

Vergleichende Untersuchung durch Messungen und Berechnungen zum Schallschutz gegen Außenlärm durch Straßenverkehr zur Überprüfung der Regelung nach DIN 4109

Masterthesis im Studienfach Bauingenieurwesen
Technische Universität München (TUM)
Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt
Lehrstuhl für Bauphysik
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Peter Sedlbauer

Martin Gierens

Betreuer/-in: Julius Schmidt M. Sc., Lehrstuhl für Bauphysik, TUM
Dr. Andreas Meier, Müller-BBM

München, den 15. Mai 2019

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Regelungen zum Schutz gegen Straßenverkehrslärm in DIN 4109. Seit 1944 sind fünf Ausgaben der DIN 4109 erschienen. Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm wurden dabei erstmals 1989 gestellt. Diese sind in den nachfolgenden Versionen weiter präzisiert worden. Die letzten Änderungen stellen einen ausreichenden Nachtschutz sicher. Des Weiteren wurden die 5 dB-Stufen durch eine Dezibel-genaue Berechnung ersetzt.

Die normgerechte Einzahlberechnung der Schalldämmung auf Grundlage bewerteter Schalldämm-Maße und A-bewerteten Pegeln ergibt leider Probleme, da sowohl Außenlärm als auch Schalldämmungen frequenzabhängige Größen sind. Diese Unschärfe soll in der Norm durch einen versteckten Korrekturwert ausgeglichen werden. Dabei war es zunächst fraglich ob dieser Wert noch anwendbar ist, oder ob auch hier Anpassungen erforderlich sind.

Betrachtet man die Entwicklung der Fahrzeugtechnik, also der maßgeblichen Schallquelle im Straßenverkehr, bemerkt man, dass sowohl Anforderungen an Schallabstrahlung verschärft wurden als auch deutliche technische Veränderungen an den Fahrzeugen stattgefunden haben. Dazu hat sich auch die Anzahl der Fahrzeuge verändert. Alles zusammen liegt es nahe, dass die auf Messungen aus den 80er Jahren basierenden Berechnungen zur Spektrum-Anpassung nicht mehr korrekte Ergebnisse liefern.

Zur Überprüfung wurden Straßenverkehrsspektren an zehn Messpositionen weitgehend normgerecht gemessen und die Messergebnisse im Nachgang mit anderen Straßenverkehrsspektren verglichen. Dabei wurden Spektren aus der Zeit der Entstehung der Frequenzberücksichtigung in DIN 4109 zum Vergleich herangezogen sowie aktuelle Messungen aus dem Sommer 2018. Es wurde festgestellt, dass moderne Straßenverkehrsspektren deutlich weniger tieffrequent sind, als vor 30 Jahren.

Die anschließende Berechnung von Korrektursummanden mit den neuen Spektren lieferte daher auch deutlich niedrigere Ergebnisse, als die aus den Normen bekannten. Zusätzlich fand eine Analyse der Einflüsse von Verkehrsspektren, Schalldämmungen und der Wahl des Frequenzbereichs auf die Berechnung der Korrektursummanden statt.

Als Ergebnis kann zudem festgehalten werden, dass die pauschale Berücksichtigung der Frequenzzusammensetzung von Außenlärm und Schalldämmung aus DIN 4109 nicht mehr zeitgemäß ist und zu mehreren dB Überbemessung führt. Eine differenzierte Berechnung auf Basis aktueller Messungen würde allerdings die Einzahlberechnung weiterhin möglich machen und zu passenden Werten der Auslegung von Schalldämmungen der Außenbauteile von Gebäuden führen.

Abstract

This thesis examines regulation regarding sound insulation against road noise in DIN 4109. Since 1944 five Issues of this norm have been released. Requirements for noise protection against outside noise were first issued in 1989. In the following versions these requirements were rendered more precisely. These latest changes ensure a sufficient level of noise protection at night-time, as well as making specifications accurate to one decibel instead of having 5-dB steps.

The standard calculation of the sound insulation, using sound reduction indices and A-weighted sound pressure levels, results in problems, since both external noise and sound insulation are frequency-dependent quantities. This inaccuracy gets currently compensated in the norm by a hidden correction value. It was initially questionable whether this value is still applicable, or whether further adjustments are needed.

