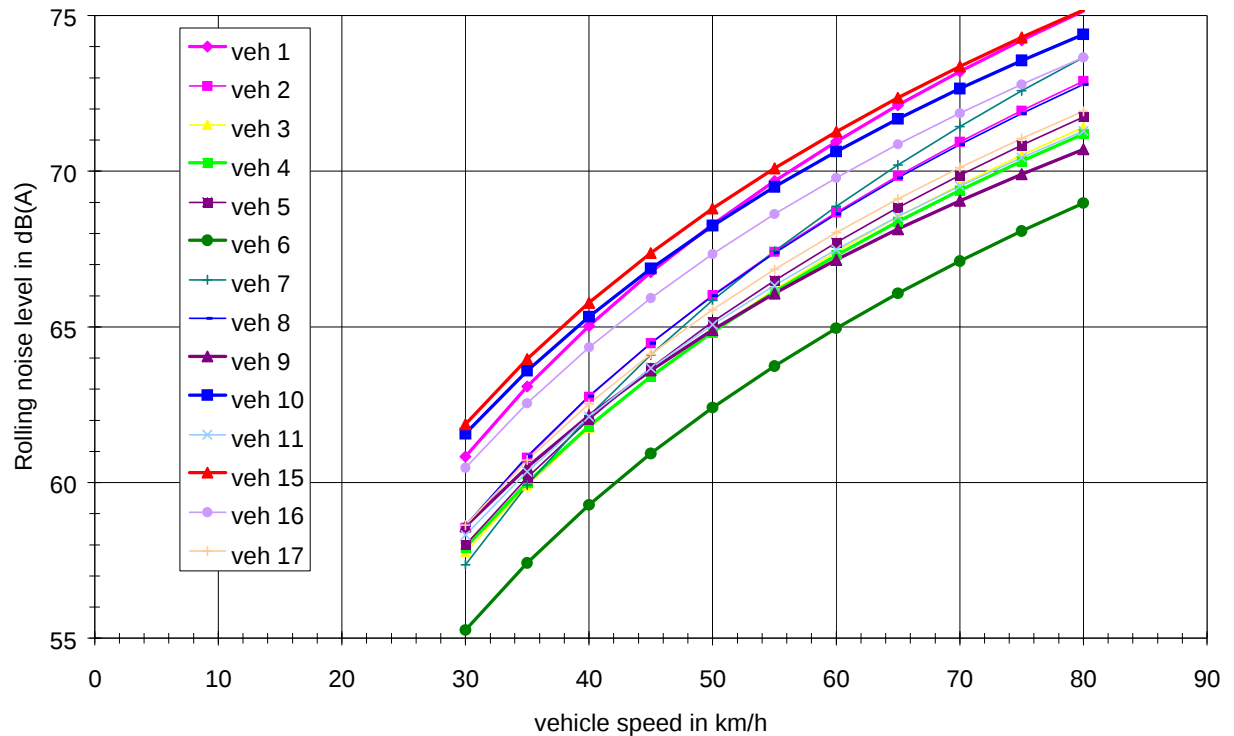


Bild 10: Rollgeräusche der untersuchten Pkw in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit auf ISO-Belag

Veh. No.	2. Gear, v(L,max) in km/h	Result 2. Gear in dB(A)	Optimised rolling noise level in dB(A)	3. Gear, v(L,max) in km/h	Result 3. Gear in dB(A)	Optimised rolling noise level in dB(A)	Average 2./3. Gear in dB(A)	84/372/EEC result with optimised tyres in dB(A)	84/372/EEC result in dB(A)	Percentage of rolling noise on 92/97/EEC result	Type approval level in dB(A)	Noise limit in dB(A)
1	59.5	76.7	66.4	55.3	70.0	65.4	73.3	72	74	18.1%	74	77
2	55.3	83.6	65.4	66.9	72.2	68.1	77.9	71	71	38.1%	70	75
3	66.9	78.4	68.1	58.7	72.2	66.2	75.3	74	74	15.2%	74	74
4	58.7	72.2	66.2	58.1	71.1	66.1	71.7	71	71	28.2%	74	77
5	58.1	71.5	66.1	55.3	68.6	65.4	70.1	69	69	37.1%	71	74
6	55.3	75.6	65.4	58.6	70.7	66.2	73.2	72	72	18.4%	72	74
7	58.6	73.6	66.2	55.6	68.3	65.5	70.9	70	71	30.9%	73	77
8	55.6	75.0	65.5	58.0	70.5	66.1	72.8	72	72	20.0%	75	80
9	58.0	79.9	66.1	54.9	74.4	65.3	77.1	79	79	4.1%	79	82
10	54.9	83.9	65.3	58.9	76.6	66.3	80.2	79	79	3.6%	80	82
11	58.9	73.3	66.3	55.4	69.2	65.4	71.3	70	71	28.8%	69	77
15	55.4	76.7	65.4	56.6	73.1	65.7	74.9	74	74	11.7%	75	74
16	56.6	70.0	65.7	54.9	68.3	65.3	69.1	68	70	43.7%	71	74
17	54.9	74.4	65.3	56.2	68.0	65.6	71.2	70	71	26.8%	70	74

Tabelle 19: Messergebnisse nach Tabelle 17, aber mit optimiertem Rollgeräusch

Veh. No.	2. Gear, result in dB(A)	3. Gear, result in dB(A)	81/334/EEC result in dB(A)	84/372/EEC result in dB(A)	Difference average - 2. Gear in dB(A)
1	76	71	74	74	-2
2	83	71	77	71	-6
3	77	71	74	74	-3
4	71	70	71	71	0
5	71	68	69	69	-2
6	75	69	72	72	-3
7	73	68	71	71	-2
8	74	70	72	72	-2
9	79	73	79	79	-3
10	83	76	79	79	
11	73	69	71	71	-2
15	76	73	74	74	-2
16	71	69	70	70	-1
17	74	68	71	71	-3
				Average	-2.1

Tabelle 20: Gegenüberstellung der Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 sowie nach 81/334/EEC und 84/372/EEC

vehicle number	combustion type	no. of gears	rated power in kW	kerb mass in kg	2. Gear in dB(A)	3. Gear in dB(A)	Result 2. Gear in dB(A)	Result 3. Gear in dB(A)	average 2/3 gear	Difference average - 2. gear
1	petrol	5	29	630	74.0	70.9	73	70	71	-2.0
2	petrol	5	51	780	75.2	72.3	74	71	73	-1.0
3	Diesel	5	62	1235	76.9	71.5	76	71	73	-3.0
4	petrol	5	79	870	81.3	78.3	80	77	79	-1.0
5	petrol	5	120	1180	79.5	77.1	79	76	77	-2.0
6	petrol	5	130	1180	76.5	72.0	76	71	73	-3.0
7	petrol	5	135	1320	79.1	75.0	78	74	76	-2.0
8	petrol	5	221	1500	85.1	78.2	84	77	81	-4.0
9	petrol	4	18	700	76.5	73.4	76	72	74	-2.0
10	petrol	4	25	735	78.0	75.2	77	74	76	-1.0
11	petrol	4	39	815	77.8	76.7	77	76	76	-1.0
12	Diesel	4	44	1375	77.8	73.1	77	72	74	-3.0
13	petrol	4	57	1170	82.4	79.3	81	78	80	-1.0
14	petrol	4	66	1020	79.9	75.0	79	74	76	-3.0
									Average:	-2.1

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 sowie nach 81/334/EEC und 84/372/EEC, Ergebnisse aus 1983 (aus [5])

Eine detailliertere Diskussion der Messergebnisse soll nun an einem Fahrzeug aus Anfang der 70er Jahre (Nr. 10, Geräuschgrenzwert 82 dB(A)), einem Fahrzeug aus Ende der 70er Jahre (Nr. 9, Geräuschgrenzwert 82 dB(A)), einem Fahrzeug Mitte der 90er Jahre (Nr. 1, Geräuschgrenzwert 77 dB(A)), und zwei Fahrzeugen Ende der 90er Jahre (Nr. 5, Benzin und Nr. 16, Diesel, Geräuschgrenzwert 74 dB(A)) erfolgen. Das Fahrzeug aus Ende der 80er Jahre (Nr. 8)

wurde hier nicht berücksichtigt, weil es geräuschkmäßig günstiger als Nr. 1 war. Fahrzeug 10 (Erstzulassung 1972) verhielt sich geräuschkmäßig ähnlich wie Fahrzeug 9.

Die Messergebnisse für die o.g. Fahrzeuge sind in Bild 11 bis Bild 15 zusammengestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur die Ergebnisse in den Gängen 2 und 3 bei Konstantfahrt und bei Vollastbeschleunigung sowie das Rollgeräusch angegeben. Bei den Vollastfahrten wurde die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Pegelmaximums herangezogen. Um Tendenzen besser erkennen zu können, sind die Messergebnisse durch logarithmische Kurven angepasst.

Für das Fahrzeug aus 1972 (Bild 11) liegt das Gesamtgeräusch bei Konstantfahrt im 3. Gang ca. 3 dB(A) über dem Rollgeräusch. Das bedeutet, das Rollgeräusch ist zur Hälfte am Gesamtgeräusch beteiligt. Allerdings muss erwähnt werden, dass das Rollgeräusch am oberen Ende der Bandbreite angesiedelt ist. Bei Konstantfahrt im 2. Gang ist der Abstand zum Rollgeräusch doppelt so hoch; der Rollgeräuschanteil beträgt nur noch 25%. Bei Vollastbeschleunigung im 3. Gang ist der Abstand zur Konstantfahrt 4,5 dB(A) und zum Rollgeräusch 7,5 dB(A). Das Rollgeräusch ist mit 18% am Gesamtergebnis beteiligt, was einem Einfluss von 0,8 dB(A) entspricht. Lediglich bei Vollastfahrt im 2. Gang ist das Rollgeräusch ohne Bedeutung. Die Pegel liegen zwischen 6 und 8 dB(A) über denjenigen der Konstantfahrt im 2. Gang. Zum Zeitpunkt der Zulassung wurde nur das Ergebnis im 3. Gang bei Vollast als Messergebnis herangezogen, da das Fahrzeug über 5 Getriebestufen verfügt. Der Typprüfwert für dieses Fahrzeug ist mit 80 dB(A) angegeben, das Messergebnis ohne Toleranzabzug beträgt 77 dB(A), so dass der Reifeneinfluss ohne Bedeutung war.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich für das Fahrzeug aus 1978 (Bild 12), wobei der Lasteeinfluss (Differenz zwischen Vollast und Konstantfahrt) bei gleicher Geschwindigkeit sogar größer ist als bei Fahrzeug 10.

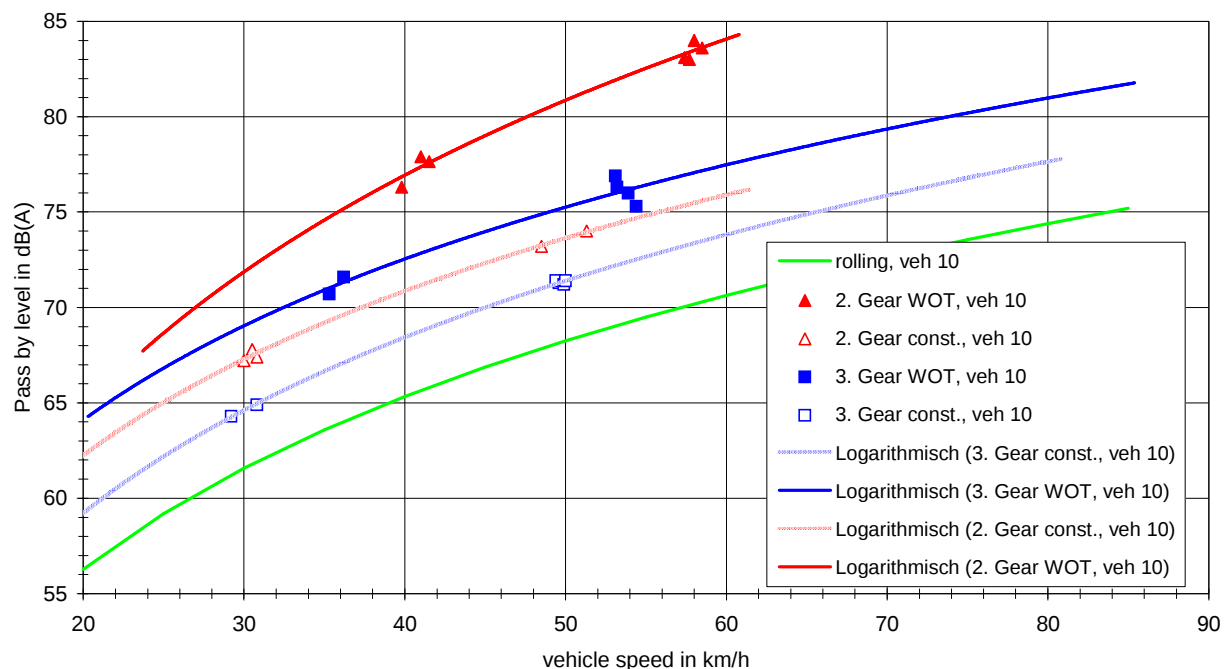


Bild 11: Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 10, Erstzulassung 1972

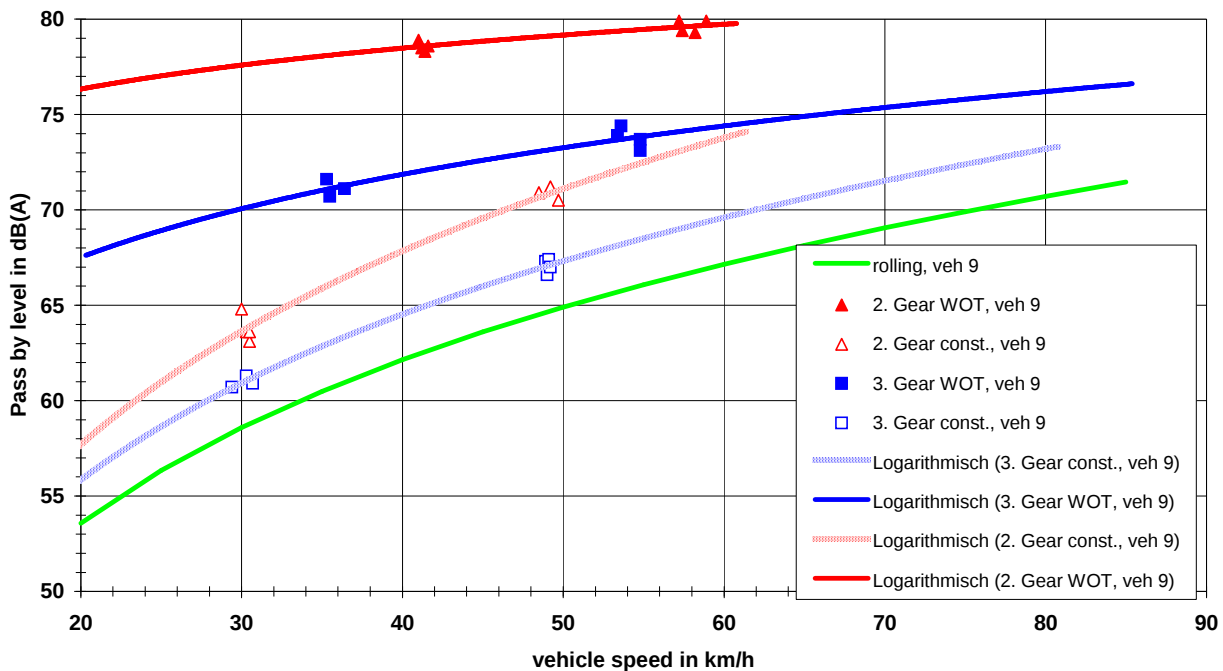


Bild 12: Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 9, Erstzulassung 1978

Für das Fahrzeug aus 1995 ergibt sich ein anderes Bild. Das Messergebnis bei Konstantfahrt im 3. Gang ist nahezu identisch mit dem Rollgeräusch (Bild 13). Selbst bei Volllast liegt es in diesem Gang nur um 1,5 dB(A) über dem Rollgeräusch, womit der Anteil des Rollgeräusches 70% beträgt. Allerdings hatte dieses Fahrzeug laute Reifen. Bei heute für die Typprüfung üblicherweise verwendeten Reifen wäre der Rollgeräuschanteil nur 46%, das Messergebnis im 3. Gang fiel dadurch allerdings auch 2,7 dB(A) geringer aus.

Die Geräuschentwicklung bei Konstantfahrt im 2. Gang ist nur unwesentlich höher als bei Volllast im 3. Gang, also dominiert auch hier das Rollgeräusch. Bei Verwendung von Typprüfreifen wäre das Geräusch bei Konstantfahrt im 2. Gang 2 dB(A) geringer, läge aber 5 dB(A) über dem Rollgeräusch. Der Lasteinfluss ist erheblich geringer als bei den zuvor besprochenen Fahrzeugen.

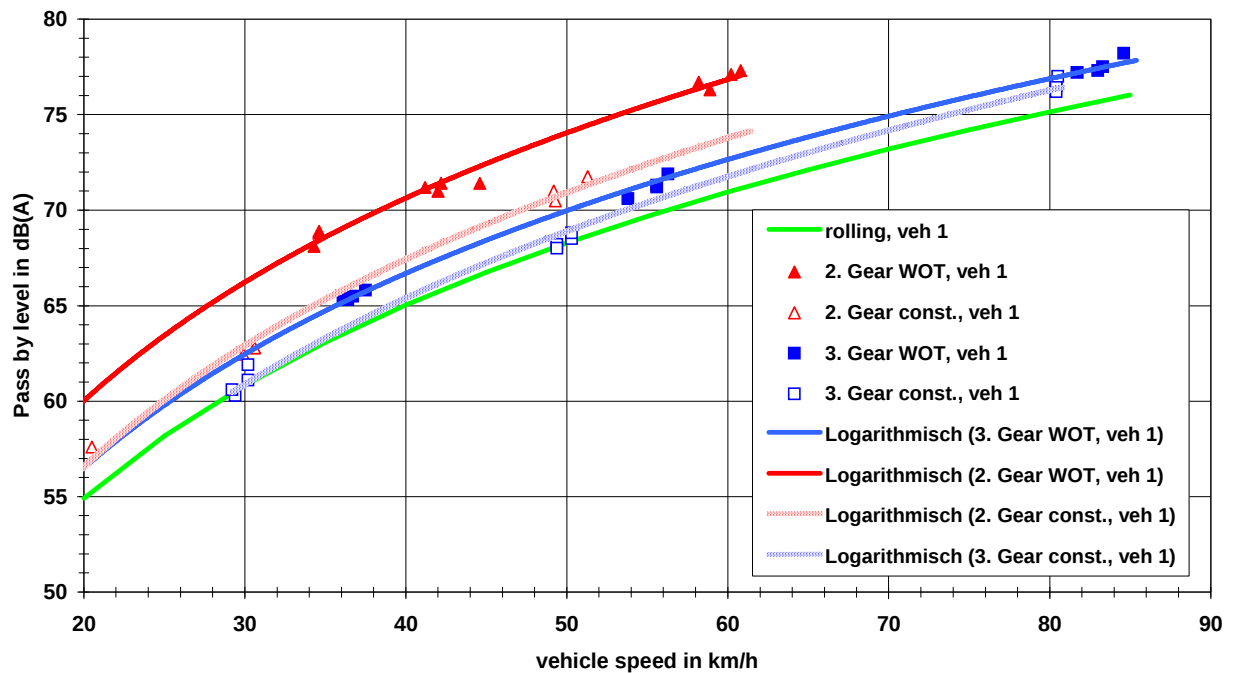


Bild 13: Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 1, Erstzulassung 1995

Ähnliches gilt für das Fahrzeug aus 1997 mit Benzinmotor, wobei allerdings die Rollgeräusche 3,5 dB(A) niedriger ausfallen als beim Fahrzeug zuvor und damit einem Typprüfreifen schon sehr nahe kommen (Bild 14).

Beim Diesel-Fahrzeug aus 1999 ist die gesamte Geräuscentwicklung vom Rollgeräusch dominiert, allerdings ebenfalls bei einem recht lauten Reifen (Bild 15). Selbst bei Verwendung von Typprüfreifen ist das Rollgeräusch am Messergebnis für die Typprüfung mit 44% beteiligt (vgl. Tabelle 19).

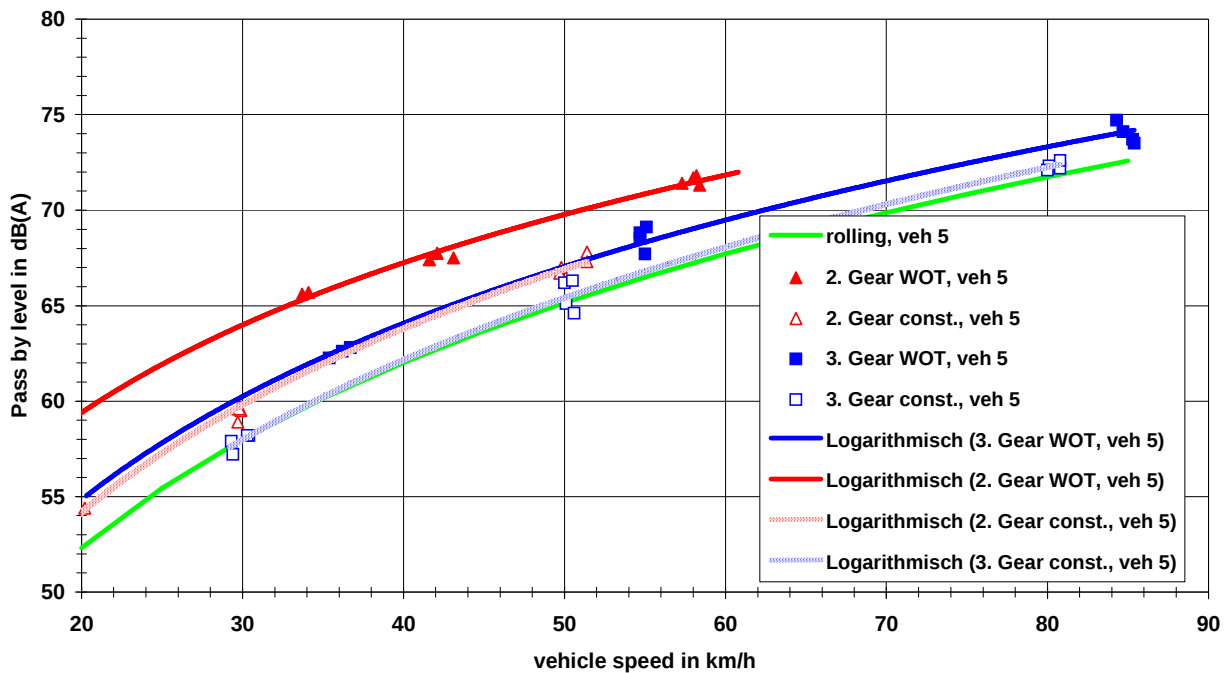


Bild 14: Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 5, Erstzulassung 1997

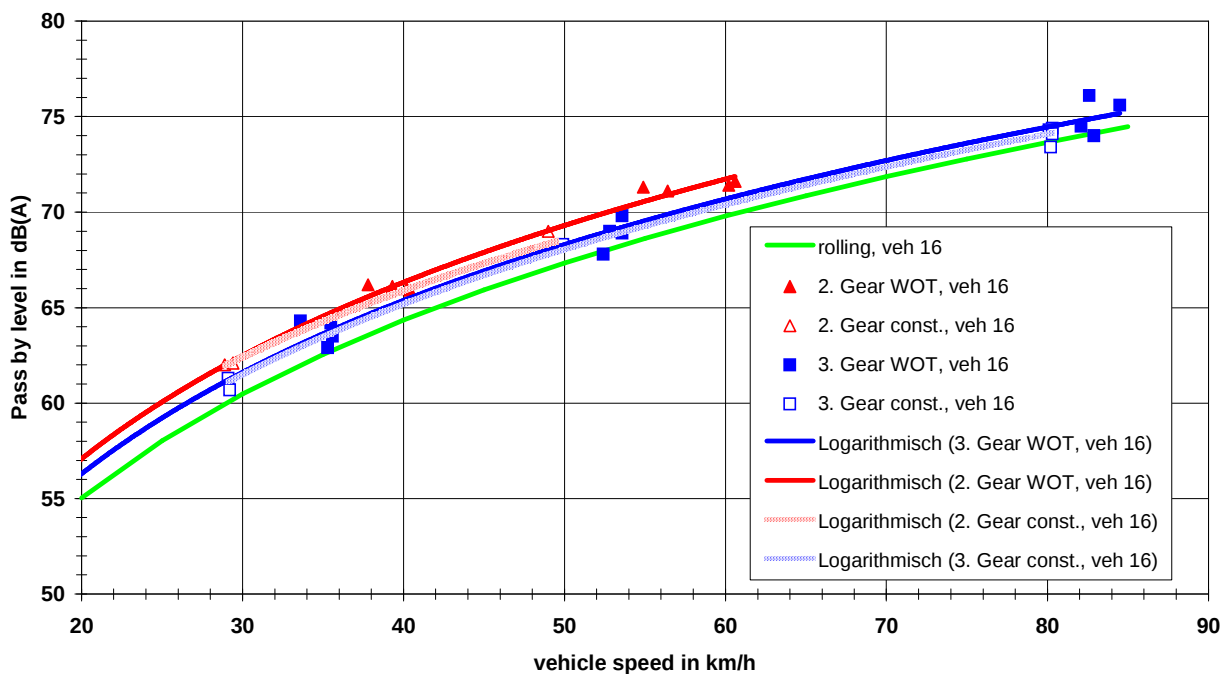


Bild 15: Messergebnisse in den Gängen 2 und 3 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 16, Erstzulassung 1999

Die Messergebnisse bei Volllast im 2. Gang und bei Konstantfahrt im 3. Gang sind in Bild 16 und Bild 17 noch einmal für die Fahrzeuge 10, 9, 1, 5 und 16 vergleichend gegenübergestellt. Die Ergebnisse der hier nicht gezeigten, wesentlich leistungsstärkeren Fahrzeuge 11 und 17 entsprechen denjenigen von Fahrzeug 5.

Bild 16 verdeutlicht eindrucksvoll die Wirkung der Grenzwertsenkungen im Rahmen der Typprüfung. Die Geräuschentwicklung bei Volllast ist für heutige Fahrzeuge um 8 bis 12 dB(A) geringer als bei Fahrzeugen aus den Anfängen der Geräuschbegrenzung. Da aber im praktischen Betrieb vornehmlich bei Teillast beschleunigt wird, sind die Geräuschunterschiede in der Praxis geringer als in Bild 16.

Noch geringer sind die Geräuschunterschiede mit weniger als 7 dB(A) bei Konstantfahrt (Bild 17). Dies ist der Grund, warum die Geräuschentwicklung im praktischen Betrieb nur geringfügig zurückgegangen ist. Die Unterschiede im Rollgeräusch (Bild 18) bewirken sogar, dass das Fahrzeug aus 1978 bei Konstantfahrt leiser ist als das aus 1995.

Um die Beiträge der Antriebsgeräusche an den Gesamtgeräuschen abschätzen zu können, wurden die Rollgeräuschpegel von den Gesamtgeräuschpegeln logarithmisch subtrahiert. Diese Methode liefert allerdings nur dann belastbare Ergebnisse, wenn der Abstand zwischen Gesamt- und Rollgeräusch mindestens 2 dB(A) beträgt. Diese Bedingung war nur für die Volllastfahrten im 2. und 3. Gang sowie für die Konstantfahrten im 2. Gang erfüllt. In Bild 19 und Bild 20 sind die Ergebnisse in Abhängigkeit von der auf die Nenndrehzahl normierten Motordrehzahl jeweils für Volllast- und Konstantfahrten dargestellt. Die Unterschiede zwischen „neuen“ und „alten“ Fahrzeugen sind bei Konstantfahrt im Antriebsgeräusch größer als im Gesamtgeräusch.

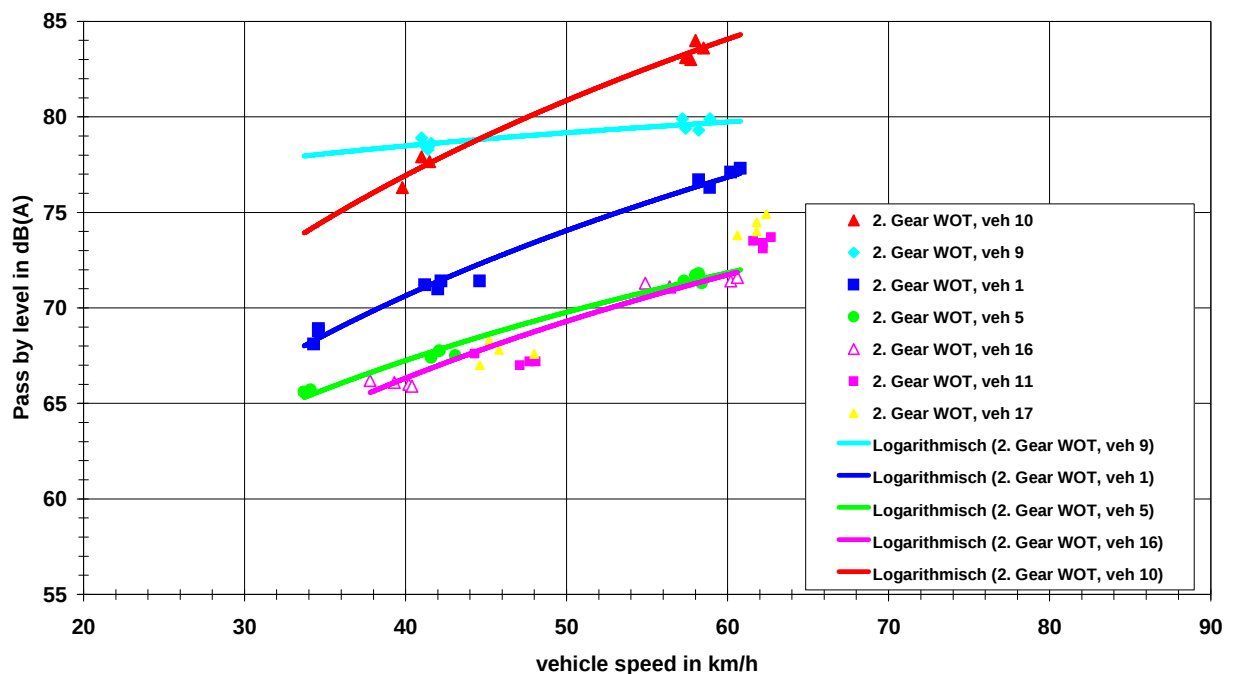


Bild 16: Messergebnisse bei Volllast im 2. Gang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeuge 10 (EZ 1972), 9 (EZ 1978), 1, (EZ 1995), 5 (EZ 1997) und 16 (EZ 1999)

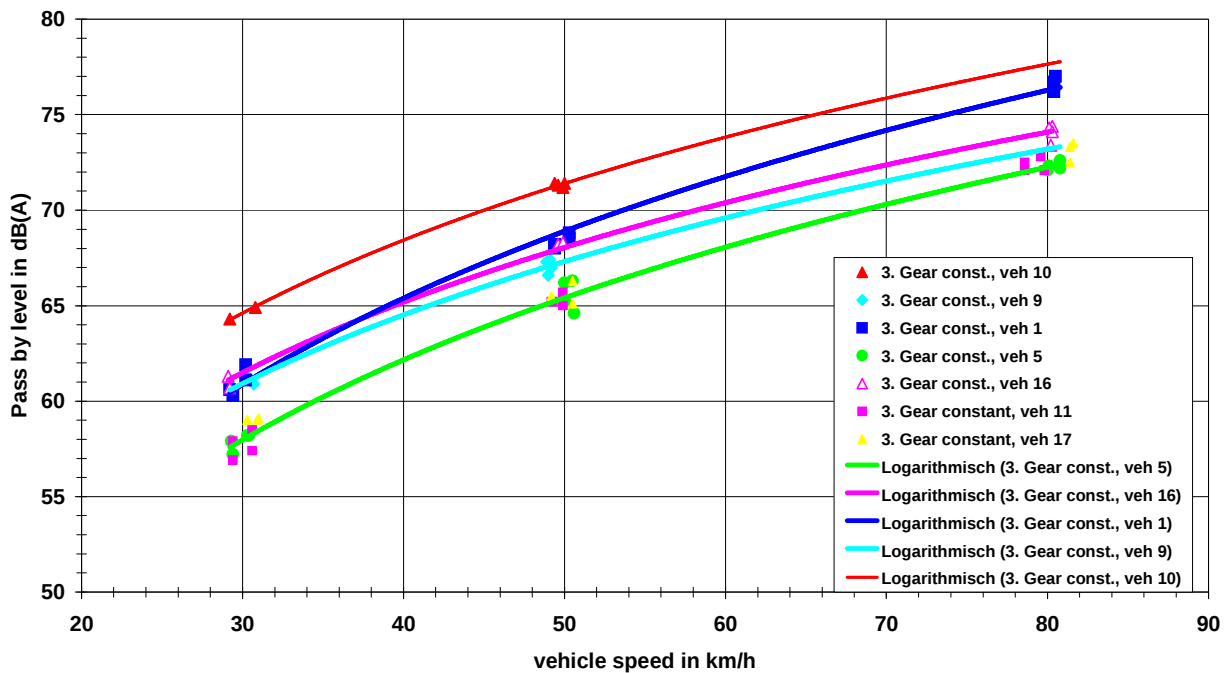


Bild 17: Messergebnisse bei Konstantfahrt im 3. Gang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeuge 10 (EZ 1972), 9 (EZ 1978), 1, (EZ 1995), 5 (EZ 1997) und 16 (EZ 1999)

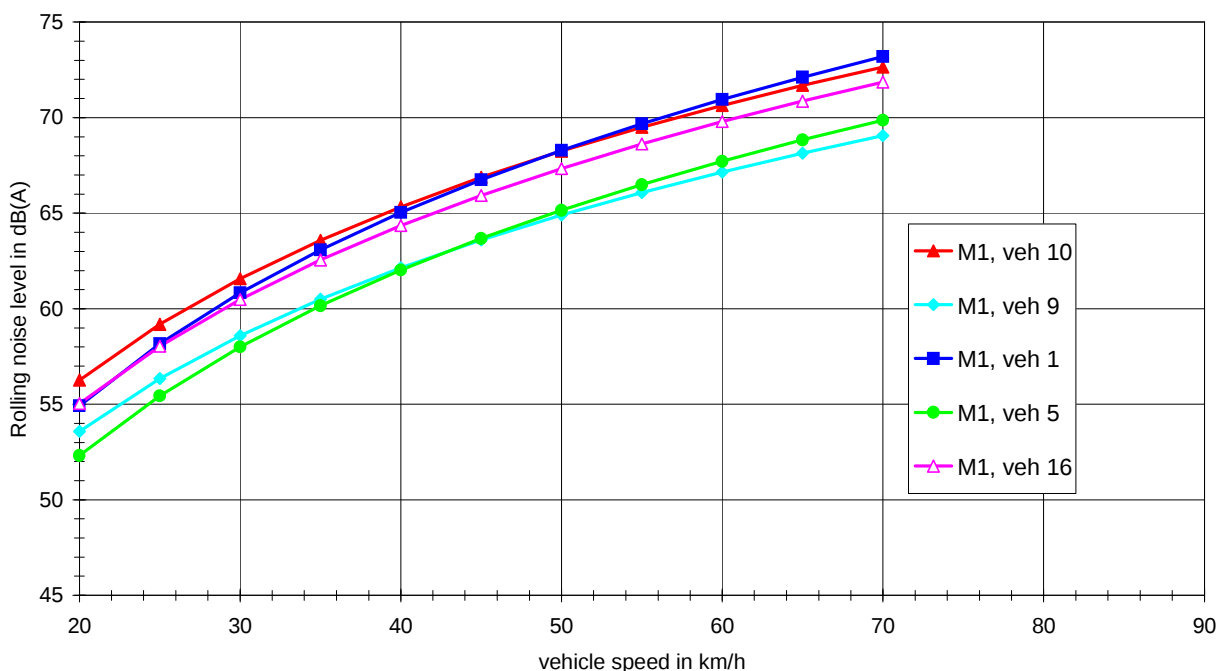


Bild 18: Rollgeräuschpegel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeuge 10 (EZ 1972), 9 (EZ 1978), 1, (EZ 1995), 5 (EZ 1997) und 16 (EZ 1999)

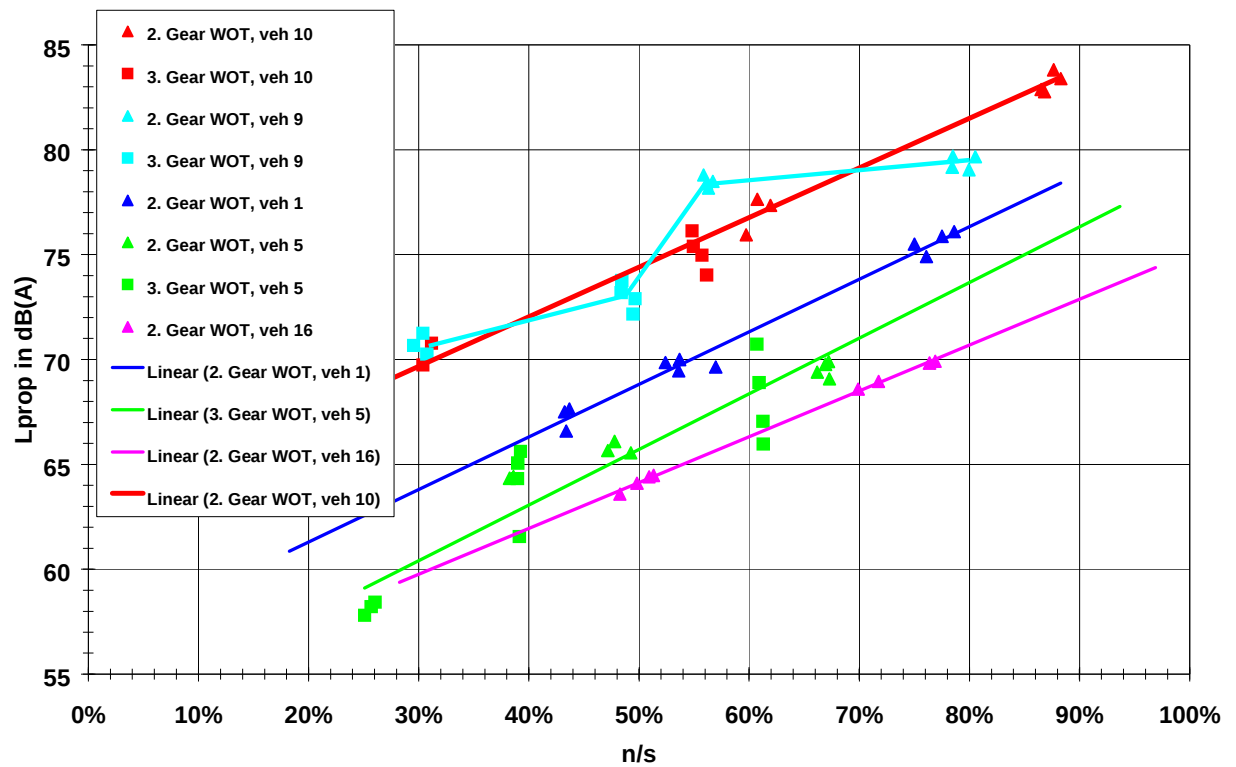


Bild 19: Antriebsgeräuschpegel in Abhängigkeit von der normierten Drehzahl bei Vollast, Fahrzeuge 10 (EZ 1972), 9 (EZ 1978), 1, (EZ 1995), 5 (EZ 1997) und 16 (EZ 1999)

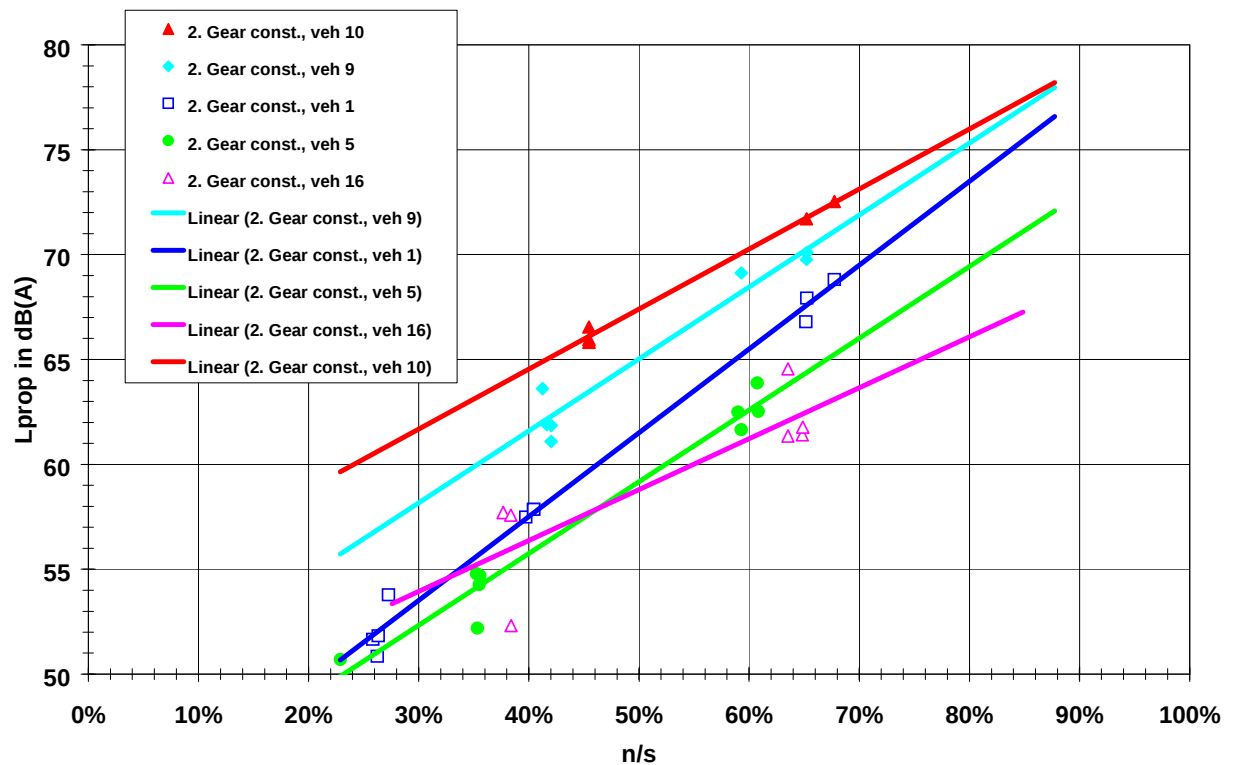


Bild 20: Antriebsgeräuschpegel in Abhängigkeit von der normierten Drehzahl bei Konstantfahrt, Fahrzeuge 10 (EZ 1972), 9 (EZ 1978), 1, (EZ 1995), 5 (EZ 1997) und 16 (EZ 1999)

Bei Volllast steigen die Antriebsgeräuschpegel mit etwa 2,5 dB(A) je 10% Drehzahlerhöhung an, bei Konstantfahrt ist der Anstieg mit 3,4 dB(A) je 10% Drehzahlerhöhung etwas größer. Dies bedeutet, dass der Lasteinfluss (oder die Pegelerhöhung bei Motorbelastung gegenüber dem unbelasteten oder gering belasteten Motor (Konstantfahrt) bei niedrigen Drehzahlen höher ist als bei hohen Drehzahlen. Allerdings gibt es je nach Fahrzeug signifikante Abweichungen von den genannten Werten, insbesondere, wenn Sound Design Maßnahmen eingesetzt werden.

Bild 21 zeigt den Anteil der Rollgeräusche am Gesamtgeräusch in den Gängen 2 und 3 bei Volllast und Konstantfahrt als Mittelwerte über alle in den jeweiligen Betriebszuständen gefahrenen Geschwindigkeiten. Diese Vereinfachung ist zulässig, da die Geschwindigkeitsabhängigkeit nicht besonders groß und nicht einheitlich ist. Bei Konstantfahrt im 3. Gang dominieren die Rollgeräusche das Gesamtergebnis mit Ausnahme des ältesten Fahrzeugs und des als Pkw zugelassenen leichten Nutzfahrzeugs. Ab Zulassungsjahr 1993 ist kein Alterseinfluss erkennbar.

Für die Konstantfahrt im 2. Gang ist der Rollgeräuscheinfluss deutlich geringer, aber selbst hier wird das Gesamtgeräusch bei fünf Fahrzeugen vom Rollgeräusch dominiert, obwohl letzteres in drei dieser Fälle am unteren Rand der Streubreite angesiedelt ist.

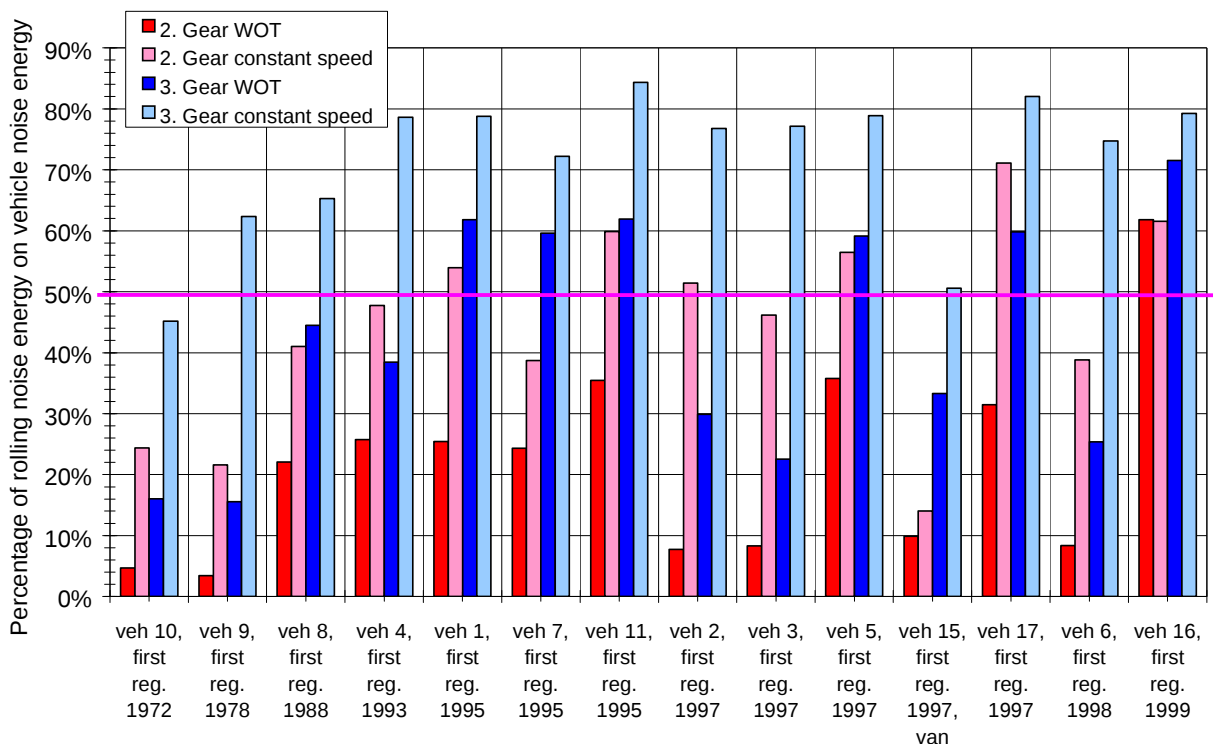


Bild 21: Rollgeräuschanteil am Gesamtgeräusch für Volllast- und Konstantfahrten in den Gängen 2 und 3 (Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse die individuellen Kombinationen von Fahrzeug und Reifen wiedergeben, wobei Roll- und Antriebsgeräusch gleichzeitig variieren.)

Für Volllastfahrten im 3. Gang ist der Rollgeräuscheinfluss im Mittel über alle Fahrzeuge zwar etwas geringer als bei Konstantfahrt im 2. Gang, jedoch ist die Varianz zwischen den Fahrzeu-

gen deutlich größer. Beispielsweise ist im 3. Gang Vollast die Zahl der Fahrzeuge, bei denen das Rollgeräusch dominiert, deutlich größer. Im 2. Gang Vollast dominieren erwartungsgemäß die Antriebsgeräusche, aber es gibt immerhin ein neueres Fahrzeug, bei dem selbst in diesem Betriebszustand das Rollgeräusch dominiert. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass die Rollgeräusche dieses Fahrzeugs in der oberen Hälfte der Streubreite liegen. Mit Typprüfreifen würden auch bei diesem Fahrzeug die Antriebsgeräusche überwiegen.

Im Hinblick auf „worst case“ Beschleunigungsvorgänge im praktischen Betrieb ist auch ein Vergleich der Ergebnisse bei Vollastbeschleunigung im 2. Gang aus 30 km/h und im 3. Gang aus 50 km/h von Interesse. Diese sind in Bild 22 für alle Pkw zusammengestellt. Neben dem Gesamtgeräuschpegel ist jeweils auch der zugehörige Rollgeräuschpegel dargestellt.

Gemittelt über alle Fahrzeuge unterscheiden sich die Ergebnisse im 2. Gang aus 30 km/h und im 3. Gang aus 50 km/h im Gesamtgeräuschpegel nur um 0,1 dB(A), jedoch variieren die Unterschiede zwischen 2. und 3. Gang beim einzelnen Fahrzeug von -3,3 dB(A) bis +5 dB(A). Zu den „lauten“ Fahrzeugen (Geräuschpegel in beiden Gängen 72 dB(A) oder höher) zählen erwartungsgemäß die beiden ältesten (Nr. 10, 9) und das als Pkw zugelassene leichte Nutzfahrzeug (Nr. 15), aber auch zwei leistungsstarke Fahrzeuge aus 1997. Zu den „leisen“ Fahrzeugen (Geräuschpegel in beiden Gängen 69 dB(A) oder geringer) zählen ein Kompaktwagen (Nr. 7) und eine große Reiselimousine (Nr. 11) aus 1995 sowie zwei leistungsstarke Fahrzeuge aus 1997 (Nr. 5, 17). Fahrzeug Nr. 16 würde mit leiseren Reifen ebenfalls dazugehören. Die Korrelation mit den Typprüfwerten ist nur schwach (Bild 23)

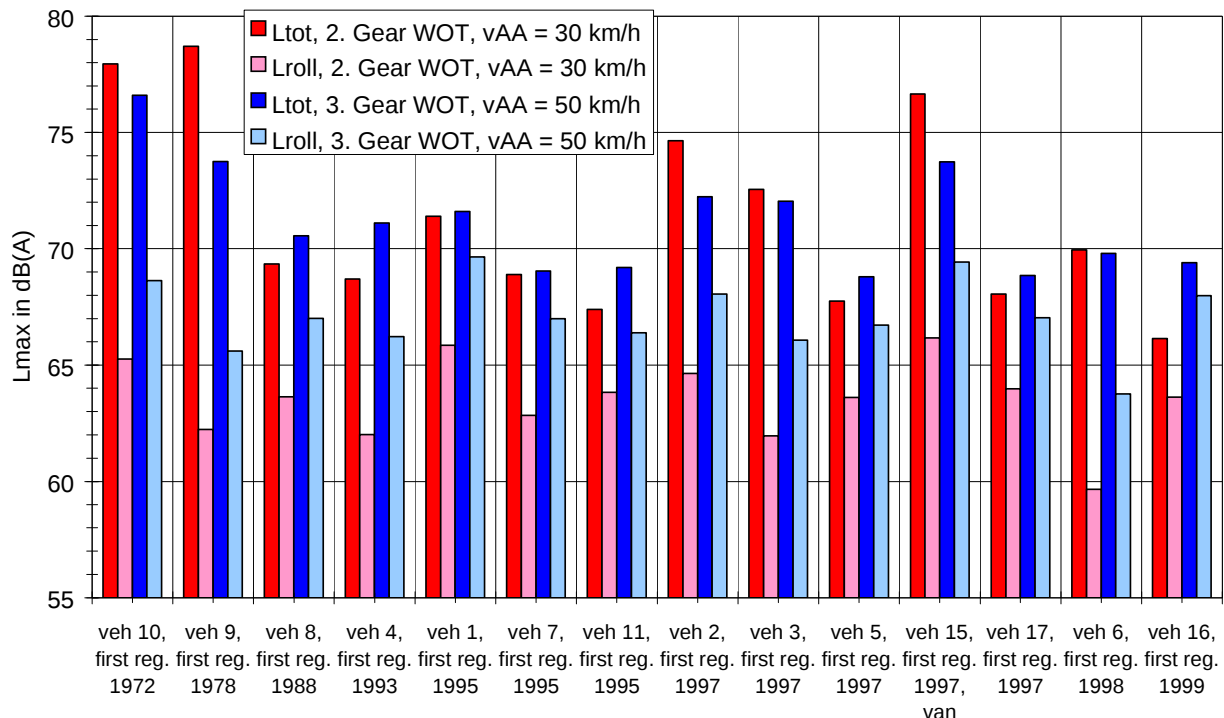


Bild 22: Gesamtgeräusch- und Rollgeräuschpegel für Beschleunigungsvorgänge mit Vollast im 2. Gang aus 30 km/h und im 3. Gang aus 50 km/h

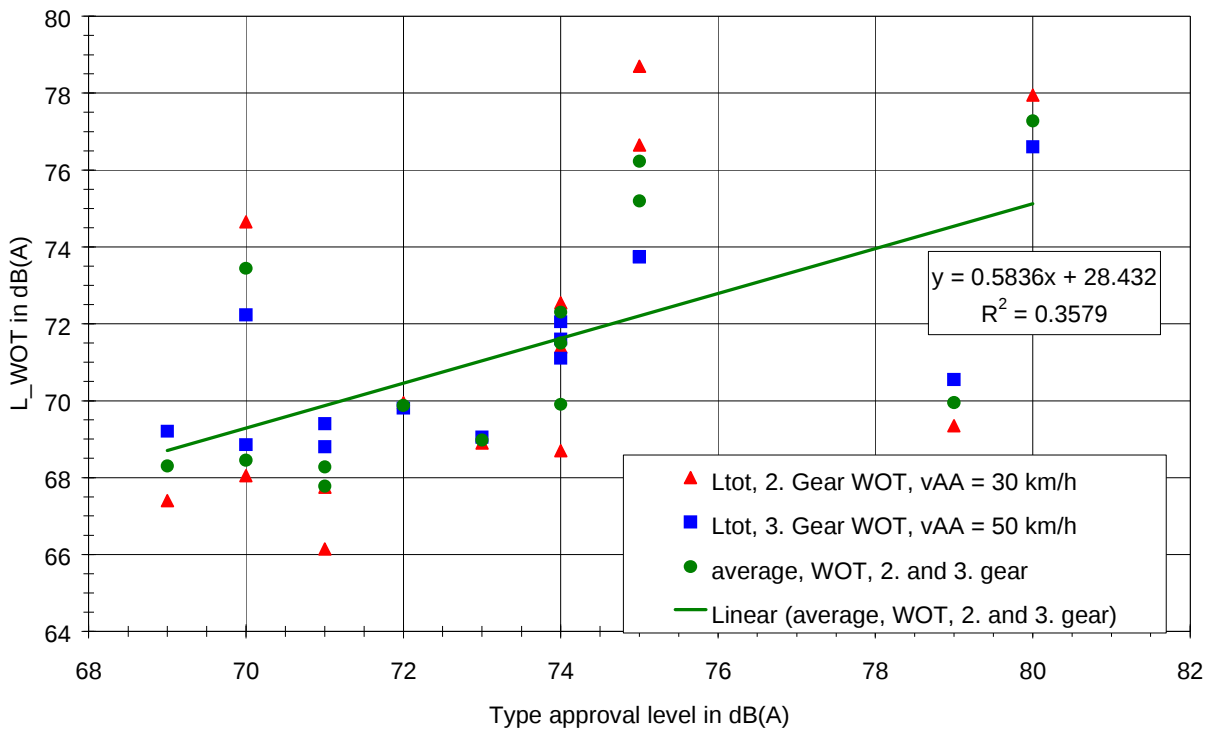


Bild 23: Messergebnisse für Vollastbeschleunigungen im 2. und 3. Gang in Abhängigkeit vom im Fahrzeugschein eingetragenen Typprüfwert

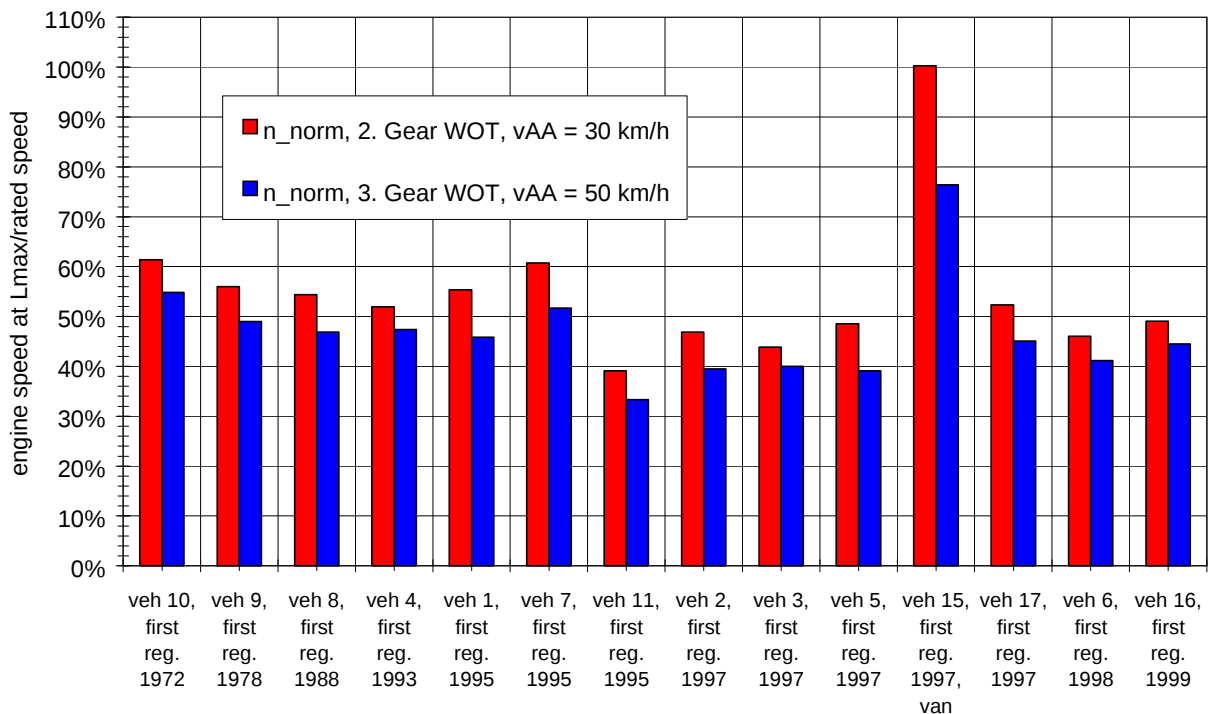


Bild 24: Zum Maximalpegel zugehörige normierte Drehzahlen für Beschleunigungsvorgänge mit Vollast im 2. Gang aus 30 km/h und im 3. Gang aus 50 km/h

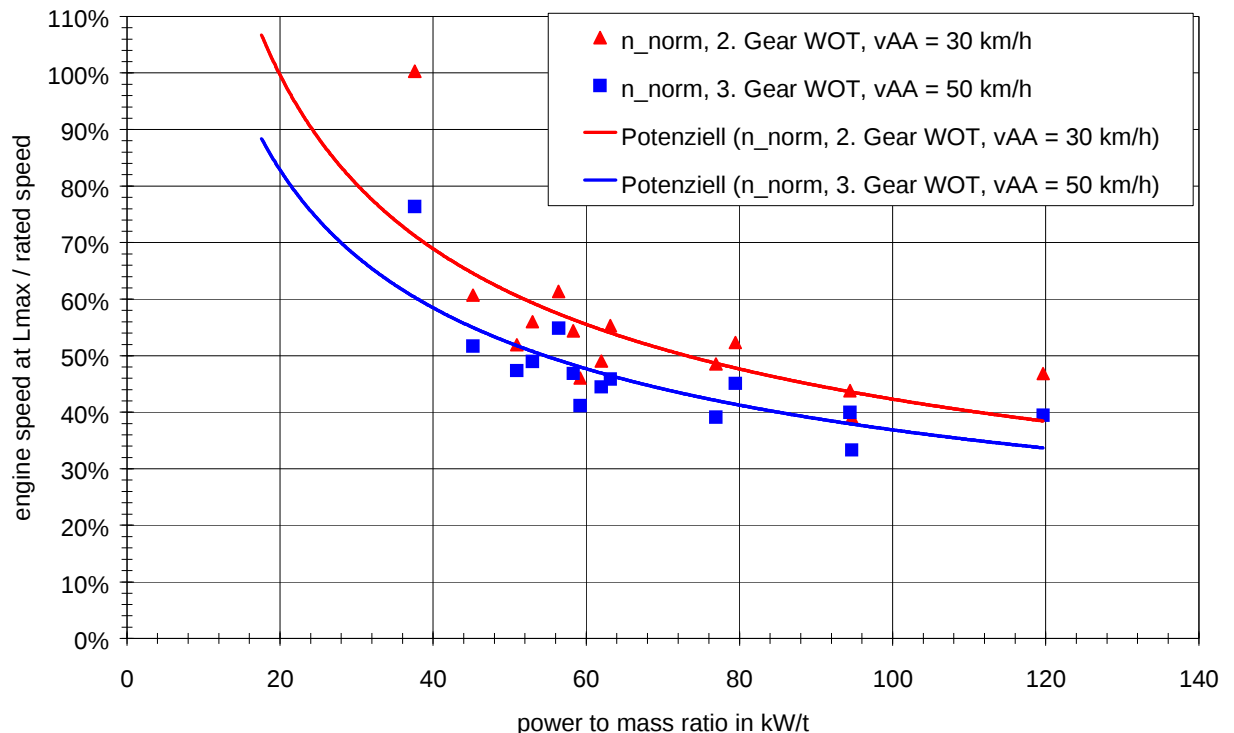


Bild 25: Zum Maximalpegel zugehörige normierte Drehzahlen für Beschleunigungsvorgänge mit Volllast im 2. Gang aus 30 km/h und im 3. Gang aus 50 km/h in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht

Bild 24 zeigt die den Maximalpegeln aus Bild 22 zugehörigen, auf die Nenndrehzahl normierten Drehzahlen. Wenn man das als Pkw zugelassene leichte Nutzfahrzeug wegen seiner unterschiedlichen Antriebstrangauslegung unberücksichtigt lässt, sind die Streuungen zwischen den Fahrzeugen relativ gering. Sie lassen sich im übrigen überwiegend durch Unterschiede im Leistungsgewicht (Bild 25) erklären. Weitere Einflussfaktoren sind das Alter und die Nenndrehzahl.

4.2.1.3 Vergleich der Ergebnisse mit Absolutdämpfern

In Bild 26 bis Bild 29 sind die Geräuschemissionen der untersuchten Fahrzeuge im 2. Gang in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Die Bezeichnung „asag“ kennzeichnet die Ergebnisse mit Zusatzschalldämpfern für Ansaug- und Abgasgeräusch. Roll- und Antriebsgeräusche ohne Motorbelastung (berechnet aus den Standgeräuschen) sowie das sich daraus ergebende Gesamtgeräusch sind zum Vergleich zusätzlich eingetragen. Für den Vergleich wurden Fahrzeuge mit unterschiedlichem Verhältnis von Antriebsgeräusch zu Rollgeräusch ausgewählt. Bei Fahrzeug 11 und Fahrzeug 16 halten sich Antriebs- und Rollgeräusch im Geschwindigkeitsbereich unter 60 km/h etwa die Waage, bei Fahrzeug 17 dominieren sogar die Reifengeräusche, während bei Fahrzeug 15 erwartungsgemäß das Antriebsgeräusch klar überwiegt.

Bei voller Motorbelastung ergeben sich für die Fahrzeuge 11, 15 und 16 nur geringfügige Pegelerhöhungen gegenüber Konstantfahrt, bei Fahrzeug 17 beträgt die Erhöhung ca. 3 dB(A).

Ein Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Zusatzschalldämpfer macht deutlich, dass die Ansaug- und Auspuffgeräusche nur geringe Anteile am Gesamtgeräusch aufweisen.

In Bild 30 bis Bild 33 sind gleichartige Ergebnisse für den 3. Gang dargestellt. Selbst bei Fahrzeug 15 überwiegen bei Konstantfahrt zwischen 30 km/h und 70 km/h die Rollgeräusche. Wegen des linearen Anstiegs der Antriebsgeräusche ergibt sich für sehr hohe Geschwindigkeiten ein umgekehrtes Bild. Dann überwiegen die Antriebsgeräusche die Rollgeräusche. Der „Umkehrpunkt“ liegt für Fahrzeug 11 bei 130 km/h, für Fahrzeug 15 bei 85 km/h, bei den anderen beiden Fahrzeugen liegt er außerhalb des dargestellten Geschwindigkeitsbereiches. Allerdings wird der 3. Gang bei diesen Geschwindigkeiten in der Praxis kaum verwendet. Im 5. Gang dominieren die Rollgeräusche bis hin zur Höchstgeschwindigkeit.

Die Lastbedingten Pegelerhöhungen betragen im 3. Gang maximal 2 dB(A).

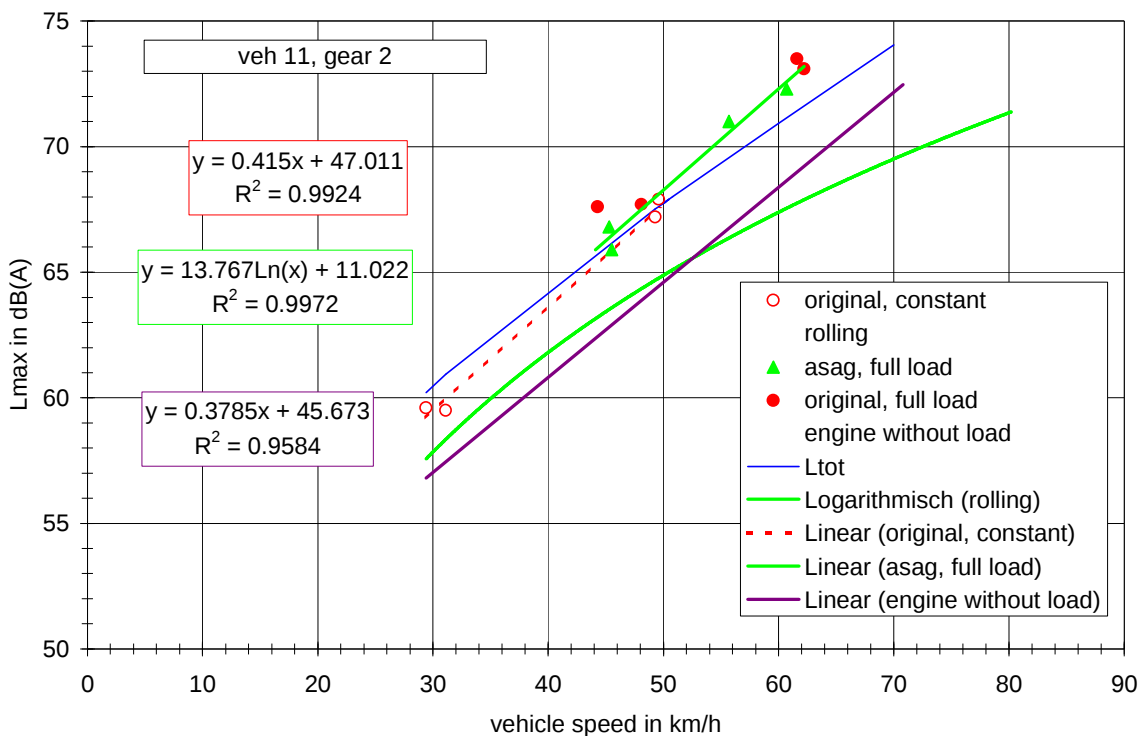


Bild 26: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 11 (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

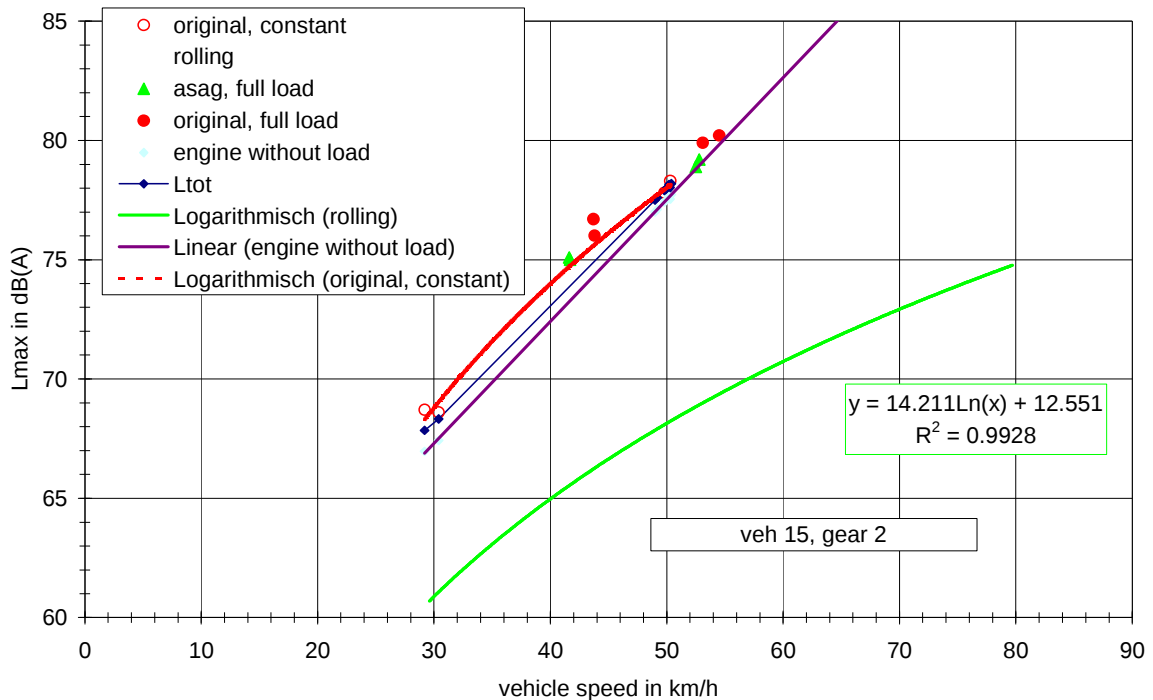


Bild 27: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 15. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

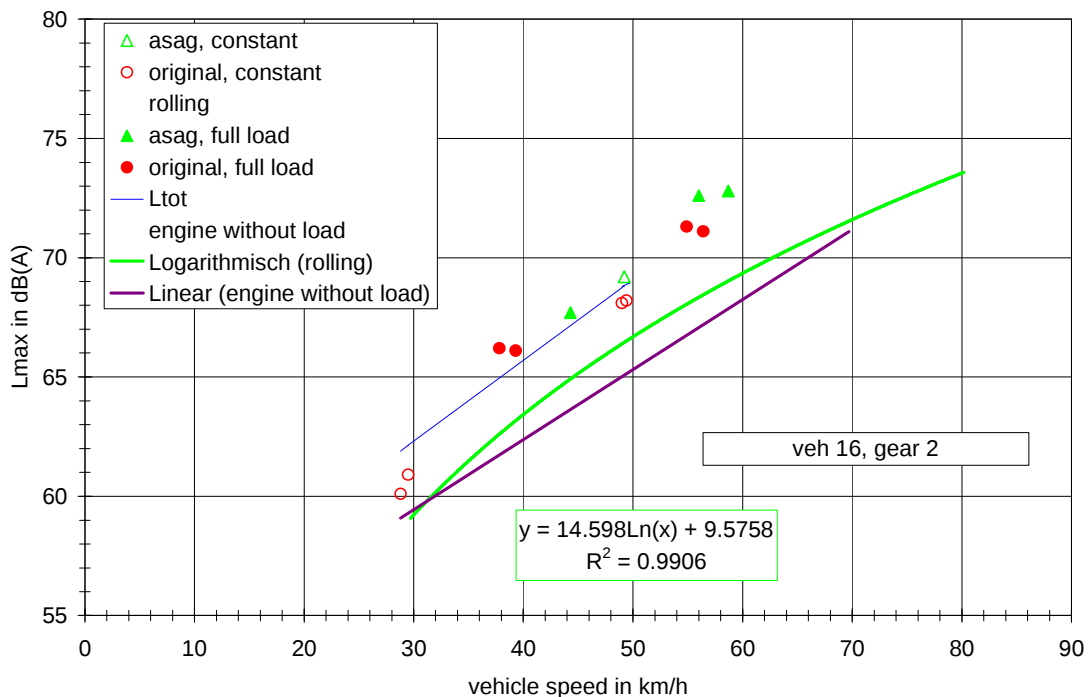


Bild 28: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 16. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden. Wenn das Auspuffmündungsgeräusch für das Gesamtgeräusch keine Rolle spielt, können die Werte für „asag“ im Rahmen der Messgenauigkeit geringfügig über denen im Originalzustand liegen.)

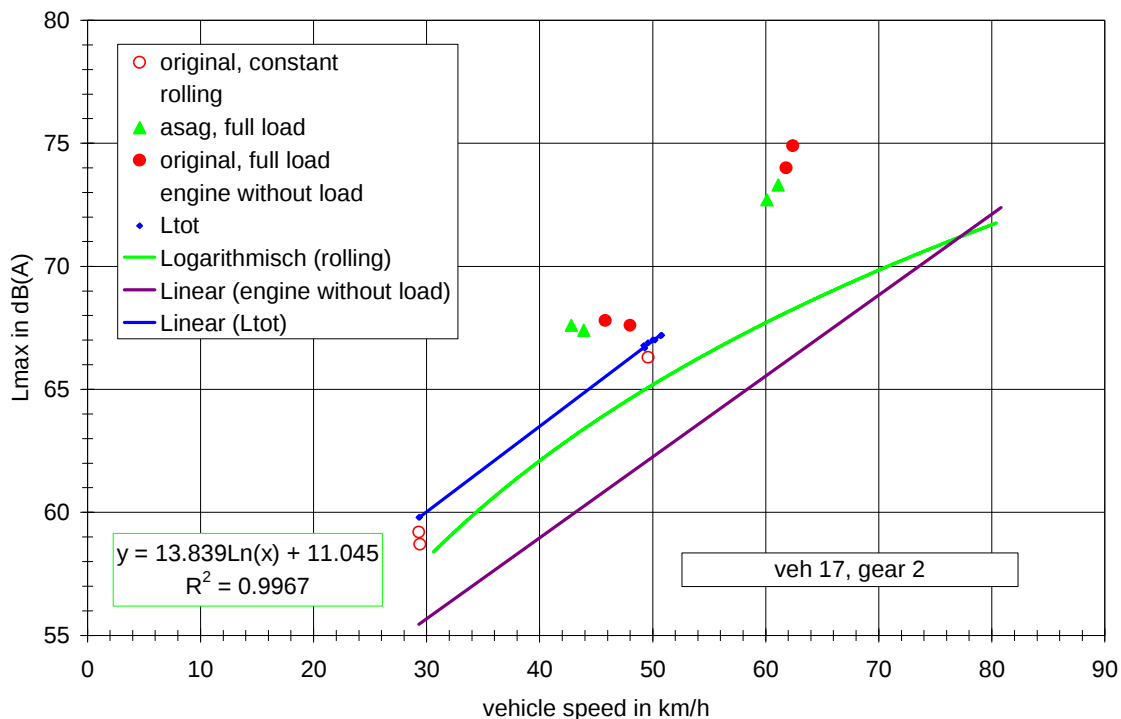


Bild 29: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 17. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

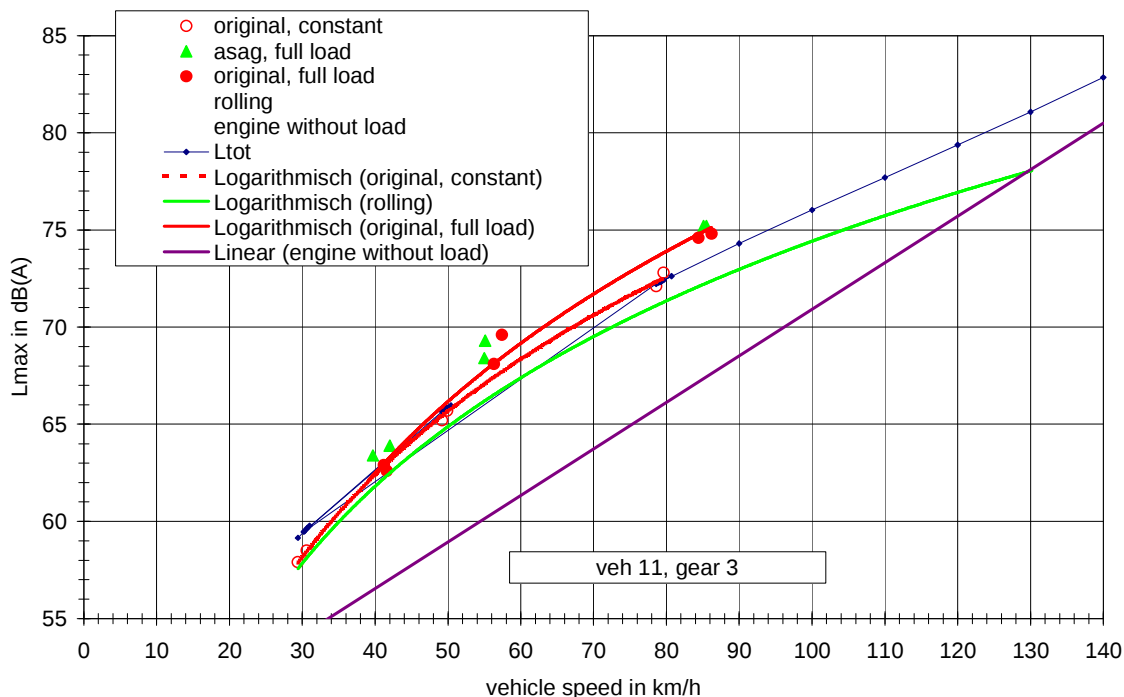


Bild 30: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 11. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

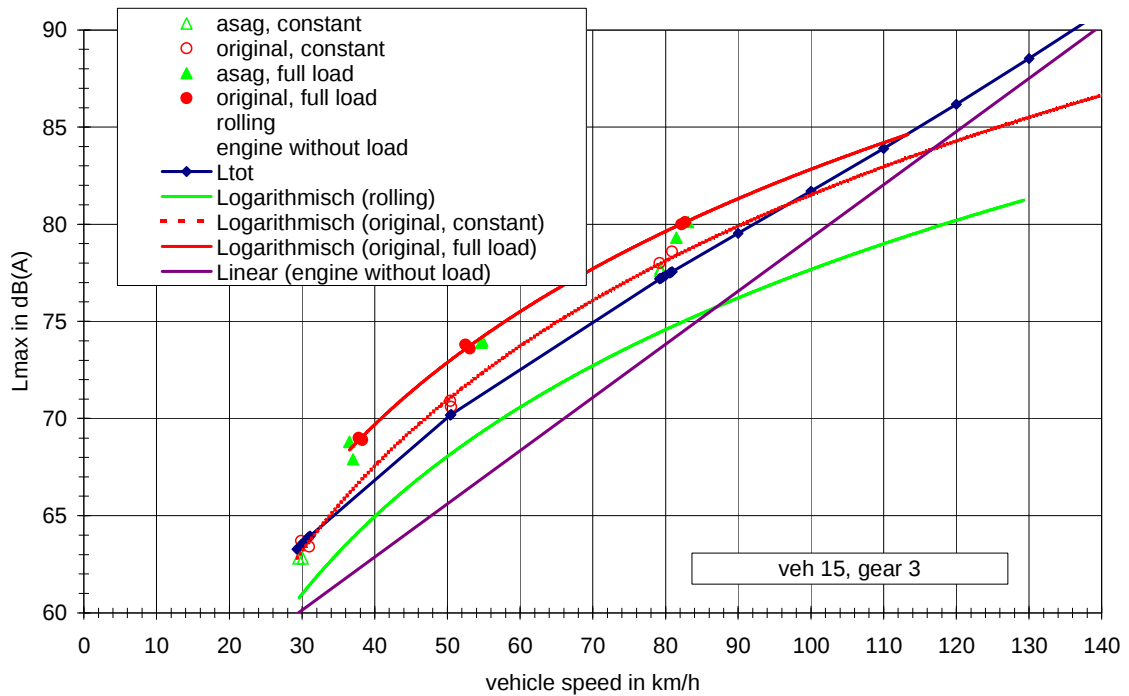


Bild 31: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 15. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

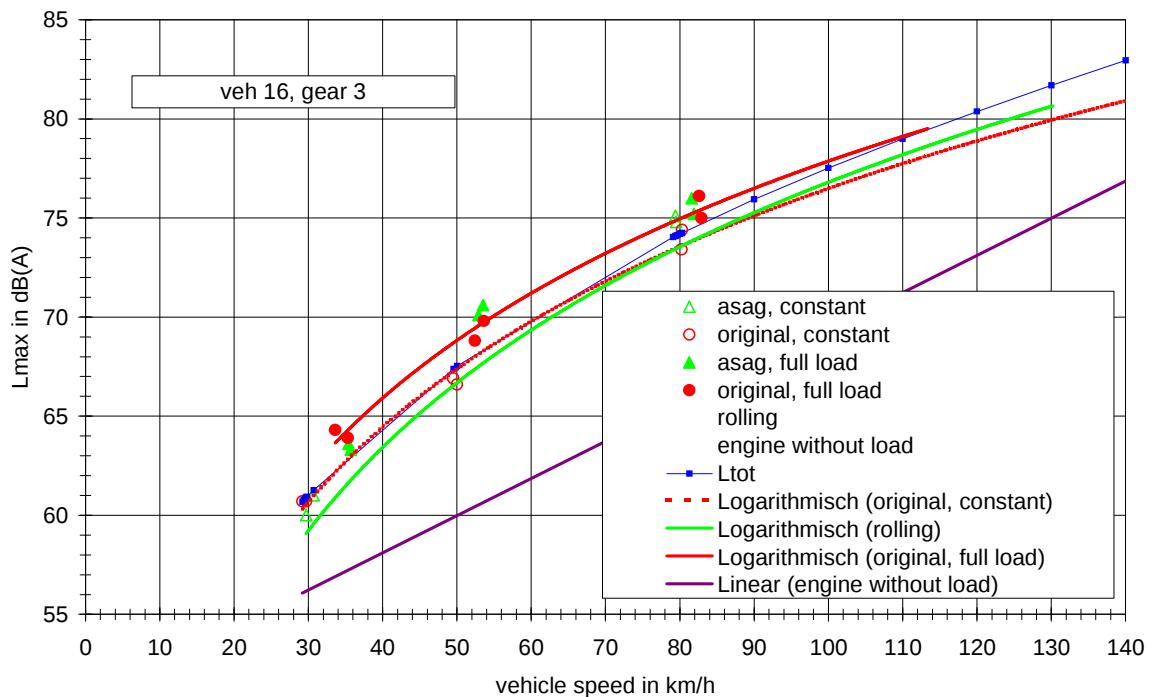


Bild 32: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 16. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

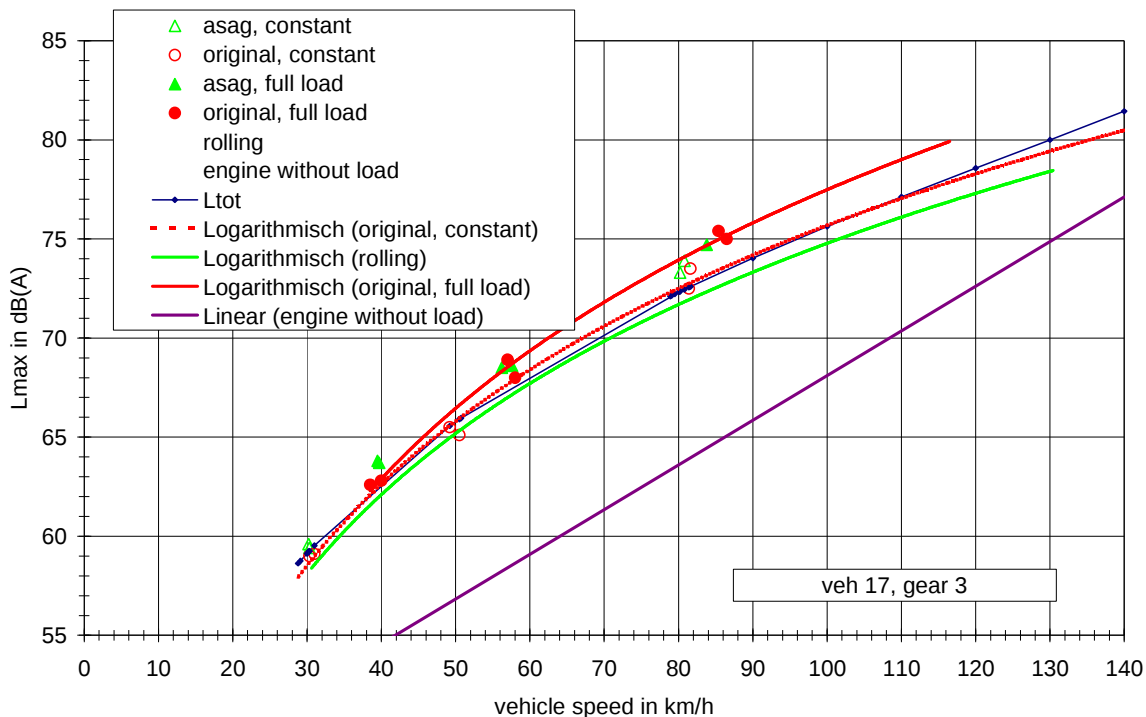
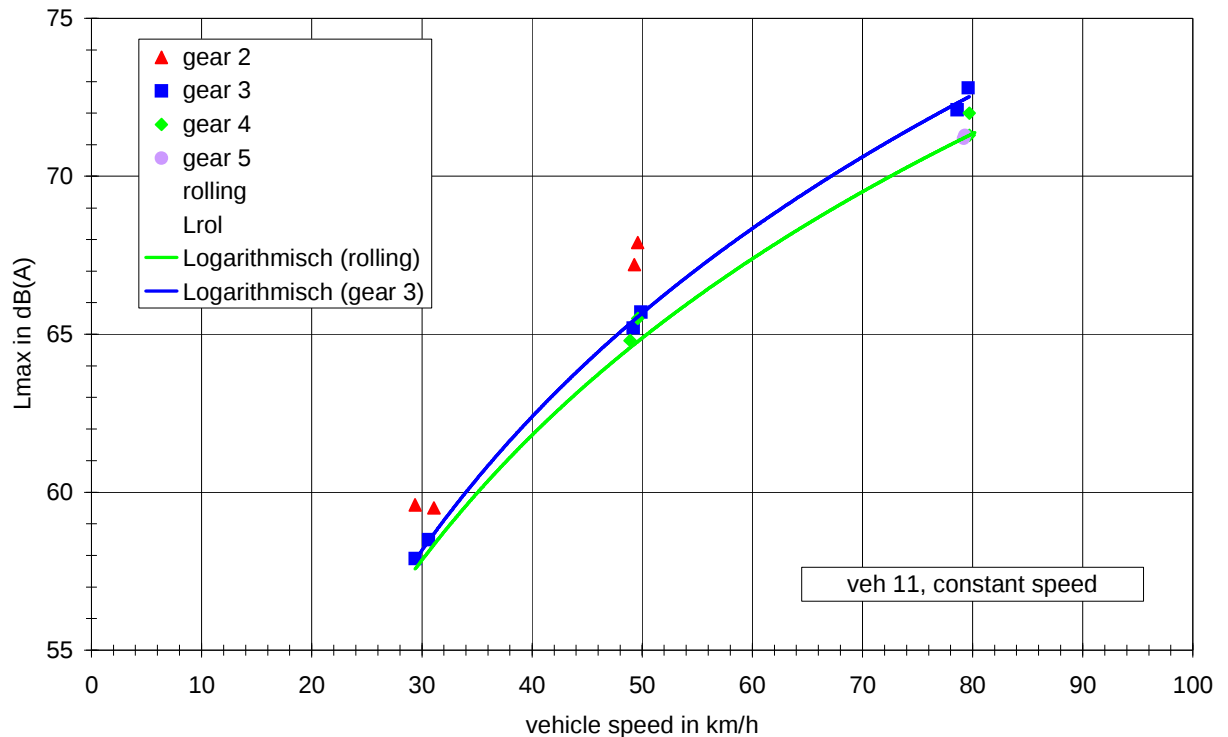
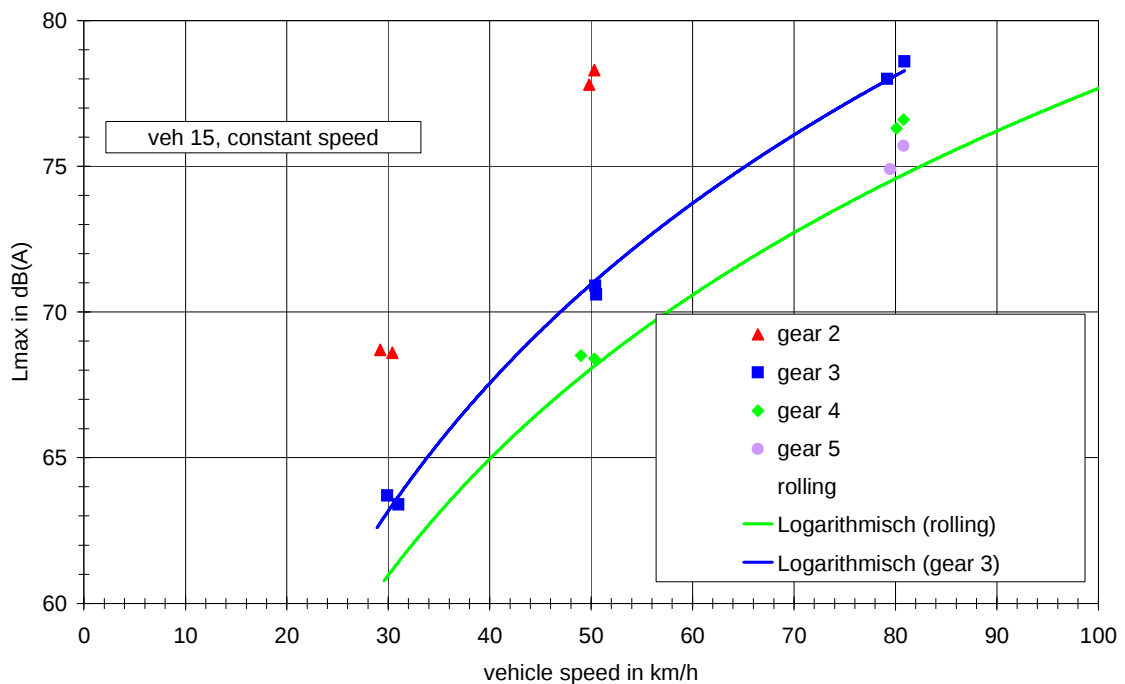


Bild 33: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 17. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

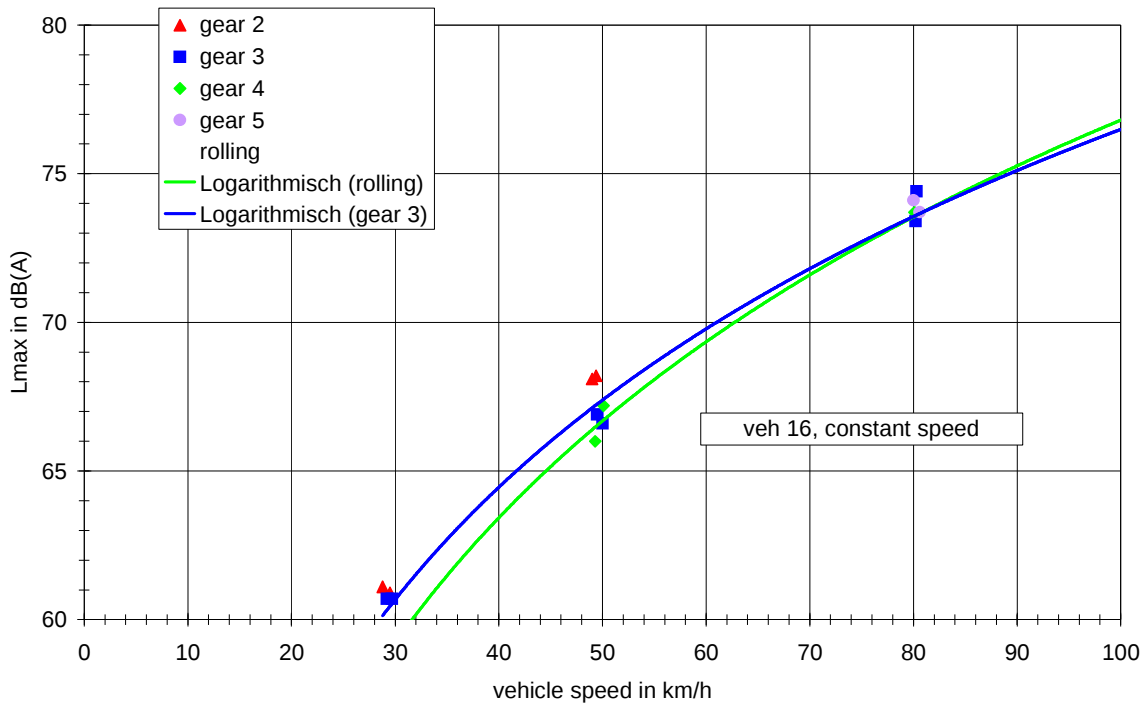
In Bild 34 bis Bild 37 sind die Geräuschpegel bei Konstantfahrt in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für die verschiedenen Getriebestufen vergleichend gegenübergestellt. Die Geräuschpegel im 3. Gang liegen nur unwesentlich über den Rollgeräuschen. Eine Ausnahme bildet lediglich Fahrzeug 15, bei dem das Gesamtgeräusch 2 bis 5 dB(A) über dem Rollgeräusch liegt und zwar mit zunehmender Geschwindigkeit zunehmend.



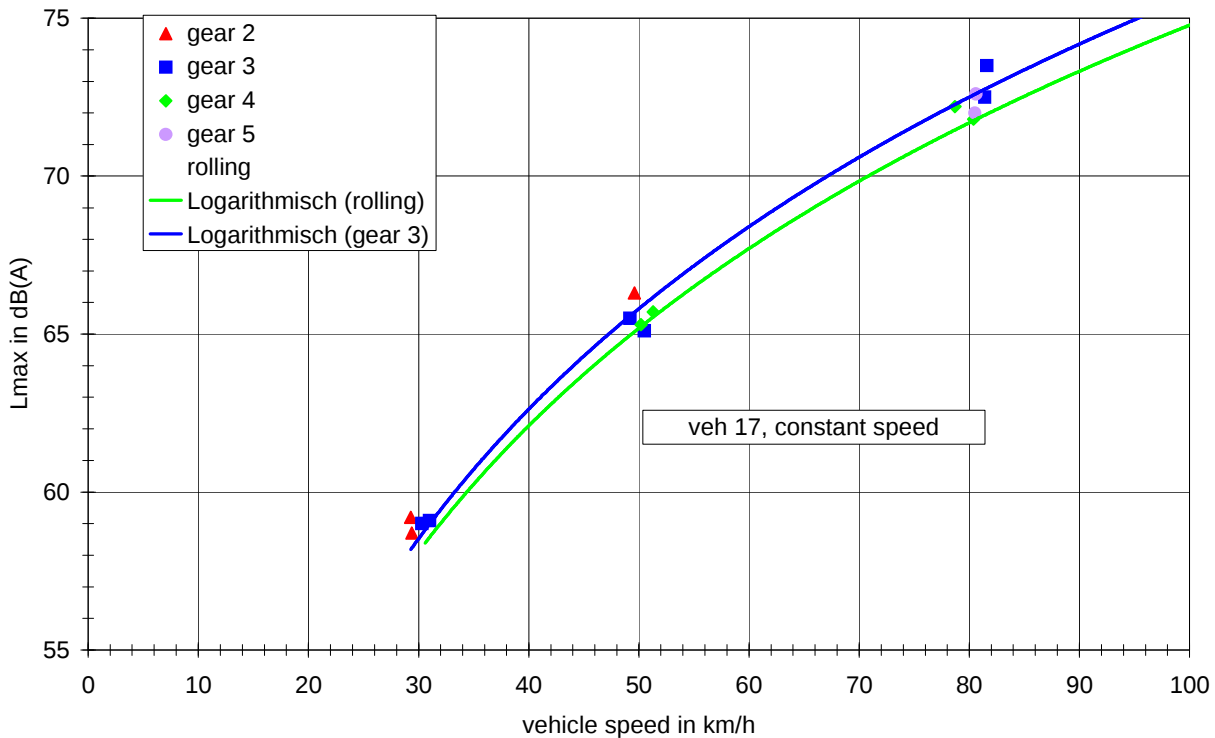
**Bild 34: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe-
stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 11.** (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführ-
ten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte,
die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)



**Bild 35: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe-
stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 15.** (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführ-
ten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte,
die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)



**Bild 36: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe-
stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 16.** (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführ-
ten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte,
die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)



**Bild 37: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe-
stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 17.** (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführ-
ten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte,
die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

4.2.2 Nutzfahrzeuge (N1, N2, N3)

4.2.2.1 Technische Daten

Bei den Nutzfahrzeugen wurden drei Exemplare aus der Klasse N1 (leichte Nutzfahrzeuge), und je zwei Exemplare aus den Klassen N2 (schwere Nutzfahrzeuge bis 12 t zul. Gesamtmasse) und N3 (schwere Nutzfahrzeuge über 12 t zul. Gesamtmasse) untersucht. Die technischen Daten sind in Tabelle 22 zusammengestellt.

Class	No	Vehicle	Rated power in kW	Engine capacity in cm³	Rated engine speed in min-1	No of cylinders	No of gears	Max. speed in km/h	Stationary nearfield level in dB(A)	Type approval level in dB(A)	kerb mass in kg	Gross vehicle mass in kg	First registration date
N1	19	Ford Transit 1	56	2496	4000	4	5	122	81	80	1915	3500	21.11.95
N1	20	Ford Transit 2	51	2496	4000	4	5	125	84	77	1630	2650	11.07.97
N1	24	MB 210	75	2874	3800	5	5	145	86	75	1920	2800	19.08.97
N2	21	DB 817 1	125	4249	2300	4	6	104	87	78	5420	7490	02.09.96
N2	25	DB 817 2	125	5958	2600	4	5	97	95	84	4460	7490	05.01.90
N3	22	DB 1844	320	14618	1900	6	16	85	93	80	8080	18000	12.12.95
N3	23	DB 1840	290	11946	1800	6	16	85	89	80	7480	18000	24.10.97

Tabelle 22: Technische Daten der untersuchten Nutzfahrzeuge

4.2.2.2 Leichte Nutzfahrzeuge (N1)

Bei den leichten Nutzfahrzeugen wurden zwei Fahrzeuge eines Typs unterschiedlichen Baujahrs mit unterschiedlicher Geräuschminderungstechnik (Typprüfwerte 80 dB(A) und 77 dB(A)) sowie ein Fahrzeug mit zusätzlichen Geräuschminderungsmaßnahmen (Typprüfwert 75 dB(A)) untersucht.

Tabelle 23 enthält der Messergebnisse nach derzeit gültigem Typprüfverfahren.

Bild 38 zeigt die Regressionsgeraden der Standgeräuschpegel über der normierten Motordrehzahl. Die Normierung erfolgte durch Bezug auf die Nenndrehzahl. Bei niedrigen Drehzahlen ergibt sich eine Spannweite von 6 dB(A), die zu höheren Drehzahlen auf die Hälfte zurückgeht. Die höchsten Emissionen im Stand treten nicht beim Fahrzeug mit dem höchsten Typprüfwert auf. Die Unterschiede zwischen den Geräuschemissionen von Fahrzeug 24 (mit Kapselmaßnahmen) und den beiden übrigen Fahrzeugen sind beim Typprüfverfahren größer als beim Standgeräusch. Die Standgeräusche ungekapselter leichter Nutzfahrzeuge sind bei niedrigen normierten Drehzahlen höher als die von Pkw (am oberen Rand der Bandbreite) und bei hohen normierten Drehzahlen geringer. Die Standgeräusche ungekapselter leichter Nutzfahrzeuge nahe Leerlaufdrehzahl liegen etwa 10 dB(A) über denjenigen leiser Pkw.

Da Fahrzeug 24 zudem höhere Rollgeräuschemissionen aufweist als die beiden übrigen Fahrzeuge (vgl. Bild 39), sind die Minderungsmaßnahmen offensichtlich gezielt auf das Maximum beim Fahrgeräusch ausgelegt. Die Geräuschemissionen von Fahrzeug 24 stimmen im übrigen auch bei anderen Fahrbedingungen recht gut mit denen des baugleichen, aber als Pkw zugelassenen Fahrzeugs 15 überein. Es liegt der Schluss nahe, dass die Minderungsmaßnahmen denjenigen für die Pkw-Version entsprechen. Im folgenden wird vom Pkw-Zusatzpaket gesprochen.

Hinsichtlich der Rollgeräusche ist noch nachzutragen, dass diese bei den N1-Fahrzeugen gut mit denen der M1-Fahrzeuge übereinstimmt, solange man Fahrzeug 6 mit seinem extrem niedrigen Rollgeräusch unberücksichtigt lässt.

IDFz	Gang	n_normAA	n_normBB	a m/s ²	Lmax dB(A)	Meßergebnis dB(A)	Ergebnis dB(A)	Typprüfwert dB(A)
19	2	75.0%	82.2%	0.90	81.1			
19	3	55.4%	63.2%	1.01	77.5	79.3	78	80
20	2	75.0%	92.6%	1.03	80.9			
20	3	60.2%	67.4%	0.91	76.5	78.7	78	77
24	2	75.0%	86.0%	1.15	77.7			
24	3	50.7%	58.5%	1.12	72.9	75.3	74	75

Tabelle 23: Messergebnisse nach derzeitigem Typprüfverfahren

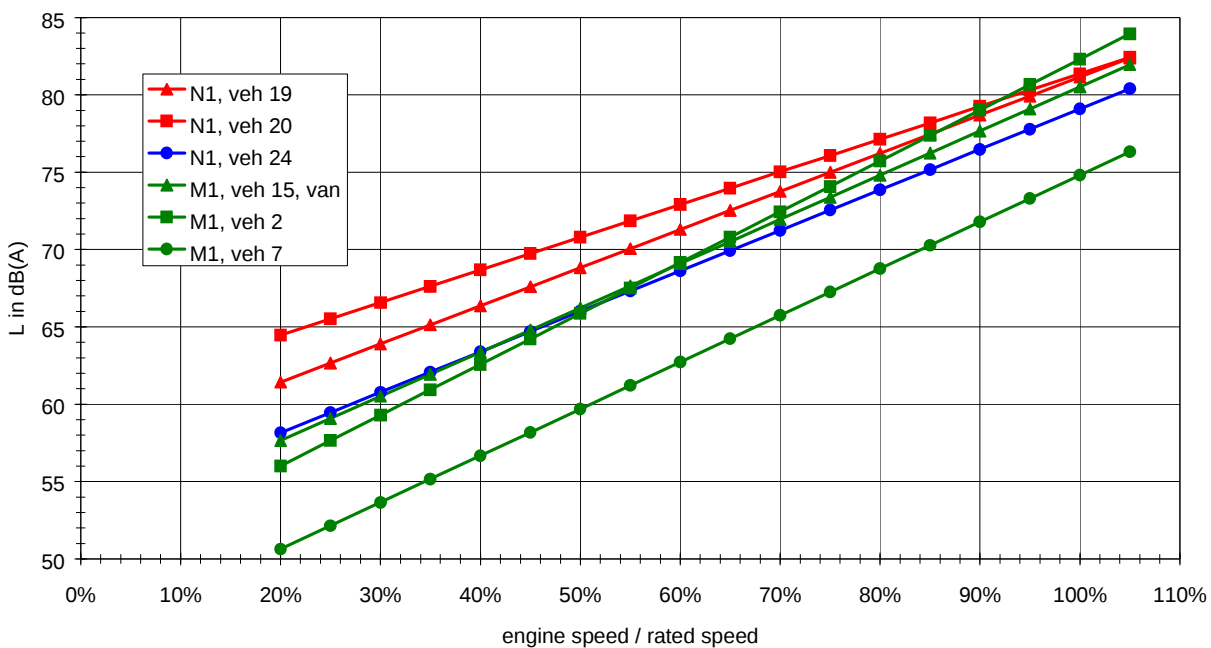


Bild 38: Standgeräuschpegel der untersuchten leichten Nutzfahrzeuge, Pkw zum Vergleich

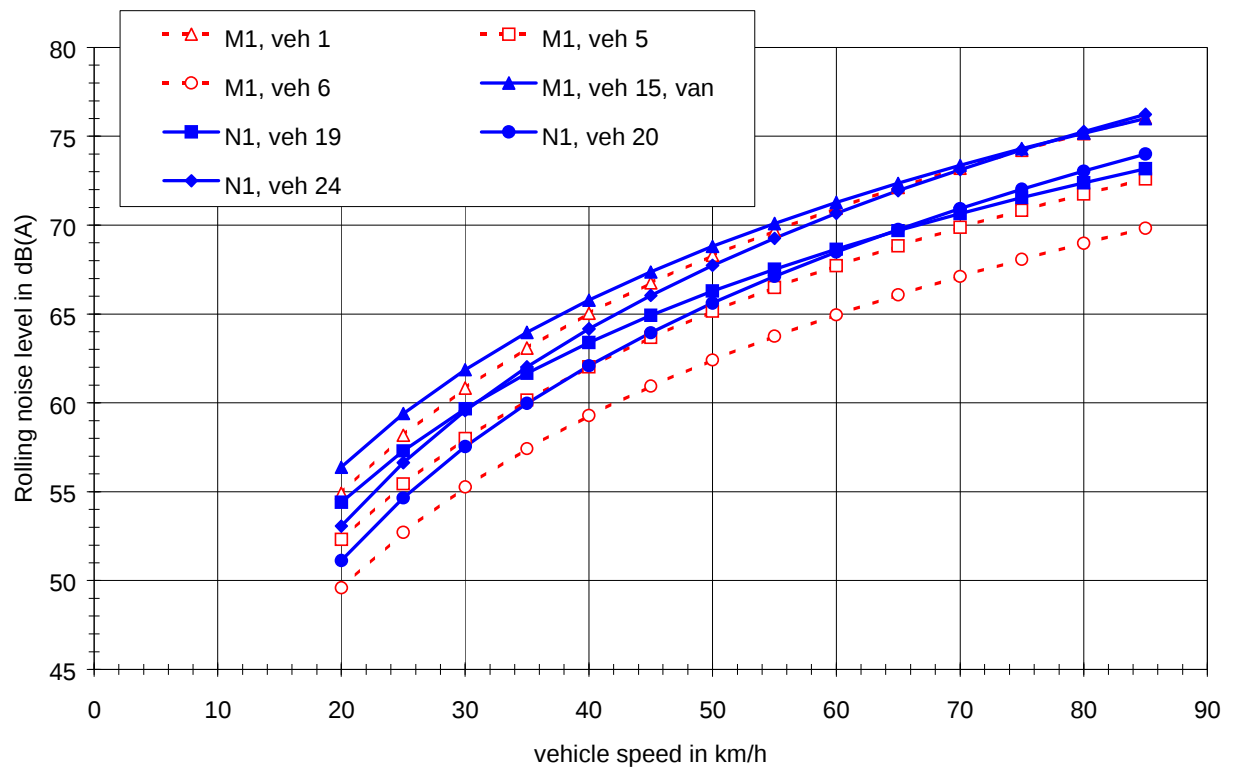


Bild 39: Rollgeräuschpegel der leichten Nutzfahrzeuge

In Bild 40 bis Bild 42 sind die Geräuschemissionen der untersuchten Fahrzeuge im 2. Gang in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Die Bezeichnung „asag“ kennzeichnet die Ergebnisse mit Zusatzschalldämpfern für Ansaug- und Abgasgeräusch. Roll- und Antriebsgeräusche ohne Motorbelastung (berechnet aus den Standgeräuschen) sowie das sich daraus ergebende Gesamtgeräusch sind zum Vergleich zusätzlich eingetragen. Bild 43 bis Bild 45 zeigen entsprechende Ergebnisse für den 3. Gang.

Bei den Fahrzeugen ohne das Pkw-Zusatzpaket dominieren im 2. und 3. Gang eindeutig die Antriebsgeräusche. Dies gilt für das Fahrzeug mit Pkw-Paket nur für den 2. Gang. Im 3. Gang sind die Rollgeräusche im mittleren Geschwindigkeitsbereich ca. 1,5 dB(A) höher als die Antriebsgeräusche. Die Verhältnisse sind etwa so wie bei leisen Pkw im 2. Gang.

Die Zusatzdämpfer haben in keinem Fall eine signifikante Minderung der Geräuschemission ergeben. Die Schalldämpfer sind also bereits entsprechend gut ausgelegt. Dies zeigt auch die geringe Pegelerhöhung bei Motorbelastung (Differenz Vollast-Konstantfahrt).

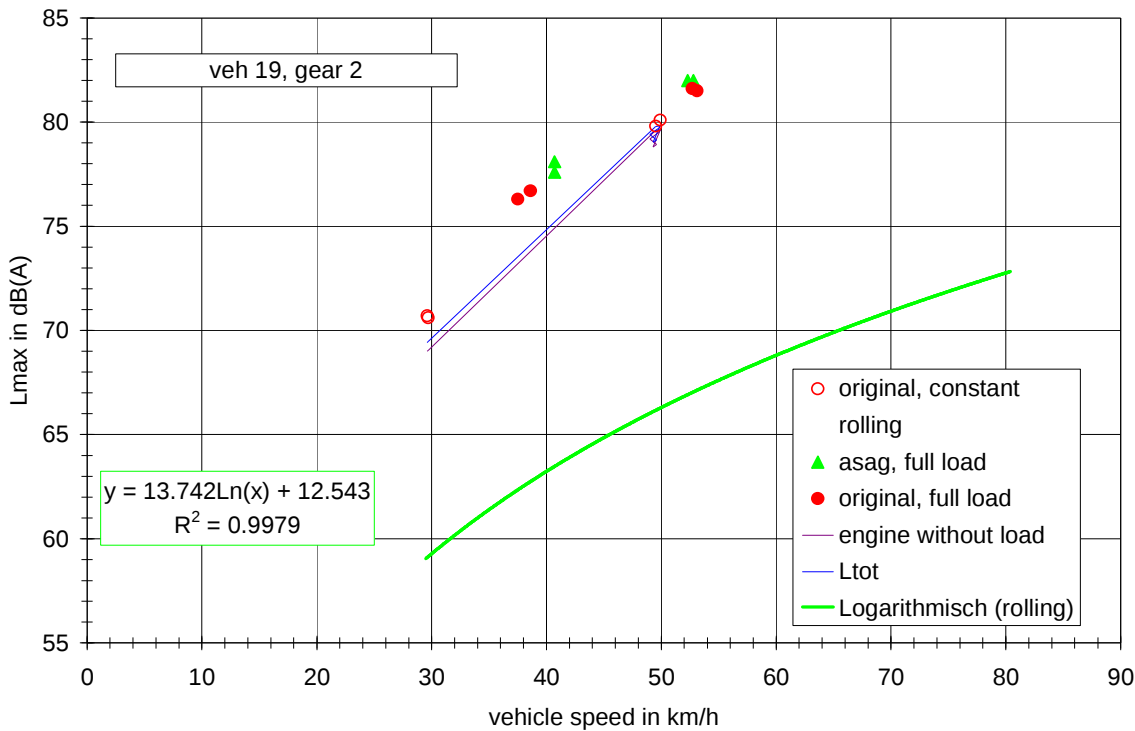


Bild 40: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 19. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

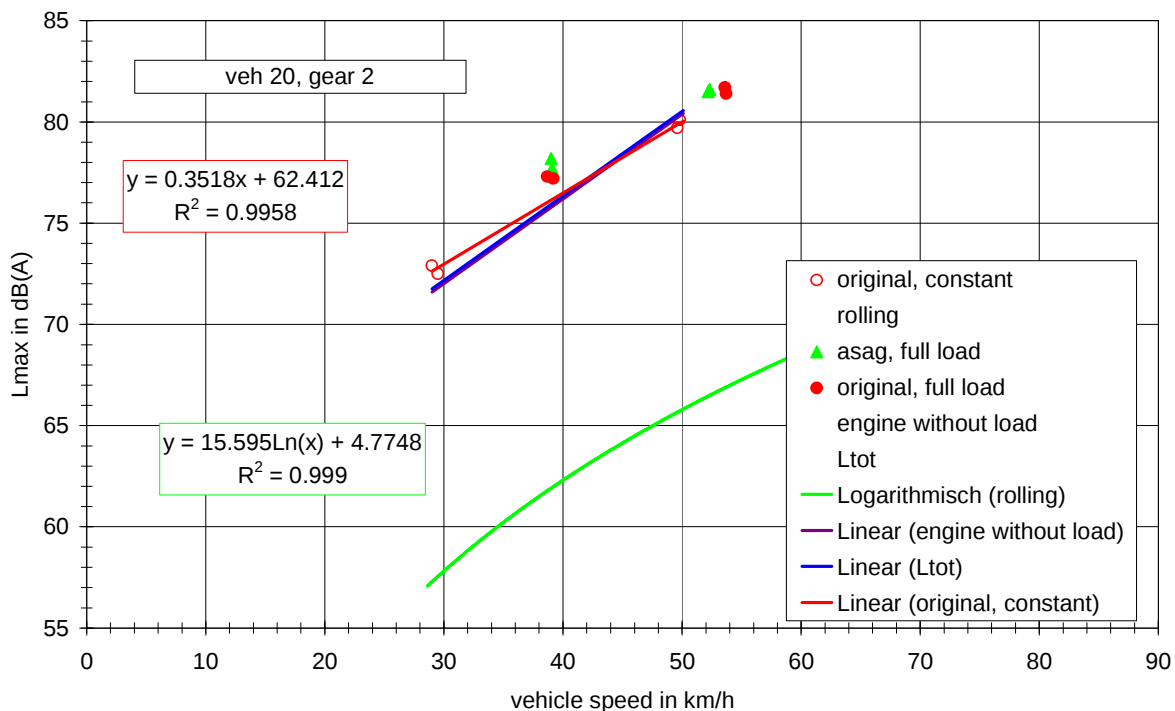


Bild 41: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 20. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

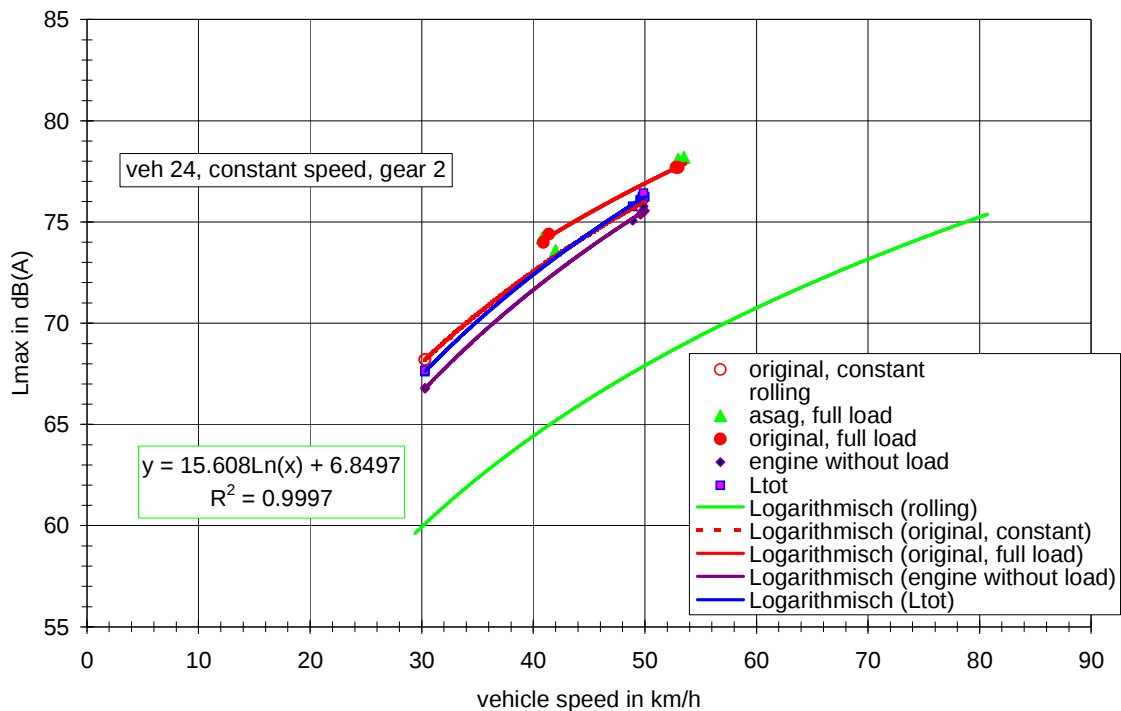


Bild 42: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 24. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

In Bild 46 bis Bild 48 sind die Geräuschemissionen bei Konstantfahrt in verschiedenen Getriebestufen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Ein Vergleich mit den Rollgeräuschen zeigt, dass bei den Fahrzeugen ohne das Pkw-Zusatzpaket selbst im 4. Gang die Antriebsgeräusche über den Rollgeräuschen liegen. Erst im 5. Gang herrschen gleiche Verhältnisse oder ein leichtes Übergewicht der Rollgeräusche vor. Für das Fahrzeug mit Pkw-Paket ergibt sich wegen der geringeren Antriebsgeräusche und gleichzeitig höheren Rollgeräusche ein stärkeres Gewicht der Rollgeräusche.

