

Lärmverhalten verschiedener Belagsoberflächen

Comportement de divers revêtements
concernant le bruit

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik,
Strassen- und Eisenbahnbau - IVT:

M. Shojaati Dr. sc.techn. ETH
A. Blötz Dipl. Ing. ETH
M. Horat Dipl. Ing. ETH
M. Caprez Dr. sc.techn. ETH

Forschungsauftrag 16/92 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

Zürich, November 2000

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
Zusammenfassung	11
Summary	13
Résumé	15
1. Einleitung	17
1.1 Thematik	17
1.2 Auftrag	18
1.3 Analyse des Auftrags	18
1.4 Grundsätzliche Fragen	19
1.5 Zielsetzungen	21
1.6 Vorgehen	21
1.7 Abgrenzungen	24
2. Theoretische Grundlagen	25
2.1 Allgemein	25
2.2 Grundlegende Schallparameter	25
2.3 Schallwellen und schalltechnische Eigenschaften von Asphalt	25
2.4 Dezibel (dB)	27
2.5 Frequenz des Schalls	29
2.6 Filter, Bandbreite, Oktav- und Terzfilter	30
2.7 Kurven gleicher Lautstärke	31
2.8 Bewerteter Schallpegel	32
2.9 Frequenzanalyse	33
2.10 Massgebender LMA-Wert	34
2.11 Subjektive Faktoren	36
3. Quellen des Strassenverkehrslärms	37
3.1 Antriebsgeräusch	37
3.2 Rollgeräusch	37
4. Messgeräte und Messverfahren	41
4.1 Lärmessanhänger LMA	41
4.2 Geschwindigkeitsmessgerät	43
4.3 Temperaturmessgerät	43
4.4 Winkelmessgerät	44
4.5 Stuttgarter Reibungsmesser SRM	44
4.6 Frequenzanalysegerät	45

5. Resultate der Lärmmessungen	47
5.1 Allgemein	47
5.2 Beurteilungsschema	50
5.3 Messresultate, Übersicht	51
5.4 Messresultate einzelner Beläge	55
5.5 dB(A)-Pegel des hinteren und des seitlichen Mikrophons	65
6. Analyse der Resultate, Lärm und Einflussfaktoren	69
6.1 Einfluss der Geschwindigkeit	69
6.2 Einfluss des Belagsalters	70
6.2.1 Dichte Beläge	70
6.2.2 Poröse Beläge	73
6.2.3 Betonbeläge	74
6.3 Einfluss der Temperatur	74
6.4 Einfluss der Ebenheit	79
6.4.1 Allgemein	79
6.4.2 Resultate der Messungen	80
6.4.3 Beurteilung der Messresultate	82
6.5 Einfluss der Griffigkeit	83
6.5.1 Allgemein	83
6.5.2 Griffigkeit	83
6.5.3 Resultate der Messungen	84
6.5.4 Beurteilung der Messresultate	86
6.6 Einfluss der Textur	87
6.7 Einfluss des Mischguttyps	91
7. Terzbandpegelanalyse	95
7.1 Allgemein	95
7.2 Beurteilung von Schallschutzmassnahmen	97
7.3 Schwingungsanregungen	97
7.3.1 Geschwindigkeitsabhängige Frequenzen	98
7.3.2 Geschwindigkeitsunabhängige Frequenzen	100
7.4 Resultate der Terzbandpegelanalysen, Übersicht	102
7.4.1 Allgemein	102
7.4.2 Gruppeneinteilung	102
7.4.3 Grenzwerte der Terzbandpegel	104
7.5 Resultate einzelner Beläge	106
7.5.1 Beläge Gruppe I	107
7.5.2 Beläge Gruppe II	109
7.5.3 Beläge Gruppe III	110
7.5.4 Beläge Gruppe IV	111

7.6	Graphische Darstellung der Resultate	112
7.6.1	Terzbandanalysen bei $v = 30$ km/h	114
7.6.2	Terzbandanalysen bei $v = 50$ km/h	116
7.6.3	Terzbandanalysen bei $v = 60$ km/h	118
7.6.4	Terzbandanalysen bei $v = 80$ km/h	120
7.6.5	Terzbandanalysen bei $v = 100$ km/h	122
7.6.6	Terzbandanalysen bei $v = 120$ km/h	124
7.7	Terzbandpegel von hinterem und seitlichem Mikrophon	126
7.7.1	Einfluss des Belags	126
7.7.2	Einfluss der Geschwindigkeit	129
7.8	Einfluss des Mischguttyps	130
7.9	Einfluss des Belagsalters	132
7.10	Einfluss der Messspur	134
7.11	Linienführung, Lärmpegel in Kurven	136
7.12	Einfluss der Geschwindigkeit	138
7.13	Einfluss der Temperatur	140
7.14	Beitrag der einzelnen Terzbänder zum A-bewerteten Schallpegel	141
7.14.1	Einleitung	141
7.14.2	Berechnung eines Geräuschespektrums	142
7.14.3	Geräuschespektren	144
7.15	Einfluss verschiedener Reifentypen	150
7.16	Einfluss von Lärmemissionen auf Schallschutzmassnahmen	152
7.16.1	Bewertungen aufgrund des Schallschutzes	152
7.16.2	Einfluss der Geschwindigkeit auf die Schalldämmung	155
7.16.3	Einfluss auf die Klangfarbe	155
7.16.4	A- oder B-Bewertung	157
7.16.5	Übertragungsfunktion Nahfeldmessung – Vorbeifahrtsmessung	157
8.	Schlussfolgerungen	161
8.1	Beantwortung der Fragen aus Abschnitt 1.4	161
8.2	Ergebnisse	165
9.	Empfehlungen für die Praxis	167
10.	Offene Fragen	169
11.	Literaturverzeichnis	171

12. ANHANG

Anhang 1: Abkürzungen, Begriffe und Definitionen	173
1.1 Abkürzungen	174
1.2 Begriffe und Definitionen	175
1.3 Gewichtung der einzelnen Resultate	176
1.4 Percentilwerte	177
Anhang 2: Detaillierte Resultate der dB(A) – bewerteten Schallpegel	179
Tabelle 1: Resultate AB 11	180
Tabelle 2: Resultate AB 16	180
Tabelle 3: Resultate TA 10	181
Tabelle 4: Resultate TA 16	181
Tabelle 5: Resultate Mikrobelaag	181
Tabelle 6: Resultate SMA 6	182
Tabelle 7: Resultate SMA 8	182
Tabelle 8: Resultate SMA 11	182
Tabelle 9: Resultate SMA 16	183
Tabelle 10: Resultate MR 11	183
Tabelle 11: Resultate Beton	183
Tabelle 12: Resultate HRA 16	184
Tabelle 13: Resultate HRA 25	184
Tabelle 14: Resultate OB 3/6	184
Tabelle 15: Resultate OB 6/11	185
Tabelle 16: Resultate OB 11/16	185
Tabelle 17: Resultate DRA 11	186
Tabelle 18: Resultate DRA 16	186
Tabelle 19: Resultate GA	187
Anhang 3: Detaillierte Resultate der Terzbandpegelanalyse	189
Tabelle 1: Resultate AB 11 (30 und 50 km/h)	190
Tabelle 2: Resultate AB 11 (60 und 80 km/h)	191
Tabelle 3: Resultate AB 11 (100 und 120 km/h)	192
Tabelle 4: Resultate AB 11 Mischgutttyp N und S (80km/h)	193
Tabelle 5: Resultate AB 16 (30 und 50 km/h)	194
Tabelle 6: Resultate AB 16 (60 und 80 km/h)	195
Tabelle 7: Resultate AB 16 (100 km/h)	196
Tabelle 8: Resultate TA 10 (30 und 50 km/h)	197
Tabelle 9: Resultate TA 10 (80 km/h)	198
Tabelle 10: Resultate TA 16 (30 km/h)	198
Tabelle 11: Resultate TA 16 (50 und 80 km/h)	199
Tabelle 12: Resultate SMA 6 (30 und 50 km/h)	200
Tabelle 13: Resultate SMA 6 (60 und 80 km/h)	201

Tabelle 14: Resultate SMA 8 (30 und 50 km/h)	202
Tabelle 15: Resultate SMA 11 (50 und 60 km/h)	203
Tabelle 16: Resultate SMA 11 (80 und 100 km/h)	204
Tabelle 17: Resultate SMA 11 (120 km/h)	205
Tabelle 18: Resultate MR 11 (50 und 80 km/h)	206
Tabelle 19: Resultate MR 11 (100 und 120 km/h)	207
Tabelle 20: Resultate Beton (50 und 60 km/h)	208
Tabelle 21: Resultate Beton (80 und 100 km/h)	209
Tabelle 22: Resultate Beton (120 km/h)	210
Tabelle 23: Resultate HRA 16 (50 und 60 km/h)	211
Tabelle 24: Resultate HRA 16 (80 km/h)	212
Tabelle 25: Resultate HRA 25 (50 km/h)	212
Tabelle 26: Resultate HRA 25 (60 und 80 km/h)	213
Tabelle 27: Resultate OB 3/6 (50 und 60 km/h)	214
Tabelle 28: Resultate OB 3/6 (80 km/h)	215
Tabelle 29: Resultate OB 6/11 (50 km/h)	215
Tabelle 30: Resultate OB 6/11 (60 und 80 km/h)	216
Tabelle 31: Resultate GA (80 km/h)	217
Tabelle 32: Resultate DRA 11 (30 und 50 km/h)	218
Tabelle 33: Resultate DRA 11 (60 und 80 km/h)	219
Tabelle 34: Resultate DRA 11 (100 und 120 km/h)	220
Tabelle 35: Resultate DRA 16 (50 und 60 km/h)	221
Tabelle 36: Resultate DRA 16 (80 und 100 km/h)	222
Tabelle 37: Resultate Mikrobelaag (50 und 60 km/h)	223
Tabelle 38: Resultate Mikrobelaag (80 km/h)	224

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1.1: Lärmbelastung der Einwohner des Kantons Zürich (Strassen- und Fluglärm) [2]	17
Abbildung 1.2: Vorgehen (schematisch)	22
Abbildung 2.1: Wellenlänge λ und Frequenz f (schematisch)	29
Abbildung 2.2: Oktav- und Terzband	30
Abbildung 2.3: Kurven gleicher Lautstärke [10]	31
Abbildung 2.4: Bewerteter Schallpegel	32
Abbildung 2.5: Typische Messdaten (schematisch)	34
Abbildung 2.6: Unterschied der arithmetischen und energetischen Mittelwerte	35
Abbildung 3.1: Antriebsschallpegel als Funktion der Gangstufe (PW)	38
Abbildung 4.1: Lärmessanhänger LMA des IVT	41
Abbildung 4.2: Position des seitlichen und des hinteren Mikrophons	42
Abbildung 4.3: Winkelmessgerät (schematisch)	44
Abbildung 4.4: SRM in Messposition	45
Abbildung 4.5: Frequenzanalysegerät	46
Abbildung 5.1: Beurteilungsschema gemäss [7]	50
Abbildung 5.2: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 30$ km/h	52
Abbildung 5.3: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 50$ km/h	52
Abbildung 5.4: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 60$ km/h	53
Abbildung 5.5: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 80$ km/h	53
Abbildung 5.6: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 100$ km/h	54
Abbildung 5.7: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 120$ km/h	54
Abbildung 5.8: Lärmpegel Mikrobelag in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	55
Abbildung 5.9: Lärmpegel AB 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	56
Abbildung 5.10: Lärmpegel AB 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	56
Abbildung 5.11: Lärmpegel TA 10 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	57
Abbildung 5.12: Lärmpegel TA 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	57
Abbildung 5.13: Lärmpegel SMA 6 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	58
Abbildung 5.14: Lärmpegel SMA 8 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	58
Abbildung 5.15: Lärmpegel SMA 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	59
Abbildung 5.16: Lärmpegel SMA 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	59
Abbildung 5.17: Lärmpegel HRA 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	60
Abbildung 5.18: Lärmpegel HRA 25 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	60
Abbildung 5.19: Lärmpegel DRA 11 leise in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	61
Abbildung 5.20: Lärmpegel DRA 11 laut in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	61
Abbildung 5.21: Lärmpegel DRA 16 leise in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	62
Abbildung 5.22: Lärmpegel DRA 16 laut in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	62
Abbildung 5.23: Lärmpegel OB 3/6 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	63
Abbildung 5.24: Lärmpegel OB 6/11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	63
Abbildung 5.25: Lärmpegel OB 11/16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	64
Abbildung 5.26: Lärmpegel MR 11 in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit	64
Abbildung 5.27: Lärmpegel Beton in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	65
Abbildung 5.28: Pegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon ($v = 50$ km/h)	66
Abbildung 5.29: Pegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon ($v = 80$ km/h)	66
Abbildung 5.30: Pegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit	67
Abbildung 6.1: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für AB 16 (Messungen auf dem gleichen Belag)	71
Abbildung 6.2: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für OB 16 (Messungen auf dem gleichen Belag)	71
Abbildung 6.3: Resultate der Lärmmessungen TA 10 bei $v = 50$ km/h (Messungen auf verschiedenen Belägen)	72
Abbildung 6.4: Resultate der Lärmmessungen TA 10 bei $v = 80$ km/h (Messungen auf verschiedenen Belägen)	72
Abbildung 6.5: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für DRA 15	73
Abbildung 6.6: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für Betonbelag	74
Abbildung 6.7: Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge (Strecke Dielsdorf - Kreisel Niederglatt Richtung Niederglatt)	77

Abbildung 6.8:	Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge (Strecke Dielsdorf - Kreisel Niederglatt Richtung Dielsdorf)	77
Abbildung 6.9:	Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge (Richtung 1)	78
Abbildung 6.10:	Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge (Richtung 2)	78
Abbildung 6.11:	Resultate der Ebenheits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken	80
Abbildung 6.12:	Resultate der Griffigkeits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken	86
Abbildung 6.13:	Wellenlängenspektrum der Fahrhahnoberfläche und Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften [17]	88
Abbildung 6.14:	Wellenlänge und Amplitude der Textur	89
Abbildung 6.15:	Rollgeräusche und Geometrie von Fahrhahnoberflächen [19]	90
Abbildung 7.1:	Anregung durch Belagsunebenheiten	98
Abbildung 7.2:	Anregung durch Makrotextur	99
Abbildung 7.3:	Wirbelablösung hinter einem Stab	99
Abbildung 7.4:	Untere Grenzwerte der Terzbandpegel	105
Abbildung 7.5:	Obere Grenzwerte der Terzbandpegel	106
Abbildung 7.6:	Terzbandanalysen bei 30 km/h, Beläge der Gruppe I	114
Abbildung 7.7:	Terzbandanalysen bei 30 km/h, Beläge der Gruppe III	115
Abbildung 7.8:	Terzbandanalysen bei 30 km/h, Beläge der Gruppe IV	115
Abbildung 7.9:	Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe I	116
Abbildung 7.10:	Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe II	116
Abbildung 7.11:	Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe III	117
Abbildung 7.12:	Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe IV	117
Abbildung 7.13:	Terzbandanalysen bei 60 km/h, Beläge der Gruppe I	118
Abbildung 7.14:	Terzbandanalysen bei 60 km/h, Beläge der Gruppe III	119
Abbildung 7.15:	Terzbandanalysen bei 60 km/h, Beläge der Gruppe IV	119
Abbildung 7.16:	Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe I	120
Abbildung 7.17:	Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe II	120
Abbildung 7.18:	Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe III	121
Abbildung 7.19:	Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe IV	121
Abbildung 7.20:	Terzbandanalysen bei 100 km/h, Beläge der Gruppe I	122
Abbildung 7.21:	Terzbandanalysen bei 100 km/h, Beläge der Gruppe II	122
Abbildung 7.22:	Terzbandanalysen bei 100 km/h, Beläge der Gruppe III	123
Abbildung 7.23:	Terzbandanalysen bei 120 km/h, Beläge der Gruppe I	124
Abbildung 7.24:	Terzbandanalysen bei 120 km/h, Beläge der Gruppe II	124
Abbildung 7.25:	Terzbandanalysen bei 120 km/h, Beläge der Gruppe III	125
Abbildung 7.26:	Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon bei dichten Belägen der Kategorie A1 ($v = 80$ km/h)	126
Abbildung 7.27:	Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon bei dichten Belägen der Kategorie A2 ($v = 80$ km/h)	127
Abbildung 7.28:	Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon bei offenporigen Belägen der Kategorie B ($v = 80$ km/h)	128
Abbildung 7.29:	Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon bei einer Pflästerung ($v = 25$ km/h)	128
Abbildung 7.30:	Terzbandpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon bei AB 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	129
Abbildung 7.31:	Terzbandpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon bei DRA 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	130
Abbildung 7.32:	Terzbandpegel 20 Messungen auf einem AB 11 ($v = 80$ km/h)	130
Abbildung 7.33:	Vergleich Terzbandpegel AB 11 S und N sowie Mittelwert des AB 11	131
Abbildung 7.34:	Vergleich AB 11 N und S mit SMA 6	131
Abbildung 7.35:	Vergleich Terzbandpegel HRA 25 zwischen 1987 und 1998	133
Abbildung 7.36:	Vergleich Terzbandpegel DRA 11 zwischen 1987 und 1998	133
Abbildung 7.37:	Definitionen verschiedener Begriffe	134
Abbildung 7.38:	Terzbandpegeldifferenz zwischen der Fahrspur und der Radspur für einen neuen Drainbelag sowie Asphaltbetonbeläge	135
Abbildung 7.39:	Vergleich Terzbandpegeldifferenz zwischen Überhol- und Normalspur	136
Abbildung 7.40:	Wirkende Kräfte auf das Fahrzeug in einer Kurve	137

Abbildung 7.41:	Vergleich der Terzbandpegeldifferenzen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Temperatur in einer Kurve und dem nachfolgenden geraden Streckenabschnitt	137
Abbildung 7.42:	Zunahme der Terzbandpegel auf einem SMA 11 zwischen Sommer und Winter bei Belagstemperaturen von 8 bzw. 54° C	140
Abbildung 7.43:	Zunahme der Terzbandpegel auf einem DRA 10 zwischen Sommer und Winter bei Belagstemperaturen von 0 bzw. 52° C	141
Abbildung 7.44:	Beiträge der einzelnen Terzbänder zur A-bewerteten Schallintensität bei Geschwindigkeiten von 30 bis 120 km/h	143
Abbildung 7.45:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)	145
Abbildung 7.46:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)	145
Abbildung 7.47:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe)	146
Abbildung 7.48:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe mit einer zweiten Maximum bei 1.6 kHz)	146
Abbildung 7.49:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)	147
Abbildung 7.50:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)	147
Abbildung 7.51:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Untergruppe)	148
Abbildung 7.52:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe)	148
Abbildung 7.53:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)	149
Abbildung 7.54:	Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe)	149
Abbildung 7.55:	Terzbandpegeldifferenzen anderer Reifen von AIPCR-Reifen auf einem DRA 10 ($v = 80$ km/h)	150
Abbildung 7.56:	Terzbandpegeldifferenzen anderer Reifen von AIPCR-Reifen auf einem AB 16 ($v = 80$ km/h)	151
Abbildung 7.57:	Terzbandpegeldifferenzen AIPCR und anderer Reifen zwischen einem DRA 10 und einem AB 16 ($v = 80$ km/h)	151
Abbildung 7.58:	Schalldämmung in Abhängigkeit des Belages ($v = 80$ km/h)	153
Abbildung 7.59:	Wirkung von Schallschutzmassnahmen mit Einbezug der absoluten Pegel und der Schalldämmung der einzelnen Beläge ($v = 80$ km/h)	154
Abbildung 7.60:	Schalldämmung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit bei einem AB 11 und einem neuen DRA 11	155
Abbildung 7.61:	Geräuschspektrum eines SMA 11 im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen ($v = 80$ km/h)	156
Abbildung 7.62:	Geräuschspektrum eines DRA 11 im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen ($v = 80$ km/h)	156
Abbildung 7.63:	Angenommene Übertragungsfunktionen für die Sensitivitätsanalyse	158

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1.1: Anzahl dB(A)-Pegelmessungen und Terzbandpegelanalysen je Belagstyp	23
Tabelle 2.1: Schalltechnische Eigenschaften von Strassenbaumaterialien	26
Tabelle 2.2: Schallpegelkorrekturen aufgrund verschiedener Bewertungsmethoden	33
Tabelle 2.3: Abweichung der Mittelwerte vom Dauerschallpegel $L_{\alpha q}$	35
Tabelle 5.1: Grenzwert der A-bewerteten Rollgeräuschpegel	47
Tabelle 5.2: Gruppeneinteilung A-bewerteter Rollgeräuschemissionen auf verschiedenen Belägen	48
Tabelle 5.3: Grenzwerte für die Ermittlung der massgebenden LMA-Werte [9]	49
Tabelle 5.4: Pegelwerte zum Beurteilungsschema [7], Messung mit AIPCR-Reifen	51
Tabelle 6.1: Lärmpegel und die dazugehörigen α -Werte verschiedener Beläge ($v = 80$ km/h)	70
Tabelle 6.2: Temperaturkoeffizienten für die verschiedenen Belagstypen	79
Tabelle 6.3: Abnahmewerte der Ebenheit in Abhängigkeit der Strassentypen	79
Tabelle 6.4: Resultate der Ebenheits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken	81
Tabelle 6.5: Abnahmewerte der Griffigkeit in Abhängigkeit der Höchstgeschwindigkeit	83
Tabelle 6.6: Entwicklung der Griffigkeit und der Rollgeräusche von 1986 bis 1991	84
Tabelle 6.7: Resultate der Griffigkeits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken	85
Tabelle 6.8: Eigenschaften der Mischguttypen	92
Tabelle 6.9: Lärmpegel in Abhängigkeit des Mischguttyps beim AB 11	92
Tabelle 6.10: Lärmpegel in Abhängigkeit des Mischguttyps beim AB 16	93
Tabelle 7.1: Beiträge der einzelnen Terzbänder zur A-bewerteten Schallintensität	96
Tabelle 7.2: Lärmpegelerhöhungen durch Feuchtigkeit nach [21]	101
Tabelle 7.3: Belagsgruppen	103
Tabelle 7.4: Datenumfang der Terzbandanalysen für die einzelnen Beläge	104
Tabelle 7.5: Terzbandpegel AB 11	107
Tabelle 7.6: Terzbandpegel AB 16	108
Tabelle 7.7: Terzbandpegel SMA 11	108
Tabelle 7.8: Terzbandpegel TA 10	108
Tabelle 7.9: Terzbandpegel TA 16	108
Tabelle 7.10: Terzbandpegel MR 11	108
Tabelle 7.11: Terzbandpegel HRA 16	109
Tabelle 7.12: Terzbandpegel HRA 25	109
Tabelle 7.13: Terzbandpegel Betonbeläge	109
Tabelle 7.14: Terzbandpegel GA	109
Tabelle 7.15: Terzbandpegel DRA 11	110
Tabelle 7.16: Terzbandpegel DRA 16	110
Tabelle 7.17: Terzbandpegel OB 6/11	111
Tabelle 7.18: Terzbandpegel SMA 6	111
Tabelle 7.19: Terzbandpegel SMA 8	111
Tabelle 7.20: Terzbandpegel OB 3/6	111
Tabelle 7.21: Terzbandpegel Mikrobelag	112
Tabelle 7.22: Untere Grenzwerte, A-bewertet	112
Tabelle 7.23: Obere Grenzwerte, A-bewertet	113
Tabelle 7.24: Ergebnisse der nach Gleichung 6.1 ausgeführten Korrelation für einen AB 11	139
Tabelle 7.25: Ergebnisse der nach Gleichung 6.1 ausgeführten Korrelation für einen «leisen DRA 11»	139
Tabelle 7.26: Berechnung des Beitrages eines einzelnen Terzbandes zur A-bewerteten Schallintensität (AB 11, $v = 80$ km/h)	143
Tabelle 7.27: Frequenzabhängige Schalldämmung in Dezibel einer Lärmschutzwand und einer Fensterscheibe	152
Tabelle 7.28: Schallpegel mit A- und B-Bewertung und mit einer Filterung im Sinne der Schallschutzmassnahmen	157
Tabelle 7.29: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse	159

Zusammenfassung

Lärm ist eine der bedeutendsten Umweltbelastungsquellen der modernen Zeit. Viele Leute leiden heutzutage unter der Verkehrslärmbelastung.

Mit Schreiben vom 5. 11. 1992 erteilte das Bundesamt für Strassen dem IVT-ETH den Auftrag, die Rollgeräuschemissionen verschiedener Belagsoberflächen sowie die Einflussfaktoren zu untersuchen. Ziel ist es, die Lärmemissionen der Motoren- und Rollgeräusche (Reifen und Strassenbelag) an der Quelle, trotz steigendem Verkehr konstant zu halten oder sogar zu reduzieren.

Von 1985 bis 1999 wurden auf knapp 500 verschiedenen Strecken mit etwa 20 verschiedenen Belägen etwa 4000 Rollgeräuschemessungen durchgeführt. Es wurden sowohl der A-bewertete Schallpegel als auch die Terzbandspektren ermittelt. Aufgrund der Messresultate wurden die Beläge in 4 Gruppen unterteilt.

Die erste Gruppe umfasst Beläge mit «leisen bis mittleren» Schallpegeln mit einem maximalen Terzbandpegel bei 1.6 kHz. Diese Gruppe umfasst die Beläge AB 11, AB 16, TA 10, TA 16, MR 11, SMA 11 und SMA 16. Der Belag AB 16 und solche mit einer Mischgutzusammensetzung S sind dabei etwas lauter. Von dieser Gruppe weist der AB 11 die besten Resultate auf.

Die zweite Gruppe umfasst die «lauten» Beläge Beton, GA, HRA 16 und HRA 25 mit einem maximalen Terzbandpegel meist bei 1 kHz.

Die dritte Gruppe umfasst die Drainasphalte, die stark vom Belagsalter abhängige Lärmemissionen aufweisen und mit nicht verstopften Hohlräumen eher zu den leisen, mit verstopften Hohlräumen eher zu den lauten Belägen zählen. Zu dieser Gruppe gehören auch die OB-Beläge, die ähnliche dB(A)-Pegel und Terzbandspektren aufweisen wie die Drainasphalte mit verstopften Hohlräumen. Das Terzbandpegelmaximum liegt meist bei 1 kHz.

Die vierte Gruppe umfasst SMA 6, SMA 8, Mikrobelag und OB 3/6. Der SMA 6 weist eine deutlich tiefere Lärmemission auf. Der maximale Terzbandpegel liegt bei 1.6 kHz, was im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen vorteilhaft ist.

Der SMA 6 wird eindeutig als leiser Belag empfohlen. Sein Langzeitverhalten muss aber noch beobachtet werden. Der AB 11 gehört auch zu den leisen Belägen. Er ist etwas lauter als der SMA 6, ist aber der leiseste Belag mit dem Grösstkorn 11. Als dritter Belag kann der DRA 11 empfohlen werden. Er weist eine gute Übertragungsfunktion zwischen Nahfeldmessung und Vorbeifahrtsmessung auf (möglicherweise wegen seiner Absorptionseigenschaften). Beim DRA 11 muss ein besonderes Augenmerk auf die Verhinderung der Verstopfung der Hohlräume gerichtet werden.

Desweiteren wurde die Abhängigkeit der Rollgeräuschemissionen von anderen Einflussgrössen untersucht. Wie sich herausstellte, ist die wichtigste Einflussgrösse die Temperatur der Belagsoberfläche. Bei einer Belagstemperaturdifferenz von 50° C betragen die Pegeldifferenzen bis zu 4 dB(A) bei Drainbelägen, um 3 dB(A) bei dichten bituminösen Belägen und zirka 2 dB(A) bei Beton und OB-Belägen.

Der Einfluss der Textur war schwierig zu eruieren. Qualitativ sind die Terzbandanalysen desselben Belags bei allen Geschwindigkeiten ähnlich. Das Pegelmaximum verschiebt sich im allgemeinen nicht zu höheren Frequenzen. Die Schallintensität wird aber durch das Grösst Korn beeinflusst. Dies zeigt sich besonders deutlich bei SMA-Belägen. Zwischen der Lärmemission und der Griffigkeit bzw. Ebenheit konnte keine eindeutige Korrelation festgestellt werden.

Das Geräuschkolorit (Klangfarbe) der Lärmemissionen wurde ebenfalls untersucht. Daraus lassen sich die massgebenden Frequenzen für die A-bewertete Schallintensität bestimmen. Aufgrund des Geräuschkolorits lassen sich die Beläge in 1 kHz bzw. 1.6 kHz-Beläge, mit einem Terzbandpegelmaximum bei den entsprechenden Frequenzen gliedern. Bei den 1.6 kHz-Belägen AB 11, AB 16, SMA 6, SMA 8, SMA 11, TA 10, TA 16, Mikro und zum Teil Beton tragen die Terzbandfrequenzen von 800 Hz bis 2.5 kHz am meisten zur A-bewerteten Schallintensität bei. Bei den 1 kHz-Belägen DRA 11, DRA 16, OB 3/6, OB 6/11, HRA 16, HRA 25 und zum Teil Beton sind es die Terzbänder 500 Hz bis 2 kHz.

Summary

In modern times, noise counts as one of the most significant sources of environmental pollution. Today, many people suffer from the burden of noisy traffic, whose continuous growth is causing a steady increase in noise levels.

At November 5, 1992, the Swiss Federal Highways Office ordered the IVT - ETH Zurich to investigate rolling noise emissions (and related factors) from a variety of road surfaces. The goal was to investigate the potential of keeping motor and rolling noise emissions (from both tyre and surface) at their current levels, or even reduce them, despite rising traffic.

Between 1985 and 1999 around 4000 noise measurements were taken on approximately 500 stretches of road with about 20 different surfaces, in order to determine A-weighted sound levels as well as tertiary band spectra. The measurements resulted in surfaces being subdivided into four groups.

The first group includes surfaces with «low to medium» sound levels with a maximum tertiary band level of 1.6 kHz. AB 11, AB 16, TA 10, TA 16, MR 11, SMA 11 and SMA 16 surfaces all belong to this group. AB 16 surfaces, and those consisting of composite mixture S, are somewhat noisier. AB 11 shows the best results in this group.

The second group includes the «noisy» surfaces of concrete, GA, HRA 16 and HRA 25 with maximum tertiary band levels mostly at 1 kHz.

The third group includes porous asphalts, whose noise emissions depend to a high degree on their age. With hollow spaces intact, they belong to the low noise group; with blocked hollow spaces, to noisy ones. Seal coats (OB) are also part of this group, showing similar dB(A) levels and tertiary band spectra as drain surfaces with blocked hollow spaces. The maximum tertiary band level is about 1 kHz.

The fourth group includes SMA 6, SMA 8, micro surfaces and seal coat 3/6. SMA 6 clearly shows lower sound levels. The maximum tertiary band level is around 1.6 kHz, an advantageous point bearing in mind noise control measures.

As a low noise surface, SMA can definitely be recommended, its long-term behaviour, however, has yet to be determined. AB 11 also belongs to the low noise group, not as quiet as SMA 6 but the quietest of all with a maximum particle size of 11. As the third surface to be recommended is DRA 11. It shows good correlation between near-to-surface measurements and those taken from the roadside (perhaps due to its absorption properties). DRA 11 requires special attention to prevent its hollow spaces from becoming blocked.

In addition, the relationship between sound emissions and other key factors was investigated, the most important proving to be surface temperature. With a difference of 50° C, noise levels change by 4 dB(A) for drain asphalts, about 3 dB(A) for compact bituminous surfaces, and about 2 dB(A) for concrete and seal coats.

The role texture plays was more difficult to determine. Qualitatively, tertiary band analyses of a surface are the same for all velocities and, in general, the maximum sound level does not change to a higher frequency. The sound intensity, however, is influenced by maximum particle size. This was shown particularly clearly by SMA surfaces. It was not possible to establish a clear correlation between noise emissions and a surface's skid resistance or level of evenness.

Additionally, the sound spectrum (tone) of emissions was investigated. Tone helps to identify which frequencies contribute to A-weighted noise intensity. Based on noise spectra, surfaces can be arranged into 1 kHz and 1.6 kHz groups, with a maximum tertiary band level at the corresponding frequency. By 1.6 kHz surfaces (AB 11, AB 16, SMA 6, SMA 8, SMA 11, TA 10, TA 16, micro and partly concrete), tertiary band frequencies of 800 Hz to 2.5 kHz contribute most to A-weighted sound intensity. By 1 kHz surfaces (DRA 11, DRA 16, OB 6/11, HRA 16, HRA 25 and partly concrete) the tertiary band frequencies responsible for this are from 500 Hz to 2 kHz.

Résumé

Le bruit est une des principales sources de nuisances des temps modernes. Aujourd'hui tant de gens souffrent des nuisances sonores générées par le trafic.

Suite à la correspondance du 5 novembre 1992, l'Office Fédéral des Routes a mandaté l'Institut de planification, de techniques des transports et construction de routes et de chemins de fer (IVT) de l'EPF Zurich, afin d'examiner les émissions de bruit de différentes surfaces routières et leurs facteurs d'influence. L'objectif est de limiter, à la source, les émissions de bruit du moteur et du roulement des pneus à la surface de la chaussée au niveau actuel ou, même, les réduire malgré un trafic en constante augmentation.

Entre 1985 et 1999, environ 4000 mesures ont été effectuées sur presque 500 tronçons routiers composés d'une vingtaine de surfaces différentes. Les résultats ont été dépouillés, d'une part, selon l'échelle dB(A) et, d'autre part, selon les gammes de fréquence. Suite à ces résultats, les surfaces ont été réparties en 4 catégories.

La première catégorie comprend les surfaces avec niveau du bruit «bas à moyen» avec un maximum de la gamme à 1.6 kHz. Cette catégorie comprend les couches de roulement en AB 11, AB 16, TA 10, TA 16, MR 11, SMA 11 et SMA 16. Les couches AB 16 et les types « S » ont des valeurs plus élevées. Les couches du type AB 11 ont fourni les meilleurs résultats.

La deuxième catégorie comprend les surfaces avec niveau du bruit «haut», c'est-à-dire en béton de ciment, GA, HRA 16 et HRA 25, le maximum de la gamme étant proche de 1 kHz.

La troisième catégorie comprend les enrobés drainants. Si la drainabilité de la couche diminue avec le temps, les émissions de bruit augmentent et les couches passent du niveau « bas » au niveau « haut ». Dans la même catégorie se trouvent les ET (enduits superficiels) avec des propriétés similaires aux DRA (dB(A) et gamme de fréquence). En général, le maximum de la gamme de fréquence se situe vers 1 kHz.

La quatrième catégorie comprend les surfaces SMA 6, SMA 8, le micro et ET 3/6. Les émissions des couches SMA 6 donnent un niveau du bruit très bas. Le maximum de la gamme se situe à 1.6 kHz. Ceci est considéré comme un avantage en vue des mesures de réduction du bruit.

Le type SMA 6 est recommandé comme une couche qui émet peu de bruit, malgré le fait que son comportement à long terme doit encore être observé. Le AB 11 est un autre type de surfaces à niveau du bruit bas; il se situe un peu plus haut que les SMA 6 et, entre autre, il a fourni les meilleurs résultats des couches de la classe granulaire de 11 mm. Le troisième type à recommander est le DRA 11; il a fourni une bonne corrélation entre les mesures à la surface et celles réalisées juste à côté de la route (probablement à cause de

ses propriétés d'absorptions). En ce qui concerne le DRA 11, il faut remarquer la nécessité d'éviter le colmatage des vides.

De plus, d'autres facteurs qui pourraient influencer le bruit ont été examinés. Le facteur le plus important s'est avéré être la température de la surface. Une différence de 50 ° C produit des différences du bruit qui atteignent jusqu'à 4 dB (A) pour les HRA, environ 3 dB (A) pour les AB compacts et environ 2 dB (A) pour les couches en béton et ET.

L'influence de la texture est difficile à quantifier. Qualitativement, la gamme de la même couche ne varie guère avec la vitesse. En général, le maximum ne se déplace pas vers les fréquences plus hautes. L'intensité du bruit est influencée par le grain le plus grand, surtout visible avec les SMA. Les recherches n'ont pas établi des corrélations univoques entre l'émission de bruit et la rugosité ni avec la planéité des couches.

De même, le spectre des émissions fut examiné. Les fréquences décisives pour l'intensité en dB(A) étaient déterminées selon les maxima de la gamme qui sont situés à 1 kHz ou à 1.6 kHz. En conséquence, les couches de roulement se répartissent en deux groupes. Dans le groupe de 1.6 kHz, les fréquences de 800 Hz à 2.5 kHz sont décisives pour l'intensité du bruit en dB (A) ; ce groupe comprend les AB 11, AB 16, SMA 6, SMA 8, SMA 11, TA 10, TA 16, micro et partiellement le béton. Dans le groupe de 1 kHz, les fréquences de 500 Hz à 2 kHz sont les plus importantes pour établir l'intensité du bruit ; ce groupe comprend les DRA 11, DRA 16, ET 3/6, ET 6/11, HRA 16 et HRA 25 et partiellement le béton.

1. Einleitung

1.1 Thematik

In der Schweiz werden pro Jahr rund 50 Milliarden Kilometer mit Personenwagen oder mit Lastwagen zurückgelegt. Neben dem daraus resultierenden Schadstoffausstoss ist der Strassenverkehrslärm eine der wichtigsten Umweltbelastungen. Viele Leute leiden heute unter dem Verkehrslärm. Die stärkste und lästigste Lärmquelle wird auch in Zukunft – und zwar in zunehmendem Mass – der Strassenverkehr bleiben.

Der Strassenverkehrslärm setzt sich aus zwei Teilen zusammen, einerseits aus dem Antriebsgeräusch (Motor, Hilfsaggregate, Getriebe) und andererseits aus dem Rollgeräusch, d. h. dem Geräusch zwischen dem Belag und dem rollenden Reifen. Die zwei Teilgeräuschquellen bilden zusammen das Fahrgeräusch. Bei Geschwindigkeiten über 50 km/h wird die Lärmemissionen der Personenwagen durch das Rollgeräusch dominiert (bei Lastwagen über 70 km/h). Das Rollgeräusch wird unter anderem durch die Struktur des Reifenprofils und des Strassenbelags beeinflusst.

Die durch den Strassenverkehr erzeugte Lärmbelastung in der Schweiz ist in den letzten 20 Jahren erheblich angestiegen [1]. Berechnungen aus den 80er Jahren zeigen, dass in der Schweiz bereits damals 25 – 30 % der Bevölkerung tagsüber einer Strassenlärmbelastung ausgesetzt waren, die über dem in der Lärmschutzverordnung (LSV) festgelegten Immissionsgrenzwert von 60 dB(A) für die Empfindlichkeitsstufe II lag.

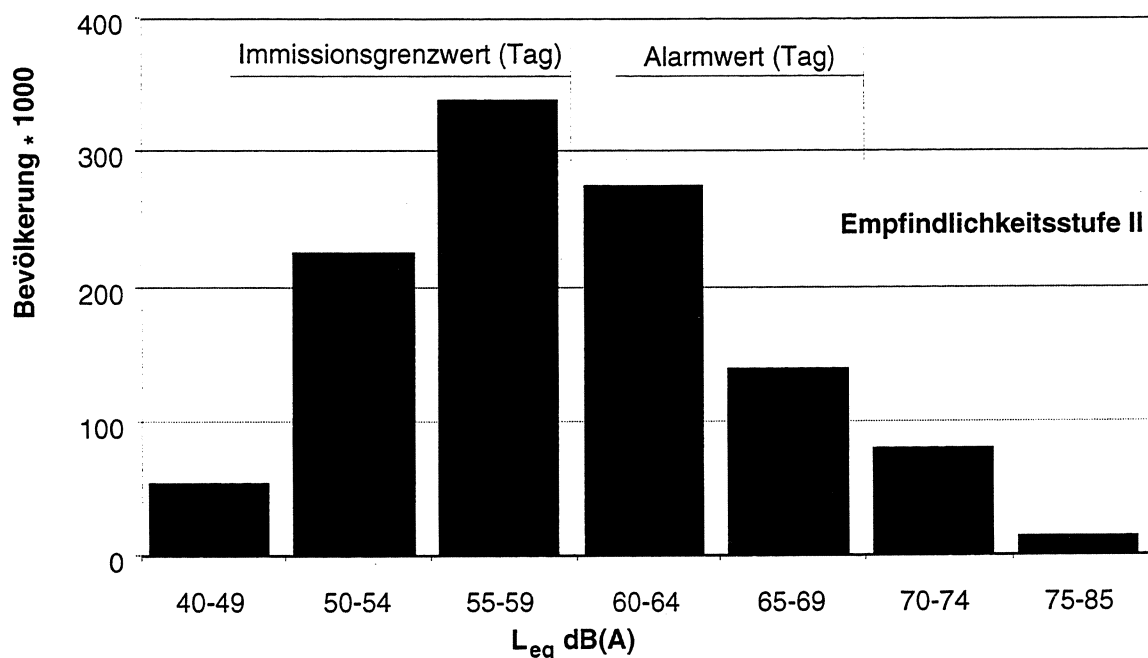


Abbildung 1.1: Lärmbelastung der Einwohner des Kantons Zürich (Strassen- und Fluglärm) [2]

Abbildung 1.1 [2] zeigt die Anzahl Personen im Kanton Zürich, die einem bestimmten Lärm ausgesetzt waren. Hier wurden Flug- und Strassenlärm überlagert. Zirka 220'000 Personen, oder jede fünfte Person im Kanton Zürich, hatten einen Lärm L_{eq} von mehr als 65 dB(A) zu ertragen. Die Zahlen der Abbildung 1.1 erheben keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit. Sie mögen verdeutlichen, welche Grössenordnung das Verkehrslärmproblem angenommen hat.

Dies erfordert passive Schallschutzmassnahmen wie Schallschutzfenster und Schallschutzmauern. Noch besser ist es, den Lärm an der Quelle zu bekämpfen. Dies geschieht einerseits durch die Reduzierung der Antriebsgeräusche der Motorfahrzeuge, andererseits durch den Einbau von leiseren Belägen.

Der Forschung nach lämmindernden Strassenbelägen kommt aus diesem Gesichtspunkt grosse Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang werden die Lärmemissionen der verschiedenen Strassenbeläge sowohl mittels dB(A)-bewertetem Gesamtpegel als auch mit Hilfe detaillierteren Untersuchungen mittels Terzbandpegelanalyse miteinander verglichen.

1.2 Auftrag

Das Bundesamt für Strassenbau hat mit dem Schreiben vom 5.11.1992 dem IVT ETH-Zürich den folgenden Forschungsauftrag erteilt (FA 16 / 92):

«Das Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich, wird beauftragt, mit dem Lärmessanhänger des IVT-ETH Messungen auf verschiedenen Belagsoberflächen an ausgewählten Teststrecken durchzuführen (dichte Beläge und offenporige Beläge). Es ist zu untersuchen, welche Belageigenschaften (Maximalkorngrösse, Korngrössenverteilung, Dichte, Textur etc.) in welcher Weise das Lärmverhalten beeinflussen und wie die zeitliche Entwicklung des lärmspezifischen Verhaltens ist. Ziel der Untersuchung ist es, praxisorientierte Empfehlungen für bezüglich Lärm optimierte Belageigenschaften zu erarbeiten».

1.3 Analyse des Auftrags

Der Auftrag besteht aus zwei unterschiedlichen Teilen. Der erste Teil des Auftrags umfasst die Ermittlung der Lärmeigenschaften verschiedener Belagstypen. Das heisst, die verschiedenen Belagstypen müssen bezüglich ihren Lärmeigenschaften miteinander verglichen werden. Dies sollte dazu führen, dass – so weit als möglich – die Unterschiede der Lärmbelastung bei verschiedenen Belagstypen klar voraussagbar sind. Ausserdem

verlangt dieser Teil des Auftrags die Ermittlung der Streubereiche des Lärmpegels der verschiedenen Belagstypen. Das hat zur Folge, dass der Fachmann vor dem Einbau eines Belags in der Lage sein muss, den zu erwartenden Lärmpegel und den Streubereich – in einem vernünftigen Rahmen – festlegen zu können.

Der zweite Teil des Auftrags setzt völlig andere Ziele. Hier muss zwischen den Belagseigenschaften und dem Lärm eine Korrelation hergestellt werden. Das heisst, die Ursachen, welche die unterschiedlichen Lärmeigenschaften der Beläge bewirken, müssen identifiziert werden. Zur Beantwortung dieser Teilfrage genügt es nicht, die Lärmpegelunterschiede verschiedener Beläge aufzulisten und den leisesten (bzw. den lautesten) Belag zu identifizieren. Hier geht es vielmehr darum, die verschiedenen Einflussfaktoren, wie zum Beispiel Ebenheit, Griffigkeit, Oberflächentextur usw. und ihre Bedeutung im Zusammenhang mit der Lärmemission und deren Entwicklung im Laufe der Zeit zu untersuchen.

1.4 Grundsätzliche Fragen

Aus dem Auftrag und der Auftragsanalyse geht hervor, dass für die Lösung der gestellten Aufgaben folgende Fragen zu beantworten sind:

1. Welche Eigenschaften weisen die verschiedenen Belagstypen bezüglich Lärm auf?

Die Antwort zu dieser Frage ist für die Einteilung der Beläge in leisere bzw. lautere Beläge wichtig. Ausserdem soll die Antwort Hinweise liefern, ob die Lärmpegelunterschiede verschiedener Belagstypen überhaupt wahrnehmbar sind. Die Antwort ist auch bezüglich Einsatz leiserer Beläge in Siedlungsgebieten interessant.

2. Gibt es charakteristische Unterschiede zwischen den einzelnen Belägen bezüglich der Terzbandanalysen?

Die Beläge werden in Gruppen eingeteilt mit ähnlichem Terzbandpegelverlauf. Der Terzbandpegelverlauf charakterisiert das Geräusch einer «Belagsgruppe». Aufgrund des Terzbandpegelverlaufs kann die Wirksamkeit von Schallschutzmassnahmen, die eine stark frequenzabhängige Dämpfung aufweisen, ausführlicher beurteilt werden. In diesem Hinblick ist die Antwort zu dieser Frage für die Schutzmassnahmen gegen den Strassenlärm von grosser Bedeutung.

3. Sind Lärmemissionen vom Belagsalter abhängig?

Die Antwort zu dieser Frage ist entscheidend für die langzeitige Charakterisierung eines Belags. Hier geht es darum, festzustellen, ob die Lärmpegel bei einem bestimmten Belagstyp im Laufe der Zeit konstant bleiben, zunehmen oder abnehmen.

4. Welche Faktoren können die Lärmentstehung beeinflussen? Welche Einflüsse sind massgebend für die Lärmentstehung?

Hier ist gezielt zu prüfen, ob zum Beispiel die Textureigenschaften der Fahrbahn, die Korngrössenverteilung und das Grösstkorn, die Belagtemperatur (Sommer/Winter), die Ebenheit, die Eigenschaften des Bindemittels usw. einen Einfluss auf die unterschiedlichen Lärmpegel der Belagstypen haben. Die Antwort zu dieser Frage ist die Grundlage für eine weitere Forschung über die möglichen aktiven Massnahmen gegen das Rollgeräusch beim Strassenverkehr. Ausserdem muss mit der Antwort zu dieser Frage festgestellt werden, welche Faktoren von massgebender Bedeutung sind und deshalb weiter untersucht werden müssen.

5. Wie können die massgebenden Faktoren beeinflusst werden? Ist es möglich – ohne Einbusse der bautechnischen Eigenschaften der Beläge – lärmärmere Beläge zu produzieren?

Die Antwort zu dieser Frage ist wichtig im Hinblick auf die mögliche Lärmverminderung durch gezieltes Beeinflussen einiger Faktoren, die als massgebend erscheinen. Schliesslich wird mit der Antwort zu dieser Frage festgestellt, ob überhaupt eine Beeinflussung der störenden Faktoren, unter Berücksichtigung der zu erfüllenden Anforderungen an die Strassenoberfläche, möglich ist.

6. Wie müssen die Lärmemissionen von verschiedenen Belägen im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen beurteilt werden?

Zur Beurteilung der Schallschutzmassnahmen sind nicht nur dB(A)-Pegelwerte von Bedeutung, sondern auch die typischen Terzbandspektren verschiedener Beläge spielen diesbezüglich eine grosse Rolle. Die Antwort zu dieser Frage führt zu einer differenzierteren Beurteilung der Beläge in Abhängigkeit der Schallschutzmassnahmen.

7. Wie verlässlich sind die Ergebnisse aufgrund der Nahfeldmessung zur Planung von Schallschutzmassnahmen?

Zur Beurteilung des Lärmpegels in einem gewissen Abstand von der Emissionsstelle sind zusätzlich zum LMA-Wert andere Faktoren wie Lage der Strasse, Anteil des Schwerverkehrs usw. massgebend. Die letzteren widerspiegeln sich in den Vorbeifahrtsmessungen. Die Antwort zu dieser Frage ist im Hinblick auf eine mögliche Korrelation zwischen der Nahfeld- und der Vorbeifahrtsmessung von Bedeutung.

8. Wie verlässlich sind die Ergebnisse aufgrund der Messungen mit AIPCR-Reifen?

Da alle Lärmessungen mit dem LMA-Anhänger mit dem AIPCR-Reifen durchgeführt wurden, ist die Antwort zu dieser Frage wichtig im Hinblick auf die Repräsentativität der Messungen.

1.5 Zielsetzungen

Aufgrund der Auftragsanalyse und der gestellten Fragen können die Ziele dieser Forschungsarbeit wie folgt formuliert werden:

- Untersuchung der Belageigenschaften bezüglich Rollgeräusch
- Beobachtung der Lärmentwicklung der verschiedenen Belagstypen im Laufe der Zeit, bzw. Vergleich der Lärmpegel von Belägen mit verschiedenem Alter
- Feststellung der Streubereiche der Rollgeräuschpegel bei verschiedenen Belagstypen
- Untersuchung wichtiger Einflussfaktoren auf die Lärmemission
- Beurteilung, ob eine Beeinflussung der Belageigenschaften möglich ist, um leisere Beläge zu produzieren. In diesem Zusammenhang muss darauf geachtet werden, dass dabei die anderen Eigenschaften der Beläge, wie die Griffbarkeit, nicht beeinträchtigt werden.

Diese Punkte können als Grundlage zur Beantwortung der Fragen 1 bis 8 dienen.

1.6 Vorgehen

Die Untersuchungen wurden in zwei Teile gegliedert. Zur Erfüllung der Zielsetzungen wurden, im ersten Teil, Lärmmessungen auf verschiedenen Belagstypen mit verschiedenem Alter durchgeführt. Diese wurden aufgrund ihres dB(A)-bewerteten Schallpegels bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten miteinander verglichen. Um aussagekräftige Schlussfolgerungen ziehen zu können, wurden mehrere Strecken mit verschiedenen Belagstypen und verschiedenem Alter ausgewählt.

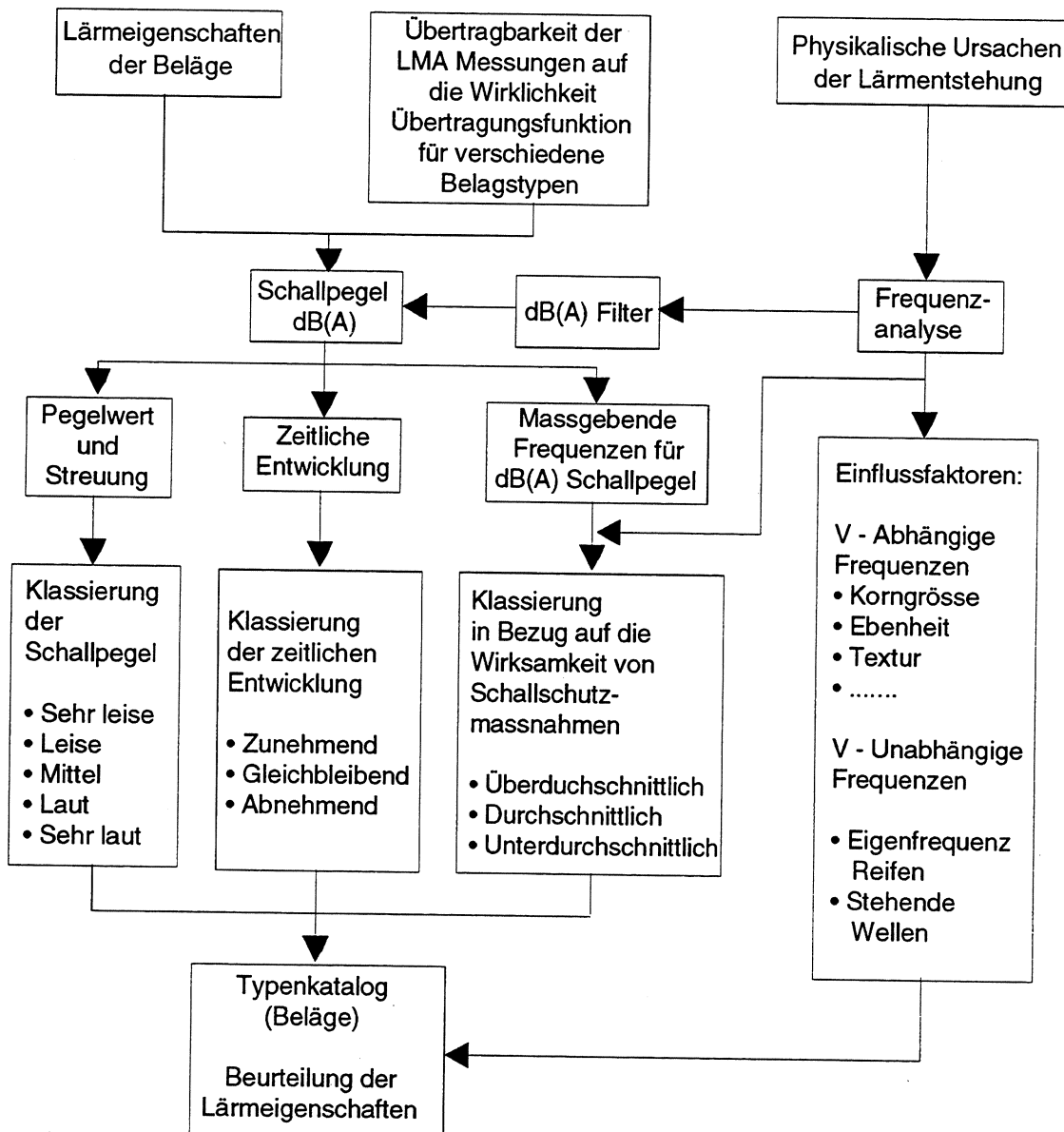


Abbildung 1.2: Vorgehen (schematisch)

Bei einigen ausgewählten Strecken mit SMA 11, OB 6/11 und AB 11 Belägen wurde untersucht, ob die Ebenheit oder die Griffigkeit die Lärmemissionen in irgendeiner Weise

beeinflussen. Auch der Einfluss der Belagtemperatur und damit der Reifentemperatur wurde für zahlreiche Beläge untersucht.

In einem zweiten Teil wurden von einigen ausgewählten Rollgeräuschmessungen Terzbandpegelanalysen durchgeführt. Diese wurden wiederum belagstypspezifisch miteinander verglichen. Ausserdem wurden, wo nötig, die Literatur und Resultate früherer Berichte [8, 9] berücksichtigt. Das schematische Vorgehen ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

Das Hauptgewicht der Messungen lag bei neueren (bis etwa fünfjährigen) Belägen. Es wurden vor allem Splittmastixasphalt (SMA), Asphaltbetonbeläge (AB) und Drainasphalte (DRA) untersucht. Gesamthaft wurden 19 verschiedene Beläge untersucht. Um einen Eindruck davon zu vermitteln, mit welcher Ausführlichkeit die Resultate einzelner Beläge vorliegen, sind die Anzahl durchgeführter Messungen des dB(A)-Pegels und durchgeführter Terzbandpegelanalysen in Tabelle 1.1 wiedergegeben.

Belagstyp	dB(A)-Pegelmessung			Terzbandanalyse		
	N_M	N_S	v	N_T	N_S	v
SMA 11	255	19	30 - 120	101	22	50 - 120
SMA 8	20	3	30 - 60	14	4	30 - 50
SMA 6	30	3	30 - 80	18	6	30 - 80
SMA 16	6	1	50 - 80	-	-	-
AB 10/11 S/N	367	34	30 - 120	71	24	30 - 120
AB 16	396	20	30 - 120	36	12	30 - 100
MR 11	40	24	80 - 120	6	2	50 - 120
TA 10/11	120	12	30 - 80	25	11	30 - 80
TA 16	137	16	30 - 100	9	4	30 - 80
DRA 10	345	16	30 - 120	79	16	30 - 120
DRA 16	403	8	30 - 120	31	9	50 - 100
HRA 16	38	5	50 - 120	18	3	50 - 80
HRA 25	107	1	50 - 80	13	3	50 - 80
OB 3/6	18	1	50 - 80	5	3	50 - 80
OB 6/11	90	7	30 - 100	21	3	50 - 80
Beton	301	17	30 - 120	29	5	50 - 120
GA	4	1	80	2	1	80
Mikrobelag	65	9	30 - 100	7	3	50 - 80

Tabelle 1.1: Anzahl d(A)-Pegelmessungen und Terzbandpegelanalysen

je Belagstyp

Legende: N_M = Anzahl Messungen

N_S = Anzahl Strecken

N_T = Anzahl Terzbandpegelanalysen

v = Fahrgeschwindigkeit [km/h]

1.7 Abgrenzungen

Dieser Bericht beschränkt sich darauf, die Haupteinflussfaktoren im Prozess der Lärmentwicklung abzuklären. Aus zeitlichen sowie ökonomischen Gründen war es nicht möglich, bei allen Belagsarten eine grosse Anzahl Messungen durchzuführen. Die statistische Sicherheit der Resultate ist immer im Zusammenhang mit der Anzahl Messungen, mit der Streckenanzahl und mit der Anzahl Fahrgeschwindigkeiten zu beurteilen.

Als Lastwagen bzw. Schwerverfahrzeuge werden in diesem Bericht alle Nutzfahrzeuge für den Gütertransport mit dem Totalgewicht grösser als 3.5 Tonnen bezeichnet.

Der Bericht befasst sich lediglich mit den Lärmeigenschaften von flexiblen Belägen. Das Hauptthema sind die Lärmeigenschaften von dichten bituminös gebundenen Belägen. Die Lärmeigenschaften von porösen bituminös gebundenen Belägen sowie Betonbelägen wurden in [8] und [9] behandelt.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Allgemein

Schall hat im Leben des Menschen einen derart grossen Anteil, dass er kaum alle seine Informationen bewusst erfassen kann. Viele Schallereignisse sind unangenehm oder unerwünscht. Diese werden als Lärm bezeichnet. Die technische Entwicklung brachte eine Fülle neuer Lärmquellen mit sich. Lärm ist heute ein zwangsläufiger Teil im täglichen Leben. Im folgenden werden die wichtigsten Grundlagen und Begriffe kurz definiert und erläutert.

2.2 Grundlegende Schallparameter

Wenn eine Schallquelle mit der Leistung P Schall erzeugt, gibt sie Energie an die benachbarten Luftmoleküle ab [10].

Das Mass für die Energie, die in einer bestimmten Richtung durch eine bestimmte Fläche fliesst, wird mit Schallintensität I bezeichnet. Die durch einen bestimmten Punkt im Raum um die Quelle hindurchgehende Energie erzeugt an diesem Punkt den Schalldruck p . Der Schalldruck und damit auch die Schallintensität lassen sich mit geeigneten Messgeräten direkt messen.

Die Schallintensität ist quadratisch proportional zum Schalldruck. Bei der Bestimmung eines Schallpegels werden die Schallintensitäten addiert. Die Schallintensität wird hauptsächlich zur Lokalisierung und Beurteilung von Lärmquellen herangezogen. Wenn es gilt, die schädliche und belästigende Wirkung von Lärmquellen zu beurteilen, so ist der Schalldruck der geeignete Parameter.

2.3 Schallwellen und schalltechnische Eigenschaften von Asphalt

Unter Schallwellen versteht man Druck- oder Dichtewellen der Luft (Luftschall). Sie werden meist durch schwingende Körper, wie zum Beispiel Saiten, Lautsprechermembranen und Reifenoberflächen, angeregt und werden als Druckwellen an die Luft abgegeben. Es sind longitudinale Wellen, d.h. die lokale Auslenkung erfolgt in der Ausbreitungsrichtung. Schallwellen werden durch folgende Gleichung [3] beschrieben:

$$p = p_0 + \Delta p \cdot \sin\left(2\pi ft - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad (\text{Gleichung 2.1})$$

Dabei sind:

Δp = Druckamplitude	f = Frequenz	λ = Wellenlänge
p_0 = Gleichgewichtsdruck der Luft	t = Zeit	x = Ortsvariable

Die Druckwelle ist proportional zur Dichtewelle. Daraus lassen sich weitere wichtige Grössen, wie die Schallgeschwindigkeit und Schallimpedanz, berechnen. Die Schallgeschwindigkeit wird mit Hilfe der Gleichung 2.2 berechnet und hängt vom E-Modul und von der Dichte des Materials ab. Für Stahl beträgt die Schallgeschwindigkeit 5000 m/s, für Beton 3500 m/s, für Gummi 50 m/s.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Gleichung 2.2})$$

Es sind c = Schallgeschwindigkeit, E = E-Modul und ρ = Dichte des Materials.

Der E-Modul des Asphaltbetons als ein viskoelastisches Material ist stark temperaturabhängig. Tabelle 2.1 zeigt die Schallgeschwindigkeit in einigen Materialien in Abhängigkeit der Temperatur.

Material	E-Modul [N/mm ²]	Schallgeschwindigkeit [m/s]	Schallimpedanz [t/m ² s]
Asphaltbeton, über 40 °C	< 1000	< 700	1400
Asphaltbeton bei 20 °C	1000 – 2000	700 – 1000	1400 – 2000
Asphaltbeton bei 10 °C	2000 – 6000	1000 - 1700	2000 - 3400
Asphaltbeton bei 0 °C	6000 – 10000	1700 – 2200	3400 – 4400
Asphaltbeton bei –10 °C	> 10000	> 2200	> 4400
Kaltmischfundationsschicht	300 – 800	400 – 600	800 - 1200
Ton – Sand – Untergrund	70 – 250	100 – 300	200 – 600
Gummi bei 60 °C	0.5	25	10
Gummi bei 20 °c	2	50	45
Luft	0.139	340	0.4
Beton	30000	3500	8900

Tabelle 2.1: Schalltechnische Eigenschaften von Strassenbaumaterialien

Eine wichtige Grösse zur Beurteilung der Reflexion sowie der Absorption des Schalls ist die Schallimpedanz. Die Schallimpedanz ist von der Schallgeschwindigkeit und der Dichte des Materials abhängig und wird nach der folgenden Gleichung berechnet (siehe Tabelle 2.1).

$$Z = c \cdot \rho \quad (\text{Gleichung 2.3})$$

Es sind Z = Schallimpedanz, c = Schallgeschwindigkeit und ρ = Dichte des Materials.

Durchläuft eine Schallwelle ein Medium mit niedriger Schallimpedanz und stösst sich auf ein Medium mit höherer Schallimpedanz, so wird die Schallwelle reflektiert. Somit werden bei den glatten Oberflächen die Schallwellen, die sich vom Gummi sowie von der Luft gegen den Asphalt ausbreiten, reflektiert. Aufgrund dieser theoretischen Betrachtung ist zu erwarten, dass die Lärmemission vor allem in Form von Körperschall vom Gummi an die Luft abgegeben wird.

Auch im Asphalt dürfte Körperschall entstehen, da dieser durch die Achslast in Schwingung versetzt wird; allerdings dürfte der Anteil klein sein, sonst müsste bei einem vorbeifahrenden Lastwagen aufgrund der höheren Achslast der Schallpegel deutlich höher sein.

Durch hohe Temperaturen dürfte das Schwingungsverhalten der Reifenmembran deutlich gedämpft werden (weiches Material) und somit zur Schallpegelreduktion beitragen. Der Gummi des Reifens weist einen stark temperaturabhängigen E-Modul auf. Mit der Zunahme der Temperatur nimmt die Impedanz des Gummis ab. Die Impedanz des sehr heissen Gummis ist trotzdem deutlich höher als die Impedanz der Luft. Aufgrund der sinkenden Impedanz dürfte deshalb nur eine vernachlässigbar geringfügige Reduktion des Schallpegels zu erwarten sein.

Bei Lärmemissionen wird der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} für eine bestimmte Messdauer bestimmt. L_{eq} ist derjenige konstante Schallpegel, der während der Messdauer die gleiche akkustische Energie liefern würde.

2.4 Dezibel (dB)

Das Verhältnis zwischen der gerade noch wahrnehmbaren (Hörschwelle) und der als Schmerz empfundenen Schallintensität (Schmerzschwelle) beträgt etwa 12 Zehnerpotenzen; deshalb wird ein logarithmischer Massstab angewendet. Der Schallpegel wird auf einen Referenzschalldruck und eine äquivalente Referenzschallintensität bezogen. Der Schallpegel in Dezibel entspricht demzufolge einem Schalldruckpegel als auch einer Schallintensität. Die Ausdrücke «ein Schalldruckpegel von 94 dB» und «eine Schallintensität von 94 dB» sind demzufolge äquivalent.

Der Schallpegel L_p in dB ist definiert als:

$$L_p = 10 \cdot \text{Log} (I / I_0) \quad (\text{Gleichung 2.4})$$

Dabei sind: L_p = Schallpegel
 I = Schallintensität [Watt/s]
 I_0 = Referenzschallintensität = $1 \cdot 10^{-12}$ Watt/s

Da die Lärmintensität nur indirekt über eine Druckmessung ermittelt werden kann, lautet die gleichwertige Gleichung bezogen auf die Referenzdruckamplitude p_0 wie folgt:

$$L_p = 10 \text{ Log } (p/p_0)^2 = 20 \text{ Log } (p/p_0) \quad (\text{Gleichung 2.5})$$

Dabei sind: p = Gemessener Schalldruck [Pa]
 p_0 = Normierter Bezugswert von 20 μ Pa

Wird der durch eine Schallquelle erzeugte Schalldruck p_1 verdoppelt, so steigt der Schalldruckpegel um 6 dB an [4]:

$$L_{pG} = 10 \text{ Log } (2p_1/p_0)^2 = 6 + L_{p1} \quad (\text{Gleichung 2.6})$$

Überlagert man jedoch einem bestimmten Schalldruck einen gleichgrossen Schalldruck einer zweiten Quelle, so müssen die Quadrate der einzelnen Schalldrücke logarithmisch addiert werden.

$$L_{pG} = 10 \text{ Log } \sum (p_i/p_0)^2 \quad (\text{Gleichung 2.7})$$

Für zwei gleichgrosse Schalldrücke:

$$L_{pG} = 10 \text{ Log } [(p_1/p_0)^2 + (p_1/p_0)^2] = 10 \text{ Log } [2 (p_1/p_0)^2] \quad (\text{Gleichung 2.8})$$

$$L_{pG} = 10 \text{ Log } 2 + 10 \text{ Log } (p_1/p_0)^2 = 3 + L_{p1} \quad (\text{Gleichung 2.9})$$

Das heisst, dass sich der resultierende Schallpegel L_{pG} gegenüber dem Schallpegel L_1 nur um 3 dB erhöht. Das ist zugleich auch der höchst mögliche Schallpegelzuwachs ΔL , den zwei Schallquellen gemeinsam zu erzielen vermögen. Somit entspricht eine Verdopplung der Verkehrsmenge einer Verdoppelung der energieäquivalenten akustischen Schallintensität und demzufolge einer Erhöhung des L_{eq} -Wertes um 3 dB.

2.5 Frequenz des Schalls

Nach dem Schalldruckpegel ist die Frequenz der zweite wichtige Parameter zur Beschreibung eines Schallsignals. Schall enthält verschiedene Töne oder Frequenzen. Schallquellen unterscheiden sich voneinander durch ihre Frequenzspektren.

Das menschliche Ohr kann nicht jede Schallfrequenz wahrnehmen. Der Bereich des hörbaren Schalls, auch Audiobereich genannt, ist auf Frequenzen von ungefähr 20 Hz bis 16 kHz beschränkt [10].

Die Schallwellen, die von einer Quelle ausgesendet werden, breiten sich im umgebenden Medium mit konstanter Geschwindigkeit aus. Wenn sich der Schall durch die Luft ausbreitet, ruft er in der Luft Druckschwankungen hervor. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Druckmaxima heisst Wellenlänge λ , gemessen in m. Die Anzahl der Druckschwankungen pro Sekunde ist die Frequenz f des Schalls und wird in Hz (= s^{-1}) gemessen (Abbildung 2.1).

Wellenlänge $\lambda =$ Schallgeschwindigkeit c / Frequenz f (Gleichung 2.10)

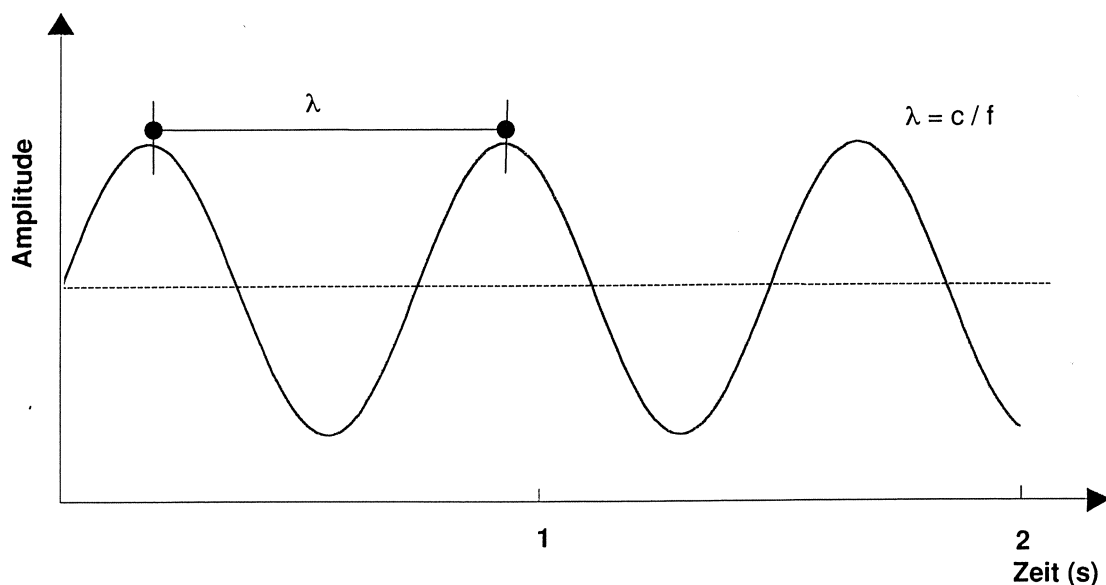


Abbildung 2.1: Wellenlänge λ und Frequenz f (schematisch)

Aus der Gleichung 2.10 ist erkennbar, dass sich die Frequenz und die Wellenlänge zueinander umgekehrt proportional verhalten, d. h. niedrige Schallfrequenzen haben lange Wellenlängen und hohe Schallfrequenzen besitzen kurze Wellenlängen.

2.6 Filter, Bandbreite, Oktav- und Terzfilter

Zur Bestimmung der Zusammensetzung des Schalls wird das Schallsignal durch einen Filter geschickt, welcher nur ein schmales Band an Frequenzen hindurchlässt. Ein solcher Filter heisst Bandpassfilter.

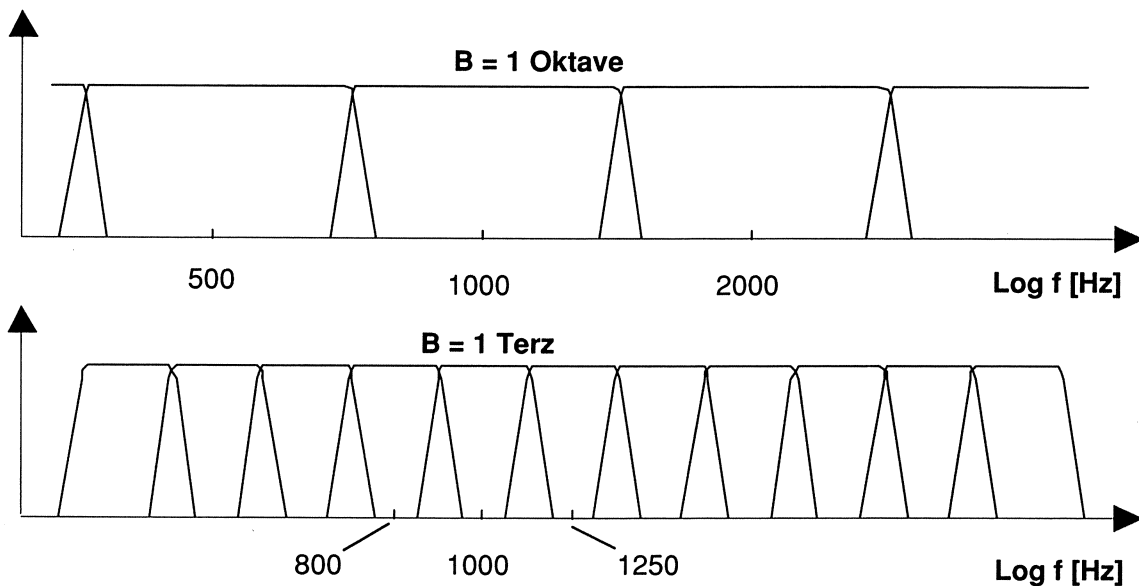


Abbildung 2.2: Oktav- und Terzband

Theoretisch lässt ein Filter nur jene Frequenzen passieren, die innerhalb seiner Bandbreite B liegen ($B = f_2 - f_1$). Ein Oktavband ist ein Frequenzband, bei dem die höchste Frequenz f_2 ungefähr das doppelte der niedrigsten Frequenz f_1 beträgt (Abbildung 2.2). Zum Beispiel lässt ein Oktavfilter mit einer Mittenfrequenz von ein kHz Frequenzen zwischen 708 Hz und 1410 Hz passieren. Die Bandbreite beträgt somit etwa 70 % der Mittenfrequenz. Ein Terzfilter hat eine Bandbreite von nur $1/3$ einer Oktave. Das entspricht ungefähr 23 % seiner Mittenfrequenz [10]. Zum Beispiel erstreckt sich ein Terzfilter mit einer Mittenfrequenz von ein kHz von 891 bis 1120 Hz. Das ergibt eine Bandbreite von 229 Hz.

Der hörbare Frequenzbereich unterteilt sich in zehn Oktaven, deren Mittenfrequenzen ebenfalls jeweils eine Oktave voneinander entfernt sind. Jedes Oktavband unterteilt sich in drei Terzbänder. Das ergibt 30 Terzbänder innerhalb des hörbaren Frequenzbereichs.

Bei Terzbandpegelanalysen wird meist von einer Terzbandmittenfrequenz von 63 Hz bis 8000 Hz ausgegangen.

2.7 Kurven gleicher Lautstärke

Die Empfindlichkeit des Ohrs im hörbaren Bereich von 20 Hz bis 16 kHz ist nicht konstant.

Aus umfangreichen audiometrischen Tests, bei denen einer grossen Anzahl von Personen Schall mit verschiedener Frequenz und verschiedenem Pegel vorgespielt worden ist, wurde die subjektive Empfindlichkeit des Ohres untersucht. Die subjektive Schallwahrnehmung hängt von der Schalldruckamplitude und der Frequenz ab. Die subjektiv empfundene Lautstärke wird mit der empfundenen Lautstärke eines 1000 Hz Tones verglichen. Es ergaben sich die in Abbildung 2.3 dargestellten Kurven gleicher Lautstärke.

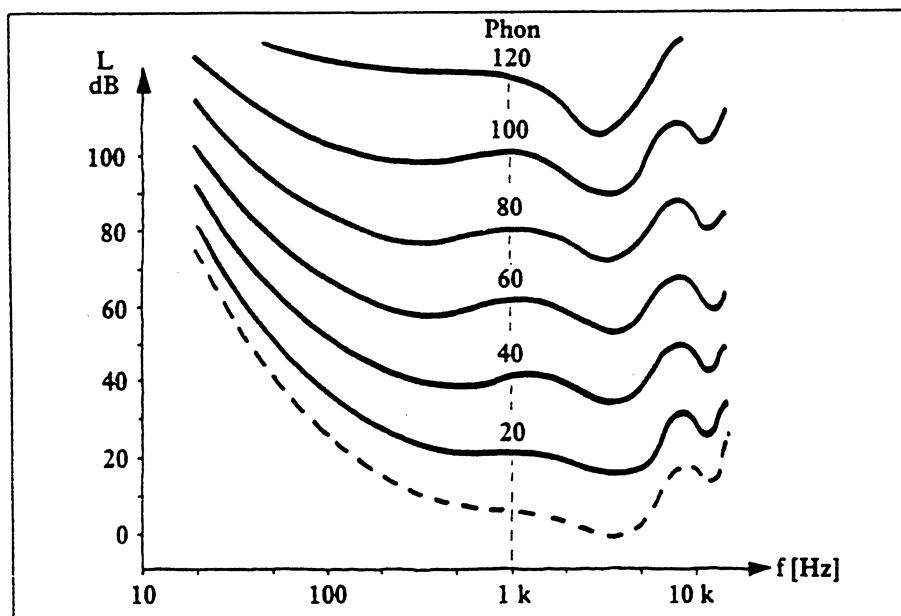


Abbildung 2.3: Kurven gleicher Lautstärke [10]

Die Untersuchungen zeigten, dass das Ohr bei 4 kHz am empfindlichsten ist und seine Empfindlichkeit zu höheren und tieferen Frequenzen hin abnimmt [10]. Mit anderen Worten, die Schalldruckpegel bei tiefen Frequenzen werden subjektiv als leiser wahrgenommen. Dieser Effekt nimmt mit der Zunahme des Schalldruckpegels ab. Zum Beispiel ein 100 Hz-Ton mit einem Schalldruck von 30 dB ist gleich laut wie ein 1 kHz von 10 dB, das heisst 20 dB leiser als er wirklich ist, empfunden. Wird der Schalldruck auf 90 dB erhöht, dann wird der 100 Hz-Ton so laut wie einen 1 kHz Ton bei einem Schalldruck von 88 dB, das heisst nur 2 dB leiser empfunden.

2.8 Bewerteter Schallpegel

Wegen der stark frequenz- und schalldruckabhängigen subjektiven Lärmempfindung des Ohres, werden die Schallemissionen mit diversen Kurven bewertet. Diese Bewertungskurven sind elektronisch in Form von Filtern in den Mikrofonen eingebaut.

Die gebräuchlichste Bewertung ist die in Abbildung 2.4 dargestellte dB(A)-Bewertung. Die Bewertungskurve «A» stellt die beste Übereinstimmung zwischen den gemessenen Werten und der störenden und schädigenden Wirkung von Schall dar [10].

Die A-Kurve entspricht im unteren Frequenzbereich etwa der in Abbildung 2.3 dargestellten 15-Phon-Kurve. Diese Bewertung gibt die subjektive Lärmempfindung am besten wieder, wenn das Frequenzspektrum des vorhandenen Geräusches etwa der 15-Phon-Kurve entspricht (etwa der menschliche Sprache). Das Frequenzspektrum des Strassenlärms wird aber kaum dem Spektrum der 15-Phon-Kurve entsprechen. Eine allzu detaillierte Schallpegelbewertung scheint daher nicht sinnvoll, da das Schallempfinden sehr subjektiv ist.

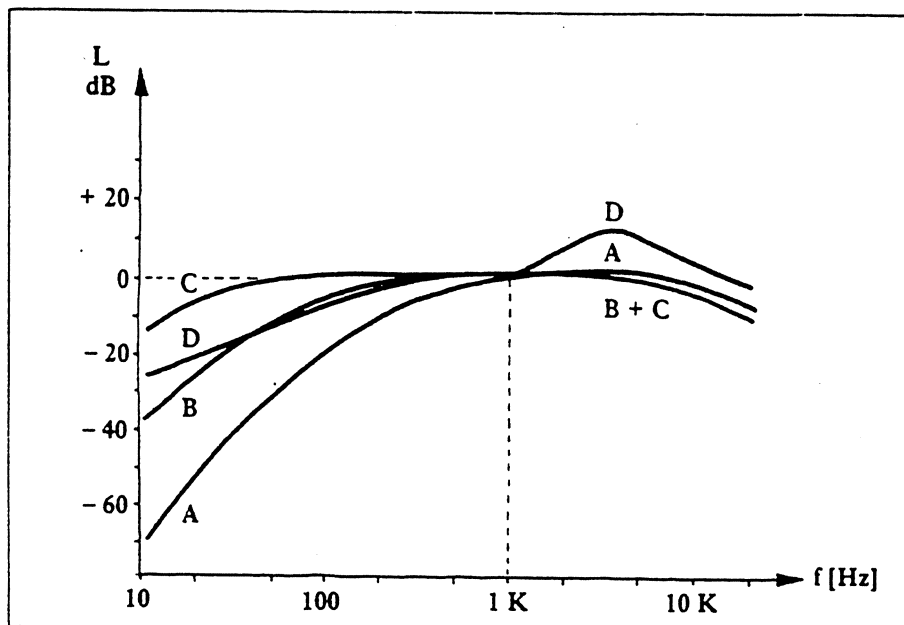


Abbildung 2.4: Bewerteter Schallpegel

Bei sehr lauten Geräuschen werden entsprechend den Erkenntnissen in Abbildung 2.4 andere Bewertungskurven verwendet. Bei Fluglärm wird zum Beispiel die dB(C)-Kurve verwendet.

Bei Strassenlärm wäre eine Verwendung der dB(B)-Bewertung im Nahfeld durchaus zu vertreten. In der Wohnung hinter Schallschutzfenstern wurde jedoch der Strassenlärm

soweit gedämmt, dass ein Vergleich der verschiedenen Strassenbeläge auf Basis der dB(A)-Bewertung sinnvoll ist. Zu beachten ist, dass alle Lärmvorschriften auf der dB(A)-Bewertung beruhen. Tabelle 2.2 zeigt eine Zusammenstellung der Schallpegelkorrekturen nach verschiedenen Bewertungsmethoden.

Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB(A) Kurve	-27	-16	-9	-4	0	+1.3	+1	-1
dB(B) Kurve	-9	-5	-2	-1	0	0	-1	-4
20-Phon Kurve	-26	-15	-6	-1	0	+2	+7	-9
50-Phon Kurve	-18	-7	-1	+4	0	+3	+4	-7

Tabelle 2.2: Schallpegelkorrekturen aufgrund verschiedener Bewertungsmethoden

2.9 Frequenzanalyse

Frequenzanalysen werden oftmals dazu verwendet, um Schallschutzmassnahmen zu beurteilen. Das Mass der Schalldämmung ist von der Frequenz abhängig. Aufgrund des Massegesetzes sinkt die Schalldämmung um 6 dB/Oktave [3]. Je langsamer sich die Wellenfronten des Schalls folgen (tiefere Frequenzen), desto mehr Zeit bleibt der Wand die Schallwelle in Form von Körperschall weiterzuleiten. Es spielen jedoch noch weitere physikalische Vorgänge, wie zum Beispiel Biegeschwingungen, Welleninkoinzidenzen und Beugung von Wellen an Spalten, eine Rolle.

Die frequenzabhängige Schalldämmung gilt ebenfalls für den Lärmessanhänger LMA, welcher mit einer Schalldämmschicht gegen äussere Geräusche abgeschirmt ist. Dies muss vor allem für tiefe Frequenzen unter 100 Hz beachtet werden. Die Pegel der Terzbänder unter 100 Hz tragen jedoch 0.1 bis 1.0 % zur dB(A)-bewerteten Schallintensität bei. Dies bedeutet, dass der Pegel durch die Motorgeräusche um nur 0.01 bis 0.05 dB verfälscht ist und somit vernachlässigt werden kann.

Da die Schallausbreitung vom Nahfeld bis an den Strassenrand bei der Vorbeifahrtmessung ebenfalls frequenzabhängig ist, können die erhaltenen Terzbandanalysen aus den LMA-Messungen nicht direkt für die Beurteilung von Schallschutzmassnahmen verwendet werden. Für einen solchen Einsatz der LMA-Messungen sollte eine Korrelation zwischen den LMA- und Vorbeifahrtmessungen ermittelt werden. Solche Messungen wurden bereits durchgeführt; dabei wurden aber nur die Gesamtpegel miteinander verglichen. Eine frequenzabhängige Korrelation der Pegel zwischen der Vorbeifahrt- und der LMA-Messung wurde bis anhin nicht untersucht. Da die Vorbeifahrtmessung nicht nur durch belagsspezifische Lärmemissionen beeinflusst wird, dürfte die Ermittlung der

Übertragungsfunktion schwierig sein. Die hier durchgeführten Terzbandanalysen können zum Vergleich der Geräuschemissionen verschiedener Beläge verwendet werden. In Abschnitt 7.16.5 wird eine Sensitivitätsanalyse mit einer frequenzabhängigen Übertragungsfunktion durchgeführt.

2.10 Massgebender LMA-Wert

Der massgebende LMA-Wert ist nach [9] der energetische Mittelwert aus den Messwerten des seitlichen und des hinteren Mikrophons. Dieser energetische Mittelwert ist wie folgt definiert:

$$L_M = 10 \cdot \text{Log} \cdot \left[\frac{10^{\frac{L_{H \text{ hinten}}}{10}} + 10^{\frac{L_{\text{seitlich}}}{10}}}{2} \right] \quad (\text{Gleichung 2.11})$$

L_M = energetischer Mittelwert

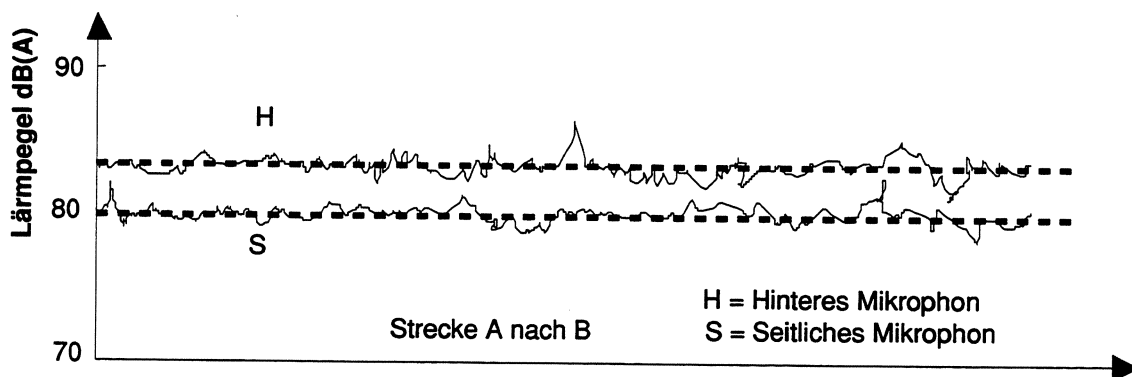


Abbildung 2.5: Typische Messdaten (schematisch)

Abbildung 2.5 zeigt das Ergebnis einer Messung schematisch. Der Pegelschreiber zeichnete den dB(A)-bewerteten Schallpegel für beide Mikrophone auf. Von diesen beiden Schallpegeln wurde jeweils ein Mittelwert gebildet. Dieser Wert entspricht nicht dem energieäquivalenten Dauerschallpegel. Dieser wäre etwas höher, da die Pegelausschläge nach oben ein stärkeres Gewicht hätten (Abbildung 2.6).

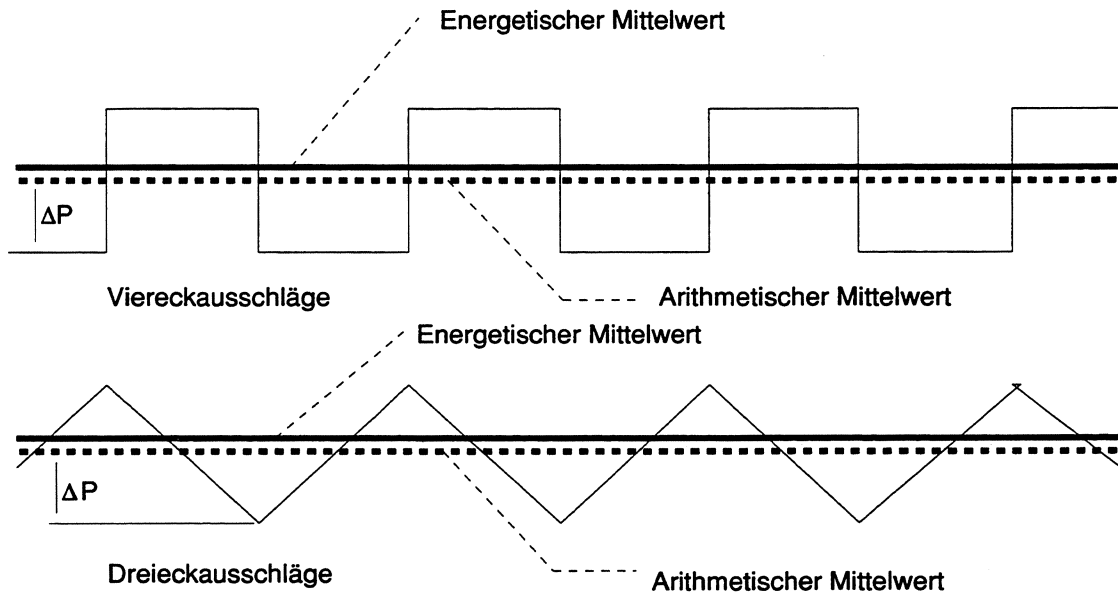


Abbildung 2.6: Unterschied der arithmetischen und energetischen Mittelwerte

Tabelle 2.3 zeigt den Einfluss von Pegelausschlägen auf die Differenz zwischen dem arithmetischen und dem energieäquivalenten Mittelwert des Schallpegels. Pegelausschläge von mehr als 3 dB vom Mittelwert über die ganze Messung hinweg würden zu Abweichungen führen, die über der Ablesegenauigkeit liegen. Dies war jedoch nur sehr selten der Fall.

Ausschlag nach oben	Ausschlag nach unten	Intensitäten nach Gleichung 1	Abweichung des arithmetischen Mittels von L_{eq} nach Gleichung 2
+1.0 dB	-1.0 dB	$0.5(1.26+0.79)=1.025$	+ 0.10 dB
+2.0 dB	-2.0 dB	$0.5(1.58+0.63)=1.105$	+ 0.43 dB
+3.0 dB	-3.0 dB	$0.5(2.00+0.50)=1.25$	+ 0.97 dB

Tabelle 2.3: Abweichung der Mittelwerte vom Dauerschallpegel L_{eq}

Legende: Gleichung 1: $I = 1/2 (10^{+0.1 \Delta P} + 10^{-0.1 \Delta P})$

Gleichung 2: $L_{eq} - \text{Arithmetischer Mittelwert} = 10 \text{ Log } I = 10 \text{ Log } [1/2 (10^{+0.1 \Delta P} + 10^{-0.1 \Delta P})]$

2.11 Subjektive Faktoren

Die subjektive Lärmempfindung hängt stark von der Umgebung und der Tageszeit ab. Ein Geräusch wird in einer Industriezone oftmals als leiser bewertet als in einem Wohnquartier. Noch deutlicher sind die Unterschiede zwischen Tag und Nacht. Tagsüber werden die Fahrgeräusche im allgemeinen als leiser empfunden als am Abend oder in der Nacht. Auch die Art und Weise, in welcher die Strasse durch die Anwohner selbst genutzt wird, spielt eine gewisse Rolle in diesem Zusammenhang.

3. Quellen des Strassenverkehrslärms

Der Strassenverkehrslärm setzt sich aus zwei Teilen zusammen; einerseits aus dem Antriebsgeräusch, welches in Aggregatsgeräusch (Motor, Hilfsaggregate, Getriebe) und Gaswechselgeräusch weiter unterteilt werden kann, und andererseits aus dem Rollgeräusch, d. h. dem Geräusch zwischen dem Belag und dem rollenden Reifen. Die zwei Teilgeräuschquellen bilden zusammen das Fahrgeräusch.

3.1 Antriebsgeräusch

Die Massnahmen zur Reduktion des Lärms auf Seiten des Motorfahrzeugs beziehen sich hauptsächlich auf die Antriebsgeräusche, welche vom Motor mit Zusatzaggregaten und Auspuffleitungen stammen. Der verursachte Lärm dieser Gruppe ist bei konstanter Motorleistung stark drehzahlabhängig; die Antriebsleistung bei konstant gehaltener Drehzahl beeinflusst den Lärm in geringerem Mass [5]. Lärmässig günstig ist somit der niedertourige Motor mit hohem Drehmoment, der dafür allerdings ein grösseres Hubvolumen benötigt.

Der Betriebszustand des Motors bzw. seine Belastung spielt auch eine gewisse Rolle im Lärmentwicklungsprozess. Diese Tatsache hat zur Folge, dass der Lärmpegel von der Fahrweise abhängig ist. Daraus folgt, dass der von einem lärmbewussten Fahrer erzeugte Lärmpegel niedriger sein kann als der Pegel, welcher eine "wilde" Fahrweise mit demselben Fahrzeug verursachen kann. Durch eine lärmbewusste und homogene Fahrweise ist es möglich, eine Verminderung des Lärms in der Grössenordnung von 4 bis 7 dB(A) zu erreichen. Dies betrifft vor allem den langsamen Quartierverkehr mit tieferen Geschwindigkeiten, bei welchem die Antriebsgeräusche dominant sind [6].

Dem Erfolg von Massnahmen am Antriebssystem sind (im Falle von Personenwagen) Grenzen gesetzt durch die Rollgeräusche, welche hauptsächlich durch die Reifen, aber auch von Windströmungen an der Karosserie des Fahrzeuges, erzeugt werden. Ihre (A-bewertete) akustische Leistung wächst ungefähr mit der dritten Potenz der Fahrgeschwindigkeit [5].

3.2 Rollgeräusch

Abbildung 3.1 zeigt für den Fall eines mittleren Personenwagens mit Ottomotor und Vierganggetriebe den Antriebsschallpegel als Funktion von Last, Fahrgeschwindigkeit und Gangstufe sowie das Rollgeräusch in Abhängigkeit der Geschwindigkeit.

Wie aus dieser Abbildung ersichtlich, ist bei der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit nur im unteren Geschwindigkeitsbereich das Antriebsgeräusch dominant. Mit zunehmender Geschwindigkeit, wie sie auch innerorts gefahren werden kann (ab ca. 50 km/h), liegt das Antriebsgeräusch bald einige dB(A) tiefer als das Rollgeräusch. Dementsprechend wird das Rollgeräusch als Strassenlärmverursacher massgebend.