If one considers the development of vehicle technology, which provides the relevant source of sound in road traffic, one notices that the requirements for sound emission have increased and significant technical changes have taken place on the vehicles themselves. In addition, the overall number of vehicles has changed. All in all, it is likely that the spectrum adjustment calculations based on measurements from the 1980s no longer provide correct results.

To review this uncertainty, road traffic spectra were measured according to standards at ten measuring positions, and the measurement results compared with other road traffic spectra. Spectra from the time of the development of spectrum adaptation in DIN 4109 were used for comparison, as well as current measurements from the summer of 2018. It was found that modern road traffic spectra are significantly less low frequency than 30 years ago.

The subsequent computation of correction values with the new spectra also provided significantly lower results than those known from the standards. In addition, an analysis of the effects of traffic spectra, sound insulation and the choice of the frequency range on the calculation of the correction values took place.

As another result, it can be stated that the undifferentiated consideration of the frequency composition of external noise and sound insulation used in DIN 4109 is no longer up-to-date and leads to several dB oversizing. However, a differentiated calculation based on current measurements would keep the single-number calculation possible and lead to appropriate values for the design of sound insulation of external building elements.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis		I
Tabellenverzeichnis		III
1	Aufgabenstellung	1
2	Einleitung in den Schallschutz gegen Außenlärm	2
2.1	Schallschutz	2
2.1.1	Normative Grundlagen	3
2.2	Problematik der Frequenzabhängigkeit	4
2.2.1	Korrektursummanden und Spektrum-Anpassungswerte	5
2.2.2	Datenaktualität	9
2.3	Vorgängeruntersuchungen	10
3	Historische Entwicklung des Schallschutzes gegen Außenlärm in den Versionen der DIN 4109	11
3.1	DIN 4109:1944-04	11
3.1.1	Exkurs Schalldämmzahl D und Schalldämm-Maß R	12
3.2	DIN 4109:1962-09	13
3.3	DIN 4109:1989-11	15
3.3.1	Einfluss der Raumnutzung	16
3.3.2	Einfluss der Raumgeometrie	16
3.3.3	Bedeutung des „maßgeblichen Außenlärmpegels“	17
3.4	DIN 4109:2016-07	18
3.4.1	Beurteilungspegel – RLS-90	19
3.5	DIN 4109:2018-01	20
3.5.1	Vorgehensweise bei der schalltechnischen Planung von Außenbauteilen	21
3.6	DIN 4109 & Spektrumsanpassung	22
3.7	Visualisierung der Entwicklung der DIN 4109	24
4	Qualitative Beschreibung der Schallemissionen von Kraftfahrzeugen	25
4.1	Veränderungen in der Fahrzeugtechnik, bezogen auf schallemittierende Bauteile	27
4.2	Veränderungen im Straßenverkehrslärm insgesamt	28
4.3	Perspektive Elektromobilität	29

4.4	Auswirkungen auf den Schallschutz	29
5	Messtechnische Erfassung von Straßenverkehrsspektren	30
5.1	Zielsetzung	30
5.2	Messaufbau	30
5.2.1	Normative Grundlage	30
5.2.2	Verwendete Messgeräte	30
5.2.3	Messgröße	30
5.2.4	Verkehrszählung	31
5.3	Messpositionen – Dokumentation	33
5.3.1	Messposition A99	34
5.3.2	Messposition A96	36
5.3.3	Messposition Mittlerer Ring – Georg-Brauchle-Ring	38
5.3.4	Messposition B2	40
5.3.5	Messposition Würmtalstraße	42
5.3.6	Messposition Augsburger Straße	44
5.3.7	Messposition Landsberger Straße	46
5.3.8	Messposition Gabelsbergerstraße	48
5.3.9	Messposition Pasinger Straße	50
5.3.10	Messposition Sauerbruchstraße	52
6	Analyse und Vergleich der Messergebnisse	54
6.1	Allgemeine Beobachtungen	54
6.1.1	Typische Verkehrsspektren	54
6.1.2	Kreuzungseinfluss	55
6.2	Vergleich mit Vorgängerarbeit von Fischer 2018	56
6.2.1	Autobahn	56
6.2.2	Schnellstraße	58
6.2.3	Stadtstraße	61
6.3	Vergleich mit Untersuchungsbericht von Moll 1985	64
6.3.1	Autobahn	65
6.3.2	Schnellstraße/Stadtautobahn	67
6.3.3	Stadtstraße	69
6.4	Vergleich mit Spektrum-Anpassungswerten	71
7	Berechnung und Diskussion von Korrektursummanden	74
7.1	Grundlagen der Berechnung	74