Bei Konstantfahrt im 3. Gang ergeben sich die Fahrgeräuschpegel bei Fahrzeug 24 ca. 5 dB(A) niedriger als bei Fahrzeug 20. Die Unterschiede wären noch größer, wenn Fahrzeug 24 dieselben Rollgeräuschpegel aufweisen würde wie Fahrzeug 20.

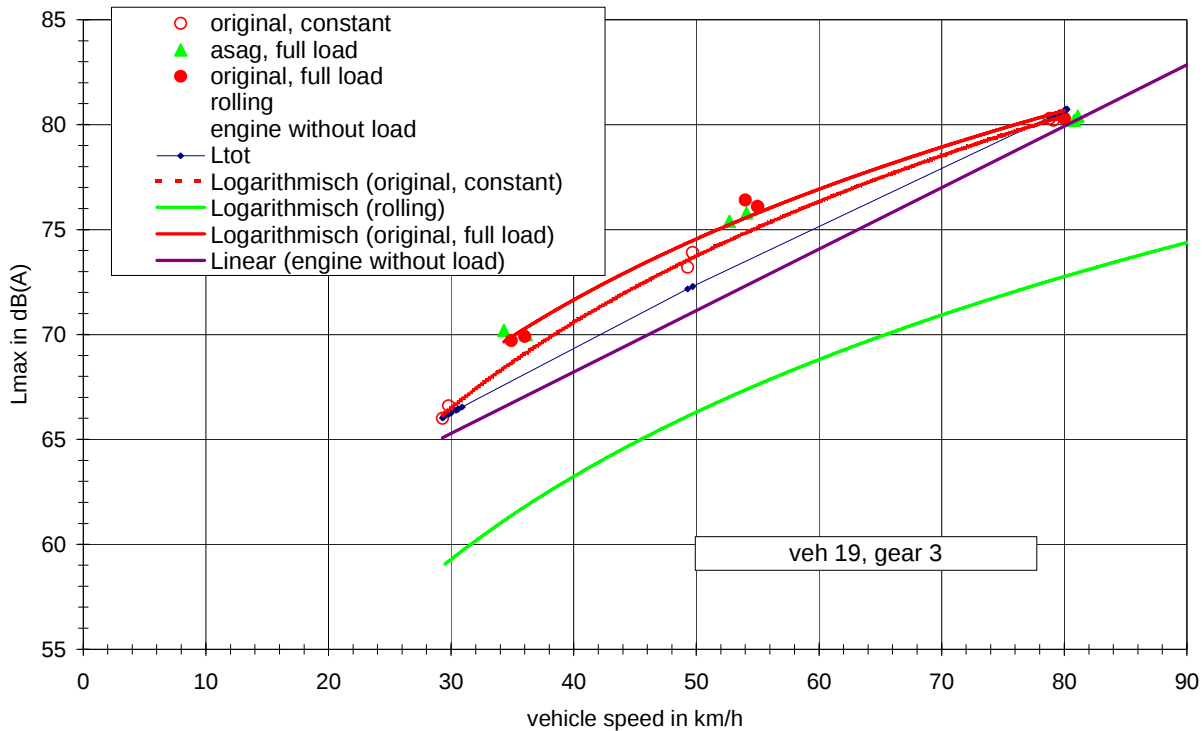


Bild 43: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 19. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

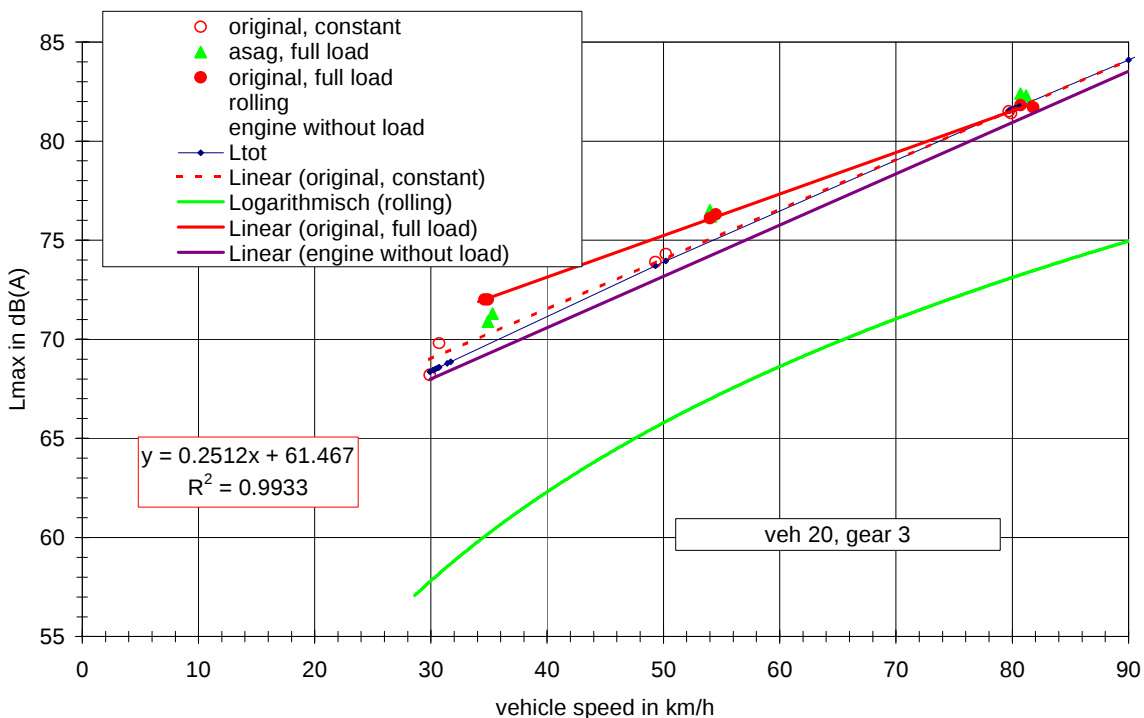


Bild 44: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 20. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

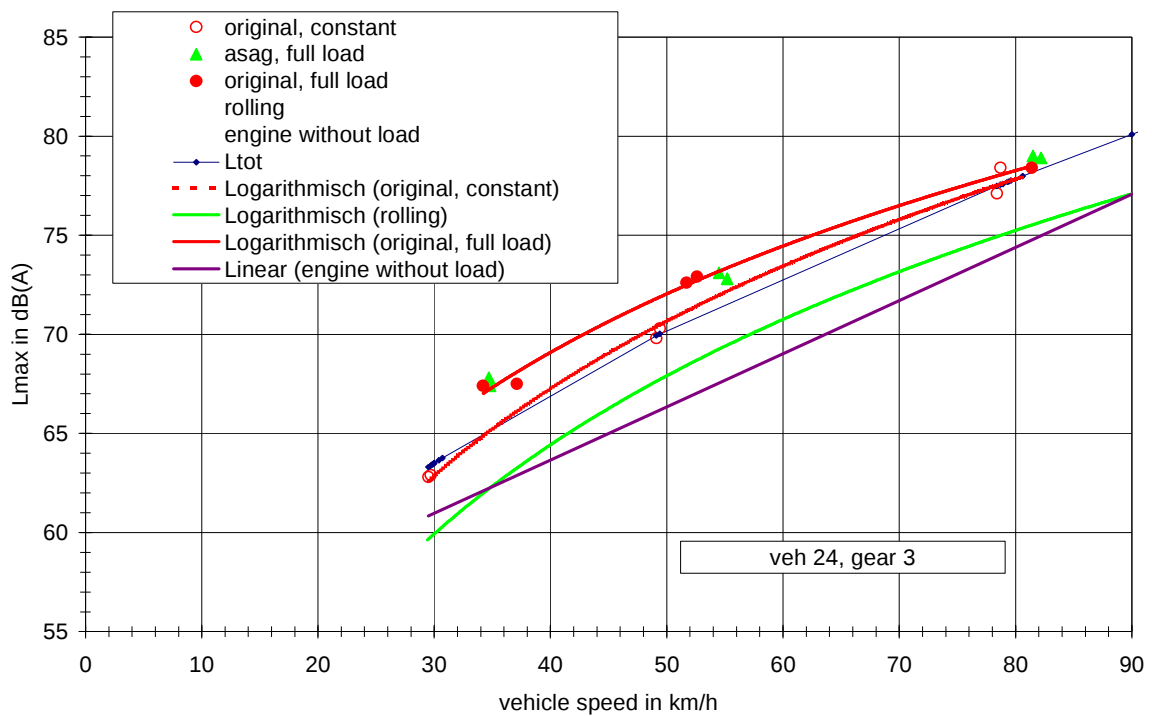


Bild 45: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 24. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

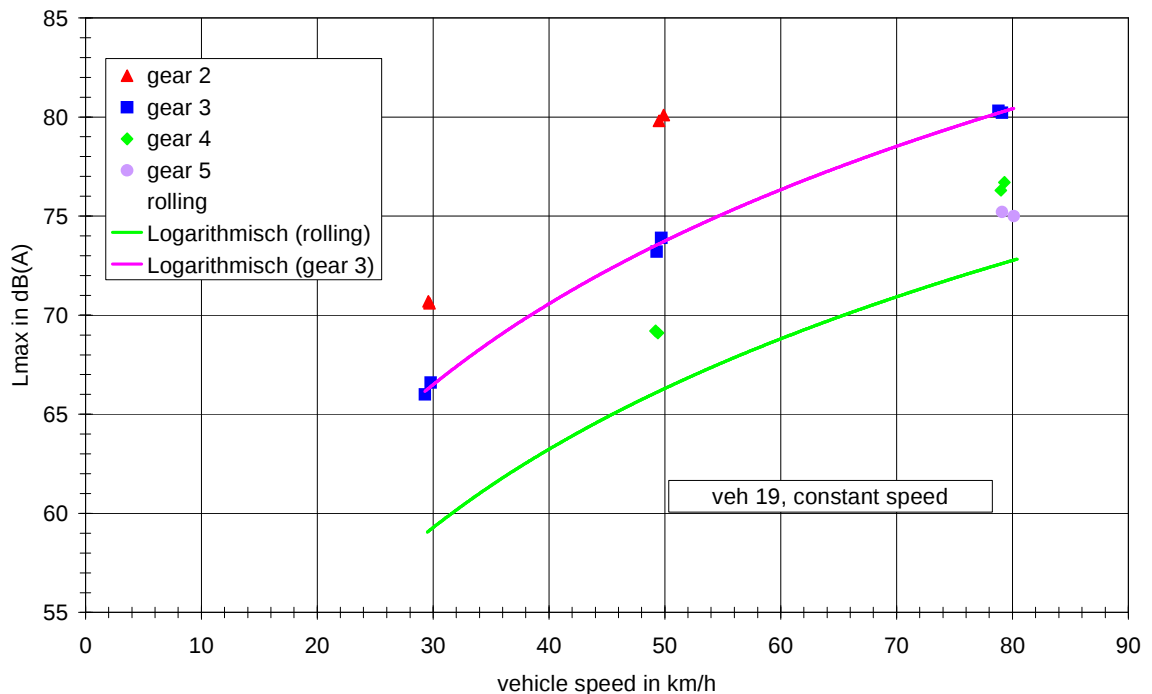
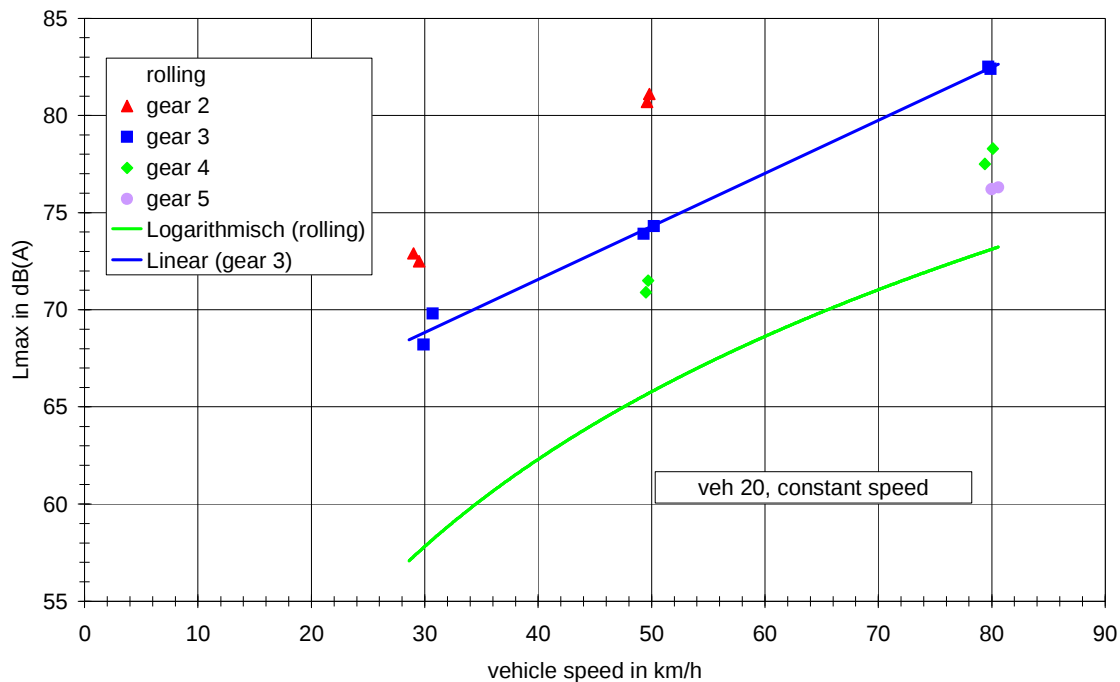
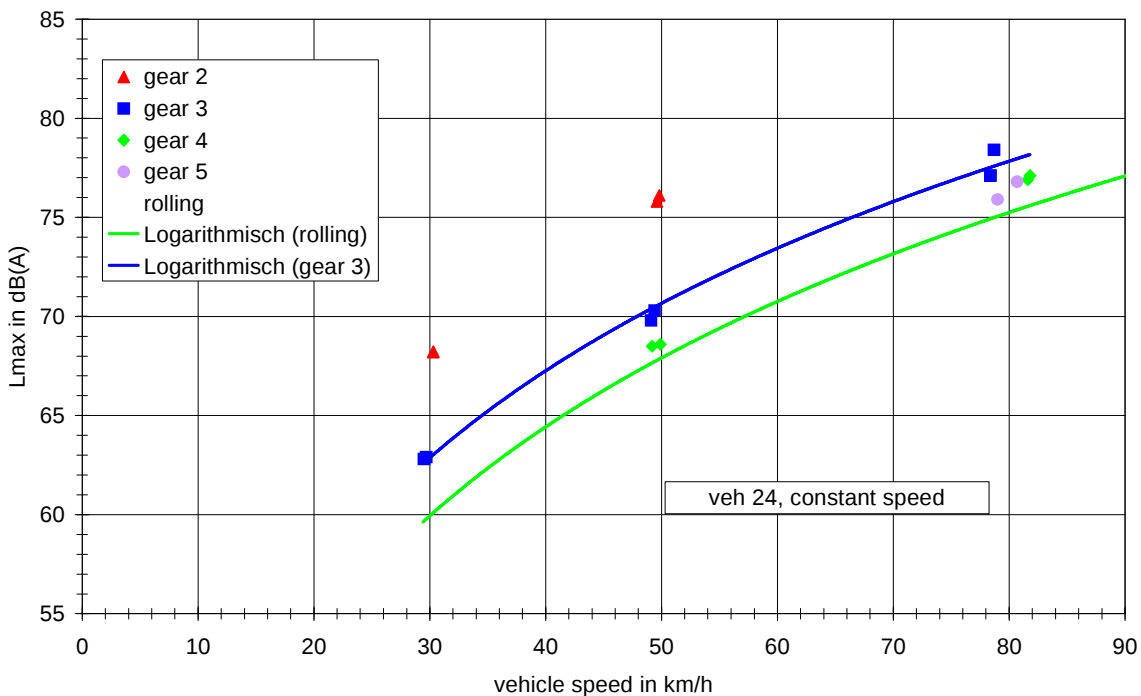


Bild 46: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe- stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 19. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)



**Bild 47: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe-
stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 20.** (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführ-
ten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte,
die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)



**Bild 48: Geräuschemissionen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Getriebe-
stufe bei Konstantfahrt, Fahrzeug 24.** (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführ-
ten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte,
die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

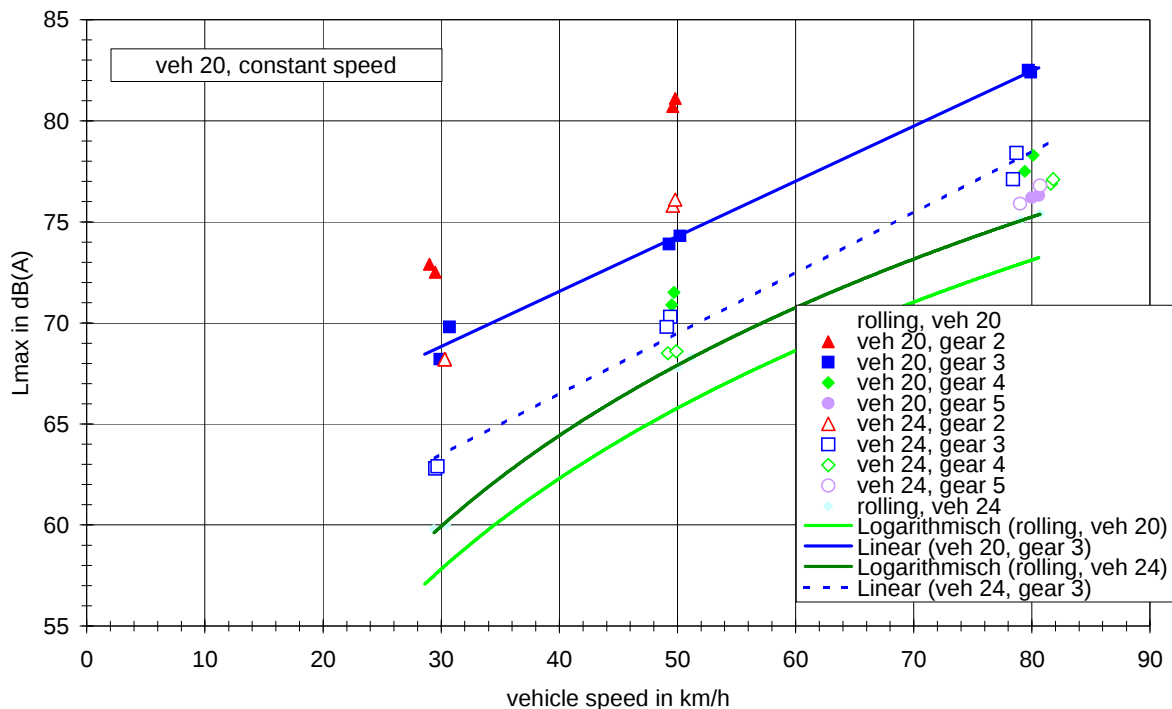


Bild 49: Vergleich der Fahrgeräuschpegel bei Konstantfahrt zwischen den Fahrzeugen 20 und 24

4.2.2.3 Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)

Bei den schweren Nutzfahrzeugen wurden zwei typgleiche 7,5 t Verteilerfahrzeuge mit 6 dB(A) unterschiedlichen Typprüfwerten sowie zwei Fernverkehrs-Lkw nach derzeitigem Stand der Technik mit Nennleistungen über 225 kW untersucht. Die technischen Daten sind in Tabelle 22 zusammengestellt. Tabelle 24 zeigt die Messergebnisse nach derzeitigem Typprüfverfahren.

Zu den ersten beiden Fahrzeugen ist zunächst anzumerken, dass bei Fahrzeug 25 das Messergebnis nach Typprüfverfahren 3 dB(A) unter dem im Fahrzeugschein eingetragenen Wert liegt. Die Unterschiede in der tatsächlichen Geräuschemission sind also nur halb so groß wie die Unterschiede im eingetragenen Typprüfwert. Das Typprüf-Messergebnis für Fahrzeug 22 liegt 2 dB(A) über dem eingetragenen Wert. Dies kann jedoch nicht als Überschreitung gewertet werden, da das Fahrzeug an der Antriebsachse mit Traktionsreifen ausgestattet war, während bei der Typprüfung mit Längsrillenreifen gefahren wird.

3 dB(A) ist auch der Unterschied zwischen beiden Fahrzeugen im Standgeräusch bei 40% der Nenndrehzahl. Dies ist die niedrigste in der Praxis verwendete Motordrehzahl. Der Unterschied nimmt mit steigender Drehzahl zu, bei Nenndrehzahl beträgt er ca. 7 dB(A). Dies zeigt Bild 50, in dem neben den schweren Nutzfahrzeugen auch die Standgeräusche weiterer Fahrzeuge (M1, N1) zum Vergleich dargestellt sind. Hervorzuheben ist, dass die Standgeräusche bei Nenndrehzahl bei den N3-Fahrzeugen 3 dB(A) niedriger sind als die Standgeräusche des lautesten N1-Fahrzeugs und eines der beiden N2-Fahrzeuge, wobei diese noch vom lautesten Pkw leicht übertroffen werden, und dass das Standgeräusch der beiden N3-Fahrzeuge bei Nenndrehzahl identisch ist, nahe Leerlaufdrehzahl aber beim leistungsstärkeren Fahrzeug um 3 dB(A) höher liegt.

Die Rollgeräuschpegel der schweren Nutzfahrzeuge sind in Bild 51 dargestellt. Zum Vergleich sind zusätzlich die Rollgeräuschpegel derjenigen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen angegeben, die die Bandbreite festlegen. Die Rollgeräuschpegel der Fahrzeuge 21, 22 und 23 liegen dicht beieinander auf einem Niveau von 73,5 bis 75 dB(A) bei 50 km/h. Die Rollgeräuschpegel eines 7,5 Tonners (Nr. 25) sind signifikant niedriger, sie liegen auf dem Niveau der höchsten Rollgeräusche der leichten Nutzfahrzeuge (68 dB(A) bei 50 km/h). Dies kann dadurch erklärt werden, dass dieses Fahrzeug im Gegensatz zu den übrigen schweren Nutzfahrzeugen an der Antriebsachse nicht mit Traktionsreifen ausgestattet war. Die niedrigsten Rollgeräuschpegel der Pkw sind um 3 dB(A) geringer als die der letztgenannten Fahrzeuge (65 dB(A) bei 50 km/h) und damit 10 dB(A) geringer als die höchsten Werte der schweren Nutzfahrzeuge.

IDFz	Gang	n_normAA	n_normBB	a m/s ²	Lmax dB(A)	Meßergebnis dB(A)	Typprüfwert dB(A)
21	4	76.8%	90.8%	0.93	79.4	78	78
25	4	75.8%	97.9%	0.90	82.3	81	84
22	10	50.0%	115.9%	2.25	82.5	82	80
23	9	50.1%	105.2%	1.31	80.9	80	80

Tabelle 24: Messergebnisse nach derzeitigem Typprüfverfahren

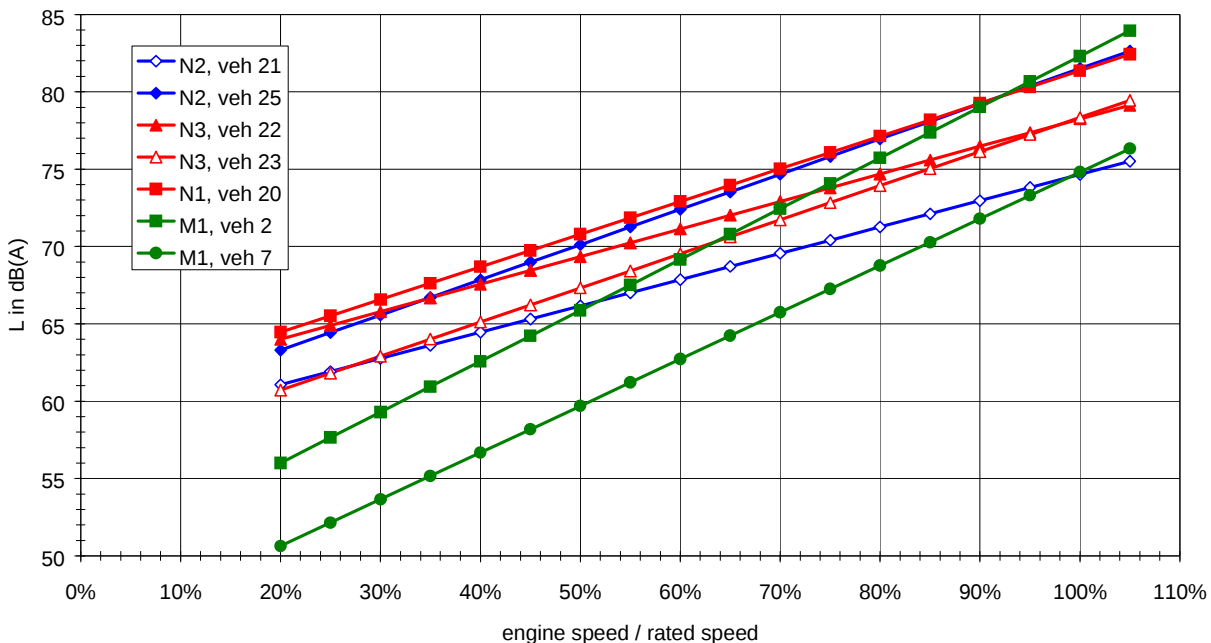


Bild 50: Standgeräuschpegel der untersuchten schweren Nutzfahrzeuge, ungekapseltes leichtes Nutzfahrzeug (N1) und Pkw (M1) zum Vergleich

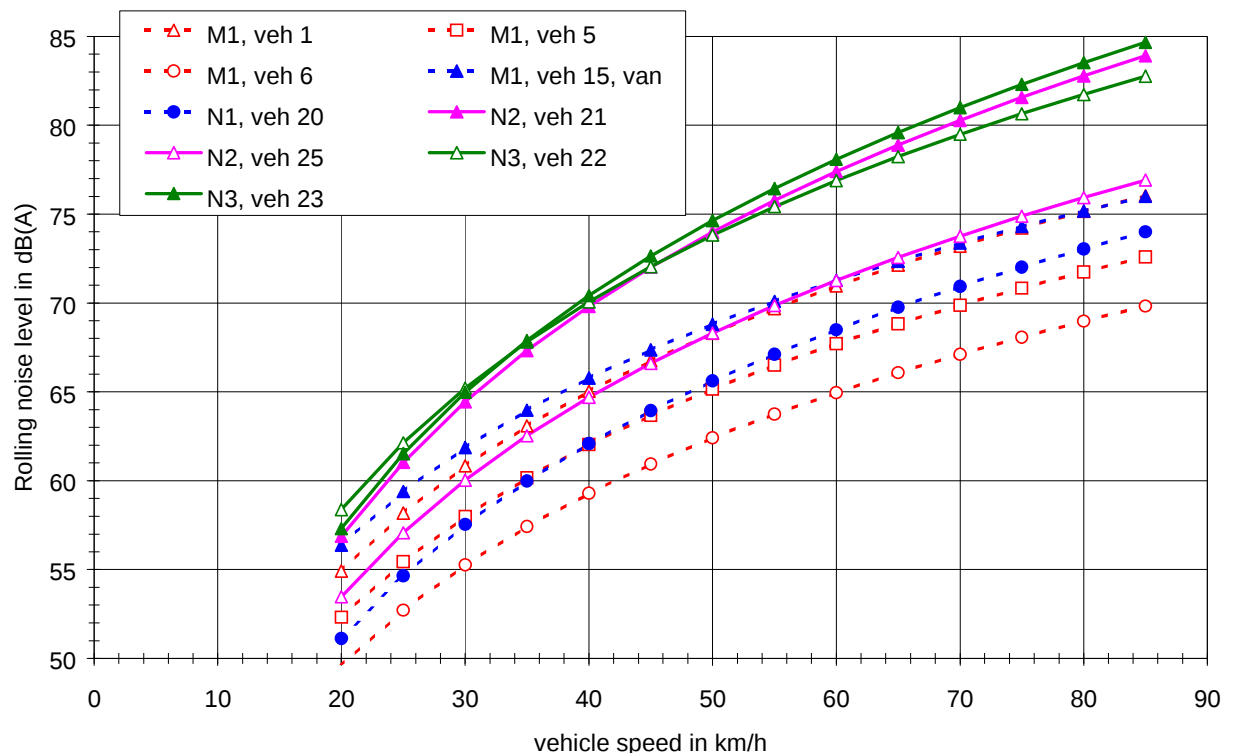


Bild 51: Rollgeräuschpegel der untersuchten schweren Nutzfahrzeuge

In Bild 52 bis Bild 55 sind die Fahrgeräuschpegel der schweren Nutzfahrzeuge in verschiedenen Gängen bei Konstantfahrt und Volllast in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit dargestellt. Bild 56 bis Bild 59 zeigen die Ergebnisse bei Volllast über der normierten Motordrehzahl. Bei den Geschwindigkeitsverläufen sind die Regressionskurven der Rollgeräuschpegel sowie die aus den Standgeräuschpegeln berechneten Antriebsgeräuschpegel ohne Motorbelastung (engine without load) und für Konstantfahrten zusätzlich die durch energetische Subtraktion bestimmten Antriebsgeräuschanteile (propulsion) zusätzlich mit angegeben. Bei den Drehzahlverläufen sind die Regressionskurven der Standgeräusche mit eingezeichnet.

Bei Konstantfahrt stimmen die aus den Standgeräuschpegeln berechneten Antriebsgeräuschpegel ohne Motorbelastung (engine without load) und die durch energetische Subtraktion bestimmten Antriebsgeräuschanteile (propulsion) im allgemeinen gut überein. Eine Ausnahme bildet nur Fahrzeug 23, bei dem letztere ca. 2 dB(A) höher sind als erstere. Diese Unterschiede sind unabhängig von der Geschwindigkeit wie auch von der Motordrehzahl, was eine Ursachenzuordnung erschwert.

Hinsichtlich des Rollgeräuscheinflusses bei Konstantfahrt ist folgendes zu sagen: Bei Fahrzeug 21 dominieren im höchsten Gang die Rollgeräusche. Wäre das Fahrzeug mit den Reifen von Nr. 25 ausgestattet, wären Antriebs- und Rollgeräusche im höchsten Gang gleichwertig. Umgekehrtes gilt für Fahrzeug 25. Hier dominieren stets die Antriebsgeräusche. Wäre es mit den lautereren Reifen von Nr. 21 ausgestattet, wären beide Quellen im höchsten Gang gleichwertig. Bei den Fahrzeugen Nr. 22 und 23 liegen die Rollgeräusche bei Konstantfahrt ab Gang 14 über den Antriebsgeräuschen.

Bei Volllastbeschleunigung dominieren bei allen Fahrzeugen die Antriebsgeräusche. Im Gegensatz zu den leichten Nutzfahrzeugen zeigen die Ergebnisse bei den schweren Nutzfahrzeugen

generell einen deutlich höheren Einfluss der Motorbelastung, allerdings ohne einheitliche Trends, wie die Darstellungen über der Motordrehzahl zeigen. Im Extremfall (Fahrzeuge 23 und 25) ist die Geräuschemission bei Volllast nahezu unabhängig von der Motordrehzahl. Fahrzeug 23 war das einzige Fahrzeug, bei dem die Verwendung von Zusatzdämpfern eine Minderung von 2 dB(A) bewirkten, so dass hier auch die Gaswechselgeräusche egalisierend gewirkt haben können. Bei den übrigen Fahrzeugen haben die Zusatzdämpfer dagegen keine signifikante Minderungswirkung erzielt.

Wegen des uneinheitlichen Trends können an dieser Stelle noch keine genauen Gründe für den hohen Lasteinfluss angegeben werden. Höhere Verbrennungsgeräusche, Antriebskrafteinfluss auf die Rollgeräusche und geschwindigkeitsabhängige Quellen reichen als Erklärung nicht aus. Es ist vorgesehen, die Ergebnisse mit den Fahrzeugherstellern zu diskutieren. Auf jeden Fall kann man festhalten, dass die Reduzierung dieses Lasteinflusses ein erhebliches Minderungspotential darstellt.

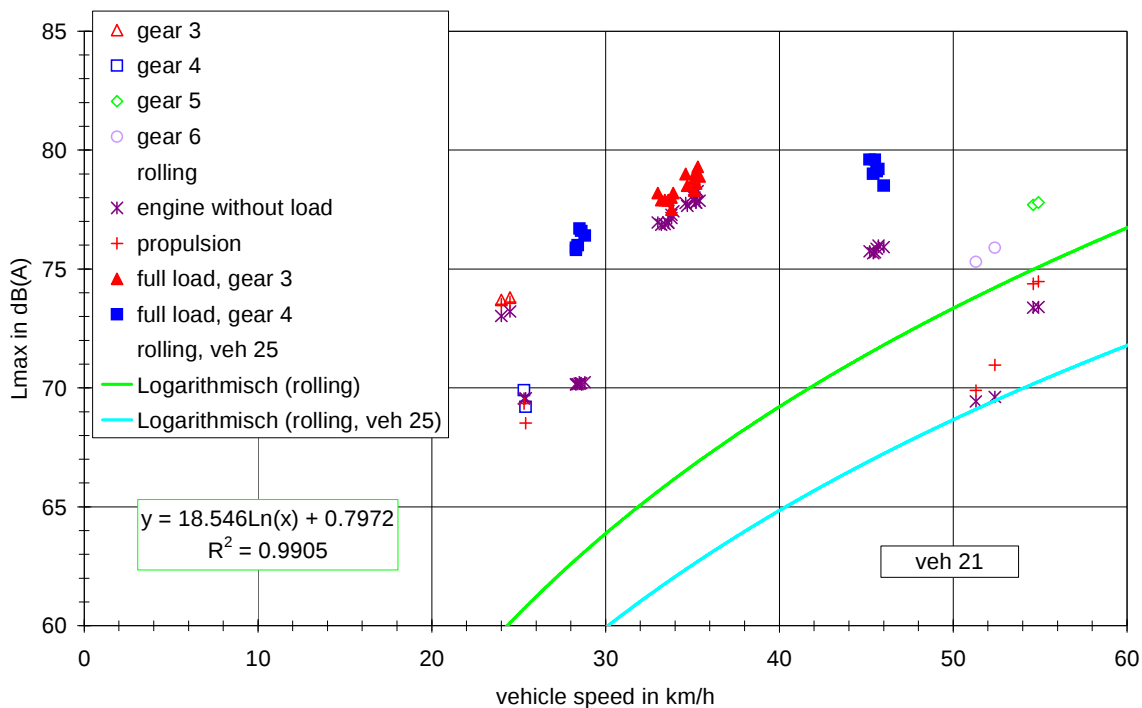


Bild 52: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Konstantfahrt und Volllast in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 21. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

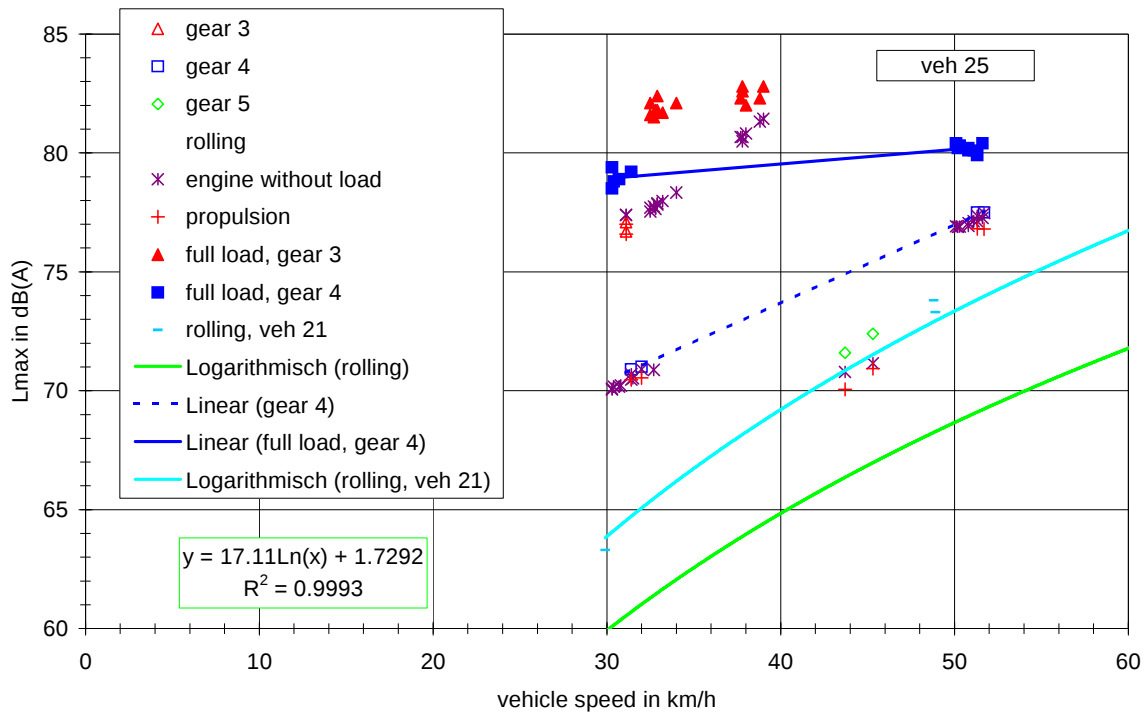


Bild 53: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Konstantfahrt und Vollast in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 25. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

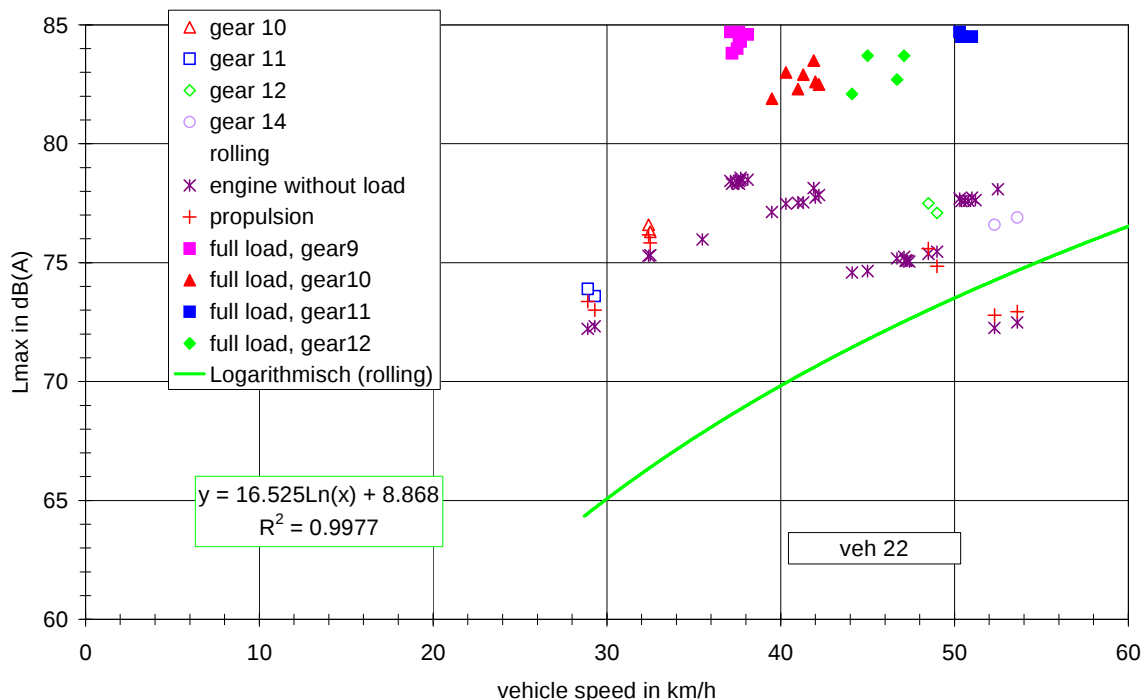


Bild 54: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Konstantfahrt und Vollast in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 22. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

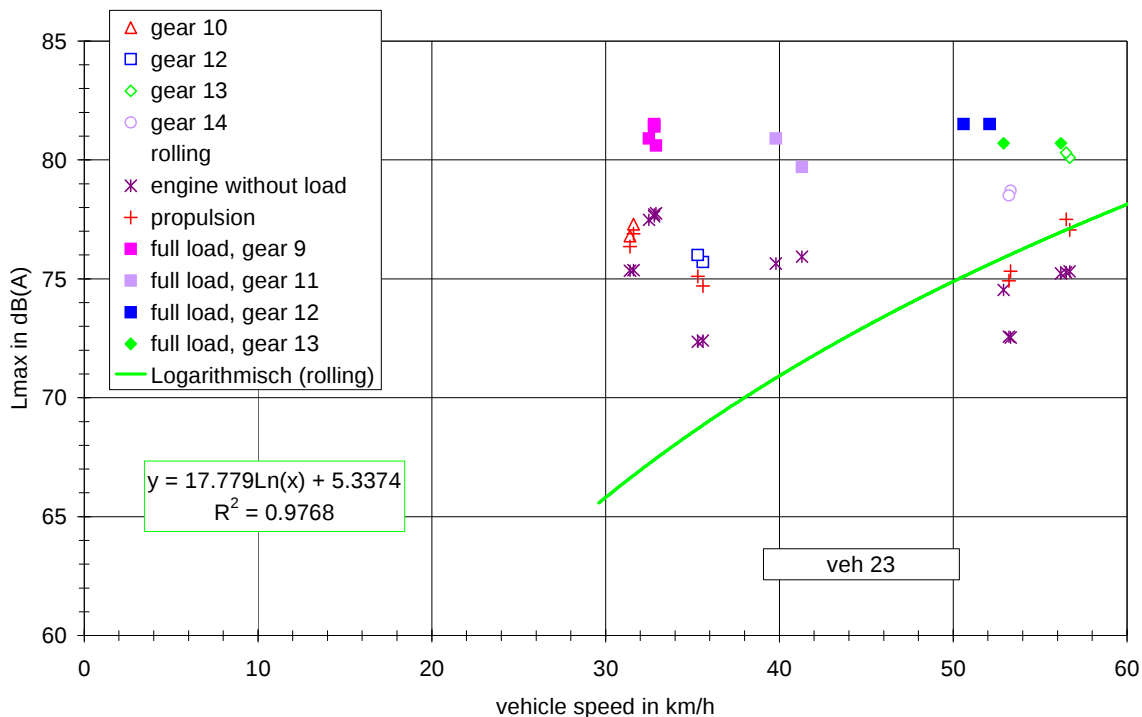


Bild 55: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Konstantfahrt und Volllast in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 23. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

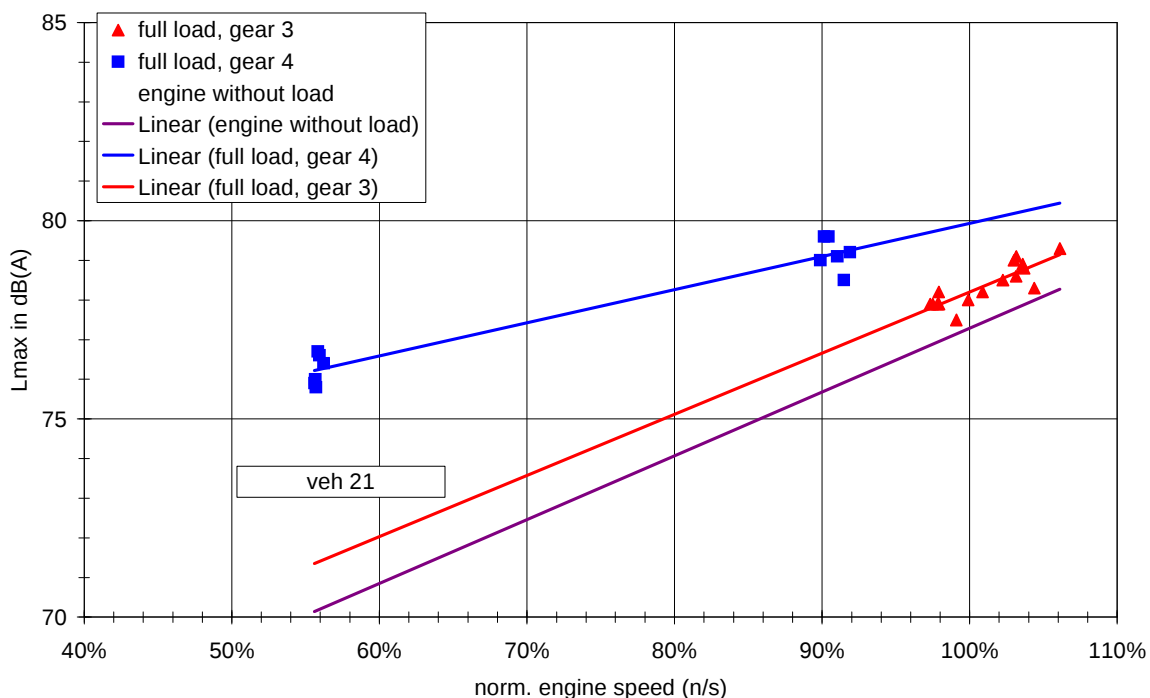


Bild 56: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Volllast in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, Fahrzeug 21. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

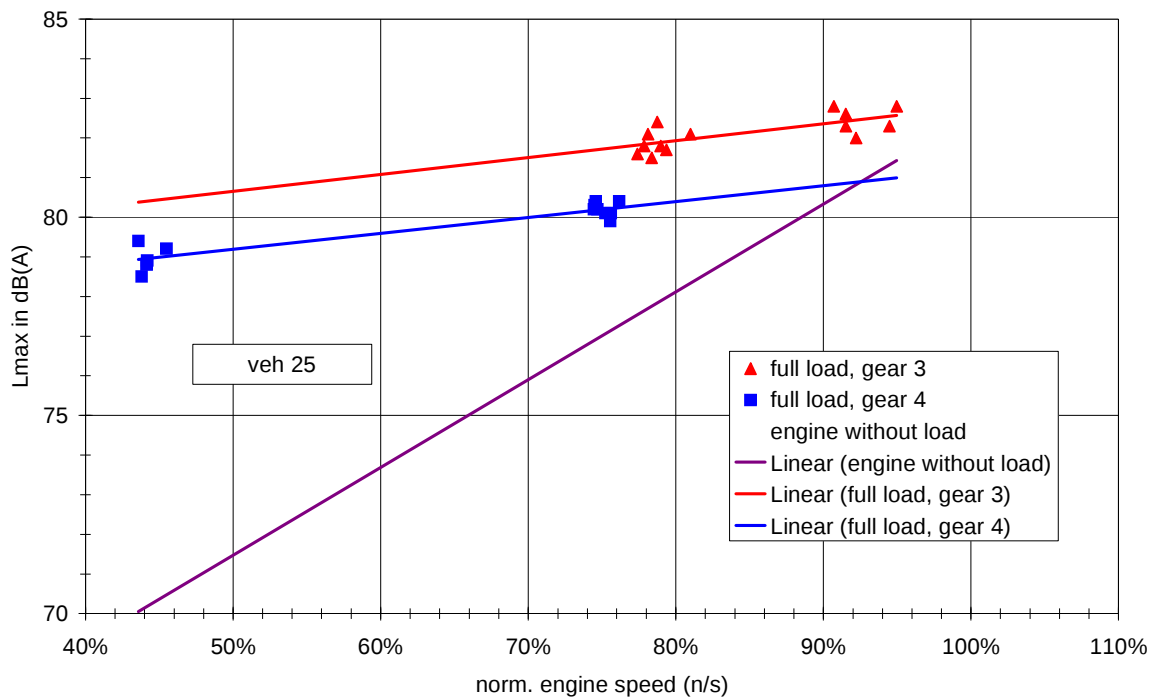


Bild 57: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Volllast in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, Fahrzeug 25. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

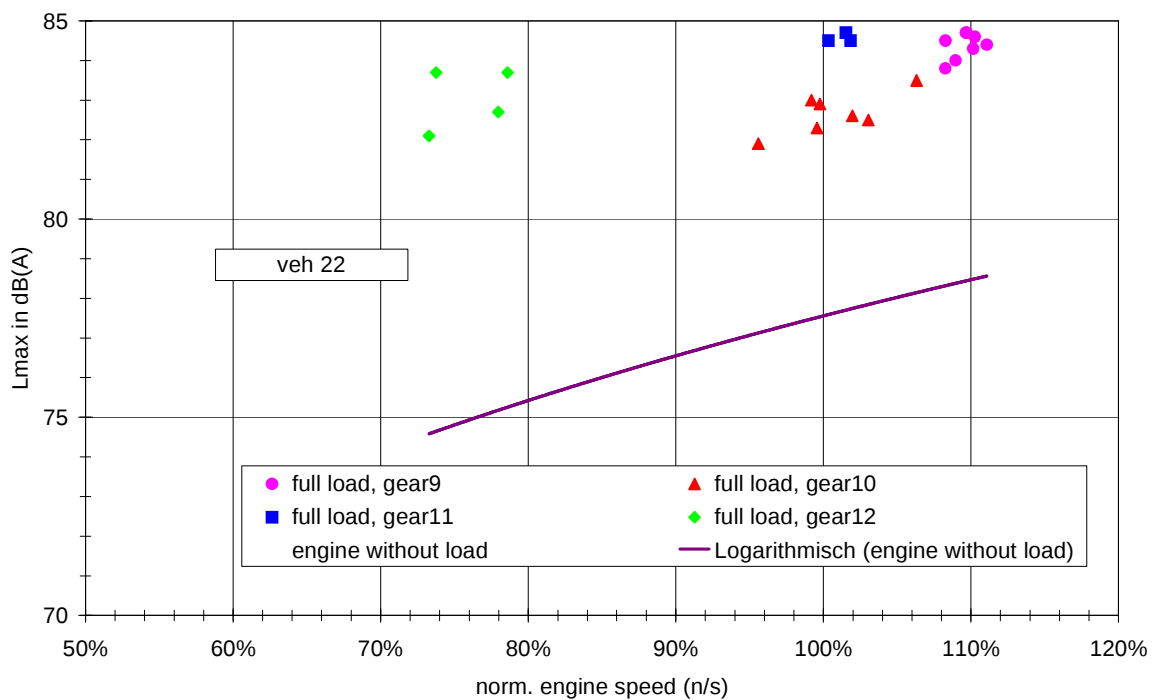


Bild 58: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Volllast in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, Fahrzeug 22. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

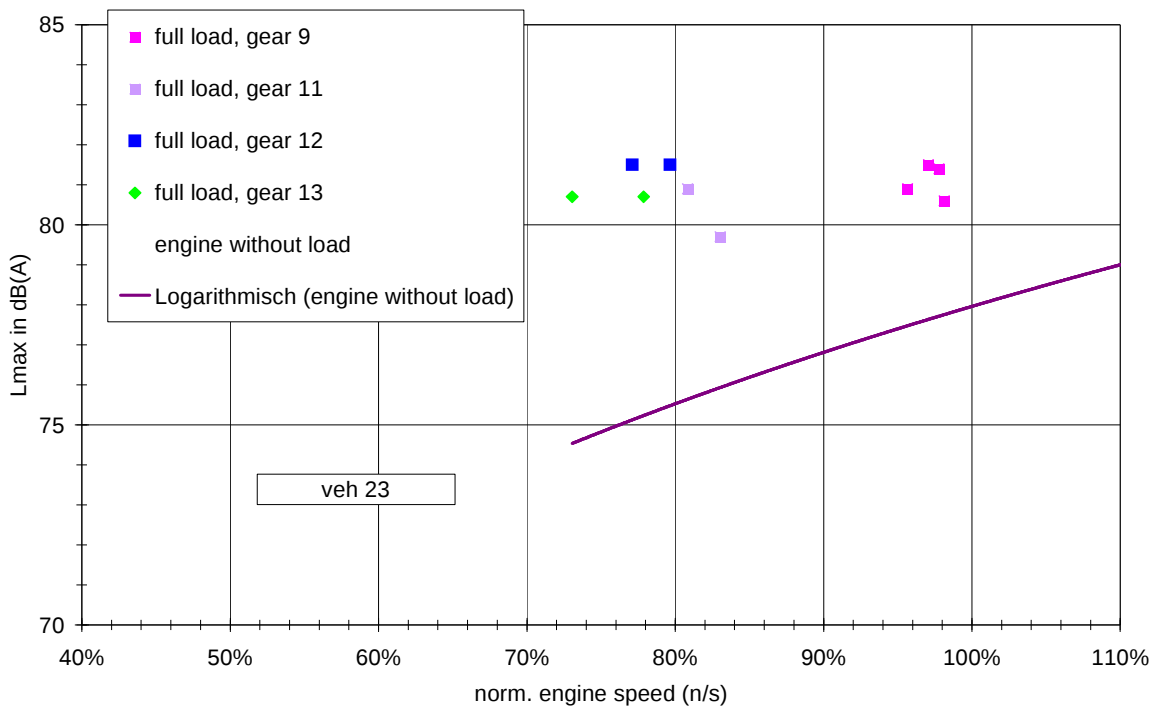


Bild 59: Geräuschpegel in verschiedenen Gängen bei Volllast in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, Fahrzeug 23. (Die in der Legende ohne Symbol aufgeführten Parameter repräsentieren der besseren Übersicht halber unterdrückte Messwerte, die zur Bestimmung der sichtbaren Regressionskurven benötigt wurden.)

4.2.3 Motorräder (L3)

Die technischen Daten der untersuchten Motorräder sind in Tabelle 25 dargestellt. Die Messergebnisse nach dem derzeitigen Typprüfverfahren sind in Tabelle 26 zusammengestellt. In zwei Fällen liegen die gemessenen Werte unter den im Fahrzeugschein eingetragenen Werten, in zwei Fällen darüber, allerdings nur in einem Fall signifikant. Bei allen Fahrzeugen liegen die Beschleunigungen im Rahmen der für diese Kategorie typischen Bandbreite. Beim leistungsstärksten Fahrzeug wird bei der Messung selbst im 2. Gang nicht einmal 50% der Nenndrehzahl erreicht, bei der Leistungsschwächsten Maschine wird die Nenndrehzahl dagegen am Ende der Messstrecke erreicht.

		Pn	m0	V	s	vmax	Lp	Lt	mges	
IDFz	Fz	kW	kg	cm ³	min ⁻¹	km/h	dB(A)	dB(A)	kg	n_Gang
12	Honda CBR 600	72	207	600	12000	248	90	80	397	6
13	Suzuki Freewind 650	25	180	650	6000	140	88	80	375	5
14	BMW, R1100	66	229	1085	7250		91	79		5
18	Kawasaki	47	310	1471	4700	175	93	79	495	5

Tabelle 25: Technische Daten der untersuchten Motorräder

				a	Lmax	Meßergebnis	Ergebnis	
IDFz	Gang	n_normAA	n_normBB	m/s ²	dB(A)	dB(A)	dB(A)	Typprüfwert
12	2	34.9%	46.2%	4.1	81.6			
12	3	31.8%	38.0%	2.5	77.1	79.4	78	80
13	2	72.2%	100.4%	3.9	83.7			
13	3	55.8%	71.9%	2.5	79.6	81.7	81	80
14	2	49.0%	72.0%	5.3	83.5			
14	3			4.0	82.3	82.9	82	79
18	2	50.4%	64.3%	2.8	80.4			
18	3	37.9%	46.9%	2.2	78.2	79.3	78	79

Tabelle 26: Messergebnisse nach derzeitigem Typprüfverfahren

Bild 60 zeigt die Verläufe der Standgeräusche in 7,5 m Entfernung vom Fahrzeug (1,2 m Höhe) über der normierten Motordrehzahl. Die Standgeräusche des leisesten Motorrades (Fz. 13) sind mit denjenigen des lautesten Pkw nahezu identisch, diejenigen des lautesten Motorrades über-treffen diese bei Nenndrehzahl um ca. 14 dB(A). Nahe Leerlaufdrehzahl liegen die Standgeräusche der Motorräder zwischen denjenigen lauter Pkw und schwerer Nutzfahrzeuge, bei Nenn-drehzahl können sie weit darüber liegen.

Bei Drehzahlen zwischen 50% bis 80% der Nenndrehzahl weist Fahrzeug 12 die höchsten und Fahrzeug 13 die niedrigsten Emissionen auf. Bei gleichen absoluten Drehzahlen ist Fahrzeug 12 allerdings deutlich leiser als Fahrzeug 13 (73,5 dB(A) gegenüber 82 dB(A) bei 6000 min⁻¹). Die Geräuschentwicklung eines Motorrades ist also nicht allein eine Frage der Drehzahl, sondern eine Frage der individuellen Motorauslegung. **Dies spricht gegen die zuweilen erhobene Forderung einer (absoluten) Drehzahlbegrenzung als Mittel zur Lärmbekämpfung.**

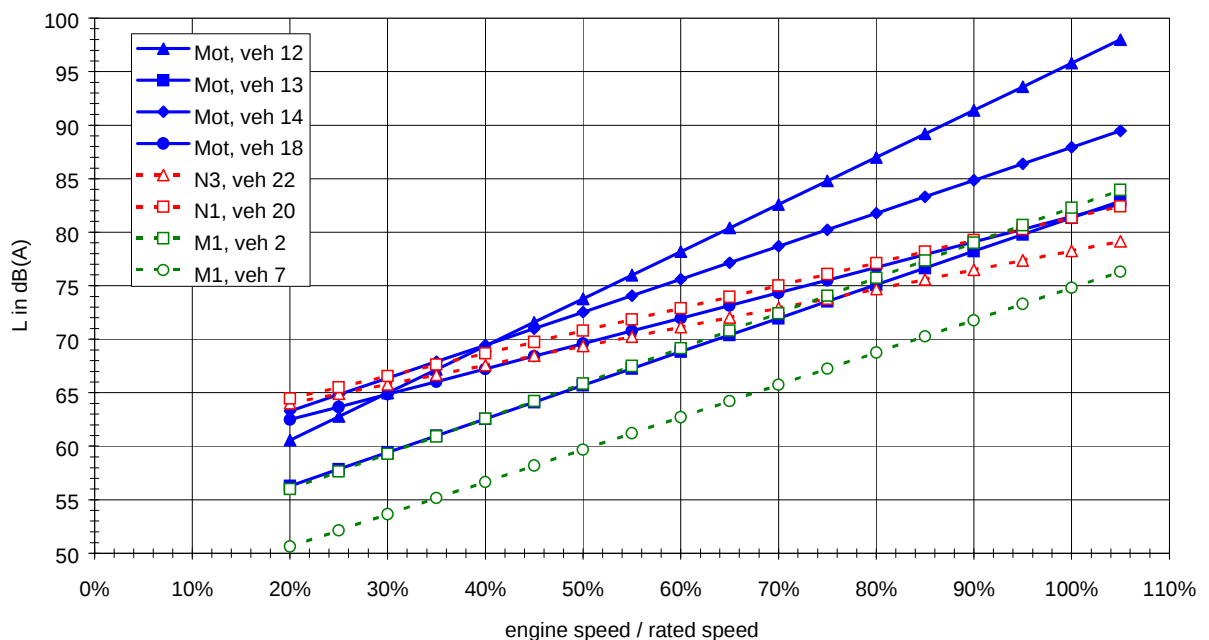


Bild 60: Standgeräusche der untersuchten Motorräder in Abhängigkeit von der auf die Nenndrehzahl bezogenen Motordrehzahl, andere Fahrzeugklassen zum Vergleich

In Bild 61 bis Bild 64 sind die Geräuschemissionen der untersuchten Fahrzeuge im 2. Gang bei Konstantfahrt und bei Vollastbeschleunigungen jeweils im Originalzustand und mit zusätzlichen Ansaug- und Abgasschalldämpfern (asag) dargestellt. In Bild 65 bis Bild 68 sind entsprechende Ergebnisse für den 3. Gang dargestellt.

Bei Fahrzeug 12 bewirkten die Zusatzdämpfer nur bei niedrigen Drehzahlen und nur bei Motorbelastung eine signifikante Minderungswirkung von bis zu 5 dB(A). Bei 50 km/h betrug die Minderungswirkung 3 dB(A), bei einem theoretischen Minderungspotenzial (Abstand Vollast – Konstantfahrt) dieser Maßnahme von 5 bis 6 dB(A) (siehe auch Tabelle 27). Ähnliche Verhältnisse zeigen sich bei Fahrzeug 13 bei geringfügig höheren Minderungswirkungen und -potenzialen. Fahrzeug 14 zeigt davon abweichend bei Konstantfahrt eine höhere Minderungswirkung der Zusatzdämpfer als bei Vollastbeschleunigung, obwohl das theoretische Minderungspotential den obigen Beispielen vergleichbar ist. Die beste Minderungswirkung der Zusatzdämpfer wurde bei Fahrzeug 18 mit 5,5 dB(A) bei 50 km/h erreicht. Allerdings ist hier auch das theoretische Minderungspotential mit ca. 9 dB(A) ungleich größer.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass bei den Motorrädern im Gegensatz zu den anderen Fahrzeugarten die Geräuschanteile von Ansaug- und Abgastrakt erheblichen Anteil am Gesamtgeräusch haben, wenn nicht gar dominierend sind. Diese Geräuschquellen werden daher auch bei Minderungsmaßnahmen im Vordergrund stehen. Die Minderungstechnik ist verfügbar, Zielkonflikte entstehen durch den höheren Platzbedarf wirksamerer Dämpfer und höhere Kosten. Diese sind jedoch leichter lösbar als ein weiterer nichttechnischer Zielkonflikt, der darin besteht, dass hohe Geräuschentwicklung bei vielen Fahrern und Fahrerinnen zum Reiz des Motorradfahrens dazugehört.

	30 km/h, konstant		50 km/h Vollast		konstant
Fz	Original	Zus. Dämpfer	Original	Zus. Dämpfer	Original
2. Gang					
12	65.0	65.0	76.0	73.0	71.0
13	65.0	65.0	80.5	77.0	74.0
14	66.0	62.5	77.5	77.5	72.5
18	63.5	62.0	77.0	71.5	68.5
3. Gang					
12	62.0	62.0	74.0	71.0	68.0
13	64.0	64.0	78.0	74.5	71.0
14	62.5	59.0	75.5	72.5	69.0
18	62.5	60.5	76.0	70.5	67.0

Tabelle 27: Geräuschemissionswerte der untersuchten Motorräder bei 30 km/h und 50 km/h zum Vergleich

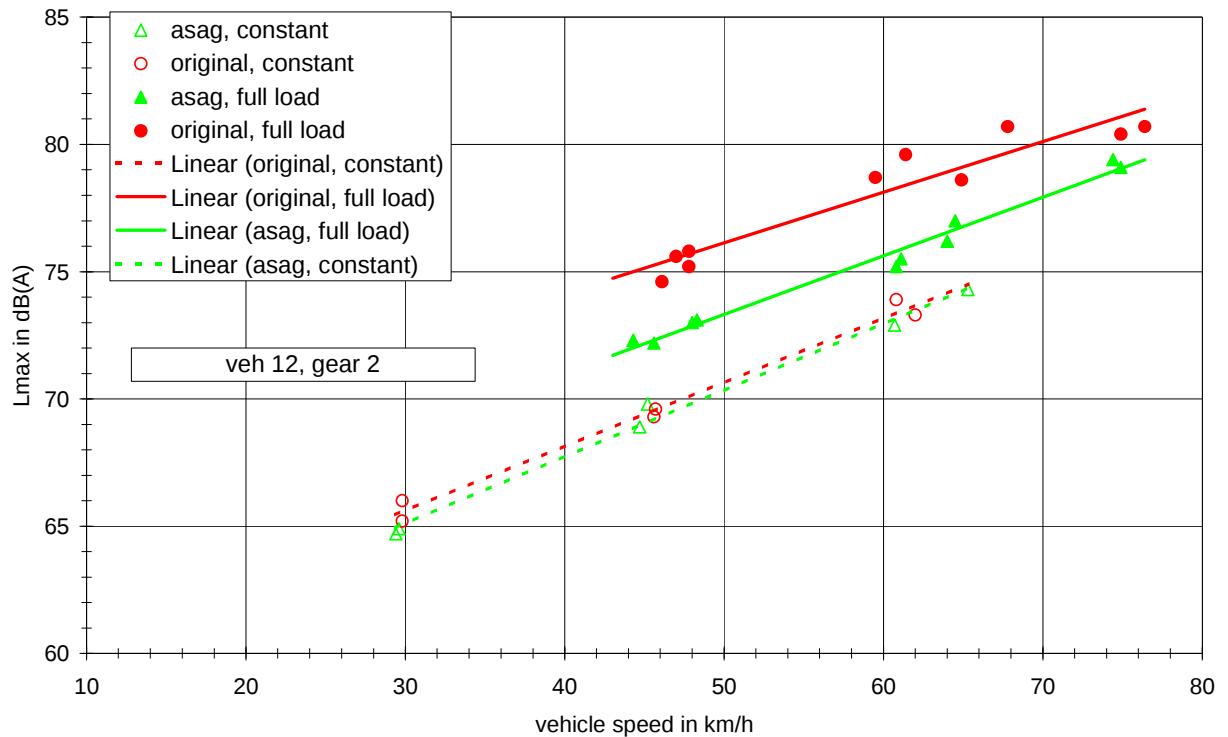


Bild 61: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 12

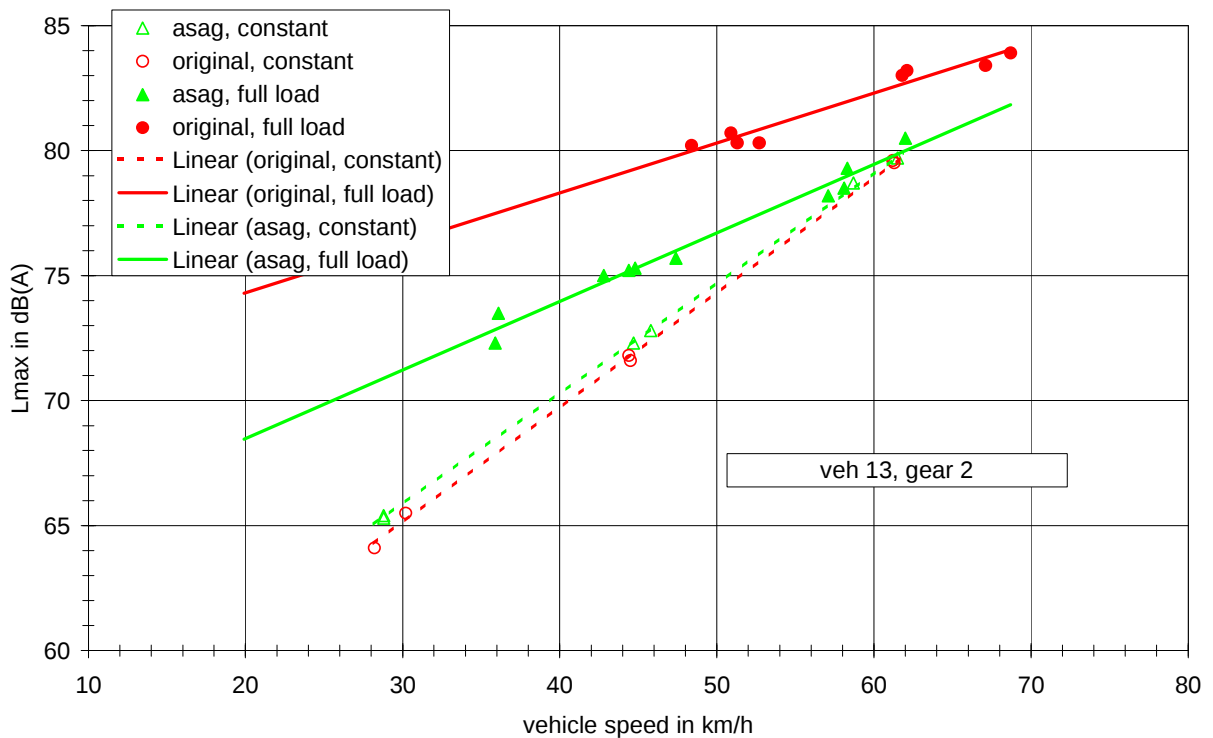


Bild 62: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 13

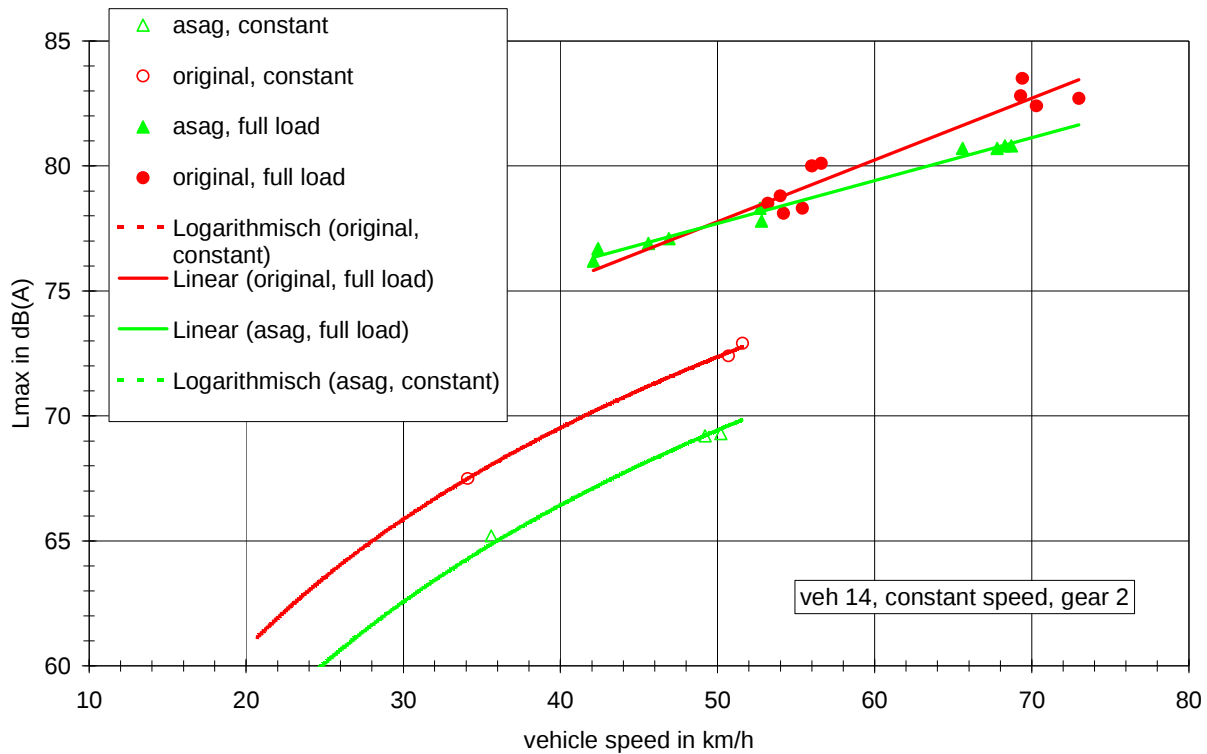


Bild 63: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 14

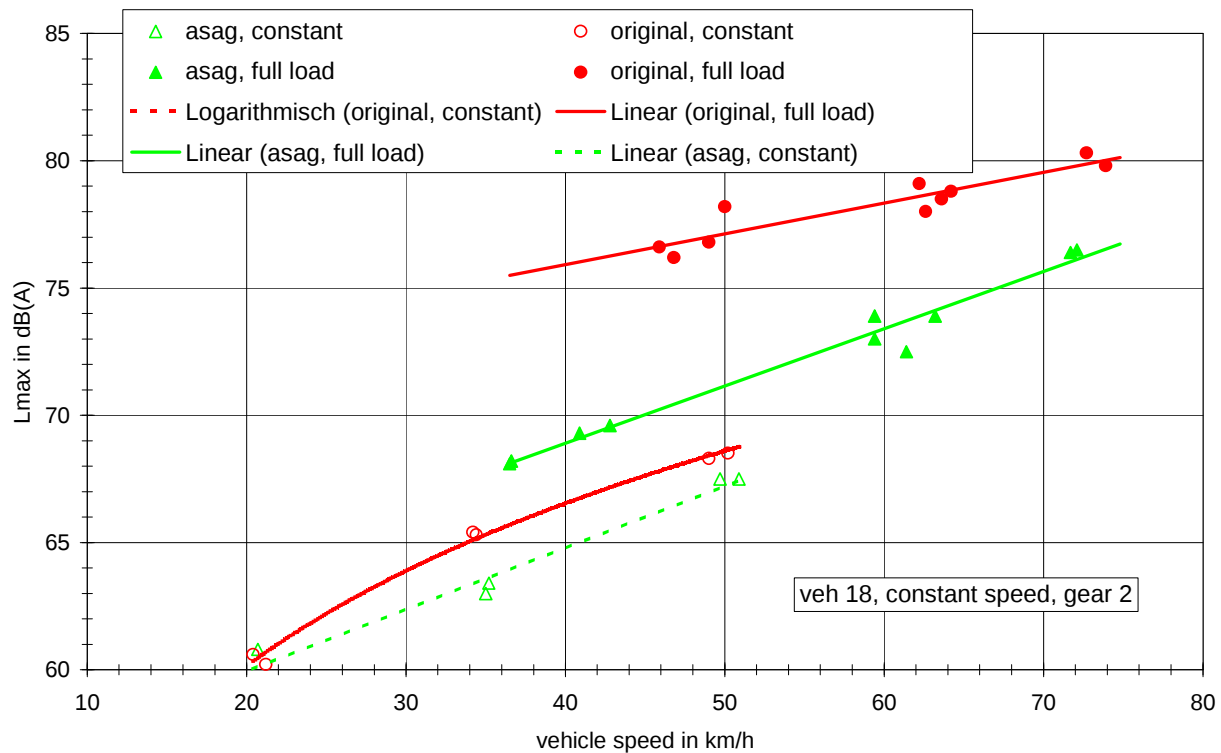


Bild 64: Geräuschemissionen im 2. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 18

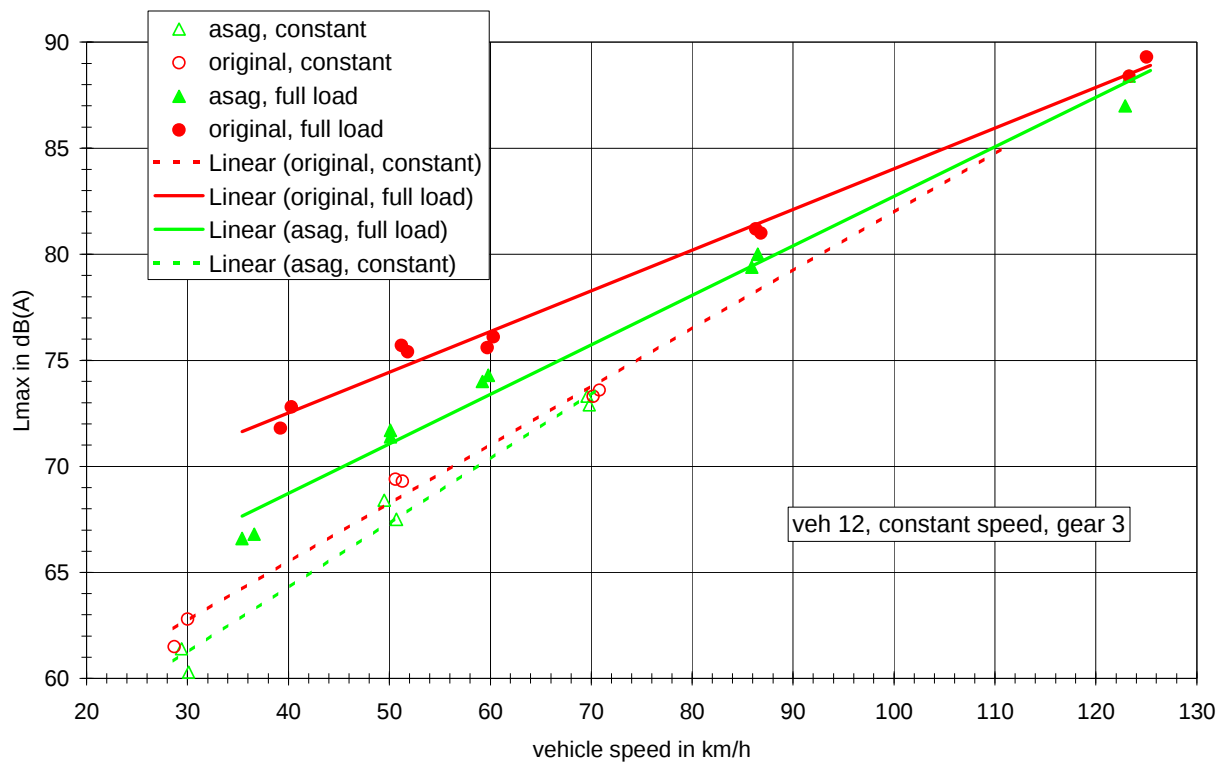


Bild 65: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 12

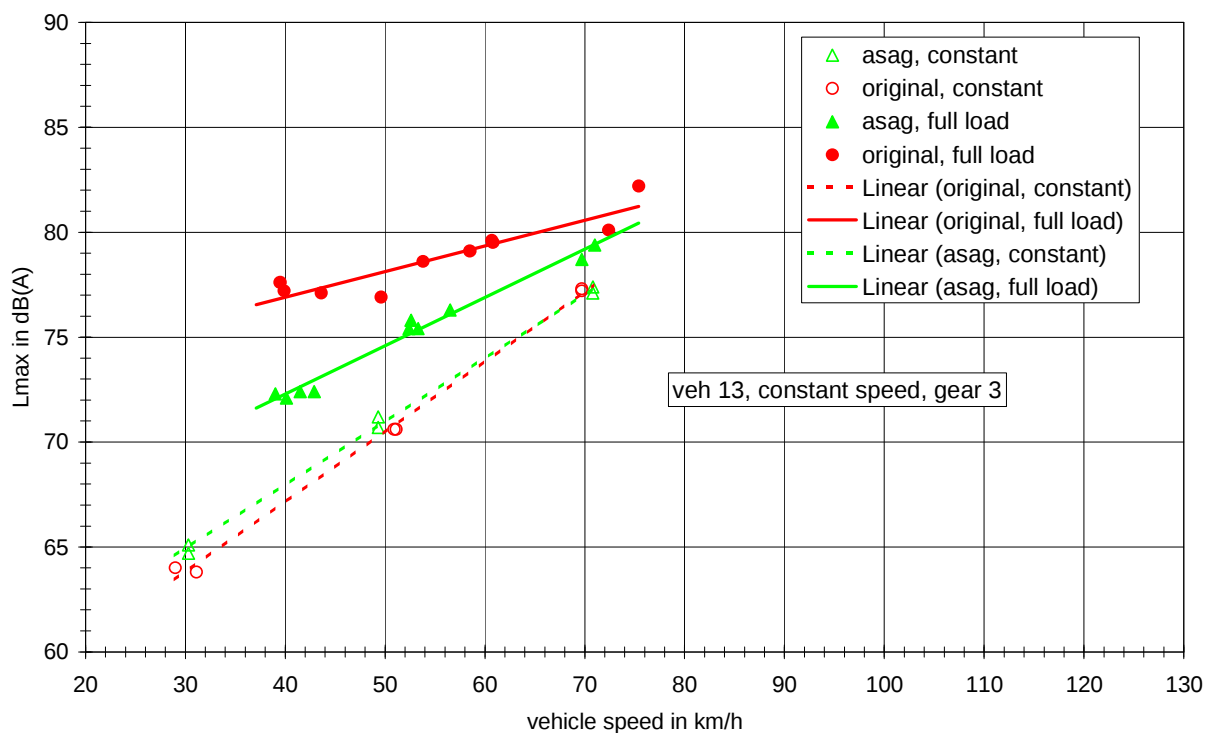


Bild 66: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 13

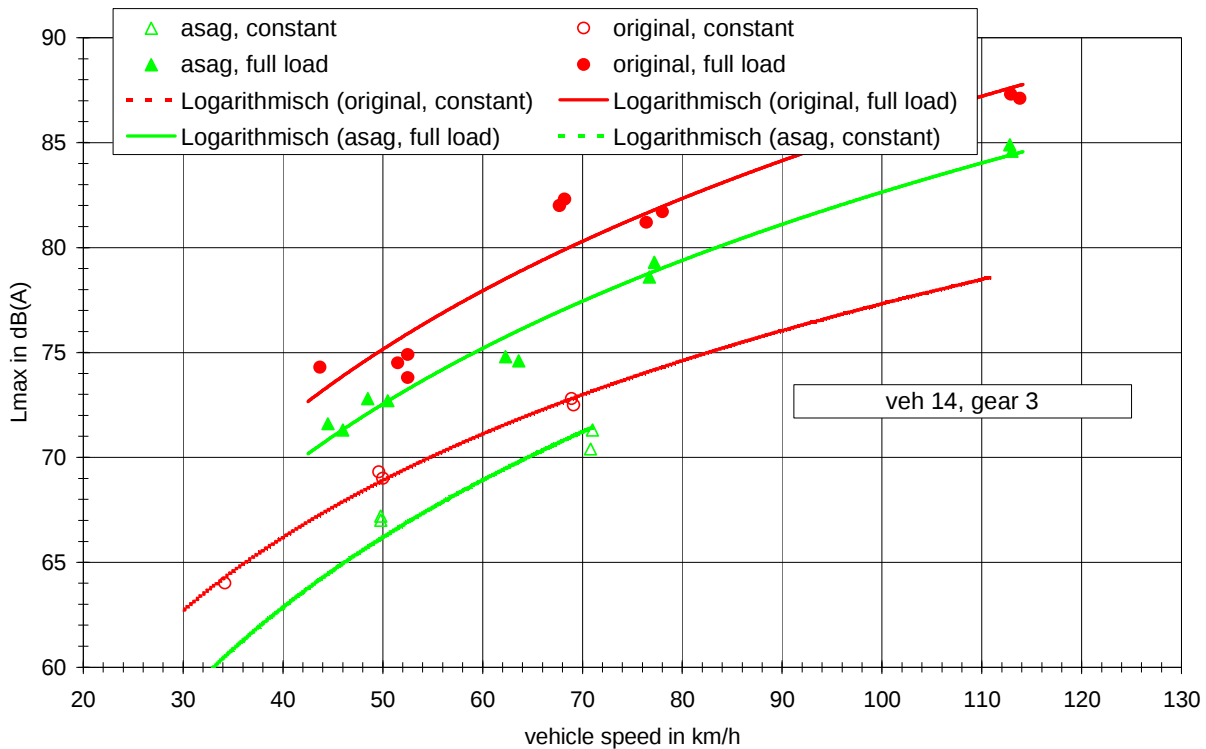


Bild 67: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 14

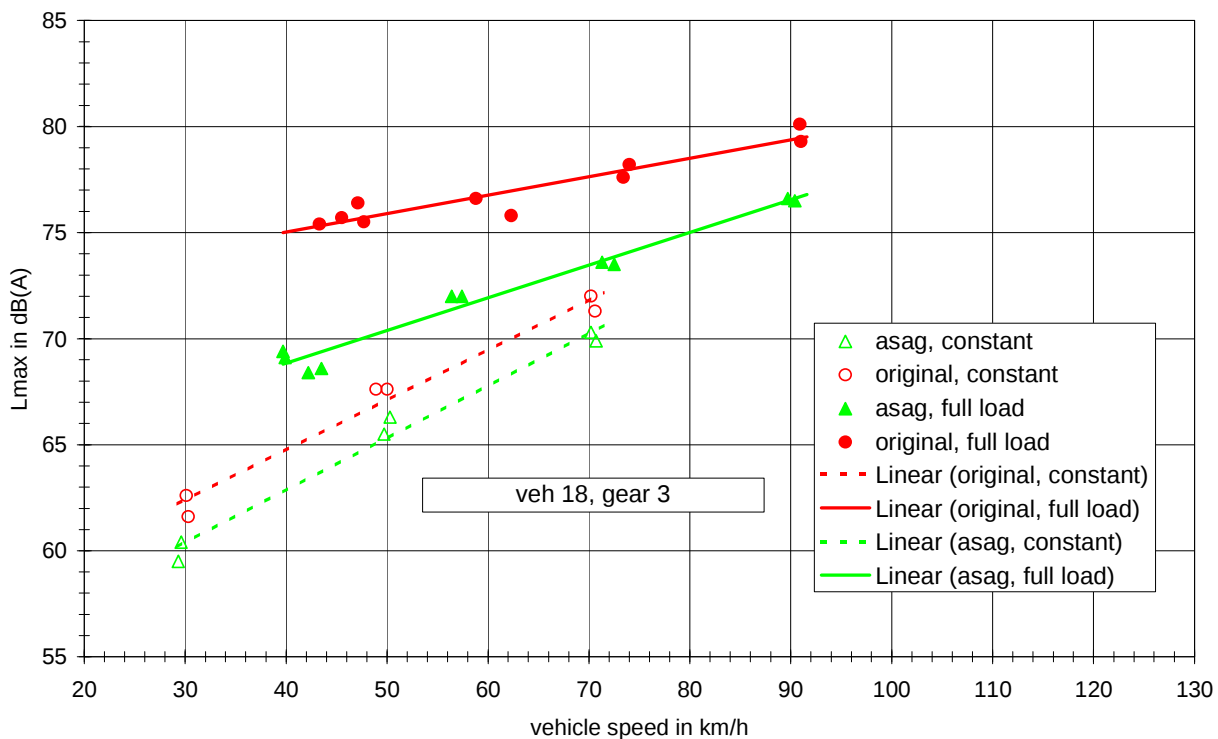


Bild 68: Geräuschemissionen im 3. Gang in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Motorbelastung, Fahrzeug 18

In Bild 69 bis Bild 72 sind die Vollastpegel in den Getriebestufen 2 bis 4 (im Originalzustand) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit dargestellt. Die Bilder verdeutlichen folgende Sachverhalte:

Das Geräuschniveau ist keine Frage der Nenndrehzahl. Bei 50 km/h ist Fahrzeug 12 (Nenndrehzahl 12000 min^{-1}) selbst im 2. Gang leiser als Fahrzeug 13 (Nenndrehzahl 6000 min^{-1}) im 3. Gang, obwohl die absoluten Drehzahlen um 40% höher liegen.

Im Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h liegen die Geräuschemissionen bei den hier untersuchten Motorrädern selbst bei Vollast im allgemeinen unter 77 dB(A). Wenn man bedenkt, dass diese Fahrzeuge im realen Verkehr in diesem Geschwindigkeitsbereich nicht mit Vollast, sondern mit Teillast beschleunigt werden, so sind ihre Geräuschemissionen nur wenige Dezibel höher als die von Pkw. Die Betonung liegt aber auf „diesem Geschwindigkeitsbereich“. Bild 69 und Bild 71 zeigen nämlich auch, dass die Geräuschemissionen im Außerortsbereich und an Ortsausgängen weit über 80 dB(A) liegen können und damit die Geräuschemissionen schwerer Lkw übertreffen, selbst wenn die Geräuschgrenzwerte eingehalten werden. Derartige Fahrweisen kommen in der Praxis durchaus vor, es muss betont werden, dass in beiden Beispielen nicht einmal 80% der Nenndrehzahl erreicht wurden. Die meisten Klagen über die hohe Belästigungswirkung der Motorräder stammen aus diesem Geschwindigkeitsbereich.

In diesem Geschwindigkeitsbereich wird auch deutlich stärker beschleunigt als im Innerortsbereich, wie Messergebnisse einer Feldstudie der TU Darmstadt belegen (Bild 73), die mit einem Fahrzeug desselben Typs wie Fz. 12 durchgeführt wurden. Der Motorradlärm ist also in erster Linie auf Außerortsstraßen und Ortsausgängen ein Problem. Dies müsste bei einer Messverfahrensänderung in Richtung stärkerer Praxisbezug eigentlich berücksichtigt werden.

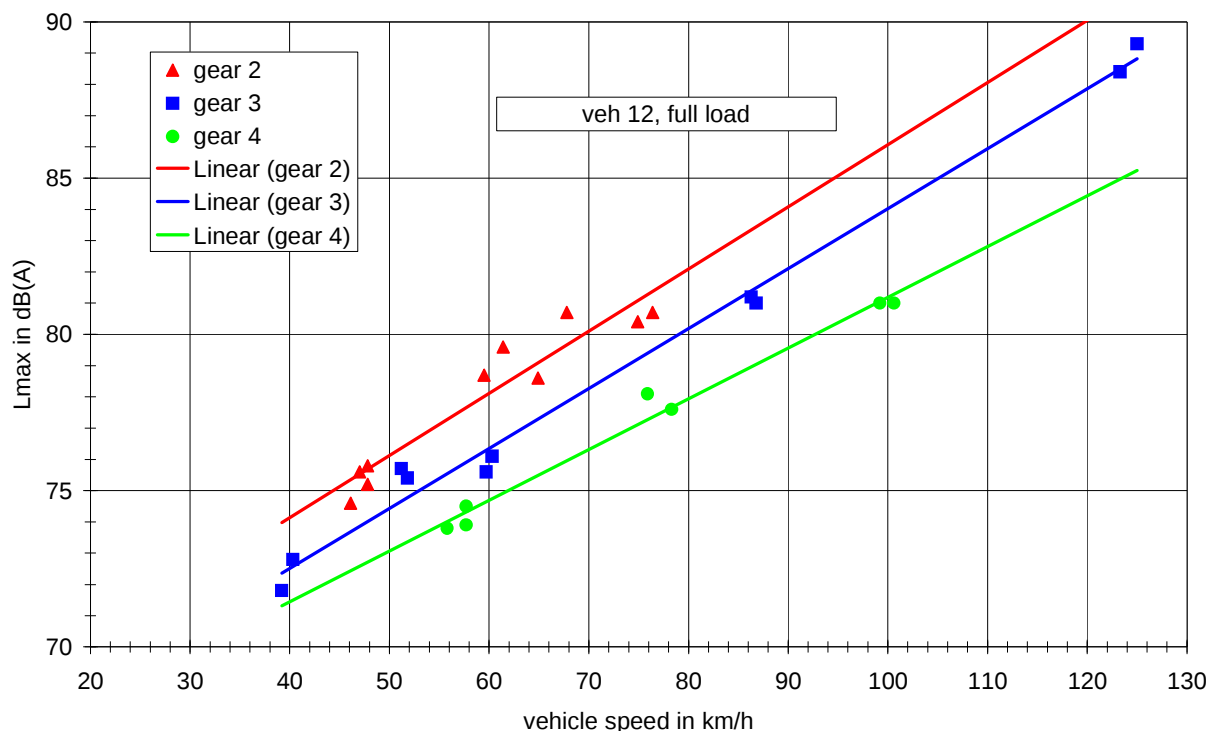


Bild 69: Geräuschemissionen bei Vollastbeschleunigungen in verschiedenen Gängen, Fahrzeug 12

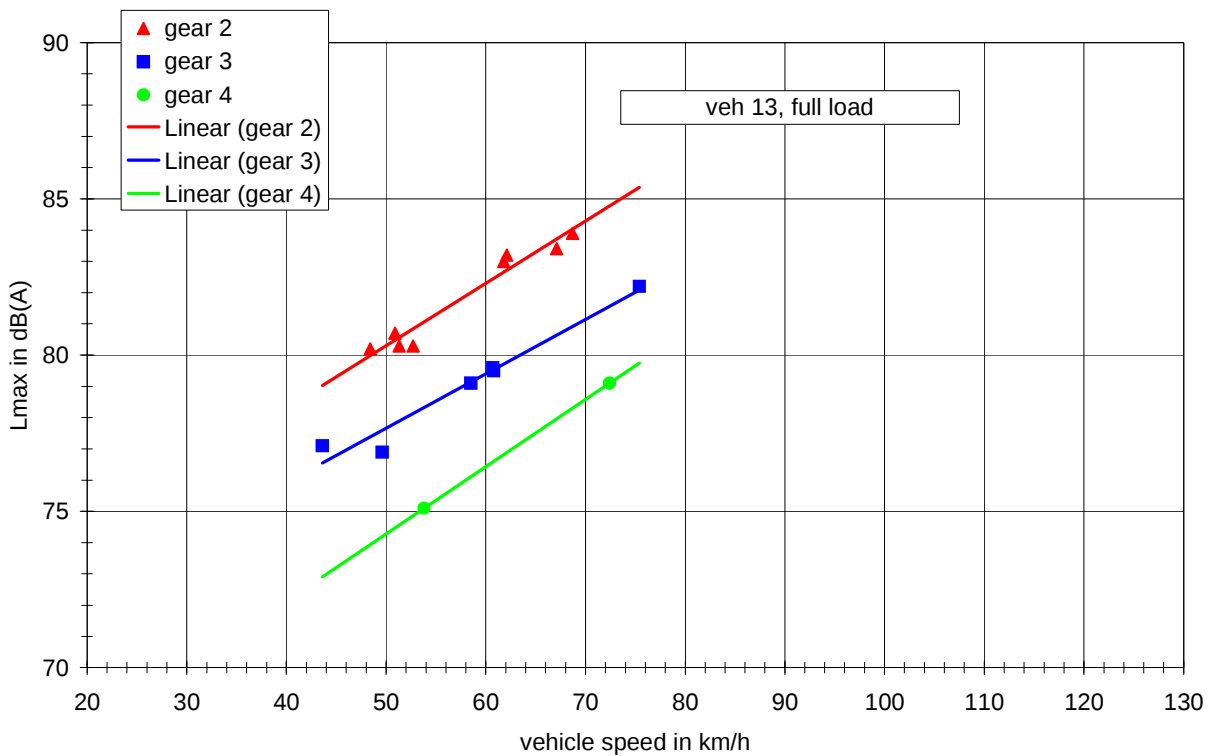


Bild 70: Geräuschemissionen bei Vollastbeschleunigungen in verschiedenen Gängen, Fahrzeug 13

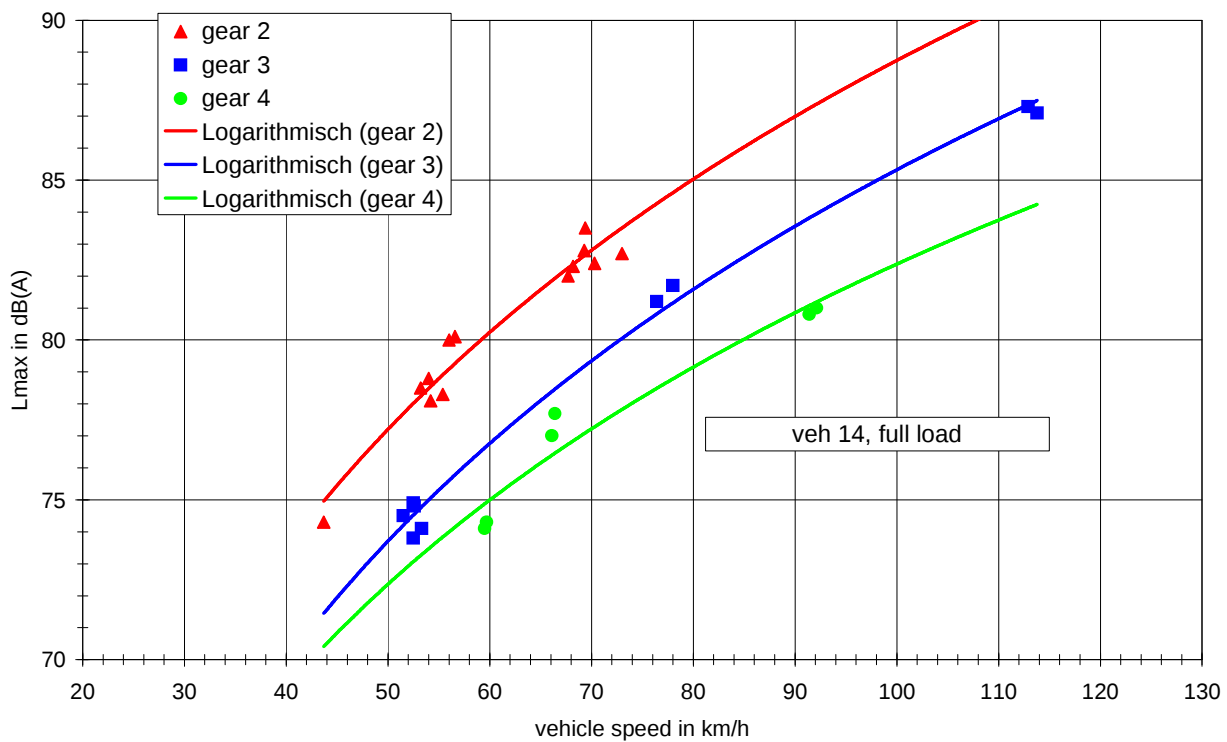


Bild 71: Geräuschemissionen bei Vollastbeschleunigungen in verschiedenen Gängen, Fahrzeug 14

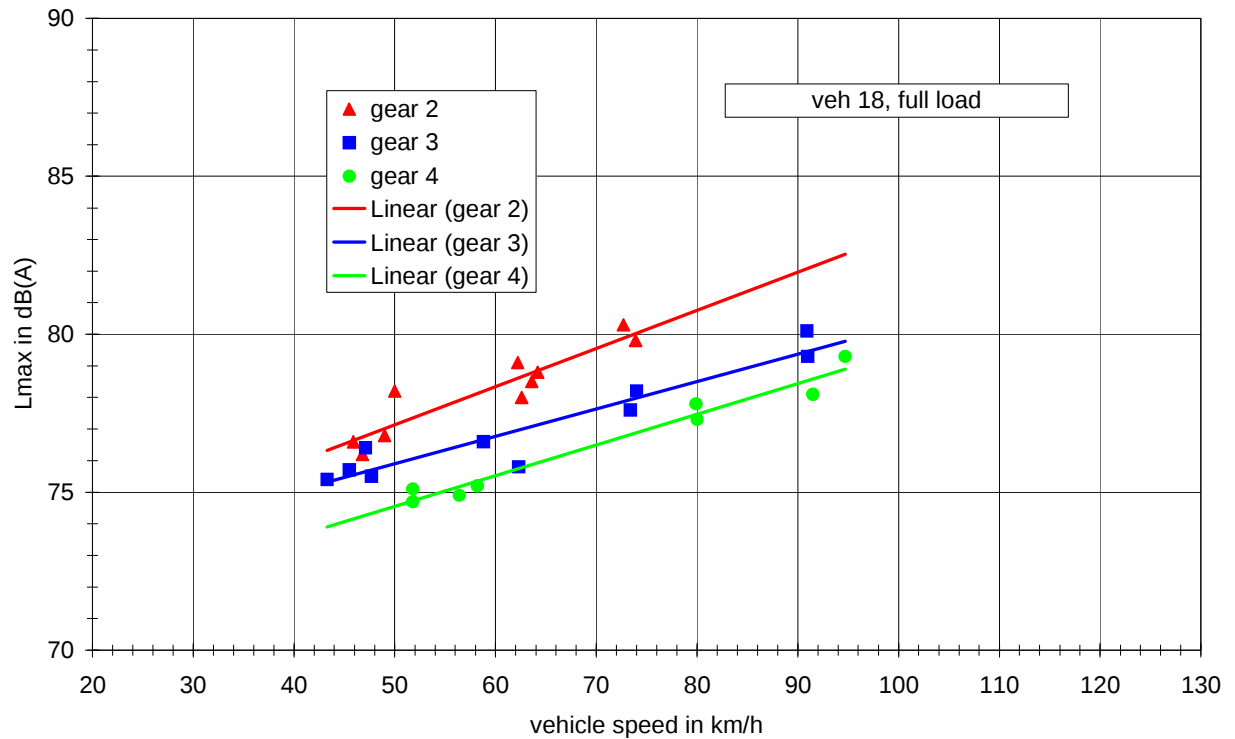


Bild 72: Geräuschemissionen bei Vollastbeschleunigungen in verschiedenen Gängen, Fahrzeug 18

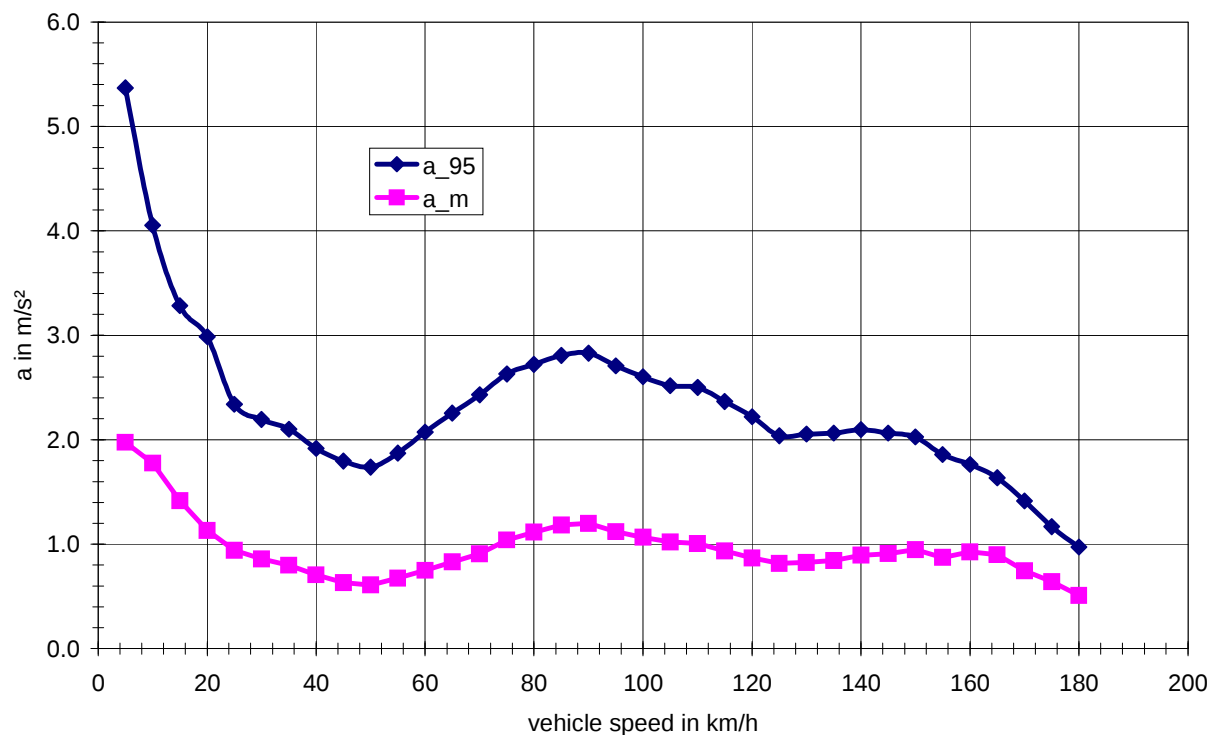


Bild 73: Fahrzeugbeschleunigungen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit

4.3 Bestimmung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb

4.3.1 Vorbemerkungen

In einem weiteren Arbeitsschritt des Vorhabens sollten aus den im Rahmen der Typprüfung erreichten Geräuschminderungen die damit verbundenen Minderungen im praktischen Betrieb abgeschätzt und im Sinne einer Effizienzbewertung gegenübergestellt werden. Diese Modellierung wurde zweistufig durchgeführt: Zum einen wurden für die in Abschnitt 4.2 dargestellten Fahrzeugtypen die in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen durch Verknüpfung der Geräuschmessergebnisse mit Fahrverhaltensdaten dieser oder ähnlicher Fahrzeuge bestimmt. Zum anderen wurden innerhalb der Fahrzeugkategorien Fahrzeugschichten (mit unterschiedlichem Emissionsverhalten) modelliert, mit denen die zeitliche Entwicklung sowie die Summe der Emissionen der gesamten Fahrzeugflotte auf einer Straße besser bestimmt werden können. Auf der Basis dieser Analysen sollten letztlich Emissionsfaktoren für die im praktischen Betrieb relevanten Fahrzustände bestimmt werden.

4.3.2 Modellierungsdesign

Um diese Aufgabenstellungen erfüllen zu können, wurden Antriebs- und Rollgeräusche separat modelliert. In einem ersten Schritt wurden für die in Abschnitt 4.2 dargestellten Fahrzeugtypen die Antriebsgeräusche durch energetische Subtraktion der Rollgeräusche vom Gesamtgeräusch berechnet:

$$L_{\text{prop}} = 10 \cdot \log(10^{(0.1 \cdot L_{\text{tot}})} - 10^{(0.1 \cdot L_{\text{roll}})}) \quad \text{Gleichung 1}$$

In die Berechnung wurden allerdings nur Ergebnisse mit einbezogen, bei denen das Rollgeräusch mindestens 2 dB(A) unter dem Gesamtgeräusch lag. Für Konstantfahrten war diese Bedingung meistens nur im 2. Gang erfüllt. Die so erhaltenen Antriebsgeräuschpegel wurden dann über der Motordrehzahl dargestellt. Um für alle Fahrzeugarten dieselben Regressionsansätze verwenden zu können, wurden die Motordrehzahlen auf das nutzbare Band zwischen Leerlauf und Nenndrehzahl normiert:

$$n_{\text{norm}} = (n - n_{\text{idle}}) / (s - n_{\text{idle}}) \quad \text{Gleichung 2}$$

n_{norm} nimmt Werte zwischen 0 und 1 an.

s – Nennleistungsdrehzahl,

n_{idle} – Leerlaufdrehzahl

Entsprechend den Ergebnissen aus den gezielten Geräuschmessungen an ausgewählten Kraftfahrzeugen wurde für die Approximation der Antriebsgeräusche eine lineare Abhängigkeit von der Motordrehzahl angesetzt. **Bild 74** zeigt typische Verläufe des Antriebsgeräusches ohne Motorbelastung (const) und bei voller Motorbelastung (WOT) am Beispiel von Fahrzeug 1. Die Geräuscherhöhung bei Vollast gegenüber der Konstantfahrt wird mit zunehmender Motordrehzahl geringer. In einzelnen Fällen wurden aber auch gegenläufige Trends (**Bild 75**) oder Resonanzeffekte (**Bild 76**) vorgefunden. In letzterem Fall wurde die Vollastkurve stückweise approximiert. In den meisten Fällen stimmten die Antriebsgeräusche bei Konstantfahrt recht gut mit den im Stand in 7,5 m seitlich vom Fahrzeug gemessenen Geräuschpegeln gut überein.