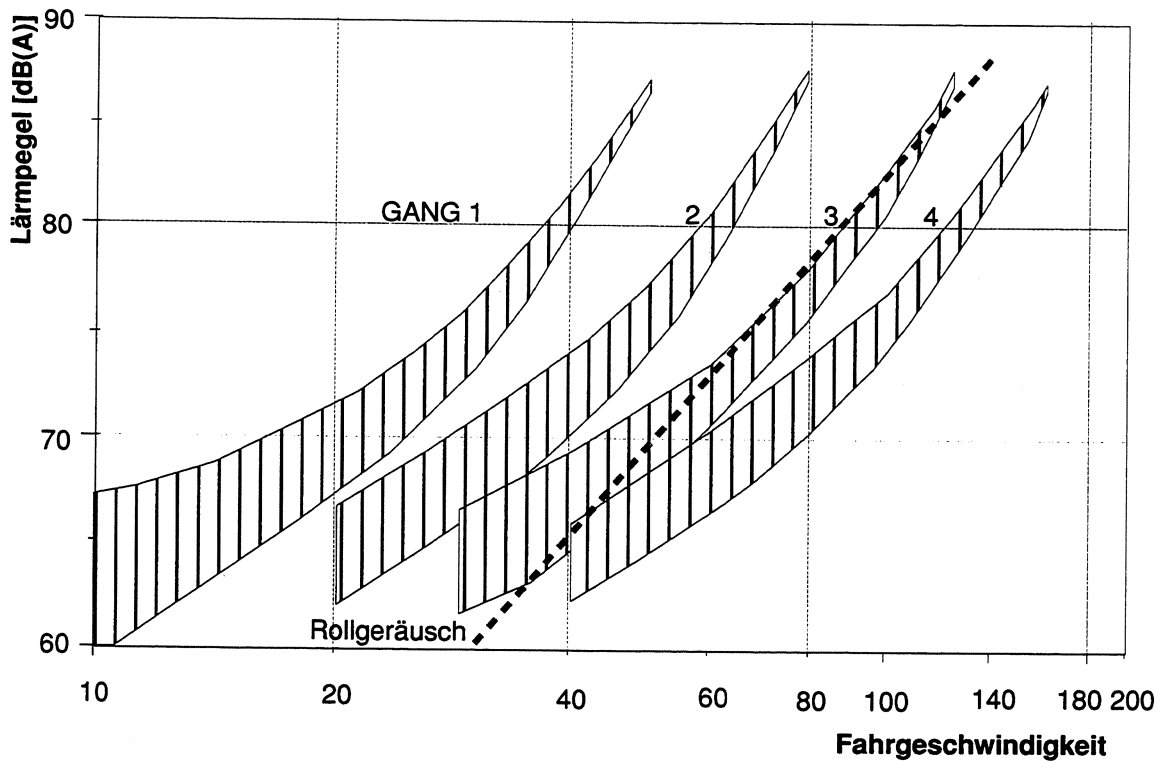


Abbildung 3.1: Antriebschallpegel als Funktion der Gangstufe (PW)

Es muss darauf hingewiesen werden, dass Rollgeräusche bei Fahrgeschwindigkeiten um 50 km/h nur bei den Personenwagen und bei der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit massgebend werden. D. h. bei den schweren Fahrzeugen dominiert bei dieser tiefen Geschwindigkeit das Antriebsgeräusch.

Im innerstädtischen Bereich, wo der Verkehrsablauf unruhig ist (häufiges beschleunigen und bremsen), können Motorengeräusche die lärmindernde Wirkung von dichten leisen Belägen aufheben. In solchen Situationen kann mit einem besseren Fahrverhalten viel mehr erreicht werden. Wie oben erwähnt, übt der Fahrer durch die Gangwahl einen grossen Einfluss auf das emittierte Geräusch aus. Das gleiche Fahrzeug kann innerorts mit Differenzen des mittleren Pegels von 4 bis 7 dB(A) betrieben werden. Beim Ausserortsverkehr, mit einer mehr oder weniger konstanten Geschwindigkeit, haben hingegen die verschiedenen Belagstypen einen Einfluss auf die Rollgeräuschemissionen.

Funktionstüchtige Drainbeläge mit nicht verstopften Hohlräumen können die Motorengeräusche teilweise absorbieren; der Einsatz solcher Beläge im städtischen Verkehr kann

aus diesem Gesichtspunkt vorteilhaft sein. Die Hohlräume der Drainbeläge verstopfen aber innerorts relativ schnell (nach 4 - 5 Jahren) und verlieren dadurch ihre lämmindernde Wirkung. Zudem sind die Drainbeläge im Betrieb teurer als normale dichte Beläge.

Anders liegen die Verhältnisse beim Lastwagen, wo das Antriebsgeräusch im städtischen Verkehr auch bei konstanter Geschwindigkeit deutlich, das heisst in der Grössenordnung von 8 dB(A), über dem Rollgeräusch liegt [2]. In diesem Fall hat eine Verminderung des Rollgeräusches kaum einen Einfluss auf das gesamte Fahrgeräusch.

Ein Lastwagen produziert normalerweise 10 - 20 mal mehr Lärm als ein Personenwagen [5]. Obschon nur ein kleiner Prozentsatz der Fahrzeuge Schwerfahrzeuge sind (Schweiz: ca. 2%), tragen sie infolge ihrer hohen Kilometerleistung einen erheblichen Teil zur Strassenlärmbelastung bei.

4. Messgeräte und Messverfahren

4.1 Lärmmessanhänger LMA [8]

Der Lärmmessanhänger (LMA) wurde 1982 in Anlehnung an ein Gerät der TU Stuttgart am Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT der ETH Zürich entwickelt und gebaut (Abbildung 4.1).

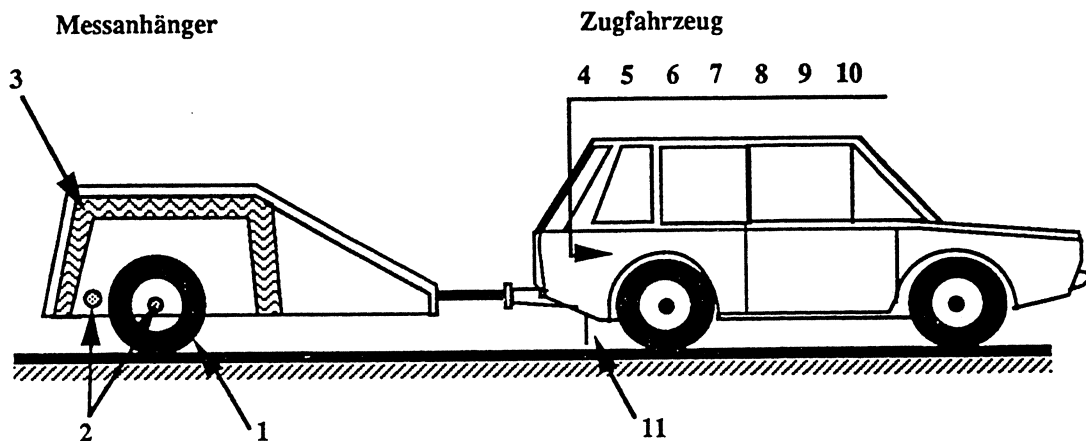


Abbildung 4.1: Lärmmessanhänger LMA des IVT

Legende:	1	Messrad	2	Messmikrophone
	3	Entdröhnte Wände mit schalldämpfender Wirkung	4	PCM Prozessor
	5	Video Recorder in Verbindung mit PCM Prozessor als Informationsspeicher	6	A-Filter
	10	Speisegerät und Mikrophonvorverstärker	7	Pegelschreiber
			8	Kopfhörer
			9	Mikrofon für Kommentar (auf Audiospur des Video Recorders)
			11	Schalldämmende Schürze

Es handelt sich um einen einrädigen Messanhänger, der zur Erfassung des Abrollgeräusches von Reifen auf verschiedenen Strassenbelägen bei verschiedenen Geschwindigkeiten dient. Die Schallabstrahlung des Messreifens wird im Nahfeld mittels zweier Mikrophone erfasst. Die Messeinheit wird durch den Aufbau des Anhängers weitgehend gegen Fremdeinflüsse abgekapselt (Abbildung 4.2) wodurch eine gute Messgenauigkeit erreicht werden kann. Die Wiederholbarkeit der Messwerte ist normalerweise (keine extrem inhomogenen Beläge und keine starken Störeinflüsse von aussen) besser als ± 1 dB.

Die Messung erfolgt unter Verkehr. Dabei wird normalerweise in der rechten Radspur gemessen. Während der Messfahrt muss die Geschwindigkeit konstant eingehalten werden. Als standardisierter Messreifen wird der europäische AIPCR-Reifen benützt. Die Radlast beträgt ca. 450 kg und der Reifendruck 2.3 bar.

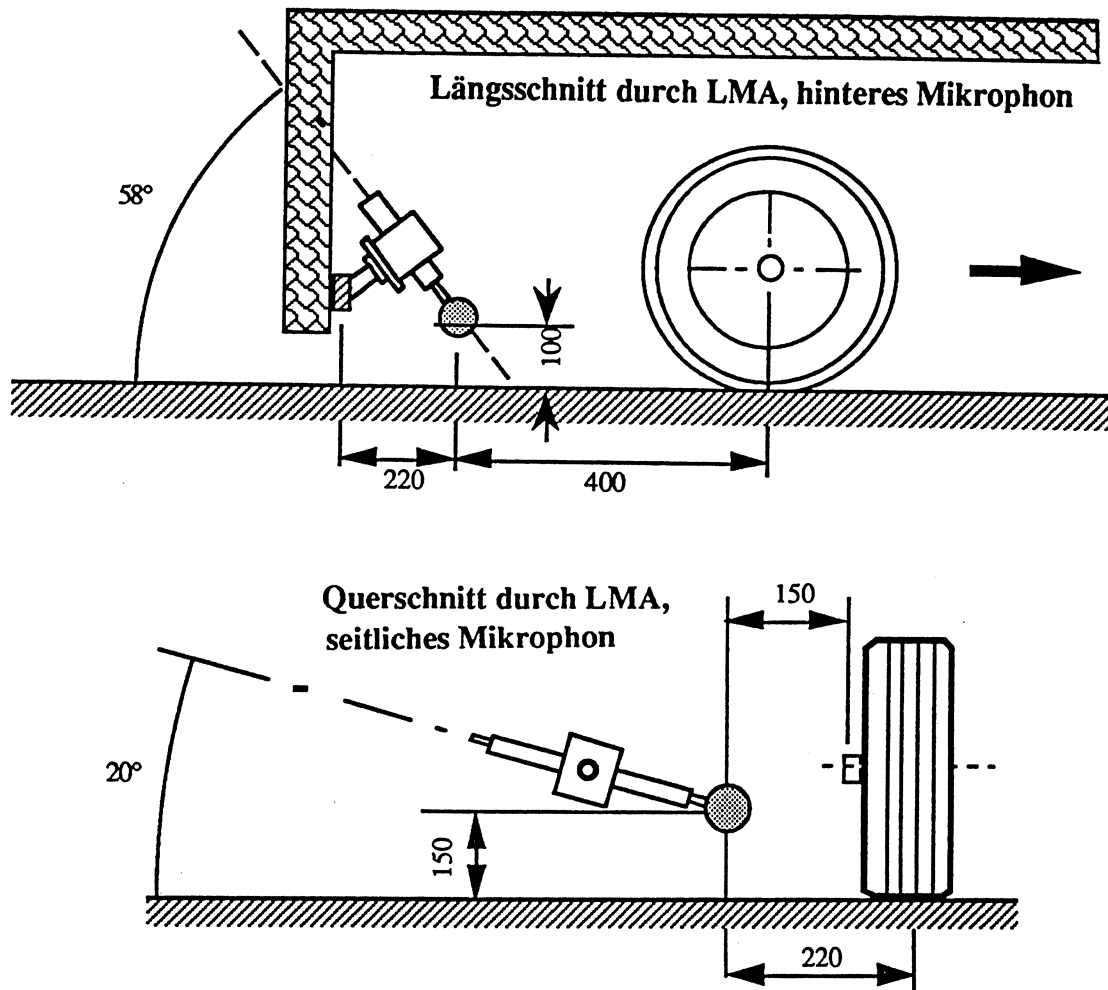


Abbildung 4.2: Position des seitlichen und des hinteren Mikrophons

Das Reifengeräusch wird mit zwei Mikrofonen gemessen, die unterschiedlich auf die Geräuschenstehungs- und ausbreitungsmechanismen reagieren. Während das seitliche Mikrophon direkt die Schallabstrahlung infolge der Schwingungen des rollenden Reifens misst, erfasst das hintere Mikrophon speziell die schallverstärkende Trichterwirkung zwischen Reifenauflfläche und schallhartem Belag, bzw. die Reduktion dieser Trichterwirkung auf schallabsorbierenden Belägen.

Die Messsignale werden über zwischengeschaltete Verstärker zu den Aufzeichnungsgeräten im Zugfahrzeug geleitet. Vor der Aufzeichnung auf Videoband werden die Signale digitalisiert. Die ganze Messeinrichtung wird vor und zwischen den Messungen mittels Eichton wiederholt kalibriert. Der Kommentar wird auf der Audiospur des Videobandes und im Messprotokoll festgehalten.

Für die Auswertung wird das gespeicherte Signal demoduliert, über einen A-Filter bewertet und mittels eines Pegelschreibers aufgezeichnet. Die Mittelwertbildung auf dem

Messstreifen erfolgt graphisch. Für eine gute Mittelwertbildung ist eine Streckenlänge von mindestens 300 m wünschbar.

Gegenüber der Vorbeirollpegelmessung hat die Rollgeräuschkmessung mit dem Lärmmessanhänger den Nachteil, dass die im Nahfeld gemessenen Emissionswerte nicht direkt zur Berechnung der Schallimmissionen in der Umgebung der Strasse gebraucht werden können. Andererseits bietet die Anhängermessung jedoch speziell im Hinblick auf die Beurteilung von Strassenbelägen erhebliche Vorteile gegenüber der Messung des Vorbeirollpegels bzw. des Vorbeifahrtpegels, so zum Beispiel:

- Die Messung mit dem LMA kommt ohne Absperrung aus, da unter Verkehr gemessen werden kann. Das Messverfahren ist leistungsfähig und kostengünstig.
- Bei der Anhängermessung wird das Reifengeräusch unter standardisierten Bedingungen gemessen. Somit können die Messwerte auch über grosse Distanzen und Zeiträume direkt miteinander verglichen werden, weil das akustische Umfeld neben der Fahrbahn keinen Einfluss hat. Das Messverfahren eignet sich somit besonders gut zu vergleichenden Untersuchungen von Strassenbelägen.
- Wegen der standardisierten Messbedingungen und der Mittelwertbildung bei der Auswertung ist die Messgenauigkeit vergleichsweise gut. Ausserdem können Aussagen über die Abstrahlcharakteristik der Reifengeräusche gemacht werden.

Es ist zu beachten, dass die Messwerte geräte- und reifenabhängig sind. Die mit dem Lärmmessanhänger des IVT ermittelten Rollgeräuschkdifferenzen scheinen einen deutlichen Zusammenhang mit den auf den Belag zurückzuführenden Immissionsveränderungen zu haben.

4.2 Geschwindigkeitsmessgerät

Die Ablesung der Geschwindigkeit am Tachometer wäre zu ungenau. Die genaue Fahrgeschwindigkeit wird elektronisch mit Hilfe eines Sensors an der Radaufhängung des Zugfahrzeuges ermittelt. Der Sensor zählt die Radumdrehungen. Aus der Anzahl Radumdrehungen wird die Geschwindigkeit berechnet. Die Genauigkeit der derart ermittelten Geschwindigkeit ist im Rahmen der Genauigkeit der Abrolllänge des Reifens und der Einhaltung der Fahrgeschwindigkeit. Die Abweichung dürfte im allgemeinen weniger als 2 km/h betragen.

4.3 Temperaturmessgerät

Die Belagtemperatur wird mit dem Raytek Thermometer Typ Raynger aufgrund der Intensität der Infrarotstrahlung in 20 bis 120 cm Entfernung gemessen. Diese Messung kann während der Fahrt durchgeführt werden.

Manchmal wurde auch die Temperatur des Messreifens gemessen. Diese liegt um zirka 10° C im Sommer bzw. 20° C im Winter über der Belagtemperatur.

4.4 Winkelmessgerät

Die Messung der Ebenheit erfolgte mit dem Winkelmessgerät des IVT. Das Messprinzip besteht in der kontinuierlichen Aufnahme des Winkels, der durch drei im Abstand von 1.00 m hintereinanderliegenden Punkten – Tasträder – gebildet wird (Abbildung 4.3). Die Tasträder müssen einen Durchmesser von mindestens 200 mm und eine Laufbreite von maximal 50 mm aufweisen [11].

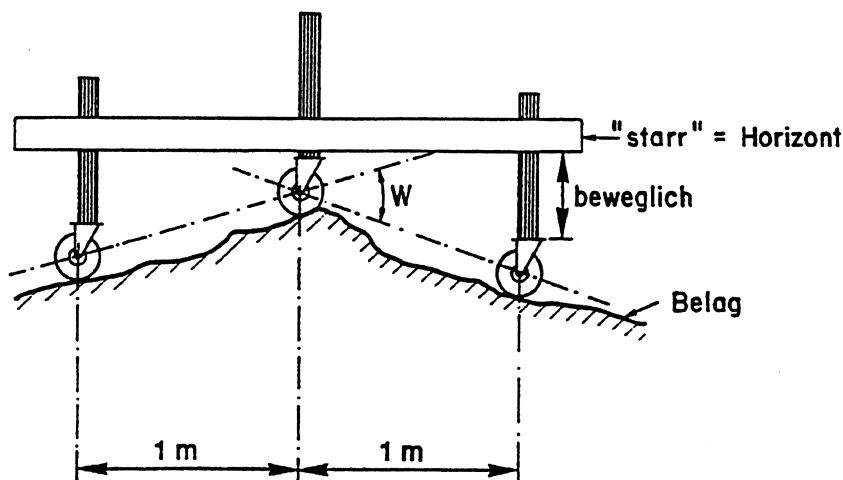


Abbildung 4.3: Winkelmessgerät (schematisch)

Die Messung beruht auf der elektronischen Erfassung der vertikalen Verschiebung der drei oben erwähnten Messräder. Die geometrische Konzeption sowie die Aufbereitung der Messwerte entsprechen in allen Belangen der Norm SN 640 520a [12]. Die Auswertung und die Beurteilung der Messergebnisse erfolgte entsprechend der Norm SN 640 521b [13].

4.5 Stuttgarter Reibungsmesser SRM

4.5 Stuttgarter Reibungsmesser SRM

Der Stuttgarter Reibungsmesser SRM zählt zu den modernsten Geräten, welche die Reibungskräfte direkt messen. Der SRM kann unter realistischen und reproduzierbaren Bedingungen (Wasserfilm, Reifendruck, Radlast, Geschwindigkeit usw.) die Griffigkeitsverhältnisse der Strassenoberfläche messen. Die doppelte Messeinrichtung (zwei Schleppräder) erlaubt die Prüfung aller Fahrstreifen (auch auf Autobahnen) ohne Verkehrsbehinderung [11]. Abbildung 4.4 zeigt den SRM in Messposition.

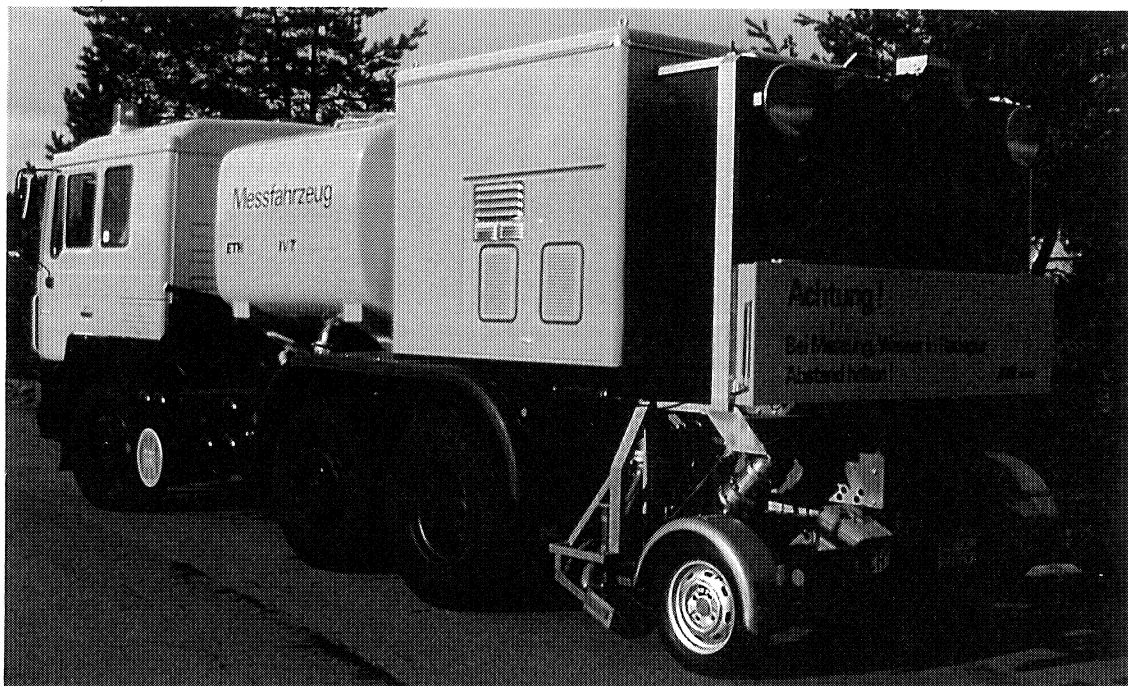


Abbildung 4.4: SRM in Messposition

Funktionell entspricht der SRM dem Skiddometer. Der Skiddometer ist in der Norm SN 640511b [14] beschrieben. Die Messbedingungen entsprachen dieser Norm. Durch die modernere Elektronik und die weiteren Messmöglichkeiten können mit dem SRM gegenüber dem Skiddometer präzisere Messungen durchgeführt werden. Nebst Schlupf- und Blokierrmessungen ist der SRM auch mit einem ABS-System ausgerüstet.

4.6 Frequenzanalysegerät

Zur Frequenzanalyse wurde das Gerät Norsonic 8040 eingesetzt (Abbildung 4.5). Dabei wurden die Terzbandpegel von einer 5 Sekunden langen Geräuschaufzeichnung bestimmt. Die Terzbandpegelfrequenzen reichten von 20 Hz bis zu 10'000 Hz. Diese Terzbandpegel wurden nicht mit dem dB(A) -Filter korrigiert.

Von einer Strecke, bzw. einer Fahrt wurden je nach örtlichen Gegebenheiten, wie zum Beispiel Belagswechsel, Änderung in der Linienführung usw. meist mehrere Aufzeichnungen durchgeführt. Aus den aufgezeichneten Terzbandpegeln wurde danach der energieäquivalente Dauerschallpegel berechnet.

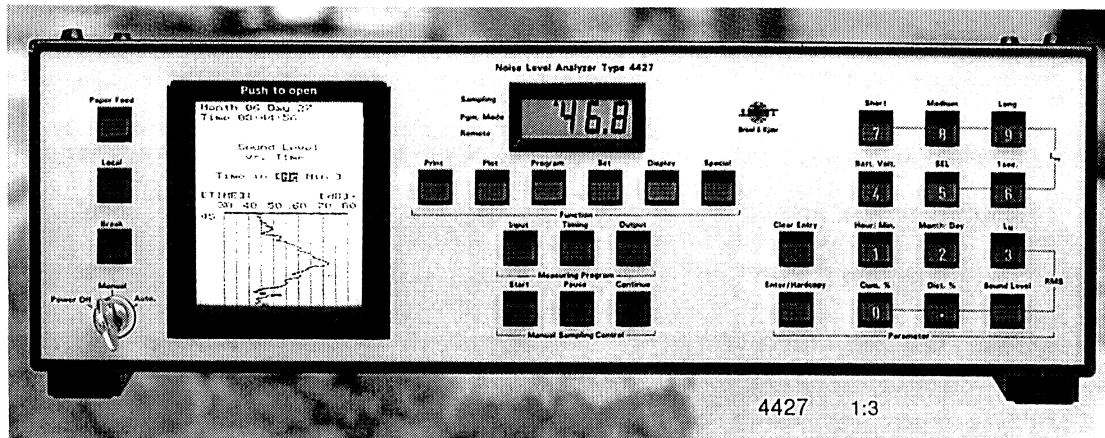


Abbildung 4.5: Frequenzanalysegerät

Da die Messdauer bei allen Geschwindigkeiten 5 Sekunden betrug, steigt die Länge der Messstrecke mit der Zunahme der Geschwindigkeit. Bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h beruhte die Terzbandanalyse demzufolge auf einer Streckenlänge von 41 m, entsprechend 135 m bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h.

Einzelne Inhomogenitäten, wie zum Beispiel ein Kanaldeckel, führten zu Pegelspitzen, die den Dauerschallpegel etwas beeinflussen könnten. Eine Pegelspitze von 5 dB über dem üblichen Wert und mit einer Zeitdauer von 0.1 Sekunden würde zu einem Anstieg des L_{eq} von 0.18 dB führen.

5. Resultate der Lärmmessungen

5.1 Allgemein

Für die Beurteilung des Lärmverhaltens verschiedener Beläge wurden von 1985 bis 1999 rund 4000 Rollgeräuschmessungen auf 150 verschiedenen Streckenabschnitten und mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (30, 50, 60, 80, 100 und 120 km/h) durchgeführt. Die Messergebnisse für jeden Belag sind im Anhang 2 aufgeführt. Es wurden dabei je nach Stichprobenumfang die 10, 25, 50, 75 und 90 % Percentilwerte bestimmt.

Tabelle 5.1 zeigt die oberen sowie die unteren Grenzwerte aller Messungen. Da die Messungen durch Unregelmässigkeiten der Strecke, wie zum Beispiel einen Kanaldeckel, oder durch andere Verkehrsteilnehmer, wie die Vorbeifahrt eines Lastwagens bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten, sowie Brems- oder Beschleunigungsmanöver, um die Fahrgeschwindigkeit einzuhalten, beeinflusst wurden, sind in Tabelle 5.1 nicht einfach die Höchst- bzw. Tiefstwerte, sondern je nach Stichprobengrösse die verschiedenen Percentilwerte berücksichtigt.

Geschwindigkeit [Km/h]	Unterer Grenzwert [dB(A)]	Oberer Grenzwert [dB(A)]	Differenz [dB(A)]
30	77.5	85.8	8.3
50	84.0	94.9	10.9
60	86.1	97.3	11.2
80	90.1	101.2	10.2
100	94.5	105.3	10.8
120	96.2	108.5	12.3

Tabelle 5.1: Grenzwert der A-bewerteten Rollgeräuschpegel

Die Beläge wurden in erster Linie aufgrund ihrer Lärmeigenschaften (Gesamtpegel) und in zweiter Linie nach der Differenz zwischen den Pegeln des hinteren und des seitlichen Mikrophons in vier Gruppen I bis IV eingeteilt. Diese Gruppen widerspiegeln die wichtigsten Unterschiede der einzelnen Beläge bezüglich der Lärmeigenschaften. Im Kapitel 7 «Terzbandpegelanalyse» wird aufgrund der Terzbandspektren eine verfeinerte Gruppeneinteilung vorgenommen. Die Gruppeneinteilung I bis IV ist in Tabelle 5.2 dargestellt.

Gruppe	Beläge	Charakteristische Merkmale
I	AB 11/10 SMA 11 TA 10 TA 11 TA 16 AB 16 SMA 16 MR 11 (SMA 8) (OB3/6)	<ul style="list-style-type: none"> • Niedrige bis mittlere Pegel • Grosse Differenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon • Mässige Abnahme der Lärmemission bei höheren Belagstemperaturen • Die Beläge mit den Grösstkorn 16 sind im allgemeinen etwas lauter. • Die AB – Beläge mit dem Mischguttyp «S» sind etwas lauter.
II	Beton GA SMA 16 HRA 16 HRA 25	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere bis sehr laute Pegel • Mittlere bis grosse Differenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon • Beim HRA 16 und HRA 25 etwas kleinere Differenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon • Eher geringe Abnahme der Pegel bei höherer Temperatur
IIIa	DRA 11 leise DRA 16 leise DRA 11 laut DRA 16 laut	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Differenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon; die Pegel des seitlichen Mikrophons sind manchmal höher • Leise bis laute Pegel • In der Gruppe IIIa ausgeprägte Abhängigkeit des Lärmpegels vom Alter bzw. vom Verstopfungsgrad der Poren • «DRA 11 leise» = Drainbelag mit unverstopften Hohlräumen • Mittlere bis sehr hohe Abnahme des Lärmpegels bei höherer Temperatur • OB-Beläge und HRA-Beläge weisen als nicht hohlraumhaltige Beläge Gemeinsamkeiten mit verstopften Drainbelägen auf.
IIIb	OB 6/11 OB 11/16 (HRA 16) (HRA 25)	
IV	SMA 6 SMA 8 Mikro OB3/6	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr niedrige bis mittlere Pegel • Grosse Differenz zwischen den Pegeln des hinteren und des seitlichen Mikrophons.
Spezial	Pflästerung	<ul style="list-style-type: none"> • Pegel liegen über den Grenzwerten der anderen Beläge.

Tabelle 5.2: Gruppeneinteilung A-bewerteter Rollgeräuschemissionen auf verschiedenen Belägen

Typische Vertreter der G1-Beläge sind AB 11 und SMA 11. Die G2-Beläge werden durch Betonbeläge vertreten. Der DRA 11 ist das typische Beispiel für G3-Beläge, und der SMA 6 gehört zu den G4-Belägen. Die anderen Beläge wurden derjenigen Gruppe zugeteilt, mit der sie am meisten Gemeinsamkeiten aufweisen. Zum Teil wurden Beläge in zwei Gruppen eingeteilt.

Die Messwerte wurden sowohl für jedes Mikrophon getrennt als auch als resultierender durchschnittlicher energetischer Pegel ermittelt.

Zu beachten ist, dass die Resultate auf sehr unterschiedlichen statistischen Grundlagen beruhen. Während bei einigen Belägen über einen sehr langen Zeitraum rund 200 Messungen auf über zehn verschiedenen Strecken bei hohen und tiefen Temperaturen durchgeführt wurden, basieren die Resultate bei anderen Belägen auf nur einer einzigen oder wenigen auf einer einzelnen Strecke durchgeführten Messungen.

Aufgrund der Abstrahlcharakteristik des verwendeten AIPCR-Reifens (normierter Reifen mit 4 Längsrillen) und des Schallreflexionsverhaltens der Belagsoberfläche ist gemäss [9] der Messwert des hinteren Mikrophons massgebend, falls bei dichten Belägen der Messwert des seitlichen Mikrophons unterhalb der in Tabelle 5.3 aufgeführten Pegelwerte liegt. Dieser korrigierte Pegel wurde LMA-Wert genannt. Im übrigen hat sich gezeigt, dass die auf diese Weise ermittelten Werte die beste Korrelation mit anderen Messarten (Vorbeifahrtmessung) ergaben.

Fahrgeschwindigkeit	Untere Grenzwerte für seitliches Mikrophon
50 km/h	86.5 dB(A)
60 km/h	89.0 dB(A)
80 km/h	92.0 dB(A)
100 km/h	94.0 dB(A)
120 km/h	96.0 dB(A)

Tabelle 5.3: Grenzwerte für die Ermittlung der massgebenden LMA-Werte [9]

Trotz des oben erwähnten Ausnahmefalls nach [9] wurden in diesem Bericht überall nur die energetischen Mittelwerte verwendet und bewusst auf eine Berücksichtigung der Grenzwerte für das seitliche Mikrophon verzichtet.

Wie im Abschnitt 4.1 erwähnt, wurden die Lärmmessungen mit den AIPCR-Reifen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Pegelwerte reifenabhängig sind, sollte die Repräsentativität der Messungen mit den AIPCR-Reifen im Vergleich zu den Messungen mit anderen Reifen untersucht werden. Im Jahre 1988 wurden im Auftrag des TCS Rollgeräusmessungen mit fünf verschiedenen Reifen (Uniroyal, Goodyear, Conti, Michelin und AIPCR) auf verschiedenen Belägen durchgeführt [15]. Die Ergebnisse

dieser Messungen zeigen, dass im allgemeinen die Pegeldifferenzen zwischen den verschiedenen Belägen durch die Reifen recht gut wiedergegeben werden. Die ausführlichen Resultate dieser Messungen und der Vergleich der Frequenzanalysen werden im Abschnitt 8.9 «Terzbandpegelanalyse» genauer erörtert.

Im Folgenden werden nach einer kurzen Einführung der Beurteilungskriterien die Resultate der Lärmmessungen graphisch dargestellt und beurteilt.

5.2 Beurteilungsschema

Zur Beurteilung der Lärmeigenschaften verschiedener Beläge sollte ein Bewertungskriterium geschaffen werden. Eine ungefähre Klassifikation der Lärmeigenschaften der verschiedenen Beläge kann mit Hilfe des nachfolgenden Beurteilungsschemas vorgenommen werden. Dieses Beurteilungsschema basiert auf den Erfahrungen aus den bisherigen Rollgeräuschmessungen des IVT der ETH Zürich [7].

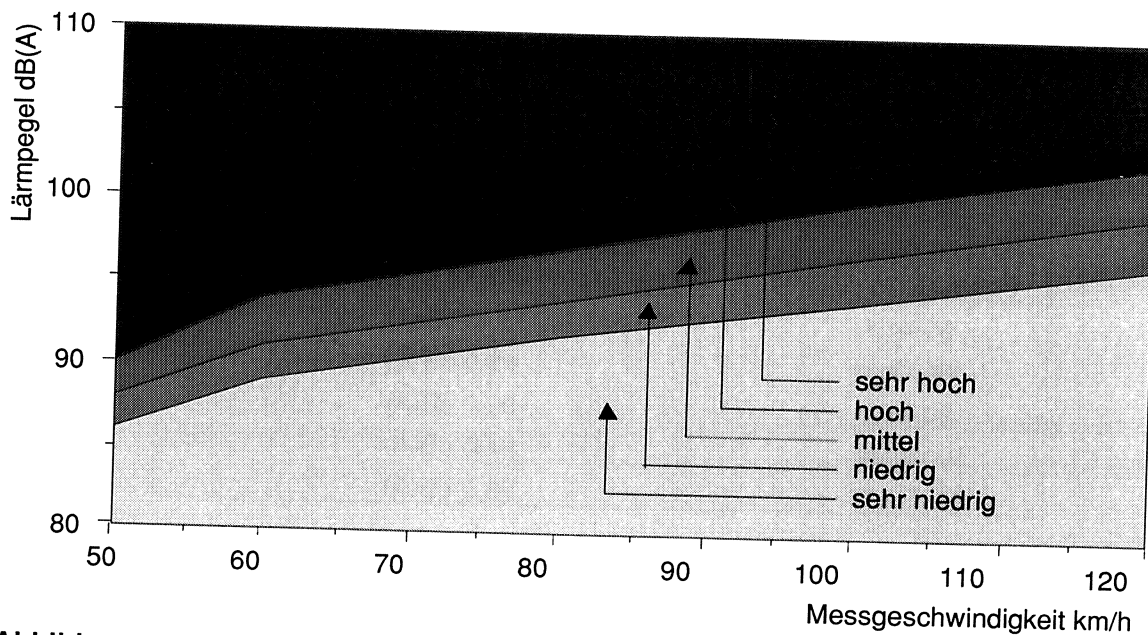


Abbildung 5.1: Beurteilungsschema gemäss [7]

Die Messwerte sind reifenabhängig und beziehen sich auf Messungen mit dem AIPCR-Reifen. Die Beläge wurden in Abhängigkeit ihres Lärmpegelniveaus in 5 Kategorien - von sehr leise bis sehr laut - unterteilt. Diese Beurteilung dient allein zur Veranschaulichung der Messwerte und hat keine weitergehende Bedeutung. Abbildung 5.1 und Tabelle 5.4 zeigen dieses Beurteilungsschema.

Lärmpegel- niveau	Belags- kategorie	Pegelwert dB(A) bei				
		50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
sehr niedrig	sehr leise	≤ 86	≤ 89	≤ 92	≤ 94	≤ 96.5
niedrig	leise	86 – 88	89 – 91	92 – 94	94 – 97	96.5 – 99.5
mittel	mittel	88 – 90	91 – 94	94 – 97	97 – 100	99.5 – 102.5
hoch	laut	90 – 92	94 – 96	97 – 100	100 – 103	102.5 – 105.5
sehr hoch	sehr laut	≥ 92	≥ 96	≥ 100	≥ 103	≥ 105.5

Tabelle 5.4: Pegelwerte zum Beurteilungsschema [7],
Messung mit AIPCR-Reifen

5.3 Messresultate, Übersicht

Die Resultate der Messungen sind in den Abbildungen 5.2 bis 5.7 zusammengefasst. Ausführlichere Ergebnisse verschiedener Belagsarten können dem Anhang 2 entnommen werden.

Wie aus diesen Abbildungen ersichtlich, weisen die Beläge AB 11, SMA 11, Mikro 10, TA 10 und TA 16 sehr ähnliche Lärmpegel auf. Dies gilt auch für die Terzbandpegel. Die SMA-Beläge sind bei tieferen Geschwindigkeiten (Innerortsverkehr) gleich oder leicht leiser als die AB-Beläge. Mit zunehmender Geschwindigkeit ändert sich ihr Lärmverhalten; bei 80 km/h weisen sie Lärmgeräusche auf, die um etwa 2 dB(A) lauter sind als bei AB-Belägen. Beläge mit kleineren Grösstkörnern sind im allgemeinen etwas leiser als diejenigen mit den grösseren Grösstkörnern. Die einzelnen Messwerte sind aber derart unterschiedlich, dass sich die Streubereiche der leiseren und lauterer Beläge überschneiden (siehe Anhang 2). Beläge mit Grösstkorn 16 sowie die Beton- und HRA-Beläge sind deutlich lauter. Bei den AB-Belägen sind solche mit der Mischgutsorte S zum Teil deutlich lauter als solche mit der Mischgutsorte N.

Drainbeläge sind bei niedrigen Geschwindigkeiten im Vergleich zu anderen Belägen lauter. Bei höheren Geschwindigkeiten schneidet der DRA 11 besser ab als die dichten Beläge. Zu beachten ist, dass die Lärmpegel auf den älteren DRA 11 vor allem bei niedrigen Geschwindigkeiten und auf den neueren (mit einem durchschnittlich Alter von 3.5 Jahren) bei höheren Geschwindigkeiten von 100 und 120 km/h gemessen wurden. Die Messbedingungen sind in Anhang 1 ausführlich dargestellt. Daraus folgt, dass bei den Drainbelägen das Alter einen gewissen Einfluss auf den Lärmpegel hat. Die Zunahme des Lärms bei porösen Belägen im Laufe der Zeit ist hauptsächlich eine Folge der Verstopfung der freien Hohlräume und damit eine Verminderung des Absorptionsvermögens des Belags. Nach einigen Jahren verhalten sich Drainbeläge wie normale dichte Beläge [9] und ihre Lärmeigenschaften werden durch andere Faktoren, aber nicht durch das Alter, beeinflusst.

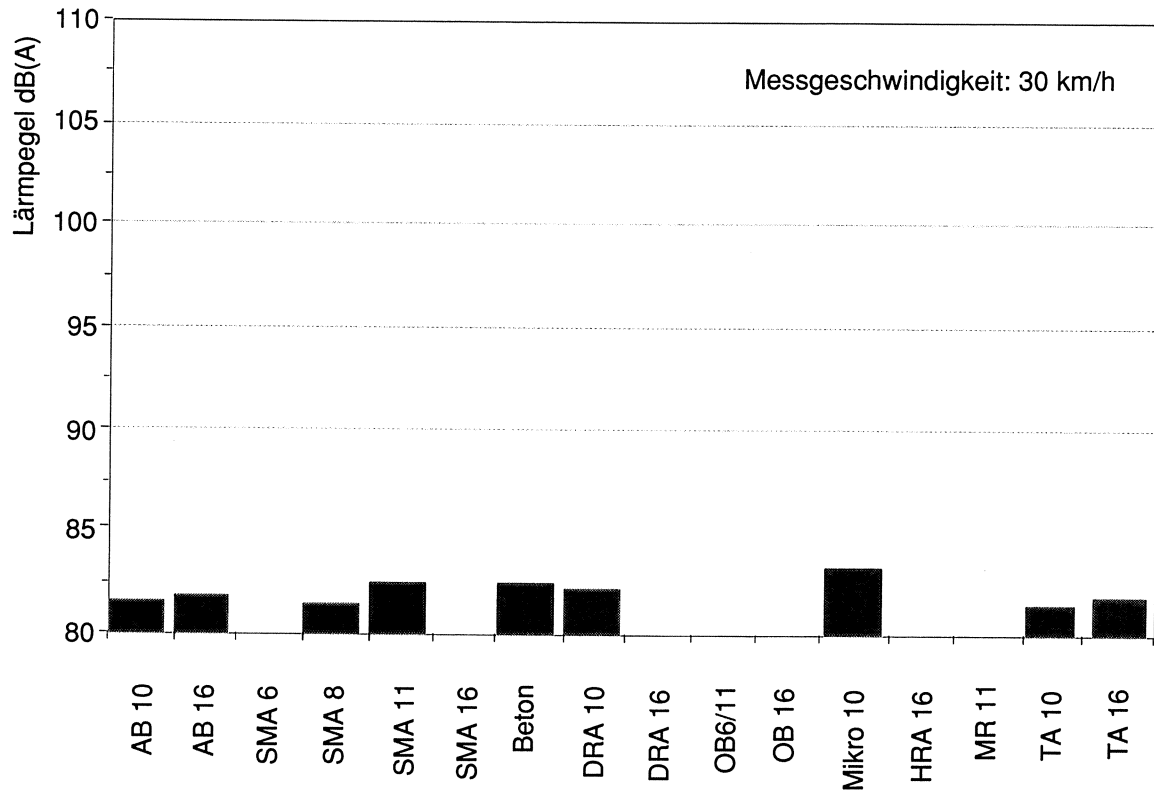


Abbildung 5.2: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 30 \text{ km/h}$

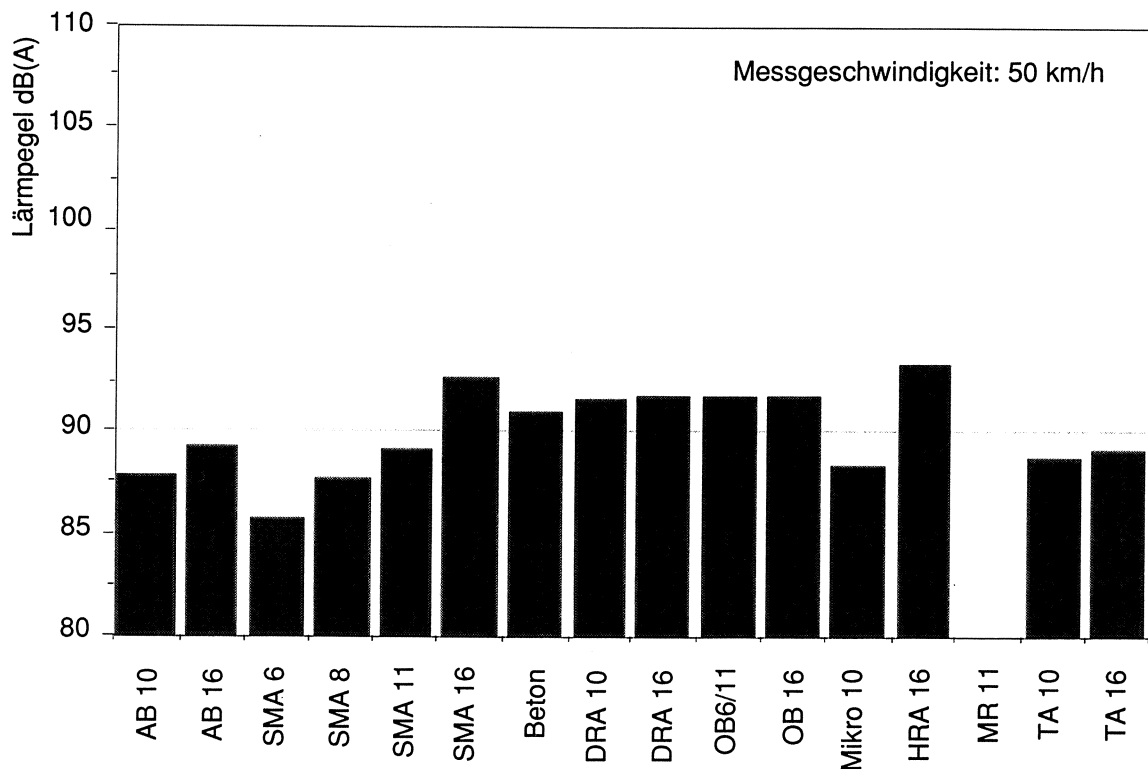


Abbildung 5.3: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 50 \text{ km/h}$

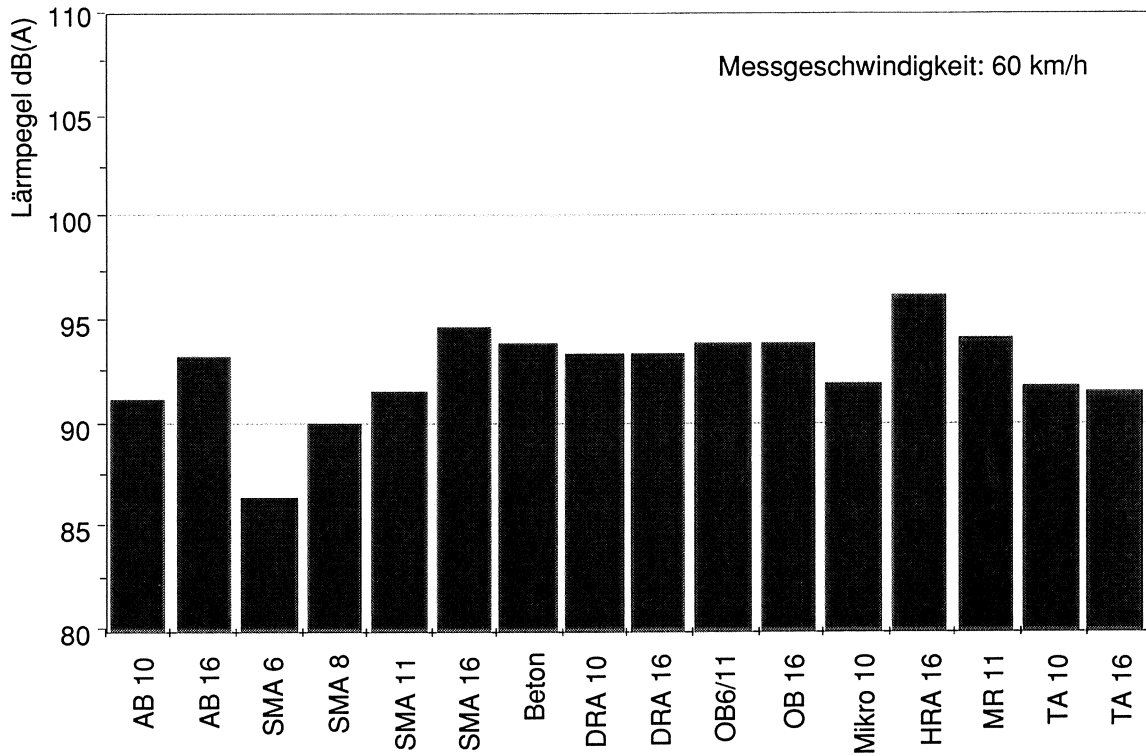


Abbildung 5.4: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 60 \text{ km/h}$

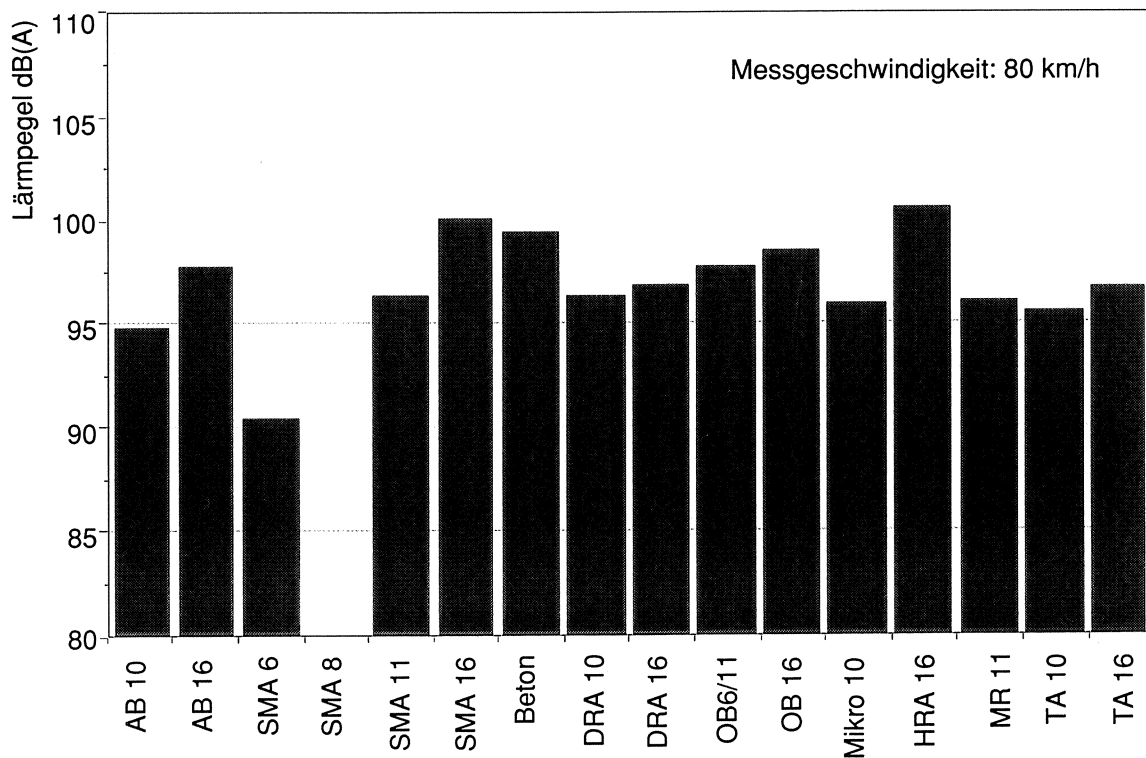


Abbildung 5.5: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 80 \text{ km/h}$

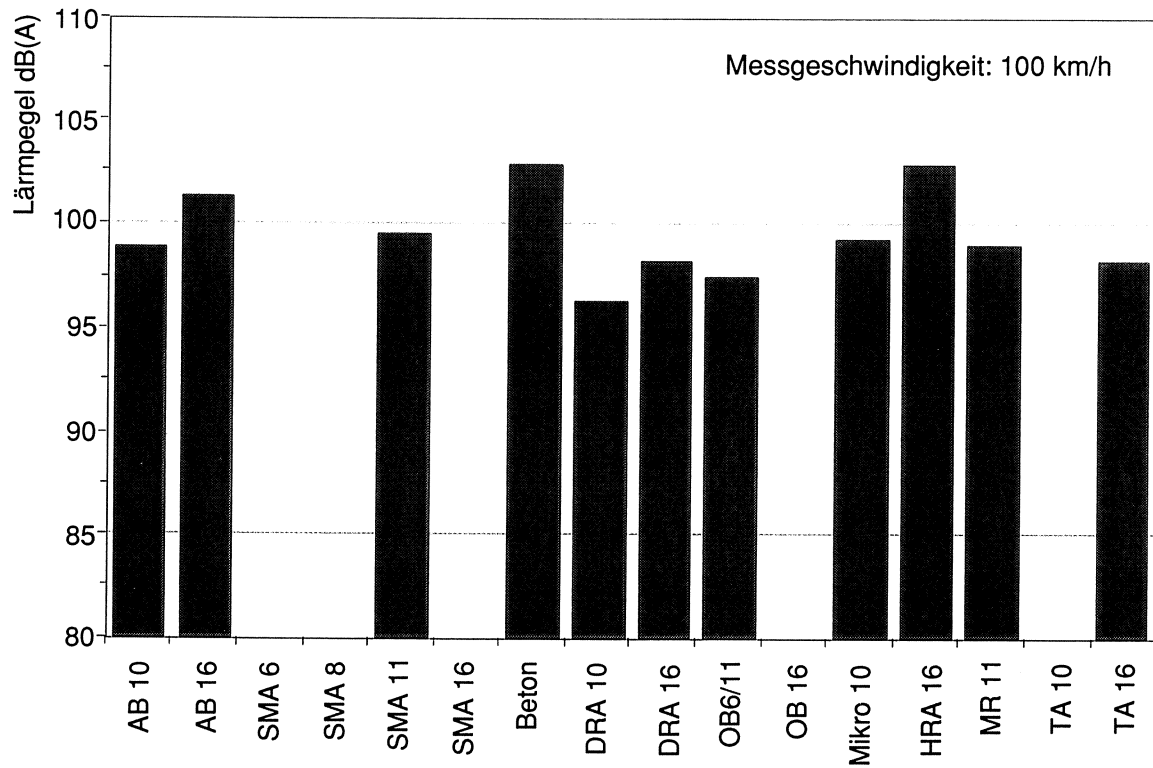


Abbildung 5.6: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 100 \text{ km/h}$

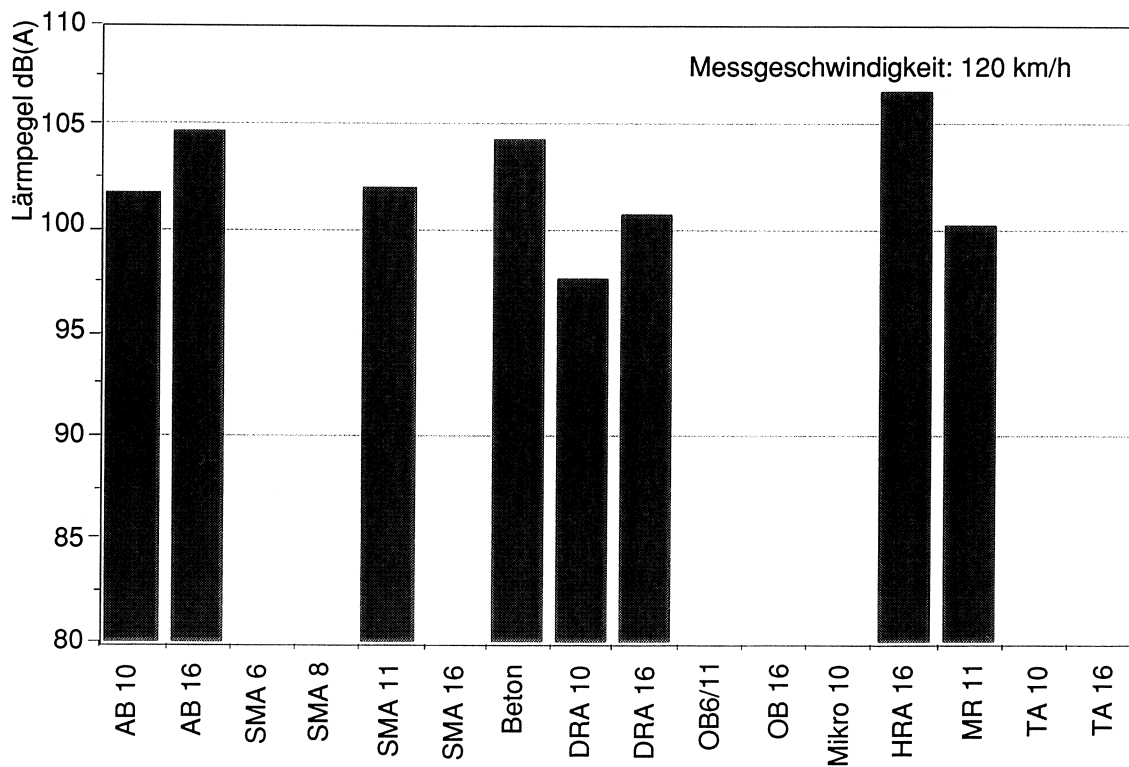


Abbildung 5.7: Pegelwerte der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen, $v = 120 \text{ km/h}$

5.4 Messresultate einzelner Beläge

Im Abschnitt 5.3 wurden die Resultate der Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen zusammengefasst. In diesem Abschnitt werden die Lärmeigenschaften verschiedener Beläge etwas detaillierter untersucht. Aufgrund der jeweiligen Lärmpegel wurden die Beläge gemäss dem Beurteilungsschema des IVT (Abbildung 5.1) in verschiedene Kategorien unterteilt. Desweiteren wurden bei verschiedenen Belägen die durchschnittlichen Lärmpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit sowohl für das hintere und das seitliche Mikrofon als auch für den energetischen Mittelwert dargestellt. Diese sind logarithmische Funktionen der Geschwindigkeit.

Bei den AB-Belägen gibt es Mischgutsorten S und N. Bei den meisten Messungen war die Mischgutsorte nicht bekannt. Wo genügend Messungen bekannter Mischgutsorte vorhanden waren, wurden die beiden Mischgutsorten unterschieden (S bzw. N, siehe Abbildung 5.9).

Die ausführlichen Daten betreffend jedem Belag sind im Anhang 2 zusammengefasst. Ausserdem wurden von allen Messungen auch die Percentil-Werte bestimmt. Angaben über Percentilwerte, Anzahl Messungen und die numerischen Werte befinden sich ebenfalls im Anhang 2 und werden in diesem Abschnitt nicht aufgeführt.

- **Mikrobelag**

Klassifikation des Lärmpegels:

Oft sehr leise bis leise, bei höheren Geschwindigkeiten mittel bis laut

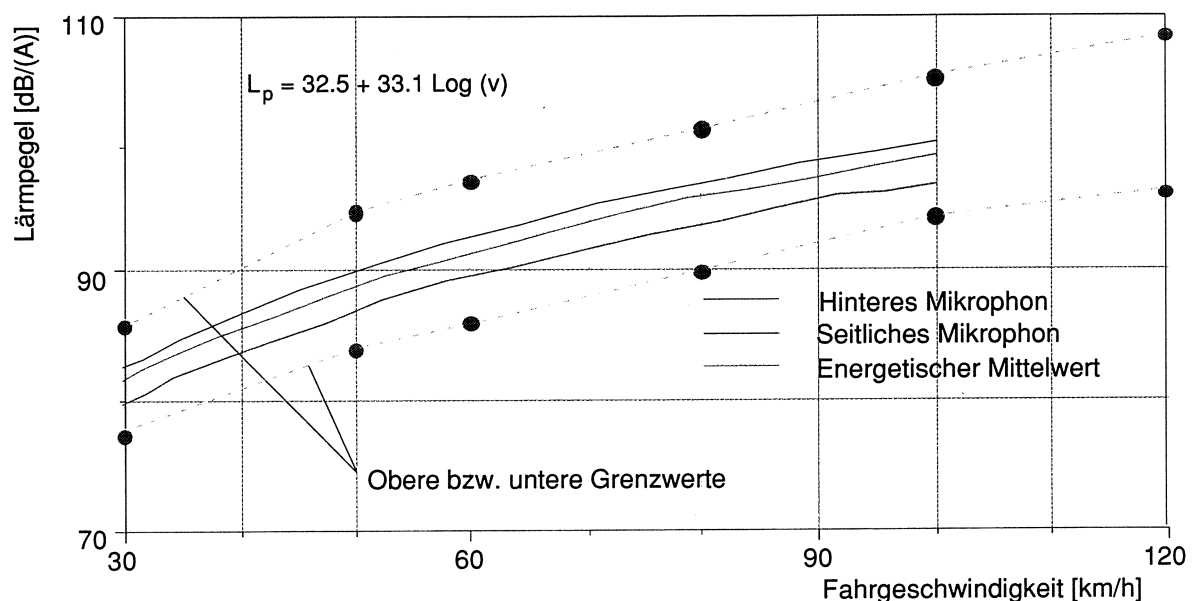


Abbildung 5.8: Lärmpegel Mikrobelag in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Asphaltbetonbelag AB 11**

Klassifikation des Lärmpegels:

Bei 50 und 60 km/h mittel, in Einzelfällen leise, bei 80 und 100 km/h oft laut

Mischgutsorte S oft 2 – 3 dB(A) lauter als Mischgutsorte N

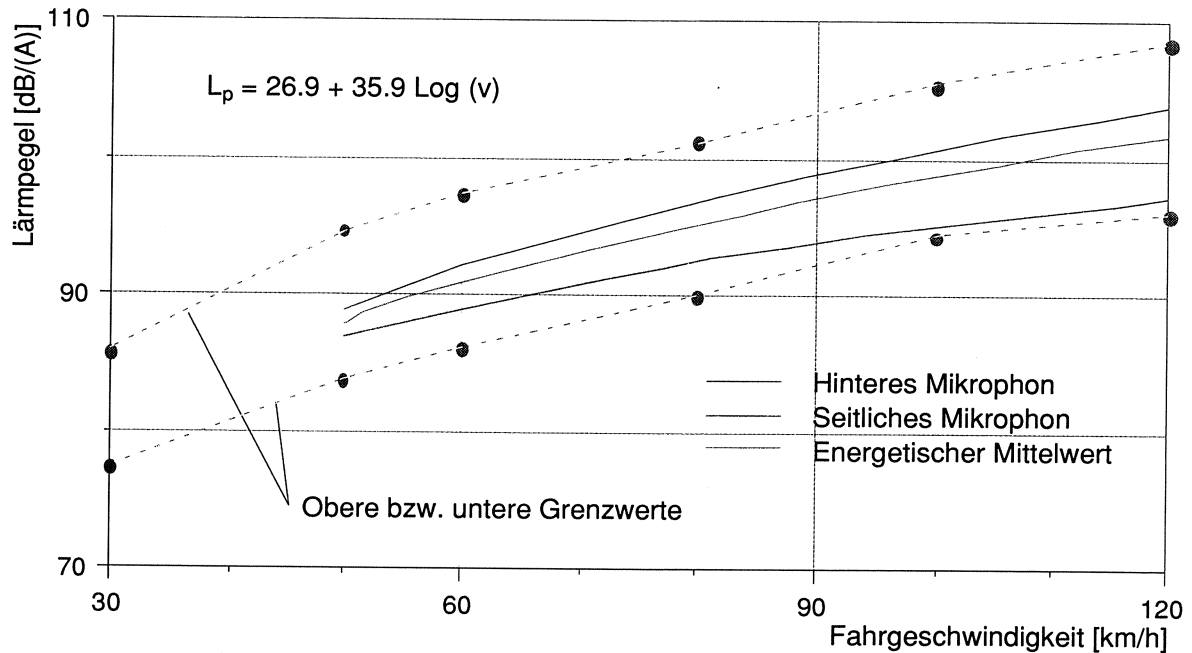


Abbildung 5.9: Lärmpegel AB 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Asphaltbetonbelag AB 16**

Klassifikation des Lärmpegels:

Bei 50 und 60 km/h mittel, in Einzelfällen leise, bei 80 und 100 km/h oft laut

Mischgutsorte S oft 1 – 2 dB(A) lauter als Mischgutsorte N

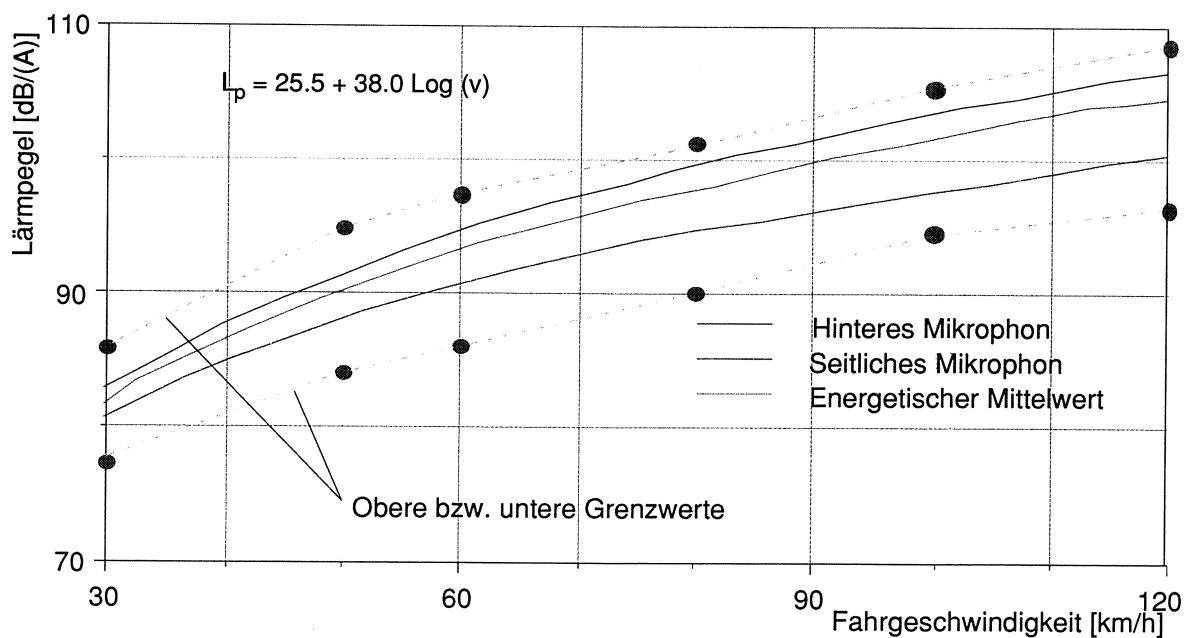


Abbildung 5.10: Lärmpegel AB 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

• **Teerasphalt TA 10**

Klassifikation des Lärmpegels:

Offt leise bis mittel, in Einzelfällen sehr leise oder laut

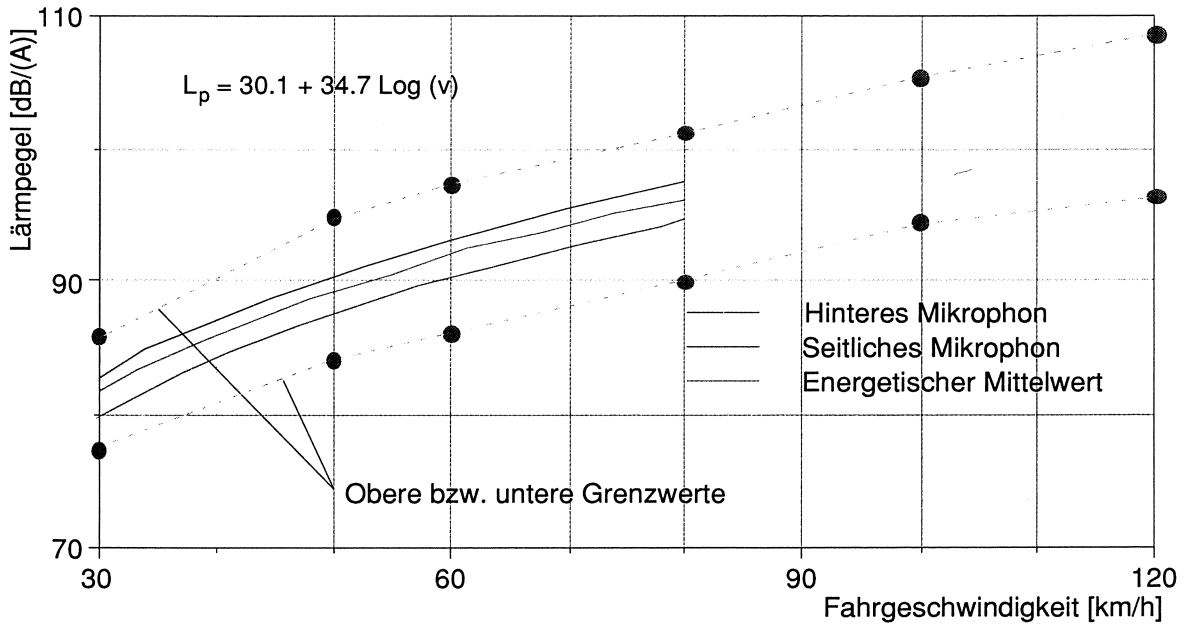


Abbildung 5.11: Lärmpegel TA 10 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

• **Teerasphalt TA 16**

Klassifikation des Lärmpegels:

Offt leise bis mittel, bei höheren Geschwindigkeiten auch laut

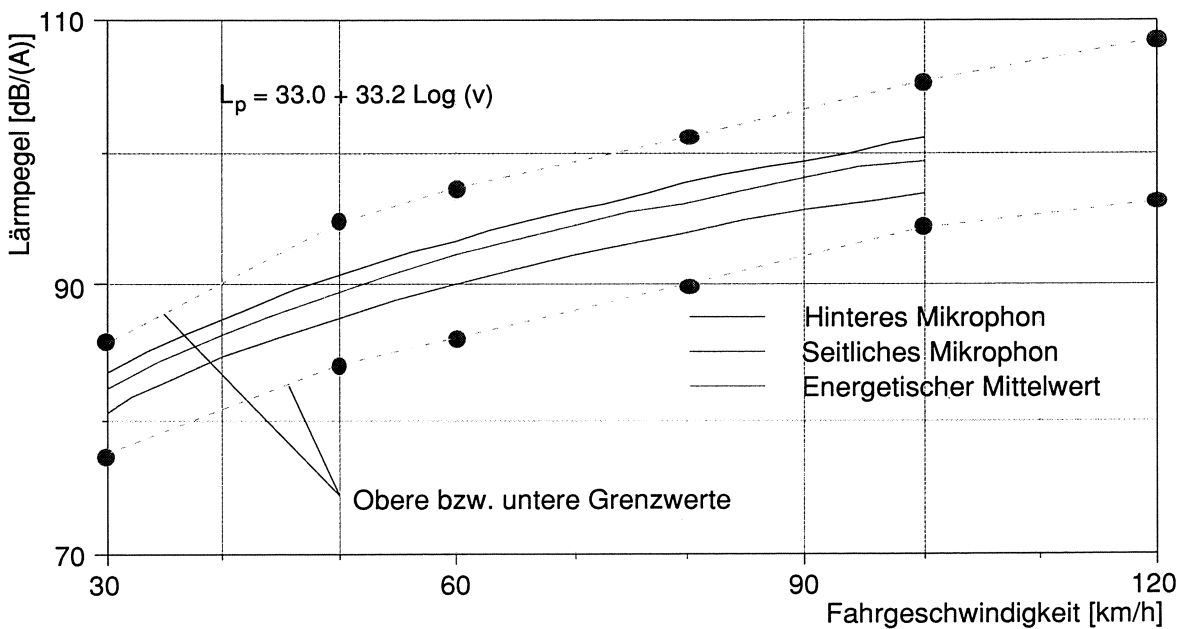


Abbildung 5.12: Lärmpegel TA 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Splittmastixasphalt SMA 6**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen sehr leise bis leise, in Einzelfällen bis mittel

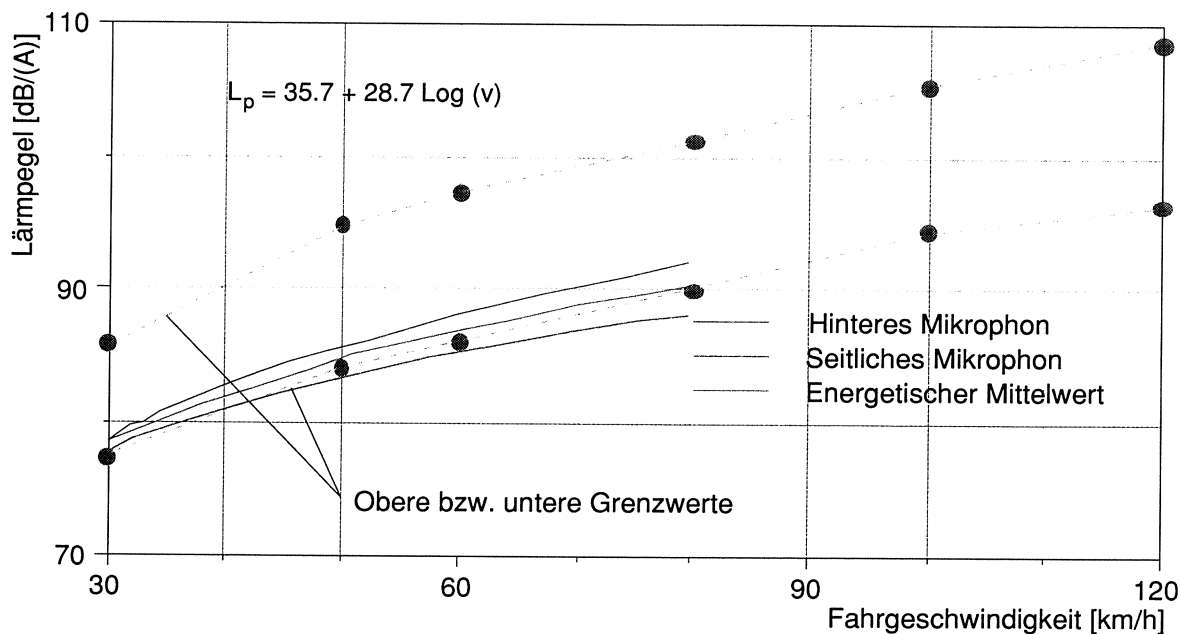


Abbildung 5.13: Lärmpegel SMA 6 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Splittmastixasphalt SMA 8**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen sehr leise bis leise (nur wenige Daten vorhanden)

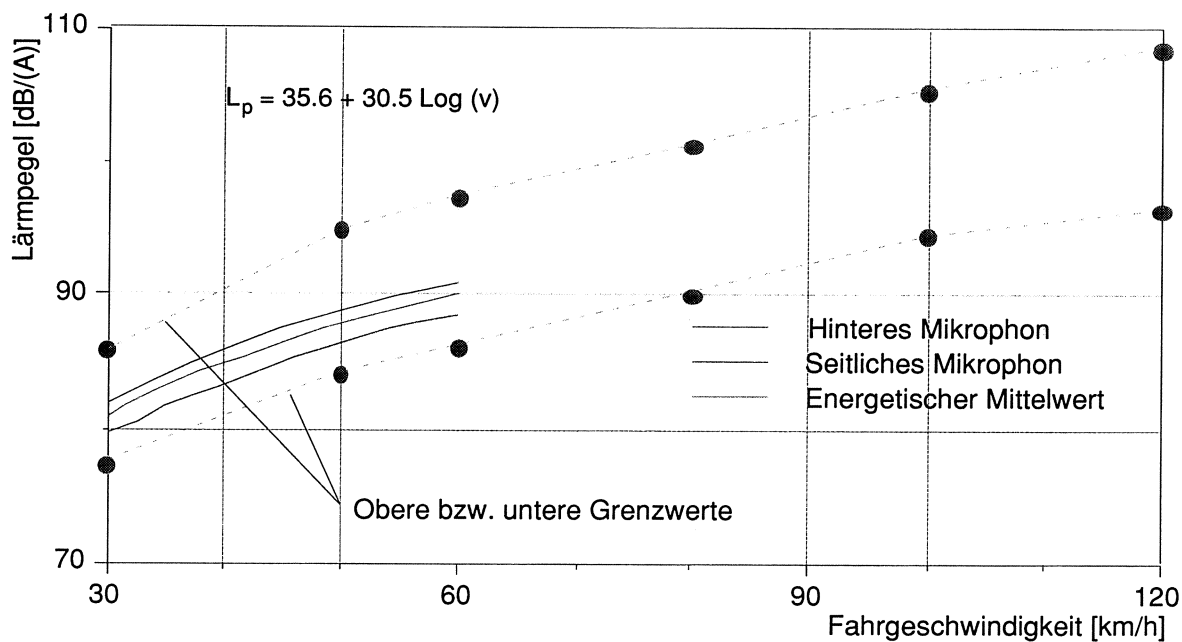


Abbildung 5.14: Lärmpegel SMA 8 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

• **Splittmastixasphalt SMA 11**

Klassifikation des Lärmpegels:

Bei 50 und 60 km/h mittel, in Einzelfällen leise, bei 80 und 100 km/h oft laut

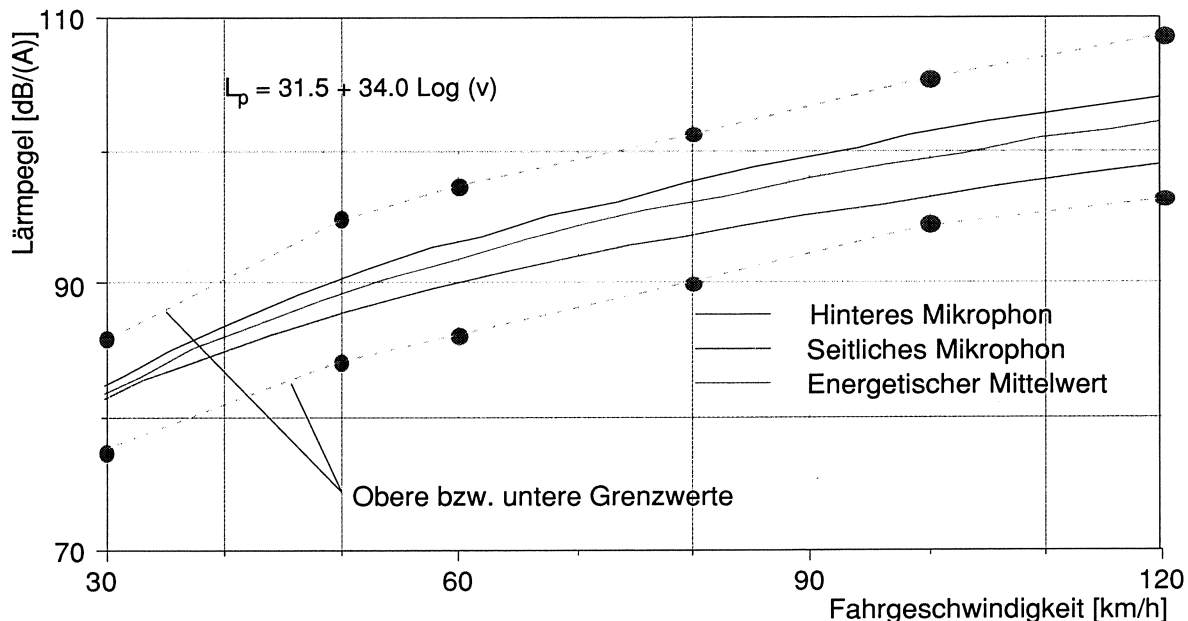


Abbildung 5.15: Lärmpegel SMA 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

• **Splittmastixasphalt SMA 16**

Klassifikation des Lärmpegels:

Laut (nur wenige Daten vorhanden)

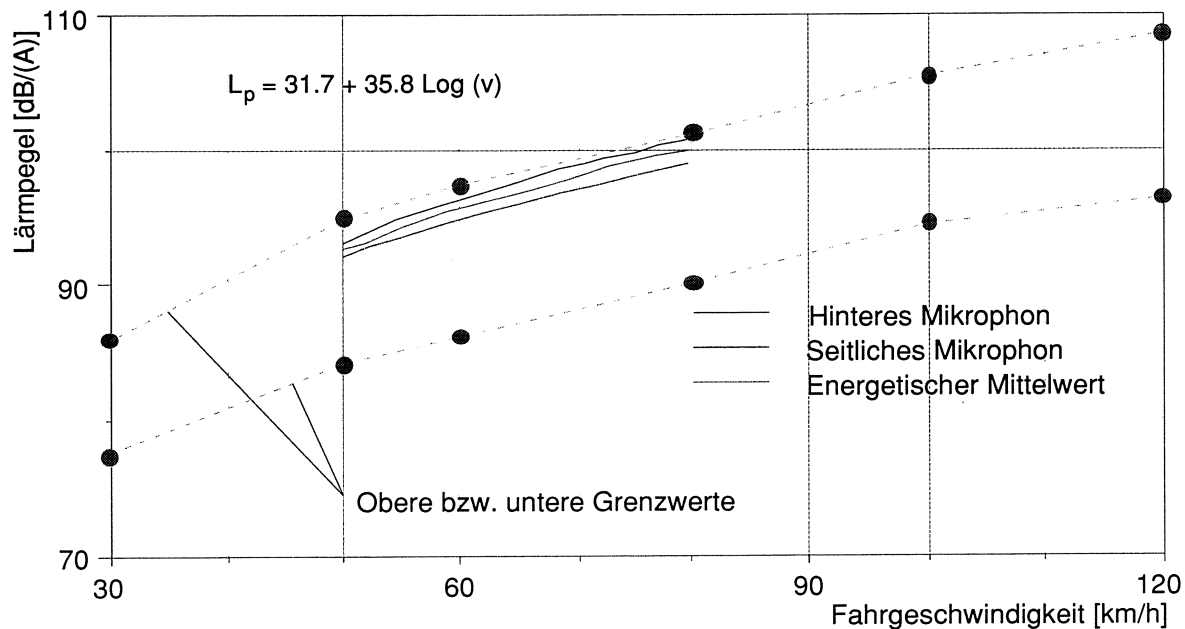


Abbildung 5.16: Lärmpegel SMA 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Hotrolled Asphalt HRA 16**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen sehr laut, in Einzelfällen laut

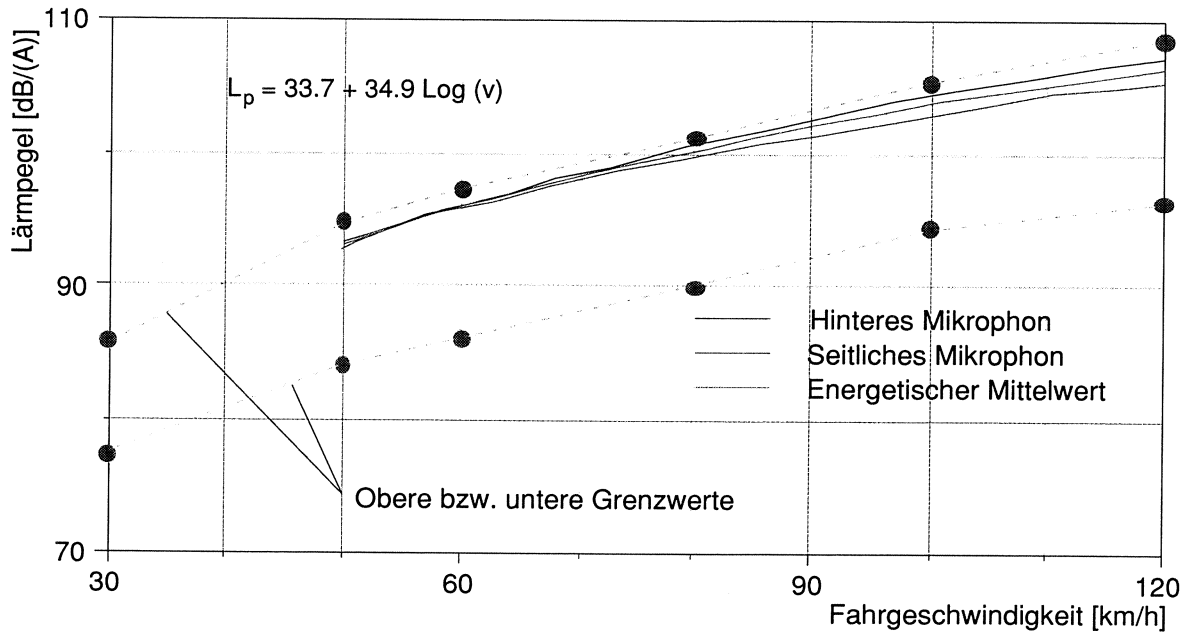


Abbildung 5.17: Lärmpegel HRA 16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Hotrolled Asphalt HRA 25**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen laut (nur wenige Daten vorhanden)

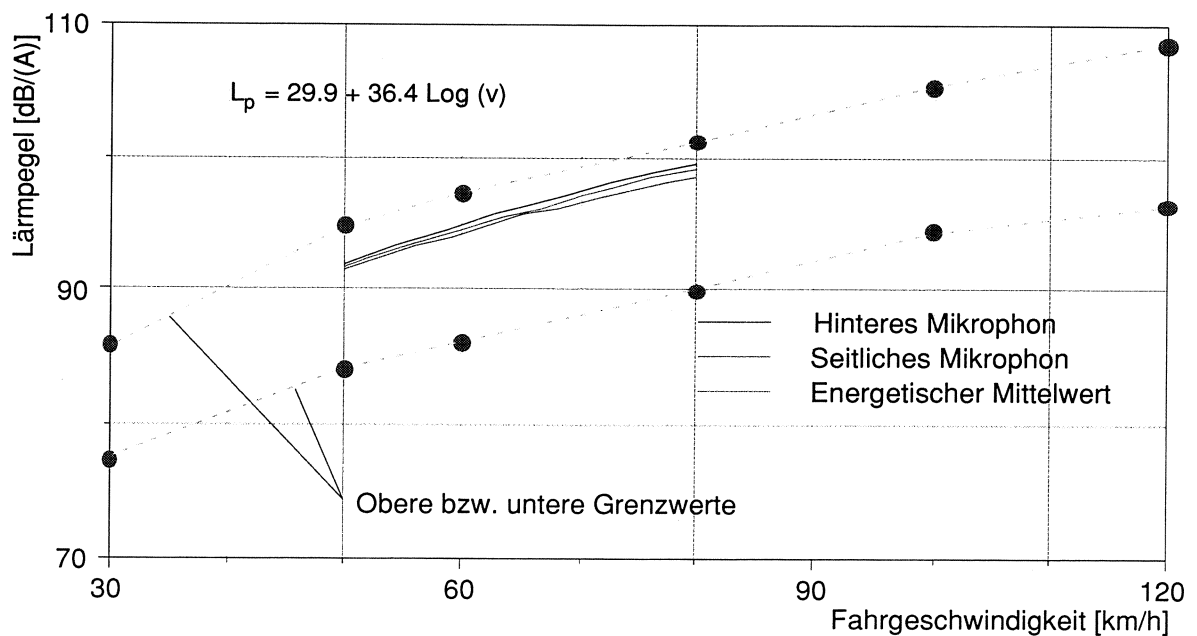


Abbildung 5.18: Lärmpegel HRA 25 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Drainasphalt DRA 11 leise**

Klassifikation des Lärmpegels:

Leise bis mittel, vor allem bei höheren Temperaturen und Geschwindigkeiten

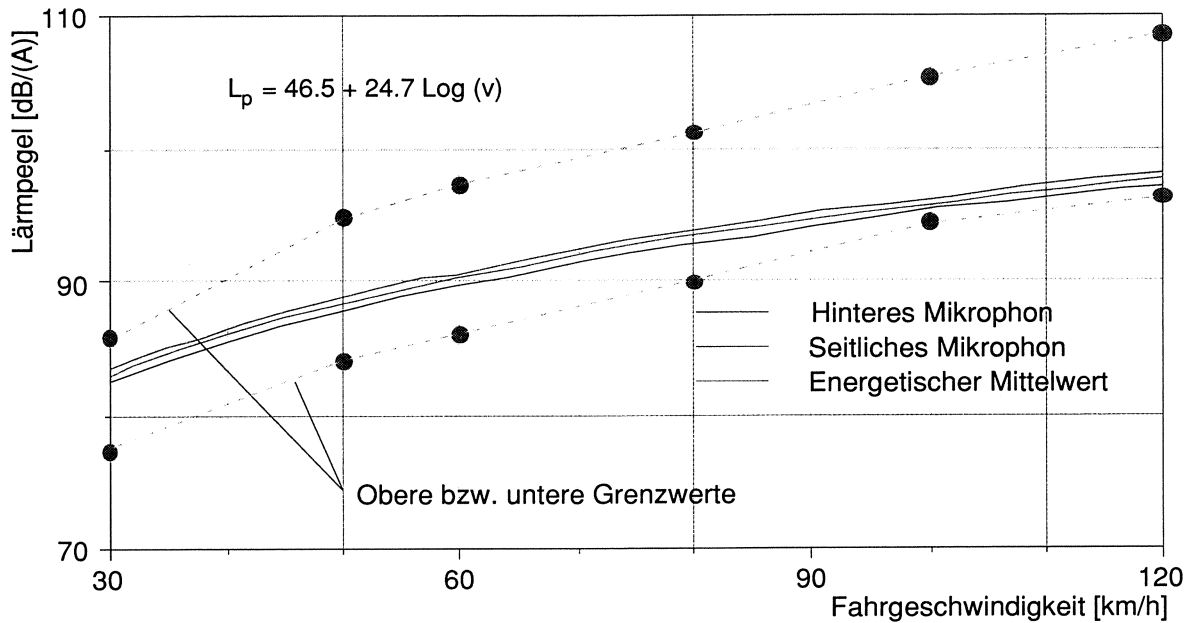


Abbildung 5.19: Lärmpegel DRA 11 leise in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Drainasphalt DRA 11 laut**

Klassifikation des Lärmpegels:

Laut bis sehr laut vor allem bei tiefen Temperaturen und alten Belägen

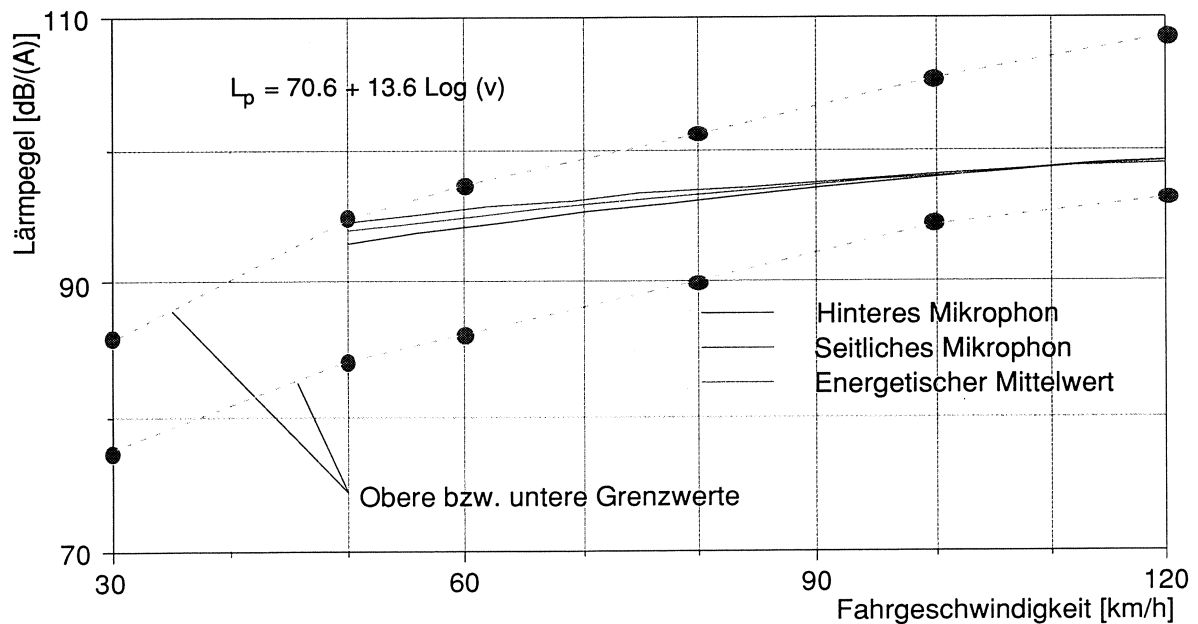


Abbildung 5.20: Lärmpegel DRA 11 laut in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Drainasphalt 16 leise**

Klassifikation des Lärmpegels:

Leise bis mittel, vor allem bei höheren Temperaturen und Geschwindigkeiten

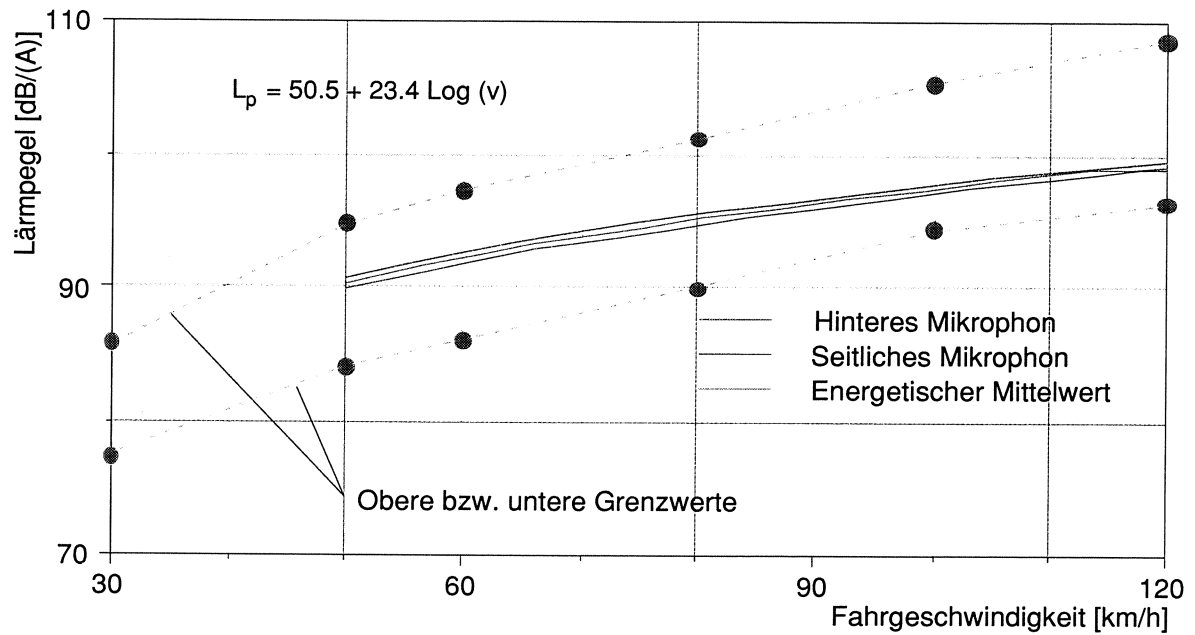


Abbildung 5.21: Lärmpegel DRA 16 leise in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Drainasphalt 16 laut**

Klassifikation des Lärmpegels:

Laut bis sehr laut vor allem bei tiefen Temperaturen und alten Belägen

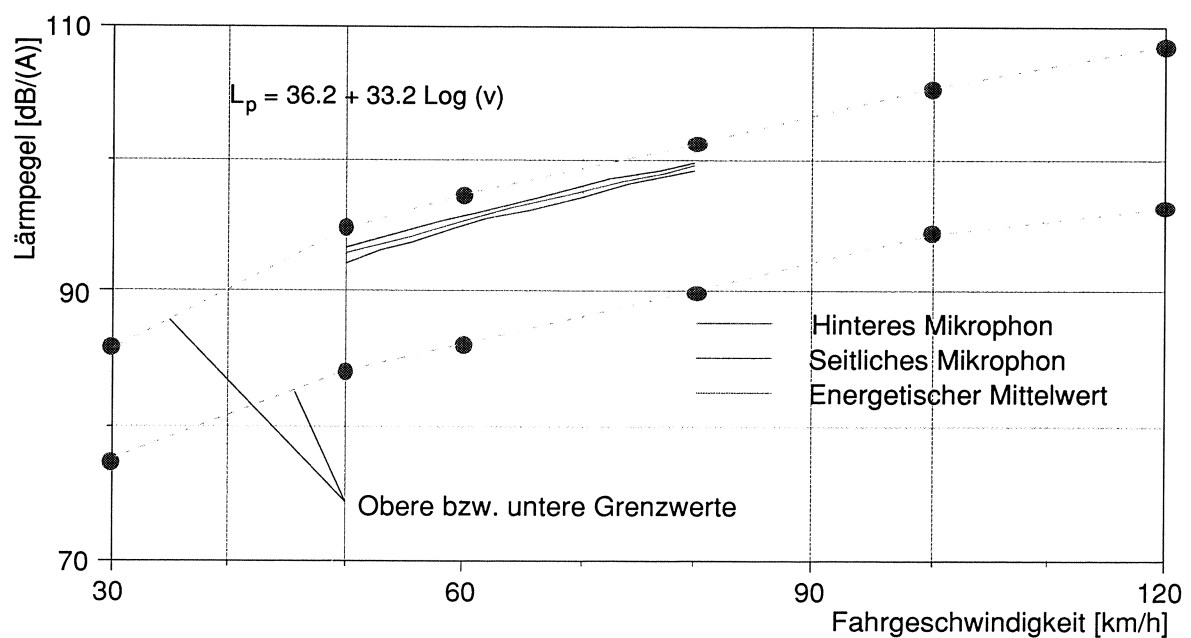


Abbildung 5.22: Lärmpegel DRA 16 laut in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

• **Oberflächenbehandlung OB 3 / 6**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen mittel (sehr wenige Daten vorhanden)

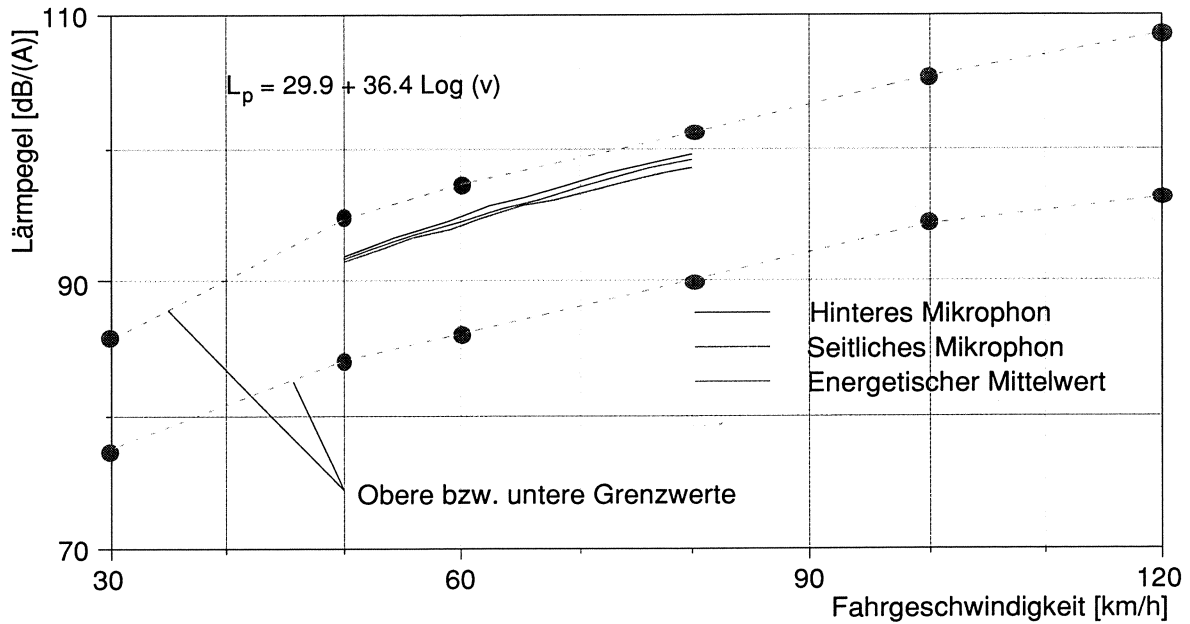


Abbildung 5.23: Lärmpegel OB 3/6 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

• **Oberflächenbehandlung OB 6 / 11**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen mittel bis laut, im Einzelfällen sehr laut

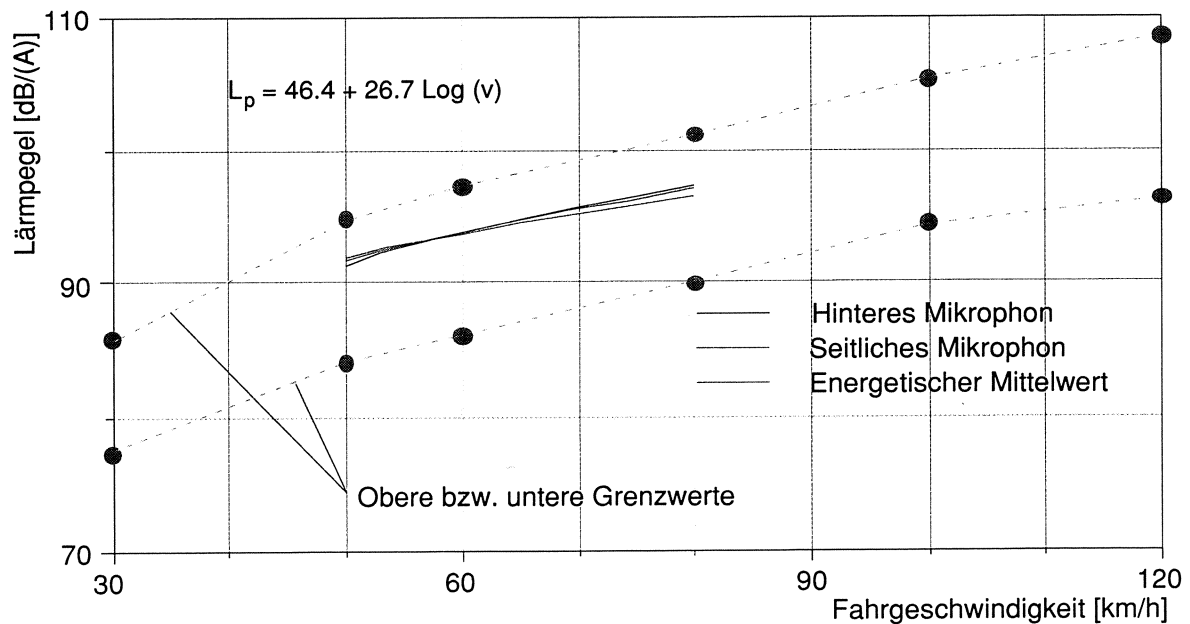


Abbildung 5.24: Lärmpegel OB 6/11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Oberflächenbehandlung OB 11 / 16**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen mittel bis laut, im Einzelfällen sehr laut

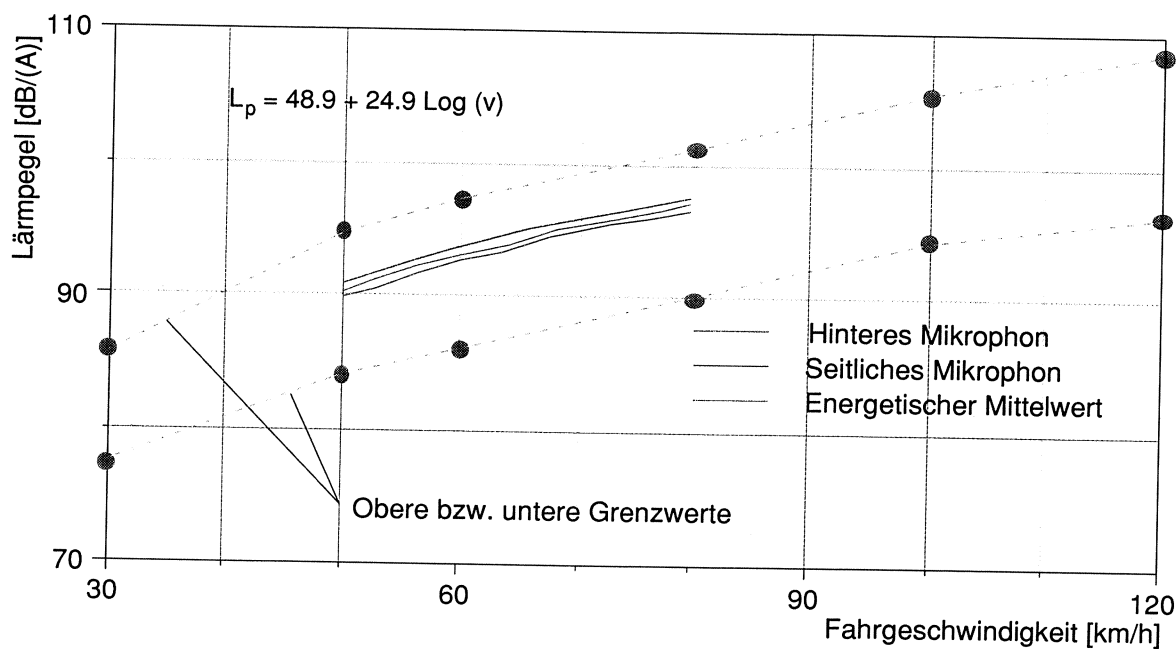


Abbildung 5.25: Lärmpegel OB 11/16 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

- **Rauhasphalt 11**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen mittel, in Einzelfällen leise

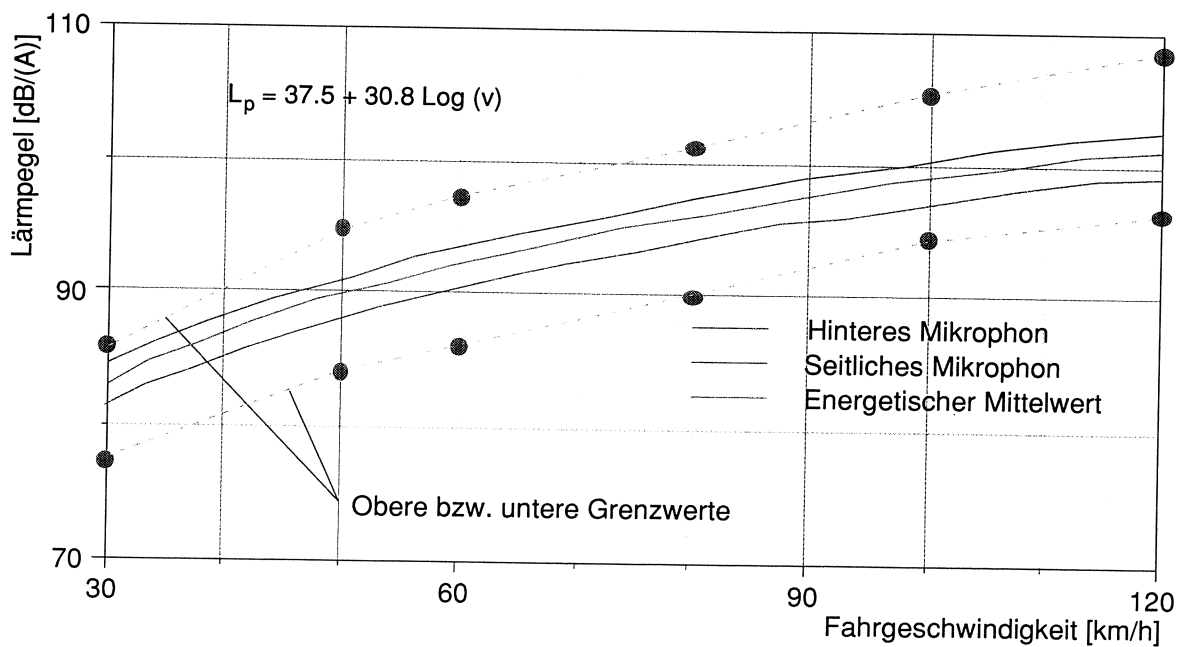


Abbildung 5.26: Lärmpegel MR 11 in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit

- **Betonbelag**

Klassifikation des Lärmpegels:

Im Allgemeinen sehr laut bis laut, in Einzelfällen mittel

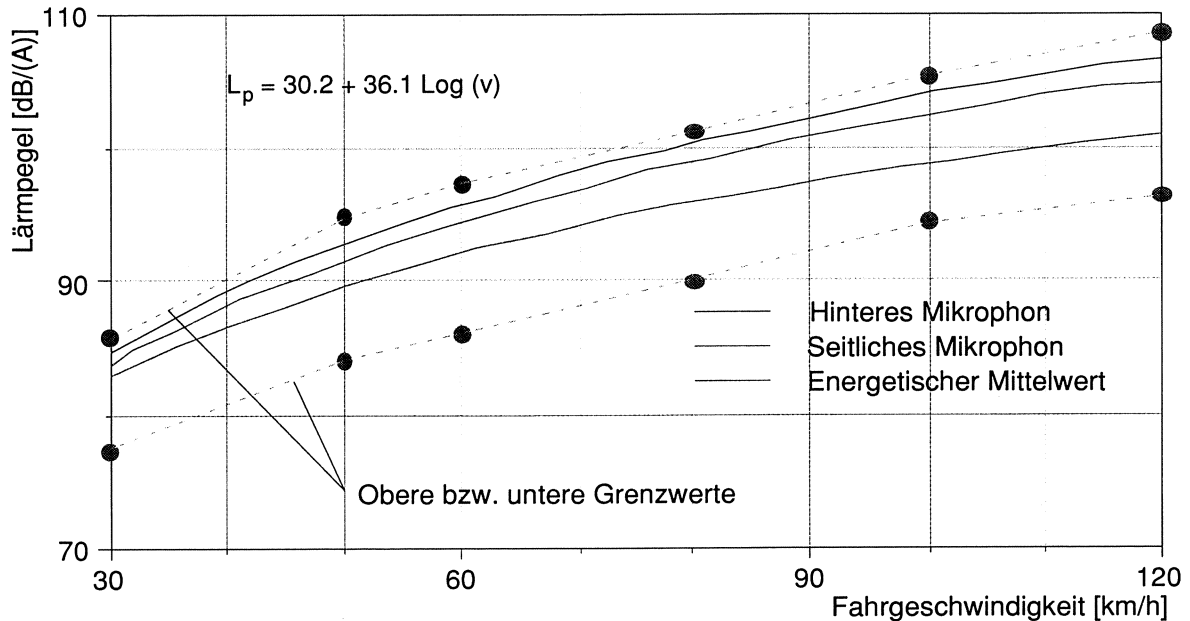


Abbildung 5.27: Lärmpegel Beton in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

5.5 dB(A)-Pegel des hinteren und des seitlichen Mikrophons

Bis anhin wurden die Durchschnittswerte der dB(A)-Pegel des hinteren und seitlichen Mikrophons betrachtet. Das Reifengeräusch wird mit zwei Mikrophonen gemessen, die unterschiedlich auf die Geräuschenstehungs- und Ausbreitungsmechanismen reagieren. Während das seitliche Mikrophon direkt die Schallabstrahlung infolge der Schwingungen des rollenden Reifens misst, erfasst das hintere Mikrophon speziell die schallverstärkende Trichterwirkung zwischen Reifenlauffläche und schallhartem Belag, bzw. die Reduktion dieser Trichterwirkung auf schallabsorbierenden Belägen.

