

Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr

Forschungsauftrag 200 54 135

Endbericht

RWTÜV Fahrzeug GmbH

Institut für Fahrzeugtechnik

**Ginsterweg 5
D 52146 Würselen**

**Tel.: 0 24 05-45550
Fax: 0 24 05-455520
E-Mail: Heinz.Steven@rwtuev.de**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA)

Februar 2005



Investigations on noise emission of vehicles in road traffic

Berichts Kennblatt

1. Berichts Nr. UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichtes Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr		
5. Autor Steven, Heinz	8. Abschlussdatum Februar 2005	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) TÜV Nord Mobilität - RWTÜV Fahrzeug GmbH Institut für Fahrzeug Technik Ginsterweg 5 D 52146 Würselen	9. Veröffentlichungsdatum Februar 2005	10. UFOPLAN-Nr. 200 54 135
		11. Seitenanzahl 97
		12. Literaturangaben 4
		13. Tabellen, Diagramme 28
		14. Bilder 86
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse einer Nachfolgestudie ähnlicher Untersuchungen die 1978, 1983, 1986 und 1992 durchgeführt wurden und die verwandt sind mit statistischen Vorbeifahrtmessungen an verschiedenen Straßenlagen im realen Verkehr. Das Hauptziel war festzustellen, ob die Geräuschgrenzwertsenkungen der Typprüfung, die mittlerweile Pflicht wurden und bei den Herstellern zu reduzierten Messergebnissen führte, ebenso zu reduzierten Geräuschemissionen im realen Verkehr führten. Weiterhin sollte untersucht werden, ob der immer noch anhaltende Trend zu breiteren und schnelleren Reifen für Pkw und größeren Nenndrehzahlen für Lkw höhere Geräuschemissionen im realen Verkehr bedingen. Insgesamt sind 31240 Fahrzeuge gemessen worden. Die Analyse der Ergebnisse zeigte klar, dass es einen Effekt auf das „in-use“ Antriebsgeräusch von Pkw gab, aber keinen Effekt bei der Reifen/Fahrbahngeräuschemission. Da das Reifen/Fahrbahngeräusch für Pkw wichtiger als für schwere Nutzfahrzeuge ist, ist der Minderungseffekt für sNfz größer als für Pkw. Genauer: Da das Reifen/Fahrbahngeräusch für Pkw im frei fließenden Verkehr dominiert, ergab die Minderung des Antriebsgeräusches keinen Effekt in dieser Klasse. Und selbst bei den Beschleunigungsphasen bei niedrigen Geschwindigkeiten war die Minderung der Gesamtgeräuschemission substantiell niedriger als die Reduktion der Geräuschgrenzwerte. Die Ergebnisse für sNfz zeigten, dass die Minderung der Geräuschgrenzwerte in der Vergangenheit den größten Effekt auf die Reduktion der „in-use“ Geräuschemission verglichen mit den anderen Fahrzeugkategorien hatte. In den Schlussfolgerungen wurden Vorschläge für Verbesserungen der Bedingungen für Geräuschtypprüfungen gemacht, um deren Effektivität zu verbessern.		
17. Schlagworte: Fahrzeugkategorien, KBA-Statistik, Geräuschmessungen, Geräuschemissionen im realen Verkehr, Korrelation zwischen Geräuschemission und technischen Parametern, Geschwindigkeit oder Typprüfpegel, „in-use“ Geräuschemission verschiedener Emissionsstufen		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report title Investigations on Noise Emission of Motor Vehicles in Road Traffic		
5. Author(s) Steven, Heinz	8. . Report Date February 2005	
6. Performing Organisation (Name, Address) TÜV Nord Mobilität - RWTÜV Fahrzeug GmbH Institute for Vehicle Technology Ginsterweg 5 D 52146 Würselen	9. Publication date 10. UFOPLAN – Ref. No. 200 54 135	
	11. No. of Pages 96	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environmental Agency Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau	12. No. Of References 4	
	13. No. Of Tables and Diagrams 28	
	14. No. Of Figures 86	
15. additional information		
16. Abstract		
<p>This report describes the results of a follow up study of similar investigations carried out in 1978, 1983, 1986 and 1992, that were related to statistical pass by measurements on different road sites in real traffic. The main aim was to check, if noise limit reductions for type approval, that came into force in the meantime, led to reduction measures by the manufacturers, that also reduced the noise emission in real traffic.</p> <p>Further-more should be investigated, if the still ongoing trends to wider and faster tyres for cars and higher rated power values for trucks caused higher noise emissions in real traffic. In total 31240 vehicles were measured.</p> <p>The analysis of the results showed clearly that there was an effect on the in-use propulsion noise emission of the vehicles but no effect on the tyre/road noise emission. Since tyre/road noise is more important for cars than for heavy duty vehicles, the reduction effect is higher for HDV than for cars. More specific: Since tyre/road noise is dominating for cars in free flowing traffic, the reduction of the propulsion noise emission gave no benefit for this driving condition class. And even for acceleration phases at low speeds the reduction of the overall noise emission was substantially lower than the reduction of the noise limits.</p> <p>The results for heavy duty vehicles showed that the reduction of noise limits in the past had the highest effect on the reduction of the in-use noise emissions compared to other vehicle categories. In the conclusions recommendations are made for improvements of the type approval noise test conditions in order to increase the effectiveness.</p>		
17. Keywords		
vehicle categories, KBA-Statistics, noise measurements, noise emissions in real traffic, correlation between noise emission and technical parameters, vehicle speed or type approval level, in-use noise emission of different emission stages		
18. Price	19.	20.

Inhalt	Seite
1 EINLEITUNG UND ZIEL	5
2 AUFGABEN UND MESSPROGRAMM	5
3 ERGEBNISSE	6
3.1 Überblick über die Messdaten von 2001/2002	6
3.1.1 Gesamtstatistik	6
3.1.2 Der maximale statistische Vorbeifahrtpegel im Vergleich zur Fahrzeuggeschwindigkeit, Überblick über die Fahrzeugkategorien	20
3.2 Detaillierte Analyse der Fahrzeugkategorien	30
3.2.1 Pkw	30
3.2.1.1 Einfluss der technischen Parameter	30
3.2.1.2 Einfluss der verschiedenen Emissionsstufen	37
3.2.1.3 Fahrzeugtypen	42
3.2.2 Leichte Nutzfahrzeuge	46
3.2.3 Schwere Nutzfahrzeuge	49
3.2.3.1 Ergebnisse für Fahrzeuge, die nach 1996 registriert wurden (derzeitige Emissionsstufe)	50
3.2.3.2 Ergebnisse für verschiedene Emissionsstufen	55
3.2.3.3 Fahrzeugtypen	59
3.2.3.4 "In-use" Geräuschpegel auf Autobahnen mit und ohne Steigung	63
3.2.4 Motorräder	64
3.3 Geräuschminderungseffekt von Drainasphalt gegenüber Splitt-Mastixasphalt	67
3.4 Vergleich mit den Ergebnissen aus vorherigen Untersuchungen	75
4 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	84
4.1 Allgemeines	84
4.2 Maximale Vorbeifahrtpegel über Geschwindigkeit, Überblick über die Fahrzeugkategorien	85

4.3 Detaillierte Auswertung der Fahrzeugkategorien	87
4.4 Geräuschminderungseffekt von Drainasphalt verglichen mit Splittmastixasphalt	91
4.5 Vergleich mit den Ergebnissen aus früheren Untersuchungen	92
4.6 Schlussfolgerungen	94
5 LITERATUR	96

1 Einleitung und Ziel

Das ehemalige Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen (FIGE) führte im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben statistische Vorbeifahrtmessungen im fließenden Verkehr zwischen 1976 und 1093 aus [1], [2], [3], [4]. Die Ergebnisse ermöglichen statistisch abgesicherte Korrelationen zwischen Geräuschemissionen und Fahrzeuggeschwindigkeit zu erhalten und den Einfluss der Verkehrssituation und des Fahrverhaltens zu quantifizieren. Weiterhin war es möglich, die Unterschiede in der Geräuschemission verschiedener Fahrzeugtypen zu extrahieren.

In dieser Nachfolgestudie sollte mit zusätzlichen statistischen Vorbeifahrtmessungen geprüft werden, ob die Geräuschgrenzwertsenkungen für die Typprüfung, die inzwischen in Kraft getreten sind, zu Minderungsmaßnahmen bei den Herstellern führten, was ebenfalls die Geräuschemission im realen Verkehr verminderte. Des Weiteren sollte untersucht werden, ob der immer noch anhaltende Trend zu breiteren und schnelleren Reifen für Pkw und stärkerer Motorisierung bei Lkw höhere Schallemissionen im realen Verkehr bedingt.

2 Aufgaben und Messprogramm

Die Daten der oben genannten früheren Forschungsvorhaben können in Betracht auf Fahrverhalten und Verkehrssituationen in die folgenden Klassen aufgeteilt werden:

- Start- und Beschleunigungsvorgänge (bis 60 km/h),
- Frei fließender Verkehr mit
 - Geschwindigkeit bis 30 km/h,
 - Geschwindigkeit bis 50 km/h,
 - Geschwindigkeit bis 70 km/h,
 - Geschwindigkeit bis 100 km/h,
- Autobahn.

In der Nordeifel wurden 3 weitere Messorte zusätzlich zu diesen Verkehrssituationen angelegt, um die Geräuschemissionen von Motorrädern untersuchen zu können.

Die statistischen Vorbeifahrtmessungen wurden nach ISO 11819-1 Standard ausgeführt. Der Messabstand betrug 7,5m von der Fahrbahnmitte, die Messhöhe war 1,2m über dem Fahrbahniveau. Während der Messungen wurde die Fahrzeuggeschwindigkeit mit Radar oder Lichtschränken zusätzlich zum Geräuschpegel gemessen. Der maximale Geräuschpegel (Lmax) während einer Vorbeifahrt ist das Messresultat. Die Lufttemperatur wurde während der Messperioden ebenfalls mehrmals erfasst. Für Motorräder wurde die Abweichung von der Fahrbahnmitte gemessen, da diese Fahrzeuge hier einen größeren Freiheitsgrad haben als Pkw oder Lkw.

Um die technischen Daten der gemessenen Fahrzeuge zu erhalten, wurden die amtlichen Kennzeichen erfasst und an das Kraftfahrtbundesamt via UBA geschickt.

Um eine gute Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der bisherigen Messkampagnen zu erhalten, wurden die Messungen nach Möglichkeit an den alten Messstellen durchgeführt. Einige alte Messorte mussten ausgeschlossen werden, weil das Straßenbild sich inzwischen

durch Umbaumaßnahmen geändert hatte. Die Messungen wurden zwischen Frühling 2001 und Herbst 2002 ausgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Überblick über die Messdaten von 2001/2002

3.1.1 Gesamtstatistik

Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die Messorte und deren Charakteristika. Tabelle 2 enthält die Anzahl der gemessenen Fahrzeuge in jeder Kategorie. Insgesamt wurden 29767 Fahrzeuge gemessen.

no	traffic condition	posted speed in km/h	average car speed in km/h	gradient	surface
1	low speed acceleration	50	36.8	0.0%	asphalt concrete 0/11
2	low speed acceleration	50	36.9	0.0%	asphalt concrete 0/11
3	low speed acceleration	50	35.2	0.0%	asphalt concrete 0/11
4	low speed acceleration	50	38.9	0.0%	asphalt concrete 0/11
5	acceleration	50	43	4.0%	asphalt concrete 0/11
6	acceleration	130	54.2	1.0%	asphalt concrete 0/11
7	residential, 30 km/h	30	37.8	2.0%	asphalt concrete 0/11
8	acceleration	50	36.6	2.0%	asphalt concrete 0/11
9	acceleration	50	33.8	0.0%	asphalt concrete 0/11
10	residential, 30 km/h	30	31.4	4.5%	asphalt concrete 0/11
11	residential, 30 km/h	30	36.2	0.0%	asphalt concrete 0/11
12	residential, 30 km/h	30	36.7	0.0%	asphalt concrete 0/11
13	main street	50	53.5	-1.5%	asphalt concrete 0/11
14	main street	70	49.8	0.0%	asphalt concrete 0/11
15	main street	50	56.1	5.0%	asphalt concrete 0/11
16	rural	70	60	0.0%	Gussasphalt 0/11
17	rural	70	68.5	0.0%	Gussasphalt 0/11
18	rural	70	66.3	0.0%	asphalt concrete 0/11
19	rural	70	70.3	0.0%	Gussasphalt 0/11
20	rural	100	93.9	0.0%	asphalt concrete 0/11
21	rural	100	72.6	0.0%	asphalt concrete 0/11
22	motorway	130	118.6	0.0%	stone mastic asphalt 0/11
23	motorway	130	121.1	0.0%	drainage asphalt 0/11
24	motorway	130	97.4	0.0%	cement concrete longitudinal brushed
25	motorway	130	101.47	0.0%	Gussasphalt 0/11+2/5
26	motorway with gradient	130	110.9	4.2%	Gussasphalt 0/11
27	motorway with gradient	130	108.2	3.5%	Gussasphalt 0/11
28	motorcycles	100	65	0.0%	asphalt concrete 0/11
29	motorcycles	100	75.8	5.0%	asphalt concrete 0/11
30	motorcycles	100	79.1	0.0%	Gussasphalt 0/11

Tabelle 1: Charakteristika der Messorte

site	cars	LDV	HDV up to 3 axles	trailer trucks	bus	coach	motorcycles	mopeds	sum
1	351	81	269	314	9	3	3		1030
2	763	70	90	44	18	1	6	6	998
3	831	72	107	11	30	2	15	3	1071
4	687	61	83	56	6	1	5		899
5	882	60	22	3	20		19	3	1009
6	912	73	49	7		1	4		1046
7	992	55	22		40		10	4	1123
8	879	61	43	5	4		15	4	1011
9	788	60	26		5		2		881
10	615	39	11		65		15	8	753
11	727	41	35	9	2	2	9	6	831
12	843	77	28	3	6		7		964
13	824	67	45	4	6	2	11		959
14	915	46	17		9		35	14	1036
15	882	50	28	4	14	1	8		987
16	895	44	25	5	6	1	9	1	986
17	867	35	14	15	1		6	6	944
18	717	64	63	54		1	28	3	930
19	790	77	124	48	6	2	17		1064
20	920	64	71	32	1		5		1093
21	765	71	122	85		2	16	3	1064
22	446	73	176	398	1	6	3		1103
23	453	65	187	391	1	9	2		1108
24	356	53	222	352	5	2	1		991
25	734	70	101	179	2	1	7		1094
26	631	68	121	267	2	3	2		1094
27	257	52	153	585		3	2		1052
28	739	55	16	2	4		150	6	972
29	405	4					222	1	632
30	863	30	42	16	1	1	86	3	1042
sum	21729	1738	2312	2889	264	44	720	71	29767

Tabelle 2: Anzahl der Fahrzeuge pro Messort und Kategorie

Tabelle 3 zeigt die Verteilung des Hubraumes und der Nennleistung für Pkw, Tabelle 4 zeigt die Anzahl der Fahrzeuge in verschiedenen Unterkategorien im Hinblick auf Motortyp und Hubraum.

Bild 1 zeigt die Verteilung der Pkw nach Zulassungsjahr. Die Mehrheit der Fahrzeuge wurden zwischen 1985 und 2001 zum ersten Mal zugelassen. Das mittlere Zulassungsjahr ist 1995, was bedeutet, dass das mittlere Alter der Fahrzeuge mehr als 6 Jahre beträgt. Wegen des Trends zu Dieselmotoren ist die Dieselstichprobe im Schnitt jünger als die Stichprobe der Ottomotoren.

Pkw, die nach 1996 zugelassen wurden und mit Dieseldirekteinspritzung ausgestattet sind, haben eine um 1 dB höheren Grenzwert als Pkw mit Ottomotor oder Vorkammerdieselmotoren. In Tabelle 5 wird gezeigt, dass dieser "Rabatt" nicht länger gerechtfertigt ist, weil es keinen Unterschied im mittleren Typprüfwert gibt.

Tabelle 6 zeigt die Verteilung von Zulassungsjahr und Typprüfwert für Pkw. Der mittlere Typprüfwert liegt bei 72,6 dB(A). Drei verschiedenen Gruppen können unterschieden werden. Pkw, die vor 1989 zugelassen wurden, Pkw die zwischen 1989 und 1995 und Pkw die nach

1995 zugelassen wurden. Die mittleren Typzulassungswerte dieser Gruppen nehmen mit steigendem Zulassungsjahr (abnehmendem Fahrzeugalter) von 76,2 dB(A) auf 72,6 dB(A) ab (siehe Tabelle 6). Die Verteilung der Typprüfwerte der drei Gruppen ist in Bild 2 dargestellt.

engine capacity in cm ³	rated power in kW																				sum											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	330	
600	12	15	57	5																										89		
700	1	2																												3		
800	2	139	7																											148		
900	111		1																											112		
1000	356	681	23	1																										1061		
1100	5	640		10																										655		
1200	353	240	110	92																										795		
1300	6	681	113	309	20																									1129		
1400	1	816	106	741	101	16			1																					1782		
1500	31	19	57	125	11																									243		
1600	1	187	419	1004	1213	535	62	4	1	2																			3428			
1700	75	102	80	104	15	27	12	2	1																				418			
1800	81	21	296	899	207	803	39	49	8	23	4																		2440			
1900	4	271	134	772	383	291	138	1	3																				1998			
2000	14	130	223	288	144	777	651	314	59	5	6	7	2															2621				
2100		5	12	57	107	14	64																						259			
2200		2	17	141	68	93	34	85	3	27	1																	472				
2300		6	16	24	13	7	158	111	9	14	38	15	1	5	6													423				
2400		12	71	8	21	39	48	52	55	69	7	3																385				
2500		14	54	135	93	76	65	182	39	184	61	7	1															911				
2600																													60			
2700																														117		
2800																														251		
2900																														211		
3000																														261		
3100																														14		
3200																														167		
3300																														1	23	
3400																															42	
3500																															25	
3600																															18	
3700																															10	
3800																															11	
3900																															4	
4000																															71	
4100																															3	
4200																															35	
4300																															16	
4400																															24	
4600																															8	
4700																															4	
4900																															11	
5000																															24	
5200																															6	
5300																															1	
5400																															8	
5500																															2	
5700																															1	
5800																															4	
5900																															1	
6000																															3	
6700																															1	
8000																															1	
sum	15	989	3514	1354	3114	3871	1597	2347	1255	951	274	498	353	152	182	113	37	11	14	72	25	22	21	7	5	5	2	6	2	1	1	20810
no information																															919	
total																															21729	

Tabelle 3: Pkw Stichprobe, Hubraum, Nennleistungsverteilung

subcategory	number of vehicles
petrol, <= 1400 cm ³	5702
petrol, > 1400 cm ³ <= 2000 cm ³	7827
petrol, > 2000 cm ³	2128
Diesel, <= 2000 cm ³	1391
Diesel, > 2000 cm ³	751
Diesel DI, <= 2000 cm ³	2002
Diesel DI, > 2000 cm ³	1007
others	2
no information	919
sum	21729

Tabelle 4: Pkw Stichprobe, Unterkategorien (Diesel bedeutet herkömmliche Technologie, Diesel DI bedeutet Dieseldirekteinspritzung)

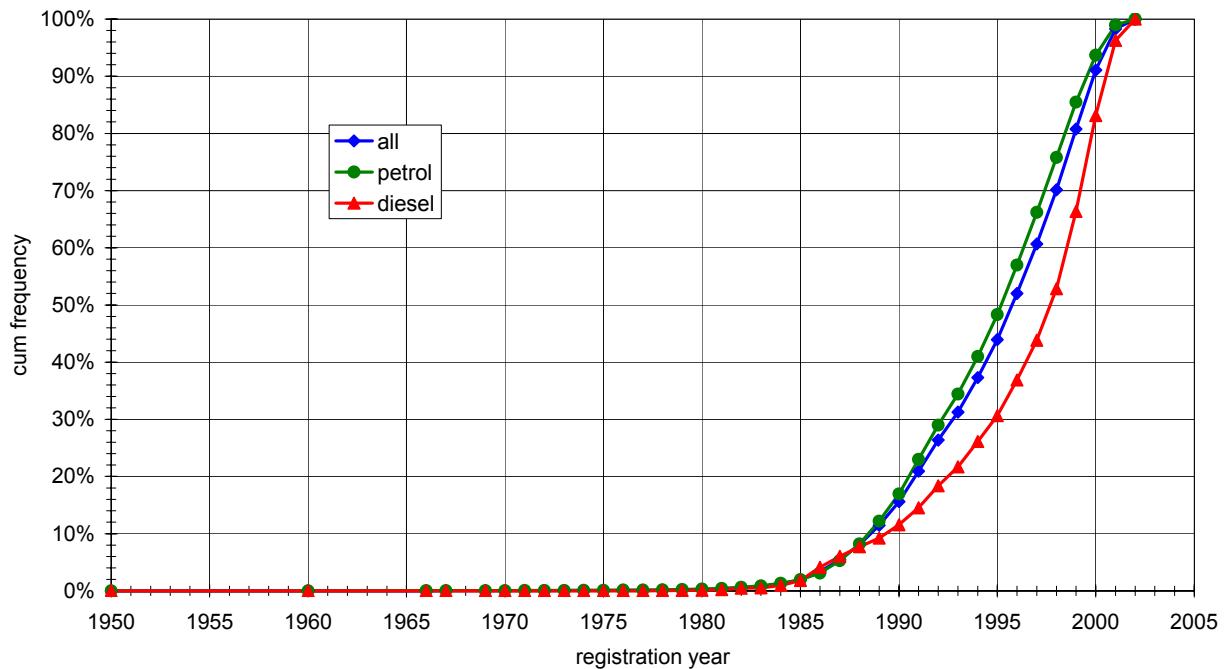


Bild 1: Pkw Stichprobe, Zulassungsjahrverteilung

engine type	average type approval level in dB(A)	no of vehicles
petrol	72.6	8053
Diesel	73.3	737
Diesel, DI	72.6	2850

Tabelle 5: Mittlere Typprüfpegel für Pkw, Zugelassen nach 1996

registration year	type approval value in dB(A)																						
	no info	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82						
1950	1																						
1960	1																						
1966	1																						
1967	1																						
1969	1																						
1970	2																						
1971	2																						
1972																		1					
1973																		2					
1974	3																						
1975																	2	1					
1976																	1	1					
1977																							
1978	1																2	2	1				
1979	3																1	3	2	1			
1980	2																1	3	4	3	1		
1981				2	1												4	1	7	5	1		
1982	4																3	4	4	6	4	11	9
1983	4				2		3	1	2	1							7	9	8	6			
1984	8					4	3	3	3	20							4	20	10	9	11		
1985	7					2	3	6	3	5	33						35	14	9	14			
1986	30					4	3	12	11	17	46	44					49	40	17	44			
1987	21					1	7	14	32	45	103	70					59	45	20	40			
1988	33						12	15	28	61	140	71					113	48	23	25			
1989	37			3		11	45	65	61	124	162	163					33	23	10	1			
1990	61			2		12	45	96	79	173	233	198					1	2					
1991	85			3	5	24	56	137	133	226	246	238											
1992	98			6	1	24	55	171	199	302	208	118											
1993	101	1		4		11	77	178	235	268	128	59	5										
1994	131					14	28	128	270	362	239	107	39										
1995	136			2	15	51	109	418	376	184	115	34	4										
1996	135				6	26	193	241	534	471	105	34	8	1									
1997	156	2	5	27	45	197	363	574	454	58	5												
1998	140	7	5	23	61	209	469	602	481	59	1												
1999	155	16	2	41	96	308	471	678	454	90		1											
2000	186	13	15	29	76	333	528	602	369	92	2												
2001	133	3	13	25	71	278	435	336	242	34	3												
2002	39	1	11	14	23	40	86	82	67	12	1												
sum	1718	43	51	185	444	1749	3161	4821	4123	2315	1466	1153	224	139	176	5	2	21775	73.6				
< 1989	125	0	0	0	11	30	53	78	140	349	221	295	175	114	166	5	1	1763	76.2				
1989 to 1995	649	1	0	20	35	161	515	1335	1445	1516	1199	849	48	25	10	0	1	7809	74.5				
> 1995	944	42	51	165	398	1558	2593	3408	2538	450	46	9	1	0	0	0	0	12203	72.6				

Tabelle 6: Pkw Stichprobe, Zulassungsjahr und Typprüfwerte

 average type
approval
level in dB(A)

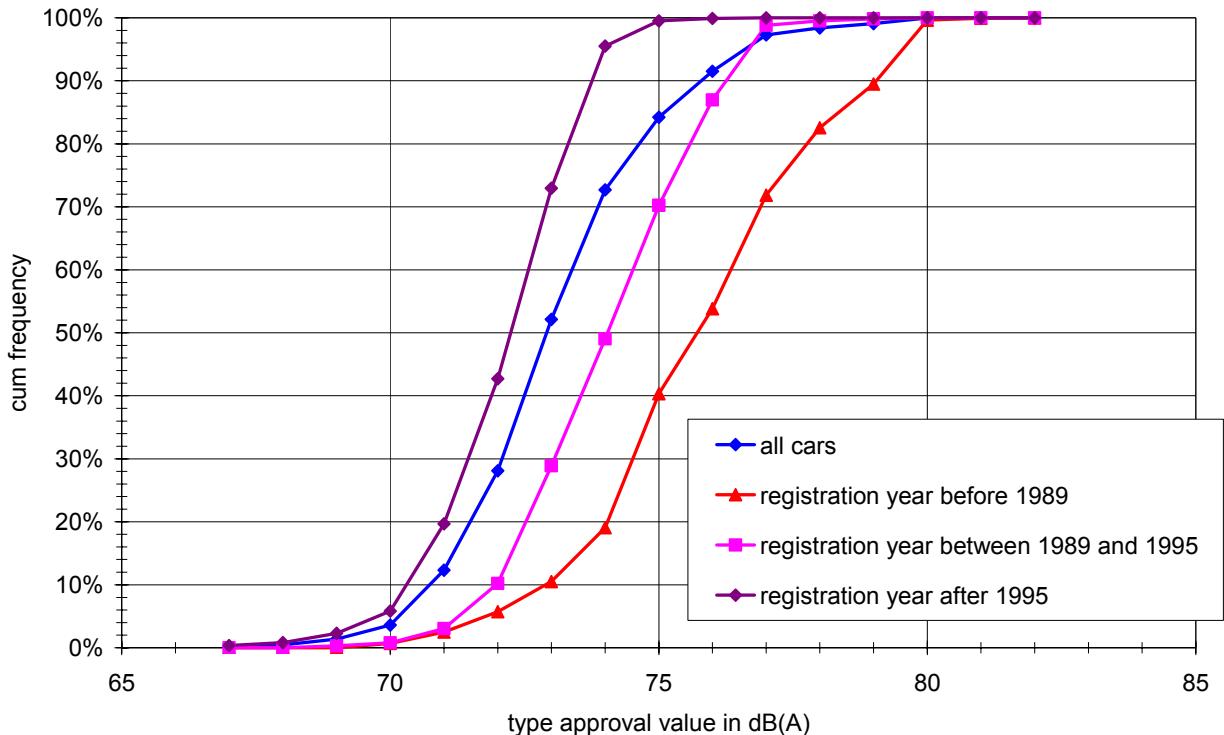


Bild 2: Pkw Stichprobe, Verteilung der Typprüfpegel

Ähnliche Verteilungen wie oben für Pkw, werden in Tabelle 7 bis Tabelle 10 und Bild 3 und Bild 4 für leichte Nutzfahrzeuge gezeigt. Leichte Nutzfahrzeuge (LNfz) sind kommerzielle Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 3500 kg. Der Alterstrend ist der gleiche wie bei den Pkw. Die jüngste Unterstichprobe ist LNFz mit Dieselantrieb und Direkteinspritzung. Diese Fahrzeuge bekommen einen Bonus von 1 dB(A) verglichen mit Fahrzeugen mit Vorkammerdieselmotoren oder Ottomotoren, wenn sie nach 1996 zugelassen wurden. Tabelle 9 zeigt den mittleren Typprüfwert für LNFz, zugelassen nach 1996, für unterschiedliche zulässige Gesamtgewichte und Motortypenklassen. Für LNFz mit einem zul. Gesamtgewicht bis zu 2000 kg gibt es keine signifikanten Unterschiede in den mittleren Typprüfwerten zwischen den Motorklassen, für LNFz mit einem zul. Gesamtgewicht über 2000 kg haben die Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung einen höheren mittleren Typprüfwert als die anderen Motorklassen.

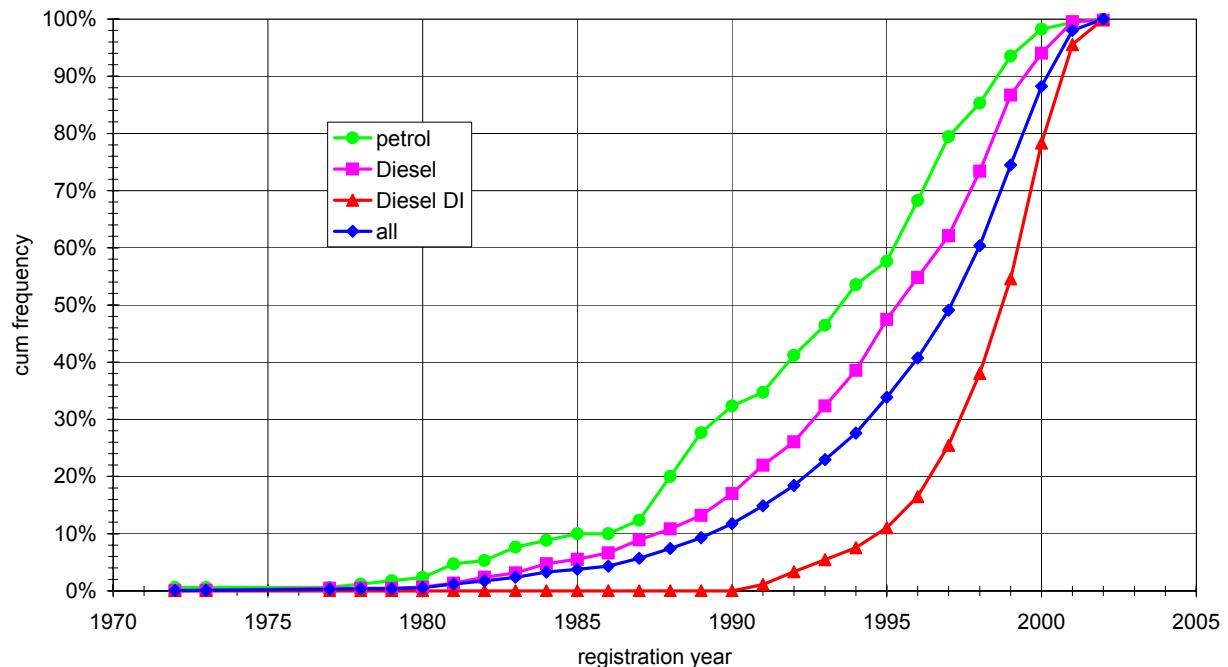
Darüber hinaus, da leichte Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 2000 kg und über 2000 kg unterschiedliche Grenzwerte haben (75 dB(A) und 77 dB(A)), wurden die Typprüfwertverteilungen in Tabelle 9, Tabelle 10 und Bild 4 ebenfalls in diese Gruppen aufgeteilt. Der Unterschied in den Typprüfwerten ist 0,5 dB für Otto- und Dieselmotoren und 2,5 dB für Dieseldirekteinspritzer (siehe Tabelle 9).

	cap_kl	no info	rated power in kW												sum	
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140		
engine capacity in cm ³	no info	87													87	
	1000		3	1											4	
	1100		4	14		1									19	
	1200			4											4	
	1300			9	1	2									12	
	1400			24	4	9									37	
	1500				2	3									5	
	1600			32	24	1	1								58	
	1700			43	12										55	
	1800			38	3	3	5								49	
	1900			33	168	18	23								242	
	2000				10	21	22	3		2					58	
	2100			2	2	28	4	41	5	26	1				109	
	2200				13	9	3	4	3						32	
	2300					139	9	2			2				152	
	2400					36	129	24	9	14					212	
	2500					47	130	54	91	16					338	
	2700						4	2				10	1		17	
	2800						14	3	30	72	3				122	
	2900							19	36	88					143	
	3000							1							1	
	3100								4						4	
	3200								1						1	
	3800						1								1	
	4000											1			1	
	4200												1		1	
	4300														1	
	5700									1		1		3	5	
	5800											1			1	
	6200										2				2	
	sum	87	7	200	322	513	170	220	198	34	3	12	3	1	3	1773

Tabelle 7: Leichte Nutzfahrzeuge, Hubraum, Nennleistungsverteilung

subcategory	number of vehicles
petrol, <= 2000 kg GVM	90
Diesel, <= 2000 kg GVM	163
Diesel DI, <= 2000 kg GVM	38
petrol, > 2000 kg GVM	80
Diesel, > 2000 kg GVM	724
Diesel DI, > 2000 kg GVM	677
no info	1
sum	1773

Tabelle 8: Leichte Nutzfahrzeuge, Unterklassen (GVM – zulässiges Gesamtgewicht)


Bild 3: Leichte Nutzfahrzeuge, Verteilung des Zulassungsjahres

gross vehicle mass in kg	engine type	average type approval level in dB(A)	no of vehicles
<= 2000	petrol	73.4	45
<= 2000	Diesel	74.1	109
<= 2000	Diesel, DI	73.8	36
> 2000	petrol	73.9	17
> 2000	Diesel	74.7	332
> 2000	Diesel, DI	76.3	575

Tabelle 9: Mittlere Typprüfpegel für INFZ, Zugelassen nach 1996

registration year	no info	type approval value in dB(A)													sum	
		69	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82		
no info	51														51	
1972	1														1	
1973	1														1	
1977	3														3	
1978														1	1	
1979	3														3	
1980	5													5	10	
1981	6													3	9	
1982	3									1	1	3	1		9	
1983	6							1			2	6			15	
1984	6									1		2			9	
1985	9													1	10	
1986	12								1	1		1	8	1	24	
1987	6			1				5	2	3	3	7	3		30	
1988	15							4	1	4	2	4	2		32	
1989	24							1	1	8	1	5	1		41	
1990	19				6	1	13	5			4	4			52	
1991	14					8	8	14	4	1	3	6			58	
1992	22				4	10	6	16	8		1	8			75	
1993	25				3	3	11	11	14	5	2	1			75	
1994	33			2	1	12	11	22	16	9	3				109	
1995	19	1	1		12	29	7	17	16	15			1		118	
1996	14		2	1	15	38	18	12	16	25					141	
1997	27		3	4	11	61	18	16	18	30	2		1		191	
1998	30			1	6	77	18	43	11	54					240	
1999	38			2	13	67	17	24	17	49					227	
2000	18			4	18	59	32	18	12	9					170	
2001	7			1	4	11	7		2	1					33	
2002	8			1	4	12	7		2	1					35	
sum	425	1	6	16	92	393	172	211	157	207	35	53	4	1	1773	average type approval level in dB(A)
															all	75.7
registration year before 1989	76	0	0	0	1	0	10	4	8	7	15	32	3	1	157	78.5
registration year between 1989 and 1995	156	1	1	2	20	68	45	94	71	31	18	21	0	0	528	76.0
registration year after 1995	142	0	5	14	71	325	117	113	78	169	2	0	1	0	1037	75.3
GVM <= 2000 kg	19		6	3	60	113	41	24	14	3	8	2			293	74.4
GVM > 2000 kg	368	1		12	34	288	128	196	149	213	29	56	4	1	1479	76.0

Tabelle 10: INfz, Zulassungsjahr und Typprüfwerte (GVM – zulässiges Gesamtgewicht)

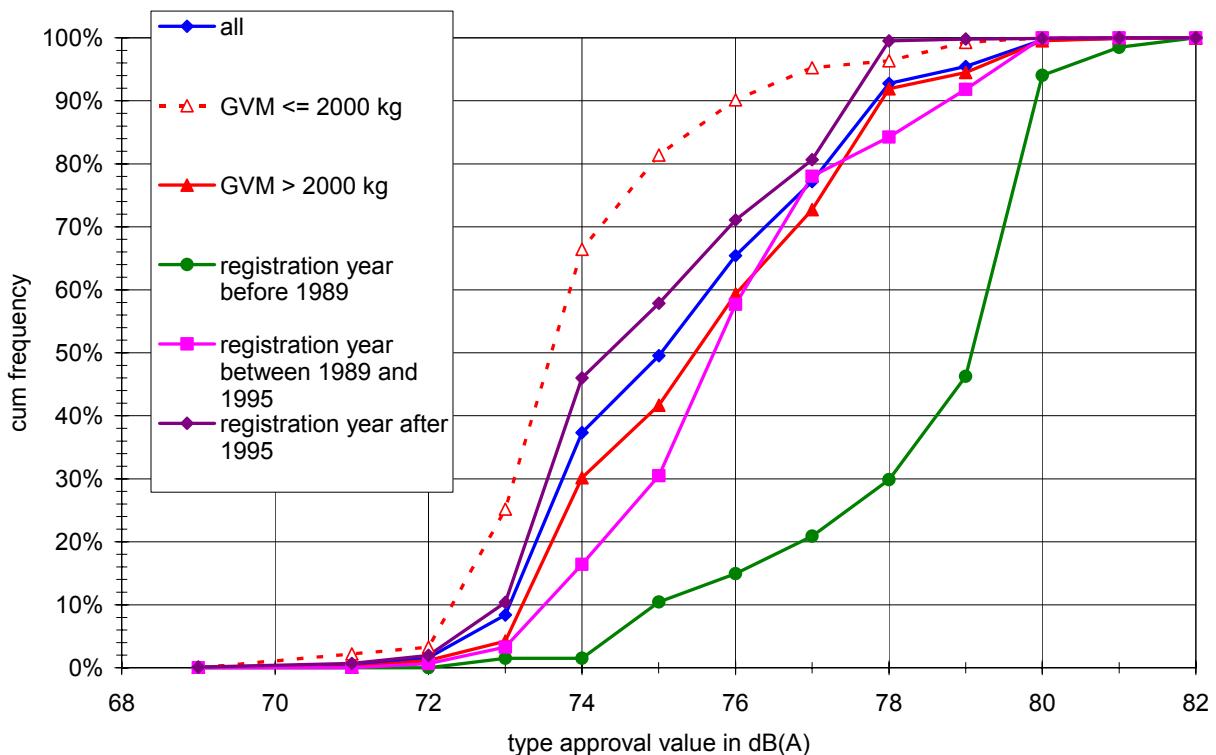


Bild 4: INfz, Verteilung der Typprüfpegel (GVM – zulässiges Gesamtgewicht)

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Verteilung des Hubraumes und Nennleistung für schwere Nutzfahrzeuge (SNfz) mit bis zu 3 Achsen. Tabelle 12 zeigt das gleiche für SNfz mit mehr als 3 Achsen. Die Altersverteilung für beide Gruppen sind in Bild 5 gezeigt. Da die Informationen über Typprüfwerte für den größten Teil der Stichprobe für SNfz fehlt, können keine adäquaten Tabellen oder Bilder vorgelegt werden.

Für Motorräder waren die Typprüfwerte vorhanden, die Verteilung ist in Tabelle 13 gezeigt. Drei verschiedene Gruppen können werden deutlich, Motorräder zugelassen vor 1990, zwischen 1990 und 1996 und nach 1996. Der mittlere Typprüfwert nimmt mit abnehmendem Alter der Motorräder von 82,8 dB(A) auf 79 dB(A) ab.

cap_kl	rated power in kW																											sum				
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	340	350	370	400
2000	2																														2	
2100					1		3																								4	
2300	10	2	1																												13	
2400	6	1	2																												9	
2500	4		6	12																											22	
2700							3																								3	
2800		2	24	2																											28	
2900		13	1	27														1													42	
3000	1			1																											2	
3300	1		4																												5	
3400	1																														1	
3800	16	1																													17	
3900	28	4	9	59	11	4	5																								121	
4000	9	12	16	4	33																										74	
4100	4				3																										7	
4200		6	57	115		112																									290	
4300			2			1																									3	
4600		13	3	93	6	27																									142	
4900				1																											1	
5300				1																											1	
5400		1	1																												2	
5500		1			17		1	2																						23		
5600			7		3	1	2																							13		
5700						1																									1	
5800		2	2																												4	
5900			58	69	1	59	31	3	12	2		1																	236			
6000		2	122		23	51		25		19																				242		
6100	2	7		2																											11	
6200		1			6		2	1	1	2																				13		
6400							79				67																			146		
6500						1																									1	
6600							2			4																					6	
6800			4																												4	
6900		1	21		14		60	26	1	29	25	15																		192		
7300					1	1																									2	
7700																		3													3	
7800									5		1							3													11	
8400							1	1																							2	
8500					1	1		2	1		2																			7		
9000						4	9	4										3													20	
9200											1																				1	
9400						1																									1	
9500					5													3													17	
9600							38	9			14																			61		
9800											1		8																		9	
10000									4	7			10	4																25		
10300											1																				2	
10600					1	20												2												4		
10900								31	11			15	2	11					1											21		
11000			1	34	13	1																								71		
11300																				1											50	
11600																			1		3		1								1	
11700																			1												5	
11900											9		47	1	14	3	26													114		
12000										6		17	1		21	14	8	1											68			
12100											4					4															9	
12600																		1													3	
12700							1											3													1	
12800																		1													13	
13700																			4												1	
13800																			4												7	
14500								8		5		1		1																15		
14600										1																					39	
15100										4	15	2																		21		
15900																															2	
17200																															2	
sum	6	47	60	44	91	359	319	44	281	25	38	151	147	111	34	59	128	9	103	15	34	18	50	26	43	8	6	23	5	2	1	2289

Tabelle 11: Schwere Nutzfahrzeuge mit bis zu 3 Achsen, Verteilung des Hubraumes und der Nenndrehzahl

		rated power in kW																						sum				
		170	180	190	200	210	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	
	6400	1																									5	
	6900	3		2	1	1																					7	
	7800						1					4															5	
	8700			1																							1	
	9000		2				1																				3	
	9500							6				16	1														23	
	9600	3		4	4																						11	
	9800							1																			1	
	9900																											1
	10000		1	2	1		10	12		1																	27	
	10100									2																	2	
	10300										4																26	
	10600							4			31																35	
	10900								1	1																	2	
	11000			1		2	1	32		12	9	1														58		
	11100									9	15	18															42	
	11500					1			1																		2	
	11600							5			6		4														15	
	11700							14		46	1	61										7					129	
	11900			2	9	1		80	3	2	335		9	311		6	5										763	
	12000			2	3			2	70	2	186	229	30	2													526	
	12100	1			1		6		50		1	100				19											178	
	12600					1				27			91				15					1					135	
	12700								2																		2	
	12800					1		3		41						184											229	
	13800		1						6			35					19										61	
	14200										2	1	3	14			4		16								40	
	14500	3				1		7					93		1	7	14		13								11	
	14600						2	62	110																		302	
	15100		3	1																							4	
	15600								1							16											21	
	15900														79		1	36									123	
	16100																										1	
	16400																											1
	17100												1															1
	17200																											1
	18300															2			3									5
	19900															1												1
	sum	4	7	6	12	11	24	13	65	96	177	299	588	255	238	525	3	226	127	22	21	2	66	1	1	7	4	2800

Tabelle 12: Schwere Nutzfahrzeuge mit mehr als 3 Achsen, Verteilung des Hubraumes und der Nenndrehzahl

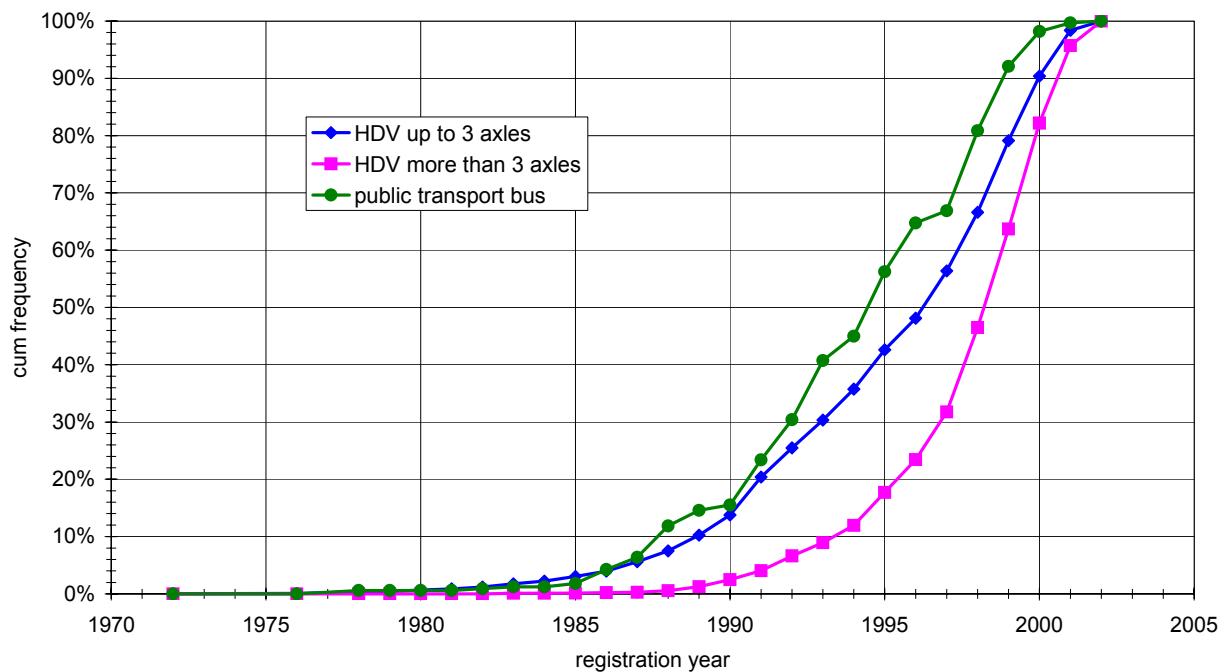


Bild 5: sNfz, Verteilung des Zulassungsjahres

registration year	type approval value in dB(A)														sum	average type approval level in dB(A)
	no info	74	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86			
1956	1														1	
1958	1														1	
1960	1														1	
1966	1														1	
1972	1														1	
1975									1	1					2	
1977	1							1							2	
1978								1				1			2	
1980									2	1					3	
1981	4							1	1						6	
1982	3							1	2	1	1				8	
1983							1		1	2		1	2		7	
1984	3							1			2	3			9	
1985								1		2				1	4	
1986	2								12		1	1			16	
1987	4								2		3	2			11	
1988	1										2	2			5	
1989	1									1	1	4		1	8	
1990		1					1	2	3	2					9	
1991	4					1	2	5	6	3					21	
1992	6					2	1	8	10	4					31	
1993	4						1	6	3	3					17	
1994	5					2		11	9	11	1				39	
1995	5					1	2	10	2	5					25	
1996	9					4	10	17	1						41	
1997	4		2	2	8	13	17								46	
1998		2	4	6	22	10									44	
1999	5		2	10	30	15									62	
2000	3	2	1	1	5	24	16								52	
2001	3		2	10	30	14									59	
2002	2		1	5	23	15									46	
sum	74	2	6	12	54	160	150	44	46	6	14	10	2	580	average type approval level in dB(A)	
registration year before 1990		0	0	0	0	1	4	10	18	5	14	10	2	64	82.8	
registration year between 1990 and 1996		0	1	0	10	17	59	34	28	1	0	0	0	150	80.3	
registration year after 1996		2	5	12	44	142	87	0	0	0	0	0	0	292	79.0	

Tabelle 13: Motorräder, Verteilung des Zulassungsjahres und der Typprüfwerte

3.1.2 Der maximale statistische Vorbeifahrtpegel im Vergleich zur Fahrzeuggeschwindigkeit, Überblick über die Fahrzeugkategorien

Der Fahrbahnbelaag der meisten Messorte war Asphaltbeton 0/11 mit einer maximalen Korngröße von 11 mm. Deshalb wurde dieser Belag als Referenzbelag ausgewählt. Einige anderen waren Zementbeton, Gussasphalt und an einem Messort war die Fahrbahnoberfläche ein offenporiger Drainasphalt 0/11. Die Ergebnisse der Messorte mit Zementbeton- und Gussasphaltbelag wurden zu Asphaltbeton 0/11 „korrigiert“, um eine homogene Probe für den Referenzbelag zu bekommen. Die Korrektur wurde durch eine Berechnung der Abweichung vom mittleren maximalen Vorbeifahrtpegel (Lmax) für den einzelnen Messort mit der Regressionskurve aller Messorte mit dem Referenzbelag gemacht. Diese Abweichung wurde zu den individuellen Lmax Ergebnissen addiert. Die Ergebnisse für den Drainasphalt wurden unverändert belassen. Die Messergebnisse wurden in Messorte mit frei fließendem Verkehr und Messorte mit beschleunigenden Fahrzeugen gruppiert.

Alle individuellen Lmax Werte für Pkw auf dem Referenzbelag Asphaltbeton 0/11 sind in Bild 6 in Abhängigkeit von der individuellen Fahrzeuggeschwindigkeit getrennt nach frei fließendem Verkehr und beschleunigenden Fahrzeugen dargestellt. Beschleunigende Fahrzeuge zwischen 75 und 95 km/h kommen von dem unteren Ende des Fahrzeuggeschwindigkeitsbereiches auf Autobahnen mit normalem, frei fließendem Verkehr. Diese Geschwindigkeit kann nicht als normale Reisegeschwindigkeit betrachtet werden. Höchstwahrscheinlich beschleunigen diese Fahrzeuge.

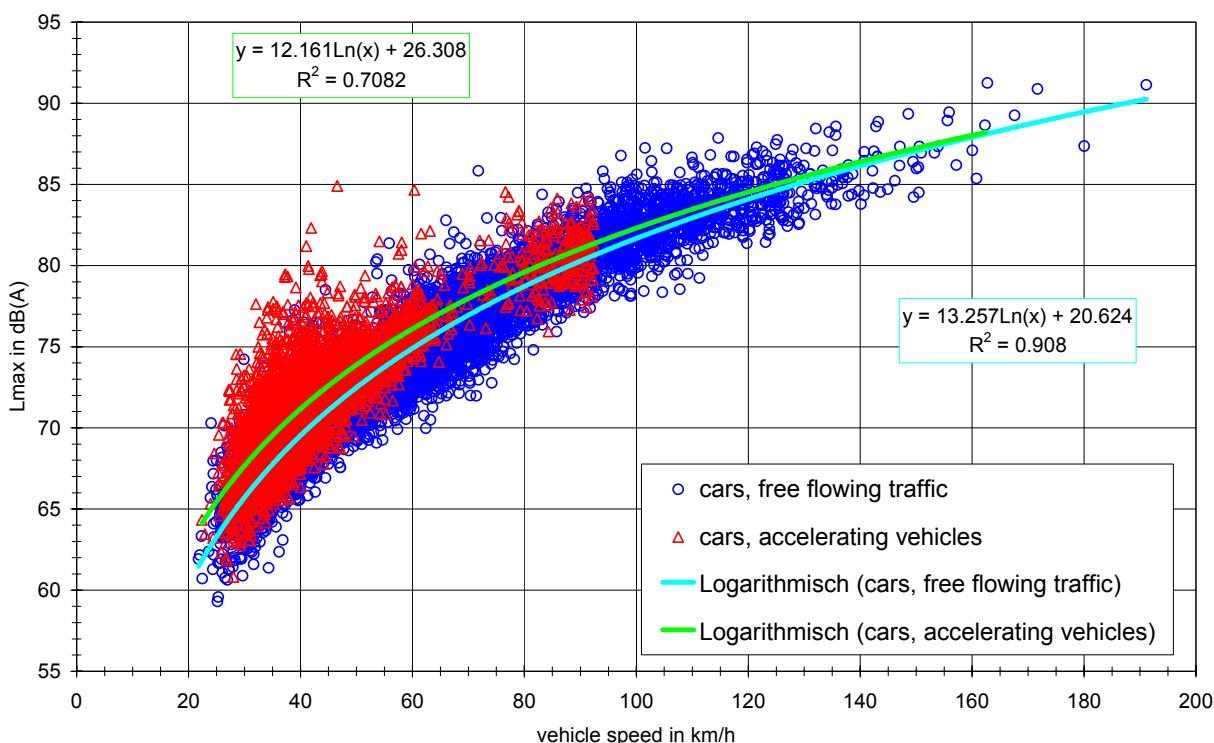


Bild 6: Lmax Werte für Pkw gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

Die Ergebnisse können mit logarithmischen Funktionen, die auch in Bild 6 gezeigt werden, approximiert werden. Die Regressionslinie für beschleunigende Fahrzeuge ist höher als die für frei fließenden Verkehr, die Differenzen nehmen mit zunehmender Geschwindigkeit ab. Die Differenz beträgt 2,4 dB(A) bei 20 km/h, 1 dB(A) bei 70 km/h und unter 0,5 dB(A) über 115 km/h.

