

## **Kraftfahrzeuglabor II**

# **Fahrzeuggeräuschemessung**

**Durchführender:**

Dipl. Ing. Sven Ruschmeyer

Aachen, Juni 2006

**Inhalt**

1	Gesetzgebung, Messvorschriften und Grenzwerte .....	1
1.1	Geltende Vorschriften .....	1
1.2	Geräuschemessverfahren.....	2
1.2.1	Innengeräusche .....	2
1.2.2	Außengeräusche.....	2
1.2.3	Standgeräusche.....	2
1.2.4	Fahrgeräusche.....	4
1.3	Außengeräusch-Grenzwerte.....	6
2	Geräuschquellen .....	10
2.1	Antriebstrang .....	10
2.2	Ansaug- und Auspuffsysteme .....	11
2.3	Geräuschpegel von Fahrzeugmotoren.....	11
2.4	Reifen-Fahrbahn-Geräusch .....	12
2.5	Luftschallquellen.....	12
2.6	Körperschallquellen .....	13
2.7	Rollgeräuschpegel von Kraftfahrzeugen .....	14

## 1 Gesetzgebung, Messvorschriften und Grenzwerte

### 1.1 Geltende Vorschriften

Bei der Erzeugung von Verkehrslärm lassen sich drei direkt oder indirekt beteiligte Verursachergruppen nennen:

- Kraftfahrzeughersteller
- Kraftfahrzeugbetreiber
- Verkehrsplaner

In getrennten gesetzlichen Vorschriften wendet sich der Gesetzgeber an jede dieser drei Gruppen.

In der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO), §49, sind die vom Fahrzeughersteller für die Zulassung eines Kraftfahrzeugs einzuhaltenden Lärmpegel festgelegt. Bereits im Jahr 1937 erschienen die ersten Vorschriften bezüglich Außengeräusche von Kraftfahrzeugen; diese wurden in der Nachfolgezeit mehrmals dem Stand der Technik angepasst.

Während die StVZO die Beschaffenheit von Fahrzeugen regelt, die zum Straßenverkehr zugelassen werden sollen, enthält die Straßenverkehrsordnung (StVO) Vorschriften über die Verwendung von Fahrzeugen im Straßenverkehr. Hier wird also der Kraftfahrzeugbetreiber angesprochen. Die StVO sieht Maßnahmen zur Lärmreduzierung vor, falls dies zum Schutz der Bevölkerung erforderlich ist. Der Maßnahmenkatalog beinhaltet z.B. Verkehrsverbote und -beschränkungen, Verkehrsumleitungen sowie Geschwindigkeitsbegrenzungen.

Während die Vorschriften der StVZO und der StVO die zulässigen Lärmemissionen regeln, sind im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) entsprechende Grenzwerte für die Lärmimmissionen festgeschrieben. Dies betrifft die Verkehrsplanung. Die Höhe der maximal zulässigen Lärmbelastung eines bebauten Gebietes richtet sich nach dessen baulicher Nutzung. Typische Klassierungen sind beispielsweise Wohngebiet, Mischgebiet und Industriegebiet. Bei den zulässigen Immissionswerten handelt es sich um Mittelungspegel.

Die zuvor genannten Vorschriften gelten ausschließlich in der Bundesrepublik Deutschland. In zunehmendem Maße werden die nationalen Vorschriften durch internationale Vereinbarungen ersetzt. Innerhalb Westeuropas ist auf dem Gebiet des Verkehrslärmschutzes schon heute eine weitgehende Übereinstimmung erreicht. Für Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) sind die entsprechenden EU-Richtlinien verbindlich. Darüber hinaus sind in der Europäischen Wirtschaftskommission (ECE) der Vereinten Nationen den Fahrzeugbau betreffende Vorschriften erarbeitet worden, die auch in verschiedenen Ländern außerhalb der EU gültig sind.

Die Automobilindustrie strebt aus Kosten- und Wettbewerbsgründen bei der Serienfertigung eine weitgehende Einschränkung der Typenvielfalt eines Fahrzeugmodells an. Deshalb orientiert sich in Westeuropa die Fahrzeugentwicklung in der Regel an den EU-Richtlinien.

## 1.2 Geräuschemessverfahren

Vor dem Hintergrund, reproduzierbare und vergleichbare Geräuschemessungen für verschiedene Fahrzeugarten durchführen zu können, sind vom Gesetzgeber entsprechende Vorschriften erlassen worden, in denen Messverfahren und -bedingungen definiert sind. Konkrete Angaben sind in den entsprechenden Richtlinien der StVZO, EU, ECE, DIN, ISO etc. enthalten. Da eine vollständige Wiedergabe der z.T. sehr umfangreichen Messvorschriften an dieser Stelle zu weit führen würde, wird die nachfolgende Darstellung der Geräuschemessverfahren auf die wesentlichen Punkte konzentriert.

Bei den vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Grenzwerten für die zulässigen Geräuschemissionen und -immissionen von Fahrzeugen handelt es sich um so genannte A-bewertete Schalldruckpegelangaben.

### 1.2.1 Innengeräusche

Die Komfortbeurteilung eines Kraftfahrzeugs wird u.a. wesentlich von der Geräuscentwicklung beeinflusst. Dies gilt insbesondere für das Innengeräusch, das auf die Benutzer eines Kraftfahrzeugs einwirkt. Da beim Kauf eines Fahrzeugs die Wahl zunehmend auch vom Komfort abhängig gemacht wird, sind die Automobilhersteller auf ein günstiges Innengeräuschverhalten bedacht. Hierbei ist jedoch zu differenzieren. Während bei sportlichen Fahrzeugen eine gewisse Geräuschabstrahlung aus psychologischen Erwägungen (akustische Vermittlung der Leistungsfähigkeit eines Kraftfahrzeugs) sogar gewünscht wird, ist bei großen Reiselimousinen ein möglichst niedriger Innengeräuschpegel erstrebenswert. Hier spielt das Image eines Fahrzeugs eine wesentliche Rolle.

### 1.2.2 Außengeräusche

Zur Messung der Kraftfahrzeug-Außengeräusche sind vom Gesetzgeber getrennte Messverfahren für Stillstand und Fahrbetrieb definiert worden. Wie bei der Innengeräuschemessung sind annähernd gleiche Bedingungen für die Beschaffenheit des zu prüfenden Fahrzeugs und des Messplatzes zu erfüllen. In der Bundesrepublik Deutschland werden im Kraftfahrzeugschein die Schalldruckpegel für das Außengeräusch bei Stillstand sowie im Fahrbetrieb eingetragen.