Aufgrund der Schallpegelunterschiede zwischen dem hinteren und dem seitlichen Mikrophon können die Beläge in 2 Gruppen mit grosser bzw. mit kleiner Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon eingeteilt werden. Abbildungen 5.28 und 5.29 zeigen die Differenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei Fahrgeschwindigkeiten von 50 und 80 km/h.

Deutlich höhere Pegel des hinteren Mikrophons treten bei den Belägen SMA 6, SMA 8, SMA 11, SMA 16, AB 11, AB 16, TA 10, TA 16, MR 11, Mikro und dem Betonbelag auf. Es handelt sich dabei ausschliesslich um dichte Beläge (Abbildungen 5.28 und 5.29).

Bei den Belägen DRA 11; DRA 16; HRA 16; HRA 25 und bei allen Oberflächenbehandlungen ist die Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon gering. Bei den Drainbelägen, OB 11/16 und HRA 16 (bei 50 km/h) ist der Pegel des seitlichen Mikrofons sogar geringfügig höher (Abbildungen 5.28 und 5.29).

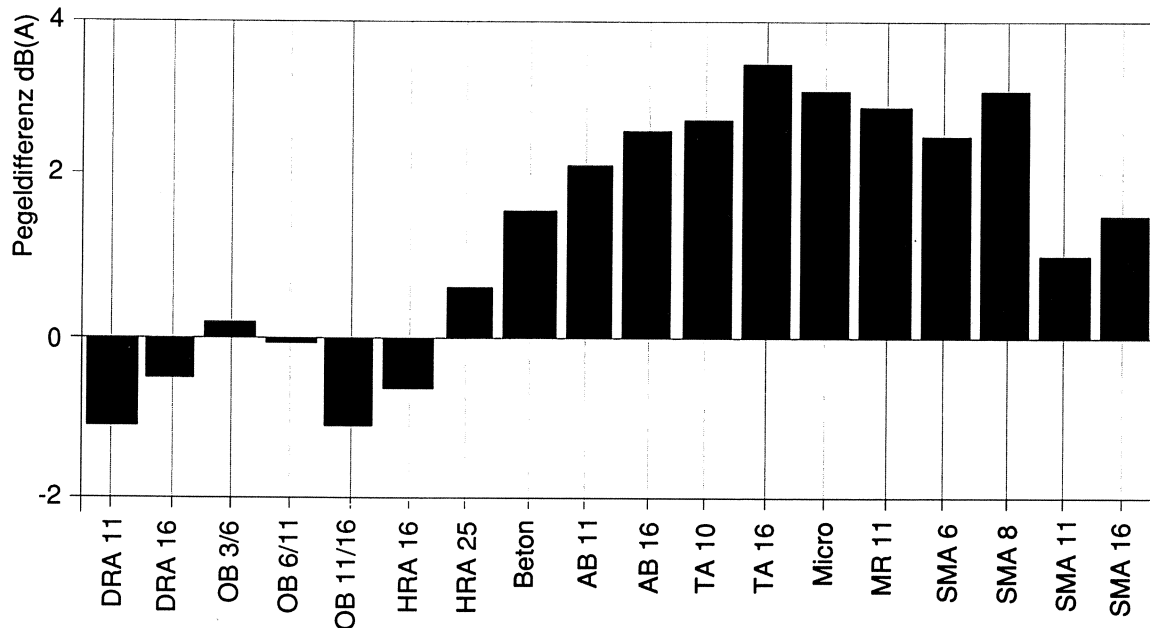


Abbildung 5.28: Pegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon ($v = 50$ km/h)
Positive Werte entsprechen einem höheren Pegel beim hinteren Mikrofon.

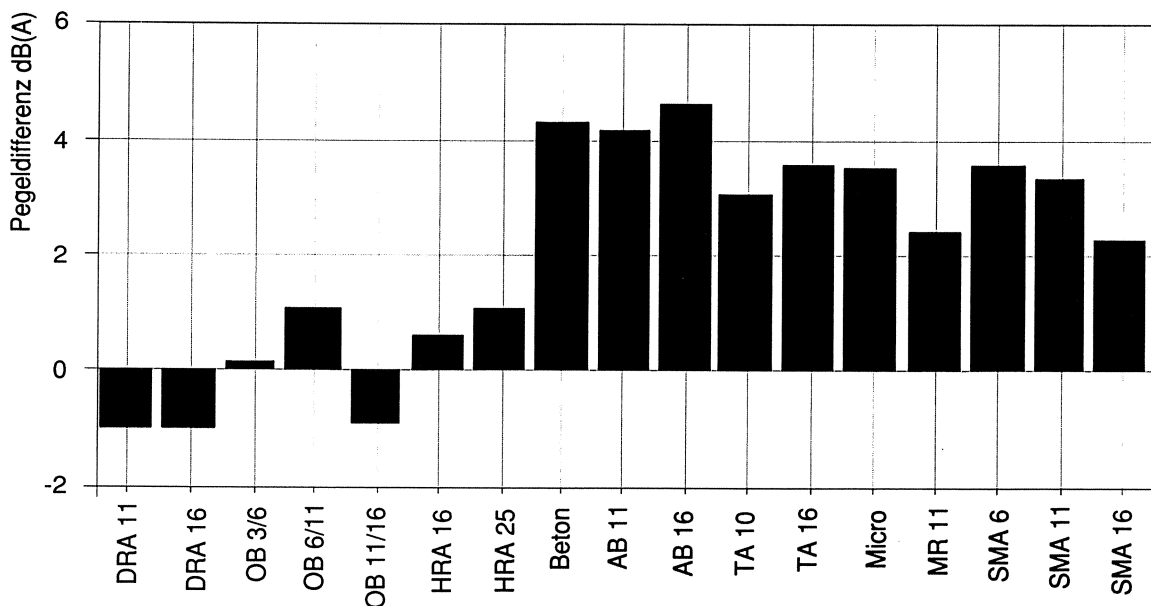


Abbildung 5.29: Pegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon ($v = 80$ km/h)
Positive Werte entsprechen einem höheren Pegel beim hinteren Mikrofon.

Die Pegeldifferenz nimmt mit der Geschwindigkeit zu. Für einige ausgewählte Beläge ist dies in Abbildung 5.30 dargestellt. Nur bei den Drainbelägen bleibt die Differenz konstant.

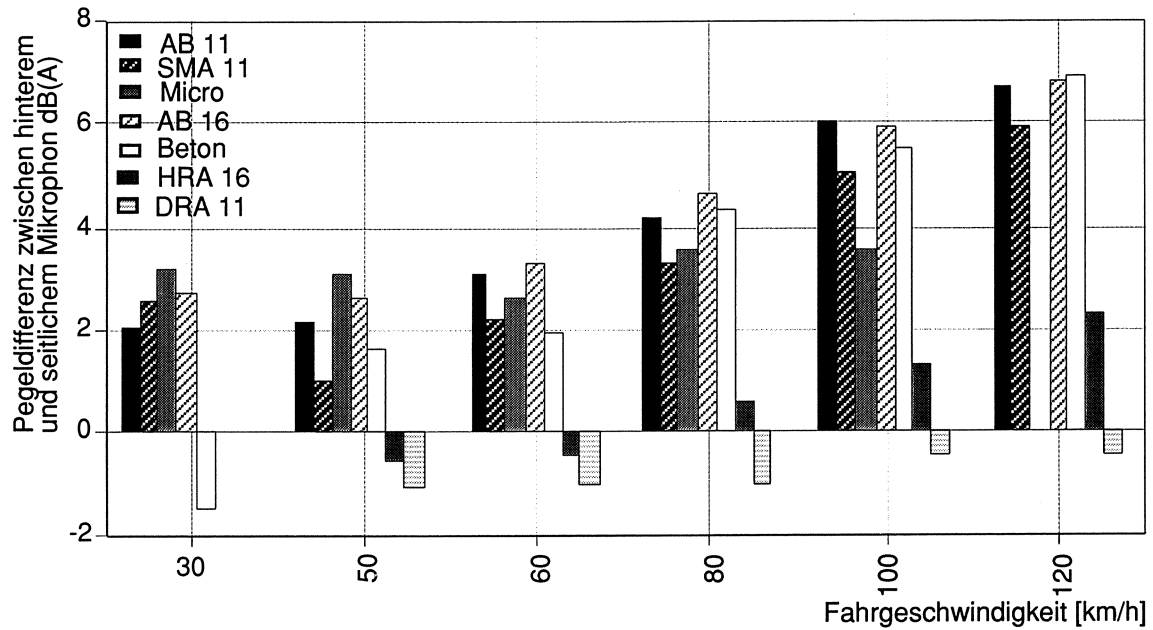


Abbildung 5.30: Pegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrofon in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit

Positive Werte entsprechen einem höheren Pegel beim hinteren Mikrofon.

6. Analyse der Resultate, Lärm und Einflussfaktoren

6.1 Einfluss der Geschwindigkeit

Bei allen Belägen steigt der Lärmpegel mit der Zunahme der Geschwindigkeit. Diese Zunahme lässt sich in Form einer Potenzfunktion darstellen. Die Schallintensität kann wie folgt beschrieben werden.

$$I = I_0 (v/v_0)^\alpha \quad (\text{Gleichung 6.1})$$

Legende: v : Momentane Geschwindigkeit des Fahrzeugs
 v_0 : Referenzgeschwindigkeit zum Beispiel 80 km/h
 I_0 : Schallintensität bei einer Referenzgeschwindigkeit von 80 km/h
 α : Potenzfaktor

Die obige Gleichung kann wie folgt in Dezibel umgeschrieben werden. Es ergibt sich die Beziehung:

$$L = L_0 + 10 \alpha \text{Log} (v/v_0), \quad (\text{Gleichung 6.2})$$

L_0 = Schallintensität in dB(A) bei 80 km/h

Falls die Schallemission proportional mit der Bewegungsenergie des Fahrzeugs ansteigt, wäre für α ein Wert von 2.0 zu erwarten. Die Ergebnisse der Lärmmessungen bei verschiedenen Belägen zeigen, dass die α -Werte für den energetischen Mittelwert EM zwischen 2.5 und 3.5 liegen (Tabelle 6.1). Dies bedeutet, dass die Lärmpegel überproportional mit der Bewegungsenergie des Fahrzeugs zunehmen.

Der Vergleich zwischen der Vorbeifahrts- und der LMA-Messungen beim Drainasphalt [9] zeigten, dass eine Lärmpegeldifferenz von 3 dB(A) LMA-Wert etwa einer solchen von 2 dB(A) bei der Vorbeifahrtsmessung entspricht. Dies geht aus den folgenden Gleichungen hervor, welche den Zusammenhang zwischen den Vorbeifahrts- und LMA-Pegeln auf verschiedenen Belägen beschreiben [9].

$$L_v = 7.631 + 0.715 L_{LMA} \quad (\text{Gleichung 6.3})$$

$$\Delta L_v = -0.22 + 0.61 \Delta L_{LMA} \quad (\text{Gleichung 6.4})$$

wobei L_v dem Lärmpegel der Vorbeifahrtsmessung und L_{LMA} dem LMA-Wert entsprechen. Somit reduzieren sich die α -Werte für den Vorbeifahrtspegel auf 1.6 bis 2.4 und entsprechen den Erwartungen, dass die Schallintensität mit der Bewegungsenergie des Fahrzeugs zunimmt.

Lärmpegel bei 80 km/h [dB(A)] und die dazu gehörigen α -Werte						
Belag	HM	α -Wert	SM	α -Wert	EM	α -Wert
SMA 11	97.4	3.58	93.8	2.93	96.2	3.40
SMA 16	100.8	3.74	98.5	3.30	99.9	3.58
AB 11	96.8	3.90	92.3	2.68	95.1	3.59
DRA 11	94.8	1.86	96.1	1.66	95.2	1.77
HRA 16	100.5	3.78	99.8	3.02	100.2	3.40
MR 11	98.0	2.20	95.1	1.70	96.9	2.05
OB 6/11	97.5	2.96	96.5	2.29	97.1	2.67
OB 11/16	97.8	3.27	98.9	4.42	98.3	3.35
Beton	99.9	4.09	95.8	2.71	98.7	3.62
TA 10	97.3	3.45	94.5	3.54	96.1	3.47
TA 16	97.6	3.39	93.8	3.17	96.3	3.32

Tabelle 6.1: Lärmpegel und die dazugehörigen α -Werte verschiedener Beläge ($v = 80$ km/h)

Legende. HM= Hinteres Mikrophon
SM= Seitliches Mikrophon
EM= Energetischer Mittelwert

6.2 Einfluss des Belagsalters

6.2.1 Dichte Beläge

Bei den dichten Belägen konnte kein eindeutiger Trend bezüglich Zu- bzw. Abnahme des Lärmpegels im Laufe der Zeit festgestellt werden. Die Pegelwerte werden durch andere Faktoren wie z. B. Temperatur, Ebenheit, Messspur usw. beeinflusst (Abbildungen 6.1 und 6.2).

Wie aus Abbildung 6.1 ersichtlich, besteht bei der Fahrt mit 80 km/h überhaupt keine Korrelation zwischen dem Lärmpegel und dem Alter. Auch bei den Fahrten mit 60 und 50 km/h sind die Korrelationskoeffizienten nicht genügend aussagekräftig. Es besteht somit keine eindeutige Korrelation zwischen dem Rollgeräusch und dem Alter. Dasselbe gilt für die OB 16 Beläge (Abbildung 6.2). Die Messungen wurden jeweils auf ein und demselben

Belag durchgeführt. Die Streuungen von zirka 1 dB(A) sind möglicherweise durch unterschiedliche Belagtemperaturen entstanden.

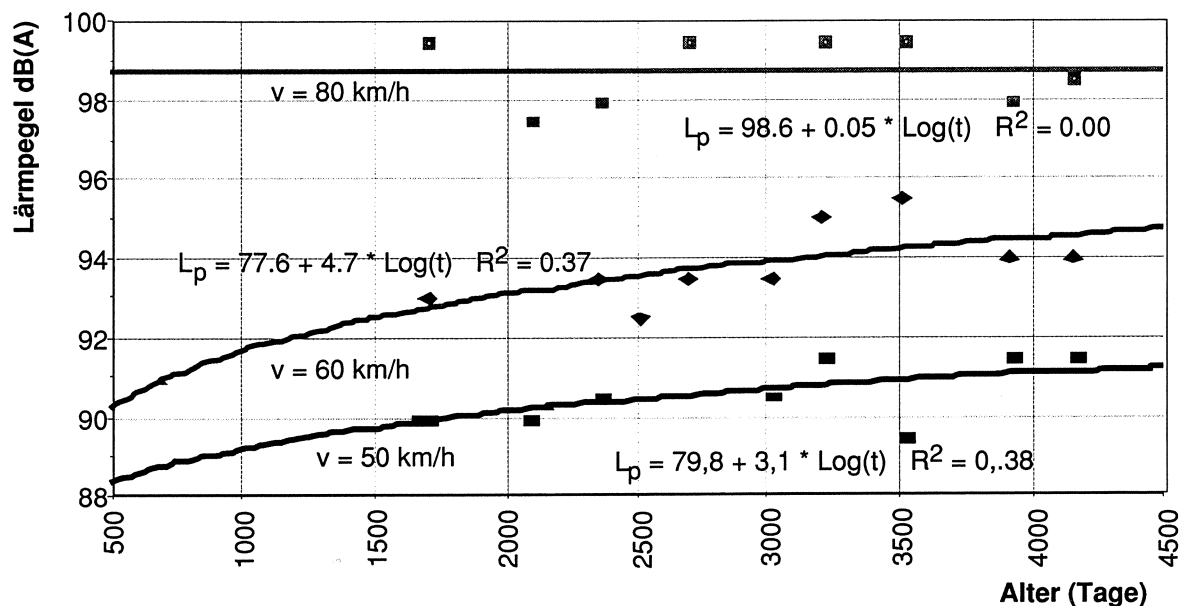


Abbildung 6.1: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für AB 16 (Messungen auf dem gleichen Belag)

- Legende:
- L = Lärmpegel [dB(A)]
 - t = Zeit, Alter des Belags [Tage]
 - R = Korrelationskoeffizient
 - v = Fahrgeschwindigkeit [km/h]

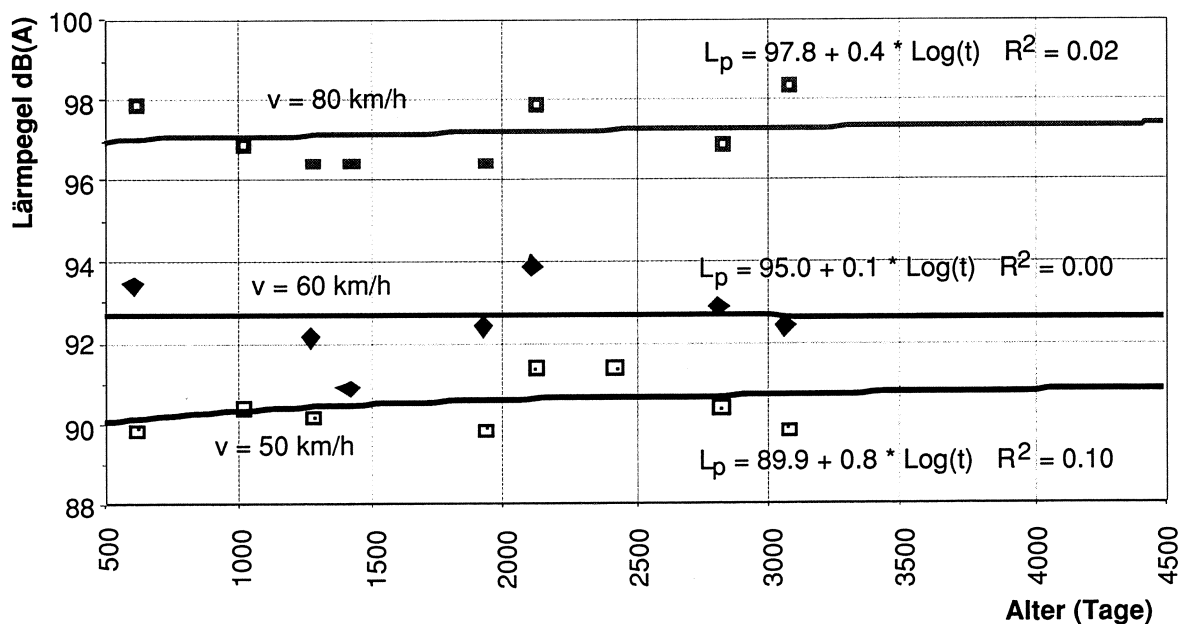


Abbildung 6.2: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für OB 16 (Messungen auf dem gleichen Belag)

- Legende: siehe Abbildung 6.1

Das gleiche Bild kann bei den TA - Belägen festgestellt werden. Im Unterschied zu den vorhergehenden Messungen wurden bei den TA-Belägen an verschiedenen Orten gemessen. Es wurden sehr alte Beläge gemessen, die genau so laut oder so leise sind wie die neueren Beläge. Abbildungen 6.3 und 6.4 zeigen die Lärmpegel für TA 10 Beläge verschiedenen Alters. Wie aus diesen Abbildungen ersichtlich ist, besteht kein direkter Zusammenhang zwischen dem Belagsalter und dem Lärmpegel.

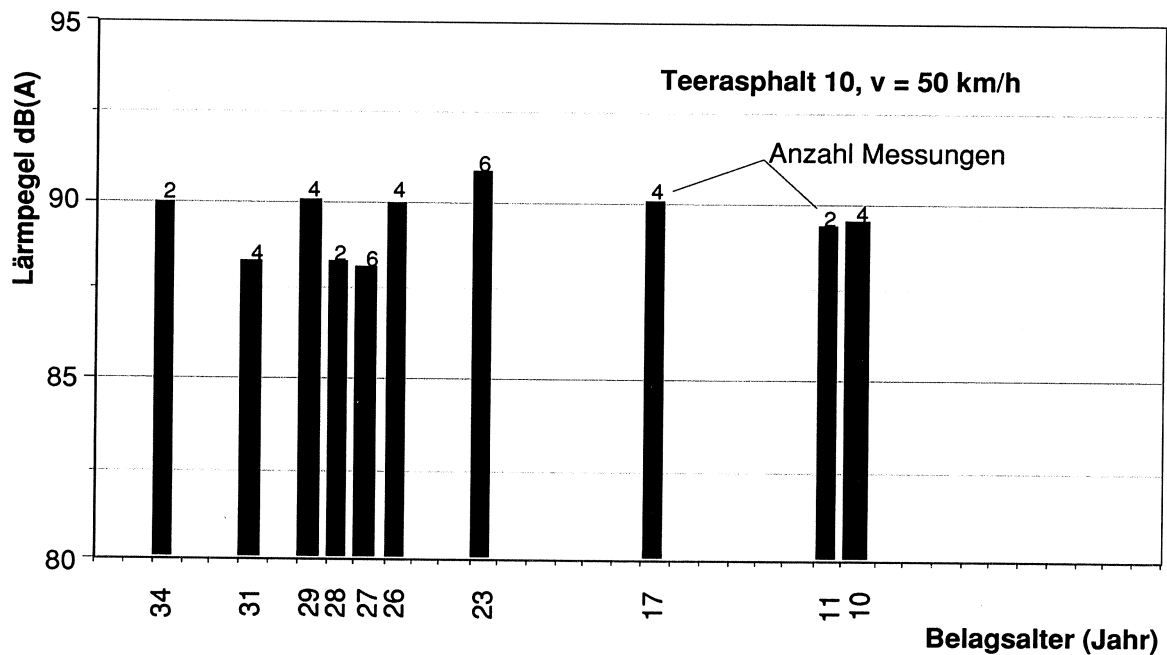


Abbildung 6.3: Resultate der Lärmmessungen TA 10 bei $v = 50$ km/h (Messungen auf verschiedenen Belägen)

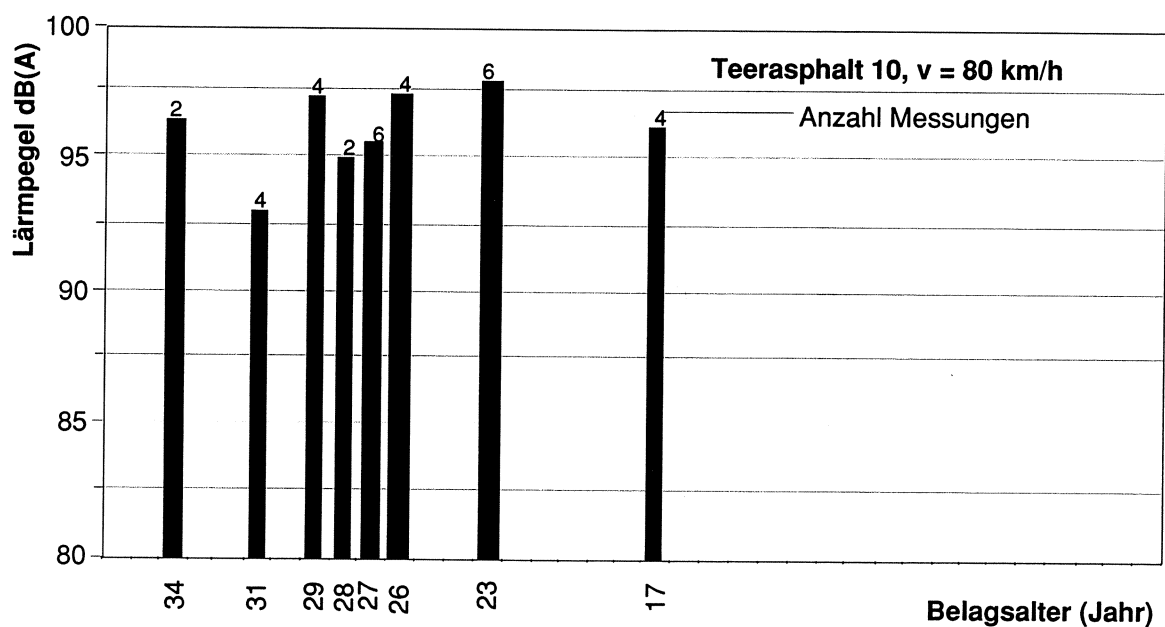


Abbildung 6.4: Resultate der Lärmmessungen TA 10 bei $v = 80$ km/h (Messungen auf verschiedenen Belägen)

Diese Tatsachen deuten daraufhin, dass die Lärmpegel nicht direkt vom Belagsalter abhängen. Die Lärmpegel werden durch andere Faktoren, wie zum Beispiel der Belagtemperatur stärker beeinflusst. Die Textur der Belagsoberfläche änderte bei einigen Belägen ebenfalls (Schwitzen / Spurrinnen / Abrieb). Dies beeinflusste den Lärmpegel aber kaum. Das Belagsalter ist dann mit einer Lärmpegelerhöhung verbunden, wenn die Belagsoberfläche stark beschädigt wird.

6.2.2 Poröse Beläge

Bei den hohlraumreichen Belägen, im Gegensatz zu den dichten Belägen, kann eine mehr oder weniger ständige Zunahme des Pegelwertes in Abhängigkeit des Alters festgestellt werden (Abbildung 6.5).

Für diese Zunahme wird eine logarithmische Abhängigkeit von der Zeit angenommen. Nach einiger Zeit verstopfen die Hohlräume des Drainasphalts, ein Teil der Rollgeräusche kann nicht mehr absorbiert werden. Diese Verstopfung auf Strassen ist durch den Reinigungseffekt bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (Autobahnen) deutlich geringer als auf Strassen mit tieferen Fahrgeschwindigkeiten (Hauptstrassen). Sowohl verstopfte als auch neue Drainbeläge weisen ein zu tieferen Frequenzen hin verschobenes Terzbandspektrum auf (Abschnitt 8).

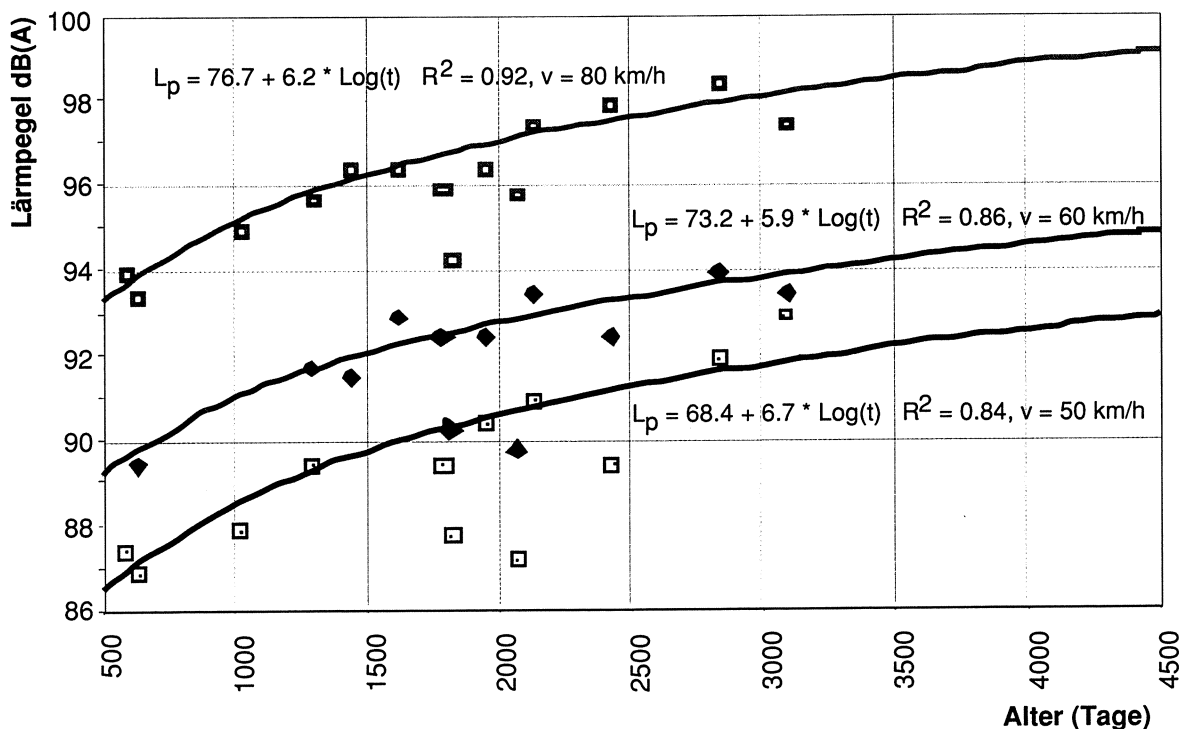


Abbildung 6.5: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für DRA 15

Legende: siehe Abbildung 6.1

6.2.3 Betonbeläge

Normale Betonbeläge zeigen ein ähnliches Verhalten wie die dichten flexiblen Beläge. Es ist nicht möglich, einen bestimmten Trend des Lärmpegels bezüglich des Alters festzustellen (Abbildung 6.6).

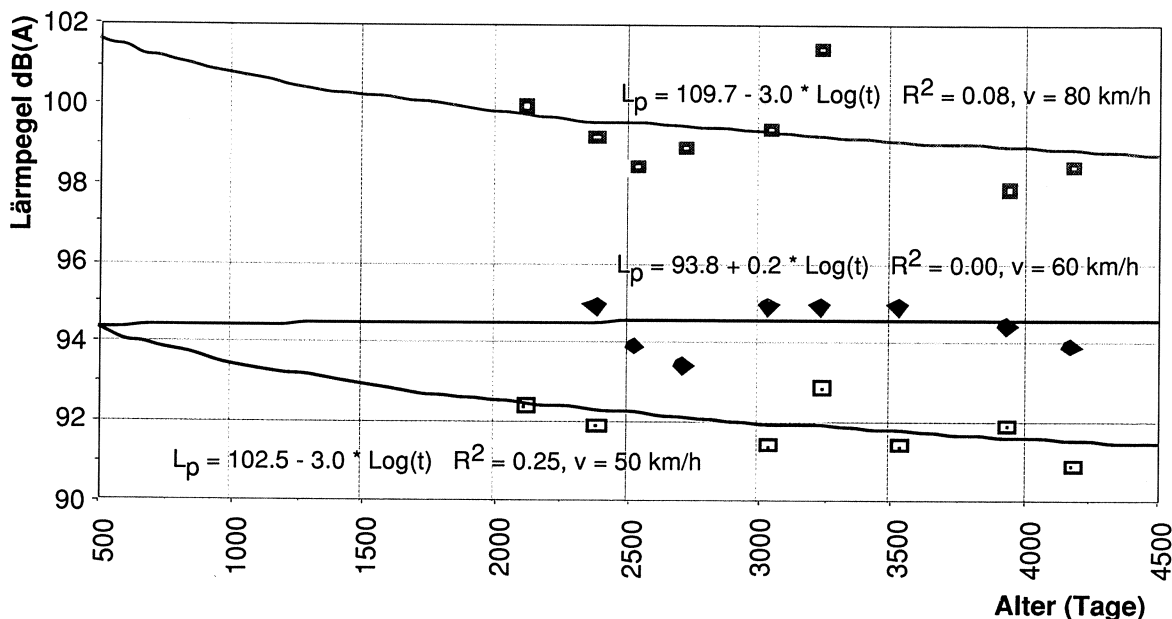


Abbildung 6.6: Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters für Betonbelag

Legende: siehe Abbildung 6.1

6.3 Einfluss der Temperatur

Das Verhalten von dichten bituminösen Belägen ist massgebend vom Zustand des bituminösen Bindemittels abhängig. Die Verformbarkeit des bituminösen Bindemittels steigt mit der Zunahme der Temperatur. Dabei wird der bituminöse Belag weicher und deformierbarer.

Das Rollen eines harten Gegenstandes auf einer harten Unterlage erzeugt ein lauterer Geräusch als das Rollen eines weichen Gegenstandes auf einer weichen Unterlage. Daraus folgt, dass mit der Zunahme der Temperatur eine Abnahme des Rollgeräusches zu erwarten ist.

Um den Einfluss der Temperatur auf die Lärmemissionen zu ermitteln, wurden im Winter und im Sommer 1998 auf einer Teststrecke zwischen Dielsdorf und Kreisel Niederglatt im Kanton Zürich 13 Messfahrten mit 50, 60 und 80 km/h durchgeführt. Die Belagstemperaturen lagen zwischen 0 und 52 °C. Sieben verschiedene Belagstypen wurden auf dieser Strecke im Jahre 1985 eingebaut. Einige Streckenabschnitte mit gleichem Belag

wurden weiter in Kurven- und Geradenabschnitte unterteilt. Die Pegeldifferenzen zwischen seitlichen und hinteren Mikrofonen in Kurven werden in Abschnitt 7.7 (Beeinflussung des Lärmpegels in Kurven) erörtert. Desweiteren wurden auf sieben weiteren Strecken im Thurgau, Aargau und im Knonauer Amt (recht neue Beläge) weitere Lärmmessungen bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt.

Der LMA-Wert gemäss Tabelle 5.3 wurde wie bei den vorhergehenden Resultaten nicht berücksichtigt, sondern vom durchschnittlichen dB(A)-Pegel beider Mikrophone ausgegangen. Die Berücksichtigung des LMA-Wertes würde zu nicht sinnvollen Resultaten führen. Bei einigen Belägen mit grosser Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon würde aufgrund des abnehmenden Pegels des seitlichen Mikrophons bei zunehmender Temperatur der LMA-Grenzwert unterschritten und es müsste plötzlich nur noch der viel höhere Pegel des hinteren Mikrophons berücksichtigt werden. Der LMA-Wert in Abhängigkeit der Temperatur wäre eine unstetige Funktion mit einer Unstetigkeitsstelle bei irgendeiner Temperatur was physikalisch nicht sehr plausibel wäre.

In Dielsdorf wurde bei jeder Messfahrt für alle Beläge die gleiche Referenztemperatur angenommen, da die Temperatur während der Fahrt nicht immer gemessen werden konnte. Die Temperatur wurde jeweils beim Wenden des Messfahrzeuges gemessen. Die Temperaturen weichen auf den Strecken mit Sonnenbestrahlung nicht mehr als 3 °C von den Referenztemperaturen ab. Auf schattigen Streckenabschnitten entspricht die Belagstemperatur etwa der Lufttemperatur. Besonders ist auf den schattigen Streckenabschnitt DRA 15 hinzuweisen. Die Belagstemperaturen stiegen dort auch an heissen Sommertagen nicht über 30° C.

Bei den sieben Strecken im Thurgau, Aargau und Zürich wurden die Belagstemperaturen für jeden Belag vor und nach der Messfahrt gemessen. Bei diesen Messungen wurden die Fahrten in einer Richtung mit "Richtung 1" und in der entgegengesetzten Richtung mit "Richtung 2" bezeichnet.

Mit den maximal 13 Messresultaten pro Streckenabschnitt und Geschwindigkeit auf der Strecke zwischen Dielsdorf und Kreisel Niederglatt (Abbildungen 6.7 und 6.8) bzw. 3 Messresultaten für die anderen Strecken (Abbildungen 6.9 und 6.10) wurde hernach eine Regressionsanalyse durchgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Lärmemission gemäss Gleichung 6.7 linear von der Belagstemperatur abhängt. Die einzelnen Werte streuen etwa um 0.4 bis 0.8 dB(A) um die Regressionsgerade. Als grobe Abschätzung kann für die Genauigkeit des ermittelten a-Wertes ein Wert von 0.01 dB(A)/°C bei den Strecken mit 13 Messungen und ein Wert von 0.02 dB(A)/°C bei derjenigen mit 3 Messungen angenommen werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass, weil mit der Zunahme der Temperatur die Lärmpegel abnehmen, die a-Koeffizienten negativ sind.

$$P = P(0^\circ\text{C}) + a \cdot T \quad (\text{Gleichung 6.5})$$

- P = Lärmpegel bei einer bestimmten Temperatur in dB(A)
 $P(0^\circ)$ = Lärmpegel bei 0°C in dB(A)
 a = Temperaturkoeffizient in dB(A)/ $^\circ\text{C}$
 T = Referenztemperatur an der Sonne

Es zeigte sich eine deutliche, aber zum Teil recht unterschiedliche Abhängigkeit der Lärmpegelwerte von der Temperatur. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass wegen der Alterung des bituminösen Bindemittels im Laufe der Zeit, die Abhängigkeiten der Pegelwerte von der Temperatur abnehmen. Dies bedeutet, dass bei einem neuen Belag der Temperaturkoeffizient a (siehe Abbildungen 6.7 bis 6.10) grösser sein kann als beim gleichen Belag nach einigen Jahren. Somit wird zum Beispiel für den alten AB10 (Strecke Dielsdorf-Kreisel Niederglatt) ein $a \approx 0.02$ [dB(A)/ $^\circ\text{C}$] gemessen, während der a -Wert für den AB11 (neuerer Belag) bei etwa 0.06 [dB(A)/ $^\circ\text{C}$] liegt.

Die Drainbeläge sind aufgrund ihres höheren Anteils an bituminösem Bindemittel im Vergleich zu herkömmlichen AB-Belägen und auch wegen des grösseren Hohlraumgehaltes verformbarer als die dichten Beläge. Demzufolge sind zwischen Sommer und Winter für die Drainbeläge Pegelunterschiede von bis zu 4 dB(A) zu erwarten. Für die Asphaltbeton- sowie die Splittmastixbeläge können Pegelunterschiede bis zu 3.5 dB(A) vorkommen. Bei den anderen Belägen ist mit einer Differenz von ca. 1.5 bis 2 dB(A) zu rechnen.

Bei den Messfahrten in zwei Richtungen wurde festgestellt, dass bei einigen Strecken die Pegelwerte in Hin- und Rückrichtung sich voneinander unterscheiden. Diese unterschiedlichen Pegelwerte sind sehr wahrscheinlich eine Folge der verschiedenen Texturen in den verschiedenen Richtungen. Auch die Pegelunterschiede bei den Fahrten mit verschiedenen Geschwindigkeiten können nicht auf den Einfluss der Temperatur zurückgeführt werden. Es wird vermutet, dass auch hier die Textur des Belags eine wichtige Rolle spielt. So kann zum Beispiel der positive a -Koeffizient bei OB 6/11-3 (Abbildungen 6.9 und 6.10) nicht als Folge der Temperatur betrachtet werden.

Beim Streckenabschnitt mit dem DRA 15 im Schatten mit Belagtemperaturen bis maximal 30°C wurde mit der Referenztemperatur von 52°C gerechnet. Beim folgenden DRA 10 an der Sonne (Belagstemperatur bis 52°C) sind die a -Koeffizienten etwa gleich gross. Dies bedeutet, dass nicht nur die Belagstemperatur eine Rolle spielt, sondern auch die Pnueutemperatur von grosser Bedeutung ist. Daraus folgt, dass auch in kurzen schattigen Abschnitten die Belagstemperatur an der Sonne massgebend ist. Messungen der Reifentemperatur haben ergeben, dass diese etwa 10 bis 15°C über der Belagstemperatur liegt; bei tieferen Belagtemperaturen beträgt die Differenz sogar etwa 20°C . Erst bei längeren schattigen Abschnitten kühlt sich der Reifen auf die entsprechende Temperatur ab.

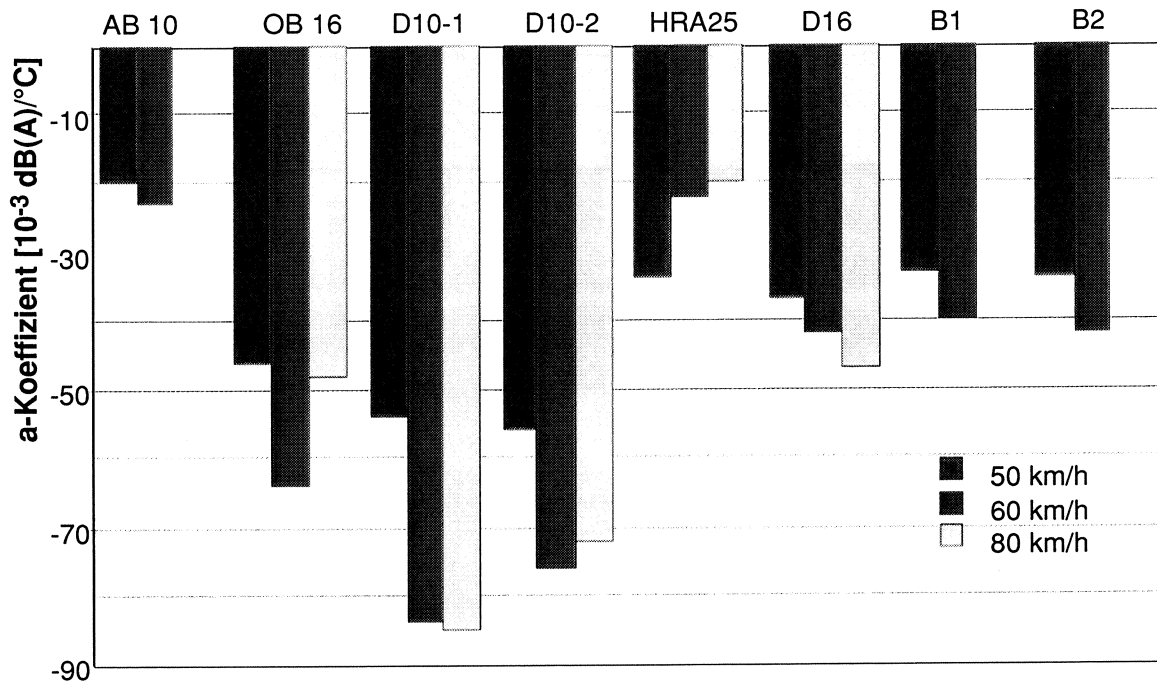


Abbildung 6.7: Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge (Strecke Dielsdorf - Kreisel Niederglatt Richtung Niederglatt)

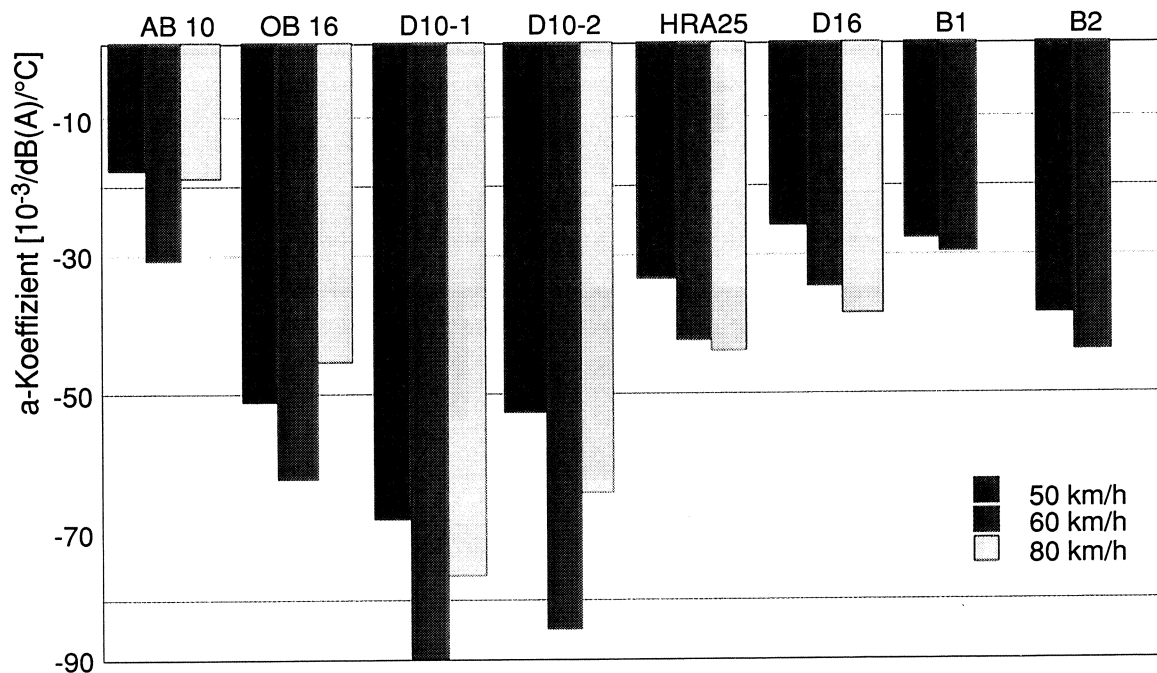


Abbildung 6.8: Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge (Strecke Dielsdorf - Kreisel Niederglatt Richtung Dielsdorf)

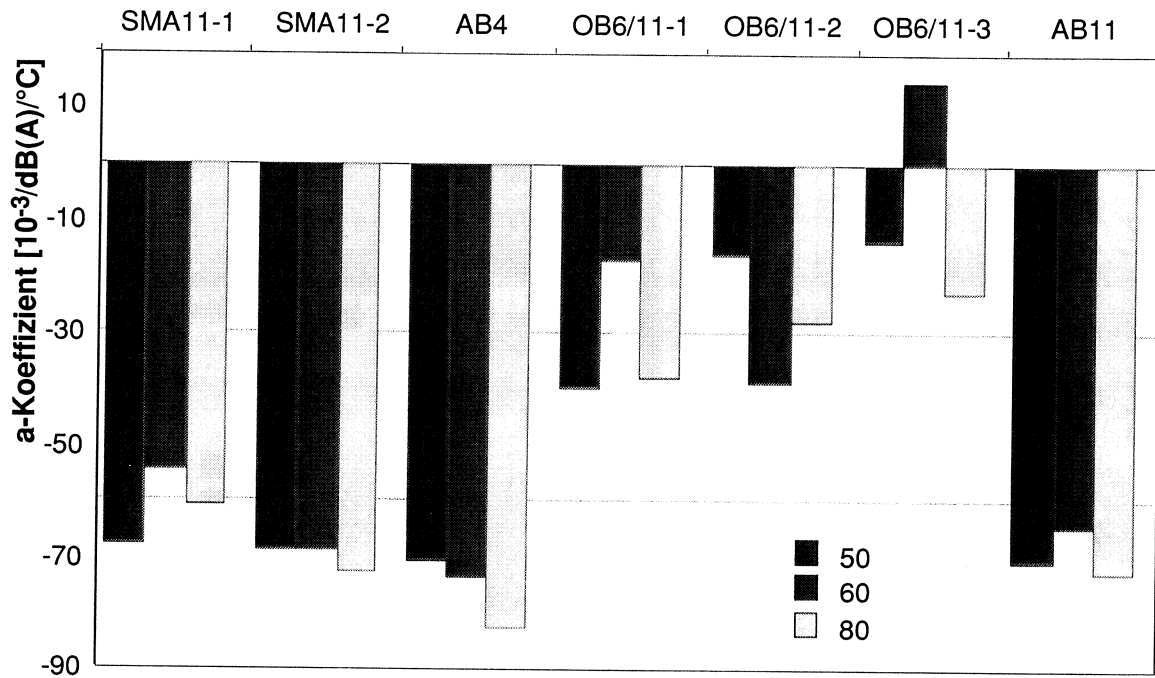


Abbildung 6.9: Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge
(Richtung 1)

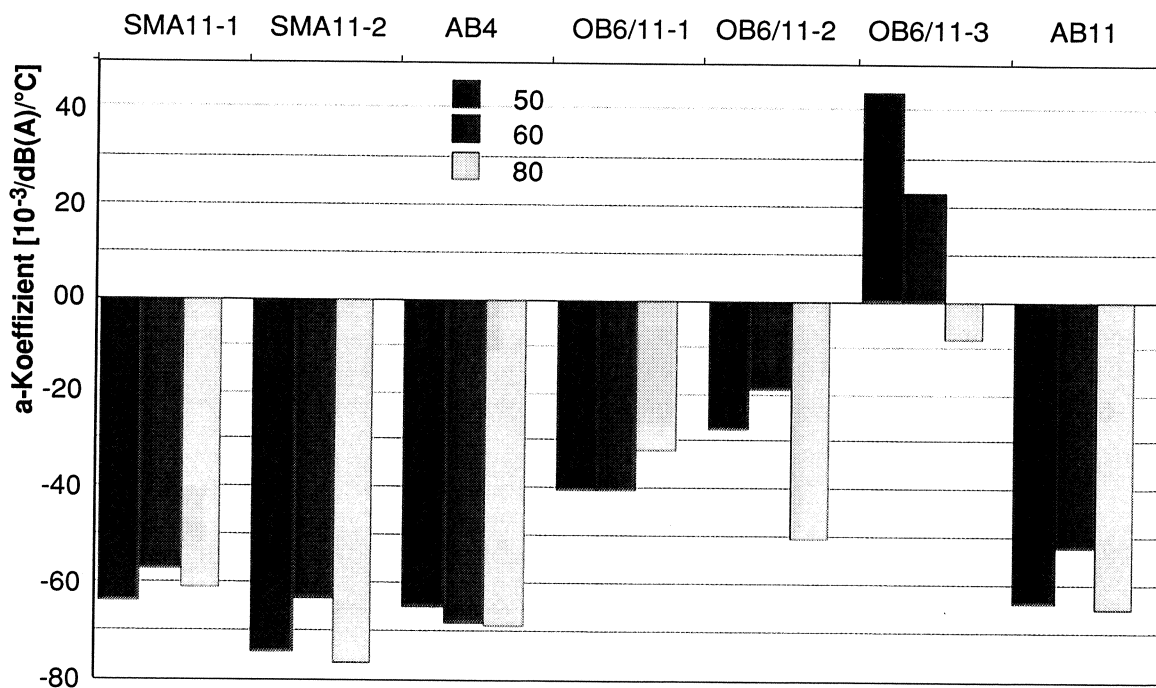


Abbildung 6.10: Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Beläge
(Richtung 2)

Aufgrund der vorliegenden Resultaten werden folgende Temperaturkoeffizienten für die verschiedenen Belagstypen vorgeschlagen (Tabelle 6.2).

Belagstyp	Temperaturkoeffizient
AB10-neu	0.06
AB10-alt	0.03
SMA-neu	0.08
HRA-alt	0.02
Drain10-alt	0.08
Drain16-alt	0.06
OB16-alt	0.05
OB3/6-neu	0.03
Beton-alt	0.03

Tabelle 6.2: Temperaturkoeffizienten für die verschiedenen Belagstypen

6.4 Einfluss der Ebenheit

6.4.1 Allgemein

Die Ebenheit einer Strasse ist eine Funktion der Zeit, der Einbaugenauigkeit und der Tragfähigkeit des Untergrundes usw.

Zur Beurteilung der Ebenheitseigenschaften der Fahrbahn legt die Norm SN 640 521 b [13] in Abhängigkeit des Strassentyps und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit die Abnahmewerte des Winkels W und des sw -Wertes fest (Tabelle 6.3).

Strassentyp	Abnahmewert W [‰]	Abnahmewert sw [‰]
Hochleistungsstrassen Flugpisten	10	1.6
Hauptverkehrsstrassen Verbindungsstrassen Sammelstrassen Erschliessungsstrassen	14	2.2

Tabelle 6.3: Abnahmewerte der Ebenheit in Abhängigkeit der Strassentypen

Legende: W = Winkelwert als Einzelwert [‰]
 sw = Standardabweichung der W -Werte über eine Messlänge von 250 m [‰]

Die Ebenheit der Fahrbahn nimmt im Laufe der Zeit in Abhängigkeit der oben erwähnten Einflussfaktoren ab. Mit der Abnahme der Ebenheit und mit grösser werdenden sw-Werten [13] ist eine Zunahme der Lärmpegel zu erwarten.

6.4.2 Resultate der Messungen

Zur Beurteilung einer möglichen Korrelation zwischen den Lärmemissionen und der Ebenheit der Fahrbahn wurden bei 19 ausgewählten Strecken die Ebenheiten und die Lärmpegel gemessen. Die Resultate dieser Messungen sind in Abbildung 6.11 und Tabelle 6.4 dargestellt. Zu beachten ist, dass es sich bei den oben erwähnten Strecken um Kantonsstrassen handelt, bei welchen ein sw-Abnahmewert von 2.2 ‰ massgebend ist. Die Lärmmessungen wurden bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Um einen besseren Vergleich zwischen den verschiedenen Pegelwerten zu ermöglichen, wurden mit Hilfe der Koeffizienten in Abschnitt 6.3 (Tabelle 6.2) die Pegelwerte auf eine Referenzbelagstemperatur von 20 °C korrigiert.

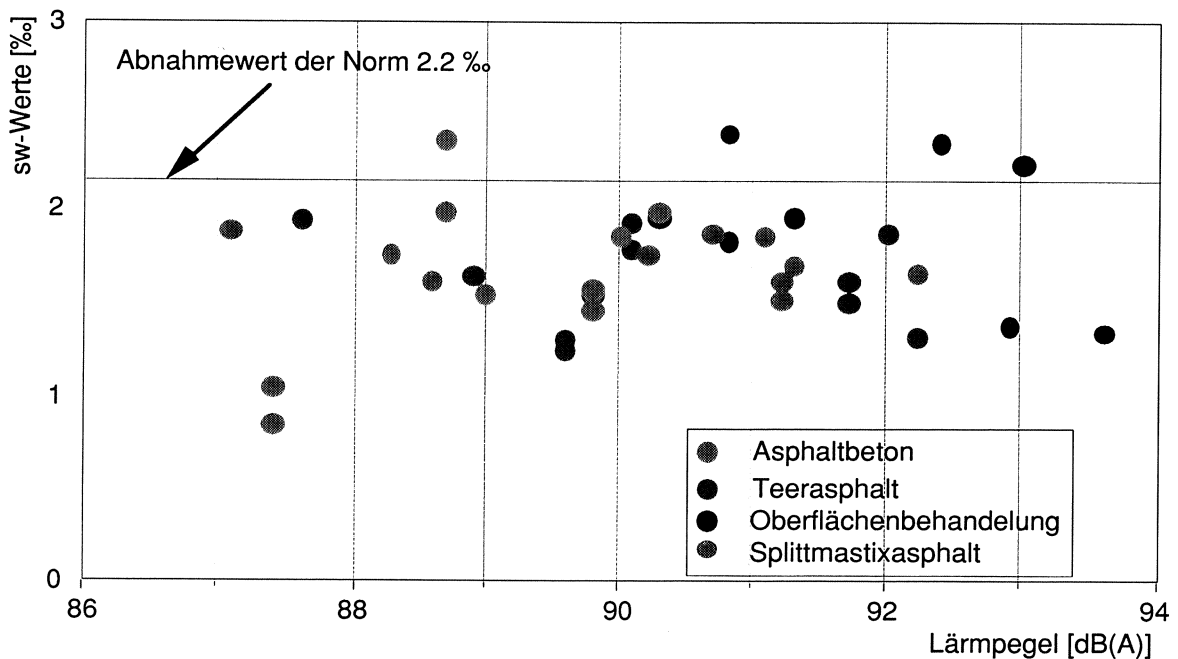


Abbildung 6.11: Resultate der Ebenheits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken

Nr.	Belagstyp	R	Baujahr	$L_{p50}(T)$	T [°C]	$L_{p50}(20^\circ)$	sw-Wert
ZH 35	OB 3/6	1	1996	90.0	46	90.8	1.828
		2		89.5		90.3	1.952
ZH 37	OB 6/11	1	1997	92.8	46	93.0	2.234
		2		91.6		92.4	2.344
ZH 26/2	OB 6/11	1	1992	90.5	47	91.3	1.956
		2		90.0		90.8	2.412
ZH 28	OB 6/11	1	1992	92.1	48	92.9	1.382
		2		92.8		93.6	1.331
ZH 26/1	TA 10	1	1974	89.3	48	90.1	1.931
		2		89.3		90.1	1.785
ZH 24	TA 10	1	1966	86.8	48	87.6	1.939
		2		88.1		88.9	1.657
ZH 32	TA 16	1	1980	91.5	42	92.2	1.315
		2		91.0		91.7	1.511
AG 2	TA 16	1	1988	89.1	36	89.6	1.300
		2		89.1		89.6	1.231
AG 5	TA 9	1	1962	91.1	39	91.7	1.619
		2		91.4		92.0	1.867
AG 6	SMA 6	1	1997	86.8	43	88.6	1.623
		2		85.3		87.1	1.892
AG 17	SMA 8	1	1995	87.4	50	89.8	1.550
		2		87.8		90.2	1.767
AG 11	SMA 11	1	1997	88.4	49	90.7	1.878
		2		88.8		91.1	1.852
TG 11	SMA 11	1	1995	89.1	48	91.3	1.697
		2		90.0		92.2	1.659
TG 12	SMA 11	1	1997	89.8	38	91.2	1.521
		2		89.8		91.2	1.609
TG 17	AB 4	1	1969	88.5	37	89.0	1.550
		2		87.8		88.3	1.767
TG 9	AB 10	1	1988	88.1	48	89.8	1.463
		2		88.1		89.8	1.577
TG 15	AB 11	1	1994	86.8	30	87.4	1.041
		2		86.8		87.4	0.841
ZH 8	AB 11	1	1992	87.4	42	88.7	2.376
		2		87.4		88.7	1.975
ZH 12	AB 16	1	1981	88.9	43	90.3	1.985
		2		88.6		90.0	1.853

Tabelle 6.4: Resultate der Ebenheits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken

Legende:	Nr.	= Streckennummer	sw	= Standardabweichung der W-Werte über eine Messlänge von 250 m [‰]
	ZH	= Zürich	Lp50	= Lärmpegel bei 50 km/h
	AG	= Aargau	T	= Belagstemperatur bei Lärmmessung
	TG	= Thurgau	Lp50(20)	= Geschätzte Lärmpegel bei 50 km/h und 20 °C (siehe Abschnitt 6.3)
	OB	= Oberflächenbehandlung	R	= Messungen Hin (1) und Zurück (2)
	TA	= Teerasphalt		
	SMA	= Splittmastixasphalt		
AB	= Asphaltbeton			

6.4.3 Beurteilung der Messresultate

Die Resultate in Abbildung 6.11 und Tabelle 6.4 zeigen, dass aus 38 Messungen (19 Strecken in 2 Richtungen) nur bei 4 Messungen die Ebenheitswerte den Abnahmewert der Norm überschreiten. Diese 4 Messungen beziehen sich auf die Strecken ZH 37 in beiden Richtungen, ZH 26/2 in Richtung 2 und ZH 8 in Richtung 1.

Der Mittelwert der sw-Werte der OB-Beläge liegt bei 1.930 ‰. Die AB-Beläge besitzen einen sw-Wert von 1.643 ‰. Der mittlere sw-Wert der SMA-Beläge liegt etwas höher (1.705 ‰) und derjenige von TA-Beläge ist etwas tiefer (1.616 ‰).

Die OB-Beläge sind mit einem durchschnittlichen Lärmpegel von 91.9 dB(A) die lautesten aller Belagstypen der in Tabelle 6.4 aufgeführten Beläge. Die AB-Beläge besitzen im Durchschnitt den tiefsten Pegelwert von 88.9 dB(A). Die TA- und die SMA-Beläge sind mit 90.4 respektive 90.3 dB(A) im Durchschnitt etwa gleich laut.

Mit den vorliegenden Resultaten kann keine eindeutige Aussage über den Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel und der Ebenheit gemacht werden.

Die OB-Beläge sind im Durchschnitt weniger eben als die normalen dichten Beläge, und gleichzeitig sind sie auch lauter als andere Belagstypen. Es wird vermutet, dass die Beläge gerade nach dem Einbau aufgrund der vorhandenen Textur und Oberflächenbeschaffenheit eine bestimmte Ebenheit und einen bestimmten Lärmpegel aufweisen. Im Laufe der Zeit nimmt die Ebenheit als Folge der mechanischen und klimatischen Beanspruchungen ab.

Nicht untersucht wurde der Lärmpegel bei sw-Werten, die deutlich über dem Abnahmewert der Norm liegt; möglicherweise steigt der Pegel in einem solchen Fall etwas an. Es ist aber zu beachten, dass auch auf sehr alten Belägen mit Rissen und Spurrinen und einem Belag mit welliger Oberfläche die Lärmemissionen nicht signifikant von den jüngeren Belägen abweichen. Schon bei der Untersuchung der Lärmpegel in Abhängigkeit des Alters (Abschnitt 6.2) hat sich gezeigt, dass der Lärmpegel sich kaum ändert.

Zur eingehenderen Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Ebenheit und dem Lärmpegel sollte deshalb die Entwicklung der Ebenheit und des Lärmpegels im Laufe der Zeit bei ein und demselben Belag bis zum Ende seiner Gebrauchsdauer beobachtet werden. Solche langen Messserien sind aber nicht vorhanden.

6.5 Einfluss der Griffigkeit

6.5.1 Allgemein

Beim Rollen des Reifens über die Fahrbahn muss ein gewisser Widerstand, die Rollreibung überwunden werden. Diese Energie wird umgewandelt einerseits in Wärme (die Reifentemperatur ist um zirka 15 °C höher als diejenige der Fahrbahn) und andererseits in Schwingungen des Reifens und anderer Teile des Fahrzeugs, die dann als Körperschall abgestrahlt werden. Es ist zu vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen der Rollreibung und der Lärmemission bestehen könnte. Die Rollreibung ist jedoch nicht direkt messbar; deshalb wurden Zusammenhänge zwischen der Griffigkeit und der Lärmemission untersucht.

6.5.2 Griffigkeit

Die Griffigkeit einer Strasse ist eine Funktion der Textur der Fahrbahnoberfläche. Diese wird in Mikro- und Makrotextur unterteilt. Ob die relevante Textur für die Beurteilung der Griffigkeit auch zur Beurteilung der Lärmemissionen sinnvoll ist, wird im Abschnitt 6.6 (Einfluss der Textur) näher untersucht. Hier ist vor allem ein direkter Zusammenhang zwischen dem Pegelwert und der Griffigkeit von Bedeutung.

Für die Messungen mit dem Skiddometer und mit dem blockiertem Messrad legt die Norm [14] in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im allgemeinen noch annehmbare Mindestwerte der Griffigkeit fest. Diese Werte gelten als Abnahmewerte und als Orientierungshilfe für den Strassenunterhalt und sind in Tabelle 6.5 dargestellt.

Höchstzulässige Geschwindigkeit V_{zul} [km/h]	Messgeschwindigkeit [km/h]	μ -Werte blockiertes Messrad
$V_{zul} \leq 60$	40	0.48
$60 < V_{zul} \leq 100$	60	0.39
$100 < V_{zul}$	80	0.32

Tabelle 6.5: Abnahmewerte der Griffigkeit in Abhängigkeit der Höchstgeschwindigkeit

Mit Hilfe des Beurteilungsschemas IVT [16] werden die Griffigkeitswerte in sechs Bereiche unterteilt, "sehr schlecht", "schlecht", "ausreichend", "befriedigend", "gut" und "sehr gut". Alle diese Bereiche ausser "sehr schlecht" liegen über den Abnahmewerten der Norm.

Das Beurteilungsschema IVT beruht auf der Häufigkeitsverteilung der μ -Werte, die mit dem Skiddometer des IVT bei Griffigkeitsmessungen auf verschiedenen Belagsarten auf etwa 280 National- und Kanton-/Staatstrassen in der Schweiz erfasst wurden [16].

6.5.3 Resultate der Messungen

Zur Beurteilung einer möglichen Korrelation zwischen den Lärmemissionen und der Griffigkeit eines Belages wurde die Entwicklung der Griffigkeit sowie des Lärmpegels bei einer Strecke mit 7 verschiedenen Belägen von 1986 bis 1991 beobachtet. Die Resultate sind in Tabelle 6.6 zusammengefasst.

Nr.	Typ	V _M	R	Griffigkeit			Lärmpegel 1986 bei			Lärmpegel 1991 bei		
				1986	1987	1991	50 kmh	60kmh	80 kmh	50 kmh	60kmh	80 kmh
1	AB 16-1	60	1	0.52	0.62	0.61	86.8	90.4	93.2	89.3	91.9	97.3
			2	0.50	0.53	0.55				88.8	91.6	97.2
2	Drain 10	60	1	0.45	0.61	0.53	87.0	89.0	92.5	92.3	95.1	99.8
			2	0.47	0.49	0.54				91.5	94.5	99.5
3	BM	60	1	0.45	0.61	0.63	89.3	91.9	96.1	90.6	93.3	98.4
			2	0.42	0.57	0.59				91.1	93.9	98.6
4	Drain 16	60	1	0.49	0.58	0.58	91.0	92.0	94.0	91.8	94.8	99.3
			2	0.50	0.53	0.57				92.5	95.3	100.3
5	RS	60	1	0.48	0.54	0.62	87.3	90.1	94.4	90.4	92.6	98.2
			2	0.49	0.54	0.60				90.9	93.9	98.9
6	AB 16-2	60	1	0.50	0.51	0.58	87.8	90.1	94.1	89.3	91.9	97.1
			2	0.45	0.49	0.64				89.6	92.4	97.1
7	AB 16-3	60	1	0.51	0.55	0.57	88.6	91.8	95.2	88.9	91.8	96.9
			2	0.46	0.52	0.62				88.6	92.3	95.5

Tabelle 6.6: Entwicklung der Griffigkeit und der Rollgeräusche von 1986 bis 1991

Legende:	Nr.	=	Streckennummer
	Typ	=	Belagstyp
	BM	=	Betamast
	RS	=	Refi-Stahlfaser
	μ	=	Reibungsbeiwert
	VM	=	Messgeschwindigkeit der Griffigkeit
	AB 16-1	=	Asphaltbetonbelag mit Trinidad mit Grösstkorn 16 mm
	AB 16-2	=	Asphaltbetonbelag normal mit Grösstkorn 16 mm
	AB 16-3	=	Asphaltbetonbelag mit Ulmix mit Grösstkorn 16 mm
	Drain 10	=	Drainasphalt mit Grösstkorn 10 mm
	Drain 16	=	Drainasphalt mit Grösstkorn 16 mm

Nr.	Belagstyp	V _M	R	Baujahr	L _{p50} (T)	T [°C]	L _{p50} (20)	μ-Wert	Beurteilung
ZH 35	OB 3/6	60	1	1996	90.0	46	90.8	0.544	befriedigend
			2		89.5		90.3	0.535	befriedigend
ZH 37	OB 6/11	60	1	1997	92.8	46	93.0	0.520	befriedigend
			2		91.6		92.4	0.505	befriedigend
ZH 26/2	OB 6/11	60	1	1992	90.5	47	91.3	0.572	gut
			2		90.0		90.8	0.611	gut
ZH 28	OB 6/11	60	1	1992	92.1	48	92.9	0.593	gut
			2		92.8		93.6	0.602	gut
ZH 26/1	TA 10	60	1	1974	89.3	48	90.1	0.610	gut
			2		89.3		90.1	0.593	gut
ZH 24	TA 10	60	1	1966	86.8	48	87.6	0.334	sehr schlecht
			2		88.1		88.9	0.339	sehr schlecht
ZH 32	TA 16	60	1	1980	91.5	42	92.2	0.466	ausreichend
			2		91.0		91.7	0.479	ausreichend
AG 2	TA 16	60	1	1988	89.1	36	89.6	0.519	befriedigend
			2		89.1		89.6	0.511	befriedigend
AG 5	TA 9	60	1	1962	91.1	39	91.7	0.470	ausreichend
			2		91.4		92.0	0.477	ausreichend
AG 6	SMA 6	40	1	1997	86.8	43	88.6	0.590	befriedigend
			2		85.3		87.1	0.552	ausreichend
AG 17	SMA 8	40	1	1995	87.4	50	89.8	0.461	sehr schlecht
			2		87.8		90.2	0.454	sehr schlecht
AG 11	SMA 11	60	1	1997	88.4	49	90.7	0.438	ausreichend
			2		88.8		91.1	0.412	schlecht
TG 11	SMA 11	60	1	1995	89.1	48	91.3	0.457	ausreichend
			2		90.0		92.2	0.451	ausreichend
TG 12	SMA 11	60	1	1997	89.8	38	91.2	0.427	schlecht
			2		89.8		91.2	0.433	schlecht
TG 17	AB 4	60	1	1969	88.5	37	89.0	0.592	gut
			2		87.8		88.3	0.645	sehr gut
TG 9	AB 10	60	1	1988	88.1	48	89.8	0.577	gut
			2		88.1		89.8	0.568	gut
TG 15	AB 11	60	1	1994	86.8	30	87.4	0.525	befriedigend
			2		86.8		87.4	0.491	befriedigend
ZH 8	AB 11	40	1	1992	87.4	42	88.7	0.535	ausreichend
			2		87.4		88.7	0.590	befriedigend
ZH 12	AB 16	40	1	1981	88.9	43	90.3	0.600	befriedigend
			2		88.6		90.0	0.594	befriedigend

Tabelle 6.7: Resultate der Griffigkeits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken

Legende:	Nr.	= Streckennummer	VM	= Griffigkeitsmessgeschwindigkeit
	ZH	= Zürich	μ	= Reibungsbeiwert
	AG	= Aargau	Lp50	= Lärmpegel bei 50 km/h
	TG	= Thurgau	T	= Belagstemperatur bei Lärmmessung
	OB	= Oberflächenbehandlung	Lp50(20)	= Geschätzte Lärmpegel bei 50 km/h und 20 °C (siehe Abschnitt ??)
	TA	= Teerasphalt	R	= Messungen Hin (1) und Zurück (2)
	SMA	= Splittmastixasphalt		
	AB	= Asphaltbeton		

Desweiteren wurden bei 19 ausgewählten Strecken mit verschiedenen Belägen die Griffigkeiten und die Lärmpegel gemessen. Die Resultate dieser Messungen können der Tabelle 6.7 und der Abbildung 6.12 entnommen werden.

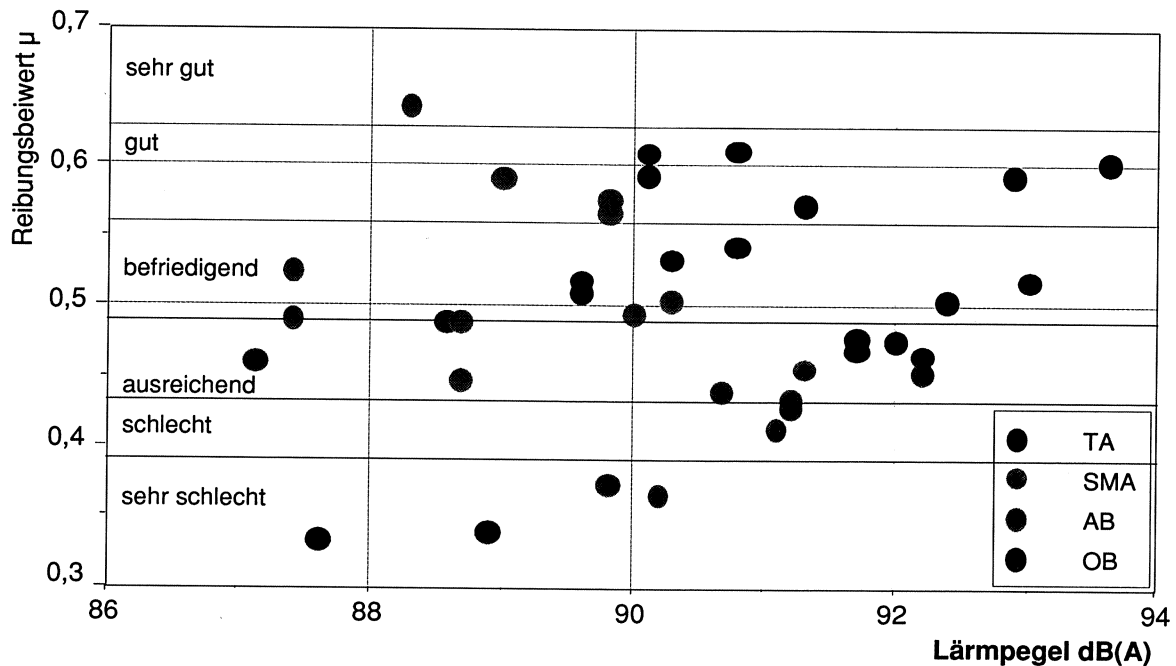


Abbildung 6.12: Resultate der Griffigkeits- und Lärmmessungen ausgewählter Strecken

6.5.4 Beurteilung der Messresultate

Die Resultate der Tabelle 6.7 zeigen, dass keine direkte Korrelation zwischen der Griffigkeit und dem Lärmpegel feststellbar ist.

Obwohl alle OB- und AB-Beläge eine "befriedigend" bis "gute" Griffigkeit aufwiesen (Ausnahme ZH 8, Richtung 1), sind die Lärmpegel für den OB-Belag um durchschnittliche 3 dB(A) höher. Die durchschnittlichen Lärmpegel der AB-Beläge von 88.9 dB(A) sind 1.4 dB(A) unter dem Pegel der SMA-Beläge; sie weisen aber eine viel bessere Griffigkeit auf als die SMA-Beläge.

Die SMA-Beläge sind bezüglich des Lärmpegels mit den TA-Belägen vergleichbar. Der durchschnittliche Wert des Lärmpegels von TA-Belägen ist mit 90.4 dB(A) praktisch identisch mit demjenigen von SMA-Belägen (90.3 dB(A)). Die Griffigkeit der TA-Beläge ist überall mindestens ausreichend (Ausnahme: Strecke ZH 24). Bei den SMA-Belägen sind die Griffigkeitswerte bestenfalls "ausreichend" (Ausnahme: AG6, Richtung 1), oft aber

schlechte Griffigkeit auf, sind aber nicht unbedingt leiser als andere dichte Beläge. Im Vergleich zu den AB-Belägen sind sie sogar um 1 bis 2 dB(A), vor allem bei höheren Geschwindigkeiten, lauter. Abbildung 6.12 zeigt, dass AB-Beläge die tiefsten Lärmpegel und gleichzeitig die höchsten Griffigkeiten aufweisen.

Auch die Resultate der Tabelle 6.6 deuten nicht daraufhin, dass irgendeine Korrelation zwischen der Griffigkeit und dem Lärmpegel besteht. Die beiden Drainbeläge weisen die höchsten Lärmpegel auf, obwohl ihre Reibungsbeiwerte (μ -Werte) eher tief sind. Die Strecken Nr. 1 und 5 (AB 16-1 und AB 16-2) gehören zu den leisesten untersuchten Belägen; sie weisen eine "gute" bis "sehr gute" Griffigkeit auf.

Tabelle 6.6 zeigt auch, dass bei allen Strecken sowohl die Griffigkeit als auch die Lärmpegel im Laufe der Zeit zunehmen. Die Lärmpegel nehmen in dieser Untersuchung auch auf dem AB 16 um 2 - 3 dB(A) zu, was bei den Untersuchungen auf anderen Strecken im Abschnitt 6.2 «Rollgeräuschemissionen in Abhängigkeit des Alters bei dichten Belägen» nicht festgestellt worden ist.

Es ist bekannt, dass die Griffigkeiten der Fahrbahnen kurz nach dem Einbau klein sind (Anreicherung des Bindemittels an der Oberfläche) und nach einiger Zeit nehmen sie zu (Bindemittelfilm wird durch den Verkehr weggeputzt). Ob die Zunahme des Lärmpegels im Laufe dieser Zeit darauf zurückzuführen ist, ist nicht klar. Sehr wahrscheinlich sind andere Einflussfaktoren wie Ebenheit, polierte Oberfläche, Spurrinnen usw. dafür verantwortlich.

Die Reibungsbeiwerte (μ -Werte) nehmen nach einiger Zeit (nach dem sie ihren Höchstwert erreicht haben) in Folge des Polierens und des Mangels an Makrotextur wiederum ab. Die Lärmemissionen verändern sich aber nicht derart stark. Dies wird auch durch Messungen auf sehr alten, über 30 jährigen Belägen bestätigt.

Zusammengefasst besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Griffigkeit und den Lärmpegeln. Die verschiedenen Beläge weisen aufgrund ihrer Textur und Oberflächenbeschaffenheit verschiedene Lärmemissionen auf; die Reibungsbeiwerte können mit dem Lärmpegel nicht korreliert werden.

6.6 Einfluss der Textur

Die Textur bzw. die Oberflächenbeschaffenheit ist die Primärgröße für mehrere wichtige Gebrauchseigenschaften wie Griffigkeit, akustische und optische Eigenschaften usw. Die verschiedenen Texturbereiche in Abhängigkeit ihrer Wellenlängen sowie ihre Auswirkungen auf die Fahrbahneigenschaften sind in Abbildung 6.13 dargestellt.

Wie aus dieser Abbildung ersichtlich, erstreckt sich der für die Entstehung der Reifen/Fahrbahngeräusche relevante Wellenlängenbereich von ca. 0.5 mm bis maximal 30 mm. Dies betrifft im wesentlichen die Bereiche der Makro- und der Megatextur.

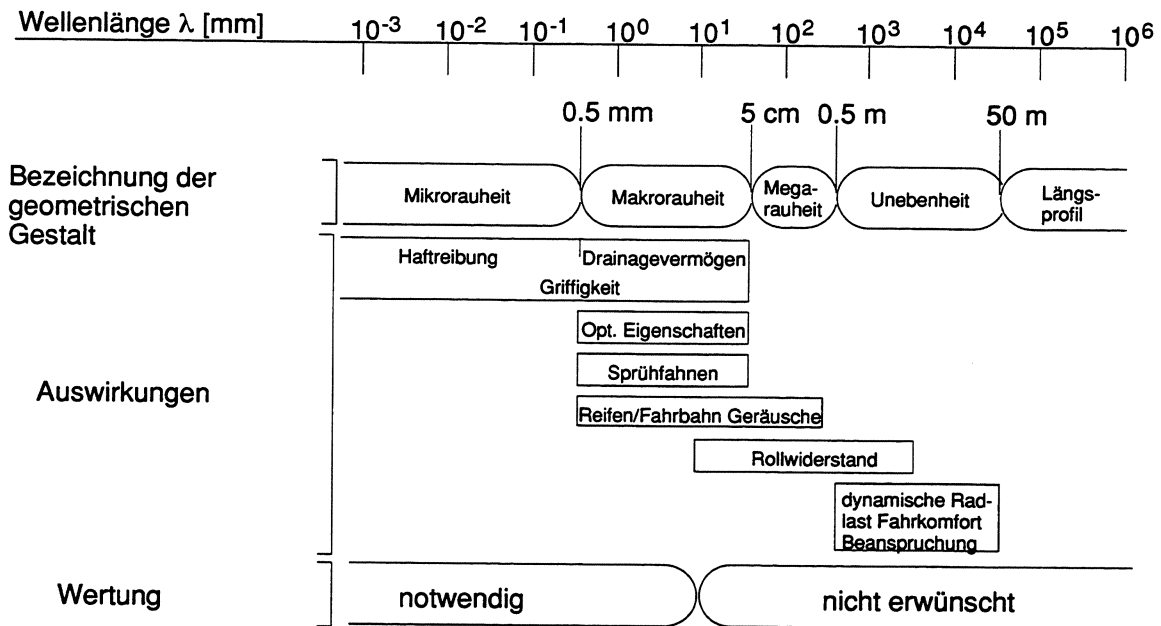


Abbildung 6.13: Wellenlängenspektrum der Fahrbahnoberfläche und Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften [17]

Gemäss [18] werden drei lärmrelevante Texturarten unterschieden:

- **Mikrotextur:**

Diese ist von geringerer Bedeutung und muss nicht besonders berücksichtigt werden. Immerhin ist zu beachten, dass polierte Oberflächen bei Trockenheit gelegentlich grössere "Adhesion-Bonds" besitzen und ein höheres Geräusch bewirken können. Aus diesem Grund sollen im Prinzip polierte Oberflächen vermieden werden. In diesem Zusammenhang werden polierresistente Materialien empfohlen.

- **Makrotextur:**

Die Makrotextur erstreckt sich über einen Wellenlängenbereich von ca. 0.5 mm bis zu 50 mm. Die Makrotextur sollte hohe Amplituden im Wellenlängenbereich von 0.5 - 10 mm und tiefe Amplituden im Wellenlängenbereich von 10 - 50 mm aufweisen.

In dieser Aussage sind Amplitude und Wellenlänge wie folgt definiert (Abbildung 6.14):

Ausgehend von einer mittleren Ebene der Oberfläche:

Amplitude = Vertikale Abweichung von der mittleren Ebene und

Wellenlänge = Horizontale Distanz zwischen 2 Amplituden

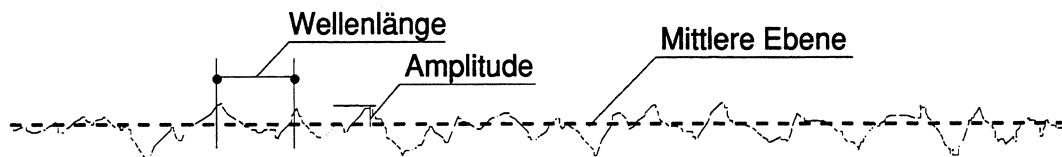


Abbildung 6.14: Wellenlänge und Amplitude der Textur

Die beiden obigen Anforderungen stehen jedoch einander meistens gegenüber. Das heisst Beläge, die eine hohe Amplitude bei 50 mm aufweisen, besitzen auch eine hohe Amplitude bei 5 mm. Trotzdem kann durch die Wahl des Grösstkorns das Texturspektrum bis zu einem gewissen Grad beeinflusst werden. D. h. die Korngrössenverteilung kann derart gewählt werden, dass zum Beispiel die Wellenlängen grösser als 10 mm nicht oder weniger vorkommen.

- **Megatextur:**
Die Megatextur weist Wellenlängen von 50 bis 100 mm auf. In Abhängigkeit von der Korngrössenverteilung können auch grössere Wellenlängen bis zu 50 cm vorkommen. Die Megatextur bewirkt eine dauernde Vertikalbewegung des Fahrzeugs und produziert daher einen höheren Lärmpegel. Aus diesem Grund ist sie immer unerwünscht.