Inhaltsverzeichnis

7.2	Ermittelte Korrektursummanden	76
7.3	Einfluss des Frequenzbereichs	78
7.4	Einfluss der Verkehrssituation	81
7.4.1	Exkurs: Boxplot	81
7.5	Einfluss der Schalldämmung	84
7.6	Erkenntnisse	88
7.7	Gegenüberstellung der K-Werte	89
7.7.1	Vorschlag für neue K-Werte	89
7.8	Regelmäßige Aktualisierung von K-Werten	89
8	Fazit und Forschungsbedarf	90
	Literaturverzeichnis	91
	Anhangsverzeichnis	93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lärmbelästigung in Deutschland in Prozent [„Lärmbelästigung“ Umweltbundesamt.de https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung 08.04.19]	2
Abbildung 2: Verläufe für Außenlärmpegel, Schalldämm-Maß und daraus resultierenden Innenpegel und Vergleich der Berechnungsverfahren	4
Abbildung 3: Korrektursummanden der VDI 2719 von 1987 (links) und 24. BImSchV (rechts) [2, S. 12] [3, S. 4]	5
Abbildung 4: Zuordnung der Spektrum-Anpassungswerte zu Geräuschquellen [4, S. 16]	7
Abbildung 5: Referenzspektren für die Berechnung von Spektrum-Anpassungswerten [4, S. 18]	7
Abbildung 6: Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte [4, S. 20]	8
Abbildung 7: Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen; DIN 4109:1989 [13, S. 13]	15
Abbildung 8: Anforderungen an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden; DIN 4109:2016 [17, S. 21]	18
Abbildung 9: Gegenüberstellung der Anforderungen DIN 4109:2016 und DIN 4109:2018	20
Abbildung 10: Vorgehensweise bei der schalltechnischen Planung von Außenbauteilen nach DIN 4109 [22]	21
Abbildung 11: Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes nach handschriftlichen Aufzeichnungen von Wolfgang Moll zum Entwurf der DIN 4109:1989	22
Abbildung 12: Wichtigste Neuerungen der Versionen der DIN 4109 bezogen auf den Schallschutz gegen Außenlärm	24
Abbildung 13: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Schallemission von Motor und Reifen [24, S. 28]	26
Abbildung 14: Verschärfung der Geräuschimmissionsgrenzwerte [23, S. 477]	27
Abbildung 15: Entwicklung der Anzahl der Kraftfahrzeuge und Personenkraftwagen seit 1980 [27]	28
Abbildung 16: Klassifizierung in Leicht- und Schwerverkehr nach FGSV EVE	31
Abbildung 17: Position der Messungen im Raum München [„BayernAtlas“ Bayerischer Vermessungsverwaltung 2019, https://v.bayern.de/SyMSQ 28.02.2019]	33
Abbildung 18: Gemessene Spektren – unbewertet - Messposition A99	35
Abbildung 19: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition A96	37
Abbildung 20: Gemessene Spektren – unbewertet – Mittlerer Ring	39
Abbildung 21: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition B2	41
Abbildung 22: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Würmtalstraße	43
Abbildung 23: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Augsburger Straße	45
Abbildung 24: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Landsberger Straße	47
Abbildung 25: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Gabelsbergerstraße	49
Abbildung 26: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Pasinger Straße	51
Abbildung 27: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Sauerbruchstraße	53