### 1.2.3 Standgeräusche

Das Außengeräusch eines stehenden Kraftfahrzeugs wird vornehmlich vom Verbrennungsmotor und dessen Nebenaggregaten verursacht. Dominanter Abstrahlungsbereich ist neben dem Motorraum insbesondere die Auspuffmündung. Dies wird in den Messvorschriften durch entsprechende Positionierung der Messmikrofone berücksichtigt.

In Abb. 1-1 ist für ein Pkw- und Kraftradbeispiel die gemäß DIN ISO 5130 vorgeschriebene Mikrofonanordnung bei einer Standgeräuschemessung dargestellt, jeweils in Auspuffhöhe nur

0,5 m von der Rohrmündung entfernt angeordnet (Nahfeldmessung). Der Prüfbereich muss in einem Umfeld von drei Metern um einen das Prüfobjekt umschließenden Hüllquader frei von reflektierenden Hindernissen sein. Im allgemeinen ist der Motor bei 75 % der Maximaldrehzahl zu betreiben.

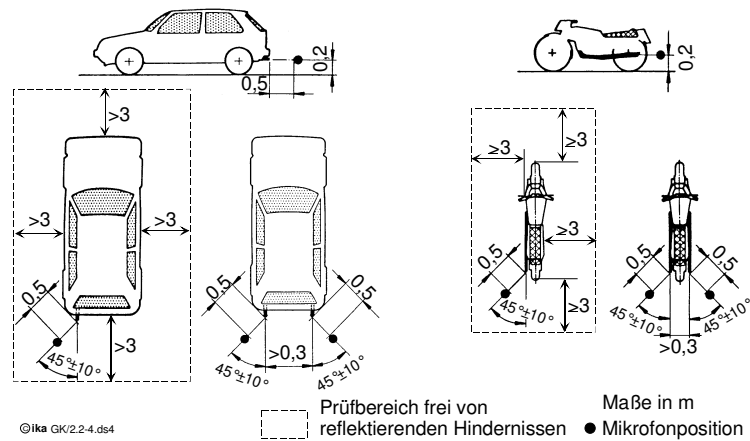


Abb. 1-1: Geräuschmessung in Nähe der Auspuffmündung

Der Beitrag einzelner Geräuschquellen an der gesamten Geräuschabstrahlung des Fahrzeugs lässt sich mit Hilfe der sogenannten Rundumgeräuschmessung ermitteln. Hierzu sind rings um das Fahrzeug acht Messstellen in einem Abstand von  $7\text{ m} \pm 0,2\text{ m}$  vorzusehen. Der Motor wird mit Leerlaufdrehzahl betrieben. Dieses Messverfahren ist nicht für die allgemeine Fahrzeugzulassung wohl aber für die Auszeichnung "Lärmarmes Kraftfahrzeug" verbindlich. In Abb. 1-2 sind die Rundumgeräusch-Messergebnisse für einen Pkw dargestellt.

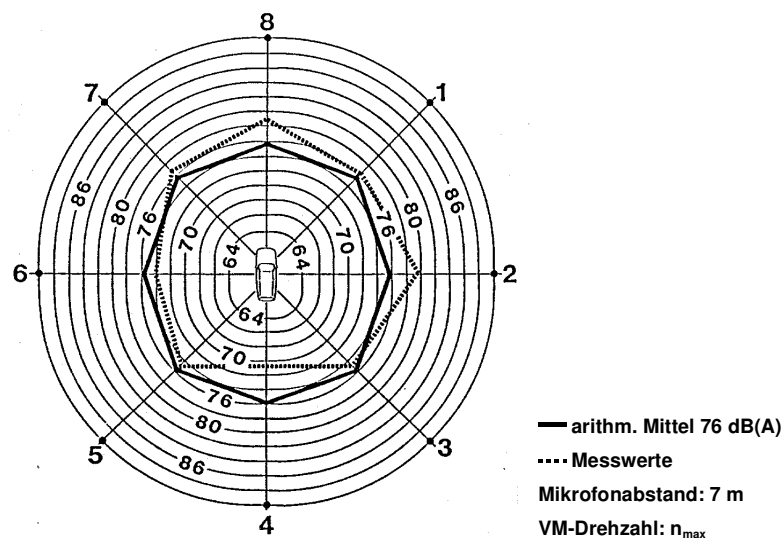


Abb. 1-2: Rundumgeräusch-Messergebnisse eines Pkw

Die an den einzelnen Messpunkten ermittelten Geräuschpegel sind mit einem Polygonzug verbunden. Der arithmetische Mittelwert dieser Ergebnisse ist als geschlossener Linienzug ebenfalls eingetragen.

### 1.2.4 Fahrgeräusche

Während der Gesetzgeber bei den Innengeräuschen weder Grenzwerte noch eine Eintragung im Kfz-Schein und bei den Standgeräuschen zwar eine Angabe im Kfz-Schein jedoch ebenfalls keine Grenzwerte vorschreibt, sind bei den Fahrgeräuschen Grenzwerte und Eintragung verbindlich. Die Fahrgeräusche bzw. deren Messung sind deshalb von besonderer Bedeutung.

Bei der Definition der Methode zur Geräuschmessung bei beschleunigter Vorbeifahrt wurden die Bedingungen so gewählt, dass die Messergebnisse zugleich die höchsten im Fahrbetrieb auftretenden Schallpegel kennzeichnen.

Abgesehen von den schon zuvor für die Beschaffenheit der Prüfstrecke genannten Anforderungen wird in der EU-Richtlinie 70/157/EWG, wie in Abb. 1-3 gezeigt, ein spezieller schallabsorptionsarmer Belag in einem Quadrat mit Kantenlänge 20 m um den Streckenmittelpunkt vorgeschrieben.