Gemäss [17] wirken sich die Makro- und die Megatexturen auf das Fahrgeräusch unterschiedlich aus. Für die lärmrelevanten Auswirkungen kann die Grenze zwischen Makro- und Megatextur etwa bei $\lambda = 10$ mm angesetzt werden.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich eine zunehmende Megatextur ($\lambda > 10$ mm) auf den niederfrequenten Bereich (< 1 kHz) der Reifen/Fahrbahngeräusche ungünstig auswirkt und dass sich eine zunehmende Makrotextur ($\lambda < 10$ mm) auf den hochfrequenten Bereich (> 1 kHz) günstig, also vermindernd auswirkt.

Der niederfrequente Bereich der Reifen/Fahrbahngeräusche ist vorwiegend durch radiale und tangential Reifenschwingungen bedingt. Der hochfrequente Bereich ist vorwiegend durch Luftströmungsgeräusche und Luftresonanzen bedingt.

Für die genauere Betrachtung dieses Zusammenhanges wird der Quotient aus der akustisch relevanten Megatextur (a_{mega}) und derjenigen der Makrotextur (a_5) als α bezeichnet [17]:

$$\alpha = a_{\text{mega}} / a_5$$

Der Verhältniswert α ist eine Verknüpfung der akustisch relevanten Makrotextur (tendenziell geräuschreduzierend) mit der akustisch relevanten Megatextur (tendenziell geräuscherzeugend). α liegt erfahrungsgemäss im Bereich 0.5 bis 3.0. Je grösser der Verhältniswert α , desto grösser wird die akustisch relevante Megatextur und desto lauter wird der Belag.

Bei α -Werten kleiner als 1.0 besteht ein Mangel an Megatextur. Die Wellenlängen befinden sich vorwiegend im Bereich der Makrotextur und der Belag weist einen verhältnismässig tiefen Lärmpegel auf. Bei α -Werten zwischen 1.0 und 1.5 ist die Makrotextur weniger vorhanden oder die Megatextur ist ziemlich dominant. Die Beläge mit solchen Oberflächenbeschaffenheiten können als mittelmässig bezeichnet werden. Ab einem α -Wert über 1.5 ist praktisch keine Makrotextur mehr vorhanden. Die Grösse des Lärmpegels wird nur durch die Megatextur bestimmt. Beläge dieser Kategorie sind alle laut und sollen prinzipiell vermieden werden.

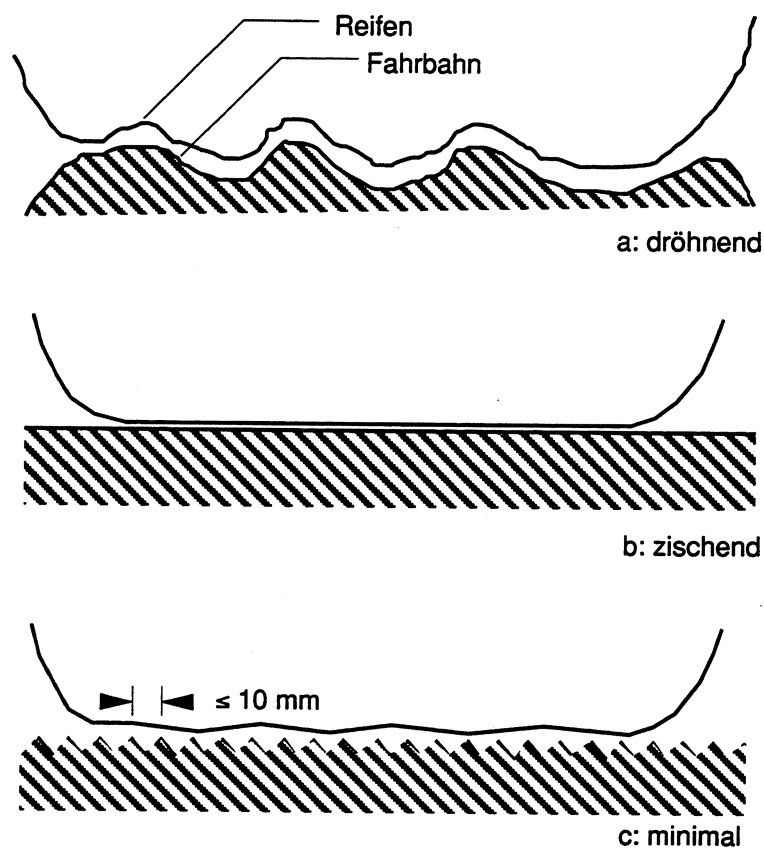


Abbildung 6.15: Rollgeräusche und Geometrie von Fahrbahnoberflächen [19]

Für die Praxis bedeutet dies, dass die Geometrie der Oberfläche (Textur) der wichtigste Einflussfaktor im Prozess Lärmerzeugung ist. Die Art der Rollgeräusche wird weitgehend durch die Geometrie der Fahrbahn und der Reifen bestimmt (Abbildung 6.15).

Unebenheiten im Abstand von mehreren cm verformen die Reifen. Diese vibrieren und dröhnen, d. h. sie erzeugen vor allem tieffrequente Schwingungen (Abbildung 6.15 a). Ganz glatte Oberflächen verhindern, dass die Luft unter den Reifen ungehindert entweichen kann; die Reifen zischen (unangenehme hochfrequente Schwingungen, Abbildung 6.15 b). Dazwischen liegen feinraue Oberflächen, die mit einem groben Sandpapier verglichen werden können. Die Körner ragen in einem Abstand von etwa 5 bis maximal 10 mm gleich hoch aus der Oberfläche heraus (Abbildung 6.15 c). Dadurch werden die Reifen weniger zu Vibrationen angeregt, und die Luft kann mehr oder weniger ungehindert entweichen [19].

Für die Beurteilung der Lärmeigenschaften verschiedener Belagstypen ist demzufolge die Ermittlung der Oberflächentextur von grosser Bedeutung. Die traditionelle Texturmessung mittels Sandfleck ist im Hinblick auf die für Lärmeigenschaften relevante Textur nicht genügend aussagekräftig. Für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen den Lärmpegeln verschiedener Beläge und ihrer Textur muss die Oberflächenbeschaffenheit genauer bekannt sein.

Mit Triangulationslasergeräten, welche eine genaue Aufnahme der Textur ermöglichen, können genauere Aussagen über den Einfluss der Textur auf die Lärmentstehung beim Strassenverkehr gemacht werden.

Zusammengefasst ist die Textur einer der wichtigsten Einflussfaktoren im Prozess der Lärmentstehung. Durch zweckmässige und bewusste Wahl der Korngrössenverteilung und Kornausfälle kann der Lärmpegel reduziert werden.

6.7 Einfluss des Mischguttyps

Bei den AB-Belägen werden je nach der Beanspruchung 4 Mischguttypen unterschieden:

- Leichte Beanspruchung (Mischguttyp L)
- Normale Beanspruchung (Mischguttyp N)
- Starke Beanspruchung (Mischguttyp S)
- Sehr starke Beanspruchung (Mischguttyp H)

Für diese Mischguttypen werden Bindemittelsorten, Bereiche von Mindestanteile an gebrochenen Material und Bindemitteldosierung festgelegt, die sich teilweise

überschneiden. Ein AB 11 N mit B 55/70 und mit einem Brechsandanteil von 85% dürfte sich nur wenig von einem AB 11 S unterscheiden.

Da nur Lärmmessungen auf Belägen mit den Mischguttypen N und S durchgeführt wurden, werden nur die beiden Mischguttypen in Betracht gezogen (Tabelle 6.8). Zu beachten ist, dass für die Mischguttypen N,S,H dieselben Anforderungen bezüglich der Korngrößenverteilung gelten. Es sind deshalb bei den Mischguttypen N, S und H keine wesentlich unterschiedlichen Lärmemissionen aufgrund der Korngrößenverteilung zu erwarten.

	Mischguttyp N	Mischguttyp S
Bindemittel	B55/70 B80/100 B120/150	B55/70 ev. B80/100
Anteil Brechsand	70%	90%
Mindestanteil an Splitt und Schotter	90%	100%
Bindemitteldosierung	5.6-6.2% (AB 11) 5.2-5.8% (AB16)	5.4-6.0% (AB 11) 4.9-5.4% (AB 16)

Tabelle 6.8: Eigenschaften der Mischguttypen

Meistens waren keine Angaben über den Mischguttyp vorhanden. Es wurden deshalb im Abschnitt 5.3 alle Mischguttypen zusammengefasst.

Im folgenden werden diejenigen Ergebnisse bei denen der Mischguttyp bekannt war genauer untersucht. Es wurde festgestellt, dass der Mischguttyp S aufgrund des höheren Anteils an gebrochenem Material und des härteren Bindemittels höhere Lärmemissionen aufweist. Für AB 11 Beläge liegt die Differenz zwischen 1.6 und 4.3 dB(A) (Tabelle 6.9).

Mischguttyp	50 km/h	80 km/h	100 km/h
N	85.8 dB(A)	91.8 dB(A)	95.5 dB(A)
n / S	7 / 1	14 / 3	6 / 1
S	87.4 dB(A)	96.1 dB(A)	98.7 dB(A)
n / S	24 / 5	11 / 3	11 / 4
Differenz	+1.6 dB(A)	+4.3 dB(A)	+2.8 dB(A)

Tabelle 6.9: Lärmpegel in Abhängigkeit des Mischguttyps beim AB 11

Bemerkung: n/S: Anzahl Messungen und Anzahl verschiedener Strecken. Autobahnen mit Überholspur gelten als eine Strecke.

Beim AB 16 war entweder der Mischgutttyp nicht bekannt oder es wurde der Mischgutttyp S verwendet. Die Messresultate des Mischgutttyps S wurden deshalb mit den Messresultaten unbekannter Mischgutttypen verglichen (Tabelle 6.10). Es zeigt sich auch beim AB 16, dass der Mischgutttyp S zu höheren Lärmemissionen führt.

Mischgutttyp	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Unbekannt	92.9 dB(A)	99.1 dB(A)	101.2 dB(A)
S	95.2 dB(A)	101.1 dB(A)	101.9 dB(A)
Differenz	+0.7 dB(A)	+2.0 dB(A)	+2.3 dB(A)

Tabelle 6.10: Lärmpegel in Abhängigkeit des Mischguttyps beim AB 16

Da der AB 16 im allgemeinen auf schwer belasteten Strassen verwendet wird, dürfte auch auf Strecken mit nicht bekannten Mischgutttypen oftmals ein härteres Bindemittel verwendet worden sein. Die Differenz der Lärmpegels zwischen dem Mischgutttyp N und S dürfte deshalb eher etwas grösser sein.

Die oben aufgeführten Resultate zeigen, dass der Mischgutttyp einen grossen Einfluss auf die Lärmemission hat. Der Mischgutttyp S dürfte beim AB 11 zu einer Lärmpegelerhöhung von zirka 3 dB(A) führen.

Beim AB 16 führt der Mischgutttyp S zu einer Lärmpegelerhöhung von zirka 2 dB(A). Es konnte nicht eindeutig festgestellt werden, ob der gegenüber dem AB 11 höhere Lärmpegel des AB 16 auf das grössere Maximalkorn zurückzuführen ist oder ob auch zum Teil das härtere Bindemittel diesbezüglich eine Rolle spielt.

Es wurde im Kapitel 5 festgestellt das die SMA-Beläge im allgemeinen etwas lauter als die AB-Beläge sind. Da die SMA-Beläge vor allem auf stark beanspruchten Strecken eingebaut werden und dabei ein härteres Bitumen verwendet wird, ist ein Teil des höheren Lärmpegels beim SMA 11 gegenüber dem AB 11 möglicherweise auf die Bitumenwahl zurückzuführen.

7. Terzbandpegelanalyse

7.1 Allgemein

Terzbandanalysen werden oftmals dazu verwendet, Schallschutzmassnahmen zu beurteilen. Das Mass der Schalldämmung ist von der Frequenz abhängig. Aufgrund des Massegesetzes sinkt die Schalldämmung um 6 dB/Oktave [3]. Je langsamer sich die Wellenfronten des Schalls folgen (tiefere Frequenz), desto mehr Zeit bleibt z. B. der Wand die Schallwelle in Form von Körperschall weiterzuleiten. Es spielen aber u. a. noch folgende physikalische Vorgänge eine Rolle:

- Biegeschwingungen
- Welleninkoinzidenzen
- Dickenschwingungen
- Beugung von Wellen an Spalten

Die frequenzabhängige Schalldämmung gilt auch für den LMA-Anhänger des IVT, der mit einer Schalldämmschicht gegen äussere Geräusche abgeschirmt ist; dies muss vor allem für tiefe Frequenzen unter 100 Hz beachtet werden.

Tabelle 7.1 zeigt eine Terzbandanalyse eines AB 11 bei 30 km/h. Es wurden daraus die Schallintensitäten mit und ohne A-Bewertung berechnet. Durch die A-Bewertung (-44 dB bei 20 Hz und -30 dB bei 100 Hz) wird der dB(A)-Pegel praktisch nicht beeinflusst. Die Pegel der Terzbänder unter 100 Hz tragen 0.1 bis 1.0 % zur A-bewerteten Schallintensität bei; dies bedeutet eine mögliche Verfälschung des Pegels durch Motorengeräusche von 0.01 bis 0.05 dB und kann somit vernachlässigt werden.

Beim energetischen Schallpegel spielen bei allen Geschwindigkeiten die Beiträge der Terzbandfrequenzen zwischen 32 Hz und 63 Hz eine wesentliche Rolle; sie tragen bis zu 90% zur Schallenergie bei. Aufgrund der Tatsache, dass tieffrequente Schallwellen durch eine Isolation kaum gedämpft werden, kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden, ob es sich um Rollgeräusche oder um Motorengeräusche des Zugfahrzeuges handelt. Versuche bei stehendem Auto mit laufendem Motor haben gezeigt, dass die Mikrophone einen Pegel um 65 dB(A) registrieren und im Frequenzbereich zwischen 25 Hz und 80 Hz Pegel von 75 dB bis 90 dB gemessen werden, der unbewertete energetische Schallpegel ist um 90 dB.

Bei Pegeln unterhalb der in Tab. 7.1 dargestellten Grenzwerte des Motorengeräusches kann das Resultat durch Motorengeräusche und anderen Strassenlärm beeinflusst worden sein. Für den dB(A)-Pegel gilt ein Grenzwert von 78 dB(A) und für den unbewerteten Schallpegel gilt ein L_{net} von 95 dB. Im allgemeinen waren die gemessenen Rollgeräusche bei stehendem Fahrzeug um etwa 5 bis 15 dB tiefer. Das muss aber so sein, sonst ist die Beeinflussung zu gross.

Dies bedeutet, dass im allgemeinen die Resultate der Terzbandanalyse für Frequenzen über 125 Hz und der dB(A)-Pegel auch bei einer Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h nicht durch andere Lärmemissionen beeinflusst worden sind.

Terzbandfrequenz	Terzbandpegel [dB]	Intensität* [10 ⁻⁶ W/s]	dB(A)-Korrektur	Terzbandpegel Mit Korrektur [dB(A)]	Intensität** [10 ⁻⁶ W/s]	Motorengeräusch ² Grenzwert [dB]
20	75.0 ⁴	31.6	-44.0	31.0	0.00	95
25	76.2 ⁴	41.7	-40.0	36.2	0.00	95
32	80.2 ⁴	104.7	-36.0	44.2	0.03	95
40	83.6 ⁴	229.1	-33.0	50.6	0.11	95
50	85.9 ⁴	389.1	-30.0	55.9	0.38	95
63	79.6 ⁴	91.2	-26.2	53.4	0.22	90
80	68.0 ⁴	6.3	-22.5	45.5	0.03	80
100	65.9 ³	3.9	-19.1	46.8	0.05	70
125	64.7 ³	3.0	-16.1	48.6	0.07	69
160	64.2 ³	2.6	-13.3	50.9	0.12	68
200	65.3 ³	3.4	-10.9	54.4	0.27	67
250	68.5	7.1	-8.6	59.9	0.97	66
315	70.4	11.0	-6.6	63.8	2.40	65
400	67.1	5.1	-4.8	62.3	1.69	65
500	68.8	7.6	-3.2	56.6	3.63	65
625	71.2	13.2	-1.9	69.3	8.51	65
800	71.5	14.1	-0.8	70.7	11.75	65
1000	69.3	8.5	0.0	69.3	8.51	65
1250	69.8	9.6	+0.6	70.4	10.96	64
1600	71.9	15.5	+1.0	72.9	19.50	63
2000	68.5	7.1	+1.2	69.7	9.30	62
2500	67.3	5.3	+1.3	68.6	7.20	61
3150	63.4	2.2	+1.2	64.6	2.90	60
4000	61.0	1.3	+1.0	62.0	1.60	58
5000	57.8	0.6	+0.5	58.3	0.70	56
6250	53.5	0.2	-0.1	53.4	0.20	54
8000	51.7	0.1	-1.1	50.6	0.10	52
Intensität		1015.1			91.30	
Pegel	90.1			79.6		

Tabelle 7.1: Beiträge der einzelnen Terzbänder zur A-bewerteten Schallintensität

Legende:

- * = Schallintensität ohne A-Bewertung
- ** = Schallintensität mit A-Bewertung
- ¹ = Terzbandpegelspektrum eines sehr leisen Belags (v = 30 km/h)
- ² = Aus einigen Terzbandspektren von Motorengeräuschen bei stehendem oder anfahrendem Fahrzeug gebildet. Bei stehendem Fahrzeug liegen die Lärmemissionen etwa 5 – 15 dB unter diesen Grenzwerten.
- ³ = Der Terzbandpegel liegt 0-5 dB unter dem Grenzwert. Dieser kann, muss aber nicht, durch Motorengeräusche beeinflusst worden sein.
- ⁴ = Terzbandpegel liegt mehr als 5 dB unter dem Grenzwert Motorengeräusch.

In Einzelfällen ist es aber möglich, dass ein sehr leiser Belag bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h geringfügig lauter gemessen wird und dasselbe gilt für niedrige 125 Hz Terzbandpegel.

Bei zeitlich beschränkten Einflüssen, wie ein startendes Flugzeug oder ein vorbeifahrender Lastwagen wird der Pegel sichtbar beeinflusst, erkennbar durch einen Pegelausschlag auf dem Messstreifen. Dies kann bei der Auswertung berücksichtigt werden.

7.2 Beurteilung von Schallschutzmassnahmen

Die erhaltenen Terzbandanalysen können nicht direkt zur Beurteilung von Schallschutzmassnahmen verwendet werden, da die Schallausbreitung vom Nahfeld bis an den Strassenrand (Vorbeifahrtsmessung) ebenfalls frequenzabhängig sein dürfte. Es wurden bereits einmal Vergleichsmessungen zwischen der LMA-Messung und der Vorbeifahrtsmessung durchgeführt [9]. Dabei wurden aber nur die Gesamtpegel miteinander verglichen. Eine frequenzabhängige Korrelation der Pegel zwischen der Vorbeifahrtsmessung (mit und ohne Motor) und der LMA-Messung wurde bis anhin noch nicht untersucht. Auch dürfte die Übertragungsfunktion schwierig zu ermitteln sein, da die Vorbeifahrtsmessung nicht nur durch belagsspezifische Lärmemissionen beeinflusst würde. Die hier durchgeführten Terzbandanalysen können aber zum Vergleich der Geräuschemissionen verschiedener Beläge verwendet werden. In Abschnitt 8.12 werden die Lärmemissionen im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen beurteilt. Selbst wenn die Übertragungsfunktion frequenzabhängig ist, dürften die Aussagen generell ihre Gültigkeit behalten.

7.3 Schwingungsanregungen

Im folgenden werden verschiedene Schwingungsanregungen sowie ihr Einfluss auf die Ergebnisse der Terzbandanalyse aufgezeigt. Die Effekte sind im einzelnen aber kaum aufschlüsselbar, da sie von vielen anderen Effekten überlagert werden, zu schwach ausgeprägt sind, um sie nachweisen zu können, oder sich über ein breites Frequenzspektrum erstrecken, so dass sie gar nicht erkannt werden können.

7.3.1 Geschwindigkeitsabhängige Frequenzen

- **Anregung durch Belagsunebenheiten**

Die Belagsunebenheiten versetzen den Reifen in Bewegung und es werden Schallwellen proportional zur Geschwindigkeit abgestrahlt. Das Frequenzspektrum des abgestrahlten Schalls dürfte ähnlich zu demjenigen der Belagsunebenheit sein. Der Reifen vollzieht die Bewegung $y(t)$ aufgrund der in Abbildung 7.1 dargestellten Belagsunebenheit mit einer Wellenlänge λ . Eine Frequenzanalyse der Bewegung der Reifenachse in y -Richtung würde die Frequenz v/λ ergeben. Die maximale Geschwindigkeit des Reifens in y -Richtung wäre proportional zu b und zu v . Die Bewegungsenergie in y -Richtung wäre proportional zu v^2 und b^2 . Bei Vernachlässigung sekundärer Effekte, wie das Zusammendrücken des Reifens, müsste in dieser Betrachtung die Rollgeräuschemission proportional mit der Bewegungsenergie zunehmen.

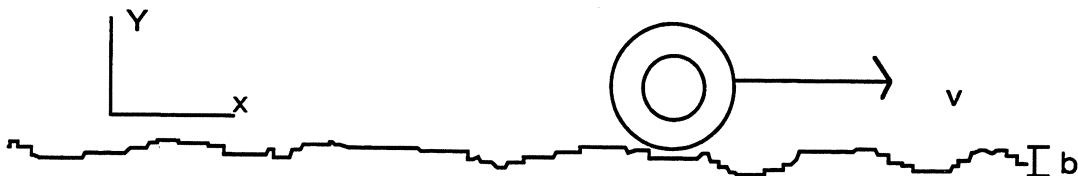


Abbildung 7.1: Anregung durch Belagsunebenheiten

Das Frequenzspektrum der Belagsunebenheiten dürfte sehr breit sein und umfasst etwa Wellenlängen von 5 cm bis 500 cm. Bei 50 km/h ergibt sich ein Frequenzspektrum von 2.8 bis 280 Hz in y -Richtung. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h verschiebt sich das Frequenzspektrum proportional zur Geschwindigkeit um etwa 2 Terzbänder. Die Bewegungsenergie des Reifens nimmt um den Faktor 2.56 zu. Dies entspricht einer Schallpegelzunahme von ca. 4 dB, wenn man davon ausgeht, dass die Schallabstrahlungsleistung proportional zur Bewegungsenergie des Reifens sei.

- **Anregung durch Makrotextur**

Durch die Struktur der Belagsoberfläche entstehen mehr oder weniger starke Kontakte mit dem Reifen, der ebenfalls eine Struktur aufweist. Das Frequenzspektrum der Texturoberfläche dürfte Wellenlängen λ um 1 bis 30 mm aufweisen (Abbildung 7.2). Dabei dürften die Maxima im Bereich der maximalen Korngrösse liegen, weil die grössten Körner auch die grössten Erhebungen verursachen und damit prägend für die Makrotextur sind. Die Frequenzen der dadurch entstehenden Schallemissionen sind direkt proportional zur Fahrgeschwindigkeit.

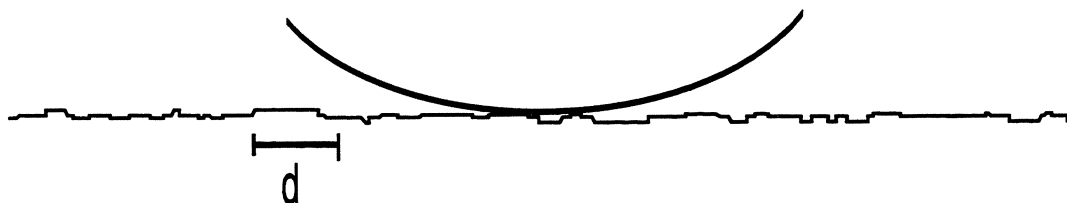


Abbildung 7.2: Anregung durch Makrotextur

Das Frequenzspektrum der Schallemissionen erstreckt sich nach v/λ bei 50 km/h von 460 Hz bis 14 kHz. Dabei ist bei einer Maximalkorngröße von 10 mm ein Maximum im Bereich von 1380 Hz zu erwarten. Das Maximum ist nicht sehr scharf und erstreckt sich über mehrere Terzbänder (Der Abstand zwischen den grösseren Körnern liegt vielleicht etwa bei 5 bis 20 mm). Bei gröberen Texturen ist eine Verschiebung des Maximums zu tieferen Frequenzen zu erwarten, eventuell mit einer etwas höheren Intensität.

- **Schall durch Wirbelablösungen**

Wenn Hindernisse von einer Luftströmung umströmt werden (Abbildung 7.3) können sich in regelmässigen Abständen Wirbel ablösen [20].

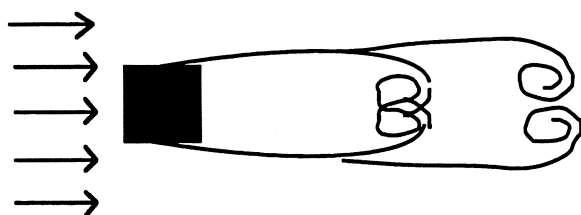


Abbildung 7.3: Wirbelablösung hinter einem Stab

Dieses Phänomen wird mit Gleichung 7.1 beschrieben und gilt für turbulente Strömungsverhältnisse mit Reynoldszahl > 2500 [20]. Von einem Zylinder (Strouhalzahl = 0.2) mit 2 cm Durchmesser löst sich bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h die Luftströmung mit einer Frequenz von 220 Hz ab. Diese Frequenz hängt linear von der Geschwindigkeit ab. In einer Frequenzanalyse macht sich dies durch ein ausgeprägtes Maximum bemerkbar. Solche Ablösungen können auch an der Messinstallation für die beiden Mikrophone entstehen. In den Terzbandanalysen konnte jedoch keine Beeinflussung des Terzbandpegels festgestellt werden. Diese hätten sich durch ein ausgeprägtes Maximum bei tiefen

Frequenzen, das sich bei höherer Geschwindigkeit zu höheren Frequenzen verschoben hätte, bemerkbar machen müssen.

$$f = \frac{v \cdot S}{D} \quad (\text{Gleichung 7.1})$$

Legende: f = Frequenz der sich ablösenden Strömung [-]
D = geometrische Abmessungen des umströmten Gegenstandes [m]
v = Anströmgeschwindigkeit [m/s]
S = Strouhalzahl, je nach Geometrie 0.15 bis 0.3 [dimensionlos]

7.3.2 Geschwindigkeitsunabhängige Frequenzen

- **Eigenfrequenzen**

Eigenschwingungen der Reifenoberfläche führen zu Schallabstrahlungen. Diese werden durch die immer vorhandene Bewegungsenergie über einen weiten Geschwindigkeitsbereich ständig angeregt. Dabei werden diese Eigenschwingungen gedämpft, denn je höher die Geschwindigkeit desto mehr Energie fließt in den Reifen. Dies macht sich auch dadurch bemerkbar, dass der Reifen sich auf bis zu 20°C über die Belagstemperatur hinaus erwärmt. Bei sehr hohen Belagstemperaturen steigt die Reifentemperatur auf bis zu 65°C und wird durch den Fahrwind und durch die Wärmeabstrahlung abgekühlt.

Der durch die hohen Temperaturdifferenzen variierende E-Modul dürfte die Eigenfrequenzen ebenfalls beeinflussen. Es ist deshalb zu erwarten, dass die einzelnen Terzbandpegel in Abhängigkeit der Temperatur verschieden beeinflusst werden.

- **Stehende Wellen**

Stehende Wellen sind sowohl in der Luft als auch im Material selbst anzutreffen. Die Frequenz dürfte wiederum recht stark vom E-Modul und damit von der Temperatur abhängen.

- **Dämpfung / Reflexion**

Die Dämpfung durch die Luft kann im Nahbereich vernachlässigt werden. Sie wird erst wirksam, wenn die Schallwelle ein Luftmedium von 10 m und mehr durchqueren muss.

Die Reflexion wurde bereits früher untersucht [9]. Es haben sich deutliche Unterschiede zwischen offenporigen und geschlossenen Asphaltdecken ergeben.

- **Feuchtigkeit**

Ist die Strassenoberfläche durch Regen oder Schmelzwasser mit einem durchgehenden Wasserfilm bedeckt, entstehen durch die Verdrängung des Wassers Schmatzgeräusche. Die dadurch bedingten Lärmpegelerhöhungen sind von der Geschwindigkeit abhängig. Die Ergebnisse beruhen auf Versuchen in den 60er Jahren [21]. Die Strasse wurde mit Wasser benetzt und hernach am Strassenrand die Schallpegel gemessen. Die Schallpegelerhöhung gilt nur in unmittelbarer Nähe zum Strassenrand (Tabelle 7.2). In grösserer Distanz sind solch hohe Schallpegeldifferenzen nicht untersucht worden.

Geschwindigkeit	auf Betonstrassen	auf Asphaltstrassen
50	14	8
60	13	6
80	12	4
100	-	2.5
120	-	2

Tabelle 7.2: Lärmpegelerhöhungen durch Feuchtigkeit nach [21]

- **Schlussfolgerungen**

Die einzelnen Schallentstehungsmechanismen erzeugen vielfältige und oftmals relativ breite Frequenzspektren, die zusätzlich durch Dämpfungsmechanismen der Belagsoberfläche beeinflusst werden. Es wird deshalb kaum möglich sein, die Lärmentstehung auf einzelne Einflüsse zurückzuführen. Es wären dazu weit umfangreichere und aufwendige Messungen erforderlich. Zum Beispiel wären Erschütterungsmessungen gleichzeitig mit einer Schallpegelmessung oder auch Messungen der Eigenfrequenzen am Reifen, z.B. mit Dehnmessstreifen, oder die gleichzeitige Erfassung der Oberflächentextur genau dort, wo der Reifen darüber fährt, vorzusehen.

7.4 Resultate der Terzbandpegelanalysen, Übersicht

7.4.1 Allgemein

Gesamthaft wurden knapp 500 Frequenzanalysen auf zirka 53 verschiedenen Strecken durchgeführt. Im allgemeinen wurden nur die mittleren Terzbandpegel angegeben. Diese wurden aufgrund der durchschnittlichen Schallintensität des hinteren und des seitlichen Mikrophons, auch bei sehr grossen Schallpegeldifferenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon, berechnet.

In einem ersten Schritt (Abschnitt 7.5) werden die verschiedenen Resultate zusammengestellt, die sich aufgrund von Messungen auf verschiedenen Belägen ergeben haben. Für jeden Belag ist die Terzbandanalyse für einige ausgewählte Terzbandfrequenzen (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz und 8 kHz) in Tabellenform wiedergegeben. Die detaillierten numerischen Resultate befinden sich im Anhang 3 «detaillierte Resultate der Terzbandpegelanalyse».

Im Abschnitt 7.6 werden die A-bewerteten Ergebnisse graphisch dargestellt. Daraus lässt sich erkennen, welche Terzbänder massgebend zur A-bewerteten Schallintensität beitragen. Die typischen belagsspezifischen Differenzen zwischen den Terzbandpegeln des seitlichen und hinteren Mikrophons werden im Abschnitt 7.7 diskutiert. Der Einfluss von Mischgutttyp, Belagsalter, Messspur, Linienführung und Geschwindigkeit werden in den Abschnitten 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 und 7.12 untersucht. Das Temperaturverhalten wird im Abschnitt 7.13 erörtert. Der Beitrag der einzelnen Terzbänder zum A-bewerteten Schallpegel, Einfluss von Reifentypen und Schallschutzmassnahmen sind Themen der Abschnitte 7.14, 7.15 und 7.16. Schliesslich wird im Abschnitt 7.16 eine Sensitivitätsanalyse einer Übertragungsfunktion durchgeführt.

7.4.2 Gruppeneinteilung

Zwischen den einzelnen Belägen haben sich oftmals Ähnlichkeiten ergeben. Zum Beispiel unterscheidet sich das Terzbandspektrum eines SMA 11 kaum von demjenigen eines AB 11. Es wurde deshalb dieselbe Gruppeneinteilung I, II, III, IV und Spezial, wie bei A-bewerteten Schallpegeln (Abschnitt 5.1), vorgenommen. Zusätzlich wurde in diesem Abschnitt noch eine Gruppe V eingeführt. Die Gruppen und die ihr zugehörigen Beläge sind in Tabelle 7.3 wiedergegeben.

Als Kriterium für Gruppeneinteilung wurde der Verlauf der Terzbandpegel im Vergleich zu den Grenzwerten angewendet. Diese Grenzwerte wurden für jede Geschwindigkeit aus sämtlichen Terzbandanalysen gebildet (siehe Abschnitt 7.4.3). Als typische Vertreter der jeweiligen Gruppe wurden für die Gruppe I der AB 11 und der SMA 11, für die Gruppe II

der Betonbelag, für die Gruppe III neue DRA 11-Beläge und für die Gruppe IV der SMA 6 gewählt.

Gruppe	Beläge	Charakteristische Merkmale
I	AB 11/10 SMA 11 TA 10 TA 11 TA 16 AB 16	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige bis mittlere Pegel im Frequenzbereich bis 1kHz, mittlere bis hohe Pegel ab 1.6 kHz. Die Terzbänder von 800 Hz bis 2.5 kHz sind charakteristisch für den Klang. Der Pegel ist am höchsten bei 1.6 kHz. Der AB 16 ist etwas lauter.
II	Beton HRA 16 HRA 25 GA	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Pegel über den gesamten Frequenzbereich Die Terzbänder von 630 Hz bis 2 kHz sind charakteristisch für den Klang. Beim Beton ist der Pegel bei 1.6 kHz am höchsten, bei den anderen Belägen liegt das Maximum manchmal auch bei 1 kHz. Das Temperaturverhalten ist ähnlich zu demjenigen von Gruppe I.
III	DRA 11 DRA 16 OB 6/11	<ul style="list-style-type: none"> Mittlere Pegel bis 630 Hz, niedrige Pegel ab 2 kHz bei neuen Drainbelägen. Hohe Pegel bis 800 Hz und mittlere Pegel ab 2 kHz bei alten Drainbelägen und Oberflächenbehandlungen mit Grösstkorn 11. Oberflächenbehandlungen weisen auch Ähnlichkeiten mit den Belägen der Gruppe II auf, v.a. mit dem HRA 16 und dem HRA 25. Die Terzbänder von 500 Hz bis 1.6 kHz sind charakteristisch für den Klang. Der Pegel ist am höchsten bei 1 kHz, in Einzelfällen bei 800 Hz. Das Temperaturverhalten von Drainasphalten unterscheidet sich von demjenigen der anderen Beläge.
IV	SMA 6 SMA 8 Mikro OB3/6	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Pegel in allen Frequenzbereichen Der Klang ist ähnlich wie derjenige von Gruppe I mit einem Pegelmaximum bei 1.6 kHz. Beim SMA 8, OB 3/6 sowie beim Mikrobelaag sind die Pegel etwas höher, sie liessen sich auch unter Gruppe I einordnen. Das Temperaturverhalten ist ähnlich wie bei den Gruppen I und II.
V	OB6/11 HRA 16 HRA 25 DRA 11 alt DRA 16 alt	<ul style="list-style-type: none"> Mittlere bis hohe Pegel über den gesamten Frequenzbereich Pegelmaximum bei 1 kHz
Spezial	Pflästerung	<ul style="list-style-type: none"> Über den Grenzwerten liegende Terzbandpegel

Tabelle 7.3: Belagsgruppen

Die anderen Beläge wurden derjenigen Gruppe zugeordnet, mit der sie am meisten Gemeinsamkeiten hatten. Der Mikrobelag hatte aufgrund seiner höheren Pegel auch Gemeinsamkeiten mit den Belägen der Gruppe I oder der OB 6/11 wie Gemeinsamkeiten mit den Belägen der Gruppe II auf. Aus den Belägen der Gruppen II und III mit einem Pegelmaximum um bei 1 kHz ergab sich die Gruppe V. Unter Gruppe V wurden diejenigen Beläge der Gruppen II und III zusammengefasst, die recht laut waren und dazu noch ein recht tiefes Frequenzspektrum mit einem Pegelmaximum bei 1 kHz aufwiesen. Somit ist die Gruppe V keine neue Gruppe, sondern eine Schnittgruppe der extrem lauten Beläge der Gruppen II und III.

Für jede Gruppe wurden jeweils diejenigen Terzbänder aufgeführt, deren Intensitäten nach einer A-Bewertung zusammengezählt etwa 80 bis 90 % der A - bewerteten Schallintensität ausmachen. Das Berechnungsverfahren ist in Abschnitt 7.13 detailliert erläutert. Auch in Abschnitt 7.6 lässt sich deutlich erkennen, welche Terzbänder massgebend zum dB(A)-Pegel beitragen.

7.4.3 Grenzwerte der Terzbandpegel

Für jede Geschwindigkeit (30, 50, 60, 80, 100 und 120 km/h) wurden obere und untere Grenzwerte ermittelt (Tabelle 7.4).

Belag	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
AB 11	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
AB 16	XXX	XXX	X	XXX	X	0
SMA 6	X	XXX	X	X	0	0
SMA 8	XXX	X	0	0	0	0
SMA 11	0	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mikro	0	X	X	X	0	0
MR 11	0	0	0	X	X	X
TA 10	XXX	XXX	0	X	0	0
TA 16	XXX	X	0	X	0	0
Beton	0	X	X	XXX	XXX	X
HRA 16	0	X	X	X	0	0
HRA 25	0	X	X	X	0	0
GA	0	0	0	X	0	0
OB 3/6	0	X	X	X	0	0
OB 6/11	0	XXX	X	X	0	0
DRA 11	X	XXX ¹	XXX ¹	XXX ¹	XXX ²	XXX ²
DRA 16	0	XXX	XXX	XXX	X	0

Tabelle 7.4: Datenumfang der Terzbandanalysen für die einzelnen Beläge

X = Durchschnittswert XXX = 25%- und 75% Percentil

0 = keine Messungen

¹⁾ = Aufgrund langjähriger Messreihen bei Belagstemperaturen von 0 °C bis 50 °C

²⁾ = Aufgrund von Messungen vor allem bei hohen Belagstemperaturen und auf Belägen, die jünger als 5 Jahre alt waren

Den Ergebnissen lagen alle bis Oktober 1999 durchgeführten Terzbandanalysen zugrunde. Zu beachten ist, dass wie schon bei den A-bewerteten Schallpegeln erwähnt wurde, die Resultate auf sehr unterschiedlichen statistischen Grundlagen beruhen. Während bei einigen Belägen über einen sehr langen Zeitraum rund 30 Messungen auf zehn verschiedenen Strecken bei hohen und tiefen Temperaturen durchgeführt wurden, basieren die Resultate bei anderen Belägen auf nur einer einzigen oder wenigen, auf einer einzelnen Strecke durchgeführten, Messungen.

In Abhängigkeit der Anzahl von Messungen pro Belagstyp wurden Durchschnittswerte oder 25 und 75 % Percentile berücksichtigt. So wurde bei den Belägen mit mehr als 6 Messungen auf mindestens zwei Strecken die Percentilwerte berücksichtigt. Selten wurden auch die Messungen auf einer einzelnen Strecke genommen. In solchen Fällen mussten die Messungen bei sehr unterschiedlichen Bedingungen (Belagstemperatur und -alter) durchgeführt worden sein. Bei den restlichen Ergebnissen wurde der Durchschnittswert berücksichtigt. Wenn für einen Belag nicht zwei unterschiedliche Messungen vorlagen, wurde das Ergebnis nicht berücksichtigt. Tabelle 7.4 zeigt aufgrund welcher Grundlagen die Grenzwerte gebildet wurden. Abbildungen 7.4 und 7.5 zeigen die unteren bzw. die oberen Grenzwerte.

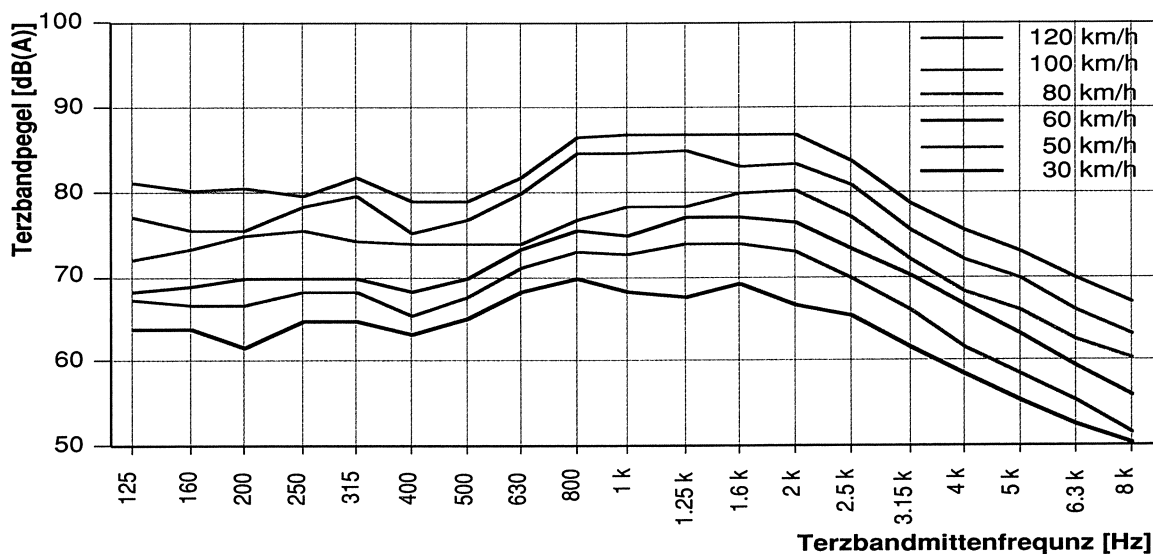


Abbildung 7.4: Untere Grenzwerte der Terzbandpegel

Wie aus Abbildung 7.5 ersichtlich, fallen im tieferen Frequenzbereich die oberen Grenzwerte bei 80 km/h höher aus als diejenigen von 100 und 120 km/h. Auch die oberen Grenzwerte bei 50 und 60 km/h sind in diesem Bereich verhältnismässig hoch. Dies ist der Fall, weil die oberen Grenzwerte in diesem Bereich durch die Pegelwerte der alten (verstopften) Drainbeläge definiert werden. Bei 100 und 120 km/h wurden keine Messungen auf alten Drainbelägen durchgeführt. Die Pegelwerte der Messungen auf neueren Drainbelägen lagen tiefer als diejenigen der Beläge der Gruppe II. Dies hatte zur Folge, dass im tieferen Frequenzbereich die oberen Grenzwerte bei 100 und 120 km/h

durch Beläge der Gruppe II definiert wurden. Im oberen Frequenzbereich wurden die Grenzwerte bei allen Geschwindigkeiten durch Beläge der Gruppe II definiert.

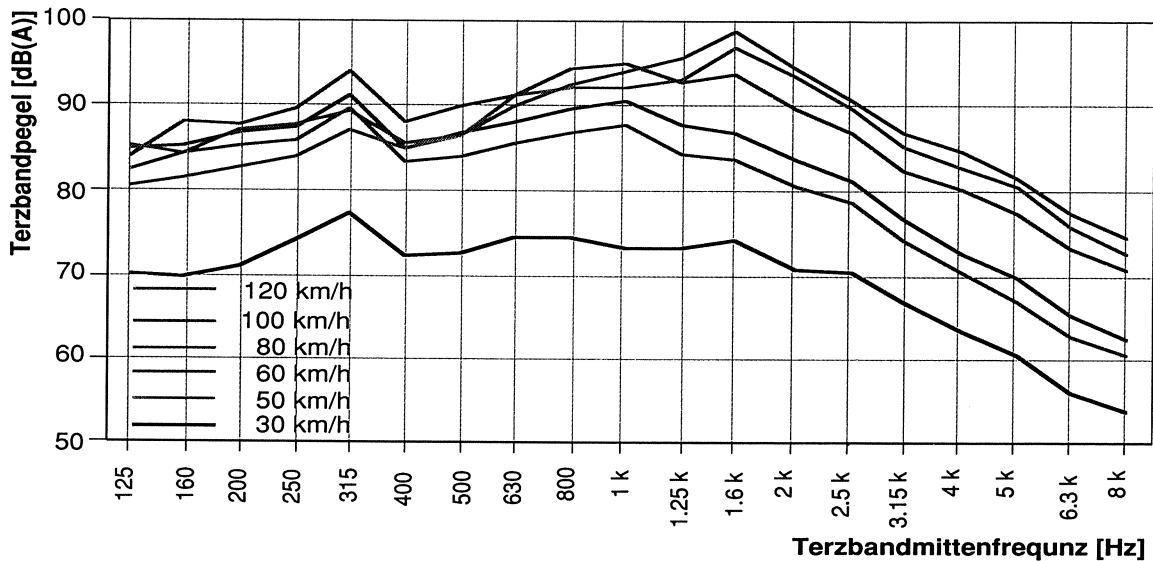


Abbildung 7.5: Obere Grenzwerte der Terzbandpegel

7.5 Resultate einzelner Beläge

Die folgenden Tabellen geben die Terzbandpegel für jeden einzelnen Belag wieder. Die Beläge wurden nach dem im Abschnitt 7.4 aufgeführten Gruppen unterteilt. Bei diesen Terzbandpegeln handelt es sich um Durchschnittswerte. Falls diese durch spezielle Messbedingungen zustande gekommen sind, wird dies vermerkt. Auf Korrekturen aufgrund der Belagstemperatur wurde verzichtet, da bei den meisten Terzbandanalysen bei der zugrunde liegenden Messung die Belagstemperatur nicht erfasst wurde. Der starke Einfluss der Belagstemperatur auf die Lärmemissionen wurde erst im späteren Verlauf der Untersuchung erkannt.

Wenn nichts anderes vermerkt, gelten diese Durchschnittswerte für eine Belagstemperatur von 30° C. Dies lässt sich folgendermassen begründen:

- Die Messungen wurden mehrheitlich in den Sommermonaten und bei trockener Witterung durchgeführt. Die Belagstemperatur an einem durchschnittlichen Sommertag steigt von ca. 30° C am Vormittag auf ca. 45° C am Nachmittag.
- Die Messungen wurden bei trockener Witterung meist bei Sonnenschein durchgeführt, was zu einer Erwärmung des Belages auf einen über der Lufttemperatur liegenden Wert führt.

- Einige Messungen wurden auch im Winter durchgeführt mit Belagstemperaturen von etwa 0° C am Vormittag und etwa 20° C am Nachmittag. Es wurde meist an Tagen mit Sonnenschein und für winterliche Verhältnisse recht hohen Temperaturen gemessen .

Im Jahresdurchschnitt dürfte die Belagstemperatur etwa 2° C über der durchschnittlichen Lufttemperatur des Jahres liegen. Dies lässt sich damit begründen, dass die Sonne etwa an 1000 Stunden der im Jahr möglichen 8760 Stunden scheint und sich der Belag nur in dieser Zeit 10 bis 25° C über die Lufttemperatur erwärmt. Im Mittelland dürfte deshalb die durchschnittliche Belagstemperatur um 10°C liegen.

7.5.1 Beläge Gruppe I

Die Beläge AB 11, AB 16, TA 10, TA 16 und SMA 11 weisen recht ähnliche Terzbandpegel auf und sind deshalb in der Gruppe I zusammengefasst (siehe Abbildungen 7.6 bis 7.25, Abschnitt 7.6). Die Tabellen 7.5 bis 7.10 zeigen die Resultate der Terzbandanalysen der Beläge der Gruppe I. Sie weisen bei Terzbändern zwischen 1.6 und 8.0 kHz hohe, zwischen 125 und 1000 Hz niedrige Pegel auf. Dabei sind die Beläge AB 16 und SMA 11 etwas lauter, vor allem im tieferen Frequenzbereich.

Bei AB 11 gibt es erhebliche Differenzen zwischen den Mischguttypen N und S. Da bei den meisten Messungen jedoch der Mischguttyp nicht bekannt war, wird in diesem Abschnitt zwischen den AB 11 N und AB 11 S nicht unterschieden.

Allgemein ist aber zu beachten, dass die Streubereiche aller hier aufgeführten Beläge sich deutlich überschneiden. Dies kann mit Hilfe der detaillierten Tabellen im Anhang 2 nachvollzogen werden. Die für die A-Bewertung massgebenden Terzbänder liegen zwischen 800 und 2500 Hz und sind somit verantwortlich für den Klang.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	64.9	68.6	68.4	69.0	68.4	61.1	51.3
50	69.8	73.1	73.6	76.7	77.5	68.4	58.2
60	73.0	74.0	73.6	78.6	80.7	72.0	60.9
80	72.8 (56.3)	76.4 (66.6)	75.7 (68.8)	85.3 (80.1)	87.6 (85.5)	77.8 (77.1)	67.9 (65.5)
100	77.3	78.5	77.2	86.7	90.5	80.1	70.7
120	81.8	81.6	80.2	89.9	94.7	83.9	74.6

Tabelle 7.5: Terzbandpegel AB 11
In Klammern die Ergebnisse des Mischguttyps «N», drei Messungen auf eine Strecke.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	69.5	73.7	72.0	72.2	70.2	63.1	53.7
50	71.3	77.3	77.9	80.7	78.9	70.2	60.2
60	72.6	76.8	78.4	83.8	82.3	73.2	63.3
80	75.7	80.0	80.9	87.9	88.5	79.2	70.2
100	77.1	80.1	82.1	88.5	91.9	82.0	73.3

Tabelle 7.6: Terzbandpegel AB 16

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	70.4	74.9	76.0	80.7	78.4	70.4	59.2
60	73.3	76.1	77.2	83.4	82.0	73.3	61.6
80	74.2	78.6	79.2	87.0	86.2	77.7	68.4
100	77.6	79.7	80.1	88.8	90.0	80.4	71.0
120	82.5	81.6	81.9	91.3	93.4	83.3	74.1

Tabelle 7.7: Terzbandpegel SMA 11
Die Pegel sind grösstenteils höher als beim AB 11.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	64.8	69.5	69.5	70.0	68.6	61.6	51.6
50	69.4	74.4	75.1	77.9	77.9	69.5	59.0
80	76.8	84.7	81.9	86.9	84.8	76.1	65.1

Tabelle 7.8: Terzbandpegel TA 10

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	66.5	72.6	71.2	71.1	69.7	63.0	52.6
50	69.0	73.6	74.9	77.7	78.3	70.1	59.7
80	75.6	83.2	82.3	87.1	85.4	76.7	66.1

Tabelle 7.9: Terzbandpegel TA 16

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50							
100	78.7	80.7	81.0	88.7	87.2	77.0	67.7
120	82.4	81.9	81.9	90.8	90.8	80.2	70.8

Tabelle 7.10: Terzbandpegel MR 11

7.5.2 Beläge Gruppe II

HRA 16, HRA 25, GA und Betonbeläge weisen wiederum recht ähnliche Terzbandspektren auf und werden als Beläge der Gruppe II zusammengefasst (siehe Abbildungen 7.6 bis 7.25, Abschnitt 7.6). Beim Betonbelag ist meist der 1.6 kHz-Terzbandpegel am höchsten, bei den anderen in den meisten Fällen der 1.0 kHz Terzbandpegel. Die Terzbandpegel der Gruppe II sind über den gesamten Frequenzbereich hoch, vor allem bei Frequenzen über 1.6 kHz (Tabellen 7.11 bis 7.14).

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	77.7	85.2	83.8	86.6	79.8	69.5	58.4
60	80.1	86.5	86.5	90.3	83.1	72.5	61.7
80	81.1	89.1	88.8	94.5	88.2	77.5	66.0

Tabelle 7.11: Terzbandpegel HRA 16
6 Messungen an verschiedenen Abschnitten auf einer Strecke

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	73.2	79.4	80.1	85.0	79.4	70.2	60.7
60	77.6	80.7	81.6	87.9	82.8	73.1	63.6
80	79.1	84.4	85.0	92.6	87.6	77.6	67.6

Tabelle 7.12: Terzbandpegel HRA 25
Messungen im Sommer und Winter auf einer Strecke.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	76.5	81.6	79.9	84.5	79.9	70.8	61.2
60	83.8	83.4	79.9	85.0	82.1	72.8	63.9
80	76.8	84.0	81.9	88.1	89.8	79.7	70.5
100	78.9	83.1	83.5	90.8	92.5	82.2	72.6
120	83.0	87.8	86.5	94.2	94.7	84.9	75.2

Tabelle 7.13: Terzbandpegel Betonbeläge

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
80	84.4	90.1	90.5	94.1	88.4	79.5	70.1

Tabelle 7.14: Terzbandpegel GA
3 Messungen auf einer Strecke.

7.5.3 Beläge Gruppe III

Die hohlraumreichen Beläge und solche, die ein ähnliches Terzbandspektrum aufweisen, wurden der Gruppe III zugeordnet (siehe Abbildungen 7.6 bis 7.25, Abschnitt 7.6). Die offenporigen Beläge DRA 11 und DRA 16 weisen ein vom Belagsalter abhängiges Terzbandspektrum auf. Bei jüngeren Drainbelägen sind die Poren noch nicht verstopft. Sie weisen vor allem im Frequenzbereich über 1.6 kHz sehr niedrige Pegel auf.

Mit der Zunahme des Alters und der Verstopfung der Hohlräume steigen die Pegel über den gesamten Frequenzbereich an, bei hohen Frequenzen etwas stärker als bei tiefen. Das Terzbandspektrum bleibt aber ähnlich; das Maximum bleibt bei 1 kHz. Die für den dB(A)-Pegel massgebenden Terzbänder liegen zwischen 500 bis 1630 Hz. Sie liegen damit gegenüber Belägen der Gruppe I zwei Terzbänder tiefer, was für das Klangempfinden von Bedeutung ist.

Im folgenden wird oft unterschieden zwischen lauten und leisen Drainbelägen. Ob ein Drainbelag leise oder laut ist, hängt vor allem davon ab, inwieweit seine Hohlräume verstopft sind. Einen fast ebenso grossen Einfluss hat die Belagsoberflächentemperatur (siehe Abschnitte 7.8 und 7.12). Der OB 6/11 weist ein ähnliches Terzbandspektrum auf wie ein lauter Drainasphalt.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	70.9	76.2	75.2	74.3	64.8	57.3	48.9
50	72.1/82.4	79.2/84.9	79.4/81.8	80.4/87.6	72.5/76.9	63.7/67.5	54.5/59.7
60	76.9/81.2	82.4/85.4	82.6/84.1	82.6/88.1	76.6/81.0	66.9/72.0	57.8/62.8
80	73.1/77.1	79.5/85.5	82.8/86.2	84.7/91.0	80.4/85.6	68.6/76.6	60.2/66.4
100	78.9	83.1	84.9	87.2	84.4	72.7	64.0
120	83.0	83.6	85.9	88.2	87.4	76.3	67.7

Tabelle 7.15: Terzbandpegel DRA 11

Der erste Wert gilt für einen leisen DRA 11, der zweite für einen lauten DRA 11. Bei 100 und 120 km/h wurde nur 1 Wert angegeben, da die zugrundeliegenden DRA 11-Beläge relativ jung waren und bei hohen Temperaturen gemessen wurde

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	71.4/81.9	79.9/85.5	81.2/82.2	81.7/85.7	72.5/78.9	61.8/69.7	51.5/60.0
60	73.4/86.2	81.5/87.8	82.7/85.0	85.2/89.3	76.2/82.3	66.5/72.4	56.0/63.3
80	75.6/82.7	83.6/89.6	85.6/88.1	87.8/93.1	80.5/86.1	71.8/76.9	62.0/66.4
100	79.4	84.2	86.5	91.9	84.4	75.2	65.5

Tabelle 7.16: Terzbandpegel DRA 16

Der erste Wert gilt für einen leisen DRA 16, der zweite für einen lauten DRA 16; bei 100km/h ist der Belag als mittel laut bewertet.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	77.5	80.2	79.1	84.2	77.9	68.1	57.6
60	80.3	81.9	81.9	87.8	80.6	70.6	60.0
80	80.3	87.3	85.3	91.5	86.2	75.9	65.3

Tabelle 7.17: Terzbandpegel OB 6/11

7.5.4 Beläge Gruppe IV

Die Beläge SMA 6, SMA 8, OB 3/6 sowie Mikrobelaäge weisen als feinkörnige Beläge wiederum ähnliche Terzbandspektren auf (siehe Abbildungen 7.6 bis 7.25, Abschnitt 7.6). Bei Frequenzen unter 1 kHz sind die Terzbandpegel sehr niedrig, bei Frequenzen über 2 kHz sind die Pegel im mittleren Bereich. Vor allem der SMA 6 weist mit Abstand die niedrigsten Pegel auf.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	63.7	65.1	65.1	68.9	67.3	58.2	49.1
50	68.2	69.0	68.5	73.1	74.8	65.7	57.0
60	70.6	69.8	70.1	74.8	76.8	69.0	60.2
80	77.9	76.5	73.8	77.9	81.2	74.6	66.0

Tabelle 7.18: Terzbandpegel SMA 6

Es wurde 1997 und 1999 auf 3 verschiedenen Strecken gemessen. Die Beläge wurden 1996 und 1997 eingebaut.

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	67.2	67.5	67.3	70.4	68.7	61.6	52.9
50	69.9	73.1	71.4	76.8	77.4	69.0	58.9

Tabelle 7.19: Terzbandpegel SMA 8

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	80.5	77.5	75.2	80.1	75.8	66.0	55.7
60	78.3	79.8	77.1	83.2	78.8	69.1	58.2
80	78.5	84.1	80.6	87.2	83.7	73.8	62.2

Tabelle 7.20: Terzbandpegel OB 3/6

Geschwindigkeit [km/h]	Terzbandpegel in dB						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
50	65.9	73.8	75.0	77.5	77.0	67.9	58.2
60	68.0	73.6	75.5	77.8	79.8	70.0	60.2
80	75.3	78.0	76.8	81.1	84.8	75.2	65.6

Tabelle 7.21: Terzbandpegel Mikrobelag

7.6 Graphische Darstellung der Resultate

Im Abschnitt 7.5 wurden die Terzbandpegel aller Beläge ohne eine Bewertung zusammengefasst. In diesem Abschnitt werden die Resultate A-bewertet und graphisch dargestellt. Dadurch können die für das Gehör massgebenden Terzbandfrequenzen aus den Abbildungen herausgelesen werden. Nach einer A-Bewertung sind dies diejenigen Terzbandfrequenzen mit den höchsten Terzbandpegeln.

Die nicht A-bewerteten unteren und oberen Grenzwerte der Abbildungen 7.4 und 7.5 wurden A-bewertet und in Tabellen 7.22 und 7.23 aufgeführt. Diese Grenzwerte wurden in allen graphischen Darstellungen wiedergegeben. Damit konnte gezeigt werden, wo die Terzbandspektren der einzelnen Beläge im Vergleich zu den Höchst- und Tiefstwerten liegen.

Terzband- frequenz	dB(A)- Korrektur	A-bewertete Schallpegel [dB(A)] bei					
		30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
125	-16.1	47.7	49.8	51.9	55.9	60.7	65.1
160	-13.3	50.3	53.1	55.6	59.4	62.3	67.2
200	-10.9	50.9	55.2	58.7	61.5	64.9	69.7
250	-8.6	55.9	59.7	61.2	67.0	69.3	71.0
315	-6.6	57.9	61.7	63.3	67.6	73.1	75.3
400	-4.8	58.4	60.6	63.5	67.9	70.3	74.4
500	-3.2	61.9	64.4	66.9	70.3	73.3	76.0
625	-1.9	66.1	68.9	71.5	74.5	78.1	80.0
800	-0.8	68.4	71.8	74.5	78.1	83.8	85.4
1000	0.0	68.1	72.2	74.8	77.9	84.5	86.7
1250	+0.6	68.1	74.5	77.7	80.9	85.7	87.6
1600	+1.0	66.6	74.9	78.5	80.9	84.0	87.8
2000	+1.2	66.0	73.7	77.4	81.6	84.8	88.2
2500	+1.3	64.5	71.2	74.3	78.3	82.2	85.0
3150	+1.2	61.6	67.1	71.4	73.2	76.7	80.1
4000	+1.0	58.3	62.8	67.5	69.6	73.1	76.7
5000	+0.5	54.4	59.0	63.6	66.4	70.1	73.3
6250	-0.1	51.1	54.9	59.4	62.6	65.9	69.7
8000	-1.1	47.8	50.4	54.9	59.1	62.0	65.8

Tabelle 7.22: Untere Grenzwerte, A-bewertet

Terzband- frequenz	dB(A)- Korrektur	A-bewertete Schallpegel [dB(A)] bei					
		30km/h	50km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h
125	-16.1	54.8	66.9	70.0	68.3	64.7	69.5
160	-13.3	58.1	71.4	73.8	75.3	68.5	71.2
200	-10.9	61.7	74.7	77.3	77.2	72.1	76.5
250	-8.6	67.6	77.7	79.3	81.5	75.5	79.2
315	-6.6	70.8	83.4	85.7	87.7	80.0	82.7
400	-4.8	68.5	78.8	80.3	83.8	79.0	81.0
500	-3.2	72.0	81.1	83.6	87.3	83.4	83.3
625	-1.9	74.8	84.0	86.4	89.8	89.3	88.6
800	-0.8	74.6	86.2	89.2	92.9	91.6	91.9
1000	0.0	74.3	87.9	90.9	94.5	91.9	94.2
1250	+0.6	74.4	85.3	88.4	93.2	94.0	96.4
1600	+1.0	75.8	84.8	88.0	94.9	98.0	99.7
2000	+1.2	72.1	82.2	85.1	91.4	94.9	95.9
2500	+1.3	71.9	80.0	82.8	88.3	91.3	92.1
3150	+1.2	68.1	75.8	78.5	83.8	86.5	88.4
4000	+1.0	65.0	71.8	74.6	81.4	84.1	85.9
5000	+0.5	61.3	67.9	70.7	78.1	81.0	82.3
6250	-0.1	56.8	63.1	65.7	73.6	76.2	77.9
8000	-1.1	53.8	60.1	61.8	69.9	72.4	74.1

Tabelle 7.23: Obere Grenzwerte, A-bewertet

Die Abbildungen 7.6 bis 7.25 zeigen die Terzbandanalysen von Belägen der Gruppen I, II, III und IV. Die Terzbandanalysen der Beläge der oben genannten Gruppen sind für jede Geschwindigkeit auf einer Doppelseite dargestellt. Somit können die verschiedenen Gruppen miteinander verglichen werden.

Bei den Belägen der Gruppe IV wurden nur bis zu einer Geschwindigkeit von 80 km/h Messungen durchgeführt, da sie bisher auf Autobahnen nicht eingebaut wurden.

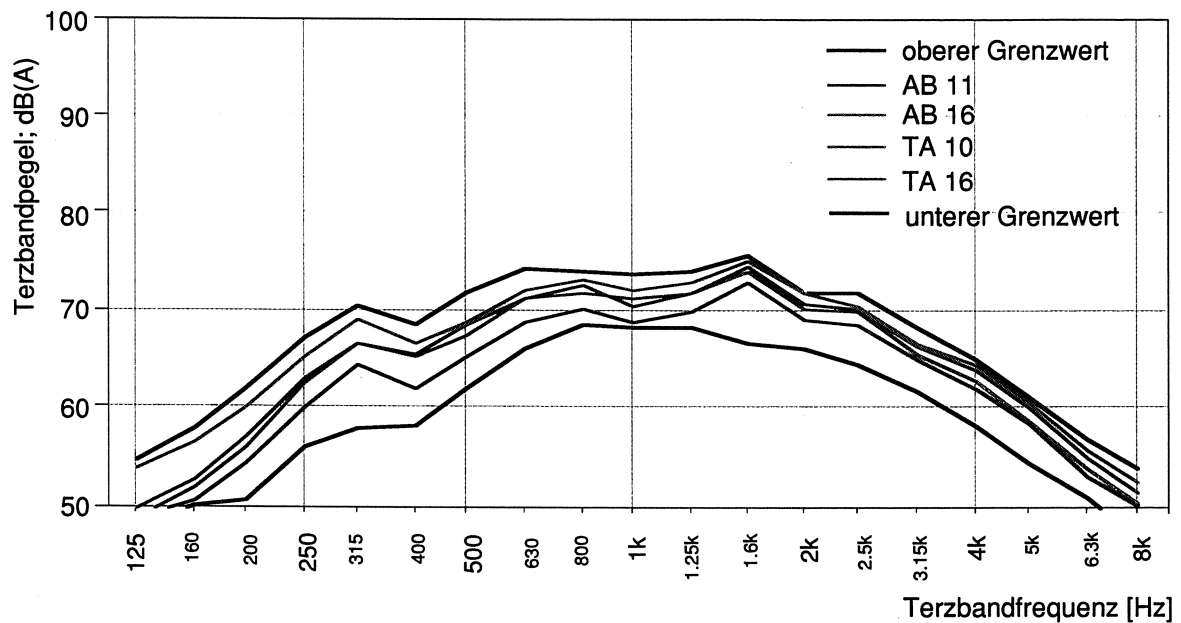
7.6.1 Terzbandanalysen bei $v = 30 \text{ km/h}$ 

Abbildung 7.6: Terzbandanalysen bei 30 km/h, Beläge der Gruppe I

Der AB 16 ist deutlich lauter als der AB 11, zwischen dem TA 10 und TA 16 sind die Unterschiede gering.

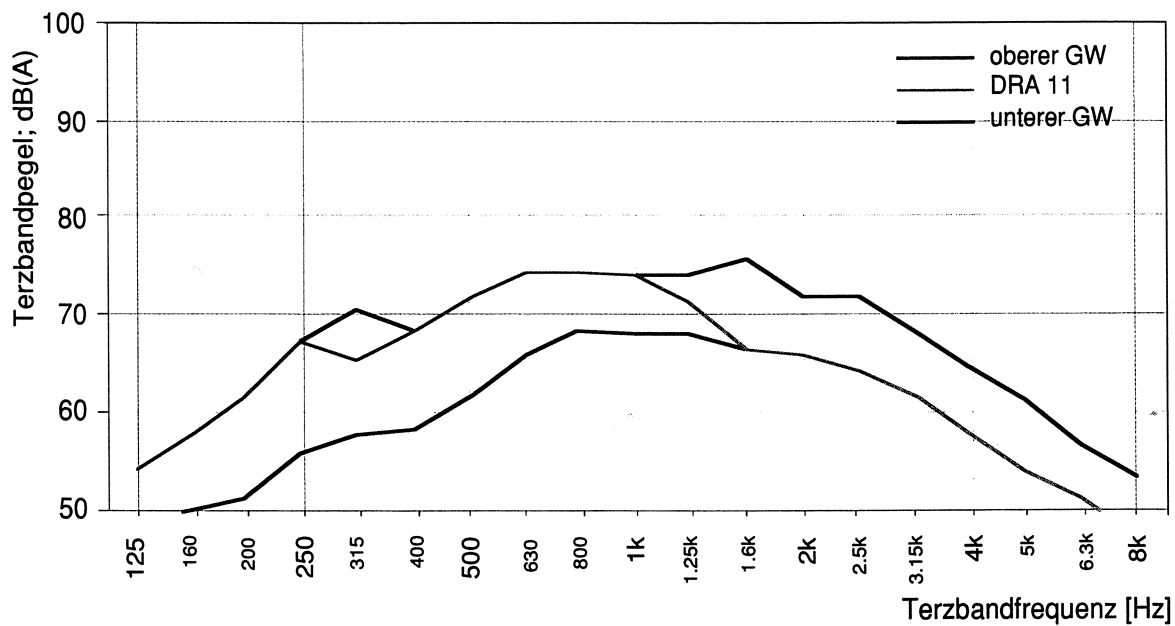


Abbildung 7.7: Terzbandanalysen bei 30 km/h, Beläge der Gruppe III



Abbildung 7.8: Terzbandanalysen bei 30 km/h, Beläge der Gruppe IV
 Der SMA 6 ist deutlich leiser als der SMA 8.

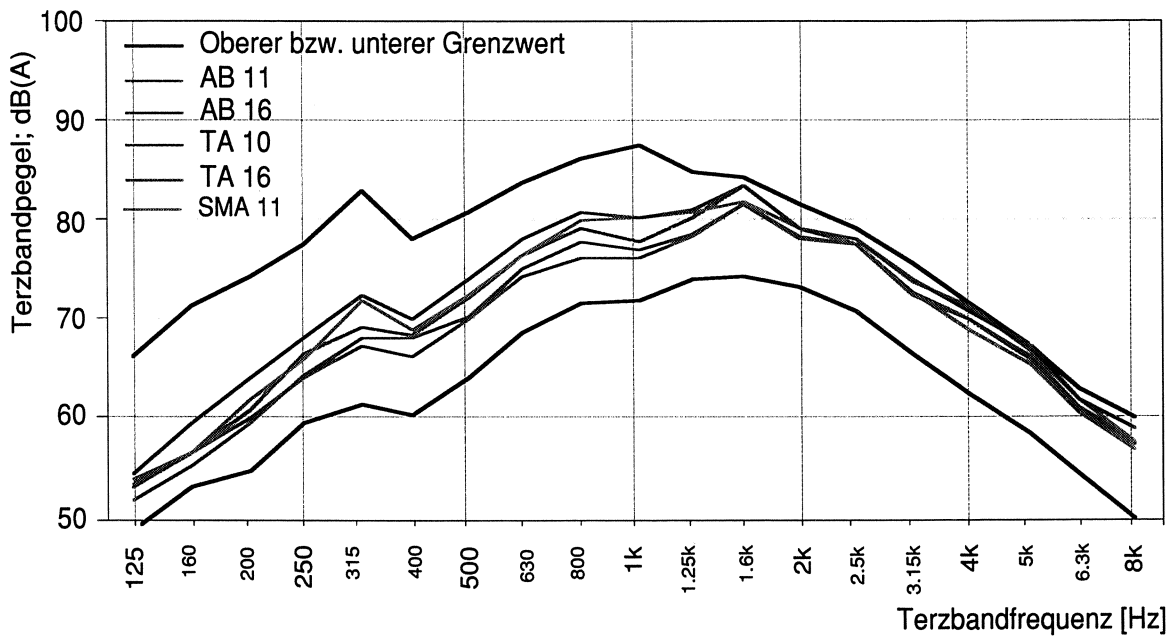
7.6.2 Terzbandanalysen bei $v = 50$ km/h

Abbildung 7.9: Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe I

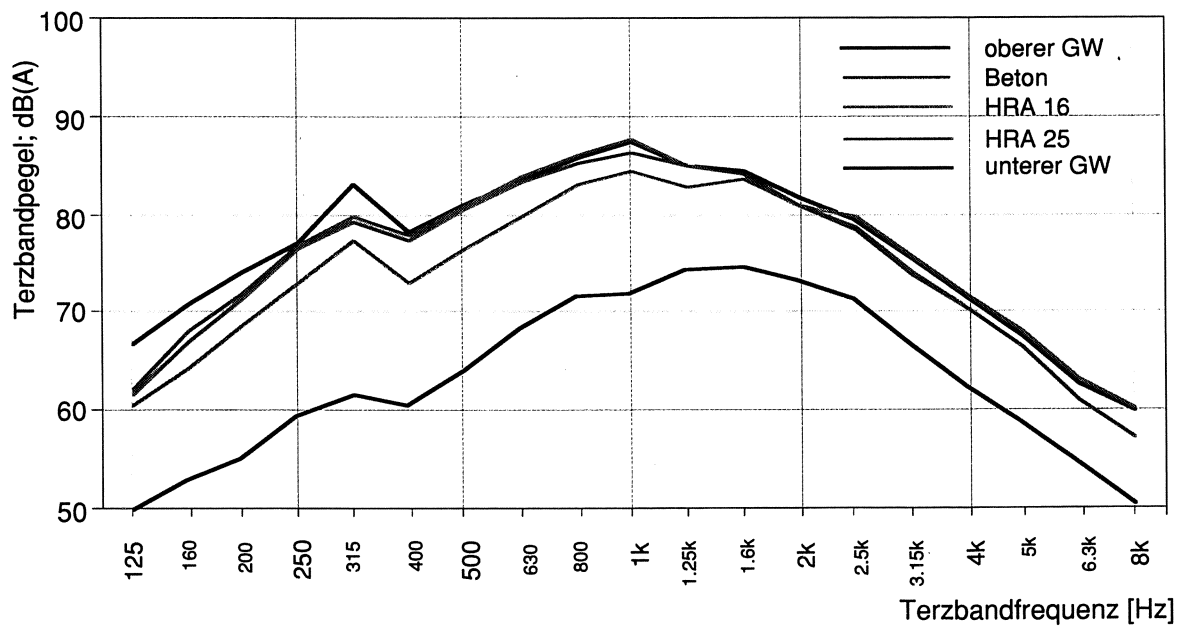


Abbildung 7.10: Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe II

Beim Beton ist der Höchstpegel bei 1 kHz und 1.6 kHz; beim HRA 16 und HRA 25 liegt der Maximalpegel bei 1 kHz. Vom Klang weisen diese Beläge auch Gemeinsamkeiten mit den Belägen der Gruppe III auf.

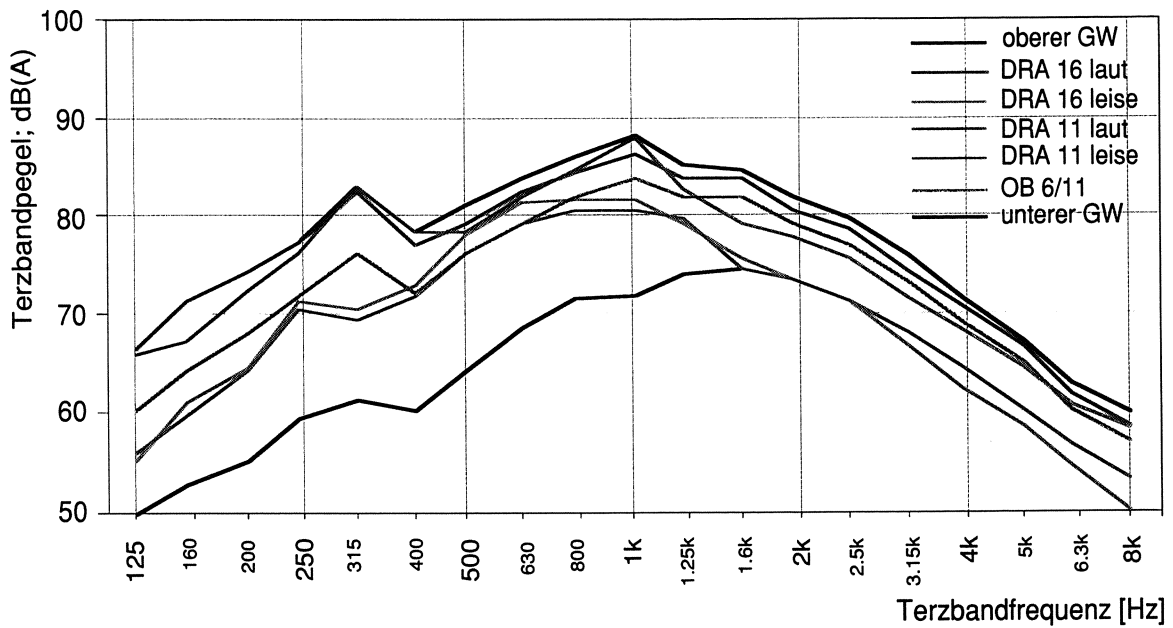


Abbildung 7.11: Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe III
 Zwischen dem DRA 11 und DRA 16 sind die Differenzen gering. Deutliche Differenzen gibt es zwischen neuen und alten Drainbelägen. Der OB 6/11 weist ein ähnliches Terzbandspektrum auf wie alte Drainbeläge.

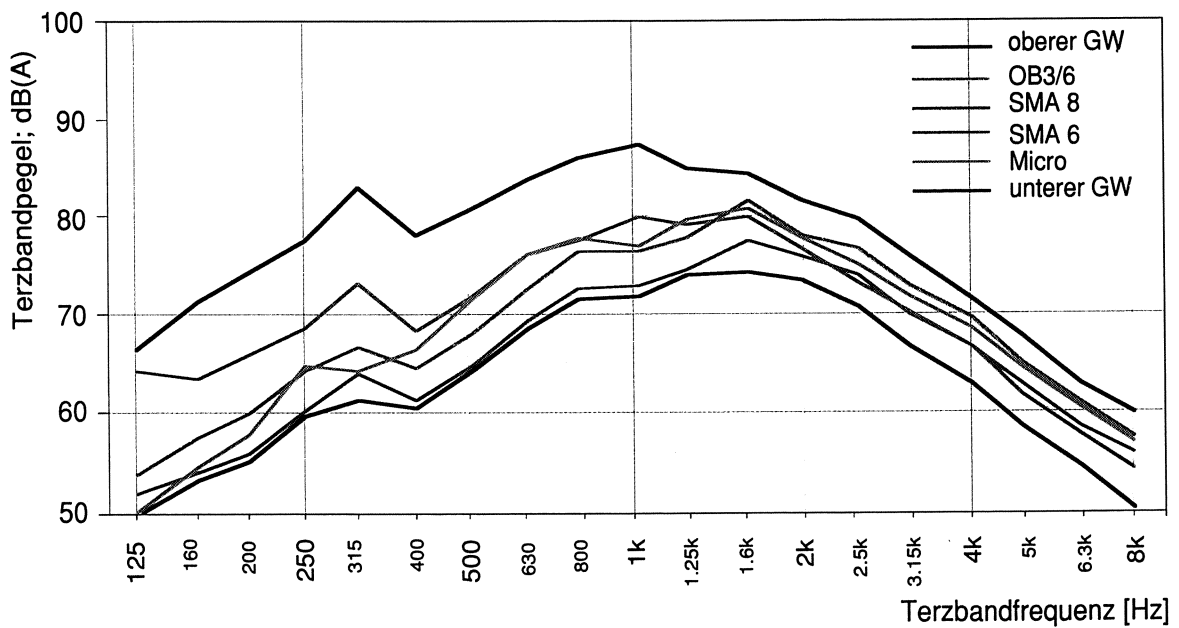


Abbildung 7.12: Terzbandanalysen bei 50 km/h, Beläge der Gruppe IV

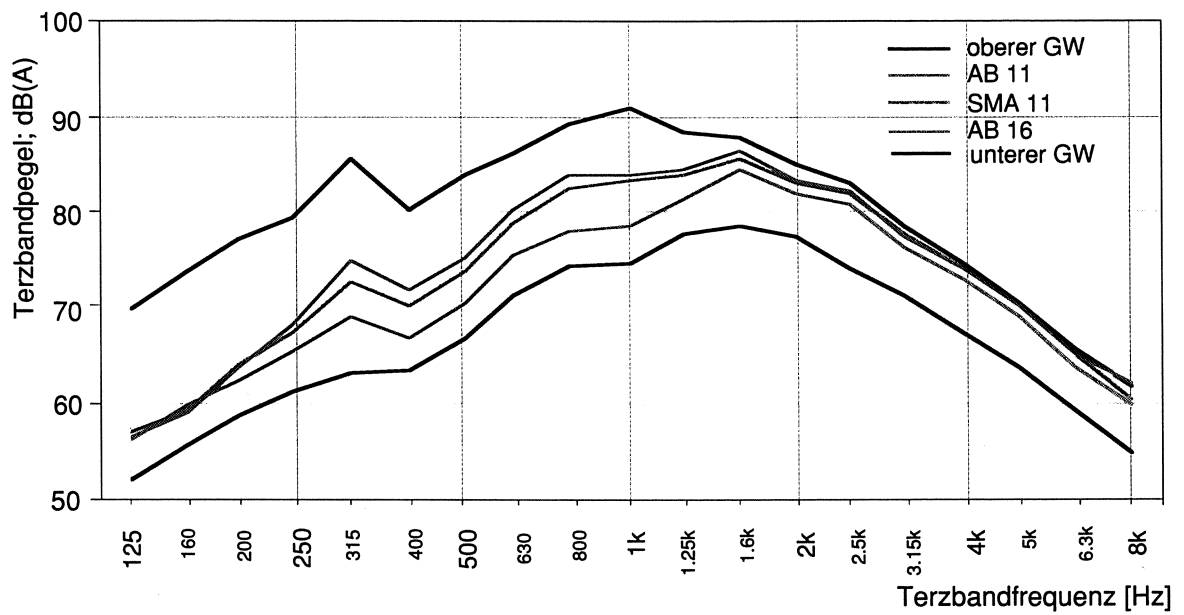
7.6.3 Terzbandanalysen bei $v = 60$ km/h

Abbildung 7.13: Terzbandanalysen bei 60 km/h, Beläge der Gruppe I

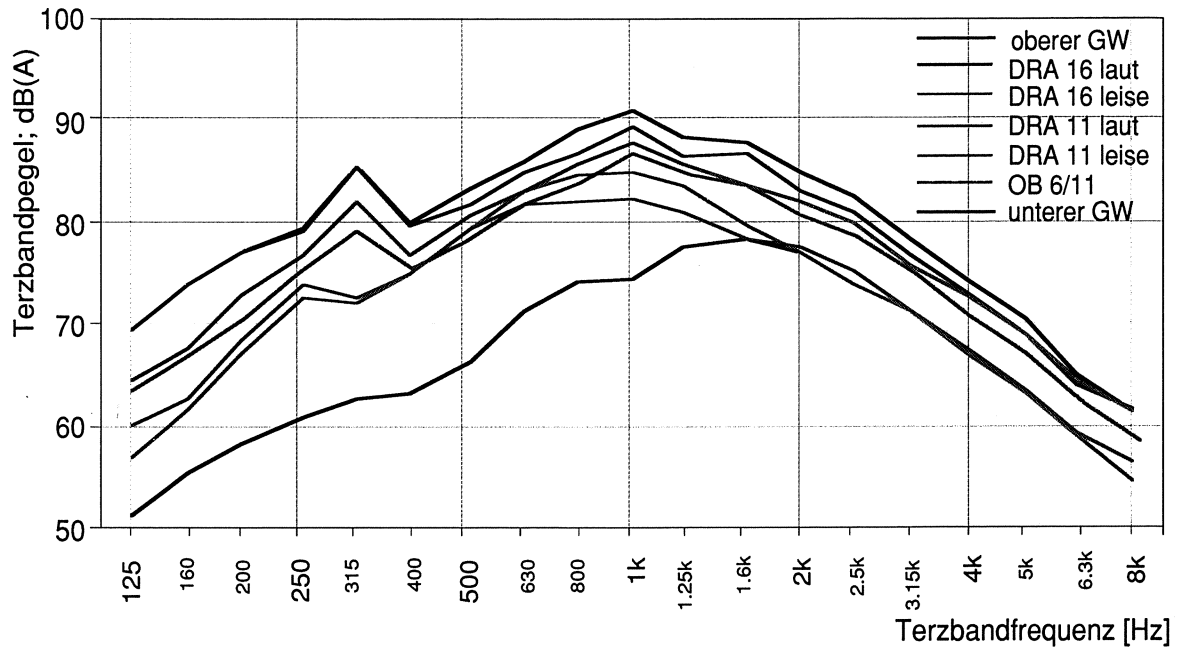


Abbildung 7.14: Terzbandanalysen bei 60 km/h, Beläge der Gruppe III

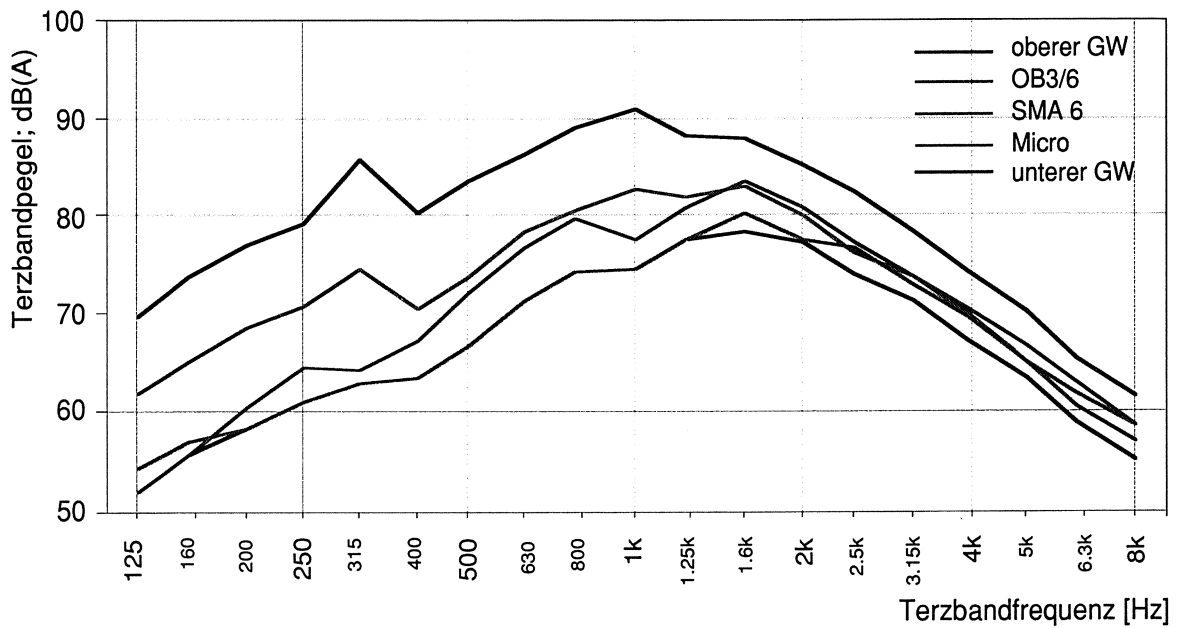


Abbildung 7.15: Terzbandanalysen bei 60 km/h, Beläge der Gruppe IV
 Der SMA 6 ist deutlich leiser als der OB 3/6 und der Mikrobelag.

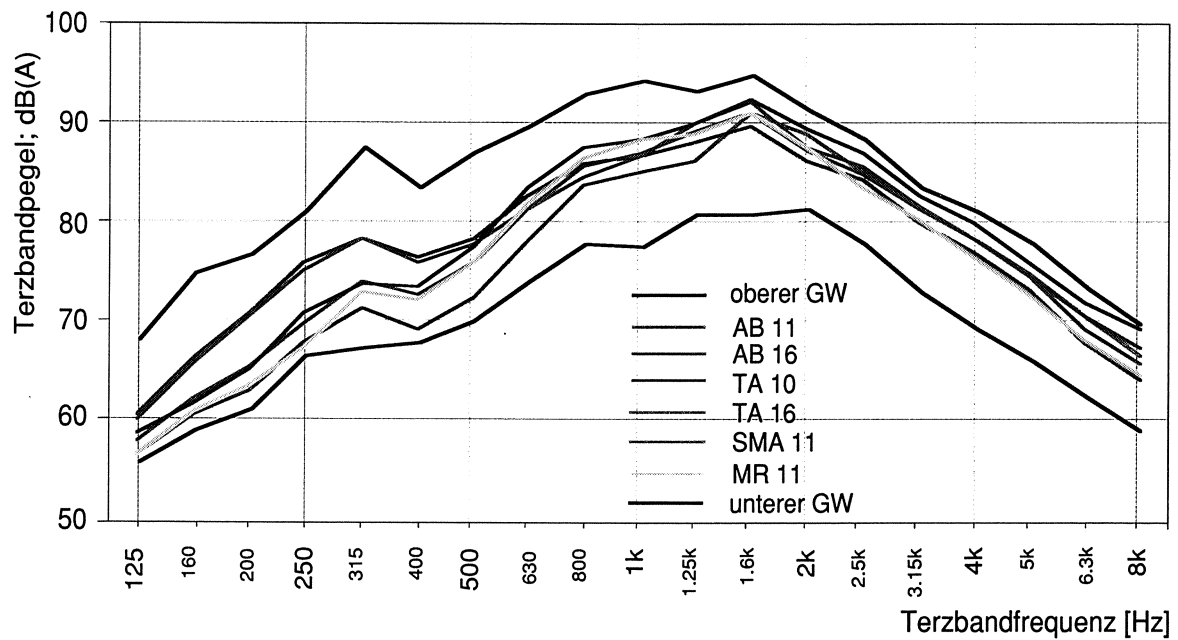
7.6.4 Terzbandanalysen bei $v = 80$ km/h

Abbildung 7.16: Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe I

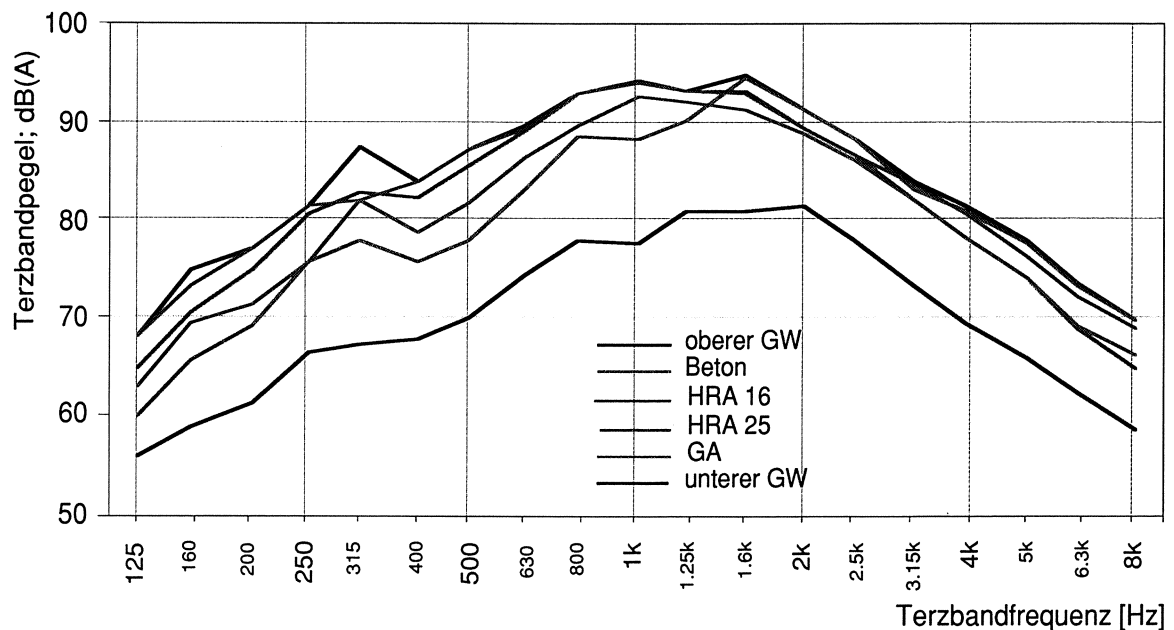


Abbildung 7.17: Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe II

Beim Beton liegt das Pegelmaximum, wie bei den Belägen der Gruppe I, bei 1.6 kHz; beim GA, HRA 25 und HRA 16 liegt das Maximum bei 1 kHz ähnlich wie bei den Belägen der Gruppe III. Alle Beläge der Gruppe II weisen ein Terzbandspektrum nahe am oberen Grenzwert auf.