Abbildung 28: Gemessene, unbewertete Spektren an den zehn Standorten	54
Abbildung 29: Verkehrslärmspektren Autobahn - A-bewertet	56
Abbildung 30: Verkehrslärmspektren Autobahn – normiert auf 80 dB(A)	57
Abbildung 31: Verkehrslärmspektren Schnellstraße - A-bewertet	58
Abbildung 32: Verkehrslärmspektren Schnellstraße - normiert auf 80 dB(A)	59
Abbildung 33: Vergleich zweier ähnlicher Straßensituationen	60
Abbildung 34: Verkehrslärmspektren Innerstädtisch - A-bewertet	61
Abbildung 35: Verkehrslärmspektren Innerstädtisch - normiert auf 80 dB(A)	62
Abbildung 36: Vergleich von vier ähnlichen Verkehrssituationen innerstädtisch	63
Abbildung 37: Mittelwertspektren von Autobahnen – A-bewertet	65
Abbildung 38: Mittelwertspektren von Autobahnen - normiert auf 80 dB(A)	66
Abbildung 39: Mittelwertspektren von Schnellstraßen - A-bewertet	67
Abbildung 40: Mittelwertspektren von Schnellstraßen – normiert auf 80 dB(A)	68
Abbildung 41: Mittelwertspektren von Stadtstraßen – A-bewertet	69
Abbildung 42: Mittelwertspektren von Stadtstraßen - normiert auf 80 dB(A)	70
Abbildung 43: Zuordnung der Spektrum-Anpassungswerte zu Geräuschquellen [4, S. 16]	71
Abbildung 44: Mittelwertspektren von aktuellen Straßen - normiert auf 80 dB(A) - Vergleich mit den Schallpegelspektren der Spektrum-Anpassungswerte	72
Abbildung 45: Vergleich der Verkehrslärmspektren von Moll und der C-Bewertung	73
Abbildung 46: Tabelle zur Berechnung der Korrektursummanden	75
Abbildung 47: Schalldämmkurve und resultierender Innenpegel	78
Abbildung 48: Extrapolierter Verlauf der Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1	79
Abbildung 49: Systematik Boxplot [„Elements of a Boxplot“ by RobSeb is licensed under CC BY-SA 3.0]	81
Abbildung 50: Vergleich Boxplot und Normalverteilung [„Boxplot vs PDF“ by Jhguch and Chen-Pan Liao is licensed under CC BY-SA 2.5]	81
Abbildung 51: Korrektursummanden für verschiedene Straßen (Links: Mittelung über eigene Messungen, Mitte: Einzelne Messungen ohne Autobahn, Rechts: Messungen I. Fischer); Berechnung nur für Einfachfenster	82
Abbildung 52: Korrektursummanden für verschiedene Straßen (Links: Mittelung über eigene Messungen, Mitte: Einzelne Messungen ohne Autobahn, Rechts: Messungen I. Fischer); Berechnung für Einfachfenster und Fassaden	82
Abbildung 53: Korrektursummanden für verschiedene Fenster und Fassaden; Berechnung über alle Straßenspektren (2018 & 2019)	84
Abbildung 54: Vergleich der Fassaden mit der höchsten und niedrigsten Streuung der K- Summanden	85
Abbildung 55: Fiktive Schalldämmverläufe mit $R_w = 50$ dB	86
Abbildung 56: Erkenntnisse der K-Wert-Berechnung	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich Korrektursummand & Spektrum-Anpassungswert	9
Tabelle 2: Schalldämmung von Fenstern DIN 4109:1944-04 [11, S. 4]	12
Tabelle 3: Schalldämm-Maße von Fenstern DIN 4109:1962-09 und Vergleich mit Vorgängerfassung [13, S. 32]	14
Tabelle 4: Korrekturwerte für das erforderliche Schalldämm-Maß [15, S. 13]	16
Tabelle 5: Lärmpegelbereiche nach DIN 4109:1989 [15, S. 13]	17
Tabelle 6: Berücksichtigung der einzelnen Raumarten [21, S. 18]	20
Tabelle 7: Vergleichsrechnung der Anforderungen für die Berechnung nach verschiedenen Versionen der DIN 4109	23
Tabelle 8: Wichtigste Einflüsse auf das Fahrzeuggeräusch	25
Tabelle 9: Dominierende Schallquelle je nach Geschwindigkeitsbereich	26
Tabelle 10: Gegenüberstellung: Verkehrszählung und zu erwartender Verkehr	32
Tabelle 11: Übersicht der durchgeführten Messungen	33
Tabelle 12: Lage & Fotos - Messposition A99	34
Tabelle 13: Messprotokoll - Messposition A99	35
Tabelle 14: Lage & Fotos – Messposition A96	36
Tabelle 15: Messprotokoll - Messposition A96	37
Tabelle 16: Lage & Fotos – Mittlerer Ring	38
Tabelle 17: Messprotokoll - Messposition Mittlerer Ring	39
Tabelle 18: Lage & Fotos – Messposition B2	40
Tabelle 19: Messprotokoll - Messposition B2	41
Tabelle 20: Lage & Fotos – Messposition Würmtalstraße	42
Tabelle 21: Messprotokoll - Messposition Würmtalstraße	43
Tabelle 22: Lage & Fotos – Messposition Augsburgs Straße	44
Tabelle 23: Messprotokoll - Messposition Augsburgs Straße	45
Tabelle 24: Lage & Fotos – Messposition Landsberger Straße	46
Tabelle 25: Messprotokoll - Messposition Landsberger Straße	47
Tabelle 26: Lage & Fotos – Messposition Gabelsbergerstraße	48
Tabelle 27: Messprotokoll - Messposition Gabelsbergerstraße	49
Tabelle 28: Lage & Fotos – Messposition Pasinger Straße	50
Tabelle 29: Messprotokoll - Messposition Pasinger Straße	51
Tabelle 30: Lage & Fotos – Messposition Sauerbruchstraße	52
Tabelle 31: Messprotokoll - Messposition Sauerbruchstraße	53
Tabelle 32: Korrektursummanden für den bauakustischen und erweiterten bauakustischen Frequenzbereich für typische Fenster und exemplarische Fassaden bei verschiedenen Straßen	76