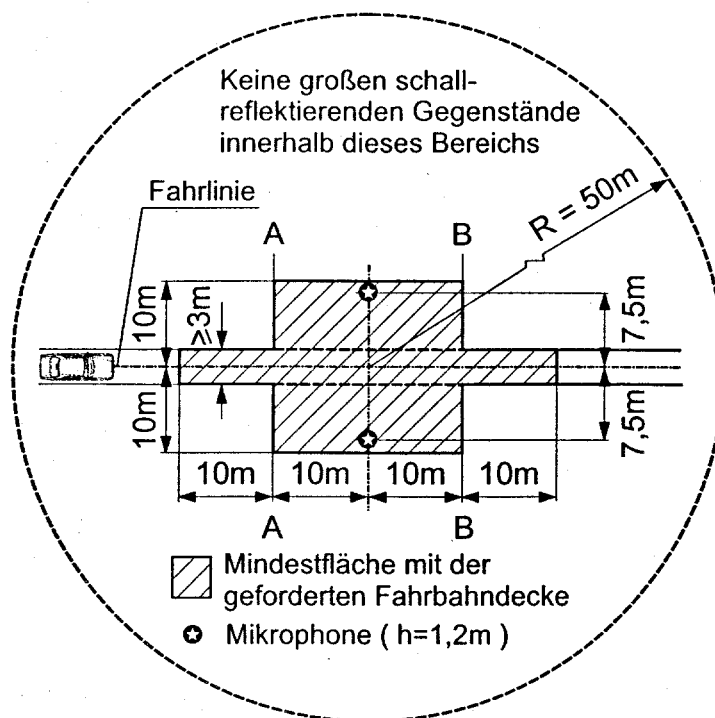


Abb. 1-3: Umfeldbeschaffenheit für Geräuschmessung bei beschleunigter Vorbeifahrt

Zusätzlich ist die Fahrspur in diesem Belag auszuführen. Die Breite dieser Fahrspur muss mindestens drei Meter, ihre Länge beiderseits der Mikrofonlinie jeweils 20 m betragen. In einem Umkreis von 50 m darf kein schallreflektierendes Objekt vorhanden sein.

Der Straßenbelag war durch die EU-Richtlinie bis 1995 nur ungenau definiert. Durch Auswahl eines Fahrbahnbelages mit hoher Absorption ließ sich somit ohne Verstoß gegen die Messvorschrift ein Vorteil erzielen. Vergleichende Messungen auf verschiedenen Prüfstrecken ergaben erhebliche Pegelunterschiede. Diese Situation führte zur Definition des sogenannten ISO-Belages gemäß ISO 10844, eines Fahrbahnbelages mit sehr geringer Absorption. Der Resthohlraumgehalt der Deckschichtmischung darf höchstens 8 % betragen. Der Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  muss kleiner als 10 %, die nach dem volumetrischen Verfahren ermittelte Gefügetiefe größer als 0.4 mm sein. Es ist mit allen Mitteln sicherzustellen, dass die Oberfläche innerhalb der Prüfzone homogen ausfällt. Die Richtlinie sieht außerdem eine strenge Überwachung der Deckschicht-Verarbeitungsbedingungen und regelmäßige Kontrollen der tatsächlichen Gefügetiefe vor.

Das Messverfahren selbst lässt sich mit Hilfe von Abb. 1-4 erklären.

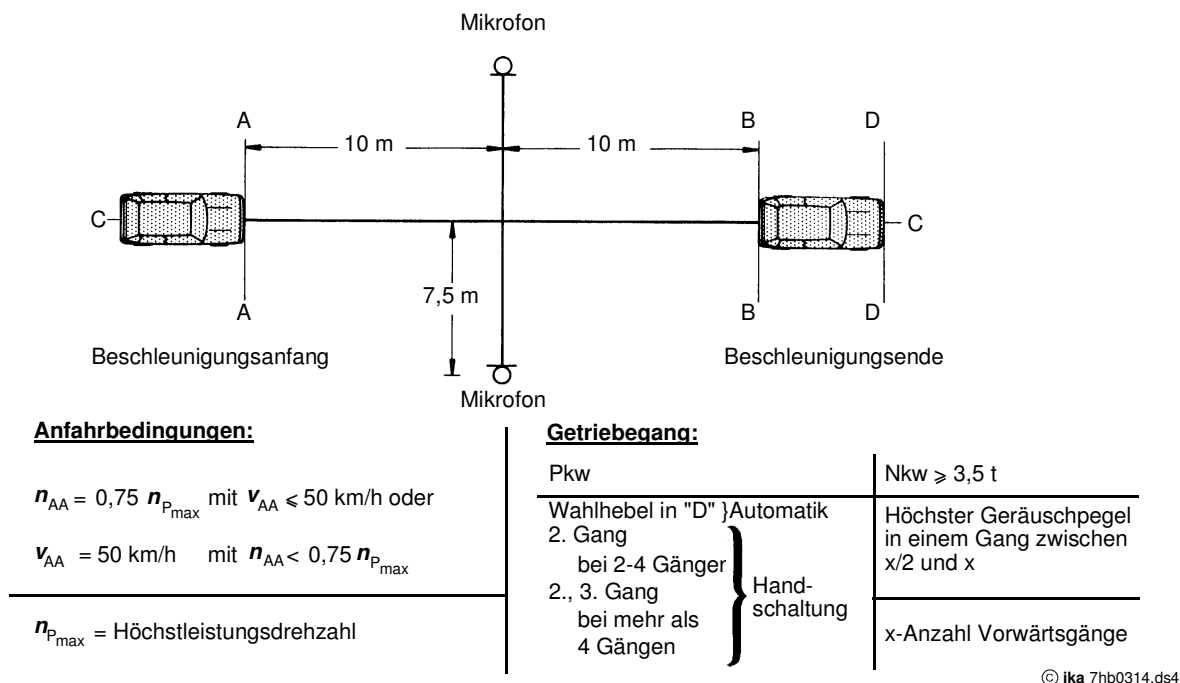


Abb. 1-4: Messvorschriften für Geräuschmessung bei beschleunigter Vorbeifahrt

Während der Anfahrt, d.h. bis zum Anfang der Prüfstrecke A-A soll die Motordrehzahl 75 % der Maximaldrehzahl bzw. die Fahrgeschwindigkeit 50 km/h betragen. Die Bedingung mit der niedrigeren Fahrgeschwindigkeit ist verbindlich. Nach Überfahren der Linie A-A ist das Fahrzeug bis zum Erreichen der Linie D-D, d.h. vollständigem Überqueren der Linie B-B, mit Volllast zu beschleunigen. Danach wird das Gaspedal sofort in Neutralstellung gebracht.

Bei Pkw mit fünf und mehr Getriebegehängen ist im zweiten und dritten Gang zu messen. Eine Ausnahme besteht für leistungsstarke Fahrzeuge mit mehr als 140 kW Motorleistung und 75 kW/t Leistungsmasse. Entsprechende Pkw werden, wenn die Ausfahrgeschwindigkeit ( $v_{DD}$ ) größer als 61 km/h ist, nur im dritten Gang gemessen. Bei Fahrzeugen mit Automatikgetrieben ist die Gangstufe "D" verbindlich.