Die Ergebnisse für leichte Nutzfahrzeuge werden in Bild 7 gezeigt. Leichte Nutzfahrzeuge sind kommerzielle Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 3500 kg. Ihre Ergebnisse können ebenfalls mit einer logarithmischen Funktion approximiert werden und die Tendenzen sind die gleichen wie bei den Pkw. Die Differenzen zwischen der Regressionskurve für Beschleunigungen und frei fließendem Verkehr nehmen mit steigender Geschwindigkeit ab und sind etwas höher als für Pkw. Bei 25 km/h ist die mittlere Emission von beschleunigenden Fahrzeugen etwa 4 dB höher als die mittlere Emission frei fließenden Verkehrs, die Differenz ist auf 2 dB bei 55 km/h und 1 dB bei 85 dB reduziert.

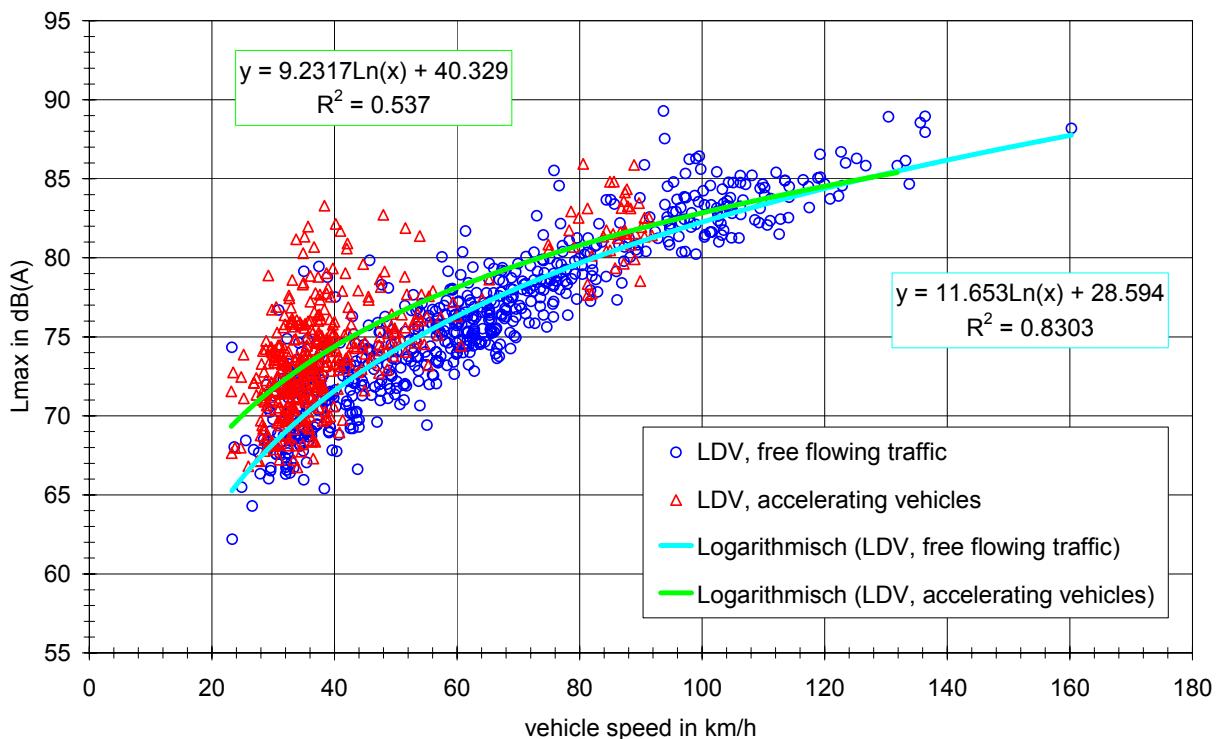


Bild 7: Lmax Werte für INfz gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

Die Resultate für schwere Nutzfahrzeuge wurden im Hinblick auf zwei Parameter, Nennleistung und Anzahl der Achsen, aufgeteilt. Schwere Nutzfahrzeuge sind kommerzielle Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3500 kg. Die gegenwärtige Geräuschrichtlinie hat separate Grenzwerte für die folgenden Nenndrehzahlklassen: unter 75 kW (77 dB(A)), zwischen 75 und 149 kW (78 dB(A)) und 150 kW oder darüber (80 dB(A)). Der Parameter

„Anzahl der Achsen“ wurde hinzugefügt, weil der Einfluss des Reifen-Fahrbahn-Geräusches anders ist.

Die Nenndrehzahlklasse unter 75 kW wird in Zukunft nicht mehr besetzt sein, weil der Trend zu höheren Nennleistungswerten. In der Messkampagne von 2001/2002 wurden nur 78 Fahrzeuge mit einer Nennleistung unter 75 kW gemessen.

Die Ergebnisse sind in Bild 8 dargestellt. Die Ergebnisse für frei fließenden Verkehr können mit einer linearen Funktion approximiert werden. Aus systematischen Gründen wurde diese Approximation auch für die Ergebnisse der beschleunigten Fahrzeuge angewandt, aber die Korrelation ist sehr schlecht wegen des kleinen Geschwindigkeitsbereiches und der großen Streuung der Geräuschwerte für eine gegebene Geschwindigkeit. Die Differenzen zwischen den Mittelwerten für beschleunigende Fahrzeuge und frei fließendem Verkehr am unteren Ende der Geschwindigkeitsverteilung sind die gleichen wie bei leichten Nutzfahrzeugen, aber die Minderung mit zunehmender Geschwindigkeit ist geringer als bei LNfz.

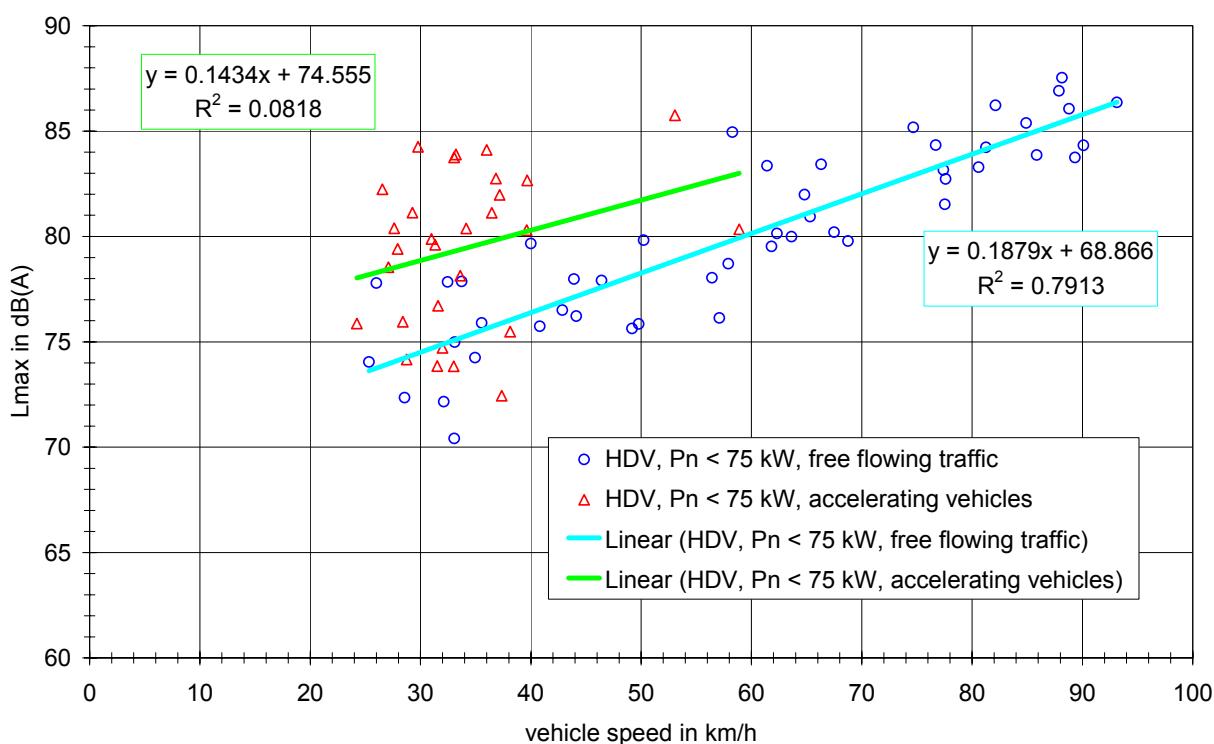


Bild 8: L_{max} Werte für sNfz mit Nennleistungen unter 75 kW gegen Fahrzeugschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

Bild 9 zeigt ähnliche Ergebnisse für schwere Nutzfahrzeuge mit Nennleistungen von 75 kW oder höher, aber unter 150 kW. Die Trends sind die gleichen wie bei SNfz unter 75 kW und sogar die Geräuschmittelwerte sind fast gleich. Die Klasse mit Nennleistungswerten von 150 kW oder mehr wurde in zwei Unterklassen aufgeteilt, Nennleistungswerte von 150 kW oder höher, aber unter 250 kW und 250 kW oder höher. Diese Aufteilung wurde im Hinblick auf den Vorschlag für neue Leistungsklassen, die die existierende Situation besser wiedergibt als die

gegenwärtige Geräuschrichtlinie, gemacht. Bild 10 zeigt die Ergebnisse für SNfz mit Nennleistungen von 150 kW oder mehr aber unter 250 kW. Bild 11 zeigt ähnliche Resultate für SNfz mit Nennleistungen von 250 kW und höher. Die Ergebnisse für beide Klassen zeigen die gleichen Trends wie schon vorher beschrieben, aber die Geräuschpegel sind höher.

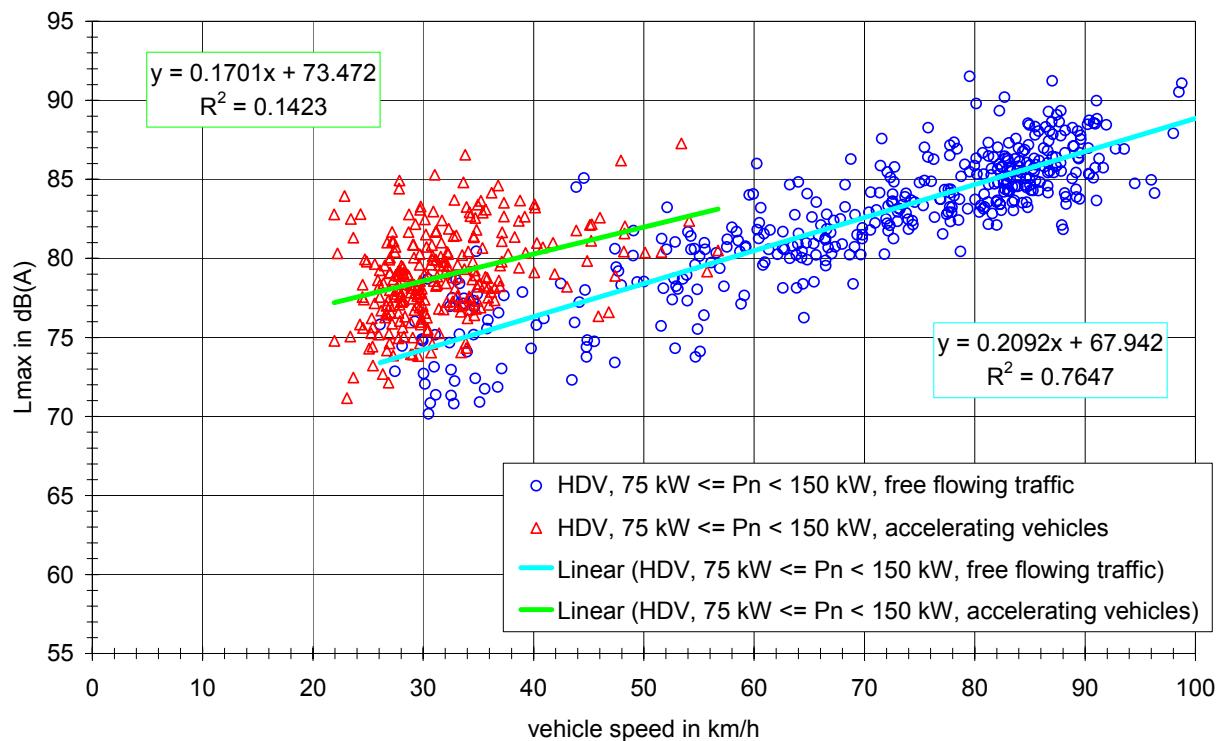


Bild 9: **L_{max} Werte für sNfz mit Nennleistungen von 75 kW oder mehr, jedoch unter 150 kW gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splitt-mastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.**

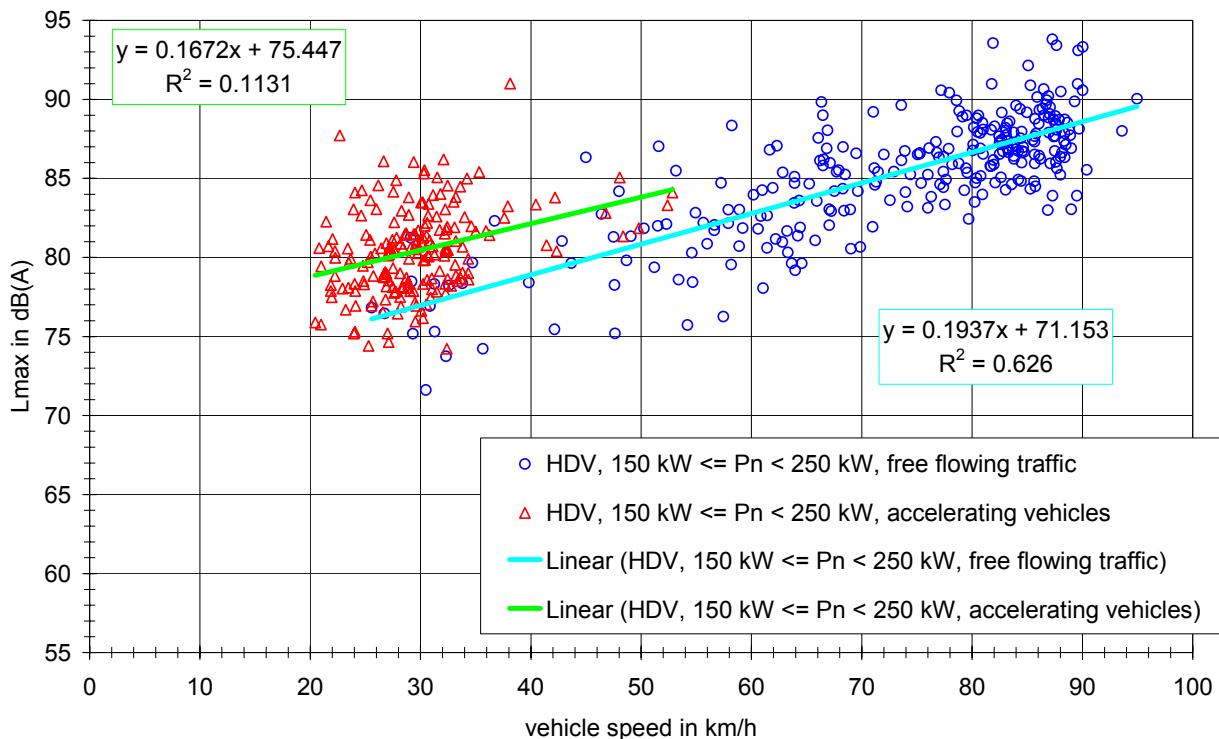


Bild 10: L_{max} Werte für sNfz mit Nennleistungen von 150 kW oder mehr, jedoch unter 250 kW gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

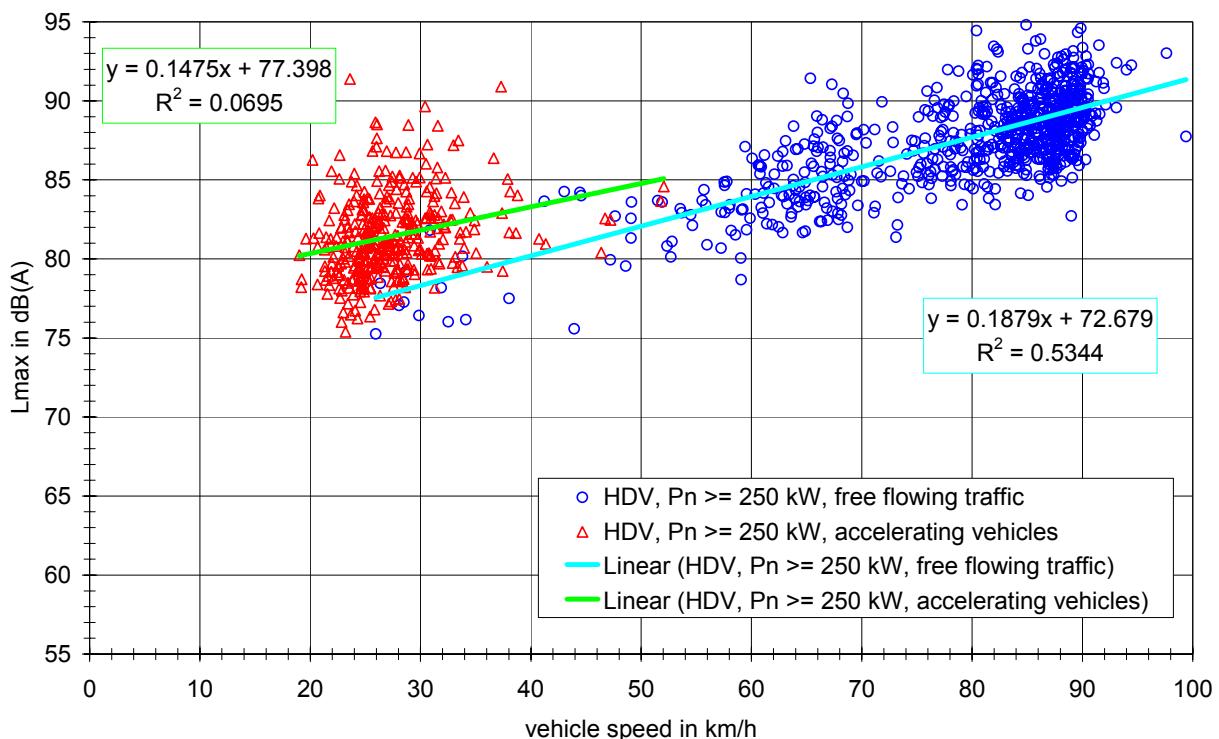


Bild 11: L_{max} Werte für sNfz mit Nennleistungen von 250 kW oder mehr gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

Die Ergebnisse für den zweiten Parameter (Anzahl der Achsen) sind in Bild 12 (SNfz bis zu 3 Achsen) und Bild 13 (SNfz mit mehr als 3 Achsen) dargestellt.

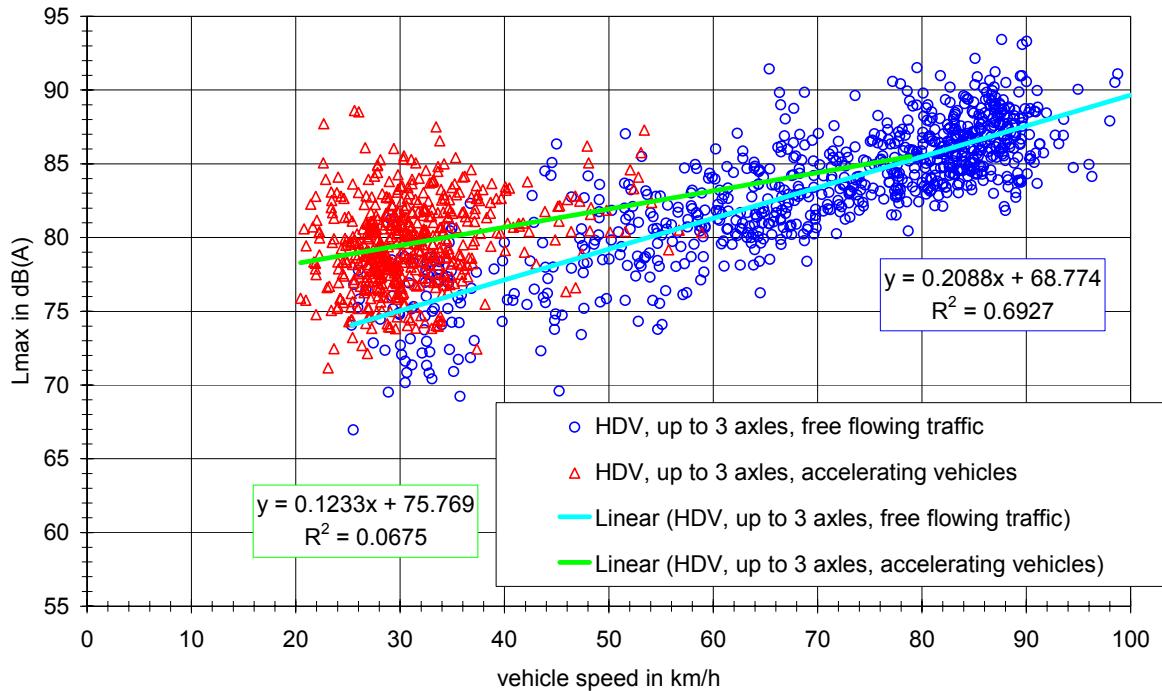


Bild 12: Lmax Werte für sNfz mit bis zu 3 Achsen gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

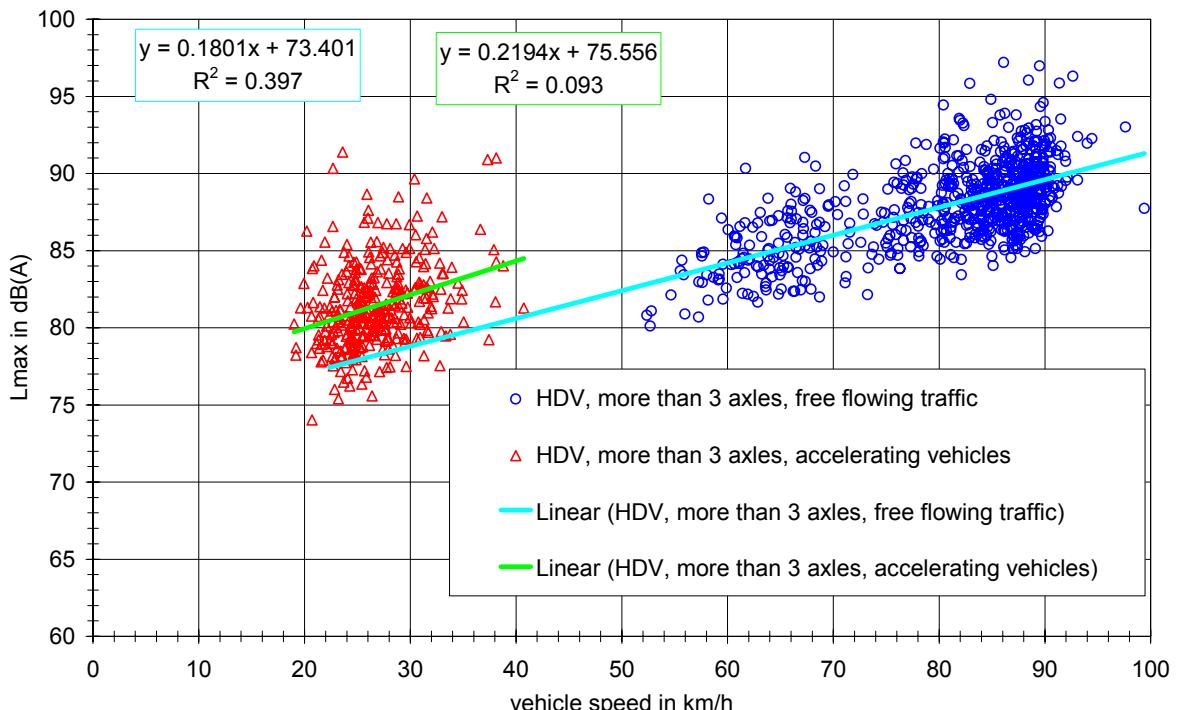


Bild 13: Lmax Werte für sNfz mit mehr als 3 Achsen gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

Die Messkampagne 2001/2002 brachte nur eine sehr kleine Auswahl an Linienbussen. Die Ergebnisse sind in Bild 14 gezeigt. Der Hauptanteil der Ergebnisse ist um 30 km/h herum konzentriert. Dadurch ist die Messungenauigkeit des Geschwindigkeitstrends signifikant höher als für die anderen kommerziellen Fahrzeuge. Die mittlere Differenz zwischen beschleunigenden Fahrzeugen und frei fließendem Verkehr um 30 km/h ist 2,7 dB(A).

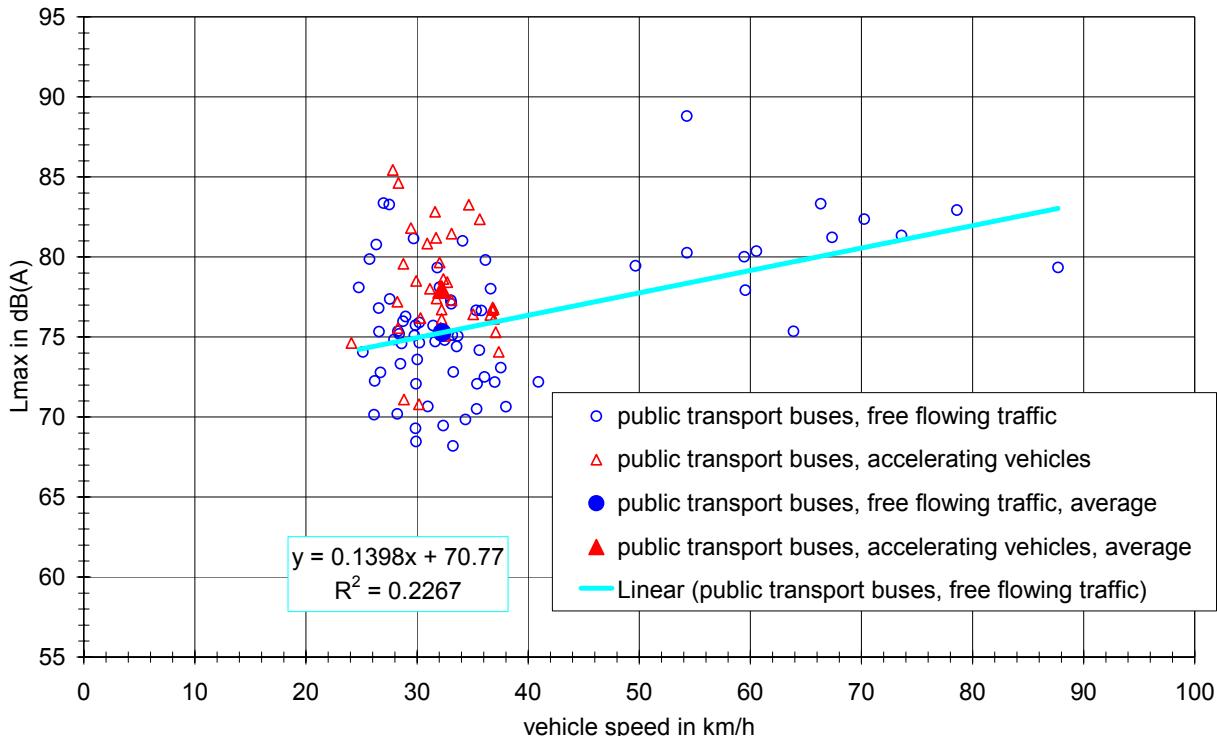


Bild 14: L_{max} Werte für Linienbusse gegen Fahrzeuggeschwindigkeit auf Asphaltbeton 0/11 oder Splittmastix 0/11 für frei fließenden Verkehr und für beschleunigende Fahrzeuge.

Die Ergebnisse für Motorräder und Mopeds sind in Bild 15 zusammengefasst. Sie konnten nicht in beschleunigende Fahrzeuge und frei fließenden Verkehr aufgeteilt werden. Der Hauptteil ist sehr wahrscheinlich frei fließender Verkehr, da Motorräder sehr sensibel auf Geräuschmessungen reagieren.

Die Regressionskurven der Ergebnisse der Fahrzeugkategorien und frei fließenden Verkehr sind in Bild 16 gezeigt, die korrespondierenden Kurven für beschleunigende Fahrzeuge in Bild 17. Pkw haben die niedrigsten Lärmemissionen, gefolgt von INfz. Für frei fließenden Verkehr haben INfz um 3 dB höhere Lärmemissionswerte bei 20 km/h. Die Differenz nimmt mit steigender Geschwindigkeit ab und ist bei 130 km/h nicht mehr vorhanden. Nächster in der Rangfolge sind Motorräder. Zwischen 60 km/h und 100 km/h sind ihre mittleren Emissionen annähernd die gleichen wie von INfz. Da aber die Regression linear ist, sind ihre Emissionswerte bei niedrigeren und höheren Geschwindigkeiten als dem erwähnten Bereich, höher. Bei 30 km/h ist der mittlere Emissionspegel für Motorräder etwa 6 dB höher als für Pkw.

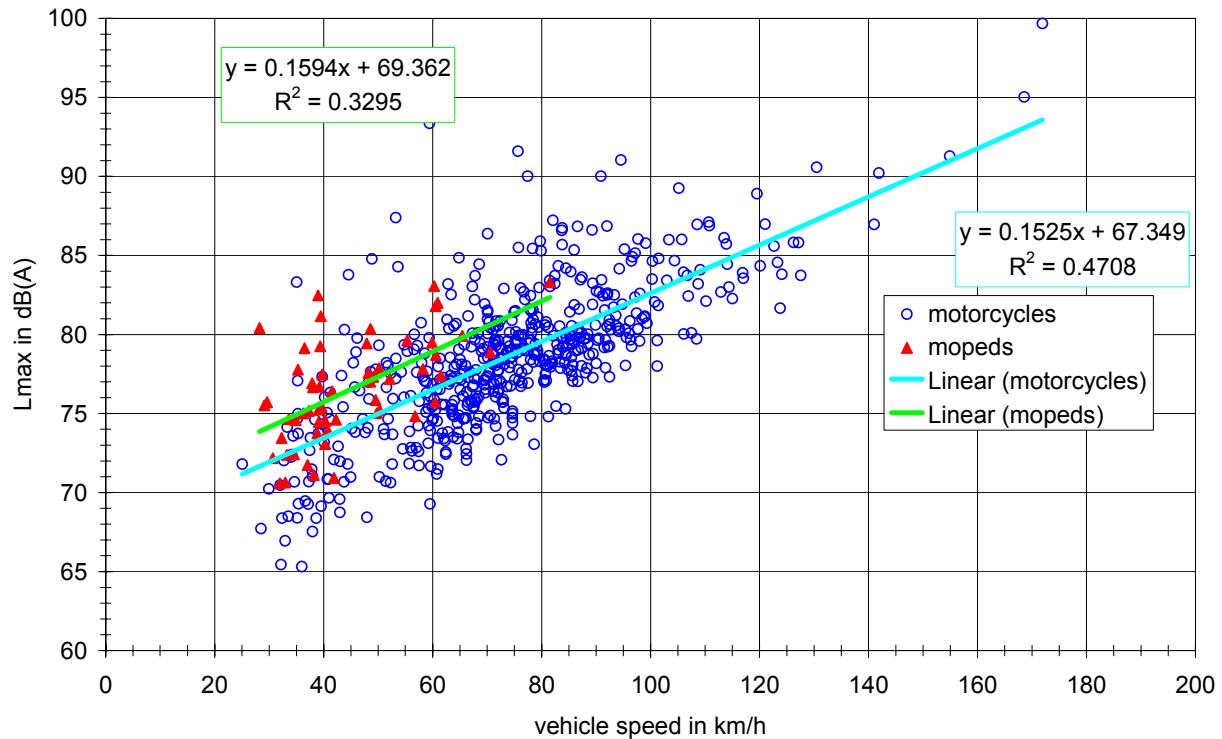


Bild 15: Lmax Werte für Motorräder gegen Fahrzeuggeschwindigkeit.

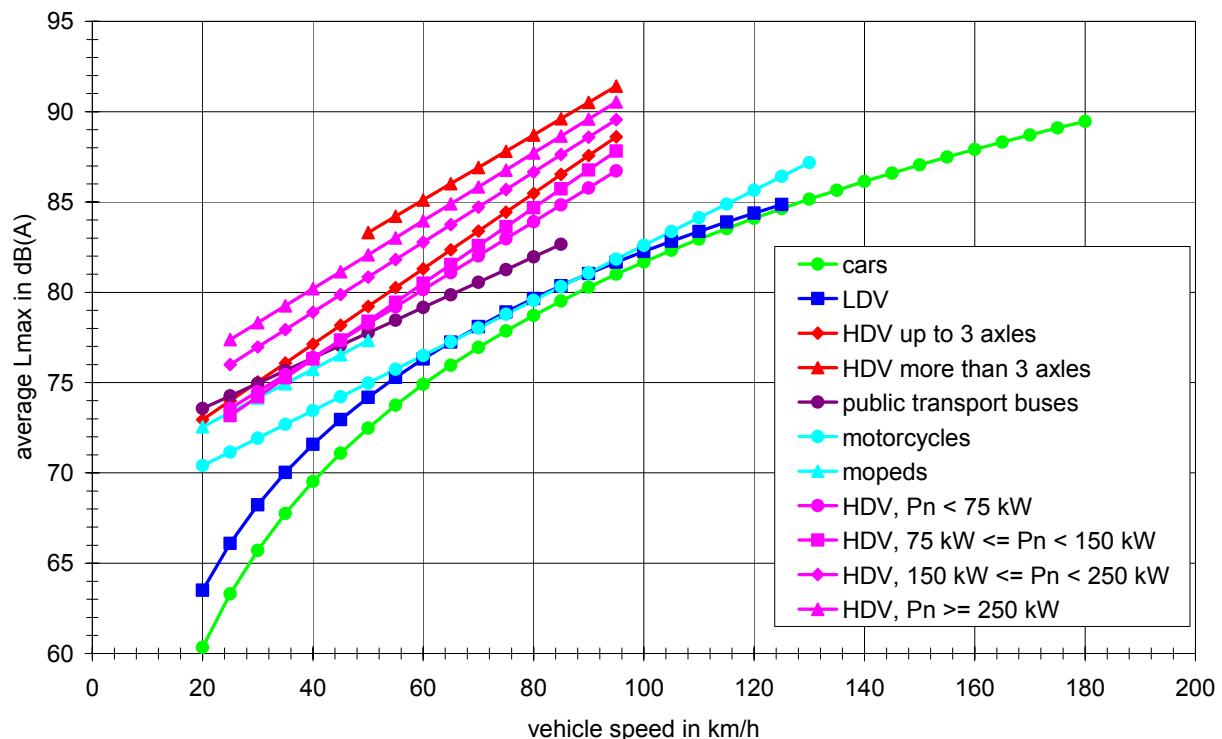


Bild 16: mittlere Lmax Werte für Verschiedene Fahrzeugkategorien und frei fließen-den Verkehr

Mopeds haben einen etwas mehr als 2 dB höhere Emissionspegel als Motorräder. Ihre Emission ist ähnlich wie für Busse und kleine sNfz. Wie bereits erwähnt, sind die Emissionspegel für sNfz unter 75 kW Nennleistung und sNfz von 75 kW oder mehr aber unter 150 kW fast gleich. Dies gilt auch für beschleunigende Fahrzeuge (Bild 17), so dass man annehmen kann, dass beide Klassen zusammengefasst werden können. Die Emissionspegel der Linienbusse sind ebenso fast gleich mit denen der kleinen sNfz, obwohl ihre Nennleistungswerte 150 kW oder sogar höher betragen.

Die beiden höchsten Nennleistungsklassen der sNfz zeigen signifikant höhere Emissionspegel. Die Differenz zwischen beiden beträgt weniger als 2 dB, aber es gibt andere Gründe für die Abspaltung, die später erläutert werden. Der Vergleich der Lärmpegel für die höchsten Nennleistungsklassen der sNfz und sNfz mit mehr als 3 Achsen führen zu dem Schluss, dass die gesamte Lärmemission von den Reifen beeinflusst wird, zumindest für frei fließenden Verkehr und sogar bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h.

Der mittlere L_{max} Wert kann nicht direkt für Planungen und Vorhersagen genutzt werden, weil man die Beiträge zum L_{eq} braucht. Diese Beiträge sind in Bild 18 und Bild 19 auf einer Stundenbasis für ein Fahrzeug jeder Kategorie und eines Referenzabstandes von 25 m dargestellt. Die Werte wurden mit folgender Formel berechnet:

$$L_m(1h) = L_{max} - 10 \cdot \log\left(\frac{v}{\text{km/h}}\right) - 23,3 \quad \text{in dB(A)}$$

Mit: $L_m(1h)$ stündlicher Beitrag zum L_{eq} in 25 m Abstand,

L_{max} mittlerer Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Abstand

v Fahrzeuggeschwindigkeit

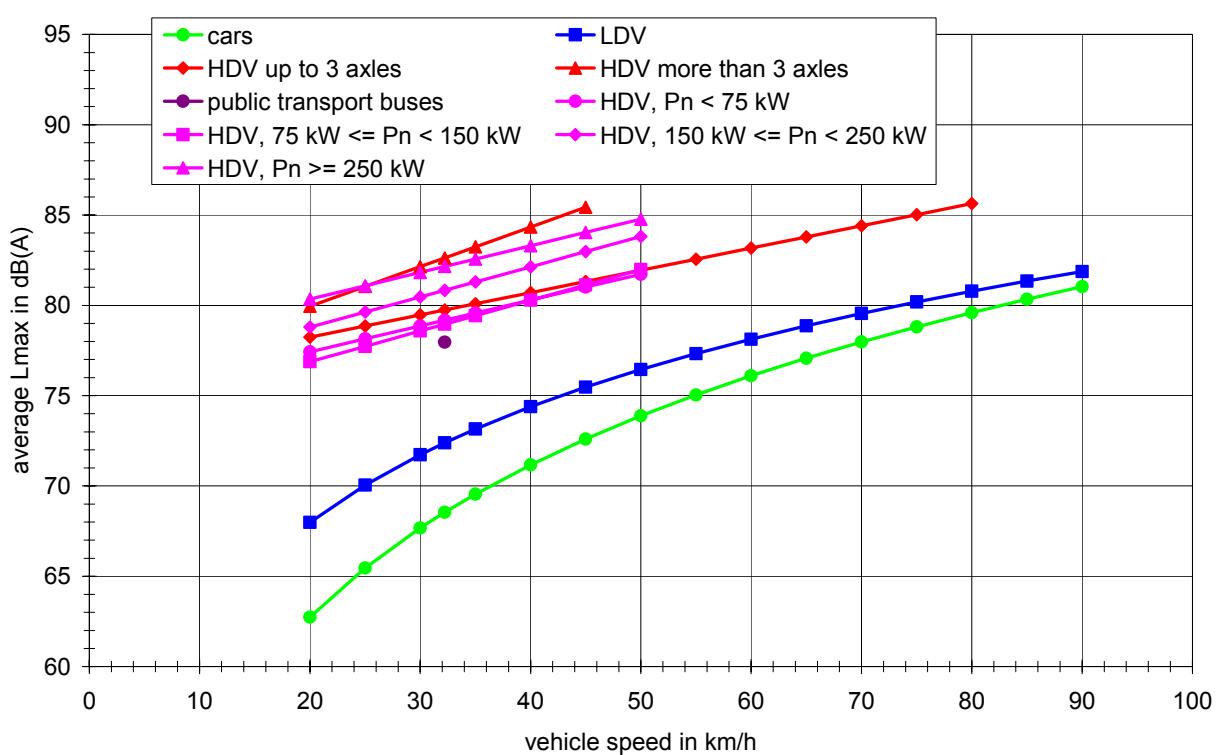


Bild 17: Mittlere L_{max} Werte für verschiedene Fahrzeugkategorien und beschleunigende Fahrzeuge

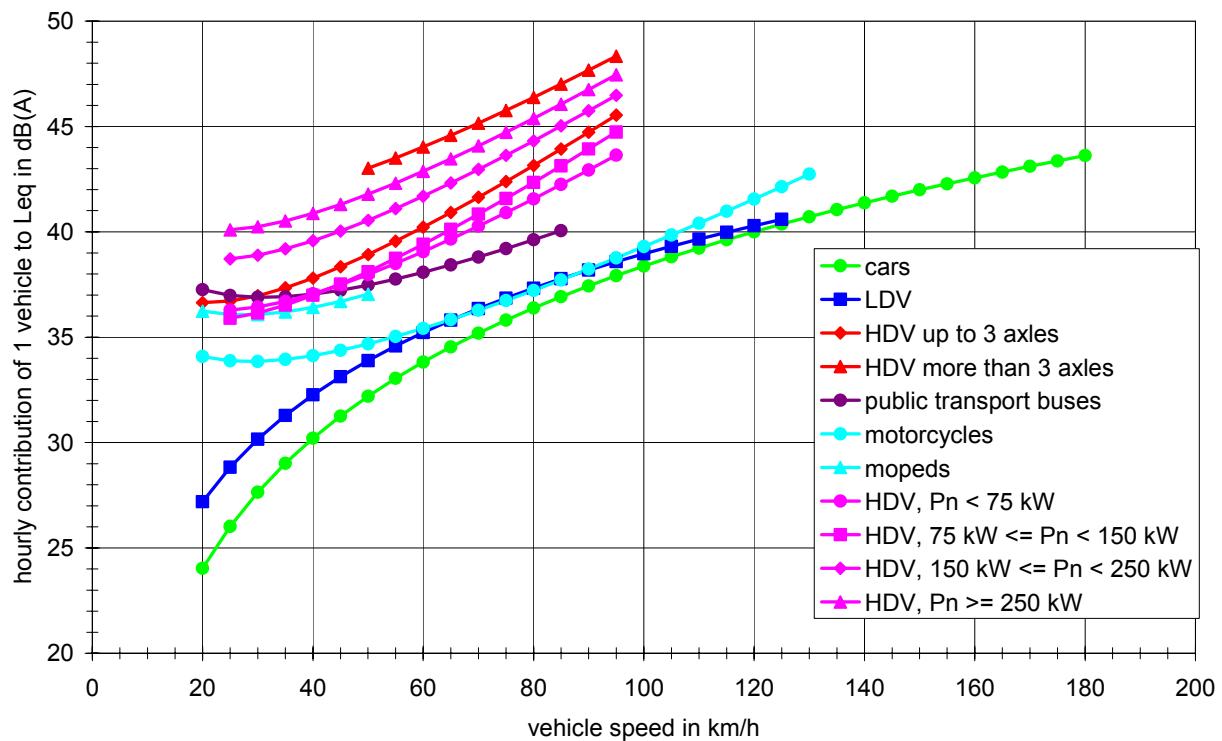


Bild 18: Mittlerer stündlicher Beitrag eines Fahrzeugs zum L_{eq} für verschiedene Fahrzeugkategorien und frei fließenden Verkehr

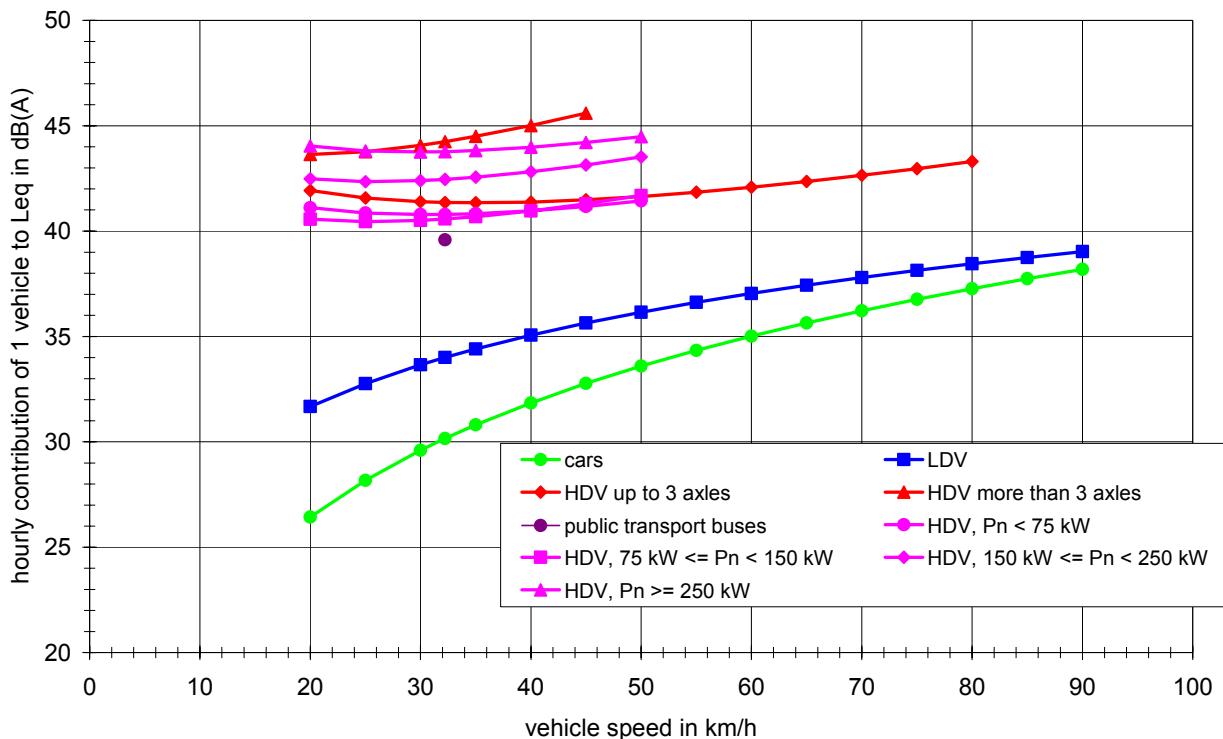


Bild 19: Mittlerer stündlicher Beitrag eines Fahrzeugs zum L_{eq} für verschiedene Fahrzeugkategorien und Beschleunigungsvorgänge

3.2 Detaillierte Analyse der Fahrzeugkategorien

Die detaillierte Analyse der Fahrzeugkategorien beinhaltet keine Busse und Mopeds, weil deren Stichprobe zu klein war.

3.2.1 Pkw

3.2.1.1 Einfluss der technischen Parameter

Für eine weitere Analyse wurde die Pkw Stichprobe aufgespalten in:

- ① Fahrzeuge mit Ottomotor,
- ② Dieselfahrzeuge mit Vorkammermotoren,
- ③ Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung.

Im folgenden werden Vorkammerdieselfahrzeuge nur Dieselfahrzeuge genannt. Das Geräuschlimit für Fahrzeuge welche nach 1995 zugelassen wurden ist 74 dB(A) für Fahrzeuge mit Benzinmotor und 75 dB(A) für Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung. Für diese Gruppen wurde der maximale Vorbeifahrtpegel (L_{max}) gegen die Nennleistung, Leistungsgewicht

und Hubraum aufgetragen, für Beschleunigungsvorgänge und frei fließenden Verkehr entsprechend ebenso. Das Leistungsgewicht ist das Verhältnis von Nennleistung und Leerge wicht + 75 kg. Es wurden nur Fahrzeuge berücksichtigt, die nach 1995 zugelassen wurden.

Die Ergebnisse sind in Bild 20 bis Bild 22 für beschleunigende Fahrzeuge mit Geschwindigkeiten zwischen 32,5 km/h und 42,5 km/h dargestellt und in Bild 23 bis Bild 25 für Fahrzeuge im frei fließenden Verkehr mit Geschwindigkeiten zwischen 60 und 70 km/h. Diese Geschwindigkeitsbereiche wurden gewählt, weil sie die größte Anzahl an Fahrzeugen enthielten.

Für beide Situationen (beschleunigender und frei fließender Verkehr) gibt es einen Trend zu ansteigenden Geräuschpegeln mit dem Zuwachs an technischen Parametern, aber die Geräuschpegelvariationen aufgrund von anderen Einflüssen (wie die individuelle Verkehrssituation oder individuelles Fahrverhalten) sind bei weitem dominierend. Der Hubraum zeigt den größten Einfluss von allen technischen Parametern, gefolgt von der Nennleistung.

Bei Beschleunigungsphasen haben Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung 1 bis 2 dB(A) höhere Geräuschpegel als Fahrzeuge mit Benzinmotor. Aber die Fahrzeuge mit Dieselmotoren haben noch höhere Lmax Pegel als Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung. Diese Ergebnis ist im ersten Moment erstaunlich, weil der 1 dB höhere Grenzwert für Dieseldirekteinspritzer mit dem Argument begründet wurde, dass deren Geräuschemission höher ist als die von herkömmlichen Dieselfahrzeugen. Die oben erwähnten Ergebnisse für beschleunigende Fahrzeuge zeigen dass es andersherum ist. Diese Minderung kann mit der Altersverteilung der beiden Stichproben erklärt werden. Die Stichprobe mit Dieselfahrzeugen ist viel älter als die Stichprobe mit den Dieseldirekteinspritzern und die Fahrzeuge mit heutiger Technologie sind leiser als die Direkteinspritzer der ersten Generation (siehe Bild 31).