Tabelle 33: Korrektursummanden für typische Fenster und verschiedene Straßen aus der Arbeit von I. Fischer	77
Tabelle 34: Korrektursummanden für eine Schalldämmkurve nach DIN EN ISO 717-1	80
Tabelle 35: K-Werte für den bauakustischen Frequenzbereich für beide fiktiven Dämmungen und DIN EN ISO 717-1 Bezugskurve als Vergleich; Differenz zwischen beiden Schalldämmkurven	87
Tabelle 36: Diverse K-Werte für Einfachfenster in dB	89
Tabelle 37: Vorschlag für K-Werte für unterschiedliche Straßentypen	89

1 Aufgabenstellung

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der aktuellen Regelungen zum Schallschutz gegen Straßenverkehrslärm in DIN 4109. Zu diesem Zweck wurde zunächst die historische Entwicklung der Norm, bezogen auf den Schallschutz gegen Außenlärm, recherchiert und dargestellt.

Um ein Verständnis der zeitlichen Veränderungen der Straßenverkehrsgeräusche zu bekommen, ist ein Kapitel einer qualitativen Beschreibung der Schallemissionen von Kraftfahrzeugen gewidmet. Dort wird auch auf die Veränderungen im Bestand über die letzten Jahre eingegangen und ein Ausblick hinsichtlich Elektromobilität gegeben.

Durch die anschließende Erfassung von exemplarischen Verkehrslärmspektren an diversen Straßentypen, konnten Vergleiche zu Spektren aus der Zeit der Entstehung der aktuell geltenden Regularien gezogen werden. Somit war es möglich Unterschiede in der Frequenzzusammensetzung des Verkehrslärms zu erkennen.

Schließlich wurde mit den gewonnenen Daten der Einfluss des Frequenzverlaufs überprüft. Daraus konnten Vorschläge für neue Korrektursummanden erarbeitet werden. Zusätzlich wurden die qualitativen Einflüsse von Straßentyp, Schalldämmungsverläufen und der Wahl des Frequenzbereichs untersucht.