Abb. 1-5 zeigt die Pegelverläufe auf der Fahrerseite eines Mittelklasse-Pkw bei beschleunigter Vorbeifahrt im zweiten und dritten Gang. Die Maximalwerte betragen hier 75.3 dB(A) im zweiten und 72.5 dB(A) im dritten Gang. Die beiden Pegelüberhöhungen im Kurvenverlauf kennzeichnen die dominanten Geräuschemissionen von Verbrennungsmotor und Abgasanlage. Besonders letztere hat bei dem gezeigten Beispiel einen überdurchschnittlichen Anteil am Vorbeifahrtpegel.

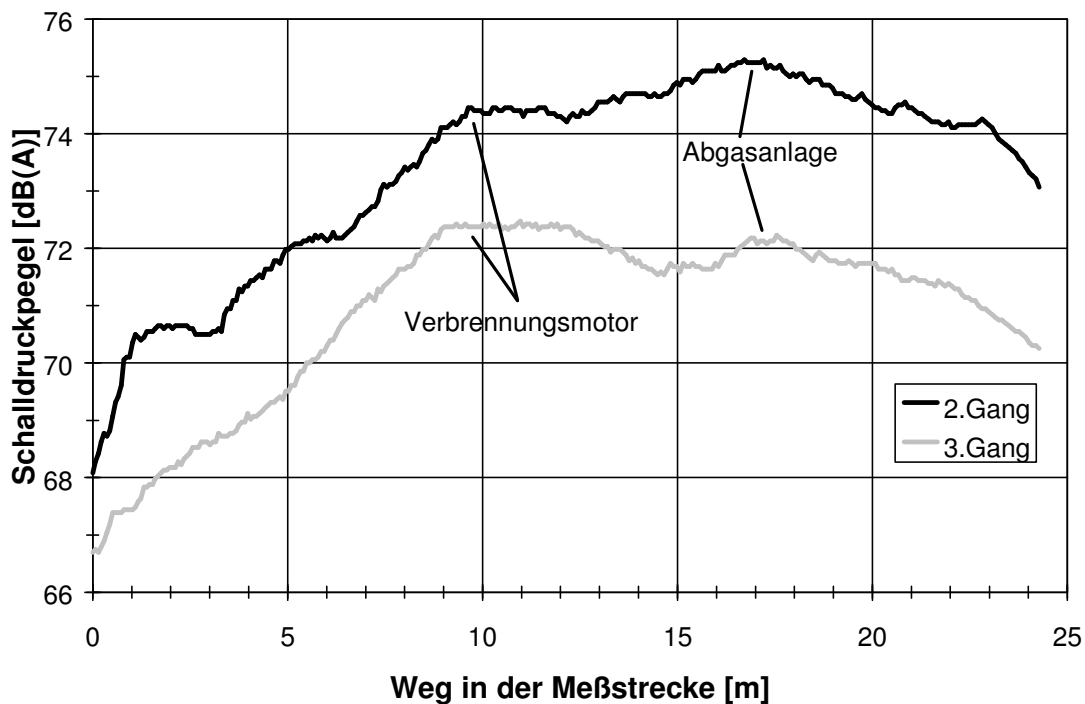


Abb. 1-5: Pegelverlauf bei beschleunigter Vorbeifahrt eines Mittelklasse-Pkw

Der für die Fahrzeugzulassung relevante Pegelwert errechnet sich wie folgt: Zunächst wird der Höchstpegelwert bestimmt, der auf beiden Fahrzeugseiten während der Messfahrten in einem Getriebegang ermittelt wurde. Die Maximalpegel in den einzelnen Getriebegängen werden dann arithmetisch gemittelt und um 1 dB(A) zur Berücksichtigung von Messungenauigkeiten verringert. Der Vorbeifahrtpegel des Beispiel-Pkw ergibt sich somit zu ca. 73 dB(A).

### 1.3 Außengeräusch-Grenzwerte

Zur Begrenzung der von Kraftfahrzeugen emittierten Geräusche sind vom Gesetzgeber Höchstwerte festgelegt worden, die bei der Zulassung von Kraftfahrzeugen zum Straßenverkehr nicht überschritten werden dürfen. Diese zulässigen Geräuschpegel beziehen sich auf das Messverfahren "Beschleunigte Vorbeifahrt".

Für Fahrzeugtypen, die vor dem 01.10.1974 zugelassen worden sind, waren in der Bundesrepublik Deutschland ausschließlich die im §49 StVZO angegebenen Grenzwerte verbindlich. In der Zeit vom 01.10.1974 bis zum 30.03.1980 galt neben der StVZO auch die EU-



Richtlinie 70/157/EWG, die teilweise niedrigere Grenzwerte vorsah. In diesem Zeitraum konnte zwischen beiden Vorschriften gewählt werden. Zur Kennzeichnung wurde im Kfz-Schein der Buchstabe E (EU-Richtlinie) bzw. N (national, hier StVZO) angegeben.

Zum 01.04.1980 wurde die EU-Richtlinie 77/212/EWG in nationales Recht (StVZO) übernommen. Seitdem gelten ausschließlich die entsprechenden EU-Richtlinien. Zum 01.10.1995 erfolgte gemäß der Richtlinie 92/97/EWG die vorerst letzte Absenkung der bei der Zulassung von Pkw und Nkw einzuhaltenden Geräuschpegel. Für Krafträder gilt weiterhin die Richtlinie 97/24/EWG. Die derzeit verbindlichen Grenzwerte sind nachfolgend in Abb. 1-6 aufgelistet:

Fahrzeugkategorie	zulässiger Pegel [dB(A)]92/97/EWG und 97/24/EWG
<b><u>Personenkraftwagen</u></b> *)	<b>74</b>
<b><u>Bus</u></b>	
• zul. Gesamtgewicht $\leq 2$ t *)	<b>76</b>
• zul. Gesamtgewicht 2 - 3,5 t *)	<b>77</b>
• zul. Gesamtgewicht $\geq 3,5$ t und Motorleistung <150 kW	<b>78</b>
Motorleistung $\geq 150$ kW	<b>80</b>
<b><u>Lastkraftwagen</u></b>	
• zul. Gesamtgewicht $\leq 2$ t	<b>76</b>
• zul. Gesamtgewicht 2 - 3,5 t	<b>77</b>
• zul. Gesamtgewicht $\geq 3,5$ t und Motorleistung <75 kW	<b>77</b>
Motorleistung 75 - 150 kW	<b>78</b>
Motorleistung $\geq 150$ kW	<b>80</b>
• Druckluftbremsgeräusch	<b>72</b>
<b><u>Krafträder</u></b>	
• Hubraum $\leq 80$ cm <sup>3</sup>	<b>75</b>
• Hubraum 80 - 175 cm <sup>3</sup>	<b>77</b>
Hubraum $\geq 175$ cm <sup>3</sup>	<b>80</b>
– für Fahrzeuge, die für den Einsatz abseits der Straße konzipiert sind und mehr als 2 t wiegen, erhöhen sich die Grenzwerte um 1 dB(A) (<150 kW Motorleistung) bzw. 2 dB(A) ( $\geq 150$ kW Motorleistung)	