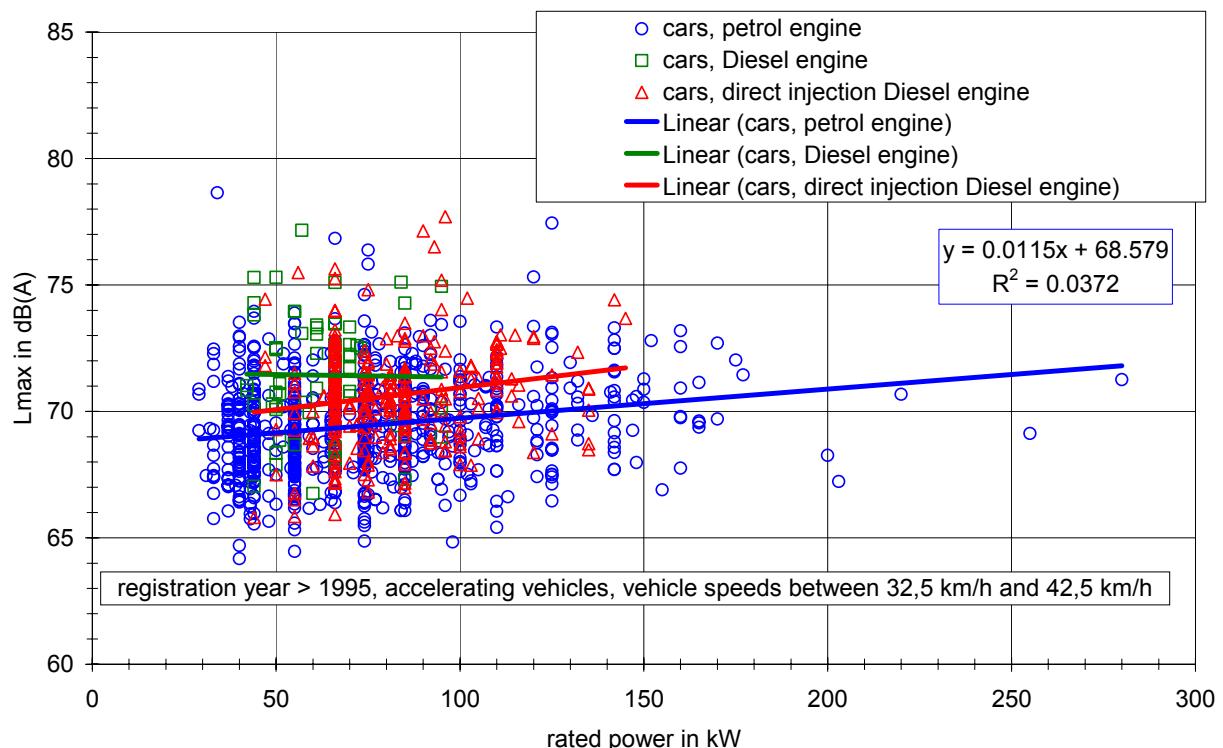


Bild 20: Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw gegen Nennleistung

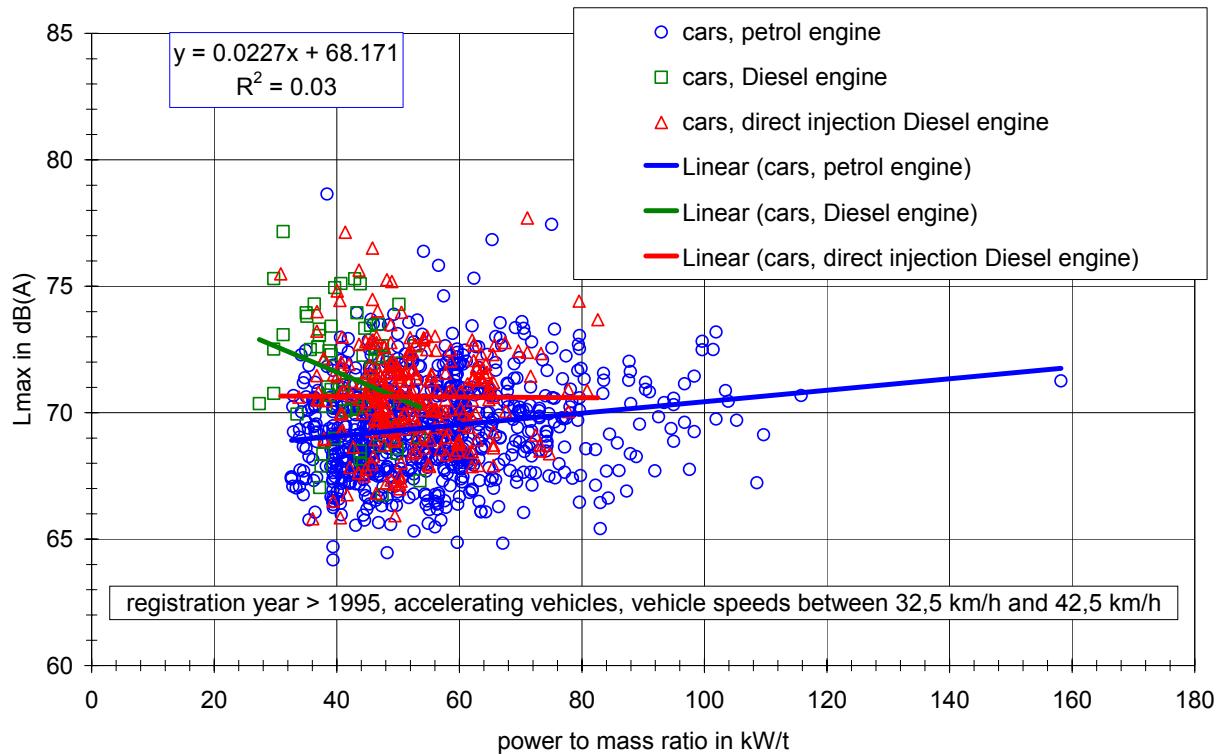


Bild 21: Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw gegen das Leistungsgewicht (power to mass ratio)

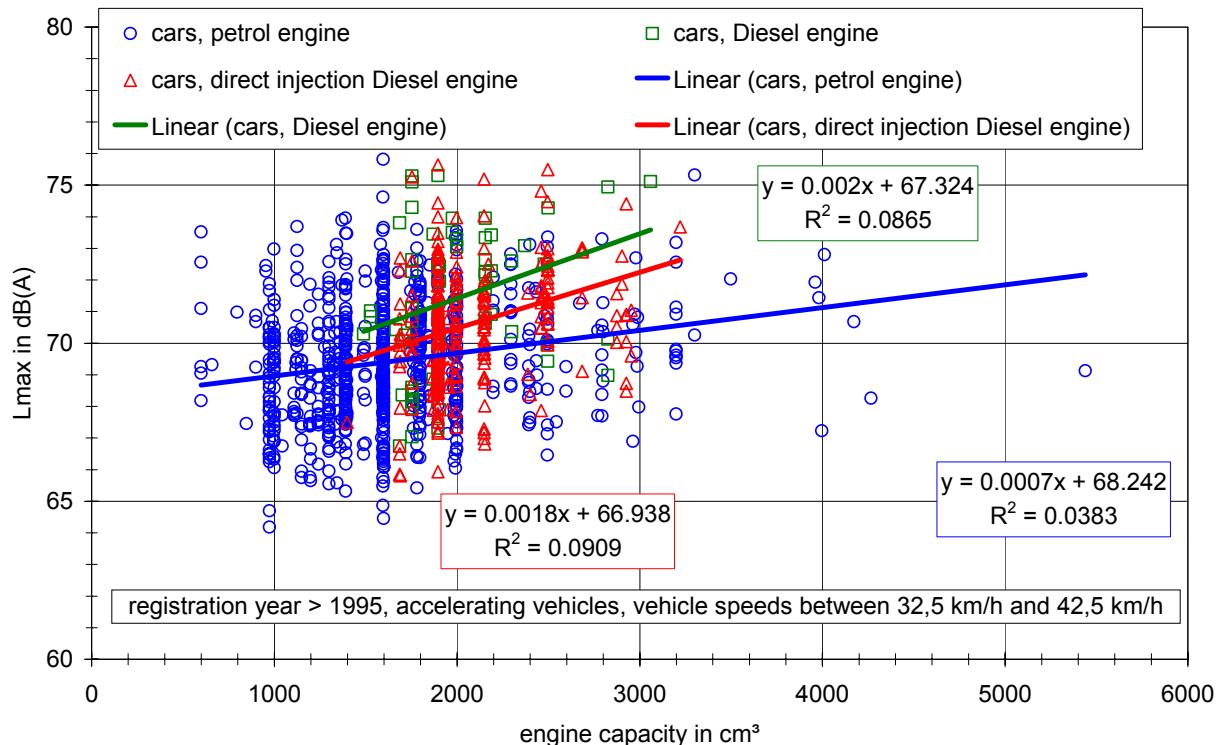


Bild 22: Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw gegen Hubraum

Für frei fließenden Verkehr gibt es keine signifikante Differenz in den Geräuschemissionen der verschiedenen Fahrzeugkategorien. Das kann damit erklärt werden, dass das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bei dieser Betriebsart dominanter ist.

Bild 26 und Bild 27 zeigen die Pegel für die verschiedenen Motorkategorien gegen Fahrzeuggeschwindigkeit für Beschleunigungsphasen und frei fließenden Verkehr. Diese Darstellungen bestätigen die oben gemachten Aussagen.

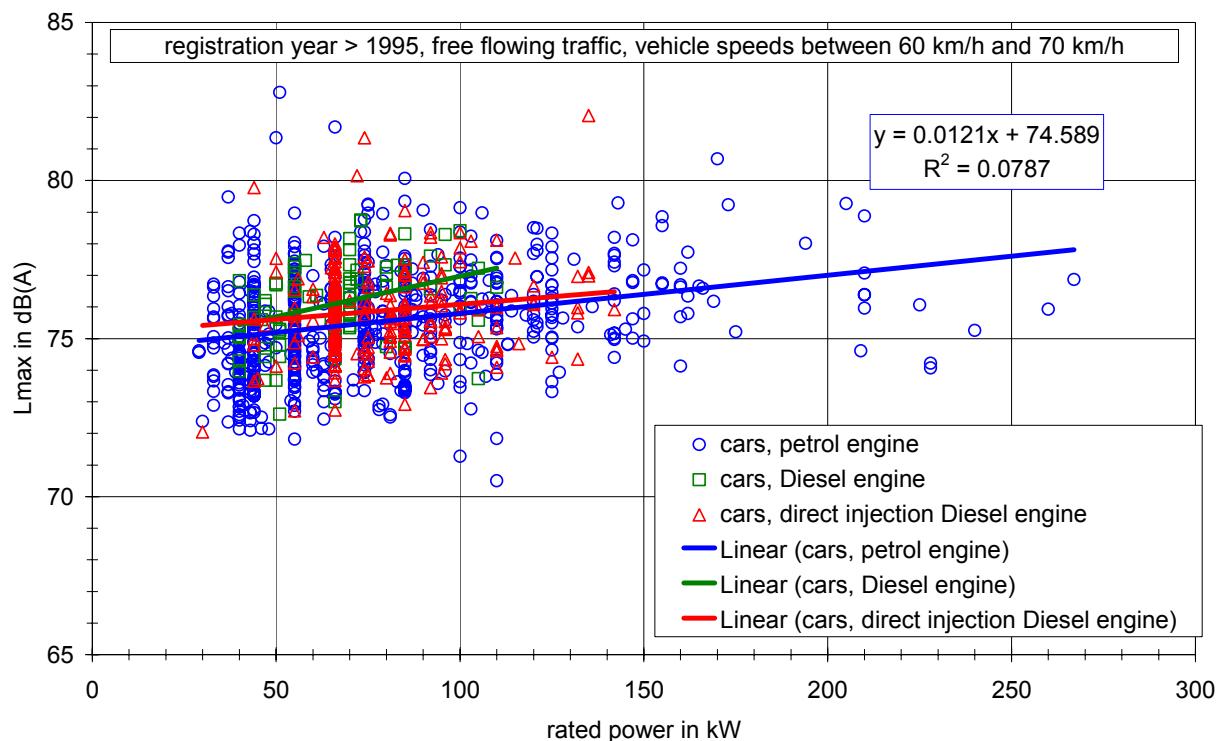


Bild 23: Vorbeifahrtpegel von Pkw in frei fließendem Verkehr gegen Nennleistung

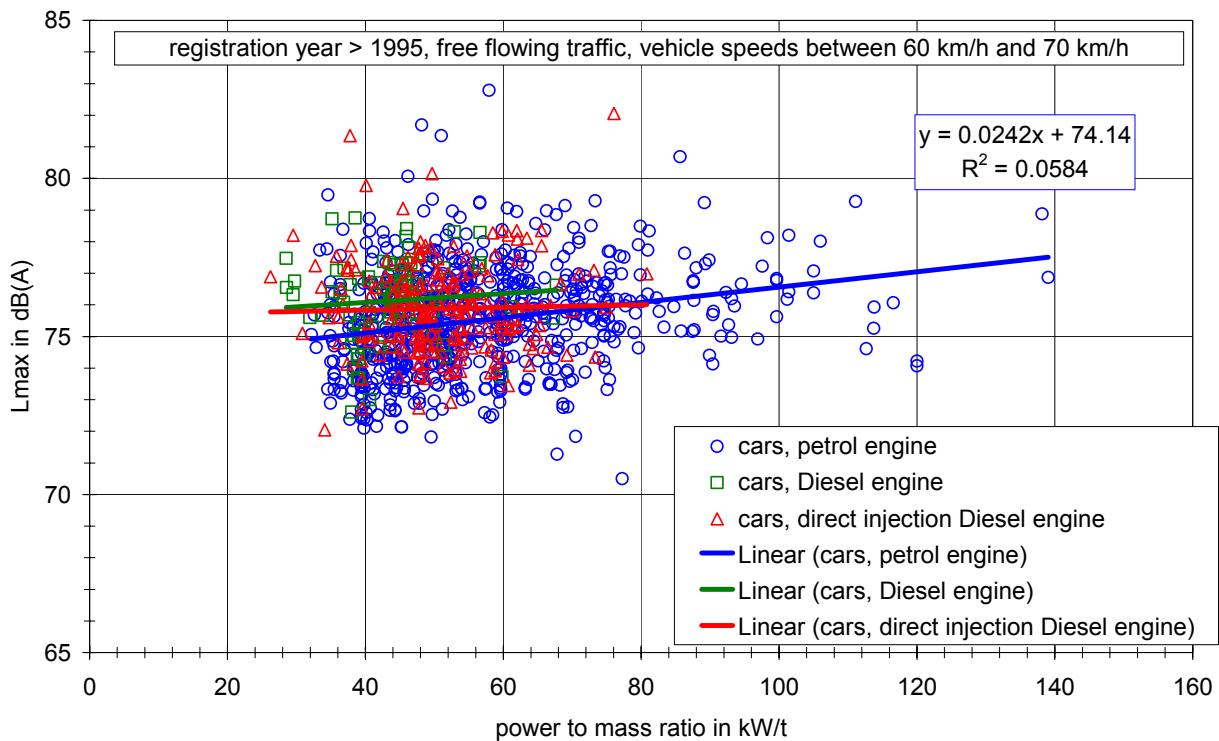


Bild 24: Vorbeifahrtpegel von Pkw in frei fließendem Verkehr gegen Leistungsgewicht (power to mass ratio)

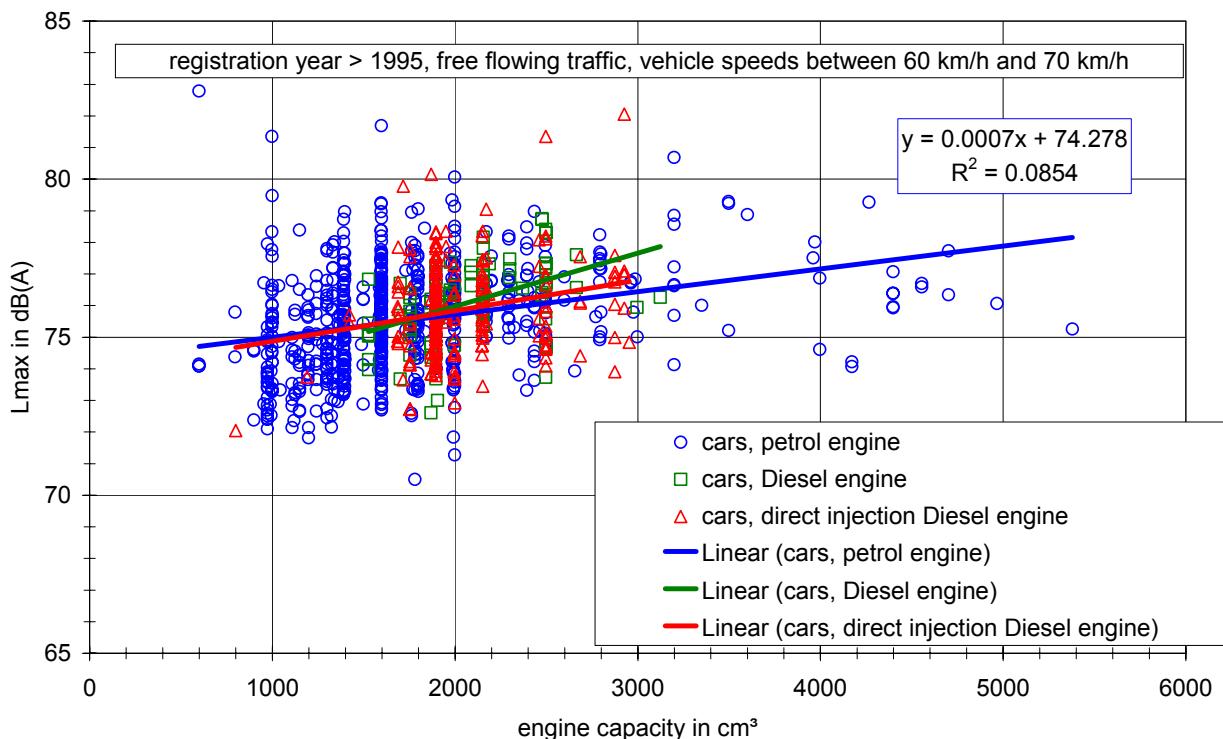


Bild 25: Vorbeifahrtpegel von Pkw in frei fließendem Verkehr gegen Hubraum

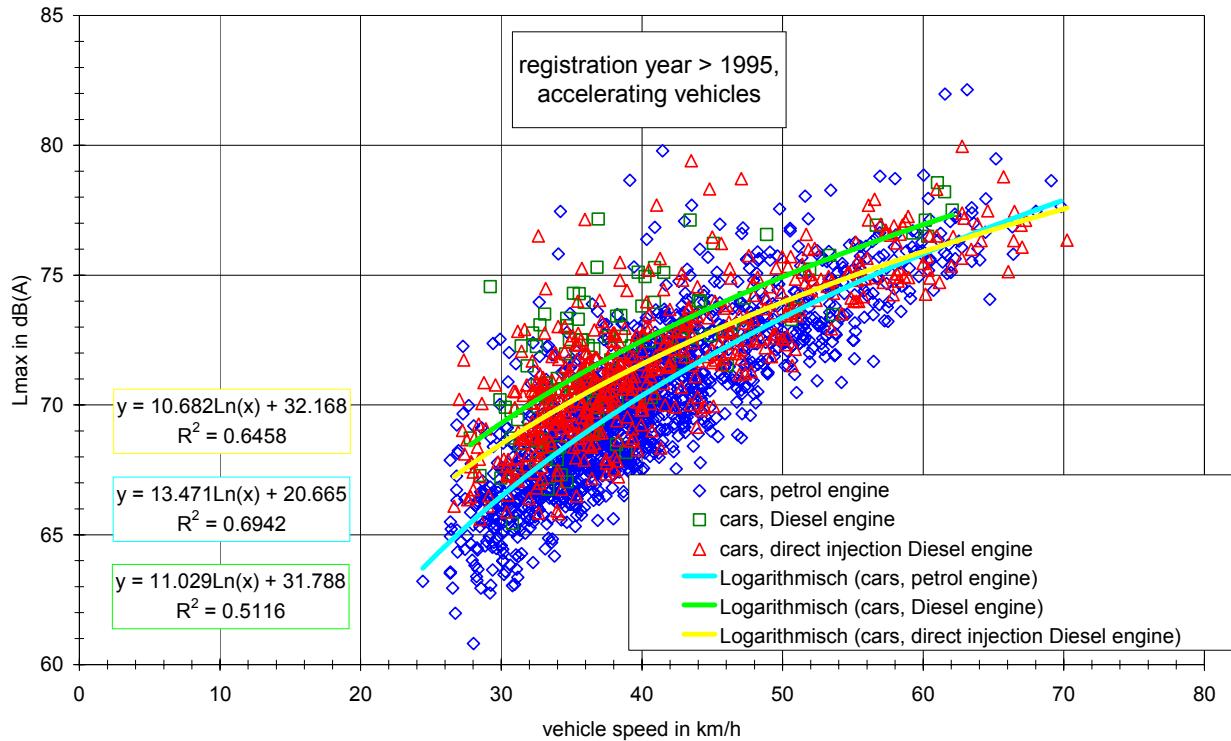


Bild 26: Vorbeifahrtpegel von beschleunigenden Pkw gegen Fahrzeuggeschwindigkeit

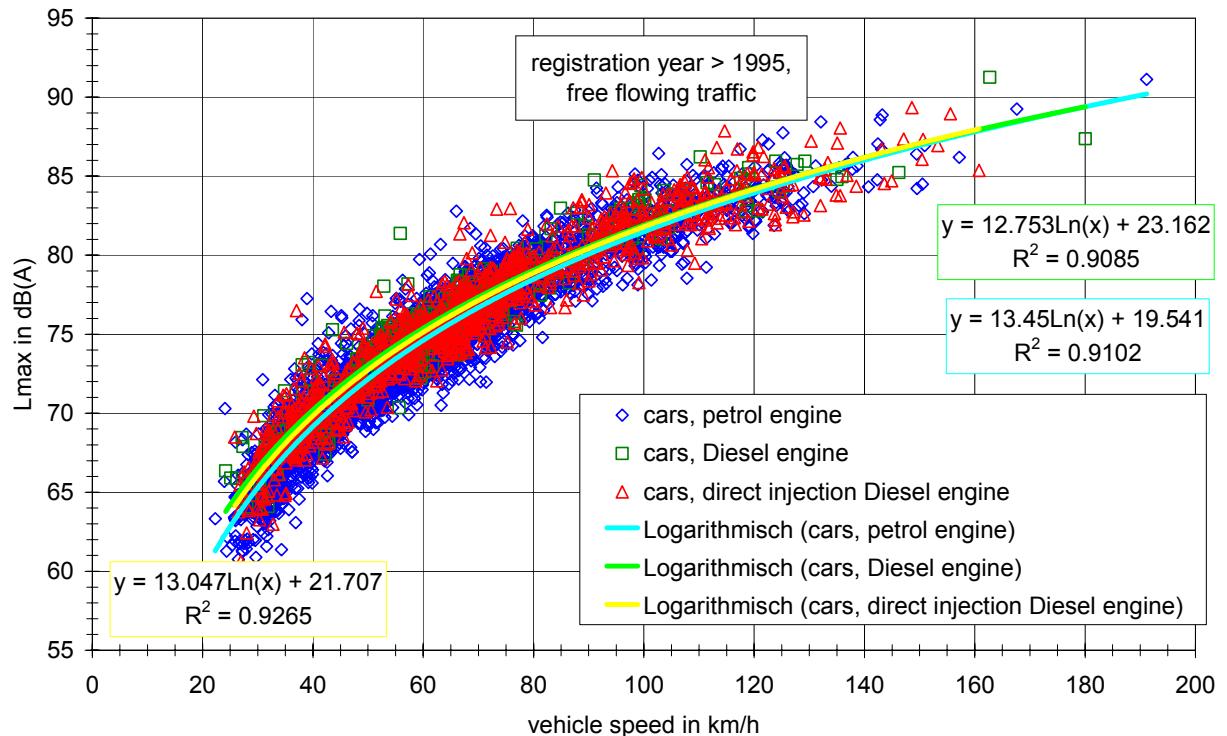


Bild 27: Vorbeifahrtpegel von Pkw im frei fließenden Verkehr gegen Fahrzeuggeschwindigkeit

In einem zusätzlichen Schritt wurde die Stichprobe mit Dieselfahrzeugen in folgende Untergruppen aufgespalten:

- Pkw mit herkömmlichen Dieselmotoren,
- Pkw mit direkteinspritzenden Dieselmotoren,
- Leichte Nutzfahrzeuge mit Homologation.

Das letztgenannte wurde von der Pkw Stichprobe durch separieren der Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 2500 kg und einer Nennleistung von bis zu 73 kW abgeleitet. Diese Untergruppe könnte ebenso gut Offroadfahrzeuge beinhalten, wird aber dominiert von leichten Nutzfahrzeugen. Der Lmax Pegel über der Geschwindigkeit wird in Bild 28 für beschleunigenden und in Bild 29 für frei fließenden Verkehr dargestellt. Für beschleunigende Fahrzeuge mit Pkw Zulassung ist die Regressionskurve signifikant höher als die Regressionskurven für die anderen Untergruppen. Der mittlere Emissionspegel für INfz mit Pkw Zulassung ist nahezu der Gleiche wie für INfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 2000 kg (siehe Tabelle 16). Für frei fließenden Verkehr ist die Regressionskurve für INfz mit Pkw Zulassung nur etwas höher als die Regressionskurven der beiden anderen Untergruppen.

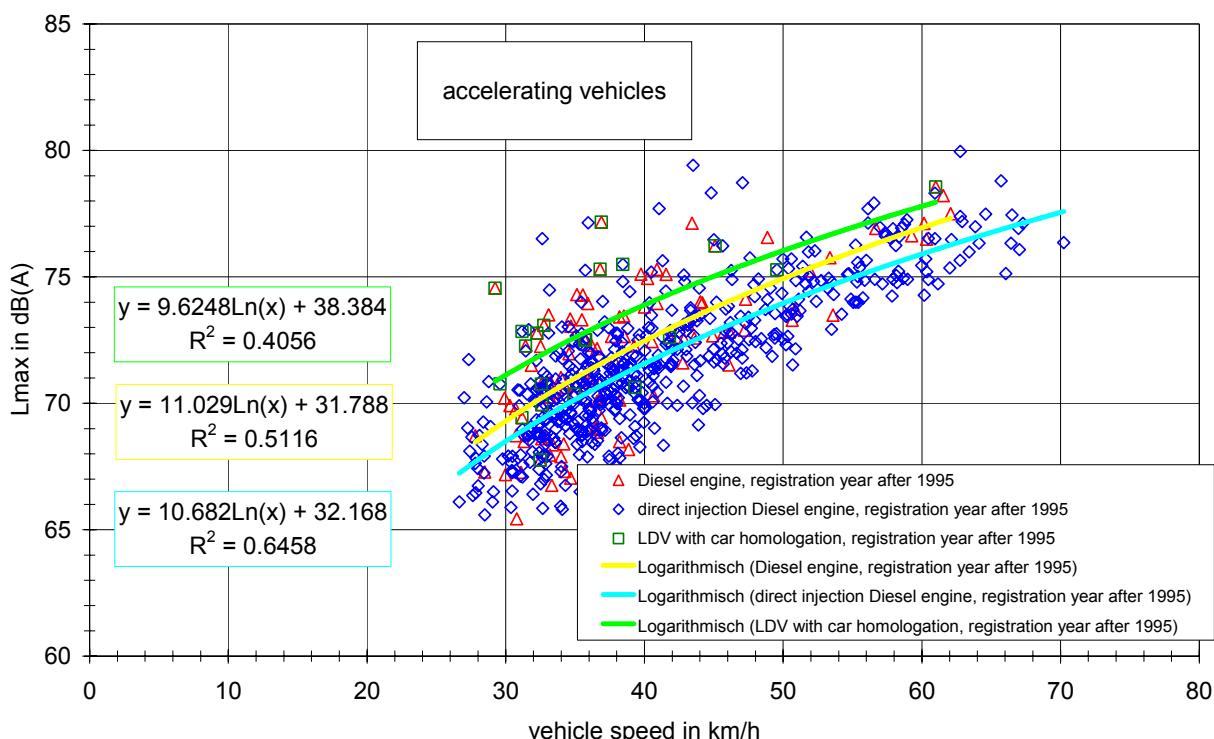


Bild 28: Vorbeifahrtpegel von beschleunigenden INfz mit Dieselantrieb und Pkw Zulassung gegen Fahrzeuggeschwindigkeit

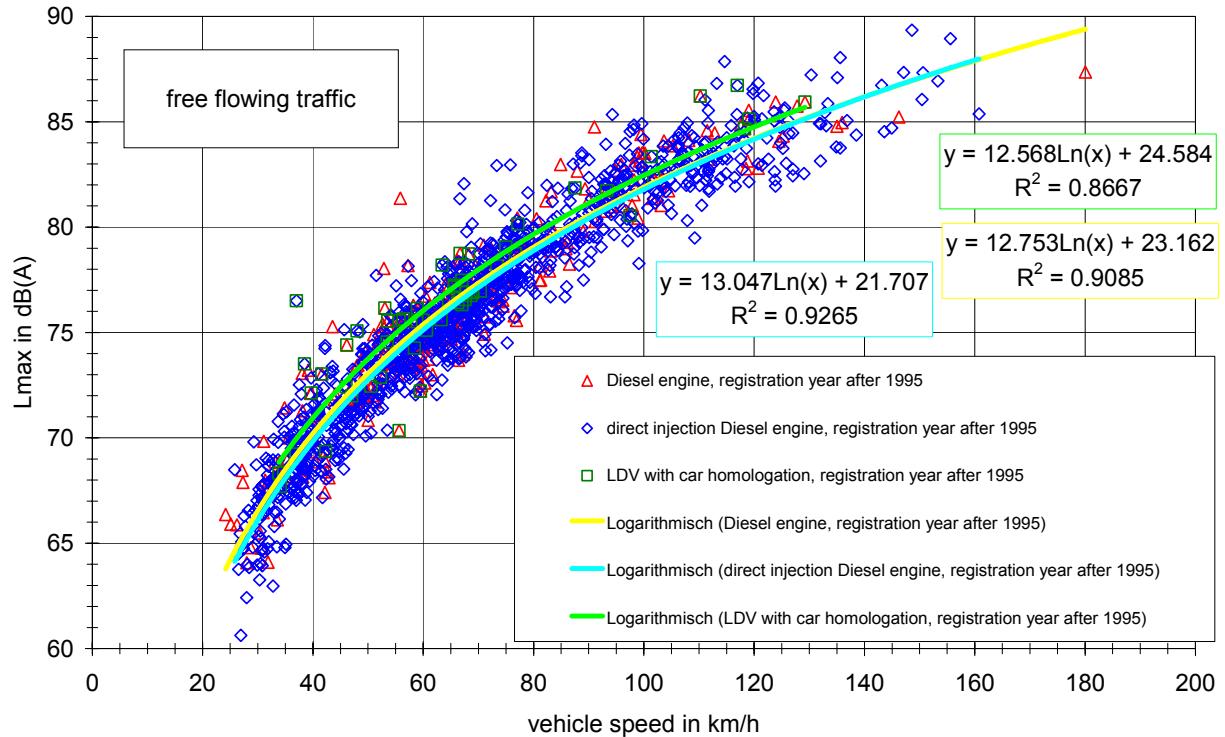


Bild 29: Vorbeifahrtpegel von INfz im frei fließenden Verkehr mit Dieselantrieb und Pkw Zulassung gegen Fahrzeuggeschwindigkeit

3.2.1.2 Einfluss der verschiedenen Emissionsstufen

In einem anderen Schritt wurde die Pkw Stichprobe nach Erstzulassungsjahren in verschiedene Klassen eingeteilt. Die Grenzlinien wurden in Relation zu Grenzwertänderungen gezo- gen. Als Konsequenz daraus wurden folgende Klassen gebildet:

- ⊖ Benziner, Erstzulassungsjahr vor 1982, Grenzwert 82 dB(A),
- ⊖ Benziner, Erstzulassungsjahr zwischen 1982 und 1988, Grenzwert 80 dB(A)
- ⊖ Benziner, Erstzulassungsjahr zwischen 1989 und 1995, Grenzwert 77 dB(A)
- ⊖ Benziner, Erstzulassungsjahr nach 1995, Grenzwert 74 dB(A)
- ⊖ Diesel, Erstzulassungsjahr vor 1982, Grenzwert 82 dB(A)
- ⊖ Diesel, Erstzulassungsjahr zwischen 1982 und 1989, Grenzwert 80 dB(A)
- ⊖ Diesel, Erstzulassungsjahr zwischen 1990 und 1995, Grenzwert 77 dB(A)
- ⊖ Diesel, Erstzulassungsjahr nach 1995, Grenzwert 74 dB(A)

Es wurden nur wenige Fahrzeuge mit einem Erstzulassungsjahr vor 1982 gemessen, so dass diese nicht berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse der anderen Gruppen sind in Bild 30 für beschleunigende Fahrzeuge mit Benzinmotoren gezeigt. Die Regressionskurven dieser Gruppen folgen dem Trend der Grenzwerte, zumindest am unteren Ende der Motordrehzahlverteilung. Bei 30 km/h kann eine durchschnittliche Minderung des Vorbeifahrtpegels um 2 dB(A) gefunden werden, bei einer Geräuschgrenzwertsenkung von 6 dB(A). Dieser schwa-

che Effekt auf die realen Geräuschemissionen kann teilweise mit kompensatorischen Effekten der veränderten Typprüfmessungen erklärt werden und teilweise durch die Tatsache, dass der Beitrag des Reifen-Fahrbahn-Geräusches nicht hinreichend im Typprüfverfahren berücksichtigt wird.

Die Ergebnisse für heutige Dieselfahrzeuge mit Direkteinspritzung werden zum Vergleich dargestellt. Ihre mittlere Geräuschemission bei 30 km/h ist um 2dB höher als die von modernen Benzinfahrzeugen und dasselbe gilt für Fahrzeuge mit Benzinmotoren aus den Erstzulassungsjahren zwischen 1982 und 1988. Aber die Differenz zwischen den Geräuschemissionen heutiger Fahrzeuge mit Benzin- und Dieseldirekteinspritzung geht gegen Null mit ansteigender Geschwindigkeit.

Bild 31 zeigt die Ergebnisse für beschleunigende Fahrzeuge aus den verschiedenen Zulassungsjahren und verschiedene Dieselmotortypen. Für Dieselfahrzeuge mit herkömmlicher Technik und Zulassungsjahren nach 1995 wird hier kein Diagramm gezeigt, da diese Technik mittlerweile vom Markt verschwunden ist und die Stichprobe daher zu klein ist. Im Vergleich zu Fahrzeugen mit herkömmlicher Dieseltechnologie und Erstzulassungsjahren zwischen 1982 und 1989 haben die heutigen Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung bei 30 km/h einen um 2 dB niedrigeren Geräuschpegel. Der Vergleich der Regressionskurven von Fahrzeugen mit Dieseldirekteinspritzung, zugelassen zwischen 1990 und 1995 und nach 1995 bei 30 km/h, zeigt deutlich, dass das Antriebsgeräusch für Fahrzeuge mit dieser Technologie in der Zwischenzeit reduziert wurde.

Korrespondierende Resultate für fei fließenden Verkehr werden in Bild 32 und Bild 33 gezeigt. Es gibt keine signifikanten Unterschiede in den Regressionskurven der verschiedenen Zulassungsjahrklassen für Fahrzeuge mit Benzinmotoren und es gibt lediglich eine vage Tendenz zu niedrigeren Geräuschemissionen für Fahrzeuge mit Dieselmotoren mit sinkendem Alter und bei geringen Geschwindigkeiten.

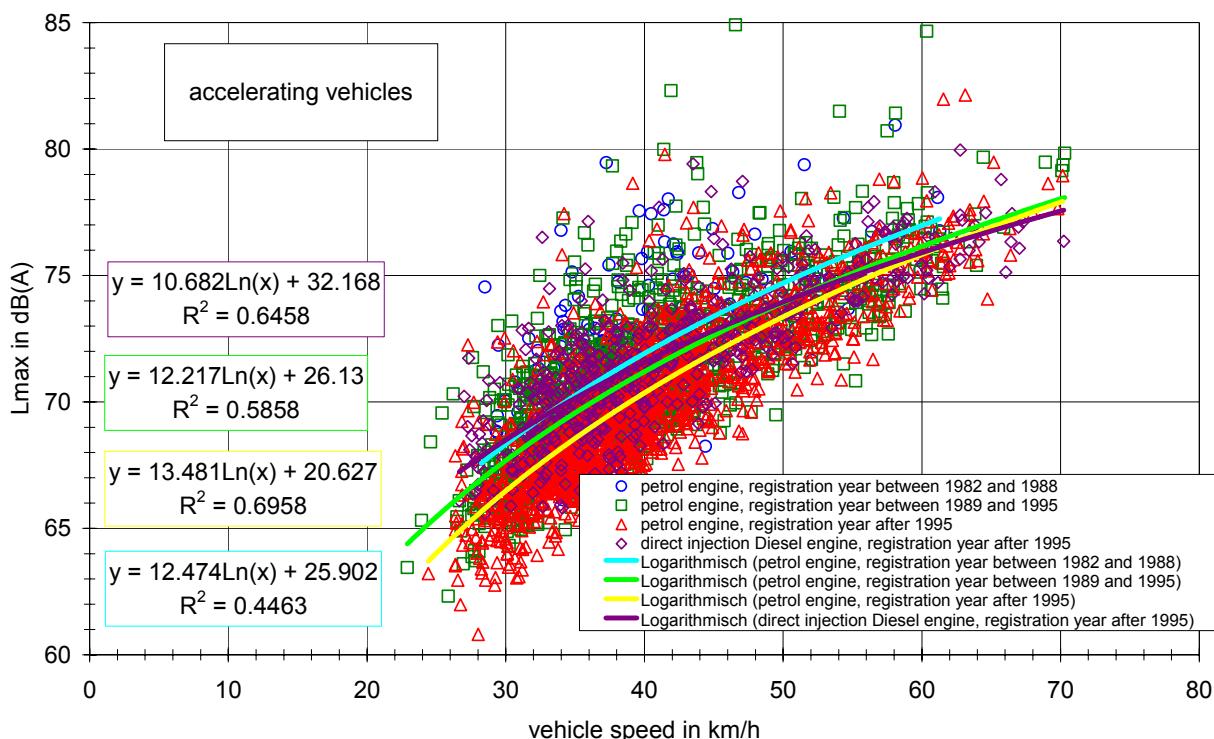


Bild 30: Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw mit Benzinmotoren und verschiedenen Zulassungsjahren

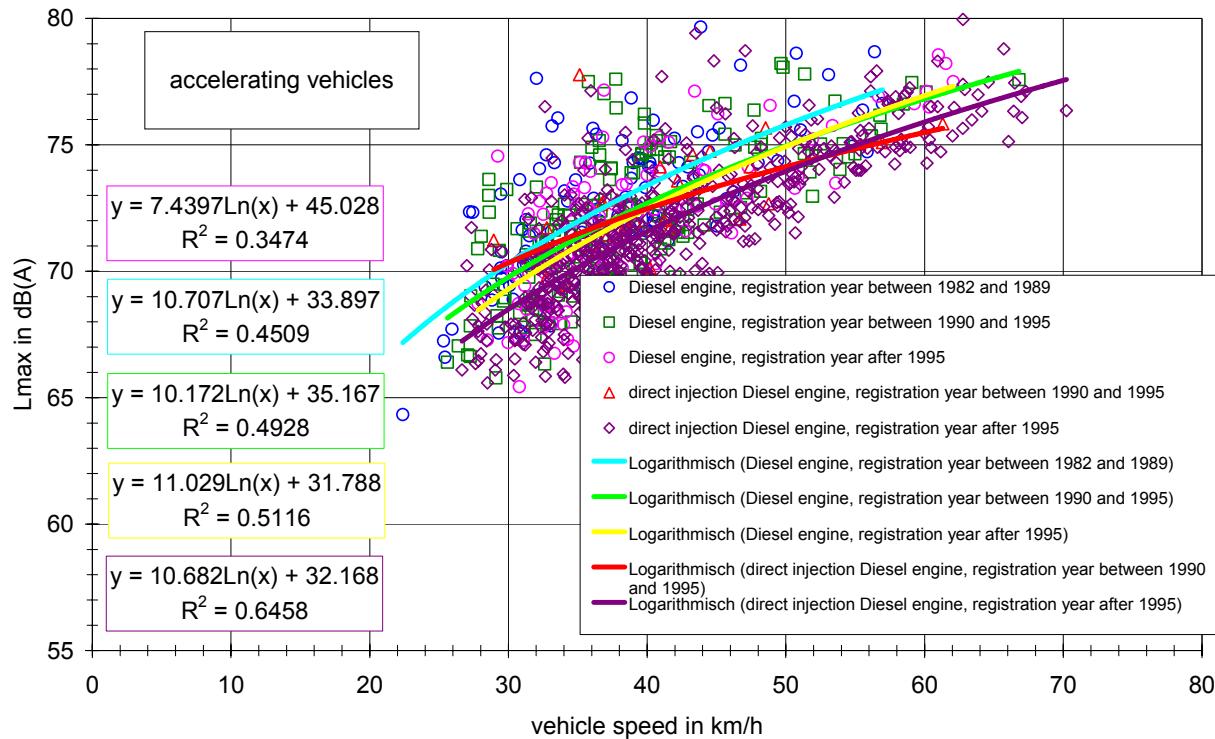


Bild 31: Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw mit Dieselmotoren und verschiedenen Zulassungsjahren

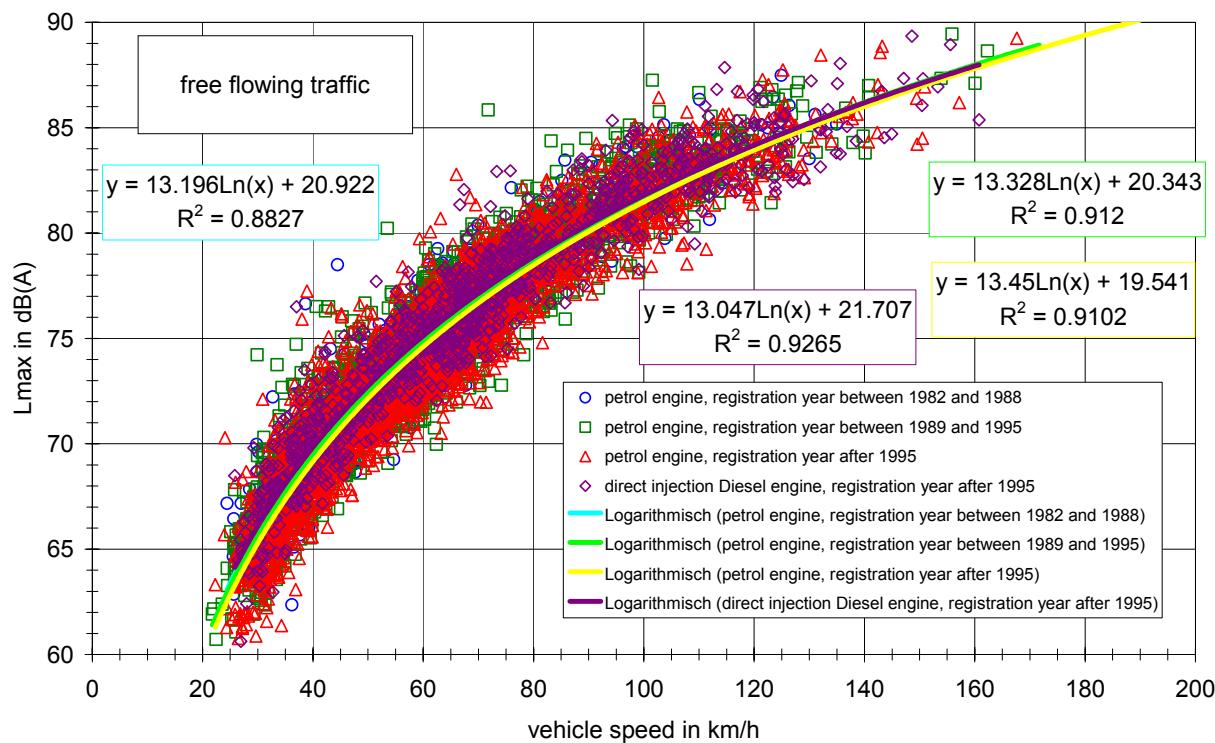


Bild 32: Vorbeifahrtpegel von Pkw im frei fließenden Verkehr mit Benzинmotoren und verschiedenen Zulassungsjahren

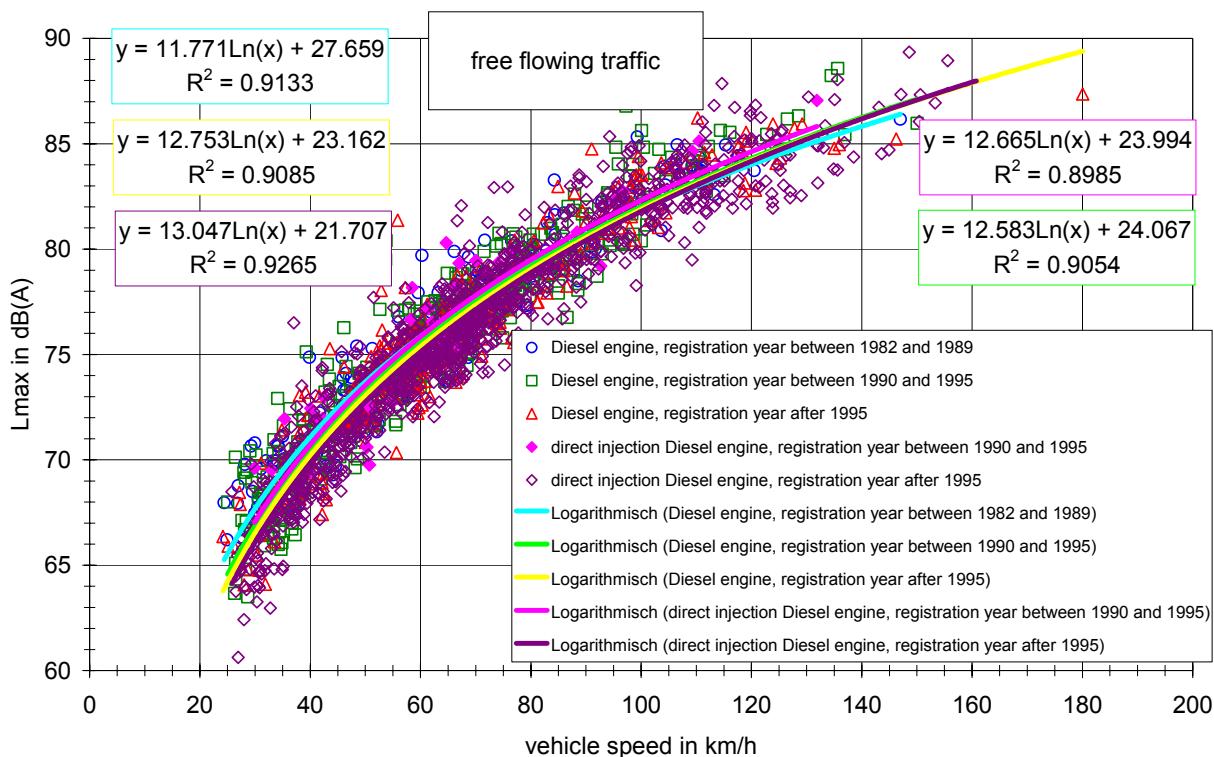


Bild 33: Vorbeifahrtpegel von Pkw im frei fließenden Verkehr mit Dieselmotoren und verschiedenen Zulassungsjahren

Im Zusammenhang mit der Analyse des Zulassungsjahres wurde ebenfalls überprüft, ob es einen Zusammenhang zwischen der Geräuschemission im realen Verkehr und den Typprüfpegeln der Fahrzeuge gibt. Aus diesem Grund wurden die gemittelten L_{max} Pegel für Fahrzeuge mit Benzinmotoren, Dieselmotoren mit herkömmlicher Technologie und Dieseldirekteinspritzer für beschleunigende Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich zwischen 27,5 km/h und 37,5 km/h (um 35 km/h herum) und für frei fließenden Verkehr im Geschwindigkeitsbereich zwischen 60 km/h und 70 km/h (um 65 km/h herum) ermittelt und gegen die Typprüfpegel aufgetragen. Die Geschwindigkeitsbereiche wurden so gewählt, um die Anzahl in jeder Fahrzeugklasse zu maximieren

Die Ergebnisse für die beschleunigenden Fahrzeuge können in Bild 34 angesehen werden und zeigen eine klare Tendenz: die Geräuschpegel für Beschleunigungsphasen bei langsam Geschwindigkeiten im realen Verkehr nehmen mit abnehmendem Typprüfpegel ab und die Steigung ist für beide Arten von Dieselfahrzeugen etwas höher als für Fahrzeuge mit Benzinmotor. Das kann dadurch erklärt werden, dass für einen gegebenen Typprüfpegel die üblichen Geräuschpegel für Dieselfahrzeuge um 1,5 bis 2 dB höher sind als die üblichen Geräuschpegel für Fahrzeuge mit Benzinmotoren. Diese höheren Pegel deuten auf einen höheren Einfluss des Antriebsgeräusches auf die Geräuschemission von Dieselfahrzeugen verglichen mit Benzinfahrzeugen hin.

Für frei fließenden Verkehr bei höheren Geschwindigkeiten (65 km/h) gibt es keine Korrelation zwischen den Typprüfwerten und üblichen Emissionspegeln für Dieselfahrzeuge beider Verbrennungstypen und nur eine vage Tendenz zu abnehmenden im Verkehr befindlichen Typprüfpegeln für Fahrzeuge mit Benzinmotoren im Typprüfpegelbereich zwischen 69 dB(A) und 75 dB(A) (Bild 35). Um diese Tendenz zeigen zu können, werden die Benzinfahrzeuge doppelt gezeigt in der Legende von Bild 35.

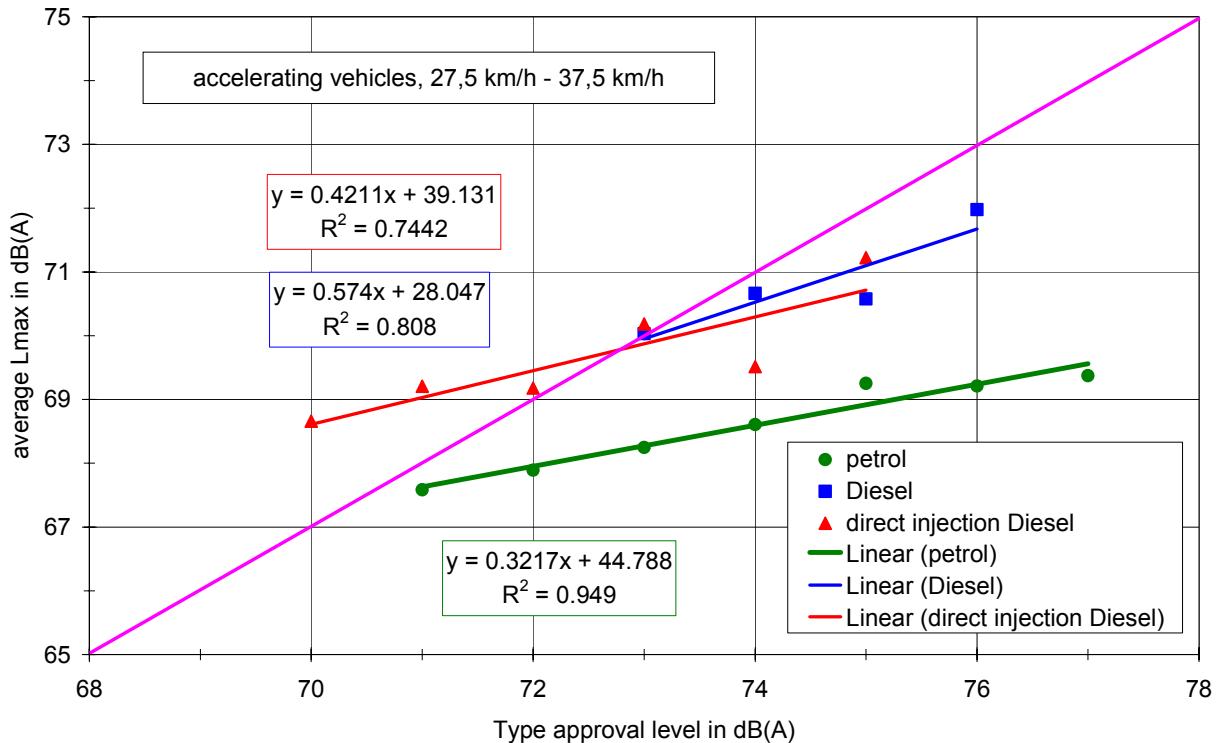


Bild 34: mittlere Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw gegen Typprüfpegel

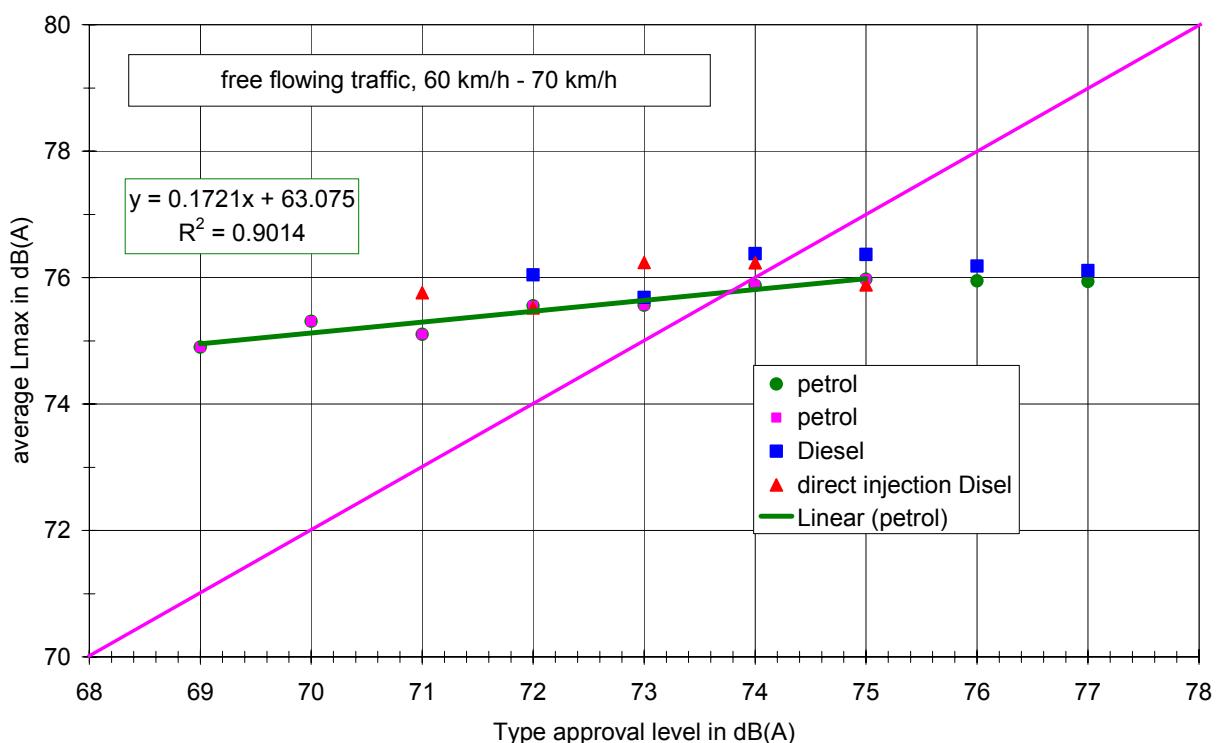


Bild 35: mittlere Vorbeifahrtpegel von Pkw im frei fließenden Verkehr gegen Typprüfpegel

3.2.1.3 Fahrzeugtypen

Ein weiterer Auswertungsschritt bezog sich auf die Fahrzeugtypen. Doch trotz der großen Anzahl an gemessenen Fahrzeugen war es schwierig Fahrzeugtypen aus der Datenbank zu extrahieren, weil die Anzahl von Varianten pro Typ mittlerweile so angewachsen ist, dass die Kennziffer eines Typs nicht mehr als Abgrenzungskriterium genutzt werden kann. Alternativ wurden Fahrzeuge die mit den gleichen Motoren ausgestattet waren – in Hinsicht auf Hubraum und Nennleistung – als ein Fahrzeugtyp definiert. Für beide Fahrzustände (Beschleunigungsphasen und frei fließender Verkehr) wurde mit logarithmischen Funktionen eine Regressionsanalyse von L_{max} gegen Fahrzeuggeschwindigkeit gemacht (siehe Bild 36).