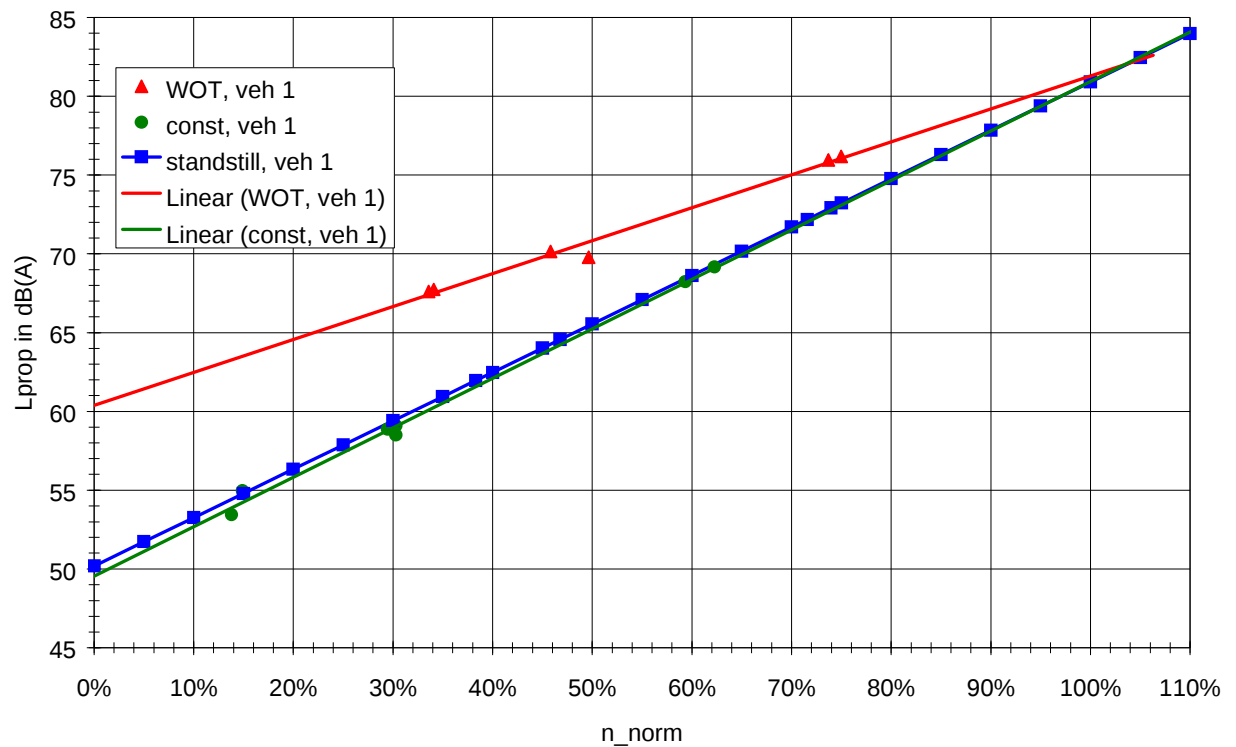


Bild 74: Antriebsgeräusch in Abhängigkeit von normierter Drehzahl und Motorbelastung (WOT - Vollast), Fahrzeug 1

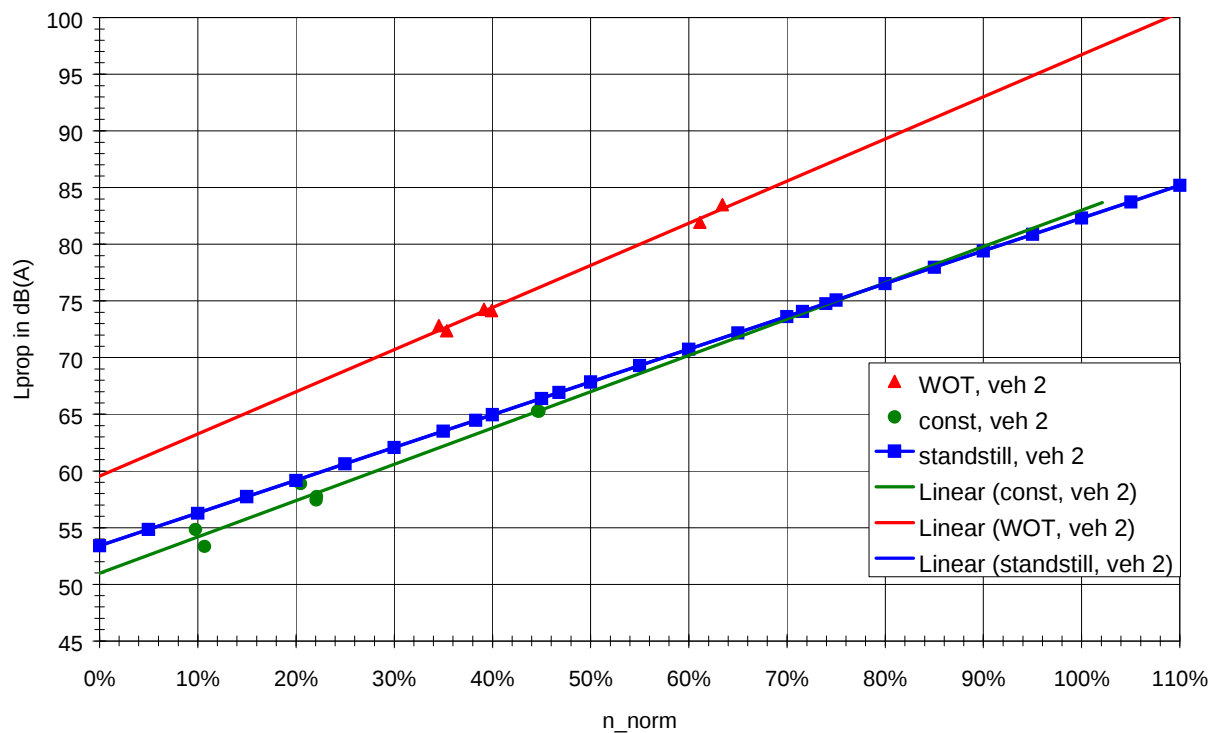


Bild 75: Antriebsgeräusch in Abhängigkeit von normierter Drehzahl und Motorbelastung (WOT - Vollast), Fahrzeug 2

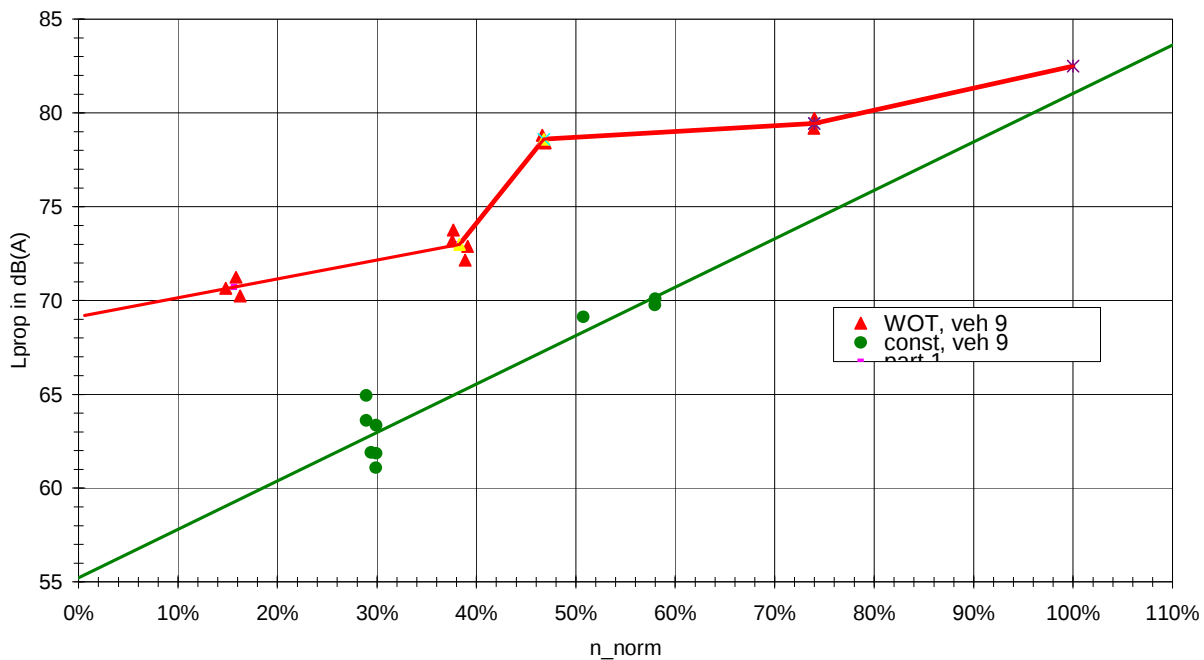


Bild 76: Antriebsgeräusch in Abhängigkeit von normierter Drehzahl und Motorbelastung (WOT - Volllast), Fahrzeug 9

Für das Antriebsgeräusch ohne Motorbelastung wurden aus den Messergebnissen Regressionsgeraden der folgenden Form bestimmt:

$$L_{eng} = L_{n_idle} + (L_s - L_{n_idle}) * n_norm$$

Gleichung 3

L_{eng} – Antriebsgeräusch ohne Lasteinfluss,

L_{n_idle} – Leerlaufgeräusch

L_s – Geräusch bei Nenndrehzahl

Für die Modellierung des geräuscherhöhenden Einflusses der Motorbelastung wurden folgende vereinfachende Annahmen getroffen: Zwischen Schubbetrieb und 10% Motorbelastung entspricht das Antriebsgeräusch dem der Konstantfahrt. Zwischen 10% Motorbelastung und Vollast steigt das Antriebsgeräusch linear mit der Belastung an. Dies ergibt die folgende Formel:

$$DL_p = (DL_{p_idle} + (DL_{p_s} - DL_{p_idle}) * n_norm) * (P_norm - 0.1)/0.9 \text{ für } P_norm \geq 0.1$$

$$DL_p = 0$$

für $P_norm < 0.1$

Gleichung 4

DL_p – Geräuscherhöhung durch Lasteinfluss

DL_{p_idle} – Geräuscherhöhung bei Drehzahlen nahe Leerlauf

DL_{p_s} – Geräuscherhöhung bei Nenndrehzahl

P_{norm} nimmt Werte zwischen - 0.5 (Schubbetrieb) und 1 (Vollast) an.

Die Motorbelastung ist als Verhältnis der momentanen Motorleistung zur bei der betrachteten Drehzahl maximal verfügbaren Motorleistung definiert.

Damit ergibt sich das gesamte Antriebsgeräusch L_{prop} zu

$$L_{\text{prop}} = L_{\text{eng}} + DL_p$$

Gleichung 5

L_{eng} – Antriebsgeräusch ohne Lasteinfluss,

DL_p – Geräuscherhöhung durch Lasteinfluss

In Tabelle 28 sind die nach obigen Gleichungen bestimmten Antriebsgeräuschpegel für eine normierte Motordrehzahl von 50% zusammengestellt. Da sich auch innerhalb einer Fahrzeugkategorie die normierten Drehzahlen im praktischen Betrieb stark unterscheiden können, können diese Zahlen nicht unmittelbar zur Beurteilung des Emissionsverhaltens herangezogen werden.

vehicle cat	vehicle no	Lprop in dB(A)		DLp dB(A)
		const	WOT	
M1,car	veh 1	65.5	70.8	5.3
M1,car	veh 2	67.8	78.1	10.3
M1,car	veh 3	66.9	75.8	8.9
M1,car	veh 4	63.3	68.4	5.1
M1,car	veh 5	62.9	67.6	4.7
M1,car	veh 6	65.4	72.6	7.2
M1,car	veh 7	62.0	67.0	5.1
M1,car	veh 8	67.7	69.0	1.3
M1,car	veh 9	68.1	78.7	10.6
M1,car	veh 10	69.8	77.0	7.2
M1,car	veh 11	69.8	73.1	3.3
M1,car	veh 15	64.2	68.9	4.7
M1,car	veh 16	63.6	64.8	1.2
M1,car	veh 17	61.8	67.6	5.8
M1,car	average	65.6	71.4	5.8
L, Mot	veh 12	74.5	81.3	6.8
L, Mot	veh 13	69.8	78.9	9.1
L, Mot	veh 14	72.9	81.3	8.5
L, Mot	veh 18	70.7	79.9	9.2
L, Mot	average	72.0	80.3	8.4
N1, LDV	veh 19	71.9	76.7	4.8
N1, LDV	veh 20	72.7	75.1	2.4
N1, LDV	veh 24	63.3	68.9	5.5
N2, HDV	veh 21	69.3	76.3	7.0
N2, HDV	veh 25	72.7	80.4	7.7
N3, HDV	veh 22	73.3	81.8	8.5
N3, HDV	veh 23	71.9	79.0	7.1

Tabelle 28: Antriebsgeräuschpegel der in Abschnitt 4.2 behandelten Fahrzeuge bei 50% normierter Motordrehzahl

Das Rollgeräusch wurde durch eine logarithmische Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit modelliert:

$$L_{roll} = L_{r50} + B \cdot \log(v/50 \text{ km/h})$$

Gleichung 6

L_{r50} - Rollgeräuschpegel bei 50 km/h,

B - Anstiegsmaß mit der Geschwindigkeit

Die kennwerte L_{r50} und B für den ISO-Belag sind in Tabelle 29 für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge zusammengestellt. Für Motorräder wurde auf eine Modellierung der Rollgeräusche wegen Bedeutungslosigkeit verzichtet. Die Rollgeräusche der mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse ausgerüsteten schweren Nutzfahrzeuge liegen im Mittel um gut 8 dB(A) über denen der Pkw. Die Rollgeräusche des ohne Traktionsreifen ausgerüsteten schweren Nutzfahrzeugs liegen am oberen Rand des Pkw-Streubandes, und dies, obwohl zwei Reifen mehr beteiligt sind als bei den Pkw.

Um für die Berechnung der Emissionen im praktischen Betrieb eine praxisgerechtere Deckschicht (Splittmastixasphalt 0/11) zugrunde zu legen, wurden die Rollgeräuschpegel der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge um 2 dB(A) und die der schweren Nutzfahrzeuge um 1,5 dB(A) erhöht. Bei den beiden N3-Fahrzeugen wurden die Rollgeräusche zusätzlich um 3 dB(A) erhöht, um den Betrieb mit Anhänger zu simulieren.

vehicle cat	vehicle no	B in dB(A)	Lr50 in dB(A)	remarks
M1,car	1	34.71	68.0	
M1,car	2	34.51	65.8	
M1,car	3	33.08	64.6	
M1,car	4	31.74	64.6	
M1,car	5	32.57	65.0	
M1,car	6	32.90	62.2	
M1,car	7	38.78	65.5	
M1,car	8	34.08	65.7	
M1,car	9	29.29	64.6	
M1,car	10	30.80	68.0	
M1,car	11	31.28	64.9	
M1,car	15	32.19	68.4	
M1,car	16	31.76	67.1	
M1,car	17	32.14	65.3	
M1,car	average	32.85	65.7	
N1, LDV	19	29.85	66.3	
N1, LDV	20	36.40	65.6	
N1, LDV	24	36.88	67.7	
N1, LDV	average	34.37	66.5	
N2, HDV	21	43.03	74.0	traction tyres
N2, HDV	25	37.31	68.3	
N3, HDV	22	38.80	73.8	traction tyres
N3, HDV	23	43.54	74.6	traction tyres
HDV	average	40.67	72.7	

Tabelle 29: Kennwerte der Regressionskurven der Rollgeräusche der in Abschnitt 4.2 behandelten Fahrzeuge

Um die in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen zu bestimmen, wurde dann wie folgt vorgegangen:

Aus Fahrverhaltensdaten (sekündliche Werte von Geschwindigkeit sowie normierter Motordrehzahl und Motorbelastung) aus vorangegangenen Forschungsvorhaben wurden den in Abschnitt 4.2 behandelten Fahrzeugen ähnliche Fahrzeuge zugeordnet. Für jede Sekunde wurde dann das Antriebsgeräusch mit Hilfe der aktuellen Werte von normierter Drehzahl und Motorbelastung und das Rollgeräusch mit Hilfe der aktuellen Geschwindigkeit bestimmt und zum Gesamtgeräusch energetisch addiert.

Für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge konnte dabei nach 11 unterschiedlichen Straßentypen und drei Fahrweisen unterschieden werden (Tabelle 30), für Motorräder und schwere Nutzfahrzeuge immerhin nach Innerorts, Außerorts und Autobahn. Die gewählte Vorgehensweise hat den Vor-

teil, dass nicht nur Mittelwerte, sondern auch die Pegelverteilungen auf verschiedenen Straßenkategorien angegeben und verglichen werden können.

No.	road type
1	residential streets, speed limit 30 km/h
2	residential streets, speed limit 50 km/h
3	city centre
4	main streets, speed limit 50 km/h, congested
5	main streets, speed limit 50 km/h, dense traffic
6	main streets, speed limit 50 km/h, traffic lights
7	main streets, speed limit 50 km/h, right of way
8	main streets, speed limit > 50 km/h
9	urban motorway, speed limit 100 km/h
10	rural, speed limit 70 km/h
11	rural, speed limit 100 km/h

Tabelle 30: Für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge verfügbare Fahrverhaltensdaten nach Straßentypen

Bild 77 zeigt das Ergebnis an einem Beispiel für alle Straßentypen/Verkehrssituationen zusammengekommen.

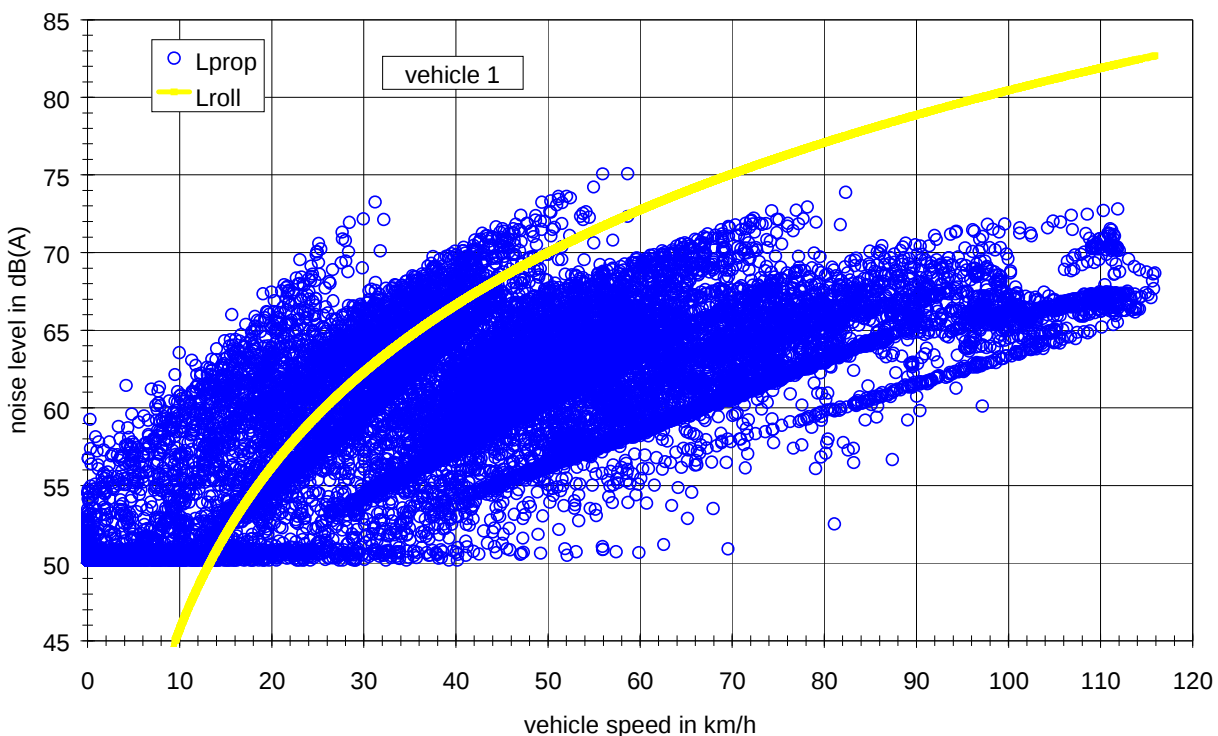


Bild 77: Sekündliche Werte von Antriebs- und Rollgeräusch in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Fahrzeug 1

4.3.3 Geräuschemissionen der in Abschnitt 4.2 behandelten Fahrzeuge im praktischen Betrieb

4.3.3.1 Pkw (M1)

In Bild 78 sind die mittleren Geräuschemissionen auf verschiedenen Straßentypen bei unterschiedlicher Fahrweise dargestellt. Die Pegelwerte sind energetische Mittelwerte der sekundlichen Vorbeifahrtpegel aller Fahrzeuge, Geschwindigkeiten unter 2,5 km/h wurden nicht berücksichtigt. Der Einfluss der Fahrweise ist beträchtlich.

Die **Rangfolge** der Straßentypen hinsichtlich der Geräuschemission ist überwiegend von der Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmt und nahezu unabhängig von der Fahrweise (Bild 79). Dies gilt jedoch nicht für das Emissionsniveau, das bei gegebenem Straßentyp sehr wohl von der Fahrweise abhängen kann. Dass der Fahrweiseneinfluss sogar bei Straßentypen mit hohen Durchschnittsgeschwindigkeiten signifikant ist, liegt daran, dass diese ebenfalls von der Fahrweise abhängen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass man bei hochtouriger Fahrweise deutlich schneller vorankommt, denn hochtourige Fahrweise weist deutlich höhere Stillstandsanteile auf als durchschnittliche oder ökonomische Fahrweise. Ökonomische Fahrweise zeichnet sich dadurch aus, dass möglichst frühzeitig in den nächsthöheren Gang geschaltet wird und auf überflüssiges Beschleunigen verzichtet wird. Bei hochtouriger Fahrweise sollte der Fahrer versuchen, sein Ziel möglichst schnell zu erreichen.

Für die weitere Diskussion werden der leiseste, der lauteste und ein mittlerer Straßentyp sowie zunächst durchschnittliche Fahrweise betrachtet. Die Emissionen der untersuchten Fahrzeuge auf diesen Straßentypen sind in Bild 80 für durchschnittliche Fahrweise zusammengestellt. Die Fahrzeuge sind nach der Emission auf der innerörtlichen Hauptverkehrsstraße geordnet. Die Spanne zwischen leisestem und lautestem Fahrzeug beträgt für die Tempo 30 Zone im Wohngebiet 8 dB(A), auf der innerörtlichen Hauptverkehrsstraße 5,5 dB(A) und auf der Stadtautobahn 5,7 dB(A).

Die höhere Spanne bei der Stadtautobahn und die Unterschiede in der Rangfolge der Fahrzeuge erklärt sich aus der je nach Fahrzeug unterschiedlichen Bedeutung von Antriebs- und Rollgeräusch (vgl. Bild 81 bis Bild 84). Fahrzeug 6 ist auf der innerörtlichen Hauptverkehrsstraße und der Stadtautobahn das leiseste Fahrzeug, weil er über die niedrigsten Rollgeräusche verfügt, während seine Antriebsgeräusche knapp über dem Durchschnitt liegen. Bei Fahrzeug 5 und Fahrzeug 17 ist dies umgekehrt, weshalb diese die leisesten Fahrzeuge auf der Tempo 30 Wohngebietsstraße sind. Fahrzeug 9 hat hohe Antriebsgeräusche und niedrige Rollgeräusche. Daher weist es auf der Tempo 30 Wohngebietsstraße mit die höchsten Emissionen auf, während es auf der Stadtautobahn zu den leisen Fahrzeugen gehört. Der Rollgeräuschanteil am Gesamtgeräusch variiert je nach Konstellation bei 50 km/h zwischen 10% und 50%.

Der Vergleich von Bild 82 und Bild 83 zeigt auch, dass die Rollgeräusche mit der Geschwindigkeit stärker ansteigen als die Antriebsgeräusche. Der Anstieg mit dem Logarithmus der Geschwindigkeit ist für Geschwindigkeiten bis 80 km/h bei den Rollgeräuschen mehr als doppelt so hoch wie bei den Antriebsgeräuschen.

Im Hinblick auf die spätere Diskussion der Effizienz eines Messverfahrens für die Typprüfung ist auch die Spannweite der Geräuschemissionen und die Rangfolge der Fahrzeuge bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten von Interesse. Hierbei sollten allerdings die beiden ältesten Pkw und das als Pkw zugelassene leichte Nutzfahrzeug nicht berücksichtigt werden. Erstere, weil sie nicht mehr den Stand der Technik repräsentieren, letzteres, weil das Fahrzeug tech-

nisch zur Kategorie der leichten Nutzfahrzeuge zu zählen ist und die Zulassung als Pkw zulassungsrechtliche und straßenverkehrsrechtliche Gründe hat.

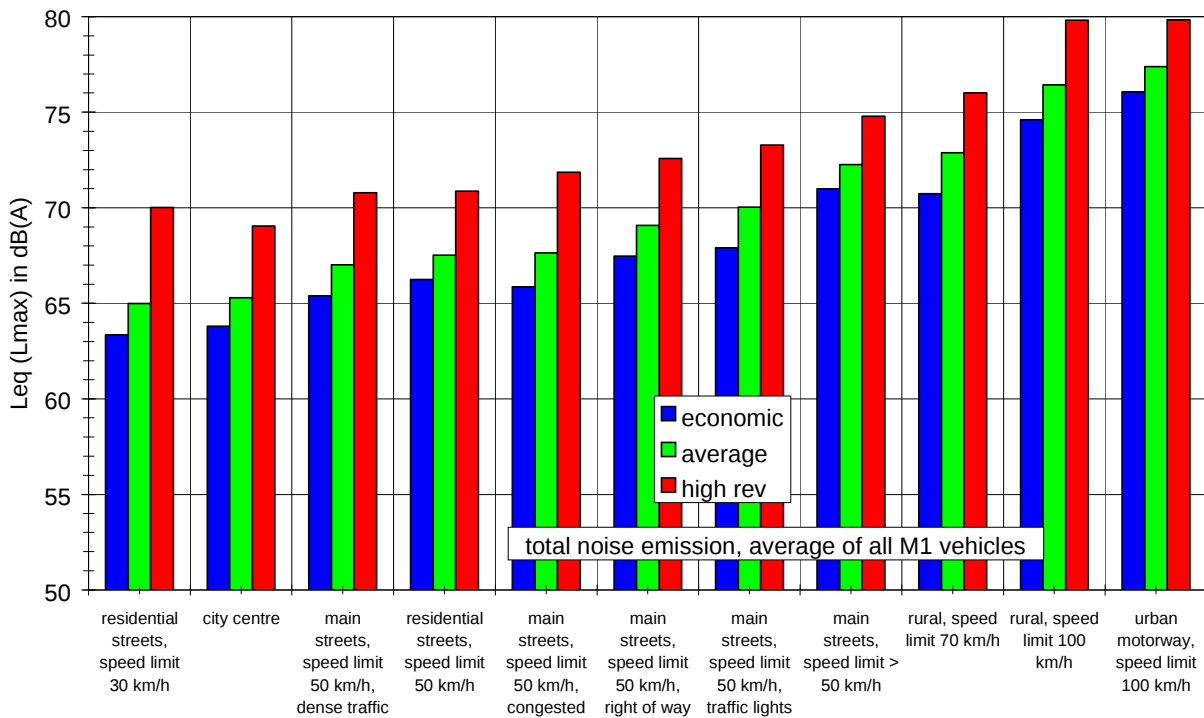


Bild 78: Mittlere Geräuschemissionen auf verschiedenen Straßentypen bei unterschiedlicher Fahrweise

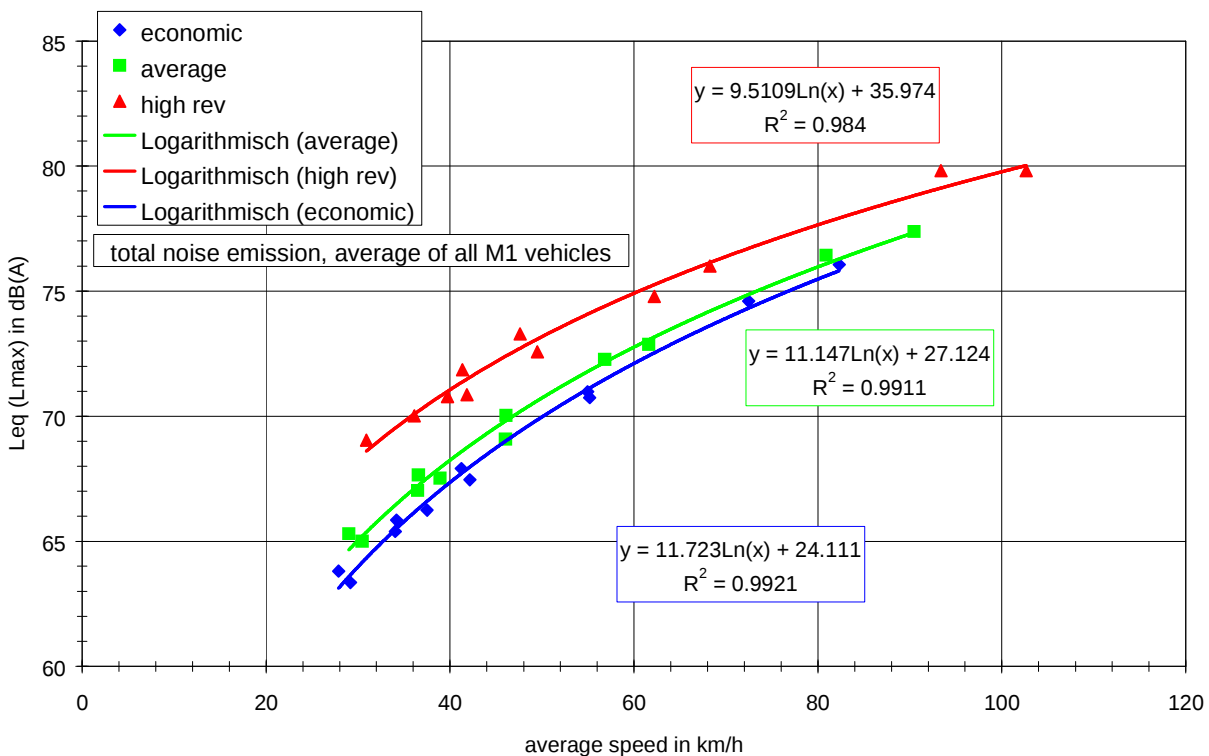


Bild 79: Mittlere Geräuschemissionen auf verschiedenen Straßentypen bei unterschiedlicher Fahrweise in Abhängigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit (ohne Berücksichtigung von Stillstand)

Für die verbleibenden Fahrzeuge sind die Spannweiten von Roll-, Antriebs- und Gesamtgeräusch bei drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten in Tabelle 31 zusammengestellt. In allen Fällen steigt die Spannweite mit der Geschwindigkeit an. Die größte Spannweite ergibt sich für das Antriebsgeräusch mit Werten zwischen 7,1 dB(A) und 8,4 dB(A). Sie ist bei allen Geschwindigkeiten von denselben Fahrzeugen bestimmt: Fahrzeug 17 als leisestes und Fahrzeug 2 als lautestes Fahrzeug. Es sei nur am Rande angemerkt, dass beide Fahrzeuge einen Typprüfwert von 70 dB(A) aufweisen.

Auch beim Rollgeräusch ist die Spanne durch zwei Fahrzeuge bzw. Reifentypen bestimmt: Fahrzeug 6 mit den leisesten und Fahrzeug 1 mit den lautesten Reifen. Interessanterweise schrumpft die Spanne der Emissionen bei der Addition beider Geräuschquellen zum Gesamtgeräusch bei dieser Fahrzeugstichprobe um fast die Hälfte im Vergleich zum Antriebsgeräusch. Die obere Grenze wird durch das Fahrzeug mit den lautesten Reifen bestimmt, die untere Grenze bei 30 km/h durch das Fahrzeug mit dem niedrigsten Antriebsgeräusch und bei den übrigen Geschwindigkeiten durch das Fahrzeug mit den niedrigsten Rollgeräuschen.

Die o.g. Ergebnisse zeigen, dass der Geschwindigkeitsbereich, ab dem das Rollgeräusch überwiegt, nicht generalisiert werden kann. Sie sprechen eigentlich auch dafür, Roll- und Antriebsgeräusche separat zu bewerten und zu begrenzen.

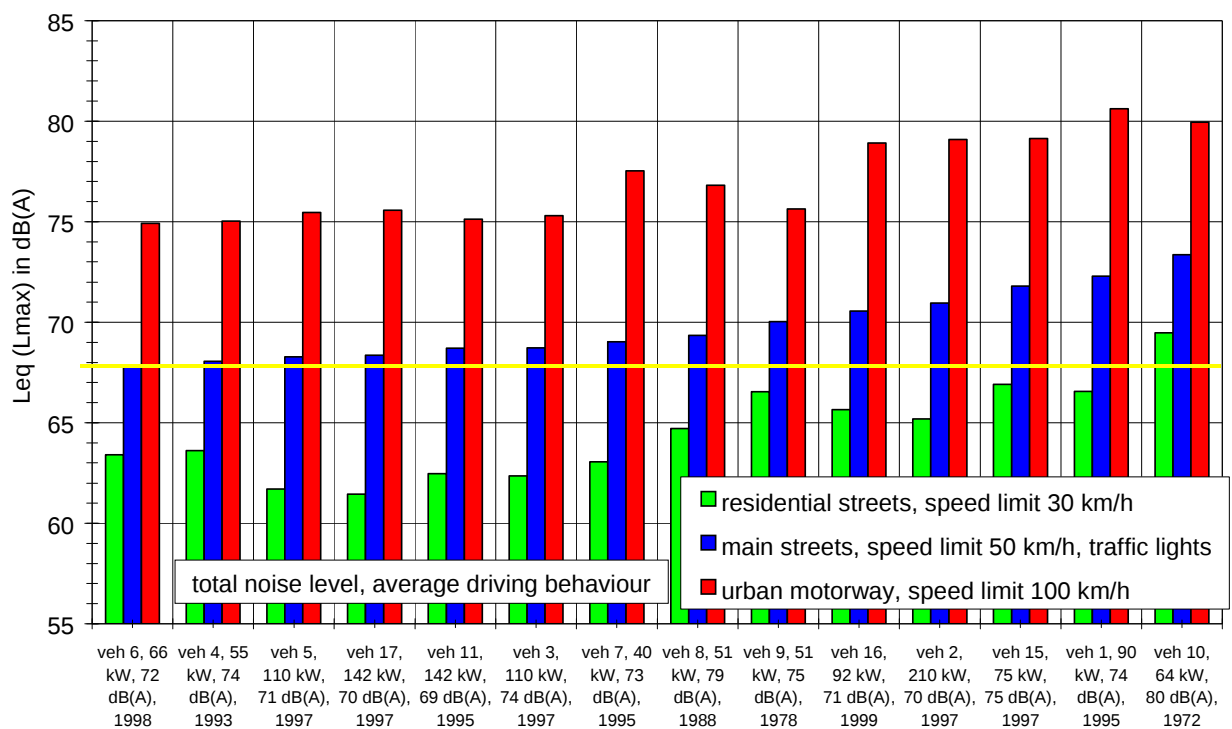


Bild 80: Mittlere Geräuschemissionen der untersuchten Pkw auf verschiedenen Straßentypen

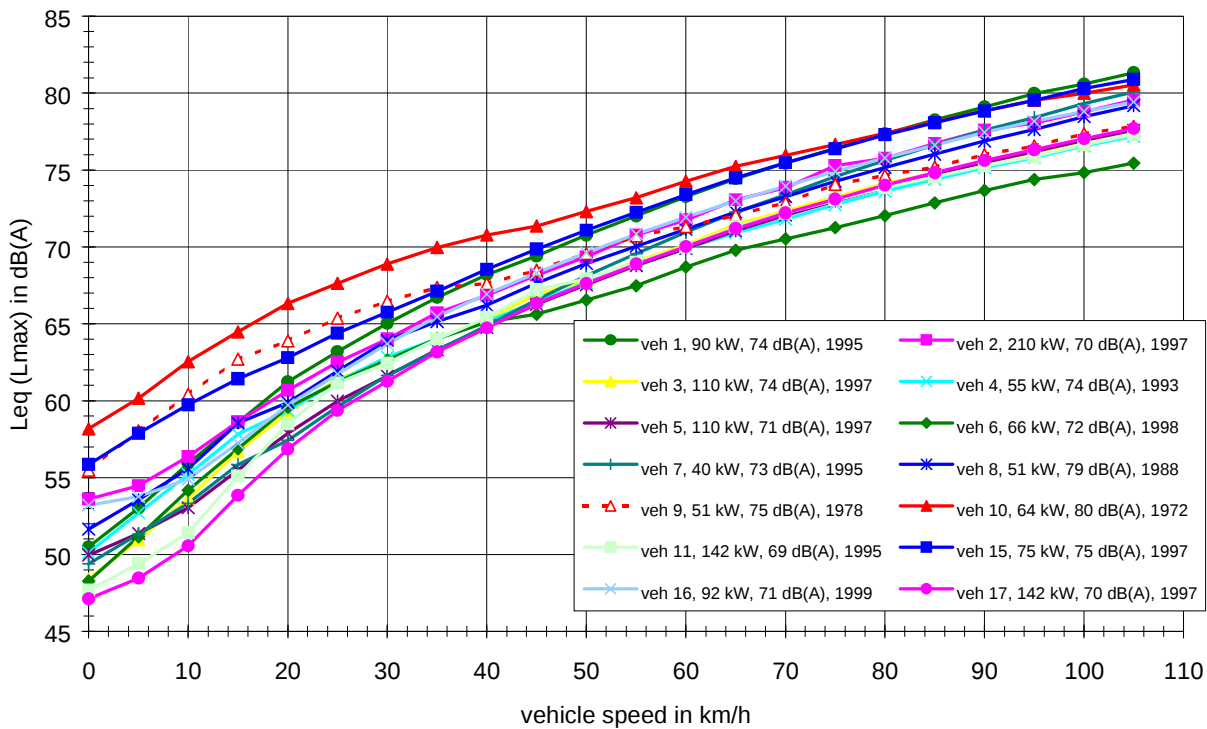


Bild 81: Mittlere Gesamtgeräuschemissionen der untersuchten Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei durchschnittlicher Fahrweise

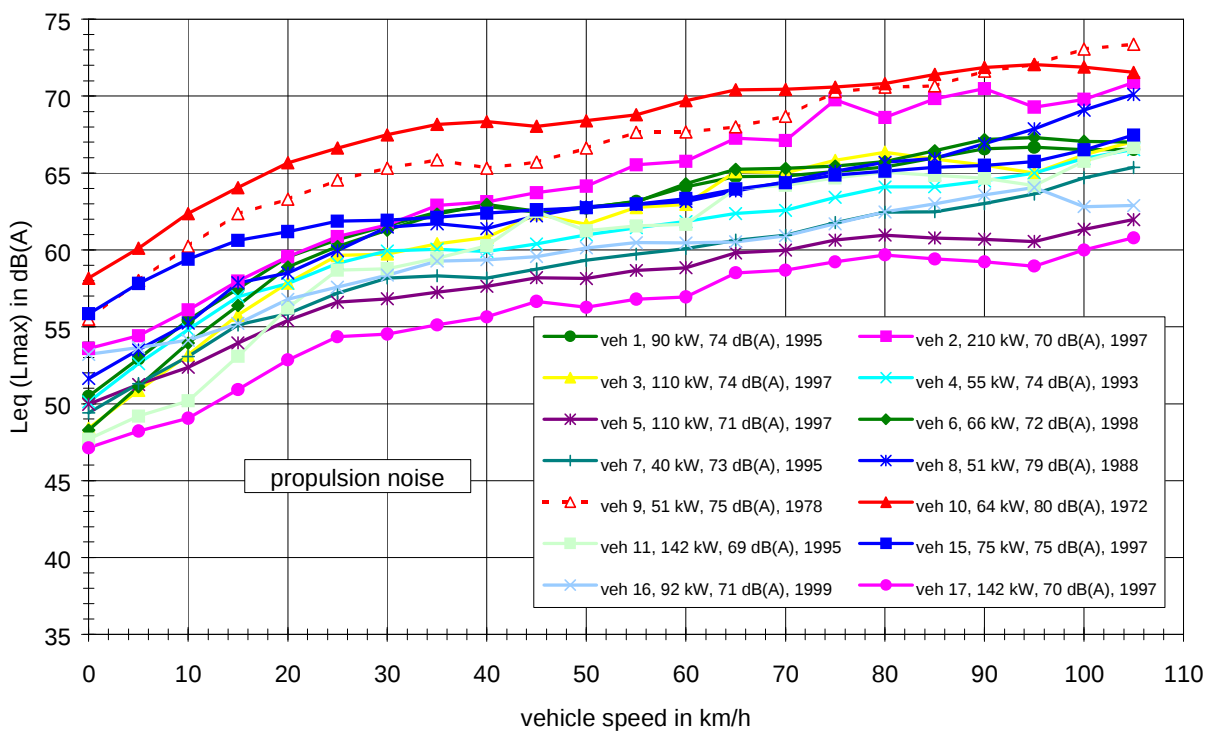


Bild 82: Mittlere Antriebsgeräuschemissionen der untersuchten Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei durchschnittlicher Fahrweise

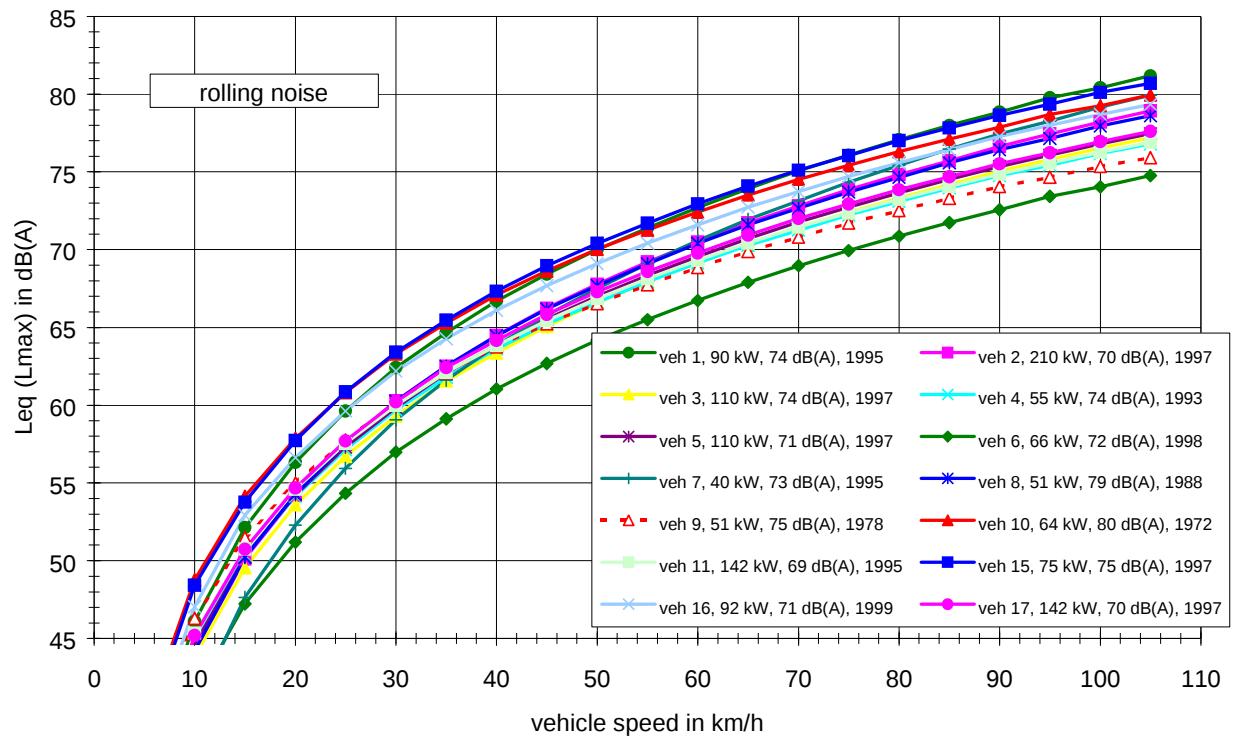


Bild 83: Mittlere Rollgeräuschemissionen der untersuchten Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit

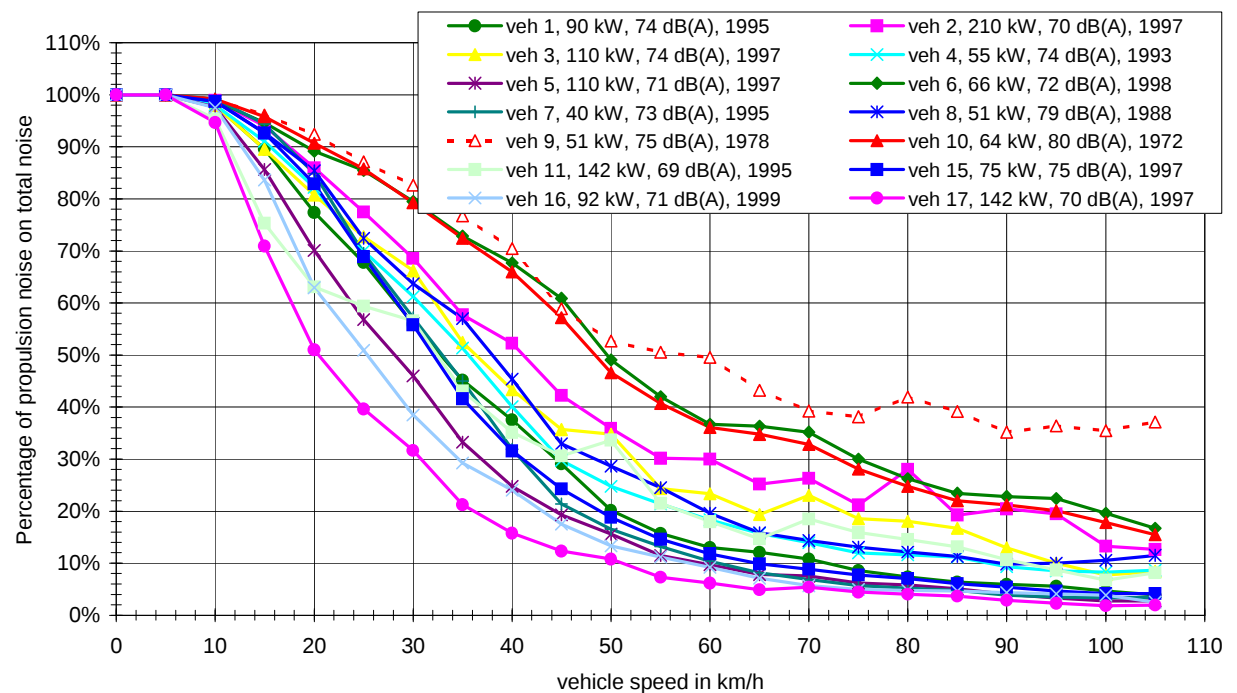


Bild 84: Mittlere Antriebsgeräuschteile am Gesamtgeräusch der untersuchten Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei durchschnittlicher Fahrweise

vehicle speed km/h	range of aver. Noise level		
	Lroll dB(A)	Lprop dB(A)	Ltot dB(A)
30	5.4	7.1	3.8
50	5.8	7.9	4.2
70	6.1	8.4	4.9

Tabelle 31: Spannweiten der mittleren Geräuschpegel von Pkw im praktischen Betrieb bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Ergänzend zu den bisher dargestellten Ergebnissen sind in Bild 85 bis Bild 88 neben dem Mittelwert des Vorbeifahrtpegels in 7,5 m Entfernung (L_{max}) auch die Streubereiche angegeben, einmal für ein Fahrzeug mit niedrigem Rollgeräuscheinfluss und einmal für ein Fahrzeug mit hohem Rollgeräuscheinfluss.

Bild 89 zeigt die mittlere Geräuschemission bei 50 km/h, einmal für alle Betriebszustände und einmal für Beschleunigungsvorgänge mit a_{95} . a_{95} ist das 95% Perzentil der positiven Beschleunigungen. Bei einigen Fahrzeugen unterscheiden sich beide Werte nur geringfügig, bei anderen wiederum signifikant, so dass die Rangfolge der Fahrzeuge unterschiedlich ist.

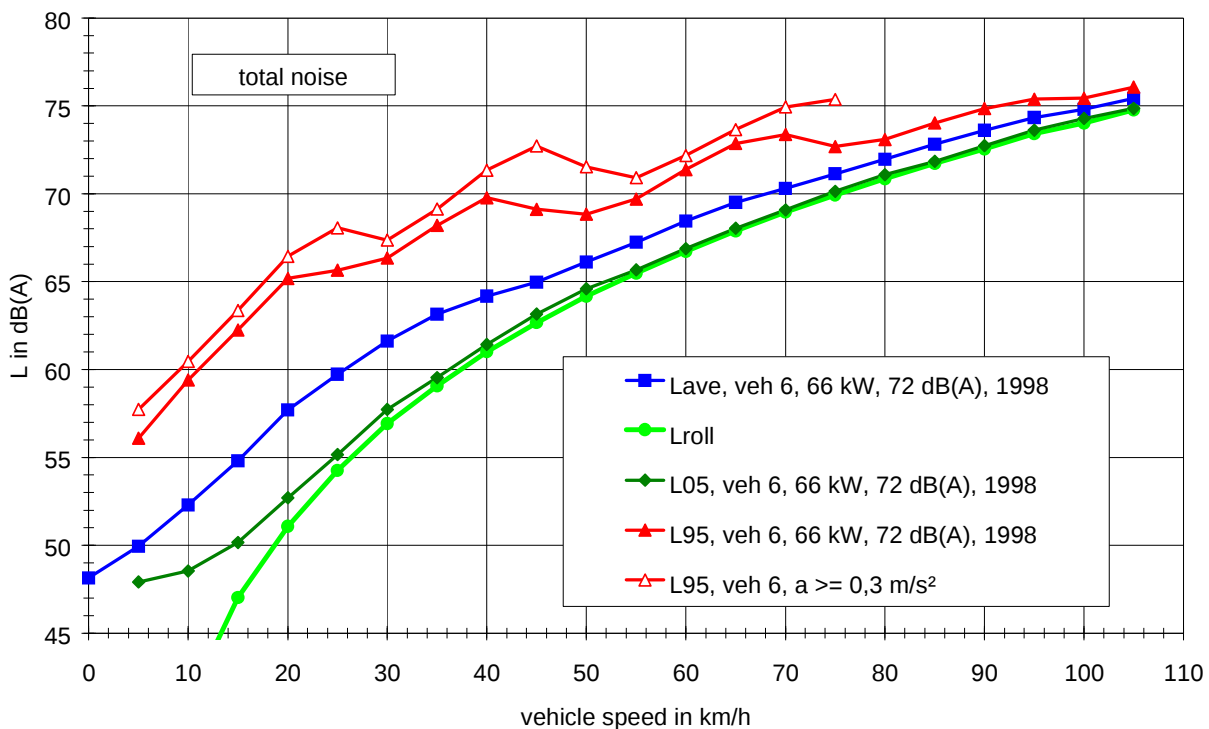


Bild 85: Gesamtgeräuschpegel eines Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit
(Lave – Mittelwert von L_{max} , L_{05} = 5% Perzentil von L_{max} , L_{95} = 95% Perzentil von L_{max})

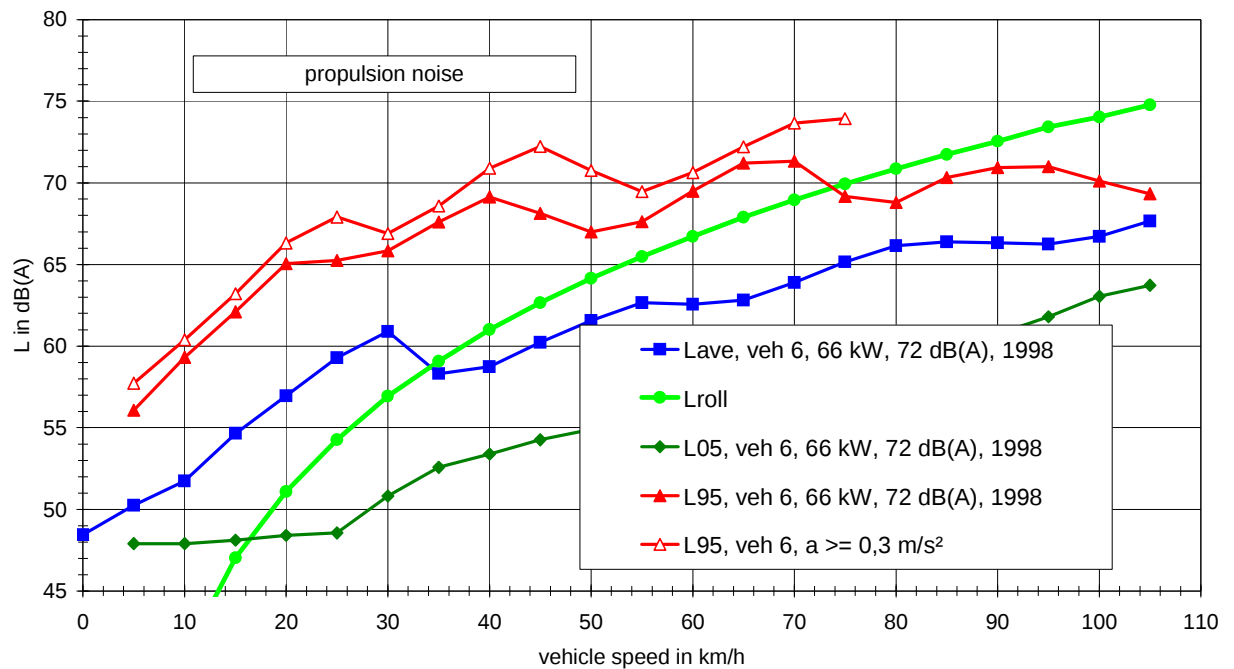


Bild 86: Antriebsgeräuschpegel eines Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit
(Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

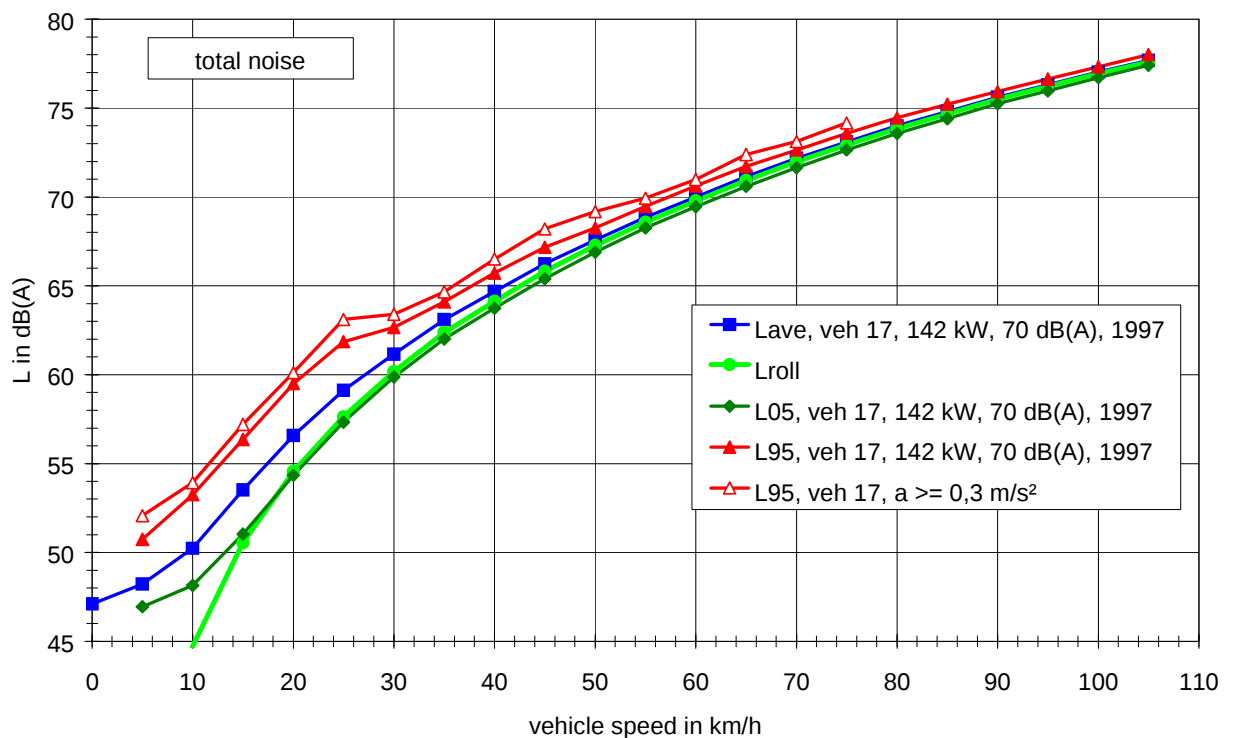


Bild 87: Gesamtgeräuschpegel eines Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit
(Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

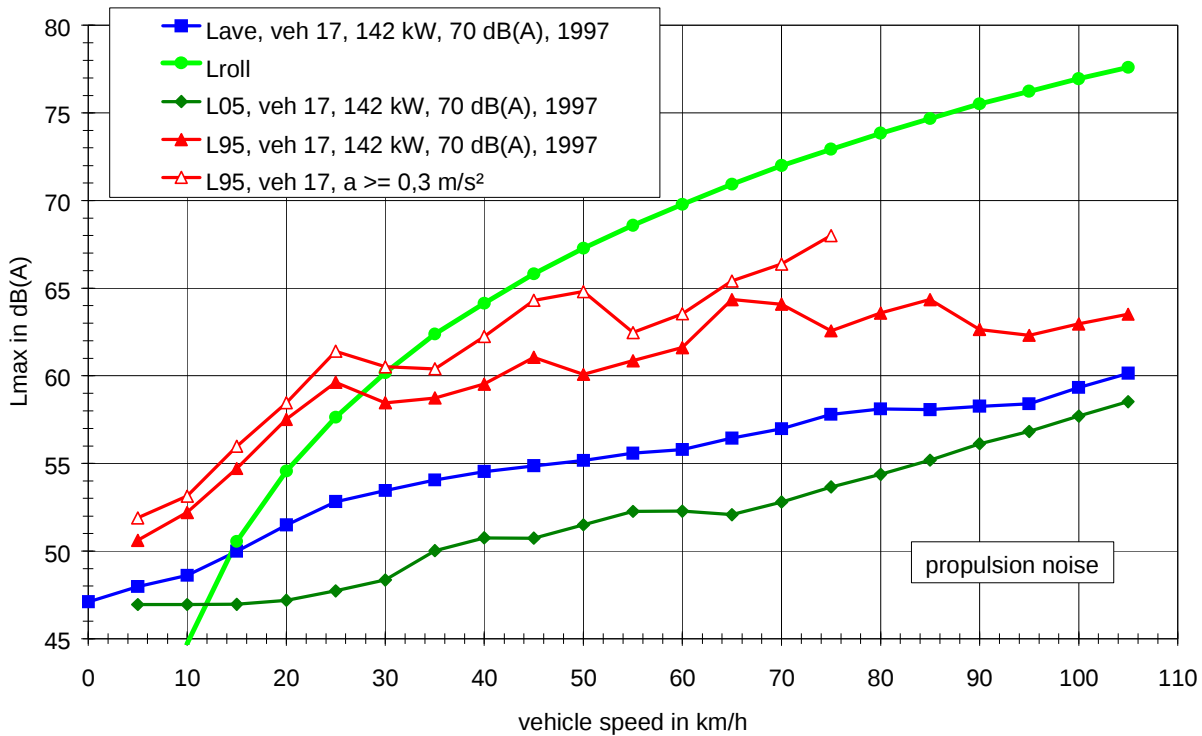


Bild 88: Antriebsgeräuschpegel eines Pkw in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit
(Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

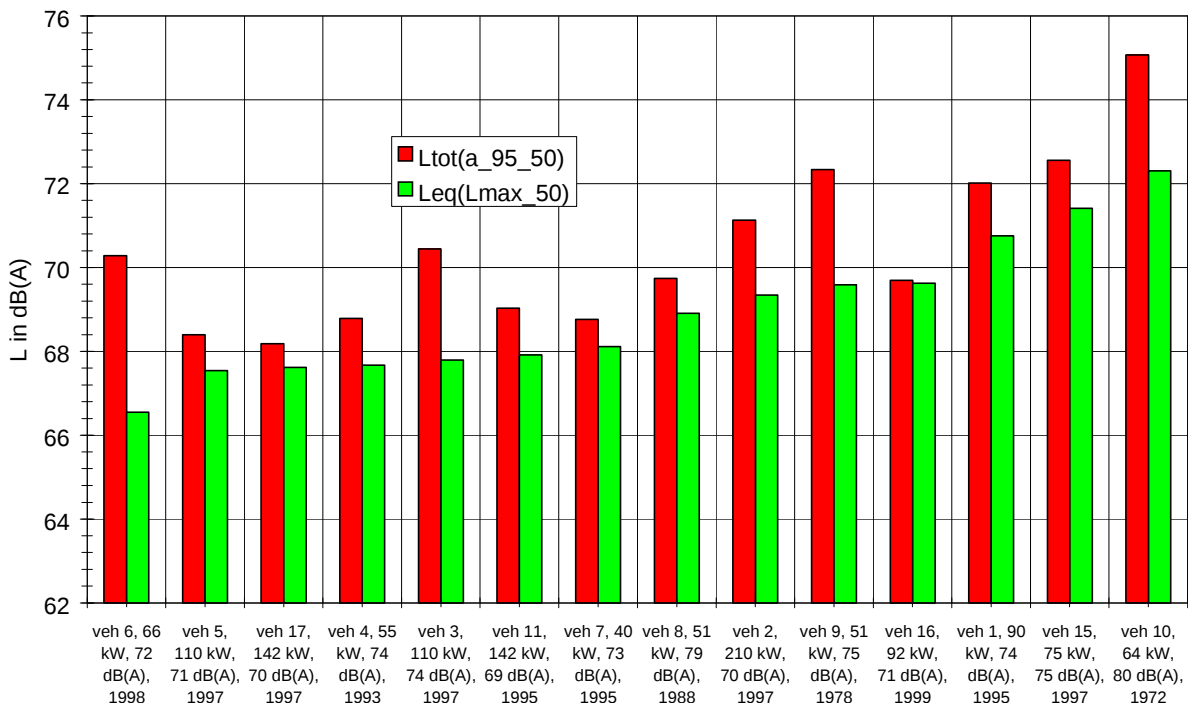


Bild 89: Gegenüberstellung der mittleren Geräuschemissionen und der Geräuschemissionen bei Beschleunigungsvorgängen mit a_{95} (+/- 10%) bei 50 km/h (+/- 2,5 km/h). a_{95} ist das 95% Perzentil der positiven Beschleunigungen, $a_{95} = 0,4684 \cdot \ln(\text{pmr}) - 0,8957$, $\text{pmr} = \text{Pn}/(\text{m}_0 + 75 \text{ kg}) \cdot 1000$; Pn – Nennleistung, m_0 – Leermasse. Die Regressionskurve wurde aus Pkw-Fahrverhaltensdaten bei durchschnittlicher Fahrweise ermittelt.

In Bild 90 bis Bild 94 sind die mittleren Gesamtgeräuschpegel von Pkw verschiedener Motorleistung in ihrer Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei unterschiedlicher Fahrweise dargestellt. Der Fahrweiseinfluss ist je nach Fahrzeug verschieden. Er reicht von maximal 1,8 dB(A) bei Fahrzeug 17 (leisestes Fahrzeug) bis zu 7,5 dB(A) bei Fahrzeug 6 (leiseste Reifen) und hängt im wesentlichen vom individuellen Verhältnis Rollgeräusch/Antriebsgeräusch ab. Bei den übrigen Fahrzeugen beträgt er maximal 4 bis 4,7 dB(A) und erreicht damit eine Größenordnung, die ihn als zusätzliche Minderungsmaßnahme qualifiziert.

Wenn man allerdings berücksichtigt, dass der Unterschied zwischen durchschnittlicher und ökonomischer Fahrweise bei allen Fahrzeugen gering ist, kann diese Maßnahme nur präventiv zur Vermeidung hochtouriger Fahrweise eingesetzt werden.

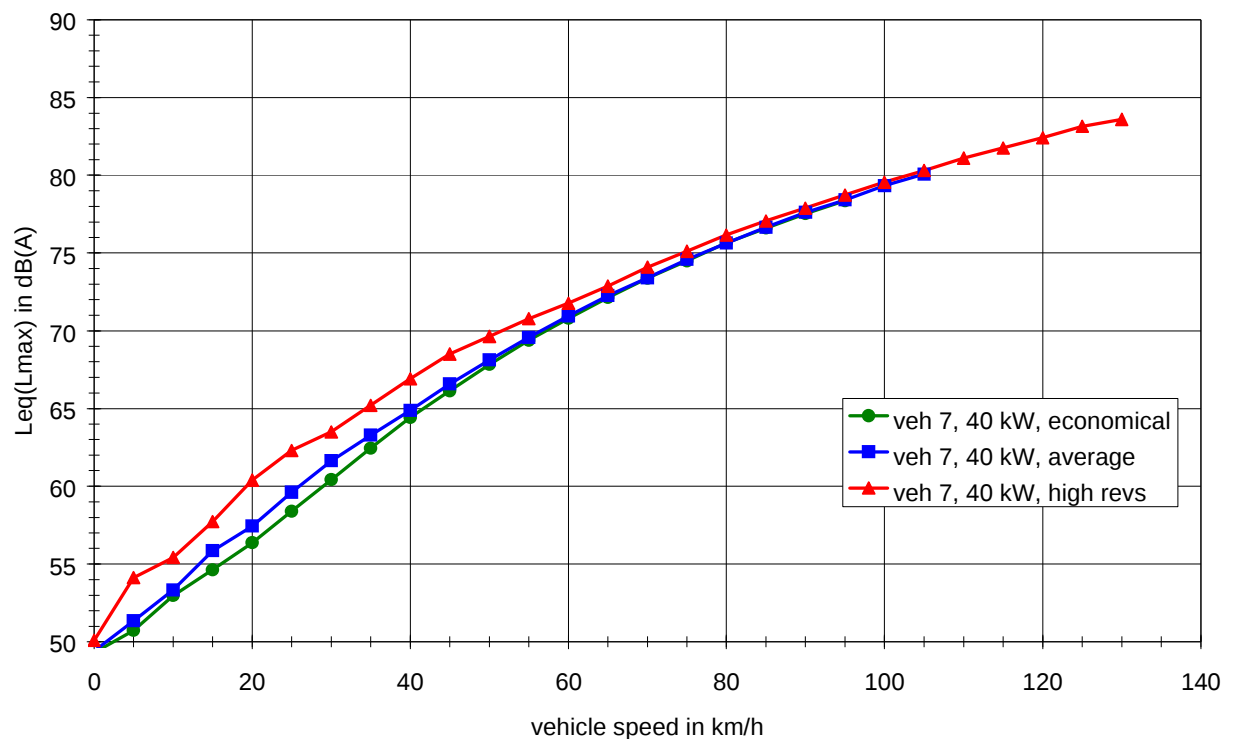


Bild 90: Mittlere Gesamtgeräuschpegel von Fahrzeug 7 bei unterschiedlicher Fahrweise

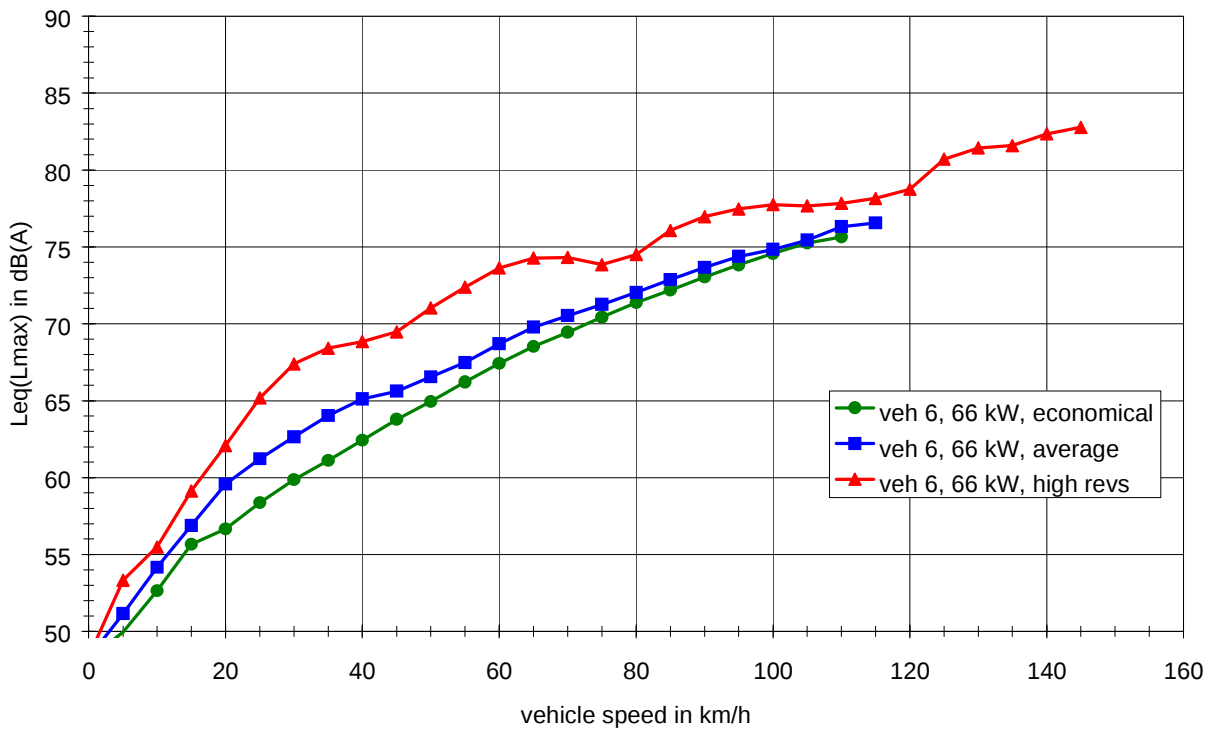


Bild 91: Mittlere Gesamtgeräuschpegel von Fahrzeug 6 bei unterschiedlicher Fahrweise

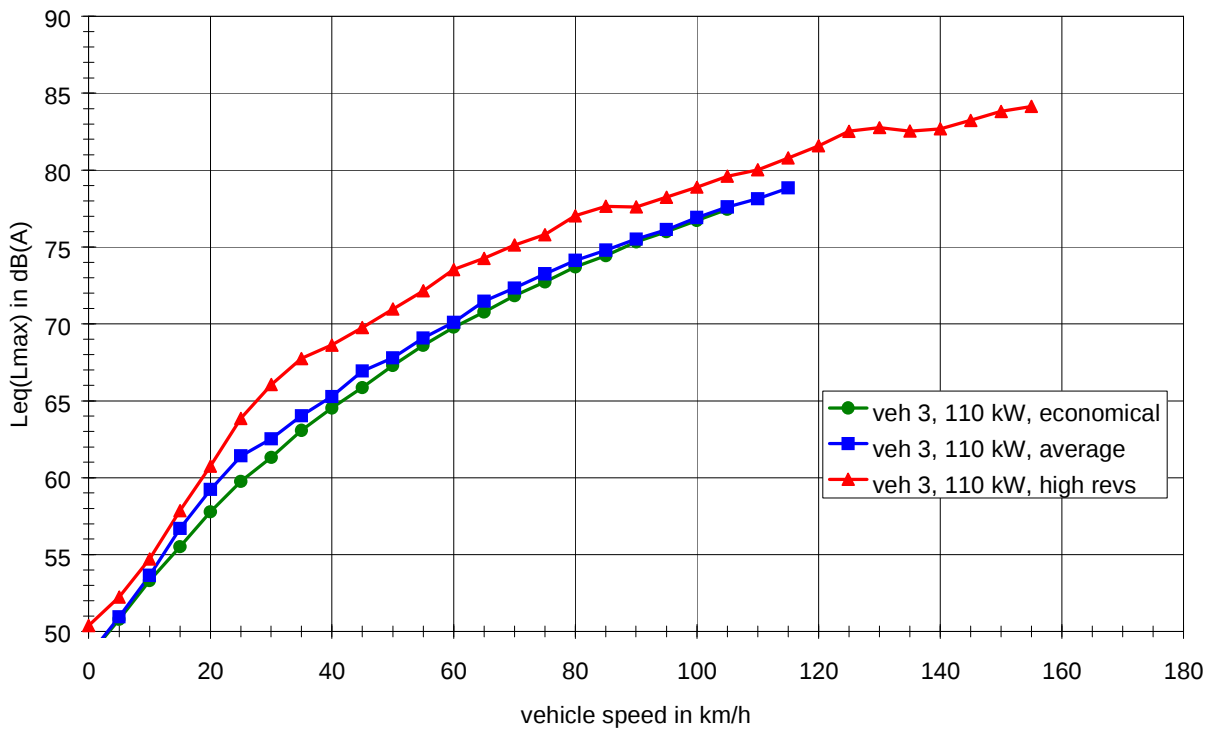


Bild 92: Mittlere Gesamtgeräuschpegel von Fahrzeug 3 bei unterschiedlicher Fahrweise

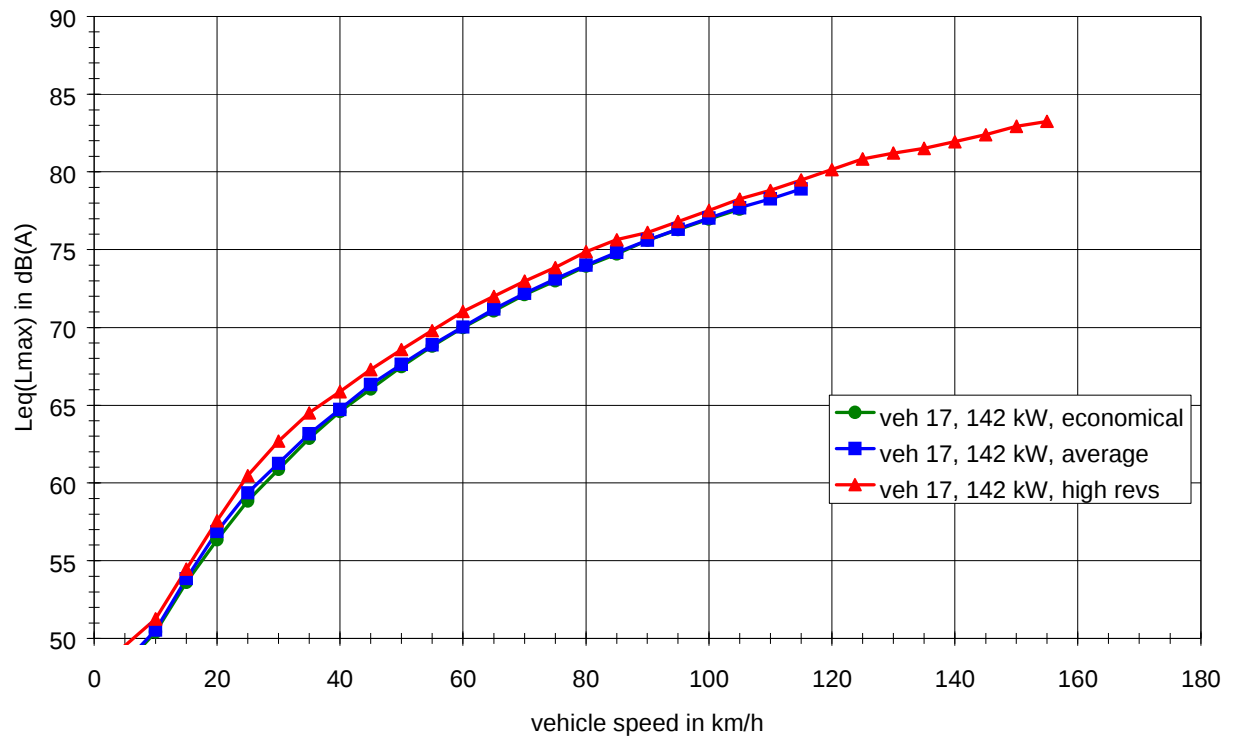


Bild 93: Mittlere Gesamtgeräuschpegel von Fahrzeug 17 bei unterschiedlicher Fahrweise

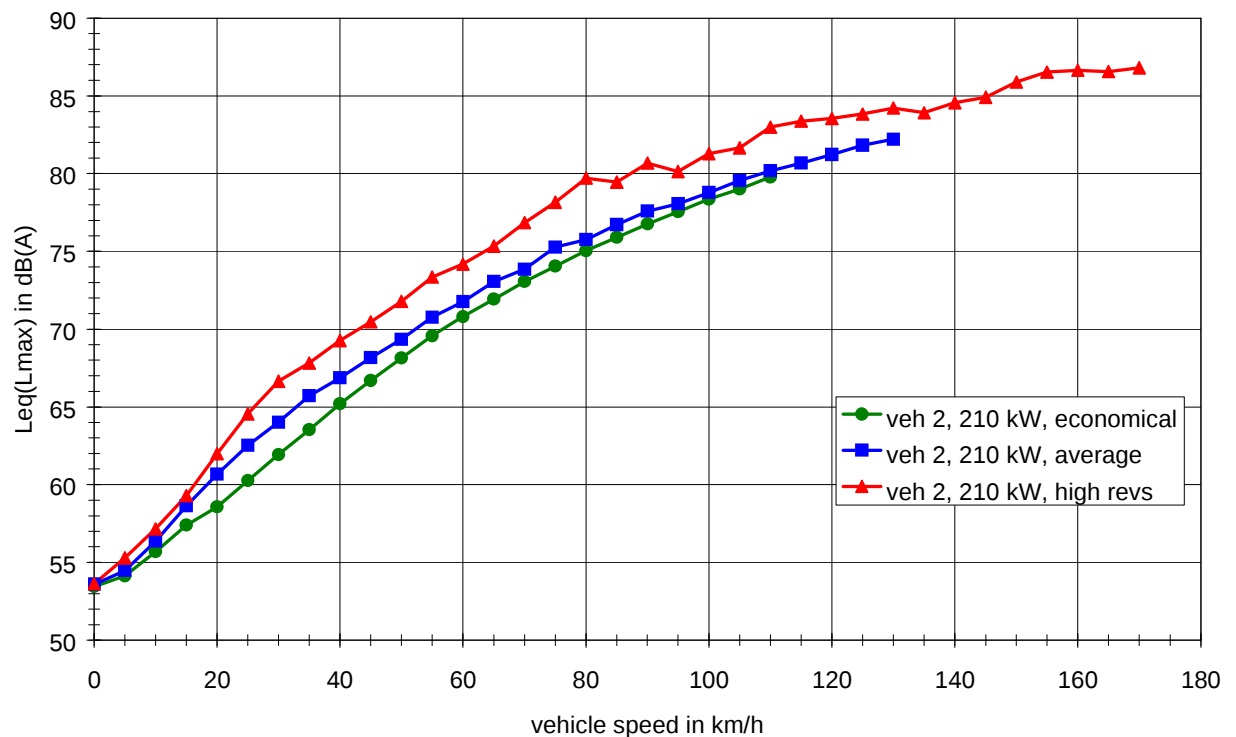


Bild 94: Mittlere Gesamtgeräuschpegel von Fahrzeug 2 bei unterschiedlicher Fahrweise

4.3.3.2 Nutzfahrzeuge

Da die Fahrverhaltensdaten von schweren Nutzfahrzeugen wie auch von Motorrädern nicht so stark nach Straßentypen diversifiziert werden können wie die der Pkw und da die mittleren Geräuschemissionen ohnehin überwiegend durch die mittlere Geschwindigkeit bestimmt sind (vgl. Bild 79), wird die Darstellung in den folgenden Abschnitten auf die Verläufe der Geräuschemissionen über der Geschwindigkeit beschränkt.

4.3.3.2.1 Leichte Nutzfahrzeuge (N1)

Bei den leichten Nutzfahrzeugen wurden drei Fahrzeuge untersucht, zwei desselben Typs mit leicht unterschiedlichen Nennleistungen, unterschiedlichen zulässigen Gesamtmassen (3,5 t und 2,65 t) und um 3 dB(A) unterschiedlichen Typprüfwerten (80 dB(A) und 77 dB(A)), sowie ein weiteres Fahrzeug, das mit dem als Pkw zugelassenen leichten Nutzfahrzeug baugleich war, aber als Nutzfahrzeug zugelassen worden war. Aus diesem Grunde wird das als Pkw zugelassene leichte Nutzfahrzeug in die folgenden Ausführungen mit einbezogen.

Fahrverhaltensdaten von leichten Nutzfahrzeugen liegen nur aus derjenigen Untersuchung vor, in der auch die Pkw getestet worden waren. Aus organisatorischen Gründen war es damals nur möglich, die Fahrten im praktischen Betrieb ohne Beladung durchzuführen. Dies entspricht allerdings nicht dem typischen Einsatzprofil der leichten Nutzfahrzeuge. Im beladenen Zustand steigt der Leistungsbedarf, sodass höhere Drehzahlen zu erwarten sind als bei unbeladenem Fahrzeug. Daher wurden für die Berechnung der Geräuschemission Mittelwerte aus durchschnittlicher und hochoberer Fahrweise herangezogen. Diese stimmen bei den normierten Drehzahlen gut mit den Drehzahlen überein, die ein Fahrzeughersteller im praktischen Betrieb registriert hat.

In Bild 95 sind die mittleren Gesamtgeräuschpegel über der Geschwindigkeit dargestellt. Bild 96 zeigt die entsprechenden Antriebsgeräuschpegel und Bild 97 die Rollgeräuschpegel. Erwartungsgemäß unterscheiden sich die Gesamtgeräuschemissionen der beiden 75 dB(A) Fahrzeuge nicht signifikant, da sowohl Roll- als auch Antriebsgeräusche etwa gleich sind. Dies trifft erstaunlicherweise auch für die beiden übrigen Fahrzeuge zu, obwohl sich deren Typprüfwerte um 3 dB(A) unterscheiden. Allerdings wiesen beide bei der Nachmessung dasselbe Messergebnis im Typprüfverfahren auf, was den Schluss nahe legt, dass der Hersteller beim älteren Fahrzeug mit dem Typprüfwert auf die sichere Seite gegangen ist, während er beim jüngeren den durch den Grenzwert gesteckten Rahmen voll ausgenutzt hat.

Unterhalb von 50 km/h unterscheiden sich die Antriebsgeräusche beider Gruppen (75 dB(A) vs. 77/80 dB(A)) im gesamten betrachteten Geschwindigkeitsbereich um etwa 7 bis 8 dB(A). Da jedoch die Rollgeräuschpegel der lauterer Gruppe mit zunehmender Geschwindigkeit zunehmend unter denen der leiseren Gruppe liegen und mit der Geschwindigkeit erheblich stärker ansteigen als die Antriebsgeräusche, sind die Unterschiede oberhalb von 50 km/h nicht mehr signifikant. Zwischen 10 km/h und 30 km/h beträgt die Differenz im Gesamtgeräusch 5 bis 6 dB(A). Diese Differenz ist höher als die Differenz im Messergebnis nach der Typprüfmethode.

Entsprechen diesen Unterschieden ergeben sich auch stark unterschiedliche Verläufe des Antriebsgeräuschanteils am Gesamtgeräusch (Bild 98). Bei 50 km/h liegt er für die leise Gruppe bei lediglich 20%, für die laute Gruppe dagegen bei 63% bis 70%.

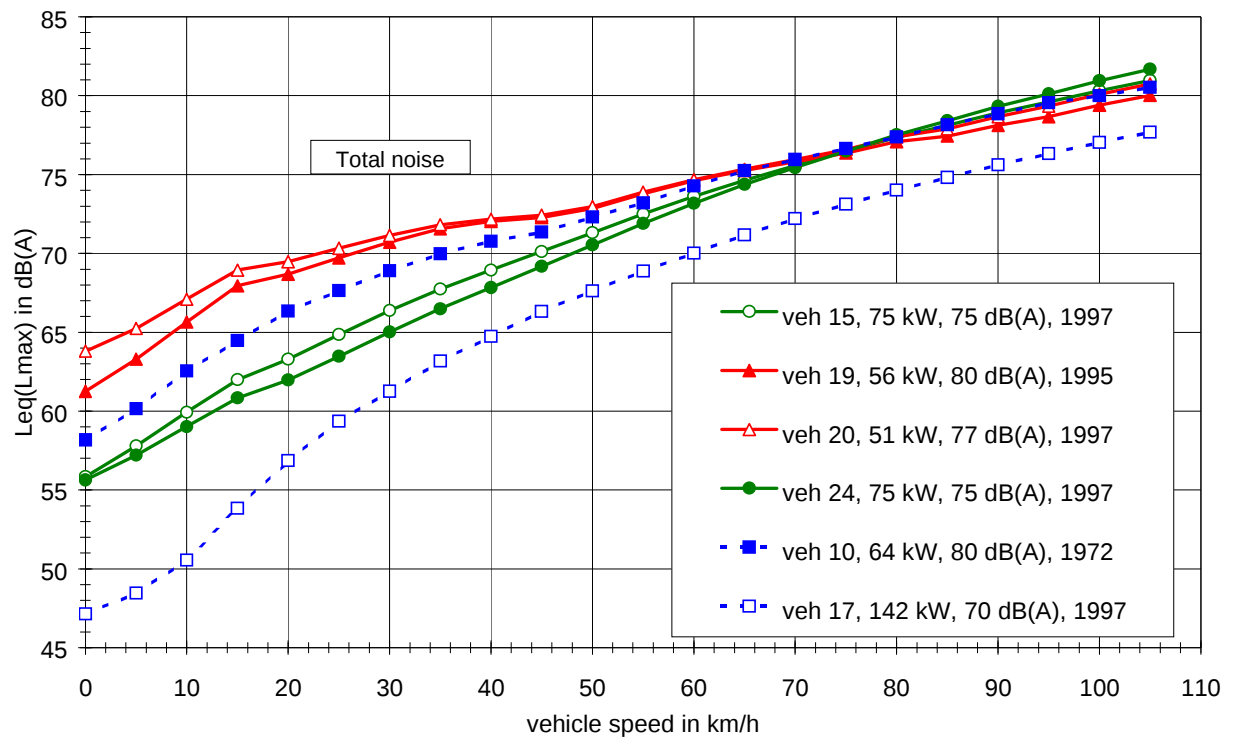


Bild 95: Mittlere Gesamtgeräuschemissionen der untersuchten leichten Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Pkw zum Vergleich)

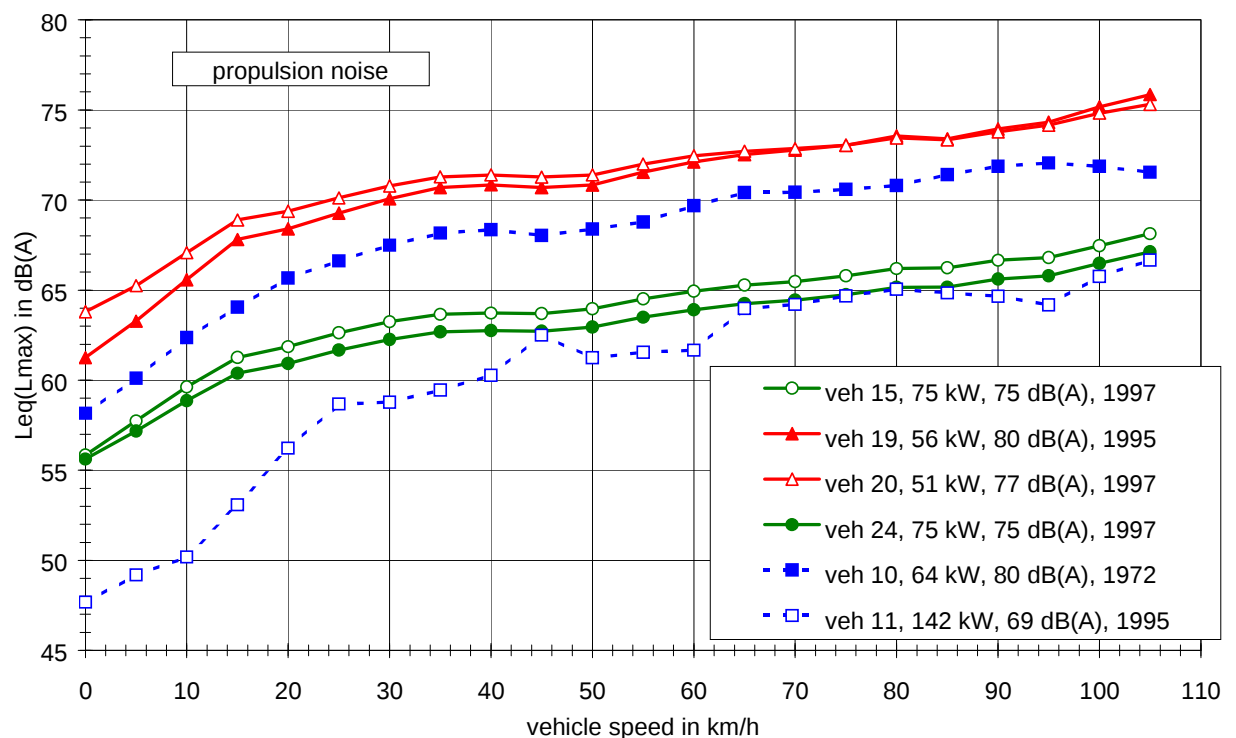


Bild 96: Mittlere Antriebsgeräuschemissionen der untersuchten leichten Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Pkw zum Vergleich)

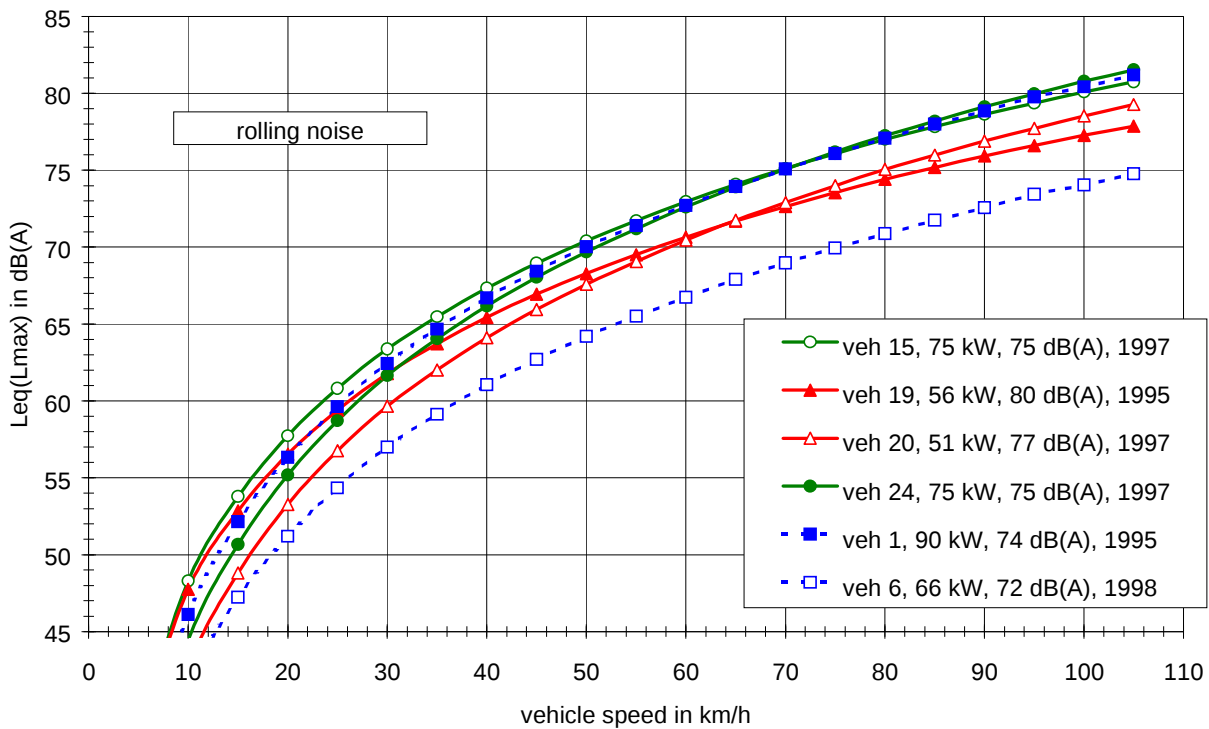


Bild 97: Rollgeräuschemissionen der untersuchten leichten Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Pkw zum Vergleich)

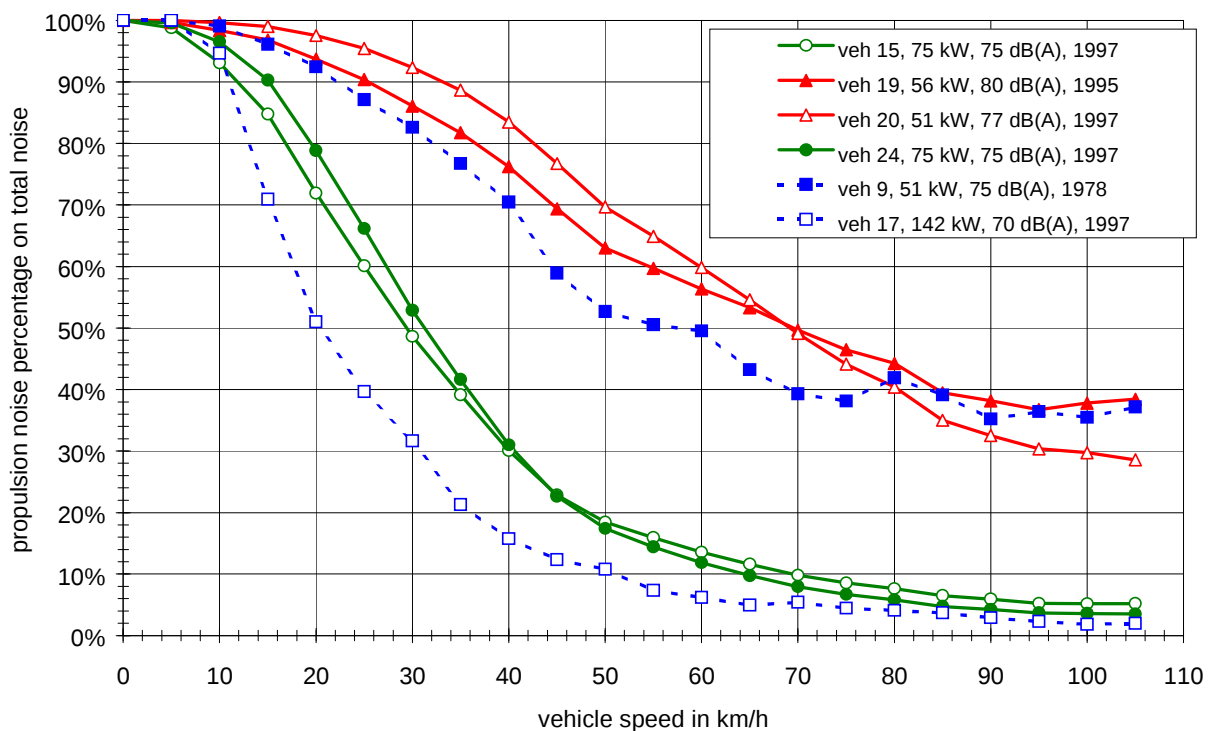


Bild 98: Mittlere Antriebsgeräuschanteil am Gesamtgeräusch der untersuchten leichten Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Pkw zum Vergleich)

Die Spannweiten von Roll-, Antriebs- und Gesamtgeräusch bei drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind in Tabelle 32 zusammengestellt. Die Spannweite der Antriebsgeräusche ist unabhängig von der Geschwindigkeit mehr als doppelt so hoch wie die der Messergebnisse nach dem Typrprüfverfahren. Beim Rollgeräusch liegt sie zwischen 2,5 und 3,7 dB(A) und nimmt mit der Geschwindigkeit ab, wobei sich die Rangfolge der Reifen ändert. Beim Gesamtgeräusch liegt die Spannweite bei 30 km/h zwischen denen von Roll- und Antriebsgeräusch, bei den höheren Geschwindigkeiten ist sie geringer als bei Roll- und Antriebsgeräusch, wobei sie für 70 km/h praktisch auf Null zurückgeht.

	range of aver. Noise level		
vehicle speed	Lroll	Lprop	Ltot
km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)
30	3.7	8.5	6.1
50	2.8	8.4	2.4
70	2.5	8.4	0.5

Tabelle 32: Spannweiten der mittleren Geräuschpegel von leichten Nutzfahrzeugen im praktischen Betrieb bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Ergänzend zu den bisher dargestellten Ergebnissen sind in Bild 99 und Bild 101 neben den Mittelwerten des Vorbeifahrtpegels in 7,5 m Entfernung (L_{max}) auch die Streubereiche für je ein Fahrzeug beider Gruppen angegeben. Bild 100 und Bild 102 zeigen entsprechende Darstellungen für das Antriebsgeräusch.

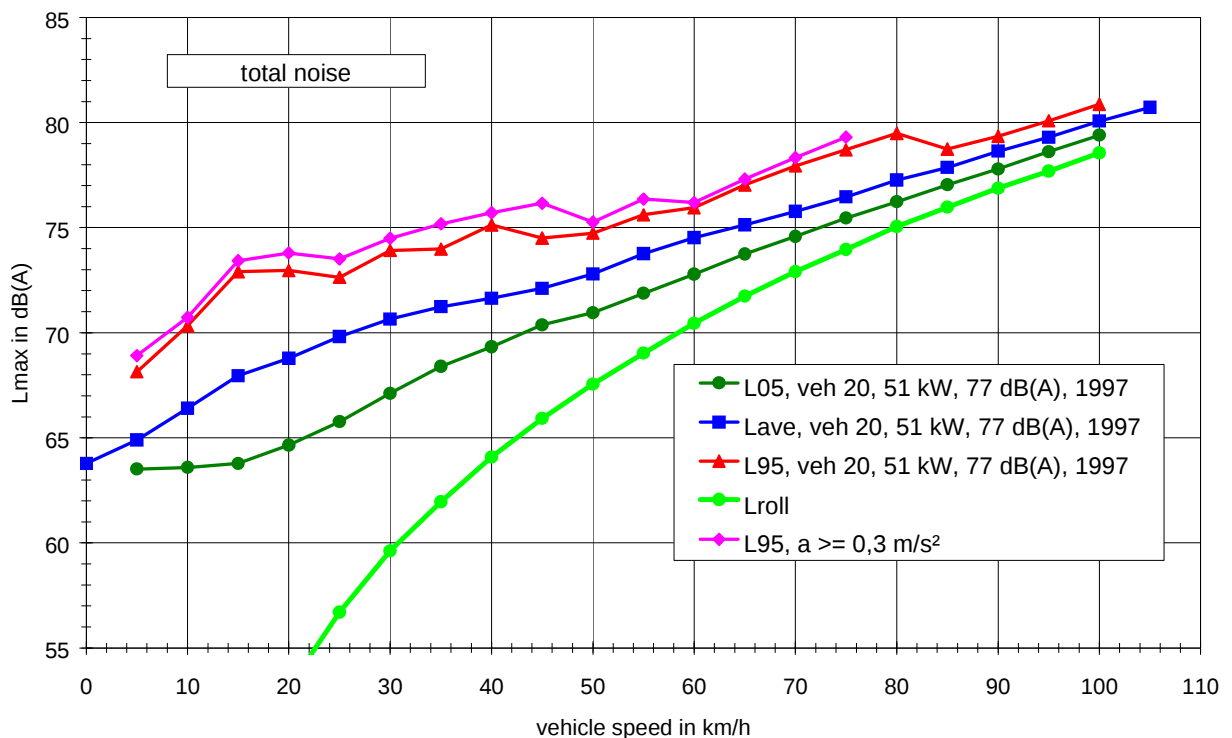


Bild 99: Gesamtgeräuschpegel eines leichten Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von L_{max} , L05 = 5% Perzentil von L_{max} L95 = 95% Perzentil von L_{max})

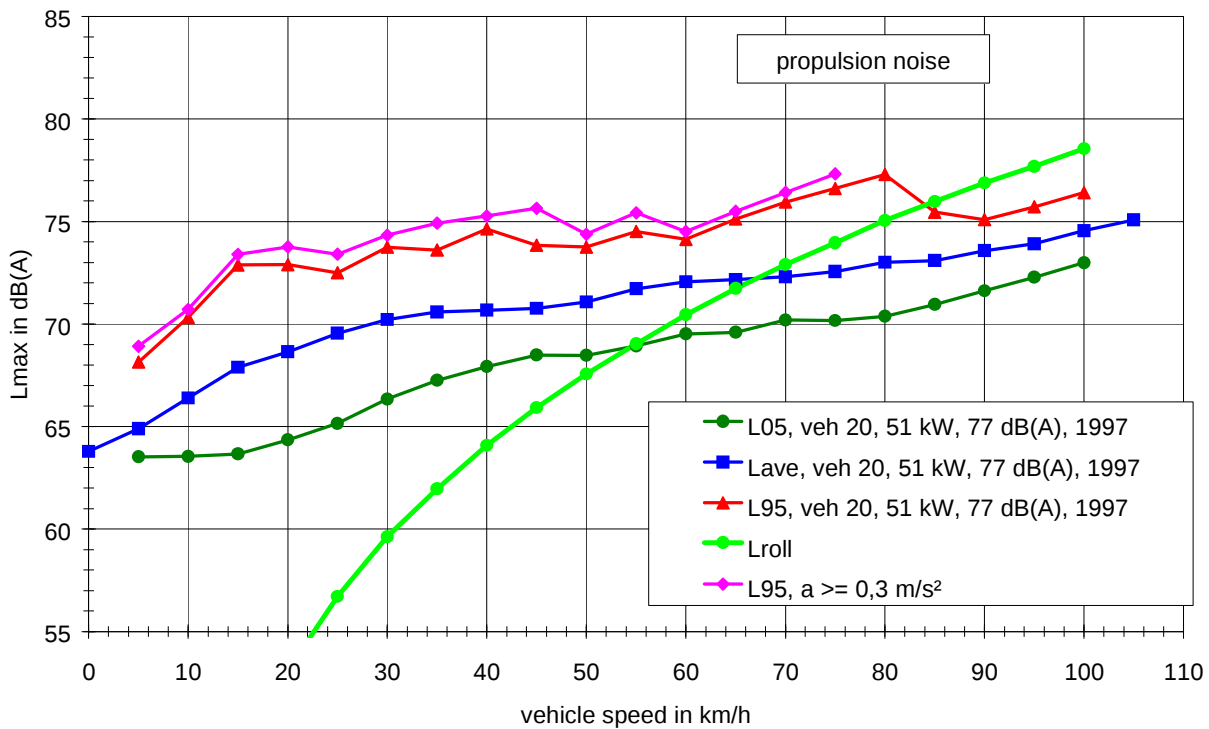


Bild 100: Antriebsgeräuschpegel eines leichten Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

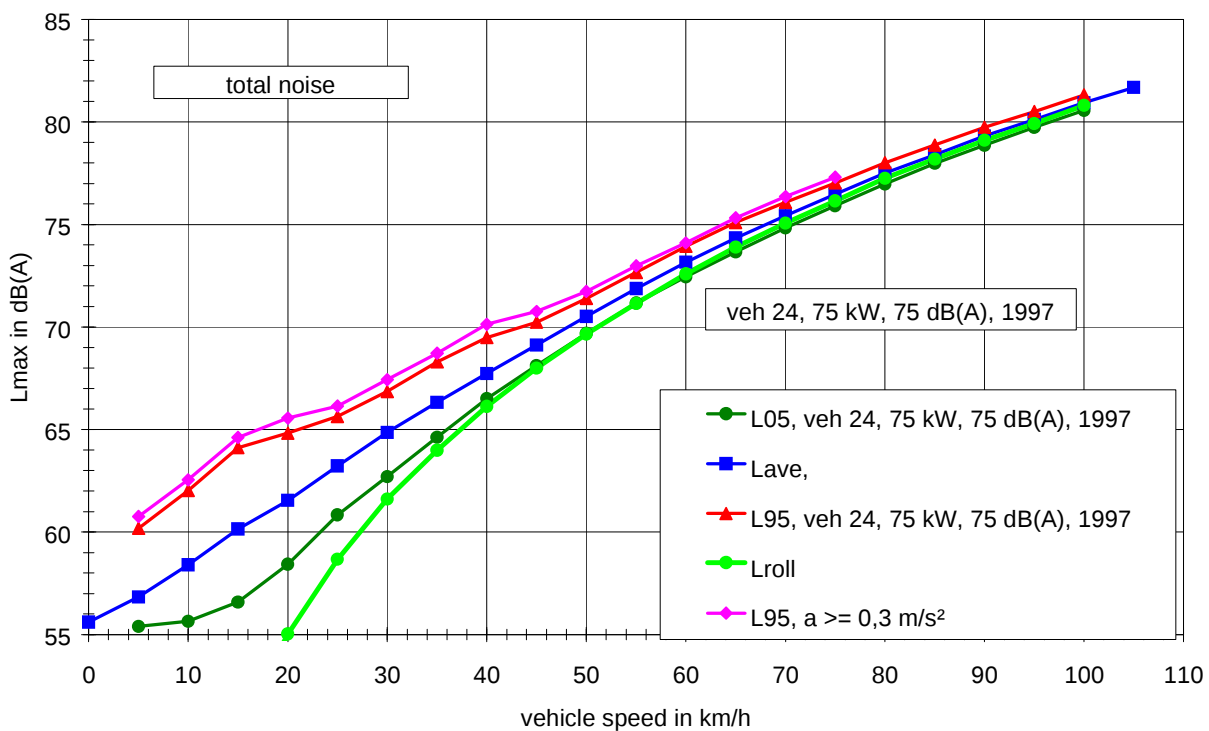


Bild 101: Gesamtgeräuschpegel eines leichten Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

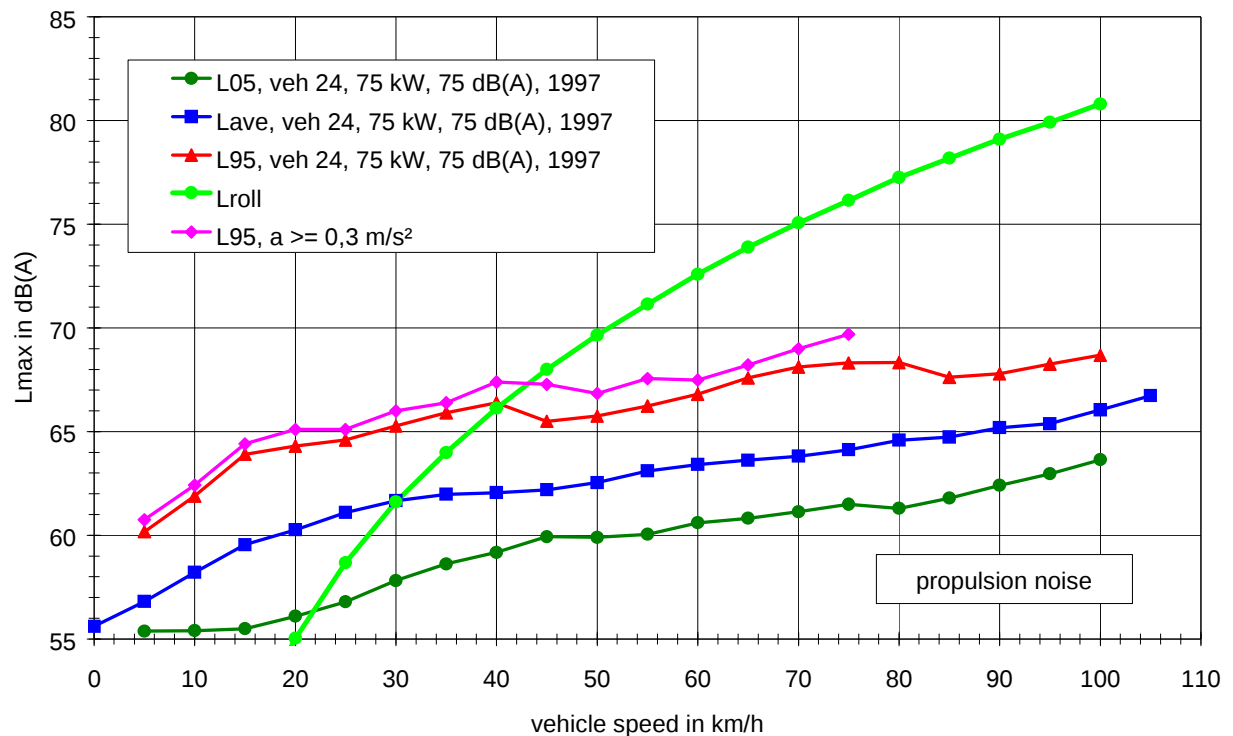


Bild 102: Antriebsgeräuschpegel eines leichten Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

4.3.3.2 Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)

Bei den schweren Nutzfahrzeugen wurden je zwei Fahrzeuge der Kategorien N2 und N3 untersucht. In der Kategorie N2 handelt es sich um ansonsten baugleiche Fahrzeuge unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Grenzwertstufen (84 bzw. 78 dB(A)), von denen eines mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse ausgerüstet war. Bei den N3 Fahrzeugen handelte es sich um zwei 18 Tonner unterschiedlicher Motorisierung (320 bzw. 290 kW Nennleistung), beide mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse. Für die beiden N2 Fahrzeuge wurden die Geräuschemissionen im praktischen Betrieb als Solofahrzeuge bestimmt, was auch dem überwiegenden Einsatzprofil entspricht. Dagegen wurden die beiden N3 Fahrzeuge als Lastzug modelliert, wobei ein dreiachsiger Anhänger mit Längsprofilreifen angenommen wurde.

Um Modellwerte für die Rollgeräusche des Zuges zu bestimmen zu können, wurde wie folgt vorgegangen: Die Rollgeräusche des N2 Fahrzeugs, das mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse ausgerüstet war, wurden auf Lenk- und Antriebsachse aufgeteilt, und zwar unter der Annahme, dass die Lenkachsreifen dieselben Rollgeräusche aufwiesen wie beim anderen N2 Fahrzeug und dass die Rollgeräusche von Zwillingsbereifung 2 dB(A) über derjenigen von Einfachbereifung liegen (mündliche Mitteilung, Transport Research Laboratory, England). Weiterhin wurde angenommen, dass die Lenkachsenreifen der 18 Tonner um 2 dB(A) höher liegen als die der N2 Fahrzeuge und dass die Rollgeräusche einer Anhängerachse denjenigen einer Zwillingsbereifung mit Lenkachsreifen entspricht (vgl. Bild 103).

In Bild 104 sind die mittleren Gesamtgeräuschpegel über der Geschwindigkeit dargestellt. Bild 105 zeigt die entsprechenden Antriebsgeräuschpegel und Bild 106 die Rollgeräuschpegel. Bei

den N2 Fahrzeugen ist ein deutlicher Einfluss der Bereifung erkennbar. Der Unterschied zwischen Fahrzeug 21 mit Traktions- oder Längsprofilreifen auf der Antriebsachse zeigt sich bereits ab 30 km/h, er beträgt bei 50 km/h bereits 3,5 dB(A) und nimmt bis 90 km/h auf 6 dB(A) zu. Wenn es gelingt, Traktionsreifen geräuscmäßig auf das Niveau von Längsprofilreifen zu bringen, lässt sich ein erhebliches Minderungspotential realisieren.

Die mittleren Geräuschpegel der beiden N3 Fahrzeuge unterscheiden sich nicht signifikant, da die Antriebsgeräuschpegel etwa gleich groß sind und die Rollgeräusche identisch modelliert wurden. Wenn man die Traktionsreifen durch Längsprofilreifen ersetzen würde, unterscheidet sich das Gesamtgeräusch im Vergleich zum Traktionsreifen ab 50 km/h, bei 65 km/h beträgt der Unterschied 1,5 dB(A), bei 80 km/h 2 dB(A).

Entsprechen diesen Unterschieden ergeben sich auch stark unterschiedliche Verläufe des Antriebsgeräuschanteils am Gesamtgeräusch (Bild 107). Bei 50 km/h liegt er für das 78 dB(A) N2 Fahrzeug mit Traktionsreifen bei lediglich 25%, mit Längsprofilreifen bei rund 55% und für die beiden N3 Fahrzeuge mit Traktionsreifen bei rund 40%. Beim N2 Fahrzeug beginnt der Einfluss des Rollgeräusches auf das Gesamtgeräusch mit Längsprofilreifen ab etwa 35 km/h (Rollgeräuschpegel ca. 6 dB(A) unter dem Antriebsgeräuschpegel, Gesamtgeräuschpegel 1 dB(A) über dem Antriebsgeräuschpegel), steigt jedoch auch bei hohen Geschwindigkeiten nicht über 70% an (Antriebsgeräuschpegel 3,7 dB(A) unter Rollgeräuschpegel). Mit Traktionsreifen beginnt der Rollgeräuscheinfluss bereits unter 30 km/h und nimmt bis zu hohen Geschwindigkeiten auf 90% zu (Antriebsgeräuschpegel 9,5 dB(A) unter Rollgeräuschpegel). Beim N3 Lastzug beginnt der Rollgeräuscheinfluss bei 30 km/h, bei 60 km/h liegt der Antriebsgeräuschpegel bereits 6 dB(A) unter dem Rollgeräuschpegel.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass sich obige Aussagen auf die Pegelmittelwerte beziehen.