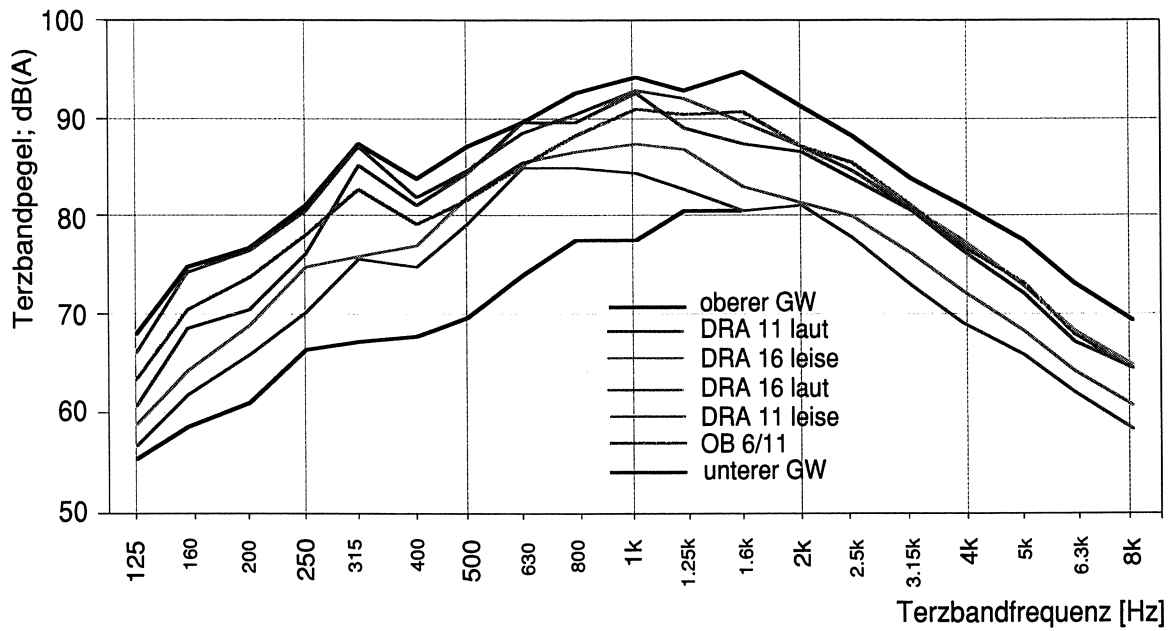


Abbildung 7.18: Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe III

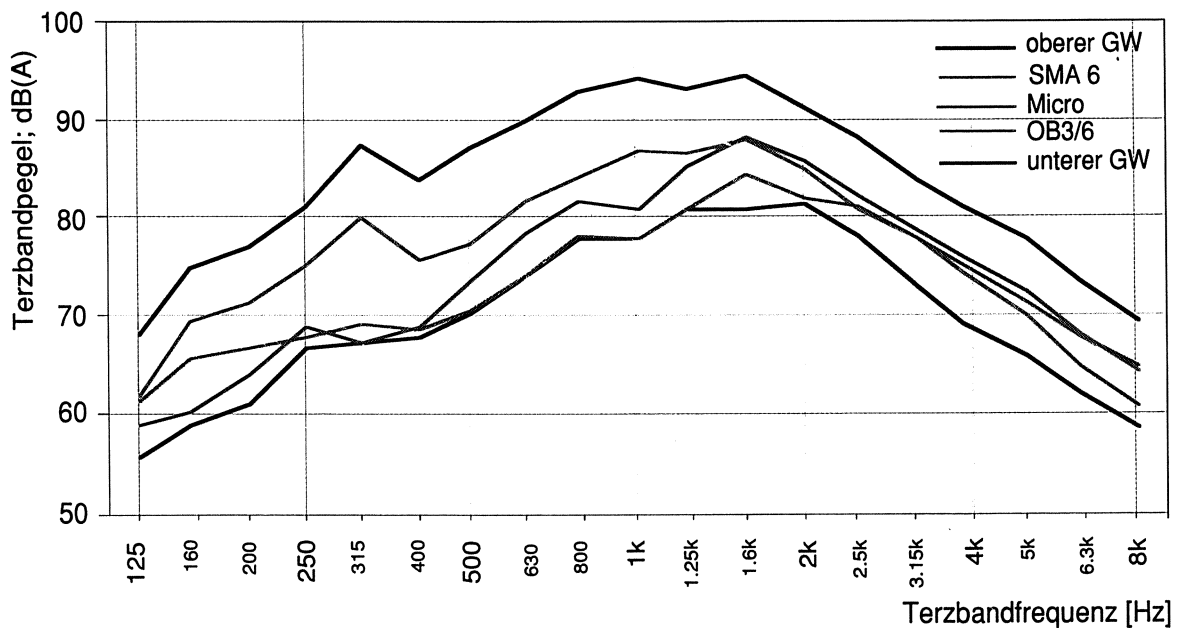


Abbildung 7.19: Terzbandanalysen bei 80 km/h, Beläge der Gruppe IV

7.6.5 Terzbandanalysen bei v = 100 km/h

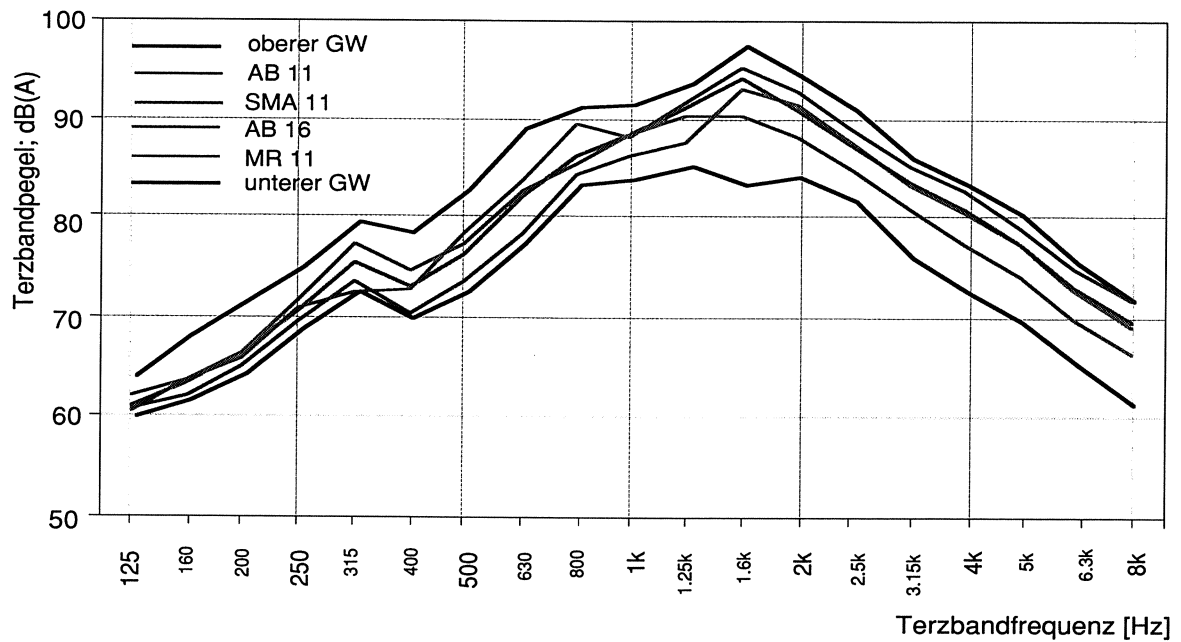


Abbildung 7.20: Terzbandanalysen bei 100 km/h, Beläge der Gruppe I

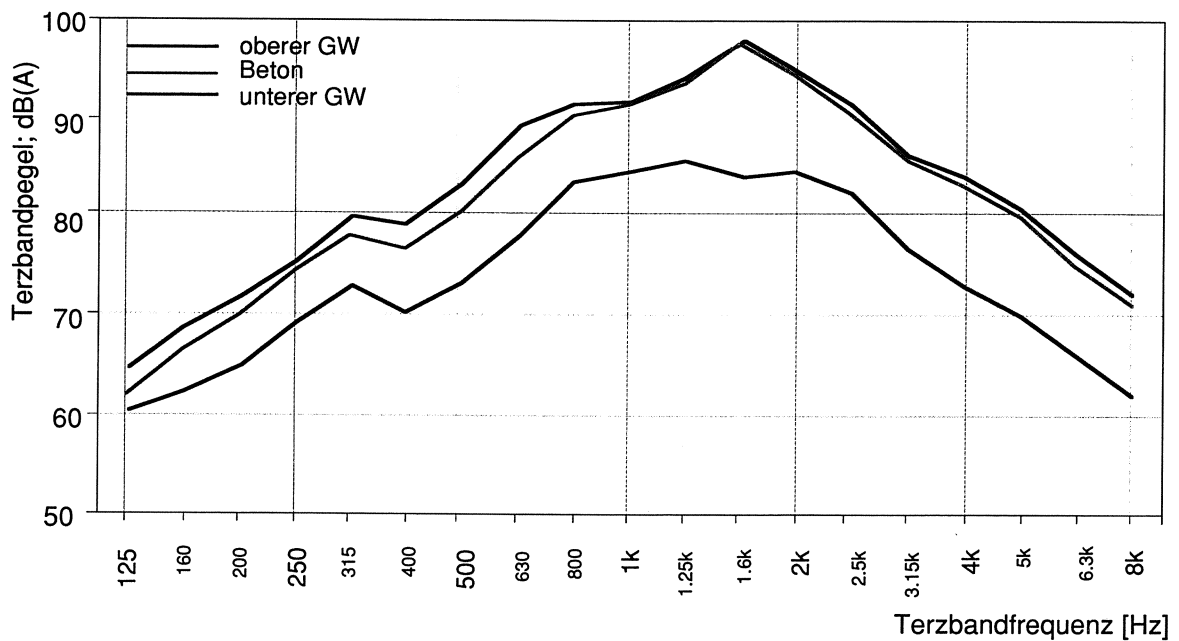


Abbildung 7.21: Terzbandanalysen bei 100 km/h, Beläge der Gruppe II

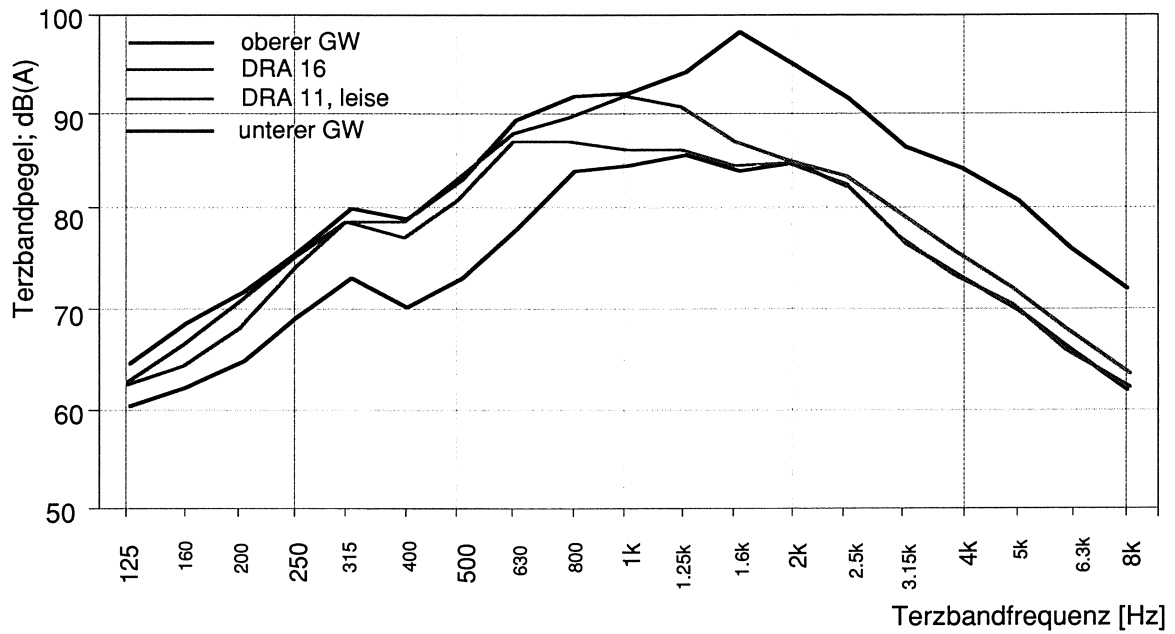


Abbildung 7.22: Terzbandanalysen bei 100 km/h, Beläge der Gruppe III

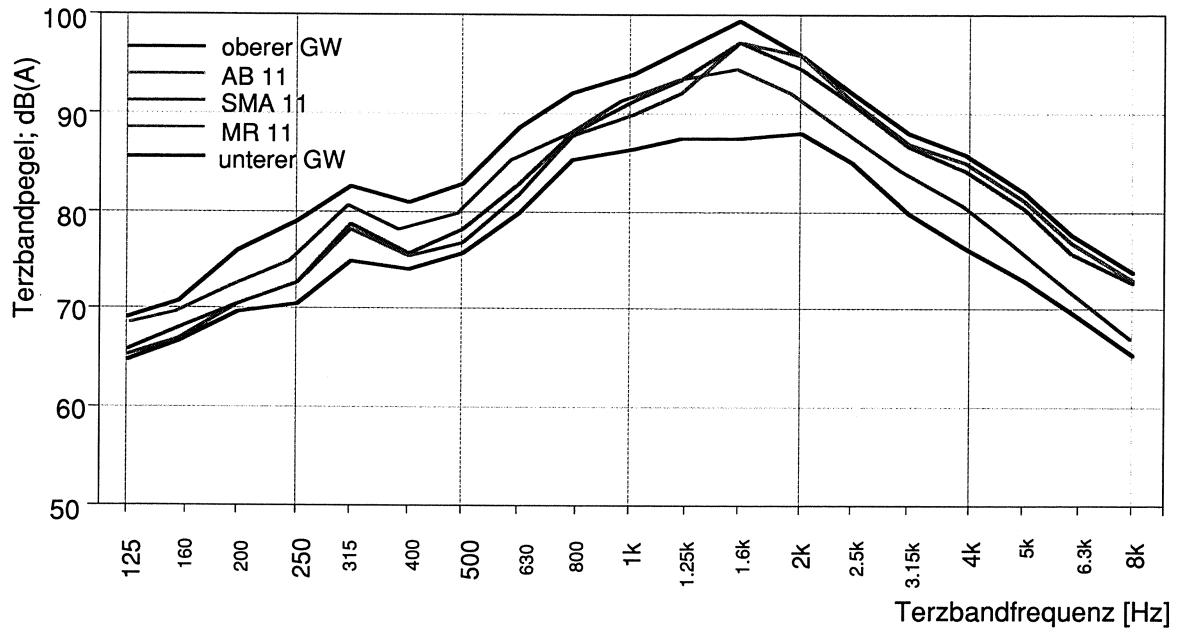
7.6.6 Terzbandanalysen bei $v = 120$ km/h

Abbildung 7.23: Terzbandanalysen bei 120 km/h, Beläge der Gruppe I

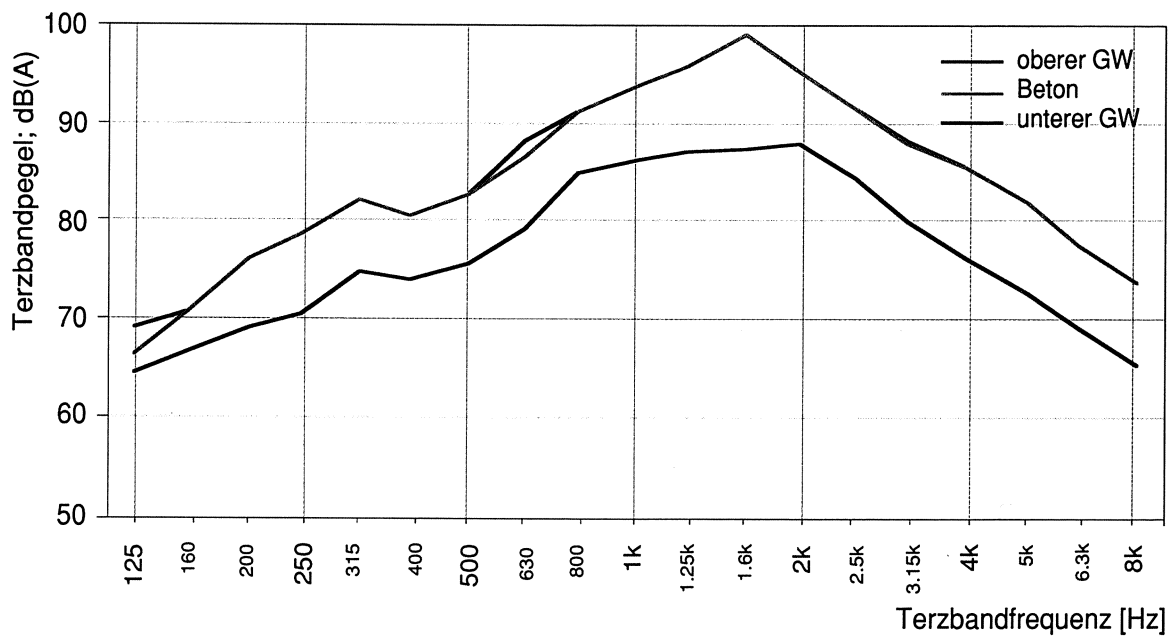


Abbildung 7.24: Terzbandanalysen bei 120 km/h, Beläge der Gruppe II

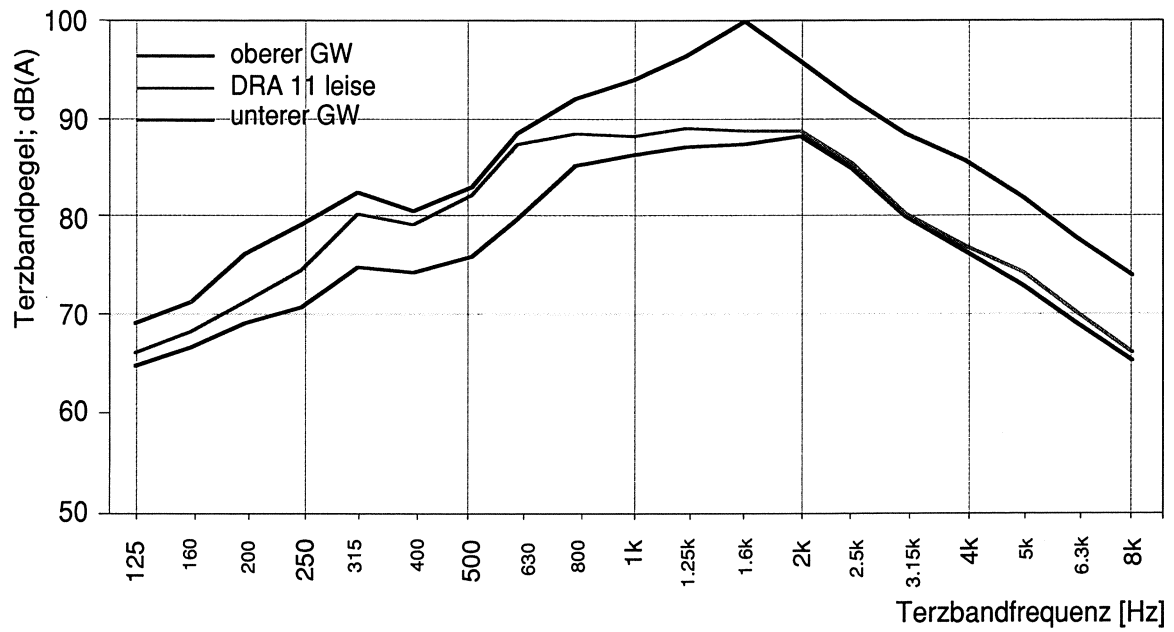


Abbildung 7.25: Terzbandanalysen bei 120 km/h, Beläge der Gruppe III

7.7 Terzbandpegel von hinterem und seitlichem Mikrophon

Bis anhin wurden die Durchschnittswerte beider Terzbandpegel des hinteren und des seitlichen Mikrophons betrachtet. Das Reifengeräusch wird mit zwei Mikrophonen gemessen, die unterschiedlich auf die Geräuschenstehungs- und -ausbreitungsmechanismen reagieren. Während das seitliche Mikrophon direkt die Schallabstrahlung infolge der Schwingungen des rollenden Reifens misst, erfasst das hintere Mikrophon speziell die schallverstärkende Trichterwirkung zwischen Reifenlauffläche und schallhartem Belag, bzw. die Reduktion dieser Trichterwirkung auf schallabsorbierenden Belägen.

7.7.1 Einfluss des Belags

Beim Vergleich aller Beläge zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen den meisten Belägen geringfügig sind. Aufgrund der Schallpegelunterschiede zwischen dem hinteren und dem seitlichen Mikrophon können die Beläge in zwei Kategorien A und B und einige Spezialfälle unterteilt werden.

Kategorie A1 umfasst praktisch alle dichten Beläge der Gruppen I und IV und die Betonbeläge. Die Oberflächenbehandlungen, HRA 16, HRA 25 und GA (Beläge der Kategorie A2) weichen etwas ab und liegen etwas näher bei Kategorie B, die durch die Drainbeläge als offenporige Beläge gebildet wurde. Dabei unterscheiden sich ältere Drainbeläge etwas von den jüngeren.



Abbildung 7.26: Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei dichten Belägen der Kategorie A1 ($v = 80 \text{ km/h}$)
Positive Werte bedeuten einen höheren Terzbandpegel des hinteren Mikrophons.

Abbildung 7.26 zeigt die ähnlich verlaufenden Differenzen für die dichten Beläge der Kategorie A1 (Beton, SMA11, AB 11, AB 16 und SMA 6). Bei den OB-Belägen, HRA 16 und GA (Kategorie A2) verlaufen die Differenzen qualitativ ähnlich, sind aber vor allem im Frequenzbereich um 1 kHz etwas geringer (Abbildung 7.27).

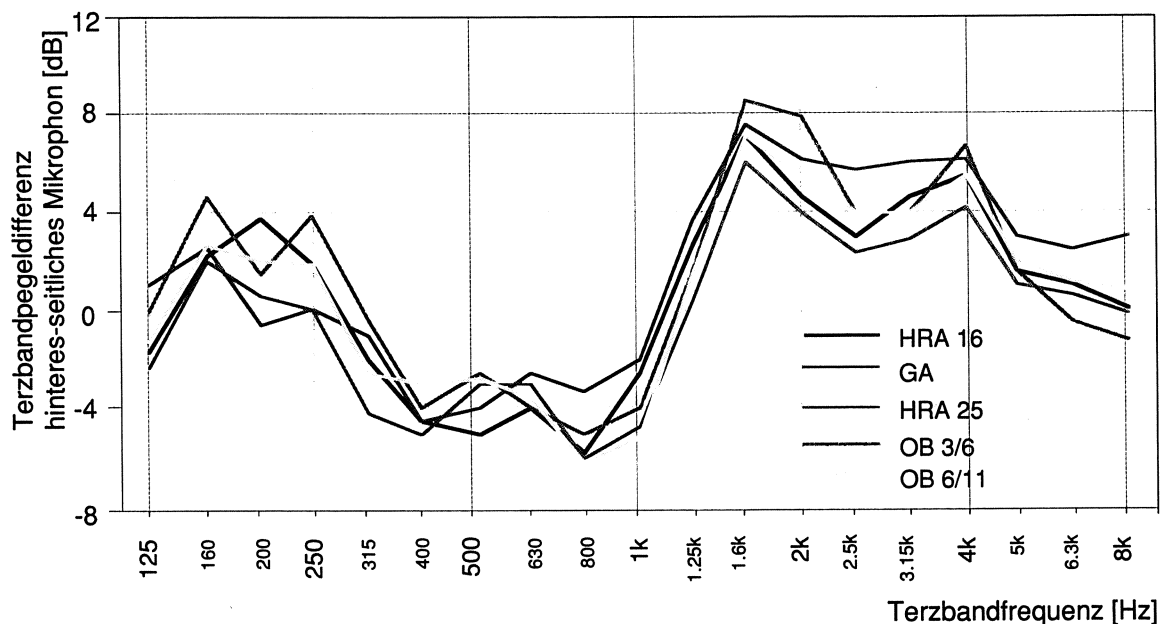


Abbildung 7.27: Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei dichten Belägen der Kategorie A2 ($v = 80$ km/h)

In Abschnitt 5. 4 wurde gezeigt, dass bei einigen Belägen hohe Differenzen zwischen dem hinteren und dem seitlichen Mikrophon auftreten. Dies ist damit zu erklären, dass nur die Terzbänder 800 Hz bis 2.5 kHz massgebend den A-bewerteten Schallpegel beeinflussen (Abschnitt 7.6) und dass gerade die Terzbänder 1.25, 1.6 und 2 kHz eine sehr hohe Terzpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon aufweisen. Dies führt dazu, dass sowohl der dB(A)-Gesamtpegel als auch die A-bewertete Differenz zwischen den beiden Mikrophonen vor allem durch die drei Terzbandpegel 1.25, 1.6 und 2 kHz des hinteren Mikrophons beeinflusst werden.

Abb. 7.28 zeigt die Differenzen zwischen dem seitlichen und dem hinteren Mikrophon bei den offenporigen Belägen (DRA 11 und DRA 16). Zum Vergleich ist diese Differenz noch bei einem dichten Belag (AB 11) dargestellt. Wie aus der Abbildung 7.28 ersichtlich, sind die Differenzen vor allem bei Terzbandpegeln über 1 kHz deutlich geringer. Desweiteren ist die A-bewertete Differenz negativ. Dies ist einerseits auf die geringeren Differenzen bei Terzbandfrequenzen über 1 kHz zurückzuführen, andererseits liegen die für den A-bewerteten Gesamtpegel massgebenden Terzbandfrequenzen bei Drainbelägen zwischen 500 und 1600 Hz. Bei den Terzbändern 500, 630 und 800 Hz ist die Differenz bei allen Belägen negativ.

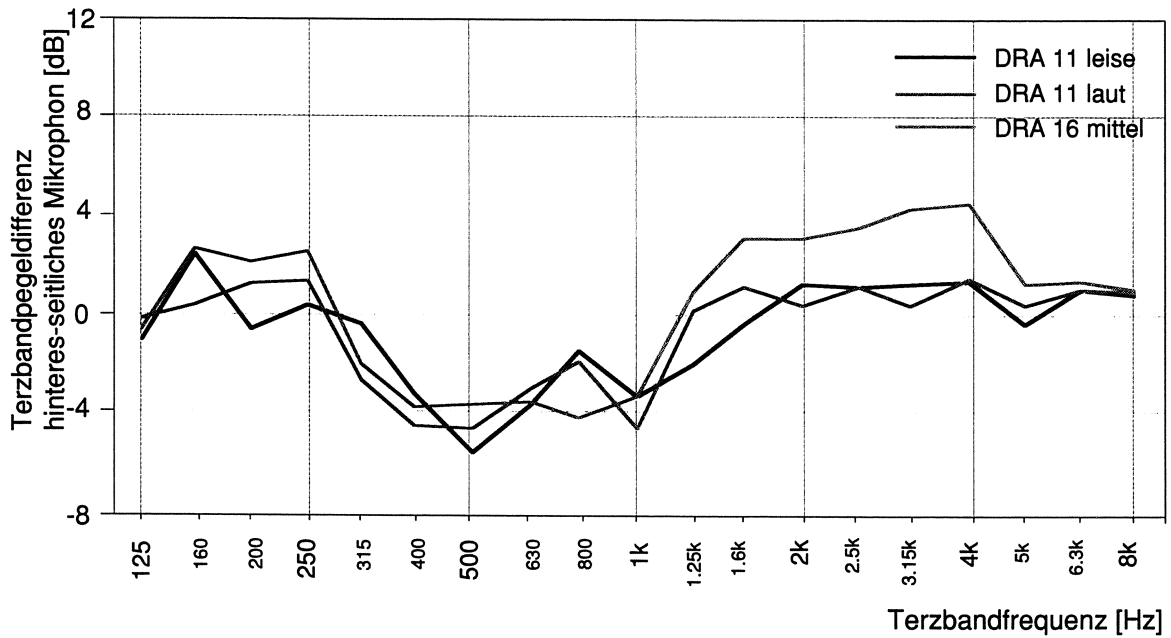


Abbildung 7.28: Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei offenporigen Belägen der Kategorie B ($v = 80$ km/h)
Positive Werte bedeuten einen höheren Terzbandpegel des hinteren Mikrophons.

Ein Spezialfall ist die Pflasterung. Die Terzbandpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon ist über den ganzen Frequenzbereich zwischen - 4 dB und + 4 dB (Abbildung 7.29).

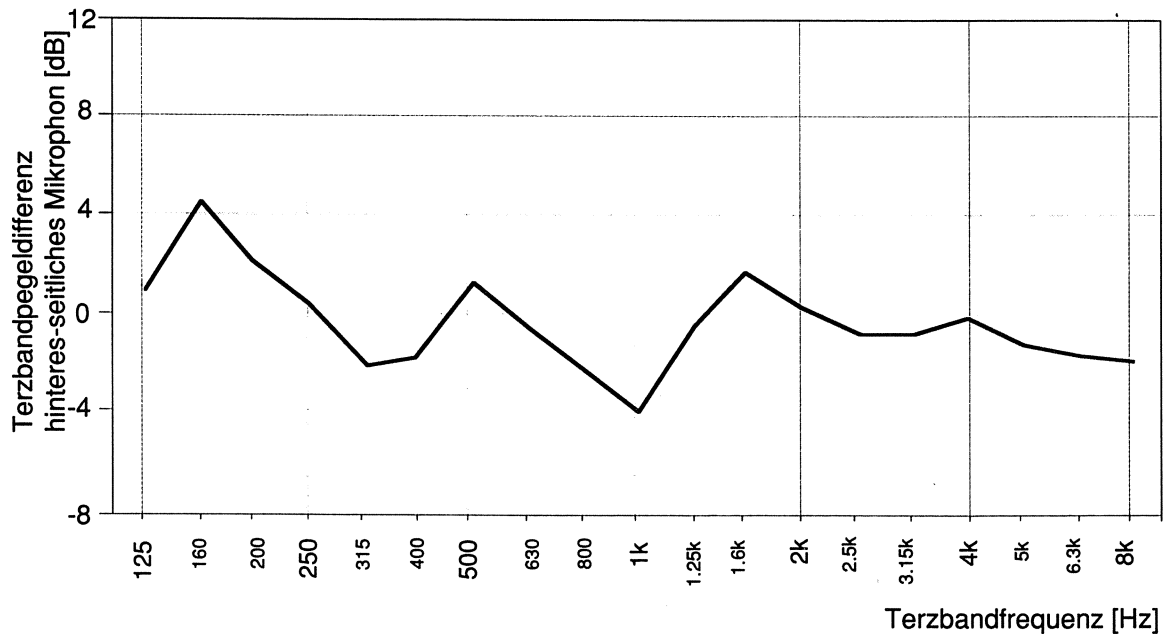


Abbildung 7.29: Differenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei einer Pflasterung ($v = 25$ km/h)
Positive Werte bedeuten einen höheren Terzbandpegel des hinteren Mikrophons.

7.7.2 Einfluss der Geschwindigkeit

In Abhängigkeit der Geschwindigkeit zeigt sich bei den dichten Belägen eine gleichbleibende energetische Schallpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon. Bei den meisten Terzbandfrequenzen ist die Zu- oder Abnahme der Schallpegeldifferenz geringfügig. Bei den Terzbändern 1.25, 1.6 und 2 kHz weitet sich die Differenz bei höherer Geschwindigkeit deutlich aus (Abbildung 7.30). Dies führt zur Ausweitung der A-bewerteten Schallpegeldifferenz, da diese Terzbänder 40 bis 70 % der A-bewerteten Schallintensität ausmachen (siehe Abschnitt 7.14). Die Differenzen bei anderen Terzbandfrequenzen spielen eine untergeordnete Rolle für die A-bewerteten Schallpegel.



Abbildung 7.30: Terzbandpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei AB 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Bei den offenporigen Belägen (Abbildung 7.31) verändern sich die Differenzen ebenfalls nur geringfügig in Abhängigkeit der Geschwindigkeit. Einen grösseren Einfluss dürften, in diesem Zusammenhang, das Belagsalter (Abschnitt 7.9) und die Belagstemperatur (Abschnitt 7.13) haben. Bei Geschwindigkeiten von 100 und 120 km/h sind die Differenzen etwas grösser. Dies ist auch möglicherweise auf das Belagsalter und die Belagstemperatur zurückzuführen.

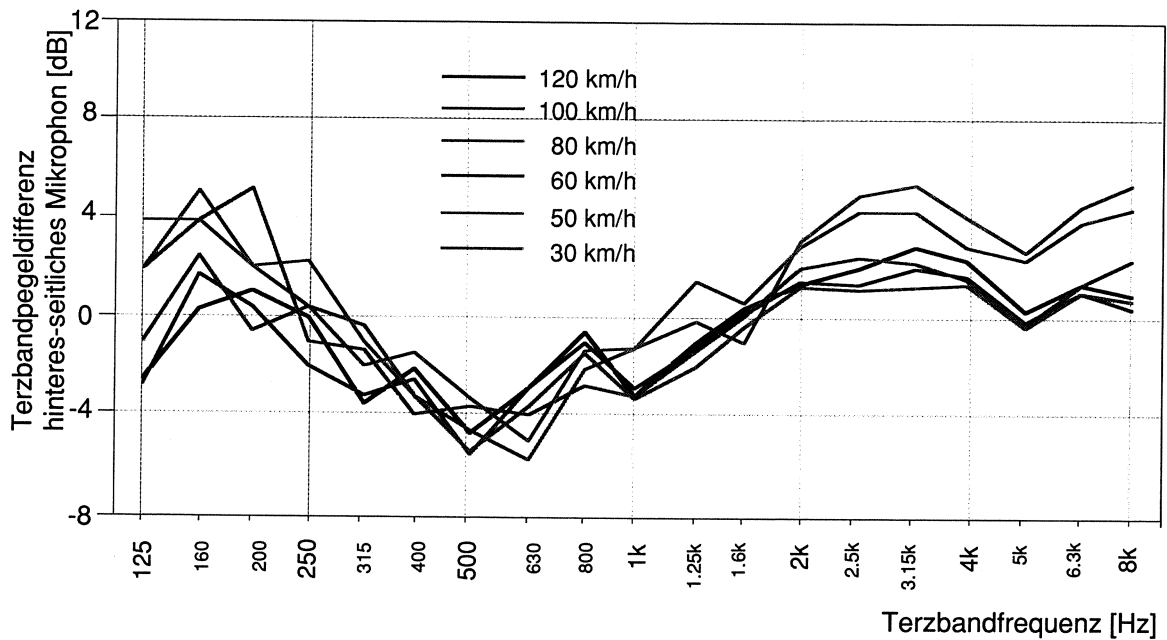


Abbildung 7.31: Terzbandpegeldifferenz zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon bei DR A 11 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

7.8 Einfluss des Mischguttyps

In Abschnitt 6.7 wurde schon auf den erhöhten Lärmpegel beim Mischguttyp S hingewiesen. Dies war besonders auf einem AB 11 bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h ausgeprägt. Bei der Terzbandpegelanalyse ist eine sehr grosse Streuung der einzelnen Messungen zu beobachten.

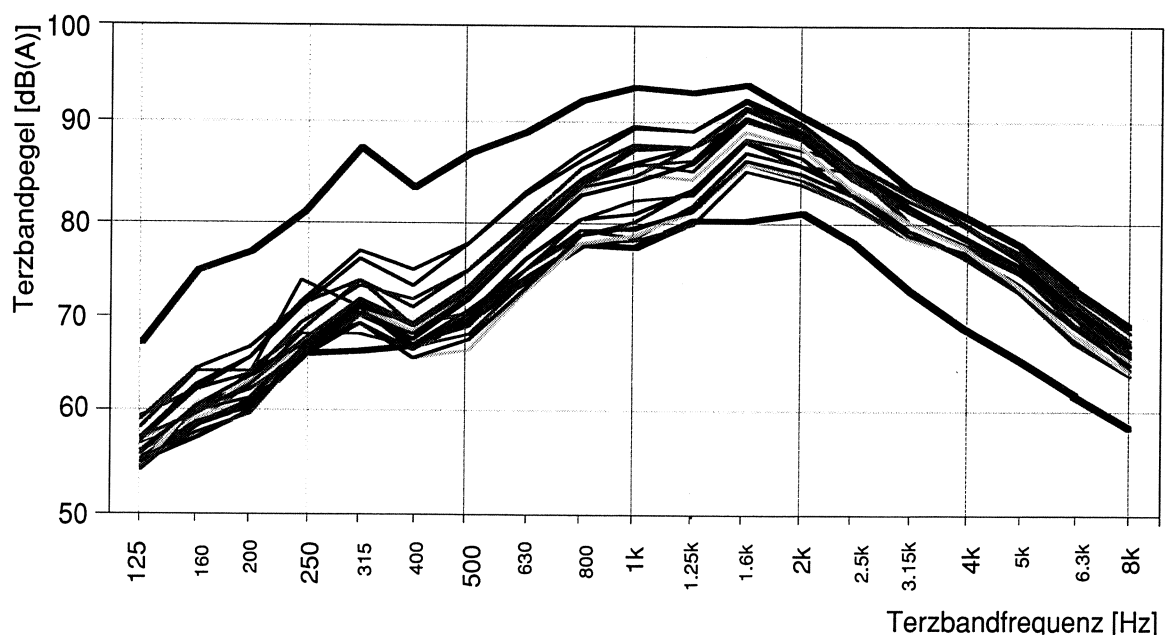


Abbildung 7.32: Terzbandpegel 20 Messungen auf einem AB 11 ($v = 80$ km/h)

Abbildung 7.32 zeigt das Messergebnis von 20 Messungen auf einem AB 11 bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h. Der maximale Terzbandpegel bleibt bei 1.6 kHz nimmt aber Werte zwischen 85 und 91 dB an. Da für die Bestimmung der Grenzwerte die 25 und 75 % Percentile verwendet wurden, unterschreiten einige Messungen den unteren Grenzwert, da der AB 11 zu den leiseren Belägen gehört.

Bei vier Messungen war der Mischgutttyp bekannt. Im folgenden werden die Differenzen zwischen dem Mischgutttyp N und S untersucht.

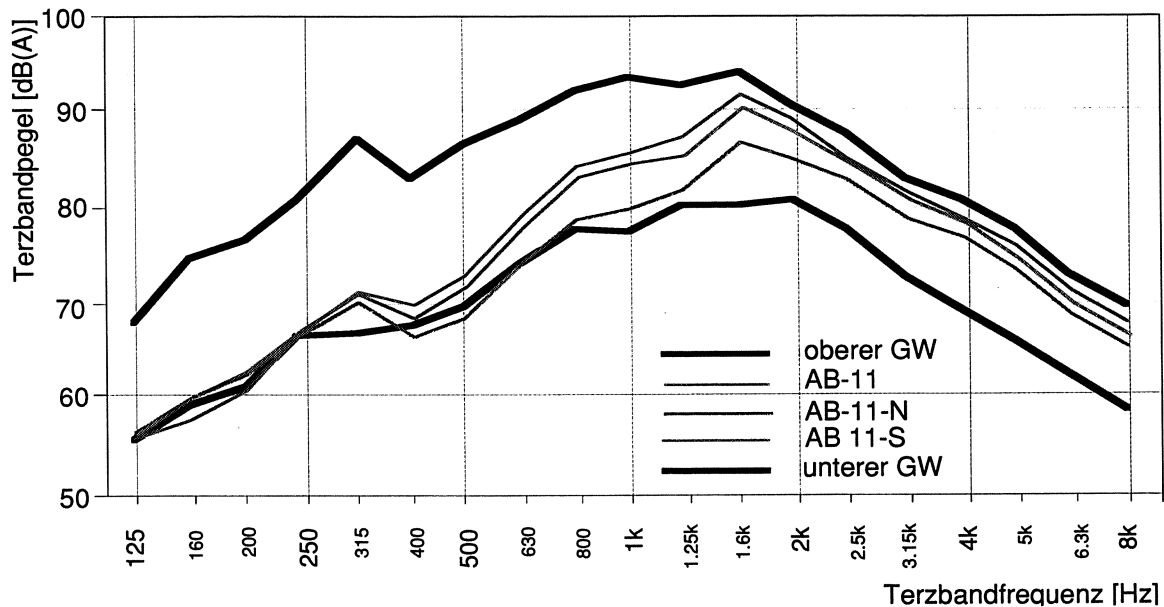


Abbildung 7.33: Vergleich Terzbandpegel AB 11 S und N sowie Mittelwert des AB 11

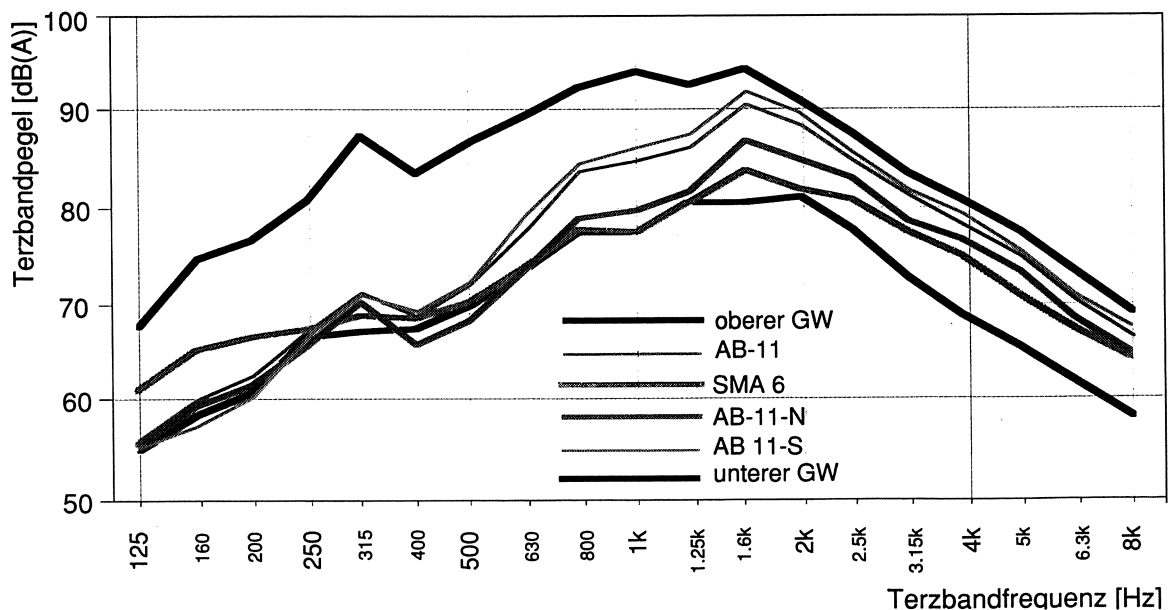


Abbildung 7.34: Vergleich AB 11 N und S mit SMA 6

Abbildung 7.33 zeigt die Lärmpegeldifferenzen aufgrund des Mischguttyps. Das Maximum bleibt bei 1.6 kHz, liegt aber beim Mischguttyp N deutlich tiefer. Wie aus Abbildung 7.34 ersichtlich, ist die Lärmemission des AB 11 N vergleichbar mit derjenige von einem SMA 6.

Aus diesen Ergebnissen kann gefolgert werden, dass die Pegelstreuungen bei den Asphaltbetonbelägen sehr gross sind, welche auf folgende Ursachen zurückgeführt werden können:

- Wahl des Mischguttyps
- Belagstemperatur

Es ist anzumerken, dass beim AB 11 N die Bitumensorte in einem recht grossen Bereich gewählt werden kann und dabei hat die Bitumensorte möglicherweise zum reduzierten Lärmpegel beigetragen. Dies müsste jedoch speziell untersucht werden.

7.9 Einfluss des Belagsalters

Die Oberflächenbeschaffenheit verändert sich mit dem Belagsalter. Dichte Beläge werden durch Abrieb, Schwitzen, Ausmagerung usw. beansprucht. [22]. Bei den Drainbelägen werden die Poren verstopft.

Während die Drainbeläge ein altersabhängiges Lärmverhalten zeigen, konnte bei den dichten Belägen kein deutlicher Unterschied zwischen den Terzbandpegeln der älteren und der jüngeren Beläge festgestellt werden.

Der Einfluss des Belagsalters wurde untersucht, indem Messungen von 1998 mit denjenigen von 1987 verglichen wurden. Die beiden Beläge HRA 25 (dichter Belag) und DRA 11 (offenporiger Belag) wurden 1985 eingebaut. Somit wurden die Lärmemission von 2-jährigen und 13-jährigen Belägen miteinander verglichen. Bei den Messungen von 1987 liegen keine Angaben über die Belagstemperatur vor. Da im allgemeinen nicht bei extrem kalten bzw. warmen Temperaturen gemessen wurde, dürfte sie im Durchschnitt bei etwa 20 – 30° C gelegen haben.

Abbildung 7.35 zeigt die Terzbandpegel der Messungen von 1987 und 1998 auf ein und demselben Belag (HRA 25). Wie aus dieser Abbildung ersichtlich, sind die Differenzen zwischen den Terzbandpegeln von verschiedenem Alter unbedeutend. Die Differenzen zwischen den beiden Pegeln (1987 und 1998) haben möglicherweise andere Ursachen (siehe Abschnitt 7.12).

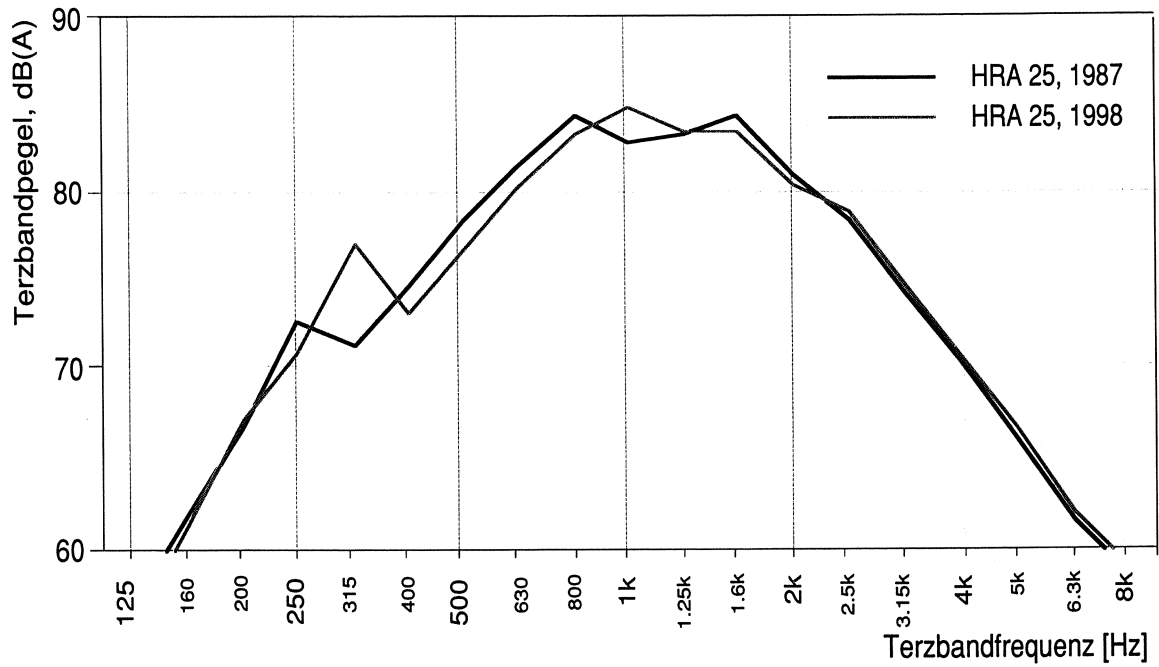


Abbildung 7.35: Vergleich Terzbandpegel HRA 25 zwischen 1987 und 1998

Beim DRA 11 (Abbildung 7.36) liegen die Pegelwerte nach 13 Jahren (DRA 11, 1998) deutlich höher, da die Hohlräume im DRA 11 verstopfen und die absorbierende Wirkung des Hohlraumes teilweise verloren geht.



Abbildung 7.36: Vergleich Terzbandpegel DRA 11 zwischen 1987 und 1998

Wie aus der Abbildung 7.36 ersichtlich, beträgt die Terzbandpegelzunahme für Frequenzen über 1 kHz 4 bis 6 dB. Bei tiefen Frequenzen ist die Terzbandpegelzunahme im allgemeinen etwas geringer.

7.10 Einfluss der Messspur

Im folgenden werden die Lärmemissionen in der Rad- und Fahrspur sowie diejenigen der Überhol- und der Normalspur miteinander verglichen. Die Begriffe sind in Abbildung 7.37 erläutert.

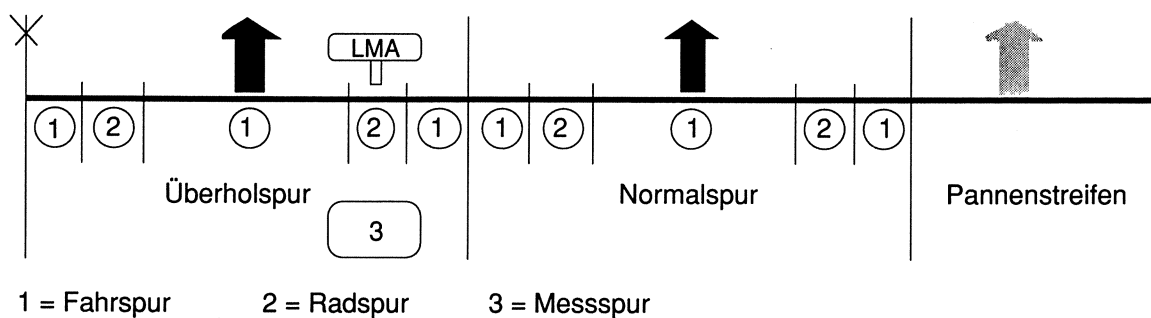


Abbildung 7.37: Definitionen verschiedener Begriffe

Legende: Messspur = Fahrlinie des AIPCR-Reifens des Lärmessanhängers LMA

Die Fahrbahnoberfläche wird im Querschnitt unterschiedlich beansprucht. In den Radspuren der Lastwagen entstehen infolge der hohen Achslasten Spurrinnen und die Belagsoberfläche wird abgerieben. Die Textur dürfte sich in den Radspuren von den anderen Stellen im Querschnitt unterscheiden und somit auch die Lärmemissionen. Die Lärmemissionen wurden meist in der Radspur gemessen. Es ist zu beachten, dass Personenwagen einen anderen Radstand aufweisen als Lastwagen, folglich fahren viele Personenwagen nur mit einem Rad in der von den Lastwagen gebildeten Radspur. Trotzdem ist die Radspur massgebend, da die Lärmemission der Fahrzeuge, die in der Radspur fahren im allgemeinen grösser ist als diejenige der Fahrzeuge die ausserhalb der Radspuren fahren. Somit ist es sinnvoll die Lärmemissionen der Beläge in der Radspur miteinander zu vergleichen.

Abbildung 7.35 zeigt die Terzbandpegeldifferenzen zwischen der Fahrspur und der Radspur für einen offenporigen und einen dichten Belag. Bei beiden Belagstypen sind die Lärmemissionen ausserhalb der Radspur geringer. Beim Drainbelag ergaben sich deutliche Differenzen vor allem im Frequenzbereich unter 1 kHz. Beim Asphaltbeton war die Differenz weniger eindeutig. Bei tiefen Frequenzen ist die Lärmemission höher. Im für den dB(A)-Pegel massgebenden mittleren Frequenzbereich ist die Lärmemission geringer.

Die Terzbandpegeldifferenzen zwischen einem jungen und einem alten Drainbelag (Abschnitt 7.8) weisen einen ähnlichen Verlauf auf. Der Drainbelag verliert demnach seine Schallabsorptionseigenschaften zuerst in der Radspur. Zu beachten ist, dass weil die Terzbandfrequenzen zwischen 1 und 2 kHz den grössten Beitrag zum Gesamtpegel leisten, sind die grossen Differenzen im tieferen Frequenzbereich von untergeordneter Bedeutung (vgl. Abbildung 7.38, Terzbandpegeldifferenzen im Bereich 125 Hz bis 1 kHz).

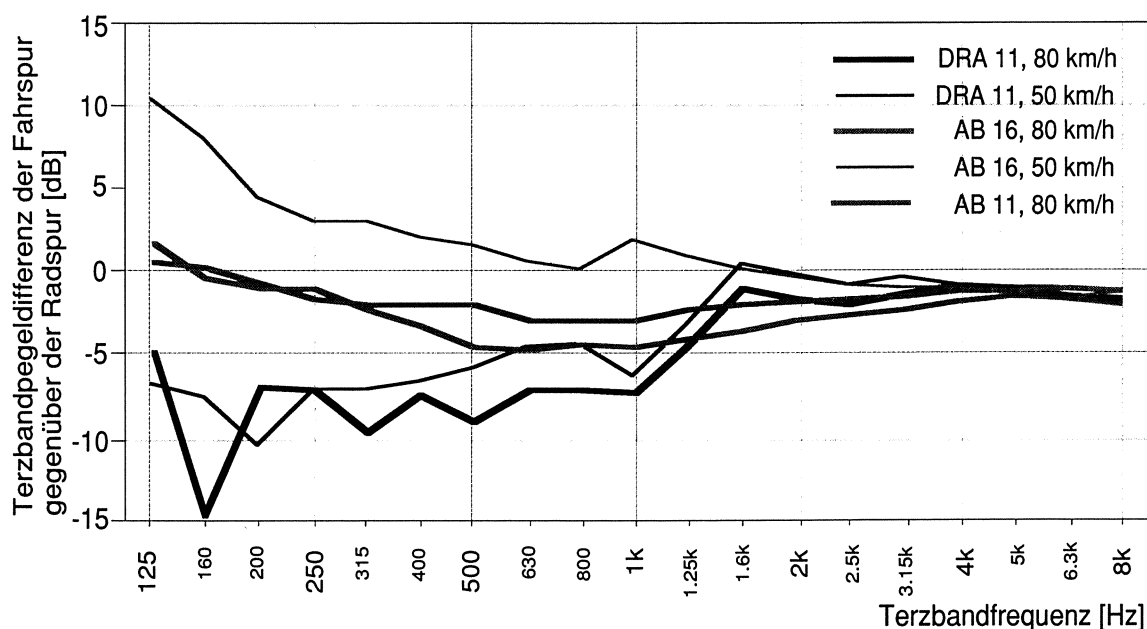


Abbildung 7.38: Terzbandpegeldifferenz zwischen der Fahrspur und der Radspur für einen neuen Drainbelag sowie Asphaltbetonbeläge

Auf Autobahnstrecken werden die Spuren in unterschiedlichem Masse belastet. Auf der Normalspur fahren vor allem die Lastwagen und beanspruchen die Oberfläche des Belages und dessen Textur. Die Überholspur wird seltener von Lastwagen benützt und wenn, dann dürften es eher diejenigen mit geringerem Gewicht sein.

Abbildung 7.39 zeigt die Differenz der Terzbandpegel der Messungen auf Überhol- und Normalspur der dichten Beläge SMA 11 und AB 11 sowie diejenige des offenporigen DRA 11 bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten. Da nur eine beschränkte Anzahl Terzbandanalysen durchgeführt wurden, sind die dargestellten Differenzen als Beispiele zu verstehen.

Beim DRA 11 ist der Pegel auf der Überholspur geringfügig leiser, dies dürfte eine Folge der geringeren Beanspruchung des Drainbelags sein. Beim AB 11 (Abbildung 7.39, dünn durchgezogene Linie) sowie beim SMA 11 (Abbildung 7.39, dick ausgezogene Linie) sind die Differenzen uneinheitlich. Bei einem zufällig ausgewählten AB 11, sind die Lärmemissionen auf der Überholspur grösser als diejenigen auf der Normalspur. Bei einem

anderen hier nicht aufgeführten AB 11 war die Überholspur leiser. Auf dichten Belägen dürfte im allgemeinen der Pegel auf der Überholspur sich nur unwesentlich von demjenigen von der Normalspur unterscheiden. Auch ist es möglich, dass bei den Messungen mit dem Lärmmessanhänger nicht immer in der Radspur gemessen wurde, da auf der Überholspur die Radspuren schlechter erkennbar sind.

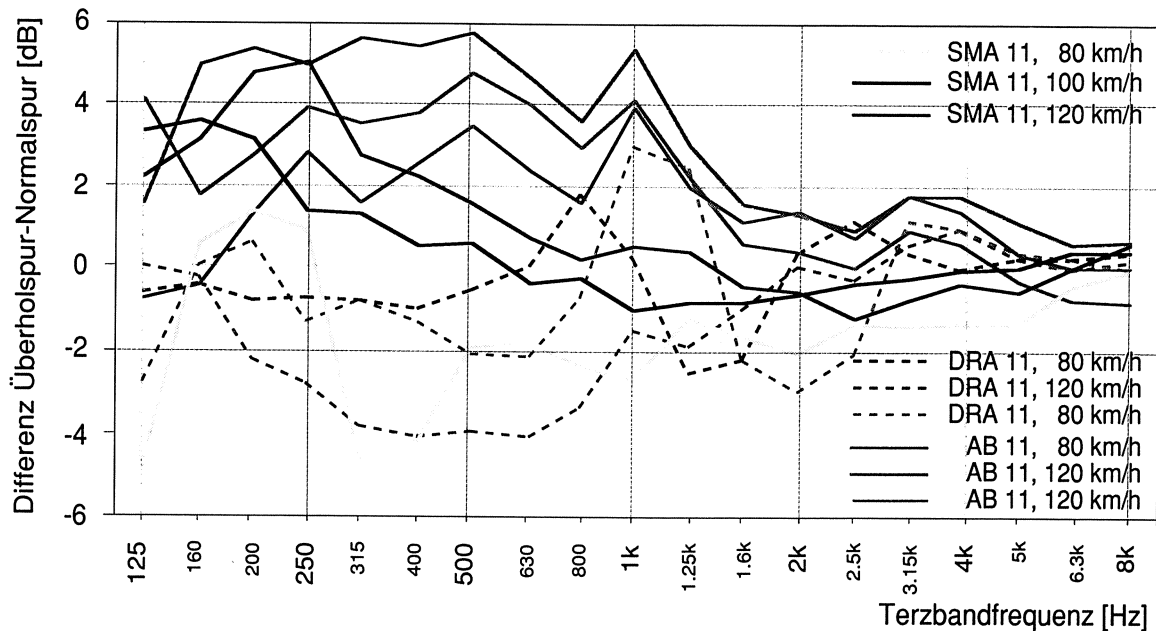


Abbildung 7.39: Vergleich Terzbandpegeldifferenz zwischen Überhol- und Normalspur

Positive Werte entsprechen einem höheren Pegel auf der Überholspur.

7.11 Linienführung, Lärmpegel in Kurven

Neben der Normalkraft (vertikale Kraft) wirken noch aufgrund der Zentrifugalkräfte, Rollreibung und Hangabtriebskräfte horizontale Kräfte auf die Reifen durch die Längs- und Querneigung der Fahrbahn. Abbildung 7.40 zeigt die auf die Reifen wirkenden Kräfte.

Bei Kurven mit den Minimalradien bei einer bestimmten Projektierungsgeschwindigkeit [11] sind die Zentrifugalkräfte deutlich grösser als die anderen horizontal wirkenden Kräfte. Dies führt zu einer Beeinflussung des Schallpegels.

Z = Fliehkraft
 G = Gewicht des Fahrzeugs
 α = Winkel der schiefe Ebene
 R_K = Reibungskraft

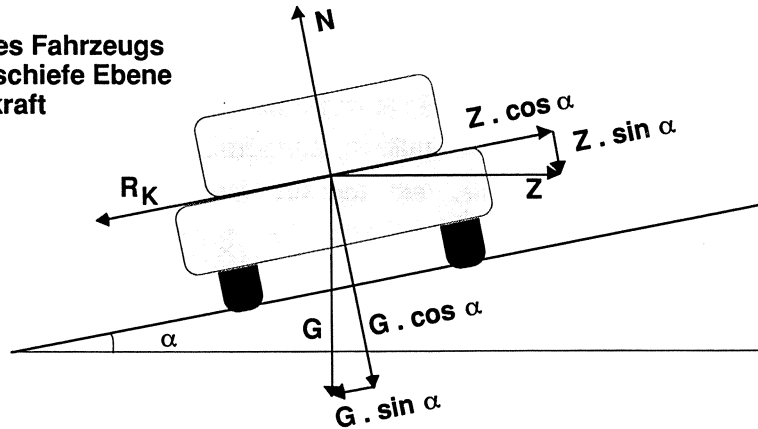


Abbildung 7.40: Wirkende Kräfte auf das Fahrzeug in einer Kurve

Auf zwei Strecken mit einem DRA 11 (13 Jahre alt) und einem SMA 6 (2 Jahre alt) wurden auf einem geraden und einem kurvigen Teilstück Messungen durchgeführt und die Resultate miteinander verglichen (Abbildung 7.41).

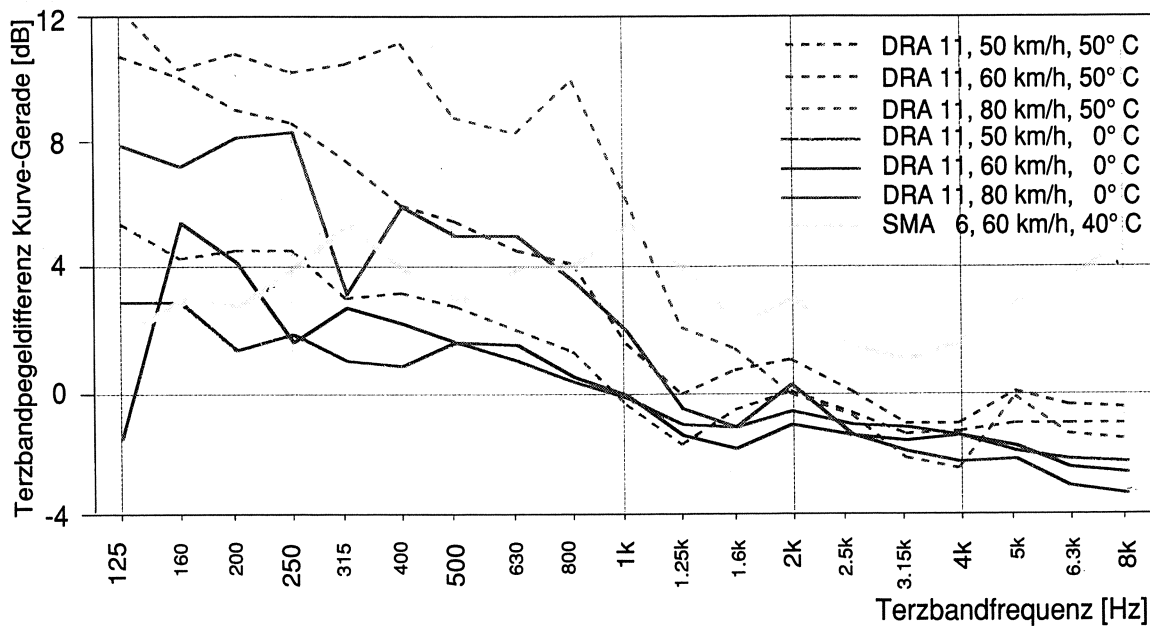


Abbildung 7.41: Vergleich der Terzbandpegeldifferenzen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Temperatur in einer Kurve und dem nachfolgenden geraden Streckenabschnitt

Positive Werte entsprechen einem höheren Terzbandpegel in einer Kurve.

Beim DRA 11 sind die Terzbandpegeldifferenzen zwischen den Messungen in einer Geraden und in einer Kurve mit einem Radius von etwa 250 m für drei verschiedene Geschwindigkeiten dargestellt. In Abhängigkeit der Geschwindigkeit wirken in der Kurve Querbewegungen von etwa 2.0 m/s² bei 80 km/h, 1.1 m/s² bei 60 km/h und 0.8 m/s²

bei 50 km/h auf das Fahrzeug. Für die erhöhten Lärmemissionen dürfte die Querbeschleunigung massgebend sein. Die Messungen wurden bei 0 sowie 50° C durchgeführt. Die Terzbandpegeldifferenz ist stark von der Frequenz abhängig und nimmt mit der Zunahme der Geschwindigkeit deutlich zu. Bei hohen Belagstemperaturen und Querbeschleunigungen von 2.0 m/s² beträgt die Differenz 8 bis 12 dB bei den Terzbändern unter 800 Hz (Abbildung 7.41).

Auf dem SMA 6 ergab sich ein etwas anderes Resultat. Dies gilt sowohl für den Gesamtpegel als auch für die Teilpegel des hinteren und des seitlichen Mikrophons. Die Pegelzunahme erstreckt sich über den gesamten Frequenzbereich (gelbe Linie in Abbildung 7.41). Auf dem SMA 6 wurde mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h gemessen. Dies führte aufgrund des kleineren Kurvenradius zu einer ähnlichen Querbeschleunigung wie beim Drainbelag mit einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h.

Die Pegelzunahme ist etwa in beiden Richtungen dieselbe. Dieses Resultat war nicht unbedingt zu erwarten, da das seitliche Mikrophon nur auf einer Seite des Rades misst. Daraus lässt sich folgern, dass die erhöhten Lärmemissionen vom ganzen Reifenkörper herrühren. Dabei ist zu beachten, dass der AIPCR Reifen lediglich vier Längsrillen und keine weitere Profilierung aufweist. Für genauere Beurteilung der tatsächlichen Verhältnisse müssten diese Vergleichsmessungen auch mit anderen Reifen durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 7.14).

Zusammengefasst, sind in Kurven deutlich höhere Lärmemissionen zu erwarten. Beim Drainbelag steigen die Lärmemissionen vor allem im Bereich von tieferen Frequenzen; bei dichten Belägen ist mit einem Pegelanstieg über den ganzen Frequenzbereich zu rechnen. Bei beiden Belagstypen muss in Kurvenradien mit den Minimalradien [11] mit einem Pegelanstieg von zirka 3 dB(A) gerechnet werden.

7.12 Einfluss der Geschwindigkeit

Im Abschnitt 6.1 wurde der A-bewertete Schallpegel in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit analysiert. Im folgenden wird davon ausgegangen, dass die Terzbandpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit mit der folgenden Potenzfunktion (Gleichung 7.2) zunehmen (siehe auch Abschnitt 6.1).

$$l = l_0 (v/v_0)^\alpha \quad \text{bzw.} \quad L = L_0 + 10 \alpha \log (v/v_0) \quad \text{Gleichung 7.2}$$

Der α -Wert ist eine Grösse, die angibt wie stark ein Lärmpegel bei steigender Geschwindigkeit zunimmt. Da vor allem die Terzbänder von 250 Hz bis 3 kHz zur A-bewerteten Schallintensität beitragen (siehe auch Abschnitte 7.6 und 7.13), wird die Abhängigkeit der

einzelnen Terzbandpegel von der Geschwindigkeit für die Frequenzen 250 und 500 Hz, sowie 1, 2 und 4 kHz detaillierter untersucht.

Belag	Terzband	Lärmpegel L bei 80km/h [dB]			α [-]		
		HM	SM	EM	HM	SM	EM
AB 11	125	74.8	75.6	75.3	2.37*	2.92*	2.64*
	250	77.3	76.8	77.2	1.85	2.07	1.98
	500	74.6	77.5	76.4	1.38	2.04	1.78
	1000	83.1	84.4	83.9	3.52	3.38	3.43
	2000	89.0	80.4	86.6	4.48	3.34	4.31
	4000	79.2	71.9	77.0	3.87	3.73	3.86
	8000	67.9	66.3	67.2	3.86	3.96	3.90
Gesamtpegel	L_p	101.6	100.6	101.2	2.26*	2.27*	2.32*
	$L_p(A)$	96.7	91.8	95.1	3.82	3.07	3.65

*: α -Wert ist ungenau (± 0.3)

Tabelle 7.24: Ergebnisse der nach Gleichung 6.1 ausgeführten Korrelation für einen AB 11

Legende: HM bzw. SM = Hinteres bzw. seitliches Mikrofon
 EM = Energetischer Mittelwert
 L_p bzw. $L_p(A)$ = Gesamtpegel bzw. Gesamtpegel A-bewertet

Belag	Terzband	Lärmpegel L bei 80km/h [dB]			α [-]		
		HM	SM	EM	HM	SM	EM
DRA 11	125	75.9	77.4	76.9	1.13*	2.23*	1.65*
	250	80.7	81.6	81.5	0.98*	1.07*	1.04*
	500	80.2	83.8	82.8	1.20	1.95	1.62
	1000	82.2	85.0	84.0	1.64	2.26	2.04
	2000	80.7	79.7	80.4	3.64	3.71	3.65
	4000	70.0	68.8	69.7	2.94	3.04	2.93
	8000	61.0	60.5	60.9	2.81	3.25	2.89
Gesamtpegel	B	100.0	100.6	100.4	2.03*	2.37*	2.17*
	NB	92.1	93.2	92.8	2.47	2.49	2.46

*: α -Wert ist ungenau (± 0.3)

Tabelle 7.25: Ergebnisse der nach Gleichung 6.1 ausgeführten Korrelation für einen «leisen DRA 11»

Legende: siehe Tabelle 7.24.

Die Resultate dieser Untersuchung sind in den Tabellen 7.24 und 7.25 für einen AB 11 bzw. einen «DRA 11 leise» dargestellt. Beim DRA 11 steigen die Terzbandpegel der Terzbänder 1, 2, und 4 kHz weniger stark an als beim AB 11. Die α -Werte der Terzbandfrequenzen des Drainbelags liegen deutlich unter denjenigen des AB 11. Dies

erklärt auch teilweise, weshalb ein DRA 11 vor allem bei steigenden Geschwindigkeiten im Verhältnis zu den anderen Belägen leiser wird. Für die unbewerteten Schallpegel liegen die α -Werte etwas über 2.0 (2.32 für den AB 11 und 2.17 für den DRA 11). Dies bedeutet, dass für die nicht bewerteten Schallpegel die abgestrahlte Schallenergie etwa quadratisch mit der Geschwindigkeit und proportional zur Bewegungsenergie zunimmt, egal um welchen Belag es sich handelt. Für den dB(A)-bewerteter Schallpegel liegt der α -Wert bei 3.65 für AB 11 und bei 2.46 für den DRA 11. Daraus folgt, dass bei den dichten Belägen die für die dB(A)-Pegel massgebenden Terzbänder stärker zunehmen als die anderen.

7.13 Einfluss der Temperatur

Der Temperatureinfluss auf den Terzbandpegel ist von der Frequenz sowie von der Art des Belages abhängig. Abbildung 7.42 zeigt die Terzbandpegeldifferenzen zwischen einem Sommertag (Belagstemperatur 54° C, Lufttemperatur 35° C) und einem Wintertag (Belagstemperatur 8° C) für einen SMA 11 (Einbau 1997). Im Winter sind die Pegel, vor allem für Frequenzen im Bereich zwischen 1 und 8 kHz 3 bis 5 dB höher. Dieses Ergebnis bestätigte sich auch für einen etwas älteren SMA 11.

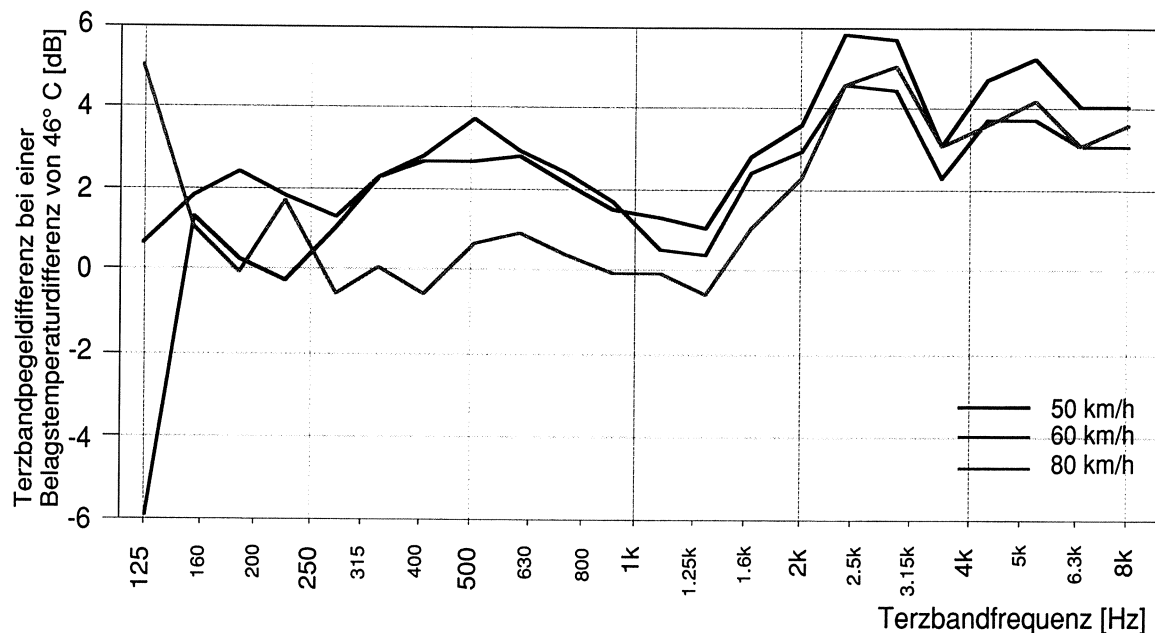


Abbildung 7.42 Zunahme der Terzbandpegel auf einem SMA 11 zwischen Sommer und Winter bei Belagstemperaturen von 8 bzw. 54° C
Positive Werte entsprechen einem höheren Terzbandpegel im Winter.

Desweiteren haben die Untersuchungen gezeigt, dass die Terzbandpegeldifferenzen zwischen hinterem und seitlichem Mikrophon infolge der Änderung der Belagstemperatur im allgemeinen kleiner als 2 dB sind. Dies gilt ebenfalls für den A-bewerteten Schallpegel.

Auf einem DRA 10 (Einbau 1983) zeigt sich ein etwas unterschiedlicheres Bild. Bei tieferen Terzbandfrequenzen zwischen 300 und 1000 Hz treten Terzbandpegeldifferenzen zwischen 3 und 7 dB auf (Abbildung 7.43). Wie schon die dB(A)-Pegel scheinen auch die Terzbandpegeldifferenzen in Abhängigkeit der Temperatur nicht von der Geschwindigkeit abzuhängen.

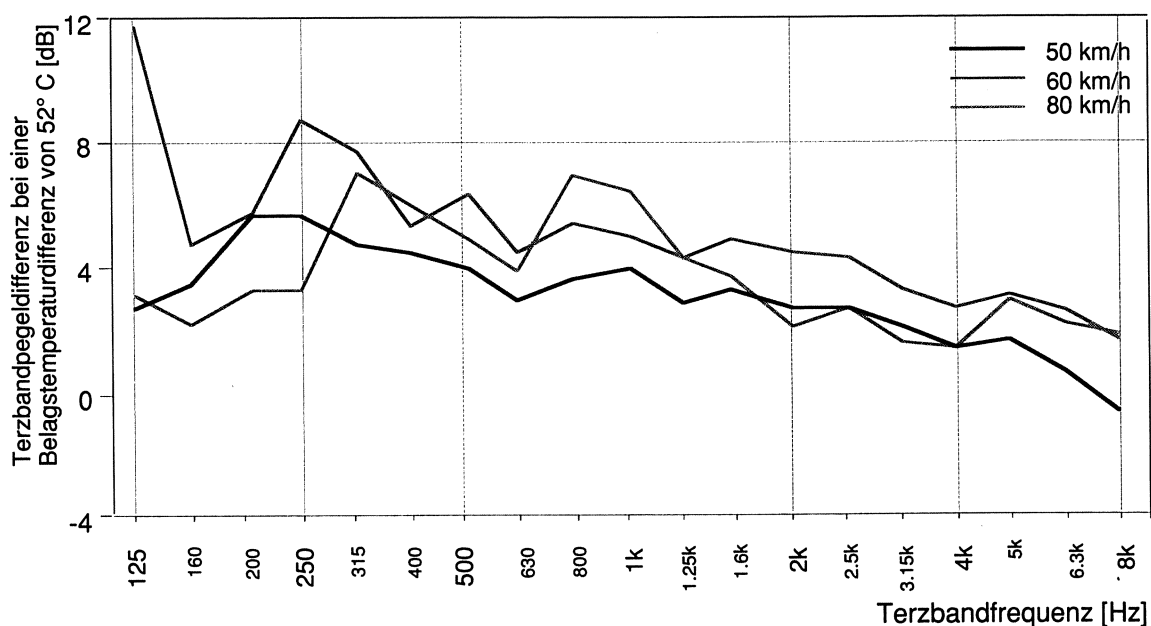


Abbildung 7.43 Zunahme der Terzbandpegel auf einem DRA 10 zwischen Sommer und Winter bei Belagstemperaturen von 0 bzw. 52° C
Positive Werte entsprechen einem höheren Terzbandpegel im Winter.

7.14 Beitrag der einzelnen Terzbänder zum A-bewerteten Schallpegel

7.14.1 Einleitung

Im Abschnitt 5.3 wurden die A-bewerteten Schallpegel verschiedener Beläge miteinander verglichen. Im folgenden Abschnitt wird gezeigt, welche Terzbänder massgebend zum A-bewerteten Schallpegel beitragen. Daraus lässt sich auch folgern, in welchem Frequenzbereich am effizientesten die Lärmemissionen infolge der Rollgeräusche reduziert werden können. Im Abschnitt 7.6 wurden die A-bewerteten Terzbandpegel graphisch dargestellt. Abbildungen 7.5 bis 7.25 vermittelten bereits einen groben Eindruck, welche Terzbänder am meisten zur A-bewerteten Schallintensität beitragen.

Im Unterschied zum Abschnitt 7.6 (Darstellung der Schallpegel in Dezibel) wird in diesem Abschnitt von der Schallintensität [W/s] ausgegangen. Die Schallintensität wird ebenfalls A-bewertet, da die für das Gehör massgebenden Terzbandfrequenzen ermittelt werden sollen. Für die wichtigsten Beläge wurden Geräuschspektren bestimmt. Aus einem Geräuschspektrum kann herausgelesen werden, wie gross die Schallintensität eines einzelnen Terzbands im Vergleich zur gesamten Schallintensität ist.

7.14.2 Berechnung eines Geräuschspektrums

Der A-bewertete Schallpegel ergibt sich aus der Gleichung 7.3 aus den einzelnen Terzbandpegeln.

$$P_A = 10 \cdot \log \sum_i 10^{\left[\frac{T_i - A_i}{10} \right]} \quad (\text{Gleichung 7.3})$$

- P_A = A-bewerteter Schallpegel (siehe Tabelle 7.26)
 T_i = Terzbandpegel
 i = Index für die Terzbänder von 63 bis 8000 Hz
 A_i = Schallpegelkorrektur gemäss A-Bewertung

Aus Gleichung 7.3 lässt sich herleiten, welches Terzband welchen Anteil zur A-bewerteten Schallintensität beiträgt.

$$I_{rel_i} = \frac{10^{\left[\frac{P_i - A_i}{10} \right]}}{10^{\left[\frac{P_{dB(A)}}{10} \right]}} \quad (\text{Gleichung 7.4})$$

I_{rel_i} = Beitrag des Terzbandes i zur Gesamtintensität

Daraus lassen sich die massgebenden Terzbänder der A-bewerteten Schallintensität ermitteln. Die Berechnung wurde anhand eines Beispiels (Tabelle 7.26) erläutert. In diesem Beispiel leisten die drei Terzbänder 1.2, 1.6 und 2 kHz den grössten Beitrag (gesamthaft rund 64 %) zur A-bewerteten Schallintensität.

Aufgrund der Anregung von Schallwellen infolge der Reifenprofilierung und der Textur der Strassenoberfläche wäre zu erwarten, dass bei höheren Geschwindigkeiten auch höherfrequente Terzbänder massgebend werden. Dies ist aber nicht der Fall.

Terzband	Terzbandpegel ohne A-Korrektur	A-Korrektur	Terzbandpegel mit A-Korrektur	Intensität [W/s] * 10 ⁻⁶	I _{rel}	Summenkurve
125	73.0	-16.1	56.9	0.5	0.000	0.002
160	74.1	-13.3	60.8	1.2	0.000	0.003
200	74.1	-10.9	63.2	2.1	0.001	0.003
250	77.1	-8.6	68.5	7.1	0.002	0.005
315	78.5	-6.6	71.9	15.5	0.005	0.010
400	74.2	-4.8	69.4	8.7	0.003	0.013
500	75.5	-3.2	72.3	16.9	0.006	0.018
625	79.8	-1.9	77.9	61.6	0.020•	0.038
800	83.5	-0.8	82.7	186.2	0.061•	0.099
1000	84.2	0.0	84.2	263.1	0.086•	0.184
1250	84.8	+0.6	85.4	346.8	0.113••	0.297
1600	88.9	+1.0	89.9	977.4	0.318••	0.615
2000	86.8	+1.2	88.0	631.0	0.205••	0.820
2500	83.5	+1.3	84.8	302.0	0.098•	0.918
3150	80.0	+1.2	81.2	131.8	0.043•	0.961
4000	77.6	+1.0	78.6	72.5	0.024•	0.984
5000	74.6	+0.5	75.1	32.6	0.011	0.995
6250	70.5	-0.1	70.4	11.0	0.004	0.998
8000	67.8	-1.1	66.7	4.7	0.002	1.000
Gesamtintensität A-bewerteter Pegel				3076,3		

Tabelle 7.26: Berechnung des Beitrages eines einzelnen Terzbandes zur A-bewerteten Schallintensität (AB 11, v = 80 km/h)

Legende: •• = 3 wichtigste Terzbandfrequenzen • = 9 wichtigste Terzbandfrequenzen

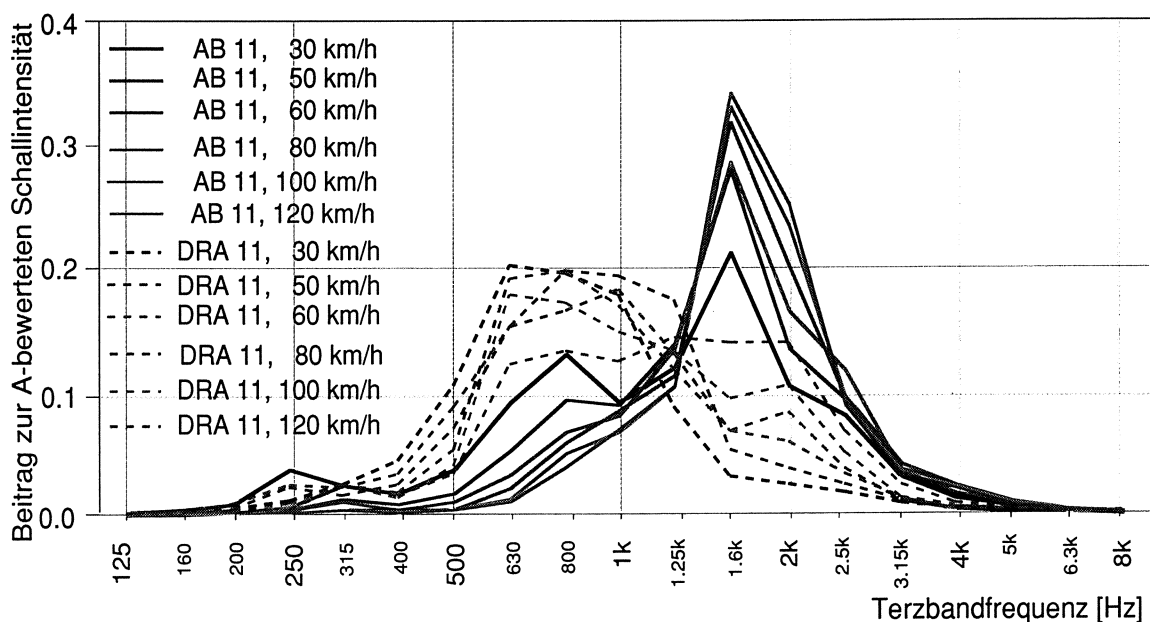


Abbildung 7.44: Beiträge der einzelnen Terzbänder zur A-bewerteten Schallintensität bei Geschwindigkeiten von 30 bis 120 km/h

Die Resultate der Terzbandanalyse eines AB 11 zeigen (Abbildung 7.44), dass bei allen Geschwindigkeiten die drei Terzbänder 1,25, 1,6 und 2 kHz den grössten Teil zur Geräuschemission beitragen. Bei 120 km/h tragen die drei oben erwähnten Terzbänder 71 % zur Gesamtintensität bei. Bei 80 km/h sind ihre Beiträge immer noch etwa 65 % und bei 30 km/h noch 44 %.

Beim DRA 11 tragen die Terzbänder über 1 kHz, mit steigender Fahrgeschwindigkeit, mehr zum A-bewerteten Schallpegel bei. Das Maximum des Geräuschspektrum bleibt aber bei 1 kHz (Abbildung 7.44).

7.14.3 Geräuschspektren

Im folgenden werden die Geräuschspektren bei den Geschwindigkeiten 50, 80 und 120 km/h dargestellt. Die verschiedenen Beläge wurden miteinander verglichen und aufgrund ihres Pegelmaximums in zwei Hauptgruppen – 1,6 kHz- und 1 kHz-Gruppe – zusammengefasst. Hotrolledbeläge, Oberflächenbehandlungen und Betonbeläge weisen im allgemeinen jeweils 2 Maxima bei 1 kHz und bei 1,6 kHz auf. Da bei diesen Belägen das 1 kHz Maximum ausgeprägt ist, werden sie den Belägen der 1 kHz-Gruppe zugeordnet.

Die Beläge der 1,6 kHz-Gruppe (AB 11, AB 16, SMA 11, TA 11, TA 16, SMA 6, SMA 8, Mikrobelaag) haben innerhalb einer gewissen Schwankungsbreite ein sehr ähnliches Geräuschspektrum. Das Geräuschspektrum wird durch die Beiträge der einzelnen Terzbänder zum A-bewerteten Schallpegel dargestellt. Diese Betrachtung sagt aber nichts aus über die Schallintensität selbst. Beläge innerhalb einer Gruppe können demzufolge leiser oder lauter sein, aber sie tönen ähnlich. Alle Beläge der 1,6 kHz-Gruppe haben gemeinsam, dass die Terzbänder von 800 bis 2500 Hz jeweils mehr als 7 % zur A-bewerteten Gesamtintensität beitragen. Das Terzband 1,6 kHz macht allein 25 bis 30 % aus.

Die Beläge der 1 kHz-Gruppe (DRA 11, DRA 16) weisen im Vergleich zur ersten Gruppe ein um zwei Terzbänder tieferes und etwas breiteres Geräuschspektrum auf. Alle Beläge der 1 kHz-Gruppe haben gemeinsam, dass die Terzbänder von 315 bis 2500 Hz jeweils mehr als 5 % zur A-bewerteten Gesamtintensität beitragen. Das Terzband 1 kHz macht allein 20 bis 30 % aus.

Die Beläge der 1 kHz - Untergruppe (HRA 16, HRA 25, OB-Beläge, Betonbeläge) zeigen das gleiche Bild wie die Beläge der 1 kHz-Gruppe, sind aber etwas lauter.

- Geräuskspektren bei 50 km/h, Beläge der 1.6 kHz - Gruppe

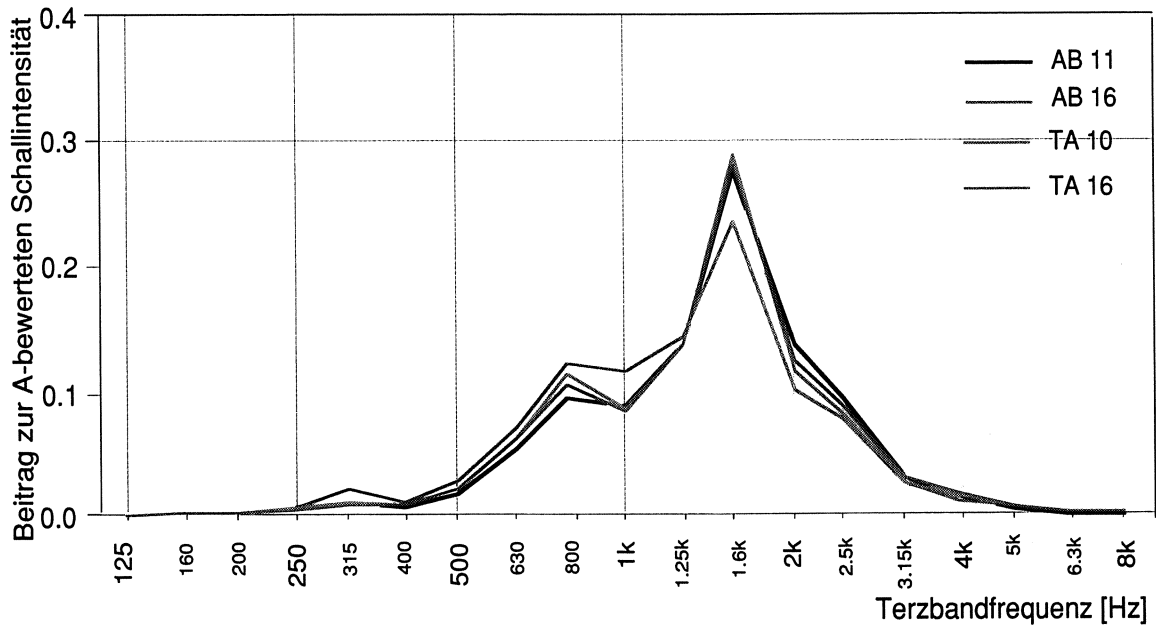


Abbildung 7.45: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)
 Die Terzbänder von 800 bis 2500 Hz tragen massgebend zum dB(A)-Pegel bei.

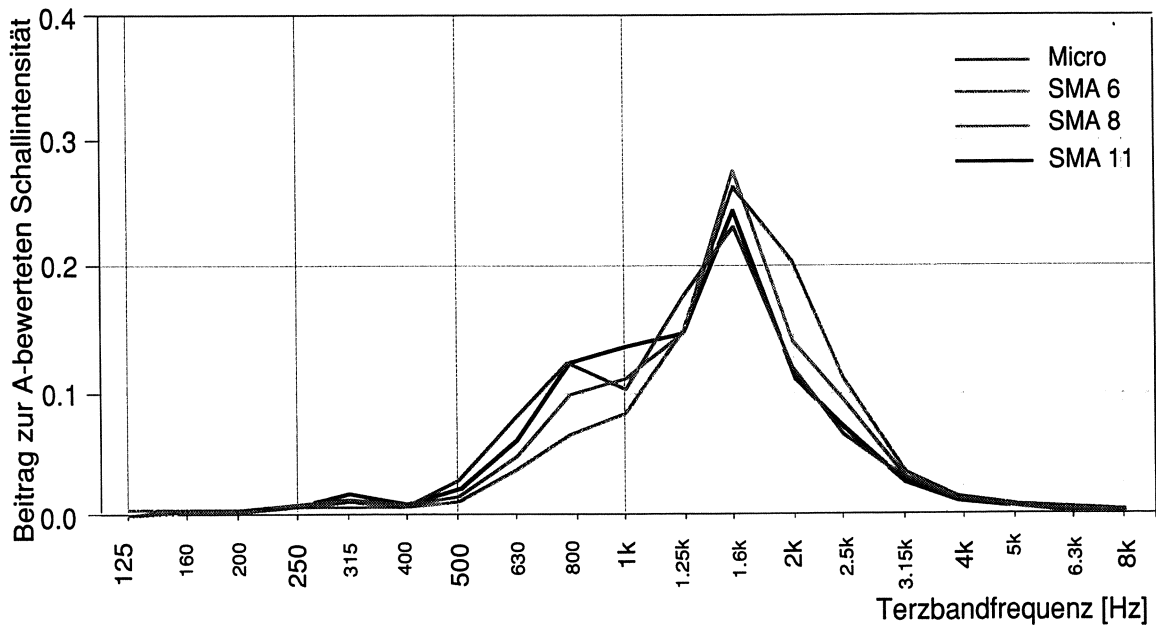


Abbildung 7.46: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)
 Die Terzbänder von 800 bis 2500 Hz tragen massgebend zum dB(A)-Pegel bei.

- Geräuskspektren bei 50 km/h, Beläge der 1 kHz - Gruppe

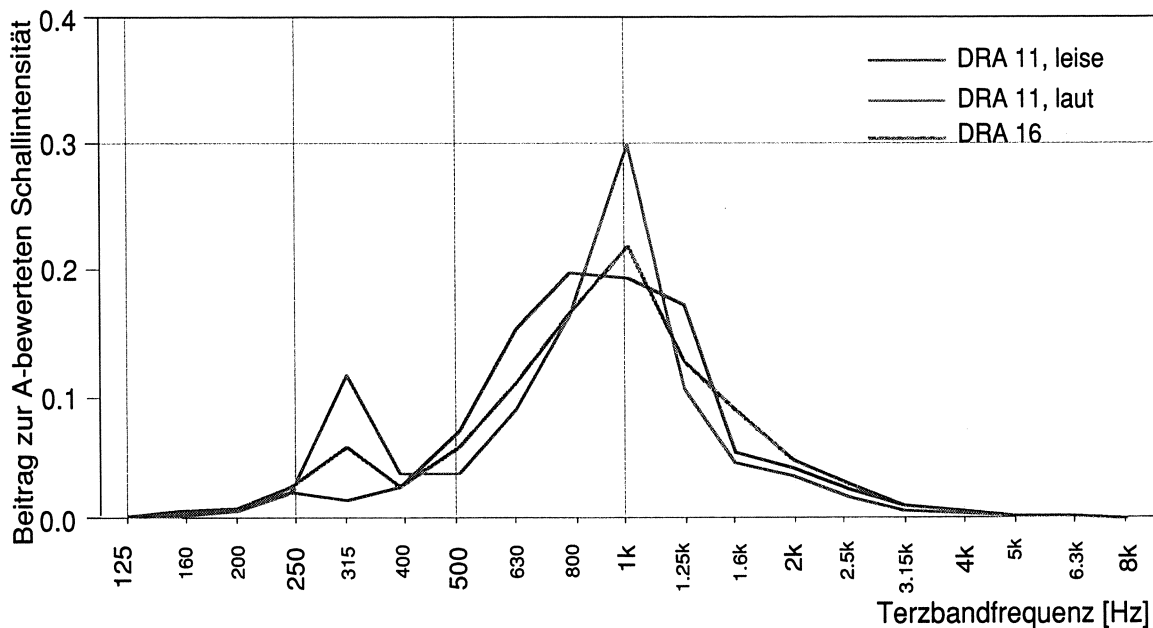


Abbildung 7.47: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe)
Die Terzbänder von 315 bis 2000 Hz tragen massgebend zum dB(A)-Pegel bei.

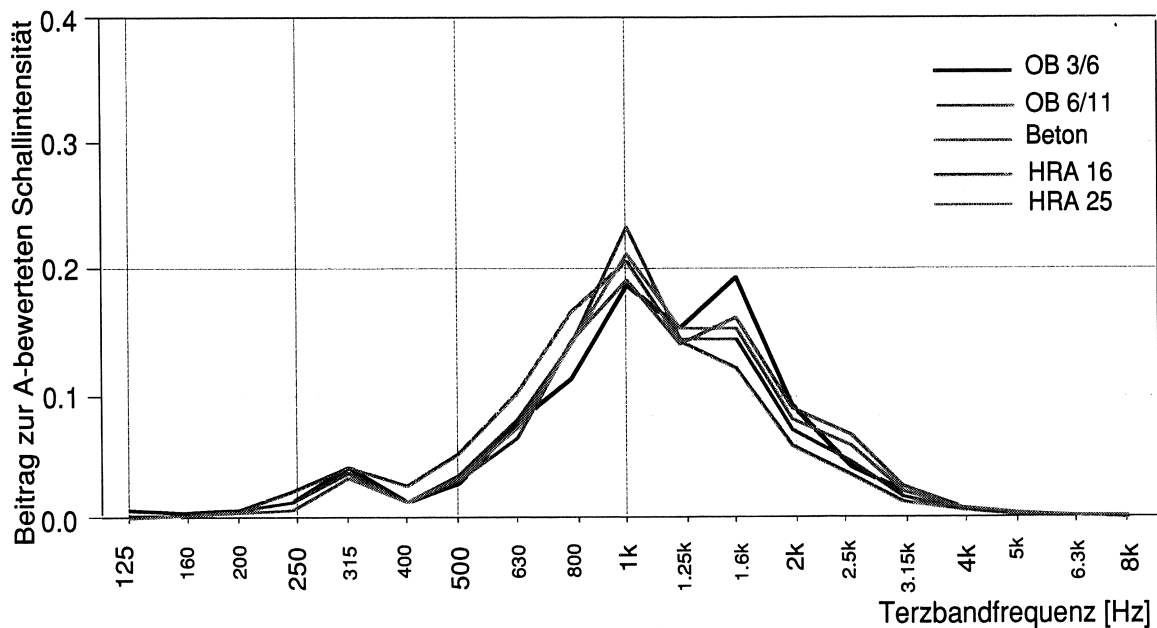


Abbildung 7.48: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe mit einem zweiten Maximum bei 1.6 kHz)
Die Terzbänder von 500 bis 2000 Hz tragen massgebend zum dB(A)-Pegel bei.

- Geräuschspektren bei 80 km/h, Beläge der 1.6 kHz - Gruppe

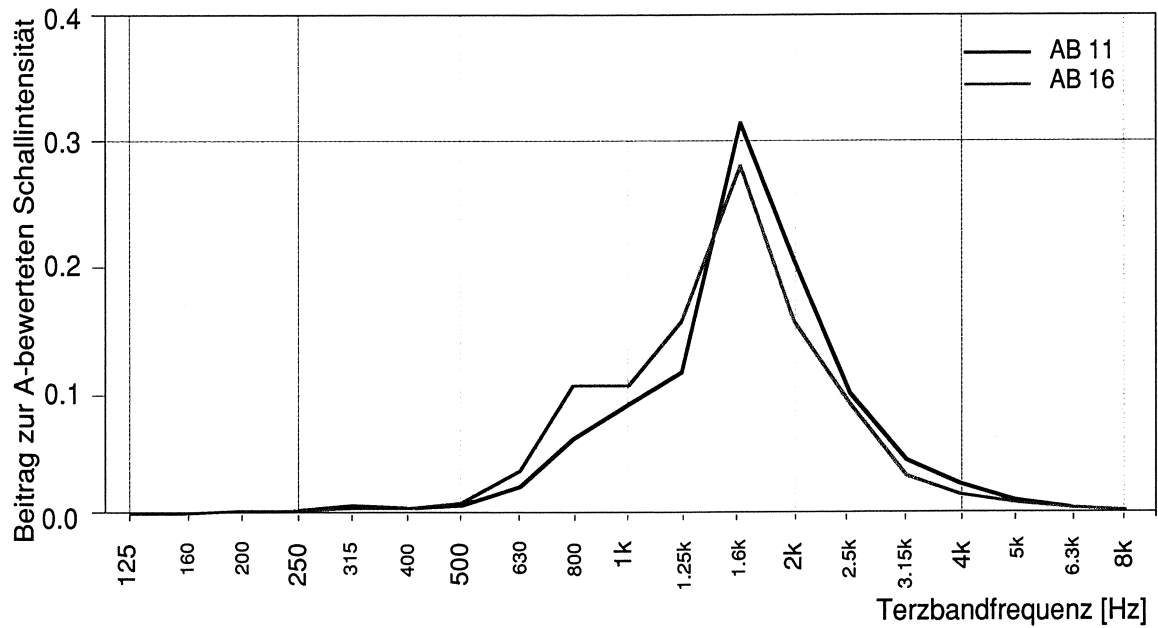


Abbildung 7.49: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)

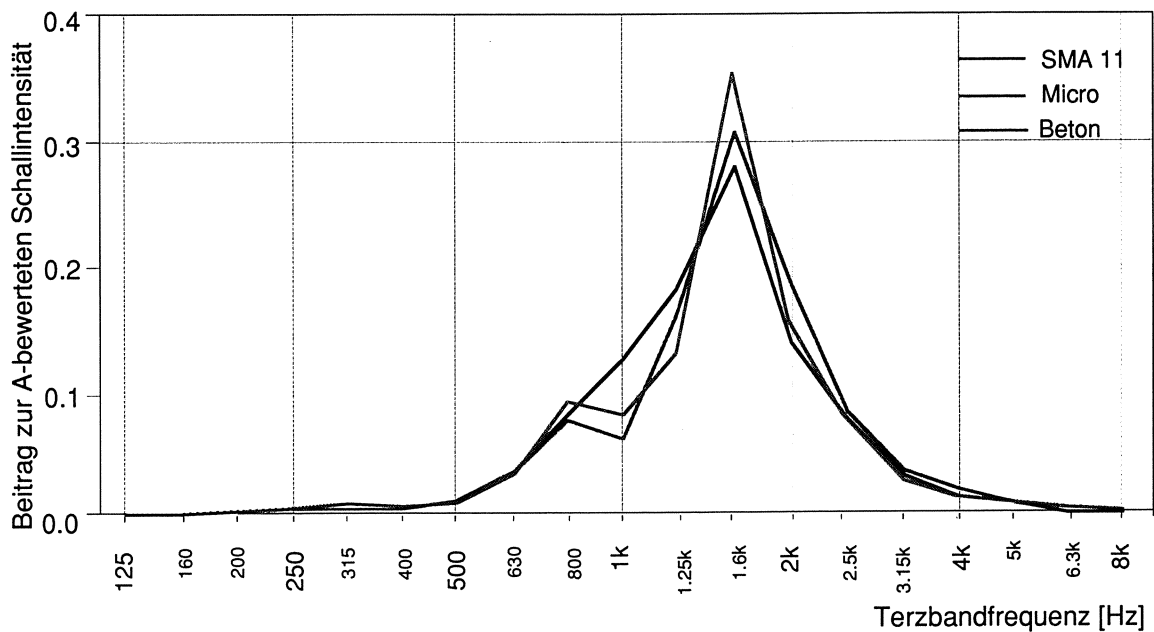


Abbildung 7.50: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)

Der Betonbelag wurde den Belägen der 1.6 kHz-Gruppe zugeordnet.