Die Geräuschpegel, welche mit den Regressionskurven für verschiedene Geschwindigkeiten berechnet wurden, werden in Tabelle 14 für Beschleunigungsphasen für alle Typen mit einer Stichprobengröße von mindestens 40 Fahrzeugen gezeigt. Diese Fahrzeugtypen dominieren die Flottenkomposition auf den Straßen. Tabelle 15 zeigt die Korrespondierenden Ergebnisse für frei fließenden Verkehr. Die Mittelwerte für die verschiedenen Emissionsstufen (Grenzwertstufen) sind diesen Tabellen hinzugefügt.

7 Typen können bei den Beschleunigungsphasen extrahiert werden. Die Differenz zwischen dem lautesten und dem leisesten Typ nimmt von 3,2 dB bei 20 km/h auf 2,2 dB bei 50 km/h ab. Ein beträchtlicher Teil der Differenzen kann durch die unterschiedlichen Emissionsstufen erklärt werden. Der überbleibende Teil innerhalb einer Emissionsstufe ist unter 2 dB(A) für Geschwindigkeiten unter 50 km/h, was bedeutet, dass es keine signifikante Differenz zwischen den Fahrzeugtypen gibt, die die Flottenzusammensetzung im realen Verkehr dominieren.

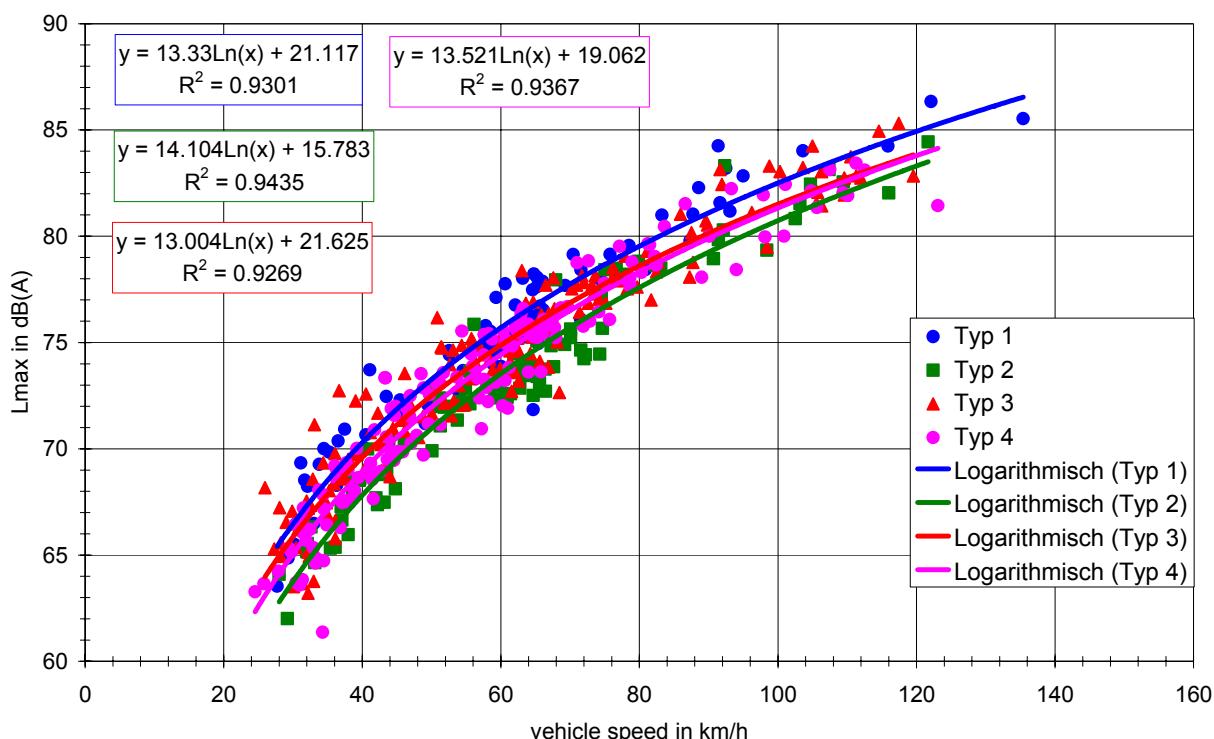


Bild 36: Vorbeifahrtpegel der Fahrzeugtypen (frei fließender Verkehr)

engine capacity in cm ³	number of vehicles	Limit value in dB(A)	vehicle type	vehicle speed in km/h		
				20	30	50
973	42	74	type 1, petrol, 40 kW	59.8	65.3	72.3
1595	40	74	type 2, petrol, 74 kW	60.8	66.2	73.1
1299	47	74	type 3, petrol, 44 kW	61.3	66.6	73.3
1896	44	75	type 4, direct injection Diesel, 66 kW	61.5	67.2	74.5
1598	65	77	type 5, petrol, 55 kW	61.7	67.3	74.3
1389	68	77	type 6, petrol, 44 kW	63.0	67.5	73.2
1781	59	77	type 7, petrol, 66 kW	63.0	67.9	74.0
	Limit value in dB(A)	number of types		range	3.2	2.6
	74/75	4		min	59.8	65.3
				ave	60.8	66.3
				max	61.5	72.3
				range	1.8	2.2
	77	3		min	61.7	67.3
				ave	62.6	67.6
				max	63.0	73.9
				range	1.2	0.5

Tabelle 14: Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Fahrzeugtypen (beschleunigende Fahrzeuge)

Wesentlich mehr Fahrzeugtypen (34) konnten für frei fließenden Verkehr extrahiert werden, einschließlich zwei Typen mit Grenzwerten von 80 dB(A). Die Differenz zwischen dem lautesten und dem leisesten Typ nimmt von 3,9 dB bei 30 km/h auf 2,2 bei 70 und 90 km/h ab. Die Differenzen zwischen den verschiedenen Emissionsstufen sind unter 1 dB, aber mit der Tendenz zu kleineren im Verkehr befindlichen Pegeln für niedrigere Grenzwerte. Bild 37 und Bild 38 zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Fahrzeugtypen in Bezug zum Hubraumeinfluss gebracht werden kann. Außerdem kann auch für frei fließenden Verkehr keine signifikante Differenz in den tatsächlichen Geräuschemissionen gefunden werden.

Der Hubraumeinfluss muss weiter beobachtet werden, um irreführende Rückschlüsse zu vermeiden. Die Geräuschemission frei fließenden Verkehrs ist vom Reifen-Fahrbahn-Geräusch dominiert. Größerer Hubraum bedeutet größere Nennleistung und höhere Endgeschwindigkeiten und als Konsequenz daraus breitere Reifen mit einem höheren Geschwindigkeitsindex. Daher ist sehr wahrscheinlich, dass der Hubraum ein indirekter technischer Parameter für die Geräuschemission von Fahrzeugen im frei fließenden Verkehr ist.

engine capacity in cm ³	number of vehicles	Limit value in dB(A)	vehicle type	vehicle speed in km/h			
				30	50	70	90
973	90	74	type 1, petrol, 40 kW	63.8	71.0	75.7	79.3
1390	58	74	type 2, petrol, 55 kW	64.8	71.9	76.6	80.1
1595	86	74	type 3, petrol, 74 kW	65.5	72.4	76.9	80.2
1598	52	74	type 4, petrol, 55 kW	65.3	72.3	76.9	80.4
1998	52	74	type 5, petrol, 100 kW	65.4	72.7	77.4	81.0
1896	103	75	type 6, direct injection Diesel, 66 kW	65.7	72.5	77.1	80.4
1896	49	75	type 7, direct injection Diesel, 85 kW	66.1	72.8	77.2	80.5
1043	44	77	type 8, petrol, 33 kW	65.1	71.7	76.1	79.3
1119	40	77	type 9, petrol, 37 kW	65.4	71.9	76.2	79.4
1124	43	77	type 10, petrol, 44 kW	65.1	71.7	76.0	79.3
1195	83	77	type 11, petrol, 33 kW	64.7	71.5	76.0	79.3
1195	70	77	type 12, petrol, 33 kW	64.6	71.5	76.1	79.5
1299	87	77	type 13, petrol, 44 kW	65.3	72.2	76.7	80.0
1389	146	77	type 14, petrol, 44 kW	65.1	72.0	76.5	79.9
1390	68	77	type 15, petrol, 44 kW	65.9	72.3	76.6	79.8
1595	44	77	type 16, petrol, 74 kW	65.4	72.4	77.1	80.5
1596	59	77	type 17, petrol, 75 kW	65.6	73.0	77.8	81.4
1597	46	77	type 18, petrol, 66 kW	66.1	72.7	77.1	80.4
1598	63	77	type 19, petrol, 52 kW	65.3	72.2	76.8	80.2
1598	160	77	type 20, petrol, 55 kW	65.9	72.5	76.9	80.1
1598	82	77	type 21, petrol, 55 kW	65.6	72.5	77.0	80.4
1598	48	77	type 22, petrol, 74 kW	65.4	72.4	77.0	80.4
1781	98	77	type 23, petrol, 55 kW	64.8	72.1	77.0	80.6
1781	132	77	type 24, petrol, 66 kW	65.3	72.5	77.3	80.8
1796	41	77	type 25, petrol, 66 kW	65.7	72.0	76.2	79.3
1799	78	77	type 26, petrol, 90 kW	66.5	73.4	77.9	81.3
1991	78	77	type 27, petrol, 110 kW	66.5	73.3	77.8	81.1
1998	51	77	type 28, petrol, 85 kW	66.0	72.9	77.4	80.8
1896	50	77	type 29, Diesel, 55 kW	67.4	73.5	77.5	80.4
1997	57	77	type 30, Diesel, 55 kW	67.0	73.5	77.8	81.1
1896	49	77	type 31, direct injection Diesel, 66 kW	66.2	73.0	77.5	80.9
1896	43	77	type 32, direct injection Diesel, 66 kW	66.4	72.9	77.2	80.4
1263	45	80	type 33, petrol, 40 kW	64.0	71.4	76.2	79.9
1983	42	80	type 34, Diesel, 53 kW	67.7	73.8	77.8	80.8
	Limit value in dB(A)	number of types		range	3.9	2.8	2.2
	74/75	7		min	63.8	71.0	75.7
				ave	65.2	72.2	76.8
				max	66.1	72.8	77.4
				range	2.3	1.8	1.7
				min	64.6	71.5	76.0
	77	25		ave	65.7	72.5	76.9
				max	67.4	73.5	77.9
				range	2.8	2.1	2.0
				min	64.0	71.4	76.2
				ave	65.8	72.6	77.0
	80	2		max	67.7	73.8	77.8
				range	3.6	2.4	1.6
							0.9

Tabelle 15: Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Fahrzeugtypen (frei fließender Verkehr)

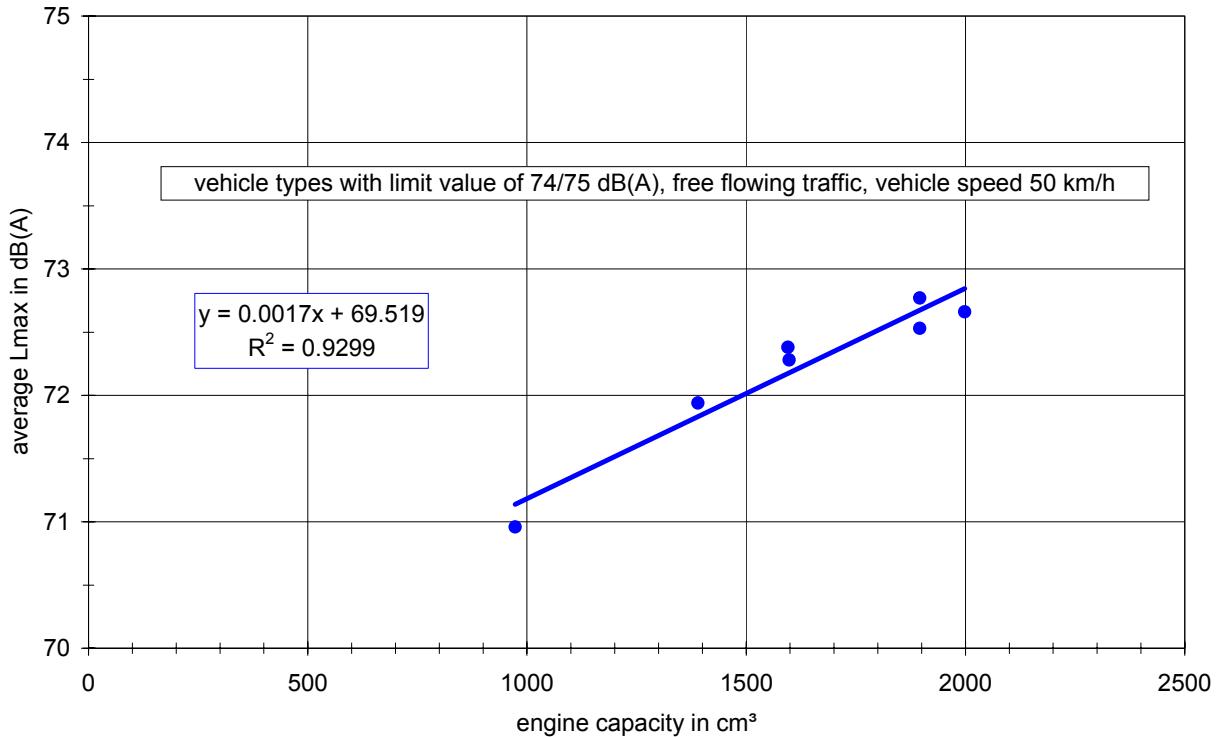


Bild 37: mittlere Vorbeifahrtpegel von Pkw-Typen mit 74/75 dB(A) Grenzwert gegen Hubraum

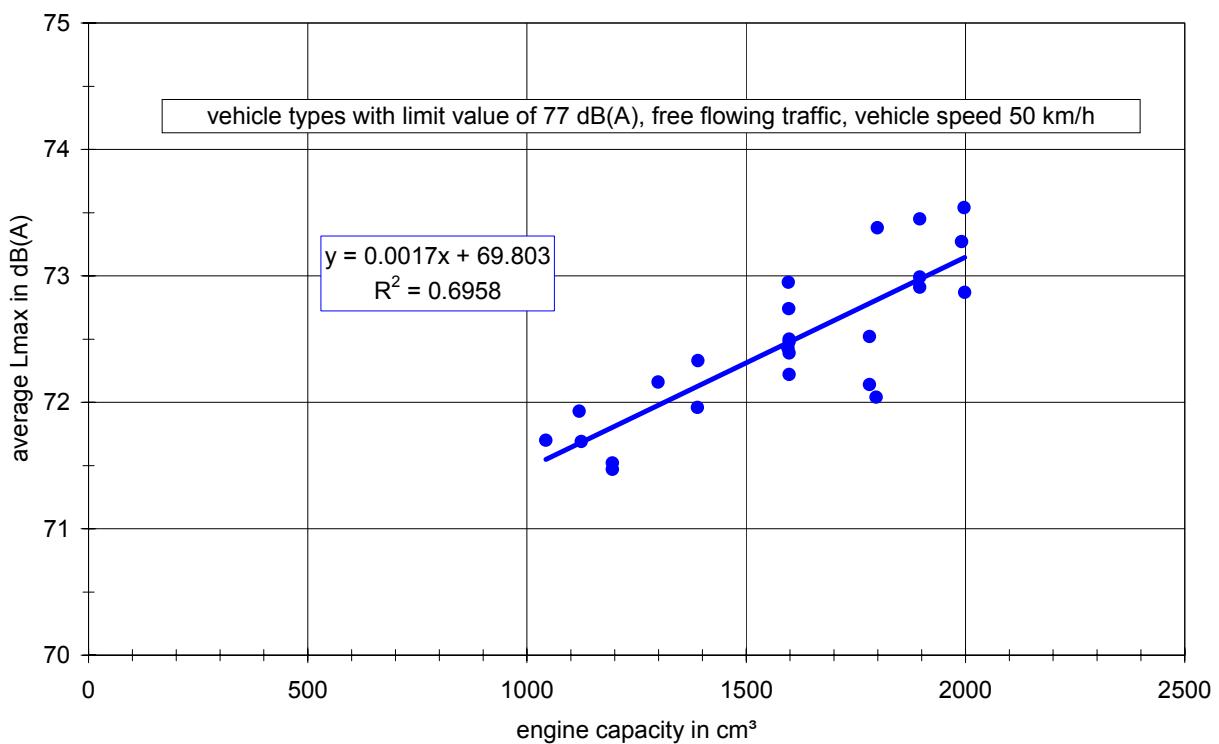


Bild 38: mittlere Vorbeifahrtpegel von Pkw-Typen mit 77 dB(A) Grenzwert gegen Hubraum

3.2.2 Leichte Nutzfahrzeuge

Da INFz mit zulässigen Gesamtgewichten bis 2000 kg und über 2000 kg unterschiedliche Geräuschgrenzwerte haben (76/77 dB(A)), wurde der erste Auswerteschritt mit Hinblick auf diese Klassen und zwei unterschiedlichen Motortypen durchgeführt. Nur 19% der gesamten INFz Stichprobe gehört zu der Gruppe mit zulässigem Gesamtgewicht bis 2000 kg. In dieser Klasse sind 28,5% der Fahrzeuge mit einem Benzинmotor ausgestattet, 58,2% mit einem herkömmlichen Dieselmotor und 13,3 % mit einem Dieseldirekteinspritzer. Der Anteil der Benzinier in der Gesamtgewichtsklasse über 2000 kg liegt bei nur 4,7%, deshalb wurde diese Klasse bei weiteren Auswertungen nicht mehr berücksichtigt. Der Rest ist mit Dieselmotoren ausgestattet, die Hälfte mit Dieseldirekteinspritzung.

Bild 39 zeigt die Lmax Pegel der oben beschriebenen INFz Unterklassen gegen Fahrzeuggeschwindigkeit für Fahrzeuge, welche nach 1995 zugelassen wurden und für frei fließenden Verkehr. Für diesen Fahrzustand und auch für Beschleunigungsphasen wurde eine Regressionsanalyse für Lmax gegen die Geschwindigkeit mit logarithmischen Funktionen durchgeführt. Die aus den Regressionskurven berechneten Geräuschpegel sind in Tabelle 16 für Beschleunigungsphasen aufgeführt. Tabelle 17 zeigt die Korrespondierenden Werte für frei fließenden Verkehr.

Für Beschleunigungsphasen war die Fahrzeugstichprobe mit Benzinmotoren zu klein, so dass für diese Untergruppe keine Werte in Tabelle 16 aufgeführt werden.

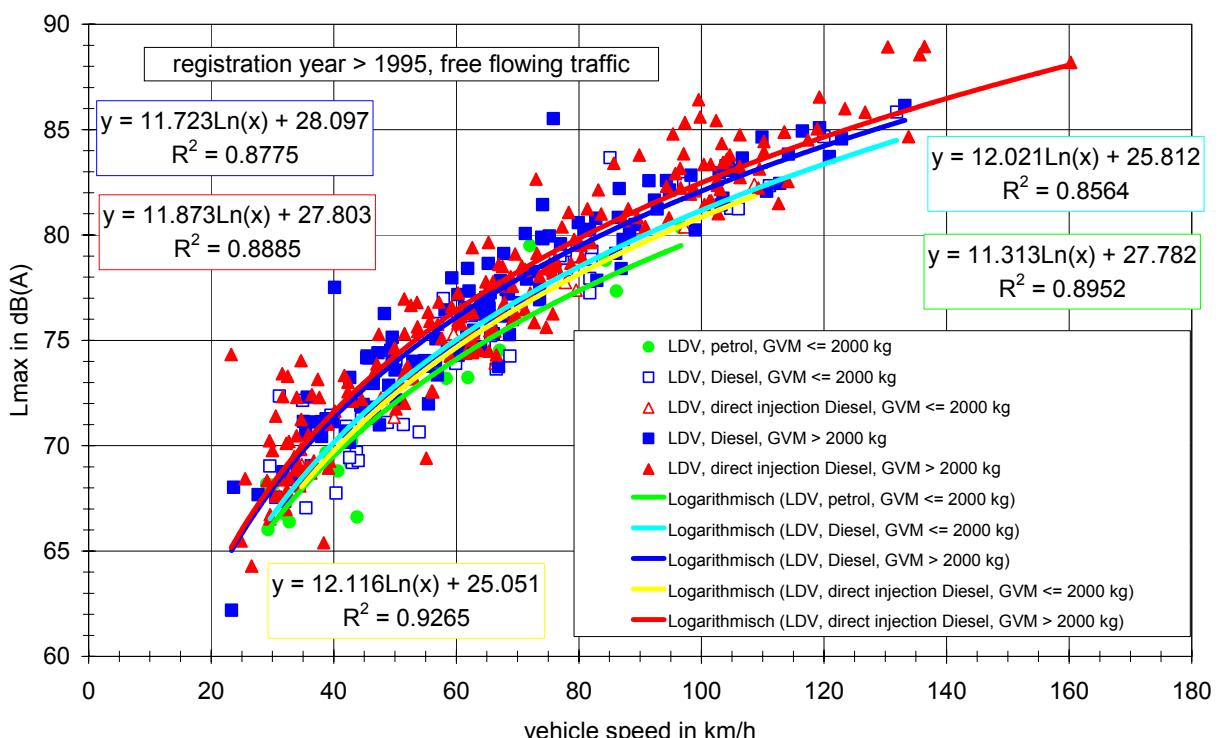


Bild 39: Vorbeifahrtpegel INFz mit verschiedenen Motortypen und verschiedenen zul. Gesamtgewichtsklassen

Wie bei den Pkw, kann man erwarten, dass INfz mit herkömmlicher Dieseltechnologie aus der Flotte verschwinden werden, so dass die Klassen mit den Dieseldirekteinspritzern am wichtigsten sind. Der Unterschied in den mittleren Lmax Werten für Beschleunigungsphasen zwischen INfz mit Dieseldirekteinspritzung und zul. Gesamtgewicht von bis zu 2000 kg und INfz mit Dieseldirekteinspritzung und zul. Gesamtgewicht über 2000 kg variiert zwischen 1,4 dB(A) bis 2,2 dB(A), abnehmend mit zunehmender Geschwindigkeit. Die Differenzen können durch Unterschiede in den Motorhubräumen erklärt werden. In der Gesamtgewichtsklasse von über 2000 kg gibt es keine Unterschiede zwischen den Fahrzeugen mit herkömmlicher Dieseltechnologie und den Dieseldirekteinspritzern, in der gesamtgewichtsklasse bis 2000 kg sind die Fahrzeuge mit herkömmlichen Dieselmotoren leiser als die mit Dieseldirekteinspritzung. Aber dieses Ergebnis sollte nicht überbewertet werden, weil die Stichprobengröße wesentlich kleiner war als die für die Gesamtgewichtsklasse bis 2000 kg. Für frei fließenden Verkehr wurden keine Unterschiede gefunden.

Für frei fließenden Verkehr gibt es ebenfalls keinen Unterschied zwischen den Dieselmotortypklassen mit herkömmlicher Technologie und Dieseldirekteinspritzung in beiden Gewichtsklassen, aber die Differenzen zwischen beiden Klassen sind 1,3 bis 1,5 dB(A), welche wieder einmal mit den Unterschieden beim Hubraum erklärt werden können. INfz mit einem Gesamtgewicht von bis zu 2000 kg und Benzinmotoren sind etwa 1 dB leiser als die mit Dieselmotoren.

subcategory	average engine capacity in cm ³	vehicle speed in km/h		
		20	30	50
LDV, Diesel, GVM <= 2000 kg	1846	63.8	68.5	74.4
LDV, direct injection Diesel, GVM <= 2000 kg	1880	66.3	70.1	74.9
LDV, Diesel, GVM > 2000 kg	2253	67.7	71.6	76.6
LDV, direct injection Diesel, GVM > 2000 kg	2539	68.5	71.9	76.2

Tabelle 16: mittlere Lmax Pegel für verschiedene INfz Unterkategorien, beschleunigende Fahrzeuge

subcategory	average engine capacity in cm ³	vehicle speed in km/h		
		50	70	90
LDV, petrol, GVM <= 2000 kg	1304	72.0	75.9	78.7
LDV, Diesel, GVM <= 2000 kg	1783	72.8	76.9	79.9
LDV, direct injection Diesel, GVM <= 2000 kg	1899	72.5	76.5	79.6
LDV, Diesel, GVM > 2000 kg	2226	74.0	77.9	80.9
LDV, direct injection Diesel, GVM > 2000 kg	2492	74.3	78.3	81.2

Tabelle 17: mittlere Lmax Pegel für verschiedene INfz Unterkategorien, frei fließender Verkehr

Da diese Gewichtsklasse die größte Anzahl an Fahrzeuge umfasst, wurde für diese Unterkategorie eine weitere Analyse auf Grundlage der Zulassungsjahre gemacht. Die Ergebnisse sind in Bild 40 für beschleunigende Fahrzeuge dargestellt. Es gibt eine Tendenz zu niedrigeren Vorbeifahrtpegeln mit abnehmendem Fahrzeugalter über das gesamte Geschwindigkeitsspektrum. Aber die Differenz zwischen Fahrzeugen der Zulassungsjahre zwischen 1990 und 1995 und Fahrzeugen mit Zulassungsjahren nach 1995 beträgt lediglich etwa 1 dB(A).

Verglichen mit Fahrzeugen die vor 1990 zugelassen wurden scheinen die Differenzen höher, aber diese Stichprobe ist zu klein um daraus verlässliche Rückschlüsse zu ziehen.

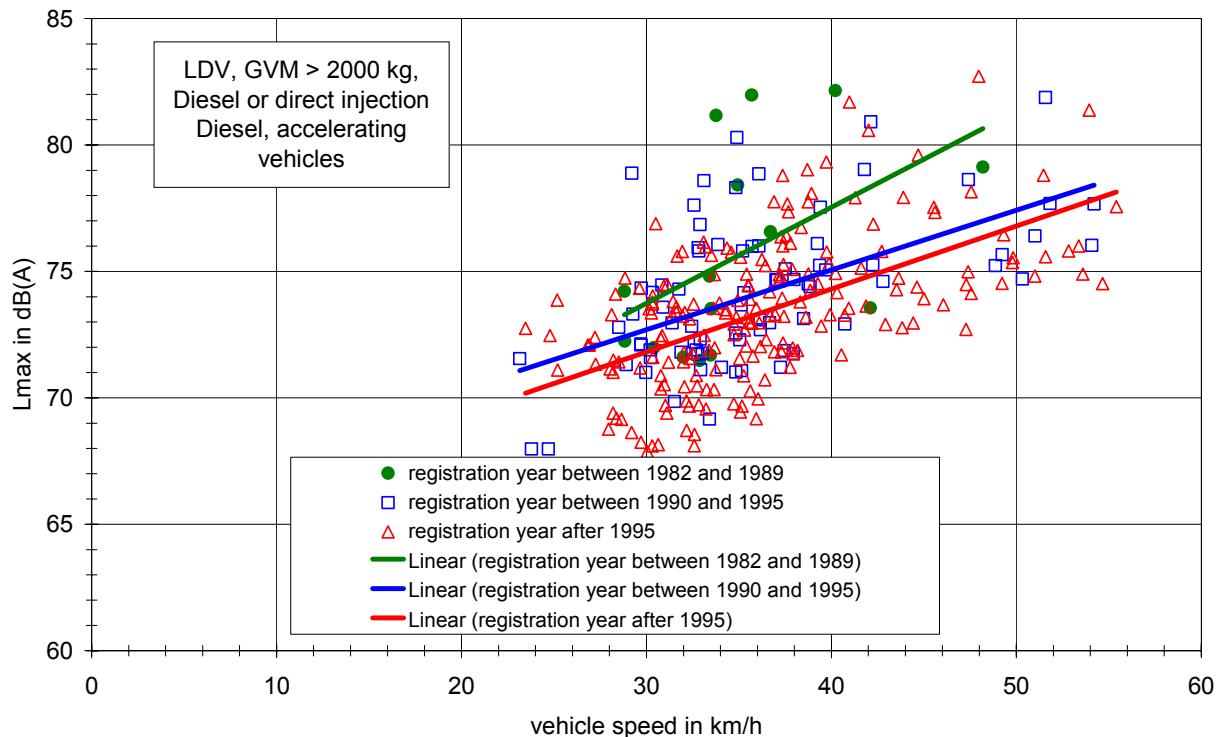


Bild 40: Vorbeifahrtpegel von INfz verschiedener Zulassungsjahrklassen, beschleunigende Fahrzeuge

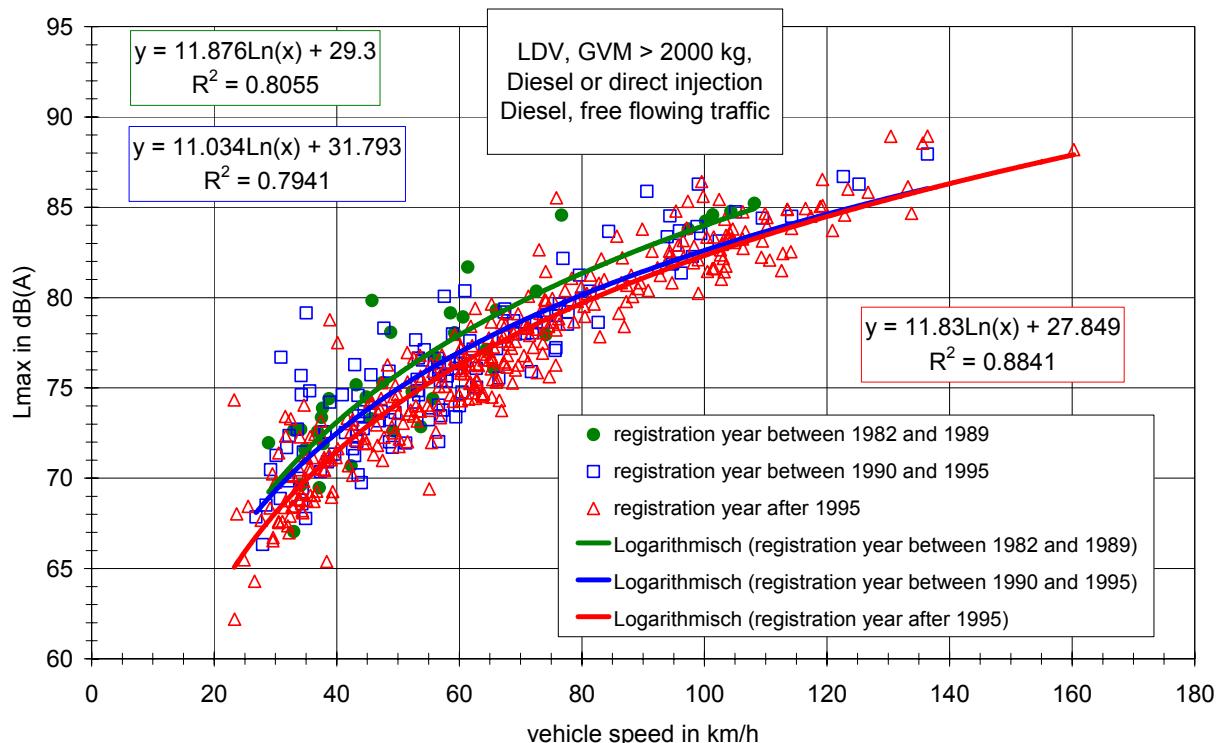


Bild 41: Vorbeifahrtpegel von INfz verschiedener Zulassungsjahrklassen, frei fließender Verkehr

3.2.3 Schwere Nutzfahrzeuge

Im Hinblick auf die Geräuschgrenzwerte sind schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) in die folgenden drei Nennleistungsklassen (P_n) aufgeteilt worden:

- θ $P_n < 75 \text{ kW}$,
- θ $75 \text{ kW} \leq P_n < 150 \text{ kW}$,
- θ $P_n \geq 150 \text{ kW}$

Somit wurde die erste Auswertung in Übereinstimmung mit diesen 3 Klassen durchgeführt, jedoch getrennt für sNfz mit bis zu 3 Achsen und sNfz mit mehr als 3 Achsen.

Wie man in Tabelle 18 sehen kann, gibt es nur wenige neue Fahrzeuge in der Stichprobe von 2001 mit Nennleistungen unter 75 kW. Eine weitere Analyse des Zulassungsjahres zeigt, dass diese Leistungsklasse in der Zukunft verschwinden wird, da nur 2 Fahrzeuge in der Datenbank sind, die nach 1996 registriert wurden. Der Hauptteil der Stichprobe mit bis zu 3 Achsen hat Nennleistungswerte zwischen 100 und 125 kW und 150 und 200 kW. 43 % dieser Stichprobe gehört bereits zur höchsten Nennleistungsklasse des gegenwärtigen Geräuschtypprüfverfahrens.

Die Nennleistungsstruktur der sNfz mit mehr als 3 Achsen ist in Tabelle 19 dargestellt. Nahezu 90% der Stichprobe haben Nennleistungswerte zwischen 250 und 350 kW.

HDV <= 3 axles	number of vehicles	percentage	percentage
$P_n < 75 \text{ kW}$	83	5.5%	5.5%
$75 \text{ kW} \leq P_n < 100 \text{ kW}$	145	9.6%	51.6%
$100 \text{ kW} \leq P_n < 125 \text{ kW}$	442	29.3%	
$125 \text{ kW} \leq P_n < 150 \text{ kW}$	191	12.7%	
$150 \text{ kW} \leq P_n < 200 \text{ kW}$	323	21.4%	
$200 \text{ kW} \leq P_n < 250 \text{ kW}$	187	12.4%	42.9%
$250 \text{ kW} \leq P_n < 300 \text{ kW}$	106	7.0%	
$P_n \geq 300 \text{ kW}$	30	2.0%	
sum	1507	100.0%	100.0%

Tabelle 18: Nennleistungsstruktur für die sNfz Stichprobe mit bis zu 3 Achsen

HDV > 3 axles	number of vehicles	percentage
$150 \text{ kW} \leq P_n < 200 \text{ kW}$	15	1.0%
$200 \text{ kW} \leq P_n < 250 \text{ kW}$	33	2.2%
$250 \text{ kW} \leq P_n < 300 \text{ kW}$	688	45.0%
$300 \text{ kW} \leq P_n < 350 \text{ kW}$	675	44.2%
$P_n \geq 350 \text{ kW}$	117	7.7%
sum	1528	100.0%

Tabelle 19: Nennleistungsstruktur für die sNfz Stichprobe mit mehr als 3 Achsen

3.2.3.1 Ergebnisse für Fahrzeuge, die nach 1996 registriert wurden (derzeitige Emissionsstufe)

In einem ersten Schritt sollte überprüft werden, ob es eine Korrelation zwischen den „in-use“ Geräuschemissionspegeln und den technischen Parametern Nennleistung und Hubraum gibt. Beide technischen Parameter wurden Klassifiziert und die Mittelwerte der Lmax Pegel wurden für beschleunigende Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich zwischen 20 und 40 km/h für jede Leistungs- und Hubraumklasse berechnet. Da der Beitrag des Reifen-Fahrbahn-Geräusches von der Zahl der Achsen abhängt, wurde dieser Auswerteschritt separat für Fahrzeuge mit bis zu 3 Achsen und mit mehr als 3 Achsen gemacht.

Die Ergebnisse für die Nennleistungsklassen sind in Bild 42 für die Nennleistung und in Bild 43 für Hubraum gezeigt. Es wurden nur Klassen mit mindestens 10 Fahrzeugen berücksichtigt. Für sNfz mit bis zu 3 Achsen nehmen die „in-use“ Geräuschpegel mit zunehmender Nennleistung oder auch mit zunehmendem Hubraum klar zu. Aber erstaunlicherweise nehmen die „in-use“ Geräuschpegel für sNfz mit mehr als 3 Achsen mit zunehmender Leistung oder Hubraum leicht ab. Die Nennleistungsbereiche beider Achsklassen sind eindeutig getrennt. Es gibt keine Leistungsklasse über 250 kW mit 10 Fahrzeugen für sNfz mit bis zu 3 Achsen und keine Leistungsklasse unter 250 kW für sNfz mit mehr als 3 Achsen.

Für den Hubraum gibt es einen kleinen Bereich zwischen 11000 und 12000 cm³, wo beide Achsklassen sich überlappen. In diesem Bereich kann keine signifikante Differenz zwischen den beiden Achsklassen erkannt werden, so dass man daraus schließen kann, dass die Beschleunigungsphasen in diesem Geschwindigkeitsbereich nicht sehr vom Reifen-Fahrbahn-Geräusch beeinflusst werden.

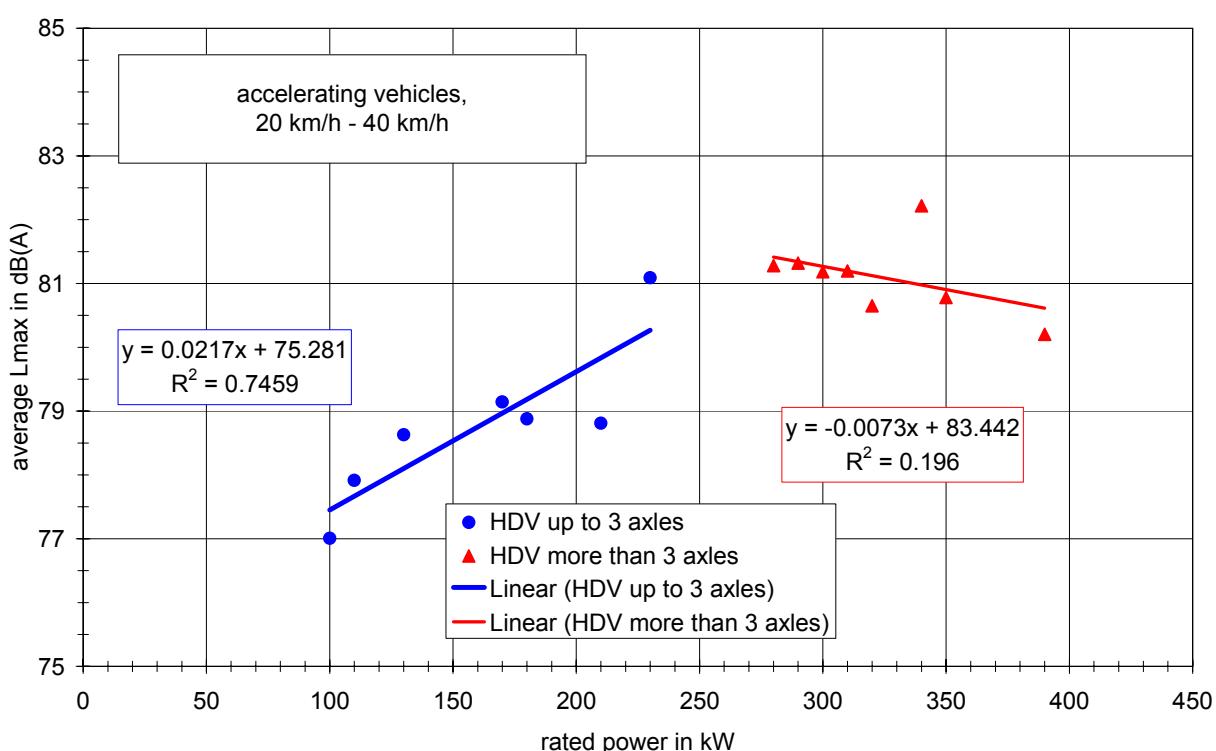


Bild 42: Mittlere Vorbeifahrtpegel beschleunigender sNfz gegen Nennleistung für beide Achsklassen (Zulassungsjahr > 1995)

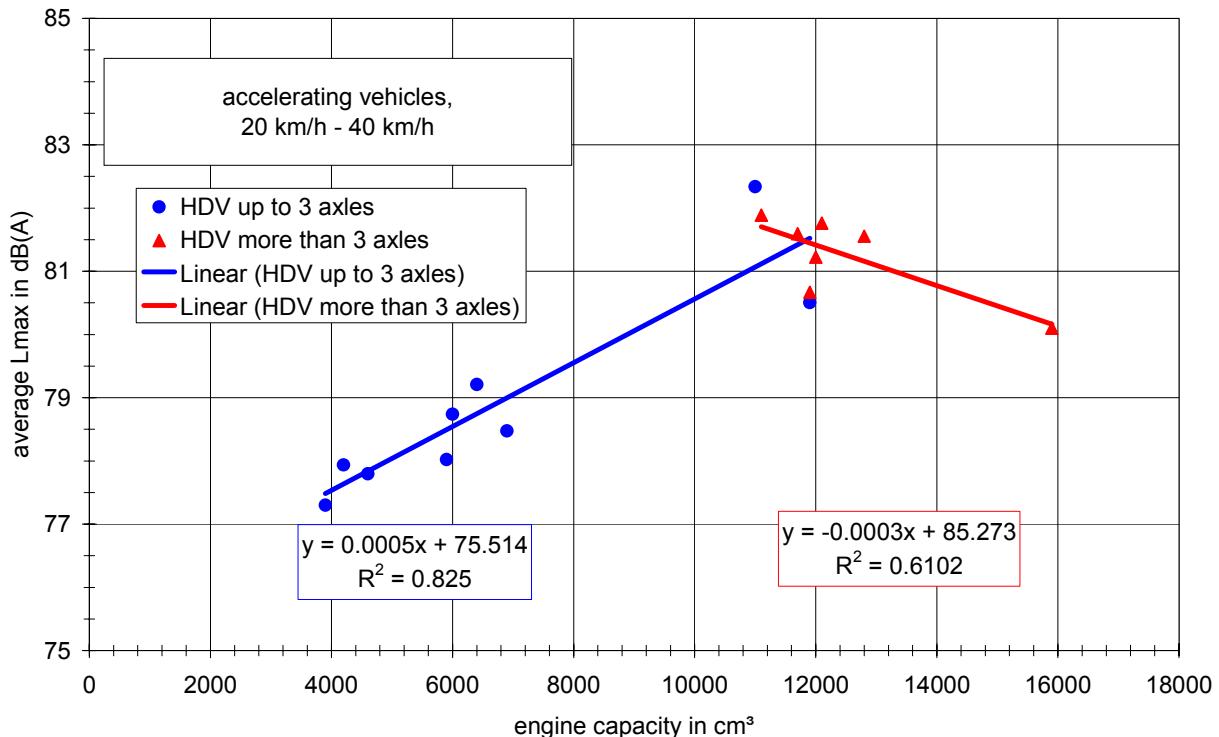


Bild 43: Mittlere Vorbeifahrtpegel beschleunigender sNfz gegen Hubraum für beide Achsklassen (Zulassungsjahr > 1995)

Um die möglichen Nennleistungseffekte nicht mit den Alterseffekten zu vermischen und um einen besseren Einblick in die Leistungseffekte zu bekommen, wurde die weitere Auswertung auf Fahrzeuge beschränkt, die nach 1995 zugelassen wurden und die folgende Nennleistungsklassifikation wurde für beide Achsklassen verwendet:

- θ $P_n \leq 100 \text{ kW}$,
- θ $100 \text{ kW} < P_n \leq 150 \text{ kW}$,
- θ $150 \text{ kW} < P_n \leq 250 \text{ kW}$,
- θ $P_n > 250 \text{ kW}$

Die Grenzlinien bei 150 kW und 250 kW sind etwas anders definiert als bei der Analyse für die Kategorien, aber das hat keine Konsequenzen für die Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Diese Klassen sind Vorgeschlagen worden, um für eine Ergänzung der EU und ECE Geräuschrichtlinien für sNfz genutzt zu werden. Bild 44 zeugt die individuellen Lmax Pegel für jede Leistungsklasse über der Fahrzeuggeschwindigkeit für beschleunigende Fahrzeuge. Für sNfz mit mehr als 3 Achsen wurde nur die höchste Leistungsklasse berücksichtigt, weil es nur wenige Fahrzeuge mit Leistungen unter 250 kW in der Datenbank gibt.

Da der Geschwindigkeitsbereich schmal ist, der Geräuschpegel bei gegebener Geschwindigkeit stark variiert und der Geschwindigkeitseinfluss von untergeordneter Bedeutung ist, wurden die Geräuschpegelverteilungskurven für jede Leistungs- und Achsklasse berechnet, um ein klareres Bild zu bekommen. Die daraus erhaltenen Verteilungen sind in Bild 45 dargestellt. Die Verteilungen für sNfz mit bis zu 3 Achsen sind bezüglich der Leistungsklassen

klar abgegrenzt und für Geräuschpegel bis 82 dB(A). Oberhalb dieses Levels decken sich die Verteilungen der Leistungsklassen über 100 kW. Dieser Zufall wird höchst wahrscheinlich durch abnormale Geräuschemissionen durch Instandhaltungsprobleme verursacht.

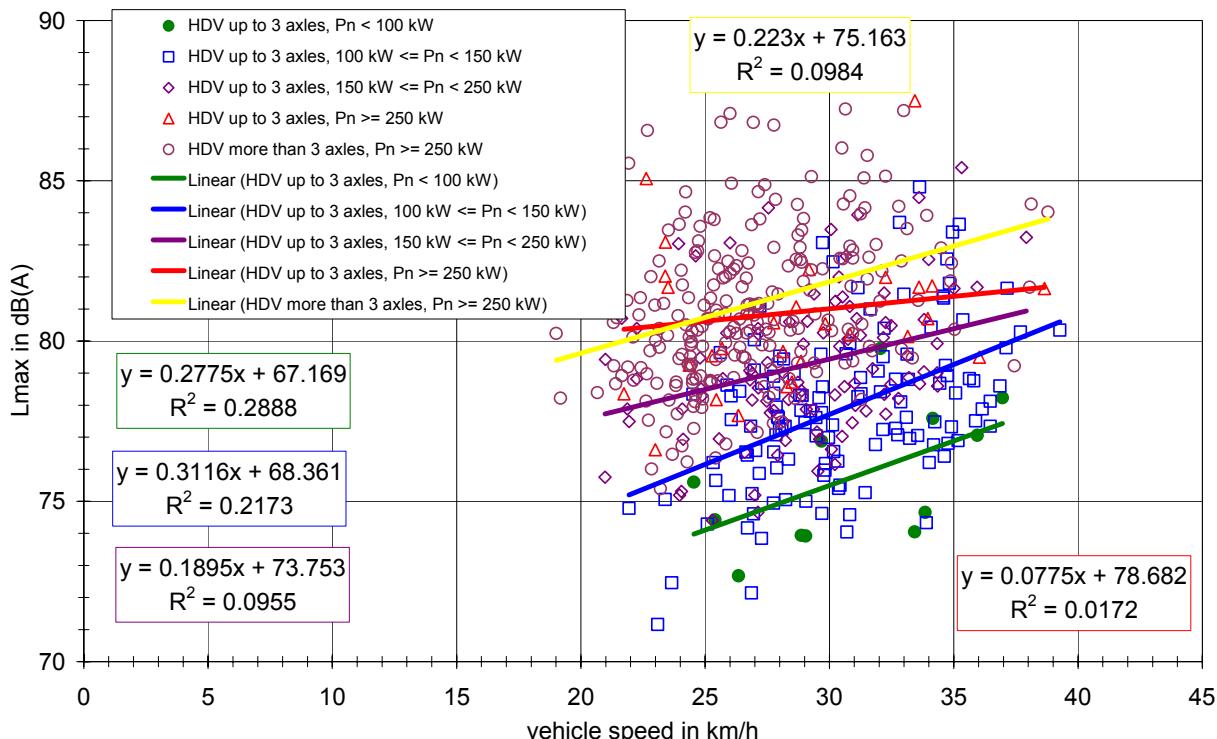


Bild 44: Vorbeifahrtpegel beschleunigender sNfz über Fahrzeuggeschwindigkeit für verschiedene Unterkategorien (Zulassungsjahr > 1995)

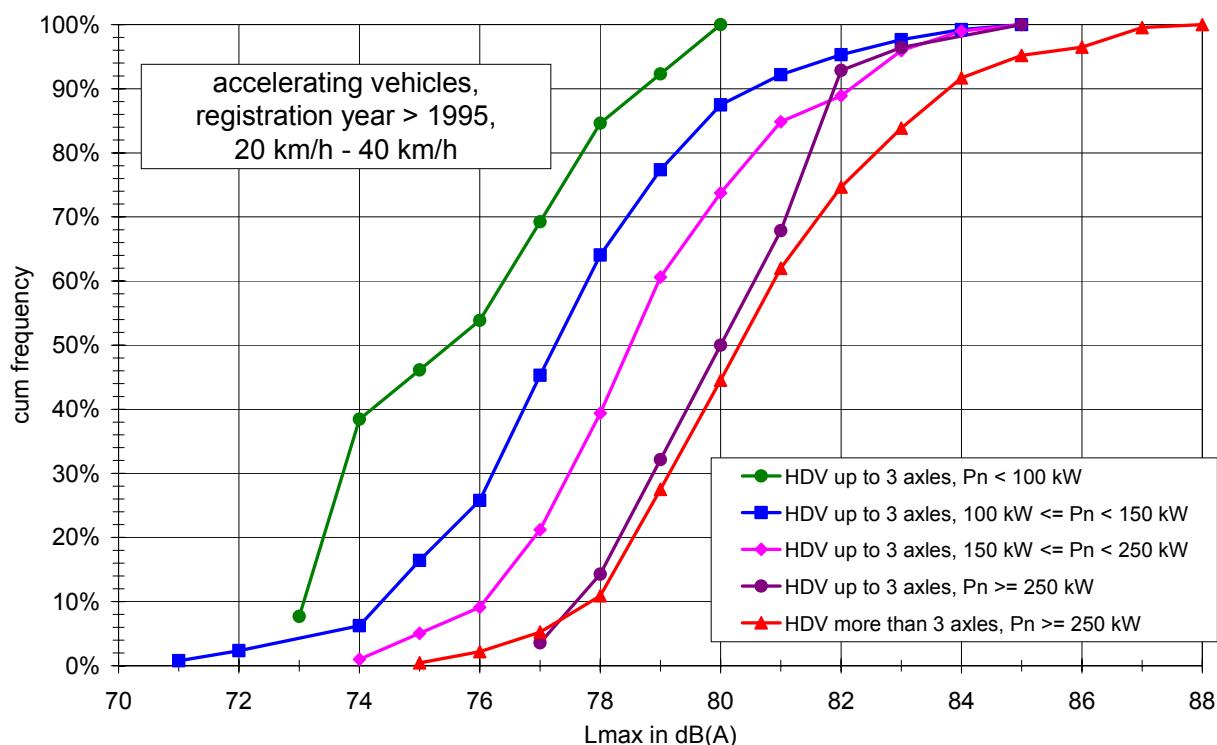


Bild 45: Verteilung der Vorbeifahrtpegel beschleunigender für verschiedene Unterkategorien (Zulassungsjahr > 1995)

Die Geräuschpegelverteilungen für die 2 sNfz Klassen mit Nennleistungswerten über 250 kW sind bis 81 dB(A) nahe beieinander, divergieren dann aber immer stärker mit ansteigendem Geräuschpegel, was durch Unterschiede in der Fahrzeugbeladung erklärt werden kann.