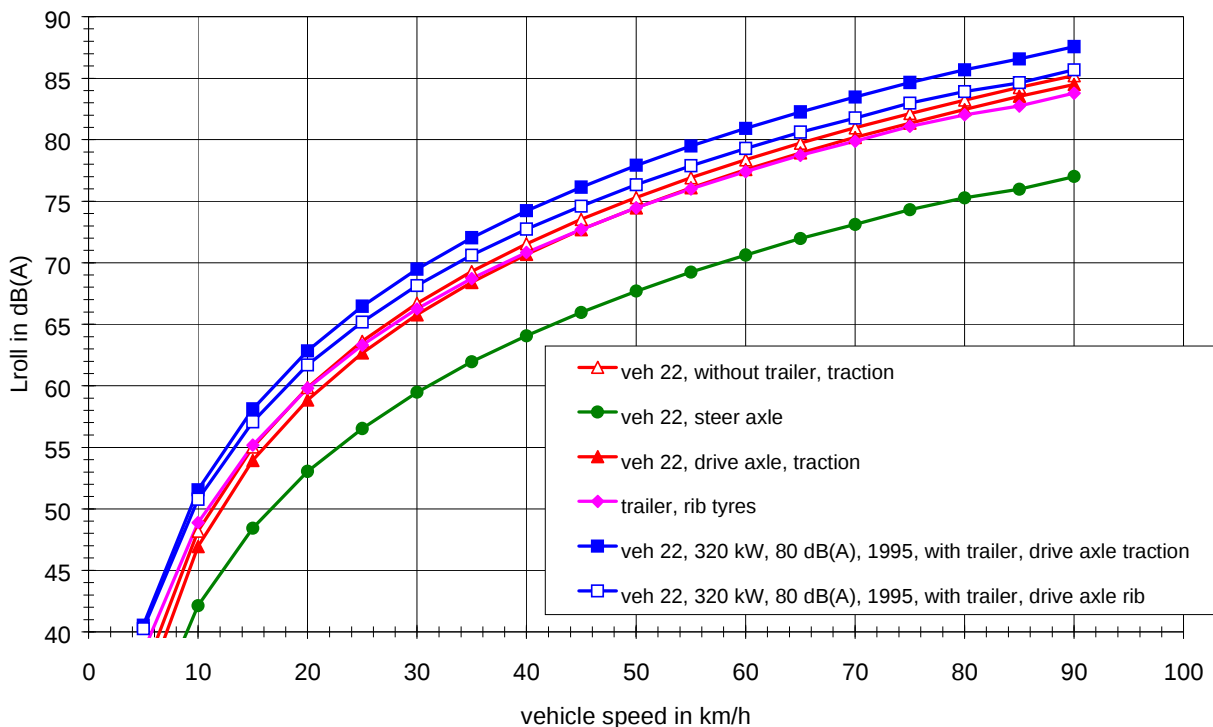


Bild 103: Rollgeräusche von Fahrzeug 22 mit und ohne Anhänger

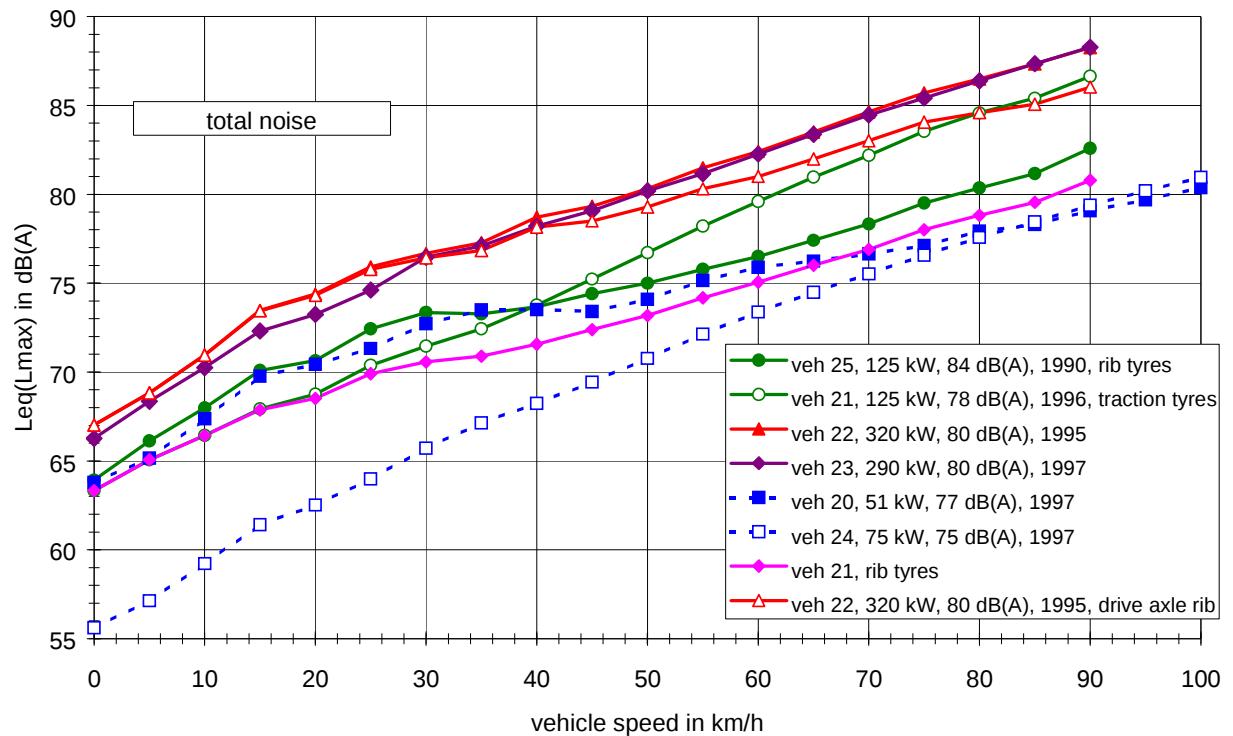


Bild 104: Mittlere Gesamtgeräuschemissionen der untersuchten schweren Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (LNfz zum Vergleich)

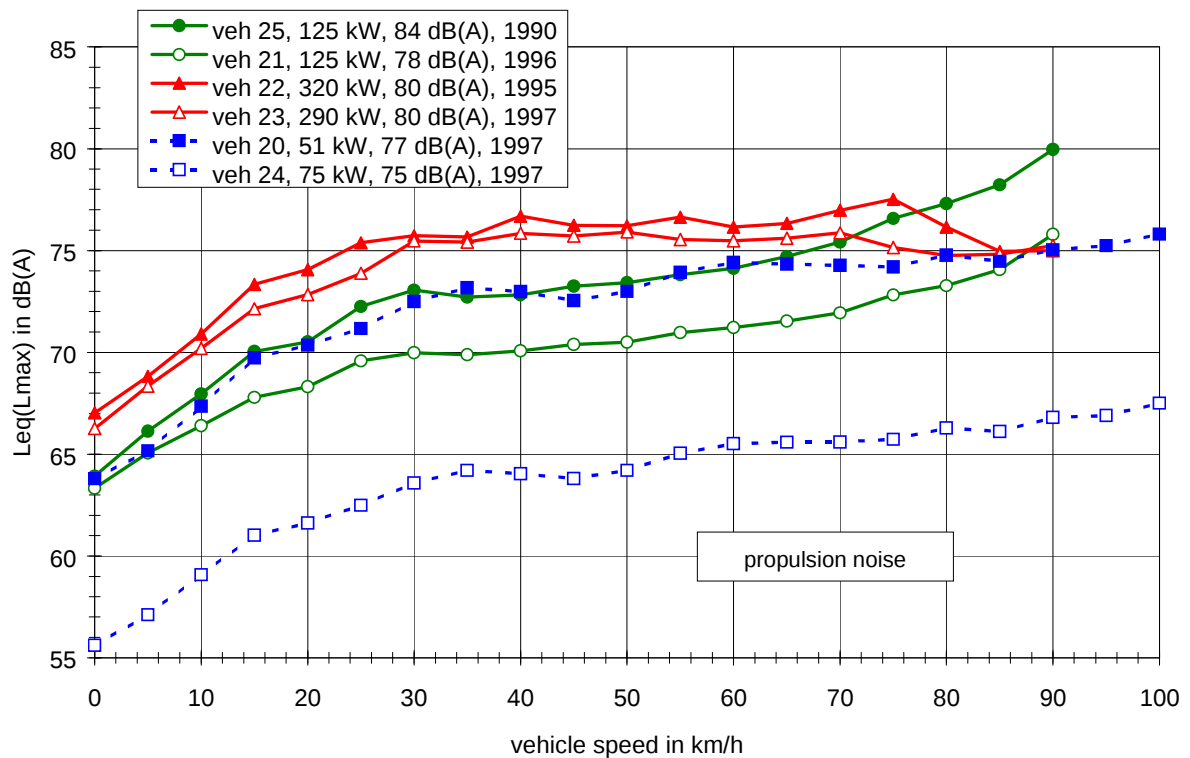


Bild 105: Mittlere Antriebsgeräuschemissionen der untersuchten schweren Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (LNfz zum Vergleich)

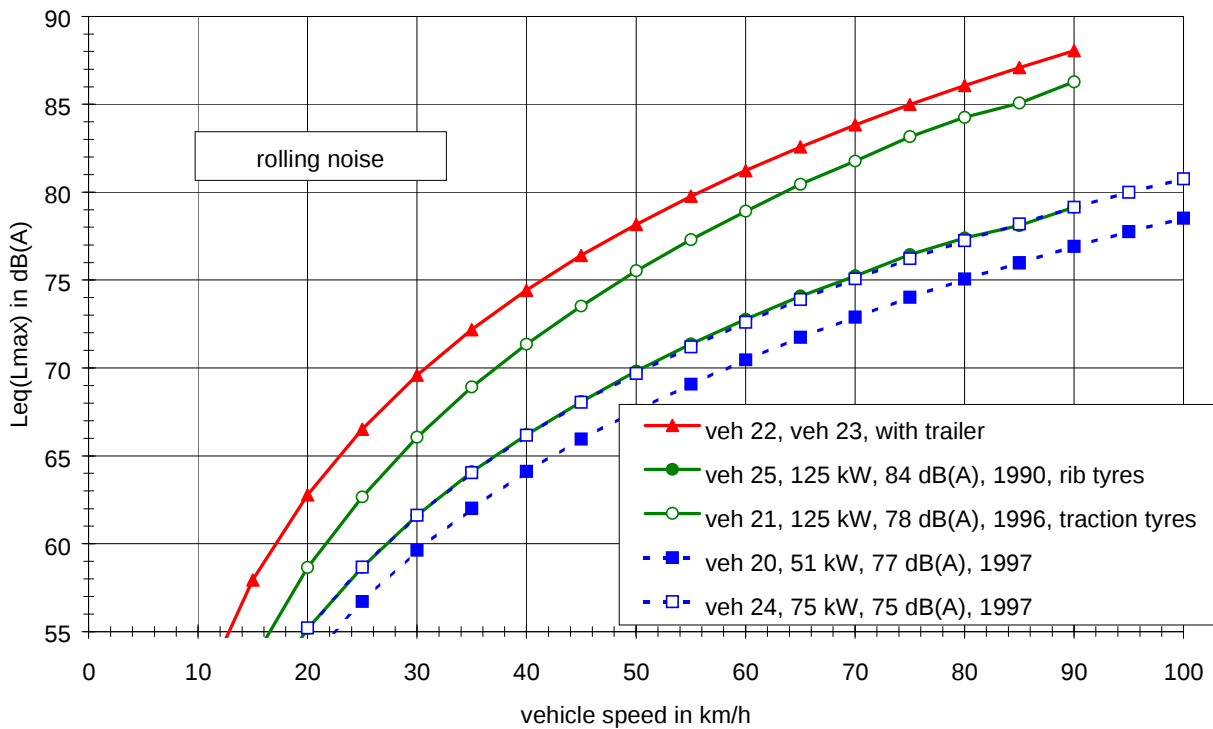


Bild 106: Rollgeräuschemissionen der untersuchten schweren Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (LNfz zum Vergleich)

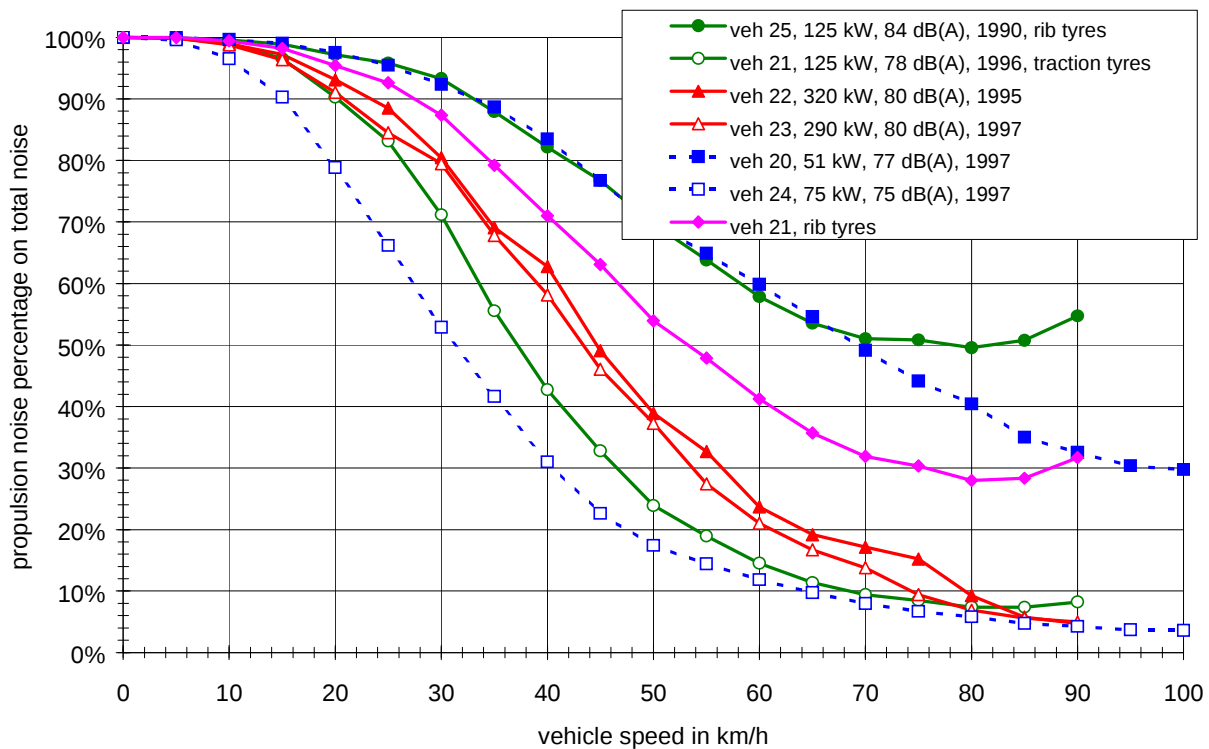


Bild 107: Mittlere Antriebsgeräuschteil am Gesamtgeräusch der untersuchten schweren Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (LNfz zum Vergleich)

Ergänzend zu den bisher dargestellten Ergebnissen sind in Bild 108 und Bild 110 neben den Mittelwerten des Vorbeifahrtpegels in 7,5 m Entfernung (L_{max}) auch die Streubereiche für je ein Fahrzeug beider Gruppen angegeben. Bild 109 und Bild 111 zeigen entsprechende Darstellungen für das Antriebsgeräusch.

Bei beiden Fahrzeugen ist der Spitzenwert (L_{95}) des Antriebsgeräuschpegels zwischen 30 km/h und 70 km/h nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit. Sein Niveau liegt beim N2 Fahrzeug 3 dB(A) unter dem Typprüfwert, beim N3 Fahrzeug dagegen auf Höhe des Typprüfwertes.

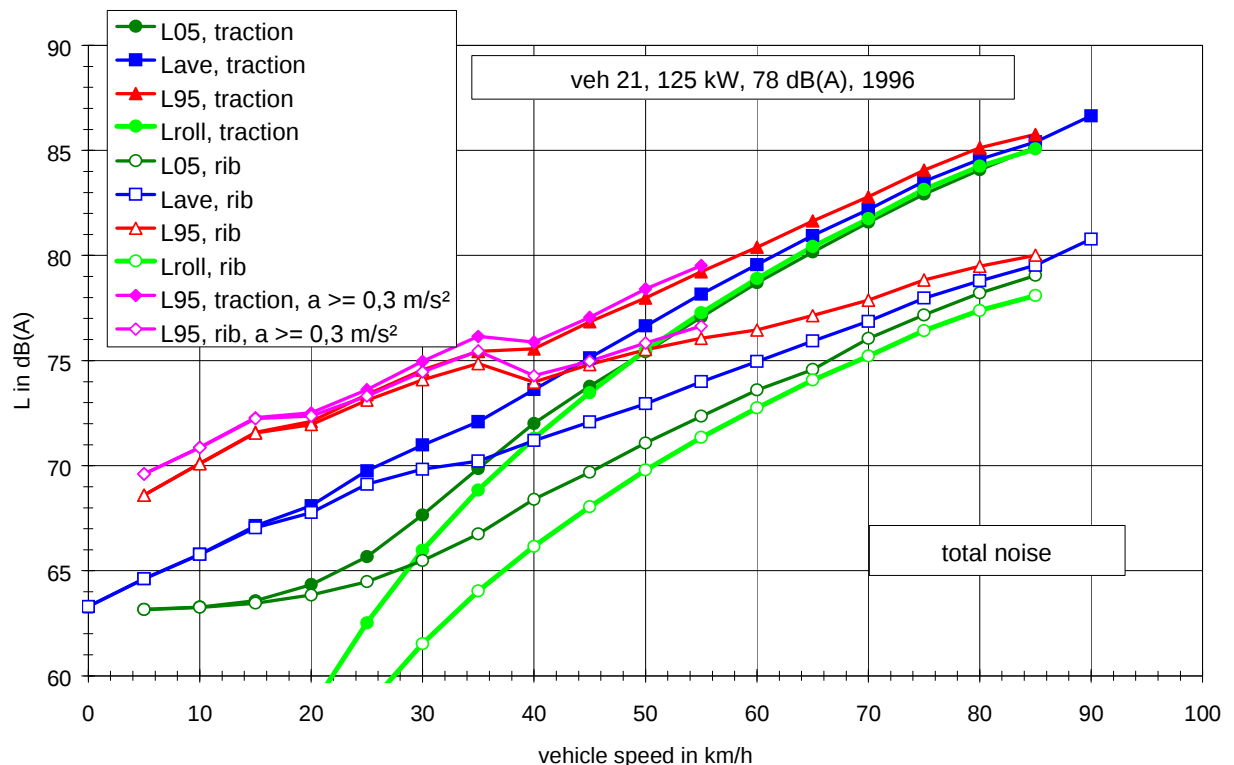


Bild 108: Gesamtgeräuschpegel eines schweren Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von L_{max} , L05 = 5% Perzentil von L_{max} , L95 = 95% Perzentil von L_{max})

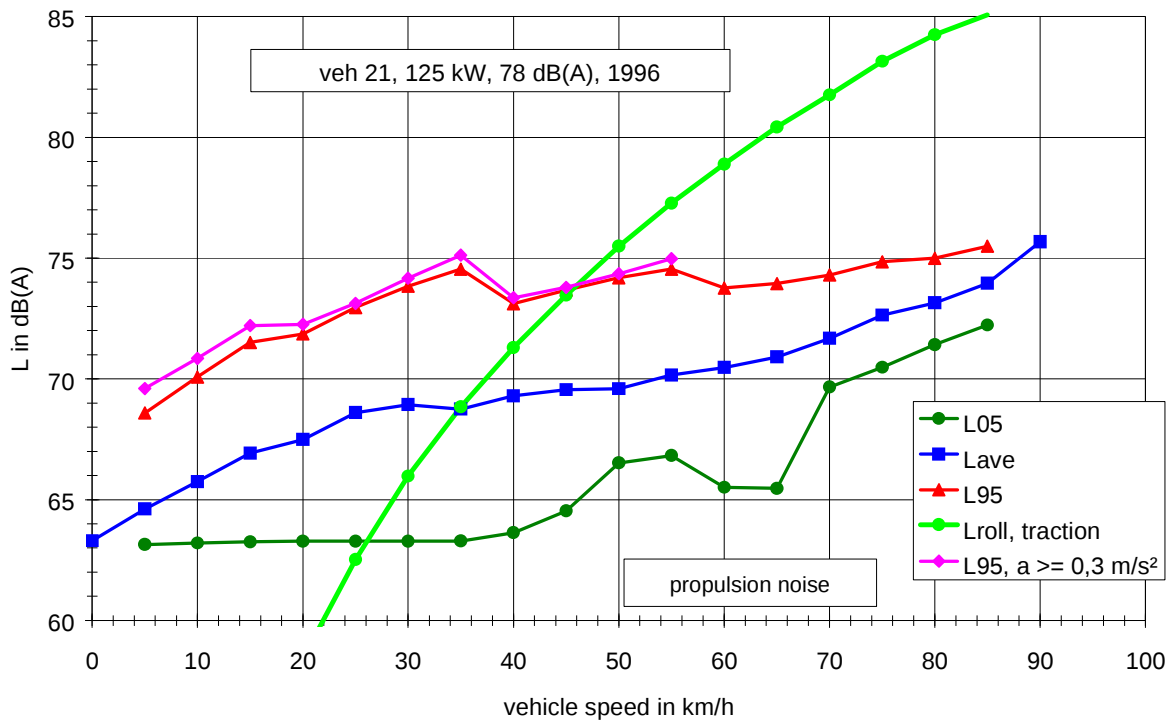


Bild 109: Antriebsgeräuschpegel eines schweren Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

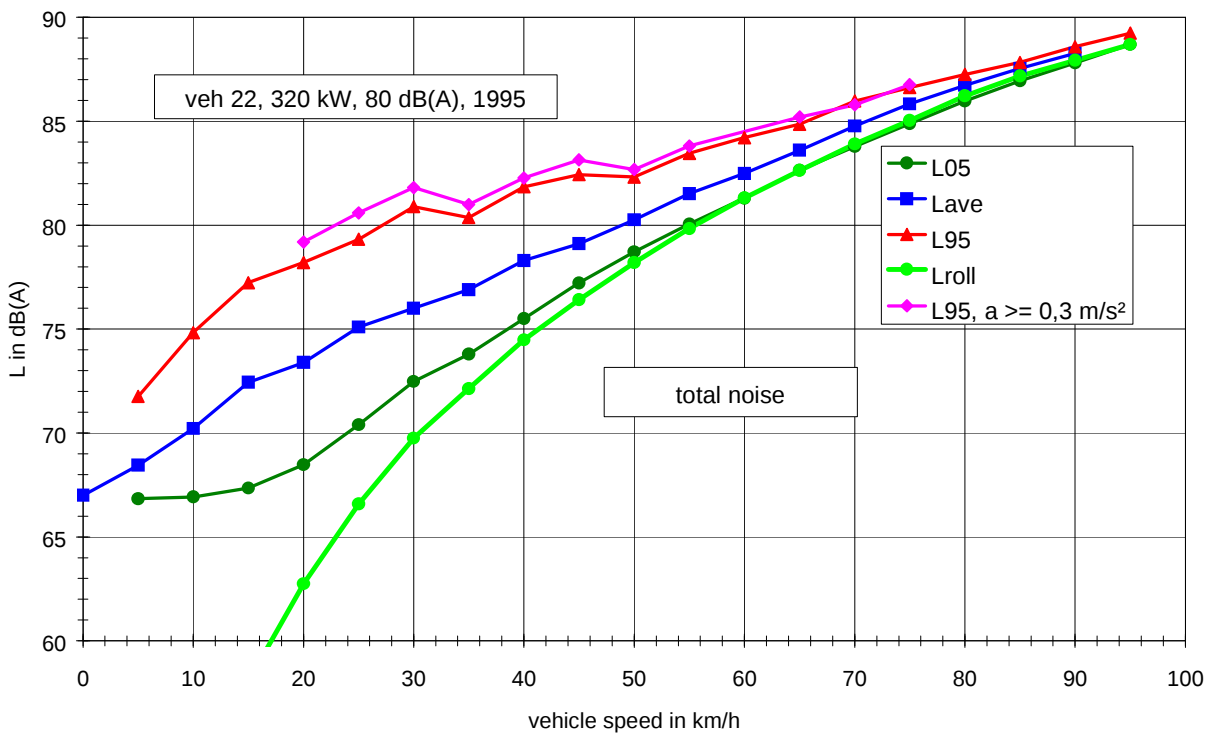


Bild 110: Gesamtgeräuschpegel eines schweren Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

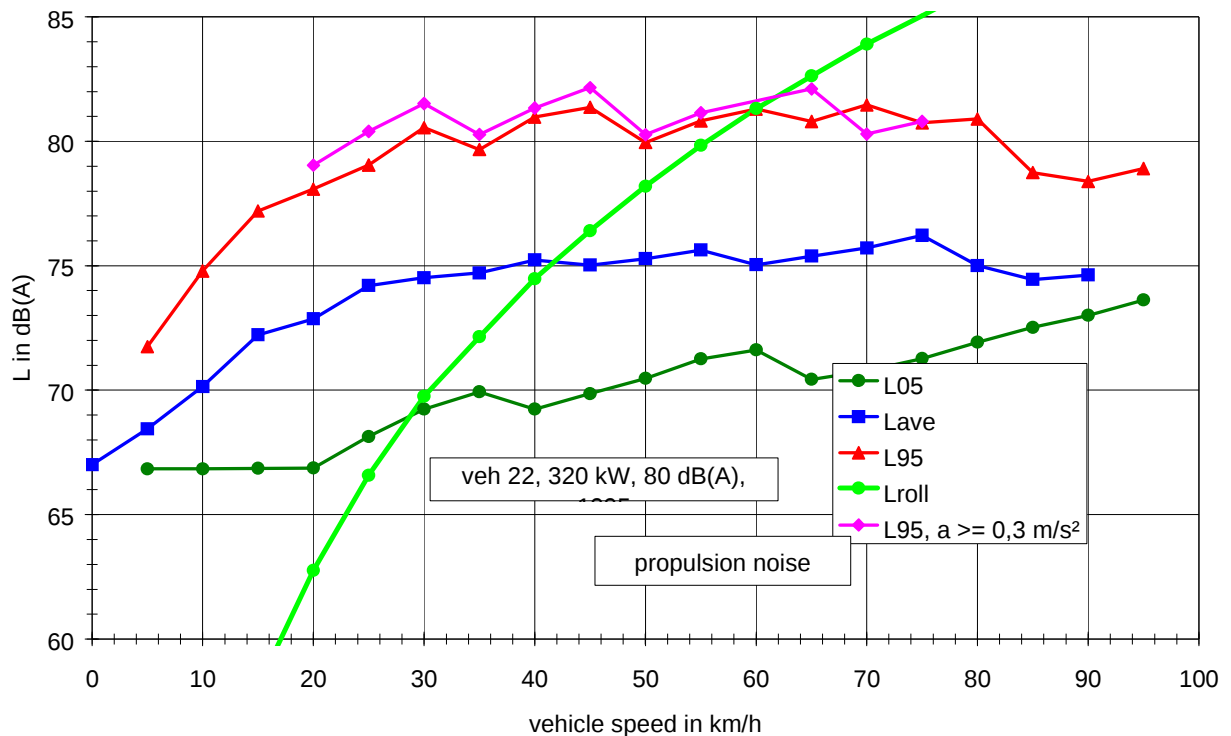


Bild 111: Antriebsgeräuschpegel eines schweren Nutzfahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

4.3.3.3 Motorräder (L3)

Bei den Motorrädern wurden vier Fahrzeuge untersucht, ein Sportler, ein Fahrzeug für Führerscheinneulinge, ein Tourer und ein Chopper. Die zur Berechnung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb benötigten Fahrverhaltensdaten wurden im Rahmen eines vorangegangenen UBA-Vorhabens von der TH Darmstadt erworben. Sie enthalten Angaben zur Fahrzeuggeschwindigkeit und zur Motordrehzahl. Die Fahrtroute (Rundkurs nahe Darmstadt) enthält Ortsdurchfahrten, Landstraßen- und Autobahnabschnitte. Die Fahrzeuge wurden von verschiedenen Fahrern (weiblich und männlich) betrieben, so dass auch Angaben zu individuellen Fahrereinflüssen möglich sind.

Da keine Messung der Antriebsleistung erfolgte, wurde diese auf folgende Weise bestimmt:

Für Roll- und Luftwiderstand wurden diejenigen Werte verwendet, die von der ISO Arbeitsgruppe TC22 SC22 WG17 für die Revision von ISO 11486 für Rollenprüfstandsmessungen vorgeschlagen sind. Danach bestimmt sich der Rollwiderstand eines Rades zu:

$$\text{Froll} = 0,088 \cdot m$$

Gleichung 7

Froll in N,

m – Fahrzeugmasse in kg

Zur Bestimmung des Luftwiderstandes wurde folgende Formel verwendet:

$$F_{air} = (0,000015 \cdot m + 0,02) \cdot v^2 \quad \text{Gleichung 8}$$

F_{air} in N,

m - Fahrzeugmasse in kg,

v - Geschwindigkeit in km/h

Für die Fahrzeugmasse wurde die um 75 kg erhöhte Leermasse angesetzt.

Bei der Berechnung des Beschleunigungswiderstandes wurden die Widerstände der rotierenden Massen pauschal mit einer Erhöhung um 20% berücksichtigt. Wind- und Längsneigungseinflüsse konnten nicht berücksichtigt werden.

Für die Bestimmung der Vollastleistungen wurden von Fahrzeugherstellern zur Verfügung gestellte Kurven verwendet. Eine Unterscheidung nach Roll- und Antriebsgeräusch entfällt, da die Rollgeräusche bedeutungslos sind.

Die vorstehend aufgeführten Fahrzeuge haben sämtlich Hubvolumen über 175 cm³. Sie werden bei der Typprüfung im 2. und 3. Gang gefahren, wenn ihr Getriebe mehr als vier Stufen hat, und müssen einen Grenzwert von 80 dB(A) einhalten. Motorräder bis 175 cm³ Hubvolumen werden bei der Typprüfung nur im 3. Gang gefahren, wenn ihr Getriebe mehr als vier Stufen hat, und müssen einen Grenzwert von 77 dB(A) einhalten. Ein derartiges Fahrzeug wurde zwar im Rahmen dieses Vorhabens nicht gemessen, es liegen aber Fahrverhaltensdaten hierüber vor. Um die in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen abschätzen zu können, wurde daher das Geräuschverhalten für ein derartiges Fahrzeug so modelliert, dass der Typprüfwert um 1 dB(A) unterschritten wird. Aufgrund der technischen Daten eines solchen Fahrzeugs wurde angenommen, dass die Beschleunigung im 3. Gang aus 75% der Nennleistungsdrehzahl (entsprechend 48 km/h) erfolgt und dass das Pegelmaximum bei 53 km/h auftritt, was in Bild 112 einer normierten Drehzahl von 77% entspricht. In Bild 112 sind die Geräuschverläufe bei Konstantfahrt und Vollast über der normierten Drehzahl zusammen mit entsprechenden Kurven der anderen Motorräder dargestellt.

Bild 113 zeigt die mittleren Geräuschemissionen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Die entsprechende Kurve eines 74 dB(A) Pkw ist zum Vergleich mit eingezeichnet. Obwohl sich die Geräuschemissionen der Motorräder über der normierten Drehzahl signifikant unterscheiden (vgl. Bild 112), verhalten sie sich hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen im praktischen Betrieb ziemlich einheitlich. Bei gleicher Geschwindigkeit variieren die Unterschiede zwischen dem lautesten und dem leisesten Motorrad nur um 2,5 bis 4,5 dB(A). Unterhalb von 60 km/h ist das 125 cm³ Fahrzeug das lauteste, oberhalb dieser Geschwindigkeit der 1100 cm³ Tourer.

Darüber hinaus kann man erkennen, dass die mittleren Geräuschemissionen der Motorräder sich oberhalb von 50 km/h kaum von den Emissionen der Pkw unterscheiden. Unterhalb dieser Geschwindigkeit sind Motorräder jedoch mit abnehmender Geschwindigkeit zunehmend lauter, im Stand beträgt der Unterschied zum gezeigten Pkw ca. 10 dB(A). Weiterhin bleibt festzustellen, dass die Geräuschemission nicht mit der Nenndrehzahl korreliert ist.

In Bild 114 bis Bild 118 sind die Pegelmittelwerte sowie die 5%-Perzentile und 95%-Perzentile der Gesamtgeräuschpegel für die einzelnen Motorräder über der Geschwindigkeit dargestellt. Bei gegebener Geschwindigkeit beträgt die Streubreite der Geräuschpegel bis zu 10 dB(A). Die 95%-Perzentile für Beschleunigungsvorgänge sind bis zu 3 dB(A) höher als die 95%-Perzentile aller Betriebszustände.

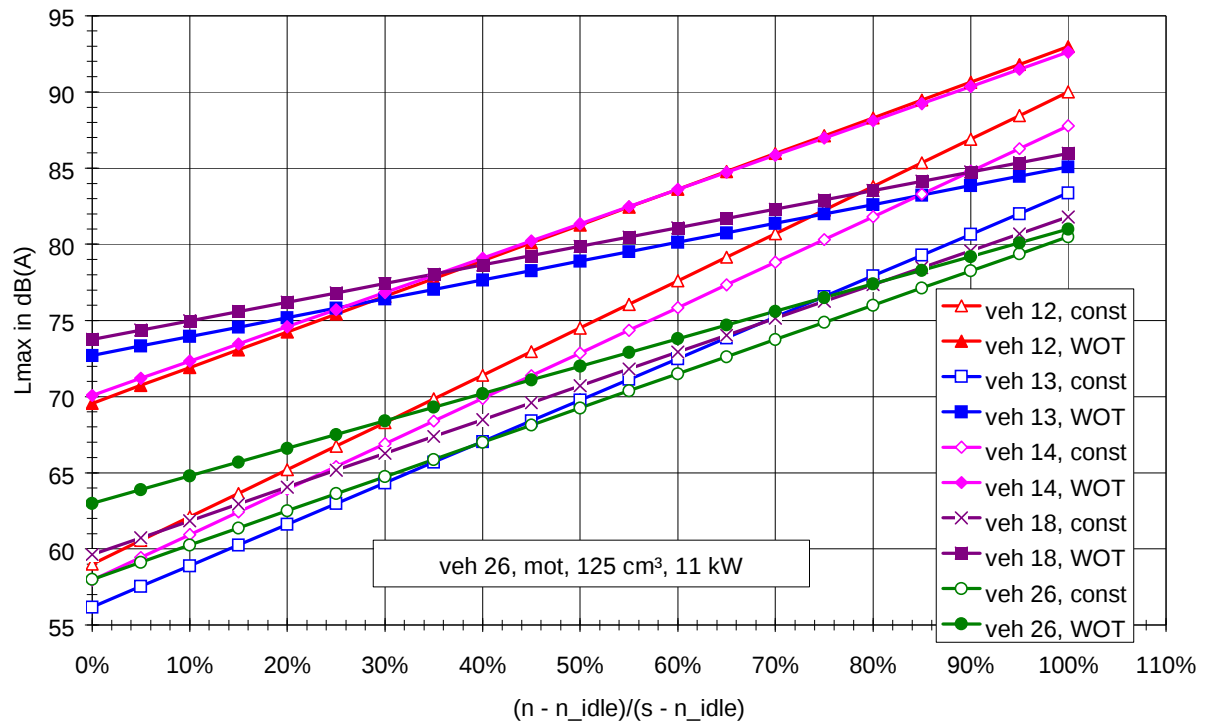


Bild 112: Modellerte Geräuschemissionen verschiedener Motorräder bei Vollast und ohne bzw. bei geringer Motorbelastung in Abhängigkeit von der normierten Motordrehzahl

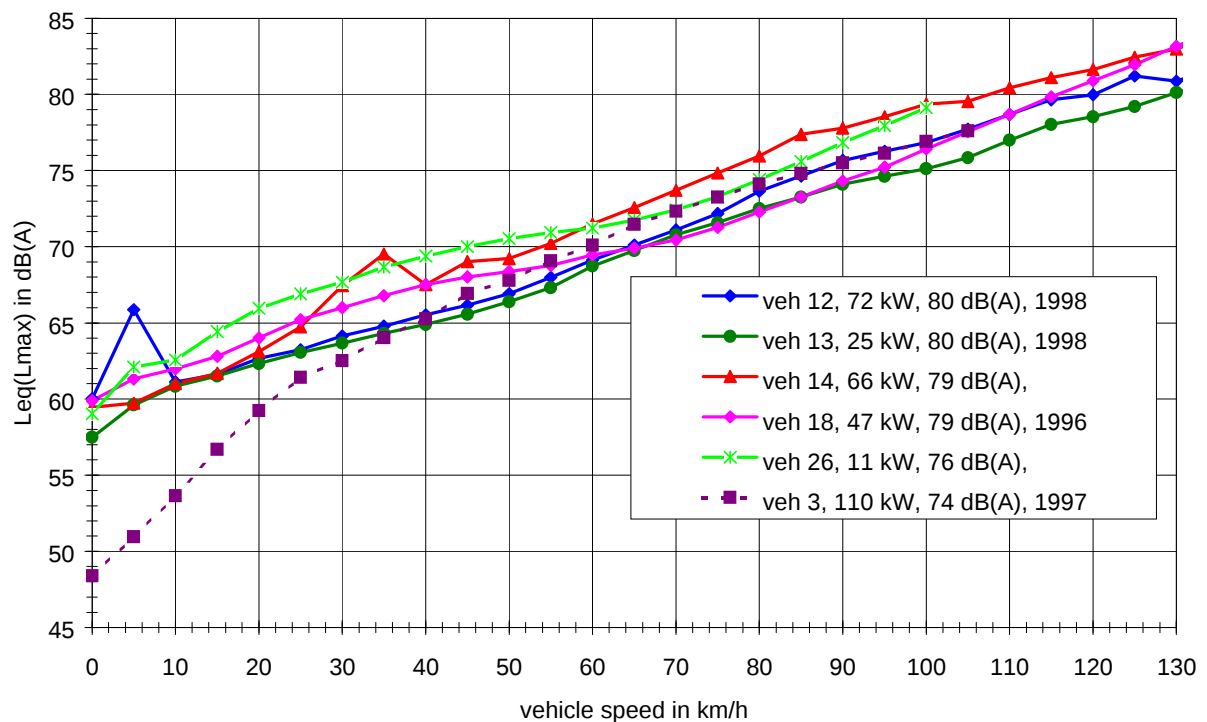


Bild 113: Mittlere Gesamtgeräuschemissionen der untersuchten Motorräder in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Pkw (Fz. 3) zum Vergleich)

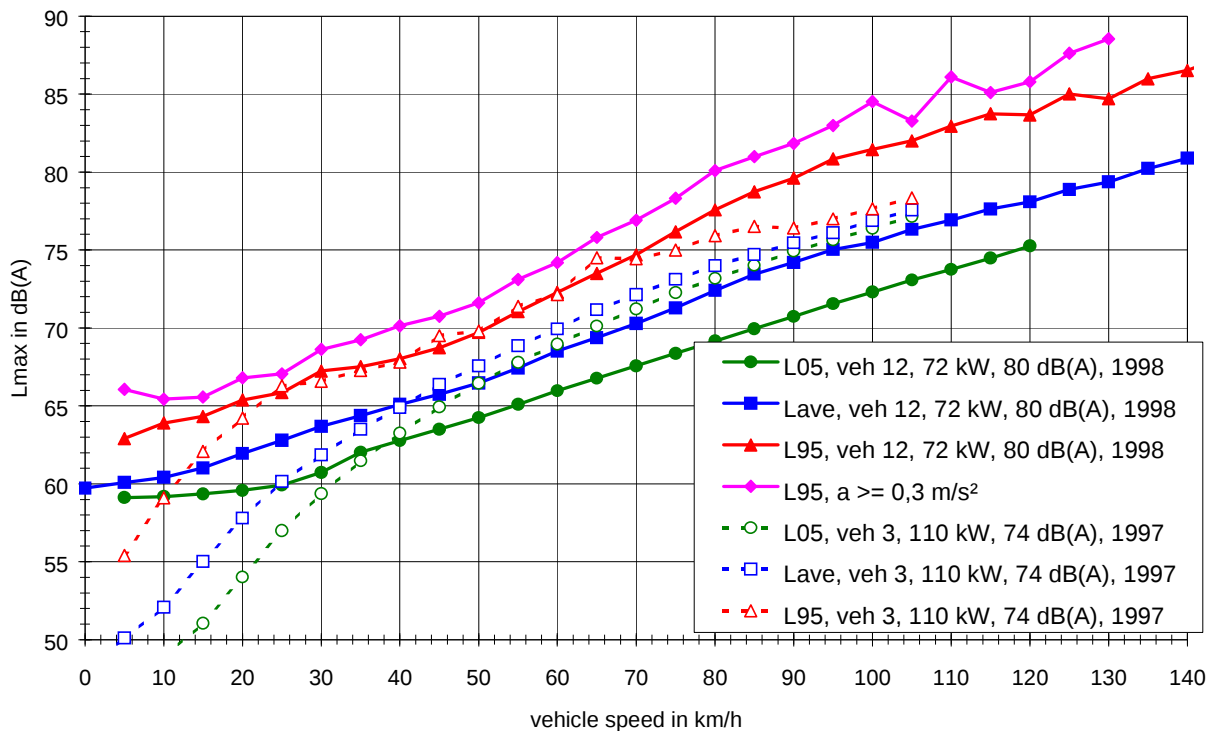


Bild 114: Gesamtgeräuschpegel eines Motorrads (Fz. 12) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

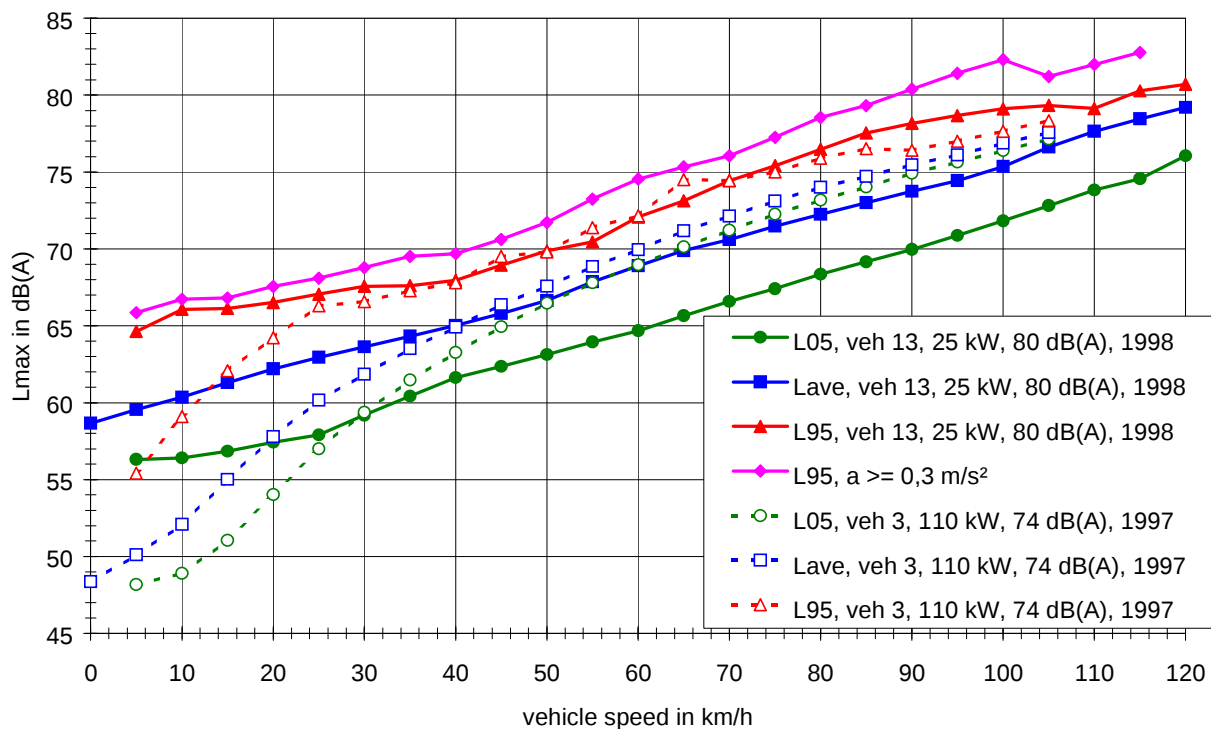


Bild 115: Gesamtgeräuschpegel eines Motorrads (Fz. 13) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

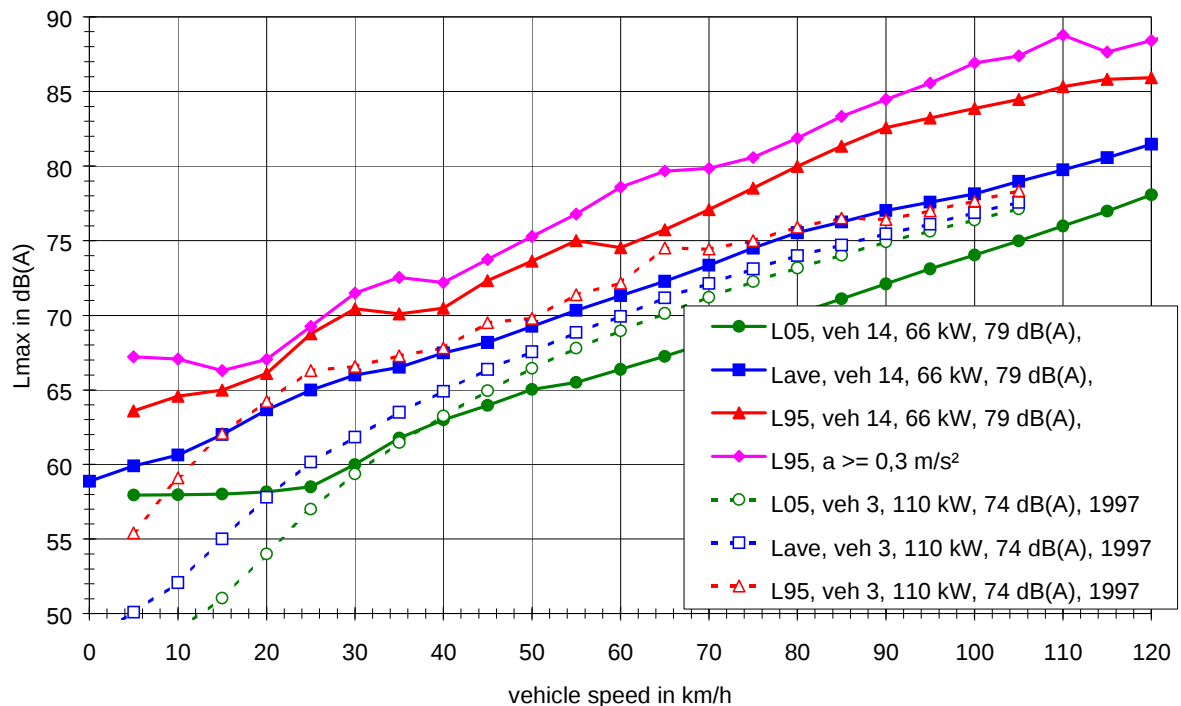


Bild 116: Gesamtgeräuschpegel eines Motorrades (Fz. 14) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

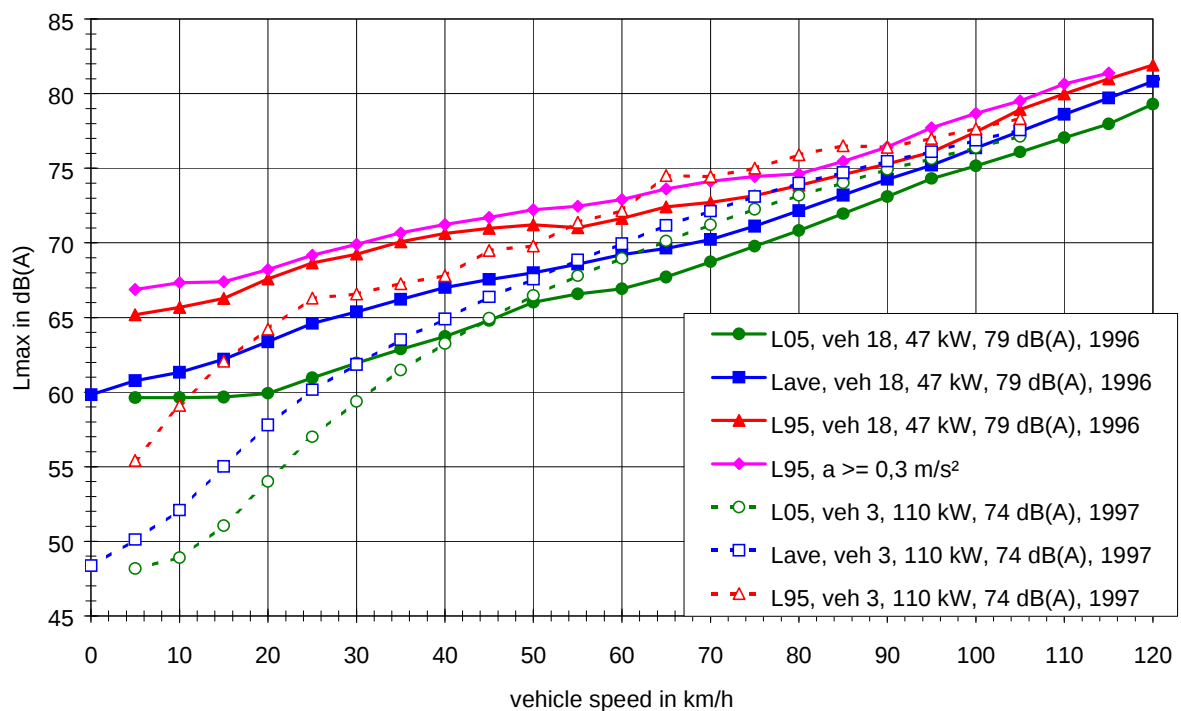


Bild 117: Gesamtgeräuschpegel eines Motorrades (Fz. 18) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

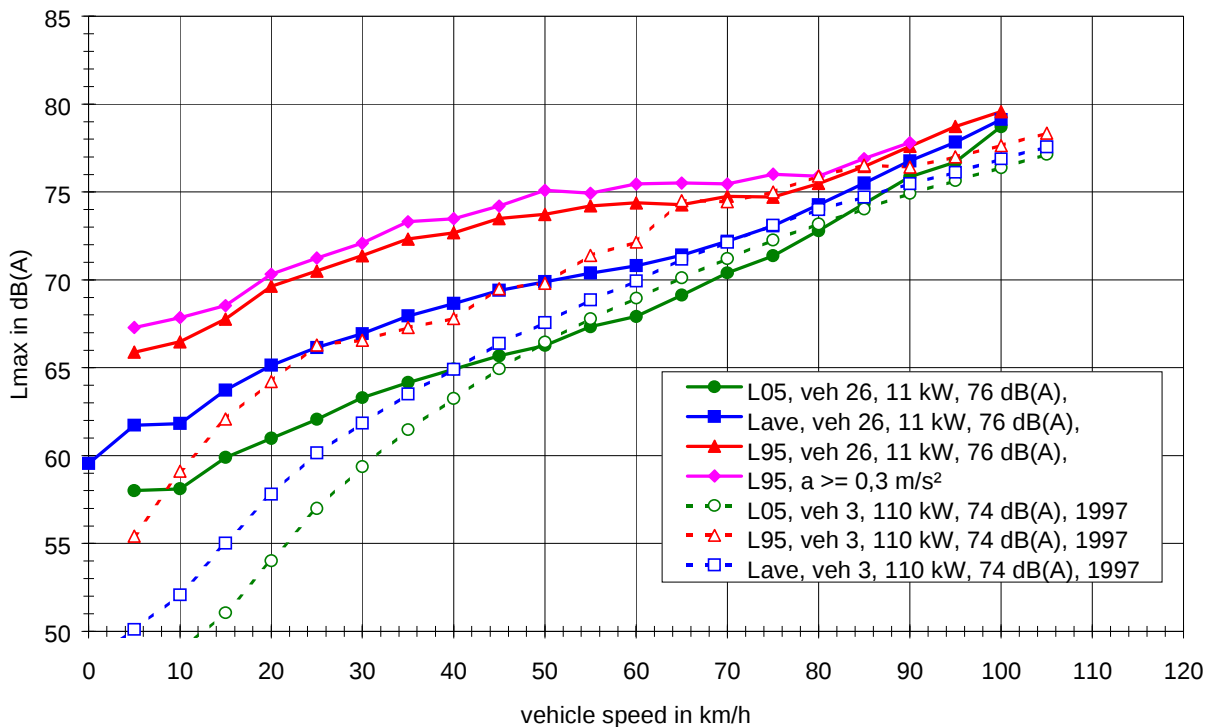


Bild 118: Gesamtgeräuschpegel eines Motorrades (Fz. 26) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Lave – Mittelwert von Lmax, L05 = 5% Perzentil von Lmax, L95 = 95% Perzentil von Lmax)

Die Streubreite der Pegel ist bei den Motorrädern größer als bei den Pkw, vor allem zwischen den Spitzenwerten (L95) und den Mittelwerten (Lave).

In Bild 119 sind die im praktischen Betrieb auftretenden Geräuschpegel von Fahrzeug 12 über der normierten Motordrehzahl dargestellt und zwar für die beiden Fahrer, die hinsichtlich der Motordrehzahlen die extremsten Fahrweisen praktiziert haben. Einer hat den Drehzahlbereich bis fast zur Nenndrehzahl ausgenutzt, der andere hat sich mit etwas mehr als 50% des Bereichs zwischen Leerlaufdrehzahl und Nenndrehzahl begnügt. Bild 120 zeigt für dasselbe Fahrzeug den Fahrereinfluss auf die mittleren Geräuschpegel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. In Bild 121 sind entsprechende Ergebnisse für Fahrzeug 14 dargestellt, wobei die Fahrer gleicher Nummer nicht identisch mit denjenigen von Fahrzeug 12 sein müssen. Im Geschwindigkeitsbereich von 80 km/h bis 110 km/h ist der Fahrereinfluss mit bis zu 7 dB(A) am größten.

Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, dass Motorradgeräusche vor allem im Anfahrbereich und bei Beschleunigungsvorgängen auf Landstraßen (an Ortsausgängen) problematisch sind.

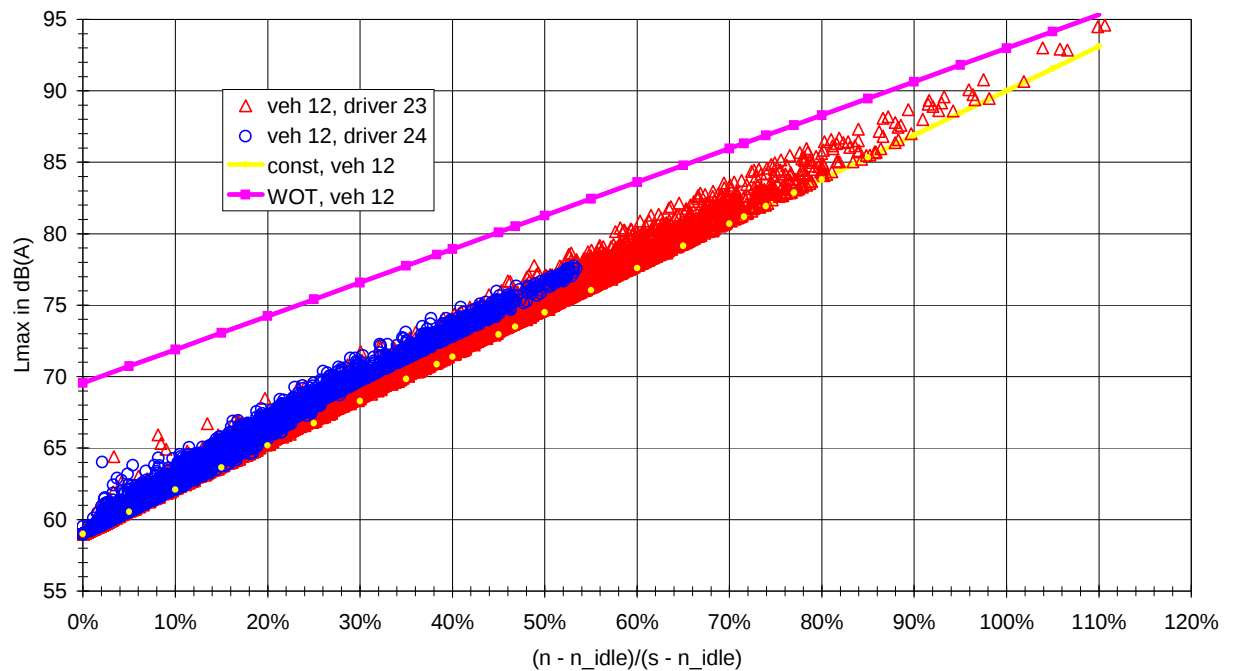


Bild 119: Geräuschpegel im praktischen Betrieb in Abhängigkeit von der normierten Motordrehzahl (Kurven ohne Motorbelastung und bei voller Motorbelastung zum Vergleich)

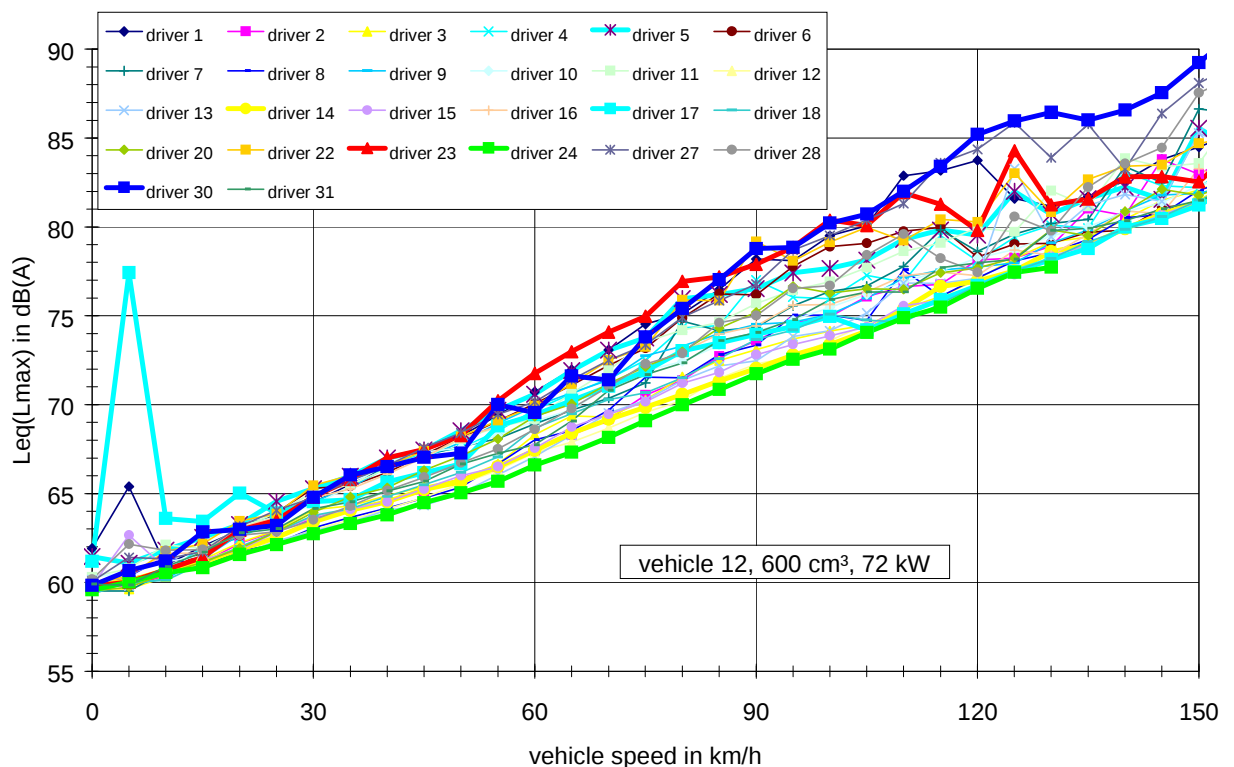


Bild 120: Mittlere Geräuschpegel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für Fahrzeug 12 bei unterschiedlichen Fahrern

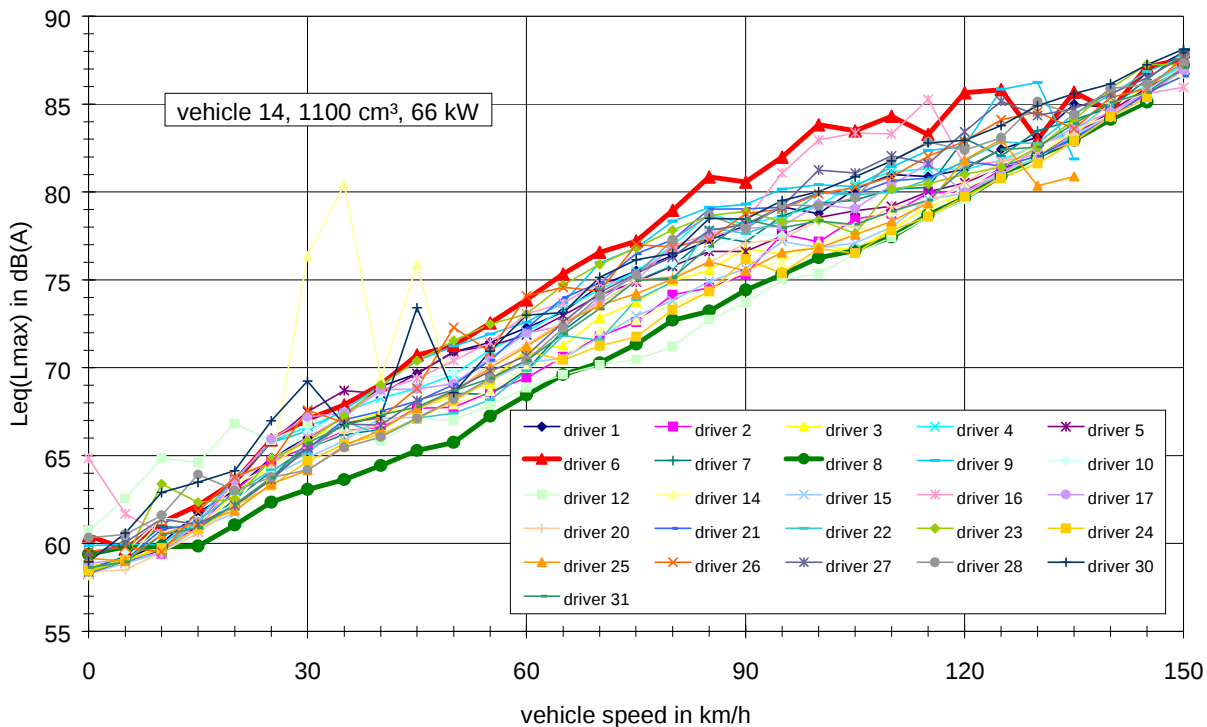


Bild 121: Mittlere Geräuschpegel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für Fahrzeug 14 bei unterschiedlichen Fahrern

4.3.3.4 Vergleich der Beiträge zum Leq bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Abschließend sollen die untersuchten Fahrzeuge noch einmal hinsichtlich ihrer stündlichen Beiträge zum Mittelungspegel vergleichend gegenübergestellt werden. Der stündliche Beitrag zum Mittelungspegel kann aus dem energetischen Mittelwert der Vorbeifahrtpegel nach Ullrich mit Hilfe folgender Formel bestimmt werden:

$$L_{me} = Leq(L_{max}) - 10 \cdot \log(v) - 23,3$$

Gleichung 9

v – Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h,

$Leq(L_{max})$ energetischer Mittelwert von L_{max}

Die entsprechenden Ergebnisse für 30, 50 und 70 km/h sind in Bild 122 bis Bild 124 für Roll-, Antriebs- und Gesamtgeräusch zusammengestellt, Bild 125 zeigt die Beiträge für das Gesamtgeräusch gemittelt über den Geschwindigkeitsbereich von Anfahren bis 70 km/h.

Die Bilder demonstrieren noch einmal, dass der Geräuschbeitrag eines Motorrads nicht größer sein muss, als der eines durchschnittlichen Pkw, während die Emissionsbeiträge der schweren Nutzfahrzeuge deutlich darüber liegen, und dass die Unterschiede zwischen N2 Fahrzeugen und N3 Fahrzeugen nach dem derzeitigen Stand der Technik im praktischen Betrieb größer sind als im Grenzwert.

Interessant ist auch ein Vergleich innerhalb der Gruppe der M1 Fahrzeuge, die den derzeitigen Geräuschgrenzwerten entsprechen, oder diese sogar unterschreiten. Zwei Fahrzeugpaare sollen besonders betrachtet werden, Fahrzeug 1 und Fahrzeug 6, deren Antriebsgeräusche sich in

der Praxis kaum unterscheiden, die aber die extremsten Reifen aufwiesen, und Fahrzeug 2 und Fahrzeug 17, deren Reifengeräusche sich nur unwesentlich unterscheiden, die aber bei den Antriebsgeräuschen die Grenzfälle darstellen.

Erstere unterscheiden sich bei 30 km/h im Rollgeräuschbeitrag um 5,4 dB(A), was im Gesamtgeräusch immerhin noch mit 2,4 dB(A) zu Buche schlägt. Das lautere Fahrzeug trägt also selbst bei 30 km/h trotz gleichem Antriebsgeräusch das 1,73-fache des leiseren Fahrzeugs zum Mittelungspegel bei. Bei 50 km/h ist der Unterschied im Gesamtgeräusch bereits auf 4,2 dB(A) (2,64-facher Energiebeitrag) angewachsen, bei 70 km/h sind es knapp 5 dB(A).

Umgekehrt liegt der Fall bei den Fahrzeugen 2 und 17, deren Antriebsgeräusche sich um 7,5 bis 8,4 dB(A) unterscheiden, wodurch das Gesamtgeräusch um bis zu 2,8 dB(A) differieren kann. Dies entspricht immerhin dem 1,9-fachen Energiebeitrag und zeigt, dass man bei den Überlegungen zur weiteren Geräuschminderung bei den Pkw die Antriebsgeräusche noch nicht vernachlässigen kann.

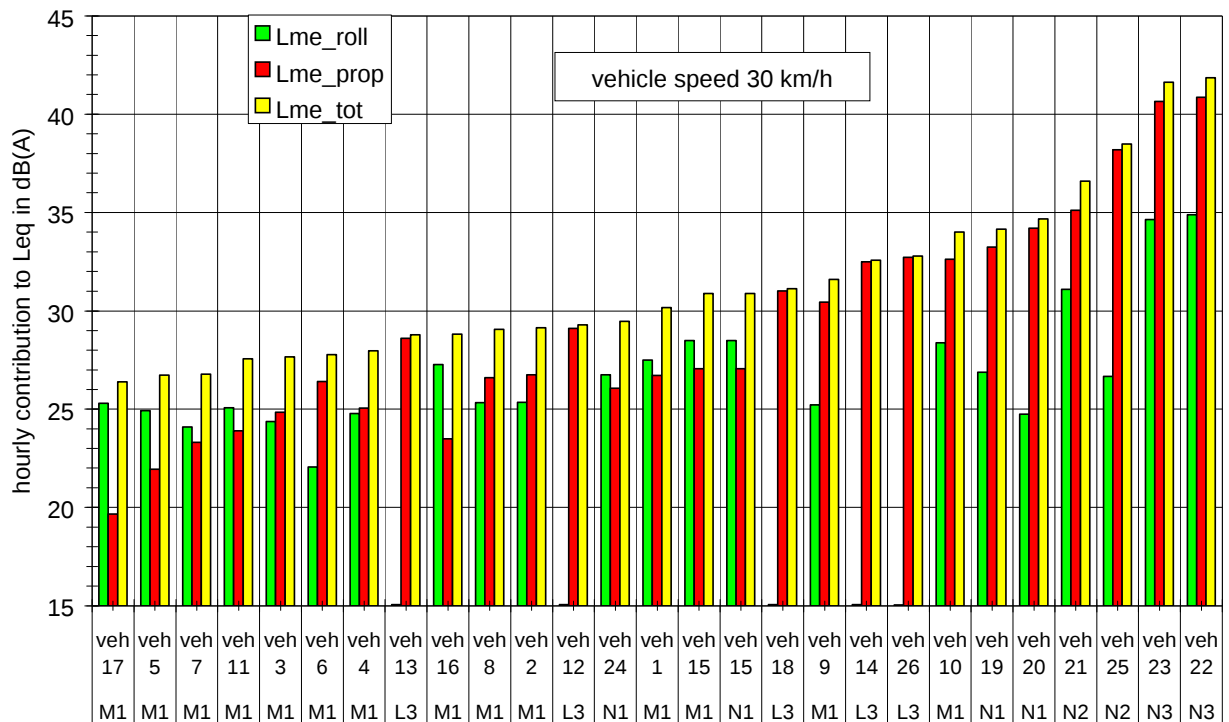


Bild 122: Stündliche Beiträge der untersuchten Fahrzeuge zum Mittelungspegel bei 30 km/h nach aufsteigendem Gesamtpegel

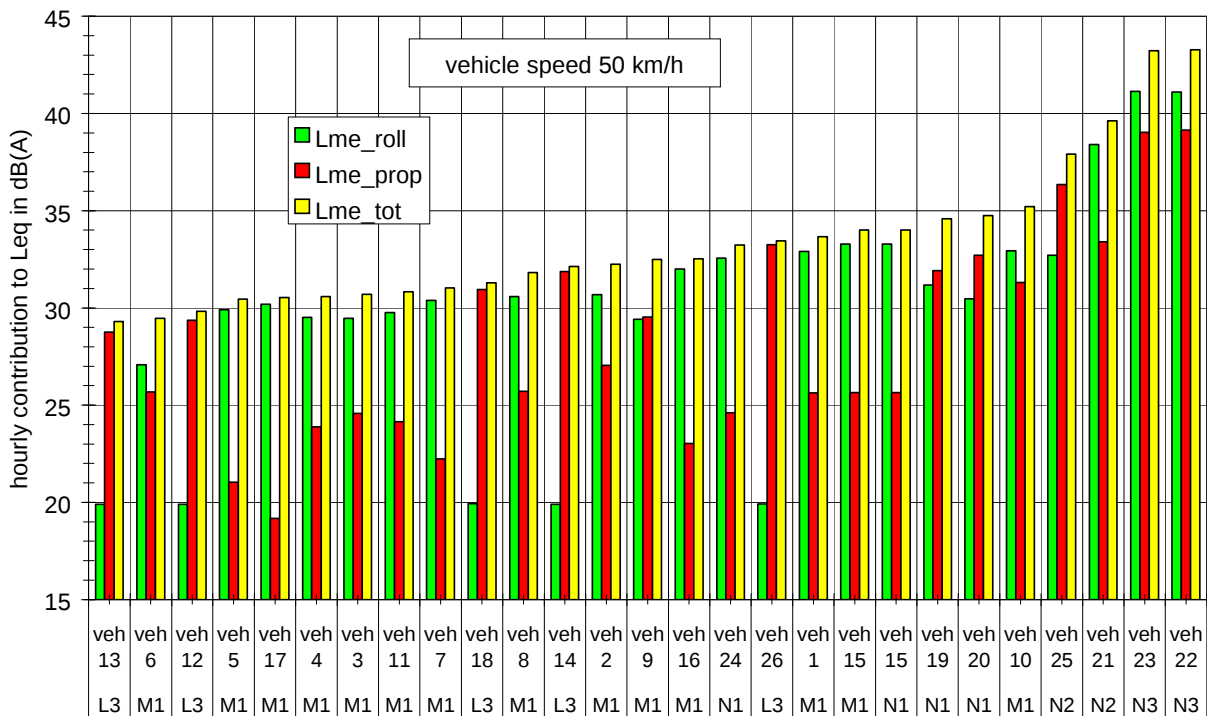


Bild 123: Stündliche Beiträge der untersuchten Fahrzeuge zum Mittelungspegel bei 50 km/h nach aufsteigendem Gesamtpegel

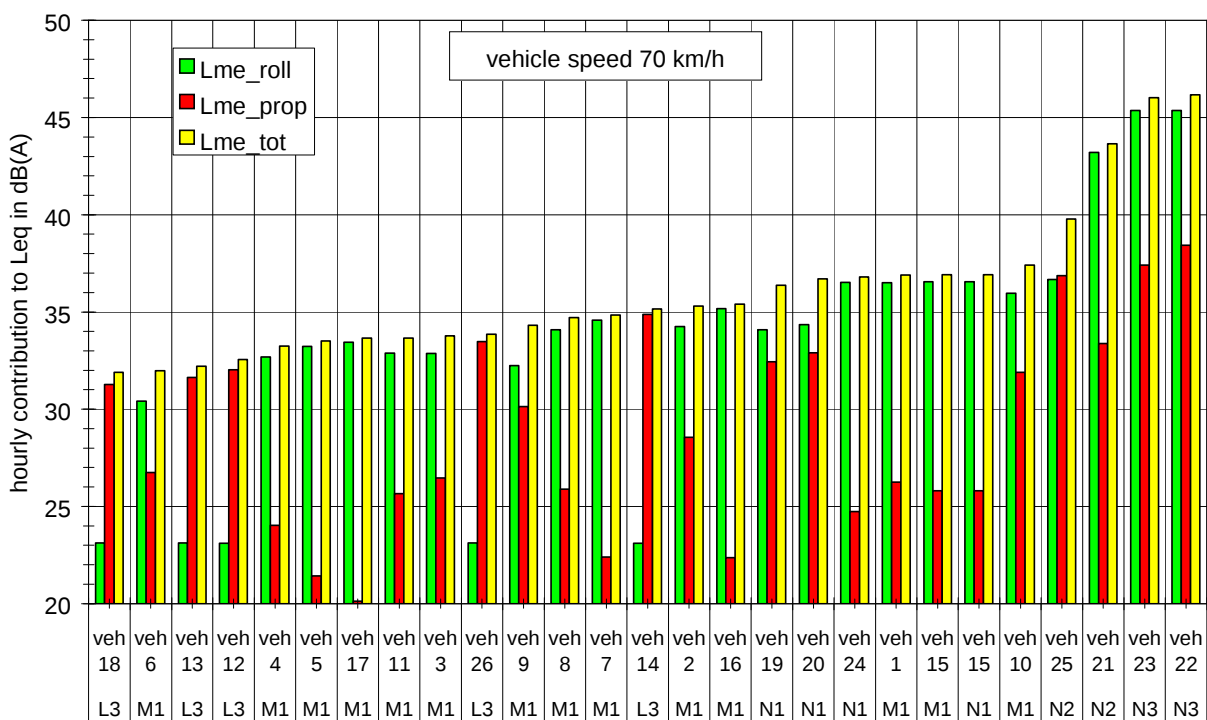


Bild 124: Stündliche Beiträge der untersuchten Fahrzeuge zum Mittelungspegel bei 70 km/h nach aufsteigendem Gesamtpegel

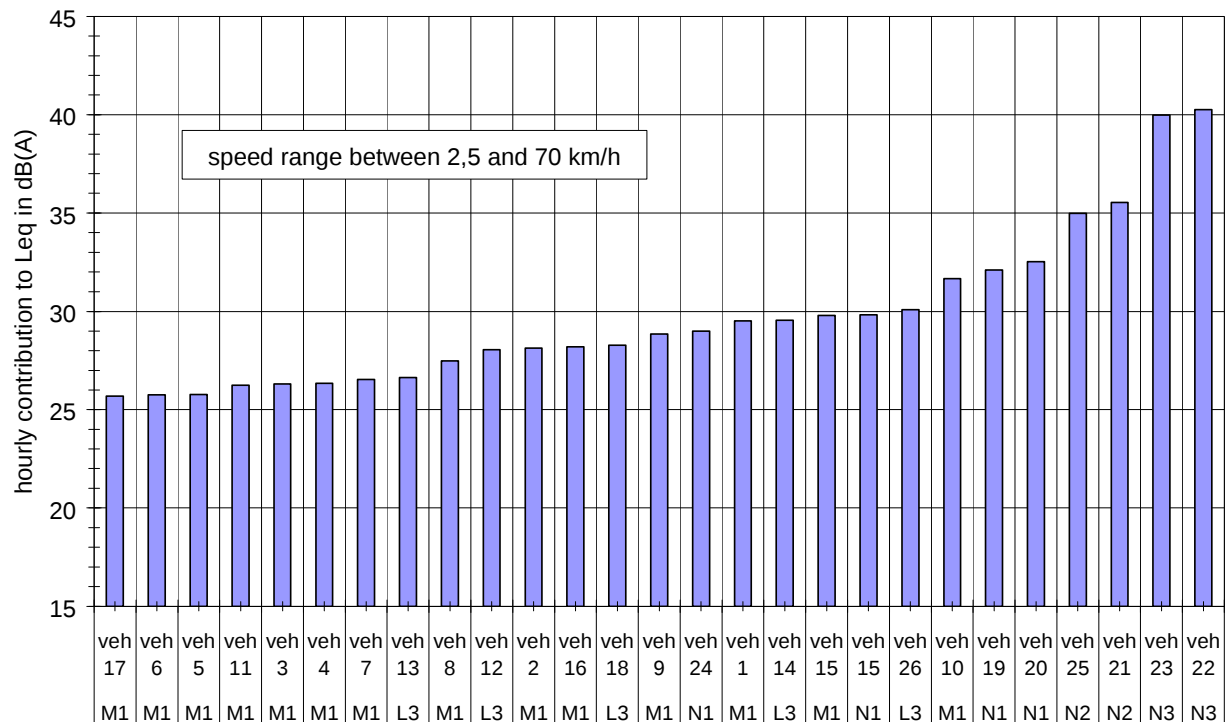


Bild 125: Stündliche Beiträge der untersuchten Fahrzeuge zum Mittelungspegel im Geschwindigkeitsbereich vom Anfahren bis 70 km/h nach aufsteigendem Gesamtpegel

4.3.4 Zeitliche Entwicklung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb, Einfluss der Fahrbahndeckschicht, Trendszenarien

4.3.4.1 Randbedingungen der Modellierung und Festlegung der Szenarien

In einem ergänzenden Schritt wurde die Geräuschmodellierung generalisierender für Fahrzeugschichten verschiedener Emissionsstufen angelegt, um Einflüsse der Fahrbahndeckschicht, der Flottenzusammensetzung und des Bezugsjahres besser abschätzen zu können. Dazu wurden folgende Vereinfachungen vorgenommen:

Das Rollgeräusch wurde durch eine logarithmische Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit modelliert, unterschiedliche Beläge wurden durch geschwindigkeitsunabhängige Zu- oder Abschläge berücksichtigt. Für die Geschwindigkeitsabhängigkeit wurde ein Anstiegsmaß von 32 angesetzt. Auf die Modellierung einer geräuscherhöhenden Wirkung durch Antriebskrafteinfluss bei den Rollgeräuschen wurde verzichtet, da dieser Effekt im realen Betrieb wegen der deutlich geringeren Kräfte (Pkw) oder der praxisgerechteren Radlasten (Nutzfahrzeuge) praktisch bedeutungslos ist.

$$L_{roll} = L_{r50} (AB 0/11) + 32 * \log (v/50 \text{ km/h}) + DL_{belag}$$

Gleichung 10

$L_{r50} (AB 0/11)$ – Rollgeräusch bei 50 km/h auf Asphaltbeton 0/11.

In die hier durchgeführten Berechnungen und Analysen wurden folgende unterschiedlichen Beläge einbezogen:

- ☐ Drainasphalt 0/8 kleiner 3 Jahre (DA 0/8), $DL_{\text{belag}} = - 5,8 \text{ dB(A)}$,
- ☐ Splittmastixasphalt oder AB 0/11, $DL_{\text{belag}} = 0 \text{ dB(A)}$,
- ☐ Zementbeton mit Jutetuch-Texturierung, $DL_{\text{belag}} = +1 \text{ dB(A)}$,
- ☐ Gussasphalt, $DL_{\text{belag}} = +1,9 \text{ dB(A)}$

Die vorstehend genannten Werte gelten im realen Betrieb nur für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (Lkw bis 3,5 t zul. Gesamtmasse), nicht aber für schwere Nutzfahrzeuge. Sie wurden aus Gründen der Systematik hier aber auch für letztere verwendet. Bei der Bestimmung der Emissionsfaktoren werden dann aber die für diese Kategorie ermittelten praxisgerechten Werte verwendet.

In Tabelle 33 sind die Koeffizienten der o.g. Gleichungen für verschiedene Emissionsstufen, Antriebsarten und Größenklassen für Pkw zusammengestellt. Tabelle 34 und Tabelle 35 enthalten entsprechende Angaben für Lastwagen und Lastzüge. Die Koeffizienten wurden so gewählt, dass die in der letzten Spalte angegebenen Typprüfwerte erreicht werden. Bei der Berechnung der Typprüfwerte wurde ab 1995 davon ausgegangen, dass die Messungen auf ISO-Belägen stattfinden. Dessen Rollgeräusche wurden bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit -2 dB(A) gegenüber AB 0/11 und bei schweren Nutzfahrzeugen mit -1 dB(A) gegenüber AB 0/11 angesetzt. Für den davor liegenden Zeitraum wurde als Prüfbelag AB 0/11 unterstellt.

Beim Vergleich zwischen Geräuschen bei der Typprüfung und Geräuschen im praktischen Betrieb muss bei den schweren Nutzfahrzeugen noch berücksichtigt werden, dass bei der Typprüfung lediglich ein 2-achsiges Fahrzeug mit kurzem Radstand als worst case der Fahrzeugfamilie getestet wird, während Lastzüge im praktischen Betrieb in der Regel über 5 Achsen verfügen und entsprechend höhere Rollgeräusche emittieren. Diese Unterschiede wie auch die Unterschiede zwischen ISO-Belag und SMA-Belag sind in den $L_{50\text{ref}}$ der linken Spalte der jeweiligen Tabellen, die für AB 0/11 gelten, berücksichtigt.

Für die zukünftige Geräuscentwicklung wurden folgende Szenarien berechnet:

Szenario 1: Weitere Senkung der Typprüfwerte auf Basis des bestehenden Messverfahrens in 2 Stufen um jeweils 3 dB(A) , wobei sowohl Antriebs- als auch Rollgeräusche gemindert werden.

Szenario 2: Wie Szenario 1, allerdings nur weitere Minderung der Antriebsgeräusche

Szenario 3: Wie Szenario 1, allerdings nur weitere Minderung der Rollgeräusche

Szenario 4: Änderung des Messverfahrens gemäß UBA-Vorschlag und weitere Senkung der Typprüfwerte auf Basis dieses Messverfahrens in 2 Stufen um jeweils 3 dB(A) , wobei sowohl Antriebs- als auch Rollgeräusche gemindert werden. (Zur Vereinfachung der Berechnung wurde bei den Pkw angenommen, dass alle Fahrzeuge nur noch im 3. Gang gemessen werden.)

Szenario 5: Änderung des Messverfahrens gemäß ACEA-Vorschlag und weitere Senkung der Typprüfwerte auf Basis dieses Messverfahrens in 2 Stufen um jeweils 3 dB(A) , wobei sowohl Antriebs- als auch Rollgeräusche gemindert werden. (**Nur bei Pkw**, der Unterschied zu Szenario 4 besteht darin, dass zu der Vollastbeschleunigung auch eine Konstantfahrt gemessen und gewichtet mit dem Ergebnis der Vollastbeschleunigung verrechnet wird. $L = L_{\text{wot}} - k_p \cdot (L_{\text{wot}} - L_{\text{cst}})$, $k_p = 0.0016 \times P/m [\text{kW/t}] + 0.0887$, P – Nennleistung in kW, m – Fahrzeugmasse in t)

Die entsprechenden Koeffizienten für die Geräuschmodellierung sind in Tabelle 36 und Tabelle 37 zusammengestellt.

Die in diesen Tabellen benutzten Bezeichnungen seien im folgenden kurz erläutert:

IDFzKat – Fahrzeugkategorie, es bedeuten:

- ☐ 1 – Pkw,
- ☐ 2 – leichte Nutzfahrzeuge,
- ☐ 3 – schwere Nutzfahrzeuge ohne Anhänger,
- ☐ 4 – schwere Nutzfahrzeuge mit Anhänger oder Sattelzüge

IDAntrieb – Antriebsart,

- ☐ 1 – Benzinmotor,
- ☐ 2 – Dieselmotor

FSL – Fahrzeugschicht Nummer,

IDML – Emissionsstufe Nummer, je höher die Nummer, desto niedriger die Emissionen innerhalb einer Fahrzeugschicht,

L_Jahr - Zulassungsjahr von bis,

IDGK - Größenklasse (siehe FSL_Name),

Lnidle - max. Vorbeifahrtpegel in dB(A) bei Leerlaufdrehzahl in min-1,

Ls - max. Vorbeifahrtpegel in dB(A) bei Nennleistungsdrehzahl in min-1,

DLpidle - Erhöhung der Antriebsgeräusche in dB(A) bei Volllast nahe Leerlaufdrehzahl,

DLps - Erhöhung der Antriebsgeräusche in dB(A) bei Volllast bei Nenndrehzahl,

Lr50ref - oder Lr50ref AB 0/11, Referenz-Rollgeräuschpegel einer Fahrzeugschicht auf Asphaltbeton 0/11 bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h,

Lr50 - Referenz-Rollgeräuschpegel eines Typprüffahrzeugs der jeweiligen Schicht auf ISO-Belag bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h,

BLr - Anstiegsmaß der log. Regressionsfunktion für das Rollgeräusch in dB(A),

IDFzKat	IDAntr	FSL	FSL Name	IDML	L Jahr	IDGK	Lnidle	Ls	DLpidle	DLps	Lr50ref	Lr50	BLr
1	1	1	Pkw B <1,4/1,82 dB(A)	1	-1981	11	52,00	79,00	17,00	2,00	67,50	66,00	33,00
1	1	2	Pkw B 1,4/2,1,82 dB(A)	1	-1981	12	53,00	81,00	16,00	2,00	69,50	68,00	33,00
1	1	3	Pkw B >2,1,82 dB(A)	1	-1981	13	54,00	84,00	19,00	2,00	70,50	69,00	33,00
1	2	4	Pkw D <2,1,82 dB(A)	1	-1981	12	54,00	82,00	10,00	1,50	69,50	68,00	33,00
1	2	5	Pkw D >2,1,82 dB(A)	1	-1981	13	55,00	83,00	10,00	1,50	69,50	68,00	33,00
1	1	6	Pkw B <1,4/1,80 dB(A)	2	1982 - 1988	11	52,00	79,00	15,00	2,00	67,50	66,00	33,00
1	1	7	Pkw B 1,4/2,1,80 dB(A)	2	1982 - 1988	12	53,00	81,00	14,00	2,00	69,50	68,00	33,00
1	1	8	Pkw B >2,1,80 dB(A)	2	1982 - 1988	13	54,00	84,00	17,00	2,00	70,50	69,00	33,00
1	2	9	Pkw D <2,1,80 dB(A)	2	1982 - 1988	12	54,00	82,00	10,00	1,50	69,50	68,00	33,00
1	2	10	Pkw D >2,1,80 dB(A)	2	1982 - 1988	13	55,00	83,00	10,00	1,50	69,50	68,00	33,00
1	1	11	Pkw B <1,4/1,77 dB(A)	3	1989 - 1995	11	52,00	79,00	12,00	1,50	67,50	66,00	33,00
1	1	12	Pkw B 1,4/2,1,77 dB(A)	3	1989 - 1995	12	53,00	81,00	13,00	2,00	69,50	68,00	33,00
1	1	13	Pkw B >2,1,77 dB(A)	3	1989 - 1995	13	54,00	84,00	11,00	1,50	70,50	69,00	33,00
1	2	14	Pkw D <2,1,77 dB(A)	3	1990 - 1995	12	54,00	82,00	9,00	1,50	69,50	68,00	33,00
1	2	15	Pkw D >2,1,77 dB(A)	3	1990 - 1995	13	55,00	83,00	9,00	1,50	69,50	68,00	33,00
1	1	16	Pkw B <1,4/1,74 dB(A)	4	1996 - 2003	11	51,00	78,00	8,00	0,50	68,00	66,50	33,00
1	1	17	Pkw B 1,4/2,1,74 dB(A)	4	1996 - 2003	12	52,00	80,00	7,00	0,50	70,00	68,50	33,00
1	1	18	Pkw B >2,1,74 dB(A)	4	1996 - 2003	13	53,00	82,50	5,00	0,50	70,50	69,00	33,00
1	2	19	Pkw D <2,1,74 dB(A)	4	1996 - 2003	12	53,00	80,00	4,00	0,50	70,00	68,50	33,00
1	2	20	Pkw D >2,1,74 dB(A)	4	1996 - 2003	13	54,00	81,00	4,00	0,50	70,00	68,50	33,00
1	1	21	Pkw B <1,4/1,71 dB(A)	5	2004 - 2009	11	49,00	76,50	5,00	0,20	67,00	65,50	33,00
1	1	22	Pkw B 1,4/2,1,71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49,00	76,50	2,00	0,10	69,00	67,50	33,00
1	1	23	Pkw B >2,1,71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	50,00	80,00	2,00	0,10	69,50	68,00	33,00
1	2	24	Pkw D <2,1,71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49,00	76,50	1,00	0,00	69,00	67,50	33,00
1	2	25	Pkw D >2,1,71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	49,00	76,50	1,00	0,00	69,00	67,50	33,00
1	1	26	Pkw B <1,4/1,68 dB(A)	6	2010 - 2015	11	47,00	75,50	0,00	0,00	65,00	63,50	33,00
1	1	27	Pkw B 1,4/2,1,68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47,00	73,00	0,00	0,00	67,00	65,50	33,00
1	1	28	Pkw B >2,1,68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	48,00	77,00	0,00	0,00	67,50	66,00	33,00
1	2	29	Pkw D <2,1,68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47,00	73,00	0,00	0,00	66,50	65,00	33,00
1	2	30	Pkw D >2,1,68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	47,00	73,00	0,00	0,00	66,50	65,00	33,00
2	1	101	LnE B, 82/89 dB(A)	1	-1981	21	47,00	75,50	0,00	0,00	65,00	68,00	33,00
2	2	102	LnE D, 82/89 dB(A)	1	-1981	21	47,00	73,00	0,00	0,00	67,00	68,00	33,00
2	1	103	LnE B, 80/84 dB(A)	2	1982 - 1988	21	48,00	77,00	0,00	0,00	67,50	68,00	33,00
2	2	104	LnE D, 80/84 dB(A)	2	1982 - 1988	21	47,00	73,00	0,00	0,00	66,50	68,00	33,00
2	1	105	LnE B, 77/81 dB(A)	3	1989 - 1995	21	47,00	73,00	0,00	0,00	66,50	68,00	33,00
2	2	106	LnE D, 77/81 dB(A)	3	1990 - 1995	21	55,00	83,00	10,00	1,50	69,50	68,00	33,00
2	1	107	LnE B, 74/77 dB(A)	4	1996 - 2003	21	54,00	82,00	8,00	1,00	69,50	68,50	33,00
2	2	108	LnE D, 74/77 dB(A)	4	1996 - 2003	21	55,00	83,00	10,00	1,50	69,50	68,50	33,00
2	1	109	LnE B, 71/74 dB(A)	5	2004 - 2009	21	54,00	82,00	8,00	1,00	69,50	67,50	33,00
2	2	110	LnE D, 71/74 dB(A)	5	2004 - 2009	21	55,00	83,00	9,00	1,50	69,50	67,50	33,00
2	1	111	LnE B, 68/71 dB(A)	6	2010 - 2015	21	54,00	82,00	8,00	1,50	69,50	65,00	33,00
2	2	112	LnE D, 68/71 dB(A)	6	2010 - 2015	21	53,00	81,00	6,00	0,50	70,00	65,00	33,00

Tabelle 33: Kennwerte der Geräuschemission für Antriebs- und Rollgeräusche für die Modellierung der Fahrzeugschichten, Pkw, Szenario 1

Ermittlung des weiteren Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen

IDFzKat	IDAntr	FSL	FSL_Name	IDML	L_Jahr	IDGK	nrel_idle	Lnidle	Ls	DLpidle	DLps	Lr50ref AB 0/11	Lr50ref
3	2	1001	LW <7,5t, 89 dB(A)	1	-1981	31	24.00%	65	86	10	3	73.5	70
3	2	1002	LW 7.5-14t, 89 dB(A)	1	-1981	32	28.00%	67	87	10	3	73.5	70
3	2	1003	LW 14-20t, 89 dB(A)	1	-1981	33	27.00%	67	87	10	3	74.5	71
3	2	1004	LW 20-28t, 91 dB(A)	1	-1981	34	27.00%	68	89	10	3	77.5	72
3	2	1005	LW <7,5t, 86 dB(A)	2	1982 - 1984	31	24.00%	65	85	7	2	73.5	70
3	2	1006	LW 7.5-14t, 86 dB(A)	2	1982 - 1984	32	28.00%	67	86	7	2	73.5	70
3	2	1007	LW 14-20t, 86 dB(A)	2	1982 - 1984	33	27.00%	67	86	7	2	74.5	71
3	2	1008	LW 20-28t, 88 dB(A)	2	1982 - 1984	34	27.00%	68	88	7	2	77.5	72
3	2	1009	LW <7,5t, 86 dB(A)	3	1985 - 1989	31	25.00%	65	83	5	1	73.5	70
3	2	1010	LW 7.5-14t, 86 dB(A)	3	1985 - 1989	32	30.00%	67	84	5	1	73.5	70
3	2	1011	LW 14-20t, 86 dB(A)	3	1985 - 1989	33	30.00%	67	84	5	1	74.5	71
3	2	1012	LW 20-28t, 88 dB(A)	3	1985 - 1989	34	30.00%	68	86	5	1	77.5	72
3	2	1013	LW <7,5t, 81 dB(A)	4	1990 - 1995	31	27.00%	63	80	4	1	73.5	70
3	2	1014	LW 7.5-14t, 83 dB(A)	4	1990 - 1995	32	32.00%	65	82	5	1	73.5	70
3	2	1015	LW 14-20t, 83 dB(A)	4	1990 - 1995	33	32.00%	65	82	5	1	74.5	71
3	2	1016	LW 20-28t, 84 dB(A)	4	1990 - 1995	34	32.00%	66	83	5	1	77.5	72
3	2	1017	LW <7,5t, 77 dB(A)	5	1996 - 2003	31	30.00%	62	76	3	1	72.5	69
3	2	1018	LW 7.5-14t, 78 dB(A)	5	1996 - 2003	32	35.00%	64	77	4	1	72.5	69
3	2	1019	LW 14-20t, 78 dB(A)	5	1996 - 2003	33	35.00%	64	77	4	1	73.5	70
3	2	1020	LW 20-28t, 80 dB(A)	5	1996 - 2003	34	35.00%	65	79	4	1	76.5	71
3	2	1021	LW <7,5t, 74 dB(A)	6	2004 - 2009	31	30.00%	60	73.5	2	0.5	71.5	68
3	2	1022	LW 7.5-14t, 75 dB(A)	6	2004 - 2009	32	35.00%	62	74.5	2	0.5	71.5	68
3	2	1023	LW 14-20t, 75 dB(A)	6	2004 - 2009	33	35.00%	62	74.5	2	0.5	72.5	69
3	2	1024	LW 20-28t, 77 dB(A)	6	2004 - 2009	34	35.00%	63	76.5	2.5	0.5	75.5	70
3	2	1025	LW <7,5t, 71 dB(A)	7	2010 - 2015	31	32.00%	59	70.5	2	0.5	70.5	67
3	2	1026	LW 7.5-14t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	32	37.00%	61	71.5	2	0.5	70.5	67
3	2	1027	LW 14-20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	33	37.00%	61	71.5	2	0.5	71.5	68
3	2	1028	LW 20-28t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	34	37.00%	62	73.5	2	0.5	74.5	69

Tabelle 34: Kennwerte der Geräuschemission für Antriebs- und Rollgeräusche für die Modellierung der Fahrzeugschichten, Lastwagen, Szenario 1

IDFzKat	IDAntr	FSL	FSL_Name	IDML	L_Jahr	IDGK	nrel_idle	Lnidle	Ls	DLpidle	DLps	Lr50ref AB 0/11	Lr50ref
4	2	2001	LZ <20t, 89 dB(A)	1	-1981	43	27.00%	67	87	10	3	78.5	71
4	2	2002	LZ 20-28t, 89 dB(A)	1	-1981	44	27.00%	67	87	10	3	78.5	71
4	2	2003	LZ 28-32t, 91 dB(A)	1	-1981	45	27.00%	68	89	10	3	79.5	72
4	2	2004	LZ >32t, 91 dB(A)	1	-1981	46	27.00%	68	89	10	3	79.5	72
4	2	2005	LZ <20t, 86 dB(A)	2	1982 - 1984	43	27.00%	67	86	7	2	78.5	71
4	2	2006	LZ 20-28t, 86 dB(A)	2	1982 - 1984	44	27.00%	67	86	7	2	78.5	71
4	2	2007	LZ 28-32t, 88 dB(A)	2	1982 - 1984	45	27.00%	68	88	7	2	79.5	72
4	2	2008	LZ >32t, 88 dB(A)	2	1982 - 1984	46	27.00%	68	88	7	2	79.5	72
4	2	2009	LZ <20t, 86 dB(A)	3	1985 - 1989	43	30.00%	67	84	5	1	78.5	71
4	2	2010	LZ 20-28t, 86 dB(A)	3	1985 - 1989	44	30.00%	67	84	5	1	78.5	71
4	2	2011	LZ 28-32t, 88 dB(A)	3	1985 - 1989	45	30.00%	68	86	5	1	79.5	72
4	2	2012	LZ >32t, 88 dB(A)	3	1985 - 1989	46	30.00%	68	86	5	1	79.5	72
4	2	2013	LZ <20t, 83 dB(A)	4	1990 - 1995	43	32.00%	65	82	5	1	78.5	71
4	2	2014	LZ 20-28t, 83 dB(A)	4	1990 - 1995	44	32.00%	65	82	5	1	78.5	71
4	2	2015	LZ 28-32t, 84 dB(A)	4	1990 - 1995	45	32.00%	66	83	5	1	79.5	72
4	2	2016	LZ >32t, 84 dB(A)	4	1990 - 1995	46	32.00%	66	83	5	1	79.5	72
4	2	2017	LZ <20t, 78 dB(A)	5	1996 - 2003	43	35.00%	64	77	4	1	77.5	70
4	2	2018	LZ 20-28t, 78 dB(A)	5	1996 - 2003	44	35.00%	64	77	4	1	77.5	70
4	2	2019	LZ 28-32t, 80 dB(A)	5	1996 - 2003	45	35.00%	65	79	4	1	78.5	71
4	2	2020	LZ >32t, 80 dB(A)	5	1996 - 2003	46	35.00%	65	79	4	1	78.5	71
4	2	2021	LZ <20t, 75 dB(A)	6	2004 - 2009	43	35.00%	62	74.5	2	0.5	76.5	69
4	2	2022	LZ 20-28t, 75 dB(A)	6	2004 - 2009	44	35.00%	62	74.5	2	0.5	76.5	69
4	2	2023	LZ 28-32t, 77 dB(A)	6	2004 - 2009	45	35.00%	63	76.5	2.5	0.5	77.5	70
4	2	2024	LZ >32t, 77 dB(A)	6	2004 - 2009	46	35.00%	63	76.5	2.5	0.5	77.5	70
4	2	2025	LZ <20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	43	37.00%	61	71.5	2	0.5	75.5	68
4	2	2026	LZ 20-28t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	44	37.00%	61	71.5	2	0.5	75.5	68
4	2	2027	LZ 28-32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	45	37.00%	62	73.5	2	0.5	76.5	69
4	2	2028	LZ >32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	46	37.00%	62	73.5	2	0.5	76.5	69

Tabelle 35: Kennwerte der Geräuschemission für Antriebs- und Rollgeräusche für die Modellierung der Fahrzeugschichten, Lastzüge, Szenario 1

Szenario	FSL Name	IDML	L_Jahr	IDGK	Lnidle	Ls	DLpidle	DLps	Lr50ref	Lr50
1	Pkw B <1,4 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	11	49.00	76.50	5.00	0.20	67.00	65.50
1	Pkw B 1,4-2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49.00	76.50	2.00	0.10	69.00	67.50
1	Pkw B >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	50.00	80.00	2.00	0.10	69.50	68.00
1	Pkw D <2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49.00	76.50	1.00	0.00	69.00	67.50
1	Pkw D >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	49.00	76.50	1.00	0.00	69.00	67.50
1	Pkw B <1,4 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	11	47.00	75.50	0.00	0.00	65.00	63.50
1	Pkw B 1,4-2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47.00	73.00	0.00	0.00	67.00	65.50
1	Pkw B >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	48.00	77.00	0.00	0.00	67.50	66.00
1	Pkw D <2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47.00	73.00	0.00	0.00	66.50	65.00
1	Pkw D >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	47.00	73.00	0.00	0.00	66.50	65.00
2	Pkw B <1,4 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	11	48.00	74.00	1.00	0.00	66.50	66.50
2	Pkw B 1,4-2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	48.00	71.00	0.00	0.00	68.50	68.50
2	Pkw B >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	47.00	71.00	0.00	0.00	69.00	69.00
2	Pkw D <2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	48.00	73.00	0.00	0.00	68.50	68.50
2	Pkw D >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	48.00	72.00	0.00	0.00	68.50	68.50
2	Pkw B <1,4 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	11	44.00	70.00	0.00	0.00	66.50	66.50
2	Pkw B 1,4-2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	44.00	70.00	0.00	0.00	68.50	68.50
2	Pkw B >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	44.00	70.00	0.00	0.00	69.00	69.00
2	Pkw D <2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	44.00	71.00	0.00	0.00	68.50	68.50
2	Pkw D >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	44.00	71.00	0.00	0.00	68.50	68.50
3	Pkw B <1,4 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	11	51.00	78.00	8.00	0.50	61.50	61.50
3	Pkw B 1,4-2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	52.00	80.00	7.00	0.50	63.50	63.50
3	Pkw B >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	53.00	82.50	5.00	0.50	64.00	64.00
3	Pkw D <2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	53.00	80.00	4.00	0.50	63.50	63.50
3	Pkw D >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	54.00	81.00	4.00	0.50	63.50	63.50
3	Pkw B <1,4 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	11	51.00	78.00	8.00	0.50	56.50	56.50
3	Pkw B 1,4-2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	52.00	80.00	7.00	0.50	58.50	58.50
3	Pkw B >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	53.00	82.50	5.00	0.50	59.00	59.00
3	Pkw D <2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	53.00	80.00	4.00	0.50	58.50	58.50
3	Pkw D >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	54.00	81.00	4.00	0.50	58.50	58.50
4	Pkw B <1,4 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	11	49.00	76.50	3.00	0.20	64.50	64.50
4	Pkw B 1,4-2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	50.00	77.00	1.00	0.10	66.50	66.50
4	Pkw B >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	51.00	79.00	1.00	0.50	66.50	66.50
4	Pkw D <2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49.00	76.50	1.00	0.00	66.50	66.50
4	Pkw D >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	49.00	76.50	1.00	0.00	66.50	66.50
4	Pkw B <1,4 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	11	46.00	73.00	0.00	0.00	62.40	62.40
4	Pkw B 1,4-2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47.00	73.00	0.00	0.00	63.70	63.70
4	Pkw B >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	48.00	77.00	0.00	0.00	63.60	63.60
4	Pkw D <2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47.00	73.00	0.00	0.00	63.50	63.50
4	Pkw D >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	47.00	73.00	0.00	0.00	63.50	63.50
5	Pkw B <1,4 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	11	50.00	76.00	2.00	0.20	64.50	64.50
5	Pkw B 1,4-2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49.00	76.50	2.00	0.10	66.30	66.30
5	Pkw B >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	49.00	79.00	1.00	0.10	66.50	66.50
5	Pkw D <2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	12	49.00	76.00	1.00	0.00	66.50	66.50
5	Pkw D >2 l, 71 dB(A)	5	2004 - 2009	13	49.00	76.50	0.00	0.00	66.50	66.50
5	Pkw B <1,4 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	11	46.00	73.00	0.00	0.00	62.00	62.00
5	Pkw B 1,4-2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	46.00	73.00	0.00	0.00	63.50	63.50
5	Pkw B >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	47.00	75.00	0.00	0.00	63.50	63.50
5	Pkw D <2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	12	47.00	73.00	0.00	0.00	63.50	63.50
5	Pkw D >2 l, 68 dB(A)	6	2010 - 2015	13	47.00	73.00	0.00	0.00	63.50	63.50

Tabelle 36: Koeffizienten der Geräuschmodellierung bei Pkw für die Szenarien 1 bis 5

Ermittlung des weiteren Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen

Szenario	IDFzKat	FSL	FSL_Name	IDML	L_Jahr	Lnidle	Ls	dlpidle	dlps	Lr50ref AB0/11	Lr50ref
1	3	1021	LW <7,5t, 74 dB(A)	6	2003 - 2009	60	73.5	2	0.5	68.00	68
1	3	1022	LW 7,5-14t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	62	74.5	2	0.5	68.00	68
1	3	1023	LW 14-20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	62	74.5	2	0.5	69.00	69
1	3	1024	LW 20-28t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	63	76.5	2.5	0.5	70.00	70
1	3	1025	LW <7,5t, 71 dB(A)	7	2010 - 2015	59	70.5	2	0.5	67.00	67
1	3	1026	LW 7,5-14t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	61	71.5	2	0.5	67.00	67
1	3	1027	LW 14-20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	61	71.5	2	0.5	68.00	68
1	3	1028	LW 20-28t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	62	73.5	2	0.5	69.00	69
2	3	1021	LW <7,5t, 74 dB(A)	6	2003 - 2009	60	73.5	2	0.5	69.00	69
2	3	1022	LW 7,5-14t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	62	74.5	2	0.5	69.00	69
2	3	1023	LW 14-20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	62	74.5	2	0.5	70.00	70
2	3	1024	LW 20-28t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	63	76.5	2.5	0.5	71.00	71
2	3	1025	LW <7,5t, 71 dB(A)	7	2010 - 2015	59	70.5	2	0.5	69.00	69
2	3	1026	LW 7,5-14t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	61	71.5	2	0.5	69.00	69
2	3	1027	LW 14-20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	61	71.5	2	0.5	70.00	70
2	3	1028	LW 20-28t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	62	73.5	2	0.5	71.00	71
3	3	1021	LW <7,5t, 74 dB(A)	6	2003 - 2009	62	76	3	1	64.00	64
3	3	1022	LW 7,5-14t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	64	77	4	1	64.00	64
3	3	1023	LW 14-20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	64	77	4	1	65.00	65
3	3	1024	LW 20-28t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	65	79	4	1	66.00	66
3	3	1025	LW <7,5t, 71 dB(A)	7	2010 - 2015	62	76	3	1	59.00	59
3	3	1026	LW 7,5-14t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	64	77	4	1	59.00	59
3	3	1027	LW 14-20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	64	77	4	1	60.00	60
3	3	1028	LW 20-28t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	61.00	61
4	3	1021	LW <7,5t, 74 dB(A)	6	2003 - 2009	64	77	4	1	77.50	70
4	3	1022	LW 7,5-14t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	64	77	4	1	77.50	70
4	3	1023	LW 14-20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	65	79	4	1	78.50	71
4	3	1024	LW 20-28t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	65	79	4	1	78.50	71
4	3	1025	LW <7,5t, 71 dB(A)	7	2010 - 2015	62	74.5	1.5	0.5	76.50	69
4	3	1026	LW 7,5-14t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	62	74.5	1.5	0.5	76.50	69
4	3	1027	LW 14-20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	63	76.5	1.5	0.5	77.50	70
4	3	1028	LW 20-28t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	63	76.5	1.5	0.5	77.50	70
1	4	2021	LZ/SZ <20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	61	71.5	2	0.5	69.00	69
1	4	2022	LZ/SZ 20-28t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	61	71.5	2	0.5	69.00	69
1	4	2023	LZ/SZ 28-32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	62	73.5	2	0.5	70.00	70
1	4	2024	LZ/SZ >32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	62	73.5	2	0.5	70.00	70
1	4	2025	LZ/SZ <20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	62	74.5	2	0.5	68.00	68
1	4	2026	LZ/SZ 20-28t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	62	74.5	2	0.5	68.00	68
1	4	2027	LZ/SZ 28-32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	63	76.5	2.5	0.5	69.00	69
1	4	2028	LZ/SZ >32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	63	76.5	2.5	0.5	69.00	69
2	4	2021	LZ/SZ <20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	61	71.5	2	0.5	70.00	70
2	4	2022	LZ/SZ 20-28t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	61	71.5	2	0.5	70.00	70
2	4	2023	LZ/SZ 28-32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	62	73.5	2	0.5	71.00	71
2	4	2024	LZ/SZ >32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	62	73.5	2	0.5	71.00	71
2	4	2025	LZ/SZ <20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	64	77	4	1	70.00	70
2	4	2026	LZ/SZ 20-28t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	64	77	4	1	70.00	70
2	4	2027	LZ/SZ 28-32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	71.00	71
2	4	2028	LZ/SZ >32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	71.00	71
3	4	2021	LZ/SZ <20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	64	77	4	1	65.00	65
3	4	2022	LZ/SZ 20-28t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	64	77	4	1	65.00	65
3	4	2023	LZ/SZ 28-32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	65	79	4	1	66.00	66
3	4	2024	LZ/SZ >32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	65	79	4	1	66.00	66
3	4	2025	LZ/SZ <20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	60.00	60
3	4	2026	LZ/SZ 20-28t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	60.00	60
3	4	2027	LZ/SZ 28-32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	61.00	61
3	4	2028	LZ/SZ >32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	65	79	4	1	61.00	61
4	4	2021	LZ/SZ <20t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	62	74.5	1.5	0.5	70.00	70
4	4	2022	LZ/SZ 20-28t, 75 dB(A)	6	2003 - 2009	62	74.5	1.5	0.5	70.00	70
4	4	2023	LZ/SZ 28-32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	63	76.5	1.5	0.5	71.00	71
4	4	2024	LZ/SZ >32t, 77 dB(A)	6	2003 - 2009	63	76.5	1.5	0.5	71.00	71
4	4	2025	LZ/SZ <20t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	61	71.5	2	0.5	69.00	69
4	4	2026	LZ/SZ 20-28t, 72 dB(A)	7	2010 - 2015	61	71.5	2	0.5	69.00	69
4	4	2027	LZ/SZ 28-32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	62	73.5	2	0.5	70.00	70
4	4	2028	LZ/SZ >32t, 74 dB(A)	7	2010 - 2015	62	73.5	2	0.5	70.00	70

Tabelle 37: Koeffizienten der Geräuschmodellierung bei Nutzfahrzeugen für die Szenarien 1 bis 5

4.3.4.2 Pegelverteilungen im realen Betrieb

In Bild 126 bis Bild 128 sind die Pegelverteilungen auf Straßen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von 30 km/h, 50 km/h und knapp 100 km/h für mittlere Pkw zusammengestellt. Bei den Berechnungen wurden wie auch im Folgenden Stillstandsanteile nicht berücksichtigt. Man erkennt, dass die ersten 3 Geräuschgrenzwertstufen praktisch keine Auswirkung auf die Emissionen im realen Betrieb hatten, dass aber die letzte Absenkung wie auch folgende selbst bei bestehendem Messverfahren zu einer deutlichen Absenkung auch der Emissionen im realen Straßenverkehr führen.

In Bild 129 bis Bild 137 sind entsprechende Pegelverteilungen für kleine, mittlere und schwere Lastkraftwagen angegeben, wobei hier nach Innerorts, Außerorts und Autobahn unterschieden ist. Die durch die Grenzwertsenkung bedingte Minderung im praktischen Betrieb verläuft kontinuierlicher als bei den Pkw, allerdings wird die Minderungswirkung bei hohen Geschwindigkeiten durch den hohen Einfluss der Rollgeräusche limitiert.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist noch als Besonderheit anzumerken, dass 1986 bei gleichbleibenden Grenzwerten das Messverfahren geändert wurde, und zwar in einer Weise, die in ihrer Wirkung einer Grenzwertverschärfung gleichkam.