- Geräuschspektren bei 80 km/h, Beläge der 1 kHz - Gruppe

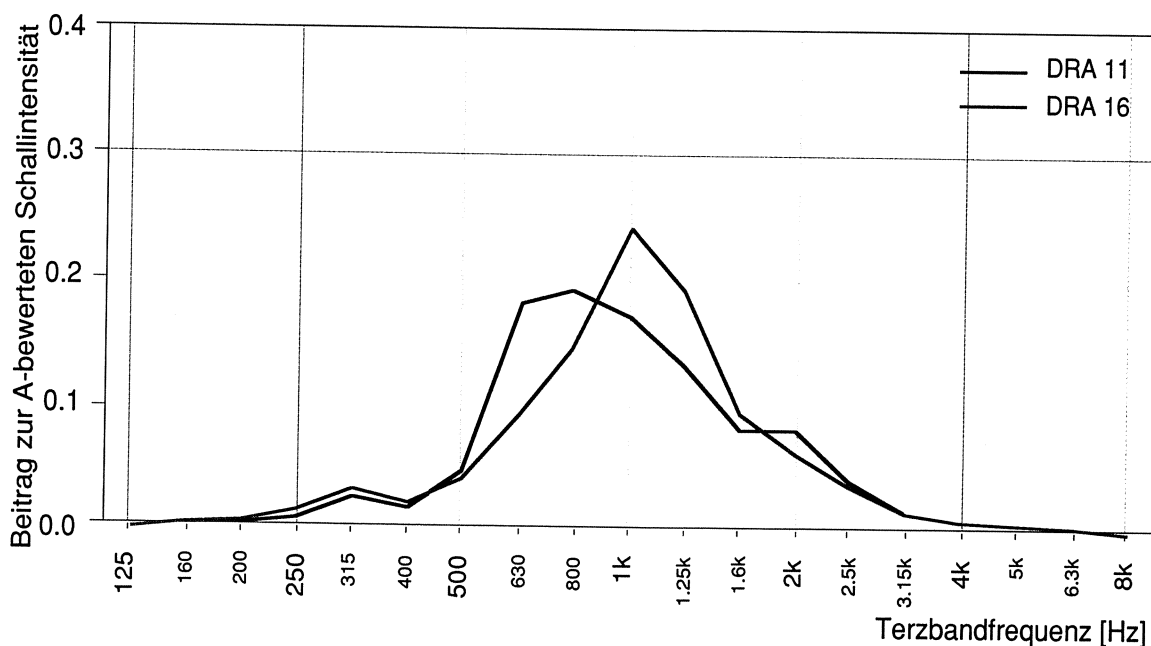


Abbildung 7.51: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz - Untergruppe)
 Beim DRA 11 (neuer Belag) tritt das Maximum bei 800 Hz auf.

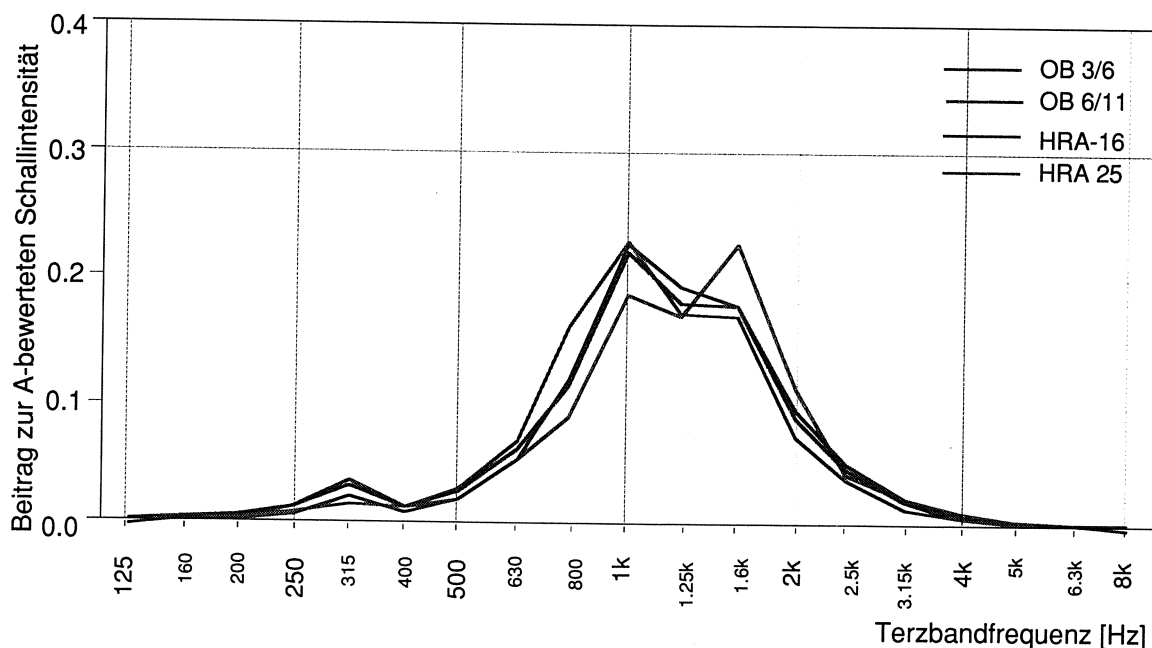


Abbildung 7.52: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe)
 Beim OB 3/6 tritt ein zweites Maximum bei 1.6 kHz auf.

- Geräuschspektren bei 120 km/h

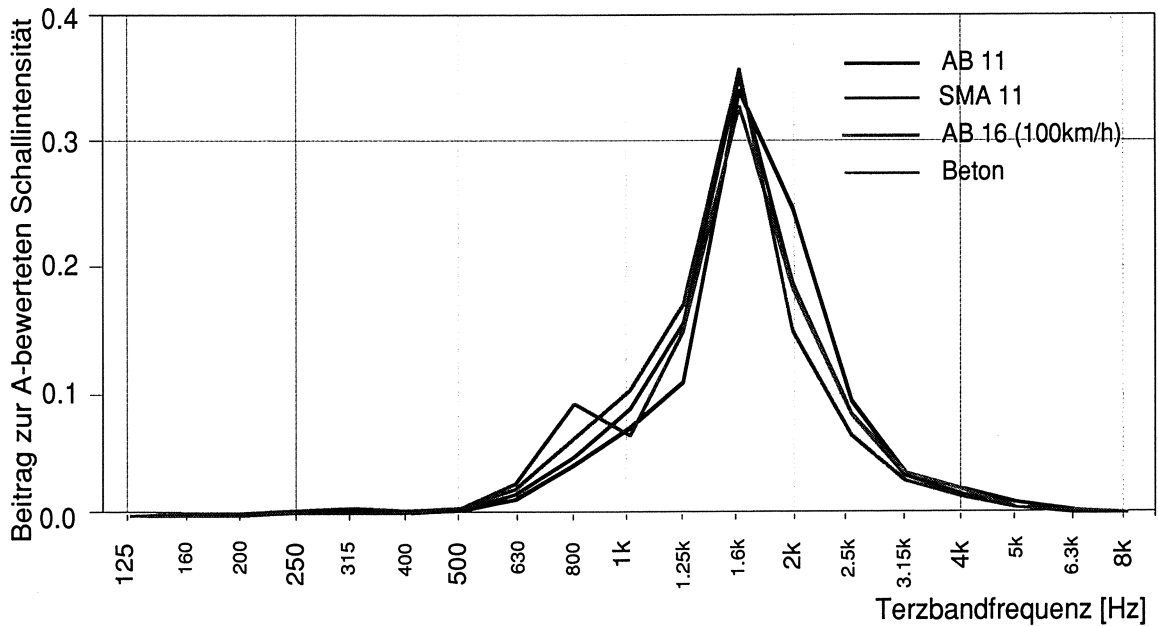


Abbildung 7.53: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1.6 kHz-Gruppe)
 Der Betonbelag weist das Maximum bei 1.6 kHz auf. Aus diesem Grund wurde er den Belägen der 1.6 kHz-Gruppe zugeordnet.

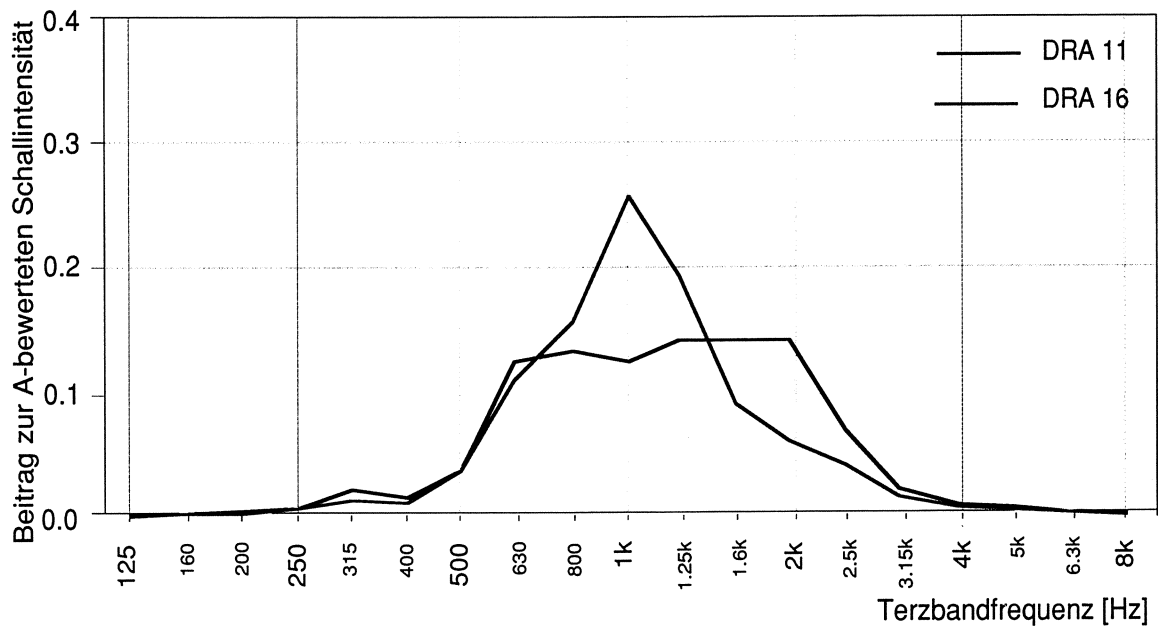


Abbildung 7.54: Beitrag zur A-bewerteten Intensität in Abhängigkeit der Frequenz (Beläge der 1 kHz-Gruppe)
 Bei DRA 11 ist das Geräuschspektrum relativ breit. Dies ist möglicherweise eine Folge der sehr hohen Belagstemperatur bei der Messung.

7.15 Einfluss verschiedener Reifentypen

Die Ergebnisse in diesem Bericht beruhen auf Messungen mit dem AIPCR-Reifen. Im folgenden wird untersucht, wie repräsentativ die Resultate mit einem AIPCR Reifen sind. Dazu wird auf eine Studie im Auftrag des TCS [23] zurückgegriffen. In der TCS-Studie wurden die Reifen Uniroyal, Goodyear, Conti und Michelin mit dem AIPCR-Reifen verglichen.

Aufgrund des Vergleichs der A-bewerteten Pegel werden die Rollgeräusche mit einem AIPCR-Reifen grundsätzlich ähnlich charakterisiert wie mit den genannten Reifentypen. Zu beachten ist, dass die in der TCS-Studie graphisch dargestellten Terzbandanalysen damals nicht beurteilt wurden.

Im folgenden werden die Terzbandanalysen von zwei ausgewählten Belägen der TCS-Studie, für einen DRA 11 sowie einen AB 16, miteinander verglichen.

Beim DRA 11 weisen die Conti-Reifen die beste Übereinstimmung mit den AIPCR-Reifen auf. Die Unterschiede betragen im Mittel rund 2 dB. Die Goodyear-Reifen weichen im Frequenzbereich bis zu 1 kHz rund 4 dB von APCR-Reifen ab (Abbildung 7.55).

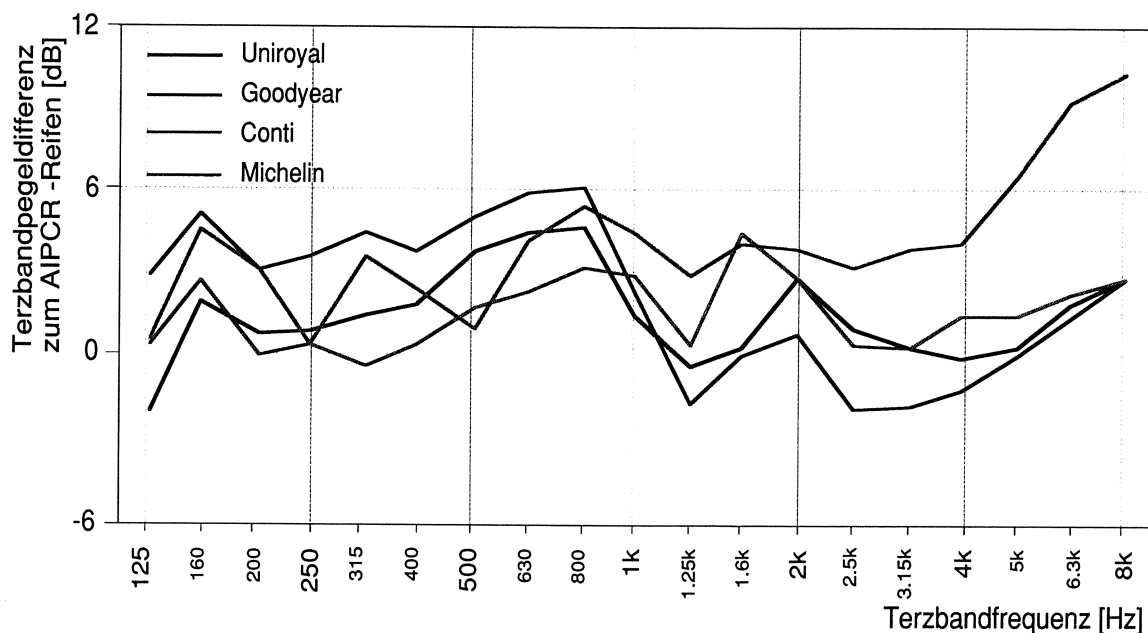


Abbildung 7.55 Terzbandpegeldifferenzen anderer Reifen von AIPCR-Reifen auf einem DRA 10 (v = 80 km/h)

Beim AB 16 zeigen die Uniroyal-Reifen die beste Übereinstimmung mit den AIPCR-Reifen. Die Unterschiede betragen im Mittel 2 dB. Die Michelin-Reifen weisen Unterschiede von bis zu 9 dB von APCR-Reifen auf (Abbildung 7.56).

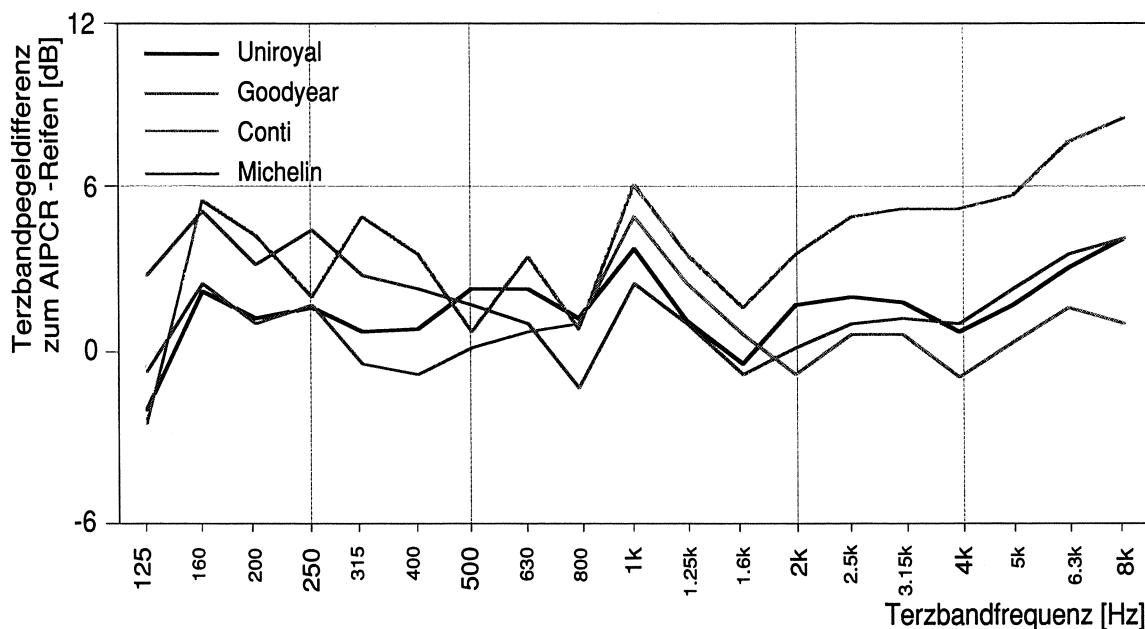


Abbildung 7.56 Terzbandpegeldifferenzen anderer Reifen von AIPCR-Reifen auf einem AB 16 ($v = 80 \text{ km/h}$)

Wie aus den Abbildungen 7.55 und 7.56 ersichtlich, weisen die Terzbandspektren in Abhängigkeit des Reifentyps auf ein und demselben Belag deutliche Unterschiede auf. Trotzdem wird die Pegeldifferenz zwischen einem AB 16 und einem DRA 11 von allen Reifen recht einheitlich wiedergegeben (Abbildung 7.57).

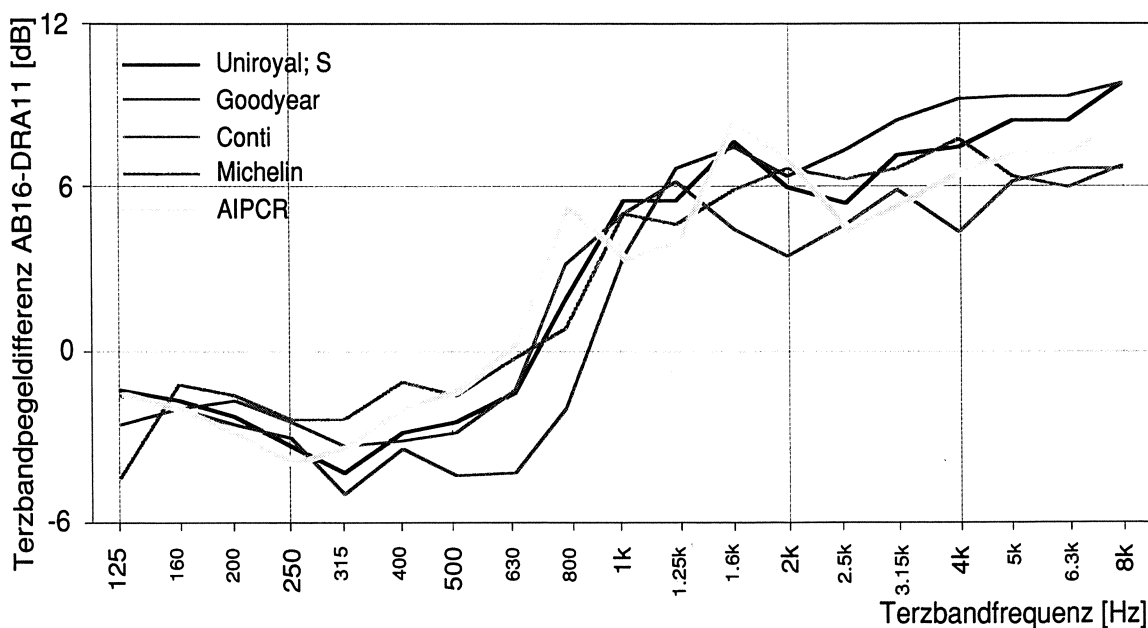


Abbildung 7.57 Terzbandpegeldifferenzen AIPCR und anderer Reifen zwischen einem DRA10 und einem AB 16 ($v = 80 \text{ km/h}$)
Positive Werte bedeuten höhere Lärmemission des betreffenden Reifentyps.

Daraus folgt, dass belagsspezifische Differenzen der Geräuschemissionen im allgemeinen recht gut mit einem AIPCR-Reifen wiedergegeben werden auch wenn der Reifentyp die Terzbandspektren in derselben Grössenordnung beeinflusst wie der Belagstyp. Für andere Beläge wurden die Terzbandspektren der TCS-Studie nicht beurteilt.

7.16 Einfluss von Lärmemissionen auf Schallschutzmassnahmen

7.16.1 Bewertungen aufgrund des Schallschutzes

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus der Terzbandanalyse verfeinert betrachtet. Fragen in Zusammenhang mit Lärmemissionen von verschiedenen Belägen sollten zusammen mit anderen Schallschutzmassnahmen beantwortet werden. Ein vor Lärm zu schützendes Wohnquartier kann oftmals nicht nur allein durch Einbau eines leiseren Belages ausreichend vor Lärm geschützt werden; oftmals müssen auch noch Lärmschutzwände und Schallschutzfenster eingebaut werden.

Im folgenden werden aus den durchschnittlichen Terzbandpegeln der Beläge AB 11, SMA 11, DRA 11 leise, DRA 11 laut, Beton, OB 6/11 und HRA 16 dB(A)-Pegel ermittelt. Hernach werden die Terzbandpegel gemäss der in Tabelle 7.27 dargestellten Schalldämmkurve einer Schallschutzwand, eines Fensters und beidem zusammen gefiltert. Die Differenz zum dB(A)-Pegel ergibt die vom Belag abhängige Schalldämmung. Die Ergebnisse in diesem Abschnitt dürfen nicht als allgemeingültig angesehen werden, da die Schalldämmkurven für diverse Fenster und Schallschutzmassnahmen verschieden sind. Sie geben aber die Resultate qualitativ richtig wieder, da Schalldämmkurven in den meisten Fällen ähnlich verlaufen wie diejenigen in Tabelle 7.27.

Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Schallschutzwand [dB]	8	11	13	16	19	21	24	27
Fensterscheibe	30	30	34	40	45	51	61	70

Tabelle 7.27: Frequenzabhängige Schalldämmung in Dezibel einer Lärmschutzwand und einer Fensterscheibe

Es ist anzumerken, dass die Schalldämmung in diesem Abschnitt nicht dem Bauschalldämmmass nach ISO 717/1 entspricht [3]. Bei der Bestimmung des Bauschalldämmmasses wird die Schalldämmkurve mit einer normierten Schalldämmkurve verglichen, die tatsächlichen Lärmemissionen werden dabei nicht direkt berücksichtigt. Das Bauschalldämmmass beträgt für die Schallschutzwand 19.3 dB, für das Fenster 44.3 dB und für beides zusammen 60.9 dB. Das Schalldämmmass ist für jedes schallisolierende Bauteil

eine konstante charakteristische Grösse und findet sich häufig in entsprechenden Katalogen. Wegen der Berechnungsweise ist das Schalldämmmass für zwei Schalldämmungen 2.75 dB niedriger als wenn die Schalldämmmasse einzeln bestimmt werden und zusammengezählt werden.

Im Gegensatz zum Schalldämmmass variiert die Schalldämmung in Abhängigkeit der Terzbandpegel der Geräuschemission und sollte bei der Planung von Schallschutzmassnahmen berücksichtigt werden. Der Einfluss von festen Installationen, wie eine Schallschutzwand ist voll zu berücksichtigen. Bei Fenstern muss darauf geachtet werden, dass sie im Sommer zeitweise offen sind, deshalb sollte dieser Einfluss nicht voll berücksichtigt werden.

Abbildung 7.58 zeigt die Schalldämmungen in Abhängigkeit des Belages für verschiedene Schalldämmmassnahmen. Bei einer Schallschutzwand variiert die Schalldämmung um etwa 2 dB(A), beim Fenster und beiden Schallschutzmassnahmen zusammen um etwa 4 dB(A). Wie im Abschnitt 7.14 erwähnt, ist bei Drainbelägen, Oberflächenbehandlungen und Hotrolled-Belägen das Terzbandspektrum zu tieferen Terzbandpegeln hin verschoben. Dies führt zu einer schlechteren Schalldämmung.

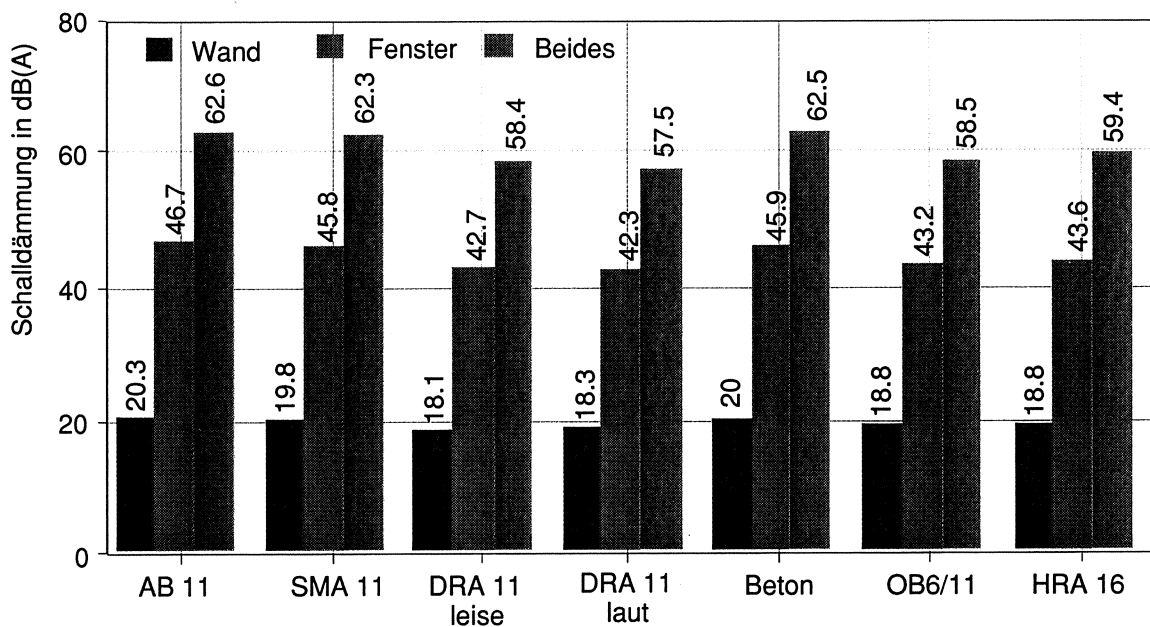


Abbildung 7.58: Schalldämmung in Abhängigkeit des Belages ($v = 80$ km/h)

Schallwellen mit tieferer Frequenz werden normalerweise durch Schalldämmmassnahmen mit 6 dB pro Oktave schlechter abgedämpft. Je langsamer sich die Wellenfronten des Schalls folgen (tiefere Frequenz), desto mehr Zeit bleibt der Wand diese Geschwindigkeit anzunehmen und die Schallwelle in Form von Körperschall weiterzuleiten.

Nachdem die Schalldämmung bei verschiedenen Belägen ermittelt worden ist, müssen noch die absoluten Pegel miteinbezogen werden. Aufgrund der Terzbandpegel wird der dB(A)-Pegel berechnet. Die Pegel der anderen Beläge werden mit dem AB 11 als Referenzbelag verglichen und die Differenzen ermittelt. Dasselbe wird mit den im Sinne der Schallschutzmassnahmen bewerteten Schallpegeln gemacht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7.59 dargestellt.

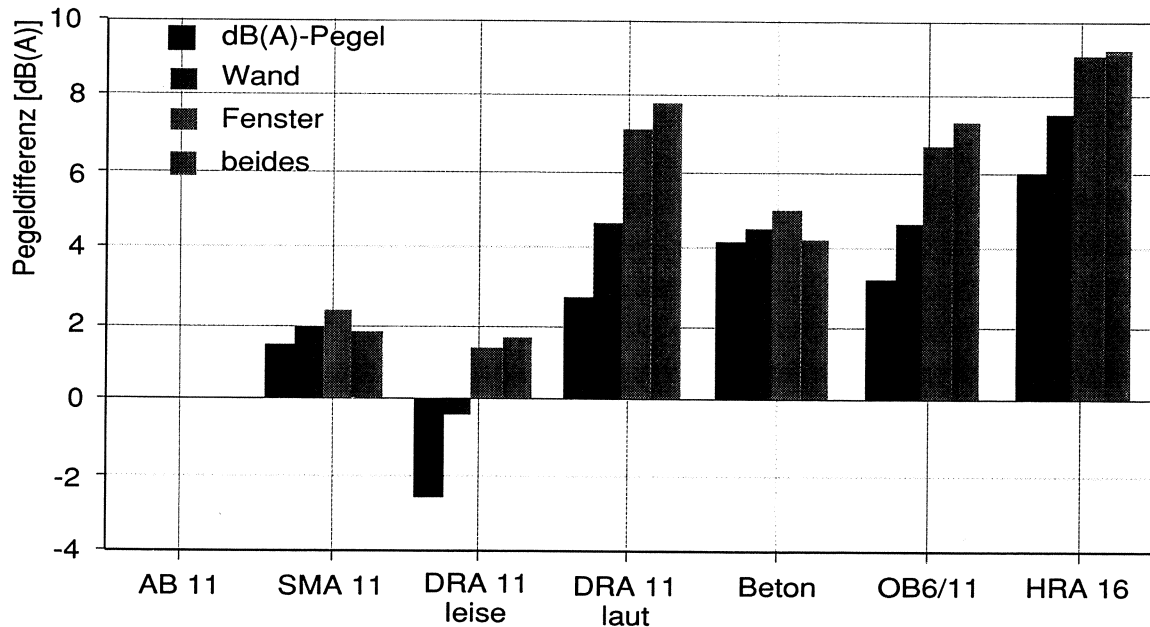


Abbildung 7.59: Wirkung von Schallschutzmassnahmen mit Einbezug der absoluten Pegel und der Schalldämmung der einzelnen Beläge ($v = 80 \text{ km/h}$)

Es zeigt sich deutlich, dass die Schalldämmeigenschaften der Beläge einen grossen Einfluss auf die Effizienz von Schallschutzmassnahmen haben. Zum Beispiel muss in Frage gestellt werden, ob es sich wirklich lohnt einen Betonbelag durch einen Drainasphalt zu ersetzen, wenn dies im Zusammenhang mit dem Einbau von Schallschutzfenstern geplant wird und nicht damit zu rechnen ist, dass der Drainbelag seine am Anfang guten schalltechnischen Eigenschaften behalten wird. Wohl lohnt es sich, den Beton durch einen AB 11 zu ersetzen. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Klangfarbe auch eine Rolle spielen dürfte. Vielleicht ist ein Belag mit tieferer Klangfarbe angenehmer selbst wenn dieser etwas lauter ist. Die subjektiven Empfindungen sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

7.16.2 Einfluss der Geschwindigkeit auf die Schalldämmung

Da im allgemeinen mit der höheren Geschwindigkeit die höheren Terzbandfrequenzen etwas mehr Gewicht gewinnen, dürfte die Schalldämmung auch von der Geschwindigkeit abhängen.

Abbildung 7.60 zeigt die Schalldämmung bei einem AB 11 (dichter Belag) und einem neuen DRA 11 (offenporiger Belag).

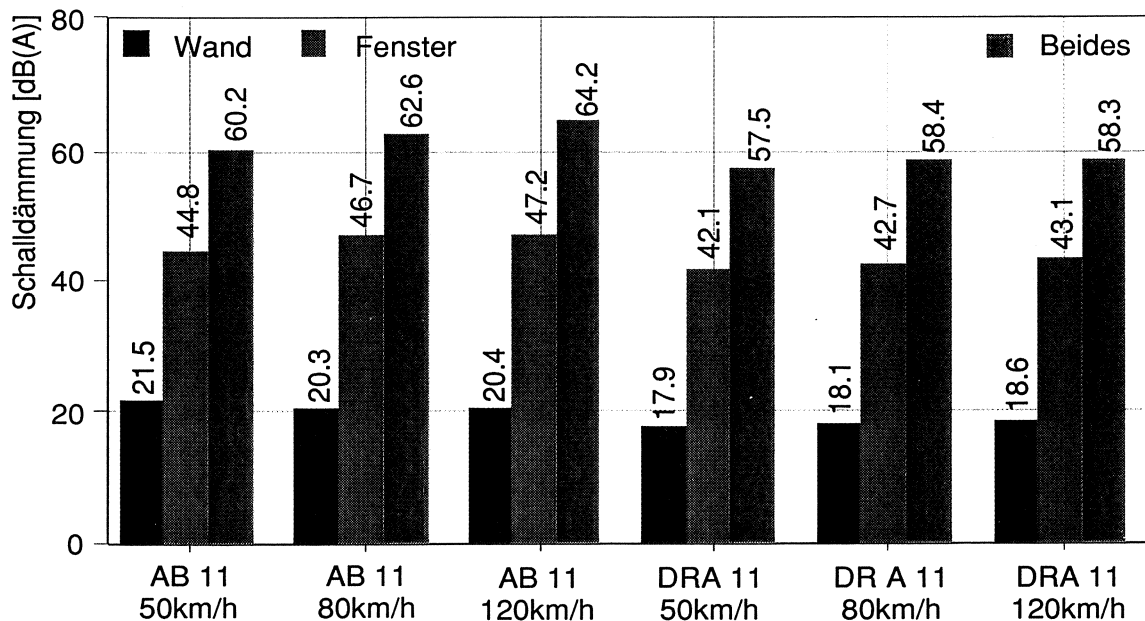


Abbildung 7.60: Schalldämmung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit bei einem AB 11 und einem neuen DRA 11

Beim AB 11 steigt die Schalldämmung des Fensters mit der Zunahme der Geschwindigkeit um 2 dB(A) an. Hinter der Schallschutzwand und dem Fenster werden die Lärmpegel mit der Zunahme der Geschwindigkeit zwischen 60 bis 64 dB(A) reduziert (Abbildung 7.60). Beim DRA 11 ist die Zunahme der Schalldämmung weniger ausgeprägt. Beim SMA 11 zeigen sich ähnliche Resultate wie beim AB 11, sind hier aber nicht aufgeführt.

7.16.3 Einfluss auf die Klangfarbe

In Abschnitt 7.14 wurde bereits auf das Geräuschkolorit verschiedener Beläge eingegangen. Schallschutzmaßnahmen beeinflussen das Geräuschkolorit entscheidend. Aus den Abbildungen 7.61 und 7.62 ist deutlich ersichtlich, dass ein SMA 11 wie auch ein DRA 11 hinter einer Schallschutzwand oder hinter einem Fenster nicht nur leiser sind,

sondern auch anders klingen. Auch muss damit gerechnet werden, dass das Motorengeräusch eine grössere Rolle spielt. Bei einem Vierzylindermotor dürften Motorendrehzahlen von 1000 bis 3000 U/min Lärmpegel im Frequenzbereich von 40 bis 100 Hz [24] erzeugen, was sich hinter der Fensterscheibe möglicherweise als Brummen bemerkbar macht. Dies ist jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

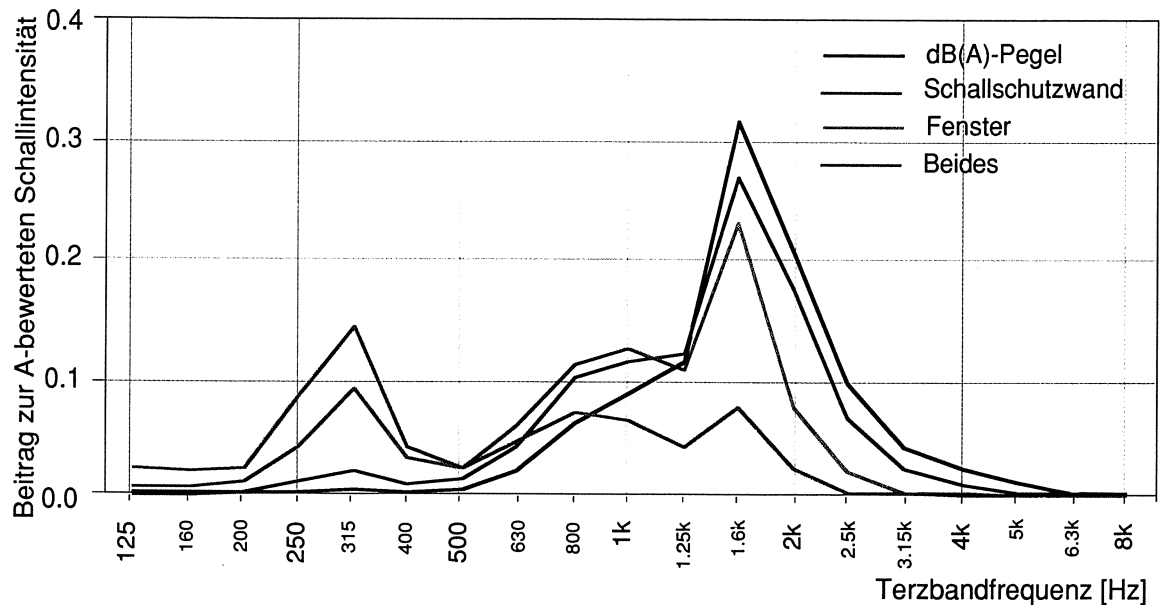


Abbildung 7.61: Geräuschspektrum eines SMA 11 im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen ($v = 80$ km/h)

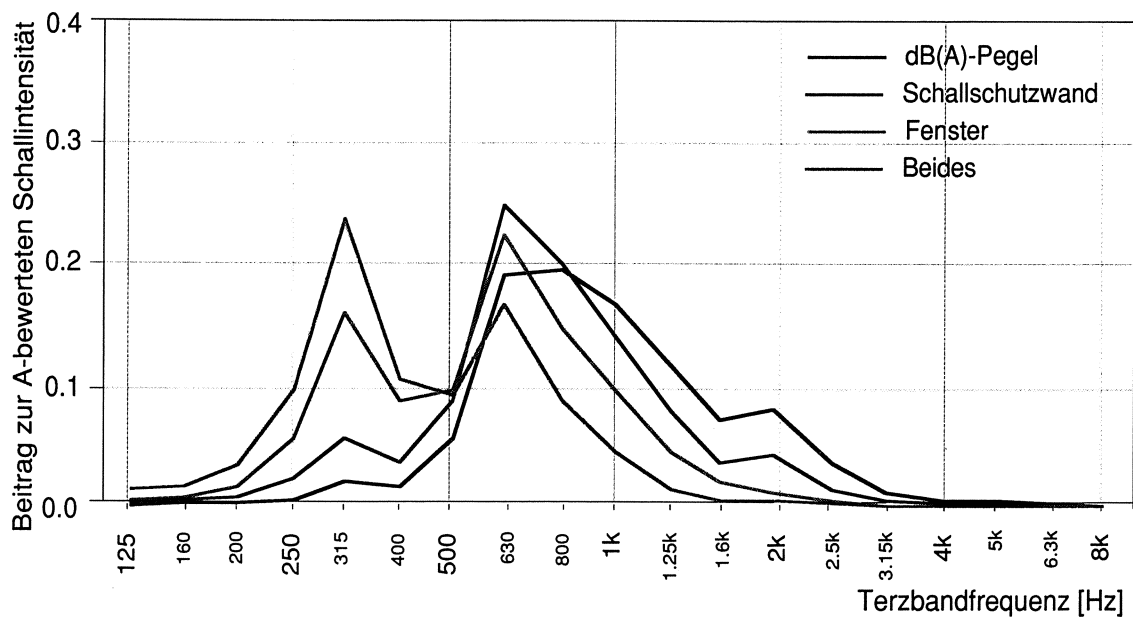


Abbildung 7.62: Geräuschspektrum eines DRA 11 im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen ($v = 80$ km/h)

7.16.4 A- oder B-Bewertung

In diesen Abschnitt wird untersucht, wie sensitiv die Resultate auf die Art der Bewertung reagieren. Strassenlärm bei offenem Fenster neben einer vielbefahrenen Strasse ist oftmals so laut, dass sich eine Bewertung mit der B-Bewertung rechtfertigen würde. Deshalb wird der Einfluss anhand eines Beispiels mit einem AB 11 und einem DRA 11 untersucht.

Tabelle 7.28 zeigt die Ergebnisse einer B-Bewertung ohne Schallschutzmassnahmen. Für die Schallschutzmauer erfolgte eine gemischte Bewertung (Durchschnitt der A- und der B-Bewertung). Hinter einem Fenster rechtfertigt sich die B-Bewertung nicht und wurde deshalb auch nicht aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der DRA 11 mit einer B-Bewertung geringfügig lauter, der AB 11 geringfügig leiser wäre. Die Differenzen sind aber sehr gering und es muss nicht genauer darauf eingegangen werden.

	DRA 11	DRA 11	AB 11	AB 11
Ohne Schallschutz	92.3 dB(A)	93.0 dB(B)	94.9 dB(A)	94.3 dB(B)
Schallschutzwand	74.2 dB(A)	74.8 dB(A/B)	74.6 dB(A)	74.9 dB(A/B)
Fenster	49.6 dB(A)	49.6 dB(A)	48.2 dB(A)	48.2 dB(A)

Tabelle 7.28: Schallpegel mit A- und B-Bewertung und mit einer Filterung im Sinne der Schallschutzmassnahmen

Die Pegelwerte sind Resultate der Messungen im Nahfeld. Am Strassenrand oder in den Wohnhäusern werden sie mindestens um 20 dB(A) tiefer liegen.

7.16.5 Übertragungsfunktion Nahfeldmessung - Vorbeifahrtmessung

Wie schon bei den Schallschutzmassnahmen kann die Pegeldifferenz zwischen der Nahfeldmessung und der Vorbeifahrtmessung als Dämmfunktion in Abhängigkeit der Frequenz aufgefasst werden. Diese Funktion ist nur für den Gesamtpegel bekannt, detailliertere Ergebnisse in Abhängigkeit einzelner Terzbänder wurden bis anhin nicht untersucht. Es sollen hierzu einige Überlegungen angestellt werden.

Die Distanz vom Nahfeld zur Vorbeifahrtmessung ist etwa 7.5 m. Die Luft ist ein schlechter Schalldämmer. Die akustische Energie dürfte deshalb praktisch nicht verloren gehen und von dieser Seite ist keine frequenzabhängige Übertragungsfunktion zu erwarten. Durch spezielle Effekte im Nahfeld ist aber eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion nicht auszuschliessen.

Die Terzbandanalysen würden deutlich an Wert gewinnen, wenn diese Funktion bestimmt würde. Dies müsste aber an einem Ort mit geringen Fremdeinflüssen geschehen. Auf einer

sonst wenig befahrenen Strasse müssten die Terzbandspektren der LMA-Messung mit derjenigen der Vorbeifahrtsmessung korreliert werden.

Abbildung 7.63 zeigt drei Übertragungsfunktionen, zwei davon frequenzabhängig. Bei der Übertragungsfunktion 1 steigt die Dämpfung mit 3 dB pro Oktave und entspricht damit beinahe der Schallschutzwand gemäss Abschnitt 7.15. Die zweite weist zwei Maxima bei 500 und 2000 Hz auf. Dabei wurde die Übertragungsfunktion so gewählt, dass eine Dämpfung von 20 dB(A) beim AB 11 bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h auftritt. Es wurde angenommen, dass die Übertragungsfunktion nicht vom Belag sondern nur von der Frequenz abhängig ist.

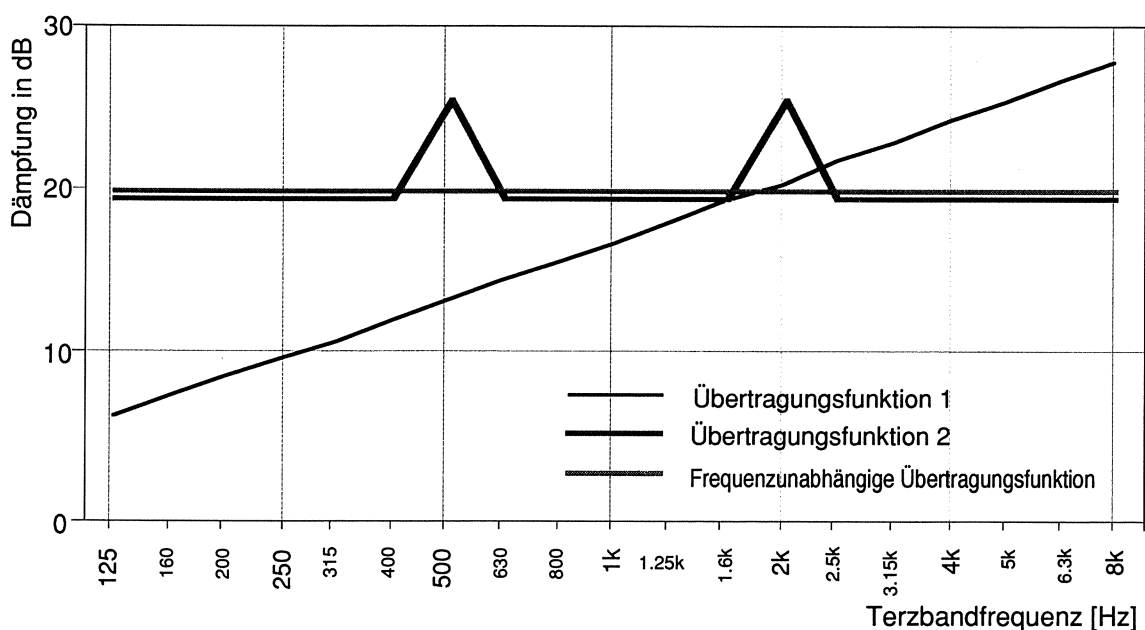


Abbildung 7.63: Angenommene Übertragungsfunktionen für die Sensitivitätsanalyse

Mit diesen angenommenen Funktionen wird nun eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Hernach werden die Ergebnisse von anderen Belägen und anderen Geschwindigkeiten mit dem Referenzbelag (AB 11, 80km/h) verglichen.

Tabelle 7.29 zeigt, dass beim Zutreffen von Übertragungsfunktion 1 viele Beläge im Vergleich zum AB 11 schlechter abschneiden würden. Für den Drainbelag würde dann zum Beispiel die Dämpfung am Strassenrand 2.3 dB(A) tiefer liegen als beim AB 11, weil der Drainbelag ein tieferes Frequenzspektrum aufweist.

Es ist jedoch möglich, dass der Drainbelag aufgrund seiner Offenporigkeit mehr Schall schluckt und demzufolge die Dämpfung bei einem offenporigen Belag deutlich höher liegt. Es ist zu erwarten, dass es eine Übertragungsfunktion für offenporige, stark strukturierte

Oberflächen und eine zweite Übertragungsfunktion für dichten mit relativ glatten Belagsoberflächen gibt.

Belag	Pegel Nahfeld [dB(A)]	Differenz der Schalldämmung [dB(A)] Übertragungsfunktion 1	Differenz der Schalldämmung [dB(A)] Übertragungsfunktion 2
Referenz: AB 11; 80 km/h	94.9	0.0	0.0
SMA 11, 80 km/h	96.4	-0.6	-0.2
SMA 11, 120 km/h	101.6	0.0	0.0
SMA 11, 50 km/h	89.4	-1.3	-0.3
DRA 11, 50 km/h	87.6	-2.6	-0.3
DRA 11 30 km/h	81.7	-3.4	-0.2
DRA 11, 80 km/h	93.6	-2.3	-0.3
DRA 11,120 km/h	96.4	-1.8	0
Beton, 120 km/h	104.1	-0.3	-0.1
Beton,50 km/h	91.7	-1.9	-0.3
HRA 16, 80 km/h	100.9	-1.7	-0.4
AB 11,30 km/h	79.6	-1.8	-0.2
AB 11,50 km/h	87.5	-0.9	-0.2
AB 11,120 km/h	101.5	+0.2	+0.2

Tabelle 7.29: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

8. Schlussfolgerungen

8.1 Beantwortung der Fragen aus Abschnitt 1.4

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus den Kapiteln 5, 6 und 7 ist es möglich, die in Abschnitt 1.4 gestellten Fragen zu beantworten.

1. Welche Eigenschaften weisen die verschiedenen Belagstypen bezüglich Lärm auf?

Die verschiedenen Belagstypen weisen im allgemeinen verschiedene Lärmpegel auf. Diese Unterschiede sind Folgen der verschiedenen Einflussfaktoren, die das Rollgeräusch verursachen. Bei den dichten Belägen sind tendenziell die feineren Beläge leiser als solche mit grösserem Grösstkorn. Bei den porösen Belägen ist das Absorptionsvermögen des Belags sowie die vorhandene Textur verantwortlich für die tieferen Pegelwerte. Bei solchen Belägen sollte der Hohlraumgehalt zwischen 20 und 25 % betragen. Ausserdem müssen die Poren miteinander verbunden sein. Das Hauptproblem bei solchen Belägen ist die Verschmutzung und die damit verbundene Verstopfung der Poren im Laufe der Zeit.

In Abhängigkeit von Korngrössenverteilung und Grösstkorn können ziemlich grosse Emissionsunterschiede zwischen den verschiedenen Belagstypen entstehen. Die Lärmemissionen der 16 untersuchten Beläge weisen je nach Geschwindigkeit Differenzen von bis zu 10 dB(A) auf (siehe Abbildungen 5.2 bis 5.7).

Die Beläge wurden aufgrund ihrer Gemeinsamkeiten in vier Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfasst die Beläge AB11, AB16, TA10, TA16, MR11, SMA11 und SMA 16 die niedrige bis mittlere Lärmpegel aufweisen. Die zweite Gruppe umfasst die lauten Beläge Beton, GA, HRA16 und HRA25. Die dritte Gruppe umfasst die offenporigen Drainbeläge DRA11 und DRA16. Grobkörnige OB-Beläge sowie HRA-Beläge weisen ähnliche Lärmeigenschaften auf wie die älteren Drainbeläge. Die vierte Gruppe umfasst die feinkörnigen Beläge. Mikro und OB3/6, aber vor allem SMA6, weisen die niedrigsten Lärmpegel auf.

Zu beachten ist, dass die Pegelwerte bei einem bestimmten Belagstyp mit ziemlich grossen Streuungen verbunden sind. Es bestehen aber tendenziell Unterschiede zwischen den verschiedenen Belagstypen. Die Messungen zeigten zum Beispiel, dass ein AB-Belag leiser als eine OB oder ein SMA leiser als ein HRA ist.

2. Gibt es charakteristische Unterschiede zwischen den einzelnen Belägen bezüglich der Terzbandanalysen?

Zwischen den einzelnen Belägen haben sich oftmals Ähnlichkeiten ergeben. Zum Beispiel unterscheidet sich das Terzbandspektrum eines SMA 11 kaum von demjenigen eines AB 11. Aufgrund des Verlaufs der Terzbandpegel im Vergleich zu den Grenzwerten wurden die Beläge in 4 Gruppen I, II, III, IV und einer Spezialgruppe (Pflasterung) unterteilt. Die ganz lauten Beläge der Gruppen II und III, die ein Maximum bei 1 kHz aufwiesen, wurden danach in einer 5. Gruppe (Gruppe V) zusammengefasst. Somit ist die Frage 2 mit ja zu beantworten.

Gruppe I beinhaltet die Beläge AB 11, AB 16, TA 10, TA 16 und SMA 11. Diese Beläge weisen einen mittleren Pegelwert auf. Die Beläge der Gruppe II (Betonbeläge, HRA 16 und HRA 25) gehören zu den lautesten Belägen. Sie weisen im ganzen Frequenzbereich hohe Pegelwerte auf. Drainbeläge bilden die Gruppe III. Diese sind im Neuzustand leise bis mittellaut; mit der Zunahme des Alters jedoch werden sie infolge der Verstopfung der Poren lauter. Feinere SMA-Beläge sowie der Mikrobelag und OB 3/6 gehören zur Gruppe IV. Die Beläge der Gruppe IV sind die leisesten Beläge. Die Beläge der Gruppe V (Betonbeläge, Hot Rolled Beläge und gröbere Oberflächenbehandlungen) wirken im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen besonders ungünstig.

3. Sind Lärmemissionen vom Belagsalter abhängig?

Für die dichten Beläge konnte keine eindeutige Abhängigkeit vom Belagsalter festgestellt werden. Dies gilt für die A-bewerteten Schallpegel sowie für die Terzbandanalysen. Bei den offenporigen Belägen wurde eine deutliche Abhängigkeit des Lärmpegels vom Belagsalter festgestellt. Das heisst, bei den offenporigen Belägen steigt der Lärmpegel im Laufe der Zeit. Diese Zunahme ist jedoch nicht linear sondern eher logarithmisch. Nach einigen Jahren zeigen die Drainbeläge ein Lärmverhalten vergleichbar mit demjenigen der OB-Beläge. Der maximale Terzbandpegel bleibt jedoch bei 1 kHz.

4. Welche Faktoren können die Lärmentstehung beeinflussen? Welche Einflüsse sind massgebend für die Lärmentstehung?

Die Pegelwerte werden durch Belagstemperatur, Linienführung, Messspur, Ebenheit, Griffigkeit und Fahrbahntextur beeinflusst.

Die Belagstemperatur hat einen grossen Einfluss auf die Lärmemission; er beträgt etwa 0.03 - 0.08 dB(A)/ °C. Bei Drainbelägen ist der Temperaturkoeffizient höher als

bei anderen Belägen. Die Pegelwerte auf neueren Belägen werden im allgemeinen mehr als diejenigen auf älteren Belägen beeinflusst. Die Veränderung der Terzbandpegel in Abhängigkeit der Temperatur sind für offenporige und dichte Beläge unterschiedlich.

Bei Kurven mit minimalen Kurvenradien erhöhen sich die Lärmemissionen um etwa 3 dB(A). Bei offenporigen Belägen gibt es Unterschiede zwischen der Rad- und der Fahrspur und in einigen Fällen auch zwischen der Überhol- und der Normalspur. Für die dichten Beläge sind die Differenzen nicht eindeutig.

Eine Korrelation zwischen der Lärmemission und der Griffigkeit sowie der Lärmemission und der Ebenheit konnte nicht festgestellt werden. Dies gilt sowohl für Korrelationen innerhalb eines Belagstyps sowie zwischen den Belagstypen. Es wurden die Belagstypen SMA 11, OB 6/11, TA 10 und AB 11 untersucht.

Der Einfluss der Maximalkorngrösse zwischen 11 und 16 und darüber war nicht eindeutig. Der AB 16 ist 1 – 2 dB(A) lauter als der AB 11, die Differenzen liegen aber im Bereich der Streubereiche. Bei den Drain- und den Teerbelägen waren die Differenzen noch geringer. Der HRA 25 ist sogar leiser als der HRA 16. Bei den feineren Belägen mit dem Grösstkorn zwischen 6 und 11, zumindest bei den SMA-Belägen, war dieser Einfluss deutlich. Der SMA 6 ist gegenüber dem SMA 8, SMA 11 und erst recht gegenüber dem SMA 16 deutlich leiser. Der OB 3/6 war gegenüber dem OB 6/11 deutlich leiser. Beläge mit einem feineren Grösstkorn sind somit im allgemeinen leiser als diejenige mit einem gröberen Grösstkorn. Bezüglich der Lärmemission wies der SMA 6 die besten Resultate auf.

Es wird vermutet, dass die Mischgutzusammensetzung einen Einfluss auf die Lärmemission hat. Die Mischgutsorte S kann bis zu 2 dB(A) höhere Lärmemissionen aufweisen. Dieser Einfluss konnte nicht sehr ausführlich untersucht werden, da bei den meisten Belägen die Mischgutsorte nicht bekannt war.

5. Wie können die massgebenden Faktoren beeinflusst werden? Ist es möglich – ohne Einbusse der bautechnischen Eigenschaften der Beläge – lärmärmere Beläge zu produzieren?

Aus der Antwort auf die vorhergehenden Fragen kann gefolgert werden, dass die Lärmemissionen durch den Belagstyp sowie durch die Wahl des Grösstkorns und der Mischgutsorte beeinflusst werden können. Andere Einflussgrössen, wie zum Beispiel Belagstemperatur oder Belagsalter können nicht beeinflusst werden. Beim Beeinflussen der oben genannten Grössen, die den Lärm massgebend beeinflussen, muss darauf geachtet werden, dass die sicherheitsrelevanten Eigenschaften (v.a. die

Griffigkeit) der Strassenoberfläche erhalten bleiben. In diesem Zusammenhang wird auf die tiefen Griffigkeitswerte der SMA-Beläge hingewiesen.

6. Wie müssen die Lärmemissionen von verschiedenen Belägen im Zusammenhang mit Schallschutzmassnahmen beurteilt werden?

Die Beläge können aufgrund ihrer Terzbandspektren in 2 Hauptgruppen – 1 kHz- und 1.6 kHz-Beläge – eingeteilt werden. Da die Schalldämmung von Schallschutzmassnahmen nicht nur vom dB(A)-Pegel sondern auch vom Terzbandspektrum abhängig ist und mit der Zunahme der Frequenz die Schallschutzmassnahmen bessere Wirkungen zeigen, können die 1.6 kHz-Beläge besser gedämmt werden. Eine Schallschutzmassnahme bei einem lauten 1.6 kHz-Belag ist wirkungsvoller als bei einem lauten 1 kHz-Belag.

Zu den 1-kHz-Belägen gehören der DRA 11, DRA 16, OB 3/6, OB 6/11, HRA 16, HRA 25 und zum Teil der Betonbelag. Der SMA 6, SMA 8, SMA 11, AB 11, AB 16, TA 10, TA 16, Mikro und zum Teil der Betonbelag gehören zu den 1.6 kHz-Belägen.

7. Wie verlässlich sind die Ergebnisse aufgrund der Nahfeldmessung zur Planung von Schallschutzmassnahmen?

Bei der Planung von Schallschutzmassnahmen wird vom Vorbeifahrtspegel ausgegangen. Um die ermittelten belagsspezifischen Differenzen aus diesem Forschungsauftrag verwenden zu können, sollte eine Übertragungsfunktion zwischen Nahfeld und Vorbeifahrtsmessung bestimmt werden. Diese Übertragungsfunktion ist für den dB(A)-Pegel bereits bestimmt worden. Eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion ist aber bis jetzt nicht vorhanden; deshalb bestehen bei den Terzbandanalysen gewisse Unsicherheiten.

8. Wie verlässlich sind die Ergebnisse aufgrund der Messungen mit AIPCR-Reifen?

Der AIPCR-Reifen repräsentiert die belagsspezifischen Rollgeräuschkennwerte recht gut. Dies wurde für den dB(A)-Pegel auf acht verschiedenen Belägen untersucht. Bezüglich der Terzbandanalyse wurde dies für stark unterschiedliche Beläge, einen DRA 10 (offenporig) und einen AB 16 (dicht), untersucht.

8.2 Ergebnisse

Aus den Antworten zu den im Abschnitt 1.4 gestellten Fragen wurden folgende Ergebnisse abgeleitet:

- Strassenverkehr ist eine der wichtigsten Lärmquellen der modernen Zeit. Viele Leute leiden heutzutage unter Verkehrslärm. Es ist somit notwendig, dass sowohl das Antriebsgeräusch als auch das Rollgeräusch mit allen möglichen Mitteln reduziert werden.
- Das Rollgeräusch ist bei Personenwagen ab einer Fahrgeschwindigkeit von zirka 40 - 50 km/h, bei Lastwagen ab einer Geschwindigkeit von etwa 60 - 70 km/h massgebend für das Fahrgeräusch. Dies bedeutet, dass bei normaler Fahrt ausserorts die Rollgeräusche massgebend für den Verkehrslärm sind.
- Durch eine lärmbewusste Fahrweise können Pegelreduktionen bis zu 7 dB(A) erreicht werden. Die Fahrweise ist bei niedrigen Geschwindigkeiten (Innerorts, Wohnquartiere, Tempo 30 Zonen) die Haupteinflussgrösse auf den Gesamtlärmpegel. Sie kann durch die Gestaltung von Ortskernen sowie durch die Verkehrsberuhigungsmassnahmen stark beeinflusst werden. Der Fahrer soll zu einer langsamen und homogenen Fahrt veranlasst werden.
- Das Rollgeräusch nimmt logarithmisch mit der Zunahme der Fahrgeschwindigkeit zu.
- Das Rollgeräusch ist massgebend vom Grösstkorn abhängig. Je kleiner das Grösstkorn, desto niedriger wird das Rollgeräusch. Dieser Einfluss ist bei den Korngrössen über 11 mm weniger ausgeprägt. Glatte Oberflächen sind lauter als rauhe Fahrbahnen, welche eine gute Mikro- und Makrotextur aufweisen.
- Der Einfluss der Korngrössenverteilung ist nicht eindeutig. Die Beläge SMA 11 und AB 11 zeigen zum Beispiel ähnliche dB(A)- und Terzbandpegel, weisen jedoch deutlich unterschiedliche Korngrössenverteilungen auf.
- Bei den AB - Belägen beeinflusst die Mischgutzusammensetzung den Lärmpegel. Beim AB 16 - Beläge des Mischguttyps S wiesen im allgemeinen 1 – 2 dB(A) höhere Pegelwerte. Beim AB 11 war diese Differenz 2 – 3 dB(A).
- Offenporige Beläge können durch ihr Absorptionsvermögen das Rollgeräusch vermindern. Die spezifischen Probleme dieser Beläge, Verstopfung und höhere Betriebskosten, sind weiter zu untersuchen.
- Mit der Zunahme der Temperatur nimmt das Rollgeräusch ab. Das Gegenteil ist bei einer Abnahme der Temperatur der Fall. Aufgrund der vorliegenden Resultate der

Lärmmessungen bei verschiedenen Temperaturen konnte festgestellt werden, dass offenporige Beläge stärker auf Temperaturänderungen reagieren als dichte Beläge. Desweiteren wurde festgestellt, dass der Lärmpegel auf älteren Belägen im allgemeinen weniger von der Temperatur beeinflusst wird als auf neueren Belägen. Der Temperaturkoeffizient beträgt 0.03 bis 0.08 dB(A)/° C für verschiedene Beläge.

- Griffigkeit, Ebenheit und Belagsalter beeinflussen die Lärmpegel nicht massgebend. Die belagstechnischen Eigenschaften müssen jedoch gewährleistet bleiben. Eine Oberfläche mit sehr tiefem Lärmpegel, die keine genügende Griffigkeit aufweist, ist zum Beispiel zu vermeiden.
- Die Terzbandanalysen zeigen, dass die Beläge in 2 Hauptgruppen mit einem Terzbandpegelmaximum bei 1 und 1.6 kHz unterteilt werden können. Da die Dämmwirkung der Schallschutzmassnahmen frequenzabhängig ist, werden Rollgeräusche der 1.6 kHz – Beläge besser gedämmt.

9. Empfehlungen für die Praxis

Aus den obigen Schlussfolgerungen ergeben sich folgende Empfehlungen für die Praxis:

- Für die Deckschichten sind scharfe, polierresistente Mineralien zu verwenden.
- Falls allein Lärmschutz massgebend ist, ist das Grösstkorn der Deckschichten möglichst klein zu wählen. Ein Grösstkorn über 10 mm sollte vermieden werden. Grösstkörner unter 8 mm sind zu empfehlen.
- Schlaglöcher und unebene Flickstellen verursachen besonders viel Lärm. Eine schnelle und sorgfältige Beseitigung solcher Stellen kann die Lärmemissionen reduzieren.
- Bei der Bekämpfung des Lärms muss darauf geachtet werden, dass die belagspezifischen Eigenschaften, die für die Verkehrssicherheit notwendig sind, nicht beeinträchtigt werden.
- Durch den Einbau eines SMA 6 können die Lärmemissionen erheblich reduziert werden. Dabei wird empfohlen solche Beläge auch auf den Autobahnen einzubauen. Da über das Langzeitverhalten der SMA-Beläge erst wenige Erfahrungen vorliegen, wird empfohlen, die Oberflächeneigenschaften (Ebenheit, Griffigkeit, Spurrinnen) über eine bestimmte Zeit zu beobachten. In diesem Zusammenhang wird auf die im allgemeinen schlechtere Griffigkeit der SMA-Beläge im Vergleich zu den anderen Belägen hingewiesen.
- Zur Evaluation der Beläge sollten die geplanten Schallschutzmassnahmen miteinbezogen werden. Neben den dB(A)-Pegeln sollten auch die Terzbandanalysen miteinander verglichen werden. Bei der Evaluation eines neuen Belags soll berechnet werden wie gross die Verbesserung der Schalldämmung unter Einbezug der Terzbandanalyse und der frequenzabhängigen Schalldämmung von geplanten oder schon bestehenden Schallschutzmassnahmen ist.
- Da Innerorts die Fahrgeschwindigkeiten eher unter 50 km/h liegen, kann mit den lärmärmeren Belägen nicht viel erreicht werden. In solchen stark lärmbelasteten Gebieten kann durch eine bessere Fahrweise das Rollgeräusch und damit der Strassenlärm um einige dB(A) vermindert werden.

10. Offene Fragen

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse sind folgende weitere Untersuchungen notwendig:

- Die Beeinflussung des Lärms durch die Oberflächentextur sollte näher untersucht werden. Es ist eindeutig, dass im Zusammenhang mit den Lärmemissionen die Oberflächentextur eine bedeutende Rolle spielt. Wie und inwieweit jedoch die Textur beeinflusst werden kann, ohne andere belagsspezifische Eigenschaften zu beeinträchtigen, wurde nicht ausführlich untersucht. Dies sollte mit den neuen Forschungsarbeiten zustande kommen.
- Die Messungen haben gezeigt, dass die feinen SMA-Beläge (SMA 6) eine erhebliche Reduktion der Lärmemission zur Folge haben. Bei den gröberen SMA-Belägen ist das nicht der Fall; SMA 11 ist kaum leiser als AB 11. Gleichzeitig zeigen die Messungen, dass andere Oberflächeneigenschaften der SMA-Beläge zum Teil viel schlechter sind als diejenigen der konventionellen dichten Beläge (AB und TA). Da beide Beläge (SMA und AB) zur Gruppe der 1.6 kHz-Beläge gehören und sonst auch im allgemeinen gleiche Terzbandpegel aufweisen, sollte geprüft werden, ob die SMA-Beläge tatsächlich leiser sind als die gleichwertigen AB-Beläge. Desweiteren sollte untersucht werden, ob die Oberflächeneigenschaften der SMA-Beläge (zum Beispiel ihre Griffigkeit) sich im Laufe der Zeit verbessern.
- Die offenporigen Beläge sind im allgemeinen leiser als die dichten Beläge. Im Zusammenhang mit den Lärmschutzmassnahmen sollte aber untersucht werden, ob sie hinter der Lärmschutzmauer oder dem Lärmschutzfenster auch bessere Lärmeigenschaften zeigen als die dichten Beläge. Es wird darauf hingewiesen, dass die offenporigen Beläge zur Gruppe der 1 kHz - Beläge gehören und dass die tieferen Frequenzen schlechter abgeschirmt werden können.
- Es konnte bei dieser Forschungsarbeit keine eindeutige Abhängigkeit des Lärms von der Ebenheit, der Griffigkeit sowie dem Alter des Belags festgestellt werden. Da diesbezüglich wenige Messungen (SMA 6, SMA 8) durchgeführt wurden, sollte die Aussagekraft der obigen Feststellungen genauer untersucht werden.
- Da eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion zwischen den Nahfeldmessungen (mit dem Lärmessanhänger) und den Vorbeifahrtmessungen noch nicht vorhanden ist, sind einige Ergebnisse der Terzbandanalyse mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Diese Übertragungsfunktion sollte baldmöglichst bestimmt werden.
- Zur besseren Klärung der Lärmemissionen sollten die Schwingungszustände des Reifens in Abhängigkeit der Textur, der Geschwindigkeit und der Temperatur genauer untersucht werden.

- Inwieweit die Mischgutttypen (N und S) die Lärmemissionen der Beläge beeinflussen ist nicht eindeutig klar. Ausserdem kann der Einfluss nicht eindeutig auf das Material oder das Bindemittel zurückgeführt werden. Diesbezüglich sollen weitere Forschungsarbeiten durchgeführt werden.

11. Literaturverzeichnis

- [1] W. Aecherli: Einführung in die Thematik Strassenverkehrslärm, 9. Internationale Fachmesse und Fachtagungen für Umweltschutz: Wasser, Abwasser, Abfall, Luft, Lärm; Band 9B, Fachtagung II, Lärm – Strassenverkehrslärm, Pro Aqua AG, Basel, 1983
- [2] H. Bernath: Massnahmen zur Dämmung und Kanalisierung des Verkehrslärms; Brennende Fragen zum Thema Ortsplanung, Baubewilligungspraxis und Umweltschutz: Referate der Tagung am 21. und 22. Januar 1986 in Zürich, Schweiz, Vereinigung für Landesplanung (VLP), Mai 1986
- [3] B. Keller: Bauphysik für Bauingenieure, Vorlesungsunterlagen, 7. Semester Abteilung für Bauingenieurwesen, Zürich, Herbst 1993 / 1994
- [4] I. Veit: Technische Akustik, 4. Auflage, Vogelbuchverlag, Würzburg, 1988
- [5] R. F. Hoffmann: Lärmschutzmassnahmen, Brennende Fragen zum Thema Ortsplanung, Baubewilligungspraxis und Umweltschutz: Referate der Tagung am 21. und 22. Januar 1986 in Zürich, Schweiz, Vereinigung für Landesplanung (VLP), Mai 1986
- [6] G. Kemer: Geräuschemissionen von Kraftfahrzeugen und Möglichkeiten ihrer Minderung, Kampf dem Lärm, 1979
- [7] M. Horat: Rollgeräuschemessungen auf den Nationalstrassen im Kanton Bern S951, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT ETH Zürich, 1990
- [8] T. Isenring: Langzeitverhalten von bituminösen Drainbelägen, Teil 1: Lärmverhalten von Drainbelägen, Forschungsauftrag 3/87, Zürich, August 1991
- [9] H. Köster: Drainsphalt, Beobachtungen des Verhaltens von hohlraumreichen Verschleisschichten unter Verkehr, Forschungsauftrag 10/82, im Auftrag vom Bundesamt für Strassenbau Zürich, Mai 1991
- [10] Akustik, Brüel & Kjær, Art. Nr. 252564
- [11] K. Dietrich, E. Boppart, M. Caprez: Strassenbau, Vorlesungsunterlage, 6. Auflage, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT ETH Zürich, 1999
- [12] SN 640520a Ebenheit, Prüfung der Geometrie, Zürich, März 1977
- [13] SN 640521b Ebenheit, Qualitätsanforderungen, Zürich, März 1977

- [14] SN 640511b Griffigkeit, Bewertung, Zürich, Februar 1984
- [15] H. Köster: Rollgeräuschmessungen mit verschiedenen Reifen auf verschiedenen Belägen S927, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT ETH Zürich, 1988
- [16] O. Özkul: Langzeitverhalten von bituminösen Drainbelägen, Teil 2: Funktionalitäts- und Gebrauchsdauer FA 3/87 im Auftrag vom Bundesamt für Strassenbau, Zürich, November 1996
- [17] S. Huschek: Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen, Bitumen, 4 / 97
- [18] U. Sandberg: Lärmindernde Fahrbahnoberflächen – Empfehlungen für die Gestaltung, Zweites internationales Symposium über Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Strassenbau, Berlin 23. – 26. 6. 1992
- [19] R. Werner: Von lauten zu leisen Betonstrassen, Cementbulletin, Nr. 2, Februar 1998
- [20] H. Ruscheweyh: Dynamische Windwirkung an Bauwerken, Grundlagen Anwendungen, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1982
- [21] E. Sälzer: Städtebaulicher Schallschutz, planerische und technische Massnahmen, Wirtschaftlichkeit, Dimensionierung und Gestaltung, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1982
- [22] SN 640 925 a, Zustandserfassung und Bewertung von Strassen, Zürich, April 1997
- [23] H. Köster: Rollgeräuschmessungen mit verschiedenen Reifen auf verschiedenen Belägen, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, S 927 im Auftrag der Touring Club Schweiz, Zürich, 1988
- [24] K. Heutschi: Bericht zum F + E – Projekt «Neues EMPA Modell für Strassenlärm» Teil Quellenbeschreibung, EMPA, 1997

Anhang 1

Abkürzungen, Begriffe und Definitionen

1.1

Abkürzungen

(Alphabetisch geordnet)

AIPCR	Association Internationale Permanente des Congrès de la Route
AB	Asphaltbeton
A_{net}	A – Bewertete Schallintensität
B	Bandbreite
C	Schallgeschwindigkeit [m/s]
dB	Dezibel (Lärmpegel)
dB(A)	A - Bewerteter Lärmpegel
DRA 11 leise	Drainbelag mit nicht verstopften Poren, Grösstkom 11 mm
DRA 11 laut	Drainbelag mit verstopften Poren, Grösstkom 11 mm
f	Frequenz [1/s]
h	Stunde
H	Hinteres Mikrofon
HRA	Hot Rolled Asphalt
Hz	Hertz (= 1/s)
I	Schallintensität
kHz	Kilohertz
km	Kilometer
L_0	Schallpegel bezogen auf eine Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h
L_{eq}	Äquivalenter Druckschallpegel [dB(A)]
LMA	Lämmessanhänger
LMA – Wert	Lärmpegel gemessen mit dem Lämmessanhänger
L_{net}	Unbewertete Schallintensität
Log	Logarithmus mit Basis 10
L_p	Schalldruckpegel [dB], Lärmpegel [dB]
L_{pG}	Gesamter Schalldruckpegel [dB]
L_{pM}	Mittlerer Schalldruckpegel [dB], Mittlerer Lärmpegel [dB]
LSV	Lärmschutzverordnung
λ	Wellenlänge [m]
μPa	Mikropascal (Druckeinheit)
MR	Microcourageux oder Rauhbelag
n	Anzahl Messungen
OB	Oberflächenbehandlung
p	Schalldruck [Pa]
p_0	Normierter Bezugswert (Bezugsschalldruck) von 20 μPa
P	Schalleistung
Pa	Pascal = N / m ² , (Druckeinheit)
PIARC	Permanent International Association of Road congresses
s	Sekunde
S	Seitliches Mikrofon
SMA	Spittmastixasphalt
S_{max2}	Durchschnitt der beiden grössten Abweichungen
TA	Teerasphalt
v	Fahrgeschwindigkeit [km/h]

1.2

Begriffe und Definitionen

(Alphabetisch geordnet)

Antriebsgeräusch	Anteil Strassenverkehrslärm, welcher durch Motor und Gaswechsel des Fahrzeuges zustande kommt.
Antriebsschallpegel	Schallpegel in Folge Antriebsgeräusch
Bauschalldämmmass	Ermitteltes Dämmmass aufgrund der Schalldämmkurve mit einer Referenzdämmkurve
Dichter Belag	Belag mit 3 bis 5 % Hohlraumgehalt, die Hohlräume nicht kopulierend
Durchschnittlicher Terzbandpegel	Durchschnittliche Intensität der Terzbandpegel der hinteren und seitlichen Mikrophone
Rollgeräusch	Anteil Strassenverkehrslärm, welcher durch Rollen der Pneu auf der Fahrbahn zustande kommt.
Fahrgeräusch	Geräusch, welches beim Fahren produziert wird (Antriebs- und Rollgeräusch)
Geräuschspektrum	Beitrag der einzelnen Terzbänder zu einer Schallintensität (meist A – bewertet)
Klangfarbe	
Lärmemission	Durchschnittliche Lärm- bzw. Terzbandpegel
Lärmpegel	Logarithmisches Verhältnis eines bestimmten Schalldruckes zum normierten Bezugswert von 20 μPa , Wenn nicht anderes vermerkt, handelt es sich um den A-bewerteten durchschnittlichen Lärmpegel.
Schalldämmung	Aufgrund der Schalldämmkurve und der Lärmemission ermitteltes Dämmmass
Schwerfahrzeug	Fahrzeug mit dem Gesamtgewicht grösser als 3.5 Tonnen
Strassenlärm	Strassenverkehrslärm
Strassenverkehrslärm:	Lärm, welcher durch den Strassenverkehr produziert wird.
Terzbandpegeldifferenz	Beschreibt die Pegeldifferenz zwischen zwei Schallpegeln. ([dB], [dB(A)], [dB(B)], Wenn nicht anderes vermerkt, handelt es sich um die Differenz zwischen zwei durchschnittlichen Terzbandpegeln

1.3 Gewichtung der einzelnen Resultate

Von 1985 bis 1998 wurden Lärmmessungen auf verschiedenen Belägen durchgeführt. Es wurden zum Teil sehr ausführliche Messkampagnen bei verschiedenen Belagstemperaturen und über einen grossen Zeitraum auf ein und derselben Strecke durchgeführt. Dies ist jedoch nicht immer der Fall. Es gibt Strecken, bei welchen nur eine einzige Messung durchgeführt wurde.

Es stellt sich nun die Frage, wie die einzelnen Messergebnisse gewichtet werden sollen. Grundsätzlich wurden mit den folgenden Argumenten alle Messungen gleich gewichtet:

- Eine Wiederholungsmessung trägt zur Sicherheit des Resultates bei, es kann damit zum Beispiel vermieden werden, dass Ausrutscher mit zu ungenauer Fahrgeschwindigkeit oder Fahrspur berücksichtigt werden. Um diese Ausrutscher nicht zu berücksichtigen wurden die 90 %- und 10 % Percentilwerte ermittelt und nicht der Höchst- bzw. der Tiefstwert.
- Ergebnisse von Messungen bei verschiedenen Belagstemperaturen ergeben manchmal ähnliche Streuungen, wie wenn auf verschiedenen Belägen gemessen worden wäre.
- Bei Messungen über Jahre verändert sich die Oberflächenstruktur. Es ist deshalb genauso sinnvoll eine Messung von 1987 und 1995 zu berücksichtigen, wie wenn auf zwei verschiedenen Strecken gemessen worden wäre.
- Es wäre recht schwierig geeignete Gewichtungsfaktoren zu bestimmen.

Bei einigen Resultaten führt dieses Vorgehen aber dazu, dass für ein Ergebnis, beruhend auf 80 Messungen, 30 Messungen von einer Strecke stammen. Es ist deshalb zu prüfen, in welcher Weise diese Vielzahl von Messungen das Resultat beeinflusst haben. Wie streuen diese Messungen im Vergleich zu den anderen Messungen? Oftmals wurde festgestellt, dass diese Vielzahl von Messungen sich meist über 50 bis 75 % des gesamten Streubereiches eines bestimmten Belages verteilen. Das hat zur Folge, dass diese 30 Messungen, selbst wenn sie von einer Strecke stammen das Resultat kaum beeinflussen.

Wenn nun aber die Messungen auf einer Strecke mehr als ein Drittel bis die Hälfte der gesamten Daten betragen, werden die Messresultate der restlichen Strecken stärker gewichtet (Faktor 2 bis Maximum 5).

1.4 Percentilwerte

Die Resultate aller Messungen auf demselben Belag bei gleicher Fahrgeschwindigkeit wurden aufgrund des Durchschnittspegels der Grösse nach sortiert. Aufgrund dieser Grundlage wurden die Percentilwerte bestimmt.

Beim Vorhandensein von zum Beispiel 13 Messungen wurde für das 10 %-Percentil der Wert des Ranges 2.3 durch Interpolation zwischen dem 2. und dem 3. Rang ermittelt. Für das 25 %-Percentil wurde der 4. Rang, für den Median der 7. Rang usw., berücksichtigt. Bei weniger als 10 Messungen wurde auf das 90 % - bzw. 10 %-Percentil verzichtet. Bei weniger als 4 Messungen wurde nur der Medianwert ermittelt.

Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die Ausrutscher, bei denen nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob die Fahrgeschwindigkeit eingehalten oder ob in der Fahrspur gefahren wurde oder sogar ob die Belagsangaben falsch gewesen sind, nicht berücksichtigt werden. Auch sind die Angaben zu einem Belag weniger ausführlich, wenn nur wenige Messungen vorliegen.

Anhang 2

Detaillierte Resultate der A – bewerteten Schallpegel

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h				
10%-Perzentil	79.3	85.6°	88.7°	91.0°	95.1°	99.5°				
25%-Perzentil	80.5	86.8°	89.8°	92.7°	96.4°	101.2°				
Median	81.5	87.9	91.2	94.8°	98.9°	101.9				
75%-Perzentil	82.8	88.8	93.2	96.5	99.9	103.2				
90%-Perzentil	83.7	89.9	93.3	97.4	101.1	103.8				
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt	82.5	88.8	92.4	96.1	100.5	104				
Seitliches Mikrofon Durchschnitt	80.5	86.7	89.4	91.9	94.5	97.4				
Energetisches Mittel	81.7	87.9	91.2	94.6	98.5	102				
Anzahl Messungen	39	105	79	70	33	16				
Anzahl Strecken	8	17	25	23	17	5				
Bemerkungen		*1	*2	*3						
Beurteilungsschema	10	Sehr leise	25	leise	40	mittel	55	laut	70	Sehr laut

Tabelle 1: Resultate AB 11

- Legende:
- °: LMA-Wert könnte in mehr als ein Viertel aller Fälle berücksichtigt werden. Der LMA-Wert wäre um zirka 1 dB(A) höher als der durchschnittliche Schallpegel beider Mikrophone
 - °°: LMA-Wert könnte in den meisten Fällen berücksichtigt werden. Der LMA-Wert wäre um zirka 2 dB(A) höher als der durchschnittliche Schallpegel beider Mikrophone
 - *1: Einfluss der Belagtemperatur auf drei Strecken untersucht
 - *2: 37 Messungen auf einer Strecke von 1985 bis 1998 bei verschiedenen Belagtemperaturen
 - *3: 38 Messungen auf einer Strecke von 1985 bis 1998 bei verschiedenen Belagtemperaturen

Bemerkungen: Der AB 11 und AB 10 wurde zusammengefasst, da zwischen den beiden Belägen keine nennenswerte Differenzen gab. Unterschiede gab es aber zwischen AB 11 S und AB 11 N. Bei etwa 60 % der Messungen war nicht bekannt, ob der Mischgutttyp N oder S verwendet wurde, deshalb wurden die beiden Beläge nicht getrennt.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	80.2	87.8°	90.8°	95.1°	100.2	103.5
25%-Perzentil	81	88.6°	92.1°	97.1	100.8	103.9
Median	81.9	89.3	93.3	97.8	101.8	104.9
75%-Perzentil	82.8	90.1	94.2	98.7	102.2	105.2
90%-Perzentil	83.8	90.7	95.2	99.3	102.8	105.8
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt	83.91	90.3	94.5	99.3	103.4	106.9
Seitliches Mikrofon Durchschnitt	80.4	87.8	91.2	94.7	97.6	100.1
Energetisches Mittel	82.0	89.3	93.2	97.6	101.5	104.7
Anzahl Messungen	15	69	99	97	61	29
Anzahl Strecken	4	9	15	14	8	3
Bemerkungen		*1	*2; *3	*4		
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 2: Resultate AB 16

- Legende:
- *1: 46 Messungen seit 1985 auf zwei Strecken, die Ergebnisse der beiden Strecken verteilen sich über den gesamten Bereich
 - *2: 56 Messungen seit 1985 auf 2 Strecken
 - *3: Bei 13 Messungen auf 3 Strecken wurde Mischgutttyp S verwendet; der Lärmpegel entspricht dem 90%- Perzentilwert.
 - *4: 47 Messungen auf 2 Strecken, 12 Messungen mit Mischgutttyp S
- Auch siehe Tabelle 1.

Bemerkungen: Der AB 16 S ist um 0.5 bis 2.0 dB(A) lauter als der AB 16 N; die Differenzen sind jedoch weniger ausgeprägt als beim AB 11. Bei 30 und 50 km/h sind keine erkennbaren Differenzen aufgetreten.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	79.4	86.1 ^{oo}	88.3 ^{oo}	93.2 ^{oo}		
25%-Perzentil	80.8	87.5 ^{oo}	90.8 ^{oo}	95.0 ^o		
Median	81.5	88.8 ^o	91.9	95.6		
75%-Perzentil	82.4	89.8	93.8	97.4		
90%-Perzentil	83.0	91.1	94.9	99.1		
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt	82.7	89.9	93.0	97.4		
Seitliches Mikrophon Durchschnitt	79.4	87.2	90.6	94.3		
Energetisches Mittel	81.4	88.8	92.0	96.1		
Anzahl Messungen	16	52	20	32		
Anzahl Strecken	4	12	5	8		
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 3: Resultate TA 10

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	81.0	88.1 ^o	91.5 ^o	95.8	95.9	
25%-Perzentil	81.4	88.8	91.8	96.4	96.5	
Median	81.9	89.1	91.8	96.6	98.2	
75%-Perzentil	82.1	89.9	92.1	97.3	101.5	
90%-Perzentil	83.1	90.8	93.2	99	102.2	
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt	83.3	90.5	93.2	98	100.8	
Seitliches Mikrophon Durchschnitt	80.1	87.1	90.8	94.4	96.2	
Energetisches Mittel	82	89.4	92.2	96.6	99.1	
Anzahl Messungen	13	45	23	42	14	
Anzahl Strecken	4	13	6	11	3	
Bemerkungen			*1	*2	*3	
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 4: Resultate TA 16

Legende: *1: 12 Messungen auf einer Strecke
 *2: 12 Messungen auf einer Strecke
 *3: 6 Messungen auf einer Strecke

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	78.7	85.2 ^{oo}	88.4 ^{oo}	93.3 ^o		
25%-Perzentil	79.8	87.4 ^{oo}	89.7 ^{oo}	94.4	98.9	
Median	83.2	88.4 ^o	92.0 ^o	95.8	99.2	
75%-Perzentil	83.8	90.1	93.1	96.3	99.8	
90%-Perzentil	84.3	90.5	93.1	97.2		
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt	83.1	89.6	92.2	96.7	100.6	
Seitliches Mikrophon Durchschnitt	79.9	86.5	89.6	93.2	97.2	
Energetisches Mittel	81.9	88.3	91.2	95.4	99.3	
Anzahl Messungen	5	17	14	18	4	
Anzahl Strecken	2	7	5	6	2	
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 5: Resultate Mikrobelag

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil		84.0°	86.1°			
Median	77.5	85.1°	86.5°	90.1°		
75%-Perzentil		86.1°	87.0°			
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt	78.2	86.1	87.9	91.6		
Seitliches Mikrophon Durchschnitt	77.5	83.6	84.5	88.0		
Energetisches Mittel	77.9	85.0	86.5	90.2		
Anzahl Messungen	2	16	8	4		
Anzahl Strecken	1	3	2	1		
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 6: Resultate SMA 6

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil	79.3	86.4°				
Median	80.8	87.5°	90.1°			
75%-Perzentil	81.8	88.3				
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt	81.8	88.6	91.0			
Seitliches Mikrophon Durchschnitt	79.4	85.4	89.0			
Energetisches Mittel	80.8	87.3	90.1			
Anzahl Messungen	10	12	2			
Anzahl Strecken	2	2	1			
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 7: Resultate SMA 8

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	80.0	87.5°	89.6°	95.2°	98.4°	101.0
25%-Perzentil	81.0	88.1	90.8°	95.7	99.0	101.7
Median	82.5	89.1	91.8	96.4	99.5	102.0
75%-Perzentil	83.0	89.8	93.1	97.1	100.1	102.6
90%-Perzentil	83.4	90.3	93.8	97.8	100.7	102.9
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt	82.9	89.4	92.7	97.7	101.3	104
Seitliches Mikrophon Durchschnitt	80.4	88.4	90.5	94.4	96.3	98.1
Energetisches Mittel	81.8	88.9	91.8	96.4	99.5	102
Anzahl Messungen	7	44	37	93	46	21
Anzahl Strecken	4	8	8	15	9	5
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 8: Resultate SMA 11

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil						
Median	-				-	-
75%-Perzentil						
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt		93.5	95.5	101.0		
Seitliches Mikrofon Durchschnitt		92.0	94.3	98.8		
Energetisches Mittel		92.8	94.9	100.0		
Anzahl Messungen		2	2	2		
Anzahl Strecken		1	1	1		
Bemerkungen						
Beurteilungsschema	Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut	

Tabelle 9: Resultate SMA 16

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil				95.0	98.2	
25%-Perzentil				95.5	98.7	
Median	82.5	88.3	94.4	96.0	99.0	100.3
75%-Perzentil				97.0	99.8	
90%-Perzentil				98.0	100.4	
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt	83.9	89.5	95.5	97.4	100.6	101.8
Seitliches Mikrofon Durchschnitt	80.5	86.6	93.0	95.0	97.0	98.0
Energetisches Mittel	82.5	88.3	94.4	96.4	99.2	100.3
Anzahl Messungen	2	2	1	16	9	2
Anzahl Strecken	1	1	1	1	1	1
Bemerkungen				*1	*1	
Beurteilungsschema	Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut	

Tabelle 10: Resultate MR 11

Legende: *1: Messung auf der Normal - und Überholspur in beiden Richtungen, Belagtemperatur 40 bis 50°C

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	-	89.3	92.1	97.6	98.7	102.5
25%-Perzentil	82.1	90.3	93	98.7	101	103.7
Median	82.4	91	94.1	99.3	102.3	104.5
75%-Perzentil	85.8			99.9	104.2	105.3
90%-Perzentil	-					
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt	84.8	92.1	94.8	100.8	104.2	106.5
Seitliches Mikrofon Durchschnitt	81.3	90.4	92.9	96.5	98.7	99.6
Energetisches Mittel	83.4	91.5	94.1	99.2	103.3	104.3
Anzahl Messungen	3	69	81	45	31	12
Anzahl Strecken	1	5	13	14	13	7
Bemerkungen		*1	*2			
Beurteilungsschema	Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut	

Tabelle 11: Resultate Beton

Legende: *1: 63 von 69 Messungen stammen von einer Strecke. Die restlichen 6 Messungen wurden mit dem Faktor 5 gewichtet.
*2: 61 von 81 Messungen stammen von einer Strecke. Die restlichen wurden mit dem Faktor 3 gewichtet.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil						
Median						
75%-Perzentil						
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt		92.8	96	100.6	103.3	107.8
Seitliches Mikrophon Durchschnitt		92.8	96.4	100	102	105.5
Energetisches Mittel		92.8	96.3	100.4	102.7	106.8
Anzahl Messungen		7	11	12	6	2
Anzahl verschiedener Strecken		2	5	5	3	2
Bemerkungen		*1				
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 12: Resultate HRA 16

Legende: *1: 6 Messungen auf einer Strecke

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil		91.5	93.9	98.8		
Median		91.8	94.4	99.3		
75%-Perzentil		92.5	95.0	99.8		
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt		92.0	94.8	99.6		
Seitliches Mikrophon Durchschnitt		91.5	94.2	98.6		
Energetisches Mittel		91.8	94.5	99.2		
Anzahl Messungen		34	36	38		
Anzahl verschiedener Strecken		1	1	1		
Bemerkungen		*1	*1	*1		
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 13: Resultate HRA 25

Legende: *1: Alle Messungen stammen von einer Strecke; sie wurden über mehrere Jahre und bei verschiedenen Temperaturen ausgeführt. Es zeigt sich, dass der Lärmpegel nicht allzu stark von Messbedingungen beeinflusst wird.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil						
Median		89.9	92.5	96.9		
75%-Perzentil						
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrophon; Durchschnitt		90.9	91.9	97.0		
Seitliches Mikrophon Durchschnitt		90.7	92.9	96.8		
Energetisches Mittel		90.9	92.5	96.9		
Anzahl Messungen		8	6	6		
Anzahl verschiedener Strecken		1	1	1		
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 14: Resultate OB 3/6

Legende: *1: Alle Messungen stammen von einer Strecke; sie wurden bei verschiedenen Temperaturen ausgeführt.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil		89.5	92	93.6		
25%-Perzentil		90.6	92.8	96.2		
Median		91.7	94.1	97.8		
75%-Perzentil		92.8	95	99		
90%-Perzentil		93.7	95.1	99.5		
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt		91.7	93.1	97.6		
Seitliches Mikrofon Durchschnitt		91.8	93.8	96.5		
Energetisches Mittel		91.8	93.6	97.2		
Anzahl Messungen		34	25	29		
Anzahl verschiedener Strecken		4	5	6		
Bemerkungen						
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 15: Resultate OB 6/11

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil		89.5	91.5	94.3		
25%-Perzentil		90.3	92.2	95.5		
Median		91.6	93.5	96.3		
75%-Perzentil		92.7	95	99.5		
90%-Perzentil		93.7	95.7	100.2		
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt		90.6	92.8	95.8		
Seitliches Mikrofon Durchschnitt		91.7	93.8	96.7		
Energetisches Mittel		91.2	93.3	96.3		
Anzahl Messungen		37	39	39		
Anzahl verschiedener Strecken		2	3	3		
Bemerkungen		*1/*2	*1/*3	*1/*4		
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 16: Resultate OB 11/16

Legende:

- *1: Jeweils 36 Messungen stammen von einer Strecke. Diese Messungen wurden bei verschiedenen Temperaturen und über mehrere Jahre ausgeführt. Die anderen Messungen wurden mit den Faktor 5 gewichtet. Die Lärmemissionen streuen stark in Abhängigkeit der Messbedingungen.
- *2: Ein energetisches Mittel von 93.8 dB(A) wurde auf der anderen Strecke gemessen.
- *3: Ein energetisches Mittel von 95.2 dB(A) wurde auf der anderen Strecke gemessen.
- *4: Ein energetisches Mittel von 100.2 dB(A) wurde auf der anderen Strecke gemessen.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil	81.2	87.6	90.5	92.5	94.5	96.2
25%-Perzentil	81.8	89.6	92	93.7	95.3	97
Median	82.3	87.5	93.5	96.3	96.3	97.8
75%-Perzentil	82.5	89.5	95.5	98.3	97.5+2	99+2
90%-Perzentil	83.8	91.5	95.0	99.0	98.8+2	100.5+2
Hinteres Mikrofon, 25%-/75% Perzentil	82.7	89.0/92.4	91.5/94.5	93.0/98.6	94.8/97.5+2	96.6/99.0+2
Seitliches Mikrofon, 25%-/75% Perzentil	82.7	89.5/94.0	92.0/96.0	94.0/99.6	95.6/97.5+2	97.4/99.0+2
energetisches Mittel, 25%-/75% Perzentil	82.4	89.6/93.0	92.0/95.5	93.7/98.3	95.3/97.5+2	97.0/99.0+2
Anzahl Messungen	17	66	77	88	51	41
Anzahl verschiedener Strecken	3	6	10	12	9	8
Bemerkungen	*3	*1	*1	*1, *2	*2, *3	*2, *3
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 17: Resultate DRA 11

Legende:

- *1: Auf einer Strecke wurden mehr als 30 Messungen bei verschiedenen Temperaturen und über mehrere Jahre durchgeführt. Die Resultate wurden dadurch nicht beeinflusst.
- *2: Messungen auf den Autobahnstrecken wurden auch auf der Überholspur durchgeführt.
- *3: Für die Fahrgeschwindigkeit 30 km/h wurde nie auf einem älteren Drainasphalt gemessen.