Der mittlere Geräuschpegel für die verschiedenen sNfz Unterklassen sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Es ist interessant, aber nicht überraschend, dass die mittleren Geschwindigkeitswerte bei zunehmender Leistungsklasse abnehmen. Der unterste Wert wurde in der sNfz Klasse mit mehr als 3 Achsen gefunden.

Um den Geschwindigkeitseinfluss zu kompensieren, wurden geschwindigkeitskorrigierte Pegel für 30 km/h berechnet und unter Verwendung eines Pegelanstieges von 2 dB pro 10 km/h Geschwindigkeitsanstieg in die Tabelle eingefügt. Die Differenzen dieser korrigierten Lmax Pegel verglichen mit den niedrigsten Leistungsklassen sind ebenfalls in Tabelle 20 gezeigt. Für 3achsige Fahrzeuge ist die Differenz von einer Leistungsklasse zur nächsten 1,7 bis 2 dB(A), resultierend in einer 5,4 dB(A) Differenz zwischen der höchsten und der untersten Leistungsklasse. Die Differenz zwischen den 2 Achsklassen für sNfz in der höchsten Leistungsklasse ist unter 1 dB(A).

Eine höhere Differenz wurde für beide Klassen für frei fließenden Verkehr gefunden (siehe Bild 46, Tabelle 21 und Tabelle 22). Bild 46 zeigt die individuellen Lmax Pegel über der Geschwindigkeit mit Regressionskurven, Tabelle 21 zeigt die mittleren Lmax Pegel zusammen mit den geschwindigkeitskorrigierten Pegeln für 75 km/h, unter Verwendung derselben Geschwindigkeitskorrektur wie für die beschleunigenden Fahrzeuge. Tabelle 22 enthält für die Vergleichbarkeit die geschwindigkeitskorrigierten Pegel für beide Fahrzustände

Für 3-achsige Fahrzeuge ist die Differenz von einer Leistungsklasse zur nächsten 0,7 bis 1,1 dB(A), resultierend in eine 3,9 dB(A) Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Leistungsklasse. Diese Differenzen sind kleiner als die Differenzen für beschleunigende Fahrzeuge, was zu dem Schluss führt, dass die „in-use“ Geräuschpegel bei 75 km/h bereits vom Reifen-Fahrbahn-Geräusch beeinflusst sind. Der Unterschied zwischen den beiden Achsklassen für sNfz in der höchsten Leistungsklasse bei 75 km/h frei fließender Verkehr ist 1,1 dB(A), was ebenfalls ein Hinweis für den Einfluss von Reifen-Fahrbahn-Geräusch ist.

HDV subcategory	number of vehicles	average speed in km/h	average Lmax in dB(A)	speed corrected Lmax in dB(A) for 30 km/h	Delta L in dB(A)
HDV up to 3 axles, Pn < 100 kW	13	31.1	76.0	75.8	0.0
HDV up to 3 axles, 100 kW <= Pn < 150 kW	128	30.6	77.9	77.8	2.0
HDV up to 3 axles, 150 kW <= Pn < 250 kW	99	28.9	79.2	79.5	3.7
HDV up to 3 axles, Pn >= 250 kW	30	28.4	80.9	81.2	5.4
HDV more than 3 axles, Pn >= 250 kW	235	26.9	81.2	81.8	6.0

Tabelle 20: mittlere Lmax Pegel beschleunigender sNfz für verschiedene Unterkategorien (Zulassungsjahr > 1995)

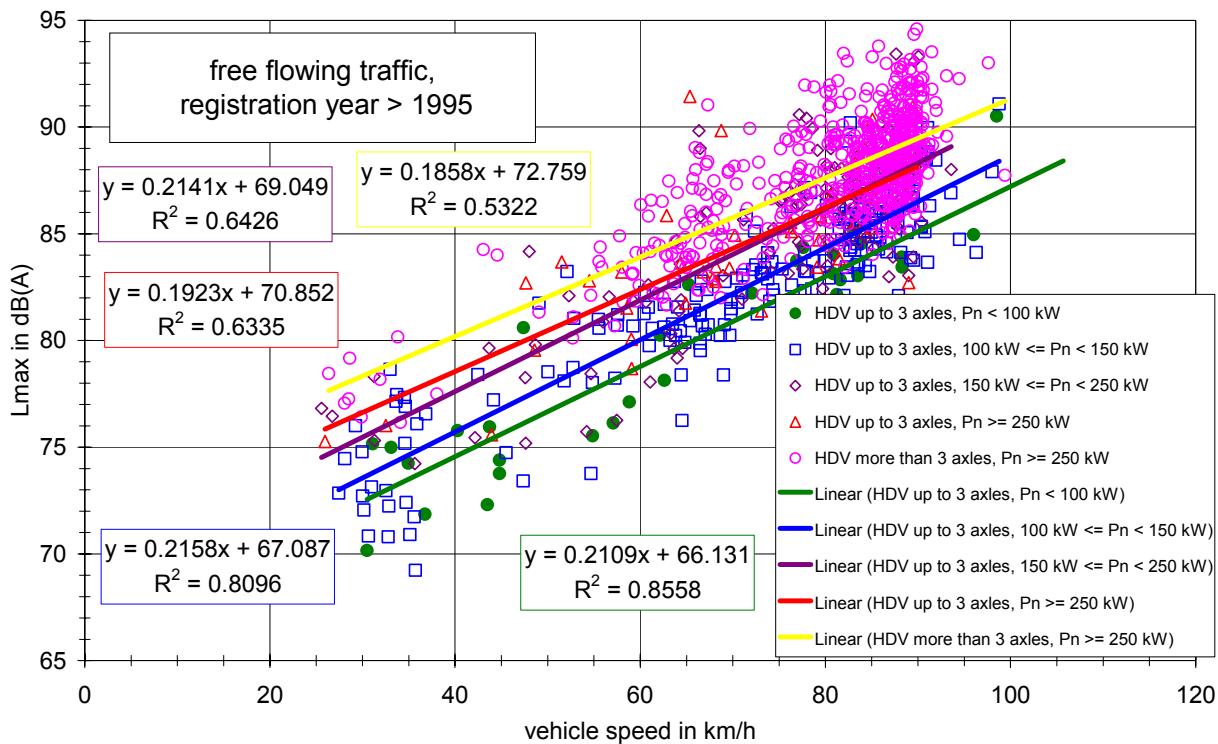


Bild 46: Vorbeifahrtpegel von sNfz in frei fließendem Verkehr für verschiedene Subkategorien (Zulassungsjahr > 1995)

HDV subcategory	number of vehicles	average speed in km/h	L_{max} in dB(A)	speed corrected L_{max} in dB(A) for 75 km/h	Delta L in dB(A)
HDV up to 3 axles, $P_n < 100$ kW	33	65.4	80.0	81.9	0.0
HDV up to 3 axles, $100 \text{ kW} \leq P_n < 150$ kW	197	71.3	82.5	83.2	1.1
HDV up to 3 axles, $150 \text{ kW} \leq P_n < 250$ kW	130	75.4	85.2	85.1	3.2
HDV up to 3 axles, $P_n \geq 250$ kW	52	72.9	84.9	85.3	3.9
HDV more than 3 axles, $P_n \geq 250$ kW	575	81.0	87.8	86.6	5.0

Tabelle 21: mittlere L_{max} Pegel von SNfz in frei fließendem Verkehr für verschiedene Subkategorien (Zulassungsjahr > 1995)

HDV subcategory	L_{max} at 30 km/h in dB(A), accelerating vehicles	Delta L in dB(A)	L_{max} at 75 km/h in dB(A), free flowing traffic	Delta L in dB(A)
HDV up to 3 axles, $P_n < 100$ kW	75.8	0.0	81.9	0.0
HDV up to 3 axles, $100 \text{ kW} \leq P_n < 150$ kW	77.8	2.0	83.2	1.1
HDV up to 3 axles, $150 \text{ kW} \leq P_n < 250$ kW	79.5	3.7	85.1	3.2
HDV up to 3 axles, $P_n \geq 250$ kW	81.2	5.4	85.3	3.9
HDV more than 3 axles, $P_n \geq 250$ kW	81.8	6.0	86.6	5.0

Tabelle 22: mittlere L_{max} Pegel von beschleunigenden SNfz in frei fließendem Verkehr für verschiedene Subkategorien (Zulassungsjahr > 1995)

3.2.3.2 Ergebnisse für verschiedene Emissionsstufen

Zusätzlich wurde eine Auswertung in jeder der vorgeschlagenen Nennleistungs- und Achsklassen für Fahrzeuge, die vor 1990, zwischen 1990 und 1995 und nach 1995 zugelassen wurden, durchgeführt. Diese Zeitperioden sind ähnlich wie andere Grenzwertperioden. Die Ergebnisse für beschleunigende Zustände sind in Bild 47 bis Bild 49 gezeigt und in Tabelle 23 zusammengefasst. Die Delta L Werte beziehen sich auf aufeinander folgende Zulassungsjahrklassen vor 1990. Die Geschwindigkeitskorrekturen in Tabelle 23 wurden in der gleichen Weise vorgenommen, wie im vorherigen Kapitel beschrieben.

Für die Leistungsklassen unter 250 kW und sNfz mit 3 Achsen kann ein Vergleich für heutige Fahrzeuge und Fahrzeuge, zugelassen vor 1990, deren Typprüfgeräuschgrenzwerte differieren um 8 dB(A). der mittlere Vorbeifahrtpegel für Beschleunigungen zwischen 20 und 40 km/h für heutige Fahrzeuge sind 3,3 bis 4,2 dB(A) niedriger als für Fahrzeuge, die vor 1990 registriert wurden. Die Differenzen nehmen mit zunehmender Leistungsklasse ab. Das bedeutet, dass die Geräuschreduktion im realen Verkehr für diese Fahrzeuge höher ist, als für Pkw oder INfz, und das die Verringerung des Typprüfgeräuschgrenzwertes effektiver war. Das ist nicht der Fall für sNfz mit Nennleistungswerten über 250 kW. Für diese Fahrzeuge betrug die letzte Grenzwertsenkung 4 dB(A), resultierend in einer Reduktion von „in-use“ - Emissionen für Beschleunigungen bei geringen Geschwindigkeiten von nur 0,9 bis 1,4 dB(A).

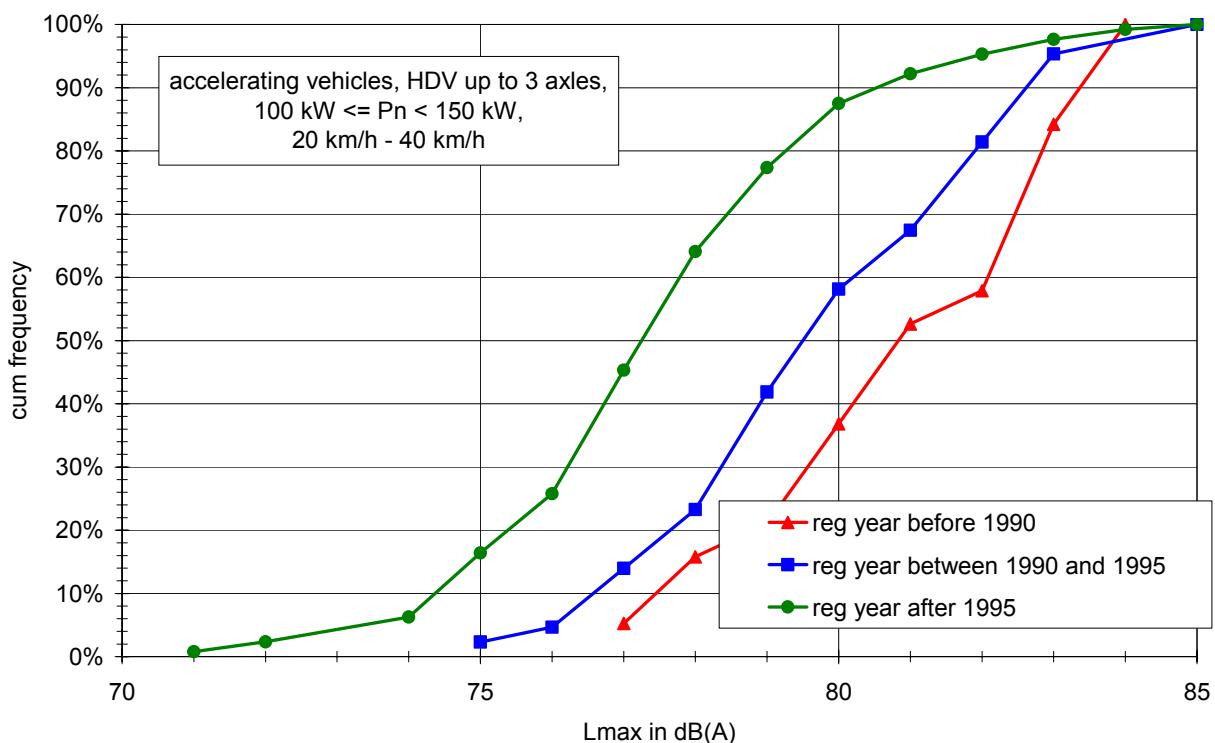


Bild 47: Verteilung der Vorbeifahrtpegel von sNfz mit bis zu 3 Achsen, $100 \text{ kW} \leq \text{Nennleistung} < 150 \text{ kW}$ für verschiedene Zulassungsjahrperioden

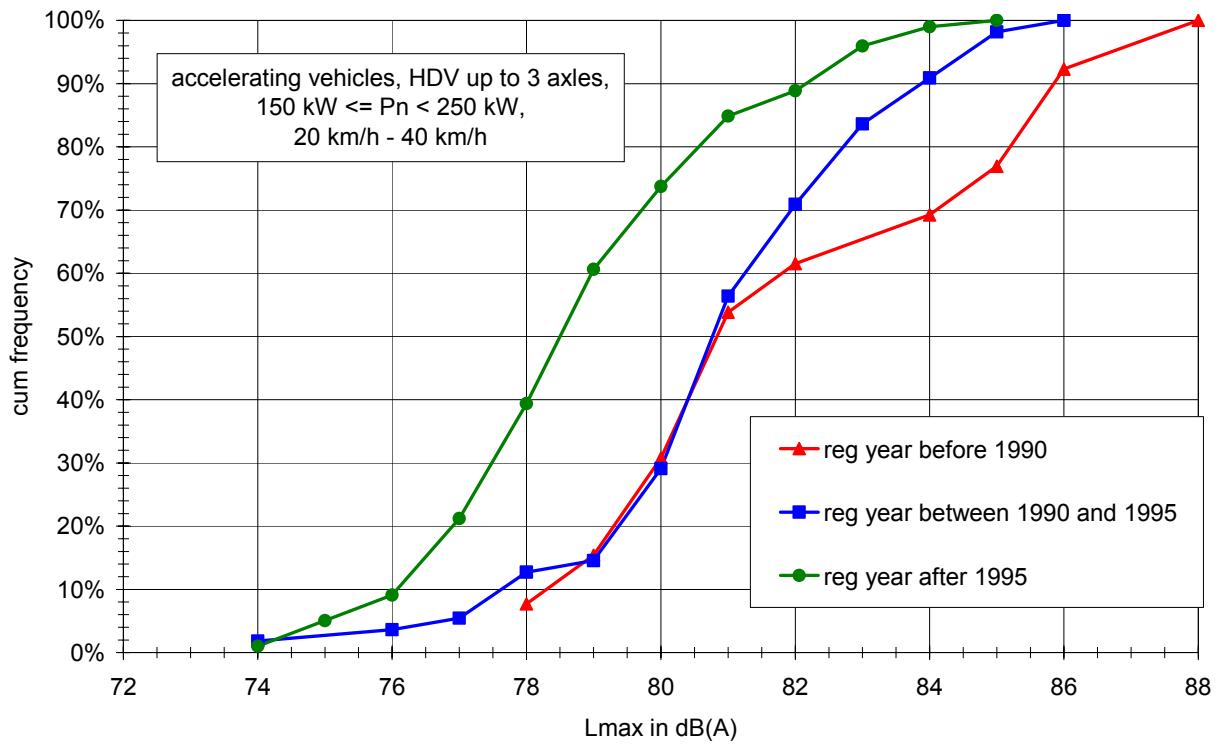


Bild 48: Verteilung der Vorbeifahrtpegel von sNfz mit bis zu 3 Achsen, $150 \text{ kW} \leq$ Nennleistung $> 250 \text{ kW}$ für verschiedene Zulassungsjahrperioden

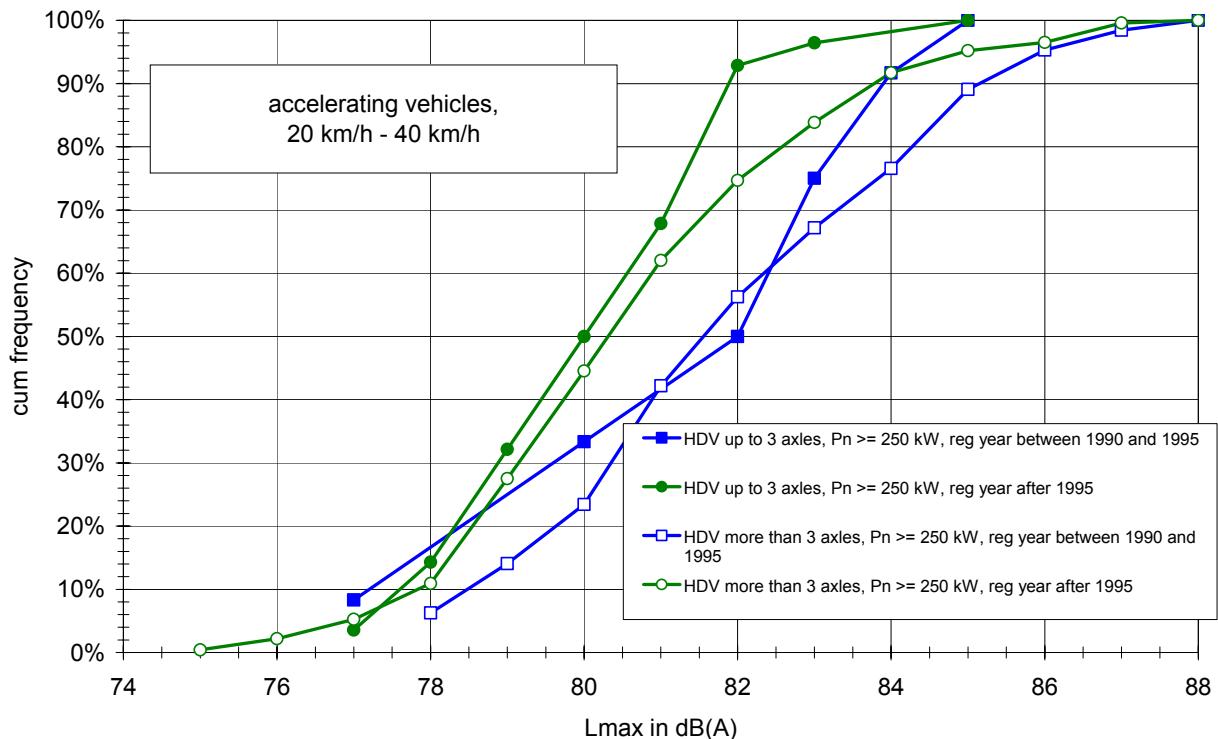


Bild 49: Verteilung der Vorbeifahrtpegel von sNfz mit Nennleistungen $\geq 250 \text{ kW}$ für verschiedene Zulassungsjahrperioden

HDV subcategory	registration year	number of vehicles	average rated power in kW	average engine capacity in cm ³	average speed in km/h	average Lmax in dB(A)	speed corrected Lmax in dB(A) for 30 km/h	Delta L in dB(A)	Noise limit in dB(A)
HDV up to 3 axles, Pn < 100 kW	before 1990	17	67.7	3877	30.2	80.3	80.3		86
	between 1990 and 1995	47	83.4	4678	31.3	78.9	78.7	-1.6	83
	after 1995	14	82.4	3588	31.1	76.3	76.1	-2.6	78
HDV up to 3 axles, 100 kW <= Pn < 150 kW	before 1990	19	115.6	6027	29.2	81.2	81.4		86
	between 1990 and 1995	43	115.4	5772	30.3	80.1	80.1	-1.3	83
	after 1995	128	112.6	4490	30.6	77.9	77.8	-2.3	78
HDV up to 3 axles, 150 kW <= Pn < 250 kW	before 1990	13	182.5	11033	27.5	82.3	82.8		88
	between 1990 and 1995	55	188.6	9450	29.0	81.3	81.5	-1.3	84
	after 1995	99	191.6	7554	28.9	79.2	79.5	-2.1	80
HDV up to 3 axles, Pn >= 250 kW	before 1990								88
	between 1990 and 1995	12	273.4	13512	29.2	81.9	82.1		84
	after 1995	30	297.3	12676	28.4	80.9	81.2	-0.9	80
HDV more than 3 axles, Pn >= 250 kW	before 1990								88
	between 1990 and 1995	65	287.6	12962	26.2	82.4	83.2		84
	after 1995	232	308.2	12440	27.0	81.2	81.8	-1.4	80

Tabelle 23: mittlere Lmax Werte beschleunigender sNfz verschiedener Subkategorien und Zulassungsjahrperioden

Korrespondierende Ergebnisse wie oben werden in Bild 50 dargestellt und in Tabelle 24 für frei fließenden Verkehr gezeigt. Das Bild gibt ein Beispiel für sNfz mit bis zu 3 Achsen und Nennleistungen zwischen 150 und 250 kW. Die gemittelten und geschwindigkeitskorrigierten Werte für 70 km/h werden in der Tabelle gezeigt. Die Geschwindigkeitskorrekturen wurden in der gleichen Weise gemacht wie schon oben beschrieben (2 dB pro 10 km/h). Für die 3 Leistungsklassen

Wie bei den Beschleunigungsvorgängen enthalten die Leistungsklassen unter 250 kW und sNfz mit 3 Achsen ebenfalls die Ergebnisse für Fahrzeuge die vor 1990 zugelassen wurden. Die „in-use“ Geräuschabnahme zwischen heutigen Fahrzeugen und jenen von vor 1990 ist nur halb so groß wie die für beschleunigende Fahrzeuge erreichte. Diese signifikante Verschlechterung der Effektivität der Grenzwertsenkung ist sehr wahrscheinlich durch der größeren Reifen-Fahrbahn-Geräuscheinfluss für diesen Fahrzustand bedingt. Für Fahrzeuge mit Nennleistungen über 250 kW ist die Differenz zu heutigen Fahrzeugen und der vorherigen Emissionsstufe in der gleichen Größenordnung wie für beschleunigende Fahrzeuge, was bedeutet, dass sie eher gering ist.

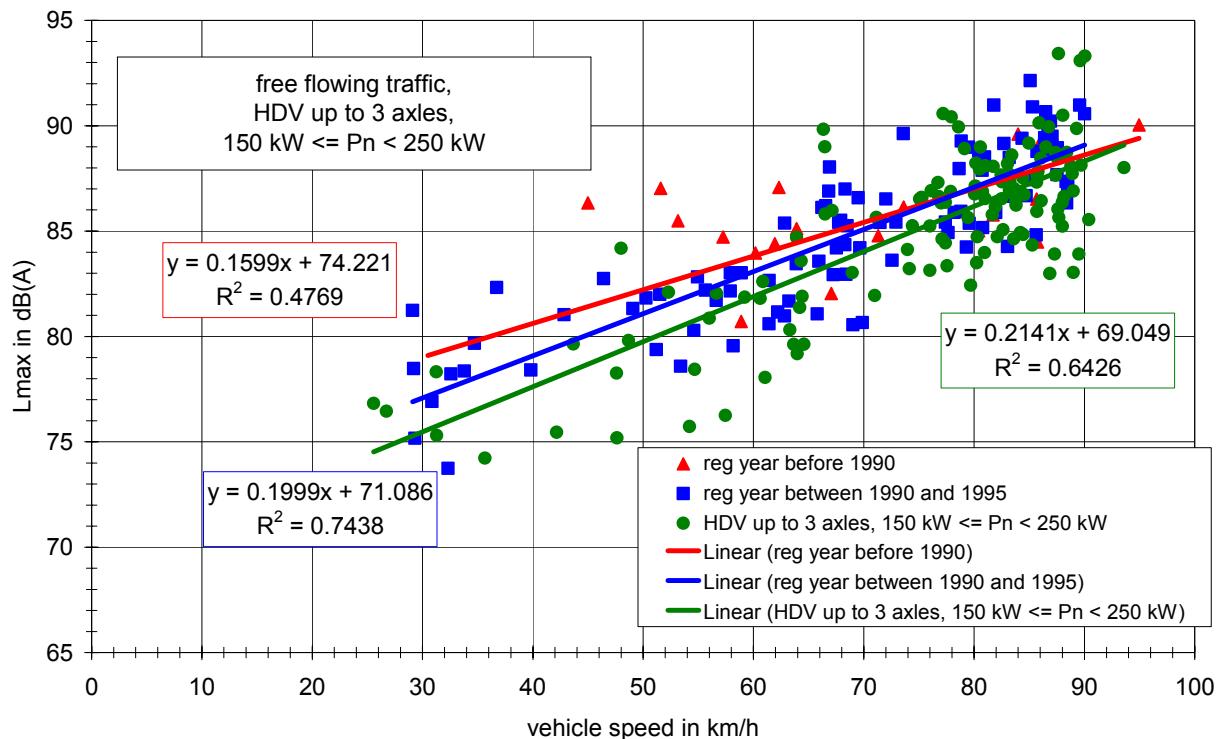


Bild 50: Vorbeifahrtpegel für sNfz mit bis zu 3 Achsen, 150 kW \leq Nennleistung $<$ 250 kW für verschiedene Zulassungsperioden

HDV subcategory	registration year	number of vehicles	average rated power in kW	average engine capacity in cm ³	average speed in km/h	average Lmax in dB(A)	speed corrected Lmax in dB(A) for 70 km/h	Delta L in dB(A)	Noise limit in dB(A)
HDV up to 3 axles, Pn < 100 kW	before 1990	32	69.8	4142	57.9	80.4	82.8		86
	between 1990 and 1995	59	82.2	4576	68.7	82.7	83.0	0.1	83
	after 1995	33	84.0	3019	65.4	80.0	80.9	-2.0	78
HDV up to 3 axles, 100 kW \leq Pn < 150 kW	before 1990	36	109.2	6262	62.3	81.5	83.0		86
	between 1990 and 1995	100	114.1	5663	70.1	83.1	83.1	0.0	83
	after 1995	197	114.3	4595	71.3	82.5	82.2	-0.8	78
HDV up to 3 axles, 150 kW \leq Pn < 250 kW	before 1990	23	175.8	11082	70.0	85.4	85.4		88
	between 1990 and 1995	95	186.2	9715	68.4	84.8	85.1	-0.3	84
	after 1995	130	187.3	7770	75.4	85.2	84.1	-1.0	80
HDV up to 3 axles, Pn \geq 250 kW	before 1990								88
	between 1990 and 1995	19	266.7	12418	65.8	84.1	85.0		84
	after 1995	52	281.2	11832	72.9	84.9	84.3	-0.7	80
HDV more than 3 axles, Pn \geq 250 kW	before 1990								88
	between 1990 and 1995	100	288.2	13273	76.6	88.4	87.1		84
	after 1995	575	304.1	12352	81.0	87.8	85.6	-1.5	80

Tabelle 24: mittlere Lmax Pegel für sNfz im frei fließenden Verkehr für verschiedene Unterkategorien und Zulassungsperioden

3.2.3.3 Fahrzeugtypen

Die Fahrzeugtypen betreffend, wurde die gleiche Methode wie für die Pkw und INfz angewandt. Das bedeutet innerhalb einer Achsklasse wurde ein Typ definiert mit gleichem Hubraum und Nennleistung. Für beschleunigende Fahrzeuge wurden die Lmax Werte sowie die Geschwindigkeiten zwischen 20 und 40 km/h gemittelt und für 30 km/h geschwindigkeitskorrigierte Pegel berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 und Tabelle 26 für Typen mit mindestens 10 Fahrzeugen aufgeführt. Die Differenz zwischen dem lautesten und dem leisesten Typ beträgt 4,4 dB(A) für sNfz mit bis zu 3 Achsen und 1,8 dB(A) für sNfz mit mehr als 3 Achsen. Die 4,4 dB(A) Differenz kann durch Unterschiede bei der Nennleistung oder beim Hubraum erklärt werden (siehe Bild 51 and Bild 52). Der unerklärte Rest der Varianzen liegt bei 2 dB(A). Dieser Rest kann nicht für „in-use“ Geräuschmessungen und solch kleine Stichproben vermindert werden.

number of axles	vehicle type number	rated power in kW	engine capacity in cm ³	number of vehicles	average vehicle sped in km/h	average Lmax in dB(A)	up to 3 axles, speed corrected Lmax in dB(A) for 30 km/h
up to 3	1	100	3908	14	31.5	76.9	76.6
	2	100	4249	12	34.3	77.6	76.8
	3	105	5861	13	31.5	77.7	77.4
	4	112	4249	25	31.3	78.5	78.2
	5	114	4580	14	30.5	77.9	77.8
	6	170	6374	19	30.2	79.8	79.7
	7	205	6374	24	28.8	78.9	79.2
	8	230	11946	10	27.6	80.5	80.9

Tabelle 25: mittlere Lmax Pegel beschleunigender sNfz mit bis zu 3 Achsen für verschiedene Fahrzeugtypen, Zulassungsjahr > 1995

number of axles	vehicle type number	rated power in kW	engine capacity in cm ³	number of vehicles	average vehicle sped in km/h	average Lmax in dB(A)	more than 3 axles, speed corrected Lmax in dB(A) for 30 km/h
more than 3	1	290	11946	26	28.7	81.0	81.3
	2	294	11967	30	26.4	81.3	82.0
	3	301	11967	40	26.2	81.0	81.8
	4	309	11705	13	26.5	81.1	81.8
	5	315	11946	20	26.1	79.8	80.6
	6	338	12816	12	27.8	81.7	82.1
	7	350	15928	12	27.2	80.5	81.1
	8	390	15928	10	26.2	79.6	80.3

Tabelle 26: mittlere Lmax Pegel beschleunigender sNfz mit mehr als 3 Achsen für verschiedene Fahrzeugtypen, Zulassungsjahr > 1995

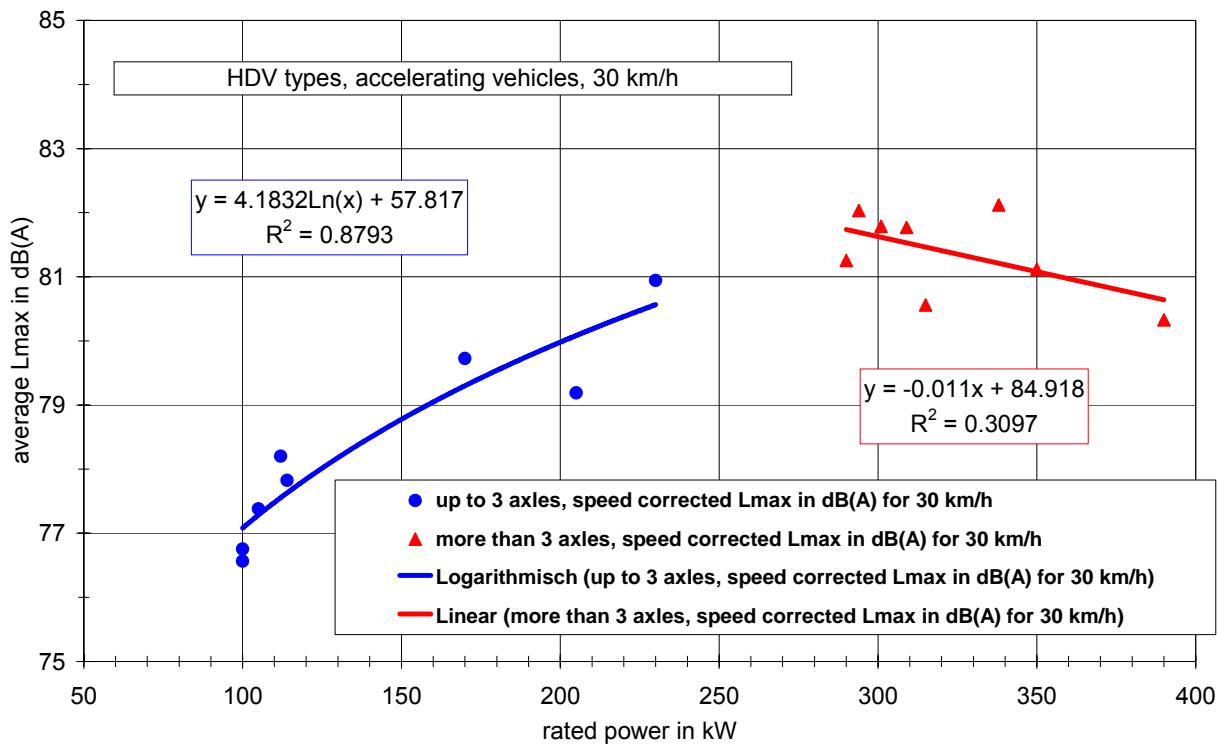


Bild 51: mittlere L_{max} Pegel beschleunigender sNfz mit bis zu 3 Achsen für verschiedene Fahrzeugtypen über der Nennleistung , Zulassungsjahr > 1995

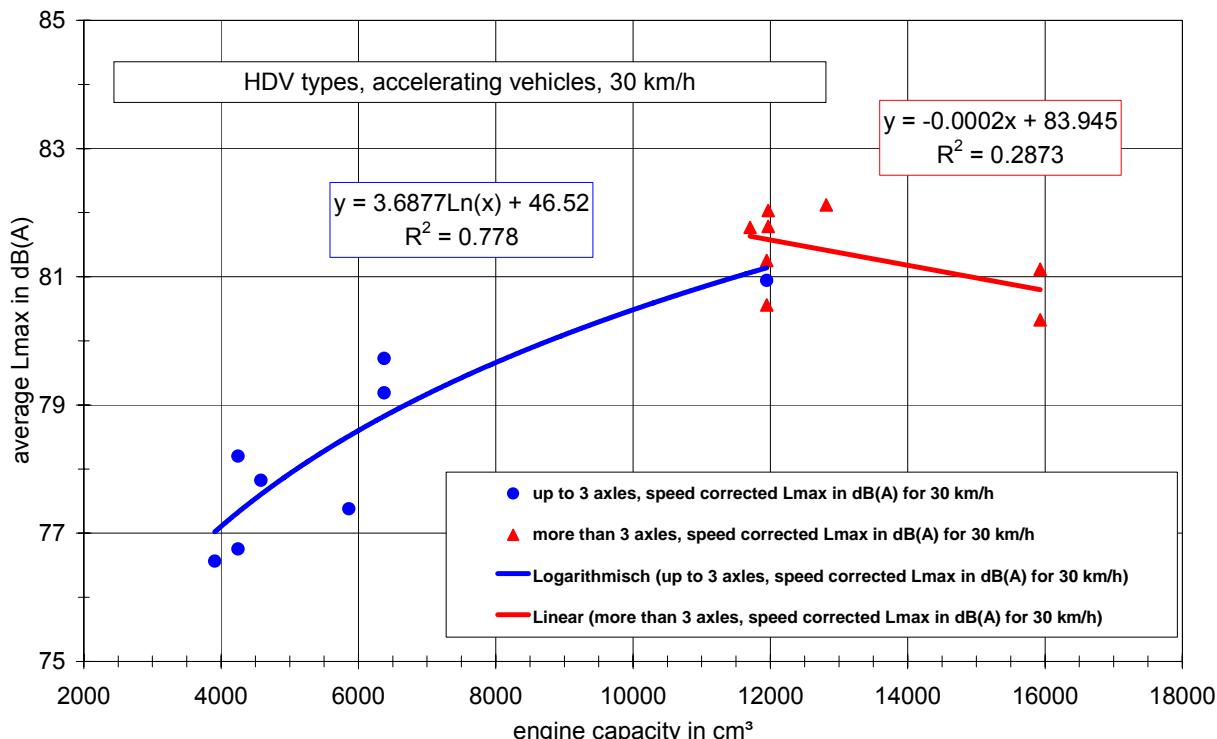


Bild 52: mittlere L_{max} Pegel beschleunigender sNfz mit bis zu 3 Achsen für verschiedene Fahrzeugtypen über dem Hubraum, Zulassungsjahr > 1995

Korrespondierende Ergebnisse für frei fließenden Verkehr sind in Tabelle 27 und Tabelle 28 gezeigt. Die Einflüsse von Nennleistung und Hubraum sind in Bild 53 und Bild 54 dargestellt. Die Differenz zwischen den lautesten und dem leisesten Typ ist 3,5 dB(A) für sNfz mit bis zu 3 Achsen und 2,3 dB(A) für sNfz mit mehr als 3 Achsen und kann ebenfalls teilweise mit Unterschieden im Hubraum und der Nennleistung erklärt werden.

Die Schlussfolgerung ist die gleiche wie für Pkw und INfz: Es gibt keine typabhängigen Unterschiede in der „in-use“ Geräuschemission.

number of axles	vehicle type number	rated power in kW	engine capacity in cm ³	number of vehicles	average vehicle sped in km/h	average Lmax in dB(A)	up to 3 axles, speed corrected Lmax in dB(A) for 70 km/h
up to 3	1	90	2874	10	64.8	79.8	80.8
	2	100	3908	13	63.7	80.2	81.5
	3	100	4249	11	78.4	83.8	82.2
	4	105	5861	12	69.3	82.3	82.4
	5	112	4249	31	73.6	82.8	82.1
	6	114	4580	31	69.0	81.6	81.8
	7	125	4249	18	73.3	83.7	83.1
	8	125	4249	14	69.6	82.8	82.9
	9	162	6871	14	79.1	85.4	83.6
	10	170	6374	23	70.2	84.0	84.0
	11	205	6374	13	79.0	85.4	83.6
	12	230	11946	11	75.6	85.5	84.4

Tabelle 27: mittlere Lmax Pegel sNfz mit bis zu 3 Achsen im frei fließenden Verkehr für verschiedene Fahrzeugtypen, Zulassungsjahr > 1995

number of axles	vehicle type number	rated power in kW	engine capacity in cm ³	number of vehicles	average vehicle sped in km/h	average Lmax in dB(A)	more than 3 axles, speed corrected Lmax in dB(A) for 80 km/h
more than 3	1	260	11946	23	78.6	87.3	87.6
	2	279	12130	12	80.8	86.2	86.1
	3	280	14618	30	76.9	87.7	88.3
	4	290	11946	99	80.6	87.3	87.2
	5	294	11967	29	83.9	87.8	87.1
	6	294	11705	15	82.8	88.4	87.8
	7	301	11967	42	77.1	87.0	87.6
	8	309	12130	16	83.5	88.6	88.0
	9	309	11705	10	84.9	88.8	87.9
	10	315	11946	80	80.3	87.6	87.6
	11	315	12580	27	86.6	89.1	87.8
	12	316	10308	13	81.6	87.5	87.2
	13	338	12816	38	80.3	87.8	87.7
	14	350	15928	15	81.5	88.5	88.2

Tabelle 28: mittlere Lmax Pegel sNfz mit mehr als 3 Achsen im frei fließenden Verkehr für verschiedene Fahrzeugtypen, Zulassungsjahr > 1995

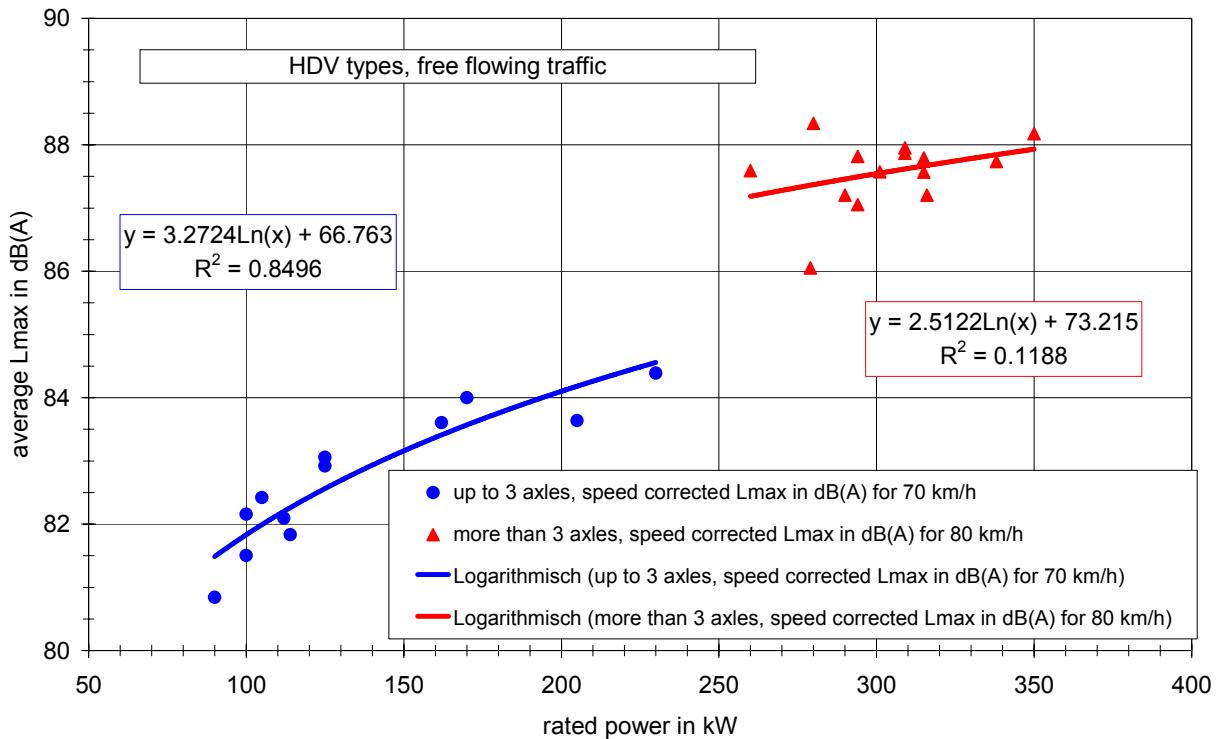


Bild 53: mittlere L_{max} Pegel sNfz mit bis zu 3 Achsen im frei fließenden Verkehr für verschiedene Fahrzeugtypen über Nennleistung, Zulassungsjahr > 1995

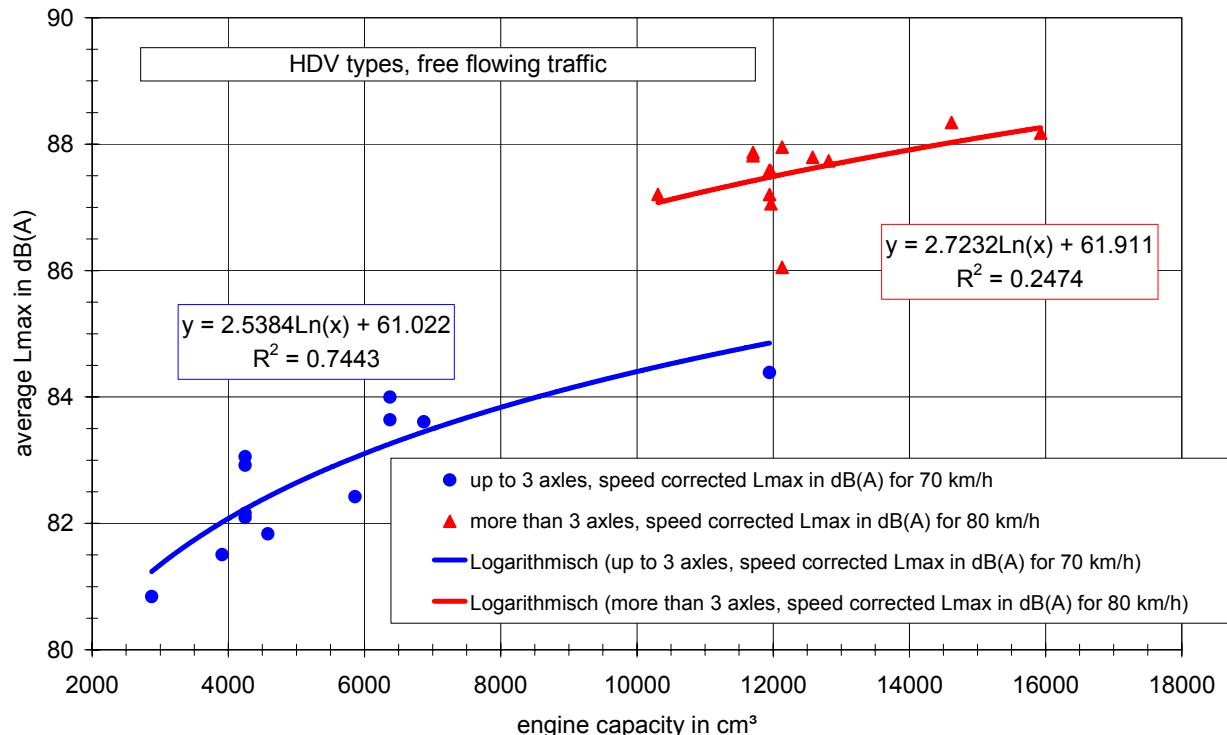


Bild 54: mittlere L_{max} Pegel sNfz mit mehr als 3 Achsen im frei fließenden Verkehr für verschiedene Fahrzeugtypen über Hubraum, Zulassungsjahr > 1995

3.2.3.4 „In-use“ Geräuschpegel auf Autobahnen mit und ohne Steigung

Um die „in-use“ Geräuschpegel für sNfz auf Autobahnen mit Steigung zu erhalten wurden zwei Messplätze an Autobahnen mit einer positiven Steigung von etwa 4% eingerichtet. Die Ergebnisse werden in Bild 55 und Bild 56 mit den Ergebnissen dreier anderer flacher Autobahnmessstellen für die zwei Achsklassen der sNfz als individuelle Lmax Pegel über der Geschwindigkeit verglichen. Wie man erwarten konnte, zeigen die Ergebnisse der Bergaufmessstellen eine geringere Steigung für die Geschwindigkeitsabhängigkeit als die flachen Messorte. Dies bedeutet, dass die Differenzen mit abnehmender Geschwindigkeit zunehmen. Die Differenz war etwa 3 dB(A) bei 50 km/h für die sNfz Stichprobe mit bis zu 3 Achsen und unter 3 dB(A) für sNfz mit mehr als 3 Achsen. Der Grund ist, dass die Fahrzeuge bergauf versuchen mit der größtmöglichen Geschwindigkeit zu fahren und das benötigt mehr Leistung und produziert mehr Lärm als bei flachen Bedingungen. Aber anders als bei vorherigen Messkampagnen hat ein Großteil der Fahrzeugstichprobe heutzutage genügend Leistung um Steigungen von 4% mit maximaler Geschwindigkeit hinaufzufahren.