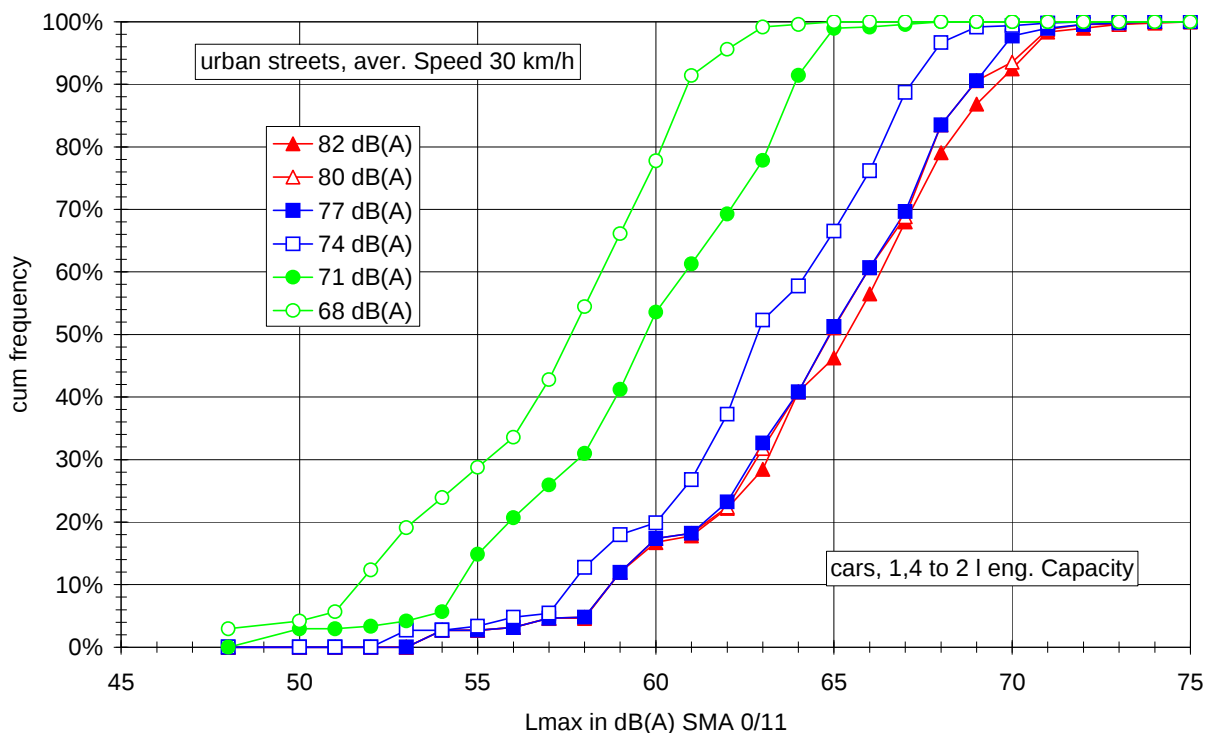


Bild 126: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei mittleren Pkw für verschiedene Grenzwertstufen bei niedrigen Geschwindigkeiten

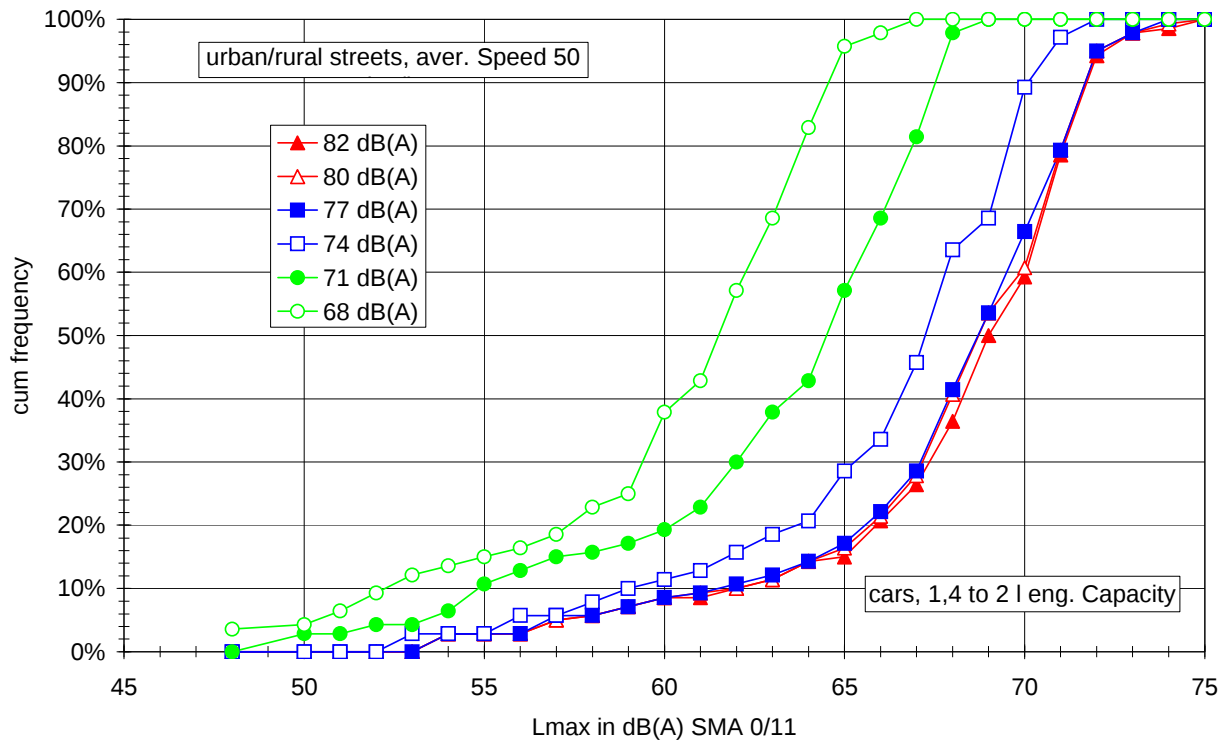


Bild 127: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei mittleren Pkw für verschiedene Grenzwertstufen bei mittleren Geschwindigkeiten

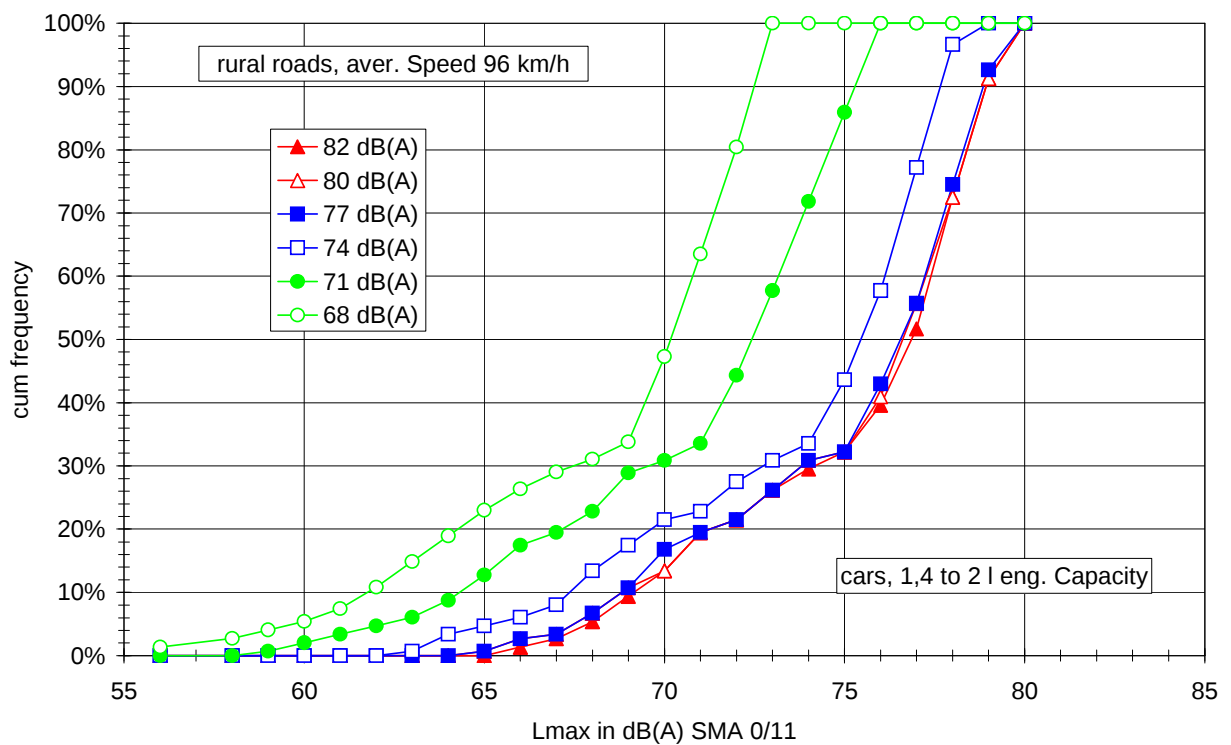


Bild 128: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei mittleren Pkw für verschiedene Grenzwertstufen bei hohen Geschwindigkeiten

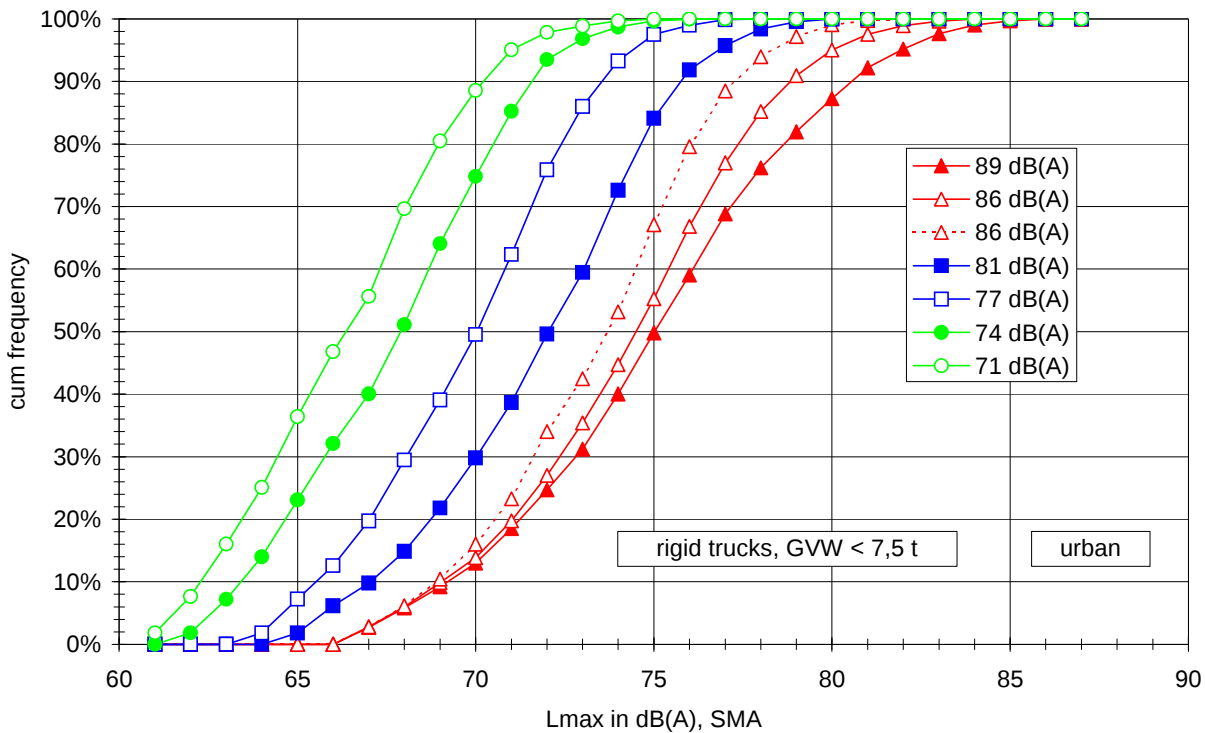


Bild 129: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei kleinen Lkw für verschiedene Grenzwertstufen, Innerorts

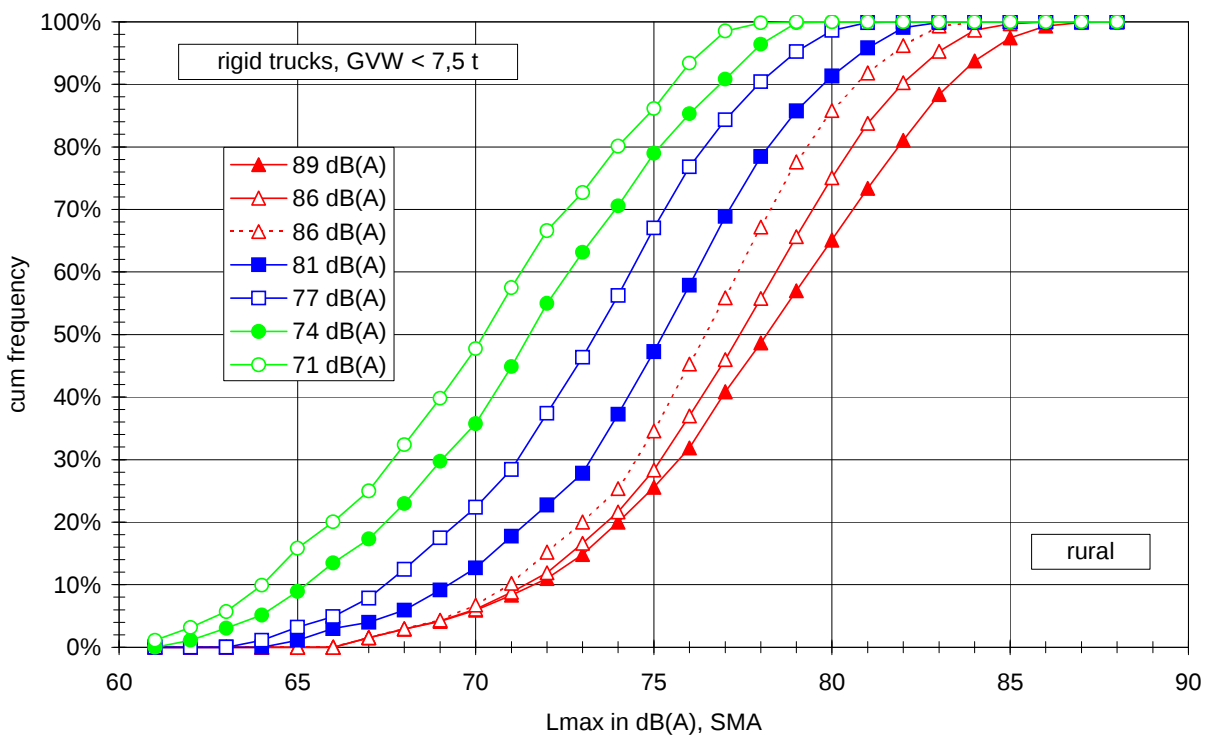


Bild 130: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei kleinen Lkw für verschiedene Grenzwertstufen, Außerorts

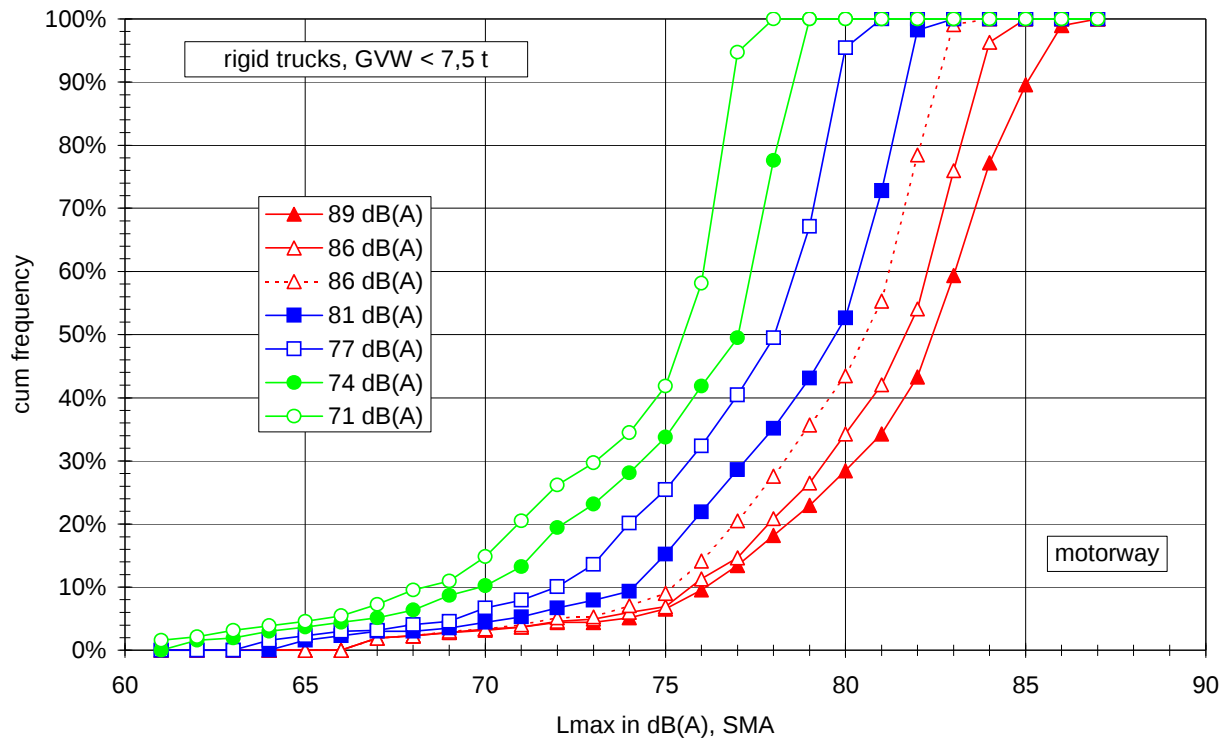


Bild 131: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei kleinen Lkw für verschiedene Grenzwertstufen, Autobahn

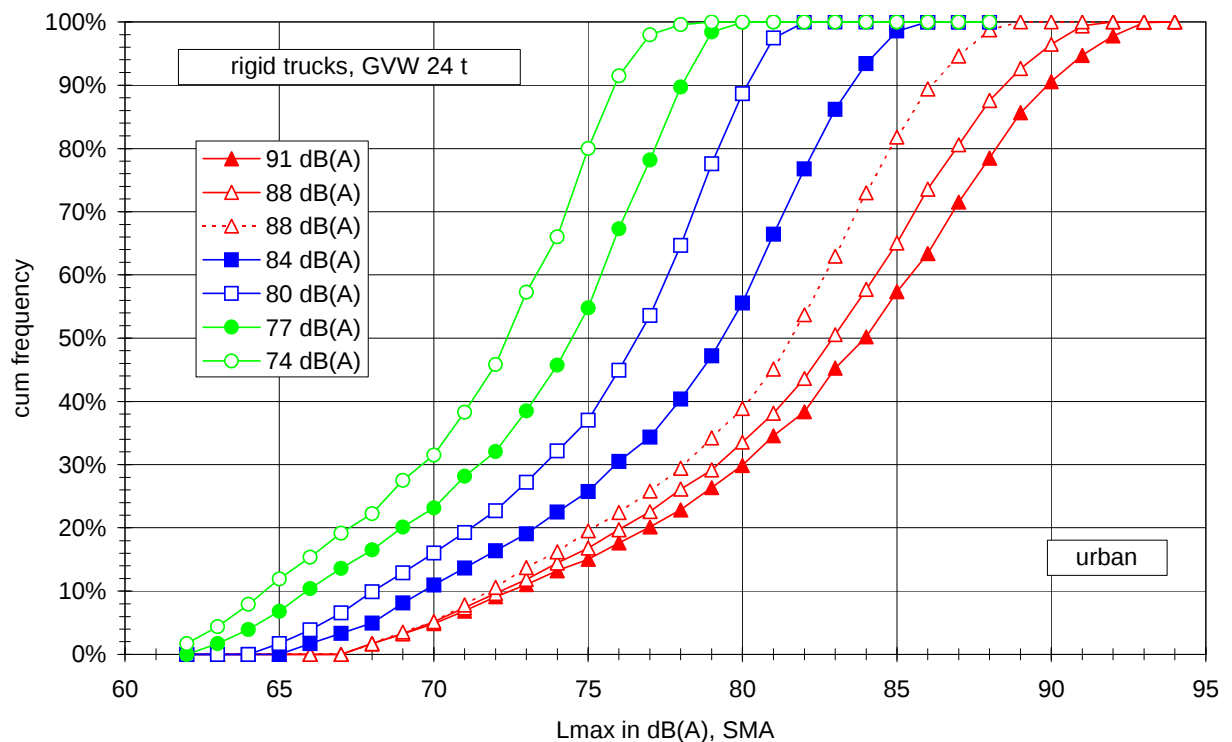


Bild 132: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei 3-Achs Solo-Lkw für verschiedene Grenzwertstufen, Innerorts

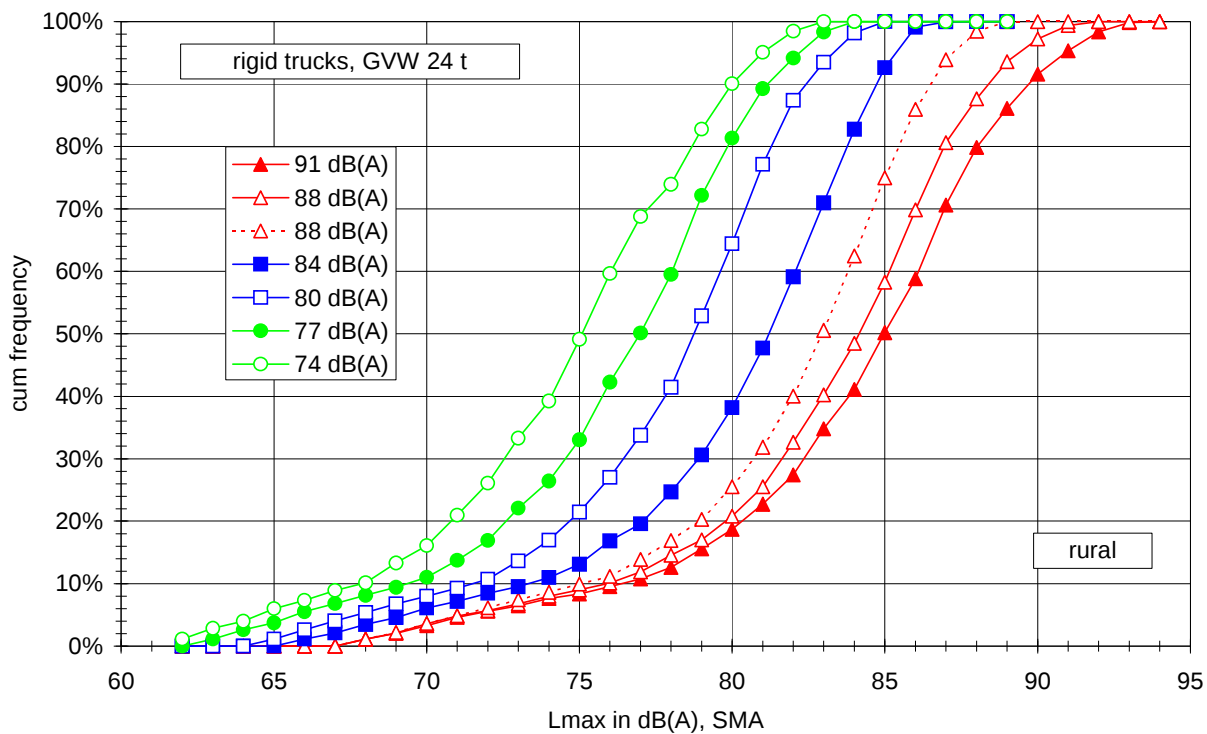


Bild 133: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei 3-Achs Solo-Lkw für verschiedene Grenzwertstufen, Außerorts

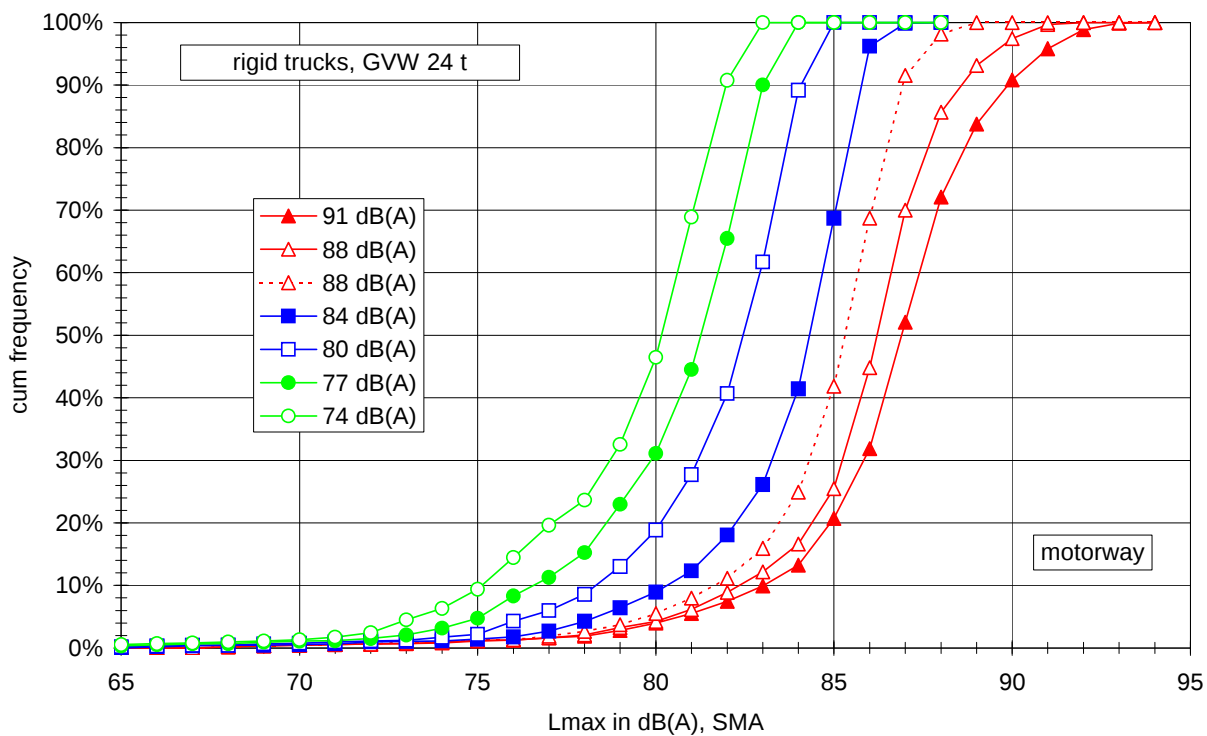


Bild 134: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei 3-Achs Solo-Lkw für verschiedene Grenzwertstufen, Autobahn

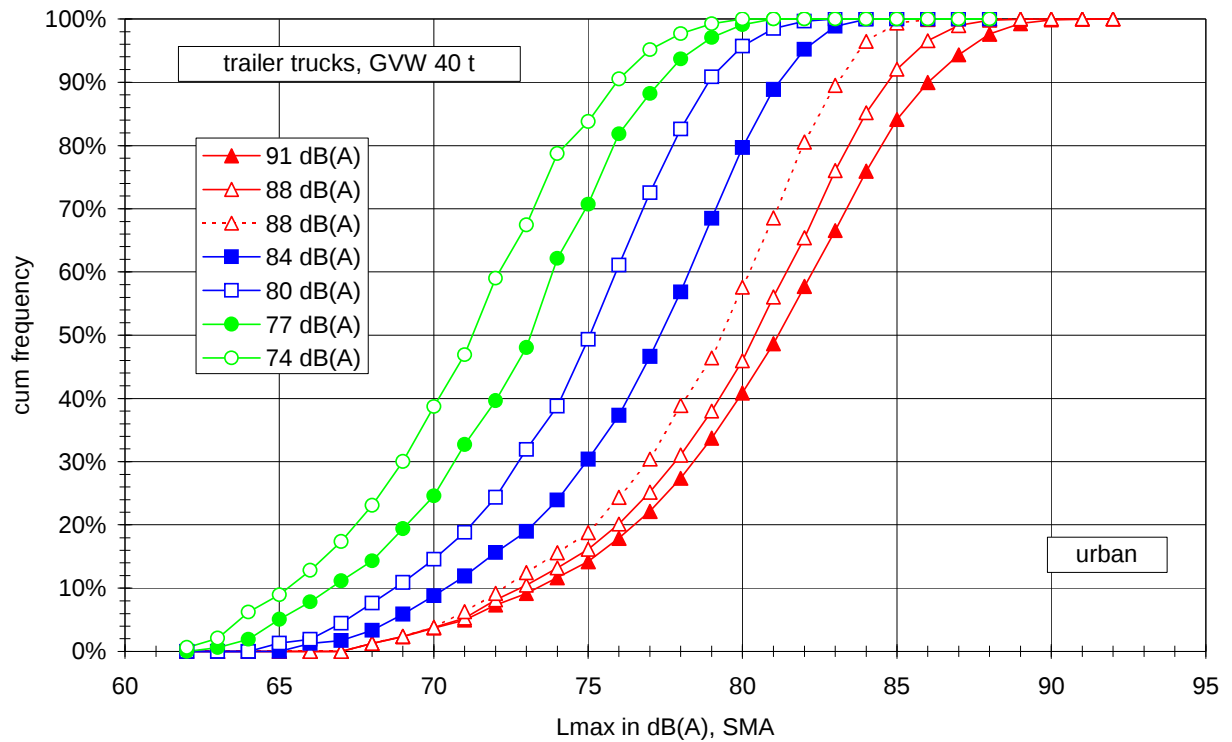


Bild 135: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei Lastzügen für verschiedene Grenzwertstufen, Innerorts

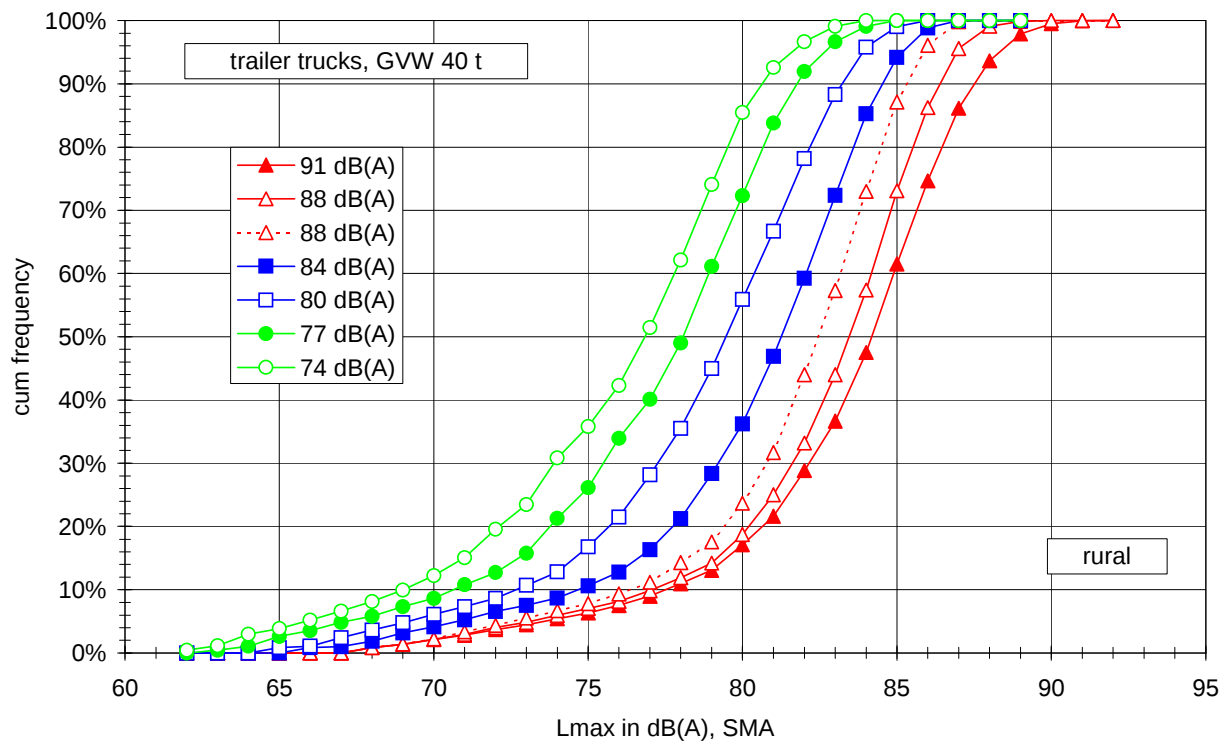


Bild 136: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei Lastzügen für verschiedene Grenzwertstufen, Außerorts

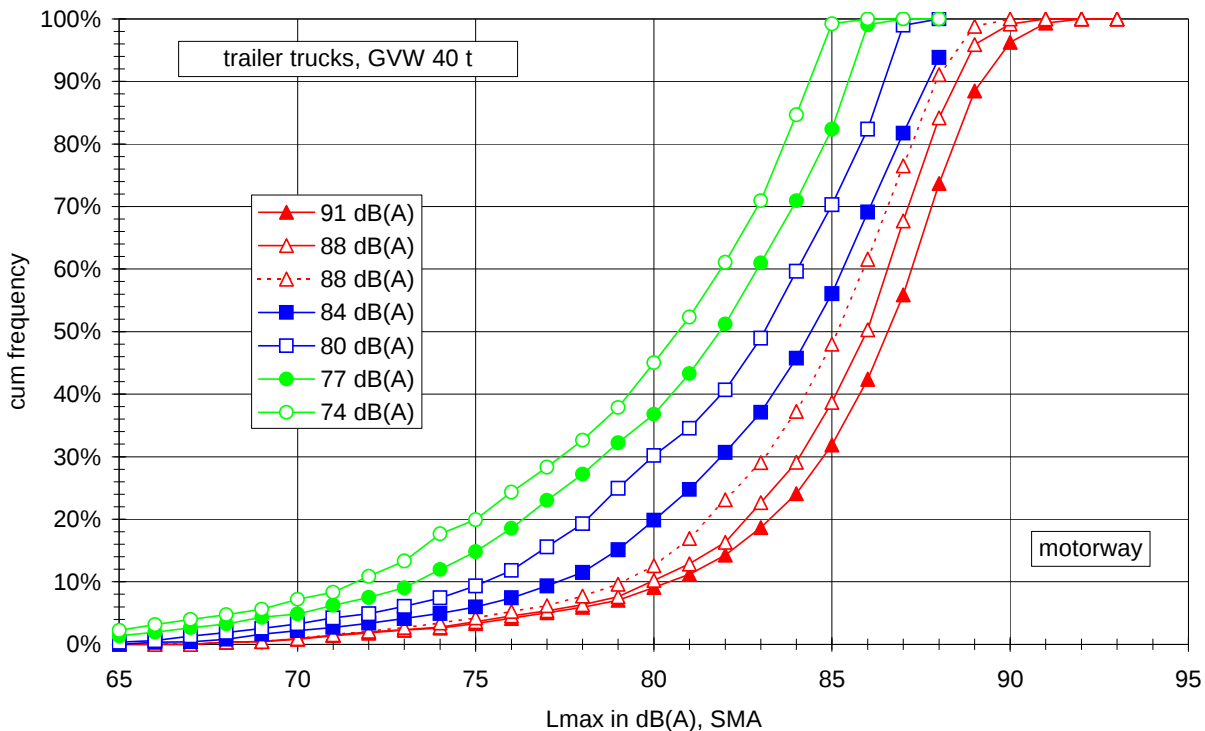


Bild 137: Geräuschpegelverteilungen im realen Betrieb bei Lastzügen für verschiedene Grenzwertstufen, Autobahn

4.3.5 Einfluss von Verkehrszusammensetzung und Fahrbahndeckschicht

Mit dem in Abschnitt 4.3.4.1 beschriebenen Emissionsmodell lassen sich auch die Beiträge verschiedener Fahrzeugkategorien zur Geräuschbelastung (Mittelungspegel) an einem Straßenquerschnitt und der Einfluss der Fahrbahndeckschicht bestimmen. Dies soll im folgenden kurz geschehen. Um Missverständnissen vorzubeugen sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die mit diesem Modell bestimmte Geräuschbelastung nichts mit der Geräuschbelastung nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS 90) gemein haben, die Berechnungsgrundlage für die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) sind. Die RLS 90 enthalten keine dynamische Komponente, die den technischen Fortschritt berücksichtigt Ihre Emissionen sind festgeschrieben und basieren auf Messergebnissen Ende der 70er Jahre.

Den größten Beitrag zur gesamten Geräuschbelastung leisten die Pkw. Auf hochbelasteten Innerorts-Hauptverkehrsstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen beträgt ihr Anteil etwa 60% und der der schweren Nutzfahrzeuge etwa 40%. Leichte Nutzfahrzeuge haben nur einen geringen Anteil an der Gesamtbelastung. Auf Innerortsstraßen mit geringem Anteil schwerer Nutzfahrzeuge kann der Pkw-Anteil bis auf 80% anwachsen (vgl. Bild 138 bis Bild 141). Die genannten Anteile werden nur geringfügig von der Verkehrsbelastung (DTV) beeinflusst.

Das Rollgeräusch hat auch im Innerortsbereich den größten Anteil an der Geräuschbelastung (ca. 60%). Außerorts beträgt sein Anteil 70 bis 80% (vgl. Bild 142 bis Bild 145). Der Einfluss von DTV und Fahrbahndeckschicht ist in Bild 146 bis Bild 149 dargestellt. Wenn man von Pflaster absieht, so ist die heute darstellbare Bandbreite ca. 5 dB(A) (Differenz zwischen Gussasphalt und Drainasphalt 0/8 im Neuzustand). Der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit ist in Bild 150 dargestellt.

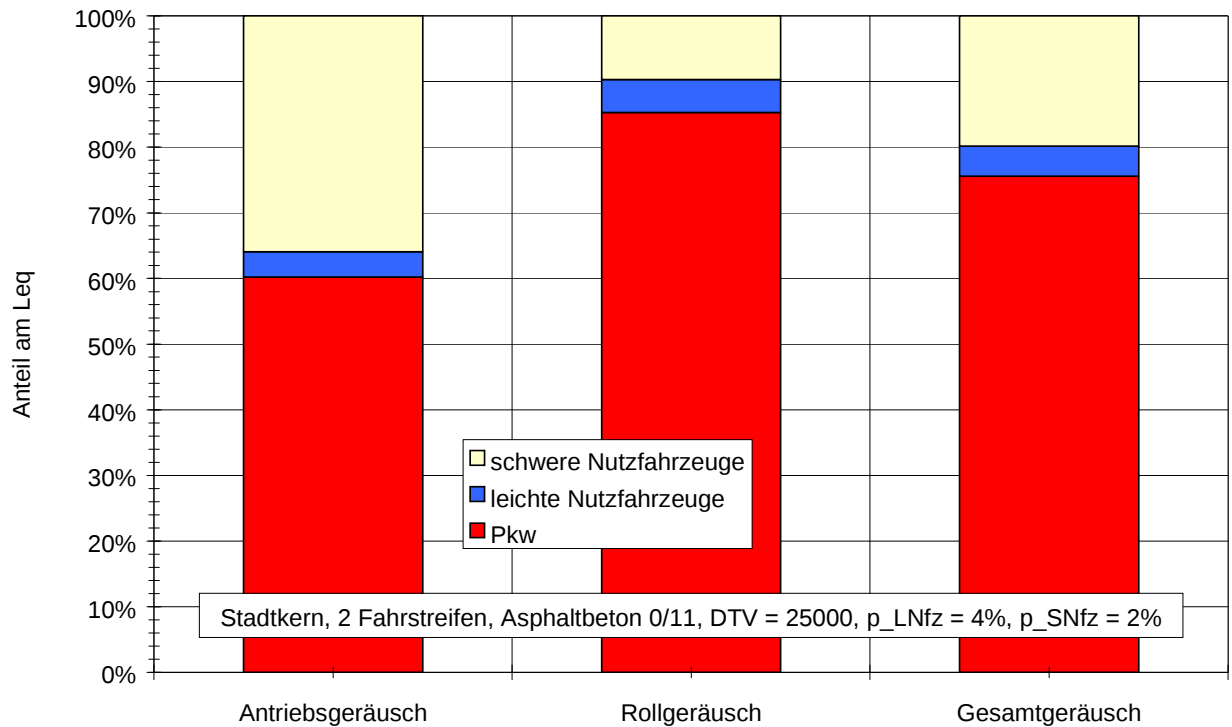


Bild 138: Anteil verschiedener Kfz-Arten an der Geräuschbelastung einer Hauptverkehrsstraße im Stadtkern (Bezugsjahr 2001)

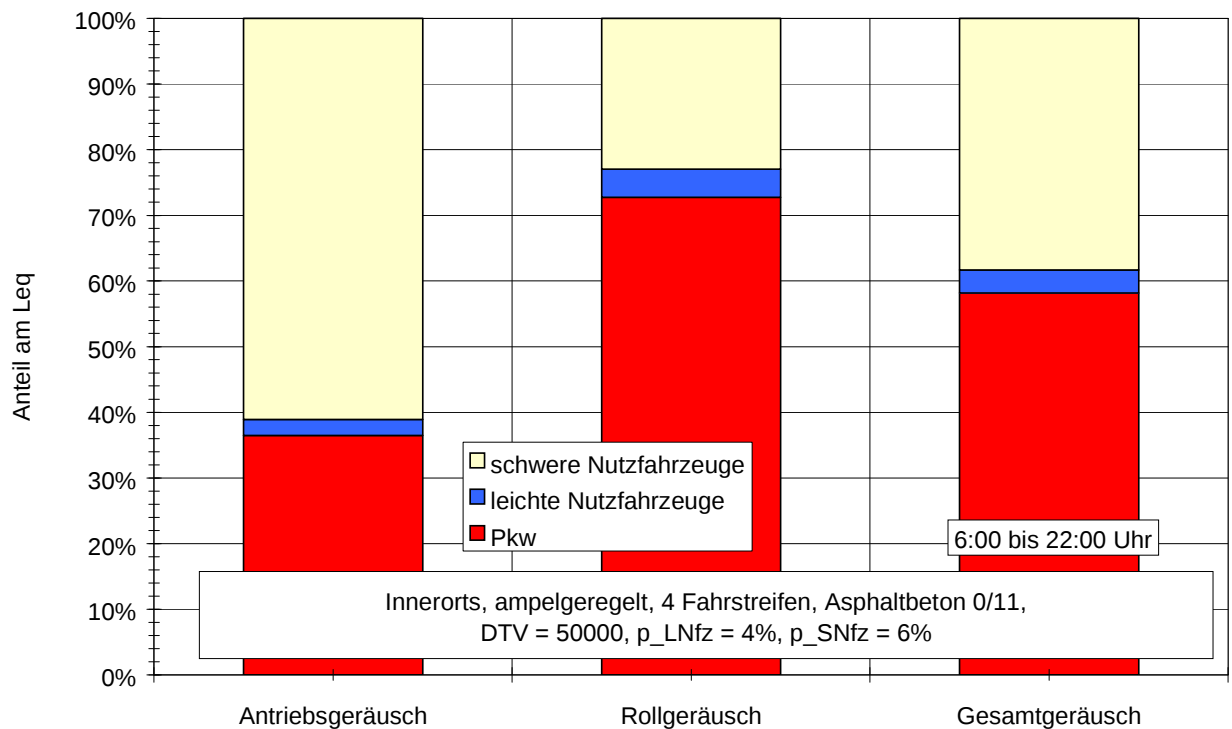


Bild 139: Anteil verschiedener Kfz-Arten an der Geräuschbelastung einer Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlagen und Tempolimit 50 km/h (Bezugsjahr 2001)

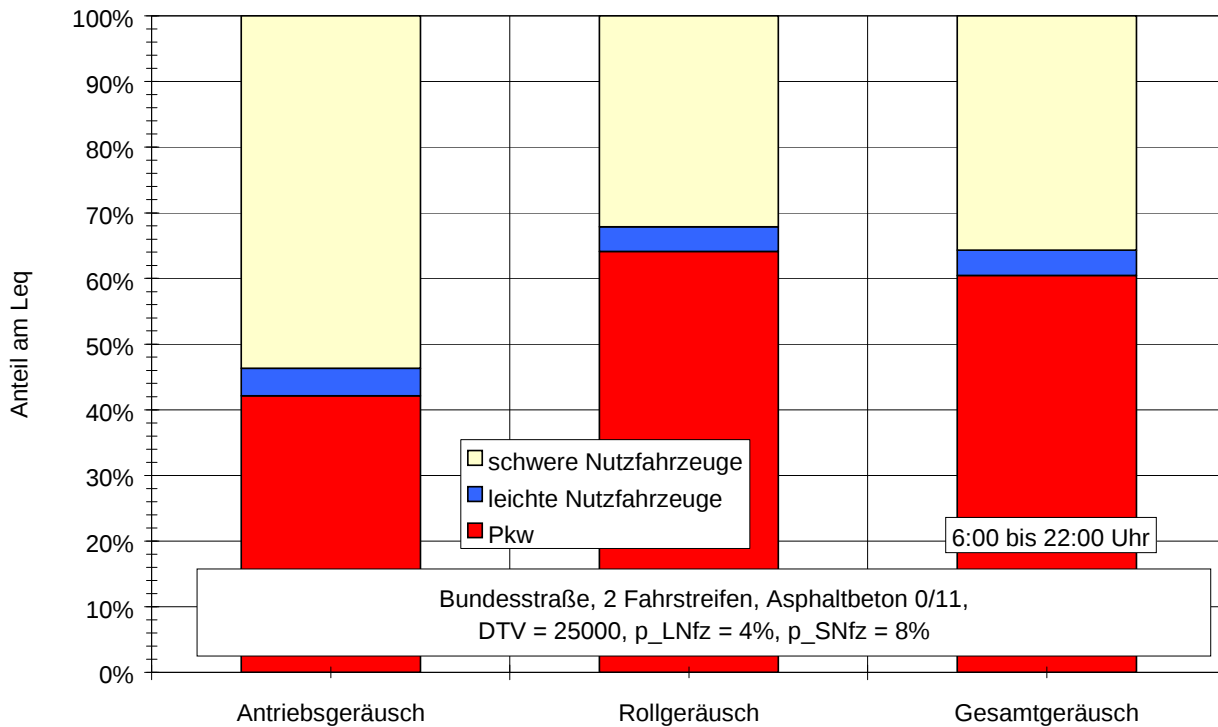


Bild 140: Anteil verschiedener Kfz-Arten an der Geräuschbelastung einer Bundesstraße mit Tempolimit 100 km/h (Bezugsjahr 2001)

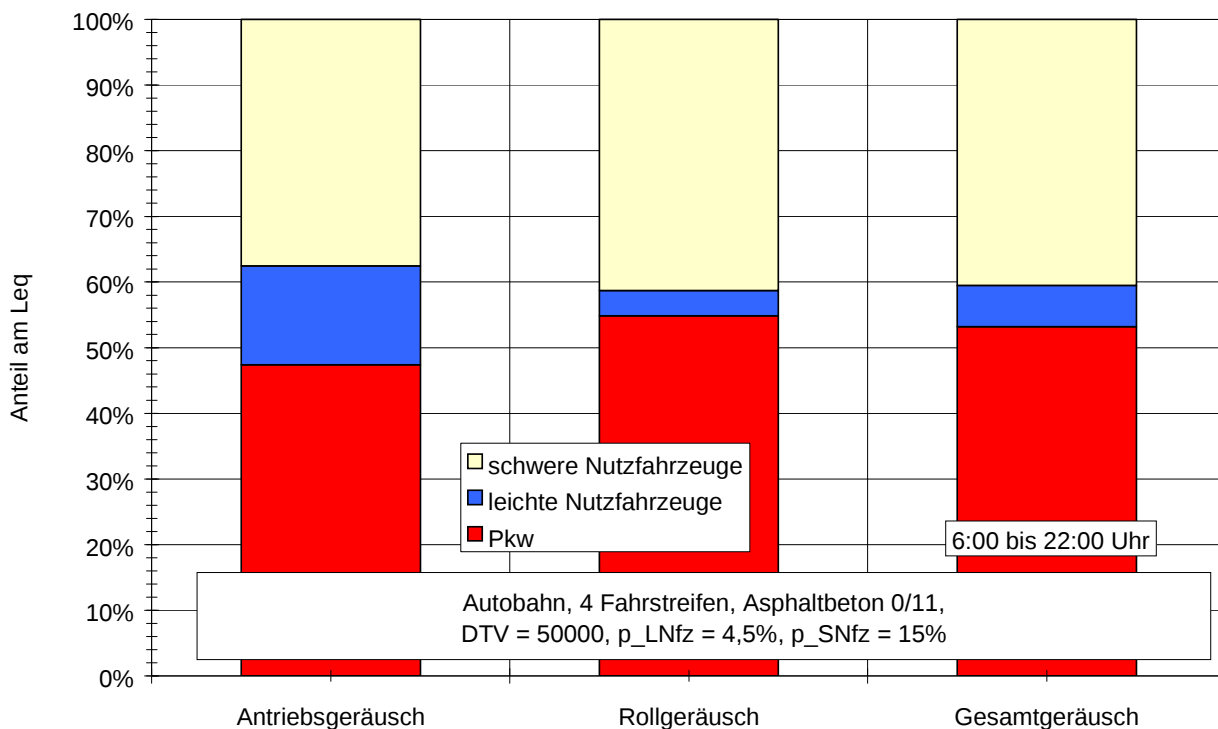


Bild 141: Anteil verschiedener Kfz-Arten an der Geräuschbelastung einer Autobahn mit Tempolimit 120 km/h (Bezugsjahr 2001)

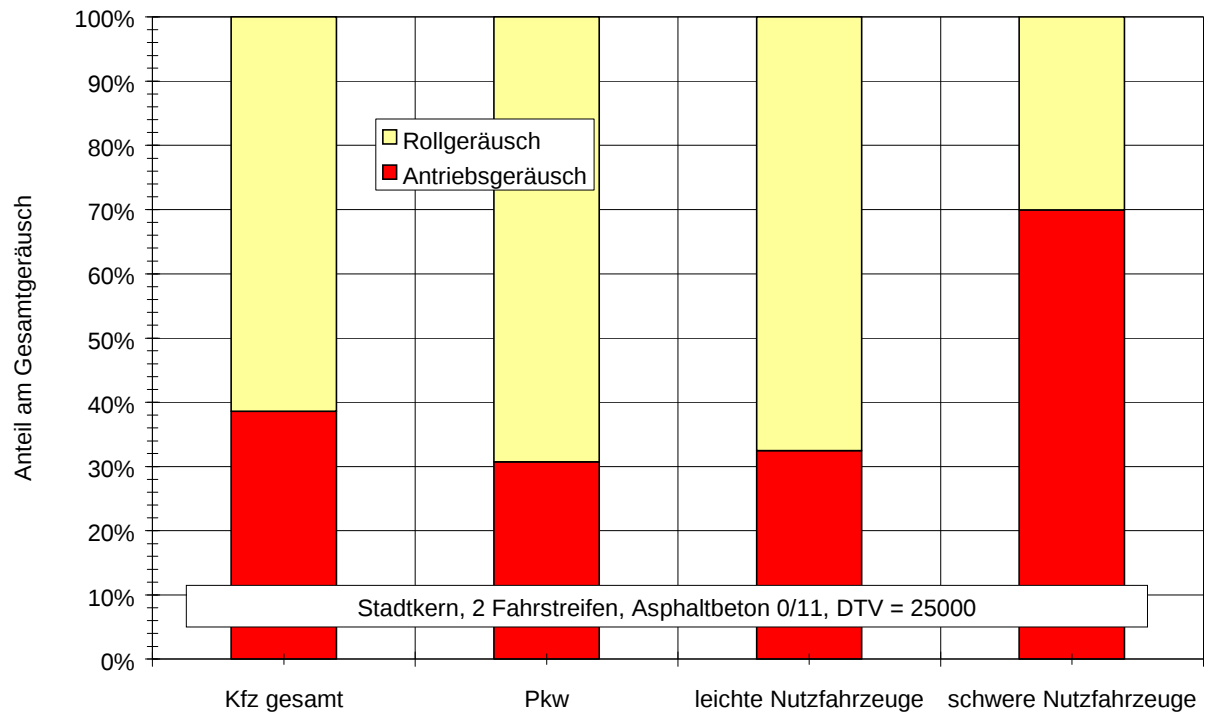


Bild 142: Anteil von Roll- und Antriebsgeräusch an der Geräuschbelastung einer Hauptverkehrsstraße im Stadtkern (Bezugsjahr 2001)

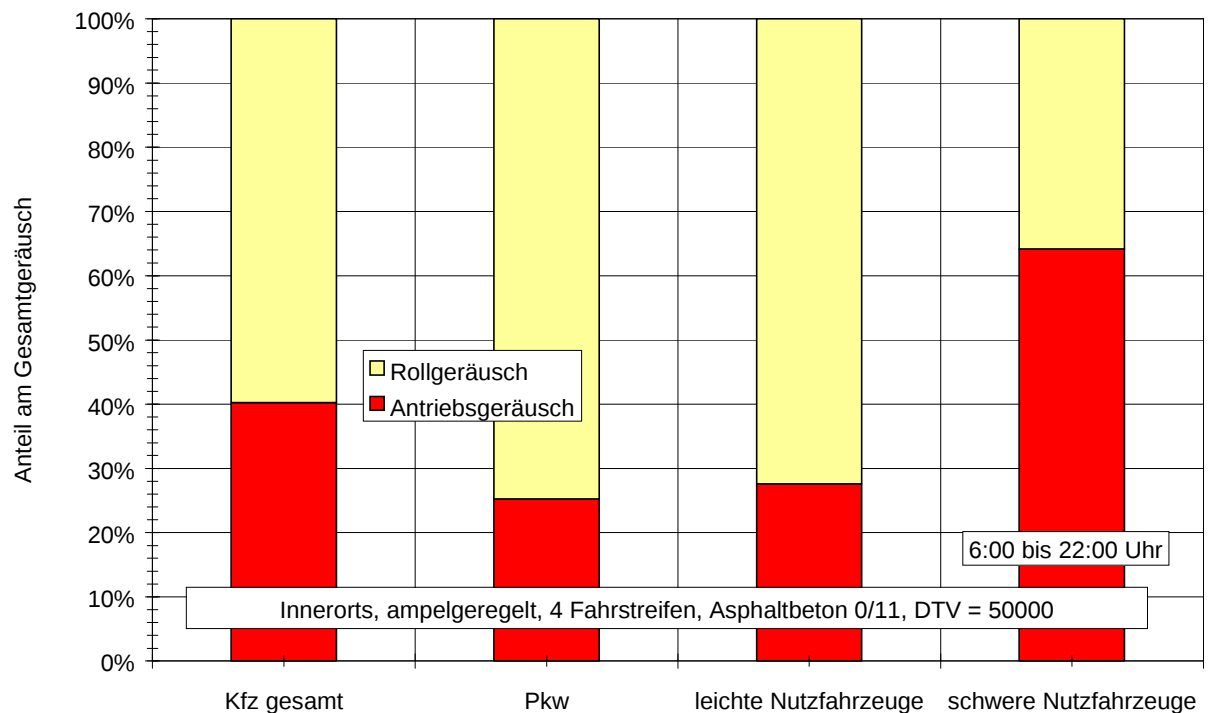


Bild 143: Anteil von Roll- und Antriebsgeräusch an der Geräuschbelastung einer Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlagen und Tempolimit 50 km/h (Bezugsjahr 2001)

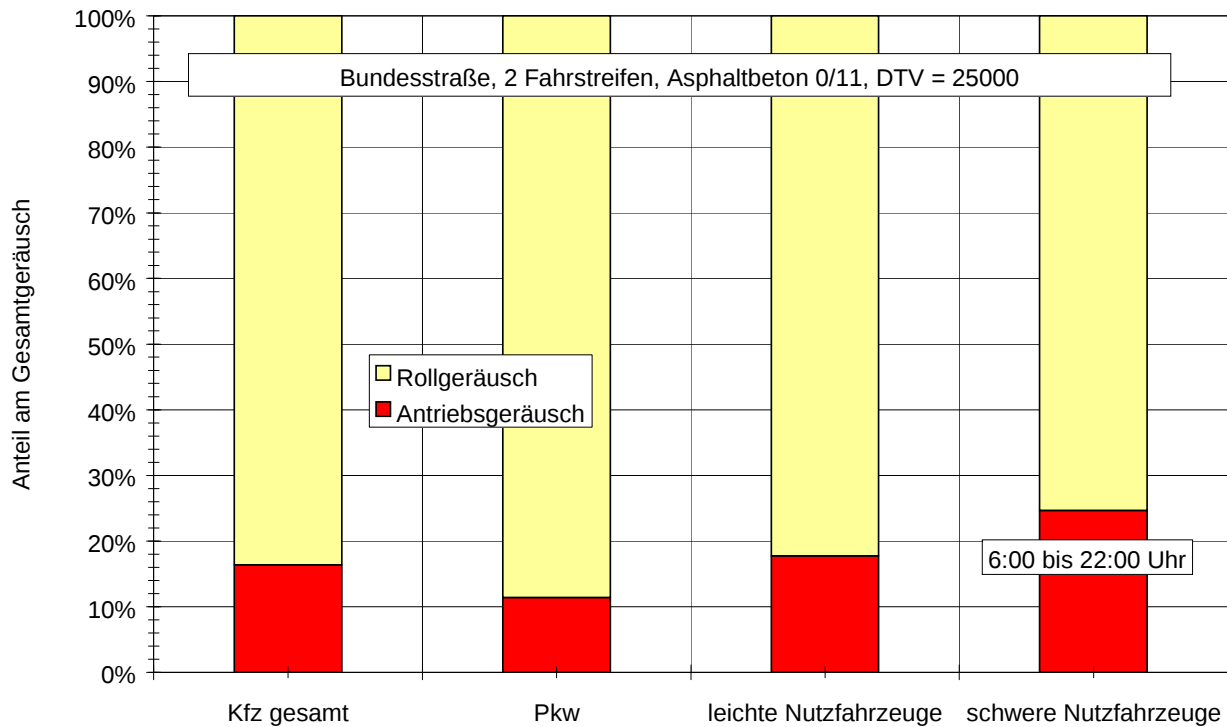


Bild 144: Anteil von Roll- und Antriebsgeräusch an der Geräuschbelastung einer Bundesstraße mit Tempolimit 100 km/h (Bezugsjahr 2001)

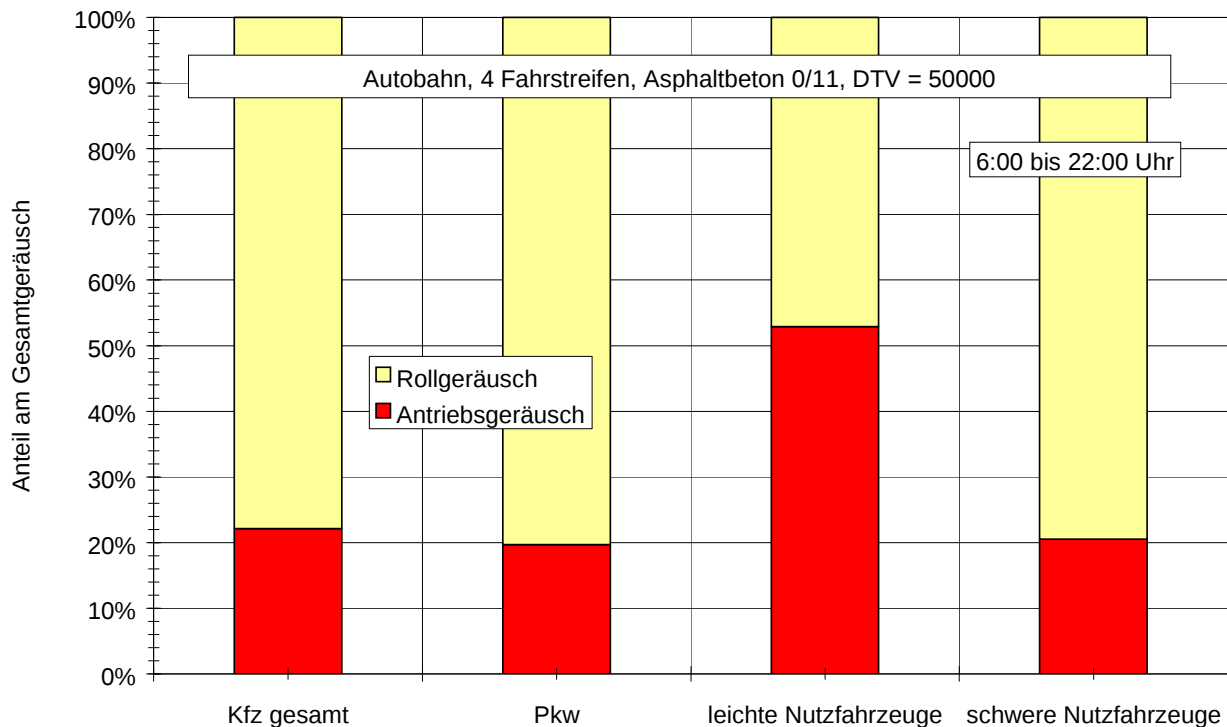


Bild 145: Anteil von Roll- und Antriebsgeräusch an der Geräuschbelastung einer Autobahn mit Tempolimit 120 km/h (Bezugsjahr 2001)

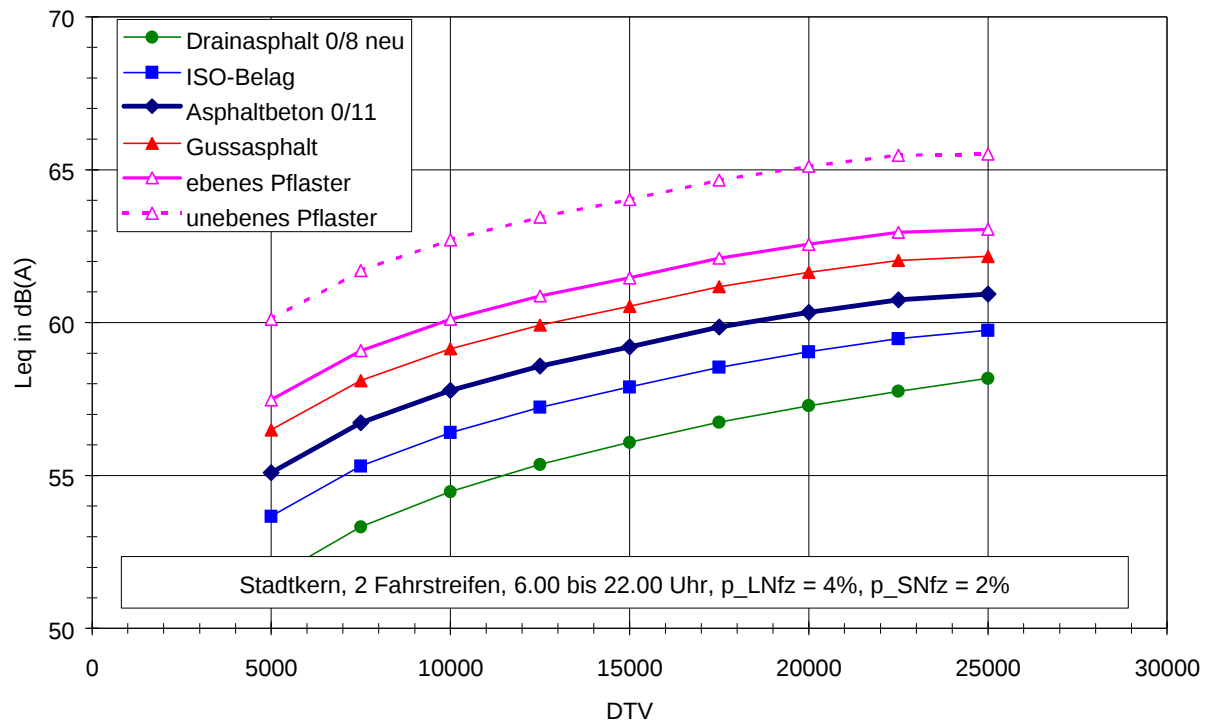


Bild 146: Einfluss von DTV und Fahrbahndeckschicht auf die Geräuschbelastung einer Hauptverkehrsstraße im Stadtkern (Bezugsjahr 2001)

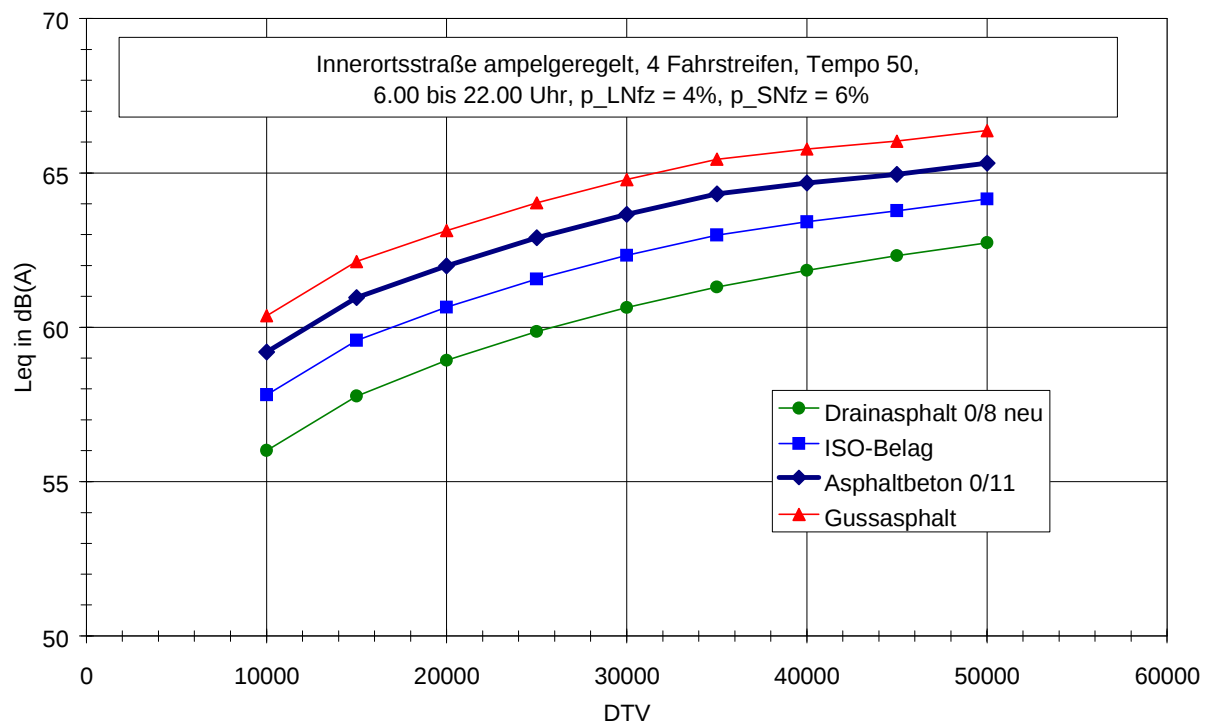


Bild 147: Einfluss von DTV und Fahrbahndeckschicht auf die Geräuschbelastung einer Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlagen und Tempolimit 50 km/h (Bezugsjahr 2001)

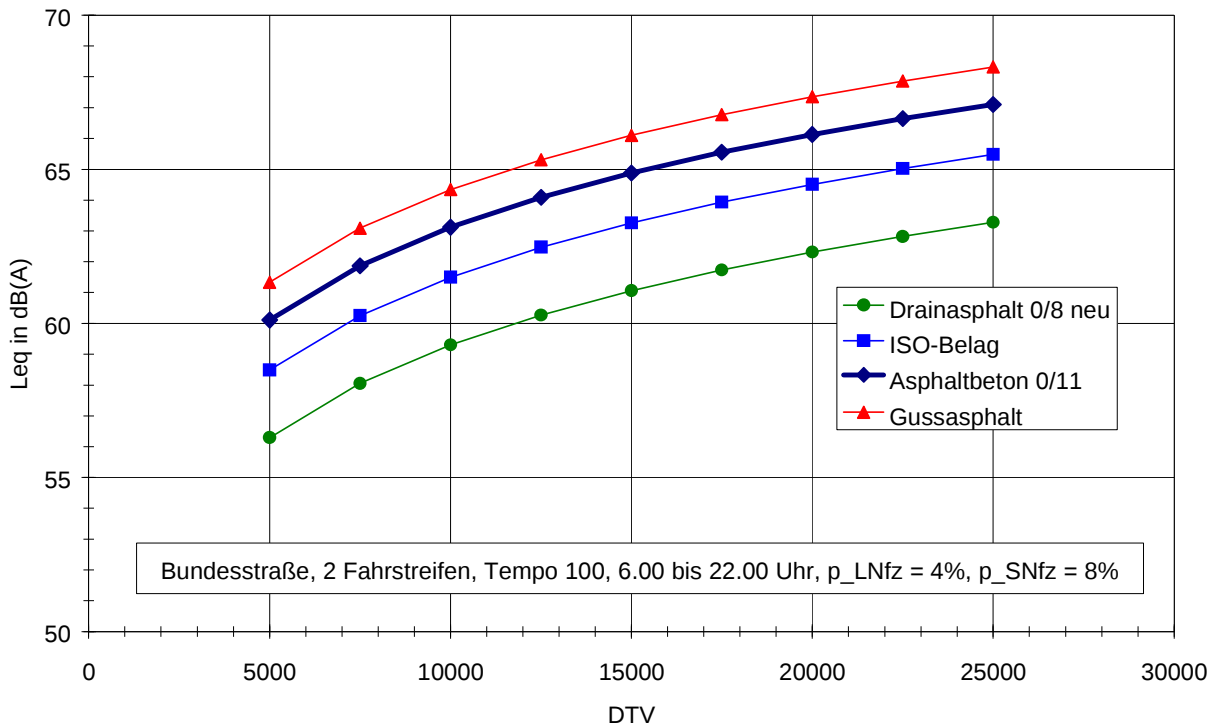


Bild 148: Einfluss von DTV und Fahrbahndeckschicht auf die Geräuschbelastung einer Bundesstraße mit Tempolimit 100 km/h (Bezugsjahr 2001)

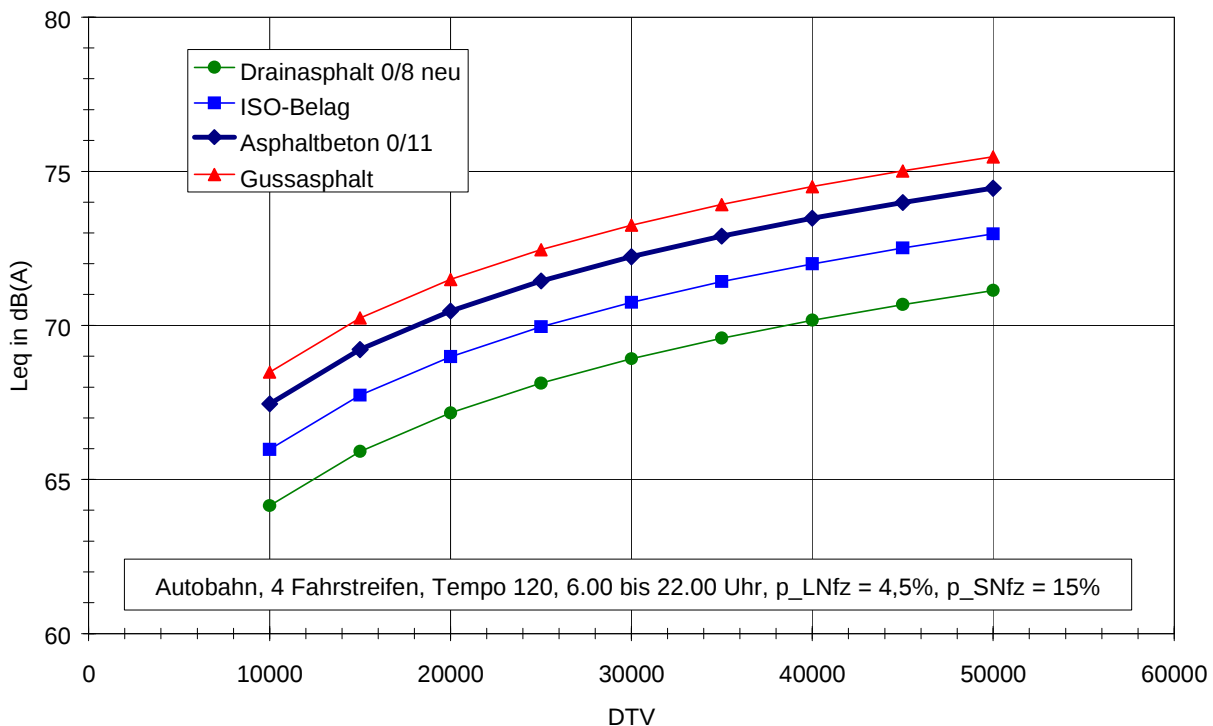


Bild 149: Einfluss von DTV und Fahrbahndeckschicht auf die Geräuschbelastung einer Autobahn mit Tempolimit 120 km/h (Bezugsjahr 2001)

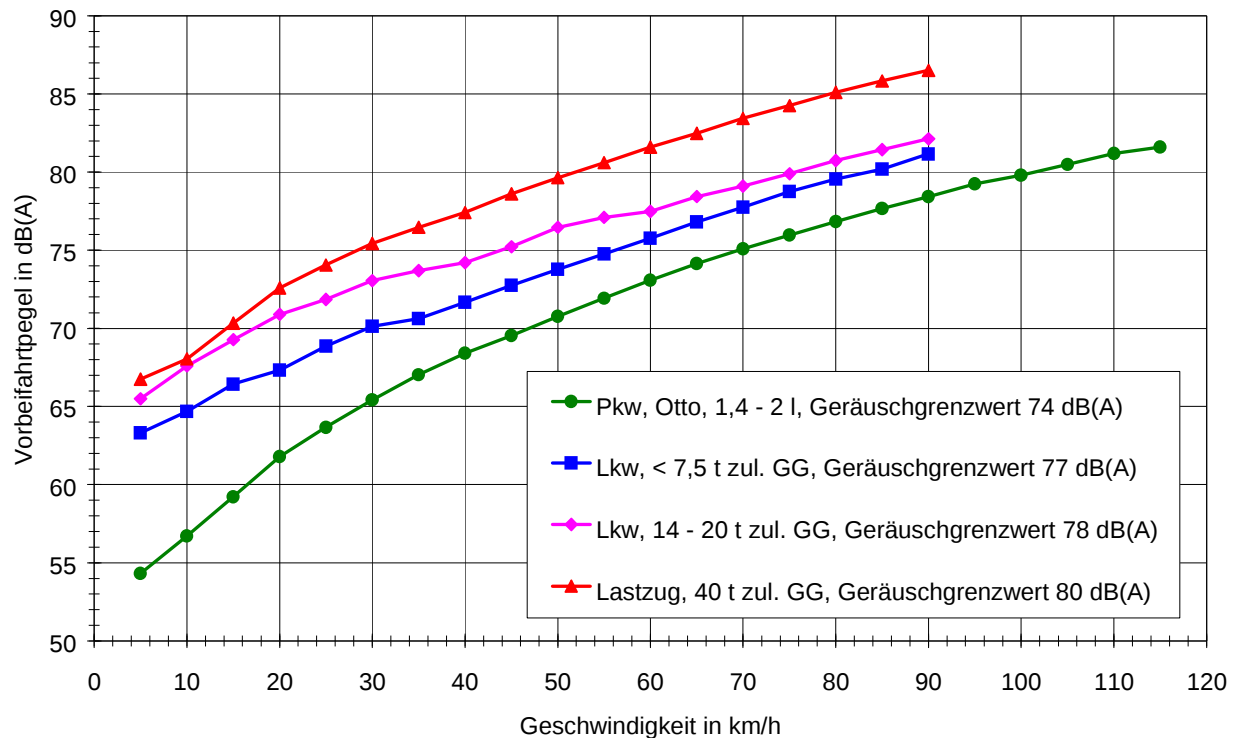


Bild 150: Vorbeifahrtpegel (Maximalwert des Schalldruckpegels in 7,5 m Entfernung) verschiedener Fahrzeugarten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

4.4 Recherchen zum weiteren Geräuschminderungspotential bei Fahrzeug- und Reifenherstellern

Ein weiterer Arbeitsschritt des Vorhabens bestand aus Recherchen zum weiteren Geräuschminderungspotential bei Fahrzeugherstellern, Reifenherstellern und Zulieferern. Die Recherchen bei den Zulieferern brachten praktisch keine Ergebnisse, da sie vertraglich zur Vertraulichkeit verpflichtet sind und somit – wenn überhaupt – nur qualitative Angaben machten. Folgende Hersteller wurden in die Befragungen einbezogen:

- ☐ Audi (Pkw),
- ☐ BMW (Pkw),
- ☐ DaimlerChrysler (Lkw und Pkw),
- ☐ Ford (Pkw),
- ☐ Iveco (Lkw),
- ☐ MAN (Lkw),
- ☐ Opel (Pkw),
- ☐ Porsche (Pkw),
- ☐ Volkswagen (Pkw),
- ☐ Japanischer Importeur,
- ☐ US-Hersteller

4.4.1 Anteile verschiedener Teilquellen zum Typprüfergebnis

Ausgangsbasis der Überlegungen zu den weiteren Minderungspotentialen sollte eine Quellenanalyse für die Betriebszustände des heutigen Typprüfverfahrens sein. Für Pkw liegen eine Reihe von Informationen vor. In Tabelle 38 sind die Geräuschpegel der wichtigsten Teilschallquellen für die Typprüfbedingungen zusammengestellt. Tabelle 39 zeigt die energetischen Geräuschanteile. Für das erstgenannte Fahrzeug gab es leider keine nach Gang differenzierten Ergebnisse, das letztgenannte Fahrzeug wird nur im 3. Gang gemessen (Nennleistung größer 140 kW und Leistungsgewicht bezogen auf die zul. Gesamtmasse über 75 kW/t).

Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	Getriebe + Rest	Reifen	Gesamt
Kompaktklasse	2/3 Mix	68.0	64.4	65.1	66.0	69.4	74.0
Kompaktklasse	2	69.5	65.0	56.0	65.7	70.0	74.2
4-Zylinder	3	63.7	59.1	56.3	55.1	68.3	70.3
	4	60.0	53.0	49.3	53.1	67.1	68.2
Mittelklasse	2	73.2	65.5	68.0	64.5	68.0	76.0
4-Zylinder	3	63.6	60.5	62.8	61.8	67.6	71.0
Mittelklasse	2	73.9	66.7	66.3	62.3	68.9	76.3
120 kW	3	63.1	63.8	60.8	53.8	67.9	70.8
Mittelklasse	2	70.9	68.9	63.9	59.7	68.7	74.9
84 kW	3	64.1	62.4	64.3	54.3	67.9	71.3
Sportwagen	3	67.0	67.0	67.0	67.0	68.9	74.4

Tabelle 38: Geräuschpegel von Teilschallquellen bei Pkw für die Messbedingungen der Typprüfung

Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	Getriebe + Rest	Reifen	
Kompaktklasse	2/3 Mix	25%	11%	13%	16%	35%	100%
Kompaktklasse	2	34%	12%	2%	14%	38%	100%
4-Zylinder	3	22%	8%	4%	3%	63%	100%
	4	15%	3%	1%	3%	78%	100%
Mittelklasse	2	52%	9%	16%	7%	16%	100%
4-Zylinder	3	18%	9%	15%	12%	46%	100%
Mittelklasse	2	57%	11%	10%	4%	18%	100%
120 kW	3	17%	20%	10%	2%	51%	100%
Mittelklasse	2	40%	25%	8%	3%	24%	100%
84 kW	3	19%	13%	20%	2%	46%	100%
Sportwagen	3	18%	18%	18%	18%	28%	100%

Tabelle 39: Geräuschanteile von Teilschallquellen bei Pkw für die Messbedingungen der Typprüfung

Beim 2. Fahrzeug sind zusätzlich zu den Typprüfbedingungen auch Werte für den 4. Gang angegeben. Die derzeit geringste Bedeutung für das Gesamtgeräusch haben die Geräuschanteile des Antriebsstrangs. Ihr Anteil ist meist geringer als 10%. Es folgen die Ansaug- und Auspuffgeräusche, die allerdings je nach Fahrzeugkonzept sehr unterschiedliche Anteile aufweisen (unter

10% bis zu 25%). Der Anteil des Reifens liegt im 2. Gang zwischen 16% und 38%, in der Regel dominiert in dieser Getriebestufe der Motor (Anteile zwischen 34% und 57%). Im 3. Gang vertauschen Motor und Reifen ihre Bedeutung für das Gesamtgeräusch. Die Anteile des Reifens liegen zwischen 46% und 63%, die des Motors nur noch zwischen 17% und 22%.

Zwar haben auch beim leistungsstarken Sportwagen die Reifengeräusche im 3. Gang den größten Geräuschanteil, jedoch ist er nicht so groß wie bei den übrigen Fahrzeugen. Die Anteile der übrigen Quellen sind etwa gleich groß. Das heißt, dass die Ansaug- und Auspuffgeräusche eine größere Bedeutung haben als bei den übrigen Fahrzeugen. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der Geräuschuntersuchungen bei Fahrzeug 2.

Für dieses Fahrzeug wurden auch noch differenziertere Quellenanteile zur Verfügung gestellt, die in Tabelle 40 bis Tabelle 44 zusammengestellt sind. Im Gegensatz zum Motor, bei dessen Einzelquellen keine besonders herausragt, gibt es bei den übrigen Quellen meist eine Teilquelle mit hoher Bedeutung für das Gesamtgeräusch. Bei Ansaug- und Auspuffanlagen sind es die jeweiligen Mündungen (75% bis 80% Anteil), beim Antriebsstrang das Getriebe und beim Reifen das reine Abrollgeräusch.

	Pegel	
	in dB(A)	Anteil
Motor	67.0	100.0%
Ölwanne	59.5	17.8%
Auspuffkrümmer	59.5	17.8%
Lichtmaschine	59.5	17.8%
Einlaßkrümmer	56.7	9.3%
Hilfsaggregate	56.7	9.3%
Zylinderkopf	56.7	9.3%
Motorblock	56.7	9.3%
Kurbelwellengehäuse	56.7	9.3%

Tabelle 40: Geräuschanteile von Teilschallquellen des Motors für das letztgenannte Beispiel aus Tabelle 38

	Pegel	
	in dB(A)	Anteil
Auspuffanlage	67.0	100.0%
Auspuffmündung	66.0	79.4%
Rohrleitungen	54.1	5.1%
Katalysator	54.1	5.1%
mittlerer Dämpfer	54.1	5.1%
Enddämpfer	54.1	5.1%

Tabelle 41: Geräuschanteile von Teilschallquellen der Auspuffanlage für das letztgenannte Beispiel aus Tabelle 38

	Pegel	
	in dB(A)	Anteil
Ansaugsystem	67.0	100.0%
Ansaugöffnung	65.8	76.2%
Luftfiltergehäuse	59.0	15.8%
Verbindungsrohre	56.0	7.9%

Tabelle 42: Geräuschanteile von Teilschallquellen des Ansaugsystems für das letztgenannte Beispiel aus Tabelle 38

	Pegel	
	in dB(A)	Anteil
Antriebsstrang	63.0	100.0%
Getriebe	60.7	58.9%
Differential	57.5	28.2%
Antriebswelle	54.1	12.9%

Tabelle 43: Geräuschanteile von Teilschallquellen des Antriebsstrangs für das letztgenannte Beispiel aus Tabelle 38

	Pegel	
	in dB(A)	Anteil
Reifen	68.9	100.0%
Rollgeräusch	67.5	72.4%
Drehmomenteinfluß	63.3	27.5%

Tabelle 44: Geräuschanteile von Teilschallquellen des Reifens für das letztgenannte Beispiel aus Tabelle 38

Von Seiten japanischer und amerikanischer Fahrzeughersteller wurden die in den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 45 bis Tabelle 48) bzw. Bild 151 dargestellten Ergebnisse von Quellenanalysen bei Typprüfbedingungen zur Verfügung gestellt. Beim Vergleich der japanischen Modelle mit den europäischen Modellen überrascht der vergleichsweise hohe Anteil der Gaswechselgeräusche und entsprechend niedrigere Anteile von Motor und Reifen. Anteilmäßig stimmt der Geländewagen mit Ottomotor mit den europäischen Fahrzeugen ganz gut überein, allerdings bei höherem Geräuschniveau. Beim Geländewagen mit Dieselmotor dominiert im 2. Gang der Motor, im 3. Gang halten sich Motor und Reifen in etwa die Waage. Die Verhältnisse sind ähnlich wie bei leichten Nutzfahrzeugen.

Bei dem US-Fahrzeug mit Automatikgetriebe ist der Reifen mit ca. 40% am Ergebnis beteiligt, gefolgt von Ansauggeräusch (21%) und Motor (17%). Der höhere Anteil des Reifens auch im Vergleich mit dem 3. Gang bei Schaltgetriebefahrzeugen kommt dadurch zustande, dass Automatik-Fahrzeuge im derzeitigen Messverfahren im allgemeinen niedrigere Drehzahlen aufweisen als vergleichbare Schaltgetriebe-Fahrzeuge. Dies ist für moderne Automaten nicht notwendigerweise im Einklang mit dem praktischen Betrieb.

Contribution of the noise on Passenger vehicle (Gasoline 1.6L FF)				
	2nd	3rd	2nd	3rd
Engine Noise	71.5	66.1	35.7%	24.7%
Intake noise	68.1	64.2	16.3%	15.9%
Exhaustnoise	67.7	65.6	14.9%	22.0%
Radiantnoise from exhaustsystem	69.1	63.4	20.5%	13.3%
Tire noise	67.0	66.0	12.7%	24.1%
Total	76.0	72.2	100.0%	100.0%

Tabelle 45: Geräuschquellenanalyse eines Pkw mit 1,6 l Ottomotor

Contribution of the noise on Passenger vehicle (Gasoline 2.0L FF)				
	2nd	3rd	2nd	3rd
Engine Noise	70.9	62.9	28.9%	17.4%
Intake noise	70.2	62.0	24.6%	14.1%
Exhaustnoise	69.4	63.0	20.5%	17.8%
Radiantnoise from exhaustsystem	68.5	62.3	16.6%	15.2%
Tire noise	66.0	66.0	9.4%	35.5%
Total	76.3	70.5	100.0%	100.0%

Tabelle 46: Geräuschquellenanalyse eines Pkw mit 2 l Ottomotor

Contribution of the noise on OFF ROAD vehicle (Diesel 3.0L 4W D)				
	2nd	3rd	2nd	3rd
Engine Noise	71.6	68.0	39.9%	29.7%
Intake noise	66.9	65.3	13.5%	16.0%
Exhaustnoise	67.9	64.5	17.0%	13.3%
Radiantnoise from exhaustsystem	67.1	63.5	14.1%	10.6%
Tire noise	67.5	68.1	15.5%	30.4%
Total	75.6	73.3	100.0%	100.0%

Tabelle 47: Geräuschquellenanalyse eines Geländewagen mit 3 l Dieselmotor

Contribution of the noise on OFF ROAD vehicle (Gasoline 2.4L 4W D)				
	2nd	3rd	2nd	3rd
Engine Noise	73.9	68.6	53.6%	33.3%
Intake noise	63.3	62.6	4.7%	8.4%
Exhaustnoise	67.6	63.0	12.6%	9.2%
Radiantnoise from exhaustsystem	68.5	64.4	15.4%	12.7%
Tire noise	68.0	69.0	13.8%	36.5%
Total	76.6	73.4	100.0%	100.0%

Tabelle 48: Geräuschquellenanalyse eines Geländewagen mit 2 l Ottomotor

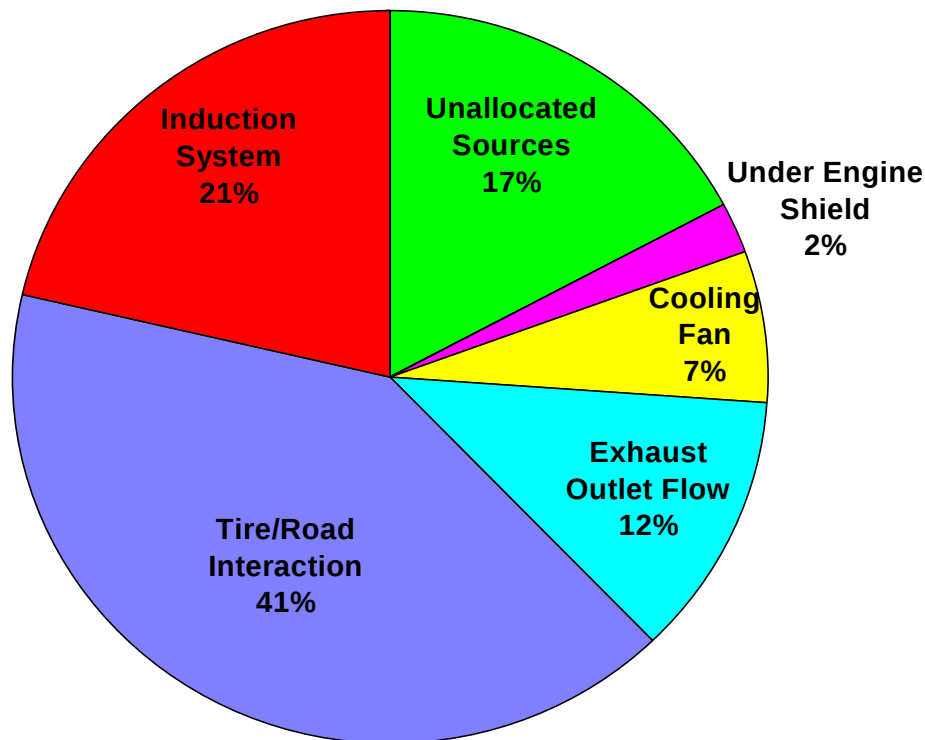


Bild 151: Geräuschquellenanalyse eines typischen US-Pkw mit Automatikgetriebe

Bei schweren Lkw (N3) dominiert unter Typprüfbedingungen eindeutig das Antriebsaggregat. In Bild 152 sind die Teilquellenpegel unter Typprüfbedingungen aufgestellt. Bild 153 zeigt die prozentualen Anteile am Gesamtgeräusch. Die Geräusche der anderen Teilquellen liegen rund 8 dB(A) unter dem Motorgeräusch. Ihr Anteil am Gesamtgeräusch beträgt 10% oder weniger. Es sollte noch erwähnt werden, dass zum Erreichen des Gesamtgeräusches von 80 dB(A) eine Teilkapsel mit einer Minderungswirkung von 4 dB(A) sowie besonders leise Längsprofilreifen eingesetzt werden.

Für leichte Nutzfahrzeuge und kleine Lkw (N2) dominieren zwar auch die Motorgeräusche, ihr Anteil ist aber etwas geringer, unterschreitet jedoch nicht diejenigen Anteile, die bei Pkw in 2. Gang auftreten (ca. 50%).

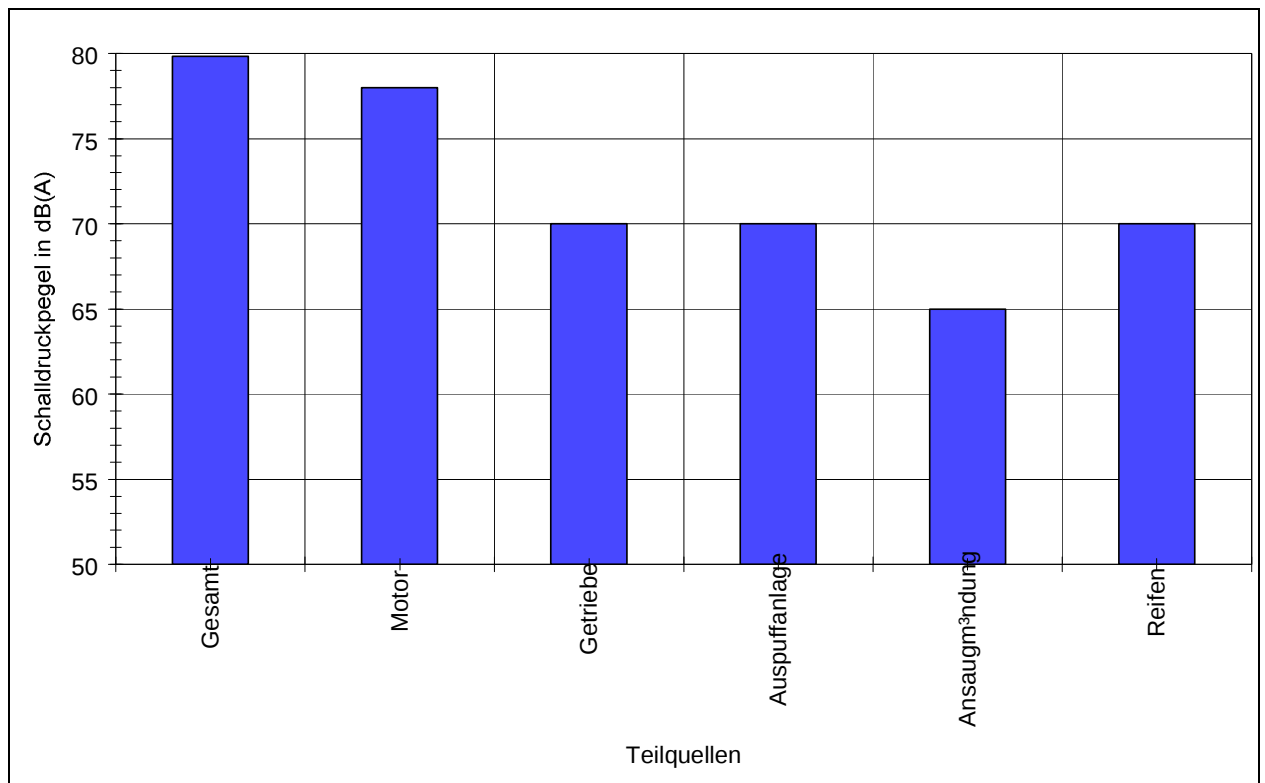


Bild 152: Geräuschpegel der Teilquellen bei schweren Lkw unter Typprüfbedingungen

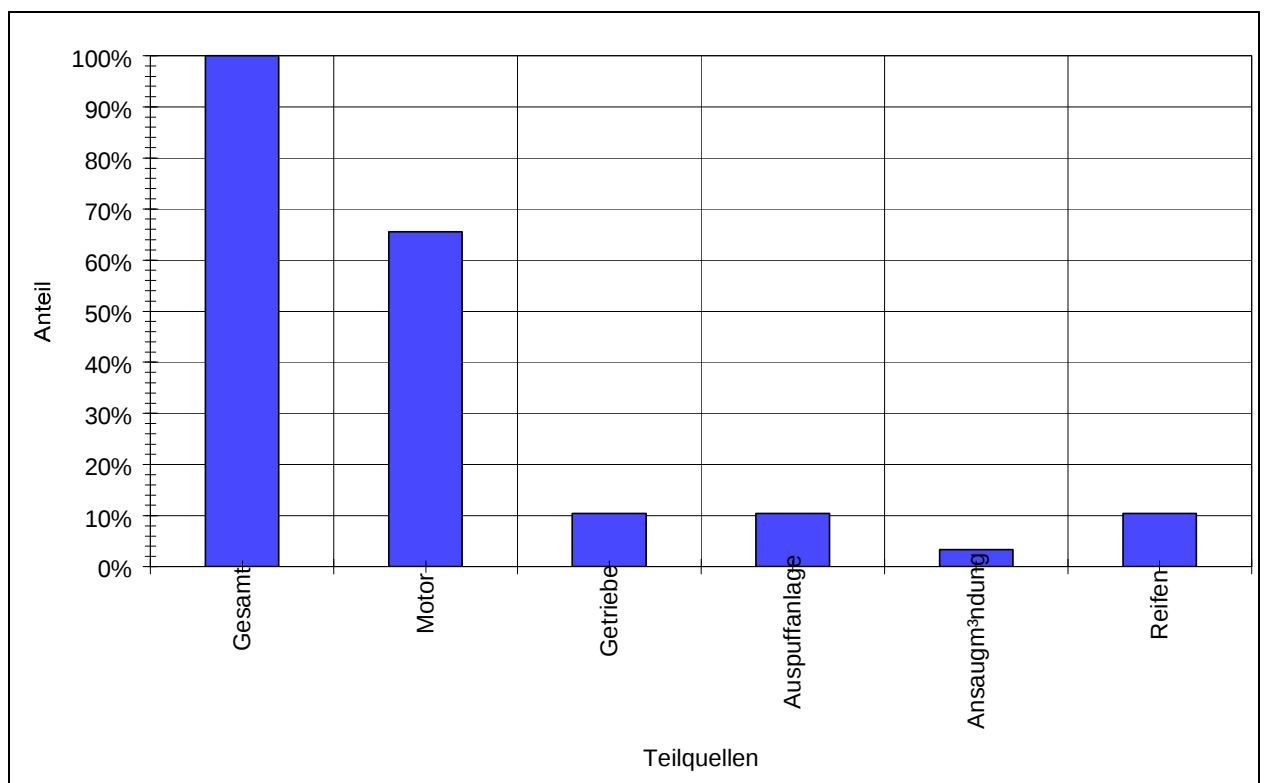


Bild 153: Anteile verschiedener Quellen am Gesamtgeräusch bei schweren Lkw unter Typprüfbedingungen

4.4.2 Minderungspotentiale aus Sicht der Fahrzeughersteller

4.4.2.1 Motor, Primärmaßnahmen

Die Fahrzeughersteller messen die Geräusche der Teilquellen zumeist am Prüfstand in 1 m Entfernung von der Quelle über der Motordrehzahl. Vergleicht man die Ergebnisse verschiedener Motoren, so erhält man bei Pkw ein Streuband von ca. 7 dB(A) über den gesamten Drehzahlbereich. Der obere Bereich (mit einer Breite von 4 dB(A)) wird allerdings von Motoren gebildet, die nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Bei diesen Motoren besteht noch ein Minderungspotential von ca. 3 dB(A).

Bei den Motoren im Bereich der unteren 3 dB(A) ist eine weitere Minderung an der Quelle mit heute verfügbaren Technologien nicht mehr möglich. Die Schwankungsbreite kommt in diesem Bereich durch Unterschiede in der spez. Leistung zustande. Je niedriger die spez. Leistung, desto leiser das Aggregat. Niedrige spez. Leistungen ergeben jedoch einen Zielkonflikt mit Verbrauch und CO₂-Emissionen.

Bei den Lkw ist das Streuband der Motorgeräusche mit ca. 15 dB(A) deutlich höher. Allerdings reicht die Palette der Motoren auch von 3 l bis 18 l Hubvolumen. Hier besteht ein Zusammenhang zwischen Geräuschentwicklung und Motorgröße bzw. Leistung. Die Reststreuung beträgt weniger als 3 dB(A). Zur „ehrlichen“ Einhaltung des derzeitigen Grenzwertes ist ein Motor mit einem 1 m Pegel von 95 dB(A) erforderlich. Dies ist nachzeitigem Stand der Technik aber nur bei Motoren bis 325 kW Nennleistung technisch darstellbar. Eine weitere Minderung durch Primärmaßnahmen ist mit heute verfügbaren Technologien nicht mehr möglich.

4.4.2.2 Motorraumkapseln

Bei Pkw beträgt das Minderungspotential einer guten Motorraumkapsel ca. 4 bis 5 dB(A) (für das Motor- und Ansauggeräusch). Kapseln sind allerdings nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn sie in die Neukonstruktion von vornherein mit einbezogen werden. Das Minderungspotential für Diesel-Fahrzeuge ist etwas höher als für Benzin-Fahrzeuge. Dies wird jedoch dadurch egalisiert, dass Diesel-Fahrzeuge bereits heute aus Komfortgründen mit Teilkapseln ausgerüstet sind.

Kapseln ergeben ein Mehrgewicht zwischen 20 bis 30 kg. Die Herstellungskosten belaufen sich auf ca. 1% der gesamten Fahrzeugkosten.

Bei Lkw lässt sich durch Ersatz der derzeit verwendeten Teilkapseln durch Rohrkapseln (vorn und hinten offene Röhre) eine Minderung von Motor- und Getriebegeräuschen von ca. 3 dB(A) erreichen. Das Mehrgewicht wird auf ca. 150 kg veranschlagt, die Mehrkosten auf 2500 € bis 5000 €. Allerdings muss die Kühlanlage vergrößert und die Kühlluftzufuhr optimiert werden, um die thermischen Probleme zu lösen. Dies kann bei Fahrzeugen mit kurzem Radstand zu Platzproblemen führen.

4.4.2.3 Ansaug- und Abgasschalldämpfer

Eine weitere Minderung der Geräuschanteile von Ansaug- und Abgasschalldämpfern stellt technisch kein Problem dar. Sie ist vor allem über eine Vergrößerung der Dämpfervolumina und den Einsatz doppelwandiger Schalldämpfer (zur Minderung der Wandabstrahlung) zu erreichen.

Doppelwandige Schalldämpfer werden aber z.T. heute schon verwendet. Das Problem besteht darin, bei der Neukonzeption den notwendigen Platzbedarf für die Schalldämpfer zu schaffen. Darüber hinaus ist eine Volumenvergrößerung mit Mehrgewicht verbunden.

Die Pkw-Hersteller sehen in den Gaswechselgeräuschen überwiegend keine relevante Teilschallquelle mehr. Bei Sportwagen und Oberklasse-Fahrzeugen werden Ansaug- und Abgas-schalldämpfer inzwischen aufwendig „getunt“, um für den Fahrer ein unverwechselbares „Klangbild“ zu erzeugen (Stichwort: Sound engineering). Zumindest im Segment der Sportwagen besteht ein Zielkonflikt zwischen den administrativen Vorgaben zur Minderung des Außengeräusches und dem Kundenwunsch nach markigem Sound.

Auch bei den Lkw wird der Platzbedarf als vorrangiges Problem bei der Vergrößerung der Volumina genannt. Derzeit sind bei den Abgasanlagen Volumina zwischen 90 l und 100 l realisiert. Bei mittleren Motorleistungen wird nur ein Schalldämpfer verwendet. Eine Vergrößerung des Volumens auf 120 l bis 140 l scheint realisierbar. Eine Vergrößerung um 40 l würde eine Reduzierung des Mündungsgeräusches von 2 dB ergeben, allerdings auch eine Erhöhung des Gewichts um 30 kg. Außerdem müssten doppelwandige Schalldämpfer verwendet werden.

4.4.2.4 Getriebe und Antriebsstrang

Für Pkw-Hersteller stellen Antriebsstrang- und Getriebegeräusche derzeit kein Problem dar. Die Geräuschanteile dieser Quellen sind in der Vergangenheit im Hinblick auf Innengeräusche und Fahrkomfort stark gemindert worden, was auch dem Außengeräusch zugute gekommen ist.

Anders ist die Situation bei den Lkw, schon weil hier mit Robustheit und Langlebigkeit andere Prioritäten vorherrschen. Als mögliche Minderungsmaßnahmen werden Vollkapseln, sowie die Trennung von Motor und Getriebe genannt. Vollkapseln erfordern wassergekühlte Getriebe zur Lösung der thermischen Probleme, Die Trennung von Motor und Getriebe bietet zwar die Möglichkeit, beide Aggregate akustisch zu entkoppeln, wird aber wegen der Platzprobleme für Fahrzeuge mit kurzem Radstand als technisch nicht machbar angesehen.

Als weitere Minderungsmaßnahme wird der Übergang von teilgedämpften zu vollgedämpften Gelenkwellen (Kapseln und Beschichtungen) angesehen.

4.4.2.5 Reifen

Bei der bedeutsamen Teilschallquelle Reifen ist zunächst zu erwähnen, dass die Fahrzeughersteller auf die Verwendung von „Typprüfreifen“ als Besitzstand fixiert sind. Nach Ansicht der Reifenhersteller kann ein fortschrittlicher Typprüfreifen nicht mehr im Geräusch reduziert werden. Beispielsweise hat bei Pkw-Reifen ein guter Slick bei den Geschwindigkeiten der Fahrzeug-Typprüfung auf der ISO-Fahrbahn einen Rollgeräuschpegel von 64 dB(A). 68 dB(A) als Stand der Technik bei Vollastbeschleunigung wird nicht für die gesamte Pkw-Palette als technisch darstellbar angesehen.

Allerdings sehen die Reifenhersteller Minderungspotentiale, wenn die Pflichtenhefte der Fahrzeughersteller geändert würden (Zugeständnisse bei Laufleistung, Handling u.ä.). In diesem Zusammenhang wird die Verwendung von Schaum im Reifen als eine Maßnahme zur Geräuschminderung genannt. 9 kg bis 11 kg Schaum führen zu einer Minderung von 2 bis 3 dB.

Bei Lkw werden auch das Radhaus sowie eine Verringerung des Reifendrucks (?) als prinzipielle Minderungsmaßnahmen genannt. Mit Radhausauskleidungen (durch absorbierendes Material) lassen sich die Rollgeräusche um bis zu 2 dB herabsetzen.

Interessant ist noch, dass die Reifenhersteller für die Rollgeräuschemissionen im praktischen Betrieb eine Minderung von 3 dB(A) erwarten, wenn alle Reifen auf Typprüfstandard gebracht würden. Derzeitig am Markt erhältliche Reifen für den Ersatzbedarf können bis zu 6 dB höhere Rollgeräusche aufweisen als entsprechende Typprüfreifen.

4.4.2.6 Zeitrahmen

Als Zeitrahmen für die Realisierung von Minderungsmaßnahmen werden von Pkw-Herstellern und auch von den Reifenherstellern übereinstimmend folgende „Eckdaten“ genannt. Die Entwicklungszeiten für einzelne Typen werden mit 5 bis 6 Jahren angegeben, die Entwicklungszeit für Produktfamilien mit 10 bis 15 Jahren. Die Lkw-Hersteller geben teilweise bis zu 5 Jahren längere Entwicklungszeiten an.

4.4.3 Bewertung und eigene Überlegungen

4.4.3.1 Pkw

Die Fahrzeughersteller geben an, dass auf der Grundlage des derzeit gültigen Messverfahrens und unter den gegebenen Randbedingungen (Verwendung eines „Typprüfreifens“) ein Grenzwert von 70 dB(A) mit wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen außer bei sehr leistungsstarken Fahrzeugen eingehalten werden kann. Der dazu notwendige Aufwand ist je nach derzeitigem Entwicklungsstand unterschiedlich. Für Fahrzeuge, die bereits heute einen Typprüfwert von 71 dB(A) aufweisen, ist zwar nur eine Minderung von 1 dB(A) notwendig, die jedoch eventuell aufwendige Maßnahmen bedingt, da einfachere Maßnahmen bei diesen Fahrzeugen bereits realisiert worden sind.

Nach KBA-Statistik von 1998 weisen bei den Fahrzeugtypen mit Schaltgetriebe, das sind ca. 75% aller Typen, 7,6% einen Typprüfwert von 71 dB(A) oder niedriger auf. Bei den Fahrzeugen mit Automatikgetriebe liegt der Anteil bei 34,1%.

Im folgenden sollen Minderungsszenarien für eine stufenweise Grenzwertsenkung von 74 dB(A) auf 71 dB(A) als 1. Stufe und 68 dB(A) als 2. Stufe erörtert werden. Um zu veranschaulichen, welche quantitativen Minderungen an den Teilquellen notwendig sind, wird von der in Tabelle 38 dargestellten Ausgangssituation ausgegangen, wobei allerdings das erste Fahrzeug nicht mehr berücksichtigt wird, da nur Mittelwerte für 2. und 3. Gang angegeben sind. In Tabelle 49 ist ein Szenario angegeben, das für die einzelnen Teilschallquellen diejenigen Minderungen enthält, die erforderlich sind, um einen Grenzwert von 71 dB(A) einzuhalten. Das gezeigte Szenario stellt nicht die einzig mögliche Lösung dar, die jeweiligen Werte wurden als Kompromiss zwischen der Bedeutung der Quellen und der technischer Machbarkeit ausgewählt. Es wurde angenommen, dass die Maßnahmen in beiden Getriebestufen gleichermaßen wirksam sind. Das Szenario sieht für die Mittelklasse-Fahrzeuge Minderungen bei Motor-, Ansaug- und Abgasschalldämpfern von 3 dB(A) und beim Reifen von 2 dB(A) vor. Damit wäre der Reifen auf dem Niveau eines modernen Typprüfreifens.

Unterstellt man, dass auch für den Sportwagen die Reifengeräusche nur um 2 dB(A) gemindert werden können, so ergeben sich höhere Minderungen bei den anderen Teilquellen als für die übrigen Fahrzeuge. Obwohl die Geräuschanteile von Motor, Ansaug- und Abgasschalldämpfer im Ausgangszustand gleich groß sind, wurden wegen des unterschiedlichen Aufwandes unterschiedliche Minderungen angesetzt. Die daraus resultierenden neuen Typprüfwerte sind in Tabelle 50 zusammengestellt. Tabelle 51 zeigt die neuen Quellenanteile. Die Situation ist gegenüber der Ausgangslage (Tabelle 40) nur wenig verändert. Nach wie vor dominieren im 2. Gang die Motorgeräusche und im 3. Gang die Reifengeräusche. Die Quellenverteilung beim Sportwagen hat sich mehr denjenigen der übrigen Fahrzeuge angeglichen.

Auf der Basis von Tabelle 50 ist in Tabelle 52 ein weiteres Minderungsszenario für einen Grenzwert von 68 dB(A) angegeben. Auch in diesem Szenario wurden höhere Minderungen bei Motor-, Ansaug- und Auspuffgeräuschen unterstellt als bei den Reifengeräuschen. Allerdings sind bei den Reifengeräuschen weitere Minderungen von 2 dB(A) erforderlich, um das gesteckte Ziel von 68 dB(A) sinnvoll erreichen zu können. Ohne weitere Minderung der Reifengeräusche müssten die übrigen Quellen nämlich um 5 bis 6 dB(A) gemindert werden, was beim Motor nur mit deutlich wirksameren Kapselmaßnahmen erreicht werden könnte, deren Realisierbarkeit derzeit technisch noch nicht abgesehen werden kann. Andererseits ist eine weitere Absenkung der Reifengeräusche unter den derzeitigen Randbedingungen ebenfalls nicht möglich.

					Getriebe			
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	Gesamt	Minderung
Kompaktklasse	2	-1.0	-3.0	0.0	0.0	-2.0	-1.4	
4-Zylinder	3	-1.0	-3.0	0.0	0.0	-2.0	-1.7	-1.5
Mittelklasse	2	-3.0	-3.0	-3.0	-1.0	-2.0	-2.7	
4-Zylinder	3	-3.0	-3.0	-3.0	-1.0	-2.0	-2.2	-2.5
Mittelklasse	2	-3.0	-3.0	-3.0	0.0	-2.0	-2.6	
120 kW	3	-3.0	-3.0	-3.0	0.0	-2.0	-2.4	-2.5
Mittelklasse	2	-3.0	-3.0	-1.0	0.0	-2.0	-2.4	
84 kW	3	-3.0	-3.0	-1.0	0.0	-2.0	-2.0	-2.2
Sportwagen	3	-2.0	-5.0	-5.0	-3.0	-2.0	-3.1	-3.1

Tabelle 49: Minderungsszenario für einen Grenzwert von 71 dB(A) nach derzeitigem Typprüfverfahren

					Getriebe			Typprüf-
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	Gesamt	wert
Kompaktklasse	2	68.5	62.0	56.0	65.7	68.0	72.8	
4-Zylinder	3	62.7	56.1	56.3	55.1	66.3	68.6	70.7
Mittelklasse	2	70.2	62.5	65.0	63.5	66.0	73.3	
4-Zylinder	3	60.6	57.5	59.8	60.8	65.6	68.8	71.0
Mittelklasse	2	70.9	63.7	63.3	62.3	66.9	73.7	
120 kW	3	60.1	60.8	57.8	53.8	65.9	68.4	71.0
Mittelklasse	2	67.9	65.9	62.9	59.7	66.7	72.5	
84 kW	3	61.1	59.4	63.3	54.3	65.9	69.3	70.9
Sportwagen	3	65.0	62.0	62.0	64.0	66.9	71.3	71.3

Tabelle 50: Teilquellenpegel für einen Grenzwert von 71 dB(A) nach derzeitigem Typprüfverfahren

					Getriebe		
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	
Kompaktklasse	2	37%	8%	2%	19%	33%	100%
4-Zylinder	3	26%	6%	6%	4%	58%	100%
Mittelklasse	2	48%	8%	15%	10%	19%	100%
4-Zylinder	3	15%	8%	13%	16%	49%	100%
Mittelklasse	2	52%	10%	9%	7%	21%	100%
120 kW	3	15%	17%	9%	3%	56%	100%
Mittelklasse	2	35%	22%	11%	5%	27%	100%
84 kW	3	15%	10%	25%	3%	46%	100%
Sportwagen	3	23%	12%	12%	18%	36%	100%

Tabelle 51: Quellenanteile für einen Grenzwert von 71 dB(A) nach derzeitigem Typprüfverfahren

					Getriebe			
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	Gesamt	Minderung
Kompaktklasse	2	-4.0	-3.0	0.0	-2.0	-2.0	-2.7	
4-Zylinder	3	-4.0	-3.0	0.0	-2.0	-2.0	-2.3	-2.5
Mittelklasse	2	-4.0	-2.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	
4-Zylinder	3	-4.0	-2.0	-3.0	-2.0	-2.0	-2.4	-2.7
Mittelklasse	2	-3.0	-4.0	-4.0	-2.0	-2.0	-2.9	
120 kW	3	-3.0	-4.0	-4.0	-2.0	-2.0	-2.6	-2.7
Mittelklasse	2	-3.0	-4.0	-4.0	0.0	-2.0	-2.8	
84 kW	3	-3.0	-4.0	-4.0	0.0	-2.0	-2.7	-2.7
Sportwagen	3	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0

Tabelle 52: Minderungsszenario für einen Grenzwert von 68 dB(A) nach derzeitigem Typprüfverfahren (bezogen auf die Ausgangswerte der Tabelle 50)

					Getriebe			Typprüf-
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	Gesamt	wert
Kompaktklasse	2	64.5	59.0	56.0	63.7	66.0	70.1	
4-Zylinder	3	58.7	53.1	56.3	53.1	64.3	66.3	68.2
Mittelklasse	2	66.2	60.5	62.0	61.5	64.0	70.3	
4-Zylinder	3	56.6	55.5	56.8	58.8	63.6	66.4	68.4
Mittelklasse	2	67.9	59.7	59.3	60.3	64.9	70.8	
120 kW	3	57.1	56.8	53.8	51.8	63.9	65.8	68.3
Mittelklasse	2	64.9	61.9	58.9	59.7	64.7	69.7	
84 kW	3	58.1	55.4	59.3	54.3	63.9	66.6	68.2
Sportwagen	3	62.0	59.0	59.0	61.0	63.9	68.3	68.3

Tabelle 53: Teilquellenpegel für einen Grenzwert von 68 dB(A) nach derzeitigem Typprüfverfahren

					Getriebe		
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	
Kompaktklasse	2	27%	8%	4%	23%	39%	100%
4-Zylinder	3	17%	5%	10%	5%	63%	100%
Mittelklasse	2	38%	10%	15%	13%	23%	100%
4-Zylinder	3	10%	8%	11%	17%	53%	100%
Mittelklasse	2	51%	8%	7%	9%	25%	100%
120 kW	3	13%	13%	6%	4%	64%	100%
Mittelklasse	2	33%	17%	8%	10%	32%	100%
84 kW	3	14%	8%	19%	6%	54%	100%
Sportwagen	3	23%	12%	12%	18%	36%	100%

Tabelle 54: Quellenanteile für einen Grenzwert von 68 dB(A) nach derzeitigem Typprüfverfahren

Auf jeden Fall ist zu befürchten, dass mit weiteren Grenzwertsenkungen unter den Betriebszuständen nach derzeitigem Typprüfverfahren die Antriebsgeräusche stärker gemindert werden als die Reifengeräusche, und dass damit im praktischen Betrieb deutlich geringere Minderungswirkungen erzielt werden.

Nun ist derzeit eine Änderung der Betriebszustände in Richtung stärkeren Praxisbezugs in der Diskussion. Um die Auswirkungen von Grenzwertsenkungen bei praxisgerechterem Messverfahren abschätzen zu können wurden alternative Szenarien gebildet, bei denen nur die Messung im 3. Gang zugrundegelegt wird. Hierzu bedarf es zunächst eines neuen Bezugswertes für die Ausgangssituation. Dieser ergibt sich nach Tabelle 55 zu 71 dB(A). Der Sportwagen wurde für diese Diskussion ausgenommen, da er zur Besitzstandswahrung eine neue „Lex Ferrari“ benötigt.

Da der Reifen zu 2/3 am Gesamtgeräusch beteiligt ist, ist für eine weitere Grenzwertsenkung auch eine stärkere Minderung beim Reifen erforderlich als beim derzeitigen Typprüfverfahren. Wie Tabelle 56 und Tabelle 57 zeigen, lässt sich das Ziel aber bereits mit einer nur um 1 dB(A) höheren Minderung erreichen, als im vergleichbaren Fall des vorherigen Szenarios angesetzt wurde, wobei auch eine weitere Minderung der Antriebsgeräusche erforderlich ist.

					Getriebe		Typprüf-
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	wert
4-Zylinder	3	63.7	59.1	56.3	55.1	68.3	70.3
4-Zylinder	3	63.6	60.5	62.8	61.8	67.6	71.0
120 kW	3	63.1	63.8	60.8	53.8	67.9	70.8
84 kW	3	64.1	62.4	64.3	54.3	67.9	71.3

Tabelle 55: Ausgangssituation für ein geändertes Messverfahren (hier näherungsweise nur Berücksichtigung des der Vollastbeschleunigung im 3. Gang)

					Getriebe		gesamte
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	Minderung
4-Zylinder	3	-2.0	-3.0	0.0	0.0	-3.0	-2.5
4-Zylinder	3	-3.0	-3.0	-3.0	-1.0	-3.0	-2.7
120 kW	3	-2.0	-3.0	-2.0	0.0	-3.0	-2.6
84 kW	3	-3.0	-3.0	-3.0	0.0	-3.0	-2.9

Tabelle 56: Minderungsszenario für einen Grenzwert von 68 dB(A) (1. Stufe)

					Getriebe		Typprüf-
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	wert
4-Zylinder	3	61.7	56.1	56.3	55.1	65.3	67.8
4-Zylinder	3	60.6	57.5	59.8	60.8	64.6	68.3
120 kW	3	61.1	60.8	58.8	53.8	64.9	68.2
84 kW	3	61.1	59.4	61.3	54.3	64.9	68.4

Tabelle 57: Teilquellenpegel für einen Grenzwert von 68 dB(A)

					Getriebe		
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	
4-Zylinder	3	25%	7%	7%	5%	56%	100%
4-Zylinder	3	17%	8%	14%	18%	43%	100%
120 kW	3	20%	18%	12%	4%	47%	100%
84 kW	3	19%	13%	20%	4%	45%	100%

Tabelle 58: Quellenanteile für einen Grenzwert von 68 dB(A)

Als Resultat wird der Anteil des Reifens am Gesamtgeräusch geringer (Tabelle 58). Auch für die Grenzwertsenkung der nächsten Stufe wäre eine Minderung der Reifengeräusche um weitere 3 dB(A) erforderlich, aber ebenso weitere Minderungsmaßnahmen bei den Antriebsgeräuschen (siehe Tabelle 59 bis Tabelle 61). Der Vorteil eines geänderten Messverfahrens liegt auf einer Verschiebung der Prioritäten hin zum Reifen, ohne dass Maßnahmen bei den Antriebsgeräuschen entfallen können. Hiermit würde im praktischen Betrieb eine höhere Wirksamkeit erreicht.

					Getriebe		gesamte
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	Minderung
4-Zylinder	3	-2.0	-3.0	-3.0	0.0	-3.0	-2.5
4-Zylinder	3	-3.0	-3.0	-4.0	-3.0	-3.0	-3.1
120 kW	3	-3.0	-4.0	-2.0	0.0	-3.0	-2.9
84 kW	3	-3.0	-3.0	-4.0	0.0	-3.0	-3.0

Tabelle 59: Minderungsszenario für einen Grenzwert von 65 dB(A) (2. Stufe)

					Getriebe		Typprüf-
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	wert
4-Zylinder	3	59.7	53.1	53.3	55.1	62.3	65.3
4-Zylinder	3	57.6	54.5	55.8	57.8	61.6	65.2
120 kW	3	58.1	56.8	56.8	53.8	61.9	65.3
84 kW	3	58.1	56.4	57.3	54.3	61.9	65.4

Tabelle 60: Teilquellenpegel für einen Grenzwert von 65 dB(A)

					Getriebe		
Fahrzeug	Gang	Motor	Ansaug.	Auspuff	+ Rest	Reifen	
4-Zylinder	3	28%	6%	6%	10%	50%	100%
4-Zylinder	3	17%	9%	11%	18%	44%	100%
120 kW	3	19%	14%	14%	7%	45%	100%
84 kW	3	19%	13%	16%	8%	45%	100%

Tabelle 61: Quellenanteile für einen Grenzwert von 65 dB(A)

4.4.3.2 Lkw

Beim Lkw muss der Schwerpunkt der Minderungsmaßnahmen beim Motor liegen, da dies die dominierende Geräuschquelle ist. Dies wird sich auch bei praxisgerechterem Messverfahren nicht ändern. Eine weitere Grenzwertsenkung um 3 dB(A) macht z.B. Minderungen bei Motor und Getriebe von 5 dB(A) erforderlich (siehe Tabelle 62). Da die Primärmaßnahmen beim Motor im wesentlichen schon ausgeschöpft sind, kann dies nur durch Kapselung erreicht werden, die gegenüber heutigen Teilkapseln eine Minderungswirkung von 5 dB(A) aufweisen. Derartig wirk-same Kapseln können auch nach Ansicht des Verfassers innerhalb der bei Modellwechsel übli-chen Entwicklungszeiten nicht entwickelt werden. Unter den derzeitigen technischen Randbe-dingungen erscheint ein Minderungspotential von 2 dB(A) realisierbar zu sein.

Obige Aussagen gelten für schwere Lkw. Für mittlere und leichte Lkw sind höhere Minderungs-potentiale (3 bis 4 dB(A)) realisierbar.