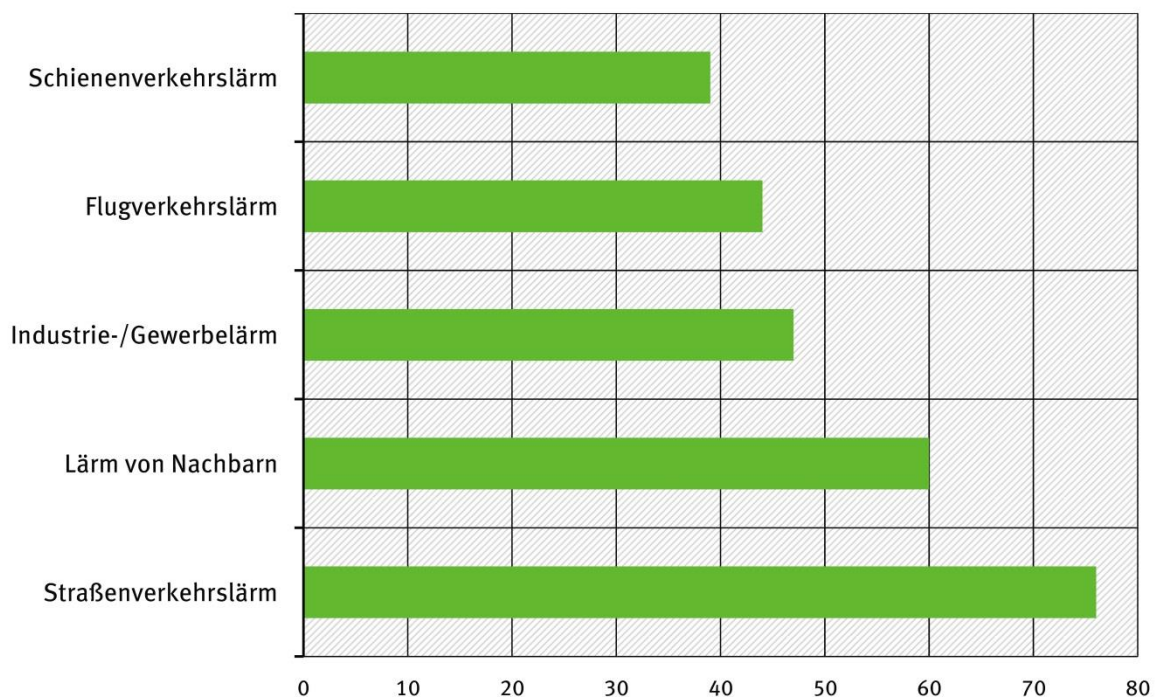
2 Einleitung in den Schallschutz gegen Außenlärm

2.1 Schallschutz

Physikalisch betrachtet ist Schall eigentlich nur eine Schwingung in einem elastischen Medium. Wird dieser Schall in seiner Lautstärke, Zusammensetzung, Tonalität oder anderer Eigenschaften als störend empfunden, so spricht man von Lärm. Lärm ist nicht nur störend, sondern eine echte Gefährdung für die Gesundheit. Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen reichen von Stress über Schwerhörigkeit bis hin zu Herz-Kreislauf-Krankheiten. [1]

Unter den Lärmquellen belegt in Deutschland der Straßenverkehr unangefochten den Spitzenplatz. Von vier Personen fühlten sich im Schnitt drei durch Straßenverkehrslärm belastigt, wie aus einer repräsentativen Umfrage des Umweltbundesamtes hervorgeht (siehe Abbildung 1)

Lärmbelästigung in Deutschland 2016 (in %)



Quelle: Umweltbundesamt 2017

Abbildung 1: Lärmbelästigung in Deutschland in Prozent [„Lärmbelästigung“ Umweltbundesamt.de <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung> 08.04.19]

Der Schutz vor Lärm teilt sich in zwei Bereiche auf, den aktiven Lärmschutz und den passiven. Als aktiven Lärmschutz bezeichnet man Maßnahmen an der Lärmquelle. Das können Lärmschutzwände, Einhausungen, Schalldämpfer, spezielle Straßenbeläge und vieles mehr sein. Diese Maßnahmen benötigen leider oft viel Platz und sind teuer. Gerade in dicht bebauten Städten sind Abschirmungen von Verkehrswegen oft kaum umsetzbar. Daher wird in der Praxis häufig der passive Schallschutz herangezogen.