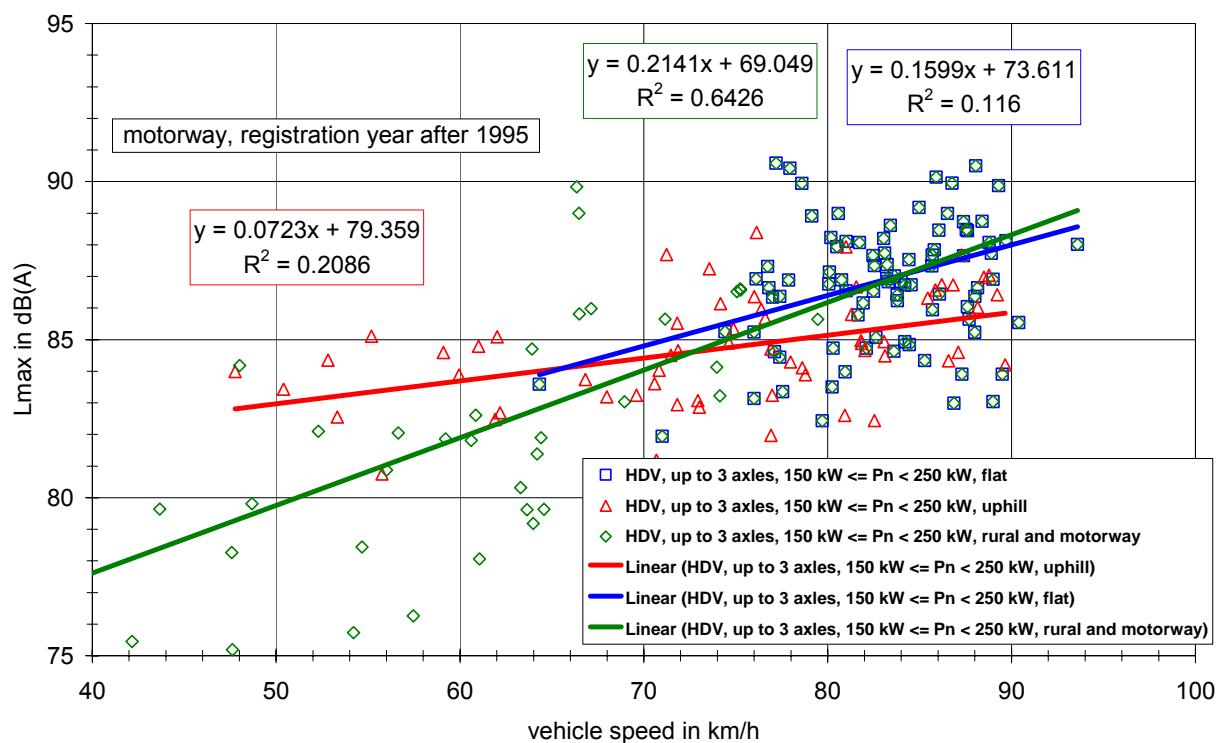


Bild 55: Vergleich der Lmax Pegel von sNfz mit bis zu 3 Achsen auf Autobahnen mit und ohne Steigung

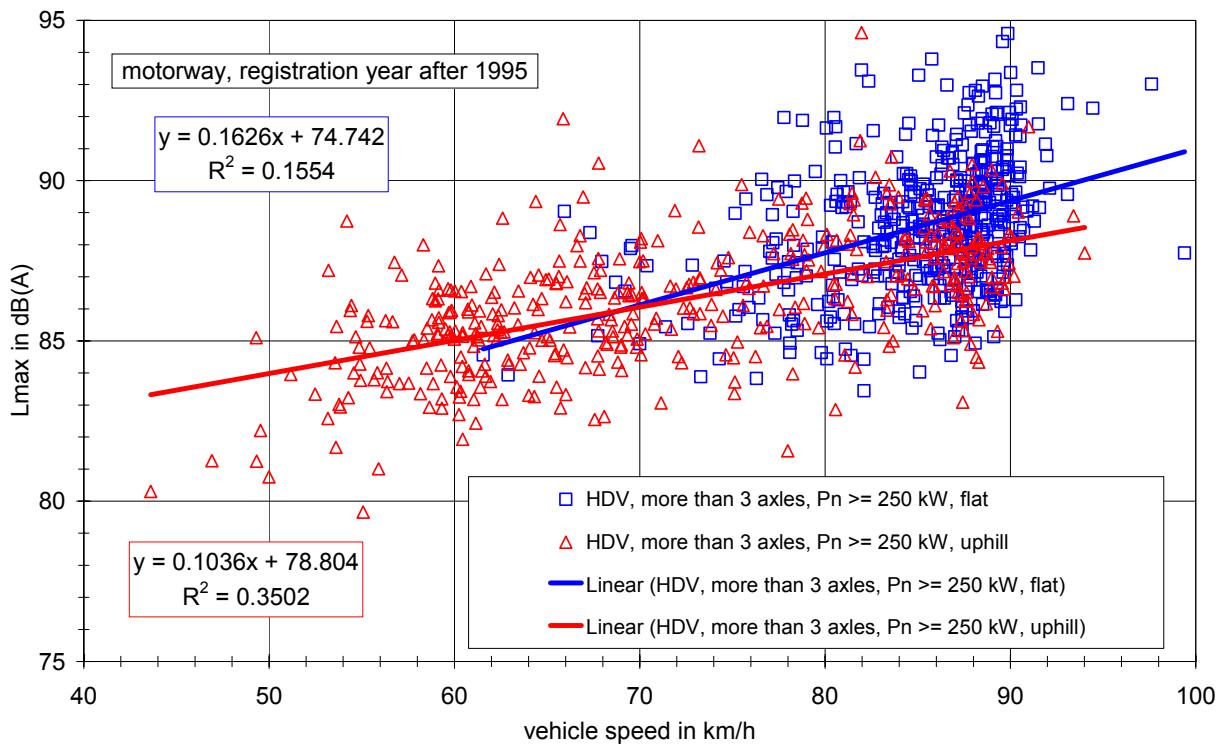


Bild 56: Vergleich der L_{max} Pegel von sNfz mit mehr als 3 Achsen auf Autobahnen mit und ohne Steigung

3.2.4 Motorräder

Die Motorradstichprobe, für die technische Daten erhältlich waren, enthielt 392 Fahrzeuge. Es wurde eine Auswertung im Hinblick auf Nennleistung, Hubraum und Zulassungsjahr. Für die Nennleistung wurden folgende Klassen definiert:

1. $P_n \leq 25$ kW,
2. $25 \text{ kW} < P_n \leq 50$ kW,
3. $50 \text{ kW} < P_n \leq 75$ kW,
4. $P_n > 75$ kW

Bild 57 zeigt die Ergebnisse für vier verschiedene Nennleistungsklassen. Die Differenzen in den Regressionskurven sind nicht signifikant. Die großen Varianzen der individuellen Ergebnisse sind teilweise durch unterschiedliches Fahrverhalten und teilweise durch geräuschverstärkende Auspuff und /oder Ansauganlagen verursacht.

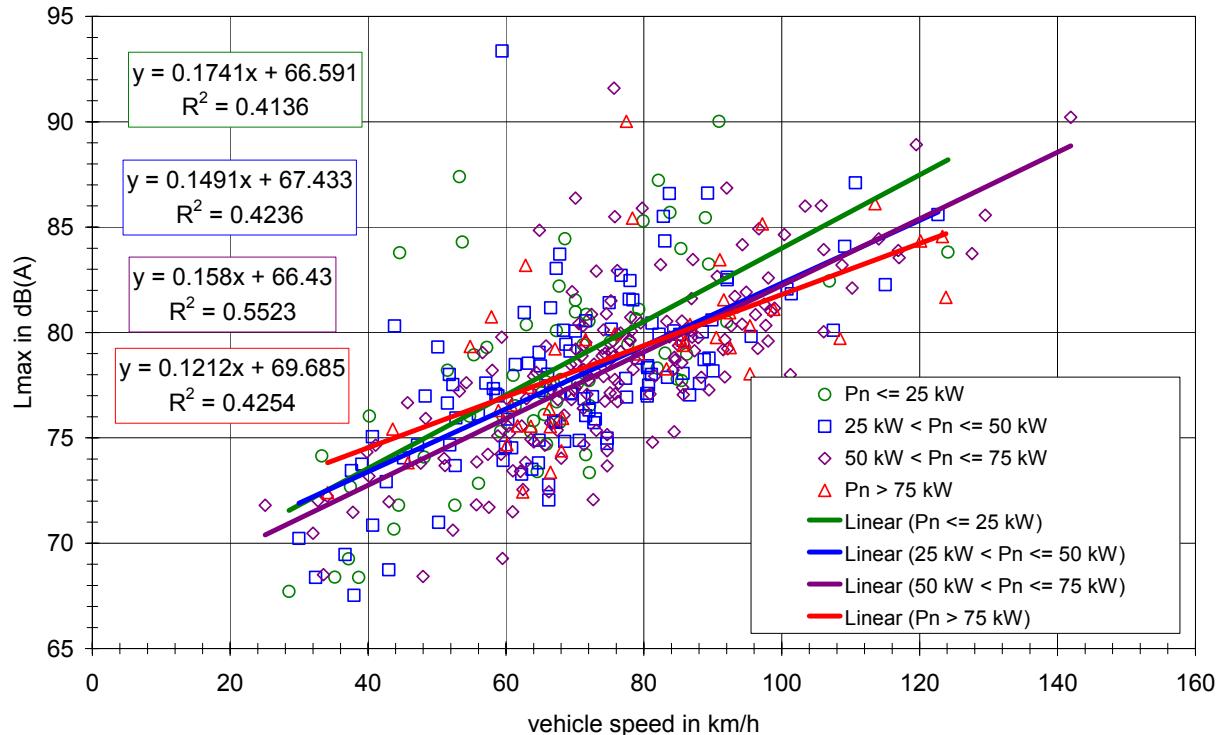


Bild 57: Vorbeifahrtpegel von Motorrädern für verschiedene Nennleistungsklassen

Für den Hubraum wurden folgende Klassen definiert:

1. Hubraum $\leq 125 \text{ cm}^3$,
2. $125 \text{ cm}^3 < \text{Hubraum} < 400 \text{ cm}^3$,
3. $400 \text{ cm}^3 \leq \text{Hubraum} < 750 \text{ cm}^3$,
4. $750 \text{ cm}^3 \leq \text{Hubraum} < 1000 \text{ cm}^3$,
5. Hubraum $\geq 1000 \text{ cm}^3$

Obwohl es uns bewusst ist, dass Motorräder bis 175 cm^3 und Motorräder über 175 cm^3 unterschiedliche Grenzwerte haben, wurde diese Grenze bei den Auswertungen ignoriert, weil nur 7 Fahrzeuge mit einem Hubraum bis zu 175 cm^3 gemessen wurden.

Bild 58 zeigt die Ergebnisse für diese fünf verschiedenen Hubraumklassen. Die Regressionskurven für die Hubraumklassen 1, 3, 4 und 5 haben nahezu die gleiche Steigung, die für 3 und 4 sind identisch. Klasse 1 Fahrzeuge haben etwas höhere Pegel, Klasse 5 Fahrzeuge haben etwas kleinere Leistungspegel als die Klassen 3 und 4. Die Differenzen zwischen den Regressionskurven sind nicht höher als 2 dB(A) für diese Klassen. Die Klasse 2 Fahrzeuge zeigen eine andere Geschwindigkeitsabhängigkeit, aber die Stichprobe ist so klein, dass die Differenz nicht als verlässlich betrachtet werden kann.

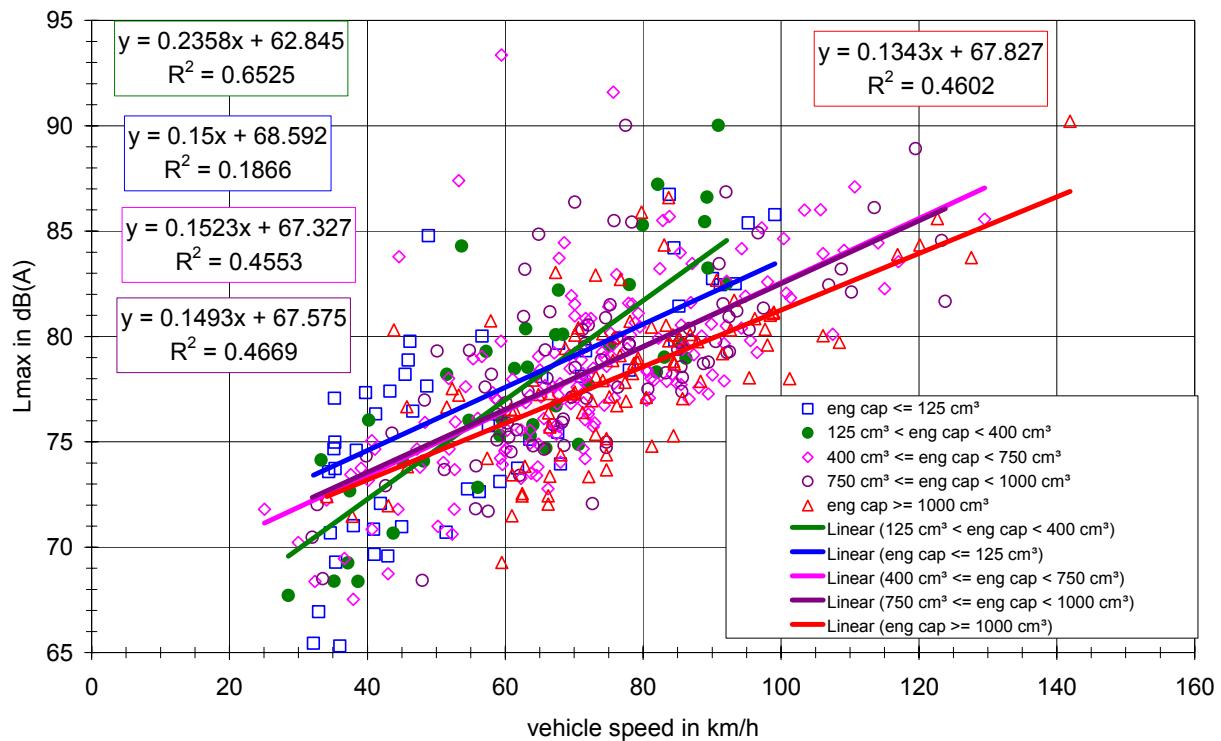


Bild 58: Vorbeifahrtpegel von Motorrädern für verschiedene Hubraumklassen

Das Zulassungsjahr betreffend wurden die folgenden drei Klassen analysiert:

- 0 < 1990 ,
- 0 1990 to 1995,
- 0 > 1995

Bild 59 zeigt die Ergebnisse. Obwohl der Unsicherheitsbereich wegen der kleinen Anzahl an Fahrzeugen keine Interpretation der Differenzen der Regressionskurven als signifikant zulässt, kann wenigstens ein Trend zu niedrigeren Vorbeifahrtpegeln für heutige Fahrzeuge bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h festgestellt werden.

Eine Fahrzeugtypanalyse konnte wegen der kleinen Fahrzeugstichprobe nicht durchgeführt werden.

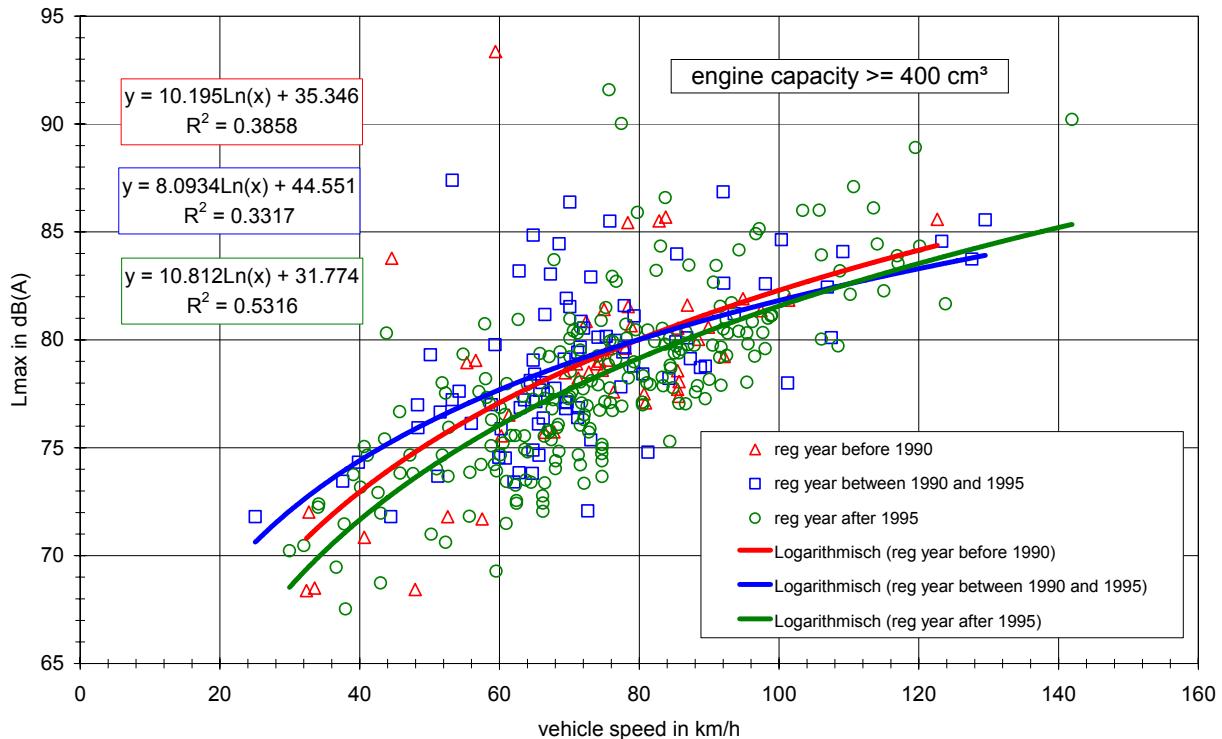


Bild 59: Vorbeifahrtpegel von Motorrädern für verschiedene Zulassungsperioden

3.3 Geräuschminderungseffekt von Drainaspalt gegenüber Splitt-Mastixasphalt

Eine Messstelle wurde bisher von der Analyse ausgeschlossen, ein Autobahnmessort mit Drainaspalt (maximale Korngröße 11 mm, DA 0/11). Der Minderungseffekt dieser Oberfläche soll durch einen Vergleich mit den Ergebnissen für Pkw, sNfz mit bis zu 3 Achsen und sNfz mit mehr als 3 Achsen an dieser Messstelle mit den Ergebnissen einer anderen Autobahnmessstelle mit einem Splitt-Mastixasphalt (maximale Korngröße 11 mm, DA 0/11) demonstriert werden. Die mittleren Geschwindigkeiten waren an beiden Messstellen für jede Fahrzeugkategorie nahezu gleich.

Die Ergebnisse für Pkw sind in Bild 60 dargestellt. Die Regressionskurve für DA 0/11 ist um etwa 8,5 dB(A) niedriger als die Regressionskurve für SMA 0/11. Die Ergebnisse für sNfz mit bis zu 3 Achsen und für mehr als 3 Achsen werden in Bild 61 gezeigt. Die Regressionskurve für DA 0/11 ist etwa 6,5 dB(A) niedriger als die Regressionskurve für SMA 0/11 für beide Achsklassen.

Vergleiche der mittleren Terzen für Pkw bei 125 km/h und sNfz bei 85 km/h werden in Bild 62 bis Bild 64 gezeigt. Die Spektren sind basiert auf einem Mittelwert zwischen 34 und 107 Fahrzeugen, abhängig von der Fahrzeugkategorie und der Belegsart. Der Minderungseffekt beginnt bei 800 Hz, für sNfz bei 630 Hz. Die größere Reduktion bei den Pkw resultiert aus der Tatsache, dass das Maximum bei 1000 Hz auf SMA 0/11 bei den Pkw stärker betont ist als bei den sNfz und dass dieses Maximum bei DA 0/11 komplett abgeschnitten ist.

Für Pkw ist die Variation der Ergebnisse bei gleicher Geschwindigkeit nahezu die Gleiche auf beiden Belägen. Für sNfz ist die Variation auf DA 0/11 signifikant höher als auf SMA 0/11. Der Grund für dafür wird klar, wenn man die ganze Bandweite der Spektren für einzelne Fahrzeuge auf jedem Belag und jeder Fahrzeugkategorie studiert. Die korrespondierenden Ergebnisse werden in Bild 65 bis Bild 73 gezeigt. Für Pkw arbeitet der Minderungseffekt über dem ganzen Variationsbereich, für sNfz ist das nicht der Fall. Die wahrscheinlichste Erklärung ist, dass die Minderung hauptsächlich für Rollgeräusche und kaum für Antriebsgeräusche wirkt und dass für einige sNfz in der Stichprobe das Antriebsgeräusch das dominierende war, zumindest bei 85 km/h.

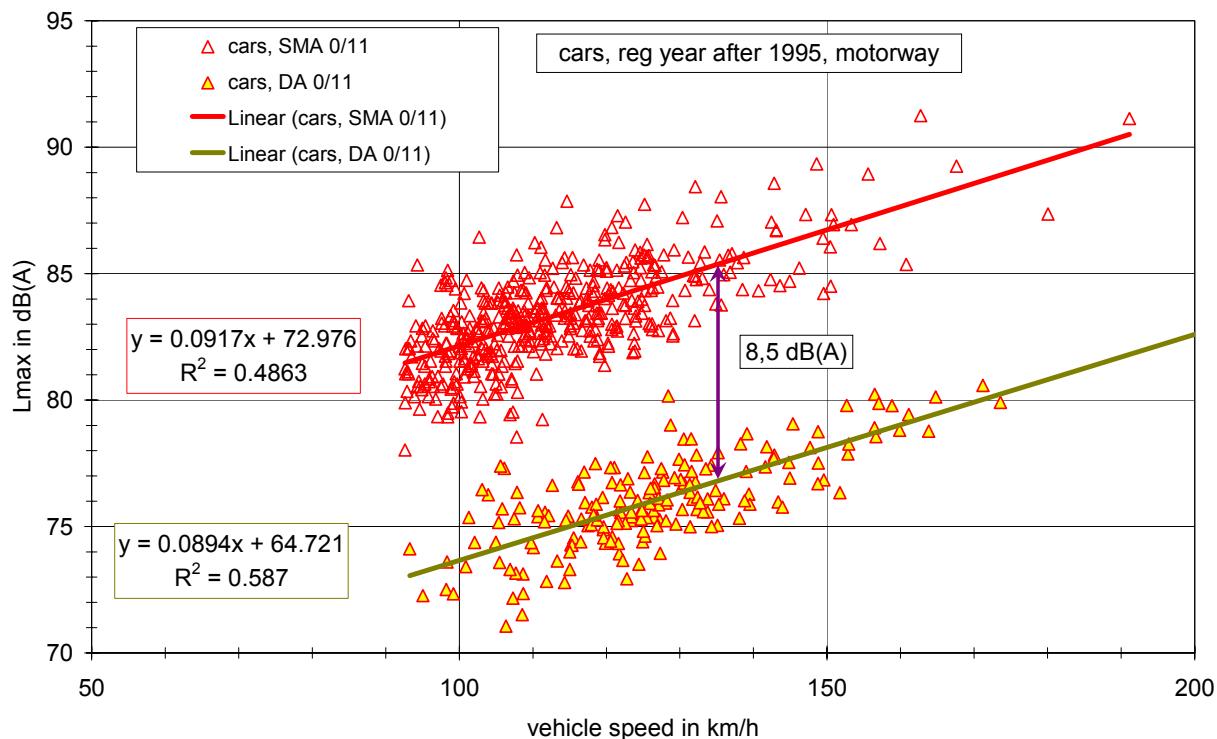


Bild 60: Vorbeifahrtpegel für Pkw an Autobahnmessstellen mit Drainasphalt und Splittmastixasphaltbelag (beide mit 11 mm maximale Korngröße, Zulassungsjahr nach 1995)

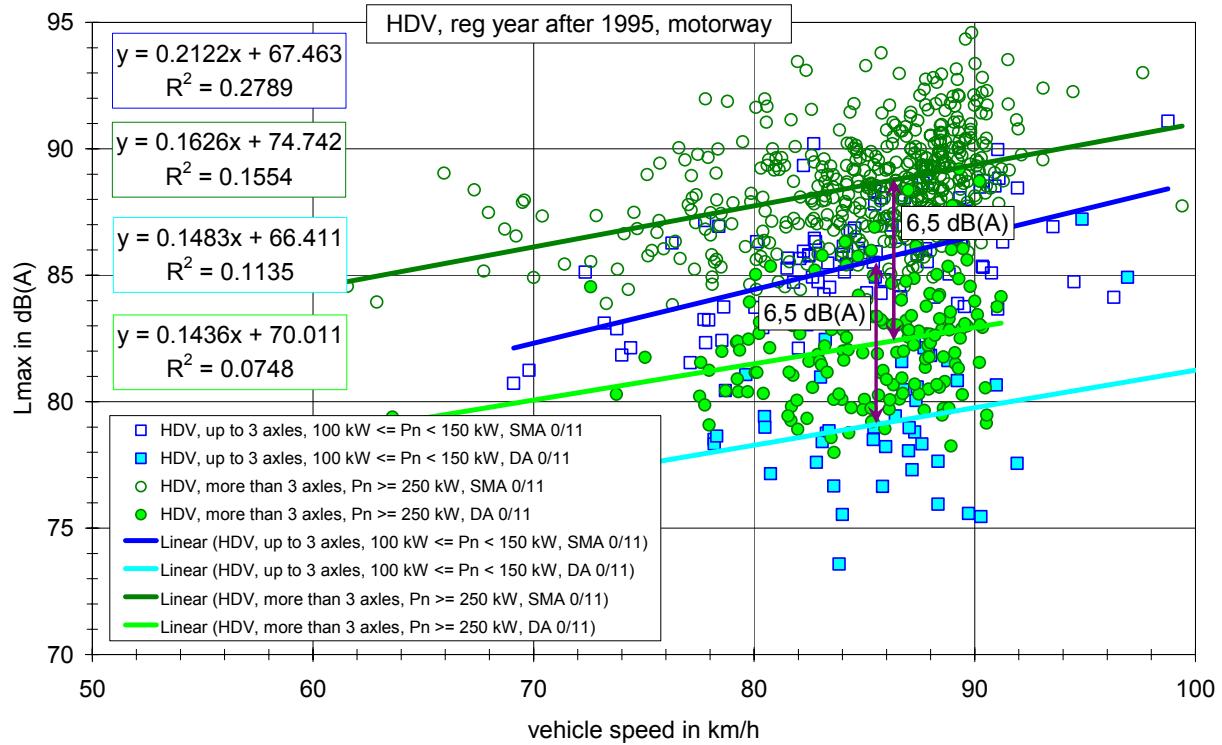


Bild 61: Vorbeifahrtpegel für sNfz an Autobahnmessstellen mit Drainasphalt und Splittmastixasphaltbelag (beide mit 11 mm maximale Korngröße, Zulassungsjahr nach 1995)

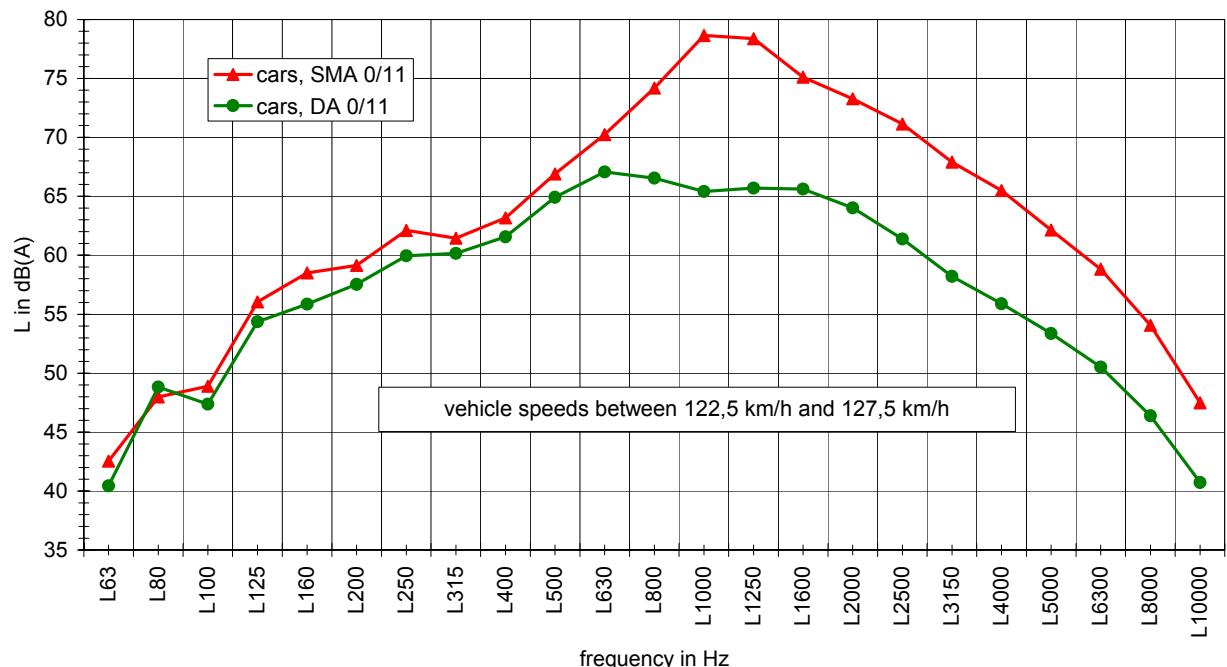


Bild 62: mittlere Frequenzspektren von Pkw auf Autobahnmessstellen mit Drainasphalt und Splittmastixasphalt (beide mit 11 mm maximale Korngröße)

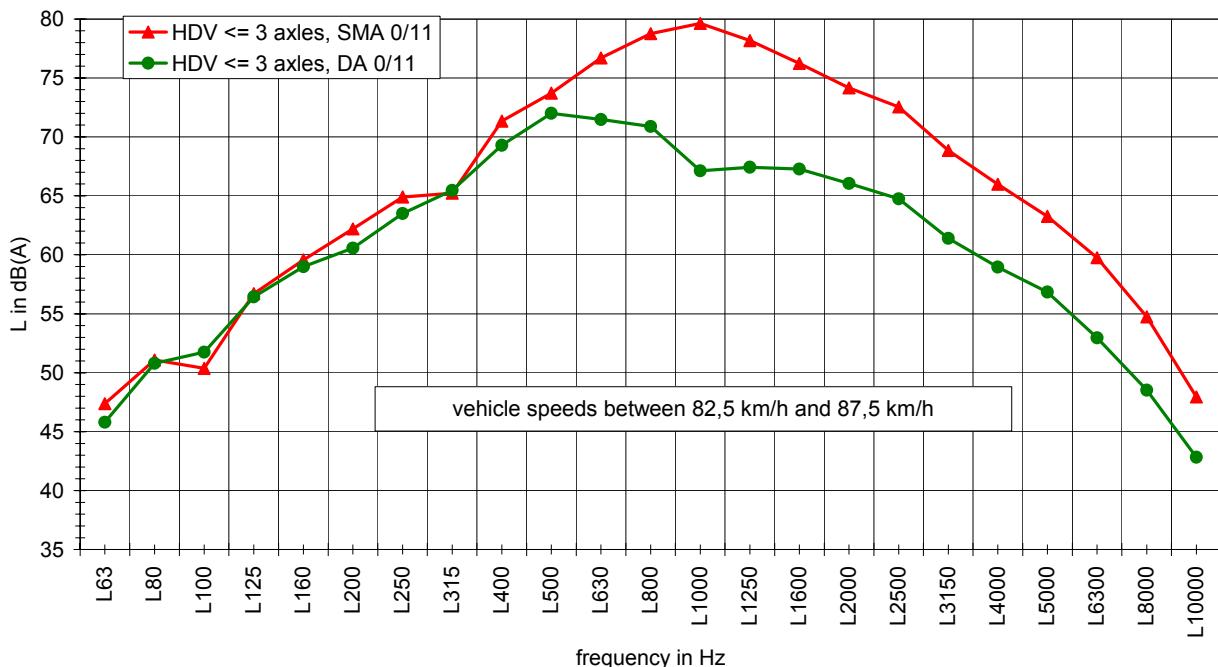


Bild 63: mittlere Frequenzspektren von sNfz mit bis zu 3 Achsen auf Autobahnmessstellen mit Drainasphalt und Splittmastixasphalt (beide mit 11 mm maximale Korngröße)

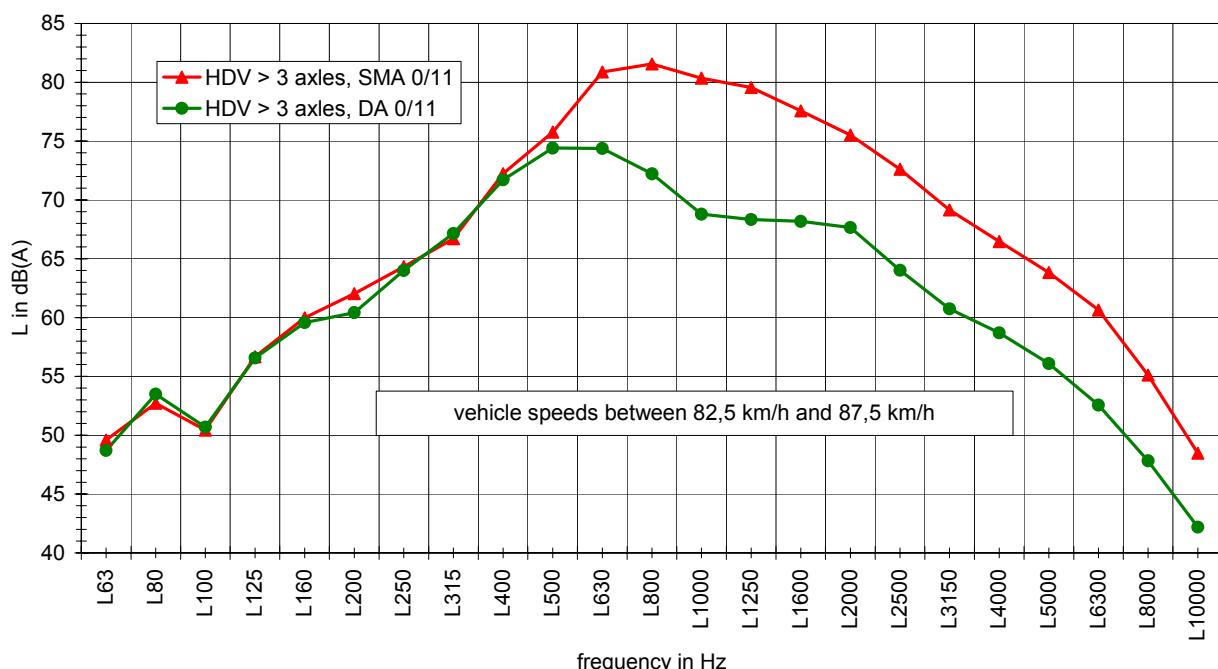


Bild 64: mittlere Frequenzspektren von sNfz mit mehr als 3 Achsen auf Autobahnmessstellen mit Drainasphalt und Splittmastixasphalt (beide mit 11 mm maximale Korngröße)

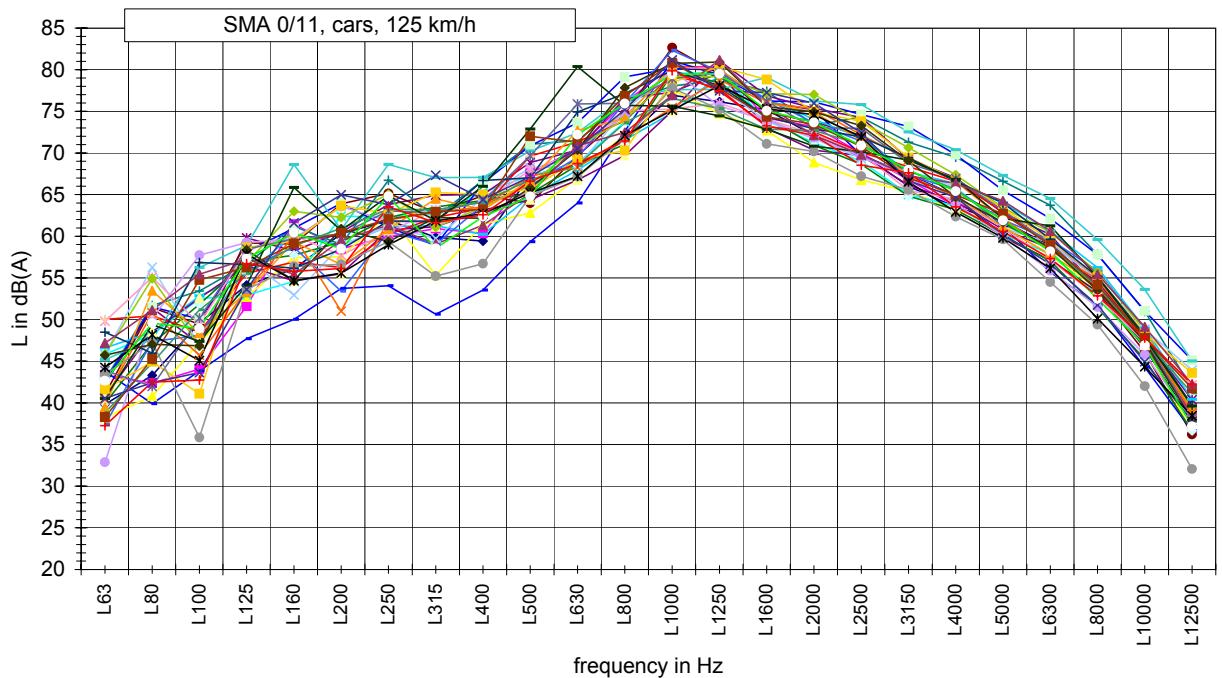


Bild 65: Frequenzspektren von Pkw auf einer Autobahnmessstelle mit Splittmastixasphalt (mit 11 mm maximale Korngröße)

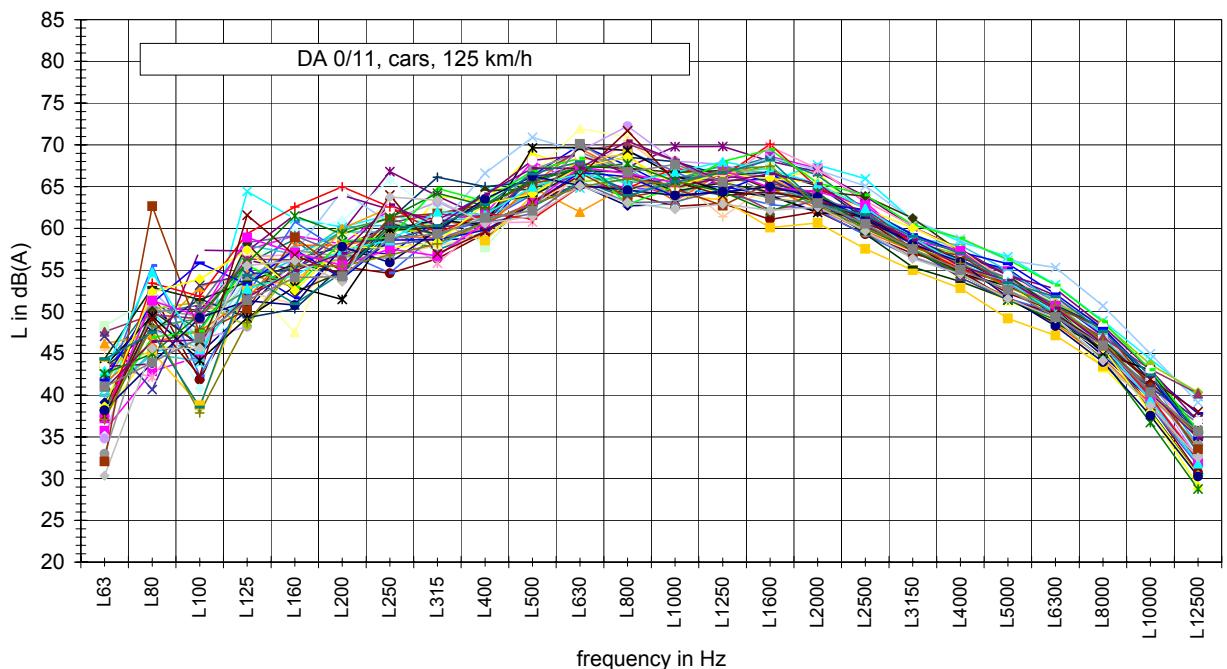


Bild 66: Frequenzspektren von Pkw auf einer Autobahnmessstelle mit Drainasphalt (mit 11 mm maximale Korngröße)

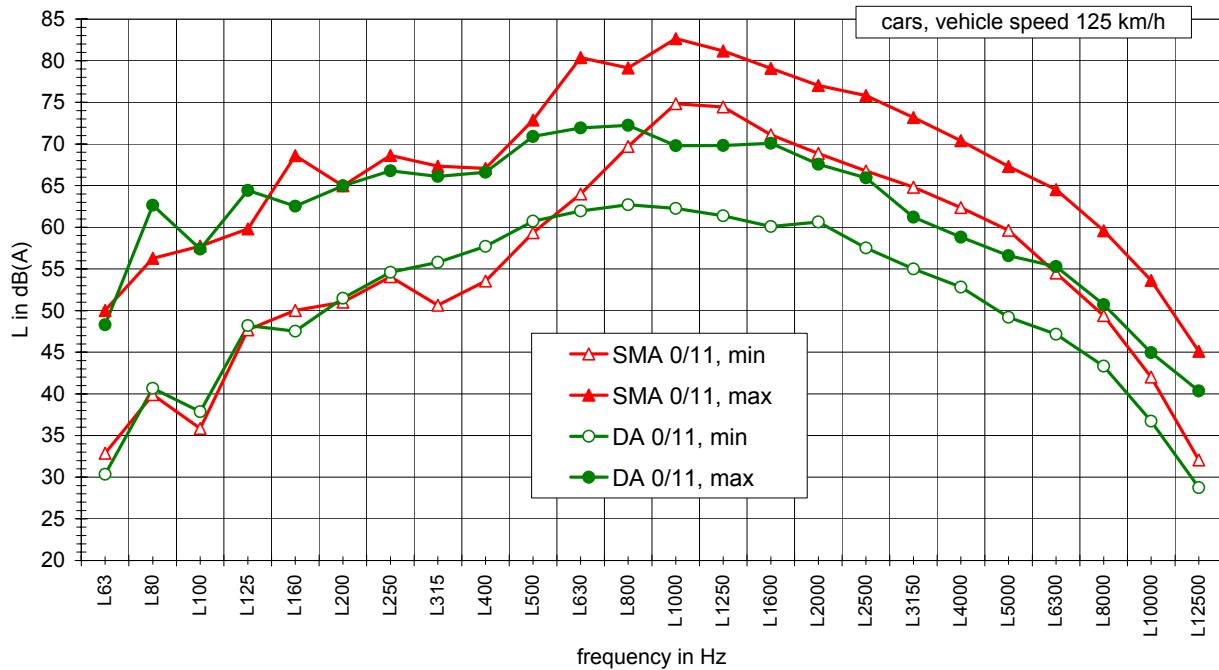


Bild 67: untere und obere Begrenzung des Frequenzspektren von Pkw an Autobahnmessstellen mit Splittmastixasphalt und Drainasphalt Belag (beide mit 11 mm maximale Korngröße)

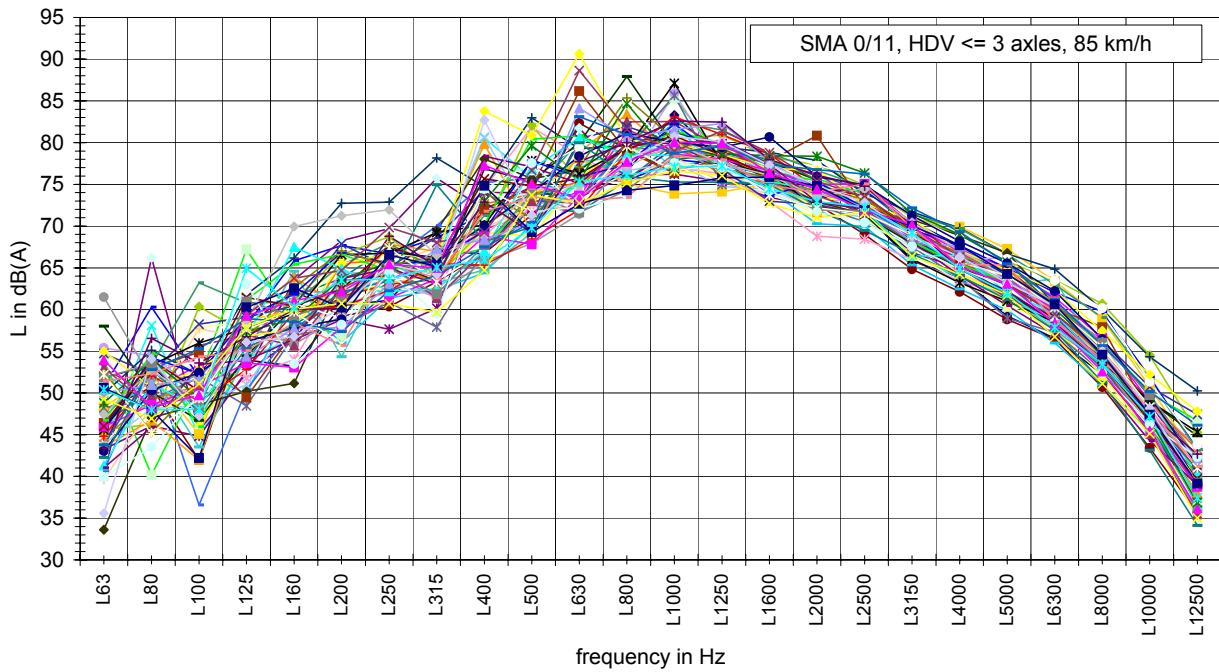


Bild 68: Frequenzspektren von sNfz mit bis zu 3 Achsen auf einer Autobahnmessstelle mit Splittmastixasphalt (mit 11 mm maximale Korngröße)

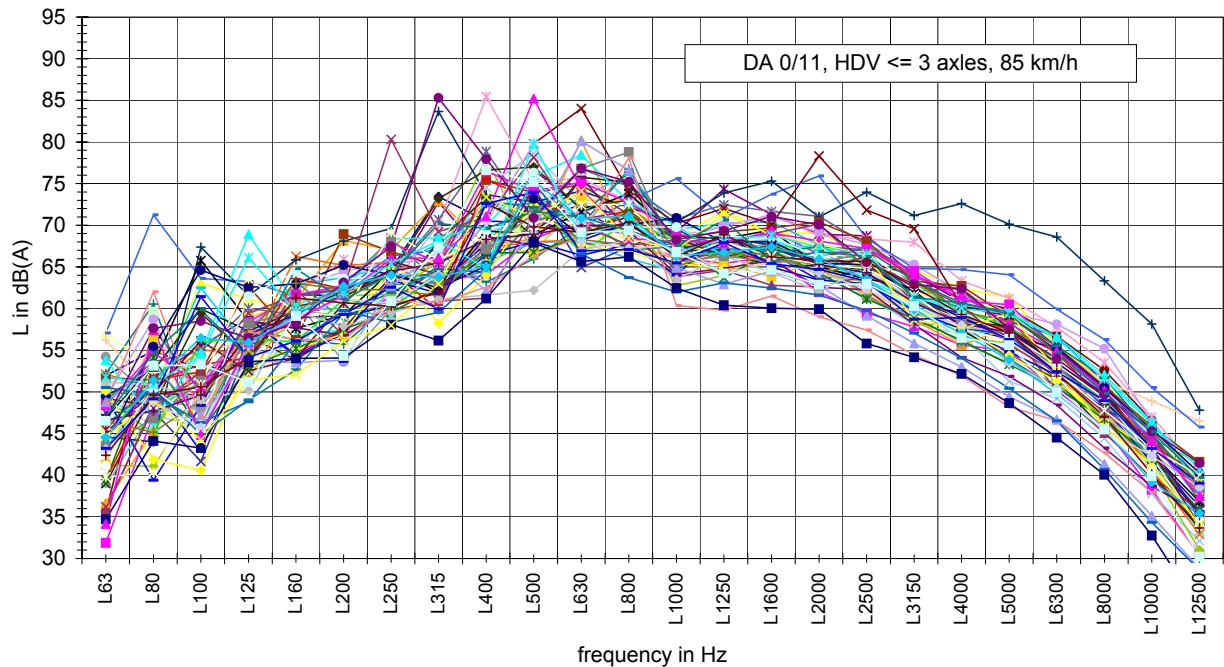


Bild 69: Frequenzspektren von sNfz mit mehr als 3 Achsen auf einer Autobahnmessstelle mit Drainasphalt (mit 11 mm maximale Korngröße)

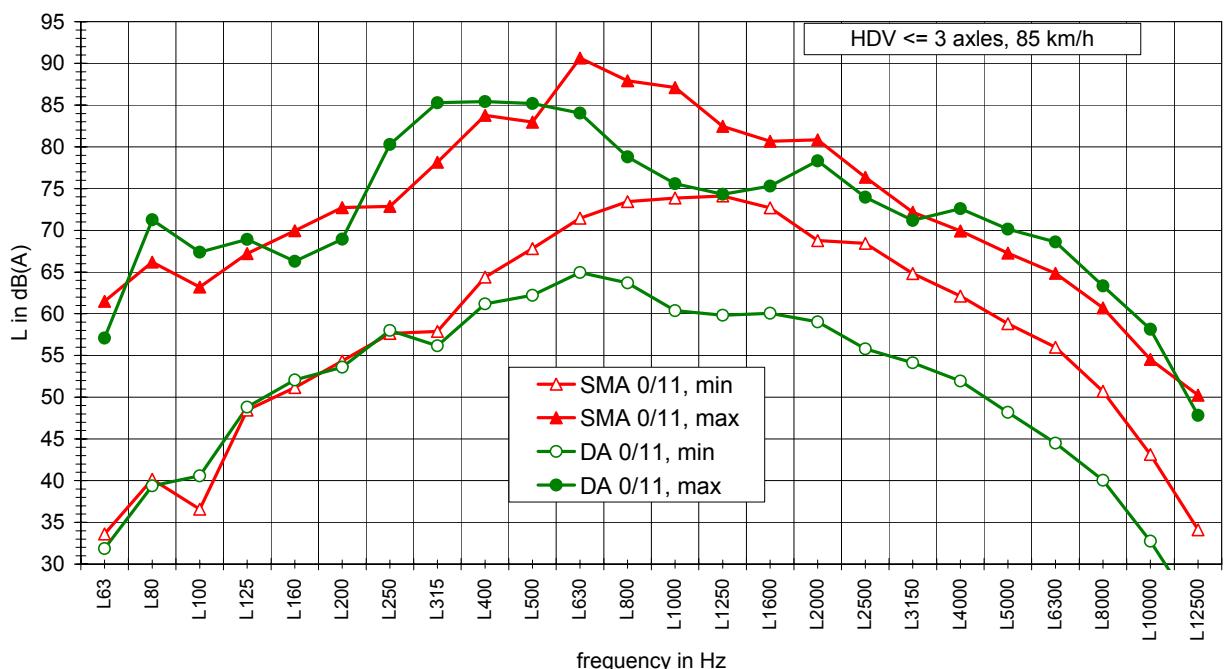


Bild 70: untere und obere Begrenzung der Frequenzspektren von sNfz mit bis zu 3 Achsen an Autobahnmessstellen mit Splittmastixasphalt und Drainasphalt Belag (beide mit 11 mm maximale Korngröße)

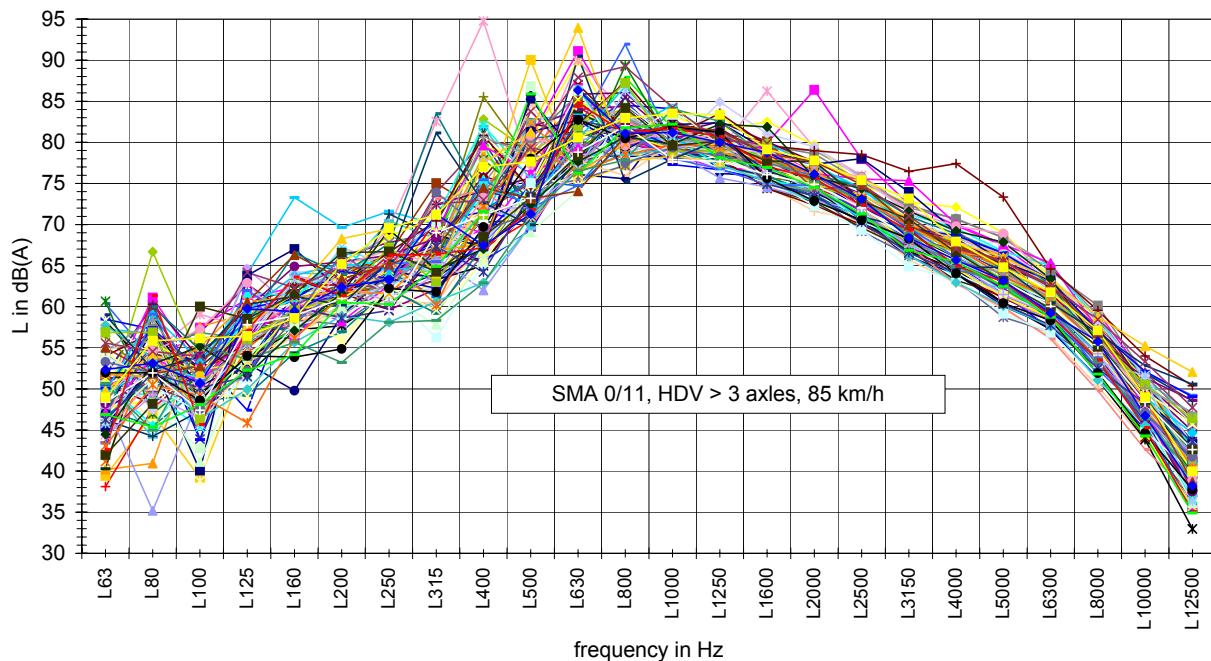


Bild 71: Frequenzspektren von sNfz mit mehr als 3 Achsen auf einer Autobahnmessstelle mit Splittmastixasphalt (mit 11 mm maximale Korngröße)

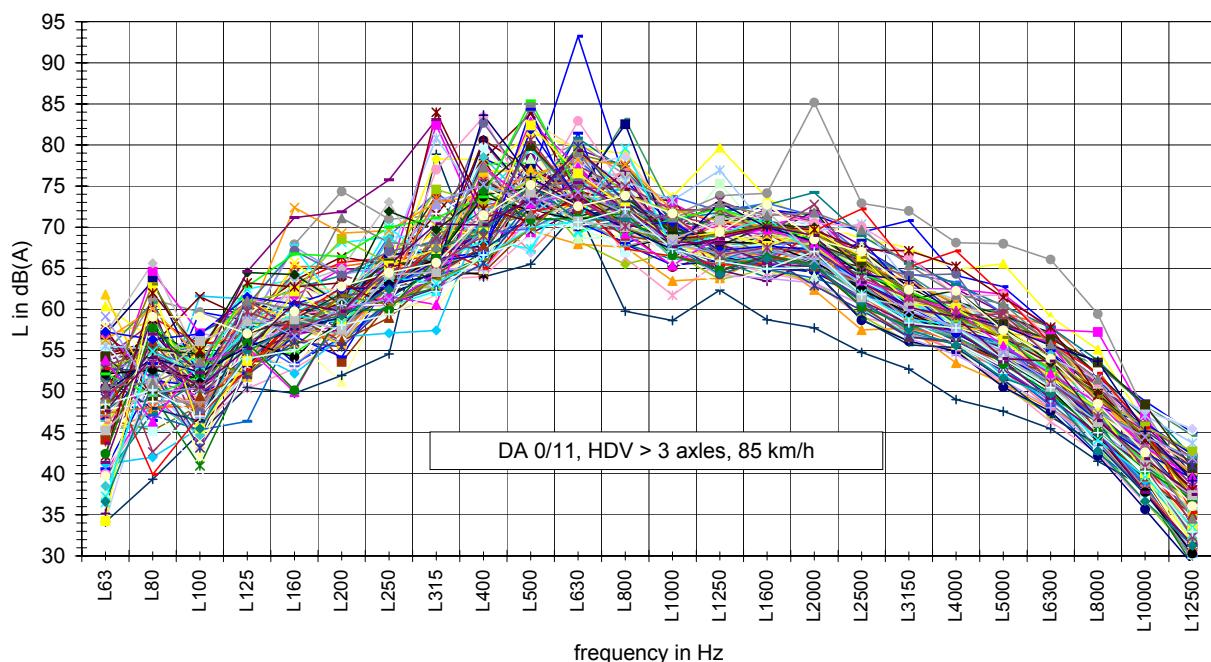


Bild 72: Frequenzspektren von sNfz mit mehr als 3 Achsen auf einer Autobahnmessstelle mit Drainasphalt (mit 11 mm maximale Korngröße)

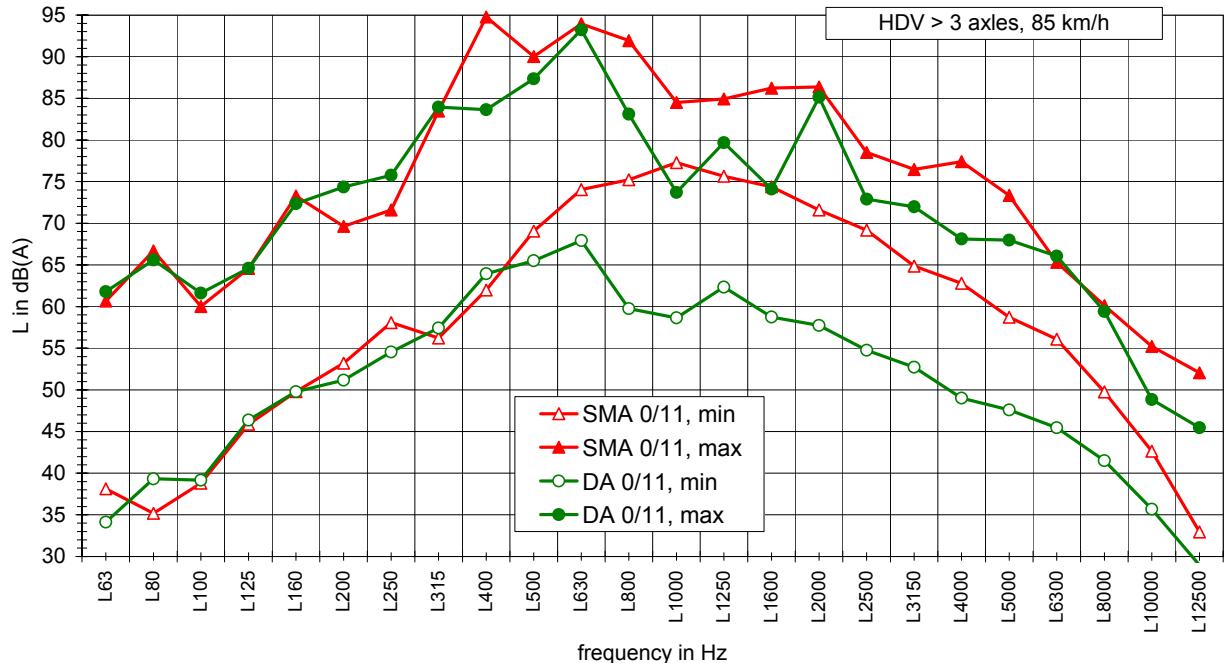


Bild 73: untere und obere Begrenzung der Frequenzspektren von sNfz an Autobahn-messstellen mit Splittmastixasphalt und Drainasphalt Belag (beide mit 11 mm maximale Korngröße)

3.4 Vergleich mit den Ergebnissen aus vorherigen Untersuchungen

Um die Ergebnisse dieser Untersuchung mit den Resultaten von vorherigen Untersuchungen zu vergleichen, wurden die Daten der alten Untersuchungen für Fahrbahnbelageinflüsse in der gleichen Weise wie schon weiter oben beschrieben korrigiert. Vier vorherige Untersuchungen wurden für den Vergleich von Fahrzeugen im frei fließenden Verkehr betrachtet, von 1978 [1], 1983 [2], 1986 [3] und 1992 [4]. Für beschleunigende Fahrzeuge wurde die Messkampagne von 1986 nicht betrachtet, weil es damals keine speziellen Messorte für diesen Fahrzustand gab.