	Pegel			Pegel			Pegel	
	in dB(A)	Anteil		in dB(A)	Anteil		in dB(A)	Anteil
Gesamt	79.8	100.0%	Minderung	76.7	100.0%	Minderung	74.6	100.0%
Motor	78.0	65.5%	-5	73.0	43.1%	-2	71.0	43.3%
Getriebe	70.0	10.4%	-5	65.0	6.8%	-2	63.0	6.9%
Auspuffanlage	70.0	10.4%	0	70.0	21.6%	-3	67.0	17.2%
Ansaugmündung	65.0	3.3%	0	65.0	6.8%	0	65.0	10.9%
Reifen	70.0	10.4%	0	70.0	21.6%	-2	68.0	21.7%

Tabelle 62: Minderungsszenarien beim Lkw

4.4.3.3 Reifen

Da der Reifen als Geräuschquelle bei der Typprüfung nur für Pkw von Bedeutung ist, wird die Diskussion auf Pkw Reifen beschränkt. Wie bereits ausgeführt, kann nach Ansicht der Reifenhersteller ein fortschrittlicher Typprüfreifen nicht mehr im Geräusch reduziert werden. Das hätte zur Konsequenz, dass eine weitere Absenkung der Geräuschgrenzwerte zwar technisch noch machbar ist, aber unvertretbar hohen Aufwand bei den Antriebsgeräuschen bedeuten würde. Wirksame Minderungen im Reifengeräusch sind aber der Schlüssel zum Erfolg in der weiteren Verkehrslärmbekämpfung.

In der Argumentation der Reifenhersteller fällt auf, dass für sie offensichtlich nur Profilloptimierung, nicht aber Änderungen in Aufbau und Material als Minderungsmaßnahmen in Betracht kommen. Unter diesen Randbedingungen erscheint die Herstelleraussage schlüssig.

Andererseits geben die Reifenhersteller bei geänderten Pflichtenheften ein Minderungspotential von ca. 3 dB(A) an. In diesem Fall sind also Minderungen durch Änderungen an Aufbau und Material nicht ausgeschlossen.

Eine Wertung der Herstellerangaben wird dadurch erschwert, dass die Reifenhersteller über den Einfluss dieser Parameter auf die Geräuschemission wie auch über Aufbau und Materialeigenschaften ihrer Reifen keine quantitativen Angaben öffentlich machen. Auch die Fahrzeughersteller sind auf Vergleichstests und Messreihen angewiesen.

4.5 Vergleich der Ergebnisse nach verschiedenen Messverfahren mit den Emissionen im praktischen Betrieb

4.5.1 Einführung, Bestimmung eines Geräuschkennwerts für den Stadtbetrieb

Im folgenden Abschnitt werden Ergebnisse nach verschiedenen Messverfahren den Emissionen im praktischen Betrieb vergleichend gegenübergestellt. Folgende Messverfahren werden berücksichtigt:

4. Derzeitig gültiges Typprüfverfahren,
5. Vorschlag nach ISO 362 2002(E), im folgenden mit „ACEA Vorschlag“ bezeichnet,
6. Für UBA entwickelter Vorschlag, Zielgeschwindigkeit auf Mitte Messebene modifiziert, Beschleunigungszielwerte auf L3 und N1 Fahrzeuge erweitert, im folgenden mit „FiGE-Vorschlag“ bezeichnet,
7. Modifizierter ACEA Vorschlag mit 30 km/h als Zielgeschwindigkeit,
8. Modifizierter ACEA Vorschlag mit geänderten Beschleunigungskurven.

Eine nicht ganz einfache Aufgabe ist es, charakteristische Emissionen für den praktischen Betrieb auszuwählen. Zum Glück sind energetische Mittelwerte wie auch Spitzenwerte bei Beschleunigungsvorgängen miteinander korreliert (Bild 154 bis Bild 156).

Daher wurde für den im Stadtverkehr vorkommenden Geschwindigkeitsbereich der energetische Mittelwert der Vorbeifahrtpegel als eine Kenngröße bestimmt. Zusätzlich wurden aus den Fahrverhaltensdaten die Geschwindigkeitsmittelwerte für Beschleunigungsvorgänge bestimmt. Diese entsprechen in erster Näherung auch den häufigsten Werten. Für die Geschwindigkeits-

klasse, in die diese Werte fallen, wurden als zweite Kenngröße das 95%-Perzentil der Vorbeifahrtpegel bestimmt, weil es eine statistisch gesicherte Kenngröße für die im realen Betrieb auftretenden Pegelspitzen bei Beschleunigungswerten darstellt.

Die genannten Geschwindigkeitswerte sind in Tabelle 63 angegeben. Dass der obere Geschwindigkeitsbereich bei den Nutzfahrzeugen kleiner gewählt wurde als bei Pkw (M1) und Motorrädern (L3), trägt dem unterschiedlichen Geschwindigkeitsverhalten im praktischen Betrieb Rechnung. Diese Werte sind in Tabelle 64 zusammengestellt. Abschließend wurde aus beiden Kenngrößen ein gewichtetes Mittel gebildet, die Analyse ergab für gleiche Gewichtung (arithmetisches Mittel) die beste Korrelation mit Messverfahrensergebnissen.

Die Tabelle enthält auch Angaben zum Anteil des Rollgeräusches an den Kennwerten. Bei Pkw, die dem Stand der Technik entsprechen (Typprüfwert unter 75 dB(A)), und bei leichten Nutzfahrzeugen, die die Pkw-Grenzwerte einhalten (Typprüfwert 75 dB(A)) ist der energetische Mittelwert eindeutig vom Rollgeräusch bestimmt (Mittelwert des Anteils 77,5%). Bei den übrigen Fahrzeugen liegt der Rollgeräuschanteil am energetischen Mittelwert zwischen 26% und 53%. Der obere Wert wird bei den Lastzügen erreicht, was immerhin bedeutet, dass selbst im Stadtfahrbetrieb im Roll- und Antriebsgeräusche im energetischen Mittel etwa gleich groß sind.

Für das 95%-Perzentil der Geräuschpegel bei Beschleunigungsvorgängen ist der Rollgeräuschanteil naturgemäß niedriger, weist aber eine enorme Spanne auf. Bei Pkw nach dem Stand der Technik reicht er von ca. 10% bis 60%, wobei im allgemeinen die Antriebsgeräusche überwiegen (Mittelwert 32,5%). Der individuelle Wert hängt von der individuellen Kombination von Antriebsgeräusch und Rollgeräusch ab.

Der Mittelwert des Rollgeräuscheinflusses des 95%-Perzentils für Stand der Technik Pkw stimmt fast exakt mit dem Mittelwert des Rollgeräuscheinflusses auf das Messergebnis nach dem derzeit gültigen Typprüfverfahren überein. Man sollte daher erwarten, dass die Typprüfwerte mit den 95%-Perzentilen besser korrelieren als eine Kombination von energetischem Mittelwert und 95%-Perzentil. Dies ist jedoch nicht der Fall, erstaunlicherweise ergab sich die beste Korrelation für das arithmetische Mittel aus energetischem Mittelwert und 95%-Perzentil, übrigens auch für die anderen Messverfahren. Daher wurde dieses arithmetische Mittel als alleiniger Geräuschkennwert für den praktischen Betrieb verwendet. Für Stand der Technik Pkw beträgt der Rollgeräuschanteil an diesem Kennwert im Mittel 49%.

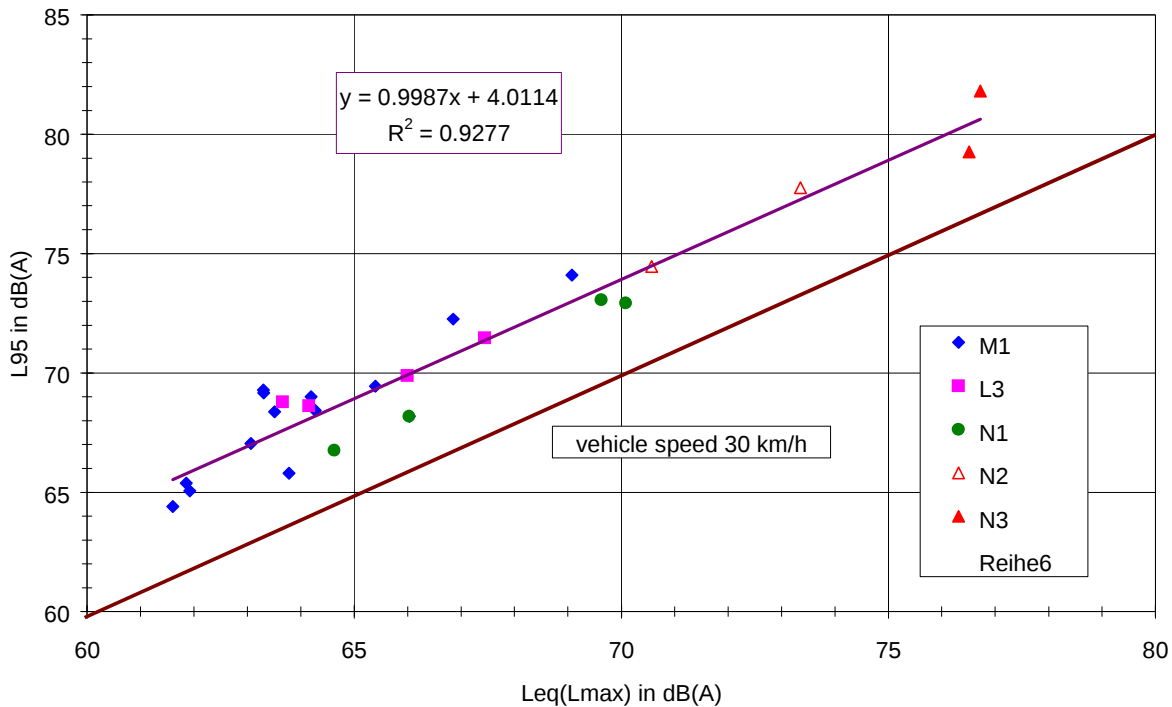


Bild 154: Gegenüberstellung des energetischen Mittelwertes der Vorbeifahrtpegel und des 95%-Perzentils für Beschleunigungsvorgänge ($a \geq 0,3 \text{ m/s}^2$) in der Geschwindigkeitsklasse 30 km/h (+/- 2,5 km/h)

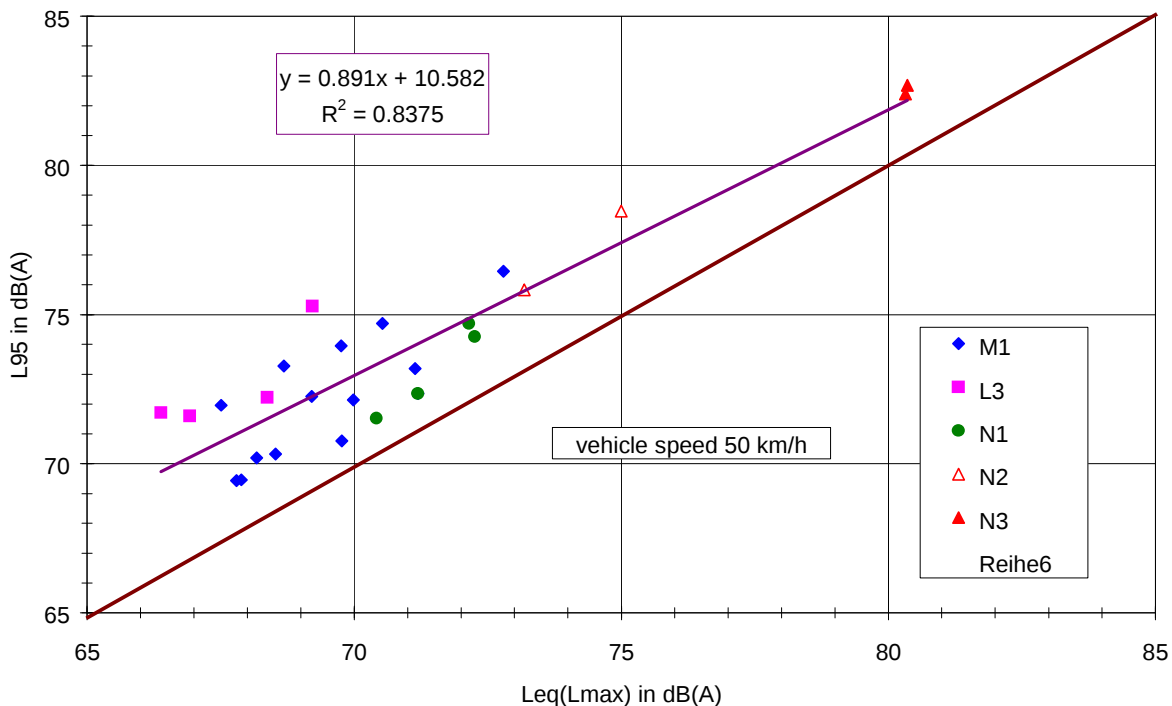


Bild 155: Gegenüberstellung des energetischen Mittelwertes der Vorbeifahrtpegel und des 95%-Perzentils für Beschleunigungsvorgänge ($a \geq 0,3 \text{ m/s}^2$) in der Geschwindigkeitsklasse 50 km/h (+/- 2,5 km/h)

Vehicle cat	speed range in km/h	average speed in km/h	average speed for acceleration phases in km/h
L3	5 to 70	46	45
M1	5 to 70	40	40
N1	5 to 65	38	35
N2	5 to 60	36	35
N3	5 to 60	36	35

Tabelle 63: Geschwindigkeitskennwerte für Stadtverkehr für verschiedene Fahrzeugkategorien (aus Analysen von Fahrverhaltensdaten)

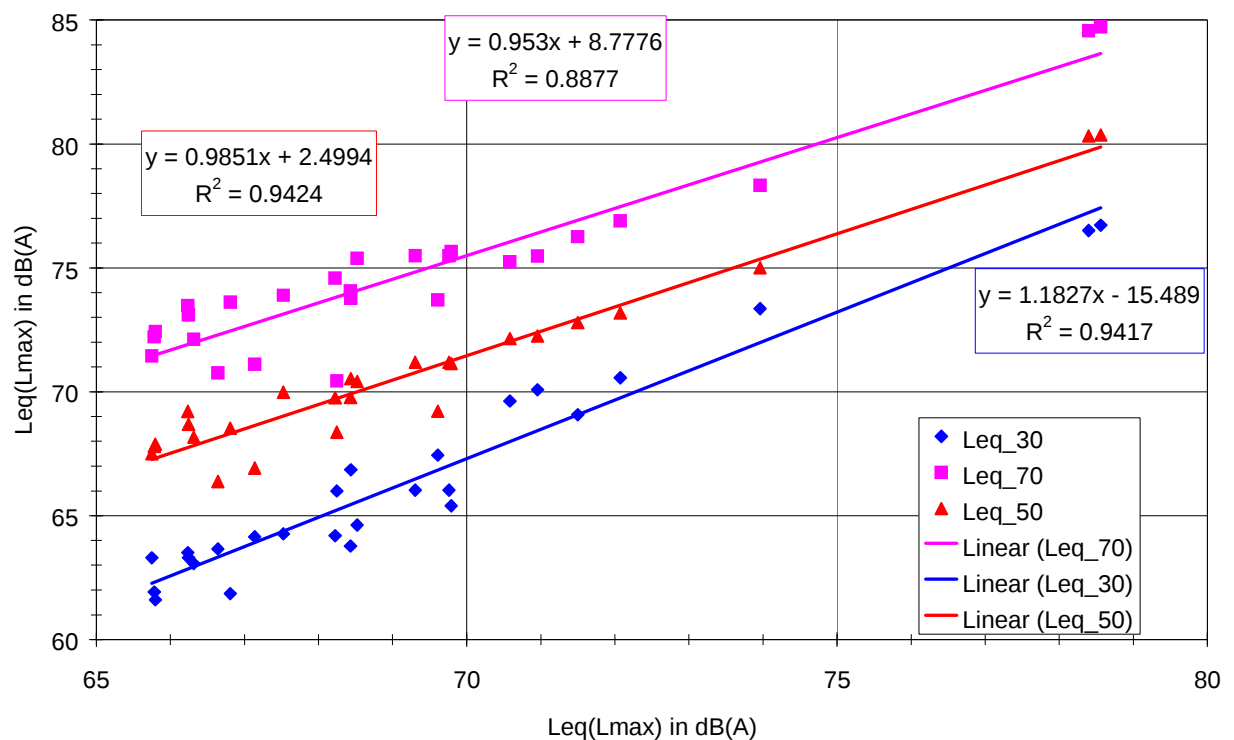


Bild 156: Energetische Mittelwerte der Vorbeifahrtpegel in drei unterschiedlichen Geschwindigkeitsklassen über dem energetischen Mittelwert der Vorbeifahrtpegel für die Geschwindigkeitsbereiche nach Tabelle 63

vehicle cat	vehicle	Leq(Lmax) in dB(A)	Leq_roll (Lmax) in dB(A)	p_roll	L_95 in dB(A)	L_roll (L_95) in dB(A)	p_roll	average in dB(A)	average Lroll in dB(A)	p_roll
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	69.8	68.9	81.8%	71.5	66.7	33.0%	70.6	67.8	52.5%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	68.2	66.4	66.0%	72.1	64.4	17.2%	69.9	65.4	35.3%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	66.2	64.7	69.5%	71.5	63.3	15.0%	69.4	64.0	28.7%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	66.3	65.1	75.6%	67.4	63.6	41.4%	67.2	64.3	52.0%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	65.8	65.1	85.3%	67.0	63.8	47.8%	66.9	64.4	57.3%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	65.7	63.0	53.7%	71.3	61.0	9.2%	68.1	62.0	24.4%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	66.8	66.1	85.3%	66.4	63.8	54.8%	67.0	64.9	62.6%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	67.5	66.2	73.7%	67.8	64.4	46.1%	68.1	65.3	52.5%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	68.4	65.0	45.1%	71.5	63.7	16.5%	71.0	64.3	21.8%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	71.5	68.9	54.4%	76.1	67.1	12.5%	73.3	68.0	28.9%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	66.2	64.9	74.3%	68.6	63.8	32.7%	69.2	64.4	32.5%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	69.8	68.9	81.8%	71.9	67.3	34.7%	70.2	68.1	60.9%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	68.4	67.9	88.1%	68.3	66.0	58.5%	68.3	66.9	73.3%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	65.8	65.4	90.6%	66.5	64.1	57.6%	66.9	64.7	61.1%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	67.1			70.7			68.9		
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	66.6			70.6			68.6		
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	69.6			73.7			71.7		
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	68.2			71.7			70.0		
N1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	69.3	68.4	80.3%	71.0	65.4	27.6%	69.4	66.9	56.2%
N1	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	70.6	66.3	37.0%	72.8	63.6	11.9%	72.1	64.9	19.0%
N1	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	71.0	65.5	28.6%	73.3	61.9	7.2%	72.3	63.7	13.8%
N1	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	68.5	67.6	81.2%	67.5	63.9	43.6%	68.3	65.8	55.6%
N2	veh 21, 125 kW, 78 dB(A), 1996	72.1	68.1	40.1%	76.2	64.0	6.1%	73.8	66.1	16.9%
N2	veh 25, 125 kW, 84 dB(A), 1990	74.0	68.1	25.9%	79.2	64.0	3.1%	76.6	66.1	8.9%
N3	veh 22, 320 kW, 80 dB(A), 1995	78.6	75.5	49.1%	81.0	72.1	12.9%	79.8	73.8	25.2%
N3	veh 23, 290 kW, 80 dB(A), 1997	78.4	75.7	53.1%	80.2	72.1	15.4%	79.4	73.9	28.0%

Tabelle 64: Pegelkennwerte der untersuchten Fahrzeuge für Stadtbetrieb

4.5.2 Beschreibung der Messverfahren

4.5.2.1 Derzeit gültiges Typprüfverfahren

Das derzeit für die Typprüfung gültige Messverfahren wurde bereits in Abschnitt 4.1 beschrieben und soll daher hier nicht noch einmal aufgeführt werden.

4.5.2.2 ACEA-Methode (Stand ISO 362 2002(E))

Es sei vorausgeschickt, dass die ACEA-Methode in der Zwischenzeit aufgrund von Erfahrungen bei der praktischen Anwendung mehrfach modifiziert worden ist, vor allem im Hinblick auf Automatikgetriebe, dass diese Modifikationen aber keine signifikanten Änderungen in den Ergebnissen gegenüber dem hier geschilderten Stand bewirkt haben würden.

Der ACEA-Vorschlag basiert auf einer vom FiGE im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelten Vorgehensweise, bei der eine Zielbeschleunigung festgelegt wird, die bei der Geräuschmessung unter Vollast erreicht werden muss. Da die Beschleunigungswerte im praktischen Betrieb mit dem Leistungsgewicht ansteigen, ist auch die Zielbeschleunigung abhängig vom Leistungsgewicht festgelegt. Die Geräuschmessung wird dann in der Getriebestufe durchgeführt, bei der die Zielbeschleunigung mit einer Toleranz von +/- 5% erreicht wird. Ist dies in keiner Getriebestufe möglich, so wird in zwei Getriebestufen gemessen, der höchsten, in der die

Zielbeschleunigung übertroffen wird, und der niedrigsten, in der die Zielbeschleunigung nicht mehr erreicht wird. Der FiGE-Vorschlag sah nur eine Vollastbeschleunigung vor, die Beschleunigungskurve war so gewählt, dass sie der Regressionskurve der Vollastbeschleunigungen im 3. Gang entsprach und zwischen den 95%-Perzentilen der Beschleunigungen im realen Betrieb bei 50 km/h bei durchschnittlicher und hochtouriger Fahrweise lag.

Der ACEA-Vorschlag verwendet deutlich niedrigere Zielbeschleunigungen und enthält eine zusätzliche Konstantfahrt. Er sieht nach Stand Mai 2002 für Pkw (M1), Motorräder (L3) und leichte Nutzfahrzeuge (N1) je eine Geräuschmessung bei Konstantfahrt und bei einer Vollastbeschleunigung vor. Das Fahrzeug wird so betrieben, dass in der Mikrofonebene eine Geschwindigkeit von 50 km/h erreicht wird. Die Getriebestufe, in der gemessen wird, hängt vom Beschleunigungsverhalten des Fahrzeugs bei Vollastbeschleunigung im Vergleich zu einer Zielbeschleunigung ab. Die Zielbeschleunigung ist abhängig vom Leistungsgewicht des Fahrzeugs. Für M1 und L3 Fahrzeuge ist das Leistungsgewicht als Quotient von Nennleistung und der um 75 kg (Fahrergewicht) erhöhten Leermasse definiert, für N1 Fahrzeuge wird als Fahrzeugmasse die um die halbe Nutzlast erhöhte Leermasse verwendet.

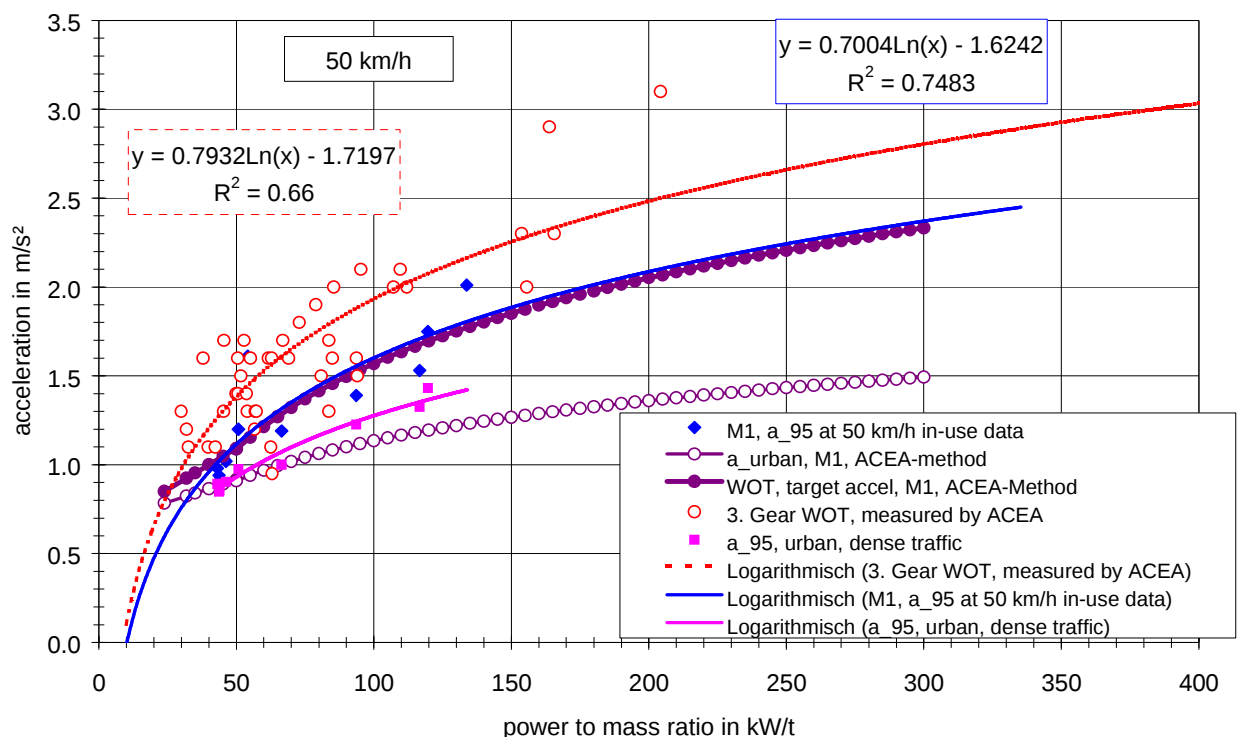


Bild 157: Zielbeschleunigung für Vollast und Beschleunigungskurve für Stadtverkehr nach ACEA-Messmethode im Vergleich zu 95%-Perzentilwerten der Fahrverhaltensdaten und Vollastbeschleunigungen im 3. Gang für Pkw (M1)

In Bild 157 ist die Zielbeschleunigung für die Geräuschmessung nach der ACEA-Methode bei Vollast dargestellt. Bis 50 kW/t steigt die Beschleunigung linear mit dem Leistungsgewicht an, oberhalb von 50 kW/t logarithmisch. Für die Geräuschmessung bei 50 km/h nach ACEA-Methode wird nun diejenige Getriebestufe gewählt, bei der die Zielbeschleunigung mit einer Toleranz von +/- 5% erreicht wird. Ist dies in keiner Getriebestufe möglich, so wird in zwei Getriebe-

stufen gemessen, der höchsten, in der die Zielbeschleunigung übertroffen wird, und der niedrigsten, in der die Zielbeschleunigung nicht mehr erreicht wird. Die Konstantfahrt(en) erfolgt (erfolgen) in derselben (denselben) Getriebestufe(n), in der (denen) die Vollastbeschleunigung durchgeführt wird.

Um die Zielbeschleunigung hinsichtlich ihres Niveaus einschätzen zu können, sind in Bild 157 zusätzlich die aus den Fahrverhaltensdaten ermittelten 95%-Perzentile der Beschleunigungen von Pkw für 50 km/h und Beschleunigungen ab 0,3 m/s² bei durchschnittlicher Fahrweise sowie Vollastbeschleunigungen von Pkw im 3. Gang bei 50 km/h eingetragen. Letztere wurden von ACEA-Mitgliedern gemessen. Die Zielbeschleunigung der ACEA-Methode ist mit der Regressionskurve für die 95%-Perzentile aus den Fahrverhaltensdaten nahezu identisch. Die Regressionskurve für Vollastbeschleunigungen im 3. Gang liegt deutlich höher. Es ist also zu erwarten, dass der überwiegende Teil der Pkw nach der ACEA-Methode im 3. und 4. Gang gemessen werden muss.

Wenn in zwei Getriebestufen gemessen werden muss, werden die Ergebnisse der Vollastbeschleunigung wie auch der Konstantfahrt entsprechend dem Abstand der Beschleunigungswerte zur Zielbeschleunigung gewichtet gemittelt.

Aus den so erhaltenen, charakteristischen Werten für Vollastbeschleunigung und Konstantfahrt wird ein Gesamtergebnis bestimmt, das sich wie folgt berechnet:

$$L_{\text{urban}} = L_{\text{wot}} - k_p \cdot (L_{\text{wot}} - L_{\text{cst}}) \quad \text{Gleichung 11}$$

L_{urban} – Testergebnis,

L_{wot} – Ergebnis der Geräuschmessung(en) bei Vollastbeschleunigung,

L_{cst} – Ergebnis der Geräuschmessung(en) bei Konstantfahrt

Der Wichtungsfaktor k_p wird nach folgender Formel bestimmt:

$$k_p = 1 - a_{\text{urban}}/a_{\text{wot_target}} \quad \text{Gleichung 12}$$

a_{urban} – Beschleunigungswert für Stadtverkehr (nach Bild 157),

$a_{\text{wot_target}}$ – Zielbeschleunigung für die Vollastbeschleunigungen

Wie die Zielbeschleunigungen sind auch die Beschleunigungswerte für den Stadtverkehr abhängig vom Leistungsgewicht und ebenfalls in Bild 157 angegeben. Sie entsprechen in ihrem Niveau dem Betrieb auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen mit hoher Verkehrsbelastung.

Zielsetzung des ACEA-Vorschlags ist die Approximation des Geräuschwertes, der im praktischen Betrieb bei den o.g. Beschleunigungswerten unter Teillast auftritt.

Für Motorräder ist ein ähnlicher Ansatz in der Entwicklung, wobei die Beschleunigungskurven noch nicht definiert sind. Daher wurden hier für Motorräder dieselben Kurven wie für Pkw verwendet.

Die zur Ermittlung der Getriebestufe für die in diesem Vorhaben untersuchten Fahrzeuge notwendigen Kenngrößen sind in Tabelle 65 zusammengestellt. Die N1 Fahrzeuge sind nach ACEA-Vorschlag mit halber Nutzlast beladen zu messen. Die in diesem Vorhaben durchgeführten Geräuschmessungen waren aber mit leerem Fahrzeug erfolgt. Daher wurden die gemessenen Beschleunigungswerte um den Faktor (Leermasse + 75 kg)/(Leermasse + 50% Nutzlast) verringert. Diese Werte sind in der Tabelle angegeben. Es sei besonders hervorgehoben, dass das leistungsstärkste Fahrzeug im 4. Gang gemessen wird.

Für schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3) stimmt die ACEA-Methode weitgehend mit dem FiGE-Vorschlag überein. Es wird eine Vollastbeschleunigung durchgeführt, bei der die Geschwindigkeit am Ende der Messstrecke (BB') 30 km/h +/- 5 km/h beträgt. Die Getriebestufe wird so gewählt, dass die auf die Nenndrehzahl normierte Drehzahl am Ende der Messstrecke folgende Werte erreicht:

N2-Fahrzeuge	70% bis 74%
N3 Fahrzeuge	85% bis 89%

Die Drehzahlzielwerte wurden aus Fahrverhaltensdaten abgeleitet.

Die Messung wird mit beladenem Fahrzeug durchgeführt, um Beschleunigungswerte und Reifenbelastungen möglichst praxisnah zu halten.

		power to mass ratio	a_wot_target	min	max	a_urban	a_wot in m/s ² (measured)				
vehicle cat	vehicle	kW/t	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	gear 2	gear 3	gear 4	gear_i, ACEA	gear_i+1, ACEA
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	1.25	1.19	1.31	0.99	2.24	1.31	0.92	3	
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	1.69	1.61	1.78	1.19	3.74	2.33	1.63	4	
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	1.53	1.45	1.61	1.12	2.36	1.56	1.09	3	
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	1.10	1.05	1.16	0.92	1.95	1.51	0.95	3	4
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	1.39	1.32	1.46	1.05	2.22	1.37	0.93	3	
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	1.21	1.15	1.27	0.96	2.06	1.32	0.90	3	4
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	1.05	1.00	1.10	0.89	1.88	1.23	0.82	3	4
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	1.19	1.14	1.25	0.96	1.44	1.08		2	3
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	1.13	1.07	1.18	0.93	1.76	1.17		3	
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	1.17	1.11	1.23	0.95	1.78	1.13		3	
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	1.53	1.46	1.61	1.12	2.59	1.78	1.23	3	4
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	0.98	0.93	1.03	0.85	0.87	1.08	0.65	3	
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	1.24	1.18	1.30	0.98	1.97	0.87	0.50	2	3
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	1.41	1.34	1.48	1.06	2.28	1.50	0.85	3	4
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	2.22	2.11	2.33	1.44	3.45	2.44	1.66	3	4
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	1.56	1.48	1.63	1.13	2.52	1.91	1.73	4	
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	2.08	1.97	2.18	1.37	4.24	2.90	2.17	4	
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	1.71	1.62	1.79	1.20	2.26	2.77	2.04	4	
N1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	0.92	0.88	0.97	0.82	0.74	0.91	0.55	3	
N1	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	0.82	0.78	0.86	0.77	0.54	0.74	0.40	2	3
N1	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	0.85	0.81	0.89	0.78	0.56	0.73	0.47	2	3
N1	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	0.92	0.88	0.97	0.82	0.66	1.01	0.53	3	4

Tabelle 65: Beschleunigungswerte zur Ermittlung der Gangwahl für die ACEA-Methode bei Pkw, Motorrädern und leichten Nutzfahrzeugen für eine Geschwindigkeit von 50 km/h

Zum Vergleich sollten auch N1-Fahrzeuge nach diesem Ansatz beurteilt werden, für die folgende Drehzahlen festgelegt wurden:

N1-Fahrzeuge	60% bis 64%
---------------------	--------------------

4.5.2.3 Modifizierter FiGE-Vorschlag

Die nachstehenden Ausführungen betreffen keine schweren Nutzfahrzeuge, weil für diese modifizierter FiGE-Vorschlag und ACEA-Methode identisch sind.

Wie schon erwähnt, legt der FiGE-Vorschlag eine Zielbeschleunigung fest, die bei der Geräuschmessung unter Volllast erreicht werden muss. Da die Beschleunigungswerte im praktischen Betrieb mit dem Leistungsgewicht ansteigen, ist auch die Zielbeschleunigung abhängig vom Leistungsgewicht festgelegt. Die Geräuschmessung wird dann in der Getriebestufe durchgeführt, bei der die Zielbeschleunigung mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ erreicht wird. Ist dies in keiner Getriebestufe möglich, so wird in zwei Getriebestufen gemessen, der höchsten, in der die Zielbeschleunigung übertroffen wird, und der niedrigsten, in der die Zielbeschleunigung nicht mehr erreicht wird. Nach dem ursprünglichen FiGE-Vorschlag war die Beschleunigungskurve so gewählt, dass sie der Regressionskurve der Volllastbeschleunigungen im 3. Gang entsprach und zwischen den 95%-Perzentilen der Beschleunigungen im realen Betrieb bei 50 km/h bei durchschnittlicher und hochtouriger Fahrweise lag.

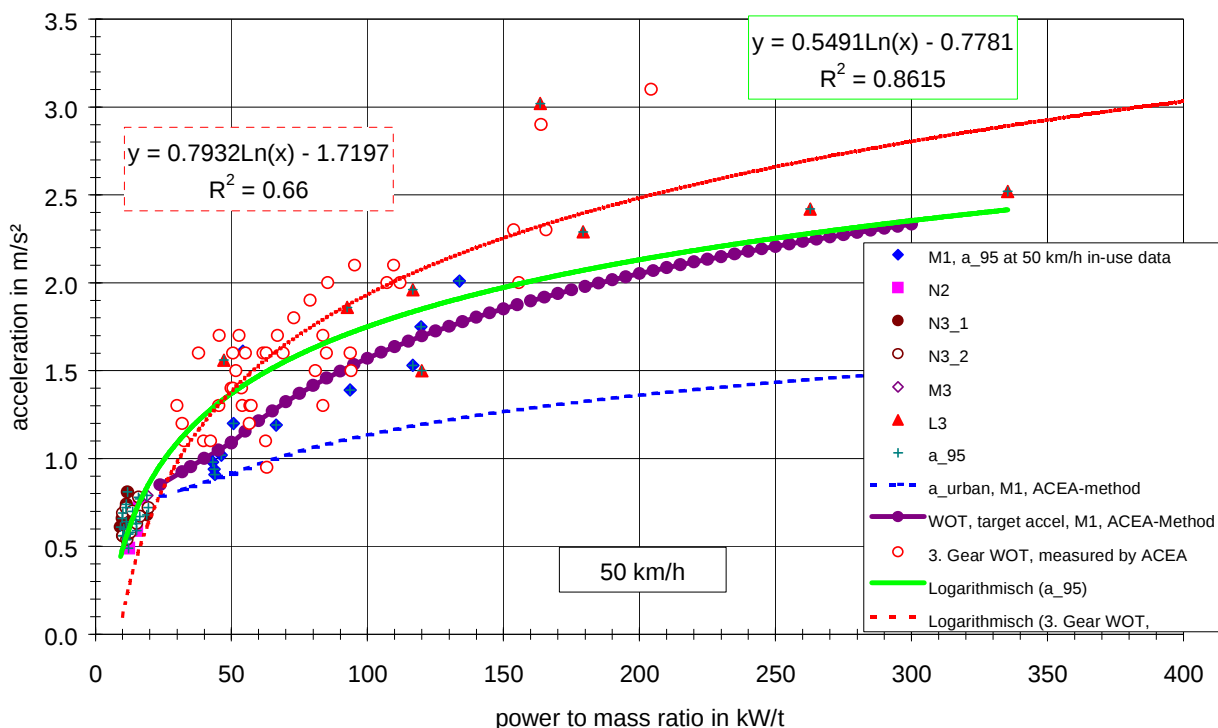


Bild 158: Zielbeschleunigung für Volllast (logarithmisch a_95) nach modifiziertem FiGE-Vorschlag im Vergleich zu 95%-Perzentilwerten der Fahrverhaltensdaten und Volllastbeschleunigungen im 3. Gang für Pkw (M1)

Um auch Motorräder und leichte Nutzfahrzeuge mit einbeziehen zu können, wurde eine neue hiervon abweichende Zielbeschleunigungskurve festgelegt, die in Bild 158 dargestellt ist. Sie entspricht der Regressionskurve der 95%-Perzentile der Beschleunigungen bei 50 km/h aller Fahrzeugkategorien (a_95), die aus allen verfügbaren Fahrverhaltensdaten ermittelt wurde. Für Leistungsgewichte unter 50 kW/t stimmt sie in etwa mit der Regressionskurve für Volllastbeschleunigungen von Pkw im 3. Gang überein, bei hohen Leistungsgewichten nähert sie sich der Zielbeschleunigung für Volllast der ACEA-Methode, dazwischen sind die Werte höher als bei der ACEA-Methode.

Die zur Ermittlung der Getriebestufe für die in diesem Vorhaben untersuchten Fahrzeuge notwendigen Kenngrößen sind in Tabelle 66 zusammengestellt. Die N1 Fahrzeuge sind wie nach ACEA-Vorschlag mit halber Nutzlast beladen zu messen. Die in diesem Vorhaben durchgeführten Geräuschmessungen waren aber mit leerem Fahrzeug erfolgt. Daher wurden die gemessenen Beschleunigungswerte um den Faktor $(\text{Leermasse} + 75 \text{ kg})/(\text{Leermasse} + 50\% \text{ Nutzlast})$ verringert. Diese Werte sind in der Tabelle angegeben.

Danach werden Pkw überwiegend im 2. und 3. Gang gemessen, lediglich das leistungsstärkste Fahrzeug wird im 3. und 4. Gang gemessen. Motorräder werden im 2. und 3. oder 3. und 4. Gang und leichte Nutzfahrzeuge im 3. gang oder im 3. und 4. Gang.

		power to mass ratio	a_wot_target	min	max	a_wot in m/s ² (measured)				
vehicle cat	vehicle	kW/t	m/s ²	m/s ²	m/s ²	gear 2	gear 3	gear 4	gear_i, FiGE	gear_i+1, FiGE
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	1.50	1.42	1.57	2.24	1.31	0.92	2	3
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	1.85	1.76	1.94	3.74	2.33	1.63	3	4
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	1.72	1.63	1.81	2.36	1.56	1.09	2	3
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	1.38	1.31	1.45	1.95	1.51	0.95	3	4
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	1.61	1.53	1.69	2.22	1.37	0.93	2	3
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	1.46	1.39	1.54	2.06	1.32	0.90	2	3
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	1.31	1.25	1.38	1.88	1.23	0.82	2	3
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	1.45	1.38	1.53	1.44	1.08		2	
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	1.40	1.33	1.47	1.76	1.17		2	3
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	1.44	1.36	1.51	1.78	1.13		2	3
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	1.72	1.63	1.81	2.59	1.78	1.23	3	
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	1.21	1.15	1.27	0.87	1.08	0.65	3	
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	1.49	1.41	1.56	1.97	0.87	0.50	2	3
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	1.62	1.54	1.71	2.28	1.50	0.85	2	3
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	2.27	2.15	2.38	3.45	2.44	1.66	2	3
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	1.74	1.65	1.83	2.52	1.91	1.73	2	3
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	2.15	2.04	2.26	4.24	2.90	2.17	3	4
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	1.86	1.77	1.95	2.26	2.77	2.04	3	4
N1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	0.92	0.88	0.97	0.74	0.91	0.55	3	
N1	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	0.69	0.65	0.72	0.54	0.74	0.40	3	4
N1	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	0.76	0.72	0.80	0.56	0.73	0.47	3	
N1	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	0.92	0.88	0.97	0.66	1.01	0.53	3	4

Tabelle 66: Beschleunigungswerte zur Ermittlung der Gangwahl für den modifizierten FiGE-Vorschlag bei Pkw, Motorrädern und leichten Nutzfahrzeugen für eine Geschwindigkeit von 50 km/h

4.5.2.4 Modifizierte ACEA-Vorschläge

Um die Ergebnisse des ACEA-Vorschlags mit einer Zielgeschwindigkeit von 30 km/h abschätzen zu können, wurden die Beschleunigungswerte (Zielbeschleunigung und Stadtverkehrswerte) gegenüber 50 km/h um 25% erhöht. Bei gleicher Beschleunigungsleistung hätte eine Erhöhung um 33% angesetzt werden müssen, es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass die verfügbare Leistung bei 30 km/h im selben Gang wegen der niedrigeren Drehzahlen niedriger ist als bei 50 km/h. Die zur Wahl der Getriebestufen notwendigen Angaben können Tabelle 67 entnommen werden. Diese Methode wird im folgenden mit „ACEA – Modifikation 1“ bezeichnet.

Eine zweite Modifikation bestand darin, für die Zielgeschwindigkeit von 50 km/h die Zielbeschleunigungen für Vollast aus dem modifizierten FiGE-Vorschlag zu verwenden. Die Wahl der Getriebestufe sowie die Ergebnisse der Vollastbeschleunigung(en) sind dann mit letzterem identisch, jedoch wird zusätzlich die Konstantfahrt berücksichtigt. Die Stadtfahrbeschleunigungskurve wurde nicht verändert. Diese Methode wird im folgenden mit „ACEA – Modifikation 2“ bezeichnet.

		power to mass ratio	a_wot_target	min	max	a_urban	a_wot in m/s ² (measured)				
vehicle cat	vehicle	kW/t	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	gear 2	gear 3	gear 4	gear_i, ACEA	gear_i+1, ACEA
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	1.56	1.49	1.64	1.23	2.04	1.23		2	3
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	2.12	2.01	2.22	1.49	3.42	2.12		3	
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	1.91	1.82	2.01	1.40	2.25	1.28		2	3
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	1.38	1.31	1.45	1.14	2.09	1.36		3	
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	1.73	1.65	1.82	1.31	2.21	1.07		2	3
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	1.51	1.43	1.58	1.21	1.97	1.19		2	3
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	1.31	1.24	1.38	1.11	1.96	1.21		2	3
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	1.49	1.42	1.57	1.20	1.83	1.30		2	3
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	1.41	1.34	1.48	1.16	1.76	1.17		2	3
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	1.46	1.39	1.54	1.19	1.66	1.05		2	3
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	1.91	1.82	2.01	1.40	2.37	1.65		2	3
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	1.22	1.16	1.28	1.07	1.89	1.20		3	
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	1.55	1.47	1.62	1.22	1.62	0.82		2	
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	1.76	1.67	1.85	1.33	2.20	1.26		2	3
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	2.78	2.64	2.92	1.80	2.93	1.57		2	3
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	1.94	1.85	2.04	1.41	3.25	2.35	1.90	3	4
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	2.60	2.47	2.73	1.72	3.89	2.77	2.37	3	4
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	2.14	2.03	2.24	1.50	1.76	2.63	1.97	3	4
N1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	1.16	1.10	1.21	1.03	1.60	1.01		2	3
N1	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	1.03	0.98	1.08	0.96	1.10	0.65		2	3
N1	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	1.06	1.01	1.12	0.98	1.10	0.59		2	
N1	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	1.16	1.10	1.21	1.03	1.59	0.90		2	3

Tabelle 67: Beschleunigungswerte zur Ermittlung der Gangwahl für die ACEA-Methode bei Pkw, Motorrädern und leichten Nutzfahrzeugen für eine Geschwindigkeit von 30 km/h

Eine dritte Modifikation bestand darin, dass für die Vollastbeschleunigung analog zu den schweren Nutzfahrzeugen eine Enddrehzahl $n_{BB'}$ festgelegt wird und das Ergebnis statt mit dem Ergebnis einer Konstantfahrt mit dem Ergebnis einer Rollgeräuschmessung bei 50 km/h kombiniert wird. Durch die Vollastbeschleunigung sollten die Antriebsgeräuschspitzen von Beschleunigungsvorgängen im realen Betrieb repräsentiert werden. Deshalb wurde aus den Fahrverhaltensdaten aus [1] eine Regressionskurve für das 95% Perzentil der Motordrehzahlen in demjenigen Geschwindigkeitsbereich bestimmt, in dem Beschleunigungsvorgänge besonders häufig auftreten. Diese Regressionskurve, die eine Funktion des Leistungsgewichts ist, wurde für die Bestimmung von $n_{BB'}$ herangezogen. Diese Methode wird im folgenden mit „ACEA – Modifikation 3“ bezeichnet.

4.5.3 Ergebnisse

Mit Ausnahmen des derzeit gültigen Typprüfverfahrens, bei dem die Messergebnisse verwendet wurden, wurden die pegelwerte für alle übrigen Vorschläge in analoger Weise aus der Geräuschmodellierung bestimmt wie die Geräuschpegel für den praktischen Betrieb. Für die so erhaltenen Werte wird nicht der Anspruch hoher Genauigkeit erhoben, jedoch lassen sich Trends, Rollgeräuscheinflüsse, Drehzahlbereiche u.ä. gut abschätzen. Es muss noch erwähnt werden,

dass für die N2 Fahrzeuge in beiden Fällen Längsprofilreifen auf der Antriebsachse angesetzt wurden.

4.5.3.1 Derzeit gültiges Typprüfverfahren

Die Messergebnisse nach dem derzeit gültigen Typprüfverfahren sind in Bild 159 dem Geräuschkennwert für den Stadtbetrieb nach Abschnitt 4.5.1 gegenübergestellt. Für Pkw, Motorräder und leichte Nutzfahrzeuge sind die Messergebnisse nach dem Typprüfverfahren noch einmal in Tabelle 68 zusammengestellt. Wie bereits erwähnt, beträgt der mittlere Rollgeräuscheinfluss bei Stand der Technik Pkw 33%, was bedeutet, dass das Rollgeräusch im Mittel nur 3 dB(A) unter dem Antriebsgeräusch liegt.

M1, N1 und N2-Fahrzeuge folgen in Bild 159 in etwa dem gleichen Trend und zeigen bessere Korrelation mit den Emissionen im praktischen Betrieb als erwartet. Demgegenüber werden Motorräder vom Typprüfverfahren zu schlecht, N3 Fahrzeuge zu gut beurteilt. Letzteres liegt daran, dass für die Emissionen des praktischen Betriebs Anhänger bzw. Sattelaufleger, im Messverfahren aber nur das Fahrzeug berücksichtigt wurden. Die Spannweite der Emissionen ist im Typprüfverfahren größer als im praktischen Betrieb.

Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass das Typprüfverfahren ausschließlich den Volllastzustand beurteilt, während in der Praxis überwiegend Teillastzustände auftreten. Hoher Lasteinfluss wirkt sich daher im Messverfahren stärker aus als in der Praxis.

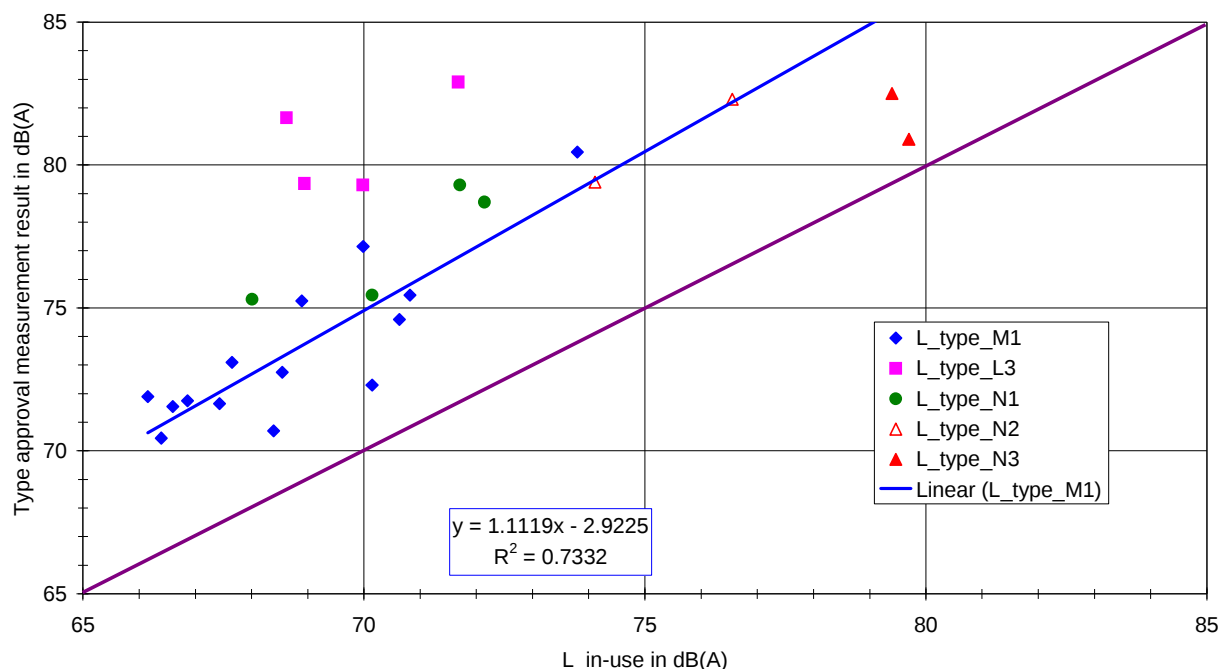


Bild 159: Gegenüberstellung der Messergebnisse nach derzeitigem Typprüfverfahren und der Emissionspegel des praktischen Betriebs

vehicle cat	vehicle	Results of type approval method in dB(A)			rolling noise level in dB(A)			p_roll
		2. Gear	3. Gear	Test result	2. Gear	3. Gear	Test result, rolling noise	
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	77.3	71.9	74.6	70.8	69.6	70.2	36.5%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	83.7	72.3	72.3	70.4	68.1	68.1	37.6%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	78.3	72.2	75.3	66.9	66.1	66.5	13.3%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	72.4	71.1	71.8	67.0	66.2	66.6	30.7%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	71.8	69.1	70.5	66.8	66.7	66.7	42.6%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	75.5	70.0	72.8	64.0	63.8	63.9	13.0%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	73.9	69.2	71.6	67.5	67.0	67.3	37.3%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	75.3	70.9	73.1	67.6	67.0	67.3	26.4%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	79.9	74.4	77.2	66.3	65.6	66.0	7.6%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	84.0	76.9	80.5	69.9	68.6	69.3	7.6%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	73.7	69.6	71.7	67.8	66.4	67.1	35.1%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	76.9	74.0	75.5	66.2	69.4	67.8	17.2%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	71.6	69.8	70.7	69.8	68.0	68.9	65.9%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	74.9	68.9	71.9	68.2	67.0	67.6	37.2%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	81.6	77.1	79.4				
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	83.7	79.6	81.7				
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	83.5	82.3	82.9				
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	80.4	78.2	79.3				
N1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	76.9	74.0	75.5	66.2	69.4	67.8	17.2%
N1	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	81.1	77.5	79.3	67	67.3	67.15	6.1%
N1	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	80.9	76.5	78.7	66.2	66.7	66.45	6.0%
N1	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	77.7	72.9	75.3	68.8	68.7	68.75	22.1%

Tabelle 68: Ergebnisse nach derzeit gültiger Typprüfmethode für Pkw, Motorräder und leichte Nutzfahrzeuge

4.5.3.2 ACEA-Methode

Da die ACEA-Methode die in der Praxis bei Teillastbeschleunigungen auftretenden Geräuschemissionen approximieren soll, kann man erwarten, dass die Ergebnisse nach diesem Verfahren stärker mit dem Geräuschkennwert des praktischen Betriebs korrelieren als die Ergebnisse nach dem Typprüfverfahren. Bild 160 zeigt, dass dies auch der Fall ist, wobei die Korrelation nicht sehr viel besser ist als beim Typprüfverfahren. Allerdings zeigt Bild 160 auch, dass die ACEA-Methode die verschiedenen Fahrzeugkategorien wesentlich einheitlicher bewertet als das derzeitige Typprüfverfahren. Auch stimmt die Bandbreite der Ergebnisse bei den Pkw besser mit der Bandbreite der Emissionen des praktischen Betriebs überein.

Zahlenmäßig sind die Ergebnisse nach der ACEA-Methode in Tabelle 69 und Tabelle 70 zusammengestellt. Für Stand der Technik Pkw ist der Rollgeräuscheinfluss mit im Mittel 58% deutlich höher als für den Geräuschkennwert des praktischen Betriebs, er kann im Extremfall sogar 80% betragen, was bedeutet, dass das Gesamtergebnis nur 1 dB(A) über dem Rollgeräuschpegel liegt. Das Verfahren beurteilt also für Pkw das Rollgeräusch stärker als das Antriebsgeräusch.

Ermittlung des weiteren Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen

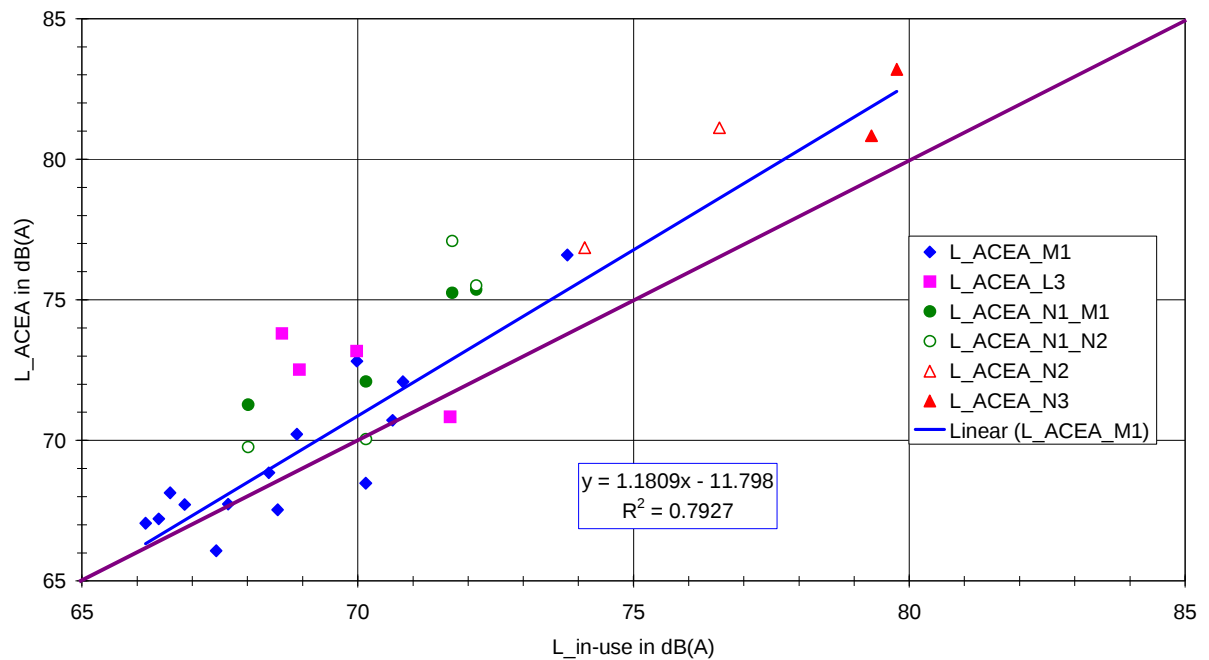


Bild 160: Gegenüberstellung der Messergebnisse nach ACEA-Methode (bei 50 km/h) und der Emissionspegel des praktischen Betriebs

vehicle cat	vehicle	kp	Results of ACEA-Method at 50 km/h in dB(A)			Lroll dB(A)	p_roll
			Lcst	Lwot	Lurban		
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	21.2%	68.7	70.6	70.2	68.0	59.8%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	29.6%	66.5	68.6	68.0	65.8	60.6%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	27.0%	65.5	70.8	69.4	64.6	33.1%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	16.9%	65.3	68.3	67.8	64.6	48.8%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	24.4%	65.6	67.1	66.7	65.0	67.6%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	20.0%	63.3	67.1	66.4	62.2	38.1%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	14.9%	66.2	67.7	67.5	65.5	63.3%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	19.7%	68.9	69.6	69.4	65.7	42.4%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	17.8%	67.3	73.2	72.2	64.6	17.4%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	19.1%	70.6	75.7	74.7	68.0	21.5%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	27.1%	65.4	65.9	65.8	64.9	81.2%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	12.7%	70.8	72.6	72.4	68.4	39.9%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	20.9%	68.3	68.6	68.5	67.1	72.6%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	24.8%	65.7	66.6	66.4	65.3	77.1%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	35.2%	66.3	75.1	72.0		
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	27.5%	65.7	77.1	74.0		
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	33.9%	63.3	74.1	70.5		
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	29.8%	64.9	76.7	73.2		
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	10.8%	70.8	72.6	72.4	68.4	39.6%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	6.5%	78.7	81.7	81.5	66.3	3.0%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	7.8%	76.0	77.8	77.7	65.6	6.2%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	10.8%	69.2	71.4	71.1	67.7	45.2%
N1 as (N2, N3)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),			70.0	70.0	63.4	21.8%
N1 as (N2, N3)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),			77.1	77.1	61.7	2.9%
N1 as (N2, N3)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),			75.5	75.5	60.0	2.8%
N1 as (N2, N3)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),			69.8	69.8	62.0	16.7%
N2	veh 21, 125 kW, 78 dB(A), 1996			76.9	76.9	62.5	3.7%
N2	veh 22, 320 kW, 80 dB(A), 1995			81.1	81.1	62.5	1.4%
N3	veh 23, 290 kW, 80 dB(A), 1997			83.0	83.0	67.8	3.0%
N3	veh 25, 125 kW, 84 dB(A), 1990			80.4	80.4	67.9	5.5%

Tabelle 69: Ergebnisse nach ACEA-Methode bei 50 km/h

vehicle cat	vehicle	power to	gear_i, ACEA	gear_i+1, ACEA	(n test - n idle)/(s - n-idle)			n_95, in-use
		mass ratio kW/t			gear 2	gear 3	gear 4	
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	3		60.4%	32.8%	19.0%	47.1%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	4		48.5%	25.5%	15.7%	38.5%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	3		51.0%	27.3%	15.5%	41.5%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	3	4	63.4%	33.9%	21.8%	50.4%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	3		49.4%	26.0%	14.3%	44.2%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	3	4	52.6%	28.7%	16.7%	48.1%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	3	4	70.0%	38.7%	25.8%	52.3%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	2	3	61.0%	33.3%	21.9%	48.3%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	3		64.6%	34.1%	21.5%	49.8%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	3		70.6%	38.4%	25.1%	48.8%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	3	4	41.0%	22.0%	12.5%	41.4%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	3		126.0%	65.9%	36.4%	55.5%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	2	3	56.9%	29.5%	15.8%	47.4%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	3	4	56.6%	30.8%	17.9%	43.8%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	3	4	33.7%	25.1%	19.3%	30.3%
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	4		67.6%	47.5%	35.2%	41.0%
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	4		39.6%	25.4%	18.0%	32.3%
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	4		52.8%	38.7%	24.0%	38.2%
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	3		126.0%	65.9%	36.4%	58.5%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	2	3	90.7%	52.5%	26.9%	67.0%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	2	3	93.1%	52.7%	33.8%	64.1%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	3	4	121.6%	63.3%	34.6%	58.5%

Tabelle 70: Gangwahl und normierte Drehzahlen nach ACEA-Methode bei 50 km/h

Eine gleich gute Korrelation wie beim Gesamtergebnis zeigt sich für Pkw auch zwischen den energetischen Mittelwerten des praktischen Betriebs und den Konstantfahrtergebnisse nach ACEA-Methode (Bild 161), während die ACEA-Ergebnisse der Volllastbeschleunigungen deutlich schlechter mit den 95%-Perzentilen des praktischen Betriebs korrelieren (Bild 162).

Ein wesentlicher Grund hierfür ist die Tatsache, dass die Drehzahlen der ACEA-Methode deutlich niedriger sind als die 95%-Perzentile der Drehzahlen im praktischen Betrieb, was aus Tabelle 70 ersichtlich wird. Wenn man dort z.B. für diejenigen Pkw, die nur in einem Gang getestet werden, die normierten Drehzahlen im Test mit den 95%-Perzentilen des praktischen Betriebs vergleicht, stellt man fest, dass letztere im Mittel um 17,5% des nutzbaren Drehzahlbereichs höher liegen als im ACEA-Messverfahren. Die Drehzahlen des praktischen Betriebes wurden mit Hilfe der Regressionsfunktion für alle Fahrzeugkategorien aus Bild 163 bestimmt.

Der Grund für die niedrigen Drehzahlen ist wiederum in den niedrigen Zielbeschleunigungen zu suchen, die ja bereits in Abschnitt 4.5.2.2 angesprochen wurden.

Es muss noch nachgetragen werden, dass die leichten Nutzfahrzeuge in den genannten Tabellen wie auch in den Bildern doppelt berücksichtigt sind. Die mit „N1 (as M1)“ bezeichneten Werte repräsentieren den derzeitigen Stand der ACEA Methode, die mit „N1 (as N2, N3)“ bezeichneten Werte repräsentieren Werte, die in Anlehnung an das Verfahren für n“ und N3 Fahrzeuge bestimmt wurden, allerdings mit Drehzahlen von 60% der Nenndrehzahl. Letztere fügen sich besser in das Gesamtbild, so dass empfohlen wird, das Verfahren für N1 Fahrzeuge in das für N2 und N3 Fahrzeuge zu integrieren.

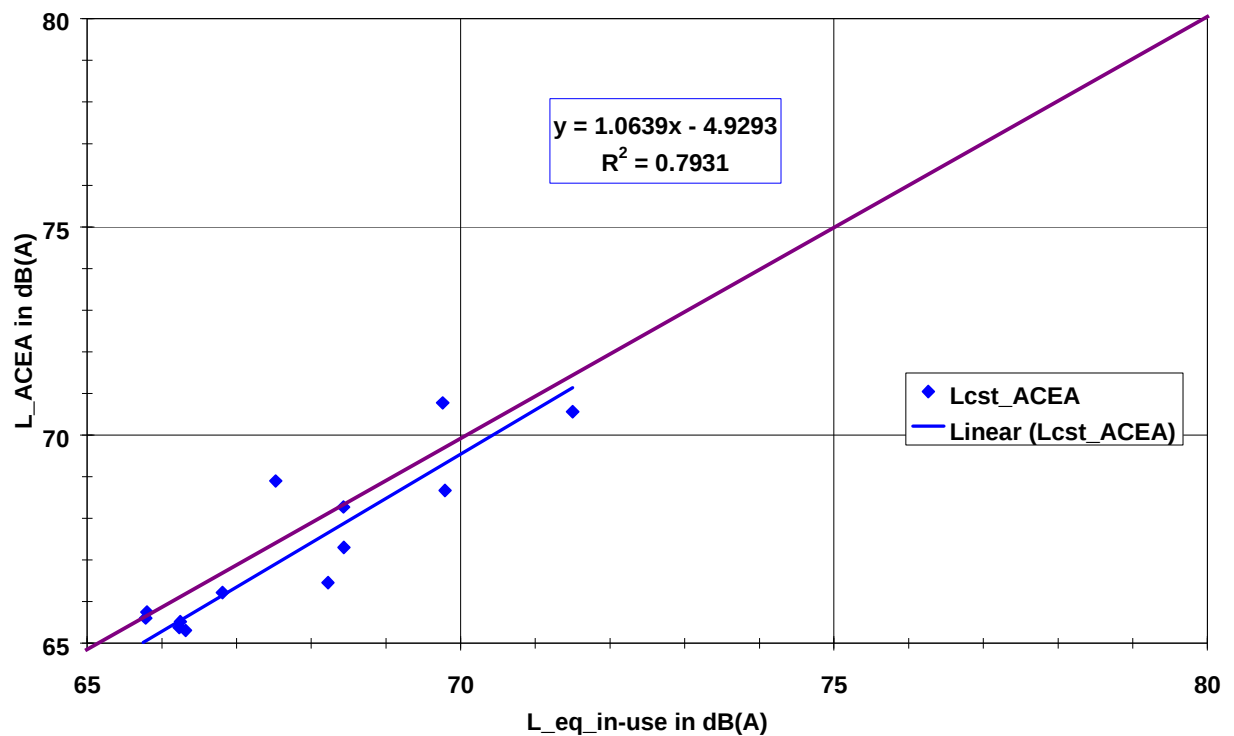


Bild 161: Gegenüberstellung der Messergebnisse bei Konstantfahrt nach ACEA-Methode (bei 50 km/h) und der energetischen Mittelwerte des praktischen Betriebs

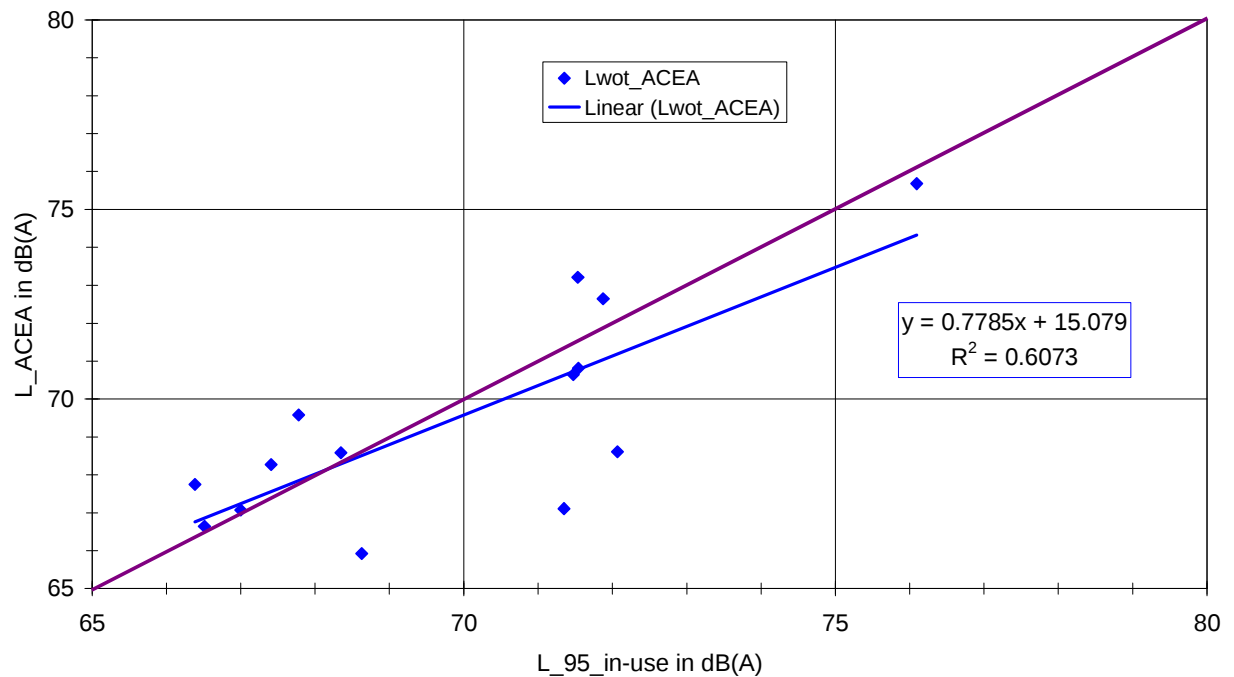


Bild 162: Gegenüberstellung der Messergebnisse bei Vollastbeschleunigung nach ACEA-Methode (bei 50 km/h) und der energetischen Mittelwerte des praktischen Betriebs

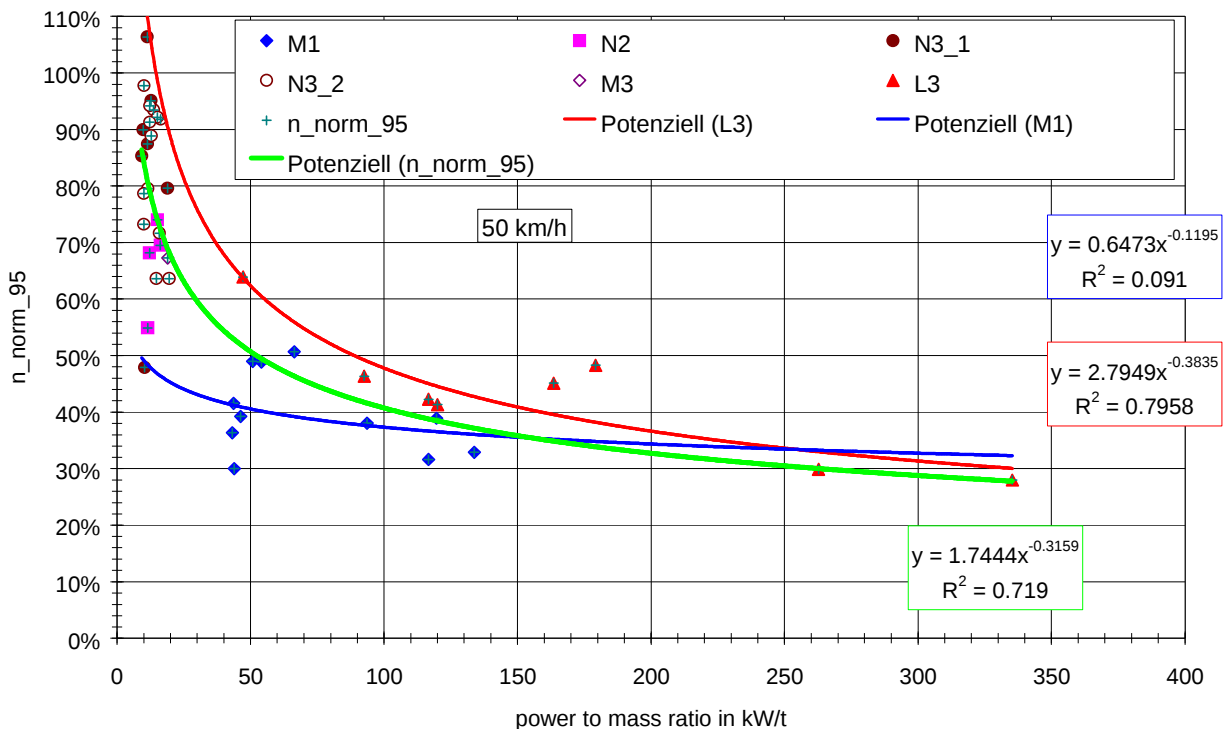


Bild 163: 95%-Perzentile der normierten Drehzahlen $(n - n_{idle})/(s - n_{idle})$ für Beschleunigungsvorgänge im praktischen Betrieb ($a \geq 0,3 \text{ m/s}^2$) bei 50 km/h in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht

4.5.3.3 Modifizierter FiGE-Vorschlag

Da die Ergebnisse nach modifiziertem FiGE-Vorschlag für N2 und N3 Fahrzeuge wie auch für N1 Fahrzeuge, die nach N2, N3 Methodik gemessen werden, mit dem ACEA-Vorschlag übereinstimmen, soll auf diese hier nicht weiter eingegangen werden. Es sei auf den vorherigen Abschnitt verwiesen. Für die übrigen Fahrzeuge sind die Zahlenwerte in Tabelle 71 und Tabelle 72 zusammengestellt. Der mittlere Rollgeräuscheinfluss beträgt für Stand der Technik Pkw 46% und liegt damit nahe am mittleren Wert für den Geräuschkennwert des praktischen Betriebs.

Da bei diesem Vorschlag keine Konstantfahrt berücksichtigt wird und die Zielbeschleunigungen höher sind als nach der ACEA-Methode, ist der Korrelationskoeffizient immer noch geringer als bei der ACEA-Methode (Bild 164).

Die wesentlichen Gründe für dieses schlechte Ergebnis sind darin zu suchen, dass die Rollgeräuscheinflüsse zwischen modifiziertem FiGE-Vorschlag und Geräuschkennwert des praktischen Betriebs starke Unterschiede aufweisen können (Bild 165) und dass die 95%-Perzentile beim Antriebsgeräusch stärker an Drehzahlen orientiert sind als an Geschwindigkeiten.

Insgesamt gesehen kann man also feststellen, dass der modifizierte FiGE-Vorschlag nicht zielführender ist als die ACEA-Methode.

vehicle cat	vehicle	Lwot in dB(A)	Lroll in dB(A)	p_roll
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	71.4	68.0	46.1%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	69.3	65.8	45.0%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	71.9	64.6	18.5%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	68.6	64.6	39.9%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	67.7	65.0	53.6%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	68.9	62.2	21.3%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	68.7	65.5	48.2%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	67.9	65.7	60.3%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	74.3	64.6	10.6%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	78.2	68.0	9.6%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	66.3	64.9	72.1%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	72.6	68.4	37.8%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	69.0	67.1	65.7%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	67.5	65.3	60.6%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	75.1		
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	77.2		
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	74.1		
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	76.7		
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	72.6	68.4	37.8%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	76.5	66.3	9.6%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	76.0	65.6	9.2%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	72.0	67.7	37.3%

Tabelle 71: Ergebnisse nach modifiziertem FiGE-Vorschlag

vehicle cat	vehicle	power to	gear_i, FiGE	gear_i+1, FiGE	(n_test - n_idle) / (s - n-idle)			n_95, in-use
		mass ratio			gear 2	gear 3	gear 4	
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	2	3	60.4%	32.8%	19.0%	47.1%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	3	4	48.5%	25.5%	15.7%	38.5%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	2	3	51.0%	27.3%	15.5%	41.5%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	3	4	63.4%	33.9%	21.8%	50.4%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	2	3	49.4%	26.0%	14.3%	44.2%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	2	3	52.6%	28.7%	16.7%	48.1%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	2	3	70.0%	38.7%	25.8%	52.3%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	2		61.0%	33.3%	21.9%	48.3%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	2	3	64.6%	34.1%	21.5%	49.8%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	2	3	70.6%	38.4%	25.1%	48.8%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	3		41.0%	22.0%	12.5%	41.4%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	3		126.0%	65.9%	36.4%	55.5%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	2	3	56.9%	29.5%	15.8%	47.4%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	2	3	56.6%	30.8%	17.9%	43.8%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	3	4	33.7%	25.1%	19.3%	30.3%
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	3	4	67.6%	47.5%	35.2%	41.0%
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	3	4	39.6%	25.4%	18.0%	32.3%
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	4		52.8%	38.7%	24.0%	38.2%
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	3		126.0%	65.9%	36.4%	58.5%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	3	4	90.7%	52.5%	26.9%	67.0%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	3		93.1%	52.7%	33.8%	64.1%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	3	4	121.6%	63.3%	34.6%	58.5%

Tabelle 72: Gangwahl und normierte Drehzahlen nach modifiziertem FiGE-Vorschlag

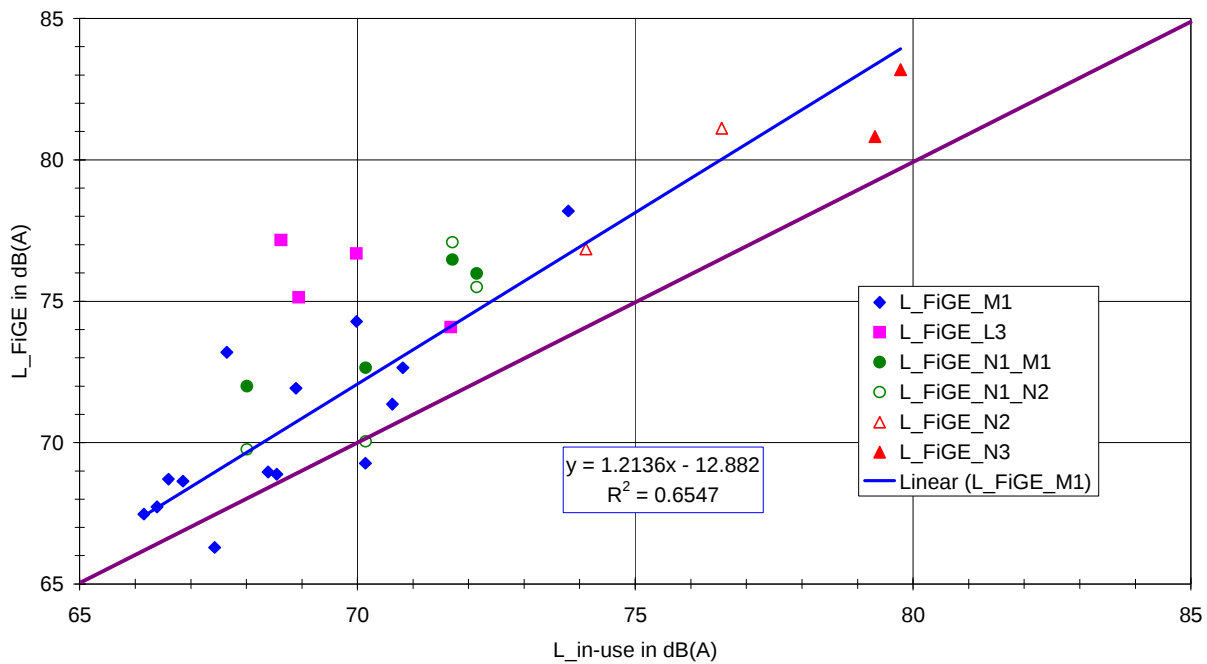


Bild 164: Gegenüberstellung der Messergebnisse nach modifiziertem FiGE-Vorschlag und dem Geräuschkennwert des praktischen Betriebs

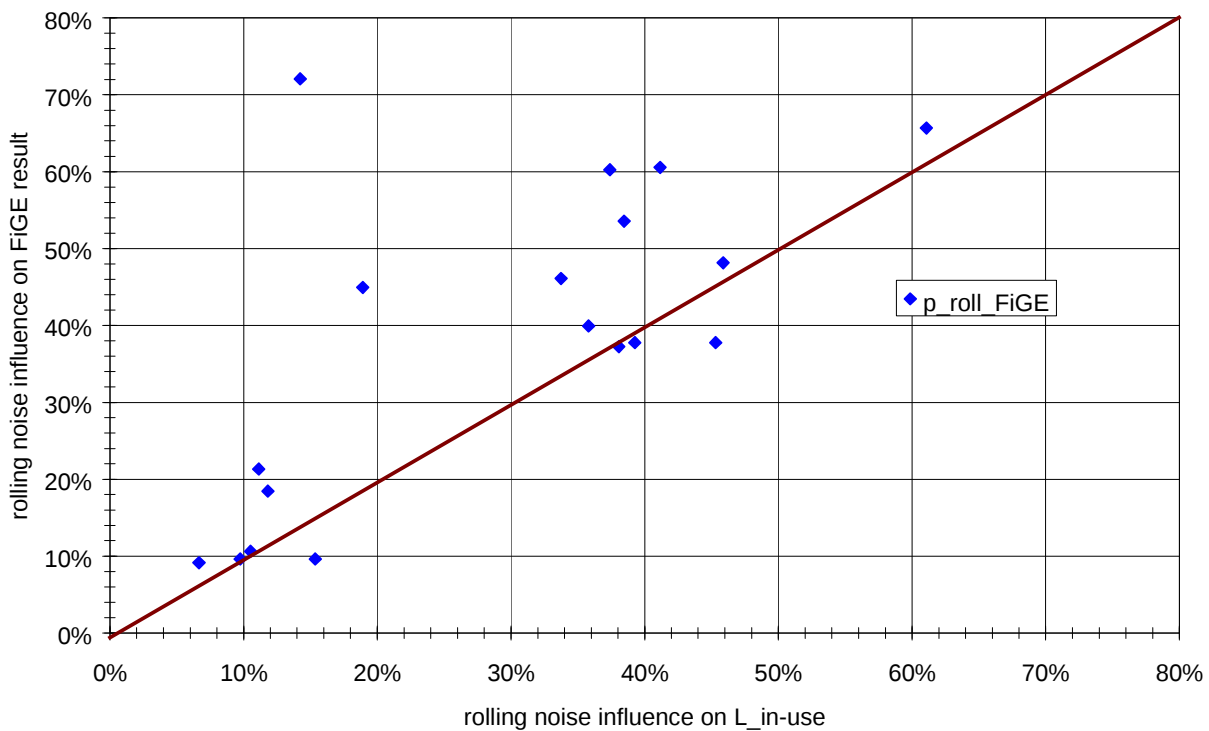


Bild 165: Gegenüberstellung der Rollgeräuscheinflüsse beim modifizierten FiGE-Vorschlag und beim Geräuschkennwert des praktischen Betriebs

4.5.3.4 ACEA – Modifikation 1

Als weitere Modifikation wurde die ACEA-Methode auf eine Zielgeschwindigkeit von 30 km/h angewandt. Die dazu notwendigen Änderungen sind in Abschnitt 4.5.2.4 beschrieben. Die entsprechenden Zahlenwerte sind in Tabelle 73 und Tabelle 74 zusammengestellt. Bild 166 zeigt die Gegenüberstellung mit den Geräuschkennwerten des praktischen Betriebs. Die Korrelation ist eher etwas schlechter als bei einer Zielgeschwindigkeit von 50 km/h.

vehicle cat	vehicle	kp	Results of ACEA-Method at 30 km/h in dB(A)			Lroll	
			Lcst	Lwot	Lurban	dB(A)	p_roll
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	21.2%	61.9	66.0	65.1	60.3	33.1%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	29.6%	59.7	62.8	61.9	58.1	42.1%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	27.0%	59.6	67.9	65.7	57.2	14.3%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	16.9%	58.5	64.7	63.6	57.6	25.0%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	24.4%	59.5	62.8	62.0	57.8	37.9%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	20.0%	57.6	63.6	62.4	54.9	17.6%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	14.9%	58.8	62.3	61.8	56.9	32.5%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	19.7%	61.1	62.2	61.9	58.2	41.7%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	17.8%	62.5	71.3	69.7	58.1	6.8%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	19.1%	66.4	73.3	72.0	61.2	8.3%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	27.1%	59.3	60.5	60.1	57.9	60.1%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	12.7%	62.9	66.4	66.0	61.3	34.0%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	20.9%	61.3	61.8	61.7	60.1	68.9%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	24.8%	59.4	61.2	60.8	58.2	54.6%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	35.2%	64.0	73.3	70.0		
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	27.5%	60.3	74.6	70.7		
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	33.9%	60.2	71.8	67.9		
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	29.8%	61.5	74.8	70.8		
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	10.8%	63.8	67.6	67.2	61.3	25.5%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	6.5%	67.9	73.3	72.9	59.7	4.7%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	7.8%	68.2	71.2	70.9	57.5	4.6%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	10.8%	63.2	67.7	67.3	59.5	16.9%

Tabelle 73: Ergebnisse nach ACEA – Modifikation 1

vehicle cat	vehicle	power to	gear_i, ACEA	gear_i+1, ACEA	(n_test - n_idle)/(s - n-idle)			n_95, in-use
		mass ratio kW/t			gear 2	gear 3	gear 4	
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	2	3	60.4%	32.8%	19.0%	47.1%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	3		48.5%	25.5%	15.7%	38.5%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	2	3	51.0%	27.3%	15.5%	41.5%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	3		63.4%	33.9%	21.8%	50.4%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	2	3	49.4%	26.0%	14.3%	44.2%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	2	3	52.6%	28.7%	16.7%	48.1%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	2	3	70.0%	38.7%	25.8%	52.3%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	2	3	61.0%	33.3%	21.9%	48.3%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	2	3	64.6%	34.1%	21.5%	49.8%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	2	3	70.6%	38.4%	25.1%	48.8%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	2	3	41.0%	22.0%	12.5%	41.4%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	3		126.0%	65.9%	36.4%	55.5%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	2		56.9%	29.5%	15.8%	47.4%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	2	3	56.6%	30.8%	17.9%	43.8%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	2	3	33.7%	25.1%	19.3%	30.3%
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	3	4	67.6%	47.5%	35.2%	41.0%
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	3	4	39.6%	25.4%	18.0%	32.3%
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	3	4	52.8%	38.7%	24.0%	38.2%
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	2	3	126.0%	65.9%	36.4%	58.5%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	2	3	90.7%	52.5%	26.9%	67.0%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	2		93.1%	52.7%	33.8%	64.1%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	2	3	121.6%	63.3%	34.6%	58.5%

Tabelle 74: Gangwahl und normierte Drehzahlen nach ACEA – Modifikation 1

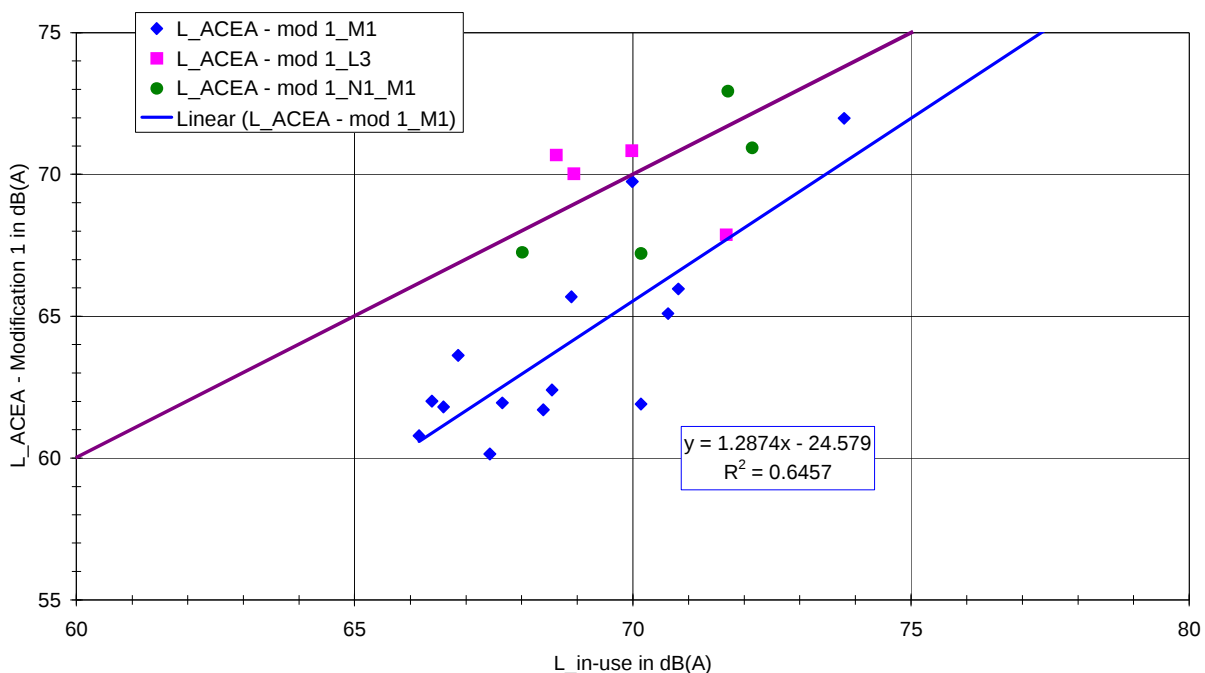


Bild 166: Gegenüberstellung der Messergebnisse nach ACEA – Modifikation 1 (bei 30 km/h) und der Emissionspegel des praktischen Betriebs

4.5.3.5 ACEA – Modifikation 2

Eine weitere Modifikation bestand darin, bei 50 km/h als Zielbeschleunigung die Beschleunigungswerte nach modifiziertem FiGE-Vorschlag zu verwenden und Konstantfahrendergebnis und Vollastergebnis einheitlich mit 1/3 zu 2/3 zum Gesamtergebnis zu gewichten. Die entsprechenden Zahlenwerte sind in Tabelle 75 und Tabelle 76 zusammengestellt. Bild 167 zeigt die Gegenüberstellung mit den Geräuschkennwerten des praktischen Betriebs. Die Korrelation ist deutlich besser als bei den übrigen Ergebnissen der ACEA-Methode, jedoch immer noch etwas geringer als beim derzeitigen Typprüfverfahren.

vehicle cat	vehicle	kp	Results of ACEA-Method at 50 km/h in dB(A)			Lroll	p_roll
			Lcst	Lwot	Lurban	dB(A)	
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	33.0%	69.2	71.4	70.6	68.0	54.3%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	33.0%	66.6	69.3	68.4	65.8	55.0%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	33.0%	66.2	71.9	70.0	64.6	28.4%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	33.0%	65.6	68.6	67.6	64.6	50.4%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	33.0%	66.0	67.7	67.2	65.0	61.1%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	33.0%	64.4	68.9	67.4	62.2	30.0%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	33.0%	66.8	68.7	68.1	65.5	55.6%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	33.0%	67.3	67.9	67.7	65.7	63.1%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	33.0%	69.4	74.3	72.7	64.6	15.4%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	33.0%	72.9	78.2	76.4	68.0	14.4%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	33.0%	65.6	66.3	66.1	64.9	76.1%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	33.0%	70.8	72.6	72.0	68.4	43.5%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	33.0%	68.6	69.0	68.8	67.1	67.5%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	33.0%	66.1	67.5	67.0	65.3	67.3%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	33.0%	66.4	75.1	72.2		
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	33.0%	66.0	77.2	73.5		
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	33.0%	63.3	74.1	70.5		
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	33.0%	64.9	76.7	72.8		
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	33.0%	70.8	72.6	72.0	68.4	43.5%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	33.0%	72.4	76.5	75.1	66.3	13.1%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	33.0%	73.9	76.0	75.3	65.6	10.7%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	33.0%	69.6	72.0	71.2	67.7	44.8%
N1 as (N2, N3)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),			69.5	69.5	63.4	24.6%
N1 as (N2, N3)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),			76.1	76.1	61.7	3.6%
N1 as (N2, N3)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),			74.6	74.6	60.0	3.4%
N1 as (N2, N3)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),			69.2	69.2	62.0	18.9%

Tabelle 75: Ergebnisse nach ACEA – Modifikation 2 (Zielbeschleunigungen nach FiGE-Vorschlag)

vehicle cat	vehicle	power to	gear_i,	gear_i+1,	(n_test - n_idle)/(s - n-idle)			n_95, in-use
		mass ratio			gear 2	gear 3	gear 4	
		kW/t	ACEA	ACEA				
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	63.2	2	3	60.4%	32.8%	19.0%	47.1%
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	119.7	3	4	48.5%	25.5%	15.7%	38.5%
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	94.4	2	3	51.0%	27.3%	15.5%	41.5%
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	50.9	3	4	63.4%	33.9%	21.8%	50.4%
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	76.9	2	3	49.4%	26.0%	14.3%	44.2%
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	59.2	2	3	52.6%	28.7%	16.7%	48.1%
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	45.2	2	3	70.0%	38.7%	25.8%	52.3%
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	58.3	2		61.0%	33.3%	21.9%	48.3%
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	53.0	2	3	64.6%	34.1%	21.5%	49.8%
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	56.4	2	3	70.6%	38.4%	25.1%	48.8%
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	94.7	3		41.0%	22.0%	12.5%	41.4%
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	37.6	3		126.0%	65.9%	36.4%	55.5%
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	62.0	2	3	56.9%	29.5%	15.8%	47.4%
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	79.5	2	3	56.6%	30.8%	17.9%	43.8%
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	255.3	3	4	33.7%	25.1%	19.3%	30.3%
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	98.0	3	4	67.6%	47.5%	35.2%	41.0%
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	207.5	3	4	39.6%	25.4%	18.0%	32.3%
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	122.1	4		52.8%	38.7%	24.0%	38.2%
N1 (as M1)	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	3		126.0%	65.9%	36.4%	58.5%
N1 (as M1)	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	20.7	3	4	90.7%	52.5%	26.9%	67.0%
N1 (as M1)	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	23.8	3		93.1%	52.7%	33.8%	64.1%
N1 (as M1)	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	31.8	3	4	121.6%	63.3%	34.6%	58.5%

Tabelle 76: Gangwahl und normierte Drehzahlen nach ACEA – Modifikation 2 (Zielbeschleunigungen nach FiGE-Vorschlag)

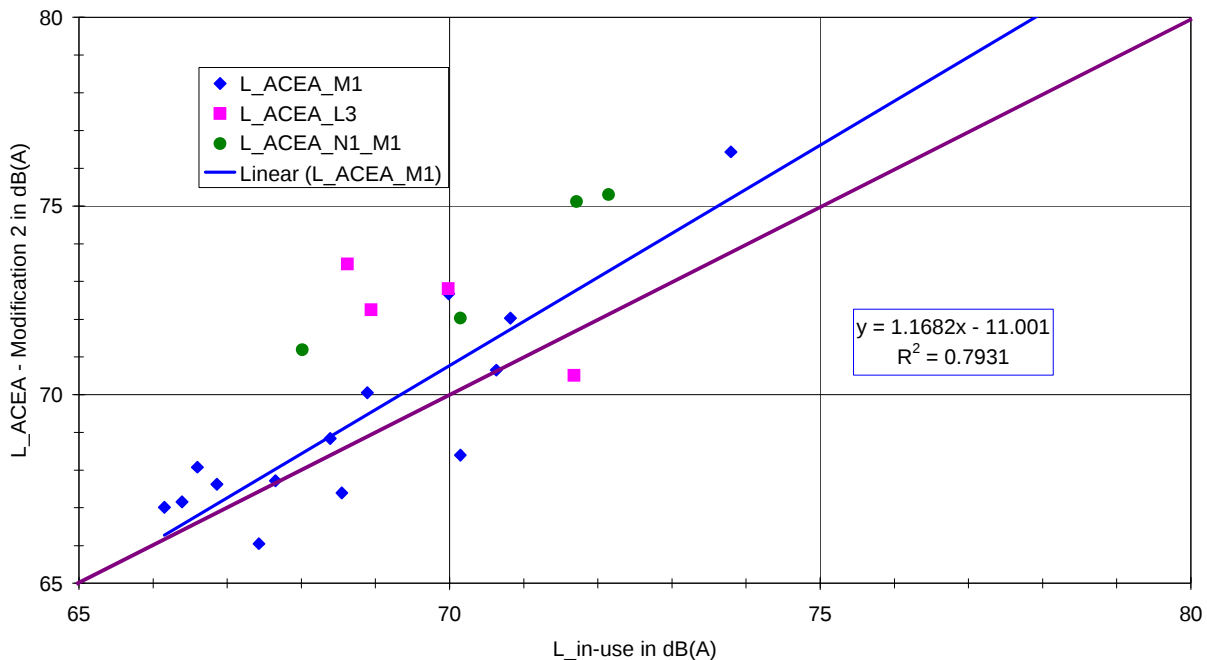


Bild 167: Gegenüberstellung der Messergebnisse nach ACEA – Modifikation 2 (Zielbeschleunigungen nach FiGE-Vorschlag) und der Emissionspegel des praktischen Betriebs

4.5.3.6 ACEA – Modifikation 3

Da die bisher diskutierten Vorschläge und Modifikationen keine Verbesserungen gegenüber dem derzeitigen Typprüfverfahren ergeben, wurde eine weitere Modifikation des ACEA-Vorschlags ausgearbeitet. Sie geht von der Erkenntnis aus Analysen von Fahrverhaltensdaten aus, dass die im praktischen Betrieb auftretenden Pegelspitzen des Antriebsgeräusches drehzahlorientiert sind, während die Rollgeräusche naturgemäß geschwindigkeitsorientiert sind. Daher wurde für die Vollastbeschleunigung analog zu dem bestehenden ACEA-Vorschlag für schwere Nutzfahrzeugen eine Enddrehzahl $n_{BB'}$ festgelegt aber das Ergebnis statt mit dem Ergebnis einer Konstantfahrt mit dem Ergebnis einer Rollgeräuschmessung bei 50 km/h kombiniert.

Da entsprechende Fahrversuche im Rahmen des Vorhabens leider nicht mehr durchgeführt werden konnten, wurden in erster Näherung ersatzweise die Gesamtgeräuschpegel der untersuchten Fahrzeuge für die normierten Drehzahlen bestimmt, die sich aus der in Bild 163 dargestellten Regressionskurve (potenziell n_{norm_95}) ergeben. Diese Kurve wurde allerdings nur für Pkw und Motorräder zur Bestimmung von $n_{BB'}$ angewendet. Das Leistungsgewicht wurde dabei wie folgt bestimmt: Nennleistung / (Leermasse + 75 kg).

Für leichte und schwere Nutzfahrzeuge wurde $n_{BB'}$ wie folgt festgelegt:

N1	$n_{BB'} = 60\%$ Nenndrehzahl,
N2	$n_{BB'} = 70\%$ Nenndrehzahl (identisch mit ACEA-Vorschlag),
N3	$n_{BB'} = 85\%$ Nenndrehzahl (identisch mit ACEA-Vorschlag).

Für Pkw und Motorräder wurde derjenige Gang ausgesucht, in dem die Geschwindigkeit $v_{BB'}$ zwischen 35 und 50 km/h betrug.

Als Kenngröße für ein praxisgerechtes Rollgeräusch wurden die Werte bei 50 km/h auf ISO-Belag herangezogen. Bei den Motorrädern wurden statt der Rollgeräusche die Konstantfahrtwerte im 4. Gang verwendet. Bei den N2- und N3-Fahrzeugen wurde das Rollgeräusch mit Traktionsreifen angesetzt.

Roll- und Antriebsgeräuschpegel wurden dann gewichtet gemittelt und den Geräuschkennwerten des praktischen Betriebs gegenübergestellt. Die höchste Korrelation ergab sich für die arithmetischen Mittelwerte, die in Bild 168 dargestellt sind. Die Zahlenwerte findet man in Tabelle 77.

Folgt man den Ausführungen in Abschnitt 4.5.1, in dem die Bestimmung des Geräuschkennwerts für den praktischen Betrieb erläutert ist, so hätte man folgerichtig das Rollgeräusch individuell für jede Fahrzeugkategorie bei den Durchschnittsgeschwindigkeiten der Tabelle 63 und die 95%-Perzentile der normierten Drehzahl bei den Durchschnittsgeschwindigkeiten der Beschleunigungsphasen bestimmen müssen. Dies wurde im Rahmen der Analyse auch durchgeführt. Für die normierten Drehzahlen ergab sich eine nahezu identische Regressionskurve, was zu erwarten war. Für die individuellen Rollgeräusche ergab sich keine signifikante Verbesserung der Korrelation, so dass der erste Ansatz beibehalten wurde.

Wie man Bild 168 unschwer entnehmen kann, führt dieser Ansatz zu einer deutlichen Verbesserung der Korrelation auch gegenüber dem derzeitigen Typprüfverfahren und zu einer nahezu idealen Gleichbehandlung der verschiedenen Fahrzeugkategorien. Es wäre sinnvoll, das ACEA-Verfahren in diesem Sinne zu modifizieren oder fortzuentwickeln.

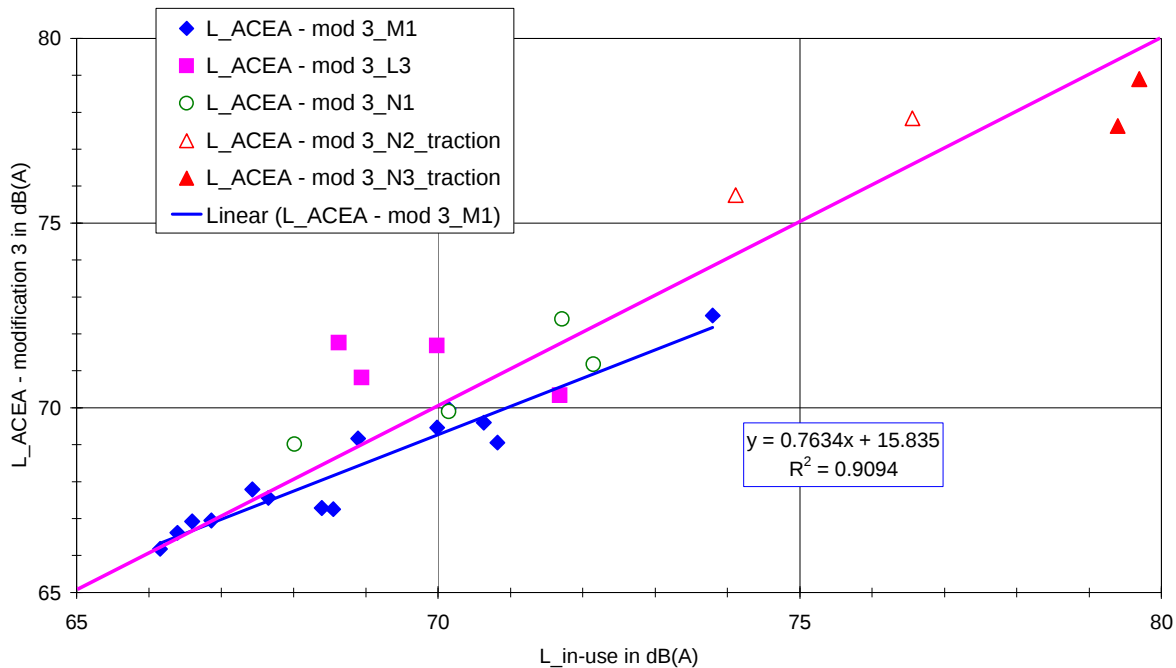


Bild 168: Gegenüberstellung der Ergebnisse nach ACEA – Modifikation 3 und der Emissionspegel des praktischen Betriebs

vehicle cat	vehicle	Lroll at 50 km/h in dB(A)	n_norm_BB'	Lprop (n_norm_BB') in dB(A)	Lroll at v(n_norm_BB') in dB(A)	L_ ACEA - mod 3 in dB(A)
M1	veh 1, 90 kW, 74 dB(A), 1995	68.0	47.1%	70.2	64.2	69.6
M1	veh 2, 210 kW, 70 dB(A), 1997	65.8	38.5%	73.9	62.3	70.0
M1	veh 3, 110 kW, 74 dB(A), 1997	64.6	41.5%	73.5	61.6	69.2
M1	veh 4, 55 kW, 74 dB(A), 1993	64.6	50.4%	68.5	61.5	67.0
M1	veh 5, 110 kW, 71 dB(A), 1997	65.0	44.2%	66.5	63.4	66.6
M1	veh 6, 66 kW, 72 dB(A), 1998	62.2	48.1%	72.0	60.9	67.3
M1	veh 7, 40 kW, 73 dB(A), 1995	65.5	52.3%	67.5	60.6	66.9
M1	veh 8, 51 kW, 79 dB(A), 1988	65.7	48.3%	68.5	62.3	67.6
M1	veh 9, 51 kW, 75 dB(A), 1978	64.6	49.8%	74.1	61.2	69.5
M1	veh 10, 64 kW, 80 dB(A), 1972	68.0	48.8%	76.8	63.1	72.5
M1	veh 11, 142 kW, 69 dB(A), 1995	64.9	41.4%	69.4	65.0	67.8
M1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A), 1997	68.4	55.5%	69.5	56.9	69.1
M1	veh 16, 92 kW, 71 dB(A), 1999	67.1	47.4%	64.3	64.6	67.3
M1	veh 17, 142 kW, 70 dB(A), 1997	65.3	43.8%	65.6	61.7	66.2
L3	veh 12, 72 kW, 80 dB(A), 1998	65.0	30.3%	76.7		70.8
L3	veh 13, 25 kW, 80 dB(A), 1998	65.7	41.0%	77.8		71.8
L3	veh 14, 66 kW, 79 dB(A),	63.3	32.3%	77.4		70.3
L3	veh 18, 47 kW, 79 dB(A), 1996	64.9	38.2%	78.4		71.7
N1	veh 15, 75 kW, 75 dB(A),	68.4	60.0%	69.9	65.9	69.9
N1	veh 19, 56 kW, 80 dB(A),	66.3	60.0%	78.4	63.1	72.4
N1	veh 20, 51 kW, 77 dB(A),	65.6	60.0%	76.7	57.9	71.2
N1	veh 24, 75 kW, 75 dB(A),	67.7	60.0%	69.9	59.6	69.0
N2	veh 21, 125 kW, 78 dB(A), 1996	74.0	70.0%	77.1	67.3	75.8
N2	veh 25, 125 kW, 84 dB(A), 1990	74.0	70.0%	81.5	67.9	77.8
N3	veh 23, 290 kW, 80 dB(A), 1997	74.6	85.0%	80.4	67.9	77.6
N3	veh 22, 320 kW, 80 dB(A), 1995	74.6	85.0%	83.1	67.3	78.9

Tabelle 77: Ergebnisse Rollgeräuschpegel bei 50 km/h auf Splittmastixasphalt und Antriebsgeräusch bei n_norm_95 (Regressionskurve nach Bild 163) sowie der Mittelwert aus beiden Werten

4.5.3.7 Auswirkung unterschiedlicher Volllastkennlinien auf Messergebnisse nach verschiedenen Messverfahren und Emissionen im realen Betrieb

Abschließend soll noch an einem Beispiel gezeigt werden, wie sich Änderungen in der Volllastkurve der Antriebsgeräusche, die z.B. durch Veränderung der Eigenschaften von Ansaug- und/oder Abgasschalldämpfer hervorgerufen werden, auf die Messergebnisse nach den verschiedenen Messverfahren und auf den Geräuschkennwert des praktischen Betriebs auswirken. Fahrzeug 2 (Pkw, 210 kW) ist hierfür besonders geeignet, weil es im Typprüfverfahren wie auch nach ACEA-Methode und modifiziertem FiGE-Vorschlag jeweils in verschiedenen Getriebebestufen-Kombinationen gemessen wird. Folgende Messverfahren sollen berücksichtigt werden:

- ☐ Derzeitiges Typprüfverfahren,
- ☐ ACEA-Methode bei 50 km/h,
- ☐ Modifizierter FiGE-Vorschlag bei 50 km/h,
- ☐ ACEA – Modifikation 3

Nach Typprüfverfahren erfolgt die Geräuschmessung im 3. Gang bei einer Volllastbeschleunigung mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 50 km/h. Das Pegelmaximum tritt bei 58,5 km/h auf. Nach ACEA-Verfahren erfolgt eine Konstantfahrt sowie eine Volllastbeschleunigung im 4. Gang. Die Volllastbeschleunigung erfolgt in der Weise, dass die Geschwindigkeit in Messebene 50 km/h beträgt. Dies gilt auch für den modifizierten FiGE-Vorschlag, jedoch erfolgt hier zusätzlich eine Volllastbeschleunigung im 3. Gang und die Konstantfahrt entfällt. Beim Verfahren ACEA - Modifikation 3 wird das Rollgeräusch auf Splittmastixasphalt bei 50 km/h bestimmt und mit dem Volllast-Antriebsgeräusch beim 95%-Perzentil der normierten Motordrehzahl kombiniert.

Gegenüber dem Ausgangszustand wurden drei veränderte Volllastkurven für das Antriebsgeräusch modelliert, die mit Case 2, 3 und 5 bezeichnet werden. Die Änderungen sind in Bild 169 dargestellt. In diesem Bild sind auch die normierten Drehzahlen markiert, die bei den verschiedenen Messverfahren erreicht werden. Nach der ACEA-Methode wird in der Messebene eine normierte Drehzahl von 15,7% erreicht, was bei diesem Fahrzeug einer Drehzahl von 1500 min⁻¹ entspricht. Nach dem Typprüfverfahren tritt das Pegelmaximum bei 32,2% oder 2340 min⁻¹ auf, beim FiGE-Vorschlag wird bei 15,7% und 25,5% gemessen, was Drehzahlen von 1500 min⁻¹ und 2000 min⁻¹ entspricht. Das 95%-Perzentil der Methode ACEA - Modifikation 3 beträgt 38,5%, entsprechend 2660 min⁻¹.

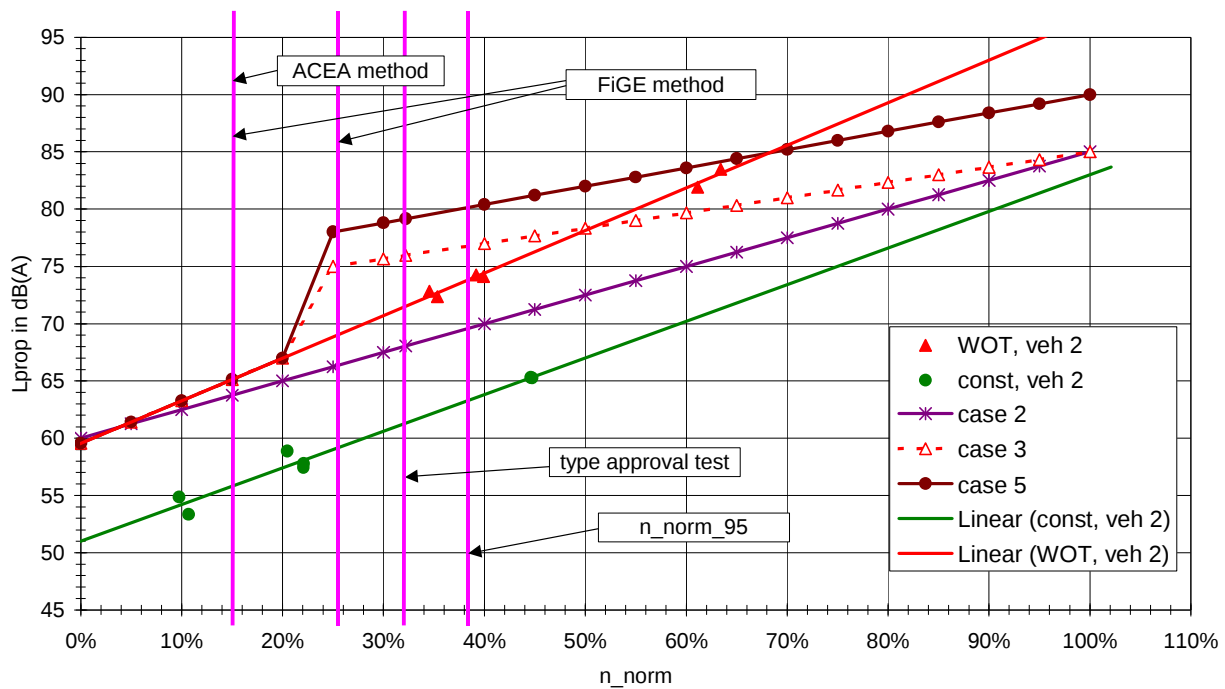


Bild 169: Veränderte Vollastkurven für das Antriebsgeräusch von Fahrzeug 2

Bei Case 2 wurde das Vollastgeräusch nahe Leerlauf beibehalten, aber der Lasteinfluss mit zunehmender Drehzahl zunehmend verringert. Bei den Szenarien 3 und 5 wurden oberhalb von 20% normierter Drehzahl unterschiedlich starke Resonanzüberhöhungen modelliert. Das Geräusch ohne Motorbelastung wurde nicht verändert. Die genannten Szenarien wurden um ein weiteres (Case 4) ergänzt, bei dem die Antriebsgeräusche unverändert blieben, aber das Rollgeräusch um 1,3 dB(A) verringert wurde.

Die aus diesen Szenarien resultierenden Ergebnisse der Messverfahren und des Geräusch-kennwerts für den praktischen Betrieb sind in Tabelle 78 zusammengestellt.

Method	case		kp	Lroll	Lprop_cst	Ltot_cst	Lprop_wot	Ltot_wot	Ltest	difference to status quo
type approval method	status quo			68.2			71.5	73.2	73.2	
	case 2			68.2			68.1	71.2	71.2	-2.0
Lmax at 58,5 km/h	case 3			68.2			76.0	76.7	76.7	3.5
	case 4			66.9			71.5	72.8	72.8	-0.4
	case 5			68.2			79.2	79.5	79.5	6.4
Method	case		kp	Lroll	Lprop_cst	Ltot_cst	Lprop_wot	Ltot_wot	Ltest	difference to status quo
ACEA Method	status quo		29.60%	65.8	57.9	66.5	65.4	68.6	68.0	
	case 2		29.60%	65.8	57.9	66.5	63.9	68.0	67.5	-0.5
50 km/h	case 3		29.60%	65.8	57.9	66.5	65.4	68.6	68.0	0.0
	case 4		29.60%	64.5	57.9	65.4	65.4	68.0	67.2	-0.8
	case 5		29.60%	65.8	57.9	66.5	65.4	68.6	68.0	0.0
Method	case	ki	ki+1	Lroll	Lprop_wot_i	Ltot_wot_i	Lprop_wot_i+1	Ltot_wot_i+1	Ltest	difference to status quo
mod FIGE-Method	status quo	31.20%	68.80%	65.8	69.0	70.7	65.4	68.6	69.3	
	case 2	31.20%	68.80%	65.8	66.4	69.1	63.9	68.0	68.3	-0.9
50 km/h	case 3	31.20%	68.80%	65.8	75.0	75.5	65.4	68.6	70.8	1.5
	case 4	31.20%	68.80%	64.5	69.0	70.3	65.4	68.0	68.7	-0.6
	case 5	31.20%	68.80%	65.8	78.0	78.3	65.4	68.6	71.6	2.4
Method	case			Lroll	n_norm_95	Lprop_wot			Ltest	difference to status quo
ACEA – Modification 3	status quo			67.8	38.5%	73.9			70.9	
	case 2			67.8	38.5%	69.6			68.7	-2.2
Lroll at 50 km/h	case 3			67.8	38.5%	76.8			72.3	1.5
Lwot at n_norm_95	case 4			66.5	38.5%	73.9			70.2	-0.6
	case 5			67.8	38.5%	80.2			74.0	3.2
Method	case			Lroll_eq	Leq		L_95_roll	L_95	L_in-use	difference to status quo
in-use Emission	status quo			66.4	68.2		64.5	72.1	70.1	
	case 2			66.4	67.8		64.5	69.6	68.7	-1.4
Leq (5 - 70 km/h)	case 3			66.4	68.5		64.5	74.3	71.4	1.3
L_95 at 40 km/h	case 4			65.1	67.4		63.2	71.9	69.7	-0.5
	case 5			66.4	69.2		64.5	76.8	73.0	2.8

Tabelle 78: Gegenüberstellung der Ergebnisse nach verschiedenen Messverfahren bei unterschiedlichen Szenarien für Antriebs- und Rollgeräusch

Das Typprüfverfahren erfasst die Änderungen in der Antriebsgeräusch-Volllastkurve in vollem Umfang, da die Prüfdrehzahl in den Bereich dieser Änderungen fällt. Da dieses Messverfahren ausschließlich das Vollastgeräusch beurteilt, sind die Unterschiede zum Status quo mehr als doppelt so hoch wie die Unterschiede des Geräuschkennwertes für den praktischen Betrieb.