\*) Grenzwerte 1 dB(A) höher für Fahrzeuge mit direkteinspritzendem Dieselmotor

Abb. 1-6: Zulässige Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen

Abgesehen von diesen verbindlichen Grenzwerten hat der Gesetzgeber mit der Anlage XXI zu §49 StVZO zudem die Möglichkeit geschaffen, Fahrzeuge mit überdurchschnittlich geringer Geräuschentwicklung - sogenannte lärmarme Fahrzeuge – besonders zu kennzeichnen. Im Kraftfahrzeugschein werden die Pegelangaben in diesem Fall mit dem Buchstaben L bzw. G versehen; die Fahrzeuge selbst sind durch eine Plakette mit einem weißen L oder G auf

grünem Grund gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung ermöglicht Ausnahmeregelungen z.B. für den Alpen transitverkehr. Die gemäß Anlage XXI verbindlichen Pegelwerte - bislang nur für Lkw definiert - sind in Abb. 1-7 aufgeführt. Neben den Fahrgeräuschen sind hier zusätzliche Geräuschemissionen z.B. der Druckluftbremsanlage limitiert.

Limitiertes Geräusch	zulässiger Pegel [dB(A)] Anlage XXI §49 StVZO
<b><u>Vorbeifahrt-Geräusch von Lkw</u></b>	
a) Motorleistung < 75 kW und zul. Gesamtgewicht > 2,8 t	<b>77</b>
b) Motorleistung 75 - 150 kW und zul. Gesamtgewicht > 2,8 t	<b>78</b>
c) Motorleistung ≥ 150 kW und zul. Gesamtgewicht > 2,8 t	<b>80</b>
<b><u>Motorbremsgeräusch</u></b>	<b>77 - 80</b>
<b><u>Druckluftbremsgeräusch</u></b>	<b>72</b>
<b><u>Rundumgeräusch</u></b>	<b>77 - 80</b>

Abb. 1-7: Geräuschgrenzwerte für lärmarme Lkw gemäß Anlage XXI §49 StVZO

Vor dem Hintergrund der kontinuierlichen Pegelreduzierungen ist von einer weiteren Absenkung der Geräuschgrenzwerte in den nächsten Jahren auszugehen. Die Einhaltung dieser Grenzwerte lässt sich nur noch mit erheblichen Entwicklungsanstrengungen realisieren. Niedrigere Grenzwerte als in der EU-Richtlinie waren in den vergangenen Jahren beispielsweise in der Schweiz verbindlich. Auch zukünftig ist nicht auszuschließen, dass einzelne Länder niedrigere Pegelwerte vorschreiben. Für den Fahrzeughersteller resultieren aus unterschiedlichen Pegelgrenzwerten insbesondere bei Großserienproduktionen Probleme hinsichtlich der Variantenzahl (erhöhter Fertigungs- und Kostenaufwand).

Die Entwicklung der Lärmemissionsgrenzwerte im Verlauf der letzten 25 Jahre veranschaulicht Abb. 1-8. In diesem Zeitraum wurden seitens der Gesetzgebung die Pegelwerte für Pkw bis zu 10 dB(A) und für Lkw sowie Busse bis zu 12 dB(A) gesenkt.

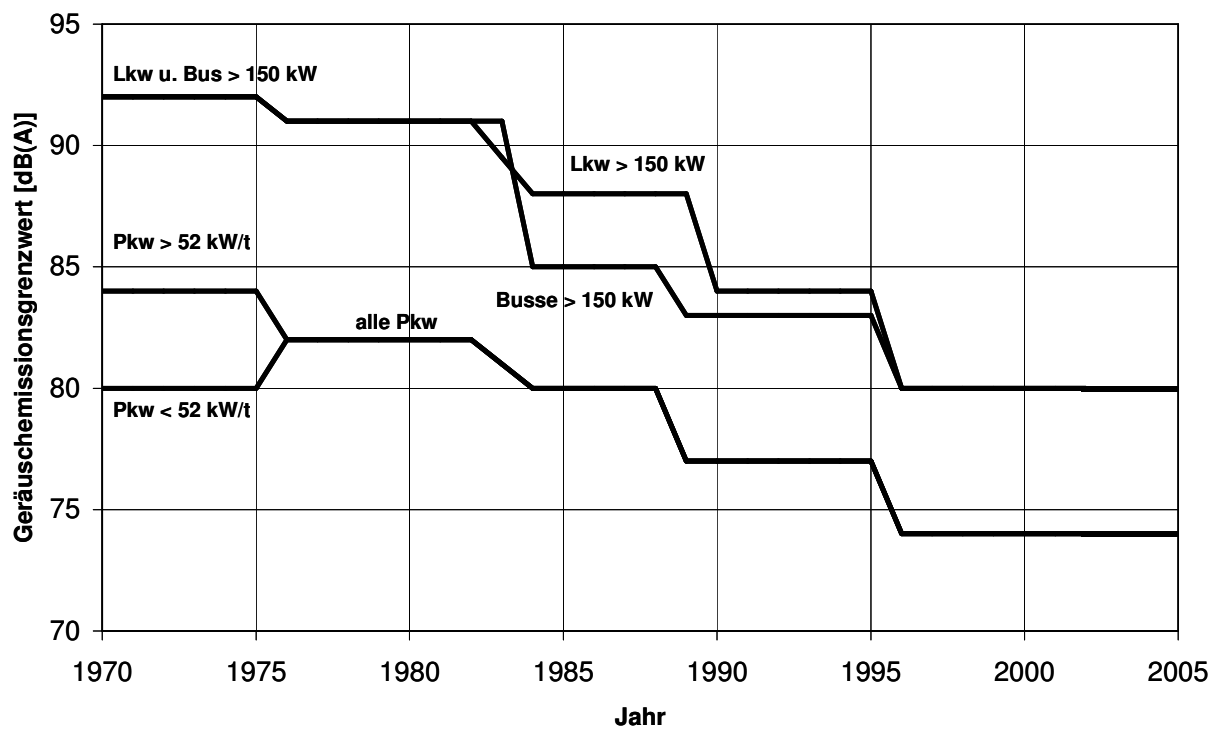


Abb. 1-8: Schallpegel-Grenzwerte für die Zulassung von Kraftfahrzeugen in der EU

Allerdings sind diese bei der beschleunigten Vorbeifahrt erzielten Pegelabsenkungen, wie neuerliche Feldmessungen gezeigt haben, im alltäglichen Straßenverkehr nicht festzustellen.