Bild 74 zeigt die Vorbeifahrpegel für beschleunigende Pkw der Untersuchungsperioden von 1978, 1983, 1992 und 2001. Bei kleinen Geschwindigkeiten (20 bis 40 km/h) kann ein Trend zu kleineren Emissionswerten für höhere Referenzjahre gesehen werden. Die mittleren Lmax Pegel für 1992 sind signifikant höher als die Korrespondierenden Pegel für 1978 und 1983 und die Pegel für 2001 sind noch niedriger als die für 1992. Bei hohen Geschwindigkeiten (über 60 km/h) stimmen die Regressionskurven mehr oder weniger überein oder zeigen eine konträre Tendenz. Aber das sollte wegen der kleinen Anzahl an Fahrzeugen, besonders über 70 km/h nicht überbewertet werden. Was also gesehen werden kann ist die Tatsache, dass die Streuung der Ergebnisse 1978 am größten war und 2001 am kleinsten.

Bild 75 zeigt die korrespondierenden Ergebnisse für frei fließenden Verkehr. Es konnten hier keine signifikanten Differenzen zwischen den Regressionskurven für verschiedene Untersu-

chungsperioden gefunden werden. Aber für beschleunigende Fahrzeuge nimmt die Streuung der Ergebnisse mit zunehmendem Referenzjahr ab.

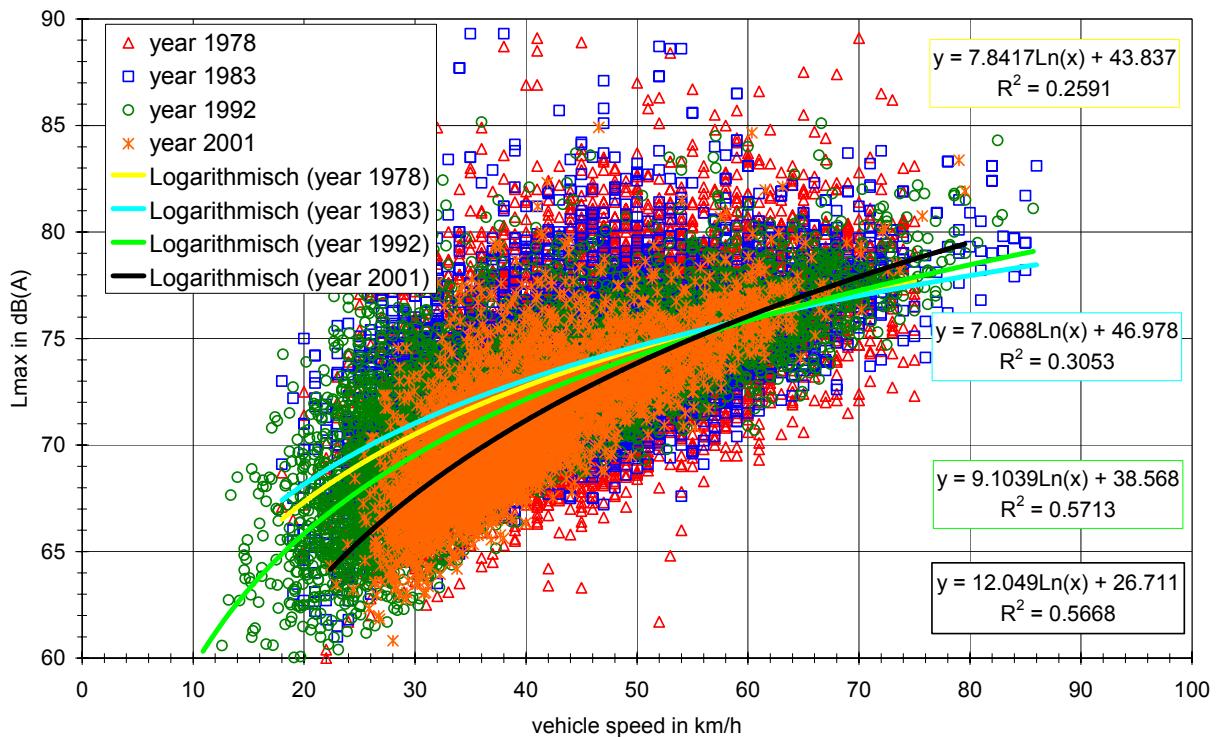


Bild 74: Vorbeifahrtpegel beschleunigender Pkw für verschiedene Untersuchungsperioden

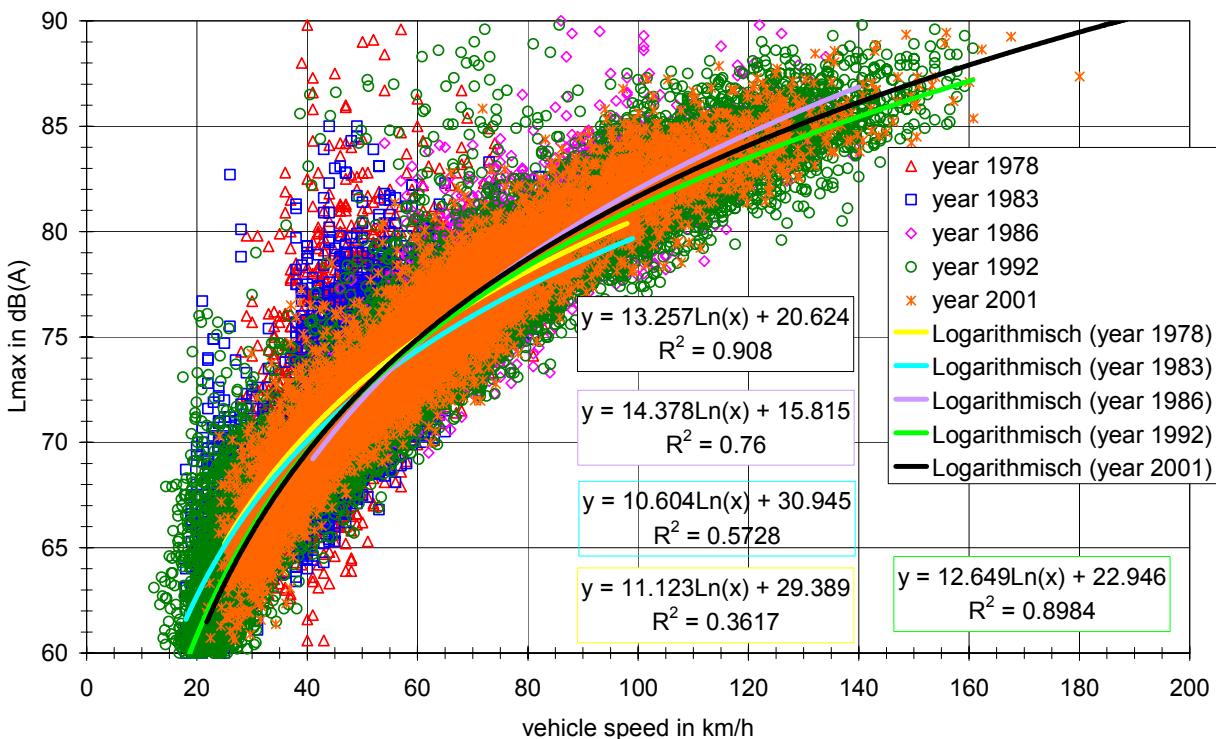


Bild 75: Vorbeifahrtpegel von Pkw im frei fließenden Verkehr für verschiedene Untersuchungsperioden

Die logarithmischen Trendlinien in Bild 75 und Bild 76 sind bestimmt durch den (Kern) Geschwindigkeitsbereich mit der größten Fahrzeuganzahl, welcher bei 30 bis 45 km/h für beschleunigende Fahrzeuge und bei 40 bis 80 km/h für frei fließenden Verkehr liegt. In Geschwindigkeitsbereichen außerhalb der Kernregionen sind die Regressionskurven von einer größeren Unsicherheit. Um diesen Einfluss zu reduzieren, wurden Lmax Pegel für Geschwindigkeitsklassen von 5 km/h Bandweite berechnet, die mindestens 30 Fahrzeuge umfassen. Die Ergebnisse sind in Bild 76 dargestellt und bestätigen die schon zuvor gemachten Schlussfolgerungen.

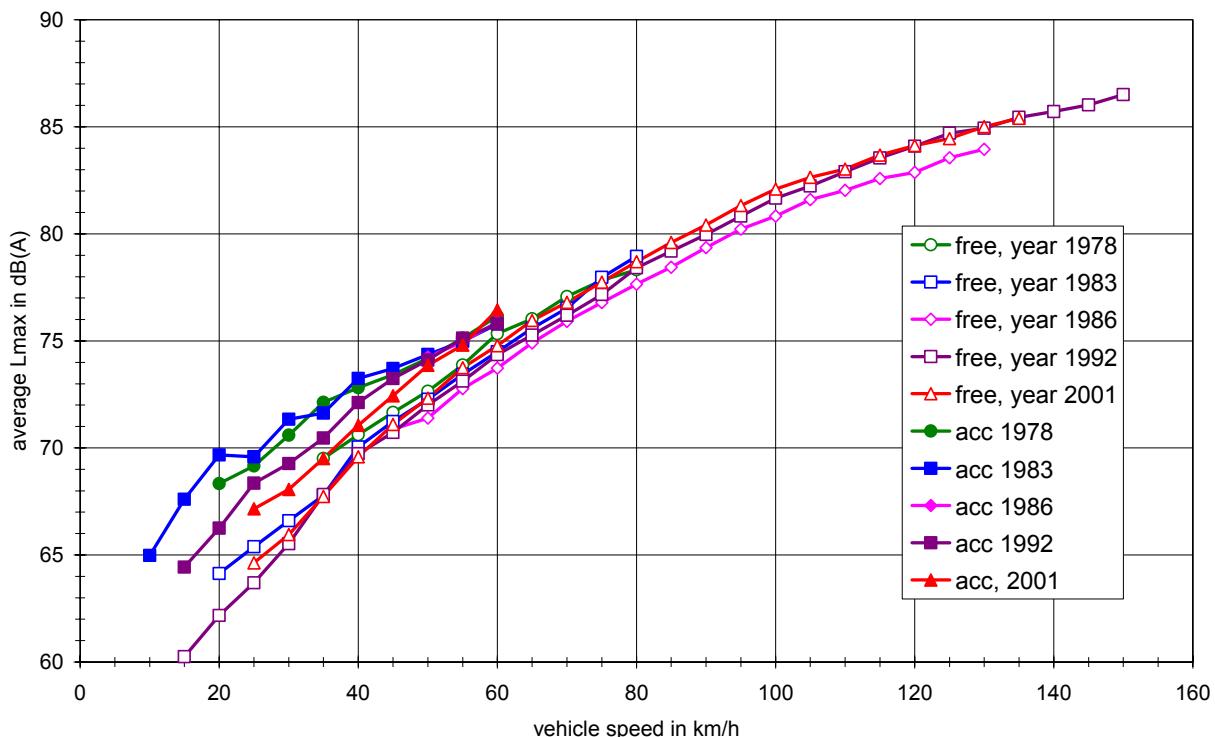


Bild 76: mittlere Vorbeifahrtpiegel von Pkw für verschiedene Fahrzustände und Untersuchungsperioden

Da die Stichprobengröße für andere Kategorien als Pkw signifikant kleiner ist, wurde ein anderer Ansatz für weitere Vergleiche gewählt. Die mittleren Lmax Pegel und die 95-Perzentile des Lmax wurden im Geschwindigkeitsbereich von 20 bis 40 km/h für beschleunigende Fahrzeuge und 45 bis 55 (Pkw und INFz) oder 40 bis 60 km/h (sNFz) für jede Untersuchungsperiode berechnet. Mittelwerte wurden für Stichprobengrößen von mindestens 10 Fahrzeugen, L₉₅ Pegel für mindestens 60 Fahrzeuge berechnet.

Die Ergebnisse der beschleunigenden Pkw sind in Bild 77 für verschiedene Motortypen dargestellt. Fahrzeuge mit Benzinmotor von 1992 hatten etwa 2 dB(A) niedrigere Lmax Pegel (-1,9 dB(A) für den Mittelwert und 2,3 dB(A) für L₉₅) als Fahrzeuge von 1978 oder 1983. Weil keine signifikante Differenz zwischen den Messperioden von 1978 und 1983 gefunden werden konnte, sind die erwähnten Differenzen auf die Mittelwerte von 1978 und 1983 bezogen.

Die Minderung für die Messperiode von 2001 verglichen mit 1978/1983 ist 3,7 dB(A) für die Mittelwerte und 5 dB(A) für die L₉₅.

Für Fahrzeuge mit herkömmlicher Dieseltechnik beträgt die Minderung ca. 3 dB(A) für die 2001 Periode, aber dieses Ergebnis ist nicht länger von Bedeutung, da dieser Motortyp in Naher Zukunft aus der Fahrzeugflotte verschwinden wird. Für Pkw mit Dieseldirekteinspritzung können solche Trends nicht gezeigt werden, da sie in den Stichproben vor 1992 noch nicht existierten und auch 1992 zu wenige davon in der Stichprobe waren. In der 2001 Periode war der L₉₅ Pegel für Pkw mit Dieseldirekteinspritzung weniger als 1 dB(A) höher als der L₉₅ für Pkw mit Benzinmotoren. Die Differenz der Mittelwerte liegt bei 1 dB(A).

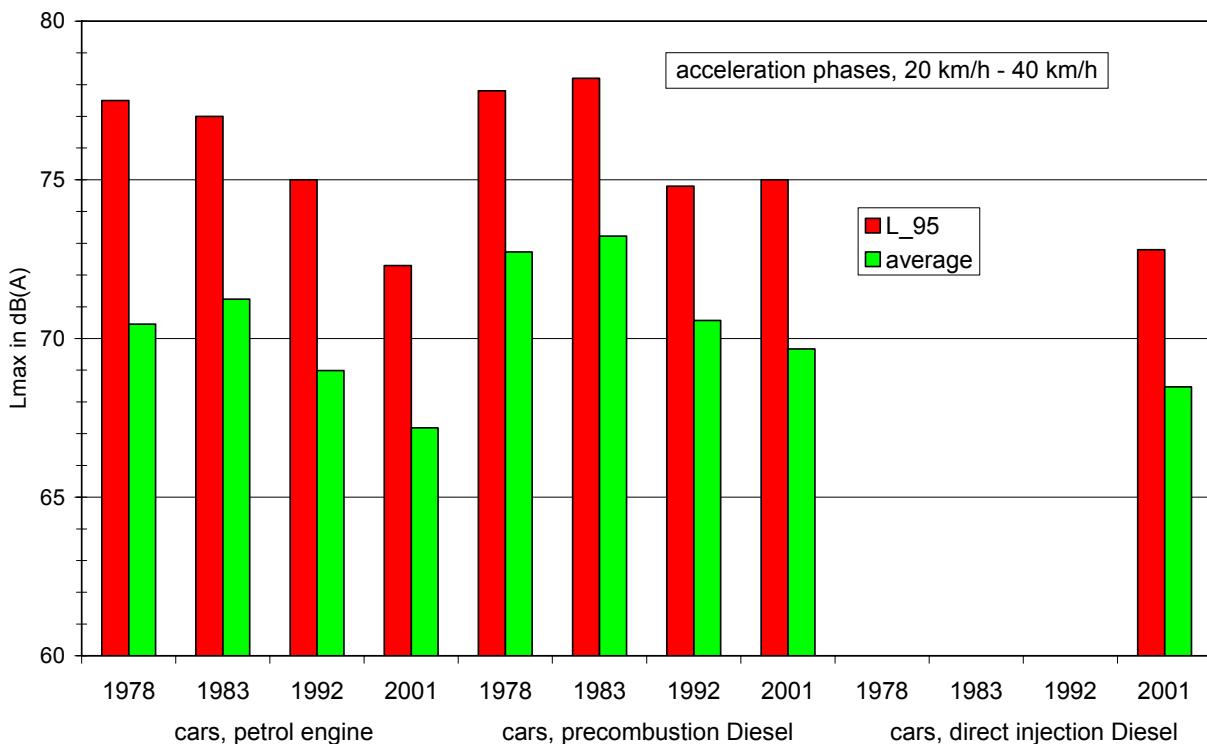


Bild 77: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für beschleunigende Pkw aus verschiedenen Untersuchungsperioden

Bild 78 zeigt die korrespondierenden Ergebnisse für INFz, unterteilt in zul. Gesamtgewicht bis zu 2000 kg und über 2000 kg. Für INFz mit zul. Gesamtgewicht bis zu 2000 kg konnte kein L₉₅ Pegel berechnet werden, da die Stichprobengröße zu klein war. Der mittlere Pegel für 2001 ist 3,5 dB(A) niedriger als die mittleren Pegel von 1978/1983. Für INFz mit zul. Gesamtgewicht über 2000 kg ist die Verbesserung etwas niedriger. Mittel- und Spitzenpegel für 2001 sind etwas mehr als 2 dB(A) niedriger als für 1978/1983.

Bild 79 zeigt die Ergebnisse für sNfz mit Nennleistungen bis zu 100 kW und zwischen 101 und 150 kW. Die neuesten Höchstwerte fehlen in der 1992 Periode. Die Minderung zwischen 1978/1983 und 2001 beträgt etwa 2,5 dB(A) für sNfz bis zu 100 kW und 5,5 dB(A) (Mittelwert) bis 6,5 dB(A) (L₉₅) für sNfz mit Nennleistungen zwischen 101 und 150 kW. Da die Minderung für sNfz bis 100 kW nur die Hälfte der Minderung für sNfz mit Nennleistungen

zwischen 101 und 150 kW beträgt, nimmt die Differenz zwischen beiden Gruppen mit zunehmendem Zulassungsjahr ab. Für die Untersuchungsperioden 1978/1983 ist die Differenz etwa 3,5 dB(A), für 2001 gibt es keine signifikante Differenz mehr.

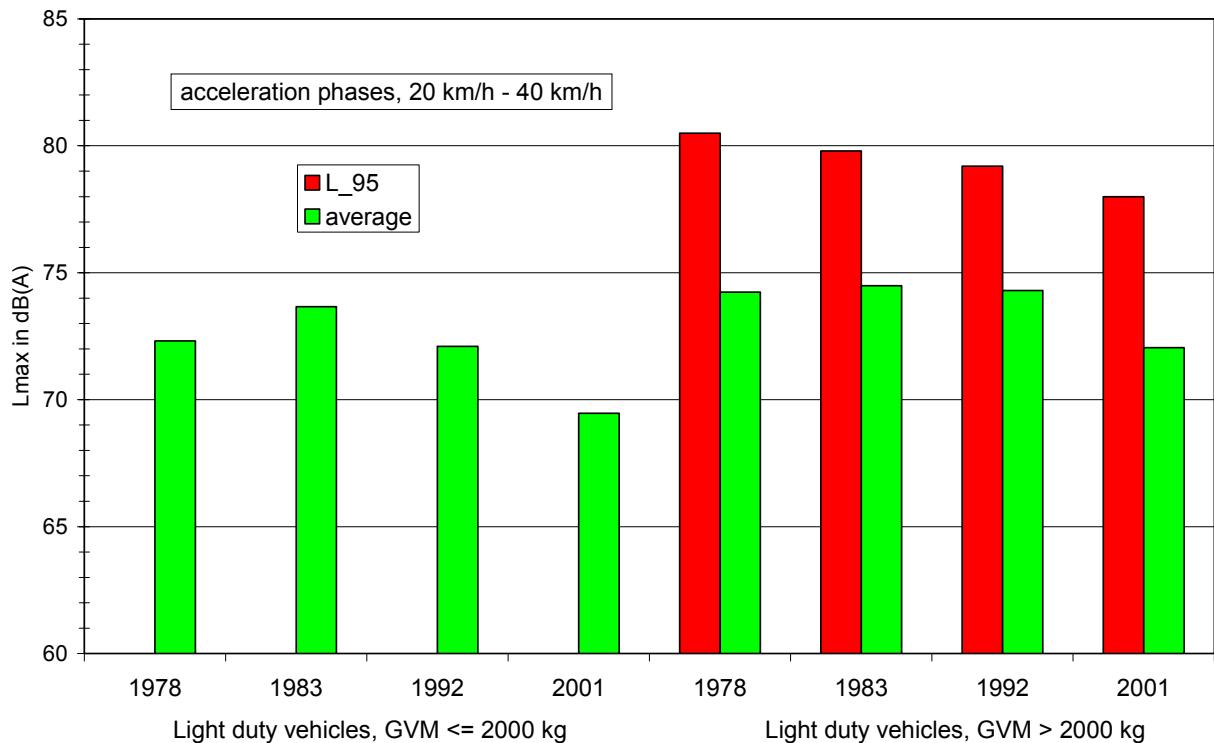


Bild 78: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für beschleunigende INfz aus verschiedenen Untersuchungsperioden

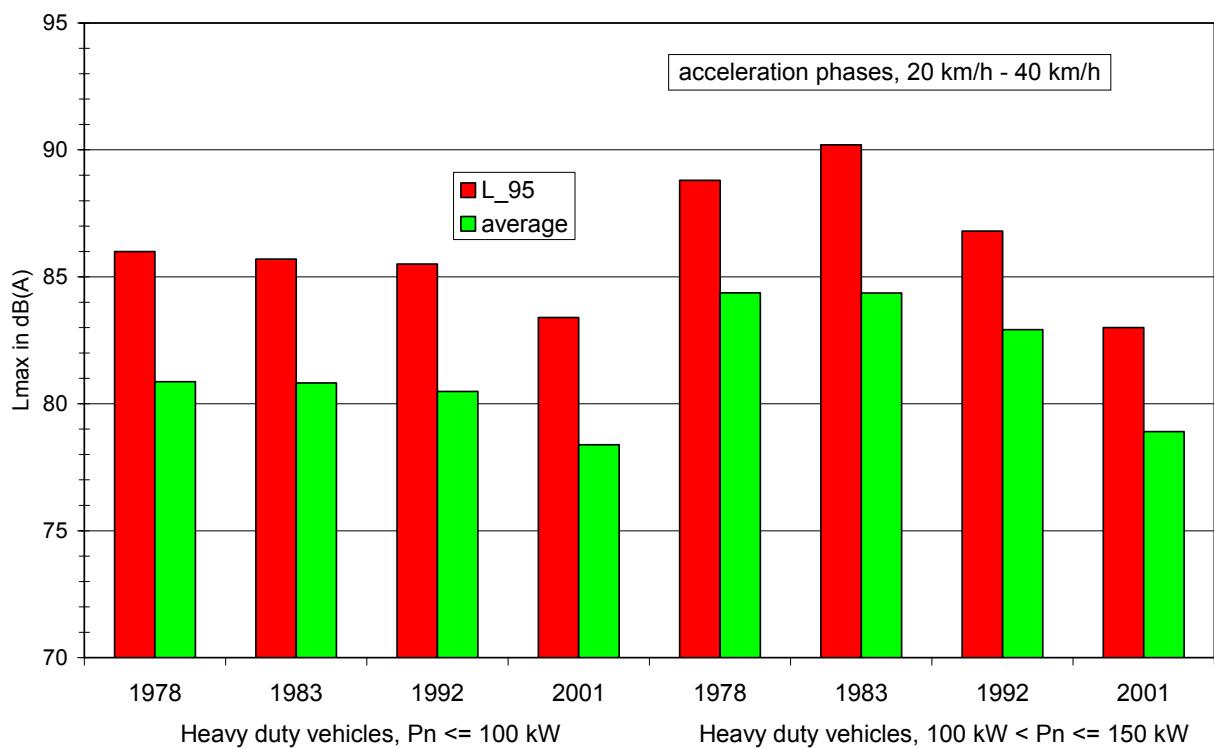


Bild 79: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für beschleunigende sNfz aus verschiedenen Untersuchungsperioden

Bild 80 zeigt die Ergebnisse für die beiden höchsten sNfz Nennleistungsklassen. Die Minderung der Lmax Pegel für sNfz mit Leistungswerten zwischen 151 und 250 kW zwischen 1978/1983 und 2001 beträgt 7,5 dB(A) für den Mittelwert und 6,4 dB(A) für den L_95. Das ist die Größte Minderung aller sNfz Klassen.

sNfz mit Nennleistungswerten über 250 kW existierten in der Untersuchungsperiode von 1978 und 1983 nicht und selbst die Stichprobe von 1992 ist nicht groß genug um L_95 zu berechnen. Die Mittelwerte von 1992 und 2001 folgen dem gleichen Trend wie die nächst kleinere Leistungsklasse.

Die Ergebnisse für Pkw im frei fließenden Verkehr mit Geschwindigkeiten um 50 km/h werden in Bild 81 gezeigt. Für frei fließenden Verkehr kann die Stichprobe von 1986 mit einbezogen werden. Im Hinblick auf Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung tritt das gleiche Problem auf wie für beschleunigende Fahrzeuge. Vor 1992 konnten keine Fahrzeuge gemessen werden und auch für 1992 gibt es nicht genügend um einen L_95 zu berechnen. Zwischen 1978 und 2001 zeigen Pkw mit Benzinmotor und herkömmlichen Dieselmotoren die gleichen Trends: eine Minderung von L_95 von etwa 2 dB(A) aber keine signifikante Änderung bei den Mittelwerten.

Bild 82 zeigt die Ergebnisse für INfz mit einem zul. Gesamtgewicht von mehr als 2000 kg und sNfz mit Nennleistungen bis zu 100 kW. INfz mit einem zul. Gesamtgewicht von bis zu 2000 kg konnten wegen der kleinen Anzahl von Fahrzeugen nicht berücksichtigt werden. Es wurde für die Perioden zwischen 1978 und 2001 keine signifikante Minderung für INfz gefunden werden. Die Minderung für sNfz bis zu 100 kW beträgt 2,4 dB(A) für den Mittelwert und 5 dB(A) für L_95. Die Letzte ist sogar höher als für beschleunigende Fahrzeuge, aber sie ist nur auf eine kleine Anzahl an Fahrzeugen gestützt, so dass keine generellen Schlussfolgerungen gezogen werden können.

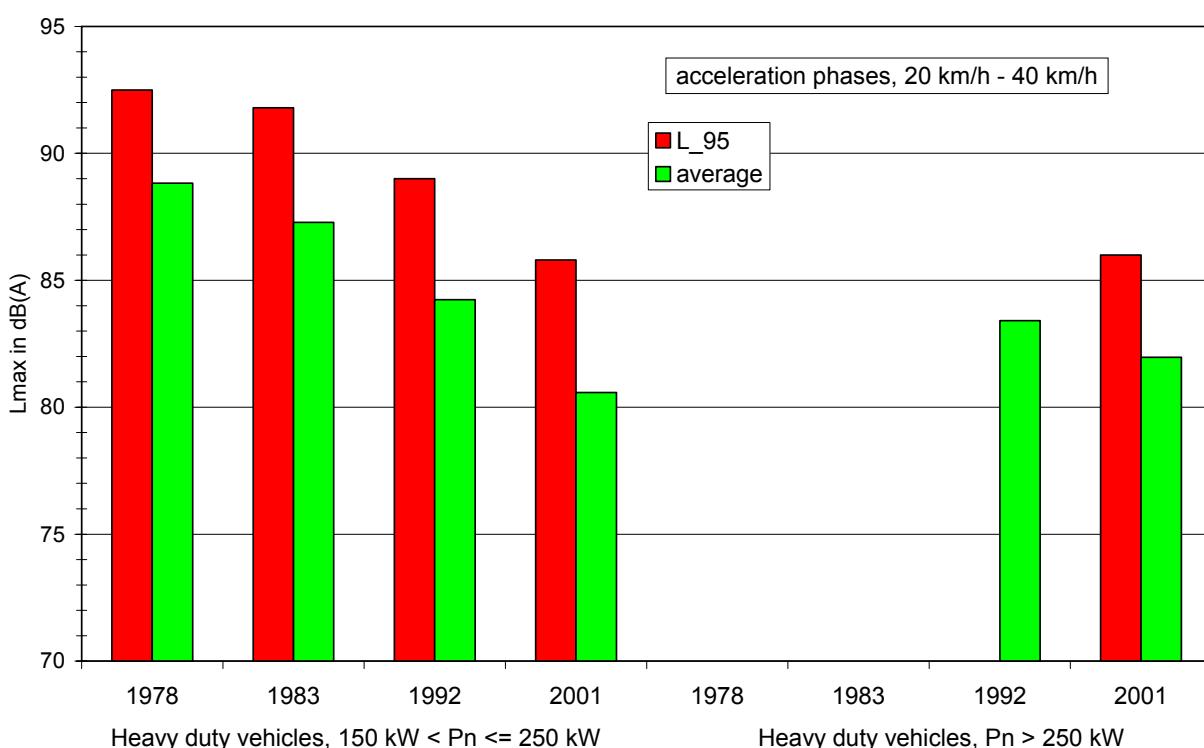


Bild 80: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für beschleunigende sNfz aus verschiedenen Untersuchungsperioden

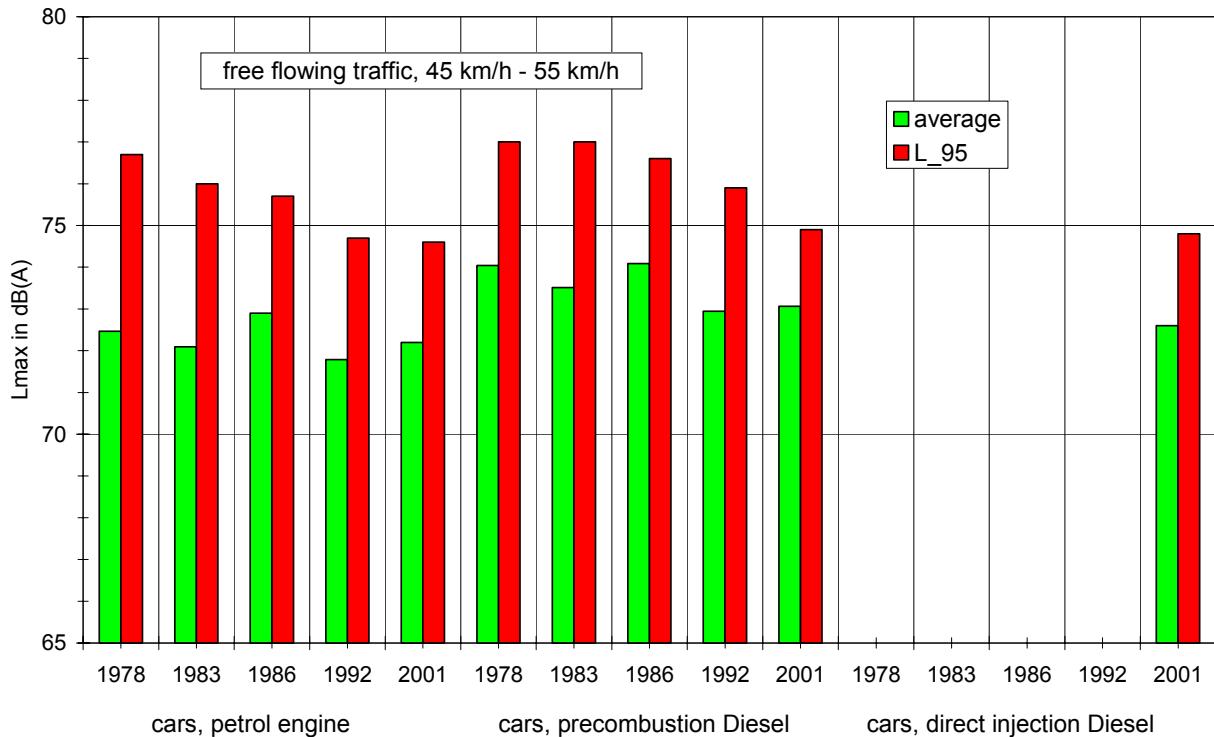


Bild 81: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für Pkw im frei fließenden Verkehr aus verschiedenen Untersuchungsperioden

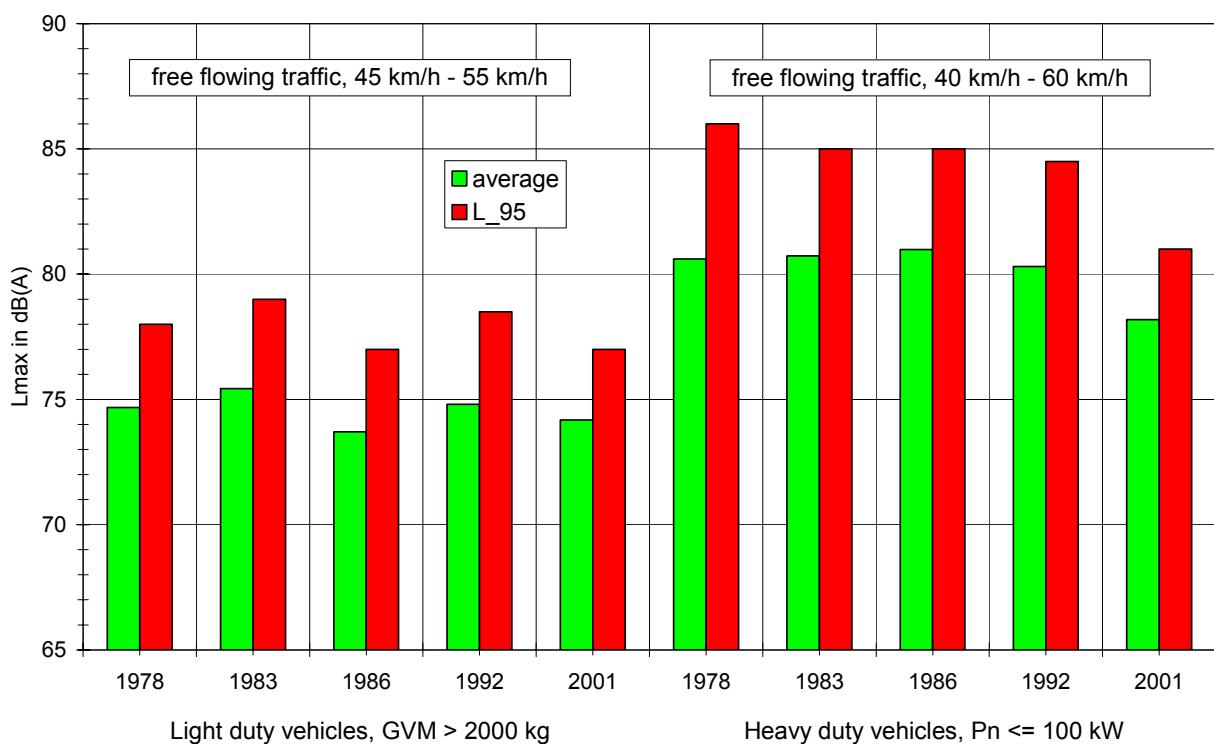


Bild 82: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für INfz in frei fließendem Verkehr aus verschiedenen Untersuchungsperioden

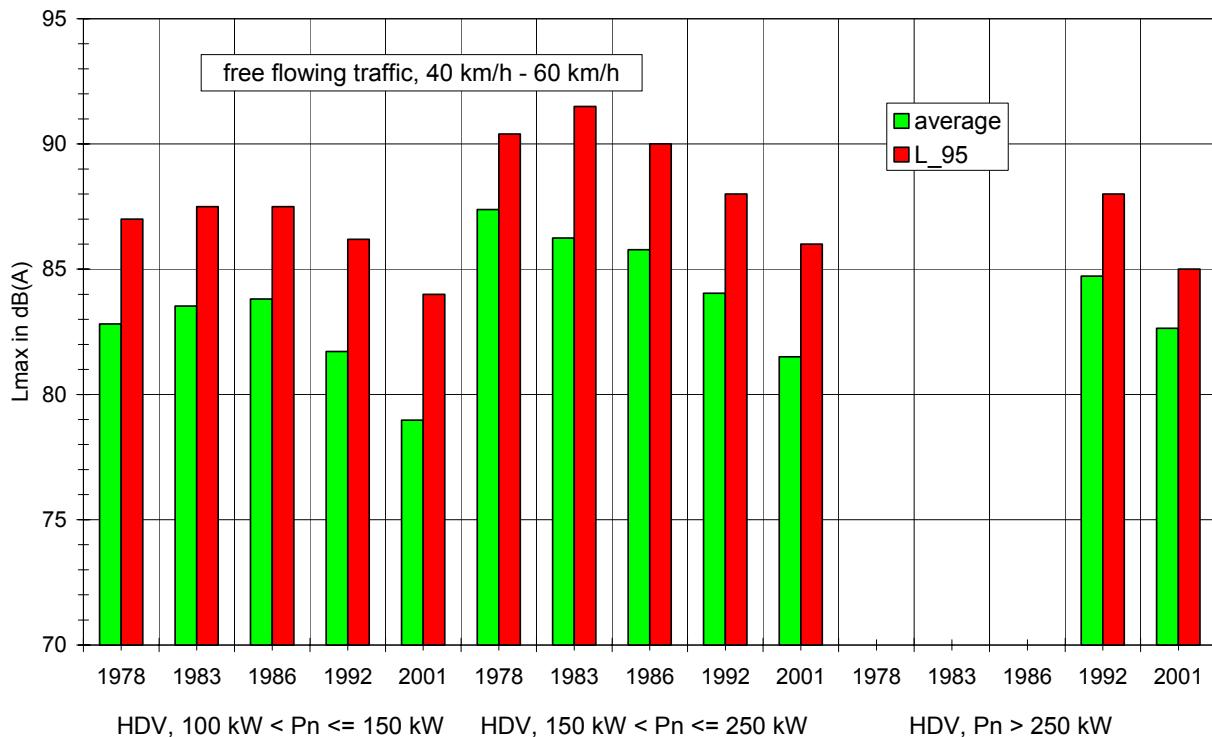


Bild 83: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für sNfz in frei fließendem Verkehr aus verschiedenen Untersuchungsperioden

In Bild 83 sind die Ergebnisse für sNfz mit Nennleistungen zwischen 101 und 150 kW, zwischen 151 und 250 kW und über 250 kW aufgezeichnet. Für die letzte Klasse konnte nur die Periode von 1992 und 2001 berücksichtigt werden. Die mittleren Pegel als auch die Spitzenpegel (L_{95}) der beiden anderen Klassen zeigen einen gemeinsamen Trend: keine signifikanten Änderungen zwischen 1978 und 1986, aber signifikante Minderungen für 1992 und 2001. Die Differenzen zwischen 1986 und 2001 sind im Bereich von 3,5 bis 5 dB(A). Der gleiche Trend erscheint bei sNfz mit Nennleistungen über 250 kW. Die Minderung zwischen den Perioden 2001 und 1992 ist 2 dB(A) für die Mittelwerte und 3 dB(A) für L_{95} .

Schlussendlich wurden korrespondierende Ergebnisse für frei fließenden Verkehr im Stadtgebiet zwischen 70 und 90 km/h berechnet. Für sNfz außerhalb vom Stadtgebiet wurden Messorte auf Autobahnen eingefügt, um die Stichprobengröße zu erhöhen. Die Untersuchungsperioden 1986, 1992 und 2001 konnten für diese Auswertung betrachtet werden.

Die Ergebnisse für Pkw werden in Bild 84, für INfz und sNfz in Bild 85 gezeigt. Für Pkw konnte keine signifikante Differenz zwischen den Perioden gefunden werden, man könnte eine Tendenz zu leicht erhöhten Pegeln mit zunehmendem Referenzjahr, insbesondere für Pkw mit herkömmlichen Dieselmotoren, feststellen. Für INfz und sNfz bis zu 250 kW gibt es einen Trend zu niedrigeren Pegeln mit zunehmendem Referenzjahr. Die Reduktion von 1986 bis 2001 reicht von 1 bis 2,5 dB(A). Für sNfz über 250 kW sind nur von 1992 und 2001 Ergebnisse verfügbar, aber es gibt fast keine Unterschiede zwischen den beiden Stichproben.

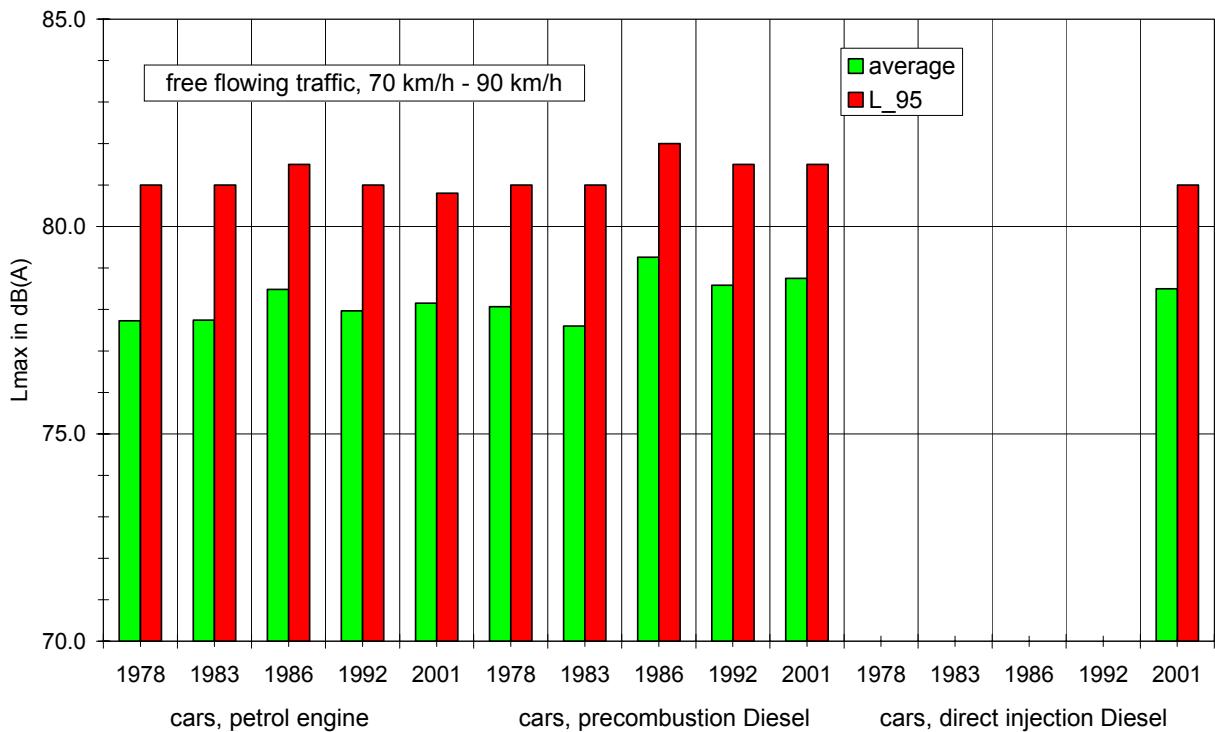


Bild 84: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für Pkw in frei fließendem Verkehr aus verschiedenen Untersuchungsperioden

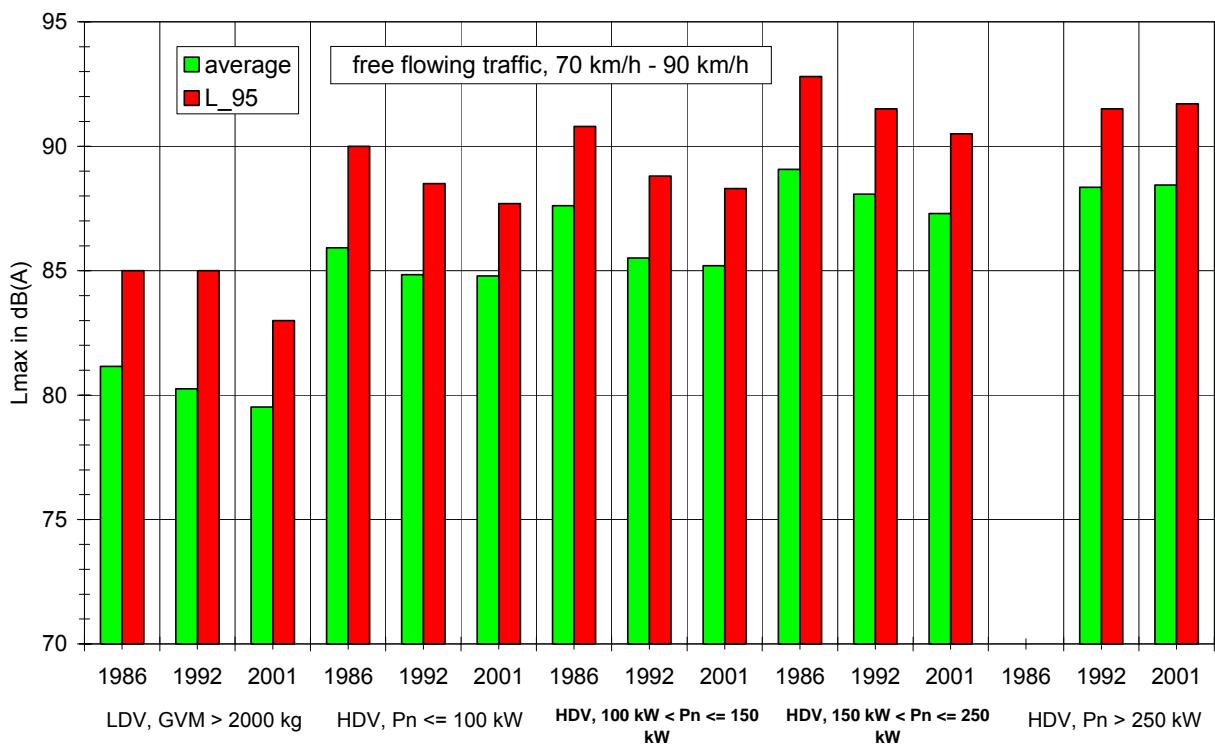


Bild 85: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für INfz und sNfz in frei fließendem Verkehr aus verschiedenen Untersuchungsperioden

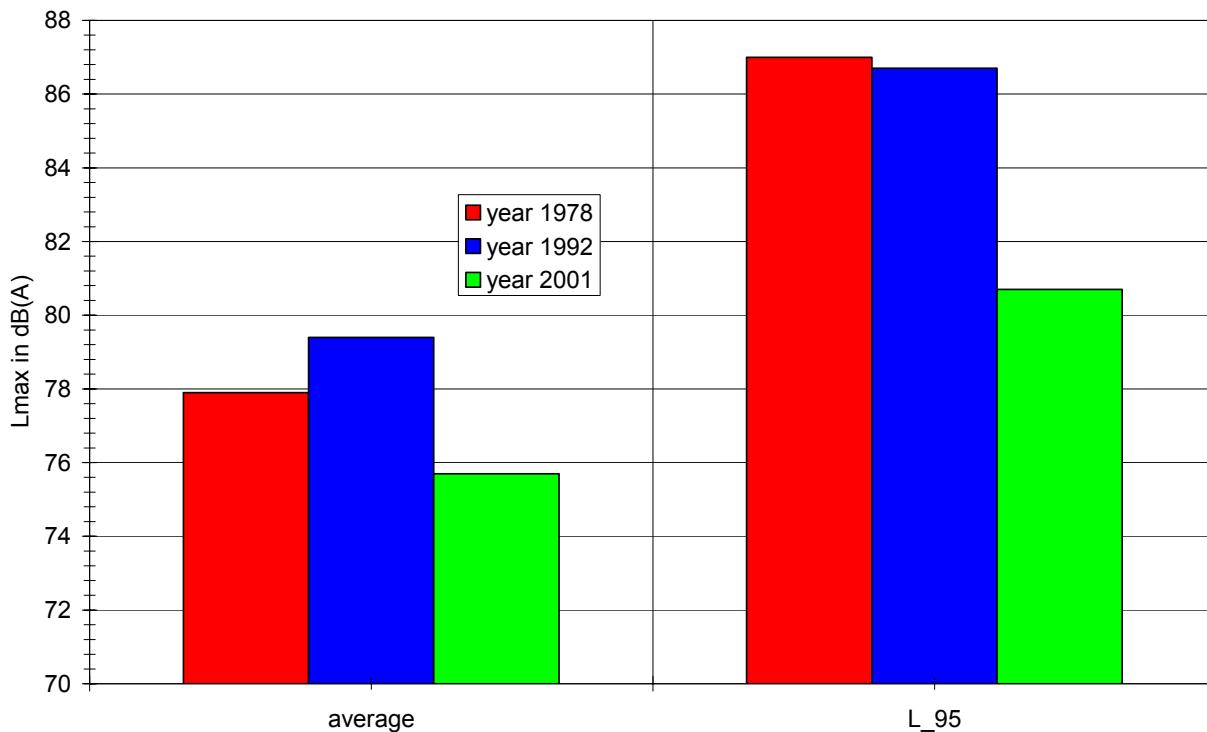


Bild 86: Mittel- und Spitzenwerte der Vorbeifahrtpegel für Motorräder zwischen 40 und 60 km/h aus verschiedenen Untersuchungsperioden

Für Motorräder wurde ebenfalls ein Trend zu niedrigeren Geräuschpegeln über die Zeit gefunden (siehe Bild 86, etwa 2,5 dB(A) für den Mittelwert und 5 dB(A) für L₉₅). Da aber die Ergebnisse sehr stark von Fahrzeugen mit illegalen Schalldämpfern beeinflusst werden, und da keine Informationen über die Anteile dieser Fahrzeuge in der Stichprobe erhältlich sind, ist eine generelle Interpretation schwierig. Die größere Minderung für die L₉₅ Pegel, verglichen mit der Minderung für die Mittelwerte, könnte z.B. durch einen niedrigeren Anteil von manipulierten Fahrzeugen in 2001 als für die vorherigen Perioden erklärt werden. Aber es gibt keine Möglichkeit dies zu verifizieren.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

4.1 Allgemeines

Das ehemalige Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen (FIGE) machte im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes (UBA) [1], [2], [3], [4] zwischen 1976 und 1993 statistische Vorbeifahrtmessungen im realen Verkehr. Die Ergebnisse ermöglichen statistisch gesicherte Korrelationen zwischen Geräuschemissionen und Geschwindigkeit zu erhalten und die Einflüsse der Verkehrssituation und des Fahrverhaltens zu quantifizieren. Weiterhin war es möglich, für Pkw die Differenzen in der Geräuschemission verschiedener Fahrzeugtypen zu extrahieren.