Die Prüfdrehzahl der ACEA-Methode liegt unterhalb der Resonanzüberhöhungen, dementsprechend ergeben sich keine Änderungen im Testresultat für die Szenarien 3 und 5. Auch die Auswirkung der Minderung des Antriebsgeräusches nach Case 2 wird von diesem Messverfahren unterschätzt, während die Auswirkung der Minderung des Rollgeräusches überschätzt wird.

Der modifizierte FIGE-Vorschlag schneidet im Vergleich zum Geräuschkennwert des praktischen Betriebs deutlich besser ab, was aber nur dem Umstand zu verdanken ist, dass zwei Messergebnisse innerhalb und außerhalb der Resonanz kombiniert werden, bei denen sich Unter- und Überschätzung teilweise kompensieren.

Die Methode ACEA – Modifikation 3 führt zu einer moderaten Überschätzung der Änderungen im Antriebsgeräusch. Aber auch dieses Konzept würde zu Fehlbeurteilung führen, wenn die Resonanzen in Drehzahlbereiche außerhalb n_norm_95 gelegt würden.

Das Beispiel macht deutlich, dass kein Messverfahrensvorschlag ohne zusätzliche „off cycle emissions provisions“ auskommt.

4.6 Vergleich zwischen Grenzwertsenkung und Minderung der Geräuschemission im realen Betrieb

Die nachfolgend dargestellten Ausführungen und Ergebnisse stammen aus einem Zwischenschritt des Vorhabens und konnten aus Zeitgründen nicht mehr aktualisiert werden. ACEA-Methode wie auch FiGE-Vorschlag entsprechen noch nicht dem Stand der vorherigen Abschnitte. Gleichwohl haben die gezeigten Trends und Schlussfolgerungen nach wie vor ihre Gültigkeit zumindest qualitativ, so dass der Abschnitt dennoch in den Schlussbericht übernommen wurde.

4.6.1 Pkw

Die im vorherigen Abschnitt gezeigten Pegelverteilungen geben für die verschiedenen Emissionsstufen einen guten Überblick über die Bandbreite der in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen, erlauben aber nur schwer den Vergleich zwischen Grenzwertsenkung und dadurch bewirkter bzw. zu erwartender Minderung im praktischen Betrieb. Um diesen Vergleich besser darstellen zu können sind in diesem Abschnitt die energetischen Mittelwerte der genannten Pegelverteilungen über den Geräuschgrenzwerten aufgetragen.

In Bild 170 bis Bild 184 sind die entsprechenden Pegelwerte für die 5 vorstehend definierten Szenarien (siehe Abschnitt 4.3.4.1) jeweils für 3 verschiedene Durchschnittsgeschwindigkeiten und 3 verschiedene Fahrbahnbeläge dargestellt. Für die Szenarien 2 und 3, also jeweils alleinige Minderung nur einer Quelle (Antriebs- oder Rollgeräusche) kann keine Minderung des Gesamtgeräusches um 6 dB(A) gegenüber dem derzeitigen Zustand erreicht werden. **Es bedeuten: Lp – Antriebsgeräusch, Lg – Gesamtgeräusch, SMA – Splittmastixasphalt $\approx$ 11, DA – Drainasphalt 0/8 unter 3 Jahren, GA – Gussasphalt**

Auffällig ist darüber hinaus der große Belagseinfluss selbst bei niedrigen Geschwindigkeiten. Dies führt dazu, dass für Durchschnittsgeschwindigkeiten ab 50 km/h die extreme Rollgeräuschminderung die größte Wirkung im realen Betrieb ergibt, obwohl in der Typprüfung keine nennenswerte Minderung in der letzten Stufe mehr erreicht wird. Für SMA sind die Wirkungen der verschiedenen Szenarien in Bild 185 bis Bild 187 gegenübergestellt. Dabei bedeutet „stage 1“ die erste Grenzwertstufe nach der EU-Richtlinie 70/157/EWG. Die Änderungsvorschläge von ACEA und der deutschen Administration sind nahezu gleichwertig.

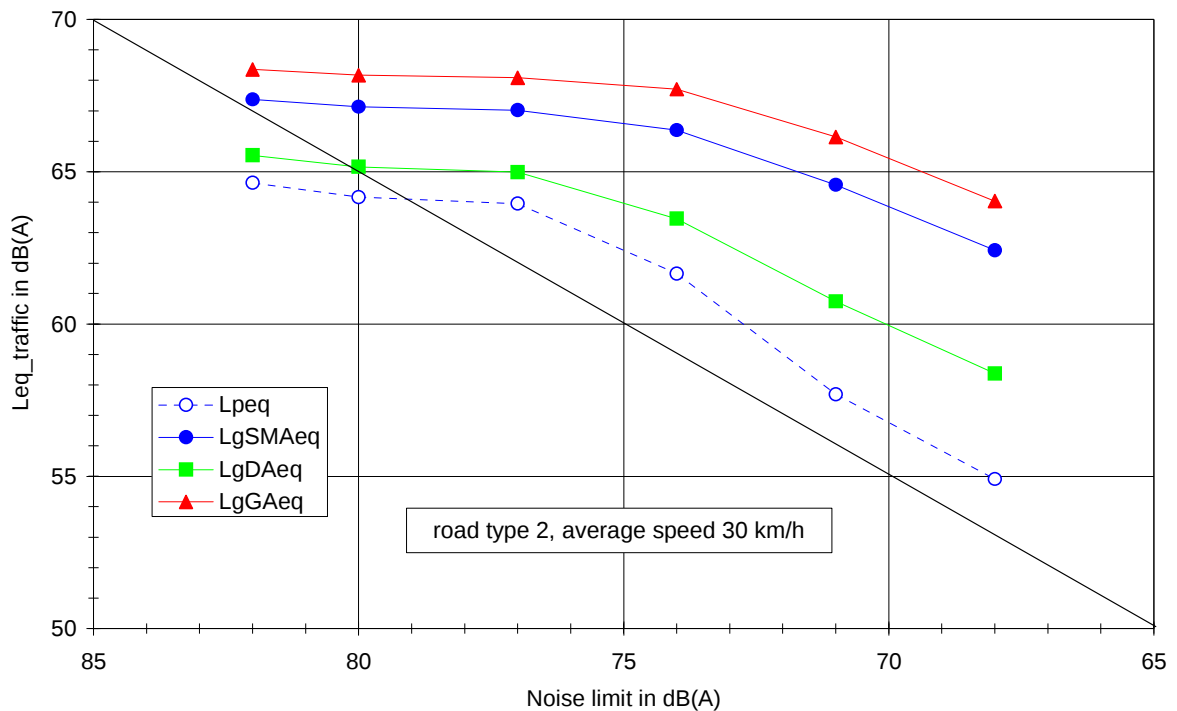


Bild 170: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

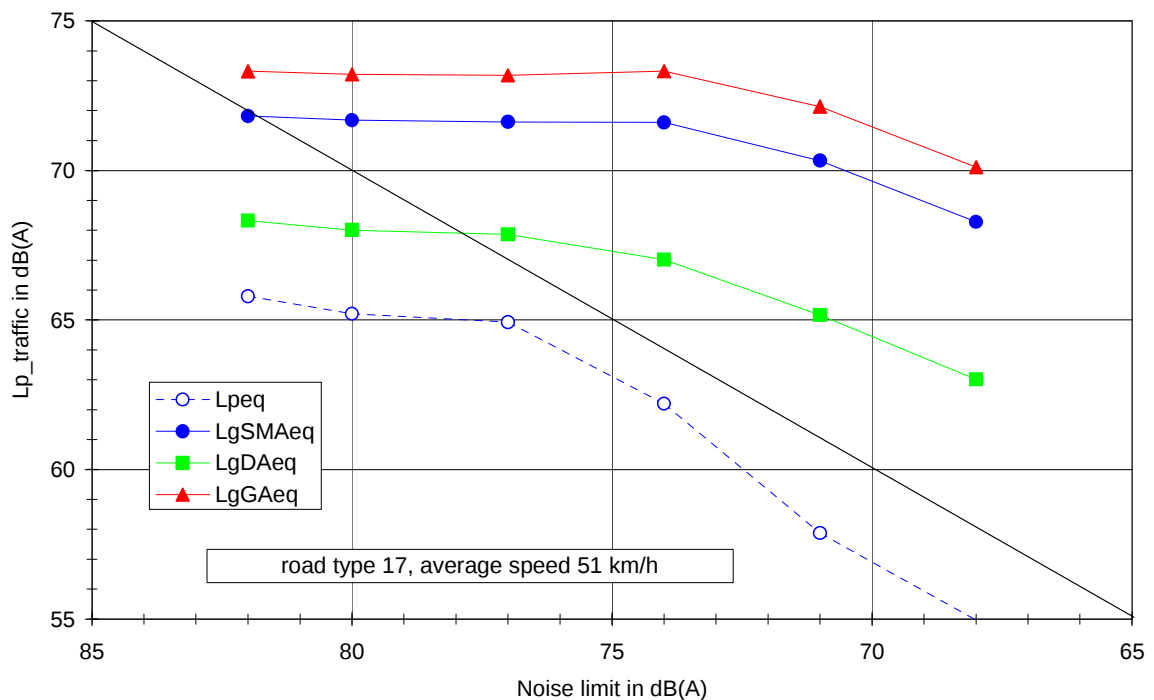


Bild 171: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

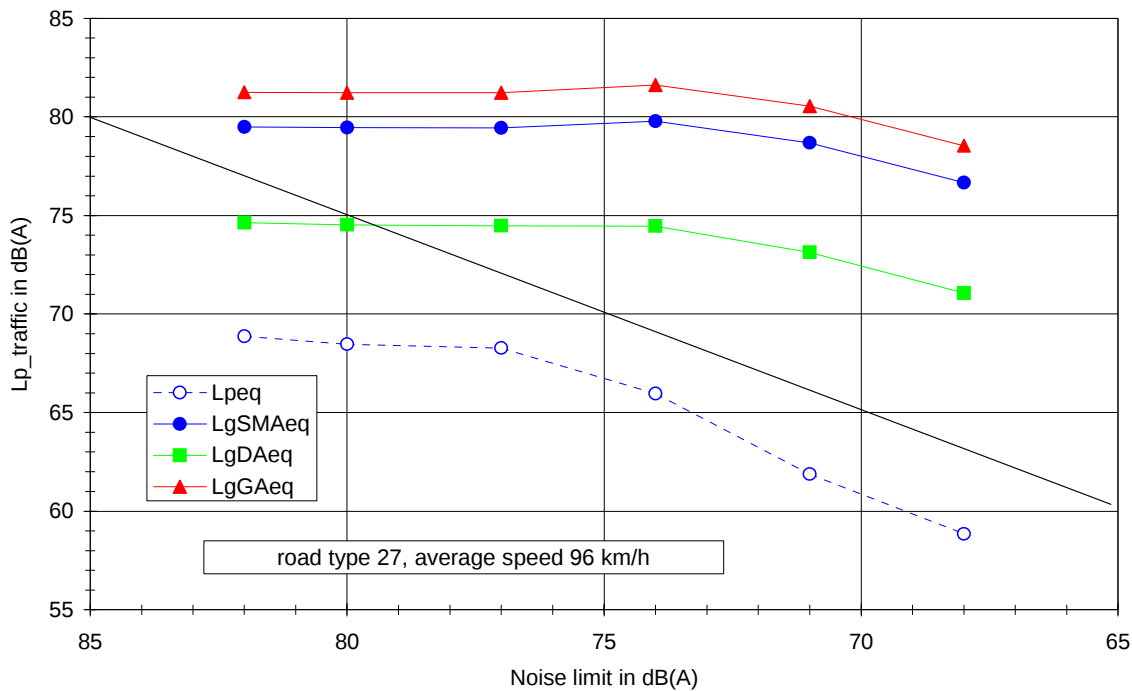


Bild 172: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Außerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 96 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

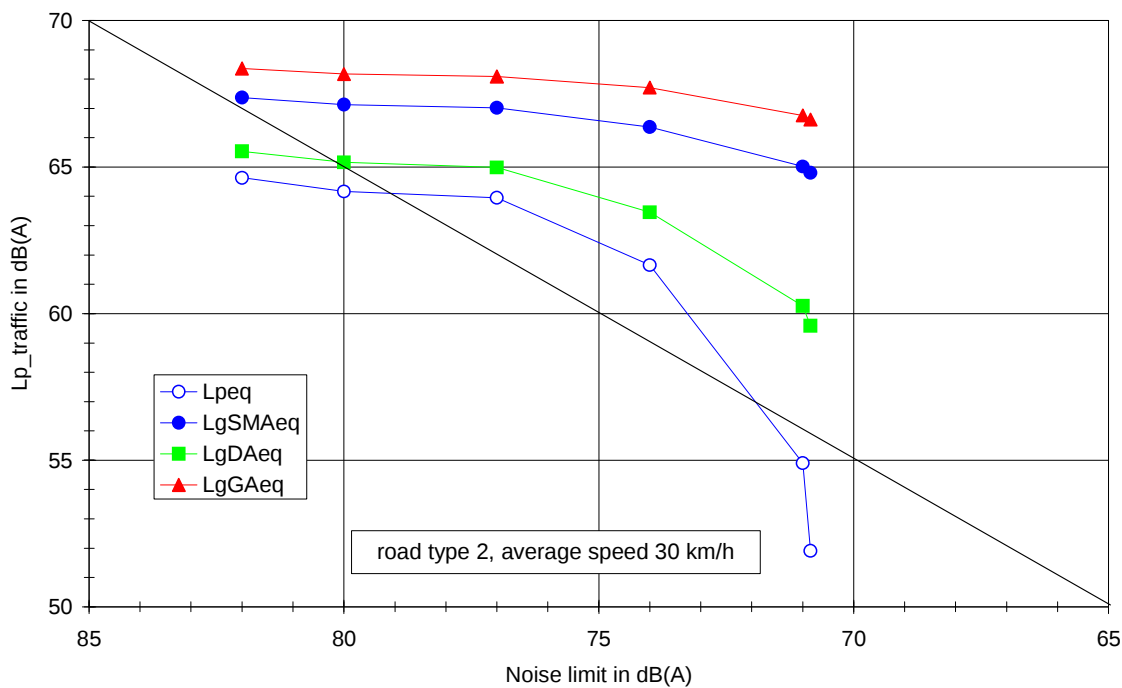


Bild 173: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

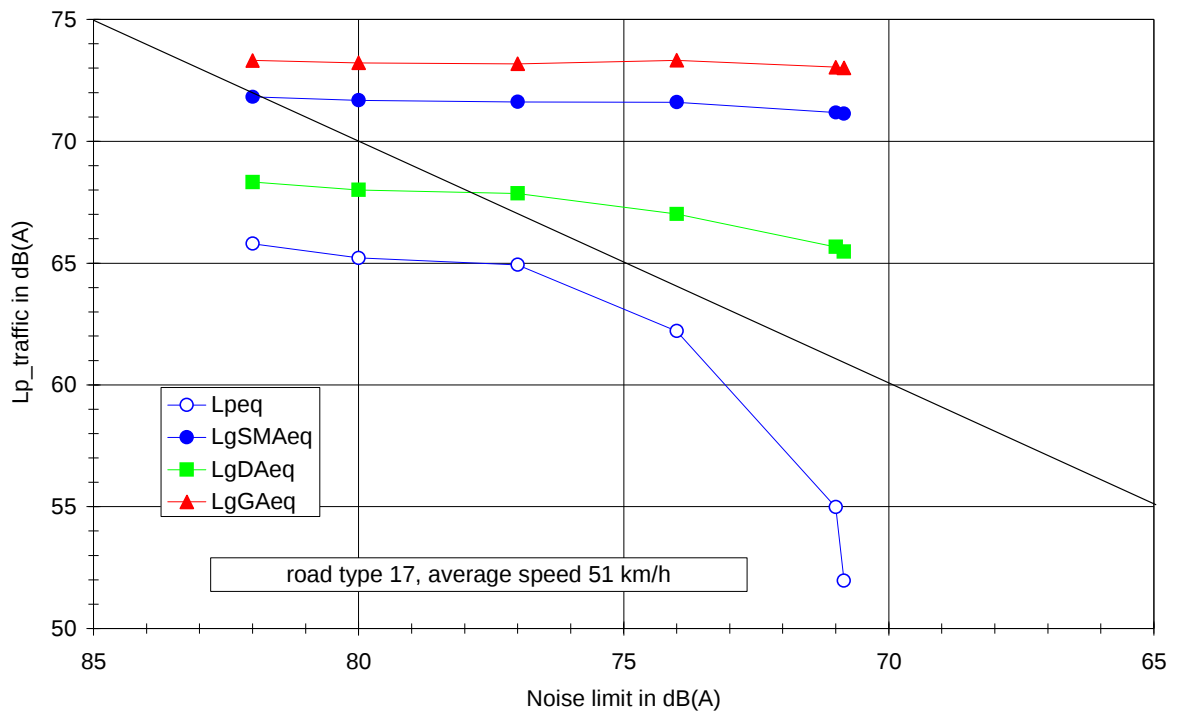


Bild 174: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

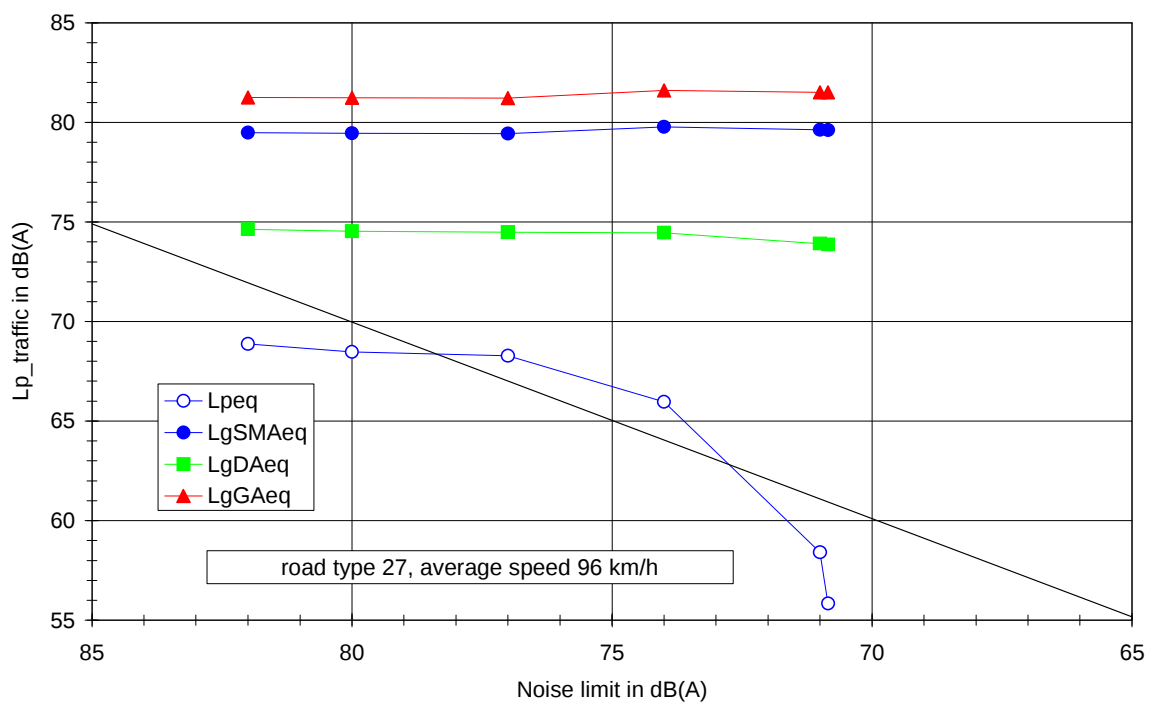


Bild 175: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Außerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 96 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

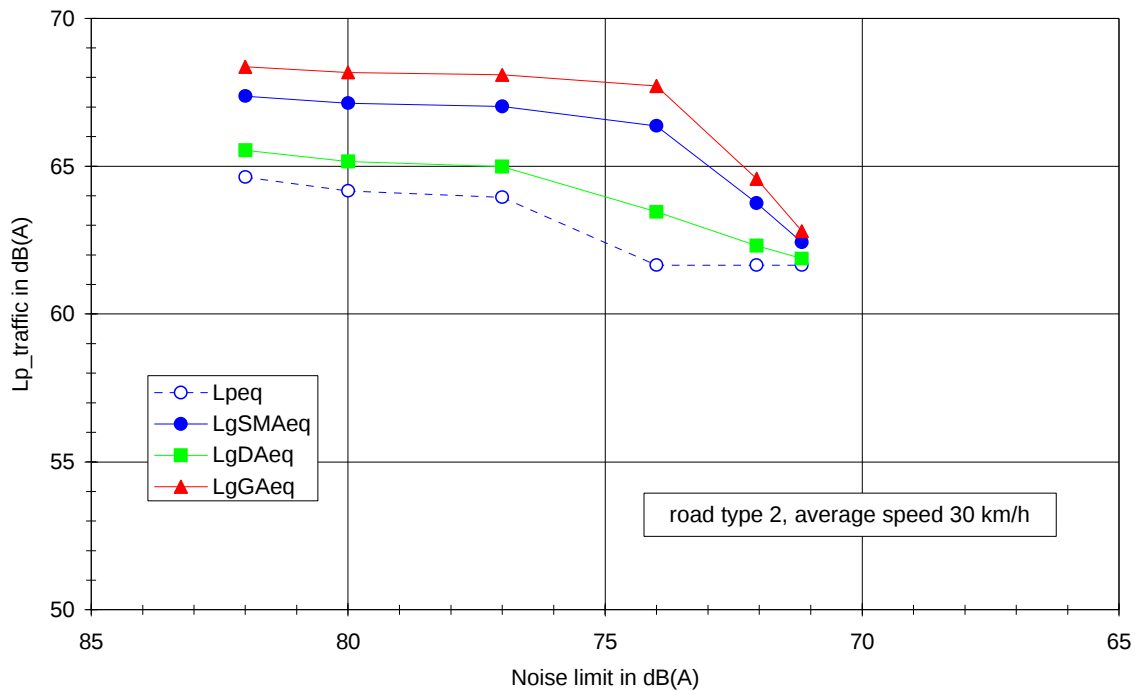


Bild 176: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

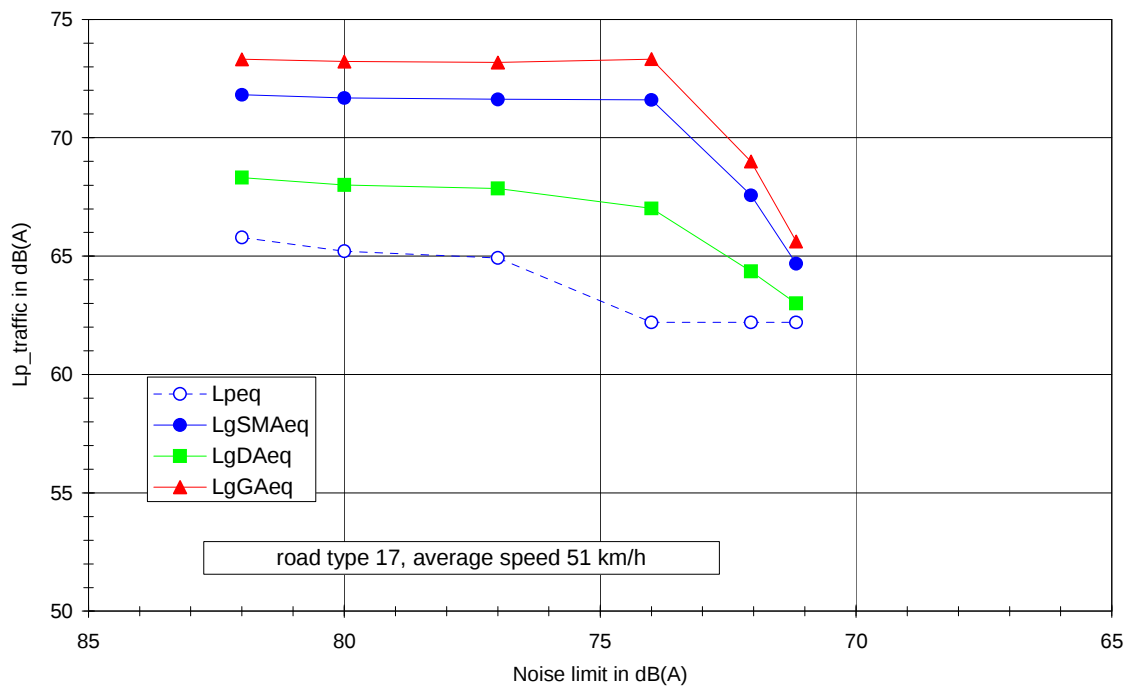


Bild 177: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

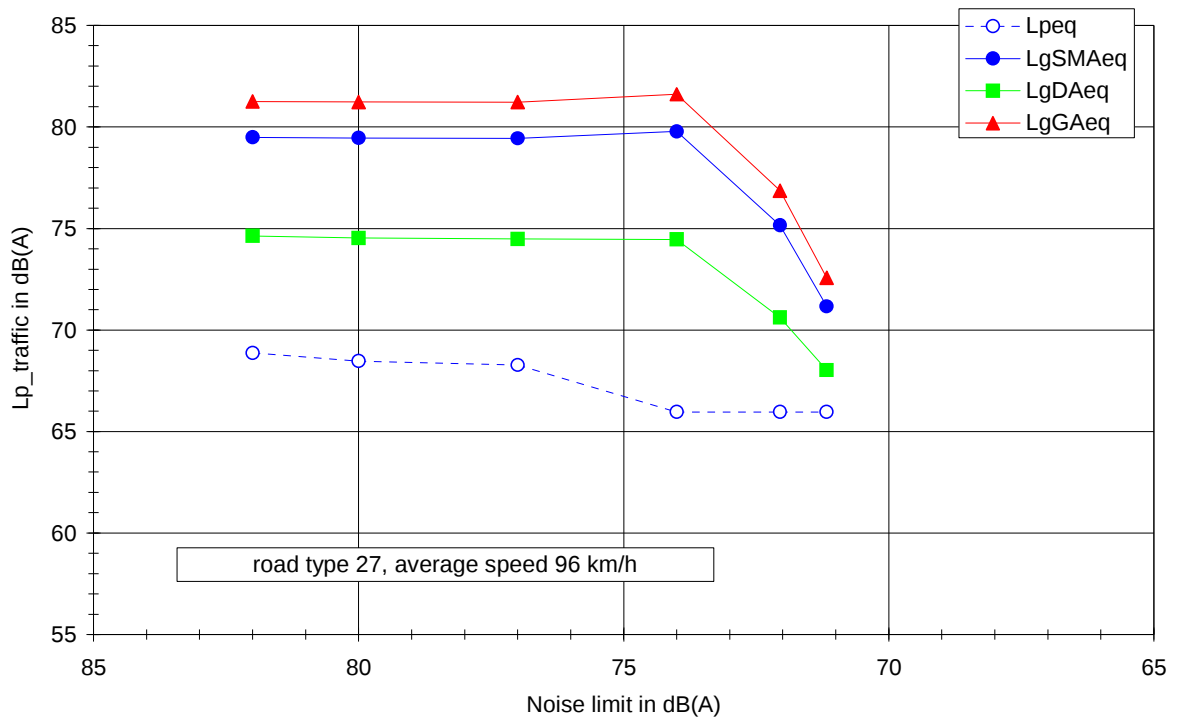


Bild 178: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Außerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 96 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

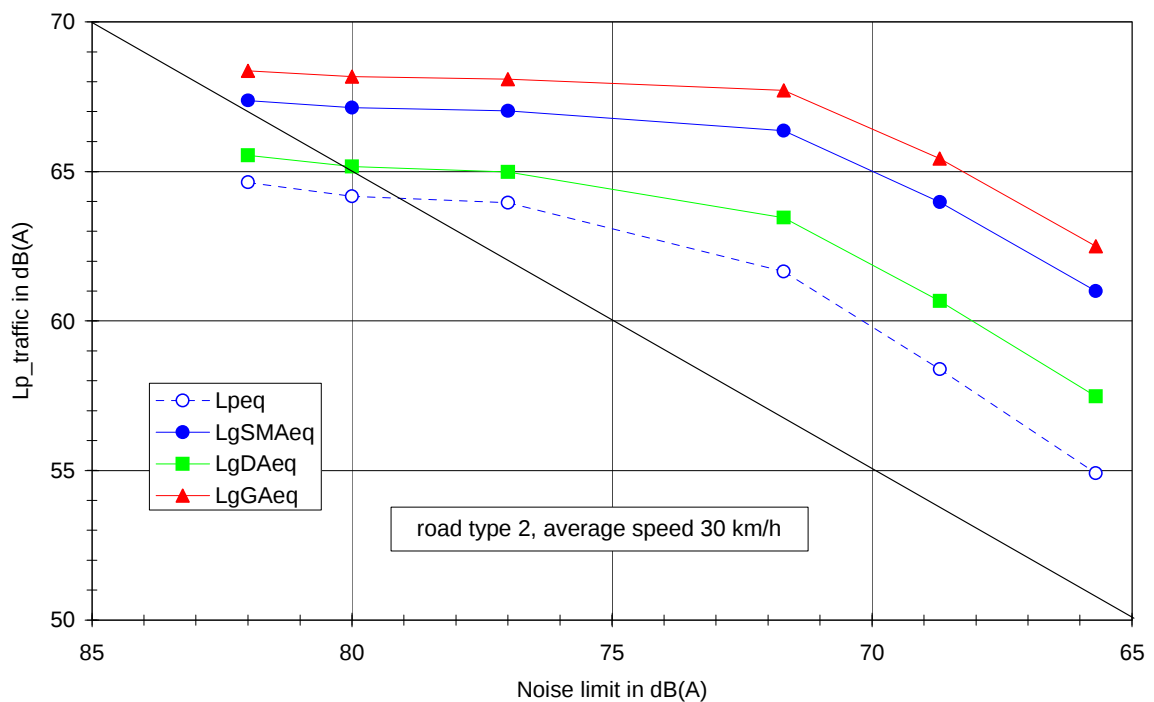


Bild 179: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Änderungsvorschlag, Minderung von Roll- und Antriebsgeräusch

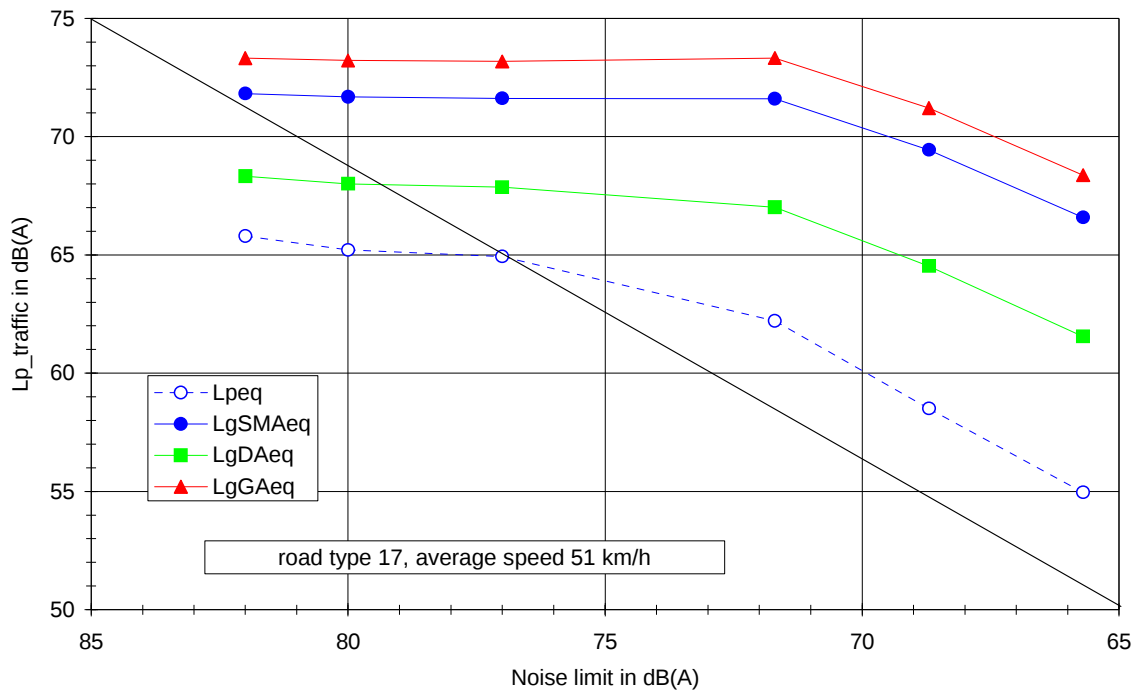


Bild 180: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Änderungsvorschlag, Minderung von Roll- und Antriebsgeräusch

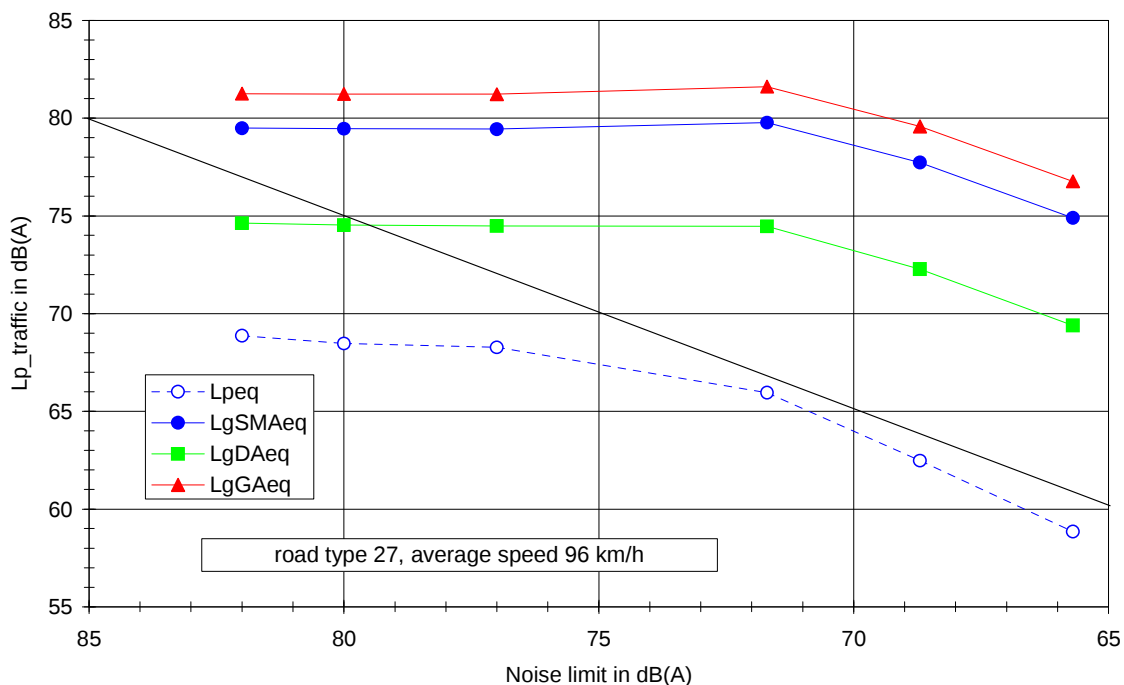


Bild 181: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Außerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 96 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Änderungsvorschlag, Minderung von Roll- und Antriebsgeräusch

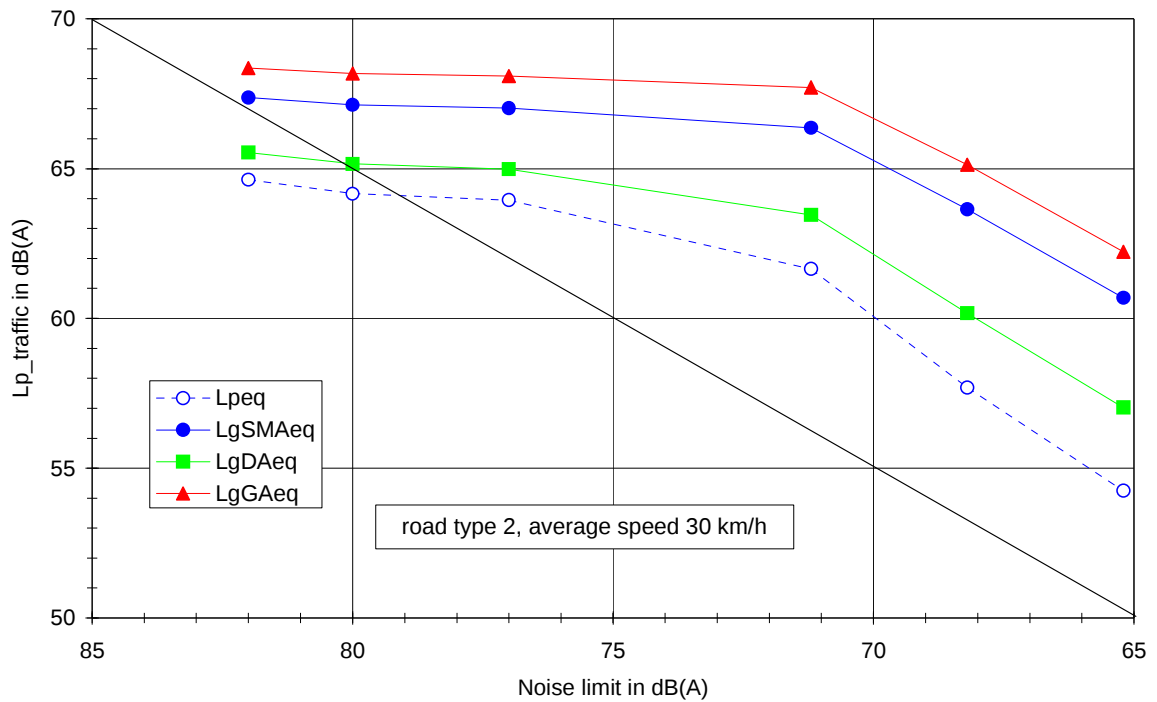


Bild 182: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 5, ACEA-Änderungsvorschlag, Minderung von Roll- und Antriebsgeräusch

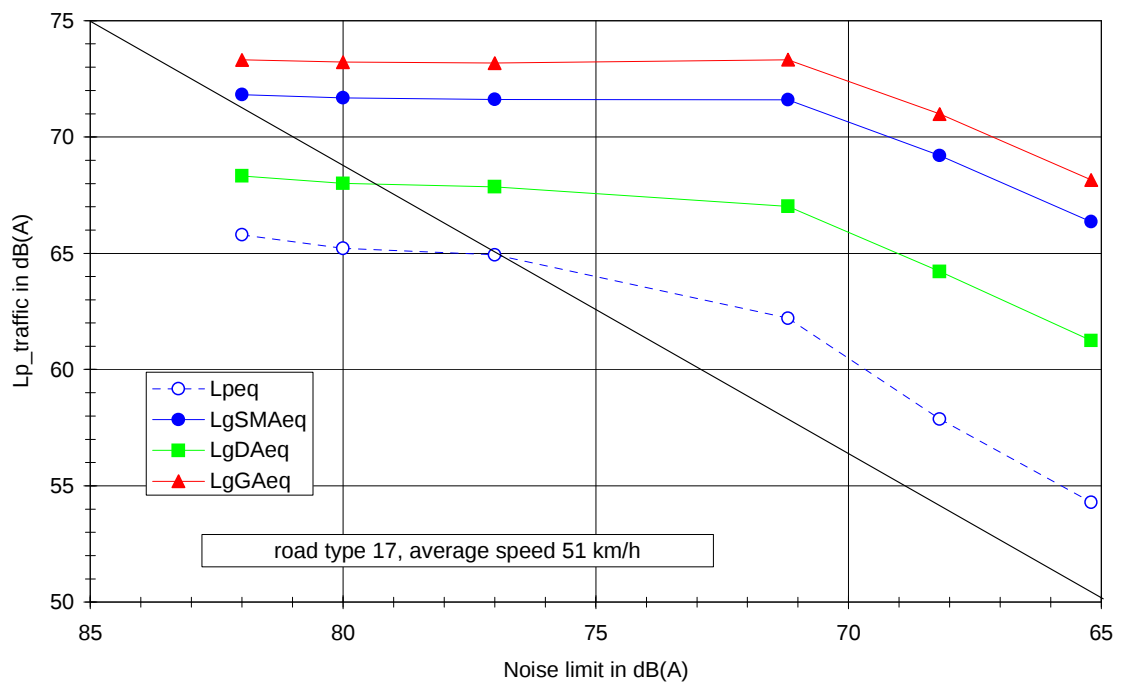


Bild 183: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Innerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 5, ACEA-Änderungsvorschlag, Minderung von Roll- und Antriebsgeräusch

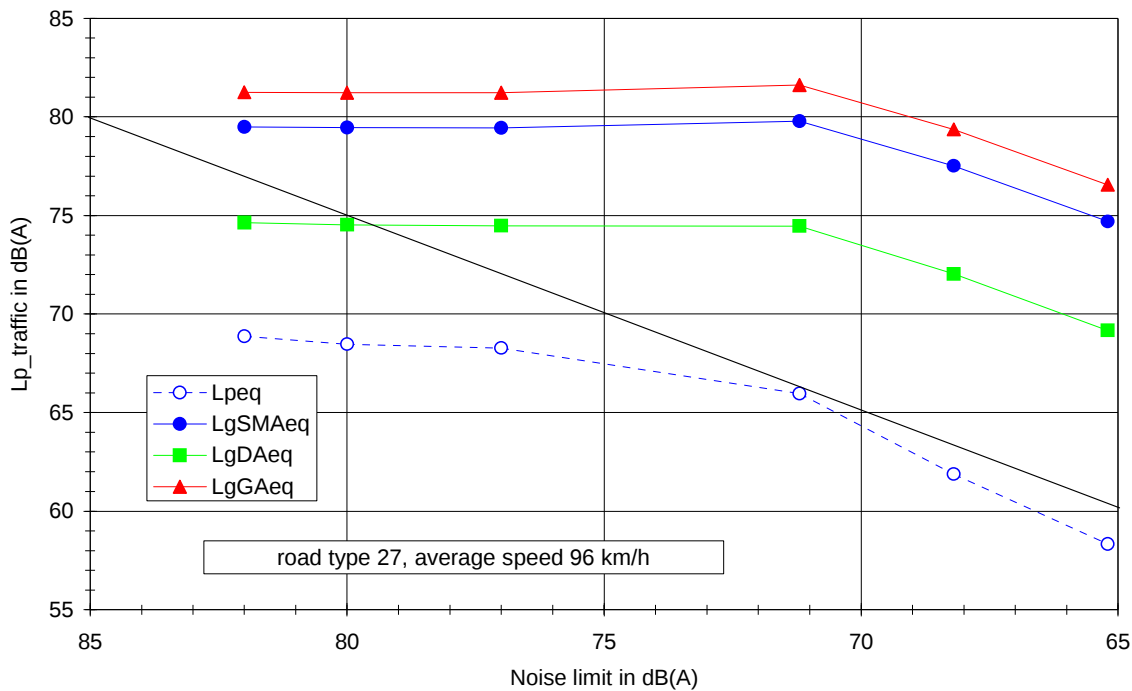


Bild 184: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für mittlere Pkw mit Ottomotor auf Außerortsstraßen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 96 km/h für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 5, ACEA-Änderungsvorschlag, Minderung von Roll- und Antriebsgeräusch

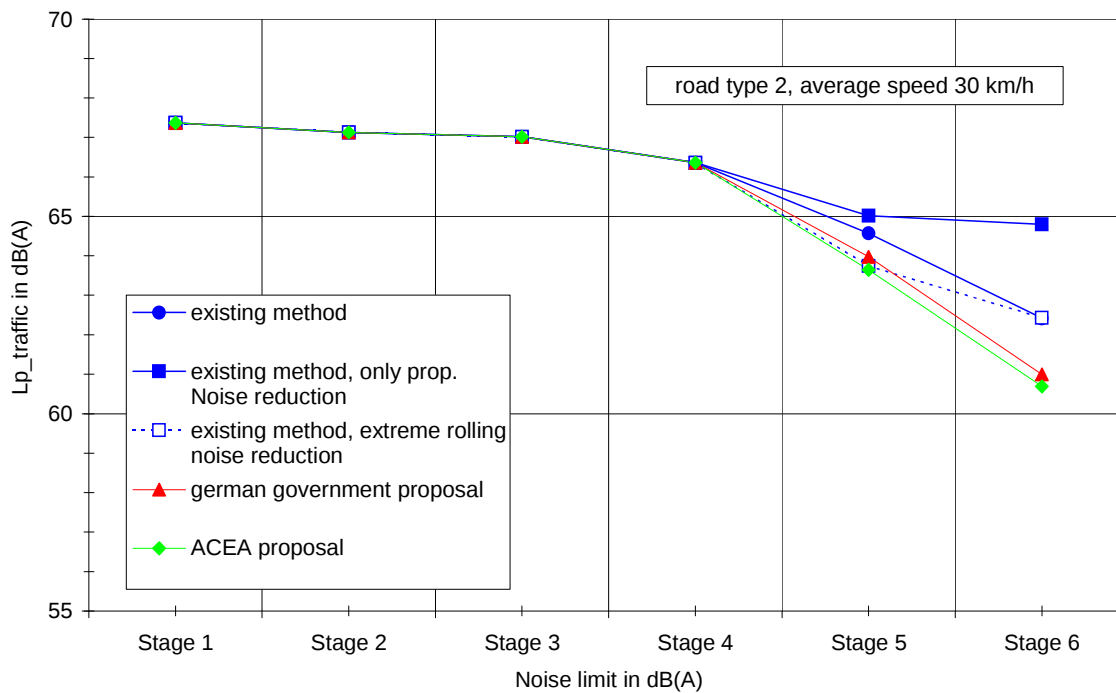


Bild 185: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für Innerortsstraßen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von 30 km/h auf SMA (Stage 1 kennzeichnet die 1. Grenzwertstufe der EU)

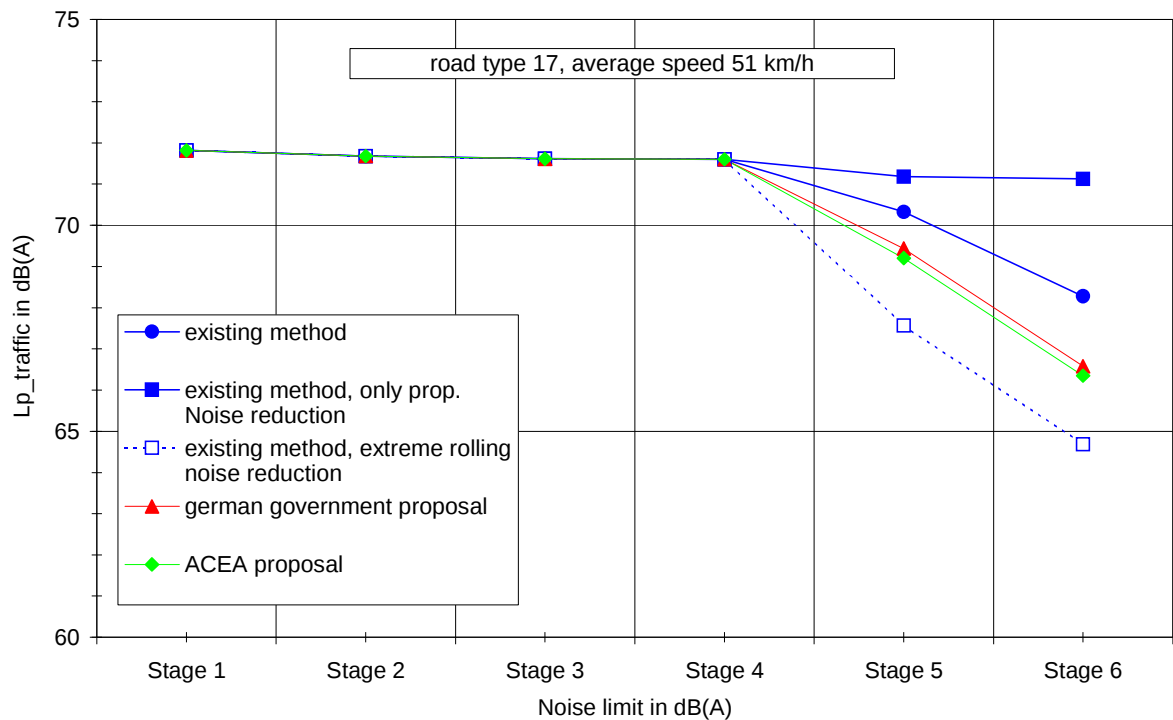


Bild 186: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für Innerortsstraßen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von 50 km/h auf SMA (Stage 1 kennzeichnet die 1. Grenzwertstufe der EU)

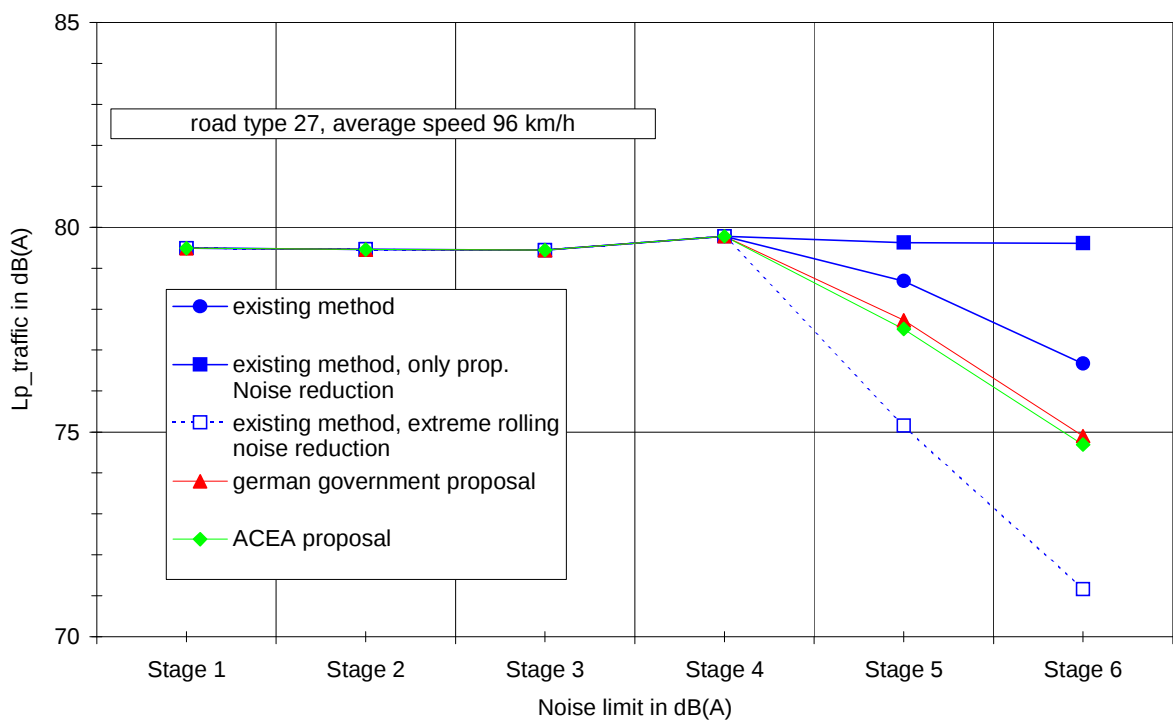


Bild 187: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für Außerortsstraßen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von 96 km/h auf SMA (Stage 1 kennzeichnet die 1. Grenzwertstufe der EU)

4.6.2 Schwere Nutzfahrzeuge

In Bild 188 bis Bild 211 sind die energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw (< 7,5 t zul. Gesamtmasse) und Lastzüge (40 t zul. Gesamtmasse) für 4 Szenarien jeweils für 3 verschiedene Straßenkategorien und 3 verschiedene Fahrbahnbeläge dargestellt. Für Szenario 3, also jeweils alleinige Minderung nur der Rollgeräusche kann keine weitere Minderung des Gesamtgeräusches im Typprüfverfahren gegenüber dem derzeitigen Zustand erreicht werden. Ein eigener Messverfahrensvorschlag der Industrie ist hier nicht berücksichtigt, da sich dieser bei den schweren Nutzfahrzeugen nur unwesentlich vom UBA-Vorschlag unterscheidet.

Es bedeuten: Lp – Antriebsgeräusch, Lg – Gesamtgeräusch, SMA – Splittmastixasphalt =/11, DA – Drainasphalt 0/8 unter 3 Jahren, GA – Gussasphalt

Auffällig ist der große Belageinfluss auf Autobahnen und Außerortsstraßen. Dies führt dazu, dass für diese Straßenkategorien die extreme Rollgeräuschminderung die größte Wirkung im realen Betrieb ergibt, obwohl in der Typprüfung keine weitere Minderung erreicht wird. Für SMA sind die Wirkungen der verschiedenen Szenarien in Bild 212 bis Bild 217 gegenübergestellt. Der Änderungsvorschlag der deutschen Administration erzielt eine etwas größere Wirkung als das bestehende Messverfahren.

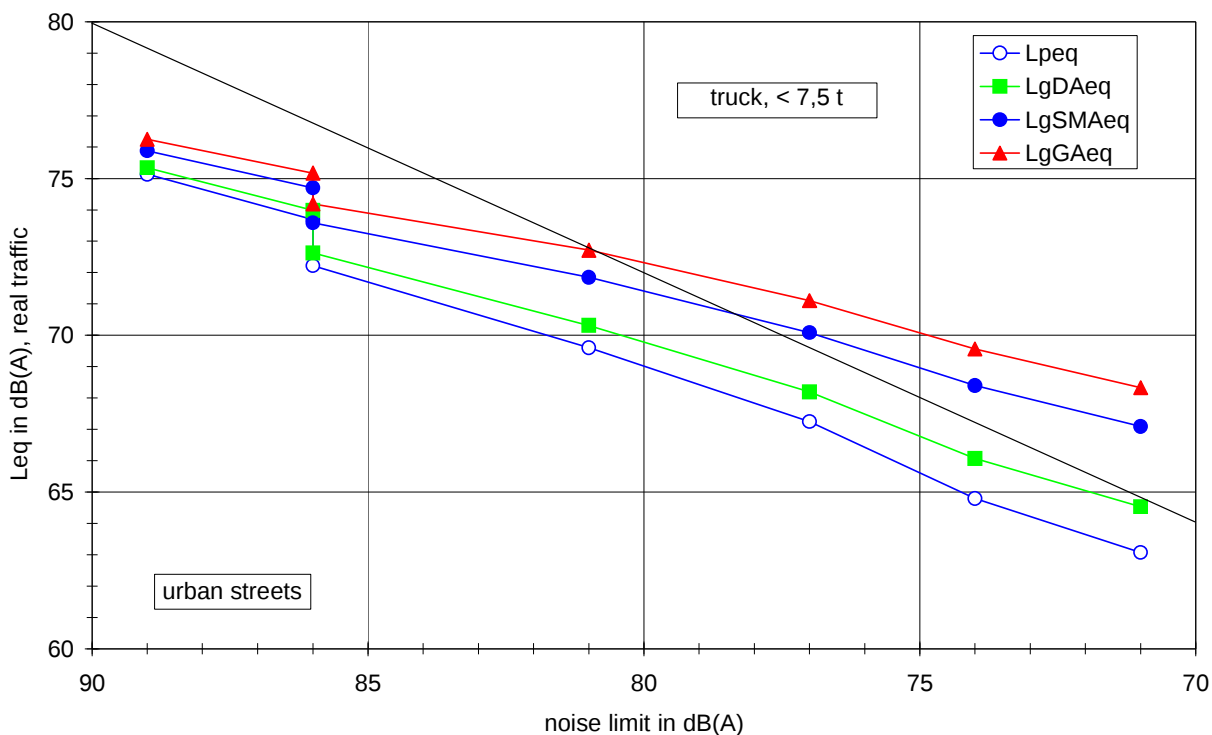


Bild 188: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

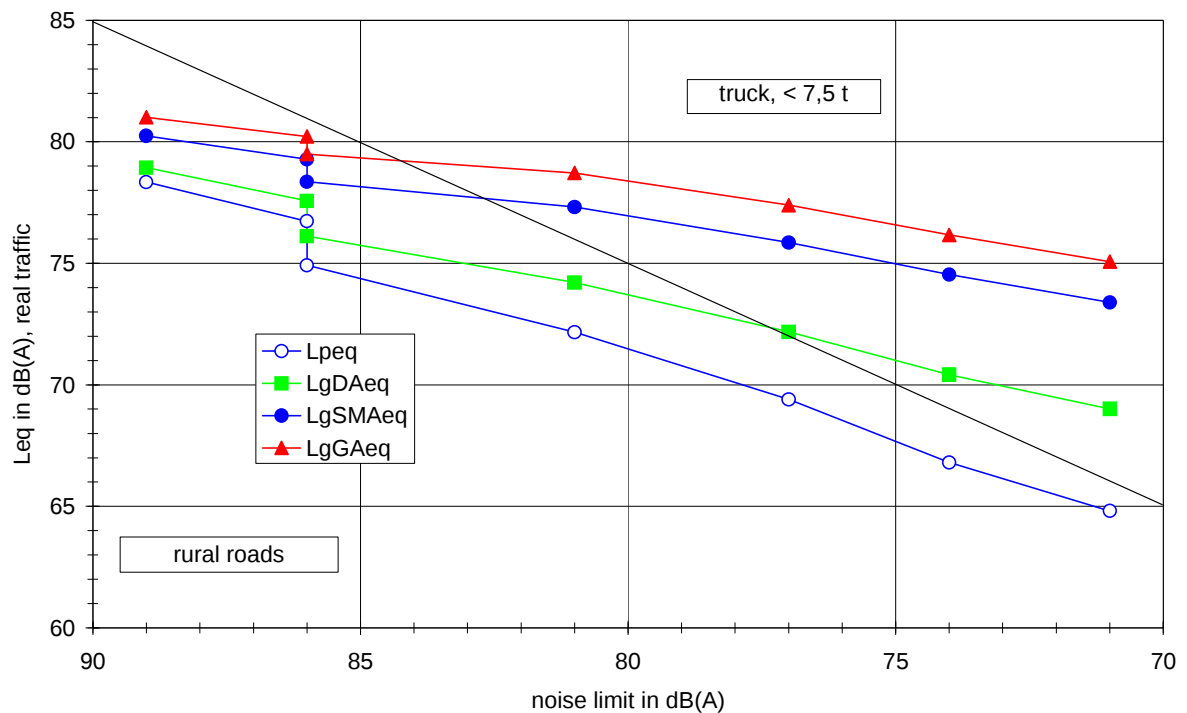


Bild 189: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

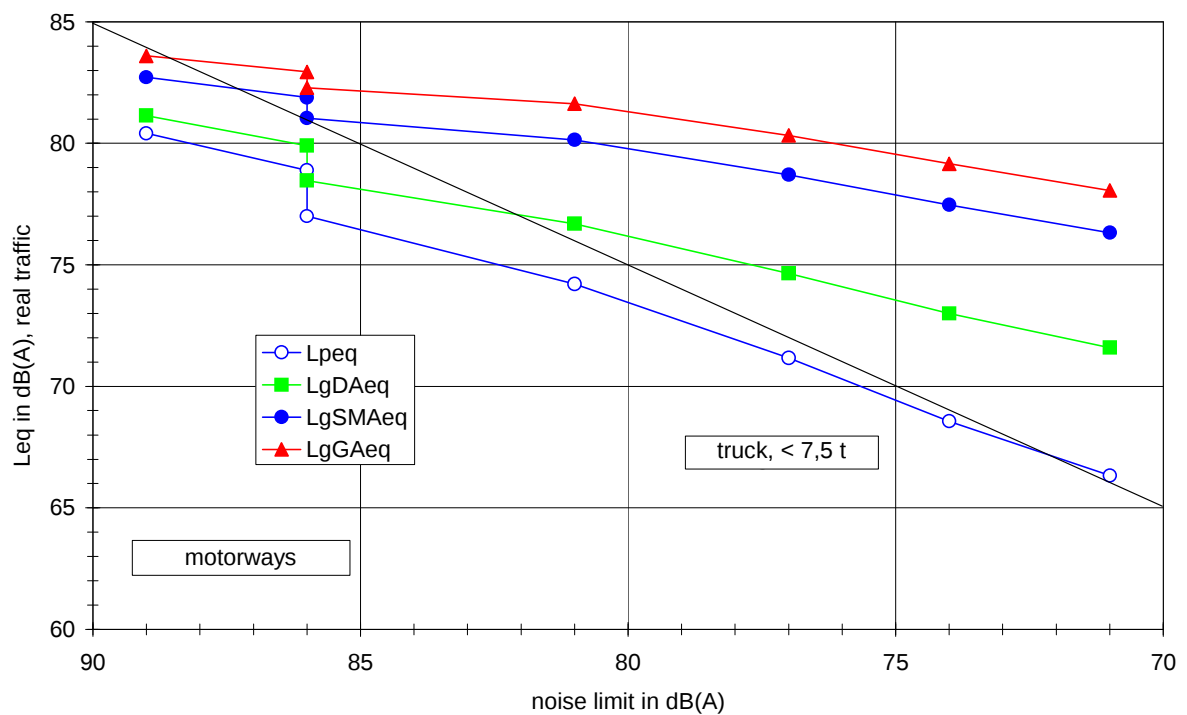


Bild 190: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

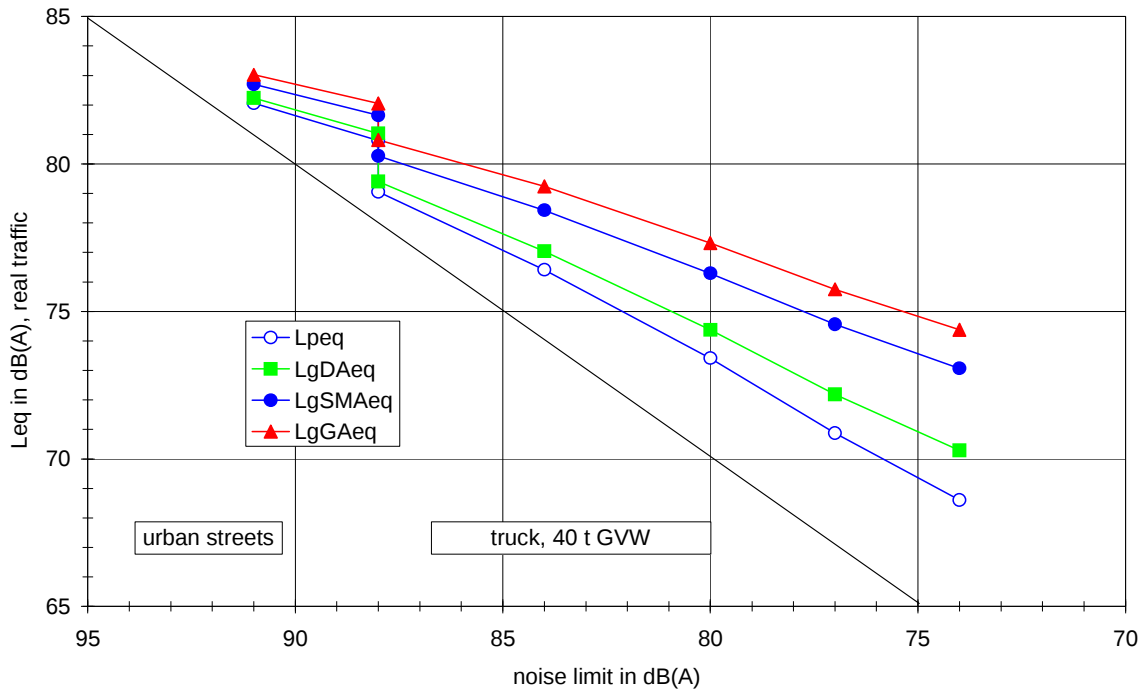


Bild 191: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

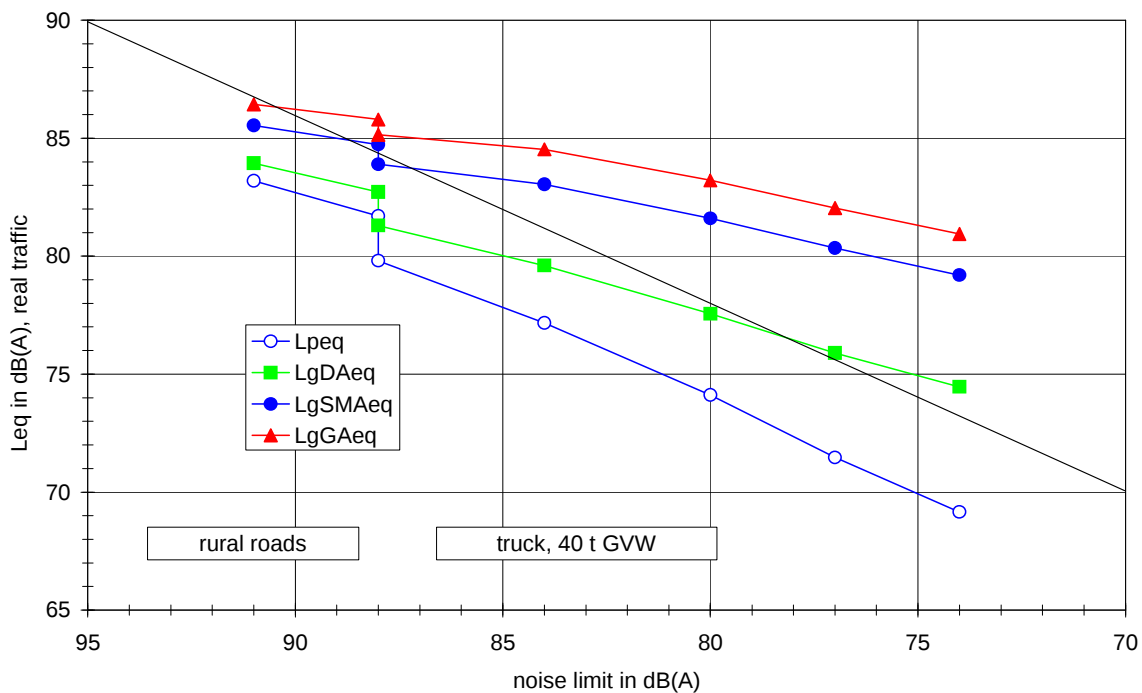


Bild 192: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

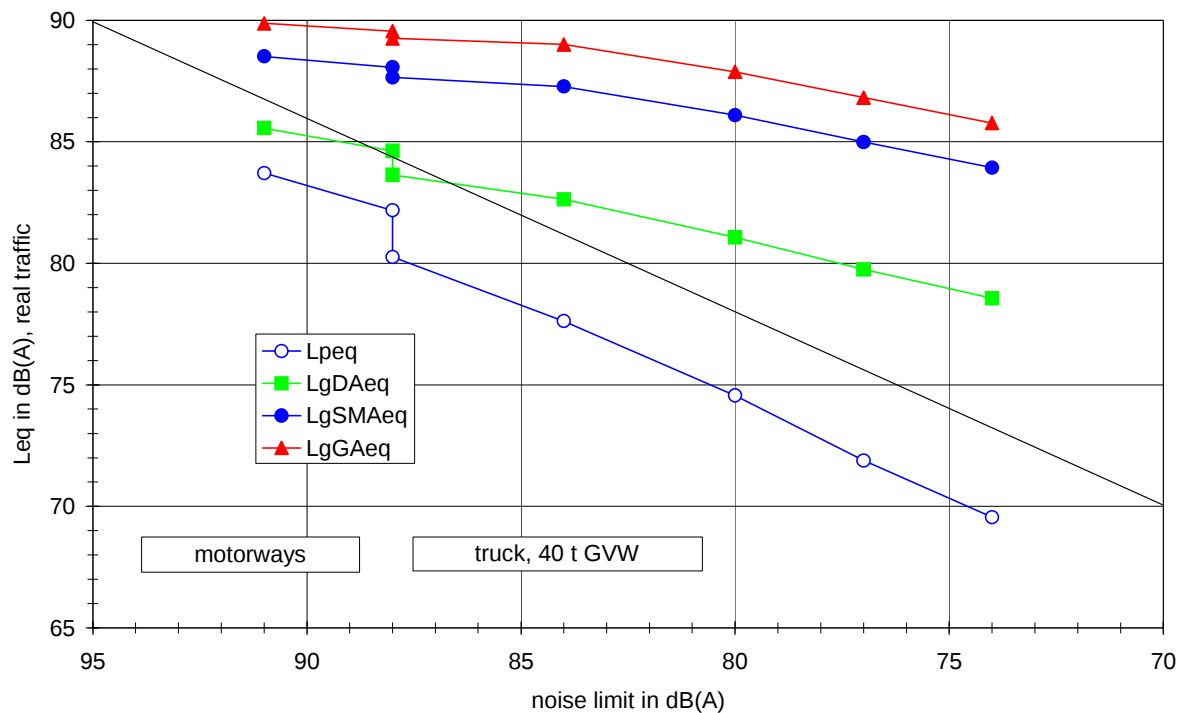


Bild 193: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 1, bestehendes Messverfahren, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

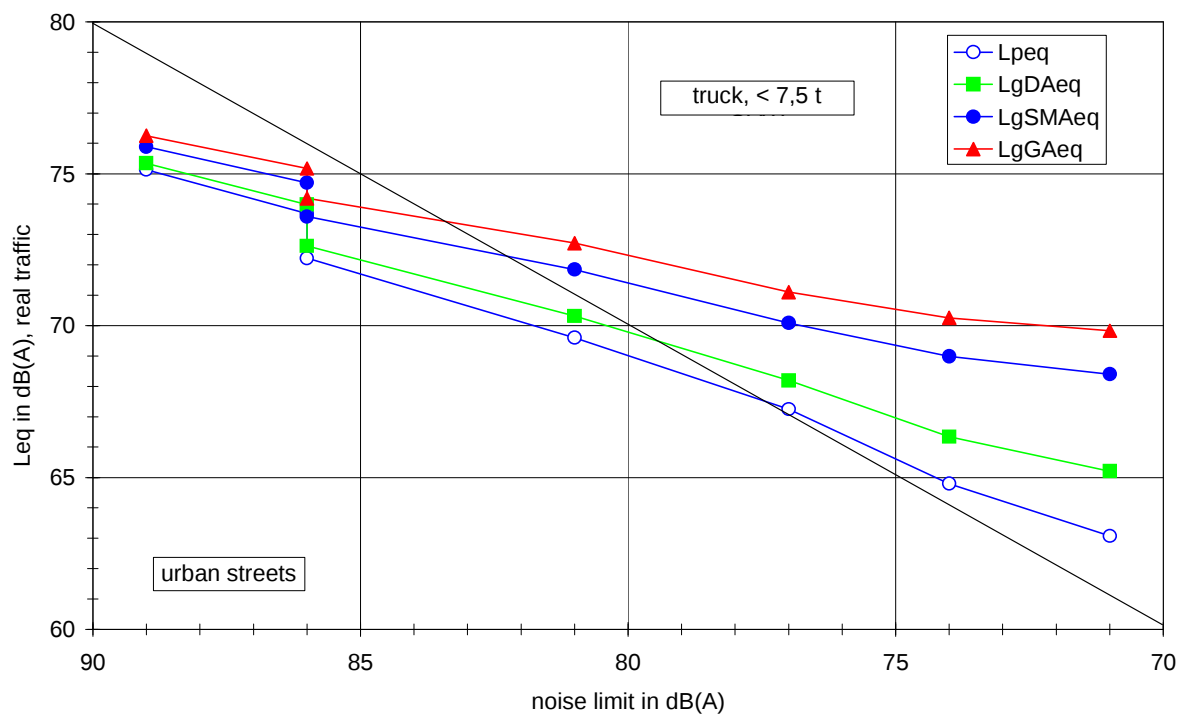


Bild 194: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

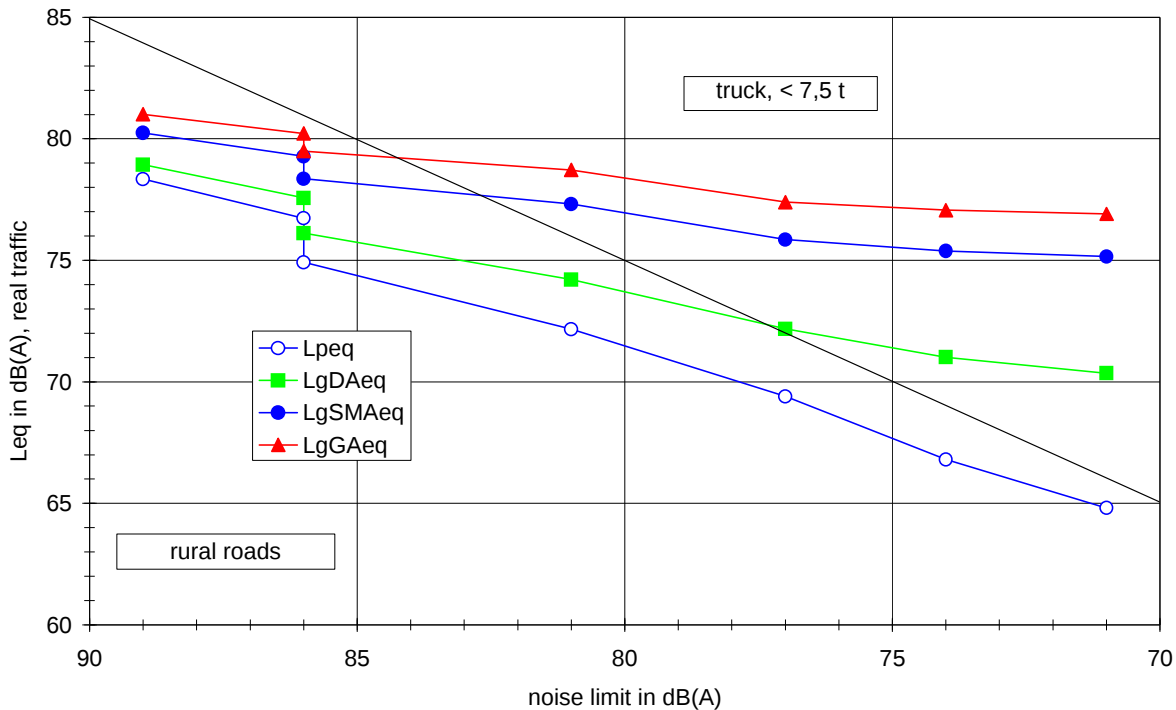


Bild 195: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

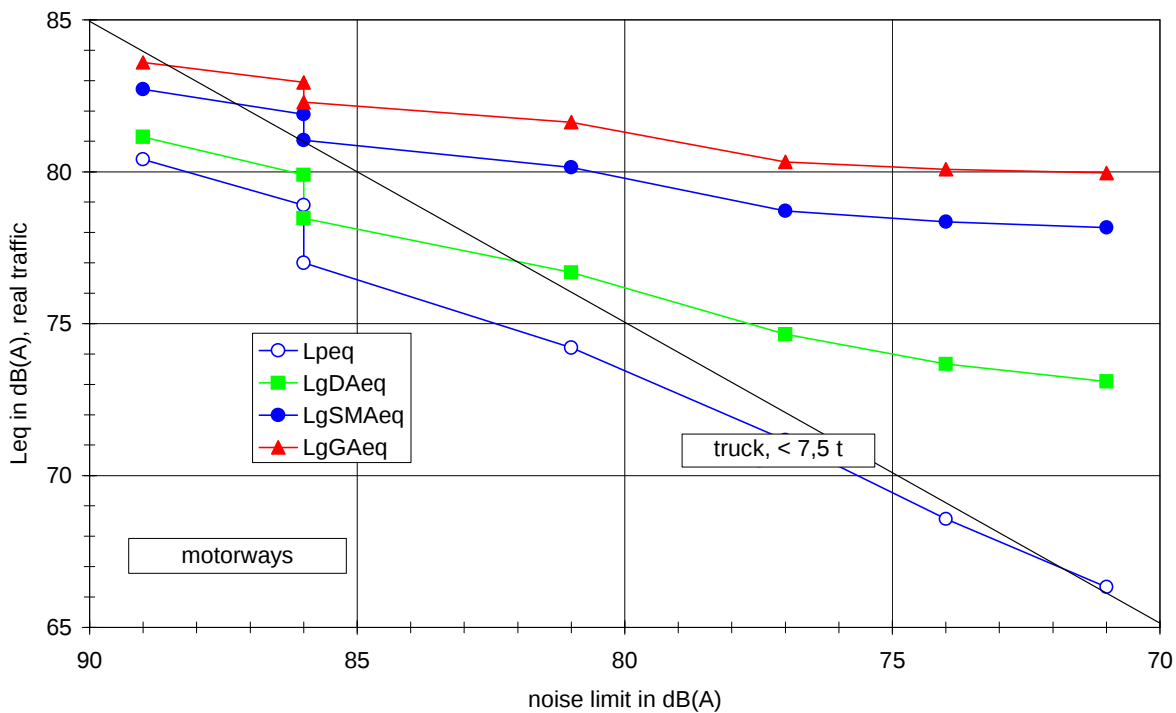


Bild 196: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

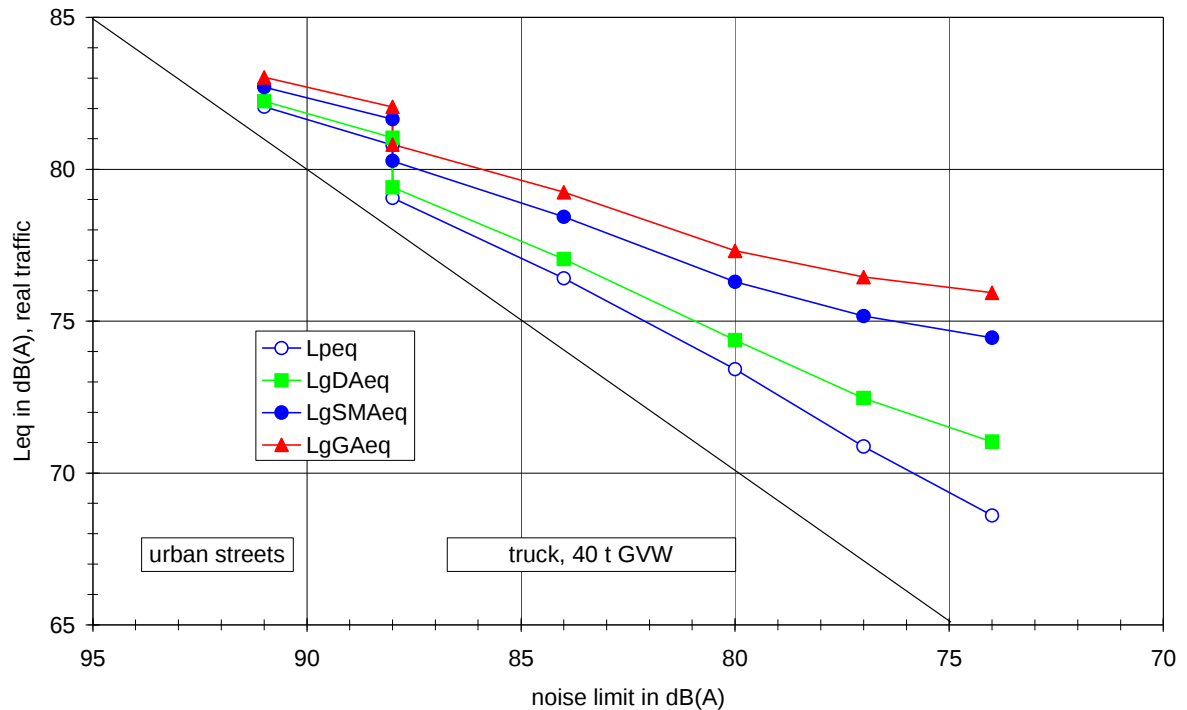


Bild 197: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

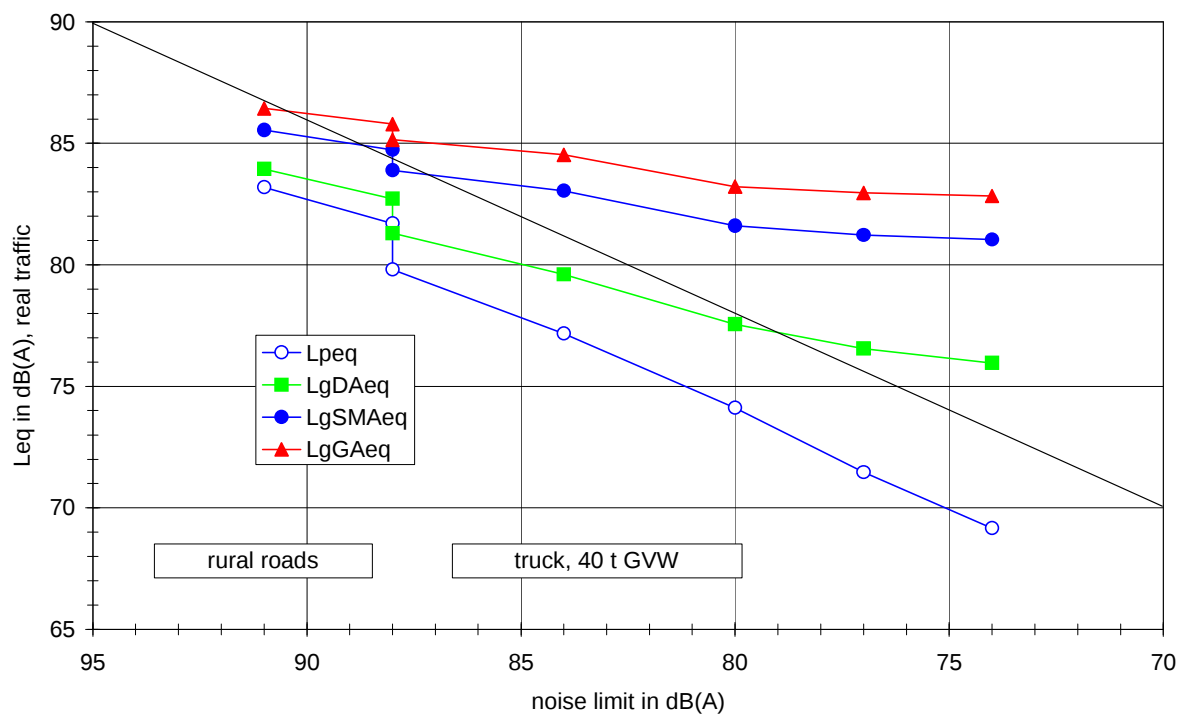


Bild 198: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

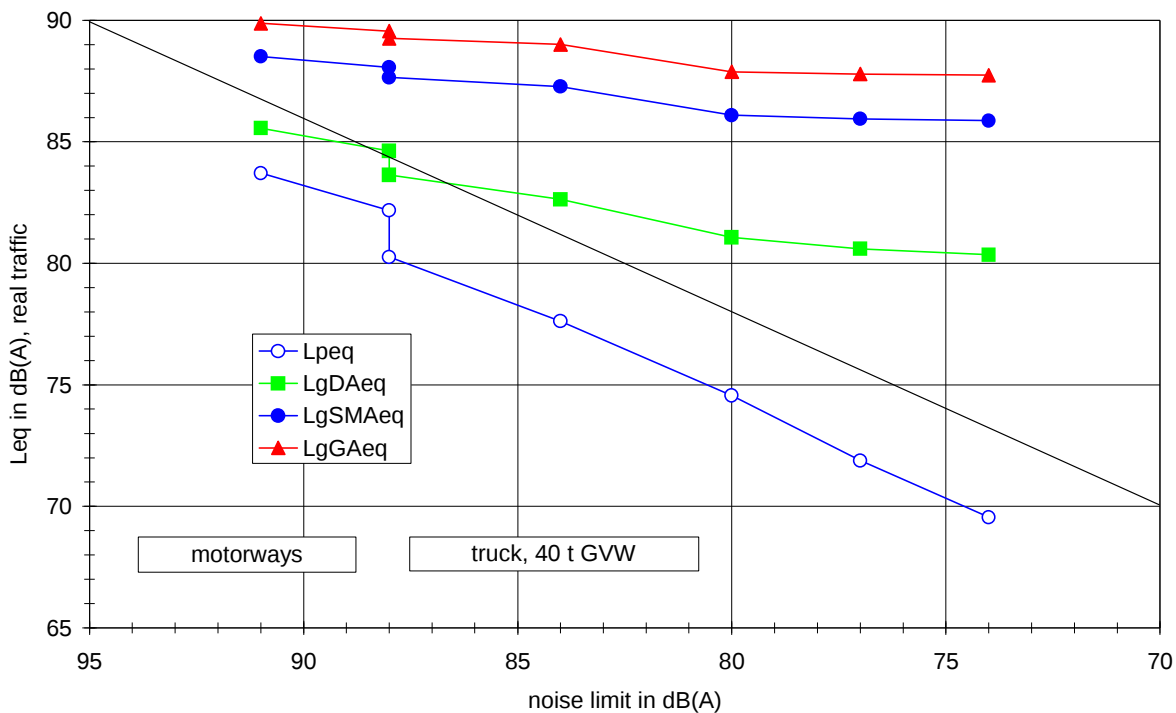


Bild 199: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 2, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Antriebsgeräusches

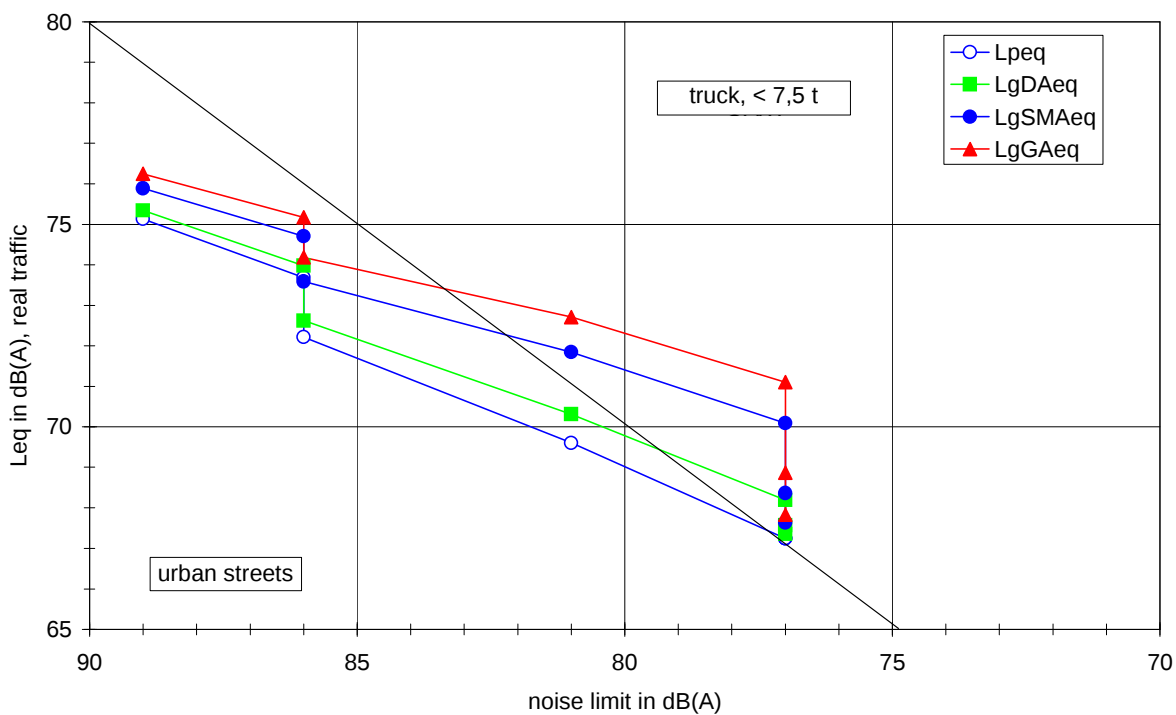


Bild 200: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

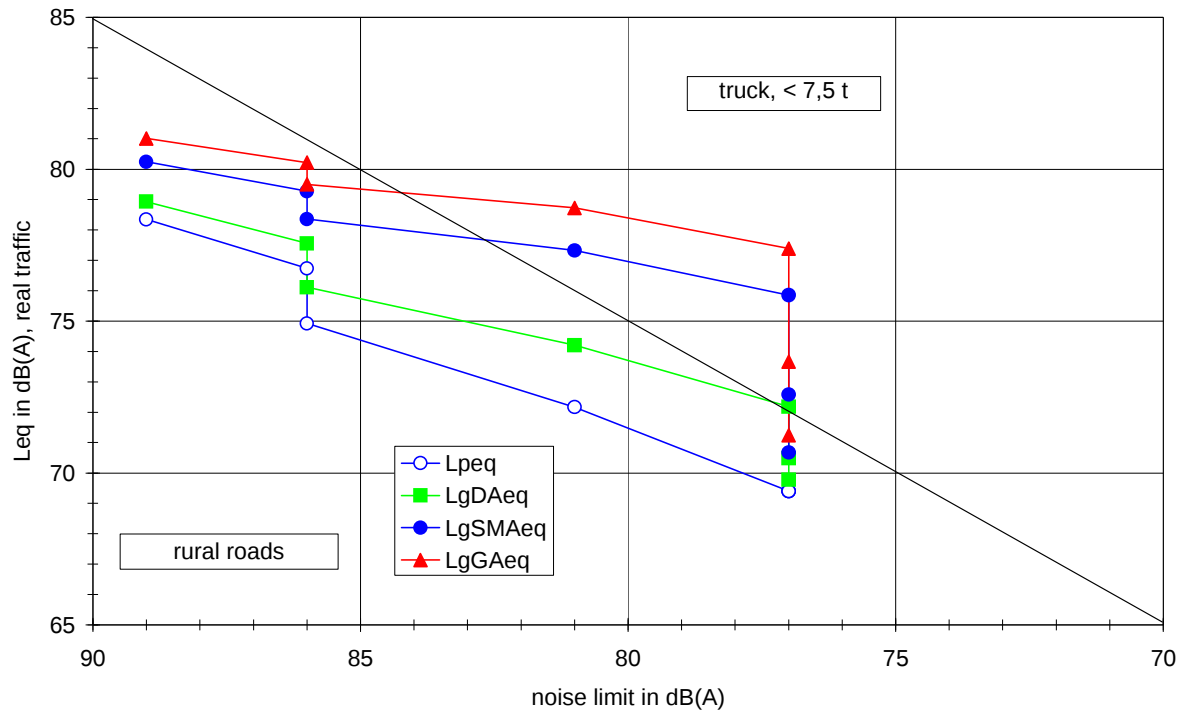


Bild 201: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

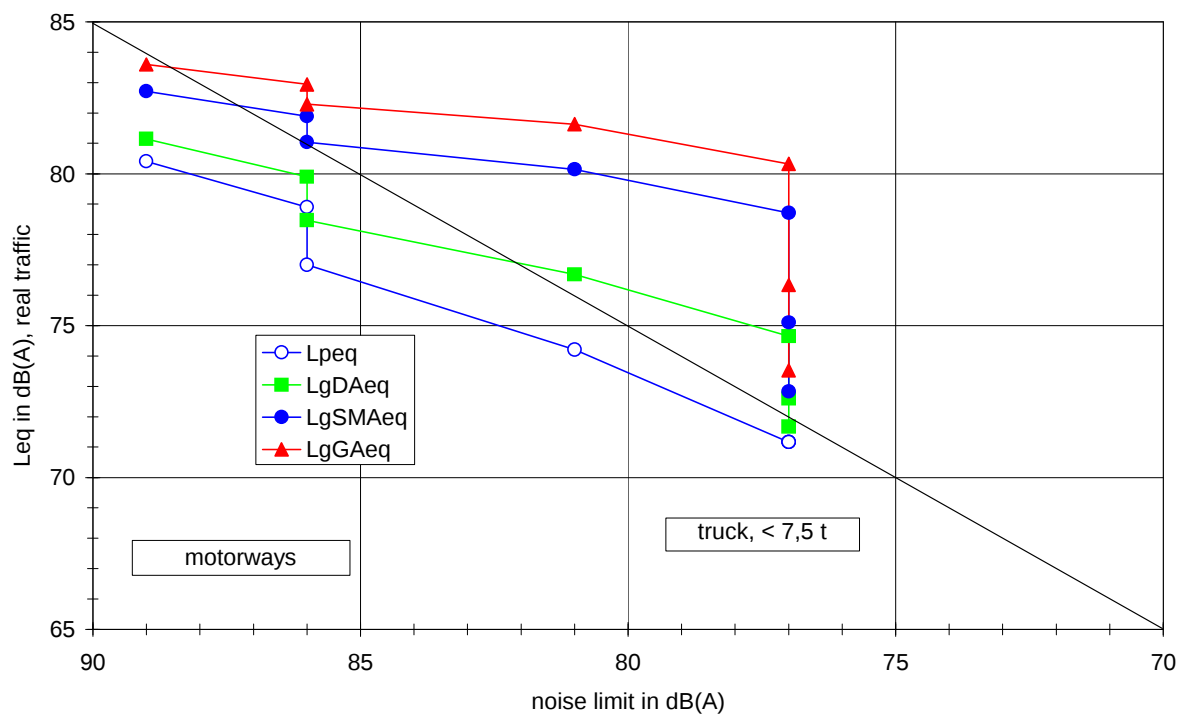


Bild 202: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

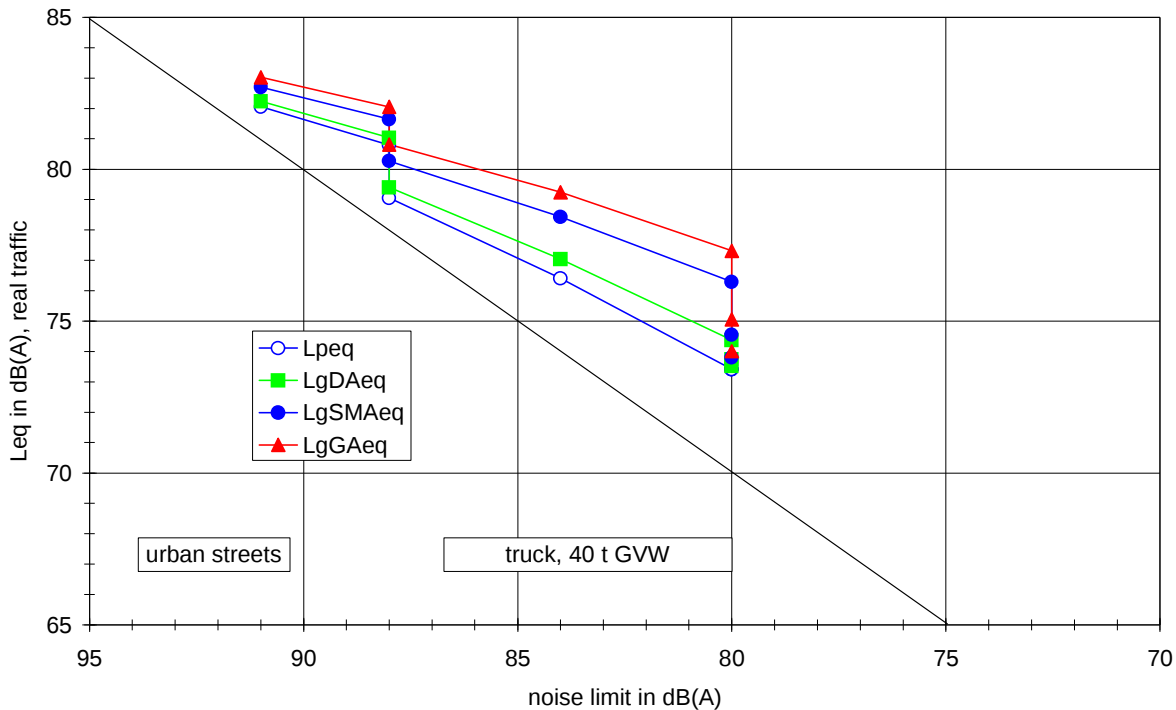


Bild 203: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

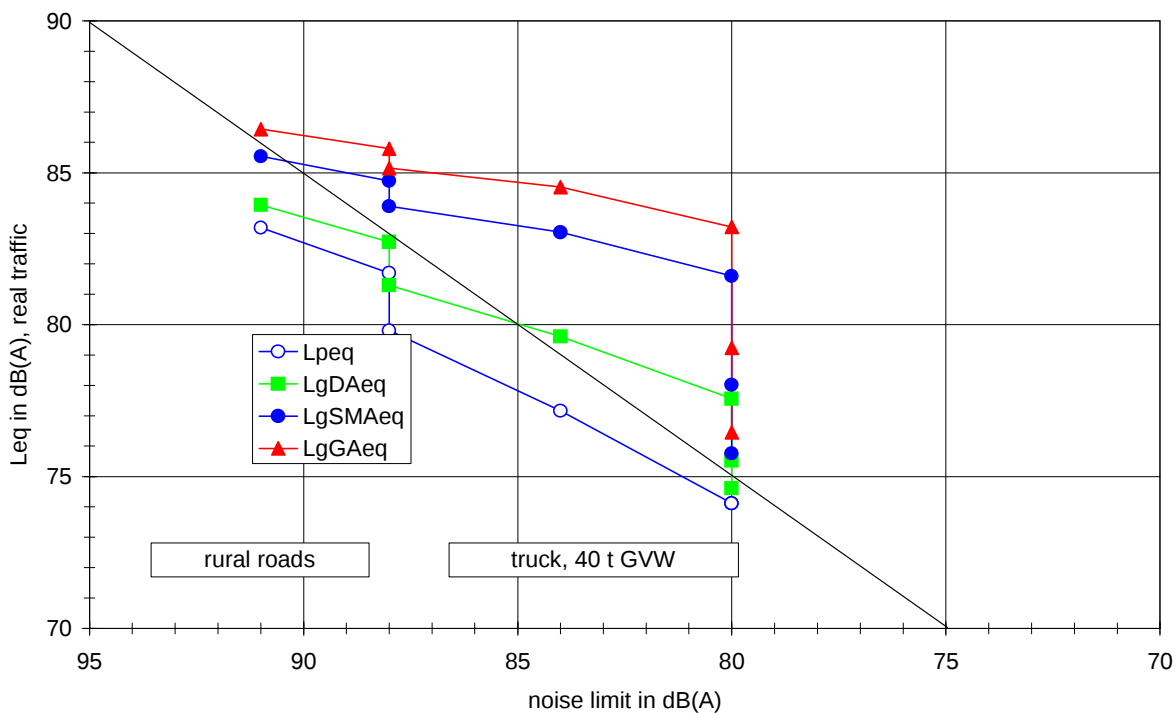


Bild 204: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

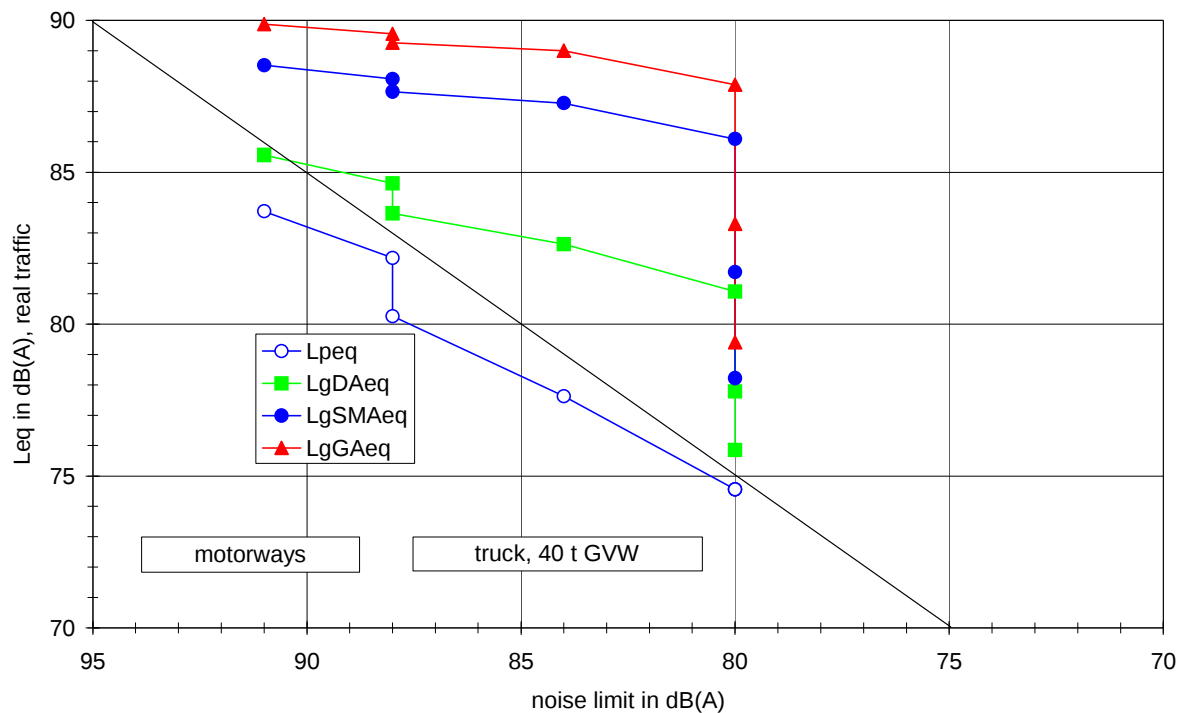


Bild 205: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 3, bestehendes Messverfahren, nur Minderung des Rollgeräusches

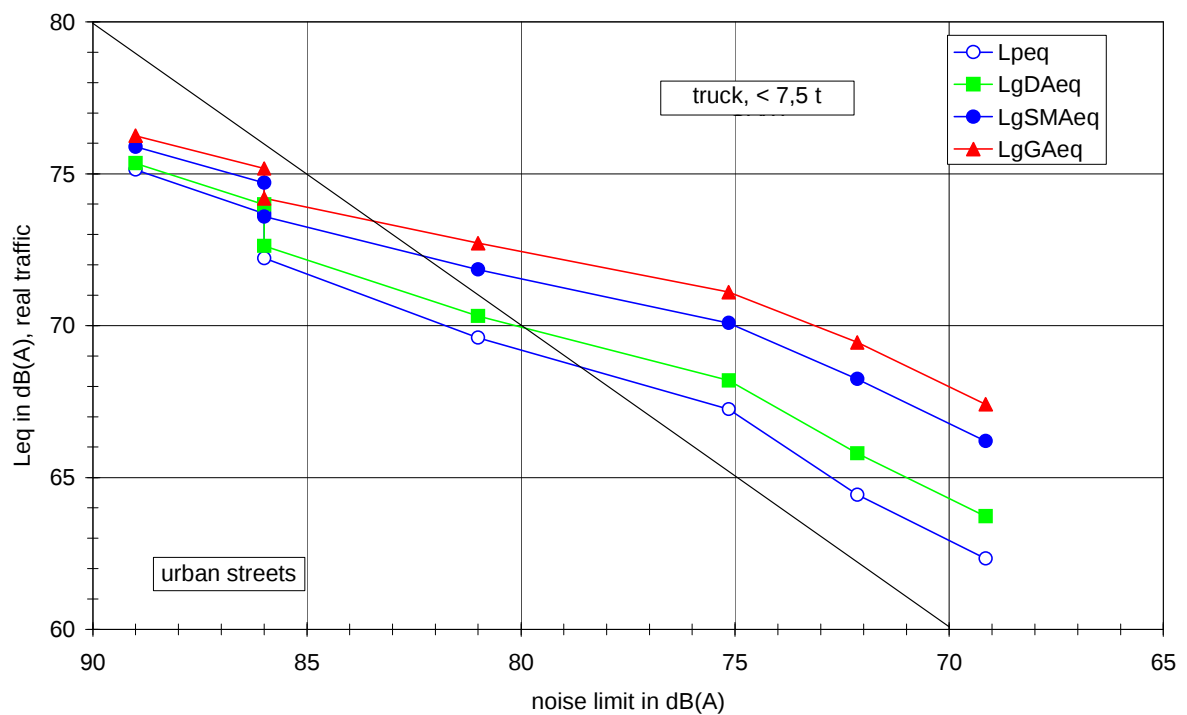


Bild 206: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Vorschlag, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

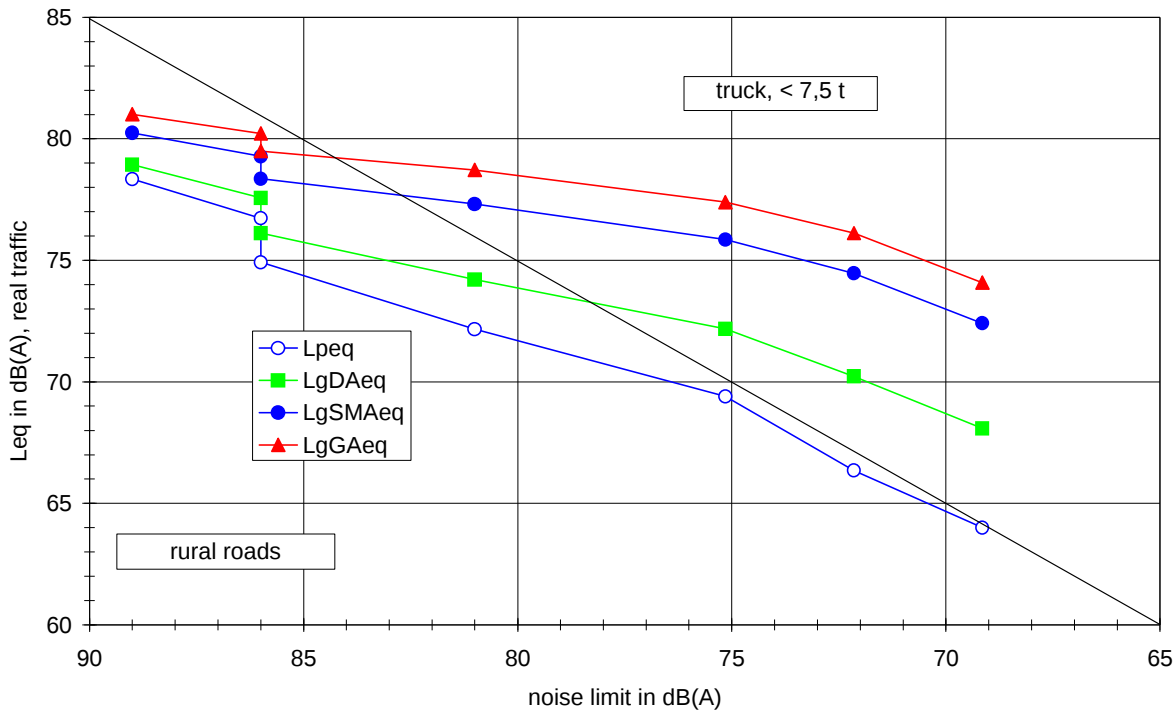


Bild 207: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Vorschlag, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

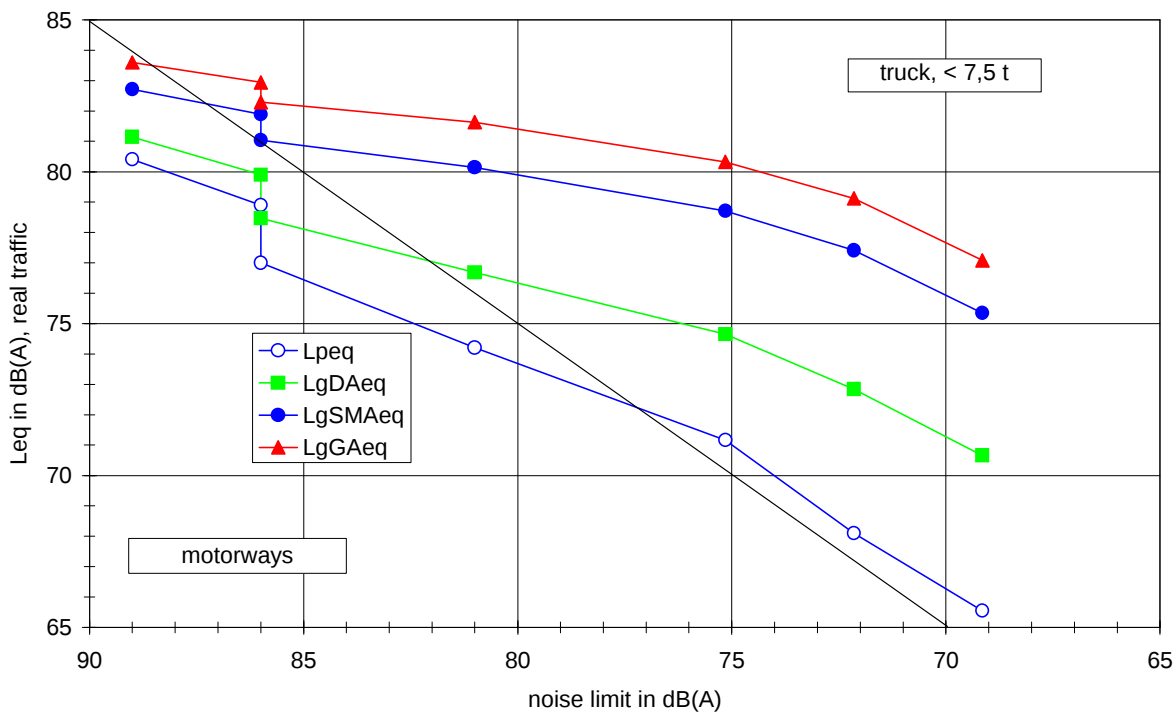


Bild 208: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für kleine Lkw auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Vorschlag, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

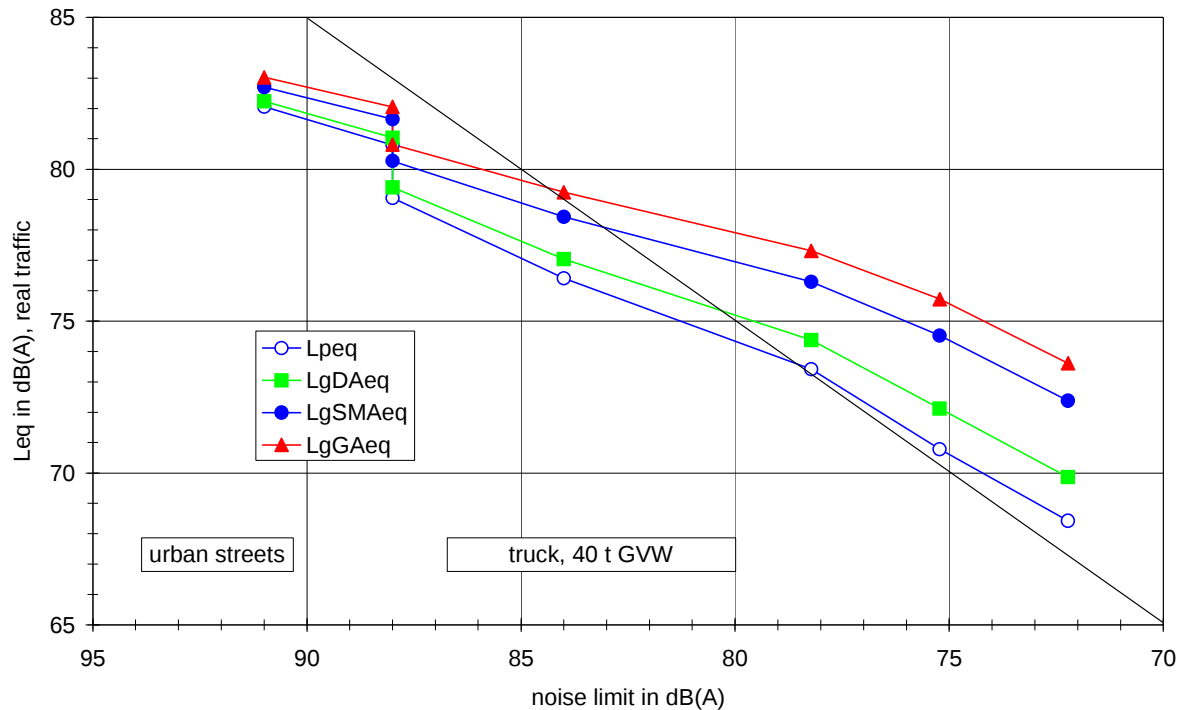


Bild 209: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Innerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Vorschlag, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