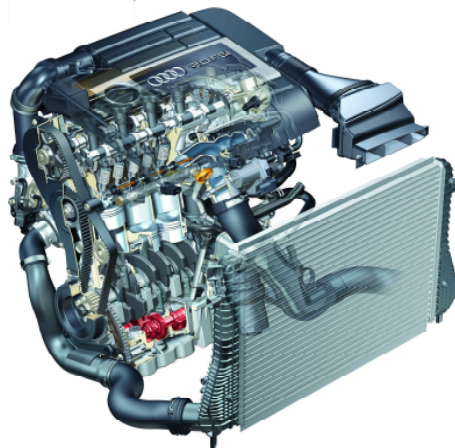
## 2 Geräuschquellen

Die Hauptquellen für die Außengeräusch-Emissionen von Kraftfahrzeugen sind der Antriebsstrang und der Reifen/Fahrbahn-Kontakt.

### 2.1 Antriebstrang

Als Antriebsaggregat werden bei heutigen Kraftfahrzeugen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, Verbrennungsmotoren, d.h. Otto- und Dieselmotoren verwendet. Neben dem Motor selbst umfasst das Antriebssystem auch notwendige Hilfseinrichtungen wie z.B. Kühler, Ansaug- und Auspuffsystem, Anlasser sowie Generator.

Die von Kraftfahrzeug-Antriebsaggregaten verursachten Geräuschemissionen lassen sich, wie in Abb. 2-1 dargestellt, auf Körperschallquellen (indirekt erzeugte Geräusche) und Luftschallquellen (direkte erzeugte Geräusche) zurückführen.



#### Indirekt erzeugte Geräusche (Körperschall)

- Verbrennung
- Mechanische Komponenten (Kolben, Kurbelwelle, Ventiltrieb)

#### Direkt erzeugte Geräusche (Luftschall)

- Lüfter (Kühler)
- Lichtmaschine
- Auspuff-, Ansaugschalldämpfer

© Ika 8BIGK528.ds4

Abb. 2-1: Geräuschquellen von Kraftfahrzeug-Antriebsaggregaten

Zu den indirekt erzeugten Geräuschen gehört das eigentliche Motorgeräusch, das im wesentlichen aus Körperschallanregungen resultiert. Durch die Verbrennung des Kraftstoff-Luftgemisches sowie die Bewegung einzelner Motorbauteile werden Wechselkräfte auf die elastische Motorstruktur ausgeübt. Auf verschiedenen Übertragungswegen wird der Körperschall bis zur Motoroberfläche geleitet und von dort als Körperschall über Befestigungspunkte auf andere Bauteile übertragen oder als Luftschall abgestrahlt. Direkt erzeugte Geräusche sind Luftschallemissionen der verschiedenen Nebenaggregate. Die wesentlichen Schallquellen sind Ansaug- und Auspuffsysteme sowie die Lüfterräder von Kühler und Generator.

## 2.2 Ansaug- und Auspuffsysteme

Bedingt durch die intermittierende Arbeitsweise von Hubkolbenmotoren sind die Strömungsvorgänge beim Ansaugen der Frischluft sowie beim Ausschleiben der Verbrennungsgase durch hohe Druckschwankungen und damit durch erhebliche Schallemissionen gekennzeichnet. Dies gilt insbesondere für die Auspuffseite des Motors, wo neben höheren Druckschwankungen auch höhere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten. Der Schalldruckpegel ist hier etwa 20 dB(A) höher als auf der Ansaugseite. Die Abgasströmung stellt die Hauptlärmquelle bei Verbrennungsmotoren dar, wie bei Fahrzeugen mit defekter Auspuffanlage deutlich festzustellen ist. Zur Geräuschminderung, d.h. zur Glättung der Gasdruckschwankungen, ist der Einsatz geeigneter Ansaug- und Auspuffschalldämpfer unumgänglich. Die verschiedenen Dämpferbauarten weisen oftmals verhältnismäßig schmalbandige Dämpfungseigenschaften auf. Daher ist für den Fahrzeugeinsatz eine Kombination verschiedener Systeme erforderlich, um eine wirkungsvolle Geräuschreduktion über den gesamten Drehzahlbereich des Motors zu erreichen. Dies veranschaulicht der in Abb. 2-2 gezeigte Auspuffschalldämpfer.

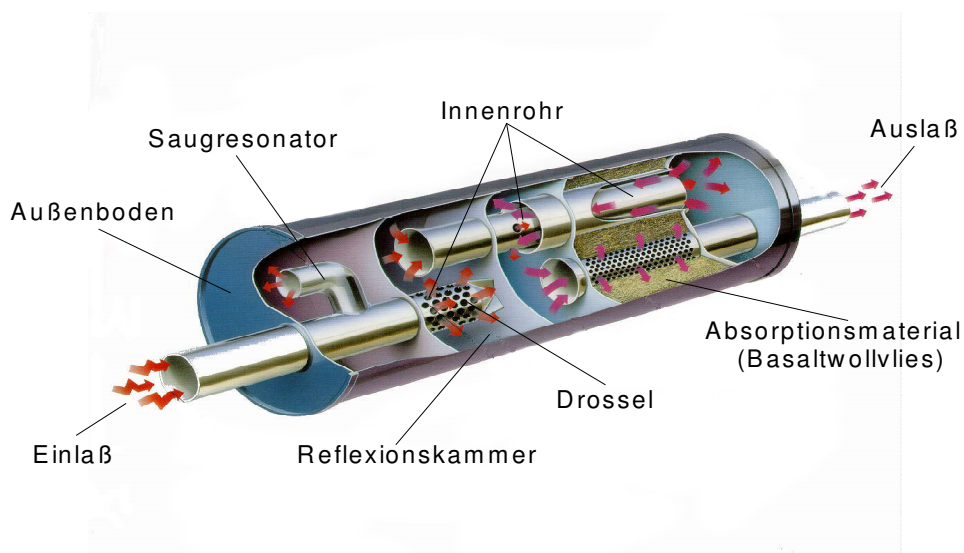


Abb. 2-2: Auspuffschalldämpfer with Absorptionsmaterial

Es handelt sich hierbei um eine Kombination von Reflexions- und Absorptionsdämpfersystemen mit verschiedenen gestaffelten Dämpfungselementen. Zu beachten ist, dass die Schallabstrahlung auf den Oberflächen von Schalldämpfern und Verbindungsrohren unter Umständen problematischer als das Mündungsgeräusch selbst sein kann.