In dieser Nachfolgestudie sollte durch zusätzliche statistische Vorbeifahrtmessungen untersucht werden, ob die Geräuschgrenzwertsenkungen für die Typprüfung, die inzwischen in Kraft getreten sind, zu Minderungsmaßnahmen bei den Herstellern führten, was ebenfalls die Geräuschemission im realen Verkehr verminderte. Des Weiteren sollte untersucht werden, ob der immer noch anhaltende Trend zu breiteren und für höhere Geschwindigkeiten ausgelegten Reifen für Pkw und stärkerer Motorisierung bei Lkw höhere Schallemissionen im realen Verkehr bedingt.

Die Daten der oben erwähnten vorherigen Forschungsvorhaben können in Beschleunigungsmessorte (Geschwindigkeitsbereich hauptsächlich zwischen 20 und 40 km/h) und Messorte mit frei fließendem Verkehr (Stadtverkehr, außerorts und Autobahn mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen) unterschieden werden. Zusätzlich wurde ein Messort auf einer Autobahn mit Drainasphalt eingerichtet, 2 Messorte auf Autobahnen mit 4%iger Steigung (für sNfz) und 3 Messorte in der Nordeifel, um die Geräuschemission von Motorrädern zu untersuchen.

Die statistischen Vorbeifahrtmessungen wurden in Übereinstimmung mit der Richtlinie ISO 11819-1 ausgeführt. Der Messabstand betrug 7,5 m von der Mitte der Fahrspur, die Höhe war 1,2 m über der Fahrbahnoberfläche. Während der Vorbeifahrt eines Fahrzeugs wurde zusätzlich zum Geräuschpegel die Geschwindigkeit mit Radar oder Lichtschranken erfasst. Der maximale Geräuschpegel (L_{max}) der Messung zusammen mit der Geschwindigkeit stellt das Messergebnis dar. Um Informationen über die technischen Daten zu erhalten, wurden die amtlichen Kennzeichen der gemessenen Fahrzeuge erfasst und über das UBA an das Kraftfahrtbundesamt gesandt.

Um eine gute Vergleichbarkeit mit den vorherigen Projekten zu erzielen, wurden die Messungen soweit möglich an den früheren Messstellen durchgeführt. Einige alte Messorte mussten ausgeschlossen werden, da das Straßenbild durch Baumaßnahmen stark verändert wurde. Die Messungen wurden zwischen Frühling 2001 und Herbst 2002 durchgeführt. Insgesamt wurden 31240 Fahrzeuge erfasst. Die Mehrheit der gemessenen Fahrzeuge wurde zwischen 1985 und 2001 zugelassen. Der Mittelwert für das Zulassungsjahr ist 1995, das mittlere Alter beträgt ungefähr 6 Jahre. Pkw, die nach 1996 zugelassen wurden und mit Dieseldirekteinspritzung ausgerüstet sind, haben einen 1 dB höheren Grenzwert als Pkw mit Benzinmotor oder herkömmliche Dieselfahrzeuge. Dieser „Abzug“ ist nicht länger gerechtfertigt, weil für beide Gruppen keine Differenz in den Typprüfpeginen gefunden werden konnte.

4.2 Maximale Vorbeifahrtpegel über Geschwindigkeit, Überblick über die Fahrzeugkategorien

Die Fahrbahnoberfläche war an den meisten Messstellen Asphaltbeton 0/11 mit einer maximalen Korngröße von 11 mm. Dieser Belag wurde als Referenzbelag behandelt. Einige andere waren Zementbeton und Gussasphalt und an einer Messstelle war ein offenporiger Drainasphalt 0/11. Die Ergebnisse der Orte mit Zementbeton und Gussasphalt wurden auf den Referenzbelag „korrigiert“, um eine homogene Stichprobe für den Referenzbelag zu bekommen. Die Ergebnisse für den Drainasphalt wurden unverändert beibehalten. Die Ergebnisse wurden dann in Messorte mit frei fließendem Verkehr und Messorte mit beschleunigenden Fahrzeugen gruppiert

In einem ersten Schritt wurde eine Regressionsanalyse für die Beziehung zwischen maximalem Geräuschpegel und Fahrzeuggeschwindigkeit, getrennt für beschleunigende Fahrzeuge und frei fließenden Verkehr, für verschiedene Fahrzeugkategorien durchgeführt. Die folgen-

den Fahrzeugkategorien wurden betrachtet: Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz), schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) in 4 verschiedenen Nennleistungsklassen und zwei Achsklassen (bis zu 3 Achsen, bzw. mehr als 3 Achsen), Motorräder und Mopeds.

LNfz sind kommerzielle Fahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von bis zu 3,5 t. Schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) sind kommerzielle Fahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 t. Die gegenwärtige Geräuschvorschrift enthält unterschiedliche Grenzwerte für die folgenden Nennleistungsklassen: unter 75 kW (77 dB(A)), zwischen 75 und 149 kW (78 dB(A)) und 150 kW oder mehr (80 dB(A)). Die Achszahl wurde als Parameter hinzugefügt, weil der Einfluss des Reifen-Fahrbahn-Geräusches unter anderem von der Achszahl abhängt. Die Nennleistungsklasse unter 75 kW wird nicht mehr lange in der Zukunft existieren, weil der Trend immer noch zu höheren Nennleistungswerten geht. In der aktuellen Messkampagne aus dem Jahr 2001 wurden nur 78 Fahrzeuge mit Nennleistungen unter 75 kW gemessen. Die Nennleistungsklasse von mehr als 150 kW wurde in zwei Klassen unterteilt, nämlich in Nennleistungswerte von 150 kW bis 250 kW und solche oberhalb von 250 kW. Diese Unterteilung wurde mit Rücksicht auf den Vorschlag für neue Leistungsklassen in der aktuell diskutierten Novelle der Typprüfvorschrift gemacht.

Die Ergebnisse für Pkw und INfz konnten durch logarithmische Funktionen approximiert werden, die Ergebnisse für andere Kategorien durch lineare Funktionen. Zu den Pegeldifferenzen zwischen den beschleunigenden Fahrzeugen und frei fließendem Verkehr bei gleichen Geschwindigkeiten kann gesagt werden:

Die Regressionskurven für beschleunigende Fahrzeuge sind höher als für frei fließenden Verkehr, die Differenzen nehmen mit zunehmender Geschwindigkeit ab.

Die Ergebnisse für Motorräder und Mopeds konnten nicht in beschleunigend und frei fließend separiert werden. Der Hauptteil ist sehr wahrscheinlich frei fließend, da Motorradfahrer sehr sensibel auf Geschwindigkeitskontrollen reagieren.

Die Ergebnisse in den Regressionskurven zwischen den verschiedenen Kategorien kann wie folgt zusammengefasst werden: Pkw haben die kleinsten Geräuschemissionspegel, gefolgt von INfz. Für frei fließenden Verkehr haben INfz etwa 3 dB höhere Geräuschemissionen bei 20 km/h. Die Differenz nimmt mit steigender Geschwindigkeit ab, und ist null bei 130 km/h. Nächster in der Rangfolge sind Motorräder. Zwischen 60 km/h und 100 km/h sind ihre mittleren Geräuschpegel nahezu die gleichen wie für INfz. Da aber die Regression linear ist, sind ihre Pegel bei kleineren und größeren Geschwindigkeiten als erwähnt größer. Bei 30 km/h ist der mittlere Emissionspegel für Motorräder etwa 6 dB höher als für Pkw.

Mopeds haben ein wenig mehr als 2 dB höhere Geräuschemissionspegel als Motorräder. Ihre Emission ist ähnlich wie für Busse und kleine sNfz. Wie bereits erwähnt, sind die Emissionspegel für sNfz unter 75 kW Nennleistung und sNfz mit Nennleistungen von 75 kW oder mehr aber unter 150 kW annähernd die gleichen. Dies gilt ebenso für beschleunigende Fahrzeuge, so dass man annehmen kann, dass beide Klassen zusammengefasst werden können. Die Emissionspegel von Linienbussen sind ebenfalls nahezu gleich wie die kleinen sNfz, obwohl ihre Nennleistungen 150 kW oder höher betragen.

Die beiden höchsten sNfz Leistungsklassen zeigen signifikant höhere Geräuschemissionspegel. Die Differenz zwischen beiden ist unter 2 dB. Der Vergleich der Geräuschpegel der höchsten sNfz Nennleistungsklasse und sNfz mit mehr als 3 Achsen führt zu der Schlussfolgerung, dass die Gesamtgeräuschemission von den Reifen beeinflusst wird, mindestens für frei fließenden Verkehr und zumindest bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h.

4.3 Detaillierte Auswertung der Fahrzeugkategorien

Die Detaillierte Analyse für Fahrzeugkategorien schloss Linienbusse und Mopeds nicht mit ein, da die Stichprobengröße zu klein war.

Pkw

Für eine weitere Analyse wurde die Pkw Stichprobe in Fahrzeuge mit Benzinmotor, Fahrzeuge mit herkömmlichem Dieselmotor und Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung unterteilt.

Der Geräuschgrenzwert für Fahrzeuge, die nach 1995 zugelassen wurden, beträgt 74 dB(A) für Fahrzeuge mit Benzin- und Dieselmotor und 75 dB(A) für Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung. Für diese Gruppen wurden die maximalen Vorbeifahrtpegel über Nennleistung, Leistungsgewicht und Hubraum aufgetragen, jeweils für Beschleunigungsphasen und für frei fließenden Verkehr. Das Leistungsgewicht ist das Verhältnis zwischen Nennleistung und Leermasse + 75 kg. Nur Fahrzeuge mit einem Zulassungsjahr nach 1995 wurden für diese Auswertung in betracht gezogen.

Für beide Situationen (Beschleunigungen und frei fließender Verkehr) gibt es einen Trend zu zunehmenden Geräuschpegeln mit zunehmenden technischen Parametern, aber die Pegelvariation aufgrund anderer Parameter (wie individuelle Verkehrssituationen oder individuelles Fahrverhalten) ist bei weitem dominierend. Der Hubraum zeigt die größten Einfluss der technischen Parameter, gefolgt von der Nennleistung.

Beschleunigungsphasen mit Dieseldirekteinspritzern haben 1 bis 2 dB höhere Geräuschpegel als solche mit Benzinmotor. Aber die Fahrzeuge mit herkömmlichen Dieselmotoren haben noch höhere L_{max} -Pegel als die Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung. Dieses Ergebnis ist erstaunlich auf den ersten Blick, weil für die Dieseldirekteinspritzer ein 1 dB(A) höherer Grenzwert mit dem Argument festgelegt wurde, dass ihre Geräuschemission größer ist als die von herkömmlichen Dieselfahrzeugen.

Für frei fließenden Verkehr wurden keine signifikanten Differenzen in der Geräuschemission verschiedener Motorkategorien gefunden. Das kann dadurch erklärt werden, dass das Reifen-Fahrbahn-Geräusch in dieser Fahrweise dominierend ist.

In einem zusätzlichen Schritt wurde die Pkw-Stichprobe mit Dieselantrieb in folgende Untergruppen geteilt: Pkw mit herkömmlichen Dieselmotoren, Pkw mit Dieseldirekteinspritzung und INfz mit Pkw-Zulassung.

Die Letzteren wurden aus der Pkw-Stichprobe durch Abtrennung der Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 2,5 t und Nennleistungswerten von bis zu 73 kW hergeleitet. Diese Untergruppe könnte ebenso Geländewagen beinhalten, ist aber dominiert von INfz. Die Regressionskurve für INfz mit Pkw-Zulassung für beschleunigende Fahrzeuge ist signifikant höher als die Regressionskurve für die anderen Untergruppen. Die mittlere Emissionspegelkurve von INfz mit Pkw-Zulassung ist beinahe die gleiche wie für INfz mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 2 t. Für frei fließenden Verkehr ist die Regressionskurve für INfz mit Pkw-Zulassung nur wenig höher als die Regressionskurve der beiden anderen Untergruppen.

In einem weiteren Schritt wurde die Pkw-Stichprobe in verschiedene Zulassungsjahrklassen unterteilt. Die Grenzlinien wurden in Relation zu den Grenzwertänderungen gezogen. Die Regressionskurven dieser Gruppen folgen dem Trend der Grenzwerte, zumindest am unteren Rand des Drehzahlbereiches. Bei 30 km/h wurde eine mittlere Minderung des Vorbeifahrtpegels von 2 dB(A) für eine Geräuschgrenzwertsenkung von 6 dB(A) gefunden. Dieser

kleine Effekt in den realen Geräuschemissionen kann teilweise mit kompensatorischen Effekten durch die Änderung des Typprüfmessverfahrens und teilweise durch die Tatsache erklärt werden, dass der Beitrag des Reifen-Fahrbahn-Geräusches im gegenwärtigen Typprüfverfahren nicht genügend berücksichtigt wurde.

Die mittlere Geräuschemission heutiger Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung bei 30 km/h ist 2 dB höher als die mittlere Geräuschemission heutiger Pkw mit Benzinmotoren und daher gleich wie für Pkw mit Benzinmotoren und Zulassungsjahren zwischen 1982 und 1988, aber 2 dB niedriger als die mittlere Geräuschemission von Fahrzeugen mit herkömmlichem Dieselantrieb und Zulassungsjahren zwischen 1982 und 1989. Die Differenz zwischen den Geräuschemissionen heutiger Fahrzeuge mit Benzinmotor und Dieseldirekteinspritzung geht mit zunehmender Geschwindigkeit gegen Null.

Der Vergleich der Regressionskurven (bei 30 km/h) für Fahrzeuge mit Dieseldirekteinspritzung, zugelassen in den Jahren 1990 bis 1995, bzw. nach 1995 zeigt klar, dass die Antriebsgeräuschemissionen für Fahrzeuge mit Motoren dieser Technologie in der Zwischenzeit gemindert wurden.

Entsprechende Ergebnisse für frei fließenden Verkehr zeigten keine signifikanten Differenzen zwischen den Regressionskurven für die verschiedenen Zulassungsjahrklassen für Fahrzeuge mit Benzinmotoren, und es gab nur eine vage Tendenz zu niedrigeren Geräuschemissionen für Fahrzeuge mit Dieselantrieb mit absteigendem Alter bei niedrigen Geschwindigkeiten.

Im Zusammenhang mit der Zulassungsjahranalyse wurde auch überprüft, ob es eine Korrelation zwischen der Geräuschemission im realen Verkehr und den Typprüfpegeln der Fahrzeuge gibt. Aus diesem Grund wurden die L_{max} -Pegel für Pkw mit Benzinmotor, herkömmlicher Diesel und Dieseldirekteinspritzer für beschleunigende Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich zwischen 27,5 und 37,5 km/h und für frei fließenden Verkehr im Geschwindigkeitsbereich zwischen 60 und 70 km/h berechnet und gegen die Typprüfpegel aufgetragen. Die Geschwindigkeitsbereiche wurden so gewählt, um die Anzahl der Fahrzeuge in den einzelnen Fahrzeuggruppen zu maximieren.

Die Ergebnisse für beschleunigende Fahrzeuge zeigen eine klare Tendenz: Die Geräuschpegel im realen Verkehr für Beschleunigungsphasen bei niedrigen Geschwindigkeiten nehmen mit abnehmenden Typprüfpegeln ab. Für frei fließenden Verkehr bei höheren Geschwindigkeiten (65 km/h) gibt es keine Korrelation zwischen Typprüfpegel und „in-use“ Geräuschemissionspegeln.

Eine weitere Auswertung wurde in Bezug auf die Fahrzeugtypen gemacht und zeigte, dass substantielle Teile der Differenzen durch unterschiedliche Emissionsstufen oder den Hubraumeinfluss erklärt werden können. Das bedeutet, dass diese Fahrzeugtypen, die die Flottenkomposition im realen Verkehr dominieren, sich in ihren Geräuschemissionen nicht signifikant unterscheiden.

Leichte Nutzfahrzeuge

Da INfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis zu 2 t einen anderen Geräuschgrenzwert haben als solche mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 2 t (76 dB, bzw. 77 dB), wurde die erste Auswertung im Hinblick auf diese Klassen und die unterschiedlichen Motortypen gemacht. Nur 19 % der INfz-Stichprobe gehört zu der Gewichtsklasse unter 2 t. 29 % dieser Fahrzeuge sind mit Benzinmotor ausgestattet, 58 % mit herkömmlichen Dieselmotoren und die restlichen 13 % sind Dieseldirekteinspritzer. In der Gewichtsklasse über 2 t sind 95 % der Fahrzeuge mit Dieselmotorenausgestattet, und zwar etwa zur Hälfte mit Dieseldirekteinspritzung.

zern. Die Fahrzeuge mit Benzinmotoren stellen somit nur 5 % der Stichprobe und wurden von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen.

Wie bei den Pkw kann man bei INfz erwarten, dass in der Zukunft Fahrzeuge mit herkömmlichen Dieselmotoren vom Markt verschwinden werden und ihr Anteil in der Flotte stetig abnehmen wird. Daher sind die Dieseldirekteinspritzer von besonderem Interesse. Die Differenz bei den mittleren L_{max} -Pegeln für Beschleunigungsphasen zwischen Direkteinspritzern unterhalb von 2 t und solchen über 2 t variiert zwischen 1,4 und 2,2 dB und nimmt mit steigender Geschwindigkeit ab. Die Differenzen können durch Unterschiede im Hubraum erklärt werden. In der Gewichtsklasse über 2 t gibt es keine Geräuschunterschiede zwischen herkömmlichen und direkteinspritzenden Dieselmotoren.

Für frei fließenden Verkehr gibt es keinen Unterschied zwischen den Geräuschpegeln beider Dieseltechnologien. Bei Vergleich der Gewichtsklassen ergibt sich eine Pegeldifferenz von 1,3 bis 1,5 dB, die wieder auf Unterschiede im Hubraum zurückgeführt werden kann. LNfz mit einem Gesamtgewicht unterhalb von 2 t und Benzinmotor sind etwa 1 dB leiser als jene mit Dieselmotor.

Für INfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über 2 t wurde eine weitere Analyse bezogen auf das Zulassungsjahr durchgeführt. Es gibt eine Tendenz zu niedrigeren Vorbeifahrpegeln mit abnehmendem Fahrzeugalter über den gesamten Geschwindigkeitsbereich. Aber die Differenz zwischen Fahrzeugen mit Zulassungsjahren von 1990 bis 1995 und neuen Fahrzeugen beträgt lediglich 1 dB. Die Differenz zu Fahrzeugen, die vor 1990 zugelassen wurden, scheint größer zu sein, aber die Größe der Stichprobe lässt keine zuverlässigen Schlüsse zu.

Schwere Nutzfahrzeuge

Mit Blick auf die Geräuschgrenzwerte sind die sNfz in die folgenden drei Nennleistungsklassen aufgeteilt worden: $P_n < 75$ kW, 75 kW $\leq P_n < 150$ kW, $P_n \geq 150$ kW. Konsequenterweise wurde die erste Analyse in Übereinstimmung mit diesen Klassen durchgeführt, und zwar getrennt für sNfz mit bis zu 3 Achsen und für solche mit mehr als 3 Achsen.

In der Stichprobe aus dem Jahr 2001 waren nur wenige Fahrzeuge mit einer Nennleistung unterhalb von 75 kW enthalten. Eine Analyse der Zulassungsjahre zeigte, dass diese Leistungsklasse in Zukunft verschwinden wird. Der größte Teil der Stichprobe mit bis zu 3 Achsen hat Nennleistungswerte zwischen 100 und 125 kW oder zwischen 150 und 200 kW. 43 % dieser Stichprobe gehören bereits zur höchsten Nennleistungsklasse der gegenwärtigen Typprüfrichtlinie. Nahezu 90 % der Stichprobe von sNfz mit mehr als 3 Achsen haben Nennleistungswerte zwischen 250 und 350 kW.

In einem ersten Schritt sollte geprüft werden, ob eine Korrelation zwischen den „in-use“-Geräuschemissionspegeln und den technischen Parametern Nennleistung und Hubraum besteht. Dieser Schritt war bezogen auf die Fahrzeuge, die nach 1995 zugelassen wurden. Beide technischen Parameter wurden klassifiziert und die Mittelwerte der L_{max} -Pegel für Geschwindigkeiten zwischen 20 und 40 km/h und für beschleunigende Fahrzeuge in jeder Leistungs- und Hubraumklasse berechnet. Da der Beitrag des Reifen-Fahrbahn-Geräusches von der Anzahl der Achsen abhängt, wurde dieser Analyseschritt separat für Fahrzeuge mit bis zu 3 Achsen und für solche mit mehr als 3 Achsen ausgeführt. Nur Klassen mit mindestens 10 Fahrzeugen wurden berücksichtigt. Bei sNfz mit bis zu 3 Achsen steigen die „in-use“-Geräuschpegel mit zunehmender Nennleistung und zunehmendem Hubraum. Aber erstaunlicherweise nehmen die „in-use“-Emissionspegel für sNfz mit mehr als 3 Achsen mit zunehmender Leistung oder Hubraum etwas ab. Die Nennleistungsbereiche für beide Achsklassen

sind klar getrennt. Es gibt weder eine Leistungsklasse oberhalb von 250 kW für sNfz mit bis zu 3 Achsen noch eine unterhalb von 250 kW für sNfz mit mehr als 3 Achsen.

Beim Hubraum gibt es eine kleine Region zwischen 11000 und 12000 cm³, in der beide Achsklassen überlappen. In dieser Region kann keine signifikante Differenz zwischen beiden Achsklassen festgestellt werden, so dass man schließen kann, dass das Reifen-Fahrbahn-Geräusch hier in Beschleunigungsphasen nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Um Alterseffekte zu minimieren, wurden bei der Analyse der Nennleistungseffekte nur Fahrzeuge betrachtet, die nach 1995 zugelassen wurden. Neben den zwei Achsklassen wurden die folgenden vier Nennleistungsklassen gebildet: $P_n \leq 100$ kW, $100 \text{ kW} < P_n \leq 150$ kW, $150 \text{ kW} < P_n \leq 250$ kW, $P_n > 250$ kW.

Die Grenzen bei 150 und 250 kW weichen von denen in den gültigen EU- und ECE-Regelungen ab, entsprechen dafür den für die Änderung der ECE-Regelung vorgeschlagenen Grenzen. Die Schlussfolgerungen sich von der genauen Wahl der Grenzen unabhängig.

Mittlere Geräuschpegel für die verschiedenen Unterklassen wurden für eine Referenzgeschwindigkeit von 30 km/h berechnet. Für 3-achsige Fahrzeuge in Beschleunigungsphasen beträgt die Pegeldifferenz von einer Leistungsklasse zur nächsten 1,7 bis 2 dB, bzw. 5,4 dB zwischen der höchsten und der niedrigsten Leistungsklasse. Die Differenz zwischen beiden Achsklassen liegt in der obersten Leistungsklasse unterhalb von 1 dB.

Für 3-achsige Fahrzeuge in frei fließendem Verkehr beträgt die Pegeldifferenz zwischen benachbarten Leistungsklassen 0,7 bis 1,1 dB, bzw. 3,9 dB zwischen der höchsten und der niedrigsten Leistungsklasse. Diese Differenzen sind niedriger als die Differenzen für beschleunigende Fahrzeuge, was zeigt, dass die „in-use“-Geräuschpegel bei 75 km/h bereits von Reifen-Fahrbahn-Geräusch beeinflusst sind. Die Differenz zwischen den 2 Achsklassen für sNfz in der höchsten Leistungsklasse bei 75 km/h in frei fließendem Verkehr beträgt 1,1 dB, was ebenfalls ein Anzeichen für den Einfluss des Reifen-Fahrbahn-Geräusches ist.

Außerdem wurde in jeder der Leistungs- und Achsklassen eine Analyse nach Zulassungsjahr durchgeführt, und zwar mit Fahrzeugen die vor 1990, zwischen 1990 und 1995, und nach 1995 zugelassen wurden. Die gewählten Zeiträume orientieren sich an Grenzwertstufen. Keines der Fahrzeuge mit Zulassungsjahr vor 1990 fiel in die höchste Leistungsklasse.

In Leistungsklassen unterhalb von 250 kW und bei 3-achsigen Fahrzeugen liegen die Typzulassungspegel heutiger Fahrzeuge um 8 dB unter denen von Fahrzeugen, die vor 1990 zugelassen wurden. Die mittleren Vorbeifahrtpegel in Beschleunigungsphasen zwischen 20 und 40 km/h liegen bei heutigen Fahrzeugen um 3,3 bis 4,2 dB unter denen von Fahrzeugen, die vor 1990 zugelassen wurden. Die Unterschiede nehmen mit zunehmender Leistungsklasse ab. Das bedeutet, dass die Geräuschminderung im realen Verkehr für diese Fahrzeuge größer war als für Pkw und INfz und somit die Typprüferäuschgrenzwertsenkung effektiver war. Das ist nicht der Fall sNfz mit Nennleistungen über 250 kW, bei denen die letzte Grenzwertsenkung von 4 dB nur eine Minderung der „in-use“-Emissionen von 0,9 bis 1,4 dB in Beschleunigungsphasen bewirkt hat.

Bei 3-achsigen sNfz mit weniger als 250 kW Nennleistung beträgt die Geräuschminderung beim Vergleich heutiger Fahrzeuge mit solchen, die vor 1990 zugelassen wurden, im frei fließenden Verkehr weniger als die Hälfte der Minderung in Beschleunigungssituationen, was auf den größeren Einfluss der Reifen-Fahrbahn-Geräusche in frei fließendem Verkehr zurückzuführen ist.

In Bezug auf Fahrzeugtypen wurde derselbe Ansatz wie bei Pkw und INfz verfolgt. Die Analyse führte zu ähnlichen Ergebnissen: Ein wesentlicher Anteil der Differenzen zwischen den Geräuschemissionen verschiedener Typen kann durch Unterschiede in Nennleistung und Hubraum erklärt werden. Die beobachtete Streuung von 2 dB ist auf die kleine Stichprobengröße und die Methodik der statistischen Vorbeifahrt zurückzuführen. Die Schlussfolgerung ist dieselbe wie bei Pkw und INfz: Es gibt keine typ-spezifischen Unterschiede in den Geräuschemissionen bei sNfz.

Um „in-use“-Geräuschpegelergebnisse für sNfz auf Autobahnen mit Steigungen zu erhalten, wurden zwei Messplätze auf Autobahnabschnitten mit Steigungen von etwa 4 % eingerichtet. Die Ergebnisse wurden für beide Achsklassen mit den Resultaten von drei flachen Autobahnmessplätzen verglichen. Trägt man die individuellen L_{max} -Pegel über der Geschwindigkeit auf, so ergibt sich für die Steigungsstrecken erwartungsgemäß eine geringere Abhängigkeit der Pegel von der Geschwindigkeit. Bei 50 km/h betrug die Pegeldifferenz etwa 3 dB für sNfz mit bis zu 3 Achsen und etwas weniger für sNfz mit mehr als 3 Achsen. Der Grund ist, dass die berauf fahrenden Fahrzeuge versuchen, mit der größtmöglichen Geschwindigkeit zu fahren, und daher mehr Leistung brauchen und mehr Geräusch produzieren als auf ebener Strecke. Im Gegensatz zu früheren Messkampagnen hat ein substantieller Teil der Fahrzeugstichprobe ausreichend Leistung, um Steigungen von 4 % mit maximaler Geschwindigkeit hinauf zu fahren.

Motorräder

Für 392 Motorräder aus der Stichprobe waren technische Daten erhältlich. Die Daten wurden nach Nennleistung, Hubraum und Zulassungsjahr ausgewertet. Bei der Nennleistung wurde die folgende Klassifizierung vorgenommen: $P_n \leq 25 \text{ kW}$, $25 \text{ kW} < P_n \leq 50 \text{ kW}$, $50 \text{ kW} < P_n \leq 75 \text{ kW}$, und $P_n > 75 \text{ kW}$.

Die Unterschiede zwischen den Regressionskurven sind nicht signifikant. Die großen Varianzen der einzelnen Ergebnisse sind auf Unterschiede im Fahrverhalten und auf den Gebrauch Geräusch erhöhender Abgas- und/oder Ansaugschalldämpfer zurück zu führen.

Für die Auswertung wurden folgende Hubraumklassen definiert: Hubraum $\leq 125 \text{ cm}^3$, $125 \text{ cm}^3 < \text{Hubraum} \leq 400 \text{ cm}^3$, $400 \text{ cm}^3 < \text{Hubraum} \leq 750 \text{ cm}^3$, $750 \text{ cm}^3 < \text{Hubraum} \leq 1000 \text{ cm}^3$, und Hubraum $> 1000 \text{ cm}^3$. Da nur 7 Fahrzeuge mit einem Hubraum von weniger als 175 cm^3 im Datensatz enthalten waren, wurde auf eine Klassengrenze bei 175 cm^3 , wie sie bei den Geräuschgrenzwerten existiert, bei der Auswertung verzichtet.

Die Regressionskurven für die Hubraumklassen 1, 3, 4 und 5 haben annähernd dieselbe Steigung, die für die Klassen 3 und 4 sind identisch. Fahrzeuge der Hubraumklasse 1 haben etwas höhere Pegel als Fahrzeuge der Klassen 3 und 4, solche der Klasse 5 etwas niedrigere. Die Unterschiede zwischen den Klassen betragen jedoch weniger als 2 dB. Fahrzeuge der Hubraumklasse 2 zeigten eine andere Abhängigkeit des Vorbeifahrtpegels von der Geschwindigkeit, die allerdings wegen der geringen Stichprobengröße nicht belastbar ist.

Für Motorräder wurden dieselben drei Zulassungsjahrklassen definiert wie bei den schweren Nutzfahrzeugen. Wegen der geringen Stichprobengrößen können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dennoch ist bei Geschwindigkeiten unterhalb von 60 km/h ein Trend zu niedrigeren Pegeln bei moderneren Fahrzeugen erkennbar.

4.4 Geräuschminderungseffekt von Drainasphalt verglichen mit Splittmasti-xaspalt

Die Autobahnmessstelle mit Drainasphalt (maximale Korngröße 11 mm, DA 0/11) wurde bei den bisher dargestellten Auswertung nicht verwendet. Der Minderungseffekt dieses Belags wurde durch einen Vergleich der Vorbeifahrtpegel von Pkw, bis zu 3-achsigen sNfz und sNfz mit mehr als 3 Achsen an dieser Messstelle mit Pegeln an einer Autobahnmessstelle mit einem Spillmastixasphalt (maximale Korngröße 11 mm, SMA 0/11) nachgewiesen. Die mittleren Geschwindigkeiten der verschiedenen Fahrzeugkategorien waren an beiden Messstellen nahezu identisch.

Für Pkw ist die Regressionskurve an der Messstelle mit Drainasphalt etwa 8,5 dB niedriger als an der Messstelle mit Spillmastixasphalt. Für sNfz ist die Regressionskurve in beiden Achsklassen bei DA 0/11 etwa 6,5 dB niedriger als bei SMA 0/11.

4.5 Vergleich mit den Ergebnissen aus früheren Untersuchungen

Um die Messungen dieser Studie mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen vergleichen zu können, wurde eine Korrektur für den Einfluss des Fahrbahnbelags eingeführt. Vier Untersuchungen aus den Jahren 1978 [1], 1983 [2], 1986 [3] und 1992 [4] wurden herangezogen, wobei sich die Messungen aus dem Jahr 1986 auf frei fließenden Verkehr beschränken.

Für Pkw, die aus niedrigen Geschwindigkeiten beschleunigen, war ein klarer Trend zu niedrigeren Emissionen zu beobachten. Die mittleren L_{max} -Pegel im Jahr 1992 sind signifikant niedriger als die entsprechenden Pegel aus den Jahren 1978 und 1983, und die Pegel aus dem Jahr 2001 liegen noch unterhalb denen aus dem Jahr 1992. Bei höheren Geschwindigkeiten sind die Regressionskurven deckungsgleich. Außerdem zeigt sich, dass die Streuung der Messungen über die Jahre abgenommen hat.

In frei fließendem Verkehr kann kein Trend bei den mittleren Pegeln festgestellt werden. Lediglich die Streuung der Messergebnisse hat über die Jahre abgenommen.

Wegen der geringeren Stichprobengröße musste für die weiteren Fahrzeugkategorien ein anderer Ansatz verfolgt werden. Die mittleren L_{max} -Pegel und die 95. Perzentile der L_{max} -Pegel wurden für jedes Untersuchungsjahr getrennt berechnet, und zwar für beschleunigende Fahrzeuge im Geschwindigkeitsbereich von 20 bis 40 km/h und für frei fließenden Verkehr im Geschwindigkeitsbereich um 50 km/h (45 bis 55 km/h für Pkw und INfz und 40 bis 60 km/h für sNfz). Als minimale Stichprobengröße wurde für die Berechnung der Mittelwerte 10 Fahrzeuge gewählt, für die Berechnung des 95. Perzentile 60 Fahrzeuge, so dass mindestens 3 Fahrzeuge den Grenzpegel überschreiten.

In der Stichprobe aus dem Jahr 1992 hatten Pkw mit Benzinmotor um etwa 2 dB niedrigere L_{max} -Pegel als in den Stichproben aus den Jahren 1978 und 1983 (-1,9 dB beim Mittelwert und -2,3 dB beim 95. Perzentil). Die Pegeldifferenz zwischen dem Jahr 2001 und dem Durchschnitt aus den Jahren 1978 und 1983 beträgt -3,7 dB beim Mittelwert und -5 dB beim 95. Perzentil.

Für Pkw mit herkömmlichem Dieselmotor beträgt die Pegelminderung im Zeitraum 1978/1983 bis 2001 etwa 3 dB, was insofern wenig bedeutend ist, als dieser Motortyp vom Markt zu verschwinden im Begriff ist. Für Pkw mit direkteinspritzendem Dieselmotor lässt sich in den Daten kein positiver Trend bezüglich der Geräuschemissionen ablesen, da dieser Motortyp in den Datensätzen aus den Jahren 1978 und 1983 überhaupt nicht und auch im Datensatz aus dem Jahr 1992 erst in geringer Zahl vertreten ist. In den Messungen aus dem Jahr 2001 sind Pkw mit direkteinspritzendem Dieselmotor beim Mittelwert der L_{max} -Pegel um etwa 1 dB lauter als Benziner, beim 95. Perzentil beträgt die Differenz weniger als 1 dB.

Für leichte Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 2 t konnte wegen zu geringer Stichprobengröße kein 95. Perzentil der L_{max} -Pegel berechnet werden. Der Mittelwert der Pegel lag 2001 etwa 3,5 dB unter dem aus den Jahren 1978/1983. Für INfz mit mehr als 2 t zulässigem Gesamtgewicht fällt die Pegelminderung mit 2 dB sowohl beim Mittelwert als auch beim 95. Perzentil etwas geringer aus.

Bei schweren Nutzfahrzeugen mit einer Nennleistung bis zu 100 kW beträgt die Minderung für den Zeitraum 1978/1983 bis 2001 etwa 2,5 dB, bei sNfz zwischen 100 und 150 kW mit 5,5 dB (Mittelwert) bis 6,5 dB (95. Perzentil) mehr als doppelt so viel. Das hat dazu geführt, dass sich die Pegel dieser beiden Nennleistungsklassen im Jahr 2001 nicht mehr signifikant unterscheiden.

In den höheren Leistungsklassen sind noch größere Pegelminderungen zu beobachten. Bei sNfz der Nennleistungsklasse 150 bis 250 kW beträgt die Pegelminderung für den Zeitraum 1978/1983 bis 2001 7,5 dB (Mittelwert), bzw. 6,4 dB (95. Perzentil). Fahrzeuge in der obersten Leistungsklasse mit Nennleistungen über 250 kW waren in den früheren Untersuchungen aus den Jahren 1978 und 1983 gar nicht und im Jahr 1992 noch nicht in ausreichender Zahl vertreten, um 95. Perzentile zu berechnen. Lediglich die Mittelwerte von 1992 und 2001 können verglichen werden und folgen dem Trend der Fahrzeuge in der nächst niedrigeren Leistungsklasse.

Für frei fließendem Verkehr konnten auch die Daten aus dem Jahr 1986 hinzugezogen werden. Bei Pkw mit Dieseldirekteinspritzung besteht dasselbe Problem mit der Stichprobengröße wie in Beschleunigungssituationen. Im Zeitraum 1978/1983 bis 2001 zeigen Pkw mit Benzinmotor und solche mit herkömmlichem Dieselmotor denselben Trend, nämlich eine Abnahme des 95. Perzentils der L_{max} -Pegel um etwa 2 dB, jedoch keine signifikante Änderung der mittleren Pegel.

Bei leichten Nutzfahrzeugen konnte im frei fließenden Verkehr über denselben Zeitraum ebenfalls keine signifikante Pegelminderung festgestellt werden. Schwere Nutzfahrzeuge mit bis zu 100 kW Nennleistung sind im Mittel 2,4 dB leiser geworden, beim 95. Perzentil sogar um 5 dB, wobei diese Angabe auf eine nur geringe Anzahl von Fahrzeugen gestützt ist.

Bei schweren Nutzfahrzeugen in den Nennleistungsklassen um 125 kW und um 200 kW ist für die Mittelwerte und die 95. Perzentile der Pegel eine einheitliche Entwicklung zu beobachten: Keine signifikanten Unterschiede zwischen 1978 und 1986, aber deutliche Minderungen 1992 und nochmals 2001. Die Pegelunterschiede zwischen 1986 und 2001 betragen 3,5 bis 5 dB. Für schwere Nutzfahrzeuge mit mehr als 250 kW Nennleistung existieren nur Daten aus den Jahren 1992 und 2001. Die Pegelminderung beträgt hier 2 dB bei den Mittelwerten und 3 dB bei den 95. Perzentilen.

Zum Schluss wurden Messungen im frei fließenden Verkehr bei Geschwindigkeiten zwischen 70 und 90 km/h ausgewertet. Bei Pkw konnte kein signifikanter Trend in den Vorbeifahrtpegeln beobachtet werden. Bei leichten Nutzfahrzeugen und bei schweren Nutzfahrzeugen mit Nennleistungen bis zu 250 kW sind Pegelminderungen von 1 bis 2,5 dB über den Zeitraum von 1986 bis 2001 erzielt worden. Bei schweren Nutzfahrzeugen mit über 250 kW Nennleistung ist keiner signifikanter Unterschied in den Pegeln aus dem Jahr 1992 und aus dem 2001 zu verzeichnen.

Bei Motorrädern ist eine Pegelminderung von 2,5 dB beim Mittelwert und 5 dB beim 95. Perzentil über den Zeitraum von 1978 bis 2001 zu verzeichnen. Allerdings ist die Interpretation dieser Ergebnisse schwierig, da illegale Schalldämpfer höchst wahrscheinlich einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben, genaue Angaben zu Art und Anteil der illegalen Schall-

dämpfer im Datensatz aber nicht vorhanden sind. Es ist zu vermuten, dass die wesentlich stärkere Minderung beim 95. Perzentil der L_{max} -Pegel im Vergleich zum mittleren L_{max} -Pegel auf eine Abnahme des Anteils illegaler Schalldämpfer zurückgeführt werden kann.

4.6 Schlussfolgerungen

Das Hauptziel dieser Untersuchungen war eine Antwort auf die Frage zu finden, ob Geräuschgrenzwertsenkungen für Typprüfungen, die inzwischen in Kraft getreten sind, zu Minderungsmaßnahmen bei den Herstellern führten, was ebenfalls die Geräuschemission im realen Verkehr verminderte. Die Analyse der Ergebnisse zeigt deutlich, dass es einen Effekt auf das „in-use“ Antriebsgeräusch von Fahrzeugen, aber kein Effekt auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch gab. Da das Reifen-Fahrbahn-Geräusch für Pkw wichtiger als für sNfz ist, ist der Minderungseffekt bei sNfz größer als bei Pkw.

Genauer: Da das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bei Pkw im frei fließenden Verkehr dominiert, ergab die Minderung der Antriebsgeräuschemission keinen Gewinn für diese Fahrzustandsklasse. Und selbst für Beschleunigungsphasen bei geringen Geschwindigkeiten war die Minderung der Gesamtgeräuschemission erheblich niedriger als die Minderung der Geräuschgrenzwerte, was teilweise durch Reifen-Fahrbahn-Geräuscheinfluss und teilweise durch Änderungen in der Messmethode bewirkt wurde. Auf der anderen Seite kann festgestellt werden, dass der immer noch anhaltende Trend zu breiteren und auf höhere Geschwindigkeiten ausgelegte Reifen für Pkw nicht zu einem signifikanten Anstieg der Gesamtgeräuschemission für frei fließenden Verkehr geführt hat. Da dieser Trend ohne Minderungsmaßnahmen zu einem Anstieg der Reifen-Fahrbahn-Geräuschemission geführt haben würde (und die Ergebnisse für Pkw im frei fließenden Verkehr unterstützen diese Annahme), kann man sagen, dass die Reifenhersteller in der Lage waren die Geräuschemission an die Minderungsmaßnahmen anzupassen, aber nur in dem Maß, dass diese Maßnahmen den zu erwarteten Anstieg kompensierten.

Die Ergebnisse zeigten ebenfalls, dass die Geräuschemissionen mit Dieselmotoren während Beschleunigungsphasen bei niedrigen Geschwindigkeiten 1 bis 2 dB(A) höher ist als die Geräuschemission für Pkw mit Benzinmotoren. Diese Differenz ist teilweise durch Differenzen im Hubraum zwischen beiden Gruppen bedingt, weil ebenfalls für beschleunigende Pkw bei niedrigen Geschwindigkeiten steigende „in-use“ Geräuschemissionen mit steigendem Hubraum gefunden wurde. Der verbleibende Rest ist abhängig vom Motortyp. Aber die Geräuschemission von Pkw mit der heutigen Dieseldirekteinspritzung in Beschleunigungsphasen ist niedriger als die korrespondierende Geräuschemission von herkömmlichen Dieselfahrzeugen, welche auf dem Markt nicht mehr existieren. Bedenkt man, dass es bei Pkw mit Dieseldirekteinspritzung und Pkw mit Benzinmotor keinen Unterschied bei den mittleren Typprüfpegeln gibt, ist der 1dB(A) „Rabatt“ für Pkw mit Dieseldirekteinspritzung nicht länger gerechtfertigt.

Mit Blick auf die INfz wurden signifikante Differenzen in den „in-use“ Geräuschemissionen beschleunigender Fahrzeuge mit zulässigem Gesamtgewicht von bis zu 2 t und über 2 t gefunden. Die Geräuschemission der zuerst genannten Unterklasse ist nahezu die Gleiche wie für Pkw der gleichen Motorart, die Geräuschemission der zweiten Klasse ist signifikant höher (2 bis 3 dB(A)). Konsequenterweise kann man mit Blick auf die Grenzwerte daraus schließen, dass INfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 2 t eine eigene Fahrzeugklasse darstellen. Interessanterweise wurden keine Differenzen in den Geräuschemissionen der INfz mit zulässiger Gesamtmasse über 2 t und den korrespondierenden Fahrzeugen mit Pkw-Zulassung gefunden. Das bedeutet, dass die Hersteller offensichtlich keine weniger effektiven Geräuschreduktionsmaßnahmen für diese Fahrzeuge nutzen, wenn sie als INfz typgeprüft sind, und deshalb die Bandbreite, die durch die höheren Grenzwerte der INfz mit zu-

lässigem Gesamtgewicht über 2 t verglichen zu den Pkw-Grenzwerten existiert, nicht aus- schöpfen.

Die „in-use“-Geräuschemissionen von sNfz zeigten einen Einfluss von Hubraum oder Nennleistung, speziell für beschleunigende Fahrzeuge. sNfz sind kommerzielle Fahrzeuge mit zu lässigem Gesamtgewicht über 3,5 t. Die Einflüsse beider Parameter sind mehr oder weniger gleichwertig. Die Geräuschemissionen nehmen mit steigender Leistung oder Hubraum zu. Das Prinzip der verschiedenen Grenzwerte für verschiedene Nennleistungsklassen in der existierenden Geräuschvorschrift ist gerechtfertigt. Aber wegen des Trends zu größeren Nennleistungswerten muss die bestehende Klassifikation aktualisiert werden. So wird zum Beispiel die Leistungsklasse unter 75 kW in Zukunft vom Markt verschwinden. Aufgrund der in diesem Vorhaben durchgeführten Auswertung werden die folgenden Klassen für die Änderung der EU und ECE Geräuschrichtlinien vorgeschlagen:

1. $P_n \leq 100 \text{ kW}$,
2. $100 \text{ kW} < P_n \leq 150 \text{ kW}$,
3. $150 \text{ kW} < P_n \leq 250 \text{ kW}$,
4. $P_n > 250 \text{ kW}$

Die Ergebnisse für heutige sNfz (nach 1995 zugelassen) zeigen, dass die Differenzen der Geräuschemission beschleunigender Fahrzeuge zwischen den Klassen 1 und 2 auf der einen Seite und 3 und 4 auf der anderen Seite klein sind. Der vier Klassen wurden vorgeschlagen, um verschiedene Minderungsschritte für Grenzwerte in der Zukunft zu erlauben und auf diese Weise die Effektivität der Typprüfgeräuschemissionsbegrenzung zu verbessern. Diese Klassifikation kann für Busse und Lkw verwendet werden.

Die Ergebnisse zeigten weiter, dass die Minderung der Geräuschgrenzwerte in der Vergangenheit bei sNfz den größten Effekt bei der Minderung der „in-use“-Geräuschemissionen verglichen zu anderen Fahrzeugkategorien hatten. Aber die „in-use“-Geräuschminderung für beschleunigende Fahrzeuge ist nur etwa die Hälfte der Geräuschgrenzwertsenkung. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Geräuschemission im Typprüfverfahren bei Nenndrehzahl geprüft werden, während die „in-use“-Geräuschemissionen bei Motordrehzahlen zwischen Leerlaufdrehzahl und einem Anteil von 60% bis 80% der Nenndrehzahl, abhängig von Fahrzeuggröße und Nennleistung, entstehen.

Die Ergebnisse für sNfz zeigten auch, dass das Reifen-Fahrbahn-Geräusch zwar bei beschleunigenden Fahrzeugen eine untergeordnete Rolle spielt, dagegen in frei fließendem Verkehr oberhalb von 50 km/h das Gesamtgeräusch signifikant beeinflusst.

Für Motorräder können wegen der kleinen Stichprobengröße und dem Mangel an Informationen über mögliche Geräusch erhöhende Modifikationen keine verbindlichen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Hinsichtlich der Typprüfmethode können die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

Die bestehende Methode für Pkw ist offensichtlich nicht länger repräsentativ für das tatsächliche Geräuschverhalten. Der Beitrag des Antriebsgeräusches ist zu hoch verglichen mit seinem Anteil an den „in-use“-Emissionen, selbst für Beschleunigungsphasen. Eine besser ausbalancierte Methode würde besser zu den „in-use“-Bedingungen passen und zu Geräuscheminderungsmaßnahmen für Reifen „ermutigen“ und auf diese Weise die Effektivität erhöhen.

Die bestehende Methode für sNfz sollte dahin gehend modifiziert werden, dass bei den am häufigsten genutzten Drehzahlen statt bei Nenndrehzahl gemessen wird.

Ein dementsprechender Vorschlag der ECE R 51, der die oben gemachten Vorschläge für Pkw, INfz und sNfz berücksichtigt, ist bereits auf dem Weg. Seine Einführung kann für 2008 erwartet werden. Allerdings hängt der Erfolg der neuen Regelung davon ab, ob strengere Anforderungen an die Geräuschemissionen von Reifen in der entsprechenden Regelung ECE R 117 gestellt werden. Die Grenzwerte in beiden Regelungen müssen in Einklang gebracht werden, um nicht nur Erstausstattungsreifen, sondern auch Austauschreifen, die für die Emissionen im realen Verkehr ausschlaggebend sind, angemessen zu berücksichtigen.

5 Literatur

- [1] Frenking, H. und Steven, H.
Emissionswerte für Kraftfahrzeuge - wissenschaftlich-technische Vorbereitung von Rechtsvorschriften und EG-Richtlinien zur Festsetzung und Herabsetzung von Emissionswerten für Lkw und Omnibusse, Pkw und Krafträder, Forschungsbericht 105 05 101, im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin, 1980
- [2] Steven, H.
Änderung der Geräuschemission von Kfz im Stadtbetrieb, Forschungsbericht 105 05 128, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dez. 1985
- [3] Steven, H.
Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf die Geräuschemission von Kraftfahrzeugen, Forschungsbericht 105 05 204/02, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1987
- [4] Steven, H.
Ermittlung der Geräuschemissionsänderung von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr, Forschungsvorhaben 105 05 140, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, März 1995