Der passive Schallschutz behandelt die Schalldämmung der Außenbauteile von Gebäuden. Dabei stehen besonders die Fenster im Fokus, da dort die Schalldämmung aufgrund der niedrigen Masse am niedrigsten ist. Wichtig ist die passende Bemessung der Schallschutzeigenschaften, weil sowohl Über- als auch Unterdimensionierungen schädlich sind. Unterdimensionierung führt dazu, dass trotz möglicherweise teurer Maßnahmen die Innenpegel zu hoch sind und eine ungewünschte Belastung der Nutzer auftritt. Überdimensionierung verursacht vermeidbare Kosten und kann eine akustische Isolation der Bewohner bewirken, bei der diese sich von der Außenwelt abgeschnitten fühlen.

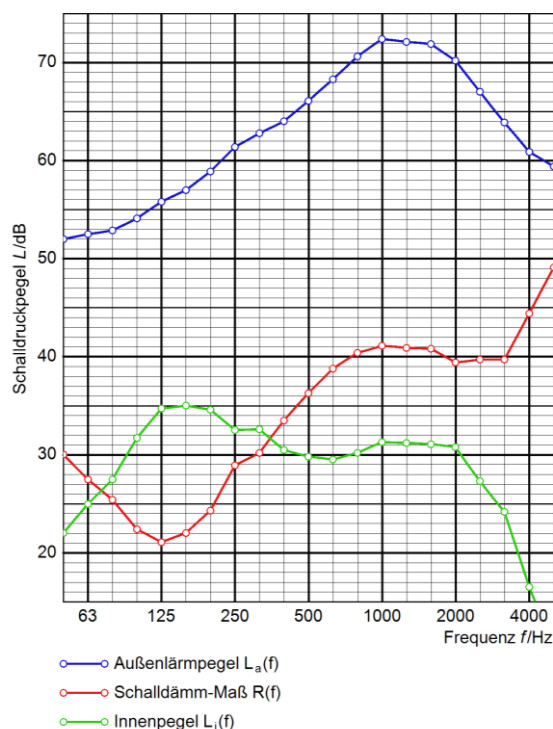
2.1.1 Normative Grundlagen

Als Grundlage für die Bewertung des passiven Schallschutzes gegen Außenlärm fungiert die DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" und speziell für Fenster die VDI 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen". Daneben gibt es noch die 24. Bundes-Immissionsschutzverordnung, auch Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung genannt. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Regelungen der DIN 4109.

2.2 Problematik der Frequenzabhängigkeit

Für die Berechnung von schallschutzrelevanten Größen arbeitet man normgerecht und aus praktischen Gründen gerne mit Einzahlwerten. Das Schalldämmmaß wird berechnet als einzelner Wert in Dezibel. Der Außenlärm wird ebenso als ein einzelner maßgeblicher A-bewerteter Schallpegel dargestellt. Das ist einfach handzuhaben und sehr übersichtlich. Zieht man das Schalldämm-Maß vom Außenpegel ab, so sollte sich in der Theorie der Innenpegel ergeben.

Sowohl die Schalldämmung als auch Geräusche des Außenlärms sind allerdings frequenzabhängige Größen. Das Schalldämm-Maß wird ermittelt mit Hilfe eines Bezugsspektrums. Bildet man die Differenz aus den Frequenzverläufen von Außenpegel und Schalldämmung, weicht der daraus errechnete Innenpegel teilweise deutlich von der Berechnung mit Einzahlwerten ab. In Abbildung 2 ist eine Beispielrechnung dargestellt.



Innenpegel aus Einzahlberechnung:

$$L_i = L_a - R = 33,0 \text{ dB(A)}$$

Innenpegel aus frequenzabhängiger Berechnung

$$L_i = L_a - R = 37,3 \text{ dB(A)}$$

Über 4 dB Abweichung zwischen den
Berechnungsverfahren

Abbildung 2: Verläufe für Außenlärmpegel, Schalldämm-Maß und daraus resultierenden Innenpegel und Vergleich der Berechnungsverfahren

2.2.1 Korrektursummanden und Spektrum-Anpassungswerte

Um diese Ungenauigkeit in den Griff zu bekommen, verwendet man Korrektursummanden oder Spektrum-Anpassungswerte. Die Idee ist hierbei die Abweichung zwischen spektraler Berechnung und Einzahlberechnung auszugleichen. Dazu ist ein gewisses Vorwissen über die vorliegenden Spektren nötig.