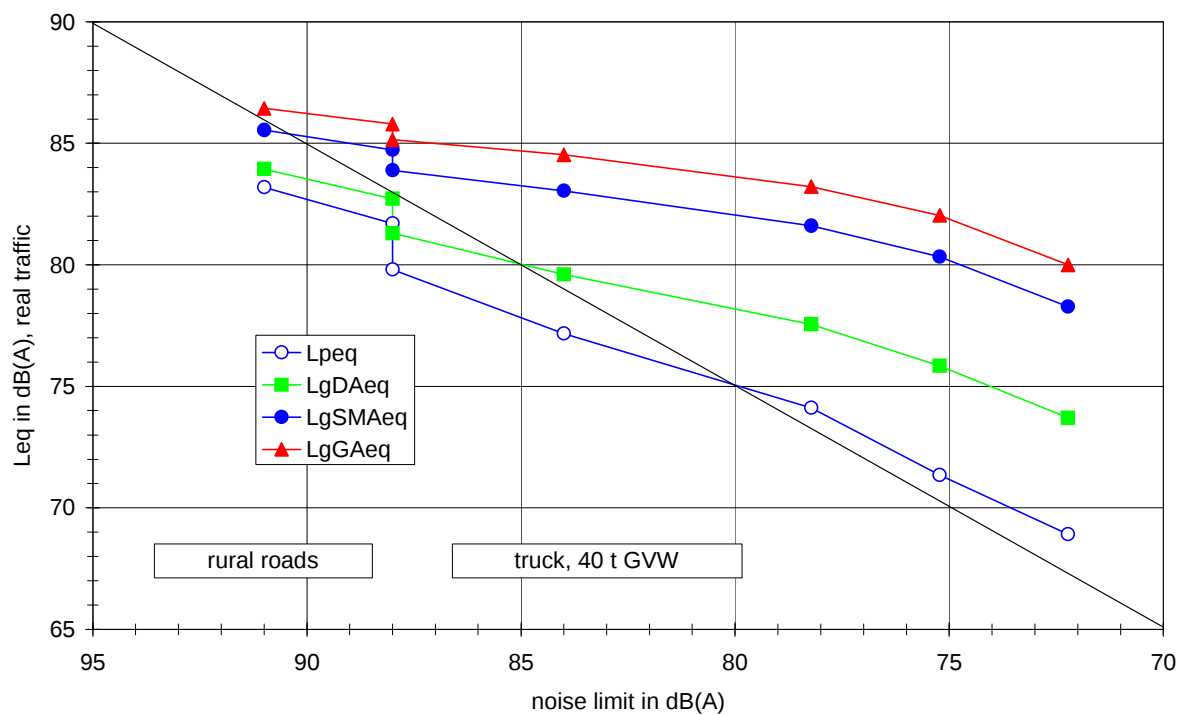


Bild 210: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Außerortsstraßen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Vorschlag, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

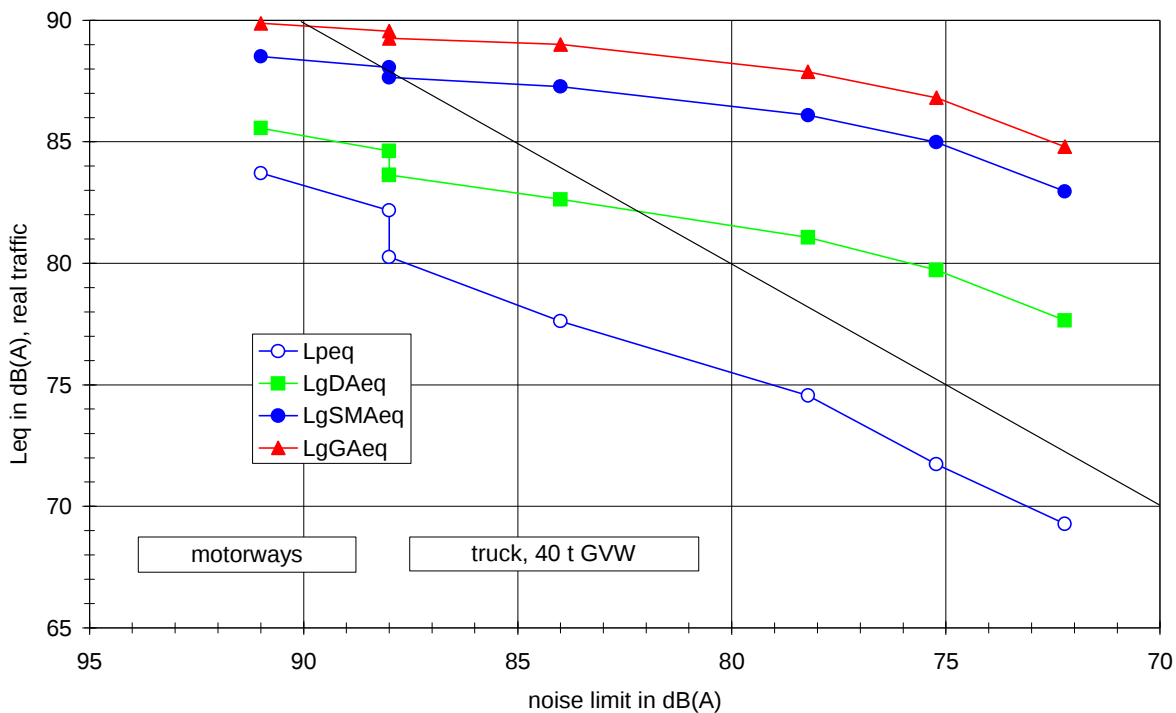


Bild 211: Entwicklung der energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel für Lastzüge auf Autobahnen für unterschiedliche Fahrbahnbeläge, Szenario 4, UBA-Vorschlag, Minderung von Antriebs- und Rollgeräusch

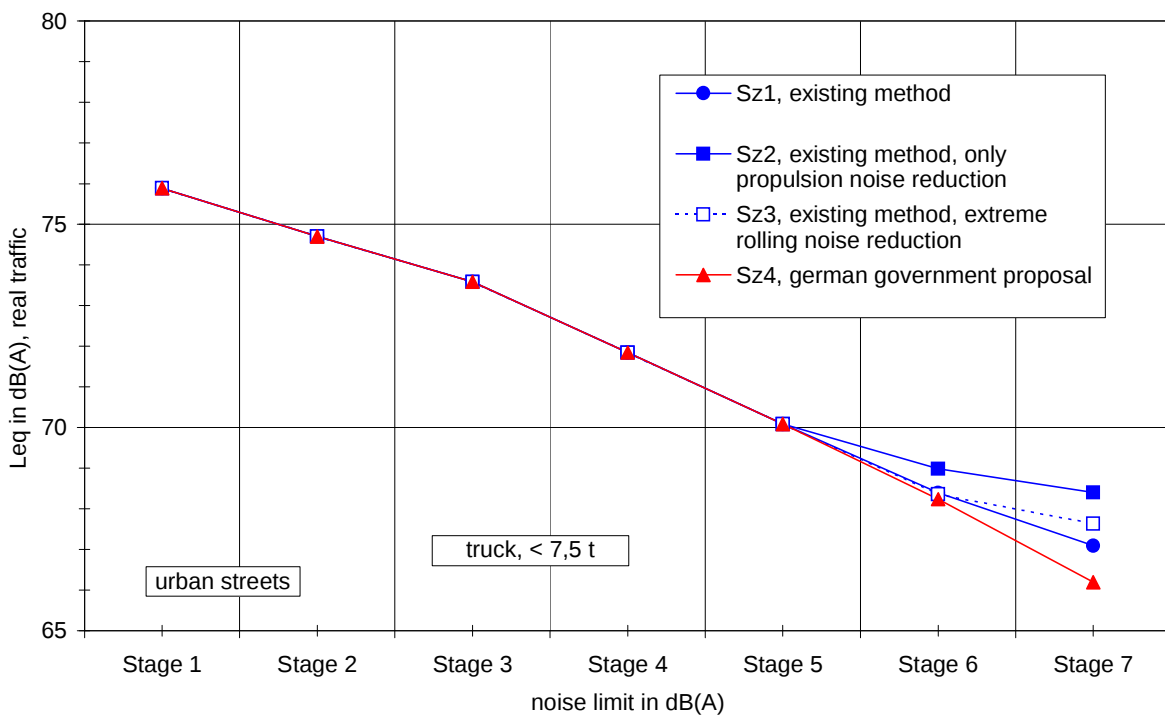


Bild 212: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für kleine Lkw auf Innerortsstraßen auf SMA

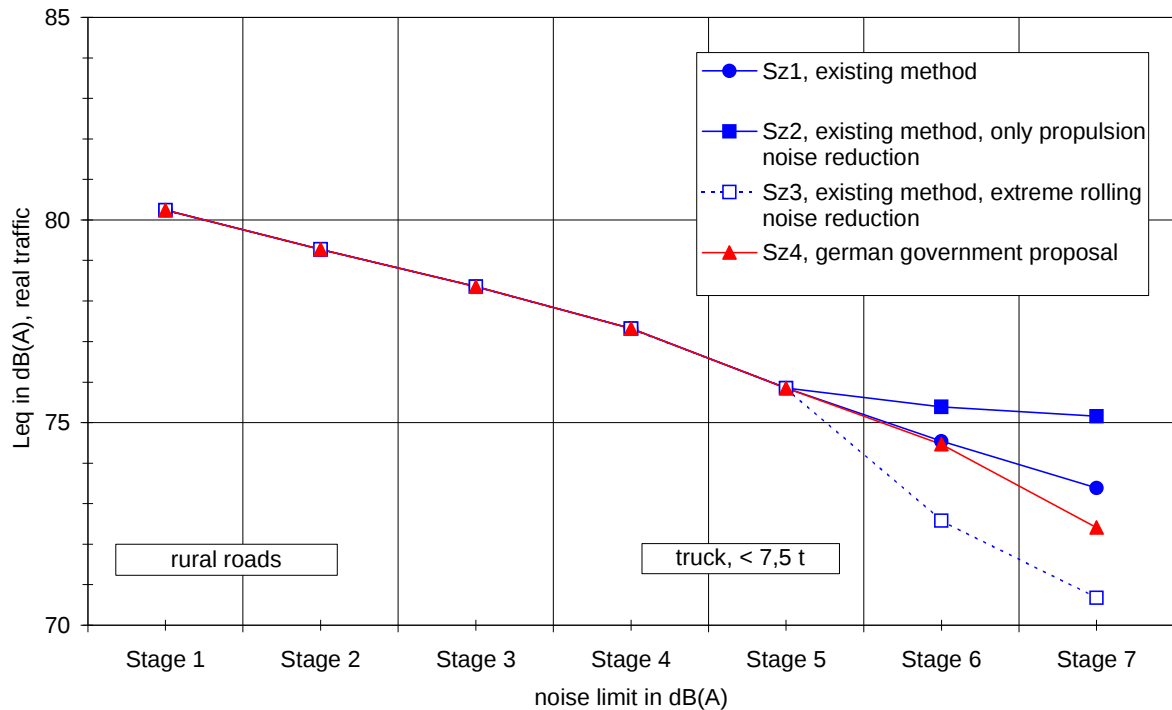


Bild 213: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für kleine Lkw auf Außerortsstraßen auf SMA

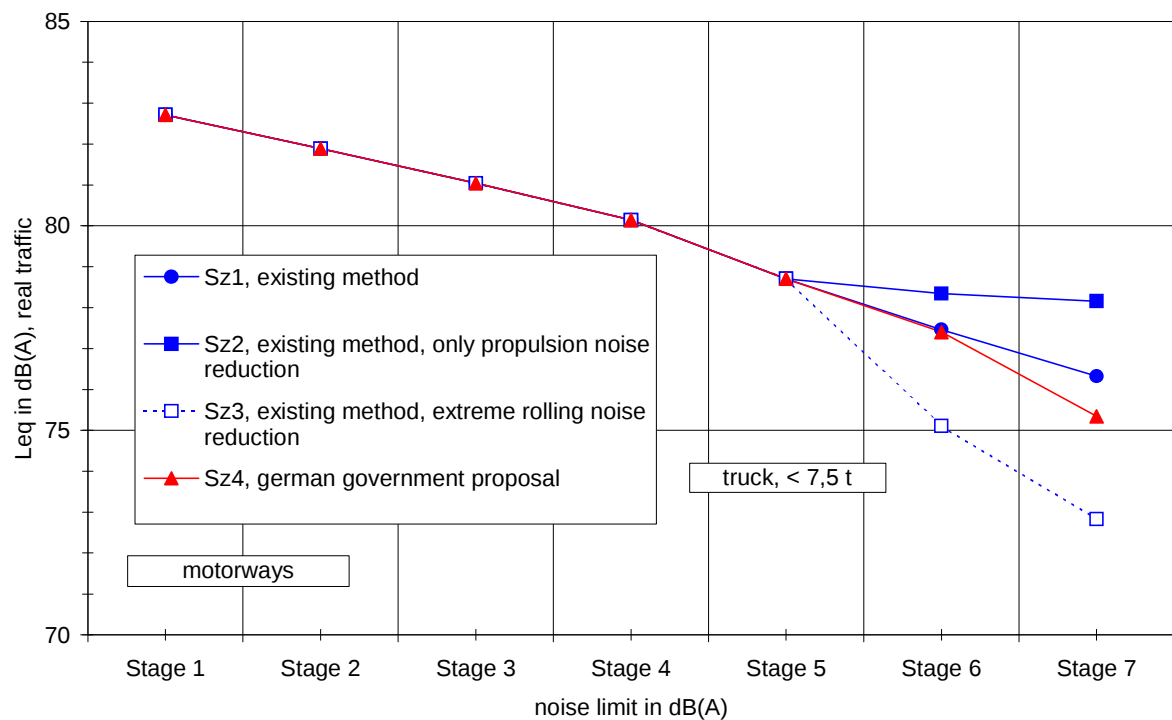


Bild 214: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für kleine Lkw auf Autobahnen auf SMA

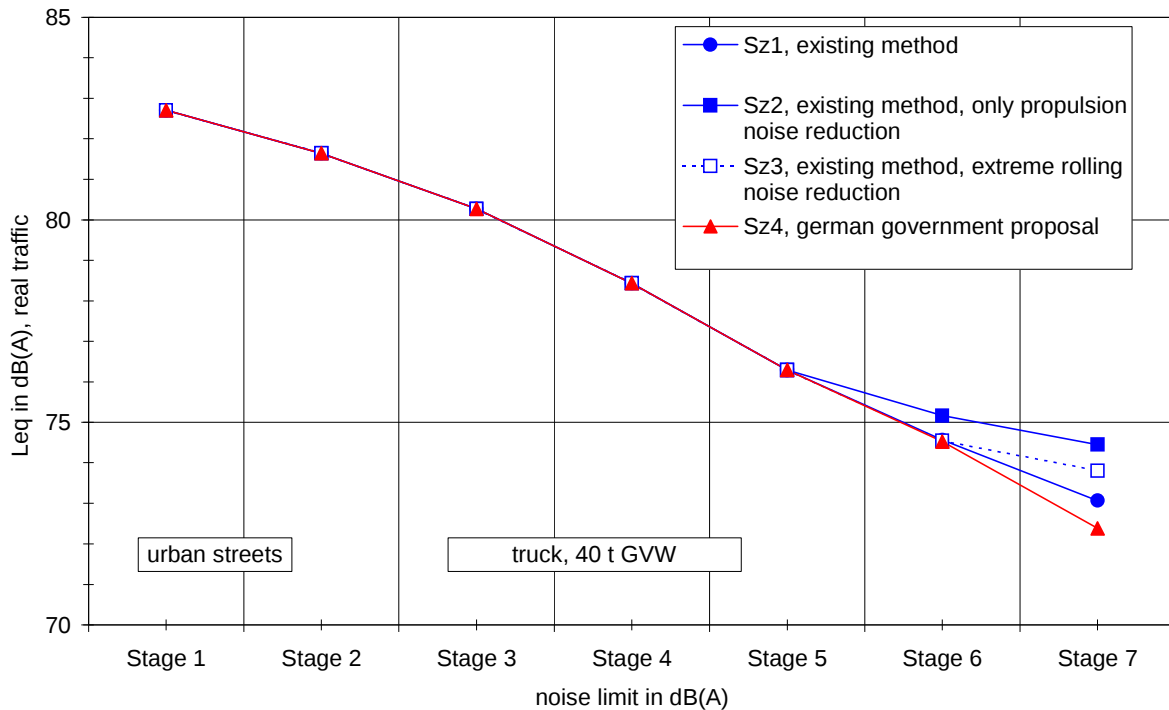


Bild 215: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für Lastzüge auf Innerortsstraßen auf SMA

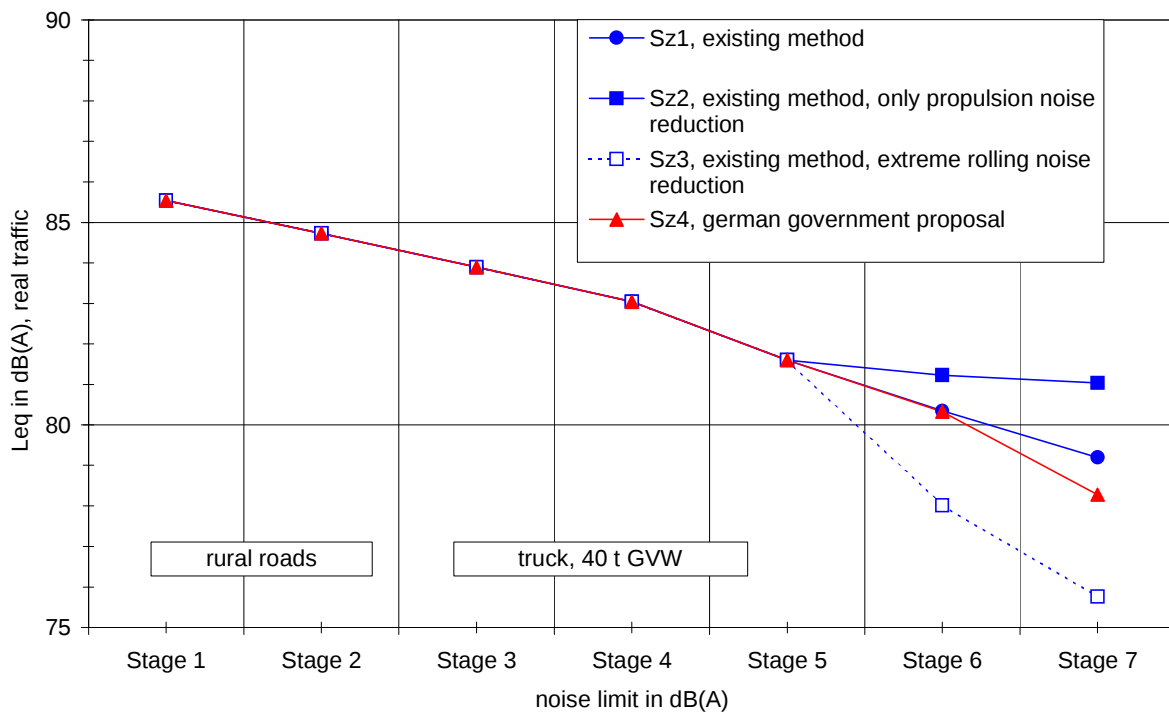


Bild 216: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für Lastzüge auf Außerortsstraßen auf SMA

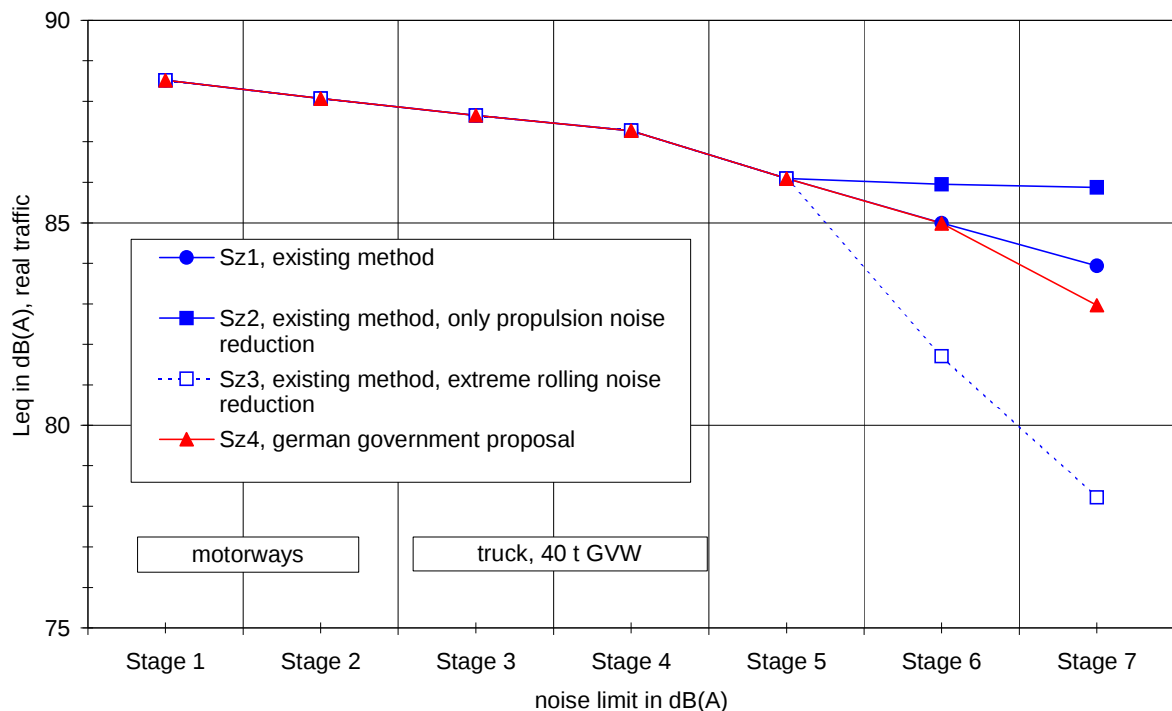


Bild 217: Vergleich der Minderungswirkung der verschiedenen Szenarien für Lastzüge auf Autobahnen auf SMA

4.6.3 Fazit

Die Modellrechnungen haben gezeigt, dass die ersten Stufen der Grenzwertsenkungen bei Pkw keine spürbaren Minderungen der Emissionen im realen Straßenverkehr bewirkt haben. Erst die letzte Stufe (74 dB(A)) führt auch zu einer Minderung im realen Verkehr, vor allem bei niedrigen Geschwindigkeiten. Dieser Effekt wird selbst bei bestehendem Messverfahren bei weiteren Grenzwertsenkungen noch verstärkt, da eine weitere Absenkung der Geräuschgrenzwerte um mehr als 3 dB(A) bei den Pkw ohne Minderung der Rollgeräusche nicht zu realisieren ist. Eine Änderung des Messverfahrens zu praxisnäheren Betriebszuständen verbessert die Wirksamkeit im praktischen Betrieb, weil das Rollgeräusch stärker berücksichtigt bzw. gemindert werden muss, wobei ACEA- und UBA-Vorschlag praktisch gleichwertig sind.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen haben auch die vergangenen Grenzwertsenkungen bzw. Messverfahrensänderungen bereits eine Minderung im praktischen Betrieb bewirkt. Eine weitere Senkung der Geräuschgrenzwerte ist zwar noch ohne Minderung der Rollgeräusche möglich, doch ist deren Auswirkung auf die Emissionen im praktischen Betrieb auf den Innerortsbereich beschränkt. Für eine Minderung der realen Emissionen auf Autobahnen und Außerortsstraßen ist auch eine Minderung der Rollgeräusche zwingend notwendig. Der Änderungsvorschlag des UBA führt zu einer verbesserten Wirksamkeit im praktischen Betrieb, allerdings nicht in dem Maße wie bei den Pkw.

Die Minderungswirkung leiserer Fahrbahnbeläge ist offensichtlich.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1 Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für Kraftfahrzeuge

5.1.1 Pkw

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens haben gezeigt, dass man bei den Überlegungen zur weiteren Geräuschminderung bei den Pkw die Antriebsgeräusche generell noch nicht vernachlässigen kann. Dies gilt besonders für Fahrzeuge, die den derzeit gültigen Geräuschgrenzwert gerade einhalten.

Die Auswertung der KBA-Statistik hat gezeigt, dass bei den Pkw der Stand der Technik für den Großteil der Fahrzeugtypen inzwischen im Mittel 2 dB(A) unter dem derzeitigen Geräuschgrenzwert liegt. Lediglich bei Fahrzeugtypen mit hohen Motorleistungen und hohen Leistungsgewichten liegt der überwiegende Teil dicht am Grenzwert. Diese Auswertung hat darüber hinaus gezeigt, dass zwischen Fahrzeugen mit direkt einspritzenden Dieselmotoren und anderen Dieselmotoren kein signifikanter Unterschied im Typprüfwert zu verzeichnen ist.

Die Fahrzeughersteller geben an, dass auf der Grundlage des derzeit gültigen Messverfahrens und unter den gegebenen Randbedingungen (Verwendung eines „Typprüfreifens“) langfristig ein Grenzwert von 70 dB(A) mit wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen außer bei sehr leistungsstarken Fahrzeugen eingehalten werden kann. Der dazu notwendige Aufwand ist je nachzeitigem Entwicklungsstand unterschiedlich. Für Fahrzeuge, die bereits heute einen Typprüfwert von 71 dB(A) aufweisen, ist zwar nur eine Minderung von 1 dB(A) notwendig, die jedoch eventuell aufwendige Maßnahmen bedingt, da einfachere Maßnahmen bei diesen Fahrzeugen bereits realisiert worden sind.

Eine weitere Herabsetzung der Geräuschgrenzwerte unter 70 dB(A) erfordert extrem aufwendige Kapselmaßnahmen und ist ohne Minderung der Reifengeräusche nicht zu realisieren.

Die derzeit in der Diskussion befindlichen Änderungsvorschläge für die Geräuschmessung im Rahmen der Typprüfung zeigen keine deutlich bessere Korrelation mit den in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen als das gültige Typprüfverfahren. Dies gilt auch für eine Verringerung der Zielgeschwindigkeit auf 30 km/h und/oder höhere Zielbeschleunigungen im ACEA-Verfahren. Deshalb wird vorgeschlagen, die ACEA-Methode entsprechend der in diesem Vorhaben entwickelten Modifikation 3 abzuändern.

Nach einer Übergangsfrist von 3 Jahren sollte dann dieses Verfahren für die Typprüfung verbindlich sein und zwar mit einem um 2 dB(A) gegenüber dem Äquivalenzwert abgesenkten Grenzwert. Der Äquivalenzwert ist so definiert, dass er im Mittel den Typprüfwerten des derzeitigen Standes der Technik entspricht. Auf der Grundlage der hier untersuchten Fahrzeugstichprobe kann erwartet werden, dass der Äquivalenzwert 3 dB(A) unter den derzeitigen Typprüfwerten liegt. Die Übergangszeit sollte dazu genutzt werden, einen statistisch gesicherten Äquivalenzwert zu bestimmen.

Der 1 dB(A) höhere Grenzwert für Pkw mit direkteinspritzenden Dieselmotoren sollte ersatzlos entfallen. Ein Zuschlag für off-road Fahrzeuge (derzeit 1 bis 2 dB(A)) sollte nur den „wirklichen“ off-road Fahrzeugen vorbehalten sein, Pseudo-Geländewagen wie Sports-Utility Fahrzeuge sollten hiervon ausgeschlossen sein.

Durch den anhaltenden Trend zu höheren Motorleistungen sind für immer mehr Fahrzeuge die Kriterien für besonders leistungsstarke Fahrzeuge erfüllt, bei denen im Messverfahren für die Typprüfung nur das Messergebnis im 3. Gang zugrundegelegt wird. Zudem haben diese Fahrzeuge einen 1 dB(A) höheren Grenzwert. Wegen dieser Vorteile, die keinen Bezug zur Praxis

aufweisen, sollten die Abgrenzungskriterien neu überdacht werden. Es wird vorgeschlagen, die besonders leistungsstarken Fahrzeuge wie folgt abzugrenzen: Nennleistung über 200 kW, Verhältnis von Nennleistung und zul. Gesamtmasse über 150 kW/t. Für Fahrzeuge, die diese Bedingungen erfüllen, sollten separate Grenzwerte festgelegt werden, damit durch sie nicht das Emissionsniveau der übrigen Pkw nivelliert wird.

Nach einer angemessenen Übergangsfrist sollten die Grenzwerte aller Pkw in einer weiteren Stufe um 2 dB(A) gesenkt werden, wenn dies zu einer spürbaren Minderung der Geräuschbelastung im Innerortsbereich beiträgt.

In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des Vorhabens auch Überlegungen angestellt, welche Kriterien ein Pkw erfüllen muss, der im Hinblick auf die Emissionen im praktischen Betrieb auch langfristig als ausreichend leise angesehen werden kann, so dass keine weiteren Minderungsmaßnahmen mehr erforderlich sind.

Als Einstieg in die Diskussion werden auf der Grundlage der in diesem Vorhaben vorgenommenen Analysen folgende Randbedingungen vorgeschlagen:

- ☐ Reifengeräuschpegel auf Splittmastixasphalt bei 50 km/h: 65 dB(A),
- ☐ Antriebsgeräuschpegel bei n_{norm_95} high rev und Volllast: 66 dB(A),
- ☐ Standgeräuschpegel bei Leerlauf: 48 dB(A),
- ☐ Differenz zwischen Antriebsgeräuschpegel bei Volllast und ohne Motorbelastung zwischen Leerlaufdrehzahl und n_{norm_95} high rev: < 7 dB(A)

Zu n_{norm_95} und n_{norm_95} high rev siehe Bild 218. Obige Werte wurden bereits von einem Fahrzeug der in diesem Vorhaben untersuchten Stichprobe eingehalten. Die Geräuschemissionen dieses Fahrzeugs sind als Einzelereignisse nicht mehr störend oder belästigend.

Auf der Basis dieser Kriterien sollte eine letzte Grenzwertstufe für das geänderte Typprüfverfahren festgelegt werden. Die Umsetzung sollte bis spätestens 2012 erfolgen. Der für das Reifen-geräusch genannte Wert ist als vorläufig zu betrachten und sollte weiter herabgesetzt werden, sobald dies technisch realisiert werden kann.

Um sicherzustellen, dass sich Minderungsmaßnahmen für die Typprüfung auch auf die Emissionen im praktischen Betrieb auswirken, sollte jeder Reifen mit seinem Geräuschwert gekennzeichnet sein und der Fahrzeughersteller im Rahmen der Typprüfung verpflichtet werden, den Reifen-Geräuschwert festzulegen, der erforderlich ist, um den Typprüf-Grenzwert einzuhalten. Nur so ist gewährleistet, dass die Typprüfbedingungen auch im Feld und auch bei späterem Reifenwechsel eingehalten werden.

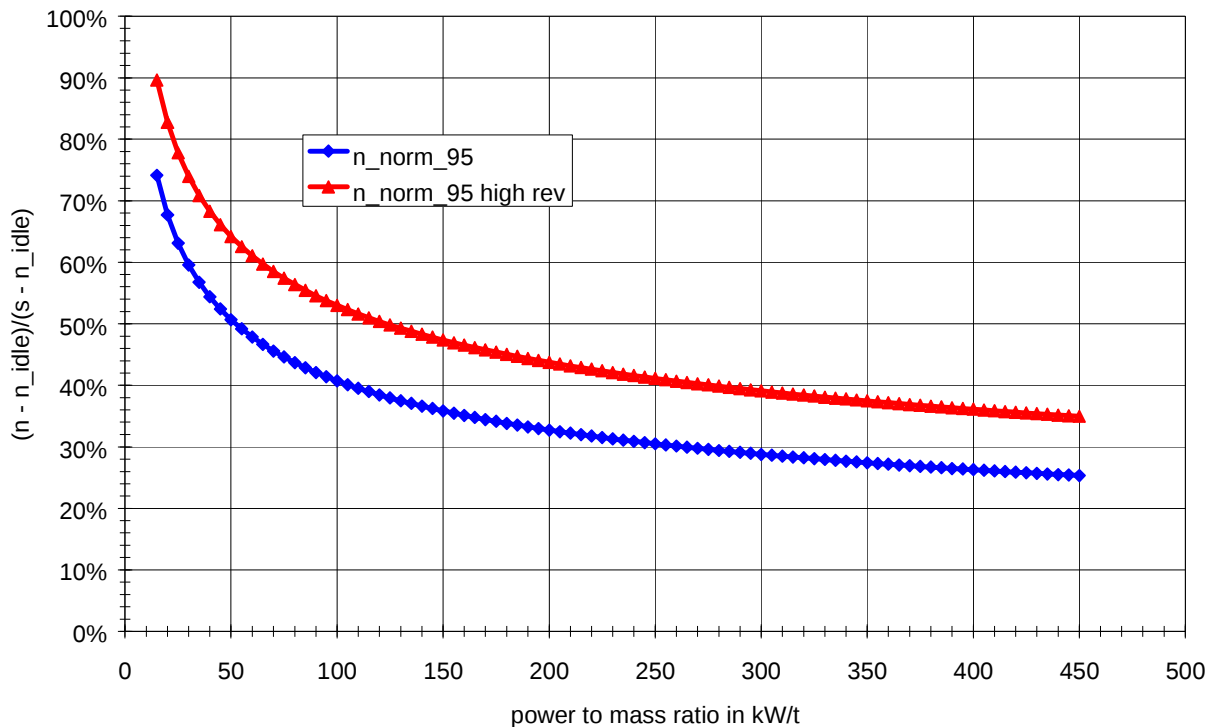


Bild 218: Vom Leistungsgewicht abhängige normierte Spitzendrehzahlen (Für M1 und L3 Fahrzeuge ist das Leistungsgewicht die Nennleistung dividiert um die um 75 kg erhöhte Leermasse, für N2 und N3 Fahrzeuge die Nennleistung dividiert durch Leermasse plus halbe Zuladung, wobei für N3 Fahrzeuge die zul. Gesamtzugmasse für die Bestimmung der halben Zuladung zu berücksichtigen ist.)

5.1.2 Nutzfahrzeuge

Für Nutzfahrzeuge sollte so rasch wie möglich eine Änderung des Messverfahrens erfolgen, um gegenüber Pkw eine gleichwertigere Beurteilung der Geräuschemissionen im Vergleich zum praktischen Betrieb zu erzielen. Dies kann durch das ACEA-Verfahren (derzeitiger Stand für N2 und N3 Fahrzeuge) geschehen. In diesem Zusammenhang wird empfohlen, leichte Nutzfahrzeuge (N1) im ACEA-Verfahren nach dem gleichen Konzept zu messen wie schwere Nutzfahrzeuge, allerdings bei niedrigerer normierter Drehzahl (nach derzeitigem ACEA-Konzept 60% der Nenndrehzahl).

Da die Nennleistungsdrehzahl bei modernen Dieselmotoren nicht mehr eindeutig festgelegt ist und dieser Wert zu cycle bypass Maßnahmen verwendet werden kann, wird eine andere Kenngröße zur Bestimmung der Messdrehzahl empfohlen.

In Bild 219 und Bild 220 sind Beispiele für Vollastkurven von modernen Dieselmotoren angegeben. Dort eingetragen sind auch zwei Drehzahlkennwerte (n_{low} und n_{high}), die zur Festlegung der Prüfdrehzahlen für den Stationärtest bei der Messung der Schadstoffemissionen (nach ECE R 49) herangezogen werden. (n_{low} is the lowest engine speed at which the engine develops 50% of its maximum power at WOT, n_{high} is the highest engine speed at which the engine develops 70% of its maximum power at WOT.)

Die Auswertung von insgesamt 83 Dieselmotor-Vollastkurven ergab folgende Formeln für die normierten Zieldrehzahlen am Ende der Messstrecke:

- **Category N1:** $n_{BB'} = n_{low} + 18,5\% * (n_{high} - n_{low})$,
- **Category M2, N2:** $n_{BB'} = n_{low} + 34\% * (n_{high} - n_{low})$,
- **Category M3, N3:** $n_{BB'} = n_{low} + 56\% * (n_{high} - n_{low})$.

Diese Werte sind 60%, 70% bzw. 85% der Nenndrehzahl äquivalent.

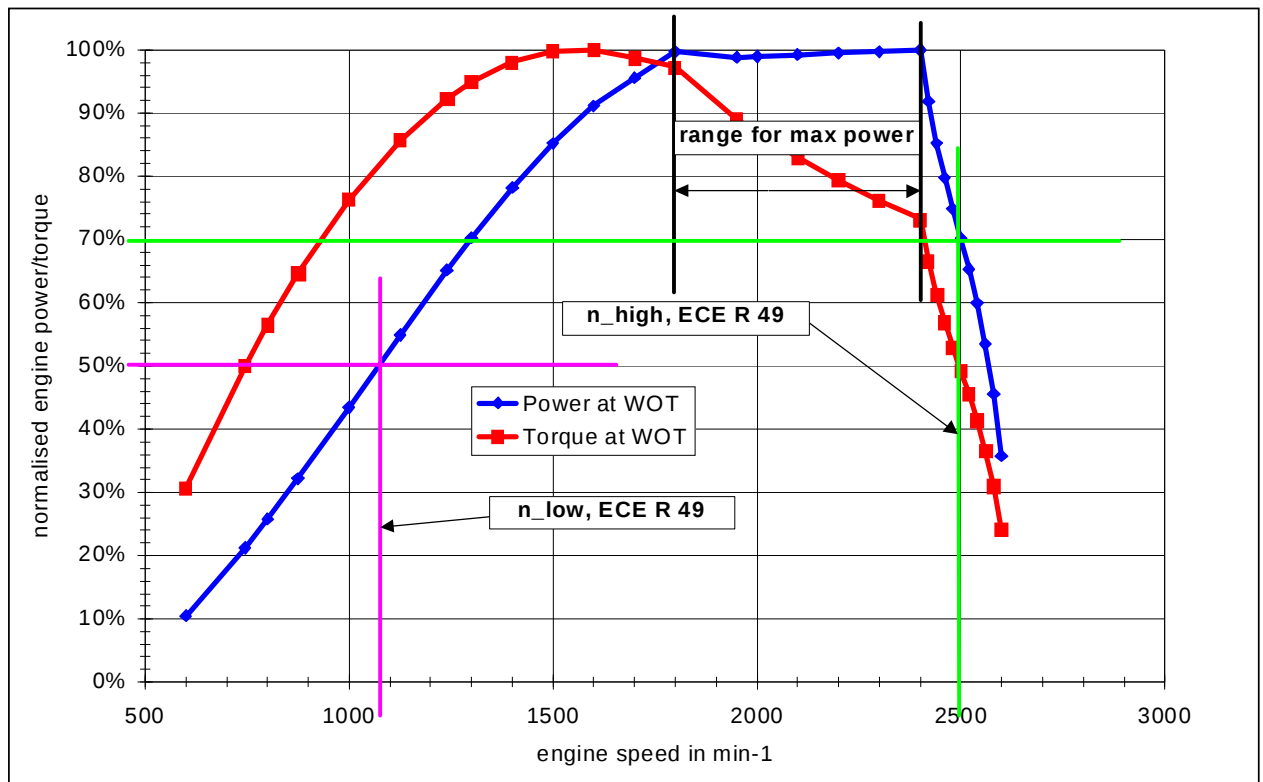


Bild 219: Volllastkurve der normierten Motorleistung für einen modernen Nutzfahrzeug-Dieselmotor

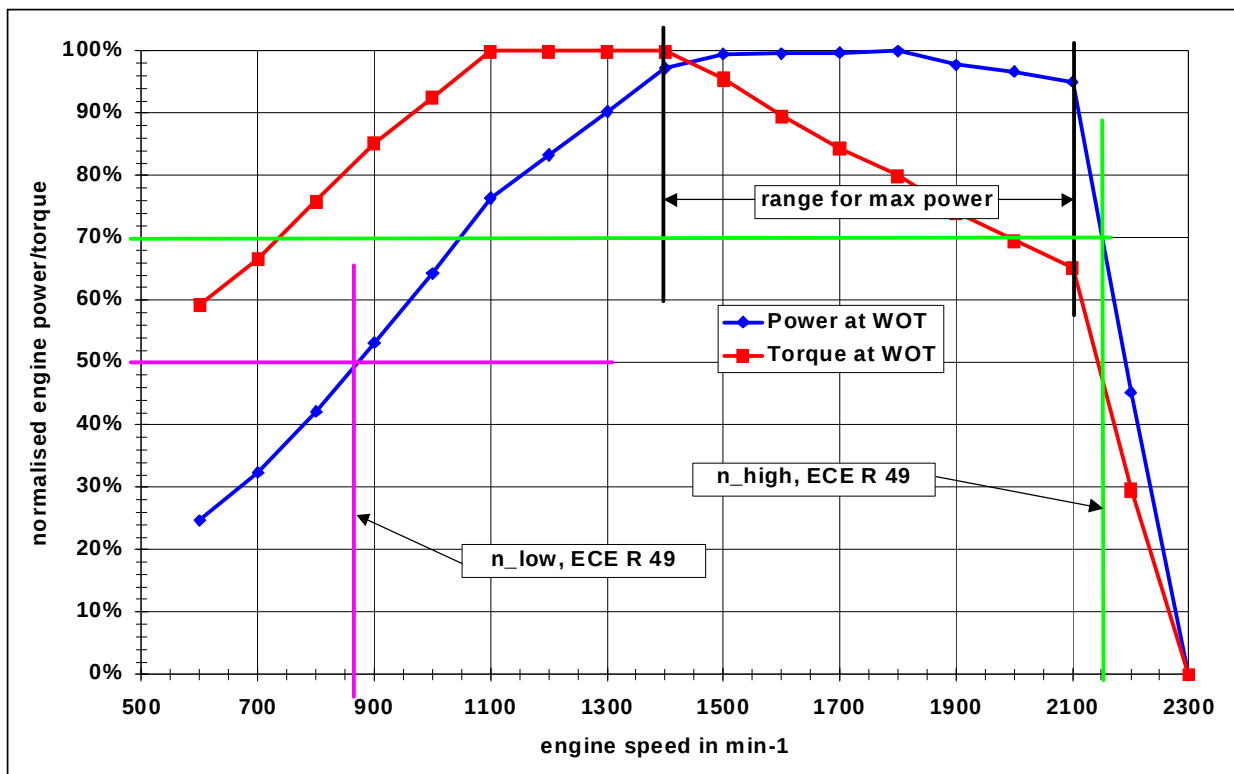


Bild 220: Volllastkurve der normierten Motorleistung für einen modernen Nutzfahrzeug-Dieselmotor

5.1.2.1 Leichte Nutzfahrzeuge (N1)

Bei den leichten Nutzfahrzeugen ohne Pkw-Zusatzpaket dominieren im 2. und 3. Gang eindeutig die Antriebsgeräusche. Mit Pkw-Paket sind die Verhältnisse etwa so wie bei leisen Pkw im 2. Gang. Es ist eigentlich nicht einzusehen, warum die für die Pkw-Zulassung erforderlichen Minderungsmaßnahmen nicht für alle leichten Nutzfahrzeuge verbindlich gefordert werden sollten.

Hinsichtlich der Geräuschgrenzwerte sollten daher die leichten Nutzfahrzeuge den Pkw gleichgestellt werden. Dies meint aber nicht, dass die Geräuschgrenzwerte im ersten Schritt auf den dann vorgeschlagenen Pkw-Grenzwert gesenkt werden sollten sondern nur auf den derzeitigen Äquivalenzwert für Pkw. Die Umsetzung sollte bis 2008 erfolgen. Darüber hinaus sollte eine weitere Stufe für das Jahr 2012 mit einer weiteren Grenzwertminderung von 2 dB(A) konzipiert werden.

Während die erste Stufe mit herkömmlichen technischen Mitteln realisiert werden kann, sind für die zweite Stufe die Entwicklung hochwirksamer Motorkapseln sowie voraussichtlich auch leisere Reifen erforderlich.

5.1.2.2 Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)

Bei den schweren Nutzfahrzeugen entsprechen die Typprüfwerte überwiegend dem Grenzwert oder liegen 1 dB(A) darunter. Dies deutet darauf hin, dass weitere Minderungen nur mit aufwendigen Maßnahmen möglich ist, die zum Teil Zielkonflikte mit anderen Eigenschaften hervorrufen (z.B. Herabsetzung der Nutzlast).

Die Ergebnisse bei den schweren Nutzfahrzeugen zeigen, dass für Fahrzeuge unter 150 kW Nennleistung noch Spielraum für weitere Minderungsmaßnahmen gegeben ist, während dies für Fahrzeuge mit Nennleistungen über 320 kW offensichtlich nicht mehr der Fall ist. Hier kann eine weitere Minderung nur durch aufwendigere Maßnahmen erzielt werden. Zudem muss Vorsorge dafür getroffen werden, dass Schwächen des Messverfahrens nicht zu „cycle bypassing“ genutzt werden.

5.1.2.2.1 N2 Fahrzeuge

Es wird vorgeschlagen, N2 Fahrzeuge und N3 Fahrzeuge mit separaten Grenzwerten zu belegen. N2 Fahrzeuge sollten nach dem ACEA-Verfahren in der ersten Stufe einen Grenzwert von 74 dB(A) erhalten. Die Umsetzung sollte wie bei den N1 Fahrzeugen bis 2008 erfolgen. Darüber hinaus sollte eine weitere Stufe für das Jahr 2012 mit einer weiteren Grenzwertminderung von 2 dB(A) konzipiert werden.

Bei N2 Fahrzeugen wird der Schwerpunkt der Minderungsmaßnahmen beim Motor liegen, da dies die dominierende Geräuschquelle ist. Dies wird sich auch bei praxisgerechterem Messverfahren nicht ändern. Da die Primärmaßnahmen beim Motor für N2 Fahrzeuge aber noch nicht ausgeschöpft sind, kann dies zumindest teilweise durch verbesserte Kapselungen erreicht werden, wie sie bei N3 Fahrzeugen heute schon notwendig sind. Für die zweite Stufe sind allerdings hochwirksame Kapselungen erforderlich, die neue Technologien und entsprechende Entwicklungsarbeiten und -zeiten benötigen.

5.1.2.2.2 N3 Fahrzeuge

Bei N3 Fahrzeugen sollten die Leistungsklassen neu festgelegt werden, um für Verteiler- und Nahverkehrsfahrzeuge einerseits und Fernverkehrsfahrzeuge andererseits getrennte Anforderungen festlegen zu können und somit eine bessere Effizienz der Minderungsmöglichkeiten zu erzielen. Vorgeschlagen wird folgende Einteilung:

- ☐ Bis 150 kW Nennleistung,
- ☐ Bis 320 kW Nennleistung,
- ☐ Über 320 kW Nennleistung

Die Fahrzeuge sollten obligatorisch mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse gemessen werden. Das Messverfahren sollte auf das ACEA-Verfahren umgestellt werden. Als Geräuschgrenzwerte für die erste Stufe werden folgende Werte vorgeschlagen:

- | | |
|--|----------|
| ☐ Bis 150 kW Nennleistung | 74 dB(A) |
|--|----------|

- | | |
|---|----------|
| ☐ Bis 320 kW Nennleistung | 77 dB(A) |
| ☐ Über 320 kW Nennleistung | 79 dB(A) |

Für die zweite Stufe sollte eine weitere Minderung der Antriebsgeräusche um 2 dB(A) erfolgen. (Zeitraumen wie bei N2)

Als flankierende Maßnahme sollte das Rollgeräusch der Traktionsreifen näher an das Niveau der Längsprofilreifen herangebracht werden. Hierzu müssten die Geräuschgrenzwerte der Reifenrichtlinie entsprechend angepasst werden.

Bei N3 Fahrzeugen muss der Schwerpunkt der Minderungsmaßnahmen beim Motor liegen, da dies die dominierende Geräuschquelle ist. Dies wird sich auch bei praxisgerechterem Messverfahren nicht ändern. Da die Primärmaßnahmen beim Motor im wesentlichen schon ausgeschöpft sind, kann die zweite Grenzwertstufe nur durch Kapselungen erreicht werden, die gegenüber heutigen Teilkapseln eine Minderungswirkung von 5 dB(A) aufweisen. Derartig wirksame Kapseln können auch nach Ansicht des Verfassers innerhalb der bei Modellwechsel üblichen Entwicklungszeiten nicht entwickelt werden.

5.1.3 Motorräder

Bei den Motorrädern haben die Geräuschanteile von Ansaug- und Abgastrakt im Gegensatz zu den anderen Fahrzeugarten erheblichen Anteil am Gesamtgeräusch, wenn sie nicht gar dominierend sind. Diese Geräuschquellen werden daher auch bei Minderungsmaßnahmen im Vordergrund stehen. Die Minderungstechnik ist verfügbar, Zielkonflikte entstehen durch den höheren Platzbedarf wirksamerer Dämpfer und höhere Kosten. Diese sind jedoch leichter lösbar als ein weiterer nichttechnischer Zielkonflikt, der darin besteht, dass hohe Geräuschentwicklung bei vielen Fahrern und Fahrerinnen zum Reiz des Motorradfahrens dazugehört.

Im Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h liegen die Geräuschemissionen der Motorräder selbst bei Volllast im allgemeinen unter 77 dB(A). Wenn man bedenkt, dass diese Fahrzeuge im realen Verkehr in diesem Geschwindigkeitsbereich nicht mit Volllast, sondern mit Teillast beschleunigt werden, so sind ihre Geräuschemissionen nur wenige Dezibel höher als die von Pkw. Die Betonung liegt aber auf „diesem Geschwindigkeitsbereich“. Die Ergebnisse zeigen nämlich auch, dass die Geräuschemissionen im Außerortsbereich und an Ortsausgängen weit über 80 dB(A) liegen können und damit die Geräuschemissionen schwerer Lkw übertreffen, selbst wenn die Geräuschgrenzwerte eingehalten werden. Derartige Fahrweisen kommen in der Praxis durchaus vor. Die meisten Klagen über die hohe Belästigungswirkung der Motorräder stammen aus diesem Geschwindigkeitsbereich.

In diesem Geschwindigkeitsbereich wird auch deutlich stärker beschleunigt als im Innerortsbereich, wie Messergebnisse einer Feldstudie der TU Darmstadt belegen. Der Motorradlärm ist also in erster Linie auf Außerortsstraßen und Ortsausgängen ein Problem. Dies müsste bei einer Messverfahrensänderung in Richtung stärkerer Praxisbezug eigentlich berücksichtigt werden.

Aus den Ergebnissen dieses Vorhabens kann gefolgert werden, dass Motorradgeräusche vor allem im Anfahrbereich und bei Beschleunigungsvorgängen auf Landstraßen (an Ortsausgängen) problematisch sind. Im Geschwindigkeitsbereich von 80 km/h bis 110 km/h ist der Fahrereinfluss mit bis zu 7 dB(A) am größten.

Vom derzeit gültigen Typprüfverfahren werden Motorräder gegenüber anderen Fahrzeugkategorien zu schlecht beurteilt. Für Motorräder sollte das Messverfahren auf die in diesem Bericht angegebene ACEA Methode Modifikation 3 umgestellt werden. Allerdings sollte wegen der be-

sonderen Dominanz der Beschleunigungsgeräusche auf die Einbeziehung einer Konstantfahrt verzichtet werden. Für die erste Stufe wird ein Geräuschgrenzwert von 73 dB(A) für Fahrzeuge mit Hubvolumen bis 150 cm³ und von 75 dB(A) für Fahrzeuge mit Hubvolumen über 150 cm³ vorgeschlagen, für eine zweite Stufe eine weitere Minderung um 2 dB(A). Die Umsetzungszeiten sollten mit denjenigen der übrigen Fahrzeuge übereinstimmen. Statt der bestehenden Hubraumgrenze von 175 cm³ wurde der Wert 150 cm³ gewählt, um Kompatibilität mit bereits festgelegten Minderungsstufen für die Schadstoffemissionen zu erreichen.

5.1.4 Zusammenfassung der Vorschläge

Die in den vorherigen Abschnitten im einzelnen angesprochenen Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte sind in Tabelle 79 und Tabelle 80 für alle in diesem Bericht behandelten Fahrzeugklassen zusammengestellt. Es sei noch einmal ausdrücklich erwähnt, dass sich die vorgeschlagenen Werte der ersten Stufe aus Äquivalenzwert und einer Minderung von 1 bis 2 dB(A) zusammensetzen.

Sollte die Umsetzung der Messverfahrensänderungen sich noch über eine längere Zeit hinziehen, wird alternativ vorgeschlagen, die Grenzwertsenkungen der ersten Stufe auf der Basis des bestehenden Messverfahrens vorzunehmen. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 81 zusammengestellt.

Step	cat. No	vehicle category	additional conditions	measurement method	Limit value in dB(A)	transition period	introduction year
1	1	M1	other than cat 2 or 3	ACEA - modification 3	69 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	2	M1	P _n > 200 kW, p _{mr} > 150 kW/t	ACEA - modification 3	72 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	3	M1	off-road, v _{max} ≤ 120 km/h	ACEA - modification 3	72 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	4	N1, M2	GVW ≤ 2 t	ACEA - modification 3	70 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	5	N1, M2	GVW > 2 t	ACEA - modification 3	72 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	6	N2, M2	GVW > 3,5 t, P _n ≤ 150 kW	ACEA method	74 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	7	N3, M3	GVW > 3,5 t, 150 kW < P _n ≤ 320 kW	ACEA method	77 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	8	N3, M3	GVW > 3,5 t, P _n > 320 kW	ACEA method	79 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	9	L3	engine cap up to 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	73 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	10	L3	engine cap > 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	75 dB(A)	2005 - 2007	2008

Tabelle 79: Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte, Stufe 1

Step	cat. No	vehicle category	additional conditions	measurement method	Limit value in dB(A)	transition period	introduction year
2	1	M1	other than cat 2 or 3	ACEA - modification 3	67 dB(A)		2012
2	2	M1	Pn > 200 kW, p _{mr} > 150 kW/t	ACEA - modification 3	70 dB(A)		2012
2	3	M1	off-road, v _{max} ≤ 120 km/h	ACEA - modification 3	70 dB(A)		2012
2	4	N1, M2	GVW ≤ 2 t	ACEA - modification 3	68 dB(A)		2012
2	5	N1, M2	GVW > 2 t	ACEA - modification 3	70 dB(A)		2012
2	6	N2, M2, N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn ≤ 150 kW	ACEA method	72 dB(A)		2012
2	7	N3, M3	GVW > 3,5 t, 150 kW < Pn ≤ 320 kW	ACEA method	75 dB(A)		2012
2	8	N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn > 320 kW	ACEA method	77 dB(A)		2012
2	9	L3	engine cap up to 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	71 dB(A)		2012
2	10	L3	engine cap > 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	73 dB(A)		2012

Tabelle 80: Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte, Stufe 2

Step	cat. No	vehicle category	additional conditions	measurement method	Limit value in dB(A)	transition period	introduction year
1	1	M1	other than cat 2 or 3	existing EU-reg.	71 dB(A)		2005
1	2	M1	Pn > 200 kW, p _{mr} > 150 kW/t	existing EU-reg.	74 dB(A)		2005
1	3	M1	off-road, v _{max} ≤ 120 km/h	existing EU-reg.	74 dB(A)		2005
1	4	N1, M2	GVW ≤ 2 t	existing EU-reg.	72 dB(A)		2005
1	5	N1, M2	GVW > 2 t	existing EU-reg.	74 dB(A)		2005
1	6	N2, M2	GVW > 3,5 t, Pn ≤ 150 kW	existing EU-reg.	76 dB(A)		2007
1	7	N3, M3	GVW > 3,5 t, 150 kW < Pn ≤ 320 kW	existing EU-reg.	78 dB(A)		2007
1	8	N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn > 320 kW	existing EU-reg.	80 dB(A)		2007
1	9	L3	engine cap up to 150 cm ³	existing EU-reg.	76 dB(A)		2005
1	10	L3	engine cap > 150 cm ³	existing EU-reg.	78 dB(A)		2005

Tabelle 81: Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte, Stufe 1, Alternative auf Basis des derzeitigen Messverfahrens

5.2 Weitere Minderungspotentiale beim Reifen

Bei Pkw, die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen, dominieren im praktischen Betrieb die Reifen-Fahrbahn-Geräusche. Bei modernen, leisen Pkw halten sich Antriebs- und Rollgeräusch im Geschwindigkeitsbereich unter 60 km/h bereits im 2. Gang etwa die Waage, in höheren Gängen dominiert das Rollgeräusch. Daher sollte der Minderung dieses Geräuschanteils die höchste Priorität zukommen. Die EU-Reifengeräuschrichtlinie (2001/43/EG) wird hierzu zukünftig nur dann einen Beitrag leisten, wenn die Geräuschgrenzwerte erheblich herabgesetzt werden. Die im Rahmen dieses Vorhabens untersuchte Fahrzeugstichprobe enthielt 7 Fahrzeuge mit Reifen im Breitenbereich größer 185 mm bis zu 215 mm. Der Geräuschgrenzwert der Richtlinie beträgt 75 dB(A). Der dieser Richtlinie entsprechende Rollgeräuschpegel dieser 7 Fahrzeuge lag im Mittel um 4 dB(A) unter dem Grenzwert. Eine Anpassung der Grenzwerte an den Stand der Technik sollte bis spätestens 2005 erfolgen.

Nach Ansicht der Reifenhersteller kann ein fortschrittlicher Typprüfreifen, der die o.g. Grenzwerte bereits heute um mindestens 3 dB(A) unterschreitet, nicht mehr im Geräusch reduziert werden. Das hätte zur Konsequenz, dass eine weitere Absenkung der Geräuschgrenzwerte zwar technisch noch machbar ist, aber unvertretbar hohen Aufwand bei den Antriebsgeräuschen bedeuten würde. **Wirksame Minderungen im Reifengeräusch sind aber der Schlüssel zum Erfolg in der weiteren Verkehrslärmbekämpfung.**

In der Argumentation der Reifenhersteller fällt auf, dass für sie offensichtlich nur Profilloptimierung, nicht aber Änderungen in Aufbau und Material als Minderungsmaßnahmen in Betracht kommen. Unter diesen Randbedingungen erscheint die Herstelleraussage schlüssig. Andererseits geben die Reifenhersteller bei geänderten Pflichtenheften ein Minderungspotential von ca. 3 dB(A) an. In diesem Fall sind also Minderungen durch Änderungen an Aufbau und Material nicht ausgeschlossen.

Eine Wertung der Herstellerangaben wird dadurch erschwert, dass die Reifenhersteller über den Einfluss dieser Parameter auf die Geräuschemission wie auch über Aufbau und Materialeigenschaften ihrer Reifen keine quantitativen Angaben öffentlich machen. Auch die Fahrzeughersteller sind auf Vergleichstests und Messreihen angewiesen.

Bei Nutzfahrzeugreifen sollte zunächst das Rollgeräusch der Traktionsreifen näher an das Niveau der Längsprofilreifen herangebracht werden. Hierzu müssten die Geräuschgrenzwerte der Reifenrichtlinie entsprechend angepasst werden. Danach wäre auch hier eine weitere Minderung der Rollgeräusche aller Reifen erforderlich, insbesondere für Last- und Sattelzüge.

5.3 Prioritäten bei der weiteren Lärmbekämpfung

Um für Maßnahmen zur weiteren Lärminderung an der Quelle Prioritäten festlegen zu können, wurden Berechnungen für folgende Fallbeispiele mit dem Geräuschmodell durchgeführt:

1. Minderung der Antriebsgeräusche schwerer Nutzfahrzeuge um 6 dB(A),
2. Minderung der Antriebsgeräusche aller Kfz um 6 dB(A),
3. Minderung der Rollgeräusche von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen um 6 dB(A),
4. Minderung der Rollgeräusche aller Kfz um 6 dB(A),
5. Kombination von 1 und 3,
6. Kombination von 1 und 4

Die Minderungen wurden pauschal für alle Fahrzeuge der jeweiligen Kategorie und über den gesamten Betriebsbereich angesetzt. Dies ist zwar in der Praxis nicht erreichbar, was jedoch für die Bestimmung der Rangfolge unerheblich ist.

Die Ergebnisse dieser Rechnungen sind in Tabelle 82 für den Mittelungspegel tags und verschiedene Straßentypen zusammengestellt. Für die weitere Lärminderung ergibt sich daraus folgende Rangordnung:

1. Minderung der Reifen-Fahrbahngeräusche durch
 - Minderung der Reifengeräusche bei Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen,
 - Leisere Fahrbahndeckschichten
2. Minderung der Antriebsgeräusche bei schweren Nutzfahrzeugen,
3. Absenkung der Geräuschgrenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge auf Pkw-Niveau,
4. Minderung der Antriebsgeräusche bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

	road category	city centre	main streets	main streets	rural, primary	motorway			
	no. of lanes	2	4	4	2	4	4	4	4
	ADT	25000	50000	50000	10000	50000	50000	50000	50000
	speed limit in km/h	50	50	70	100	80	100	120	-
	percentage LDV	4%	4%	4%	4%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
	percentage HDV	2%	6%	8%	8%	15%	15%	15%	15%
	Leq 6 to 22 h in dB(A)	61.3	65.9	67.6	63.8	73.5	74.4	74.8	75.3
1	propulsion noise reduction HDV: 6 dB(A)	0.5	0.9	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2
2	propulsion noise reduction all: 6 dB(A)	1.5	1.6	1.0	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8
3	Rolling noise reduction cars/LDV: 6 dB(A)	2.3	1.8	2.1	2.4	1.5	1.7	1.8	2.0
4	Rolling noise reduction all: 6 dB(A)	2.7	2.6	3.4	4.3	3.9	3.8	3.8	3.8
5	Combination of 1 and 3	3.2	3.3	3.1	2.9	2.0	2.1	2.2	2.4
6	Combination of 1 and 4	3.6	4.3	4.8	5.1	4.8	4.6	4.5	4.4

Tabelle 82: Ergebnisse von Berechnungen mit dem Geräuschmodell für Fallbeispiele von Minderungsmaßnahmen

5.4 Schlussbemerkungen

Ende der 70er Anfang der 80er Jahre waren in der EU Zielwerte für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte definiert und diskutiert. Für die höchste Leistungsklasse der schweren Nutzfahrzeuge war dies 80 dB(A), für Pkw 75 dB(A). Von der europäischen Fahrzeugindustrie war damals angezweifelt worden, dass diese Werte technisch erreichbar seien. Heute ist dies

bei den schweren Nutzfahrzeugen Stand der Technik, bei den Pkw durch den Stand der Technik bereits übertroffen worden. Die letzte Absenkung der Geräuschgrenzwerte liegt bereits 4 Jahre zurück. Auch im Hinblick auf die Entwicklung bei den Schadstoffemissionen, bei denen in den EU-Gremien z.B. für schwere Nutzfahrzeuge konkret über EURO5-Grenzwerte verhandelt wird, obwohl noch nicht absehbar ist, wann die dafür notwendige Technik (Abgasnachbehandlung, Partikelfilter) serienreif ist, ist es daher an der Zeit, neue Zielwerte zu definieren.

6 Zusammenfassung

6.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Seit den 70er Jahren ist die Geräuschemission von Kfz im Rahmen der Typprüfung EU-einheitlich begrenzt. Die Geräuschgrenzwerte sind in den vergangenen Jahren um beträchtliche Werte gesenkt worden, zuletzt im Jahre 1995 für die Typprüfung bzw. 1996 für die Erstzulassung. Um diesen Absenkungen zu entsprechen, mussten die Hersteller die Geräuschemission ihrer Fahrzeuge z.T. sogar um größere Beträge als die Grenzwertsenkungen mindern, da zudem im Laufe der Zeit auch einige Änderungen am Messverfahren durchgeführt wurden. Allerdings sei angemerkt, dass sich nur wenige Messverfahrensänderungen wie eine Grenzwertverschärfung auswirkten, in einigen Fällen bewirkten sie eher das Gegenteil.

Auf der anderen Seite zeigen Zeitreihenmessungen der Geräuschemission von Kfz im realen Straßenverkehr, dass die Grenzwertsenkungen und die damit verbundenen Geräuschminderungsmaßnahmen bis Anfang der 90er Jahre nur erheblich geringere bis gar keine Auswirkungen auf die im Straßenverkehr erzeugten Geräuschemissionen gehabt haben.

Der innerstädtische Fahrbetrieb ist geprägt durch eine ständige Folge von Beschleunigungs- und Schubvorgängen sowie Stops an Kreuzungen oder Einmündungen. Auf Straßen mit zul. Höchstgeschwindigkeiten bis 50 km/h dominieren bei den Beschleunigungsvorgängen auch bei den Pkw zumeist die Motor- und Gaswechselgeräusche. In Phasen mit geringen Geschwindigkeitsschwankungen dominiert bei den Pkw das Reifen/Fahrbahngeräusch, bei modernen Lkw ist es zumindest signifikant am Gesamtgeräusch beteiligt. Auf Straßen mit höheren zul. Höchstgeschwindigkeiten nimmt die Bedeutung der Reifen/Fahrbahngeräusche mit dem Geschwindigkeitsniveau zu. So dominiert bei Beschleunigungsvorgängen von Pkw auf Tempo 70 Straßen bereits das Reifen/Fahrbahngeräusch vor Motor- und Gaswechselgeräuschen.

Ziel des Vorhabens war die Ermittlung des Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen bis zum Jahre 2015 und zwar sowohl als Basis für die weitere Senkung von Geräuschgrenzwerten als auch als Grundlage für die Abschätzung der Entwicklung der Emissionen im realen Straßenverkehr. Letzteres bedeutet, dass das Lärminderungspotential über die ganze Bandbreite der im realen Verkehr relevanten Betriebszustände ermittelt werden muss. Um anspruchsvolle Minderungen realisieren zu können, sind Maßnahmen an allen in Abschnitt 1 genannten Quellen bzw. Fahrzeugkomponenten erforderlich.

Nach der vom UBA vorgegebenen Leistungsbeschreibung betraf der Schwerpunkt der Untersuchung das Lärminderungspotential bei den Antriebsgeräuschen. Das Reifen/Fahrbahngeräusch kann jedoch bei der Bewertung nicht außer Acht gelassen werden, zumindest als Abgrenzungskriterium für die praxisrelevanten Betriebszustände. Beispielsweise ist die Angabe von Minderungspotentialen für das Antriebsgeräusch nur für Betriebszustände sinnvoll, bei denen es am Gesamtgeräusch auch nennenswert beteiligt ist. Allerdings muss hier auch berücksichtigt werden, inwieweit sich die bestehende Situation verändert, wenn das Reifen/Fahrbahngeräusch signifikant gesenkt werden kann.

Weiterhin sollte laut Leistungsbeschreibung des Umweltbundesamtes (UBA) der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem europäischen Fahrzeugmarkt von Pkw, Lkw, Bussen und Motorrädern liegen. Letztere verfügen zwar über das größte Potential an Störwirkung, stellen jedoch kein allgemeines Lärmproblem dar. Die Störwirkung der überwiegend als Hobbygeräte genutzten Fahrzeuge ist meist auf spezielle, für das Motorradfahren attraktive Routen beschränkt. Dieser Besonderheit wurde bei den Untersuchungen Rechnung getragen.

Das Vorhaben wurde in folgende Teilaufgaben gegliedert:

1. Auswertung der KBA-Statistik der Typprüfwerte,
2. Gezielte Geräuschmessungen an verschiedenen Kraftfahrzeugen zur Erstellung von Geräuschkennfeldern,
3. Recherchen bei Herstellern, Importeuren und Zulieferern hinsichtlich der Geräuschquellenverteilung und weiterer Minderungspotentiale,
4. Ermittlung der im praktischen Betrieb auftretenden Geräuschemissionen bei verschiedenen Fahrzuständen/Verkehrssituationen durch Verknüpfung der Ergebnisse aus 2. mit vorliegenden Fahrverhaltensdaten,
5. Analyse der Ergebnisse im Hinblick auf Prioritäten und Effizienz weiterer Minderungsmaßnahmen sowie einer Verbesserung des bei der Typprüfung angewendeten Messverfahrens,
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

6.2 Auswertung der KBA-Typprüfstatistik

Die Auswertung der KBA-Statistik der Typprüfwerte lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Bei den Pkw liegt der Stand der Technik für den Großteil der Fahrzeugtypen (mit Ausnahme der Fahrzeuge mit sehr hohen Motorleistungen und Leistungsgewichten) inzwischen im Mittel 2 dB(A) unter dem derzeitigen Geräuschgrenzwert. Die Beispiele von Fahrzeugen mit Typprüfwerten, die noch deutlich unter diesem Mittelwert liegen, lassen erkennen, dass darüber hinaus noch ein weiteres Minderungspotential besteht. Die derzeitige Statistik zeigt auch, dass ein höherer Grenzwert für Fahrzeuge mit Dieselmotor mit Direkteinspritzung nicht mehr gerechtfertigt ist.

Dies gilt auch für die leichten Nutzfahrzeuge, bei denen im übrigen die Minderungstechnik zur Einhaltung der derzeitigen Pkw-Grenzwerte bereits verfügbar ist.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen bleibt als Fazit festzuhalten, dass die Typprüfwerte des überwiegenden Teils der schweren Nutzfahrzeuge dem Grenzwert entsprechen oder 1 dB(A) darunter liegen. Dies deutet darauf hin, dass weitere Minderungen nur mit aufwendigen Maßnahmen möglich sind, die zum Teil Zielkonflikte mit anderen Eigenschaften hervorrufen (z.B. Herabsetzung der Nutzlast).

Motorräder werden hinsichtlich des Geräuschgrenzwertes in 3 Hubraumklassen eingeteilt: bis 80 cm³, Grenzwert 75 dB(A), > 80 cm³ bis 175 cm³, Grenzwert 77 dB(A) und > 175 cm³, Grenzwert 80 dB(A). Die der Geräuschmessung im Rahmen der Typprüfung zugrundeliegenden Betriebszustände entsprechen in etwa denjenigen der Pkw. Die beiden unteren Fahrzeugklassen sind bestandsmäßig nur von geringer Bedeutung und werden im Rahmen der Zusammenfassung nicht weiter betrachtet. Der größte Teil der Fahrzeuge über 175 cm³ weist Typprüfwerte nahe am Grenzwert auf. Dennoch gibt es auch bei höheren Nennleistungen bereits vereinzelte

Typen mit Typprüfwerten, die deutlich unter dem Grenzwert liegen und die auf bereits vorhandenen Möglichkeiten zur weiteren Minderung der Geräuscentwicklung schließen lassen. Die Umsetzung wird jedoch dadurch erschwert, dass der Käuferwunsch einen erheblichen Zielkonflikt bildet.

6.3 Geräuschmessungen an verschiedenen Fahrzeugtypen

Um die Geräuscentwicklung eines Fahrzeugs nicht nur unter Typprüfbedingungen sondern für alle für den praktischen Betrieb relevanten Fahrzustände beurteilen und damit die Effizienz weiterer Minderungsmaßnahmen bei bestehendem oder verbesserten Messverfahren abschätzen zu können, wurden Geräuschmessungen bei verschiedenen Betriebszuständen auf einer Teststrecke durchgeführt. Um den Einfluss von Ansauggeräusch und Auspuffgeräusch zu ermitteln, wurden die Messungen jeweils im Originalzustand des Fahrzeugs und mit Absolutdämpfern im Ansaug- und Auspufftrakt durchgeführt.

Die Ergebnisse für Pkw zeigen, dass die Wirkung der Grenzwertsenkungen im Rahmen der Typprüfung im wesentlichen auf Volllastzustände beschränkt ist, denn die Geräuscentwicklung bei Volllast ist für heutige Fahrzeuge um 8 bis 12 dB(A) geringer als bei Fahrzeugen aus den Anfängen der Geräuschbegrenzung. Da aber im praktischen Betrieb vornehmlich bei Teillast beschleunigt wird, sind die Geräuschunterschiede in der Praxis geringer. Ein Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Zusatzschalldämpfer macht deutlich, dass die Ansaug- und Auspuffgeräusche bei modernen Pkw nur geringe Anteile am Gesamtgeräusch aufweisen.

Die Standgeräusche ungekapselter leichter Nutzfahrzeuge sind bei niedrigen normierten Drehzahlen höher als die von Pkw (am oberen Rand der Bandbreite) und bei hohen normierten Drehzahlen geringer. Die Standgeräusche ungekapselter leichter Nutzfahrzeuge nahe Leerlaufdrehzahl liegen etwa 10 dB(A) über denjenigen leiser Pkw. Hinsichtlich der Rollgeräusche stimmen die Ergebnisse der leichten Nutzfahrzeuge gut mit denen der Pkw überein. Die Zusatzdämpfer haben in keinem Fall eine signifikante Minderung der Geräuschemission ergeben. Die Schalldämpfer sind also bereits entsprechend gut ausgelegt. Dies zeigt auch die geringe Pegelerhöhung bei Motorbelastung (Differenz Volllast-Konstantfahrt).

Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist hervorzuheben, neben einer weiteren Absenkung der Antriebsgeräusche auch leisere Traktionsreifen eine wirksame Maßnahme zur Lärminderung ist. Ziel sollte sein, dass Traktionsreifen nicht mehr Geräusch verursachen als Längsprofil-Reifen.

Bei den Motorrädern zeigen die Ergebnisse, dass im Gegensatz zu den anderen Fahrzeugarten die Geräuschanteile von Ansaug- und Abgastrakt erheblichen Anteil am Gesamtgeräusch haben, wenn nicht gar dominierend sind. Diese Geräuschquellen werden daher auch bei Minderungsmaßnahmen im Vordergrund stehen. Die Minderungstechnik ist verfügbar, Zielkonflikte entstehen durch den höheren Platzbedarf wirksamerer Dämpfer und höhere Kosten. Diese sind jedoch leichter lösbar als ein weiterer nichttechnischer Zielkonflikt, der darin besteht, dass hohe Geräuscentwicklung bei vielen Fahrern und Fahrerinnen zum Reiz des Motorradfahrens dazugehört.

6.4 Bestimmung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb

In einem weiteren Arbeitsschritt des Vorhabens sollten aus den im Rahmen der Typprüfung erreichten Geräuschminderungen die damit verbundenen Minderungen im praktischen Betrieb abgeschätzt und im Sinne einer Effizienzbewertung gegenübergestellt werden. Diese Modellie-

rung wurde zweistufig durchgeführt: Zum einen wurden für die im Rahmen des Vorhabens gemessenen Fahrzeugtypen die in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen durch Verknüpfung der Geräuschemessergebnisse mit Fahrverhaltensdaten dieser oder ähnlicher Fahrzeuge bestimmt. Zum anderen wurden innerhalb der Fahrzeugkategorien Fahrzeugschichten (mit unterschiedlichem Emissionsverhalten) modelliert, mit denen die zeitliche Entwicklung sowie die Summe der Emissionen der gesamten Fahrzeugflotte auf einer Straße besser bestimmt werden können. Auf der Basis dieser Analysen sollten letztlich Emissionsfaktoren für die im praktischen Betrieb relevanten Fahrzustände bestimmt werden. Um diese Aufgabenstellungen erfüllen zu können, wurden Antriebs- und Rollgeräusche separat modelliert.

Die Rangfolge der Straßentypen hinsichtlich der Geräuschemission von Pkw ist überwiegend von der Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmt und nahezu unabhängig von der Fahrweise. Die Spanne zwischen leisestem und lautestem Fahrzeug beträgt für die Tempo 30 Zone im Wohngebiet 8 dB(A), auf der innerörtlichen Hauptverkehrsstraße 5,5 dB(A) und auf der Stadtautobahn 5,7 dB(A), wobei die Rangfolge der Fahrzeuge sehr stark vom Verhältnis Rollgeräusch zu Antriebsgeräusch abhängt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Geschwindigkeitsbereich, ab dem das Rollgeräusch überwiegt, nicht generalisiert werden kann. Sie sprechen eigentlich auch dafür, Roll- und Antriebsgeräusche separat zu bewerten und zu begrenzen.

Der Fahrweiseneinfluss ist beim Pkw je nach Fahrzeug verschieden. Er reicht von 1,8 dB(A) (leiseste Antriebsgeräusche) bis zu 7,5 dB(A) (leiseste Reifen) und hängt im wesentlichen vom individuellen Verhältnis Rollgeräusch/Antriebsgeräusch ab. Im Mittel erreicht der Fahrweiseneinfluss eine Größenordnung, die ihn als zusätzliche Minderungsmaßnahme qualifiziert. Wenn man allerdings berücksichtigt, dass der Unterschied zwischen durchschnittlicher und ökonomischer Fahrweise bei allen Fahrzeugen gering ist, kann diese Maßnahme nur präventiv zur Vermeidung hochtouriger Fahrweise eingesetzt werden.

Unterhalb von 50 km/h unterscheiden sich die in der Praxis auftretenden Antriebsgeräusche von leichten Nutzfahrzeugen mit Pkw-Zulassung und solchen mit Nutzfahrzeug-Zulassung (Typprüfwert 75 dB(A) vs. 77/80 dB(A)) im gesamten betrachteten Geschwindigkeitsbereich um etwa 7 bis 8 dB(A). Die Differenz im Gesamtgeräusch beträgt zwischen 10 km/h und 30 km/h etwa 5 bis 6 dB(A). Diese Differenz ist höher als die Differenz im Messergebnis nach der Typprüfmethode. Bei höheren Geschwindigkeiten werden die Unterschiede wegen des zunehmenden Einflusses der Rollgeräusche zunehmend geringer.

Bei den N2-Nutzfahrzeugen (mittlere Lkw) war ein deutlicher Einfluss der Bereifung erkennbar. Der Unterschied zwischen dem Fahrzeug mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse und dem Fahrzeug mit Längsprofilreifen auf beiden Achsen zeigte sich bereits ab 30 km/h, er betrug bei 50 km/h bereits 3,5 dB(A) und nahm bis 90 km/h auf 6 dB(A) zu.

Bei schweren Nutzfahrzeugen ist der Spitzenwert (L95) des Antriebsgeräuschpegels im praktischen Betrieb zwischen 30 km/h und 70 km/h nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit. Sein Niveau liegt beim N2 Fahrzeug 3 dB(A) unter dem Typprüfwert, beim N3 Fahrzeug dagegen auf Höhe des Typprüfwertes. Beim schweren Lastzug mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse beginnt der Rollgeräuscheinfluss bei 30 km/h, bei 60 km/h liegt der Antriebsgeräuschpegel bereits 6 dB(A) unter dem Rollgeräuschpegel.

Wenn es gelingt, Traktionsreifen geräuschkäufig auf das Niveau von Längsprofilreifen zu bringen, lässt sich ein erhebliches Minderungspotential realisieren.

Obwohl sich die Geräuschemissionen der Motorräder über der normierten Drehzahl signifikant unterscheiden, verhalten sie sich hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen im praktischen Betrieb ziemlich einheitlich. Bei gleicher Geschwindigkeit variieren die Unterschiede zwischen dem lau-

testen und dem leisesten Motorrad nur um 2,5 bis 4,5 dB(A). Im Geschwindigkeitsbereich von 80 km/h bis 110 km/h ist der Fahrereinfluss mit bis zu 7 dB(A) am größten.

Darüber hinaus kann man erkennen, dass die mittleren Geräuschemissionen der Motorräder sich oberhalb von 50 km/h kaum von den Emissionen der Pkw unterscheiden. Allerdings ist die Streubreite der Pegel bei den Motorrädern größer als bei den Pkw, vor allem zwischen den Spitzenwerten und den Mittelwerten. Unterhalb von 50 km/h sind Motorräder jedoch mit abnehmender Geschwindigkeit zunehmend lauter, im Stand beträgt der Unterschied zu einem mittleren Pkw ca. 10 dB(A).

Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, dass Motorradgeräusche vor allem im Anfahrbereich und bei Beschleunigungsvorgängen auf Landstraßen (an Ortsausgängen) problematisch sind. Weiterhin bleibt festzustellen, dass die Geräuschemission nicht mit der Nenn-drehzahl korreliert ist.

Abschließend wurden die untersuchten Fahrzeuge noch einmal hinsichtlich ihrer stündlichen Beiträge zum Mittelungspegel vergleichend gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Geräuschbeitrag eines Motorrades nicht größer sein muss, als der eines durchschnittlichen Pkw, während die Emissionsbeiträge der schweren Nutzfahrzeuge deutlich darüber liegen, und dass die Unterschiede zwischen N2 Fahrzeugen (mittleren Lkw) und N3 Fahrzeugen (schweren Lkw) nach dem derzeitigen Stand der Technik im praktischen Betrieb größer sind als im Grenzwert.

Ein Vergleich innerhalb der Gruppe der Pkw, die den derzeitigen Geräuschgrenzwerten entsprechen, hat gezeigt, dass man bei den Überlegungen zur weiteren Geräuschminderung bei den Pkw die Antriebsgeräusche noch nicht vernachlässigen kann.

6.5 Zeitliche Entwicklung der Geräuschemissionen im praktischen Betrieb, Einfluss der Fahrbahndeckschicht, Trendszenarien

In einem ergänzenden Schritt wurde die Geräuschmodellierung generalisierender für Fahrzeugschichten verschiedener Emissionsstufen angelegt, um Einflüsse der Fahrbahndeckschicht, der Flottenzusammensetzung und des Bezugsjahres besser abschätzen zu können.

Für die zukünftige Geräuschentwicklung wurden fünf Szenarien berechnet. Die Ergebnisse für Pkw zeigen, dass die ersten 3 Geräuschgrenzwertstufen praktisch keine Auswirkung auf die Emissionen im realen Betrieb hatten, dass aber die letzte Absenkung wie auch folgende selbst bei bestehendem Messverfahren zu einer weiteren Absenkung auch der Emissionen im realen Straßenverkehr führen würden.

Die durch die Grenzwertsenkung bedingte Minderung im praktischen Betrieb verlief bei den Nutzfahrzeugen kontinuierlicher als bei den Pkw, allerdings wird die Minderungswirkung bei hohen Geschwindigkeiten durch den hohen Einfluss der Rollgeräusche limitiert.

Den größten Beitrag zur gesamten Geräuschbelastung leisten die Pkw. Auf hochbelasteten Innerorts Hauptverkehrsstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen beträgt ihr Anteil etwa 60% und der der schweren Nutzfahrzeuge etwa 40%. Leichte Nutzfahrzeuge haben nur einen geringen Anteil an der Gesamtbelastung.

Der Einfluss der Fahrbahndeckschicht stellt sich wie folgt dar: Wenn man von Pflaster absieht, so beträgt die Bandbreite heute üblicher Deckschichten ca. 5 dB(A) (Differenz zwischen Gussasphalt und Drainasphalt 0/8 im Neuzustand).

6.6 Recherchen zum weiteren Geräuschminderungspotential bei Fahrzeug- und Reifenherstellern

Ein weiterer Arbeitsschritt des Vorhabens bestand aus Recherchen zum Geräuschminderungspotential bei Fahrzeugherstellern, Reifenherstellern und Zulieferern. Die Recherchen bei den Zulieferern brachten praktisch keine Ergebnisse, da sie vertraglich zur Vertraulichkeit verpflichtet sind und somit – wenn überhaupt – nur qualitative Angaben machten.

Ausgangsbasis der Überlegungen zu den weiteren Minderungspotentialen musste eine Quellenanalyse für die Betriebszustände des heutigen Typprüfverfahrens sein, da die meisten Fahrzeughersteller nur für diesen Betriebszustand Datenmaterial verfügbar haben. Erwartungsgemäß haben für Pkw Reifen- und Motorgeräusche die größten Anteile am Gesamtgeräusch, wobei im 2. Gang der Motor und im 3. Gang meist der Reifen überwiegt.

Bei schweren Lkw (N3) dominiert unter Typprüfbedingungen in den meisten Fällen das Antriebsaggregat. Die Geräusche der anderen Teilquellen liegen rund 8 dB(A) unter dem Motorgeräusch. Ihr Anteil am Gesamtgeräusch beträgt 10% oder weniger. Es sollte noch erwähnt werden, dass zum Erreichen des Gesamtgeräusches von 80 dB(A) eine Teilkapsel mit einer Minderungswirkung von 4 dB(A) eingesetzt wird.

Minderungspotentiale aus Sicht der Fahrzeughersteller

Die Fahrzeughersteller messen die Geräusche der Teilquellen zumeist am Prüfstand in 1 m Entfernung von der Quelle über der Motordrehzahl. Vergleicht man die Ergebnisse verschiedener Motoren, so erhält man bei Pkw ein Streuband von ca. 7 dB(A) über den gesamten Drehzahlbereich. Der obere Bereich (mit einer Breite von 4 dB(A)) wird allerdings von Motoren gebildet, die nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Bei diesen Motoren besteht noch ein Minderungspotential von ca. 3 dB(A).

Bei den Motoren im Bereich der unteren 3 dB(A) ist eine weitere Minderung an der Quelle mit heute verfügbaren Technologien nicht mehr möglich. Die Schwankungsbreite kommt in diesem Bereich durch Unterschiede in der spez. Leistung zustande. Je niedriger die spez. Leistung, desto leiser das Aggregat. Niedrige spez. Leistungen ergeben jedoch einen Zielkonflikt mit Verbrauch und CO₂-Emissionen.

Bei Pkw beträgt das Minderungspotential einer guten Motorraumkapsel ca. 4 bis 5 dB(A). Kapseln sind allerdings nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn sie in die Neukonstruktion von vornherein mit einbezogen werden. Das Minderungspotential für Diesel-Fahrzeuge ist etwas höher als für Benzin-Fahrzeuge. Dies wird jedoch dadurch egalisiert, dass Diesel-Fahrzeuge bereits heute aus Komfortgründen mit Teilkapseln ausgerüstet sind.

Kapseln ergeben ein Mehrgewicht zwischen 20 bis 30 kg. Die Herstellungskosten belaufen sich auf ca. 1% der gesamten Fahrzeugkosten.

Bei den Lkw ist das Streuband der Motorgeräusche mit ca. 15 dB(A) deutlich höher. Allerdings reicht die Palette der Motoren auch von 3 l bis 18 l Hubvolumen. Hier besteht ein Zusammenhang zwischen Geräuschentwicklung und Motorgröße bzw. Leistung. Die Reststreuung beträgt weniger als 3 dB(A). Zur „ehrlichen“ Einhaltung des derzeitigen Grenzwertes ist ein Motor mit einem 1 m Pegel von 95 dB(A) erforderlich. Dies ist nachzeitigem Stand der Technik aber nur bei Motoren bis 325 kW Nennleistung technisch darstellbar. Eine weitere Minderung durch Primärmaßnahmen ist mit heute verfügbaren Technologien nicht mehr möglich.

Bei Lkw lässt sich durch Ersatz der derzeit verwendeten Teilkapseln durch Rohrkapseln eine Minderung von Motor- und Getriebegeräuschen von ca. 3 dB(A) erreichen. Das Mehrgewicht wird auf ca. 150 kg veranschlagt, die Mehrkosten auf 2500 € bis 5000 €. Allerdings muss die Kühlanlage vergrößert und die Kühlluftzufuhr optimiert werden, um die thermischen Probleme zu lösen. Dies kann bei Fahrzeugen mit kurzem Radstand zu Platzproblemen führen.

Eine weitere Minderung der Geräuschanteile von Ansaug- und Abgasschalldämpfern stellt technisch kein Problem dar. Sie ist vor allem über eine Vergrößerung der Dämpfervolumina und den Einsatz doppelwandiger Schalldämpfer zu erreichen. Doppelwandige Schalldämpfer werden aber z.T. heute schon verwendet. Das Problem besteht darin, bei der Neukonzeption den notwendigen Platzbedarf für die Schalldämpfer zu schaffen. Darüber hinaus ist eine Volumenvergrößerung mit Mehrgewicht verbunden. Außerdem müssten doppelwandige Schalldämpfer verwendet werden.

Als mögliche Minderungsmaßnahmen bei den Lkw werden Vollkapseln, sowie die Trennung von Motor und Getriebe genannt. Vollkapseln erfordern wassergekühlte Getriebe zur Lösung der thermischen Probleme, Die Trennung von Motor und Getriebe bietet zwar die Möglichkeit, beide Aggregate akustisch zu entkoppeln, wird aber wegen der Platzprobleme für Fahrzeuge mit kurzem Radstand als technisch nicht machbar angesehen.

Als weitere Minderungsmaßnahme wird der Übergang von teilgedämpften zu vollgedämpften Gelenkwellen angesehen.

Bei der bedeutsamen Teilschallquelle Reifen ist zunächst zu erwähnen, dass die Fahrzeughersteller auf die Verwendung von „Typprüfreifen“ als Besitzstand fixiert sind. Nach Ansicht der Reifenhersteller kann ein fortschrittlicher Typprüfreifen nicht mehr im Geräusch reduziert werden. Beispielsweise hat bei Pkw-Reifen ein guter profilloser Reifen bei den Geschwindigkeiten der Fahrzeug-Typprüfung auf der ISO-Fahrbahn einen Rollgeräuschpegel von 64 dB(A). 68 dB(A) als Stand der Technik bei Vollastbeschleunigung wird nicht für die gesamte Pkw-Palette als technisch darstellbar angesehen.

Allerdings sehen die Reifenhersteller Minderungspotentiale, wenn die Pflichtenhefte der Fahrzeughersteller geändert würden (Zugeständnisse bei Laufleistung, Handling u.ä.). In diesem Zusammenhang wird die Verwendung von Schaum im Reifen als eine Maßnahme zur Geräuschminderung genannt. 9 kg bis 11 kg Schaum führen zu einer Minderung von 2 bis 3 dB.

Bei Lkw werden auch das Radhaus sowie eine Verringerung des Reifendrucks als prinzipielle Minderungsmaßnahmen genannt. Mit Radhausauskleidungen lassen sich die Rollgeräusche um bis zu 2 dB herabsetzen.

Interessant ist noch, dass die Reifenhersteller für die Rollgeräuschemissionen im praktischen Betrieb eine Minderung von 3 dB(A) erwarten, wenn alle Reifen auf Typprüfstandard gebracht würden. Derzeitig am Markt erhältliche Reifen für den Ersatzbedarf können bis zu 6 dB höhere Rollgeräusche aufweisen als entsprechende Typprüfreifen.

Als Zeitrahmen für die Realisierung von Minderungsmaßnahmen werden von Pkw-Herstellern und auch von den Reifenherstellern übereinstimmend folgende „Eckdaten“ genannt. Die Entwicklungszeiten für einzelne Typen werden mit 5 bis 6 Jahren angegeben, die Entwicklungszeit für Produktfamilien mit 10 bis 15 Jahren. Die Lkw-Hersteller geben teilweise bis zu 5 Jahren längere Entwicklungszeiten an.

Obige Aussagen werden in einem weiteren Abschnitt durch Überlegungen des Verfassers im Rahmen verschiedener Minderungsszenarien bewertet.

6.7 Vergleich der Ergebnisse nach verschiedenen Messverfahren mit den Emissionen im praktischen Betrieb

Folgende Messverfahren wurden berücksichtigt:

1. Derzeitig gültiges Typprüfverfahren,
2. Vorschlag nach ISO 362 2002(E), mit „ACEA Vorschlag“ bezeichnet,
3. Für UBA entwickelter Vorschlag, Zielgeschwindigkeit auf Mitte Messebene modifiziert, Beschleunigungszielwerte auf L3 und N1 Fahrzeuge erweitert, im folgenden mit „FiGE-Vorschlag“ bezeichnet,
4. ACEA Vorschlag mit 30 km/h als Zielgeschwindigkeit, Modifikation 1
5. ACEA Vorschlag mit geänderten Beschleunigungskurven, Modifikation 2,
6. ACEA Vorschlag mit definierten Enddrehzahlen für die Volllastbeschleunigung für alle Fahrzeugklassen.

Zur Kennzeichnung der charakteristischen Emissionen für den praktischen Betrieb wurden zwei charakteristische Kennwerte bestimmt, die den Mittelungspegel sowie die bei Beschleunigungsvorgängen auftretenden pegelspitzen repräsentieren. Abschließend wurde aus beiden Kenngrößen ein gewichtetes Mittel gebildet, die Analyse ergab für gleiche Gewichtung (arithmetisches Mittel) die beste Korrelation mit Messverfahrensergebnissen. Für Stand der Technik Pkw beträgt der Rollgeräuschanteil an diesem Kennwert im Mittel 49%.

Die ACEA-Methode beurteilt die verschiedenen Fahrzeugkategorien wesentlich einheitlicher als das bestehende Typprüfverfahren. Für N2 und N3 Fahrzeuge ist dies Verfahren gut geeignet. Dies gilt auch für N1 Fahrzeuge, wenn man sie nach derselben Methode misst, wie N2 und N3 Fahrzeuge, allerdings bei Zieldrehzahlen am Ende der Messstrecke von 60% der Nenndrehzahl.

Bei den Pkw stimmt die Bandbreite der Ergebnisse besser mit der Bandbreite der Emissionen des praktischen Betriebs überein als die Bandbreite der Ergebnisse nach derzeitigem Typprüfverfahren. Allerdings beurteilt das Verfahren die Antriebsgeräusche bei Drehzahlen, die deutlich niedriger sind als die 95%-Perzentile der Drehzahlen im praktischen Betrieb. Der Grund für die niedrigen Drehzahlen ist in den niedrigen Zielbeschleunigungen und der Kombination von Volllastbeschleunigung und Konstantfahrt zur Approximation einer Teillastbeschleunigung zu suchen.

Der modifizierte FiGE-Vorschlag wie auch die Modifikationen 1 und 2 der ACEA-Methode führen eher zu schlechteren Korrelationen als die ACEA-Methode.

Da die bisher diskutierten Vorschläge und Modifikationen keine Verbesserungen gegenüber dem derzeitigen Typprüfverfahren ergeben, wurde eine weitere Modifikation des ACEA-Vorschlags ausgearbeitet. Sie geht von der Erkenntnis aus Analysen von Fahrverhaltensdaten aus, dass die im praktischen Betrieb auftretenden Pegelspitzen des Antriebsgeräusches drehzahlorientiert sind, während die Rollgeräusche naturgemäß geschwindigkeitsorientiert sind. Daher wurde für die Volllastbeschleunigung analog zu dem bestehenden ACEA-Vorschlag für schwere Nutzfahrzeugen eine Enddrehzahl $n_{BB'}$ festgelegt aber das Ergebnis statt mit dem Ergebnis einer Konstantfahrt mit dem Ergebnis einer Rollgeräuschmessung bei 50 km/h kombiniert.

Als Kenngröße für ein praxisgerechtes Rollgeräusch wurden die Werte bei 50 km/h auf ISO-Belag herangezogen. Bei den Motorrädern wurden statt der Rollgeräusche die

Konstantfahrtwerte im 4. Gang verwendet. Bei den N2- und N3-Fahrzeugen wurde das Rollgeräusch mit Traktionsreifen angesetzt.

Roll- und Antriebsgeräuschpegel wurden dann gewichtet gemittelt und den Geräuschkennwerten des praktischen Betriebs gegenübergestellt. Die höchste Korrelation ergab sich für die arithmetischen Mittelwerte. Dieser Ansatz führt zu einer deutlichen Verbesserung der Korrelation auch gegenüber dem derzeitigen Typprüfverfahren und zu einer nahezu idealen Gleichbehandlung der verschiedenen Fahrzeugkategorien. Es wäre sinnvoll, das ACEA-Verfahren in diesem Sinne zu modifizieren oder fortzuentwickeln.

Abschließend wird noch an einem Beispiel gezeigt, wie sich Änderungen in der Volllastkurve der Antriebsgeräusche, die z.B. durch Veränderung der Eigenschaften von Ansaug- und/oder Abgasschalldämpfer hervorgerufen werden, auf die Messergebnisse nach den verschiedenen Messverfahren und auf den Geräuschkennwert des praktischen Betriebs auswirken. Das Ergebnis macht deutlich, dass kein Messverfahrensvorschlag ohne zusätzliche „off cycle emissions provisions“ auskommt.

6.8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für Pkw

Die derzeit in der Diskussion befindlichen Änderungsvorschläge für die Geräuschmessung im Rahmen der Typprüfung zeigen keine deutlich bessere Korrelation mit den in der Praxis auftretenden Geräuschemissionen als das gültige Typprüfverfahren. Dies gilt auch für eine Verringerung der Zielgeschwindigkeit auf 30 km/h und/oder höhere Zielbeschleunigungen im ACEA-Verfahren. Deshalb wird vorgeschlagen, die ACEA-Methode entsprechend der in diesem Vorhaben entwickelten Modifikation 3 abzuändern.

Nach einer Übergangsfrist von 3 Jahren sollte dann dieses Verfahren für die Typprüfung verbindlich sein und zwar mit einem um 2 dB(A) gegenüber dem Äquivalenzwert abgesenkten Grenzwert. Der Äquivalenzwert ist so definiert, dass er im Mittel den Typprüfwerten des derzeitigen Standes der Technik entspricht. Auf der Grundlage der hier untersuchten Fahrzeugstichprobe kann erwartet werden, dass der Äquivalenzwert 3 dB(A) unter den derzeitigen Typprüfwerten liegt. Die Übergangszeit sollte dazu genutzt werden, einen statistisch gesicherten Äquivalenzwert zu bestimmen.

Der 1 dB(A) höhere Grenzwert für Pkw mit direkteinspritzenden Dieselmotoren sollte ersatzlos entfallen. Ein Zuschlag für off-road Fahrzeuge (derzeit 1 bis 2 dB(A)) sollte nur den „wirklichen“ off-road Fahrzeugen vorbehalten sein, Pseudo-Geländewagen wie Sports-Utility Fahrzeuge sollten hiervon ausgeschlossen sein.

Durch den anhaltenden Trend zu höheren Motorleistungen sind für immer mehr Fahrzeuge die Kriterien für besonders leistungsstarke Fahrzeuge erfüllt, bei denen im Messverfahren für die Typprüfung nur das Messergebnis im 3. Gang zugrundegelegt wird. Zudem haben diese Fahrzeuge einen 1 dB(A) höheren Grenzwert. Wegen dieser Vorteile, die keinen Bezug zur Praxis aufweisen, sollten die Abgrenzungskriterien neu überdacht werden. Es wird vorgeschlagen, die besonders leistungsstarken Fahrzeuge wie folgt abzugrenzen: Nennleistung über 200 kW, Verhältnis von Nennleistung und zul. Gesamtmasse über 150 kW/t. Für Fahrzeuge, die diese Bedingungen erfüllen, sollten separate Grenzwerte festgelegt werden, damit durch sie nicht das Emissionsniveau der übrigen Pkw nivelliert wird.

Nach einer angemessenen Übergangsfrist sollten die Grenzwerte aller Pkw in einer weiteren Stufe um 2 dB(A) gesenkt werden, wenn dies zu einer spürbaren Minderung der Geräuschbelastung im Innerortsbereich beiträgt.

In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des Vorhabens auch Überlegungen angestellt, welche Kriterien ein Pkw erfüllen muss, der im Hinblick auf die Emissionen im praktischen Betrieb auch langfristig als ausreichend leise angesehen werden kann, so dass keine weiteren Minderungsmaßnahmen mehr erforderlich sind.

Als Einstieg in die Diskussion werden auf der Grundlage der in diesem Vorhaben vorgenommenen Analysen folgende Randbedingungen vorgeschlagen:

- ☐ Reifengeräuschpegel auf Splittmastixasphalt bei 50 km/h: 65 dB(A),
- ☐ Antriebsgeräuschpegel beim 95% Perzentil der Motordrehzahl für hochtourige Fahrweise und Volllast: 66 dB(A),
- ☐ Standgeräuschpegel bei Leerlauf: 48 dB(A),
- ☐ Differenz zwischen Antriebsgeräuschpegel bei Volllast und ohne Motorbelastung zwischen Leerlaufdrehzahl und 95% Perzentil der Motordrehzahl für hochtourige Fahrweise: < 7 dB(A)

Obige Werte wurden bereits von einem Fahrzeug der in diesem Vorhaben untersuchten Stichprobe eingehalten. Die Geräuschemissionen dieses Fahrzeugs sind als Einzelereignisse nicht mehr störend oder belästigend.

Auf der Basis dieser Kriterien sollte eine letzte Grenzwertstufe für das geänderte Typprüfverfahren festgelegt werden. Die Umsetzung sollte bis spätestens 2012 erfolgen. Der für das Reifengeräusch genannte Wert ist als vorläufig zu betrachten und sollte weiter herabgesetzt werden, sobald dies technisch realisiert werden kann.

Um sicherzustellen, dass sich Minderungsmaßnahmen für die Typprüfung auch auf die Emissionen im praktischen Betrieb auswirken, sollte jeder Reifen mit seinem Geräuschwert gekennzeichnet sein und der Fahrzeughersteller im Rahmen der Typprüfung verpflichtet werden, den Reifen-Geräuschwert festzulegen, der erforderlich ist, um den Typprüf-Grenzwert einzuhalten. Nur so ist gewährleistet, dass die Typprüfbedingungen auch im Feld und auch bei späterem Reifenwechsel eingehalten werden.

Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für Nutzfahrzeuge

Für Nutzfahrzeuge sollte so rasch wie möglich eine Änderung des Messverfahrens erfolgen, um gegenüber Pkw eine gleichwertigere Beurteilung der Geräuschemissionen im Vergleich zum praktischen Betrieb zu erzielen. Dies kann durch das ACEA-Verfahren (derzeitiger Stand für N2 und N3 Fahrzeuge) geschehen. In diesem Zusammenhang wird empfohlen, leichte Nutzfahrzeuge (N1) im ACEA-Verfahren nach dem gleichen Konzept zu messen wie schwere Nutzfahrzeuge, allerdings bei niedrigerer normierter Drehzahl (nachzeitigem ACEA-Konzept 60% der Nenndrehzahl).

Da die Nennleistungsdrehzahl bei modernen Dieselmotoren nicht mehr eindeutig festgelegt ist und dieser Wert zu cycle bypass Maßnahmen verwendet werden kann, wird eine andere Kenngröße zur Bestimmung der Messdrehzahl empfohlen.

Die Auswertung von insgesamt 83 Dieselmotor-Vollastkurven ergab folgende Formeln für die normierten Zieldrehzahlen am Ende der Messstrecke:

- ☐ **Category N1:** $n_{BB'} = n_{low} + 18,5\% * (n_{high} - n_{low})$,
- ☐ **Category M2, N2:** $n_{BB'} = n_{low} + 34\% * (n_{high} - n_{low})$,
- ☐ **Category M3, N3:** $n_{BB'} = n_{low} + 56\% * (n_{high} - n_{low})$.

Diese Werte sind 60%, 70% bzw. 85% der Nenndrehzahl äquivalent.

Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge N1

Hinsichtlich der Geräuschgrenzwerte sollten die leichten Nutzfahrzeuge den Pkw gleichgestellt werden. Dies meint aber nicht, dass die Geräuschgrenzwerte im ersten Schritt auf den dann vorgeschlagenen Pkw-Grenzwert gesenkt werden sollten, sondern nur auf den derzeitigen Äquivalenzwert für Pkw. Die Umsetzung sollte bis 2008 erfolgen. Darüber hinaus sollte eine weitere Stufe für das Jahr 2012 mit einer weiteren Grenzwertminderung von 2 dB(A) konzipiert werden.

Während die erste Stufe mit herkömmlichen technischen Mitteln realisiert werden kann, sind für die zweite Stufe die Entwicklung hochwirksamer Motorkapseln sowie voraussichtlich auch leisere Reifen erforderlich.

Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge N2

Es wird vorgeschlagen, N2 Fahrzeuge und N3 Fahrzeuge mit separaten Grenzwerten zu belegen. N2 Fahrzeuge sollten nach dem ACEA-Verfahren in der ersten Stufe einen Grenzwert von 74 dB(A) erhalten. Die Umsetzung sollte wie bei den N1 Fahrzeugen bis 2008 erfolgen. Darüber hinaus sollte eine weitere Stufe für das Jahr 2012 mit einer weiteren Grenzwertminderung von 2 dB(A) konzipiert werden.

Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge N3

Bei N3 Fahrzeugen sollten die Leistungsklassen neu festgelegt werden, um für Verteiler- und Nahverkehrsfahrzeuge einerseits und Fernverkehrsfahrzeuge andererseits getrennte Anforderungen festlegen zu können und somit eine bessere Effizienz der Minderungsmöglichkeiten zu erzielen. Vorgeschlagen wird folgende Einteilung:

- ☐ Bis 150 kW Nennleistung,
- ☐ Bis 320 kW Nennleistung,
- ☐ Über 320 kW Nennleistung

Die Fahrzeuge sollten obligatorisch mit Traktionsreifen auf der Antriebsachse gemessen werden. Das Messverfahren sollte auf das ACEA-Verfahren umgestellt werden. Als Geräuschgrenzwerte für die erste Stufe werden folgende Werte vorgeschlagen:

- | | |
|--|----------|
| ☐ Bis 150 kW Nennleistung | 74 dB(A) |
| ☐ Bis 320 kW Nennleistung | 77 dB(A) |

❑ Über 320 kW Nennleistung 79 dB(A)

Für die zweite Stufe sollte eine weitere Minderung der Antriebsgeräusche um 2 dB(A) erfolgen. (Zeitraumen wie bei N2)

Als flankierende Maßnahme sollte das Rollgeräusch der Traktionsreifen näher an das Niveau der Längsprofilreifen herangebracht werden. Hierzu müssten die Geräuschgrenzwerte der Reifenrichtlinie entsprechend angepasst werden.

Weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte für Motorräder

Aus den Ergebnissen dieses Vorhabens kann gefolgert werden, dass Motorradgeräusche vor allem im Anfahrbereich und bei Beschleunigungsvorgängen auf Landstraßen (an Ortsausgängen) problematisch sind. Im Geschwindigkeitsbereich von 80 km/h bis 110 km/h ist der Fahrereinfluss mit bis zu 7 dB(A) am größten.

Vom derzeit gültigen Typprüfverfahren werden Motorräder gegenüber anderen Fahrzeugkategorien zu schlecht beurteilt. Für Motorräder sollte das Messverfahren auf die in diesem Bericht angegebene ACEA Methode Modifikation 3 umgestellt werden. Allerdings sollte wegen der besonderen Dominanz der Beschleunigungsgeräusche auf die Einbeziehung einer Konstantfahrt verzichtet werden. Für die erste Stufe wird ein Geräuschgrenzwert von 73 dB(A) für Fahrzeuge mit Hubvolumen bis 150 cm³ und von 75 dB(A) für Fahrzeuge mit Hubvolumen über 150 cm³ vorgeschlagen, für eine zweite Stufe eine weitere Minderung um 2 dB(A). Die Umsetzungszeiten sollten mit denjenigen der übrigen Fahrzeuge übereinstimmen. Statt der bestehenden Hubraumgrenze von 175 cm³ wurde der Wert 150 cm³ gewählt, um Kompatibilität mit bereits festgelegten Minderungsstufen für die Schadstoffemissionen zu erreichen.

Zusammenfassung der Vorschläge

Die in den vorherigen Abschnitten im einzelnen angesprochenen Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte sind in Tabelle 79 und Tabelle 80 für alle in diesem Bericht behandelten Fahrzeugklassen zusammengestellt. Es sei noch einmal ausdrücklich erwähnt, dass sich die vorgeschlagenen Werte der ersten Stufe aus Äquivalenzwert und einer Minderung von 1 bis 2 dB(A) zusammensetzen.

Sollte die Umsetzung der Messverfahrensänderungen sich noch über eine längere Zeit hinziehen, wird alternativ vorgeschlagen, die Grenzwertsenkungen der ersten Stufe auf der Basis des bestehenden Messverfahrens vorzunehmen. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 81 zusammengestellt.

Weitere Minderungspotentiale beim Reifen

Nach Ansicht der Reifenhersteller kann ein fortschrittlicher Typprüfreifen, der die o.g. Grenzwerte bereits heute um mindestens 3 dB(A) unterschreitet, nicht mehr im Geräusch reduziert werden. Das hätte zur Konsequenz, dass eine weitere Absenkung der Geräuschgrenzwerte zwar technisch noch machbar ist, aber unvertretbar hohen Aufwand bei den Antriebsgeräuschen bedeuten würde. **Wirksame Minderungen im Reifengeräusch sind aber der Schlüssel zum Erfolg in der weiteren Verkehrslärmbekämpfung.**

Ermittlung des weiteren Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen

Step	cat. No	vehicle category	additional conditions	measurement method	Limit value in dB(A)	transition period	introduction year
1	1	M1	other than cat 2 or 3	ACEA - modification 3	69 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	2	M1	Pn > 200 kW, p _{mr} > 150 kW/t	ACEA - modification 3	72 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	3	M1	off-road, v _{max} ≤ 120 km/h	ACEA - modification 3	72 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	4	N1, M2	GVW ≤ 2 t	ACEA - modification 3	70 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	5	N1, M2	GVW > 2 t	ACEA - modification 3	72 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	6	N2, M2	GVW > 3,5 t, Pn ≤ 150 kW	ACEA method	74 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	7	N3, M3	GVW > 3,5 t, 150 kW < Pn ≤ 320 kW	ACEA method	77 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	8	N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn > 320 kW	ACEA method	79 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	9	L3	engine cap up to 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	73 dB(A)	2005 - 2007	2008
1	10	L3	engine cap > 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	75 dB(A)	2005 - 2007	2008

Tabelle 83: Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte, Stufe 1

Step	cat. No	vehicle category	additional conditions	measurement method	Limit value in dB(A)	transition period	introduction year
2	1	M1	other than cat 2 or 3	ACEA - modification 3	67 dB(A)		2012
2	2	M1	Pn > 200 kW, p _{mr} > 150 kW/t	ACEA - modification 3	70 dB(A)		2012
2	3	M1	off-road, v _{max} ≤ 120 km/h	ACEA - modification 3	70 dB(A)		2012
2	4	N1, M2	GVW ≤ 2 t	ACEA - modification 3	68 dB(A)		2012
2	5	N1, M2	GVW > 2 t	ACEA - modification 3	70 dB(A)		2012
2	6	N2, M2, N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn ≤ 150 kW	ACEA method	72 dB(A)		2012
2	7	N3, M3	GVW > 3,5 t, 150 kW < Pn ≤ 320 kW	ACEA method	75 dB(A)		2012
2	8	N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn > 320 kW	ACEA method	77 dB(A)		2012
2	9	L3	engine cap up to 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	71 dB(A)		2012
2	10	L3	engine cap > 150 cm ³	ACEA - modification 3, only WOT	73 dB(A)		2012

Tabelle 84: Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte, Stufe 2

Step	cat. No	vehicle category	additional conditions	measurement method	Limit value in dB(A)	transition period	introduction year
1	1	M1	other than cat 2 or 3	existing EU-reg.	71 dB(A)		2005
1	2	M1	Pn > 200 kW, pmr > 150 kW/t	existing EU-reg.	74 dB(A)		2005
1	3	M1	off-road, vmax ≤ 120 km/h	existing EU-reg.	74 dB(A)		2005
1	4	N1, M2	GVW ≤ 2 t	existing EU-reg.	72 dB(A)		2005
1	5	N1, M2	GVW > 2 t	existing EU-reg.	74 dB(A)		2005
1	6	N2, M2	GVW > 3,5 t, Pn ≤ 150 kW	existing EU-reg.	76 dB(A)		2007
1	7	N3, M3	GVW > 3,5 t, 150 kW < Pn ≤ 320 kW	existing EU-reg.	78 dB(A)		2007
1	8	N3, M3	GVW > 3,5 t, Pn > 320 kW	existing EU-reg.	80 dB(A)		2007
1	9	L3	engine cap up to 150 cm ³	existing EU-reg.	76 dB(A)		2005
1	10	L3	engine cap > 150 cm ³	existing EU-reg.	78 dB(A)		2005

Tabelle 85: Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte, Stufe 1, Alternative auf Basis des derzeitigen Messverfahrens

In der Argumentation der Reifenhersteller fällt auf, dass für sie offensichtlich nur Profilloptimierung, nicht aber Änderungen in Aufbau und Material als Minderungsmaßnahmen in Betracht kommen. Unter diesen Randbedingungen erscheint die Herstelleraussage schlüssig. Andererseits geben die Reifenhersteller bei geänderten Pflichtenheften ein Minderungspotential von ca. 3 dB(A) an. In diesem Fall sind also Minderungen durch Änderungen an Aufbau und Material nicht ausgeschlossen.

Eine Wertung der Herstellerangaben wird dadurch erschwert, dass die Reifenhersteller über den Einfluss dieser Parameter auf die Geräuschemission wie auch über Aufbau und Materialeigenschaften ihrer Reifen keine quantitativen Angaben öffentlich machen. Auch die Fahrzeughersteller sind auf Vergleichstests und Messreihen angewiesen.

Bei Nutzfahrzeugreifen sollte zunächst das Rollgeräusch der Traktionsreifen näher an das Niveau der Längsprofilreifen herangebracht werden. Hierzu müssten die Geräuschgrenzwerte der Reifenrichtlinie entsprechend angepasst werden. Danach wäre auch hier eine weitere Minderung der Rollgeräusche aller Reifen erforderlich, insbesondere für Last- und Satelzüge.

Der Minderung dieses Geräuschanteils die höchste Priorität zukommen. Die EU-Reifengeräuschrichtlinie (2001/43/EG) wird hierzu zukünftig nur dann einen Beitrag leisten, wenn die Geräuschgrenzwerte erheblich herabgesetzt werden. Eine Anpassung der Grenzwerte an den Stand der Technik sollte bis spätestens 2005 erfolgen.

Prioritäten bei der weiteren Lärmbekämpfung

Für die weitere Lärminderung ergibt sich aus den Analysen folgende Rangordnung:

2. Minderung der Reifen-Fahrbahngeräusche durch
 - ❑ Minderung der Reifengeräusche bei Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen,
 - ❑ Leisere Fahrbahndeckschichten
5. Minderung der Antriebsgeräusche bei schweren Nutzfahrzeugen,
6. Absenkung der Geräuschgrenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge auf Pkw-Niveau,
7. Minderung der Antriebsgeräusche bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

6.9 Schlussbemerkungen

Ende der 70er Anfang der 80er Jahre waren in der EU Zielwerte für die weitere Entwicklung der Geräuschgrenzwerte definiert und diskutiert. Für die höchste Leistungsklasse der schweren Nutzfahrzeuge war dies 80 dB(A), für Pkw 75 dB(A). Von der europäischen Fahrzeugindustrie war damals angezweifelt worden, dass diese Werte technisch erreichbar seien. Heute ist dies bei den schweren Nutzfahrzeugen Stand der Technik, bei den Pkw durch den Stand der Technik bereits übertroffen worden. Die letzte Absenkung der Geräuschgrenzwerte liegt bereits 4 Jahre zurück. Auch im Hinblick auf die Entwicklung bei den Schadstoffemissionen, bei denen in den EU-Gremien z.B. für schwere Nutzfahrzeuge konkret über EURO5-Grenzwerte verhandelt wird, obwohl noch nicht absehbar ist, wann die dafür notwendige Technik (Abgasnachbehandlung, Partikelfilter) serienreif ist, ist es daher an der Zeit, neue Zielwerte zu definieren.

7 Literatur

- [1] Steven, H. Untersuchungen zur Verbesserung der Geräuschmessverfahren bei Kfz, FE-Vorhaben Nr. 105 06 068, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dezember 1998
- [2] Steven, H. Influence of the Transient Operating Mode of Commercial Vehicles and its Consideration in Emission Measurement According to ECE R 49, FE-Vorhaben Nr. 104 05 316, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Januar 1994
- [3] Steven, H. Auswertung des Fahrverhaltens von schweren Motorwagen, im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), April 1995
- [4] Steven, H. Entwicklung eines neuen Fahrzyklus für Krafträder zur Typprüfung hinsichtlich der Schadstoffemissionen und Ermittlung der Emissionsfaktoren von motorisierten Zweirädern sowie Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Geräuschprüfung unter Last als Bestandteil einer künftigen periodischen Abgas- und Geräuschuntersuchung, UFOPLAN 1998: FKZ 29845164/02, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Oktober 2000
- [5] Steven, H. Verbesserung der Geräuschemissionsmessverfahren für Kraftfahrzeuge, Forschungsbericht 105 02 410/03, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Nov. 1984