## 2.3 Geräuschpegel von Fahrzeugmotoren

Neben den Reifen stellt das Antriebsaggregat die Hauptgeräuschquelle konventionell angetriebener Kraftfahrzeuge dar. Wie am Beispiel der in Abb. 2-3 aufgezeigten Schalldruckpegel

eines Pkw der gehobenen Mittelklasse zu erkennen ist, dominiert das Motorgeräusch bei stationärer Fahrweise bis zu einer Geschwindigkeit von etwa 50 bis 60 km/h.

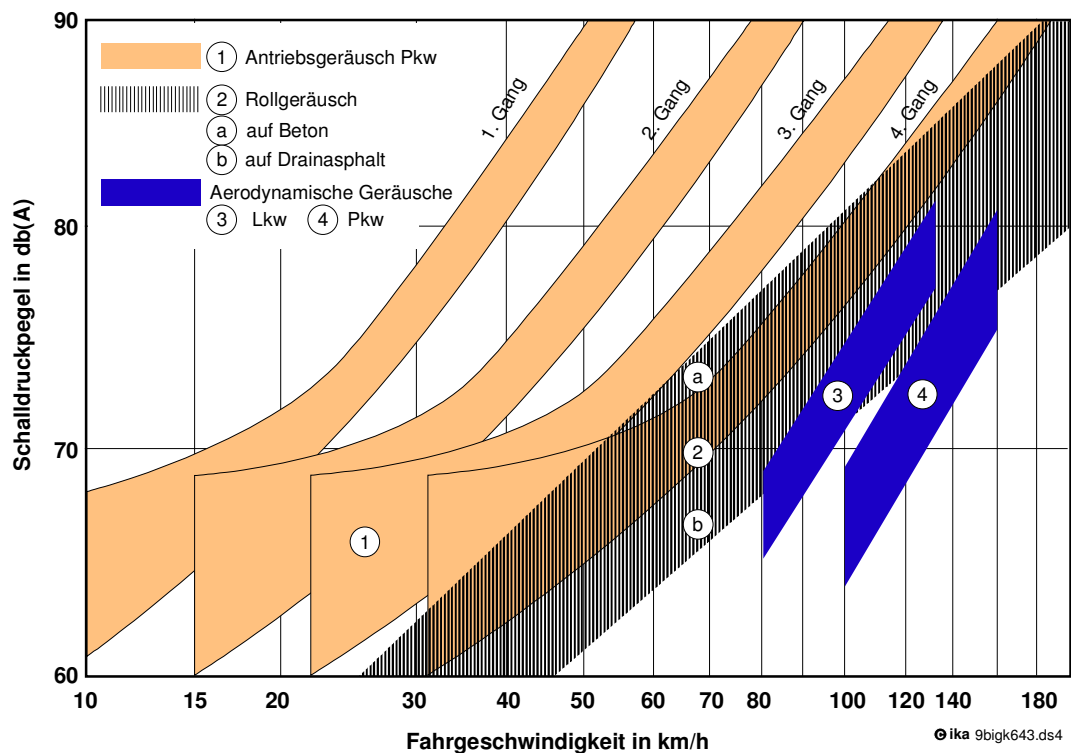


Abb. 2-3: Antriebs- und Rollgeräusche eines Pkw der gehobenen Mittelklasse

Darüber hinaus überwiegt eindeutig der von den Reifen emittierte Luftschall. Deshalb kommt dem Verbrennungsmotor speziell im Stadtverkehr als Geräuschquelle eine besondere Bedeutung zu. Dem wird im Rahmen der Fahrzeugzulassung durch die Schallpegelmessung bei beschleunigter Vorbeifahrt entsprochen.

## 2.4 Reifen-Fahrbahn-Geräusch

Anhand der in einer Vielzahl von Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse können Reifen/Fahrbahn-Geräusche sowohl auf Luft- als auch auf Körperschallanregungen zurückgeführt werden.

## 2.5 Luftschallquellen

Die sogenannte 'air-pumping'-Hypothese baut darauf auf, dass sich die Volumina und Querschnitte der Reifenrillen (Hohlräume) infolge der Reifenverformung in der Aufstandsfläche verändern. Beim Einlaufen der Profilelemente in die Kontaktzone verringern sich die Hohlräume; die in ihnen eingeschlossene Luft wird komprimiert. Im weiteren Abrollvorgang entweicht die komprimierte Luft infolge von Undichtigkeiten zwischen Profil und Straßenoberfläche. Somit entstehen Strömungsgeräusche. In der Auslaufzone des Reifenlatsches führt die

Volumenzunahme der Profilzwischenräume zu einem Unterdruck und bewirkt ein geräuschbehaftetes Rückströmen der Luft. Bleibt der Ausströmvorgang aufgrund guter Abdichtung zwischen Profil und Straße aus, entweicht die komprimierte Luft im Auslaufbereich schlagartig. Einen weiteren Anregungsmechanismus stellen sogenannte Luftresonanzen dar, die entweder durch Eigenschwingungen der in den Profilirillen eingeschlossenen Luft oder durch Helmholtz-Resonanzen der sich öffnenden Rillenvolumina im Reifenauslauf entstehen. Luftströmungen am Rad, die durch die translatorische sowie die rotatorische Bewegung des Rades hervorgerufen werden, sind unwesentlich.

## 2.6 Körperschallquellen

Für die Anregung von Körperschall sind im wesentlichen drei Mechanismen verantwortlich. Zum einen kommt es im Bereich des Reifeneinlaufs durch das Aufsetzen der einzelnen Profilelemente zu impulsartigen Schwingungsanregungen. In der Aufstandsfläche des Reifens (Latsch) erfolgt eine zusätzliche Körperschallanregung, verursacht durch lokale slip-stick Effekte, d.h. den Wechsel von Gleit- und Haftreibung infolge des intensiven Walkvorganges in dieser Partie des Reifens. Der dritte Körperschall-Anregungseffekt ist im Auslauf des Reifens zu beobachten. Hier führt das "Ausschnappen" der einzelnen Profilelemente zu einer fortlaufenden Schwingungsanregung des Reifens. Dies und der inhomogene Aufbau des Reifens (unterschiedliche Materialien und Masseverteilung) führen zu einem breitbandigen Körperschallspektrum. Das Reifen/Fahrbahn-Geräusch setzt sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Reifen-Fahrbahn-Kombination entsprechend den in Abb. 2-4 zusammen.