Bemerkungen:

Der Lärmpegel ist bei 100 km/h tiefer als bei 80 km/h. Die Beläge der Autobahnstrecken waren maximal 7 Jahre alt. Zudem war die Belagtemperatur bei den meisten Messungen über 45° C. Bei der Auswertung wurde der Pegel für die 75%- und 90%-Perzentile um 2 dB(A) nach oben korrigiert (1 dB(A) wegen der überdurchschnittlichen Belagtemperatur, 1 dB(A) wegen des unterdurchschnittlichen Belagsalters)

	30km/h	50km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h
10%-Perzentil		89.5	91.5	94.3	96.9	99.3
25%-Perzentil		90.4	92.2	95.5	97.4	99.8
Median		91.3	93.5	96.8	98.3	100.8
75%-Perzentil		92.5	95.0	98.3	99.0	101.3
90%-Perzentil		95.7	95.7	100.0	100.0	101.8
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt		90.0/92.0	91.5/94.8	95.0/99.0	97.0/98.5	99.0/101.5
Seitliches Mikrofon Durchschnitt		90.5/93.0	92.5/95.8	96.0/99.5	98.0/99.0	99.0/102.0
energetisches Mittel		90.4/92.6	92.2/95.0	95.5/99.3	97.4/99.0	99.8/101.3
Anzahl Messungen		98	130	151	52	11
Anzahl verschiedener Strecken		4	6	7	5	2
Bemerkungen		*1	*1	*1, *2	*2, *3	*2, *3
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 18: Resultate DRA 16

Legende:

- *1: Auf einer Strecke wurden mehr als 30 Messungen bei verschiedenen Temperaturen und über mehrere Jahre durchgeführt. Die Resultate wurden dadurch nicht beeinflusst.
- *2: Messungen auf den Autobahnstrecken wurden auch auf der Überholspur durchgeführt.
- *3: Bei den 75 und 90%-Perzentilen sind die Pegelwerte bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100km/h tiefer als bei 80 km/h. Wie schon beim DRA 11 ist dies auf das tiefere Belagsalter der gemessenen Beläge zurückzuführen.

	30 km/h	50 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
10%-Perzentil						
25%-Perzentil						
Median	-					-
75%-Perzentil						
90%-Perzentil						
Hinteres Mikrofon; Durchschnitt			95.8	100.5	100.5	
Seitliches Mikrofon Durchschnitt			94.0	99.9	99.3	
energetisches Mittel			95.1	100.3	100.2	
Anzahl Messungen			4	6	2	
Anzahl verschiedener Strecken			1	1	1	
Bemerkungen			*1	*1		
Beurteilungsschema		Sehr leise	leise	mittel	laut	Sehr laut

Tabelle 19: Resultate GA

Legende: *1: Auf einer Strecke mit GA 16 wurden 3 – 4 dB(A) tiefere Werte gemessen. Dies ist in der obigen Auswertung nicht berücksichtigt.

Anhang 3

Detaillierte Resultate der Terzbandpegelanalyse

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 11 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 9 Anzahl Strecken 4					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	80,1	78,5	79,7	81,3	2,2	80,3	78,7	79,7	80,6	2,0	80,2	78,7	79,7	81,0	2,1	-0,2
63	80,3	76,8	80,1	84,8	6,4	78,5	76,3	78,1	81,5	5,4	79,6	76,6	79,2	83,2	5,9	1,8
125	65,0	63,7	65,3	66,0	1,5	64,2	62,7	64,0	64,9	1,5	64,7	63,8	64,9	65,6	1,4	0,8
160	65,7	65,0	65,7	67,2	1,6	61,8	60,1	62,1	63,2	1,7	64,2	63,6	64,2	65,7	1,6	3,9
200	66,2	65,2	66,3	67,1	1,6	64,2	62,9	64,3	65,3	1,3	65,3	64,3	65,4	66,5	1,4	2,0
250	68,8	67,5	68,8	69,9	1,5	68,1	67,0	68,3	68,9	1,3	68,5	67,3	68,6	69,5	1,4	0,7
315	69,3	68,6	69,6	70,3	1,1	71,2	70,4	71,7	72,0	1,1	70,4	69,6	71,0	71,2	1,1	-1,9
400	65,9	65,3	65,8	66,4	1,1	68,0	66,9	68,2	68,6	1,0	67,1	66,2	67,1	67,6	1,0	-2,1
500	68,8	68,2	68,6	69,6	0,9	68,7	68,1	68,7	69,4	0,9	68,8	68,3	68,4	69,5	0,8	0,1
630	70,1	69,4	70,1	70,3	0,8	72,1	71,6	72,0	72,6	0,8	71,2	70,7	71,1	71,6	0,8	-2,0
800	69,9	69,4	70,2	70,2	0,9	72,6	72,2	72,5	72,8	0,9	71,5	70,8	71,5	71,9	0,9	-2,7
1k	68,6	68,2	68,3	69,2	0,8	69,8	69,3	69,5	70,1	0,7	69,3	68,8	69,0	69,9	0,7	-1,2
1.25k	71,2	70,7	71,0	71,8	0,8	67,7	67,3	67,4	68,1	0,6	69,8	69,3	69,5	70,3	0,7	3,5
1.6k	74,4	74,1	74,5	74,7	0,8	65,4	64,9	65,4	65,6	0,8	71,9	71,7	72,1	72,2	0,8	9,0
2k	70,3	69,5	70,2	70,8	1,0	65,2	64,6	65,0	65,7	0,8	68,5	67,7	68,4	69,0	1,0	5,1
2.5k	68,6	67,8	68,7	69,2	1,0	65,3	64,8	65,0	65,9	0,8	67,3	66,6	67,3	67,9	0,9	3,3
3.15k	65,9	64,9	65,9	66,6	1,2	57,2	56,8	57,1	57,7	1,1	63,4	62,6	63,5	64,0	1,1	8,7
4k	63,3	62,7	63,4	64,4	1,2	55,8	55,1	55,8	55,9	1,2	61,0	60,4	61,1	62,0	1,1	7,5
5k	59,6	58,5	60,0	60,8	1,4	54,4	53,7	54,3	54,5	1,0	57,8	56,8	58,0	58,8	1,3	5,2
6.3k	55,1	54,3	55,1	56,0	1,5	50,9	50,5	50,6	50,8	1,1	53,5	52,8	53,4	54,2	1,4	4,2
8k	52,7	51,6	52,3	53,8	1,8	50,3	49,5	50,0	50,2	1,1	51,7	51,0	51,3	52,4	1,4	2,4
10k	50,4	49,6	50,3	51,6	1,3	50,4	50,2	50,4	50,6	0,8	50,4	50,0	50,3	51,1	1,0	0,0
Lp	92,6	91,4	93,4	93,6	1,9	91,4	90,5	91,4	92,5	1,8	92,1	91,0	92,5	93,0	1,8	1,2
Lp (A)	80,7	80,4	80,7	81,1	0,7	78,4	78,0	78,1	78,9	0,7	79,7	79,3	79,7	80,1	0,7	2,3

Bemerkungen: keine

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 11 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 13 Anzahl Strecken 6					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	86,0	84,1	86,2	87,2	2,2	86,0	84,6	85,4	87,9	1,7	86,0	84,2	85,8	87,8	2,0	0,0
63	83,9	77,4	84,1	91,9	7,8	82,4	76,0	81,5	89,2	6,5	83,3	76,8	83,0	90,8	7,2	1,5
125	70,1	69,5	70,7	70,9	1,4	69,1	68,3	68,4	70,2	1,6	69,7	69,0	69,8	71,0	1,4	1,0
160	72,3	71,8	72,2	73,0	1,5	66,4	64,9	65,8	66,7	1,9	70,3	69,7	70,2	71,1	1,5	5,9
200	72,5	71,2	72,2	72,9	1,9	69,8	68,5	69,5	70,2	2,0	71,4	70,2	71,1	71,8	1,9	2,7
250	74,0	72,2	73,3	74,9	2,3	73,0	71,2	72,9	73,9	2,2	73,5	71,7	73,1	74,4	2,3	1,0
315	74,0	71,9	73,4	74,8	2,5	76,3	74,7	75,7	77,0	2,9	75,3	73,6	74,7	76,0	2,7	-2,3
400	69,1	67,2	69,1	70,8	2,3	72,6	70,4	72,8	74,1	2,2	71,2	68,9	71,4	72,7	2,2	-3,5
500	72,5	70,9	72,5	74,5	2,3	74,1	72,4	74,6	76,0	2,1	73,4	71,6	73,6	75,3	2,1	-1,6
630	74,9	73,6	74,6	76,5	1,5	78,0	76,7	77,8	79,6	1,8	76,7	75,5	76,5	78,3	1,7	-3,1
800	75,8	74,9	75,3	76,3	1,6	79,8	78,4	79,2	81,7	1,7	78,2	77,1	77,6	79,8	1,6	-4,0
1k	76,1	75,0	75,8	77,8	1,6	77,9	76,9	77,5	79,1	1,6	77,1	75,9	76,7	78,6	1,5	-1,8
1.25k	80,0	79,4	80,3	80,7	1,2	75,8	75,2	75,4	76,9	1,2	78,4	78,1	78,4	79,4	1,1	4,2
1.6k	83,6	82,7	83,6	84,1	1,1	74,1	73,2	73,7	75,1	1,0	81,0	80,1	81,0	81,5	1,1	9,5
2k	79,6	78,9	79,3	80,4	0,9	74,2	73,6	74,5	74,6	0,9	77,7	76,8	77,5	78,4	0,9	5,4
2.5k	77,2	76,0	77,6	77,9	1,2	74,5	73,8	74,6	75,2	1,1	76,1	75,2	76,5	76,8	1,1	2,7
3.15k	73,7	72,8	74,2	74,3	1,2	65,8	65,0	65,8	66,5	1,1	71,3	70,4	71,8	71,9	1,1	7,9
4k	70,8	70,2	70,7	72,0	1,1	64,1	62,8	64,2	64,9	1,1	68,6	68,0	68,4	69,5	1,0	6,7
5k	67,1	66,1	67,2	68,0	1,2	62,4	62,0	62,4	62,7	0,7	65,4	64,5	65,4	66,2	1,0	4,7
6.3k	62,2	61,5	62,6	63,4	1,1	59,1	58,7	58,8	59,5	0,8	61,0	60,4	61,1	61,9	0,9	3,1
8k	59,0	58,0	58,8	59,6	1,1	57,5	56,9	57,5	57,9	0,8	58,3	57,8	58,2	58,6	0,7	1,5
10k	57,0	55,8	56,8	57,6	1,4	56,1	55,5	55,9	56,6	0,9	56,7	56,2	56,6	57,3	0,9	0,9
Lp	96,8	94,6	97,5	97,9	2,1	96,0	94,1	96,5	97,0	1,8	96,4	94,3	97,0	97,3	2,0	0,8
Lp (A)	88,9	88,0	88,9	89,9	1,0	85,9	84,9	85,4	87,2	1,3	87,7	86,6	87,5	88,9	1,1	3,0

Bemerkungen: keine

Tabelle 1: Resultate AB 11 (30 und 50 km/h)

		Belag AB 11 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken									
							7 3									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	88,0	87,3	87,9	89,0	1,7	87,4	86,1	86,2	86,5	2,0	87,7	87,0	87,1	88,8	1,7	0,6
63	90,6	88,6	92,7	93,9	5,0	88,0	86,2	85,5	88,8	3,9	89,5	87,3	91,1	92,7	4,5	2,6
125	72,6	72,2	73,0	73,4	1,3	71,9	70,5	71,3	71,7	1,3	72,3	72,1	72,4	73,0	1,2	0,7
160	74,6	73,6	75,1	75,3	1,4	70,0	68,8	69,4	69,9	1,6	72,9	71,8	73,3	73,5	1,4	4,6
200	75,2	73,4	75,2	76,5	2,2	71,6	70,4	70,8	71,8	1,6	73,9	72,7	73,4	75,0	1,9	3,6
250	75,4	74,0	75,1	76,8	2,1	74,1	73,6	72,6	72,8	2,7	74,8	73,4	74,0	76,4	2,4	1,3
315	77,0	74,8	75,2	79,0	3,0	77,6	76,4	75,5	75,8	3,2	77,3	75,1	75,5	79,1	3,1	-0,6
400	70,4	68,1	69,1	72,5	2,9	73,5	72,7	71,3	73,1	2,9	72,3	70,1	71,6	74,4	2,8	-3,1
500	72,8	70,8	71,9	74,9	2,8	74,8	73,0	73,0	74,8	2,6	74,0	72,1	73,6	76,0	2,7	-2,0
630	75,5	74,5	75,3	76,9	1,8	78,8	77,5	77,3	78,9	2,4	77,5	76,2	77,5	79,2	2,2	-3,3
800	76,8	76,0	77,1	78,0	1,6	81,1	79,1	80,0	80,2	1,9	79,4	78,5	78,7	80,6	1,8	-4,3
1k	77,7	76,6	77,8	79,2	2,1	80,1	77,6	78,7	79,2	2,3	79,1	78,0	78,6	80,3	2,2	-2,4
1.25k	82,4	81,6	82,7	83,4	1,8	78,4	76,5	77,4	77,8	1,9	80,8	80,0	80,9	81,8	1,8	4,0
1.6k	86,2	85,9	86,1	86,6	1,1	76,6	74,9	76,0	76,3	1,5	83,7	83,3	83,6	84,1	1,1	9,6
2k	82,9	82,4	82,6	83,4	0,9	77,7	76,4	76,6	77,9	1,2	81,1	80,5	80,7	81,6	1,0	5,2
2.5k	80,6	79,6	80,5	81,6	1,2	77,9	77,1	77,2	78,1	1,1	79,5	78,6	79,5	80,4	1,1	2,7
3.15k	76,9	76,3	77,3	77,6	1,2	69,3	68,1	68,3	69,2	1,4	74,7	73,9	74,8	75,3	1,1	7,6
4k	73,7	73,4	74,0	74,3	0,8	67,7	66,7	67,0	67,6	1,0	71,7	71,3	72,0	72,2	0,7	6,0
5k	70,1	69,4	70,0	71,1	1,0	65,5	64,9	64,8	65,4	0,9	68,4	67,8	68,8	69,0	0,8	4,6
6.3k	65,2	64,4	64,9	66,2	1,2	62,3	61,2	61,3	62,0	1,2	64,1	63,7	64,1	64,7	0,9	2,9
8k	61,5	61,1	61,2	62,1	0,6	60,5	59,5	59,6	60,3	1,2	61,1	60,8	60,9	61,6	0,6	1,0
10k	59,7	59,1	59,4	60,3	0,8	58,6	57,7	57,8	58,0	1,1	59,2	58,7	59,4	59,7	0,7	1,1
Lp	98,6	97,8	97,9	99,3	1,0	97,4	96,8	96,7	96,8	1,2	98,0	97,2	97,4	98,8	1,1	1,2
Lp (A)	91,6	91,1	91,4	92,1	1,1	88,1	86,3	87,4	87,4	1,6	90,2	89,6	89,8	90,8	1,2	3,5

Bemerkungen: keine

		Belag AB 11 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken									
							20 5									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	91,2	89,8	91,3	92,4	1,6	91,6	90,3	91,5	92,6	1,5	91,4	90,3	91,6	92,2	1,5	-0,4
63	91,8	88,3	93,7	96,5	5,5	89,4	86,4	91,2	93,3	4,4	90,8	87,5	92,5	95,2	5,0	2,4
125	72,6	71,5	72,4	73,7	1,6	73,3	72,2	72,7	73,9	1,5	73,0	72,0	72,8	73,7	1,5	-0,7
160	74,8	72,5	75,0	76,6	2,6	72,9	71,5	72,7	74,0	1,7	74,1	72,7	73,9	75,2	2,1	1,9
200	74,5	72,5	74,6	76,5	2,3	73,6	72,1	73,5	74,5	1,9	74,1	72,4	74,2	75,2	2,0	0,9
250	78,3	76,7	77,7	79,5	2,5	75,1	74,2	74,5	76,6	1,8	77,1	75,6	76,4	78,2	2,2	3,2
315	78,4	77,0	77,8	79,2	2,1	78,5	76,9	78,0	79,4	2,2	78,5	77,1	78,0	79,1	2,1	-0,1
400	72,4	70,8	72,1	73,2	2,4	75,4	74,2	75,2	75,8	2,3	74,2	72,7	74,0	74,6	2,3	-3,0
500	73,6	71,6	73,5	75,0	3,1	76,8	75,0	77,1	78,0	2,7	75,5	73,5	75,7	76,6	2,8	-3,2
630	77,7	75,8	78,0	79,6	2,8	81,2	78,8	81,7	82,8	2,9	79,8	77,5	80,3	81,5	2,9	-3,5
800	81,1	78,1	82,3	83,1	2,8	85,1	82,2	86,2	87,1	2,8	83,5	80,4	84,7	85,5	2,8	-4,0
1k	83,1	78,9	84,5	85,7	3,8	85,1	81,5	86,1	87,5	3,6	84,2	80,3	85,3	86,7	3,7	-2,0
1.25k	86,5	83,9	87,4	88,8	2,8	82,0	79,6	82,3	84,2	3,1	84,8	82,2	85,6	87,2	2,9	4,5
1.6k	91,6	89,7	92,6	93,7	2,4	81,1	79,1	81,9	83,2	2,3	88,9	87,0	89,9	91,0	2,4	10,5
2k	89,2	87,1	90,0	91,0	2,2	80,7	79,3	81,3	81,9	1,5	86,8	84,9	87,6	88,5	2,0	8,5
2.5k	84,8	83,3	85,3	86,2	1,6	81,5	80,5	81,9	82,4	1,2	83,5	82,2	84,0	84,6	1,4	3,3
3.15k	81,8	80,3	82,0	82,8	1,5	76,8	74,6	77,2	78,5	2,1	80,0	78,4	80,4	81,1	1,5	5,0
4k	79,9	78,7	80,1	80,9	1,4	72,5	71,4	72,9	73,6	1,2	77,6	76,3	77,8	78,5	1,3	7,4
5k	76,2	74,8	76,3	76,9	1,3	72,2	70,7	72,3	73,7	1,5	74,6	73,2	74,8	75,6	1,3	4,0
6.3k	71,7	70,5	72,0	72,6	1,3	68,7	67,2	69,0	70,0	1,6	70,5	69,1	70,7	71,5	1,3	3,0
8k	68,7	67,5	68,6	69,9	1,5	66,7	65,1	67,3	68,2	1,7	67,8	66,3	67,9	69,1	1,5	2,0
10k	67,2	65,9	67,3	68,6	1,9	64,1	62,8	64,4	65,5	1,8	66,0	64,6	66,2	67,4	1,7	3,1
Lp	101,0	100,2	101,5	101,9	1,4	99,7	99,2	99,5	100,3	1,0	100,0	99,3	100,2	100,9	1,2	1,3
Lp (A)	96,7	94,9	97,7	98,6	2,2	92,1	90,2	92,7	93,8	2,3	95,0	93,2	95,8	96,8	2,2	4,6

Bemerkungen: Eine Autobahnstrecke mit einem AB 11 S-Belag weist hohe Pegel vor allem auf der Überholspur auf
 Auf Autobahnstrecken wurden auch auf der Überholspur gemessen
 Die Pegel des AB 11 S sind deutlich höher als bei AB 11 N Belägen (siehe Abschnitt 7.9)

Tabelle 2: Resultate AB 11 (60 und 80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 11 Geschwindigkeit 100 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 13 Anzahl Strecken 4					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	94,1	93,5	93,7	94,8	1,0	94,7	93,7	93,8	95,5	1,3	94,4	93,5	93,8	95,2	1,1	-0,6
63	86,0	84,8	85,7	86,7	1,4	86,5	85,8	85,8	87,2	1,3	86,3	85,6	85,8	87,1	1,2	-0,5
125	76,4	75,6	76,1	77,1	1,4	78,5	77,5	78,1	79,5	1,5	77,6	76,8	77,3	78,7	1,4	-2,1
160	77,1	76,2	77,0	78,0	1,5	75,6	74,4	74,8	76,2	1,4	76,4	75,6	75,8	77,3	1,3	1,5
200	77,1	76,1	76,9	78,1	1,7	75,9	75,3	75,6	76,8	1,5	76,6	75,8	76,5	77,2	1,6	1,2
250	77,3	76,6	77,1	78,6	1,5	80,0	79,3	79,9	80,9	1,1	78,9	77,9	78,5	79,8	1,1	-2,7
315	80,3	79,0	79,5	81,5	1,7	82,5	81,5	82,0	83,7	1,4	81,6	80,5	80,7	83,0	1,5	-2,2
400	74,9	73,0	74,4	76,2	1,6	77,6	76,0	77,0	78,9	1,4	76,4	75,1	75,8	77,7	1,4	-2,7
500	74,5	72,9	74,2	75,8	1,9	79,4	78,4	78,9	80,9	1,8	77,6	76,5	77,2	79,1	1,8	-4,9
630	79,6	77,8	78,9	81,0	2,0	83,0	81,6	82,3	84,6	2,2	81,6	80,0	80,9	83,1	2,1	-3,4
800	84,1	82,6	83,9	86,0	2,4	87,2	85,8	86,8	89,1	2,3	85,9	84,6	85,5	87,9	2,3	-3,1
1k	86,0	83,4	86,1	88,2	3,2	87,1	85,3	87,1	88,8	3,0	86,6	84,5	86,7	88,5	3,1	-1,1
1.25k	89,6	87,7	89,5	91,8	2,7	83,8	82,0	83,2	85,6	2,8	87,6	85,7	87,4	89,7	2,7	5,8
1.6k	95,0	93,2	95,1	96,8	2,5	83,6	81,7	83,2	85,6	2,2	92,3	90,5	92,4	94,1	2,4	11,4
2k	93,2	91,9	93,1	95,0	2,2	83,2	81,5	83,4	84,1	1,5	90,6	89,4	90,5	92,3	2,2	10,0
2.5k	88,3	86,7	88,1	89,6	1,8	84,1	83,5	84,3	84,9	1,1	86,7	85,4	86,8	87,7	1,5	4,2
3.15k	84,6	83,3	84,0	85,8	1,6	79,8	79,0	79,8	81,1	1,7	82,9	81,3	82,4	84,1	1,6	4,8
4k	83,1	82,0	82,4	84,2	1,4	75,4	74,4	75,1	76,5	1,1	80,8	79,7	80,1	81,9	1,4	7,7
5k	79,5	78,9	79,1	80,5	1,3	75,4	74,0	74,9	76,5	1,3	77,9	77,2	77,4	79,0	1,2	4,1
6.3k	75,3	74,6	75,0	76,2	1,3	72,3	70,6	71,8	73,5	1,5	74,1	73,2	73,5	75,1	1,3	3,0
8k	72,2	71,8	72,0	73,4	1,5	70,3	68,9	69,7	71,3	1,6	71,4	70,5	70,7	72,6	1,4	1,9
10k	70,6	69,9	70,2	72,2	1,8	67,6	66,1	66,9	68,9	1,6	69,4	68,2	68,8	70,8	1,6	3,0
L-netw	103,0	103,0	103,1	103,5	0,8	102,0	101,4	101,6	102,7	0,7	103,0	102,7	102,8	103,3	0,6	1,0
A-netw	100,0	98,4	99,8	101,7	2,3	94,3	93,0	94,2	95,7	2,0	98,2	96,7	98,1	99,9	2,2	5,7

Bemerkungen Eine Autobahnstrecke mit 6 Terzbandanalysen weist hohe Pegel vor allem auf der Überholspur auf.
Median wurde bei 37.5% zwischen der 2. und 3.lautesten Streckeangesetzt.

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 11 Geschwindigkeit 120 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 8 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	99,4	99,1	99,5	99,8	0,5	99,6	98,9	99,6	100,3	0,9	99,5	99,0	99,7	99,8	0,6	-0,2
63	90,2	90,0	90,3	90,3	1,3	90,5	90,1	90,5	90,7	0,6	90,4	90,0	90,3	90,5	0,9	-0,3
125	80,7	80,0	80,4	80,7	1,5	82,5	81,8	82,6	83,5	1,1	81,7	81,2	81,8	82,1	1,1	1,0
160	81,8	81,5	81,9	82,2	0,6	80,1	79,4	79,9	80,7	0,9	81,1	80,5	81,1	81,6	0,7	5,9
200	81,7	81,2	82,2	82,7	1,4	80,5	80,0	81,1	81,1	1,0	81,2	80,6	81,8	82,1	1,2	2,7
250	80,9	79,7	82,0	82,5	2,1	80,5	79,5	81,2	81,7	1,9	80,7	79,6	81,6	82,0	2,0	1,0
315	83,3	82,8	83,5	84,0	1,3	85,7	85,1	86,2	86,6	1,5	84,7	84,1	85,1	85,4	1,4	-2,3
400	79,5	78,8	79,6	80,2	1,3	81,0	79,6	81,3	82,1	1,7	80,3	79,2	80,5	81,2	1,5	-3,5
500	78,8	77,5	78,5	79,8	2,1	81,6	80,4	81,4	82,9	1,8	80,4	79,2	80,2	81,6	1,9	-1,6
630	81,5	80,6	81,4	82,4	1,5	85,4	84,3	85,4	86,5	1,7	83,9	82,8	83,8	85,0	1,7	-3,1
800	87,6	86,8	87,6	88,5	1,2	89,7	88,6	89,6	91,3	1,5	88,8	87,8	88,7	90,1	1,3	-4,0
1k	90,2	88,8	89,9	91,4	1,7	90,4	89,1	90,0	91,5	2,0	90,3	89,0	89,9	91,5	1,8	-1,8
1.25k	93,5	93,4	93,6	94,1	1,4	87,2	86,7	86,9	87,6	1,9	91,4	91,2	91,4	91,9	1,5	4,2
1.6k	98,8	98,7	98,9	99,4	1,0	86,7	86,7	86,9	87,3	0,9	96,1	96,0	96,2	96,7	1,0	9,5
2k	97,2	97,0	97,5	97,9	0,8	85,7	85,6	86,0	86,2	0,8	94,5	94,3	94,7	95,1	0,8	5,4
2.5k	91,9	91,6	92,2	92,4	0,8	86,4	86,4	86,7	86,7	0,6	90,0	89,8	90,2	90,5	0,7	2,7
3.15k	87,7	87,3	87,8	88,4	1,0	82,7	82,2	82,7	83,4	0,8	85,9	85,4	86,0	86,5	0,9	7,9
4k	86,1	85,6	86,3	86,9	0,9	78,1	78,0	78,5	78,5	0,7	83,8	83,4	83,9	84,5	0,8	6,7
5k	82,4	82,4	82,6	82,8	0,8	78,2	78,0	78,6	78,7	0,7	80,8	80,9	81,0	81,2	0,7	4,7
6.3k	78,2	77,8	78,4	78,5	0,8	75,5	75,2	75,6	75,9	0,7	77,1	76,7	77,3	77,4	0,8	3,1
8k	75,0	74,5	75,2	75,5	1,0	73,7	73,4	73,8	74,1	0,8	74,4	74,1	74,6	74,8	0,9	1,5
10k	73,4	73,1	73,6	74,1	1,4	71,1	70,5	71,3	71,5	0,9	72,4	72,3	72,6	73,0	1,1	0,9
L-netw	107,0	106,9	107,0	107,2	0,4	106,0	105,7	106,1	106,5	0,6	107,0	106,7	106,9	107,3	0,4	0,8
A-netw	104,0	103,8	104,0	104,5	0,9	97,2	96,5	97,1	97,9	1,2	102,0	101,6	102,0	102,5	0,9	3,0

Bemerkungen: Eine Autobahnstrecke mit 5 Terzbandanalysen weist etwas höhere Pegel auf der Überholspur auf.

Tabelle 3: Resultate AB 11 (100 und 120 km/h)

		Belag AB 11 N Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 3 Anzahl Strecken 1									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	90,4					91,3					90,9					-0,9
63	85,1					84,0					84,6					1,1
125	71,6					73,1					72,4					-1,5
160	73,1					73,7					73,4					-0,6
200	73,4					73,1					73,3					0,3
250	76,5					73,1					75,2					3,4
315	76,5					77,4					77,0					-0,9
400	70,2					72,2					71,3					-2,0
500	69,3					73,7					72,0					-4,3
630	73,9					77,6					76,1					-3,7
800	77,8					81,8					80,2					-3,9
1k	79,0					81,0					80,1					-2,1
1.25k	83,4					78,7					81,6					4,7
1.6k	88,8					78,1					86,2					10,7
2k	86,6					78,9					84,3					7,7
2.5k	83,1					80,5					82,0					2,5
3.15k	80,1					74,3					78,1					5,8
4k	78,4					70,9					76,1					7,6
5k	75,0					70,4					73,3					4,6
6.3k	70,8					66,6					69,2					4,1
8k	67,9					64,6					66,6					3,4
10k	66,7					61,7					65,0					5,0
Lp	98,7					98,6					98,7					0,2
Lp (A)	94,1					89,2					92,3					4,9

Bemerkungen: keine

		Belag AB 11 S Geschwindigkeit 80 km/h			Anzahl Frequenzanalysen 1 Anzahl Strecken 1					
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]			Seitliches Mikrofon [dB]			Gesamtpegel [dB]			Differenz H-S [dB]
	d	Differenz zu S-N		d	Differenz zu S-N		d	Differenz zu S-N		
31,5	89,4	-1,0		90,1	-1,2		89,8	-1,2		-0,7
63	96,5	11,4		93,5	9,5		95,3	10,6		3,0
125	71,5	-0,1		72,5	-0,6		72,0	-0,4		-1,0
160	71,0	-2,1		71,4	-2,3		71,2	-2,2		-0,4
200	71,6	-1,8		71,8	-1,3		71,7	-1,6		-0,2
250	76,7	0,2		74,3	1,2		75,7	0,5		2,4
315	77,8	1,3		78,0	0,6		77,9	0,9		-0,2
400	72,9	2,7		75,8	3,6		74,6	3,3		-2,9
500	74,3	5,0		77,5	3,8		76,2	4,2		-3,2
630	79,5	5,6		82,8	5,2		81,5	5,3		-3,3
800	83,0	5,2		87,1	5,3		85,5	5,3		-4,1
1k	85,5	6,5		86,9	5,9		86,3	6,1		-1,4
1.25k	89,0	5,6		84,1	5,4		87,2	5,6		4,9
1.6k	93,8	5,0		83,4	5,3		91,2	5,0		10,4
2k	91,0	4,4		82,1	3,2		88,5	4,2		8,9
2.5k	85,8	2,7		82,6	2,1		84,5	2,5		3,2
3.15k	82,7	2,6		77,9	3,6		80,9	2,9		4,8
4k	80,6	2,2		73,6	2,7		78,4	2,2		7,0
5k	76,7	1,7		73,8	3,4		75,5	2,2		2,9
6.3k	72,1	1,3		70,4	3,8		71,3	2,1		1,7
8k	69,7	1,8		68,4	3,8		69,1	2,5		1,3
10k	68,4	1,7		65,4	3,7		67,2	2,2		3,0
Lp	101,4	2,7		99,5	0,9		100,6	1,9		1,9
Lp (A)	98,6	4,5		93,7	4,5		96,8	4,5		4,9

Bemerkungen: Der Belag mit dem Mischguttyp S ist lauter als derjenige mit dem Mischguttyp N.

Tabelle 4: Resultate AB 11 Mischguttyp N und S (80km/h)

		Belag AB 16 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 10 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					H-S [dB]	
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s		
31,5	81,9	79,2	81,0	83,9	3,4	81,3	79,5	80,8	83,1	2,4	81,6	79,4	80,7	83,8	3,0	0,6	
63	82,9	76,7	80,5	89,9	7,5	80,4	76,2	78,1	85,3	6,0	81,9	77,0	79,5	88,2	6,9	2,5	
125	70,3	70,1	70,6	71,3	1,8	68,5	67,3	68,9	69,6	1,9	69,5	68,9	70,0	70,4	1,8	1,8	
160	71,1	69,8	71,5	72,0	2,2	66,9	66,4	67,1	67,8	2,1	69,5	68,5	69,8	70,1	2,1	4,2	
200	71,6	70,4	71,9	72,6	2,2	69,6	68,2	69,6	70,7	2,3	70,7	69,4	70,9	71,8	2,2	2,0	
250	74,0	72,7	74,4	75,2	2,1	73,3	71,8	73,5	74,3	2,1	73,7	72,4	74,0	74,8	2,1	0,7	
315	74,6	73,7	75,0	76,2	2,1	76,7	75,5	76,9	78,3	2,1	75,8	74,7	76,1	77,4	2,1	-2,1	
400	70,1	68,8	70,3	71,5	1,9	72,0	70,7	72,4	73,2	1,6	71,2	69,8	71,5	72,5	1,7	-1,9	
500	72,2	71,1	72,6	73,7	1,8	71,8	70,7	72,1	72,9	1,5	72,0	71,0	72,4	73,3	1,6	0,4	
630	72,9	71,9	73,4	74,1	1,6	74,6	73,5	75,1	75,6	1,4	73,8	72,7	74,3	75,0	1,4	-1,7	
800	71,8	71,3	72,2	72,7	1,5	75,2	74,0	75,9	76,4	1,6	73,8	72,9	74,5	75,0	1,6	-3,4	
1k	71,6	70,3	72,2	73,0	1,6	72,7	71,0	73,0	74,4	1,9	72,2	70,7	72,4	73,7	1,7	-1,1	
1.25k	73,8	72,7	74,1	75,2	1,4	70,4	69,1	70,4	71,8	1,6	72,4	71,2	72,6	73,8	1,5	3,4	
1.6k	76,4	76,0	76,9	77,3	1,3	67,8	66,8	68,3	68,7	1,4	73,9	73,5	74,5	74,8	1,3	8,6	
2k	72,1	71,8	72,5	72,9	1,3	66,5	66,1	66,7	67,1	1,4	70,2	69,8	70,6	70,9	1,3	5,6	
2.5k	71,3	70,7	71,2	72,4	1,3	66,6	66,3	66,9	67,1	1,3	69,6	69,1	69,7	70,6	1,2	4,7	
3.15k	68,2	67,5	68,3	69,3	1,3	59,7	58,3	59,4	60,7	2,1	65,8	65,1	65,8	66,9	1,4	8,5	
4k	65,4	64,8	65,7	66,2	1,2	57,5	56,6	57,2	58,6	1,4	63,1	62,5	63,3	64,0	1,2	7,9	
5k	61,9	60,9	62,3	62,7	1,4	56,2	55,3	56,0	57,3	1,2	59,9	59,1	60,1	60,8	1,4	5,7	
6.3k	57,5	56,5	57,5	58,3	1,4	52,8	52,1	52,7	53,6	1,4	55,8	54,9	55,6	56,9	1,4	4,7	
8k	55,2	54,2	55,3	56,1	1,5	51,4	50,5	51,2	51,9	1,1	53,7	52,9	53,7	54,6	1,3	3,8	
10k	52,9	51,9	52,7	54,0	1,7	51,4	50,8	51,0	51,6	0,9	52,3	51,6	52,4	53,0	1,2	1,5	
Lp	94,3	93,9	94,2	94,7	1,6	92,4	92,0	92,6	92,8	1,0	93,5	93,2	93,4	93,7	1,3	1,9	
Lp (A)	83,2	82,5	83,6	84,0	1,3	81,1	79,9	81,5	81,9	1,4	82,2	81,4	82,7	83,0	1,4	2,1	

Bemerkungen Grosse Streuungen im unteren Frequenzbereich bis 100 Hz, eventuell Motorengeräusche

		Belag AB 16 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 16 Anzahl Strecken 4					Gesamtpegel [dB]					Differenz
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					H-S [dB]	
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s		
31,5	86,4	85,3	86,7	87,4	1,9	86,7	86,3	86,7	87,4	1,9	86,6	85,8	86,7	87,5	1,9	-0,3	
63	86,0	80,4	88,2	90,0	6,0	84,0	79,7	85,7	86,7	4,6	85,2	80,4	87,3	88,5	5,4	2,0	
125	71,4	69,6	71,5	73,2	2,1	71,0	69,5	70,4	72,5	1,9	71,3	69,7	70,8	72,9	1,8	0,4	
160	74,4	72,2	74,8	76,4	2,5	69,3	67,6	69,1	71,1	2,0	72,6	70,5	72,8	74,6	2,3	5,1	
200	75,9	74,1	76,1	77,4	2,3	73,5	71,4	74,1	75,3	2,1	74,8	72,8	75,3	76,2	2,2	2,4	
250	77,6	75,9	77,6	79,1	2,2	77,1	75,3	76,8	78,3	2,2	77,3	75,5	77,0	78,6	2,1	0,5	
315	78,5	76,6	78,5	79,2	2,1	80,8	78,8	80,5	82,4	2,5	79,8	77,7	79,5	81,1	2,3	-2,3	
400	73,7	72,3	73,1	75,1	1,8	77,5	76,5	77,1	78,5	1,6	76,0	74,9	75,4	77,1	1,7	-3,8	
500	77,2	76,1	76,5	78,2	1,6	78,5	77,7	78,3	79,3	1,3	77,9	77,0	77,6	78,7	1,4	-1,3	
630	79,0	78,2	78,8	79,7	1,2	81,8	81,0	81,7	82,6	1,0	80,6	79,8	80,5	81,3	1,1	-2,8	
800	78,8	78,0	78,8	79,3	1,0	83,5	82,7	83,8	84,4	1,3	81,8	81,3	81,9	82,4	1,1	-4,7	
1k	79,5	78,7	79,1	80,5	1,3	81,5	79,7	81,7	83,2	1,8	80,7	79,4	80,7	81,8	1,5	-2,0	
1.25k	82,6	82,0	82,6	83,7	1,3	78,6	77,1	78,6	79,9	1,5	81,1	80,2	81,0	82,0	1,2	4,0	
1.6k	85,3	84,6	85,2	85,8	0,9	76,1	75,3	76,1	76,6	1,1	82,8	82,1	82,7	83,3	0,9	9,2	
2k	80,8	80,1	80,5	81,3	1,1	75,3	74,4	75,1	75,6	1,5	78,9	78,2	78,7	79,3	1,1	5,5	
2.5k	78,8	78,2	78,9	79,3	1,0	75,7	75,1	75,5	76,2	1,2	77,6	77,0	77,5	77,9	1,0	3,1	
3.15k	75,2	74,5	75,3	75,6	0,8	68,3	66,9	68,3	69,4	1,5	73,0	72,6	73,2	73,4	0,8	6,9	
4k	72,3	71,7	72,5	72,8	0,7	65,4	64,7	65,2	65,8	1,2	70,2	69,7	70,2	70,6	0,7	6,9	
5k	68,5	67,4	68,8	69,1	1,1	64,0	63,4	63,9	64,5	0,9	66,8	65,9	67,1	67,3	0,9	4,5	
6.3k	63,9	63,2	64,1	64,6	0,9	60,4	59,9	60,3	60,8	1,1	62,5	62,0	62,5	63,0	0,9	3,5	
8k	61,2	60,5	61,2	62,4	1,2	58,7	57,9	58,3	59,4	1,4	60,2	59,5	60,4	61,1	1,1	2,5	
10k	59,6	58,2	59,5	61,5	1,8	57,1	56,3	56,8	57,6	1,7	58,6	57,6	58,3	60,0	1,6	2,5	
Lp	98,3	97,9	98,3	99,2	1,0	97,4	96,9	97,4	98,1	1,0	97,9	97,4	97,9	98,6	1,0	0,9	
Lp (A)	91,0	90,3	91,2	91,5	0,9	89,0	88,0	88,9	89,8	1,2	90,1	89,4	90,0	90,6	0,9	2,0	

Bemerkungen: keine

Tabelle 5: Resultate AB 16 (30 und 50 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 16 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 3 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	88,7					88,6					88,7					0,0
63	88,3					85,9					87,3					2,4
125	72,0					73,1					72,6					-1,1
160	73,1					70,9					72,2					2,2
200	75,2					73,9					74,6					1,4
250	76,6					76,9					76,8					-0,3
315	79,7					83,0					81,7					-3,3
400	73,8					78,4					76,7					-4,6
500	77,3					79,3					78,4					-1,9
630	80,2					83,5					82,2					-3,3
800	80,6					86,4					84,4					-5,9
1k	81,8					85,2					83,8					-3,4
1,25k	84,6					81,9					83,5					2,8
1,6k	88,0					78,8					85,5					9,3
2k	84,2					79,0					82,3					5,2
2,5k	81,8					80,2					81,1					1,6
3,15k	78,0					72,8					76,2					5,2
4k	75,1					69,6					73,2					5,5
5k	71,1					67,4					69,7					3,7
6,3k	66,5					63,4					65,2					3,0
8k	64,0					62,3					63,3					1,7
10k	63,5					60,8					62,4					2,7
Lp	98,7					98,2					98,5					0,5
Lp (A)	93,5					91,9					92,8					1,6

Bemerkungen

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 16 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 10 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	91,7	89,2	92,1	94,1	2,3	92,1	90,3	91,7	94,0	2,0	91,9	89,8	91,9	94,0	2,1	-0,4
63	83,9	80,6	83,1	86,0	4,4	83,5	80,5	82,9	85,8	3,6	83,8	80,7	82,9	85,9	4,0	0,4
125	75,6	74,8	75,2	76,1	1,2	75,4	72,4	74,6	77,3	3,2	75,7	74,1	74,9	76,2	2,0	0,2
160	76,3	74,8	75,8	76,4	2,2	74,8	71,5	74,0	77,6	3,5	75,8	73,5	75,2	76,9	2,6	1,5
200	77,8	76,0	77,1	78,5	2,4	76,2	74,5	75,1	77,8	2,0	77,1	75,3	76,3	77,9	2,2	1,6
250	80,7	80,1	80,5	80,7	1,3	79,1	78,0	78,5	79,7	2,1	80,0	79,2	79,6	80,1	1,5	1,6
315	79,3	76,4	79,1	82,1	3,2	81,5	77,0	81,4	85,7	5,0	80,7	76,7	80,5	84,1	4,3	-2,2
400	76,9	76,1	77,0	77,4	1,1	80,2	78,7	79,9	81,8	2,1	78,9	77,8	78,6	80,0	1,6	-3,2
500	78,5	77,7	77,9	78,7	1,8	82,4	81,3	82,5	83,5	1,1	80,9	79,8	80,8	81,8	1,2	-3,9
630	84,0	83,2	84,2	84,6	1,1	86,4	86,0	86,7	87,1	0,9	85,4	84,8	85,5	85,9	0,8	-2,4
800	87,3	85,3	87,0	88,8	2,2	89,8	89,5	90,0	90,1	0,8	88,8	88,3	88,4	89,0	1,0	-2,5
1k	86,8	86,0	86,9	87,4	0,9	88,6	86,6	89,0	90,9	2,7	87,9	86,6	88,1	89,3	1,8	-1,9
1,25k	90,8	89,8	91,2	91,5	0,9	85,5	82,7	84,6	88,5	3,7	89,2	88,2	89,3	90,1	1,2	5,3
1,6k	94,0	93,3	93,9	94,2	0,9	83,6	82,6	83,8	84,9	1,5	91,4	90,5	91,3	91,7	0,9	10,3
2k	90,6	90,1	90,3	90,7	1,1	84,1	83,0	83,6	85,1	1,8	88,5	87,8	88,1	89,4	1,1	6,5
2,5k	87,2	86,6	86,8	87,8	1,1	84,0	82,3	84,2	84,6	1,7	85,9	85,1	85,8	86,9	1,2	3,2
3,15k	83,8	82,9	83,6	84,2	1,4	77,2	75,9	76,3	78,1	2,0	81,7	80,9	81,7	82,3	1,2	6,5
4k	81,3	80,2	81,0	81,7	1,5	74,8	73,7	75,0	75,5	1,4	79,2	78,4	79,1	79,3	1,3	6,4
5k	77,4	76,3	77,3	78,0	1,8	73,2	72,5	73,2	73,8	0,9	75,9	75,2	75,6	76,0	1,5	4,3
6,3k	73,3	71,6	73,2	74,1	1,9	70,3	69,4	70,0	71,9	1,7	72,1	70,9	72,2	72,5	1,6	3,0
8k	70,8	69,2	71,2	72,0	2,0	69,2	68,2	68,8	71,1	1,8	70,2	69,2	70,3	71,0	1,5	1,6
10k	70,8	69,7	70,4	72,3	1,5	66,6	64,6	66,6	68,1	2,0	69,3	68,3	68,9	70,4	1,4	4,2
Lp	101,9	101,2	101,7	102,9	1,0	100,8	99,0	100,7	102,4	1,8	101,4	100,2	101,2	102,7	1,3	1,1
Lp (A)	99,4	98,7	99,3	99,5	0,9	95,7	94,6	95,9	97,0	1,6	98,0	97,3	98,0	98,7	0,8	3,7

Bemerkungen

Tabelle 6: Resultate AB 16 (60 und 80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag AB 16 Geschwindigkeit 100 km/h					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	92,4					92,2					92,3					0,2
63	84,6					84,4					84,5					0,2
125	77,2					77,1					77,1					0,2
160	79,1					74,3					77,3					4,8
200	77,5					77,2					77,3					0,3
250	79,6					80,5					80,1					-0,9
315	79,2					80,2					79,7					-1,0
400	75,7					79,8					78,2					-4,1
500	79,0					84,0					82,1					-5,0
630	85,5					86,8					86,2					-1,3
800	90,7					90,7					90,7					0,0
1k	88,8					88,3					88,5					0,6
1.25k	94,2					84,7					91,6					9,5
1.6k	97,4					85,5					94,6					11,9
2k	94,3					86,4					91,9					7,9
2.5k	90,0					85,2					88,2					4,8
3.15k	86,8					78,5					84,4					8,4
4k	84,3					76,6					82,0					7,7
5k	80,7					76,0					78,9					4,8
6.3k	76,7					73,8					75,5					2,9
8k	74,3					72,1					73,3					2,2
10k	73,1					68,1					71,3					5,0
Lp	103,8					101,4					102,8					2,4
Lp (A)	102,6					96,3					100,5					6,3

Bemerkungen: keine

Tabelle 7: Resultate AB 16 (100 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag TA 10 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 5 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	79,7	77,6	80,0	81,4	2,2	79,5	77,4	80,1	81,1	2,2	79,6	77,1	80,1	81,3	2,2	0,2
63	81,7	78,5	79,3	85,5	4,6	79,5	77,2	77,3	81,2	3,9	80,8	77,9	78,4	83,9	4,3	1,7
125	65,3	64,8	65,6	66,8	2,4	64,2	63,8	64,6	64,7	2,4	64,8	64,3	65,2	65,8	2,4	1,1
160	66,1	65,6	66,4	67,1	2,6	62,2	61,5	63,3	63,5	2,9	64,6	64,0	65,2	65,6	2,7	3,9
200	66,8	65,1	68,0	69,6	3,3	64,4	62,8	65,5	66,3	3,0	65,8	64,1	67,0	68,3	3,2	2,4
250	69,8	67,7	71,7	72,1	3,0	69,1	67,1	70,4	71,6	3,2	69,5	67,4	71,1	71,9	3,1	0,7
315	70,3	67,9	72,2	72,4	3,3	72,2	70,1	74,2	74,6	3,2	71,3	69,1	73,3	73,6	3,2	-1,9
400	66,6	63,9	69,0	69,1	3,4	69,1	66,6	71,6	71,7	3,3	68,1	65,5	70,6	70,7	3,3	-2,5
500	69,5	66,9	71,9	71,9	3,2	69,5	67,0	71,2	72,0	2,9	69,5	66,9	71,6	71,9	3,0	0,0
630	70,9	68,8	72,5	72,9	2,4	72,8	71,0	74,0	74,9	2,4	72,0	70,1	73,4	74,1	2,4	-1,9
800	70,0	68,2	71,0	71,9	2,2	73,9	72,2	74,5	76,0	2,2	72,4	70,6	73,1	74,4	2,2	-3,9
1k	69,3	68,0	70,6	71,0	2,2	70,7	69,2	72,1	72,2	2,0	70,0	68,6	71,4	71,6	2,1	-1,4
1.25k	71,5	70,3	72,8	73,3	2,3	68,2	67,0	69,3	69,6	2,0	70,2	69,0	71,5	71,8	2,2	3,3
1.6k	75,3	73,8	75,9	77,0	1,9	66,0	64,7	67,1	67,5	2,0	72,7	71,3	73,4	74,5	1,9	9,3
2k	70,6	69,5	71,2	71,8	1,6	65,1	64,3	65,8	66,0	1,5	68,6	67,6	69,2	69,8	1,6	5,5
2.5k	69,5	68,5	70,2	70,4	1,7	65,9	64,9	66,3	66,7	1,3	68,1	67,1	68,7	69,3	1,6	3,6
3.15k	66,3	65,5	66,9	67,2	1,5	57,9	57,3	58,5	58,7	1,1	63,9	63,1	64,6	64,8	1,5	8,4
4k	64,0	63,1	64,2	65,0	1,6	55,9	55,5	56,5	56,9	1,2	61,6	60,8	61,9	62,6	1,5	8,1
5k	60,0	59,3	60,5	60,9	1,6	54,6	54,3	55,2	55,4	1,3	58,1	57,5	58,6	58,9	1,5	5,4
6.3k	55,2	54,8	55,7	55,9	1,6	51,1	51,0	51,5	51,7	1,2	53,6	53,3	54,1	54,2	1,5	4,1
8k	52,5	52,4	52,6	53,3	1,5	50,5	50,4	50,7	50,8	0,9	51,6	51,6	51,8	52,1	1,3	2,0
10k	50,3	50,3	50,3	50,7	1,4	50,6	49,8	50,7	50,9	0,8	50,5	50,3	50,5	50,6	1,0	-0,3
Lp	93,5	92,0	93,2	94,7	1,5	92,1	90,6	92,1	93,2	1,5	92,8	91,3	92,7	94,0	1,5	1,4
Lp (A)	81,3	79,9	82,4	83,0	1,9	79,2	77,6	80,5	81,0	2,1	80,4	78,9	81,6	82,2	2,0	2,1

Bemerkungen: keine

Terzband- frequenz [Hz]	Belag TA10 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 13 Anzahl Strecken 6					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,0	87,9	90,2	90,4	2,5	89,4	88,4	90,1	90,8	2,0	89,2	88,1	90,1	90,6	2,2	-0,4
63	80,4	77,1	77,8	77,9	6,0	79,8	76,9	78,3	78,6	4,8	80,1	76,7	78,0	78,2	5,5	-0,7
125	69,8	68,9	69,9	70,6	0,8	68,8	67,6	68,4	70,0	1,4	69,4	69,3	69,4	69,4	0,9	0,6
160	71,7	71,8	71,8	72,0	1,9	66,5	66,6	66,8	66,8	1,3	69,8	69,9	69,9	70,1	1,7	5,2
200	72,6	72,3	72,8	73,9	1,6	70,0	70,1	70,6	71,1	1,6	71,5	71,4	72,1	72,6	1,6	2,8
250	74,8	74,8	76,1	76,1	2,1	73,9	74,1	75,0	75,2	2,0	74,4	74,5	75,6	75,7	2,1	0,9
315	74,6	74,3	75,1	75,4	1,7	76,3	76,4	77,3	77,5	2,0	75,5	75,5	76,3	76,8	1,9	-2,1
400	70,4	70,8	71,3	71,8	2,4	74,5	74,6	75,1	76,4	2,6	72,9	73,1	73,6	74,6	2,6	-4,6
500	73,9	74,3	74,6	75,8	2,5	76,0	76,0	76,7	78,1	2,7	75,1	75,3	75,8	77,1	2,6	-2,3
630	76,7	76,4	77,3	78,8	2,4	79,6	79,5	80,3	81,3	2,5	78,4	78,2	79,1	80,2	2,5	-2,5
800	77,4	76,7	78,2	79,0	1,9	81,3	80,8	81,9	83,1	2,3	79,8	79,2	80,5	81,5	2,1	-4,1
1k	77,2	77,1	77,8	78,8	2,0	78,4	78,3	78,7	79,6	1,8	77,9	77,8	78,3	79,3	1,9	-0,8
1.25k	81,0	80,5	81,7	82,2	1,8	76,1	76,1	76,4	77,1	1,4	79,2	78,8	79,8	80,4	1,7	5,1
1.6k	84,6	84,0	85,1	85,9	1,4	74,7	74,3	75,3	75,6	1,4	82,1	81,5	82,6	83,4	1,4	10,3
2k	79,8	79,0	80,3	80,6	1,0	74,1	73,5	74,5	74,8	1,0	77,9	77,1	78,4	78,7	1,0	5,8
2.5k	77,4	77,0	77,9	78,0	0,8	74,8	74,2	74,7	75,5	1,1	76,3	75,8	76,6	77,0	0,9	2,5
3.15k	74,0	73,7	74,4	74,4	0,7	66,4	66,1	66,4	66,5	0,5	71,7	71,5	72,0	72,2	0,7	7,9
4k	71,9	71,5	72,1	72,6	0,9	64,0	63,9	64,0	64,2	0,2	69,5	69,1	69,7	70,1	0,8	8,4
5k	67,8	67,2	67,6	68,2	0,7	62,8	62,6	62,9	62,9	0,3	66,0	65,5	65,8	66,3	0,6	5,3
6.3k	62,9	62,4	62,7	63,3	0,6	59,5	59,3	59,6	59,7	0,4	61,5	61,1	61,4	61,8	0,5	3,6
8k	59,8	59,3	59,5	60,5	0,7	58,0	57,6	58,1	58,4	0,5	59,0	58,4	58,8	59,6	0,6	2,1
10k	57,6	57,0	57,4	58,3	0,7	56,7	56,1	56,6	57,2	0,8	57,2	56,6	57,0	58,0	0,7	1,1
Lp	98,2	97,1	99,1	99,3	1,4	97,7	96,4	98,3	98,8	1,2	98,0	96,8	98,7	99,1	1,3	0,5
Lp (A)	89,7	89,2	90,3	90,9	1,4	86,7	86,4	87,1	88,1	1,7	88,5	88,0	89,0	89,7	1,5	2,8

Bemerkungen: keine

Tabelle 8: Resultate TA 10 (30 und 50 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag TA 10 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 7 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,8					93,5					93,7					0,3
63	87,7					86,3					87,1					1,4
125	77,3					76,0					76,8					1,3
160	81,0					77,9					79,7					3,1
200	83,3					80,0					82,0					3,4
250	86,3					82,0					84,7					4,3
315	85,2					85,7					85,4					-0,5
400	79,6					82,5					81,3					-2,8
500	79,4					83,5					81,9					-4,2
630	82,0					86,5					84,8					-4,6
800	83,3					88,4					86,6					-5,1
1k	85,7					87,9					86,9					-2,2
1.25k	88,7					84,5					87,1					4,2
1.6k	91,1					81,8					88,5					9,2
2k	86,8					81,0					84,8					5,8
2.5k	84,8					80,6					83,2					4,2
3.15k	81,1					74,9					79,0					6,3
4k	78,5					70,9					76,1					7,6
5k	74,6					69,7					72,8					4,9
6.3k	69,6					65,9					68,1					3,7
8k	66,4					63,2					65,1					3,2
10k	64,8					61,2					63,4					3,6
Lp	101,6					100,9					101,2					0,7
Lp (A)	96,9					94,6					95,9					2,3

Bemerkungen: keine

Tabelle 9: Resultate TA 10 (80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag TA 16 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 4 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	77,5	76,7	77,3	78,2	1,5	77,8	77,0	77,5	78,2	1,3	77,7	76,9	77,4	78,2	1,4	-0,3
63	73,5	72,6	73,4	74,2	2,0	73,1	72,2	73,0	73,8	1,6	73,3	72,4	73,2	74,0	1,8	0,4
125	67,0	64,3	66,6	69,3	3,8	65,9	63,2	65,4	68,1	3,2	66,5	63,8	66,1	68,8	3,5	1,1
160	68,6	65,8	67,7	70,5	3,1	64,8	61,9	64,2	67,1	3,3	67,1	64,3	66,3	69,1	3,1	3,8
200	69,7	66,7	68,9	71,9	3,8	67,5	65,3	66,7	68,9	3,3	68,7	66,0	67,9	70,6	3,6	2,2
250	73,0	70,2	72,0	74,8	3,4	72,1	69,9	71,4	73,6	3,3	72,6	70,1	71,7	74,2	3,4	0,9
315	72,9	70,9	72,5	74,4	3,0	74,8	73,0	74,4	76,2	2,8	73,9	72,1	73,5	75,4	2,9	-1,9
400	69,3	67,9	69,1	70,5	2,5	71,2	69,8	71,3	72,7	2,6	70,3	68,8	70,2	71,7	2,6	-1,9
500	71,4	70,0	71,1	72,6	2,0	71,0	69,4	70,9	72,5	2,3	71,2	69,7	71,0	72,5	2,2	0,4
630	72,4	71,2	72,4	73,5	1,9	74,1	73,1	74,1	75,1	1,9	73,3	72,2	73,3	74,4	1,9	-1,7
800	72,0	71,6	72,1	72,5	1,3	74,5	73,0	74,7	76,2	2,5	73,5	72,4	73,6	74,7	2,0	-2,5
1k	70,9	69,9	70,7	71,7	1,9	71,3	70,1	71,1	72,3	2,1	71,1	70,0	70,9	72,0	2,0	-0,4
1.25k	73,1	72,4	73,0	73,7	1,7	69,1	68,5	69,0	69,6	1,4	71,6	70,9	71,5	72,1	1,6	4,0
1.6k	76,2	75,8	76,7	77,1	1,6	66,9	66,3	67,1	67,6	1,3	73,7	73,3	74,2	74,6	1,6	9,3
2k	71,7	71,3	71,9	72,2	0,8	65,9	65,5	66,1	66,5	0,7	69,7	69,3	69,9	70,3	0,8	5,8
2.5k	70,7	70,0	70,8	71,5	0,8	66,2	65,8	66,3	66,7	1,0	69,0	68,5	69,2	69,7	0,8	4,5
3.15k	67,7	67,1	67,6	68,2	0,7	58,0	57,5	57,6	58,2	1,0	65,1	64,5	65,1	65,7	0,7	9,7
4k	65,5	65,0	65,5	66,0	0,6	56,5	56,3	56,6	56,8	0,4	63,0	62,5	63,0	63,5	0,6	9,0
5k	61,8	61,4	61,6	62,0	0,7	55,0	54,8	55,2	55,4	0,5	59,6	59,3	59,5	59,8	0,7	6,8
6.3k	56,8	56,5	56,9	57,1	0,8	51,5	51,2	51,4	51,7	0,4	54,9	54,7	55,0	55,2	0,7	5,3
8k	53,9	53,6	54,0	54,3	0,5	50,7	50,4	50,5	50,8	0,4	52,6	52,4	52,7	52,9	0,4	3,2
10k	52,0	51,7	52,1	52,4	0,6	51,4	51,0	51,4	51,8	0,4	51,7	51,5	51,6	51,8	0,3	0,6
Lp	92,1	91,2	92,2	93,1	2,5	91,1	90,2	91,2	92,1	2,1	91,6	90,7	91,7	92,6	2,3	1,0
Lp (A)	82,7	82,3	82,8	83,2	1,4	80,3	79,2	80,3	81,4	1,9	81,7	81,0	81,7	82,4	1,6	2,4

Bemerkungen:

Tabelle 10: Resultate TA 16 (30 km/h)

		Belag TA 16 Geschwindigkeit 50 km/h				Anzahl Frequenzanalysen 3 Anzahl Strecken 1									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]				Seitliches Mikrofon [dB]				Gesamtpegel [dB]				Differenz H-S [dB]		
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%		Median	75%
31,5	86,0				87,0					86,5					-1,0
63	83,1				82,2					82,8					0,9
125	69,5				68,3					69,0					1,2
160	71,0				66,8					69,4					4,2
200	72,0				69,6					70,9					2,4
250	74,0				73,1					73,6					0,9
315	74,0				75,8					75,0					-1,8
400	71,3				74,7					73,4					-3,4
500	73,7				75,8					74,9					-2,1
630	76,8				79,4					78,3					-2,6
800	78,0				80,5					79,5					-2,5
1k	77,2				78,0					77,7					-0,8
1.25k	81,0				76,2					79,3					4,8
1.6k	84,6				74,5					82,0					10,1
2k	80,3				74,5					78,3					5,8
2.5k	77,9				74,7					76,7					3,2
3.15k	74,8				65,6					72,3					9,2
4k	72,5				64,4					70,1					8,1
5k	68,9				62,7					66,9					6,2
6.3k	63,7				59,9					62,2					3,8
8k	60,6				58,4					59,7					2,2
10k	58,9				57,6					58,3					1,3
Lp	96,8				95,9					96,4					0,9
Lp (A)	89,9				86,4					88,5					3,5

Bemerkungen

		Belag TA 16 Geschwindigkeit 80 km/h				Anzahl Frequenzanalysen 2 Anzahl Strecken 1									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]				Seitliches Mikrofon [dB]				Gesamtpegel [dB]				Differenz H-S [dB]		
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%		Median	75%
31,5	94,2				93,9					94,1					0,3
63	84,8				84,0					84,4					0,8
125	76,7				74,2					75,6					2,5
160	79,9				76,3					78,5					3,6
200	82,4				78,1					80,7					4,4
250	85,0				80,4					83,2					4,6
315	84,9				86,0					85,5					-1,2
400	80,2				82,4					81,4					-2,3
500	80,2				83,8					82,3					-3,6
630	81,9				87,1					85,2					-5,1
800	83,9				88,5					86,8					-4,6
1k	86,1				87,9					87,1					-1,8
1.25k	90,1				84,9					88,2					5,1
1.6k	92,3				82,9					89,8					9,4
2k	87,4				81,5					85,4					5,9
2.5k	85,3				80,7					83,5					4,6
3.15k	81,8				74,7					79,6					7,1
4k	79,0				71,9					76,7					7,1
5k	75,1				70,6					73,4					4,5
6.3k	70,1				66,3					68,6					3,8
8k	67,7				63,4					66,1					4,4
10k	66,4				61,2					64,5					5,3
L-netw	101,8				101,1					101,4					0,8
A-netw	97,7				94,6					96,4					3,1

Bemerkungen:

Tabelle 11: Resultate TA 16 (50 und 80 km/h)

		Belag SMA 6 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 4 Anzahl Strecken 1										
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]	
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s		
31,5	77,5					77,6					77,5					-0,1	
63	83,8					82,2					83,1					1,6	
125	63,1					64,2					63,7					-1,1	
160	64,6					60,4					63,0					4,2	
200	63,7					61,6					62,8					2,1	
250	65,5					64,7					65,1					0,8	
315	66,7					68,7					67,8					-2,0	
400	62,0					64,2					63,3					-2,2	
500	65,1					65,1					65,1					0,0	
630	66,5					69,7					68,4					-3,2	
800	67,6					70,6					69,4					-3,1	
1k	67,7					69,9					68,9					-2,2	
1.25k	70,1					67,3					68,9					2,8	
1.6k	70,9					65,2					69,0					5,8	
2k	68,4					66,0					67,3					2,4	
2.5k	65,0					64,9					64,9					0,0	
3.15k	62,5					58,7					61,0					3,8	
4k	59,7					55,6					58,2					4,2	
5k	56,2					53,9					55,2					2,3	
6.3k	52,3					50,5					51,6					1,9	
8k	49,9					47,9					49,1					2,1	
10k	48,1					45,8					47,2					2,4	
L-netw	94,3					93,3					93,8					1,0	
A-netw	78,3					77,5					77,9					0,8	

Bemerkungen: keine

		Belag SMA 6 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 10 Anzahl Strecken 3										
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]	
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s		
31,5	84,6	84,1	85,1	85,6	1,2	84,7	83,8	85,2	85,8	1,4	84,6	84,3	85,2	85,6	1,3	0,0	
63	87,5	85,7	87,9	91,4	4,8	84,3	82,8	84,6	87,5	3,5	86,3	85,0	86,4	89,9	4,2	3,2	
125	67,7	66,3	67,9	68,8	2,2	68,3	67,0	68,8	69,1	1,2	68,2	67,4	68,1	68,7	1,0	-0,6	
160	69,2	68,3	69,0	70,2	1,6	64,4	63,9	65,0	65,1	1,6	67,5	66,4	67,4	68,3	1,3	4,8	
200	68,6	67,3	68,1	69,0	2,1	66,2	64,7	65,1	67,0	2,1	67,6	66,1	66,8	67,7	2,0	2,4	
250	69,3	68,6	69,5	69,9	1,4	68,6	68,2	68,5	70,2	1,3	69,0	68,3	69,0	70,0	1,3	0,7	
315	68,9	67,0	69,1	70,4	2,1	71,1	69,3	72,0	72,2	1,6	70,2	68,3	70,8	71,5	1,7	-2,3	
400	63,8	61,8	63,0	65,2	2,5	67,8	66,6	68,1	69,0	1,4	66,3	65,4	66,4	67,3	1,6	-4,0	
500	67,0	65,1	66,3	68,4	2,4	69,6	68,6	69,7	70,5	1,4	68,5	67,6	68,3	69,6	1,7	-2,6	
630	69,7	68,7	69,2	71,2	2,0	73,1	72,1	73,1	73,8	1,3	71,8	70,8	71,5	73,4	1,4	-3,4	
800	71,6	70,7	71,7	73,1	1,7	74,7	73,9	74,5	76,1	1,8	73,5	72,6	73,7	74,5	1,7	-3,1	
1k	72,2	71,6	72,4	73,2	1,1	73,7	72,7	73,2	74,1	1,5	73,1	72,2	73,0	73,5	1,2	-1,5	
1.25k	76,3	75,7	76,1	77,5	1,6	72,3	71,0	72,4	72,6	1,2	74,8	73,9	74,5	75,7	1,3	4,0	
1.6k	78,9	77,4	79,3	80,3	3,1	71,3	69,4	71,3	72,5	1,6	76,7	75,6	76,7	77,8	2,4	7,6	
2k	76,1	75,4	75,7	76,2	2,1	72,7	71,5	72,3	74,4	1,7	74,8	73,7	74,6	75,0	1,8	3,4	
2.5k	73,7	72,1	74,2	75,1	1,8	72,7	72,0	72,3	73,2	1,2	73,3	72,1	73,2	74,3	1,3	1,1	
3.15k	70,2	68,7	71,1	71,9	2,4	65,7	64,7	65,4	66,6	1,3	68,6	67,8	69,1	69,7	1,8	4,5	
4k	67,2	66,1	68,1	68,7	2,2	63,0	62,5	63,1	63,4	0,6	65,7	64,9	66,2	67,0	1,4	4,2	
5k	63,0	62,1	63,1	63,8	1,4	61,8	61,2	62,0	62,4	0,7	62,5	62,1	62,3	63,3	1,0	1,2	
6.3k	60,1	59,3	60,4	61,4	1,4	58,4	57,7	58,9	59,2	0,9	59,4	58,9	59,2	60,3	0,8	1,7	
8k	57,9	56,7	58,1	59,1	1,9	55,8	55,2	56,0	56,3	0,6	57,0	56,5	56,9	57,7	1,1	2,1	
10k	56,0	54,2	56,1	58,6	2,7	52,2	51,7	52,4	52,6	0,6	54,7	53,1	54,5	56,5	1,8	3,8	
L-netw	95,8	94,5	95,7	97,1	1,8	94,7	94,0	94,7	95,6	1,6	95,3	94,4	95,1	96,4	1,7	1,1	
A-netw	85,0	83,8	84,9	85,8	1,7	82,4	81,6	82,2	82,8	1,2	83,9	83,2	83,5	84,6	1,4	2,6	

Bemerkungen: Auf zwei Strecken wurden im Sommer und im Winter Messungen durchgeführt

Tabelle 12: Resultate SMA 6 (30 und 50 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 6 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 2 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	86,8					87,0					86,9					-0,3
63	83,2					81,5					82,4					1,6
125	71,7					69,1					70,6					2,6
160	72,2					67,1					70,4					5,1
200	71,5					66,1					69,6					5,4
250	68,9					70,6					69,8					-1,7
315	68,4					71,0					69,9					-2,6
400	64,0					70,4					68,3					-6,5
500	66,6					72,1					70,1					-5,5
630	70,9					75,0					73,4					-4,1
800	73,4					76,5					75,3					-3,1
1k	74,3					75,3					74,8					-1,0
1.25k	78,9					74,2					77,1					4,7
1.6k	81,8					72,8					79,3					9,0
2k	78,4					74,2					76,8					4,2
2.5k	76,5					74,7					75,7					1,8
3.15k	74,0					67,7					71,9					6,3
4k	70,9					65,6					69,0					5,3
5k	65,4					64,4					64,9					1,0
6.3k	63,1					60,9					62,2					2,2
8k	61,5					58,5					60,2					3,0
10k	60,4					54,8					58,4					5,6
L-netw	95,8					95,4					95,6					0,4
A-netw	87,5					84,2					86,1					3,3

Bemerkungen: keine

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 6 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 2 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	91,4					92,4					91,9					0,0
63	89,7					88,7					89,4					1,0
125	79,1					76,1					77,9					3,0
160	81,1					75,2					79,1					5,9
200	79,5					75,9					78,1					3,6
250	77,9					74,4					76,5					3,6
315	75,2					77,0					76,1					-1,8
400	70,9					75,6					73,8					-4,6
500	70,5					75,7					73,8					-5,2
630	74,7					77,7					76,4					-3,1
800	78,1					79,7					79,0					-1,7
1k	77,9					78,0					77,9					-0,1
1.25k	82,3					76,7					80,3					5,6
1.6k	85,9					75,6					83,3					10,3
2k	83,1					77,7					81,2					5,4
2.5k	81,0					78,3					79,9					2,7
3.15k	79,1					71,6					76,8					7,5
4k	76,7					70,4					74,6					6,4
5k	71,9					69,4					70,8					2,6
6.3k	69,0					66,8					68,0					2,2
8k	67,1					64,7					66,0					2,4
10k	66,2					61,1					64,3					5,1
L-netw	100,4					99,9					100,1					0,5
A-netw	91,8					87,5					90,2					4,3

Bemerkungen:

Tabelle 13: Resultate SMA 6 (60 und 80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 8 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 8 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	79,8	78,0	80,3	82,2	1,8	79,9	78,2	79,7	82,9	1,9	79,8	78,1	80,0	82,6	1,8	0,0
63	78,3	72,4	79,1	90,0	7,9	76,7	72,0	77,9	86,7	7,0	77,6	72,2	78,5	88,7	7,5	1,6
125	68,4	65,2	69,6	70,4	2,9	65,6	61,9	67,7	68,1	3,0	67,2	64,2	68,3	69,4	2,8	2,8
160	67,9	66,4	69,0	70,7	2,6	63,3	62,6	63,8	65,3	2,9	66,2	65,6	66,9	68,6	2,6	4,5
200	66,4	62,7	67,8	68,9	2,7	63,7	60,7	64,6	64,9	2,2	65,3	61,8	66,5	67,3	2,5	2,7
250	67,8	64,9	69,4	70,0	2,3	67,2	64,1	68,0	69,2	2,0	67,5	64,5	68,7	69,6	2,1	0,6
315	67,6	62,9	69,8	70,2	3,3	70,2	65,8	72,1	72,7	3,2	69,1	64,5	71,1	71,6	3,3	-2,5
400	63,5	60,9	65,4	65,7	2,3	67,0	65,2	68,2	68,4	1,5	65,6	63,6	67,0	67,4	1,7	-3,5
500	66,7	64,5	68,4	68,7	1,9	67,7	66,5	68,4	68,7	1,1	67,3	65,7	68,4	68,7	1,4	-0,9
630	69,4	67,1	70,6	71,1	1,7	71,4	69,3	72,6	73,4	1,8	70,5	68,3	71,7	72,4	1,7	-2,0
800	69,8	69,0	70,2	70,5	0,7	74,0	72,3	74,9	75,2	1,2	72,4	71,0	73,0	73,5	1,0	-4,2
1k	69,3	67,9	69,8	70,4	1,0	71,3	69,8	71,9	72,5	1,2	70,4	69,0	70,8	71,7	1,1	-2,0
1.25k	70,5	68,6	71,1	71,4	1,3	67,7	66,1	68,4	69,2	1,4	69,3	67,5	69,9	70,6	1,3	2,7
1.6k	74,5	73,0	75,0	75,5	1,1	65,3	63,0	66,5	67,3	1,8	72,0	70,4	72,5	73,1	1,1	9,1
2k	70,8	69,6	71,3	71,9	1,1	64,6	62,2	65,9	66,6	1,9	68,7	67,3	69,3	70,1	1,2	6,2
2.5k	69,4	68,5	69,7	70,6	1,0	66,2	65,4	66,5	66,8	0,7	68,1	67,3	68,4	69,4	0,9	3,2
3.15k	66,8	65,8	67,0	67,5	0,9	59,9	59,5	60,1	60,5	0,5	64,6	63,7	64,7	65,3	0,7	6,8
4k	63,8	62,9	64,0	64,8	0,9	57,0	55,6	57,2	58,3	1,0	61,6	60,6	61,8	62,7	0,9	6,8
5k	59,5	57,4	60,3	61,1	1,5	55,7	53,8	56,2	57,3	1,4	58,0	56,0	58,6	59,7	1,4	3,9
6.3k	56,3	55,2	56,6	57,6	1,1	51,4	48,6	52,4	52,9	2,0	54,6	53,0	54,9	56,2	1,3	4,9
8k	54,6	53,3	54,9	56,4	1,5	50,0	47,6	50,9	51,4	1,9	52,9	51,3	53,3	54,9	1,6	4,6
10k	53,6	52,6	54,3	54,5	1,2	48,2	46,4	49,4	49,8	1,9	51,7	50,9	52,2	53,0	1,2	5,4
L-netw	93,0	92,2	93,5	93,9	0,8	91,7	91,0	92,0	92,5	0,7	92,4	91,6	92,8	93,0	0,7	1,3
A-netw	80,7	79,4	81,2	81,9	1,0	78,9	77,3	79,7	80,3	1,3	79,9	78,5	80,5	81,2	1,1	1,8

Bemerkungen: Auf beiden Strecken wurden im Sommer und im Winter Messungen durchgeführt

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 8 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 6 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	85,6	83,7	85,6	87,1	2,5	85,4	83,7	85,4	86,6	2,1	85,5	83,7	85,5	86,9	2,3	0,2
63	84,2	78,0	84,8	90,2	5,5	82,1	78,3	82,2	86,4	4,1	83,4	78,2	83,7	88,7	4,9	2,0
125	70,2	69,5	70,3	70,7	0,8	69,4	67,4	69,6	71,5	1,9	69,9	69,1	69,6	70,9	0,9	0,8
160	72,8	71,7	72,7	73,5	1,3	67,2	64,9	66,9	68,9	2,5	71,0	69,6	71,3	71,7	1,3	5,6
200	71,9	69,9	71,5	73,8	2,1	69,6	67,8	69,6	70,5	1,7	70,9	68,9	70,8	72,4	1,8	2,3
250	73,6	71,9	73,4	75,3	2,0	72,4	70,8	72,1	73,7	2,0	73,1	71,4	72,8	74,6	2,0	1,3
315	72,6	69,7	72,9	75,1	2,7	74,5	72,2	74,8	77,6	3,4	73,7	71,2	73,9	76,5	3,1	-1,9
400	67,5	64,6	67,9	69,6	2,6	70,9	68,2	71,3	74,0	3,1	69,6	66,8	69,6	72,3	2,8	-3,5
500	70,5	68,4	70,7	72,3	2,1	72,2	69,6	72,4	74,1	2,3	71,4	69,2	71,4	73,3	2,1	-1,7
630	73,4	71,5	73,1	75,7	2,0	75,8	72,5	75,9	79,3	3,2	74,8	72,0	74,6	77,9	2,7	-2,4
800	75,3	74,6	74,9	75,7	1,1	79,0	76,8	79,0	81,9	2,6	77,6	75,7	77,3	80,0	2,0	-3,7
1k	75,9	74,6	75,5	77,2	1,9	77,5	74,6	77,1	80,5	2,9	76,8	74,6	76,3	79,2	2,5	-1,6
1.25k	78,8	77,2	78,5	81,4	2,3	76,0	72,8	76,7	77,8	3,0	77,7	75,8	77,6	80,0	2,5	2,8
1.6k	83,1	81,7	82,7	84,9	1,7	75,1	71,4	74,9	77,5	3,8	81,0	79,4	81,3	82,3	1,7	8,0
2k	79,1	77,3	78,8	80,7	1,9	74,0	70,8	74,9	76,0	2,8	77,4	75,4	77,6	79,0	1,8	5,1
2.5k	76,5	75,2	76,3	77,5	1,4	74,9	73,1	75,0	76,6	1,5	75,8	74,5	75,6	77,2	1,4	1,7
3.15k	73,6	73,0	73,4	74,2	0,8	68,5	66,0	67,8	70,2	2,5	71,9	70,9	72,0	72,9	1,0	5,2
4k	70,7	70,1	70,5	71,1	0,7	65,3	62,3	65,1	67,0	2,8	69,0	67,7	68,9	70,2	1,0	5,4
5k	66,1	64,5	65,9	67,0	1,6	63,4	60,8	64,0	64,5	2,1	65,0	63,2	65,0	65,9	1,7	2,7
6.3k	62,3	60,8	62,0	63,0	1,6	59,8	56,7	60,4	60,8	2,7	61,3	59,2	61,3	62,0	1,9	2,5
8k	60,1	57,9	59,5	61,4	2,4	57,3	54,8	57,7	57,8	2,3	58,9	56,6	58,7	59,9	2,3	2,7
10k	58,6	56,8	58,1	59,1	2,1	54,9	51,8	55,0	56,8	2,5	57,2	55,3	57,1	57,5	2,0	3,7
L-netw	96,6	95,6	96,7	97,5	1,1	95,7	95,0	95,8	96,2	1,0	96,2	95,6	96,2	96,8	1,0	0,9
A-netw	88,3	86,9	87,9	89,9	1,7	85,9	83,4	86,5	87,9	2,3	87,3	85,6	87,2	89,0	1,8	2,4

Bemerkungen: Auf beiden Strecken wurden im Sommer und im Winter Messungen durchgeführt

Tabelle 14: Resultate SMA 8 (30 und 50 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 11 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 11 Anzahl Strecken 4					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	86,5	84,9	86,7	87,3	2,5	86,2	85,0	86,6	87,0	2,2	86,4	85,0	86,3	87,2	2,4	0,3
63	87,9	82,2	91,0	92,6	5,6	85,7	81,6	86,5	89,6	4,2	87,0	81,8	89,3	91,4	5,0	2,2
125	70,5	69,2	70,7	72,3	1,8	70,5	69,7	70,0	71,1	1,7	70,6	69,5	70,4	71,3	1,5	0,0
160	72,9	71,4	72,0	74,2	2,1	67,7	67,1	67,5	68,7	1,8	71,1	69,8	70,2	72,2	2,0	5,2
200	73,8	72,6	73,7	74,8	2,3	71,5	69,8	71,2	72,5	2,7	72,8	71,7	73,0	73,5	2,4	2,3
250	75,6	74,5	75,5	76,8	2,2	74,7	73,3	74,4	76,1	2,3	75,1	73,9	74,9	76,4	2,2	0,9
315	77,0	76,1	77,5	78,2	1,7	79,7	78,0	80,2	81,3	2,2	78,6	77,3	78,9	80,0	2,0	-2,7
400	71,4	70,2	72,4	72,8	2,0	75,1	74,7	75,3	75,8	1,2	73,7	73,0	74,0	74,6	1,4	-3,7
500	75,2	74,0	75,7	76,4	1,6	76,5	76,0	76,3	77,5	1,0	75,9	75,2	76,0	77,0	1,2	-1,3
630	77,5	76,9	77,1	78,4	0,9	80,4	79,6	80,2	81,4	0,9	79,2	78,4	78,9	80,2	0,9	-2,9
800	77,8	77,3	78,4	78,8	1,1	83,1	82,2	82,8	84,3	1,3	81,2	80,6	81,1	82,3	1,2	-5,3
1k	79,3	78,7	79,6	80,2	1,4	81,7	80,4	81,7	83,2	1,7	80,7	79,7	80,7	82,0	1,5	-2,4
1.25k	81,9	80,3	81,7	83,5	1,7	78,6	77,2	78,2	79,9	1,6	80,5	78,8	80,5	82,0	1,6	3,3
1.6k	84,8	83,4	83,9	86,2	1,5	75,5	74,1	75,2	77,4	1,7	82,3	80,9	81,5	83,8	1,5	9,3
2k	80,6	78,7	80,4	82,7	2,0	75,1	72,8	74,8	78,0	2,6	78,7	76,6	78,4	81,0	2,1	5,5
2.5k	77,9	75,4	78,4	79,8	2,2	75,2	73,2	74,8	76,7	2,0	76,8	74,5	77,2	78,6	2,1	2,7
3.15k	74,8	72,8	75,2	76,6	2,0	68,5	67,4	68,5	69,7	1,4	72,7	71,2	72,8	74,4	1,7	6,3
4k	71,3	69,6	72,6	72,8	1,9	65,2	63,5	65,1	67,5	2,0	69,3	67,4	70,4	70,9	1,9	6,1
5k	66,7	63,6	68,6	69,0	2,8	63,7	62,2	63,3	65,4	1,5	65,6	63,2	67,0	67,5	2,2	3,0
6.3k	62,9	60,7	64,1	64,4	2,0	59,6	58,1	58,9	61,5	1,6	61,6	59,8	62,5	63,2	1,8	3,3
8k	60,0	58,6	60,7	61,6	1,7	57,0	55,3	56,7	58,4	1,9	58,8	57,3	59,2	60,3	1,7	3,0
10k	57,9	56,8	58,4	59,2	1,9	54,3	52,2	54,7	56,4	2,3	56,5	55,1	57,2	57,9	2,0	3,6
Lp	97,8	97,1	98,0	98,4	1,2	96,7	96,3	96,6	97,0	1,2	97,3	96,7	97,4	97,7	1,2	1,1
Lp (A)	90,4	89,2	89,7	92,1	1,4	88,5	87,3	87,7	90,0	1,3	89,6	88,4	89,1	91,2	1,3	1,9

Bemerkungen: Auf zwei Strecken wurden im Sommer und im Winter Messungen durchgeführt

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 11 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 10 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	88,6	87,6	88,4	89,1	1,7	88,5	87,4	88,4	89,4	1,6	88,6	87,5	88,6	89,1	1,6	0,1
63	90,6	89,8	90,6	92,5	3,0	87,5	86,4	87,6	89,1	2,4	89,3	88,5	89,2	91,2	2,8	3,1
125	73,7	71,9	73,4	75,9	3,0	72,8	71,8	72,2	74,8	2,5	73,4	72,0	73,3	74,9	2,7	0,9
160	74,3	72,8	74,1	75,9	2,4	70,9	70,0	70,7	72,6	1,9	72,9	71,7	72,7	74,5	2,2	3,4
200	76,6	75,7	76,6	77,9	2,1	71,9	70,9	72,0	73,4	2,2	74,9	74,1	75,1	75,9	2,0	4,7
250	76,3	75,0	76,0	77,8	2,3	76,3	75,3	76,2	77,5	2,4	76,3	75,3	76,1	77,6	2,4	0,0
315	78,5	77,0	78,6	80,6	2,6	80,0	79,0	80,1	81,7	2,4	79,3	78,1	79,4	81,1	2,5	-1,5
400	72,6	70,8	73,0	74,9	2,5	76,4	76,1	76,6	77,4	1,5	75,0	74,5	75,0	76,4	1,7	-3,8
500	75,7	74,9	76,3	76,8	1,8	78,0	77,7	78,1	78,7	1,3	77,0	76,8	77,2	77,8	1,5	-2,3
630	78,6	77,8	78,9	79,5	1,0	82,2	81,6	82,3	83,0	1,2	80,8	80,1	81,0	81,6	1,1	-3,6
800	79,8	79,2	79,9	80,7	0,9	85,1	84,2	85,2	86,4	1,2	83,3	82,7	83,3	84,4	1,1	-5,3
1k	81,7	81,7	82,1	82,5	1,2	84,4	84,2	84,6	85,5	1,5	83,2	83,2	83,4	84,1	1,4	-2,7
1.25k	84,9	83,5	84,4	86,6	1,7	81,3	80,1	81,3	82,3	1,6	83,5	82,2	83,2	84,9	1,7	3,6
1.6k	88,0	87,0	87,3	89,4	1,3	78,6	77,4	77,7	80,3	1,6	85,5	84,5	84,7	87,0	1,4	9,4
2k	84,1	82,3	84,1	85,8	1,9	78,4	75,6	78,6	80,9	2,6	82,1	80,2	82,0	83,9	2,0	5,7
2.5k	80,9	78,4	82,2	82,7	2,3	78,2	76,5	77,9	80,1	2,0	79,8	77,6	80,6	81,5	2,2	2,7
3.15k	77,8	75,7	79,1	79,4	2,0	71,7	70,8	71,8	72,9	1,3	75,8	74,0	76,5	77,3	1,7	6,1
4k	74,3	72,4	75,5	75,5	2,0	68,3	66,2	68,7	70,3	2,0	72,3	70,3	73,3	73,6	1,9	6,0
5k	69,7	66,8	71,2	71,6	2,8	66,7	65,6	66,3	68,0	1,3	68,6	66,3	69,8	70,2	2,1	3,0
6.3k	65,7	63,8	66,7	67,4	2,0	62,7	61,6	62,7	64,0	1,4	64,5	62,8	65,3	65,8	1,7	3,0
8k	62,5	61,5	62,8	63,7	1,7	60,2	59,1	60,2	61,5	1,7	61,5	60,4	61,6	62,9	1,7	2,3
10k	60,3	59,3	60,5	61,4	2,0	57,4	55,8	57,9	59,2	2,3	59,1	58,0	59,3	60,5	2,1	2,9
Lp	99,0	98,6	99,0	99,6	0,8	97,9	97,1	97,9	98,5	0,9	98,5	98,0	98,4	99,1	0,8	1,1
Lp (A)	93,4	92,3	92,8	94,8	1,3	90,9	89,9	90,5	92,2	1,3	92,3	91,2	91,5	93,7	1,3	2,5

Bemerkungen: Auf zwei Strecken wurden im Sommer und im Winter Messungen durchgeführt

Tabelle 15: Resultate SMA 11 (50 und 60 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 11 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 37 Anzahl Strecken 7					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	92,4	91,3	92,9	94,0	1,9	92,7	91,7	93,0	93,7	1,6	92,6	91,3	92,8	93,6	1,7	-0,3
63	88,5	84,9	87,4	92,9	5,1	86,7	84,4	85,6	89,7	4,0	87,7	84,6	86,7	90,7	4,6	1,8
125	74,6	72,9	74,4	77,1	3,1	75,1	72,7	73,9	77,3	2,8	74,9	72,5	74,2	77,1	2,9	-0,5
160	77,1	75,6	76,5	78,5	2,7	74,9	72,8	74,7	76,6	2,2	76,2	74,5	75,6	77,6	2,5	2,2
200	77,7	75,7	77,1	80,9	3,0	76,2	74,9	75,8	77,4	1,9	77,1	75,4	76,4	78,6	2,6	1,5
250	80,6	78,8	79,8	82,4	2,7	77,8	76,1	76,8	78,9	2,4	79,5	77,8	78,6	81,0	2,6	2,8
315	81,0	79,9	80,6	82,5	2,0	82,0	80,4	81,5	83,4	2,4	81,6	80,3	80,9	82,7	2,2	-1,0
400	75,9	74,1	75,2	78,3	2,6	79,7	78,4	78,9	80,2	2,0	78,2	76,7	77,5	79,2	2,2	-3,8
500	77,3	76,0	77,1	79,0	2,2	81,4	80,3	80,7	82,0	2,1	79,8	78,6	79,2	80,7	2,0	-4,1
630	81,0	80,0	80,7	81,8	1,7	85,3	84,4	85,1	85,8	1,5	83,7	82,7	83,5	84,5	1,5	-4,3
800	83,3	82,0	83,2	84,5	1,9	88,0	87,0	88,0	88,6	1,2	86,3	85,4	86,3	87,0	1,3	-4,7
1k	86,0	84,7	85,8	86,8	1,8	88,2	87,5	88,0	89,4	1,6	87,3	86,5	87,0	88,2	1,6	-2,2
1.25k	90,0	89,3	90,1	90,7	1,2	86,2	85,6	86,2	87,1	1,5	88,5	87,7	88,4	89,0	1,3	3,8
1.6k	92,4	92,1	92,5	93,5	1,8	83,6	83,0	83,5	84,2	1,0	89,9	89,5	90,0	90,8	1,5	8,8
2k	88,5	87,8	88,4	89,7	1,6	82,5	81,7	82,4	82,9	1,4	86,5	85,8	86,2	87,2	1,5	6,0
2.5k	85,1	84,4	85,3	86,0	1,5	81,9	81,1	82,0	82,4	1,6	83,8	83,3	83,8	84,5	1,4	3,2
3.15k	81,9	81,7	82,3	83,0	1,5	76,6	76,0	76,7	77,4	1,4	80,1	79,8	80,2	80,9	1,3	5,3
4k	79,3	79,3	79,7	80,4	1,6	73,4	72,8	73,2	74,1	1,0	77,3	76,9	77,7	78,1	1,3	5,9
5k	75,1	74,7	75,7	76,3	1,8	72,5	72,2	72,5	73,0	0,9	74,1	73,5	74,4	75,0	1,2	2,6
6.3k	71,4	71,1	72,2	72,7	1,8	68,5	67,9	68,7	69,2	0,9	70,3	69,7	70,7	71,3	1,3	2,9
8k	69,0	67,4	69,7	70,8	2,2	65,8	64,9	65,9	66,7	1,1	67,8	66,8	68,4	69,1	1,7	3,2
10k	67,2	65,7	68,5	69,2	2,7	63,0	62,5	63,2	63,9	1,5	65,6	64,4	66,5	67,2	2,2	4,2
Lp	102,0	101,2	101,8	103,0	1,1	101,0	100,0	100,8	101,9	1,3	101,0	100,1	100,9	101,9	1,2	1,0
Lp (A)	97,9	97,4	97,7	98,5	0,9	94,8	94,0	94,7	95,4	1,1	96,6	96,0	96,5	96,9	0,8	3,1

Bemerkungen: Auf langen Strecken (v.a. Autobahnstrecken) wurden Terzbandanalysen auf verschiedenen Teilabschnitten durchgeführt
Auf zwei Strecken wurden im Sommer und Winter Messungen durchgeführt

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 11 Geschwindigkeit 100 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 27 Anzahl Strecken 5					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,7	93,0	93,3	94,7	1,5	95,0	93,9	94,4	96,3	1,5	94,4	93,3	94,0	95,5	1,4	-1,3
63	86,9	85,8	86,7	87,8	1,5	87,9	86,5	87,8	89,5	1,6	87,4	86,1	87,1	89,0	1,5	-1,0
125	76,2	75,7	76,3	76,6	1,1	79,1	78,1	78,8	79,9	1,6	77,9	77,1	77,6	78,6	1,4	-2,9
160	78,3	77,6	78,0	79,2	1,2	76,8	75,9	76,4	76,9	1,6	77,6	76,9	77,1	78,0	1,3	1,5
200	78,3	77,7	78,3	78,9	1,0	77,4	76,5	77,2	77,7	1,4	77,9	77,2	77,7	78,2	1,1	0,9
250	78,7	77,8	78,5	79,4	1,3	80,6	80,0	80,5	81,3	0,9	79,8	79,1	79,7	80,8	1,0	-1,9
315	81,4	81,0	81,2	81,7	0,9	83,7	83,0	83,7	84,4	1,0	82,7	82,3	82,7	83,2	0,8	-2,3
400	76,7	76,1	76,5	77,1	1,4	80,3	79,4	80,0	80,4	1,4	78,9	78,3	78,5	79,0	1,3	-3,6
500	77,5	76,6	76,9	77,4	2,7	82,5	81,3	82,1	82,8	1,6	80,7	79,5	80,1	80,9	2,0	-5,0
630	81,8	81,2	81,6	82,1	1,3	86,2	85,3	86,2	86,9	1,1	84,5	83,7	84,4	85,1	1,1	-4,4
800	85,0	84,2	84,7	86,1	1,2	89,2	88,7	89,2	89,6	0,7	87,6	87,1	87,7	88,1	0,8	-4,2
1k	88,2	87,3	88,1	88,8	1,0	90,0	89,0	89,9	91,0	1,1	89,2	88,4	88,8	90,1	1,0	-1,8
1.25k	92,4	91,9	92,7	93,2	1,1	88,1	87,3	88,0	89,1	1,5	90,8	90,4	90,8	91,5	1,0	4,3
1.6k	95,3	95,7	96,1	96,6	2,9	86,0	85,7	86,0	86,6	0,9	92,9	93,1	93,5	94,0	2,4	9,3
2k	91,9	91,6	92,1	92,9	2,0	85,0	84,8	85,1	85,7	0,9	89,8	89,6	90,0	90,6	1,7	6,9
2.5k	87,8	87,1	87,7	88,6	1,2	84,4	84,0	84,6	85,3	1,3	86,4	85,7	86,4	87,2	1,1	3,4
3.15k	84,4	83,5	84,6	85,3	1,2	79,6	79,4	79,9	80,4	1,3	82,7	81,9	82,9	83,5	1,0	4,8
4k	82,0	80,8	82,3	83,1	1,5	76,3	76,1	76,5	76,9	1,0	80,1	79,2	80,4	81,0	1,2	5,7
5k	77,7	76,3	78,3	79,0	1,7	75,8	75,3	75,9	76,4	0,8	77,0	76,2	77,3	77,8	1,1	1,9
6.3k	74,1	72,9	74,7	75,4	1,7	71,9	71,4	72,0	72,3	0,9	73,2	72,3	73,6	74,1	1,1	2,2
8k	71,6	70,1	72,2	73,2	2,0	69,0	68,4	68,7	69,7	1,0	70,6	69,4	71,0	71,7	1,5	2,6
10k	69,7	67,8	70,4	71,6	2,6	65,8	64,8	65,7	66,5	1,3	68,2	66,4	69,1	69,6	2,1	3,9
Lp	104,0	103,4	104,0	104,5	0,9	103,0	102,1	102,6	104,0	1,1	103,0	102,5	102,8	103,5	0,9	1,0
Lp (A)	101,0	100,9	101,2	101,8	1,3	96,6	96,2	96,5	97,0	0,6	99,1	98,8	99,2	99,6	0,9	4,4

Bemerkungen: Auf langen Strecken wurden Terzbandanalysen auf verschiedenen Teilabschnitten durchgeführt

Tabelle 16: Resultate SMA 11 (80 und 100 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag SMA 11 Geschwindigkeit 120 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 16 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	99,9	99,3	99,8	100,4	0,9	100,0	99,3	99,9	100,6	0,9	100,0	99,7	99,9	100,1	0,8	-0,1
63	90,2	90,1	90,3	90,7	1,0	91,3	90,5	91,8	92,7	1,5	90,8	90,5	91,3	91,5	1,1	-1,1
125	81,2	80,5	80,9	82,1	1,3	83,2	82,6	83,4	84,2	1,2	82,4	82,0	82,5	83,3	1,0	-2,0
160	81,9	81,5	81,8	82,3	0,8	81,2	80,9	81,5	82,0	1,4	81,6	81,2	81,5	82,2	0,8	0,7
200	81,8	81,4	82,4	82,6	1,0	81,2	80,8	81,4	81,5	1,1	81,5	81,1	81,9	82,1	1,0	0,6
250	81,5	80,8	81,4	82,4	1,5	81,6	81,0	81,8	82,5	1,2	81,6	81,2	81,6	82,5	1,3	-0,1
315	83,9	83,1	83,8	84,3	1,3	86,4	86,0	86,7	86,8	0,7	85,4	85,2	85,5	85,9	0,7	-2,5
400	80,4	79,9	80,3	80,7	0,9	81,9	81,9	82,1	82,6	0,9	81,2	81,1	81,2	81,9	0,8	-1,5
500	80,0	79,4	79,6	80,4	1,6	82,9	82,2	82,9	83,7	0,8	81,8	81,1	81,9	82,4	0,9	-2,9
630	83,0	81,8	82,5	84,5	2,0	86,8	86,1	87,0	87,7	1,1	85,5	84,7	85,3	86,7	1,1	-3,8
800	87,5	85,9	87,9	88,8	1,9	90,3	89,8	90,2	91,2	0,8	89,2	88,6	89,2	90,0	0,9	-2,8
1k	90,5	89,4	90,8	91,5	1,0	91,3	90,8	91,7	92,3	1,3	90,9	90,3	91,3	91,8	1,1	-0,8
1.25k	94,4	93,9	95,0	95,6	1,5	89,7	88,3	89,1	90,8	2,4	92,9	91,9	93,1	93,6	1,0	4,7
1.6k	98,1	97,9	98,5	99,8	2,7	88,6	87,4	87,8	88,6	2,8	96,1	95,6	96,2	97,1	0,9	9,5
2k	95,2	94,5	95,9	96,8	2,2	87,5	86,6	86,8	87,7	2,2	93,2	92,3	93,4	94,2	1,1	7,7
2.5k	90,7	89,5	91,1	92,5	1,5	87,1	86,3	86,7	88,1	1,5	89,4	88,3	89,6	90,8	1,2	3,6
3.15k	86,8	85,6	87,3	88,4	1,8	82,5	81,7	82,1	82,7	1,6	85,4	84,5	85,8	86,5	1,1	4,3
4k	84,5	83,0	84,8	86,5	2,2	79,3	78,5	78,9	79,2	1,7	82,9	81,6	83,3	84,2	1,3	5,2
5k	80,5	78,9	80,9	82,6	1,9	78,5	78,0	78,2	78,8	1,0	79,8	78,9	80,0	80,9	1,2	2,0
6.3k	76,7	75,2	76,5	79,1	1,8	75,1	74,1	75,2	75,5	1,2	76,1	74,9	76,4	77,3	1,2	1,6
8k	73,9	72,3	73,5	76,8	2,2	72,6	71,7	72,4	73,6	1,6	73,4	71,8	74,1	75,2	1,7	1,3
10k	72,1	69,8	72,1	75,7	2,8	69,4	67,5	69,7	71,0	2,3	71,1	69,0	72,0	73,7	2,4	2,7
Lp	107,0	106,6	107,0	107,5	0,6	107,0	106,5	107,3	107,7	0,9	107,0	106,8	107,0	107,3	0,6	0,0
Lp(A)	103,0	102,7	103,2	104,1	1,5	98,5	97,7	98,3	98,7	1,6	102,0	101,7	102,0	102,6	0,7	4,5

Bemerkungen: In Überholspuren gemessen

Tabelle 17: Resultate SMA 11 (120 km/h)

		Belag		MR 11		Anzahl Frequenzanalysen		2								
		Geschwindigkeit		50 km/h		Anzahl Strecken		1								
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,0					93,1					93,1					-0,1
63	87,1					85,6					86,4					1,5
125	84,9					83,9					84,4					1,1
160	87,9					85,1					86,7					2,7
200	87,9					88,3					88,1					-0,4
250	90,2					90,0					90,1					0,2
315	88,4					89,3					88,9					-1,0
400	86,0					90,2					88,6					-4,3
500	88,3					91,9					90,5					-3,6
630	90,1					92,5					91,5					-2,4
800	91,7					94,8					93,5					-3,2
1k	93,0					95,0					94,1					-2,0
1.25k	93,9					90,3					92,5					3,7
1.6k	94,1					86,4					91,8					7,7
2k	90,5					84,2					88,4					6,3
2.5k	87,4					81,5					85,4					5,8
3.15k	84,5					78,3					82,4					6,2
4k	81,6					75,3					79,5					6,3
5k	77,1					74,0					75,8					3,1
6.3k	73,5					70,9					72,4					2,6
8k	71,4					68,1					70,1					3,3
10k	69,0					65,9					67,7					3,1
L-netw	104,4					104,4					104,4					0,0
A-netw	101,4					100,4					101,0					1,0

Bemerkungen: keine

		Belag		MR 11		Anzahl Frequenzanalysen		2								
		Geschwindigkeit		80 km/h		Anzahl Strecken		1								
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	90,4					90,6					90,5					-0,1
63	90,9					88,4					89,8					2,4
125	72,2					73,0					72,6					-0,8
160	75,4					72,7					74,2					2,7
200	74,6					74,7					74,6					-0,1
250	76,7					75,7					76,2					1,1
315	79,5					80,2					79,8					-0,7
400	74,3					78,7					77,0					-4,4
500	76,7					80,6					79,1					-3,9
630	81,3					85,8					84,1					-4,6
800	83,5					89,0					87,1					-5,5
1k	87,0					89,3					88,3					-2,3
1.25k	89,7					86,1					88,2					3,6
1.6k	92,5					83,2					89,9					9,2
2k	88,6					81,2					86,4					7,4
2.5k	83,6					80,8					82,4					2,8
3.15k	80,6					76,9					79,1					3,7
4k	77,7					72,1					75,7					5,6
5k	72,8					71,4					72,2					1,4
6.3k	69,3					67,3					68,4					2,1
8k	66,6					64,7					65,7					1,9
10k	64,5					61,6					63,3					2,9
L-netw	100,8					99,8					100,3					1,0
A-netw	97,6					95,0					96,5					2,6

Bemerkungen: Die beiden Terzbandanalysen stammen von einer Überholspur und einer Normalspur.