Schallart	Schallquelle	Geräuschanteil
Körperschall	Lauffläche und Karkasse	60-80%
Körperschall	Reifenseitenwände	5-20%
Luftschall	Air-Pumping etc.	10-30%

Abb. 2-4: Anteil einzelner Schallquellen am R/F-Geräusch

Mit etwa 70 bis 90% entfällt der größte Anteil auf Körperschallquellen, bei denen die Schwingungen von Lauffläche und Karkasse dominieren. Die Luftschallquellen sind im Vergleich dazu nur von untergeordneter Bedeutung.

Das Reifen/Fahrbahn-Geräusch wird durch das Verhalten des Fahrers, die Betriebsbedingungen des Fahrzeugs sowie die Beschaffenheit des Reifens und der Fahrbahn bestimmt. Die wesentlichen Einflussparameter sind in Abb. 2-5 aufgelistet.

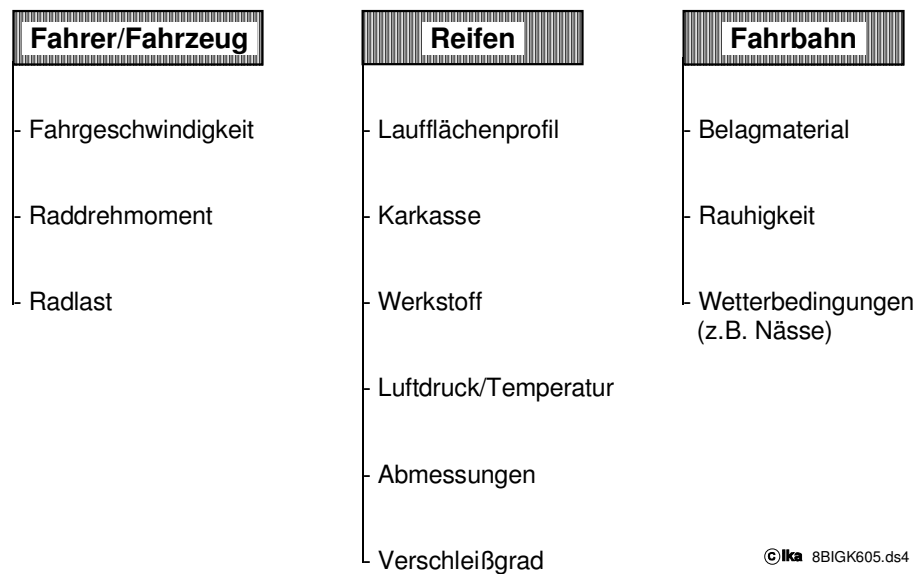


Abb. 2-5: Einflussparameter auf das R/F-Geräusch

Welche Möglichkeiten zur Geräuschreduktion in diesen Bereichen bestehen und welche Pegelabsenkungen zu erwarten sind, kann im Rahmen dieser kurzen Einführung nicht aufgezeigt werden.

## 2.7 Rollgeräuschpegel von Kraftfahrzeugen

Einen umfassenden Überblick über die Rollgeräuschemissionen von Kraftfahrzeugen ist in Abb. 2-6 gegeben. Ausgewertet wurden Messungen mit mehr als 120 verschiedenen Kraftfahrzeugen. Aus Gründen der besseren Überschaubarkeit sind für die Fahrzeugkategorien Kraffrad, Pkw, Transporter und Lkw jeweils nur die Durchschnittsemissionswerte dargestellt.

Kraffräder emittieren von allen Kraftfahrzeugen die niedrigsten Rollgeräusche, die durchschnittlich etwa 5 dB(A) niedriger als bei Pkw sind. Bei Transportern bis 3,5 t Gesamtgewicht ist der mittlere Geräuschpegel nur geringfügig höher als bei Pkw. Deutlich höhere Pegelwerte treten bei Lkw und Bussen auf. So erreicht beispielsweise ein Lkw im Durchschnitt bereits bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h den gleichen Rollgeräuschpegel wie ein Pkw bei etwa 150 km/h. Die bei den einzelnen Fahrzeugkategorien ermittelten Streubänder betragen etwa 5 bis 10 dB(A) und resultieren im wesentlichen aus unterschiedlichen Reifenprofilen.

Kennzeichnend für die zukünftige Entwicklung von Fahrzeugreifen ist neben den Kriterien verbesserter Fahreigenschaften und höherer Wirtschaftlichkeit auch die in letzter Zeit zunehmend geäußerte Forderung nach verringerter Geräuschemission.



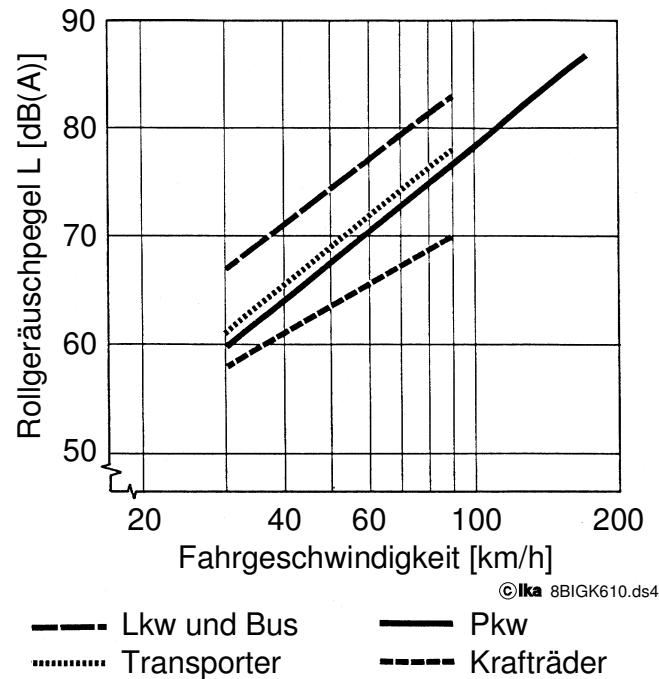


Abb. 2-6: Durchschnittliche Rollgeräuschpegel verschiedener Kraftfahrzeugkategorien

Abschließend bleibt festzustellen, dass mit zunehmender Entwicklung geräuscharmer Antriebsaggregate und aerodynamisch verbesserter Karosserien (geringere Windgeräusche) der Reifen als wesentliche Geräuschquelle des Kraftfahrzeugs noch an Bedeutung gewinnt. Deshalb bedarf es zukünftig auf diesem Gebiet verstärkter Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.