Tabelle 18: Resultate MR 11 (50 und 80 km/h)

		Belag MR 11 Geschwindigkeit 100 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 2 Anzahl Strecken 1									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,9					95,4					94,7					-1,6
63	86,5					87,1					86,8					-0,6
125	78,0					79,3					78,7					-1,3
160	78,0					76,9					77,4					1,1
200	78,3					76,7					77,5					1,6
250	80,1					81,3					80,7					-1,3
315	82,8					85,7					84,5					-2,9
400	78,9					80,8					79,9					-2,0
500	77,9					82,8					81,0					-4,9
630	81,5					87,0					85,0					-5,5
800	83,9					88,3					86,6					-4,4
1k	87,3					89,9					88,7					-2,6
1,25k	91,3					88,9					90,2					2,4
1,6k	91,9					85,4					89,8					6,6
2k	89,1					84,1					87,2					5,0
2,5k	85,2					82,1					83,9					3,1
3,15k	81,5					78,3					80,2					3,3
4k	78,4					75,0					77,0					3,4
5k	74,2					73,9					74,1					0,3
6,3k	71,4					69,6					70,5					1,8
8k	68,7					66,5					67,7					2,2
10k	66,4					63,0					65,0					3,3
L-netw	102,6					102,9					102,7					-0,3
A-netw	98,1					96,3					97,3					1,8

Bemerkungen: keine

		Belag MR 11 Geschwindigkeit 120 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 2 Anzahl Strecken 1									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	99,7					99,8					99,8					-0,1
63	89,5					90,8					90,2					-1,3
125	80,3					83,8					82,4					-3,6
160	81,1					81,2					81,1					-0,1
200	81,9					80,8					81,3					1,1
250	82,4					81,3					81,9					1,1
315	84,3					86,7					85,6					-2,4
400	80,6					83,0					81,9					-2,4
500	79,6					83,4					81,9					-3,9
630	82,2					88,2					86,2					-6,0
800	85,8					90,1					88,4					-4,3
1k	90,0					91,5					90,8					-1,5
1,25k	94,2					90,2					92,6					4,0
1,6k	96,1					87,3					93,6					8,7
2k	92,9					86,5					90,8					6,5
2,5k	88,8					84,9					87,2					3,9
3,15k	85,1					81,1					83,5					4,0
4k	81,8					77,8					80,2					4,0
5k	77,6					76,9					77,3					0,7
6,3k	74,5					72,7					73,7					1,8
8k	71,7					69,7					70,8					2,0
10k	69,5					66,3					68,2					3,3
L-netw	105,9					105,9					105,9					-0,1
A-netw	101,5					98,0					100,1					3,6

Bemerkungen:

Tabelle 19: Resultate MR 11 (100 und 120 km/h)

		Belag		Beton		Anzahl Frequenzanalysen		11								
		Geschwindigkeit		50 km/h		Anzahl Strecken		4								
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,1					89,2					89,2					0,0
63	87,6					85,8					86,8					1,9
125	76,2					76,7					76,5					-0,5
160	79,6					74,2					77,7					5,5
200	80,6					78,8					79,8					1,8
250	81,5					81,5					81,6					0,0
315	82,6					85,4					84,2					-2,8
400	76,2					79,3					78,0					-3,1
500	80,1					79,5					79,9					0,6
630	81,0					82,5					81,8					-1,5
800	81,1					85,8					84,0					-4,6
1k	81,8					86,1					84,5					-4,3
1.25k	83,2					81,7					82,5					1,5
1.6k	85,0					77,9					82,8					7,1
2k	81,7					76,9					79,9					4,7
2.5k	80,3					76,2					78,7					4,1
3.15k	76,3					71,2					74,6					5,1
4k	72,9					66,9					70,8					6,0
5k	68,9					65,1					67,4					3,8
6.3k	64,9					60,5					63,2					4,4
8k	62,8					58,9					61,2					3,9
10k	62,8					57,0					60,8					5,8
Lp	100,1					100,0					100,0					0,2
Lp (A)	92,0					91,6					91,9					0,4

Bemerkungen: Während drei Strecken ähnliche Pegel aufweisen, hat die vierte Strecke einen deutlich höheren Pegel.

		Belag		Beton		Anzahl Frequenzanalysen		4								
		Geschwindigkeit		60 km/h		Anzahl Strecken		1								
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	95,3					95,4					95,3					-0,1
63	91,4					90,3					90,9					1,1
125	84,7					82,6					83,8					2,1
160	85,4					79,8					83,5					5,7
200	86,6					80,3					84,6					6,3
250	83,9					82,9					83,4					1,0
315	86,3					88,9					87,8					-2,5
400	77,9					81,2					79,9					-3,3
500	79,8					80,0					79,9					-0,2
630	81,0					83,5					82,5					-2,5
800	81,9					86,1					84,5					-4,2
1k	83,5					86,0					85,0					-2,6
1.25k	84,7					82,3					83,7					2,3
1.6k	87,8					79,3					85,3					8,5
2k	84,1					78,4					82,1					5,7
2.5k	81,8					78,6					80,4					3,2
3.15k	77,6					72,0					75,7					5,6
4k	74,8					69,1					72,8					5,6
5k	70,7					67,5					69,4					3,2
6.3k	66,5					64,1					65,5					2,3
8k	64,4					63,2					63,9					1,2
10k	64,7					62,2					63,6					2,6
Lp	103,8					103,9					103,8					0,0
Lp (A)	94,0					92,6					93,3					1,4

Bemerkungen: Während drei Strecken ähnliche Pegel aufweisen, hat die vierte Strecke einen deutlich höheren Pegel.

Tabelle 20: Resultate Beton (50 und 60km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag Geschwindigkeit					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Beton 80 km/h					6 1										
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,7	89,6	89,7	90,0	0,3	90,5	90,1	90,4	90,8	0,4	90,1	90,0	90,1	90,2	0,3	-0,8
63	86,5	84,4	85,4	86,9	3,0	85,2	83,6	84,9	85,6	2,1	85,9	84,0	85,1	86,3	2,6	1,2
125	77,5	76,9	77,1	77,6	1,0	75,9	75,5	75,7	76,2	1,0	76,8	76,2	76,4	76,6	0,9	-0,5
160	80,9	80,2	80,9	81,4	1,0	76,5	76,0	76,2	76,4	1,0	79,3	78,5	79,2	79,5	0,9	2,2
200	82,0	81,4	82,2	82,6	1,1	77,6	77,0	77,4	77,8	1,0	80,4	79,8	80,2	80,8	0,9	1,5
250	85,9	84,8	85,9	86,3	1,3	80,9	80,0	80,8	81,2	1,1	84,0	83,0	84,1	84,3	1,2	2,8
315	84,6	83,9	84,4	84,8	1,0	84,9	84,9	85,1	85,3	1,1	84,8	84,5	84,8	84,9	0,9	-1,0
400	80,3	80,2	80,3	80,6	0,8	81,0	80,4	80,7	81,7	0,9	80,6	80,3	80,5	81,2	0,8	-3,8
500	79,1	78,6	78,7	79,8	0,8	83,7	83,1	83,3	84,4	0,9	81,9	81,4	81,5	82,7	0,9	-4,1
630	83,6	82,9	83,3	84,5	0,9	87,2	86,7	86,9	87,9	0,8	85,8	85,3	85,4	86,5	0,8	-4,3
800	88,3	87,4	88,2	89,1	0,9	90,3	89,6	90,4	91,1	0,9	89,4	88,6	89,3	90,2	0,9	-4,7
1k	88,2	88,1	88,3	88,6	0,8	88,0	87,7	88,2	88,4	0,7	88,1	88,0	88,3	88,5	0,7	-2,2
1.25k	91,8	91,6	91,8	92,2	0,4	85,6	85,3	85,5	85,8	0,5	89,7	89,6	89,8	90,0	0,4	3,8
1.6k	96,3	95,8	96,4	96,7	0,5	84,6	84,6	84,7	84,8	0,3	93,5	93,1	93,6	93,9	0,4	8,8
2k	92,1	91,8	92,5	92,6	0,6	84,3	84,2	84,3	84,4	0,2	89,8	89,5	90,0	90,2	0,5	6,0
2.5k	88,1	88,0	88,4	88,4	0,4	84,5	84,1	84,7	85,0	0,5	86,7	86,5	86,9	87,0	0,5	3,2
3.15k	84,5	84,1	84,7	85,0	0,7	76,3	75,9	76,4	76,7	0,8	82,1	81,7	82,3	82,6	0,7	5,3
4k	82,2	81,7	82,5	82,9	0,9	73,8	73,6	73,7	73,9	0,5	79,7	79,3	80,0	80,4	0,9	5,9
5k	79,0	78,7	79,4	79,7	0,9	73,1	72,8	73,2	73,4	0,7	77,0	76,7	77,3	77,6	0,8	2,6
6.3k	74,8	74,3	75,0	75,4	0,8	70,6	70,3	70,4	70,9	0,4	73,1	72,8	73,4	73,7	0,7	2,9
8k	71,6	71,3	72,1	72,5	1,2	69,0	68,8	68,9	69,3	0,5	70,5	70,3	70,9	71,0	0,9	3,2
10k	70,4	70,2	70,9	71,5	1,6	66,9	66,6	66,8	67,0	0,7	69,0	68,8	69,4	69,7	1,2	4,2
Lp	102,7	102,3	102,6	102,8	0,7	100,7	100,4	100,5	100,6	0,7	101,8	101,5	101,7	101,8	0,7	1,0
Lp (A)	101,0	100,5	101,1	101,5	0,5	95,8	95,6	95,8	96,1	0,4	99,1	98,7	99,2	99,6	0,5	3,1

Bemerkungen: Die Strecke ist 30 km lang. Die Terzbandanalysen wurden von drei Teilstrecken mit unterschiedlichem Alter auf der Überhol- und Normalspur bei 15 °C erstellt.

Terzband- frequenz [Hz]	Belag Geschwindigkeit					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Beton 100 km/h					11 1										
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,8	93,8	93,9	94,6	1,7	94,1	93,6	94,1	95,1	1,3	94,0	93,7	94,3	94,9	1,5	-0,3
63	87,2	86,4	87,0	88,1	1,6	86,9	86,7	87,0	87,4	1,6	87,1	86,7	87,0	87,8	1,6	0,3
125	78,3	76,7	77,7	80,1	2,0	79,4	78,6	79,4	81,2	1,9	78,9	77,7	78,5	80,8	1,8	-1,2
160	82,3	80,7	81,8	83,2	1,9	78,7	77,0	79,3	80,1	1,6	80,9	79,6	80,2	81,8	1,7	3,6
200	82,4	81,2	81,7	83,4	1,6	81,3	79,9	81,2	82,7	2,0	81,9	80,5	81,2	83,0	1,7	1,2
250	82,9	81,8	82,6	84,1	1,6	83,0	82,2	82,5	83,8	1,3	83,1	82,1	83,3	83,8	1,2	-0,1
315	85,0	84,5	84,6	86,0	1,1	84,4	83,4	84,6	85,0	1,1	84,7	84,0	84,8	85,4	1,0	0,7
400	78,6	77,7	78,8	79,4	1,4	83,0	81,9	83,0	84,0	1,4	81,3	80,5	81,4	82,2	1,3	-4,4
500	80,1	79,2	80,7	81,4	1,5	85,3	84,6	85,2	86,4	1,3	83,5	82,7	83,7	84,4	1,3	-5,2
630	85,3	84,8	85,6	86,0	1,1	88,8	87,8	88,9	89,8	1,3	87,4	86,5	87,7	88,2	1,2	-3,4
800	90,0	89,2	89,8	91,3	1,8	92,3	91,4	91,8	93,4	1,4	91,3	90,5	90,9	92,4	1,5	-2,2
1k	90,9	90,3	91,0	91,8	1,1	90,6	89,2	90,9	91,7	1,5	90,8	89,7	91,2	91,6	1,2	0,3
1.25k	94,8	94,3	94,6	95,8	1,2	87,7	87,0	87,8	88,6	1,1	92,6	92,1	92,5	93,4	1,2	7,1
1.6k	99,0	97,9	99,1	99,8	1,2	87,0	86,7	87,2	87,6	1,1	96,2	95,2	96,4	97,0	1,2	12,0
2k	95,0	93,7	95,4	96,1	1,5	86,4	85,5	86,1	87,5	1,3	92,5	91,2	92,9	93,7	1,5	8,6
2.5k	90,5	89,6	90,7	91,3	1,3	86,5	85,0	86,7	88,0	1,5	88,9	87,8	89,2	90,0	1,3	3,9
3.15k	86,7	86,3	86,6	87,7	1,0	79,4	79,2	79,5	79,9	1,2	84,5	84,2	84,4	85,3	0,9	7,4
4k	84,7	83,9	84,7	85,7	1,1	76,1	75,7	76,5	76,8	1,1	82,2	81,7	82,3	83,1	1,0	8,5
5k	81,4	80,6	81,1	82,6	1,3	75,7	75,3	76,0	76,5	1,0	79,4	78,7	79,3	80,5	1,2	5,7
6.3k	76,6	75,6	76,4	77,9	1,4	73,4	73,1	73,4	74,2	1,1	75,3	74,6	75,3	76,3	1,2	3,2
8k	73,3	72,3	73,2	74,6	1,4	71,7	71,2	71,8	72,4	1,1	72,6	71,6	72,6	73,5	1,2	1,7
10k	72,1	71,0	72,1	73,5	1,6	69,5	68,8	69,5	70,4	1,2	71,0	69,8	71,1	72,2	1,3	2,6
Lp	105,2	105,2	105,4	105,8	1,0	103,2	102,9	103,4	103,8	1,0	104,3	104,3	104,5	104,9	1,0	2,0
Lp (A)	103,6	102,7	103,7	104,4	1,2	98,0	97,5	98,0	98,7	1,1	101,7	100,9	101,7	102,5	1,1	5,7

Bemerkungen: Die Strecke ist 30 km lang. Die Terzbandanalysen wurden von drei Teilstrecken mit unterschiedlichem Alter auf der Überhol- und Normalspur bei 15 °C erstellt.

Tabelle 21: Resultate Beton (80 und 100 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag Beton Geschwindigkeit 120 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 4 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	97,7					97,8					97,7					-0,1
63	90,3					91,0					90,7					-0,7
125	81,8					84,0					83,0					-2,2
160	86,0					82,3					84,5					3,6
200	88,9					85,1					87,4					3,8
250	87,9					87,7					87,8					0,2
315	89,0					89,6					89,3					-0,6
400	85,4					86,2					85,8					-0,8
500	84,1					88,1					86,5					-4,0
630	87,1					90,2					88,9					-3,1
800	92,2					93,2					92,7					-1,0
1k	94,4					94,0					94,2					0,3
1.25k	98,1					90,6					95,8					7,5
1.6k	101,4					89,2					98,7					12,2
2k	97,3					87,8					94,7					9,5
2.5k	92,5					87,6					90,7					4,9
3.15k	89,1					82,2					86,9					6,9
4k	87,4					78,5					84,9					9,0
5k	83,6					78,7					81,8					4,9
6.3k	79,1					76,6					78,0					2,5
8k	75,7					74,6					75,2					1,2
10k	74,5					72,1					73,5					2,4
Lp	108,2					106,6					107,5					1,6
Lp (A)	106,2					100,1					104,2					6,1

Bemerkungen Überholspur und Normalspur auf zwei verschiedenen Teilstücken

Tabelle 22: Resultate Beton (120 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag HRA 16 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	86,9				1,0	87,5				0,9	87,2				0,9	-0,6
63	87,3				8,1	85,9				6,4	86,7				7,4	1,4
125	78,3				2,1	76,9				2,6	77,7				2,1	1,4
160	82,6				1,6	76,5				1,7	80,6				1,6	6,1
200	83,4				1,3	81,3				1,7	82,5				1,4	2,1
250	85,5				1,6	84,9				1,6	85,2				1,6	0,6
315	84,8				1,4	87,2				1,4	86,1				1,4	-2,4
400	80,1				1,1	84,0				1,1	82,4				1,1	-3,9
500	83,1				1,2	84,4				1,0	83,8				1,1	-1,3
630	83,9				1,2	86,5				0,9	85,4				1,0	-2,6
800	83,2				1,2	88,3				1,4	86,4				1,3	-5,1
1k	84,8				1,6	87,9				2,4	86,6				2,2	-3,1
1.25k	85,2				0,6	83,3				1,5	84,3				0,9	1,9
1.6k	85,3				0,7	79,1				1,2	83,3				0,5	6,2
2k	81,4				0,2	77,3				1,1	79,8				0,4	4,1
2.5k	78,8				0,3	75,8				0,3	77,5				0,2	3,0
3.15k	74,7				0,4	70,3				1,1	73,0				0,5	4,4
4k	71,3				0,5	66,2				1,0	69,5				0,5	5,1
5k	66,6				0,9	64,9				1,0	65,9				0,8	1,7
6.3k	62,1				1,3	60,5				0,8	61,4				1,0	1,6
8k	58,5				1,7	58,1				0,7	58,4				1,1	0,4
10k	55,5				1,9	56,5				0,6	56,1				1,1	-1,0
L-netw	99,7				0,9	99,5				0,8	99,6				0,8	0,2
A-netw	93,3				0,6	93,8				1,5	93,6				1,0	-0,5

Bemerkungen: Alle 6 Frequenzanalysen stammen aus Messungen auf 3 Teilstrecken einer 1.7 km langen Strecke, jeweils in beiden Richtungen.

Terzband- frequenz [Hz]	Belag HRA 16 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen Anzahl Strecken					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,4				1,5	90,2				1,6	89,8				1,5	0,4
63	88,3				5,1	86,2				3,4	87,5				4,5	2,1
125	80,6				1,5	79,5				2,0	80,1				1,6	1,1
160	83,9				1,1	78,8				1,4	82,1				1,2	5,1
200	86,0				1,1	82,5				1,1	84,6				1,0	3,5
250	86,7				0,6	86,2				1,1	86,5				0,8	0,5
315	87,6				0,6	87,9				0,7	87,7				0,7	-0,3
400	82,4				0,8	86,8				0,8	85,1				0,8	-4,4
500	85,0				0,9	87,6				0,7	86,5				0,8	-2,6
630	86,2				0,8	89,3				0,6	88,0				0,7	-3,1
800	86,1				0,6	91,8				0,7	89,8				0,6	-5,7
1k	88,5				1,0	91,6				1,8	90,3				1,4	-3,1
1.25k	88,6				0,6	86,7				0,9	87,7				0,5	1,9
1.6k	88,7				1,3	82,5				0,7	86,6				1,0	6,2
2k	84,6				0,8	80,6				0,6	83,1				0,6	4,0
2.5k	81,8				0,6	78,9				0,6	80,6				0,6	2,9
3.15k	77,9				0,5	73,5				0,6	76,2				0,4	4,4
4k	74,4				0,7	69,2				0,7	72,5				0,6	5,2
5k	69,6				0,8	68,2				0,7	69,0				0,7	1,4
6.3k	65,1				1,0	63,9				0,6	64,5				0,8	1,2
8k	61,6				1,4	61,7				0,6	61,7				0,8	-0,1
10k	59,2				1,5	61,2				1,8	60,5				1,2	-2,0
L-netw	102,0				0,5	102,0				0,8	102,0				0,6	0,0
A-netw	96,4				0,6	97,1				0,9	96,7				0,6	-0,7

Bemerkungen: Alle 6 Frequenzanalysen stammen aus Messungen auf 3 Teilstrecken einer 1.7 km langen Strecke, jeweils in beiden Richtungen.

Tabelle 23: Resultate HRA 16 (50 und 60 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag HRA 16 Geschwindigkeit 80 km/h				Anzahl Frequenzanalysen 6 Anzahl Strecken 1				Gesamtpegel [dB]				Differenz H-S [dB]		
	Hinteres Mikrofon [dB]				Seitliches Mikrofon [dB]				Gesamtpegel [dB]						
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%		Median	75%
31,5	92,1			2,0	93,9			2,1	93,1			2,0			-1,8
63	88,0			3,3	88,0			2,0	88,1			2,6			0,0
125	80,3			1,3	81,8			1,4	81,1			1,3			-1,5
160	85,1			1,5	82,8			1,7	84,1			1,5			2,3
200	87,6			0,9	83,8			1,0	86,1			0,9			3,8
250	90,0			1,0	88,0			0,8	89,1			0,9			2,0
315	88,7			1,0	90,5			1,0	89,7			1,0			-1,8
400	84,6			1,0	89,0			1,2	87,3			1,2			-4,4
500	85,8			1,0	90,6			0,9	88,8			0,9			-4,8
630	88,7			0,8	92,6			0,7	91,1			0,8			-3,9
800	90,1			0,8	95,7			0,9	93,7			0,9			-5,6
1k	93,1			0,9	95,5			1,8	94,5			1,4			-2,4
1.25k	93,8			0,6	91,0			1,2	92,6			0,6			2,8
1.6k	94,3			1,1	87,2			0,7	92,1			0,9			7,1
2k	90,0			0,8	85,3			0,8	88,2			0,7			4,7
2.5k	86,7			0,5	83,6			0,6	85,4			0,5			3,1
3.15k	82,7			0,4	77,9			0,7	81,0			0,3			4,8
4k	79,5			0,6	73,8			0,5	77,5			0,4			5,7
5k	74,5			0,5	72,8			0,4	73,8			0,3			1,7
6.3k	69,7			0,5	68,5			0,4	69,1			0,5			1,2
8k	66,0			0,9	65,9			0,4	66,0			0,6			0,1
10k	63,2			1,1	63,2			0,4	63,2			0,7			0,0
L-netw	104,0			0,9	105,0			1,2	104,0			1,0			-1,0
A-netw	101,0			0,6	101,0			1,1	101,0			0,7			0,0

Bemerkungen: Alle 6 Frequenzanalysen stammen aus Messungen auf 3 Teilstrecken einer 1.7 km langen Strecke, jeweils in beiden Richtungen.

Tabelle 24: Resultate HRA 16 (80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag HRA 25 Geschwindigkeit 50 km/h				Anzahl Frequenzanalysen 4 Anzahl Strecken 1				Gesamtpegel [dB]				Differenz H-S [dB]		
	Hinteres Mikrofon [dB]				Seitliches Mikrofon [dB]				Gesamtpegel [dB]						
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%		Median	75%
31,5	86,3			1,3	86,5			1,3	86,4			1,3			-0,2
63	85,8			2,5	83,8			1,3	84,9			2,1			2,0
125	72,5			0,8	73,8			0,8	73,2			0,8			-1,3
160	76,0			0,9	71,6			0,6	74,3			0,9			4,4
200	78,4			1,1	76,7			1,2	77,6			1,1			1,7
250	79,5			0,9	79,2			1,0	79,4			0,9			0,3
315	81,7			0,9	84,7			0,8	83,5			0,8			-3,0
400	75,8			0,7	79,3			0,6	77,9			0,6			-3,5
500	80,0			0,5	80,1			0,3	80,1			0,3			-0,1
630	81,5			0,4	83,1			0,1	82,4			0,2			-1,6
800	80,5			0,2	85,8			0,5	83,9			0,4			-5,3
1k	82,1			0,3	86,7			0,2	85,0			0,1			-4,6
1.25k	83,4			0,8	82,3			0,3	82,9			0,6			1,1
1.6k	84,8			1,3	77,9			1,0	82,6			1,3			6,9
2k	81,2			0,6	76,1			1,4	79,4			0,8			5,1
2.5k	79,4			0,5	75,5			1,4	77,9			0,7			3,9
3.15k	75,4			0,3	71,5			0,3	73,9			0,3			3,9
4k	72,2			0,6	66,4			0,7	70,2			0,5			5,8
5k	67,9			0,4	65,3			0,6	66,8			0,4			2,6
6.3k	63,4			1,5	61,0			1,2	62,5			0,7			2,4
8k	61,2			3,1	59,1			1,5	60,7			1,4			2,1
10k	60,4			3,5	56,7			2,5	59,3			2,3			3,7
L-netw	98,5			0,5	98,2			0,2	98,4			0,3			0,3
A-netw	91,7			0,6	91,8			0,3	91,7			0,4			-0,1

Bemerkungen: Die Unterschiede in Folge der Belagtemperatur waren, im Vergleich zu anderen Belägen, gering.
Es wurde bei Belagtemperaturen zwischen 0°C und 50°C gemessen.

Tabelle 25: Resultate HRA 25 (50km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag HRA 25 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 3 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,1				1,0	88,3				0,8	88,7				0,9	0,8
63	90,4				5,3	88,2				4,3	89,4				4,9	2,2
125	76,8				1,5	78,3				1,2	77,6				1,3	-1,5
160	77,4				0,9	74,3				0,8	76,1				0,9	3,1
200	79,5				1,1	77,3				1,8	78,5				1,3	2,2
250	80,4				1,7	80,9				2,0	80,7				1,8	-0,5
315	83,4				1,1	86,8				1,1	85,4				1,0	-3,4
400	77,3				0,9	81,7				1,0	80,0				1,0	-4,4
500	81,0				0,8	82,1				0,9	81,6				0,8	-1,1
630	83,1				0,7	85,6				0,3	84,6				0,4	-2,5
800	82,7				0,4	88,5				0,4	86,5				0,4	-5,8
1k	84,8				0,2	89,6				0,8	87,9				0,6	-4,8
1.25k	86,5				0,7	86,0				0,1	86,3				0,4	0,5
1.6k	88,2				1,3	81,6				0,4	86,1				1,1	6,6
2k	84,4				0,6	80,0				1,1	82,8				0,6	4,4
2.5k	82,0				0,3	79,4				0,8	80,9				0,5	2,6
3.15k	77,9				0,3	74,5				0,8	76,6				0,4	3,4
4k	74,9				0,7	69,9				0,5	73,1				0,6	5,0
5k	70,2				0,7	68,7				0,7	69,5				0,7	1,5
6.3k	65,4				1,8	65,1				1,2	65,4				1,0	0,3
8k	63,1				3,4	63,5				1,1	63,6				1,6	-0,4
10k	62,5				4,1	61,6				1,1	62,3				2,5	0,9
L-netw	99,7				0,4	99,7				0,3	99,7				0,3	0,0
A-netw	94,6				0,6	94,8				0,4	94,7				0,3	-0,2

Bemerkungen Die Unterschiede in Folge der Belagtemperatur waren, im Vergleich zu anderen Belägen, gering.
Es wurde bei Belagtemperaturen zwischen 0°C und 50°C gemessen.

Terzband- frequenz [Hz]	Belag HRA 25 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 6 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	92,5	92,0	92,9	93,1	0,9	93,6	92,8	93,0	94,3	1,2	93,1	92,5	92,8	93,7	1,0	-1,1
63	88,3	85,6	86,0	89,3	4,1	87,4	85,3	86,1	87,6	3,2	87,9	85,5	86,1	88,5	3,7	0,9
125	77,8	76,9	77,7	79,0	1,5	80,1	78,8	80,1	81,7	1,7	79,1	78,0	79,0	80,5	1,7	-2,3
160	83,7	82,7	84,0	84,8	2,0	81,6	81,0	81,4	82,6	1,5	82,8	82,0	83,2	83,6	1,8	2,1
200	82,6	80,3	82,3	84,6	2,3	81,9	80,8	81,3	82,3	2,1	82,3	80,5	82,0	83,5	2,1	0,7
250	84,4	82,9	84,0	85,6	1,8	84,3	83,5	84,0	85,8	2,0	84,4	83,0	84,0	86,1	1,8	0,1
315	86,4	85,4	86,3	86,5	2,3	90,4	89,5	90,6	91,7	1,8	88,9	87,9	89,0	89,8	1,9	-4,0
400	80,5	79,4	80,4	81,8	1,4	85,3	84,8	85,3	86,2	1,1	83,6	82,9	83,5	84,6	1,2	-4,8
500	83,3	82,2	83,3	84,5	1,7	86,2	85,7	86,5	87,3	1,4	85,0	84,7	85,0	86,0	1,4	-2,9
630	86,6	85,9	86,7	87,4	1,4	89,4	88,9	89,2	89,9	0,7	88,3	87,8	88,2	89,1	0,8	-2,8
800	86,7	86,0	86,8	87,7	1,0	92,5	92,2	92,6	92,7	0,7	90,5	90,2	90,7	90,8	0,7	-5,8
1k	89,7	89,5	89,8	90,1	0,5	94,3	93,8	94,0	94,5	0,7	92,6	92,2	92,3	92,9	0,6	-4,6
1.25k	91,6	91,0	91,4	92,4	1,1	91,0	90,1	91,2	91,9	1,0	91,3	90,5	91,3	92,1	1,1	0,6
1.6k	92,5	91,4	92,6	93,7	1,5	86,4	85,6	86,4	87,2	1,5	90,5	89,5	90,6	91,6	1,5	6,1
2k	89,1	88,4	89,2	89,9	0,8	84,9	83,4	84,7	86,1	2,1	87,6	86,7	87,6	88,5	1,2	4,2
2.5k	85,8	85,0	86,2	86,5	0,9	83,4	82,4	83,5	84,4	1,6	84,8	83,8	85,1	85,5	1,1	2,4
3.15k	82,2	82,0	82,5	82,6	0,6	79,2	78,3	78,7	80,2	1,3	81,0	80,4	80,9	81,4	0,7	3,0
4k	79,2	79,0	79,6	79,7	0,8	74,8	74,1	75,2	75,5	1,1	77,6	77,1	78,0	78,2	0,8	4,4
5k	74,3	73,6	74,8	75,2	1,2	73,1	72,3	73,0	73,9	0,9	73,7	73,0	74,1	74,6	1,0	1,2
6.3k	69,7	69,3	69,7	70,2	1,0	69,0	67,5	68,3	70,6	2,1	69,5	68,8	69,2	70,8	1,4	0,7
8k	67,4	66,3	67,1	68,3	1,5	67,5	66,0	66,7	69,1	2,0	67,6	66,5	67,5	68,5	1,4	-0,1
10k	67,8	66,7	67,6	68,3	1,7	65,4	64,4	65,2	66,7	1,6	66,8	65,8	67,0	67,3	1,6	2,4
L-netw	103,0	102,4	102,9	103,3	0,7	104,0	103,5	103,9	104,4	0,7	103,0	102,5	102,9	103,4	0,7	-1,0
A-netw	99,0	98,4	98,8	99,7	0,9	98,2	98,6	99,0	99,5	2,6	98,8	98,4	98,9	99,6	1,3	0,8

Bemerkungen: Es wurde bei Belagtemperaturen zwischen 0°C und 50°C gemessen.

Tabelle 26: Resultate HRA 25 (60 und 80km/h)

		Belag		OB 3/6		Anzahl Frequenzanalysen		1								
		Geschwindigkeit		50 km/h		Anzahl Strecken		1								
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	87,9					86,8					87,4					1,1
63	84,4					85,7					85,1					-1,3
125	83,0					74,1					80,5					8,9
160	79,4					70,9					77,0					8,5
200	79,2					72,2					77,0					7,0
250	79,1					74,9					77,5					4,2
315	80,5					79,6					80,1					0,9
400	73,1					73,8					73,5					-0,7
500	75,9					74,4					75,2					1,5
630	78,0					78,4					78,2					-0,4
800	77,1					79,9					78,7					-2,8
1k	78,9					81,1					80,1					-2,2
1.25k	79,4					77,8					78,7					1,6
1.6k	81,7					73,7					79,3					8,0
2k	78,0					71,1					75,8					6,9
2.5k	73,4					70,4					72,2					3,0
3.15k	70,8					66,8					69,2					4,0
4k	68,1					61,7					66,0					6,4
5k	62,5					61,3					61,9					1,2
6.3k	57,8					58,2					58,0					-0,4
8k	55,4					56,0					55,7					-0,6
10k	54,0					53,2					53,6					0,8
L-netw	97,8					96,8					97,3					1,0
A-netw	88,3					86,6					87,5					1,7

Bemerkungen: keine

		Belag		OB 3/6		Anzahl Frequenzanalysen		2								
		Geschwindigkeit		60 km/h		Anzahl Strecken		1								
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,9					90,0					89,9					-0,1
63	85,1					84,7					84,9					0,4
125	79,3					76,9					78,3					2,4
160	80,6					76,0					78,8					4,6
200	81,8					74,7					79,6					7,1
250	80,2					79,5					79,8					0,7
315	80,0					82,4					81,4					-2,4
400	73,4					77,3					75,7					-3,9
500	75,9					78,1					77,1					-2,2
630	78,4					81,7					80,3					-3,4
800	78,2					83,2					81,4					-5,0
1k	80,8					84,8					83,2					-4,1
1.25k	82,3					81,2					81,7					1,1
1.6k	84,8					76,9					82,4					7,8
2k	81,1					74,1					78,8					7,0
2.5k	76,6					73,3					75,2					3,3
3.15k	74,0					70,6					72,6					3,4
4k	71,3					64,6					69,1					6,7
5k	65,5					64,4					65,0					1,2
6.3k	60,8					60,9					60,8					-0,1
8k	57,8					58,5					58,2					-0,7
10k	56,7					55,5					56,1					1,2
L-netw	99,0					98,8					98,9					0,2
A-netw	90,7					90,0					90,3					0,8

Bemerkungen: keine

Tabelle 27: Resultate OB 3/6 (50 und 60 km/h)

		Belag OB 3/6 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 7 Anzahl Strecken 3										
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]	
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s		
31,5	93,9					94,2					94,0					-0,4	
63	87,2					85,8					86,5					1,4	
125	78,5					78,5					78,5					0,0	
160	85,0					80,3					83,2					4,7	
200	83,2					81,6					82,4					1,6	
250	85,7					81,8					84,1					3,9	
315	86,8					86,9					86,8					-0,2	
400	78,5					82,1					80,6					-3,6	
500	79,2					81,7					80,6					-2,5	
630	81,5					85,3					83,8					-3,8	
800	81,7					86,6					84,8					-4,9	
1k	85,1					88,7					87,2					-3,7	
1.25k	87,0					85,3					86,2					1,7	
1.6k	89,6					81,0					87,1					8,6	
2k	86,1					78,2					83,7					7,9	
2.5k	81,2					77,0					79,6					4,2	
3.15k	78,4					74,4					76,8					4,1	
4k	76,0					69,2					73,8					6,8	
5k	70,3					68,6					69,5					1,7	
6.3k	65,0					65,2					65,1					-0,3	
8k	61,7					62,8					62,2					-1,1	
10k	60,4					59,8					60,1					0,6	
L-netw	102,2					102,3					102,2					0,0	
A-netw	95,4					93,8					94,6					1,6	

Bemerkungen: keine

Tabelle 28: Resultate OB 3/6 (80 km/h)

		Belag OB 6/11 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 8 Anzahl Strecken 3										
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]	
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s		
31,5	88,4	87,1	88,0	89,8	1,8	88,2	87,4	87,8	89,6	1,5	88,3	87,4	87,8	89,6	1,6	0,2	
63	89,3	85,6	91,0	92,3	3,7	87,2	85,7	87,5	89,0	2,1	88,5	85,6	89,8	90,7	3,0	2,1	
125	77,7	75,9	77,0	80,3	2,6	77,1	76,9	77,4	77,9	2,5	77,5	76,7	76,9	79,3	2,4	0,6	
160	79,5	78,4	79,9	81,1	3,1	73,4	72,7	74,0	74,7	2,9	77,4	76,4	77,8	78,9	3,1	6,1	
200	79,8	78,9	80,3	81,6	3,3	77,0	76,2	77,7	78,7	3,3	78,6	77,9	79,2	80,0	3,3	2,8	
250	80,6	79,6	81,1	82,0	3,0	79,7	79,0	80,4	81,2	3,1	80,2	79,3	80,8	81,6	3,1	0,9	
315	81,5	80,1	81,3	83,9	2,6	84,0	82,8	84,2	85,9	2,6	83,0	81,7	83,0	85,1	2,6	-2,5	
400	75,6	74,5	76,0	76,9	2,4	78,4	77,2	78,3	80,2	2,2	77,2	76,1	77,3	78,8	2,3	-2,8	
500	78,8	77,9	79,1	80,1	2,3	79,2	78,3	79,1	80,5	1,6	79,1	78,1	79,4	80,0	1,9	-0,4	
630	80,3	79,3	80,3	81,5	1,6	82,3	81,6	82,0	83,4	1,1	81,4	80,6	81,2	82,5	1,3	-2,0	
800	79,5	78,5	79,2	80,3	1,1	84,5	84,2	84,6	85,0	0,9	82,7	82,2	82,8	83,2	0,9	-5,0	
1k	80,8	80,5	80,9	81,4	0,8	86,0	85,4	85,8	86,3	1,3	84,2	83,7	83,9	84,6	1,2	-5,2	
1.25k	81,7	81,3	81,9	82,1	0,6	81,2	80,8	81,0	81,4	0,8	81,5	81,1	81,4	81,9	0,6	0,5	
1.6k	83,2	82,6	83,1	84,1	1,1	76,7	75,8	76,6	77,8	1,1	81,1	80,7	81,0	82,1	1,0	6,5	
2k	79,8	79,3	79,9	80,7	0,9	74,2	72,7	74,4	75,9	1,7	77,9	77,2	78,1	78,9	1,0	5,6	
2.5k	77,4	75,9	77,6	79,5	2,1	72,9	71,5	72,9	74,4	1,8	75,7	74,2	75,9	77,7	2,0	4,5	
3.15k	73,7	72,6	73,7	75,3	1,6	69,2	68,9	69,4	69,8	0,8	72,1	71,1	72,2	73,4	1,3	4,5	
4k	70,1	69,6	70,3	71,2	1,2	64,2	63,8	64,7	65,1	1,2	68,1	67,6	68,4	69,1	1,2	5,9	
5k	65,5	64,2	66,0	67,6	2,2	63,2	62,8	63,6	64,0	0,9	64,6	63,8	65,1	65,9	1,7	2,3	
6.3k	61,2	60,0	61,7	63,2	2,4	59,0	58,6	59,3	59,7	0,9	60,3	59,6	60,9	61,5	1,7	2,2	
8k	58,5	57,6	59,3	60,4	2,7	56,4	56,2	56,7	57,1	1,0	57,6	56,9	58,4	58,8	1,9	2,1	
10k	56,9	56,1	57,6	58,9	2,6	53,3	53,1	53,5	54,0	1,0	55,6	54,9	56,3	57,0	2,0	3,6	
L-netw	99,2	98,9	99,2	99,6	0,9	99,0	98,6	99,1	99,9	1,1	99,1	98,8	99,2	99,8	1,0	0,2	
A-netw	90,5	90,1	90,5	91,0	0,7	90,5	89,8	90,6	91,3	1,4	90,5	89,7	90,5	90,9	0,9	0,0	

Bemerkungen:

Tabelle 29: Resultate OB 6/11 (50 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag OB 6/11 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 6 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,8	88,7	89,8	90,8	1,1	90,4	89,2	90,8	91,6	1,3	90,1	89,2	90,3	91,0	1,1	-0,6
63	88,1	86,7	86,9	89,4	3,6	86,7	83,8	86,6	88,6	3,0	87,5	85,5	86,8	89,0	3,3	1,4
125	80,9	80,9	81,6	82,1	2,5	79,5	78,7	79,7	81,8	3,0	80,3	80,4	80,6	81,8	2,6	1,4
160	82,5	82,7	82,8	84,4	3,2	77,9	77,5	78,9	79,6	3,0	80,8	81,0	81,3	82,5	3,1	4,6
200	84,3	84,5	84,6	85,8	3,2	79,0	78,5	79,7	81,4	3,6	82,4	82,5	82,8	84,1	3,3	5,3
250	83,6	84,1	84,9	85,2	3,3	83,3	83,1	84,6	84,7	3,1	83,4	83,5	84,7	84,9	3,2	0,3
315	85,1	85,1	85,4	87,1	3,5	87,3	87,4	87,8	89,3	3,5	86,3	86,4	86,7	88,3	3,5	-2,2
400	78,7	78,9	78,9	80,3	2,9	81,6	81,4	82,7	83,1	2,6	80,4	80,4	81,4	81,7	2,7	-2,9
500	81,4	81,5	81,7	82,9	2,8	82,3	82,0	83,0	83,4	1,9	81,9	81,9	82,5	82,8	2,2	-0,9
630	83,0	83,0	83,7	83,7	1,9	85,4	84,9	85,7	86,5	1,4	84,4	84,0	84,8	85,4	1,5	-2,4
800	82,2	81,6	82,7	82,7	1,2	87,4	87,4	87,6	87,8	1,1	85,5	85,3	85,8	85,9	1,1	-5,2
1k	84,2	83,2	84,2	85,1	1,0	89,7	89,2	89,6	90,4	1,4	87,8	87,4	88,0	88,3	1,2	-5,5
1.25k	85,1	84,8	85,2	85,5	0,4	84,6	84,0	84,4	85,2	0,9	84,9	84,5	85,0	85,2	0,6	0,5
1.6k	85,8	85,6	85,7	86,0	0,4	79,7	78,8	79,6	80,8	1,1	83,8	83,6	83,8	84,0	0,3	6,1
2k	82,5	81,9	82,7	82,9	0,6	77,0	75,7	77,0	78,4	1,5	80,6	79,9	80,8	81,1	0,8	5,5
2.5k	80,1	78,2	80,4	82,0	1,9	75,3	73,9	75,7	76,5	1,5	78,4	76,6	78,7	80,2	1,8	4,8
3.15k	76,3	75,1	76,6	77,4	1,2	72,0	71,3	72,5	72,7	0,9	74,7	73,6	75,1	75,7	1,1	4,3
4k	72,6	71,6	73,3	73,5	1,1	66,8	65,8	67,4	67,8	1,3	70,6	69,6	71,3	71,5	1,1	5,8
5k	67,8	65,7	68,7	69,7	2,1	65,9	65,1	66,3	66,7	0,9	67,0	65,5	67,9	68,3	1,6	1,9
6.3k	63,3	61,0	64,2	65,4	2,4	61,8	61,2	61,7	62,5	0,8	62,7	61,3	63,5	63,9	1,5	1,5
8k	60,5	58,0	61,7	62,6	2,7	59,2	58,4	59,3	60,0	0,8	60,0	58,4	60,9	61,3	1,8	1,3
10k	59,0	56,5	60,3	61,2	2,6	56,2	55,3	56,2	57,2	1,0	57,9	56,0	58,9	59,4	1,9	2,8
L-netw	100,0	99,6	99,9	100,7	0,8	101,0	100,6	101,2	101,5	1,0	100,0	99,5	100,1	100,5	0,9	-1,0
A-netw	93,4	93,3	93,3	93,5	0,6	94,1	93,9	94,1	94,7	1,2	93,7	93,5	93,7	94,1	0,9	-0,7

Bemerkungen

Terzband- frequenz [Hz]	Belag OB 6/11 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 7 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	94,1	93,2	93,7	95,0	1,2	94,8	93,9	94,9	95,8	1,2	94,5	93,6	94,4	95,4	1,2	-0,7
63	88,0	86,7	88,1	88,6	1,6	87,2	86,1	87,0	87,9	1,6	87,6	86,4	87,6	88,3	1,6	0,8
125	79,7	78,8	79,9	80,7	2,1	80,8	80,0	80,3	81,2	1,9	80,3	79,6	79,8	80,8	1,9	-1,1
160	85,5	84,6	85,9	86,5	1,5	82,7	81,9	82,5	83,3	1,7	84,3	83,6	84,4	85,1	1,5	2,8
200	85,9	84,8	86,4	87,3	2,5	83,8	82,9	84,2	84,8	1,5	85,1	84,6	85,2	86,0	2,0	2,1
250	88,1	87,4	87,7	89,2	2,3	86,1	85,8	86,3	86,8	1,7	87,3	86,9	87,2	88,1	2,0	2,0
315	88,2	86,6	89,1	89,7	2,4	90,6	89,8	90,4	91,9	2,7	89,6	88,9	89,7	90,7	2,5	-2,4
400	82,4	81,9	82,8	83,5	2,4	85,3	84,4	85,4	86,9	2,0	84,1	83,3	84,5	85,5	2,1	-2,9
500	83,8	83,7	84,5	85,0	2,4	86,3	85,8	86,0	87,6	1,6	85,3	84,9	85,4	86,7	1,8	-2,5
630	85,7	85,2	85,4	87,1	1,7	89,1	88,7	88,9	90,1	1,4	87,7	87,3	87,4	88,8	1,5	-3,4
800	85,3	84,5	85,1	86,4	1,2	91,3	91,1	91,3	92,1	1,0	89,3	89,0	89,2	90,2	1,0	-6,0
1k	88,3	87,1	87,9	89,6	1,4	93,3	92,3	93,2	94,3	1,5	91,5	90,5	91,3	92,7	1,4	-5,0
1.25k	90,7	90,2	90,4	91,5	0,8	89,1	88,2	89,0	90,0	1,3	90,0	89,3	89,8	90,9	1,0	1,6
1.6k	91,8	91,6	91,7	92,1	0,5	84,6	83,8	84,7	85,3	1,1	89,5	89,2	89,8	89,8	0,5	7,2
2k	88,1	87,8	88,3	88,5	0,6	82,6	81,5	82,7	83,7	1,6	86,2	85,8	86,4	86,6	0,7	5,5
2.5k	85,1	83,7	86,1	86,4	1,6	80,9	79,6	81,6	82,0	1,7	83,5	82,0	84,5	84,9	1,6	4,2
3.15k	81,2	80,4	81,6	82,0	1,1	77,0	76,0	77,5	78,0	1,3	79,7	79,0	80,2	80,6	1,0	4,2
4k	77,9	77,4	78,1	78,6	1,0	72,3	71,4	72,5	73,4	1,4	75,9	75,3	76,4	76,7	1,0	5,6
5k	73,3	71,7	74,4	74,9	2,0	71,1	70,4	71,1	71,5	1,0	72,4	71,3	73,1	73,6	1,5	2,2
6.3k	68,6	66,9	70,0	70,1	2,2	67,3	66,4	66,8	67,5	1,5	68,1	66,9	68,5	69,3	1,6	1,3
8k	65,6	63,9	67,1	67,5	2,6	64,6	63,9	64,2	64,8	1,5	65,3	64,1	66,1	66,5	1,8	1,0
10k	64,4	62,8	65,9	66,3	2,9	61,8	61,2	61,7	62,0	1,3	63,4	62,2	64,4	64,6	2,1	2,6
L-netw	103,0	102,4	103,0	103,4	0,6	104,0	103,4	104,2	104,5	1,0	104,0	103,4	104,1	104,5	0,8	-1,0
A-netw	98,3	98,2	98,2	98,4	0,5	98,1	97,6	98,1	98,7	1,2	98,2	97,9	98,3	98,5	0,8	0,2

Bemerkungen:

Tabelle 30: Resultate OB 6/11 (60 und 80 km/h)

		Belag GA					Anzahl Frequenzanalysen					Anzahl Strecken				
		Geschwindigkeit 80 km/h														
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,0					93,1					93,1					-0,1
63	87,1					85,6					86,4					1,5
125	84,9					83,9					84,4					1,1
160	87,9					85,1					86,7					2,7
200	87,9					88,3					88,1					-0,4
250	90,2					90,0					90,1					0,2
315	88,4					89,3					88,9					-1,0
400	86,0					90,2					88,6					-4,3
500	88,3					91,9					90,5					-3,6
630	90,1					92,5					91,5					-2,4
800	91,7					94,8					93,5					-3,2
1k	93,0					95,0					94,1					-2,0
1.25k	93,9					90,3					92,5					3,7
1.6k	94,1					86,4					91,8					7,7
2k	90,5					84,2					88,4					6,3
2.5k	87,4					81,5					85,4					5,8
3.15k	84,5					78,3					82,4					6,2
4k	81,6					75,3					79,5					6,3
5k	77,1					74,0					75,8					3,1
6.3k	73,5					70,9					72,4					2,6
8k	71,4					68,1					70,1					3,3
10k	69,0					65,9					67,7					3,1
L-netw	104,4					104,4					104,4					0,0
A-netw	101,4					100,4					101,0					1,0

Bemerkungen:

Tabelle 31: Resultate GA (80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 11 Geschwindigkeit 30 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 4 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	85,7					85,4					85,5					0,4
63	78,0					75,5					76,9					2,5
125	72,5					68,6					70,9					3,9
160	73,0					69,0					71,4					4,0
200	73,6					71,4					72,6					2,1
250	76,4					75,9					76,2					0,5
315	71,1					73,0					72,2					-1,9
400	72,6					74,0					73,3					-1,5
500	73,3					76,5					75,2					-3,3
630	73,4					78,6					76,7					-5,1
800	74,7					76,0					75,4					-1,3
1k	73,6					74,8					74,3					-1,2
1.25k	70,5					70,7					70,6					-0,2
1.6k	65,1					66,0					65,6					-1,0
2k	66,2					62,9					64,8					3,3
2.5k	64,9					60,1					63,2					4,9
3.15k	62,3					56,9					60,4					5,4
4k	58,9					54,7					57,3					4,2
5k	55,0					52,3					53,9					2,7
6.3k	53,0					48,3					51,2					4,7
8k	50,8					45,4					48,9					5,4
10k	47,5					42,9					45,8					4,6
Lp	92,6					91,4					92,1					0,8
Lp (A)	80,7					78,4					79,7					-1,6

Bemerkungen: keine

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 11 Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 8 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	88,8	87,1	89,1	90,5	1,6	88,3	87,4	88,3	89,3	1,1	88,6	87,2	89,0	89,4	1,3	0,5
63	81,6	76,7	82,0	90,4	5,9	79,7	75,8	80,3	85,7	5,0	80,8	76,3	81,3	88,7	5,5	2,0
125	76,4	72,6	77,0	82,1	4,8	74,8	70,7	75,6	81,9	5,1	75,7	72,1	76,2	82,4	4,9	1,6
160	78,7	75,1	78,7	83,5	4,3	73,5	70,1	73,9	78,7	4,2	76,9	73,3	77,2	81,3	4,3	5,2
200	80,0	76,2	80,3	84,4	4,5	77,7	74,1	77,9	82,5	4,6	79,0	75,4	79,2	83,6	4,5	2,2
250	82,0	80,1	81,8	85,8	3,2	80,7	77,9	80,4	83,7	3,4	81,4	79,2	81,1	84,9	3,3	1,3
315	80,7	75,9	80,9	89,2	6,1	81,6	77,0	82,5	89,1	6,4	81,2	76,5	81,7	90,0	6,3	-1,0
400	77,7	75,1	76,4	83,0	3,5	80,1	78,2	80,2	82,5	2,3	79,1	76,9	78,7	83,6	2,8	-2,4
500	79,0	76,5	79,0	82,3	3,1	81,7	81,1	81,9	82,4	0,9	80,8	79,4	80,6	81,8	1,6	-2,7
630	80,2	77,6	80,1	84,4	3,1	84,0	83,3	84,2	84,9	0,8	82,7	81,3	82,7	84,1	1,5	-3,7
800	81,8	80,4	81,2	85,1	2,2	84,5	82,5	85,0	85,4	2,0	83,4	81,4	83,4	85,7	2,0	-2,6
1k	82,3	79,8	82,0	85,2	2,5	84,4	81,0	85,0	87,8	3,2	83,6	80,4	83,7	87,6	2,9	-2,1
1.25k	81,1	79,9	81,7	82,1	2,0	80,5	78,3	81,3	82,7	2,5	80,8	79,4	81,3	82,4	2,1	0,6
1.6k	77,1	74,6	77,8	79,7	3,0	75,8	73,9	76,4	77,1	2,1	76,6	73,9	77,0	78,4	2,5	1,3
2k	75,7	73,7	75,8	78,4	2,4	73,2	70,7	73,7	75,1	2,7	74,7	72,5	74,9	76,9	2,4	2,5
2.5k	73,6	71,7	74,0	75,2	2,0	70,5	67,3	71,6	73,4	3,2	72,4	70,1	73,2	74,2	2,3	3,1
3.15k	70,0	68,5	70,4	71,7	1,7	66,7	64,1	68,0	69,4	3,0	68,8	66,9	69,4	70,5	2,0	3,3
4k	66,4	64,8	66,5	68,7	1,8	63,6	61,8	64,4	65,7	2,3	65,3	63,7	65,5	67,5	1,9	2,8
5k	62,6	61,1	63,5	64,1	1,7	61,6	58,8	62,8	64,4	2,8	62,2	60,0	63,2	64,3	2,1	1,0
6.3k	60,0	58,7	60,4	61,6	1,6	57,8	54,9	59,0	60,7	2,7	59,1	57,0	60,3	61,2	1,9	2,2
8k	58,0	56,3	58,0	60,4	2,0	55,4	51,7	56,6	60,0	3,3	57,1	54,5	58,5	59,7	2,3	2,5
10k	55,0	52,8	55,5	57,0	2,7	52,6	48,5	52,9	57,1	4,0	54,1	51,2	54,7	57,0	3,1	2,4
L-netw	97,2	94,8	97,8	100,5	2,5	97,1	95,2	97,6	99,8	2,3	97,1	95,0	97,7	100,6	2,4	0,1
A-netw	89,4	87,4	89,2	92,8	2,4	90,5	88,3	90,9	92,5	2,3	90,0	88,2	90,1	92,7	2,3	-1,2

Bemerkungen: Bei der Versuchsstrecke Dielsdorf wurden 1987 bei Belagstemperaturen von 0, 28 und 50 °C gemessen.

4 weitere Messungen wurden auf einer anderen Strecke durchgeführt.

Tabelle 32: Resultate DRA 11 (30 und 50 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 11 Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 6 Anzahl Strecken 1					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	88,1	87,3	88,2	88,5	0,7	88,2	87,6	88,2	88,4	0,6	88,2	87,8	88,1	88,4	0,6	-0,1
63	83,6	76,7	81,9	92,8	7,9	82,8	77,1	81,3	90,7	6,6	83,3	77,2	81,4	91,9	7,3	0,7
125	81,3	77,7	80,5	83,1	3,9	79,3	75,8	77,3	81,3	4,6	80,5	76,9	80,0	81,2	4,1	2,0
160	80,6	78,1	80,1	82,9	2,7	76,8	74,1	76,3	79,5	2,6	79,1	76,5	78,6	81,5	2,7	3,8
200	83,7	82,0	82,8	86,0	2,3	79,1	76,8	78,0	80,1	3,1	82,1	80,0	81,0	84,0	2,5	4,6
250	84,1	81,8	83,7	85,3	2,6	84,8	82,9	84,2	85,4	2,9	84,5	82,4	83,9	85,4	2,8	-0,7
315	83,1	79,2	81,5	87,5	4,5	85,0	80,5	83,3	89,9	5,1	84,2	79,5	82,5	88,9	4,9	-1,9
400	79,1	77,4	78,5	80,1	2,4	82,7	81,5	82,1	83,2	1,6	81,3	80,0	80,6	81,9	1,8	-3,6
500	81,4	79,1	80,1	83,2	3,0	84,3	82,8	84,6	86,0	1,8	83,3	82,6	82,8	84,1	1,9	-2,9
630	82,8	81,2	81,8	84,0	2,5	86,3	85,3	86,0	87,4	1,3	85,0	83,7	84,6	85,4	1,6	-3,5
800	82,8	81,4	82,1	83,9	2,0	86,4	84,1	86,1	88,2	2,7	85,0	83,0	84,4	86,6	2,4	-3,6
1k	83,1	80,7	82,8	84,9	3,1	87,1	83,9	87,0	89,9	3,5	85,5	82,6	85,4	88,1	3,4	-4,0
1.25k	83,1	79,8	82,8	85,2	3,0	83,5	81,1	83,3	85,8	2,7	83,3	80,5	83,1	85,5	2,8	-0,4
1.6k	81,1	77,5	80,5	84,5	3,5	79,3	77,4	79,1	80,6	2,4	80,4	77,5	79,9	83,0	3,0	1,8
2k	79,8	77,5	78,9	82,4	2,6	77,5	75,5	77,2	78,9	2,6	78,9	76,6	78,1	81,0	2,5	2,4
2.5k	77,1	74,4	76,7	80,0	2,7	74,9	72,0	74,3	77,3	2,9	76,2	74,1	75,3	78,9	2,7	2,2
3.15k	73,5	70,9	73,4	76,2	2,5	71,1	68,7	70,6	73,6	2,7	72,4	70,3	72,1	75,1	2,5	2,4
4k	70,0	67,2	69,6	73,1	2,7	67,4	65,5	66,9	69,8	2,2	68,9	66,9	68,3	72,0	2,5	2,6
5k	65,5	63,1	64,5	68,7	2,5	65,7	63,4	65,3	68,8	2,5	65,6	63,5	64,8	68,9	2,5	-0,3
6.3k	62,4	60,3	61,8	64,9	2,3	61,5	58,9	61,4	64,5	2,7	62,0	59,9	61,4	65,0	2,4	0,9
8k	60,6	58,6	60,1	62,4	2,5	59,5	56,3	59,4	63,1	3,0	60,1	57,8	59,4	62,8	2,6	1,1
10k	58,9	56,1	58,5	61,2	3,5	56,7	52,0	57,1	60,7	4,4	58,0	54,4	57,6	60,9	3,8	2,2
L-netw	98,5	96,8	98,5	100,0	1,7	98,8	97,2	98,5	100,1	1,9	98,6	97,4	98,3	100,1	1,7	-0,2
A-netw	91,4	88,9	90,6	93,5	2,7	93,2	91,1	92,8	94,9	2,5	92,4	90,0	91,8	94,3	2,5	-1,8

Bemerkungen: Bei der Versuchsstrecke Dielsdorf wurden bei Belagtemperaturen von 0, 28 und 50 °C gemessen.
3 Messungen stammen aus dem Jahr 1987.

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 11 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 26 Anzahl Strecken 6					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	91,1	90,1	91,2	93,4	1,3	91,0	90,5	90,8	93,0	1,1	91,1	90,2	91,0	93,2	1,1	0,1
63	86,4	83,0	85,6	92,0	4,4	85,3	82,7	85,2	88,8	3,3	86,0	82,8	85,4	90,4	3,9	1,1
125	73,6	72,5	73,3	77,1	1,9	74,6	73,6	74,1	77,2	1,7	74,1	73,1	73,6	77,1	1,7	-1,0
160	78,1	76,7	77,7	82,6	2,2	75,6	74,3	74,8	82,2	2,4	77,1	75,7	76,5	82,2	2,3	2,5
200	78,1	76,7	77,7	83,5	2,5	78,2	77,2	77,8	82,2	1,9	78,2	77,2	77,7	82,9	2,2	-0,1
250	81,0	79,4	80,5	86,5	2,6	80,1	79,0	79,7	85,1	2,3	80,6	79,5	80,1	85,5	2,4	0,9
315	83,5	82,1	82,8	89,4	2,6	84,2	82,5	83,4	92,0	3,3	83,9	82,3	83,1	90,9	3,0	-0,7
400	78,8	77,7	78,4	81,9	1,9	82,1	80,8	82,0	86,3	1,8	80,8	79,8	80,6	84,7	1,8	-3,3
500	80,6	79,3	80,1	83,4	1,9	85,3	84,7	85,3	88,0	1,4	83,6	82,8	83,2	86,2	1,4	-4,7
630	86,2	84,9	85,8	88,9	1,7	89,3	88,6	89,2	91,7	1,5	88,1	87,1	88,1	90,7	1,3	-3,1
800	86,6	85,2	86,2	89,0	1,6	87,7	86,7	87,9	90,8	2,1	87,2	86,1	87,3	89,4	1,7	-1,1
1k	84,3	82,7	84,1	88,1	2,8	87,0	86,0	86,6	92,7	2,6	85,9	84,7	85,7	91,0	2,6	-2,7
1.25k	83,4	81,5	82,8	88,9	2,7	84,8	83,4	84,3	88,7	2,1	84,2	82,5	83,8	88,8	2,4	-1,4
1.6k	81,5	79,7	80,4	87,9	3,1	81,6	80,1	81,0	86,7	2,1	81,6	79,9	80,8	86,7	2,7	-0,1
2k	81,9	80,8	81,4	86,0	2,1	80,5	79,5	80,2	85,6	2,0	81,3	80,4	80,9	85,6	2,1	1,4
2.5k	79,0	77,8	78,4	83,8	2,3	77,7	76,6	77,4	82,6	2,0	78,4	77,0	78,0	82,6	2,1	1,3
3.15k	74,2	72,4	73,1	80,2	2,8	72,4	71,2	71,6	79,6	2,4	73,4	72,0	72,4	79,7	2,6	1,8
4k	71,0	69,2	69,9	77,4	3,0	69,1	67,7	68,4	75,8	2,4	70,2	68,6	69,1	76,6	2,7	1,9
5k	67,4	65,7	66,3	72,5	2,7	67,5	66,1	67,0	72,1	2,1	67,5	65,9	66,7	72,3	2,3	-0,1
6.3k	64,8	63,2	63,9	69,0	2,4	63,4	62,1	62,9	67,9	2,1	64,2	62,7	63,4	68,3	2,2	1,4
8k	62,0	60,5	61,1	67,0	2,6	61,0	59,7	60,6	66,1	2,2	61,6	60,2	60,8	66,4	2,4	1,0
10k	60,5	59,2	59,6	66,6	2,9	58,3	57,1	57,6	64,5	2,5	59,6	58,3	58,7	65,6	2,6	2,2
L-netw	99,6	98,7	99,5	102,0	1,2	100,0	99,2	99,7	101,9	1,2	99,9	99,0	99,7	102,0	1,2	-0,4
A-netw	93,1	92,2	92,7	96,5	1,8	94,5	93,7	94,2	97,7	1,6	93,9	93,2	93,5	97,2	1,7	-1,4

Bemerkungen: Bei der Versuchsstrecke Dielsdorf wurden bei Belagtemperaturen von 0, 28 und 50 °C gemessen.
21 Terzbandanalysen wurden bei hochsommerlichen Temperaturen auf Strecken in der Westschweiz durchgeführt.
Für den 75%-Wert wurde der mittlere Wert von Dielsdorf (Messungen 1998) verwendet.

Tabelle 33: Resultate DRA 11 (60 und 80 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 11 Geschwindigkeit 100 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 19 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,4	92,8	93,5	94,2	1,2	94,7	94,0	94,4	95,2	1,0	94,1	93,3	93,9	94,8	0,9	-1,3
63	86,4	84,9	86,1	87,4	1,5	87,6	86,6	87,5	88,1	1,2	87,0	86,1	86,7	88,1	1,3	-1,2
125	77,3	76,1	77,6	78,0	1,3	80,0	79,3	80,2	80,8	1,2	78,9	78,1	79,1	79,8	1,1	-2,7
160	79,1	78,5	79,0	80,0	1,1	77,3	76,6	77,4	78,0	1,1	78,3	77,5	78,4	79,2	1,0	1,8
200	79,8	78,8	79,8	80,5	1,2	79,3	78,5	79,4	79,9	1,1	79,5	78,7	79,4	80,3	1,1	0,5
250	82,1	81,5	82,2	82,8	1,2	84,0	83,6	83,9	84,8	1,2	83,1	82,7	83,1	83,9	1,2	-1,9
315	83,7	83,1	83,6	84,5	1,2	86,8	86,2	86,8	88,0	1,5	85,5	85,0	85,5	86,6	1,4	-3,1
400	80,7	79,9	80,8	81,5	1,3	83,2	82,6	83,2	84,2	1,4	82,2	81,6	82,2	83,2	1,3	-2,5
500	81,3	80,5	81,5	82,3	1,4	86,9	85,7	87,0	88,1	1,5	84,9	83,9	84,9	85,9	1,5	-5,6
630	88,1	87,0	88,1	89,3	1,6	91,0	90,1	90,6	92,4	1,6	89,9	88,6	89,9	91,2	1,5	-2,9
800	88,0	86,9	87,7	89,1	1,7	89,1	87,7	89,1	90,7	1,9	88,6	87,5	88,9	90,0	1,7	-1,1
1k	85,5	83,3	85,6	87,3	2,9	88,3	86,7	88,4	89,5	2,0	87,2	85,7	86,9	88,6	2,2	-2,8
1.25k	85,5	84,5	85,2	86,5	1,7	86,7	85,6	86,4	87,7	1,6	86,1	85,1	85,7	87,4	1,6	-1,2
1.6k	84,4	82,7	84,0	86,4	1,9	84,2	83,0	84,6	85,4	1,7	84,3	83,0	84,3	85,9	1,7	0,2
2k	85,1	84,1	84,9	86,0	1,0	83,5	82,9	83,3	84,1	1,1	84,4	83,6	84,4	85,1	1,0	1,6
2.5k	81,8	81,5	81,9	82,4	0,9	80,4	79,9	80,2	80,9	1,0	81,2	80,9	81,4	81,7	0,8	1,4
3.15k	76,7	76,2	76,6	77,2	0,9	74,6	74,3	74,7	75,0	0,7	75,8	75,5	75,8	76,1	0,7	2,1
4k	73,4	72,4	73,4	74,1	1,3	71,6	71,3	71,7	72,0	0,7	72,7	72,1	72,5	73,1	1,0	1,8
5k	70,0	69,0	69,9	70,5	1,4	70,2	69,7	70,2	70,8	0,8	70,2	69,6	70,2	70,5	1,0	-0,2
6.3k	67,3	66,3	67,0	67,9	1,5	66,2	65,7	66,4	66,9	0,9	66,8	66,0	66,7	67,3	1,2	1,1
8k	64,3	63,4	64,2	64,8	1,6	63,7	63,0	63,9	64,4	0,9	64,0	63,1	64,1	64,4	1,2	0,6
10k	62,7	61,8	62,6	63,3	1,8	60,8	60,0	60,8	61,3	0,9	61,9	61,2	61,7	62,4	1,4	1,9
L-netw	102,0	101,4	102,0	102,6	0,9	103,0	102,5	103,1	103,5	0,8	103,0	102,5	102,9	103,5	0,8	-1,0
A-netw	95,1	94,4	95,2	95,6	1,0	96,3	95,7	96,4	97,0	1,0	95,7	95,0	95,8	96,4	1,0	-1,2

Bemerkungen: Alle Messungen wurden bei hochsommerlichen Temperaturen in der Westschweiz durchgeführt.

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 11 Geschwindigkeit 120 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 16 Anzahl Strecken 3					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	99,8	98,9	100,0	100,4	1,0	100,0	99,5	100,0	100,5	0,8	100,0	99,5	100,1	100,4	0,7	-0,2
63	90,4	89,5	90,2	91,0	1,4	91,7	91,3	91,7	92,1	0,8	91,2	90,6	91,0	91,5	0,9	-1,3
125	81,5	80,6	81,6	82,0	1,6	84,0	83,7	83,9	84,0	0,9	83,0	82,5	82,7	83,2	1,1	-2,5
160	82,2	81,5	82,3	82,7	1,0	81,9	81,6	82,0	82,3	0,8	82,1	81,5	82,0	82,7	0,8	0,3
200	82,9	82,4	83,0	83,4	0,8	81,8	81,4	82,0	82,3	0,7	82,4	81,9	82,4	83,0	0,7	1,1
250	83,6	82,8	83,8	84,3	0,9	83,6	83,0	83,5	84,1	1,0	83,6	83,0	83,5	84,2	0,9	0,0
315	85,1	84,8	85,0	85,5	0,4	88,7	88,5	88,7	89,1	0,5	87,2	86,9	87,1	87,5	0,5	-3,6
400	83,0	82,6	82,8	83,5	0,7	85,1	84,6	85,1	85,4	0,8	84,2	83,9	84,1	84,4	0,6	-2,1
500	82,9	82,5	82,9	83,4	0,7	87,6	87,0	87,6	88,1	1,3	85,9	85,3	85,7	86,3	1,1	-4,7
630	88,3	88,0	88,3	88,9	0,9	91,2	90,2	91,2	91,6	1,5	90,0	89,5	89,7	90,5	1,2	-2,9
800	88,9	88,1	89,0	90,0	1,8	89,4	88,4	89,0	90,4	1,8	89,2	88,4	89,2	89,8	1,7	-0,5
1k	86,2	84,2	85,8	88,4	2,7	89,4	88,2	89,6	90,6	1,6	88,2	86,7	88,3	89,4	1,8	-3,2
1.25k	87,5	86,2	87,6	88,6	1,6	88,6	87,6	88,8	89,7	1,3	88,1	87,0	88,4	89,1	1,4	-1,1
1.6k	87,8	86,7	88,4	89,0	1,6	87,3	87,1	87,3	87,9	1,0	87,6	86,8	87,9	88,3	1,2	0,5
2k	88,0	87,4	88,1	88,6	0,8	86,6	86,0	86,7	86,9	0,8	87,4	87,0	87,5	87,6	0,6	1,4
2.5k	85,2	84,9	85,1	85,5	0,5	83,1	82,5	83,0	83,6	0,9	84,3	83,7	84,3	84,8	0,6	2,1
3.15k	80,5	79,7	80,7	81,0	0,9	77,5	76,9	77,5	78,1	0,8	79,3	78,9	79,3	79,8	0,8	3,0
4k	77,3	76,7	77,5	78,0	1,1	75,0	74,4	75,0	75,6	0,7	76,3	75,7	76,5	76,7	0,9	2,3
5k	73,9	72,8	74,0	74,7	1,2	73,6	73,0	73,5	74,4	0,8	73,8	72,8	74,1	74,3	1,0	0,3
6.3k	71,1	70,1	71,2	72,1	1,4	69,7	69,1	69,4	70,7	1,1	70,5	69,8	70,8	71,2	1,1	1,4
8k	68,1	67,2	68,3	69,2	1,5	67,1	66,5	66,9	68,1	1,1	67,7	66,9	68,0	68,5	1,2	1,0
10k	66,4	65,5	66,9	67,7	1,8	64,2	63,4	64,4	65,0	1,0	65,5	64,6	65,7	66,5	1,4	2,2
L-netw	106,0	105,6	105,8	106,4	0,7	107,0	106,7	107,0	107,3	0,6	106,0	105,6	106,0	106,3	0,5	-1,0
A-netw	97,0	96,3	97,1	97,4	0,7	97,7	97,1	97,7	98,1	0,7	97,4	96,7	97,5	97,8	0,7	-0,7

Bemerkungen: Alle Messungen wurden bei hochsommerlichen Temperaturen in der Westschweiz durchgeführt.

Tabelle 34: Resultate DRA 11 (100 und 120 km/h)

		Belag DRA 15/16					Anzahl Frequenzanalysen									
		Geschwindigkeit 50 km/h					Anzahl Strecken									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,9	88,2	89,8	90,4	1,1	89,6	87,3	89,7	90,7	1,4	89,7	87,8	89,8	90,6	1,2	0,3
63	86,6	78,6	85,7	90,4	5,2	84,9	75,8	86,1	88,1	5,4	85,9	77,4	85,9	89,4	5,2	1,8
125	79,4	72,4	78,3	82,0	4,6	78,7	70,8	79,0	81,7	4,8	79,1	71,7	78,7	81,9	4,7	0,7
160	83,2	76,9	82,3	86,5	4,1	77,3	70,6	77,5	79,8	4,1	81,2	74,8	80,5	84,6	4,1	5,9
200	83,1	76,2	82,7	86,4	4,3	81,1	75,5	81,0	83,5	3,4	82,2	75,9	81,9	85,2	4,0	2,1
250	84,4	80,7	83,6	86,1	2,5	83,4	78,8	83,2	84,9	3,0	84,0	79,9	83,4	85,5	2,7	1,0
315	84,2	76,6	85,3	86,3	4,5	86,7	77,8	88,1	89,3	5,2	85,6	77,2	86,9	88,1	5,0	-2,5
400	78,9	76,2	78,6	79,3	1,9	81,8	79,3	81,1	83,1	1,7	80,6	78,0	80,0	81,6	1,7	-2,8
500	81,4	77,2	81,7	82,4	2,6	82,1	80,7	81,9	82,3	1,0	82,1	81,2	81,4	82,2	0,9	-0,7
630	82,5	79,3	82,5	83,4	2,0	84,4	83,3	84,2	84,4	0,8	83,7	82,9	83,5	83,9	0,5	-1,9
800	82,2	80,9	81,8	82,8	0,9	85,7	83,2	86,2	86,3	1,5	84,3	82,6	84,4	84,8	1,1	-3,5
1k	82,3	80,9	82,1	82,4	1,0	86,3	82,4	86,3	87,5	2,4	84,8	81,7	84,7	85,7	2,0	-4,0
1.25k	81,9	78,9	81,5	83,4	1,9	81,7	79,0	82,1	82,3	1,7	81,8	79,0	81,9	82,8	1,8	0,2
1.6k	81,0	74,0	80,1	83,9	4,5	77,4	75,1	76,6	78,5	1,6	79,7	74,6	78,7	82,2	3,5	3,6
2k	78,2	72,2	79,2	80,1	3,5	75,3	72,7	74,0	77,0	2,0	77,1	72,5	77,3	78,9	2,8	3,0
2.5k	76,0	70,7	75,7	78,2	3,3	73,3	68,8	72,3	75,4	3,1	74,9	69,9	74,3	77,0	3,2	2,7
3.15k	72,3	66,6	72,1	74,8	3,5	69,0	65,0	68,9	70,9	2,5	71,0	65,9	70,8	73,4	3,1	3,3
4k	68,8	61,8	69,4	71,6	4,2	65,1	61,8	65,4	66,4	2,0	67,4	61,8	67,8	69,7	3,4	3,7
5k	64,7	57,3	65,0	67,8	4,5	63,4	59,5	64,3	64,5	2,3	64,2	58,5	64,8	66,7	3,4	1,3
6.3k	60,4	54,0	61,6	62,8	3,7	60,1	55,8	61,2	61,5	2,5	60,3	55,0	61,4	62,2	3,1	0,3
8k	57,1	50,7	57,8	59,7	3,8	58,2	52,2	59,9	60,2	3,4	57,7	51,5	59,0	60,0	3,6	-1,0
10k	56,0	47,1	57,1	59,1	5,3	55,9	48,2	57,4	57,6	4,6	56,0	47,7	57,3	58,4	4,9	0,1
L-netw	99,6	95,4	100,2	101,2	2,5	99,7	95,3	100,4	101,3	2,6	99,7	95,4	100,3	101,3	2,5	-0,1
A-netw	91,0	87,4	91,2	92,4	2,2	92,1	89,7	92,2	92,7	1,5	91,6	88,7	92,0	92,3	1,8	-1,2

Bemerkungen: Bei der Versuchsstrecke Dielsdorf wurden bei 0, 28 und 50 °C gemessen.

1 weitere Messung auf Strecke T2; Perzentil 25%: T2; Median 2 tiefster Wert; 75%-Perzentil: höchster Wert

Es wurde zwischen DRA 15 und DRA 16 nicht differenziert.

		Belag DRA 15/16					Anzahl Frequenzanalysen									
		Geschwindigkeit 60 km/h					Anzahl Strecken									
Terzband- frequenz [Hz]	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	89,0	87,3	89,1	90,5	1,3	89,0	87,2	89,1	90,6	1,8	89,0	87,3	89,1	90,6	1,5	0,1
63	83,6	76,7	82,1	93,5	7,5	82,8	76,0	82,1	90,8	6,8	83,3	76,5	82,1	92,5	7,2	0,8
125	80,2	74,0	80,6	86,5	5,8	79,6	72,8	80,6	85,8	5,8	79,9	73,4	80,6	86,2	5,8	0,6
160	82,1	77,3	81,5	88,8	5,2	77,9	72,7	77,5	83,7	4,8	80,5	75,6	80,1	87,1	5,0	4,3
200	84,3	79,8	84,2	89,1	4,4	80,5	76,7	79,3	85,2	4,3	82,8	78,5	82,4	88,2	4,3	3,8
250	84,1	80,9	83,7	87,6	3,5	84,6	82,0	84,2	88,0	3,0	84,4	81,5	83,9	87,8	3,2	-0,5
315	84,0	78,6	83,5	90,7	5,4	86,3	79,5	85,6	93,4	6,4	85,3	79,1	84,6	92,3	6,0	-2,2
400	80,5	78,2	79,7	82,9	2,1	83,2	81,1	82,9	85,9	2,0	82,1	79,7	81,6	84,7	2,0	-2,8
500	82,5	79,0	82,3	85,2	2,8	84,6	83,5	84,8	85,7	0,9	83,9	82,7	83,9	85,0	1,3	-2,2
630	84,2	81,8	84,2	86,3	2,2	86,6	86,0	86,7	87,2	0,6	85,7	85,1	85,4	86,9	1,0	-2,4
800	84,9	83,5	84,8	85,9	1,2	87,9	86,2	88,3	89,3	1,5	86,7	85,6	86,9	88,0	1,3	-3,1
1k	84,7	83,9	85,1	85,7	1,2	88,2	85,4	87,8	91,2	2,6	86,9	85,2	86,5	89,3	2,1	-3,5
1.25k	85,1	83,1	85,6	86,8	2,0	84,1	82,3	84,0	85,7	1,7	84,8	83,2	85,2	86,2	1,5	1,0
1.6k	84,7	78,2	86,1	88,3	4,2	80,1	79,1	79,7	81,5	1,1	83,3	78,9	84,2	86,1	3,0	4,6
2k	81,2	75,2	82,9	84,1	4,0	78,1	77,0	77,6	79,9	1,5	80,2	76,2	81,4	82,3	2,8	3,2
2.5k	78,7	73,5	80,2	81,3	3,2	76,1	72,5	76,7	78,3	2,5	77,6	73,0	79,0	79,8	2,9	2,5
3.15k	75,3	71,7	76,5	77,2	2,5	71,7	68,3	72,6	73,3	2,2	73,9	70,2	75,2	75,7	2,4	3,6
4k	72,0	67,6	73,4	74,3	3,1	67,8	65,1	68,6	68,9	1,6	70,5	66,5	71,7	72,4	2,6	4,3
5k	67,5	62,5	69,0	69,9	3,2	66,3	63,6	67,1	67,5	1,7	67,0	63,1	68,2	68,8	2,5	1,2
6.3k	63,0	58,6	64,1	65,1	2,7	62,7	60,3	63,7	64,4	1,8	62,9	59,5	63,9	64,5	2,2	0,3
8k	60,2	55,1	60,9	63,8	3,5	60,7	56,8	62,2	62,9	2,6	60,6	56,0	61,4	63,3	2,8	-0,4
10k	58,7	51,7	59,6	62,6	4,6	57,8	52,9	59,2	61,0	3,4	58,5	52,3	59,3	61,9	3,8	1,0
L-netw	100,0	97,6	100,2	102,2	2,1	99,9	97,4	99,7	102,9	2,4	99,9	97,6	100,0	102,6	2,2	0,1
A-netw	93,6	90,7	94,3	95,5	2,1	94,2	92,5	93,7	96,1	1,7	94,0	91,7	94,3	95,4	1,7	-0,5

Bemerkungen: Bei der Versuchsstrecke Dielsdorf wurden bei 0, 28 und 50 °C gemessen.

4 Messungen stammen von 1987. Median wurde zwischen den Werten von 1987 und 1998 genommen.

Perzentilwert ist der zweithöchste bzw. zweitniedrigste Wert.

Tabelle 35: Resultate DRA 16 (50 und 60km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 16 Geschwindigkeit 80 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 15 Anzahl Strecken 4					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,0	89,1	93,7	94,3	2,1	93,3	88,6	93,9	94,7	2,2	93,2	88,9	93,9	94,2	2,1	-0,3
63	87,1	80,2	88,3	91,4	5,8	86,7	80,7	87,2	90,1	4,5	87,0	80,8	88,3	90,8	5,1	0,4
125	79,3	75,6	77,1	82,6	3,6	79,7	75,0	78,6	82,8	3,4	79,6	75,6	77,6	82,7	3,4	-0,5
160	84,2	79,1	81,6	89,3	4,9	81,5	76,1	78,5	86,8	4,8	83,1	77,9	80,1	88,2	4,8	2,8
200	85,2	81,3	83,5	87,8	3,4	83,1	77,8	81,4	87,4	4,1	84,4	80,3	82,9	87,6	3,6	2,1
250	88,4	84,6	87,3	90,8	3,0	85,9	82,3	84,3	88,0	3,2	87,4	83,6	86,1	89,6	3,1	2,6
315	88,4	82,1	88,0	92,0	4,0	90,3	83,4	89,2	95,3	4,8	89,5	82,7	88,6	94,1	4,5	-1,9
400	83,3	80,4	82,8	84,8	2,3	87,0	83,6	87,3	88,7	2,2	85,6	82,3	85,5	87,3	2,2	-3,8
500	84,8	81,3	84,5	86,6	2,6	88,4	87,1	88,2	89,0	0,9	87,1	85,6	86,9	88,1	1,3	-3,7
630	87,4	84,7	87,8	89,0	2,0	91,0	89,3	90,9	91,5	1,2	89,6	87,6	89,4	90,4	1,3	-3,6
800	87,9	85,6	88,0	88,9	1,3	91,9	88,6	92,2	93,1	1,9	90,4	87,4	90,3	91,4	1,6	-4,0
1k	89,7	85,1	90,2	91,4	2,2	93,0	89,2	93,4	94,7	2,3	91,8	87,8	91,9	93,1	2,1	-3,2
1.25k	90,4	86,0	90,6	92,0	2,5	89,6	87,0	89,7	90,3	1,4	90,1	86,5	90,0	91,5	1,9	0,8
1.6k	87,8	82,4	88,0	90,7	3,3	84,7	82,5	84,5	85,8	1,4	86,6	82,5	86,2	88,8	2,5	3,1
2k	85,7	81,2	86,3	87,8	2,4	82,6	79,6	82,7	83,8	1,8	84,5	80,5	84,5	86,1	2,1	3,1
2.5k	83,6	80,2	83,4	85,2	2,0	80,0	76,3	80,0	81,1	2,0	82,1	78,9	81,7	83,6	2,0	3,6
3.15k	79,8	76,3	79,8	81,7	2,0	75,6	72,6	75,4	76,9	1,7	78,2	75,1	77,8	80,0	1,8	4,2
4k	76,7	72,6	76,6	78,8	2,2	72,1	69,9	72,3	72,7	1,1	75,0	71,8	74,8	76,9	1,8	4,6
5k	72,3	68,0	72,7	73,8	2,2	71,0	68,7	71,3	71,8	1,3	71,7	68,3	72,0	72,9	1,7	1,3
6.3k	68,6	64,3	69,1	69,8	2,1	67,1	65,0	67,1	67,8	1,4	67,9	64,6	68,4	68,7	1,6	1,5
8k	65,7	61,5	66,3	67,1	2,3	64,7	62,2	64,5	65,5	1,6	65,4	62,0	65,7	66,4	1,6	1,0
10k	64,3	59,2	64,9	65,7	2,6	62,3	58,8	62,5	63,6	1,9	63,5	59,5	63,8	64,5	2,1	2,0
L-netw	102,7	99,6	102,5	104,3	1,9	103,4	100,3	102,9	105,3	2,0	103,1	100,0	102,7	104,8	1,9	-0,7
A-netw	97,6	93,7	98,0	99,0	2,0	98,5	95,7	98,5	99,7	1,7	98,1	94,8	98,4	98,9	1,7	-1,0

Bemerkungen: Bei der Versuchsstrecke Dielsdorf (DRA 15) wurden bei Belagtemperaturen von 0, 28 und 50 °C gemessen.

Weitere Messungen, ausser einer, wurden auf sehr alten DRA 16 durchgeführt.

25% Percentil-Wert aus den zwei tiefsten Werten, der Rest normal

Terzband- frequenz [Hz]	Belag DRA 16 Geschwindigkeit 100 km/h					Anzahl Frequenzanalysen 4 Anzahl Strecken 2					Gesamtpegel [dB]					Differenz H-S [dB]
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]										
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	93,6					94,5					94,1					-0,9
63	85,1					86,8					86,0					-1,7
125	78,4					80,1					79,4					-1,7
160	81,4					78,4					80,1					3,0
200	81,9					81,9					81,9					0,0
250	83,2					84,9					84,2					-1,7
315	85,1					86,2					85,7					-1,1
400	80,8					85,6					83,9					-4,8
500	82,0					88,6					86,5					-6,6
630	87,1					91,7					90,0					-4,5
800	88,6					91,8					90,6					-3,2
1k	89,7					93,2					91,9					-3,5
1.25k	89,7					90,2					90,0					-0,5
1.6k	86,4					86,1					86,3					0,3
2k	85,0					83,8					84,4					1,2
2.5k	83,8					80,5					82,5					3,3
3.15k	80,1					76,3					78,6					3,8
4k	76,3					73,6					75,2					2,7
5k	72,1					72,1					72,1					0,0
6.3k	68,8					68,2					68,5					0,6
8k	65,8					65,2					65,5					0,5
10k	62,9					61,7					62,4					1,3
L-netw	102,4					103,6					103,0					-1,2
A-netw	96,9					98,7					97,9					-1,8

Bemerkungen: Die 4 Messungen weisen nur geringe Unterschiede auf, da beide DRA 16 recht alt sind.

Tabelle 36: Resultate DRA 16 (80 und 100 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag					Mikro					Anzahl Frequenzanalysen					Differenz H-S [dB]
	Geschwindigkeit					50 km/h					Anzahl Strecken					
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	85,3					84,8					85,1					0,5
63	77,8					75,6					76,8					2,2
125	67,0					64,4					65,9					2,6
160	70,1					64,4					68,1					5,7
200	69,6					67,9					68,8					1,7
250	74,8					72,4					73,8					2,4
315	70,7					71,6					71,2					-0,9
400	70,4					72,4					71,5					-2,0
500	72,5					76,6					75,0					-4,1
630	76,1					79,5					78,1					-3,4
800	78,0					80,0					79,1					-2,0
1k	77,1					77,9					77,5					-0,8
1.25k	81,5					74,8					79,3					6,7
1.6k	82,5					74,4					80,1					8,1
2k	78,5					74,6					77,0					3,9
2.5k	75,7					72,2					74,3					3,5
3.15k	73,1					66,8					71,0					6,3
4k	69,7					64,6					67,9					5,1
5k	65,1					63,1					64,2					2,0
6.3k	61,3					60,0					60,7					1,3
8k	58,9					57,3					58,2					1,6
10k	56,5					52,9					55,1					3,6
L-netw	93,1					92,5					92,8					0,6
A-netw	88,7					85,8					87,5					2,9

Bemerkungen: keine

Terzband- frequenz [Hz]	Belag					Mikro					Anzahl Frequenzanalysen					Differenz H-S [dB]
	Geschwindigkeit					60 km/h					Anzahl Strecken					
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	86,9					85,3					86,2					1,6
63	74,7					73,1					74,0					1,5
125	69,4					66,1					68,0					3,3
160	70,8					65,5					68,9					5,3
200	73,0					68,5					71,3					4,5
250	73,4					73,8					73,6					-0,4
315	70,8					71,4					71,1					-0,6
400	71,0					72,9					72,1					-1,9
500	72,6					77,3					75,5					-4,6
630	77,2					79,7					78,7					-2,5
800	79,8					81,3					80,6					-1,5
1k	77,4					78,2					77,8					-0,8
1.25k	82,6					75,3					80,4					7,4
1.6k	85,2					75,4					82,6					9,7
2k	81,6					76,6					79,8					5,0
2.5k	77,6					74,4					76,3					3,2
3.15k	75,0					68,0					72,8					7,0
4k	71,9					66,4					70,0					5,6
5k	67,3					65,2					66,4					2,1
6.3k	63,2					62,8					63,0					0,4
8k	60,2					60,2					60,2					0,0
10k	58,3					56,3					57,4					1,9
L-netw	95,7					94,1					95,0					1,6
A-netw	90,7					86,9					89,2					3,8

Bemerkungen:

Tabelle 37: Resultate Mikrobelag (50 und 60 km/h)

Terzband- frequenz [Hz]	Belag					Mikro					Anzahl Frequenzanalysen					Differenz H-S [dB]
	Geschwindigkeit					80 km/h					Anzahl Strecken					
	Hinteres Mikrofon [dB]					Seitliches Mikrofon [dB]					Gesamtpegel [dB]					
	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	d	25%	Median	75%	s	
31,5	92,3					91,7					92,0					0,6
63	82,2					81,3					81,8					0,9
125	76,7					73,1					75,3					3,6
160	75,3					70,7					73,6					4,6
200	76,1					72,9					74,8					3,2
250	79,1					76,5					78,0					2,6
315	74,5					74,0					74,2					0,5
400	73,5					74,9					74,2					-1,4
500	73,2					78,7					76,8					-5,5
630	79,5					81,6					80,7					-2,1
800	82,1					83,3					82,8					-1,2
1k	81,1					81,2					81,1					-0,1
1.25k	87,2					78,9					84,8					8,3
1.6k	89,9					79,7					87,3					10,1
2k	86,8					81,3					84,8					5,5
2.5k	82,7					78,9					81,2					3,8
3.15k	80,0					72,7					77,8					7,3
4k	77,2					71,2					75,2					6,0
5k	73,1					70,5					72,0					2,6
6.3k	68,7					68,1					68,4					0,7
8k	65,5					65,7					65,6					-0,2
10k	63,0					61,3					62,2					1,7
L-netw	99,6					99,1					99,3					0,5
A-netw	95,2					90,1					93,4					5,1

Bemerkungen

Tabelle 38: Resultate Mikrobelag (80 km/h)