Korrektursummanden: (auch K-Werte)

Tabelle 7. Korrektursummanden K in dB für übliche Verkehrssituationen

Immissionsorte an	K in dB
– Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0
– übrigen Bahnstrecken	3
– innerstädtischen Straßen	6
– anderen Straßen	3
– Verkehrsflughäfen*)	6

*) Bei anderen Luftfahrzeuggeräuschen kann, solange keine entsprechenden Untersuchungsergebnisse vorliegen, mit $K = 6$ dB gerechnet werden.

**Tabelle 2
Korrektursummand E in dB
für bestimmte Verkehrswege**

	Verkehrswege	E in dB
	1	2
1	Straßen im Außerortsbereich	3
2	Innerstädtische Straßen	6
3	Schienenwege von Eisenbahnen allgemein	0
4	Schienenwege von Eisenbahnen, bei denen im Beurteilungszeitraum mehr als 60% der Züge klotzgebremste Güterzüge sind, sowie Verkehrswege der Magnetschwebbahnen	2
5	Schienenwege von Eisenbahnen, auf denen in erheblichem Umfang Güterzüge gebildet oder zerlegt werden	4
6	Schienenwege von Straßenbahnen nach § 4 PBefG	3

Abbildung 3: Korrektursummanden der VDI 2719 von 1987 (links) und 24. BImSchV (rechts) [2, S. 12] [3, S. 4]

Bekannt aus VDI 2719 ist die Verwendung von Korrektursummanden. Dort versucht man über vorher exemplarisch ermittelte Außenlärmspektren eine typische Abweichung zu finden. Das Schalldämm-Maß wird dann pauschal mit dem K -Wert für die vorliegende Lärmquelle beaufschlagt. In Abbildung 3 beispielsweise werden für innerstädtische Straßen immer +6 dB angesetzt, die dem Schalldämm-Maß zusätzlich angerechnet werden.

Mathematisch gesprochen stellen die Korrektursummanden die Differenz dar, zwischen Schalldämm-Maß und dem Schallpegelunterschied von außerhalb zu innerhalb des Gebäudes.

Vereinfacht man die in VDI 2719 gegebene Formel: [2, S. 12]

$$R'_{w,res} = L_a - L_i + 10 \lg \frac{S_g}{A} + K + W$$

$R'_{w,res}$	resultierendes Bau-Schalldämm-Maß	A	äquivalente Absorptionsfläche
L_a	maßgeblicher A-bewerteter Außenlärmpegel	K	Korrektursummand
L_i	A-bewerteter Innenschallpegel	W	Winkelkorrektur
S_g	Gesamtaußenfläche des Raums		

Durch Vernachlässigen der Winkelkorrektur W und des Einflusses der Raumgeometrie, erhält man:

$$K = R'_w - (L_a - L_i)$$

Vorteilhaft an der Verwendung von Korrektursummanden ist, dass diese (z.B. in tabellarischer Form) weiterhin die Verwendung von Einzahlwerten ermöglichen. Nachteilig ist, dass die einmal ermittelten K -Werte Gefahr laufen, über die Zeit nicht mehr die realen Bedingungen abzubilden, da sie abhängig sind von allerlei Einflussfaktoren des Außenlärms und der Bautechnik.

Spektrum-Anpassungswerte

Alternativ dazu gibt es die Spektrum-Anpassungswerte aus DIN EN ISO 717-1. Dort wurden zwei Referenzspektren ermittelt, die verschiedene Geräuschquellen abdecken. In Abbildung 4 sind die jeweiligen Quellen zu sehen, in Abbildung 5 sind beide Spektren dargestellt.

Tabelle A.1 — Entsprechende Spektrum-Anpassungswerte für verschiedene Arten von Geräuschquellen

Art der Geräuschquelle	Entsprechender Spektrum-Anpassungswert
Wohnaktivitäten (Unterhaltung, Musik, Radio, TV) Spielende Kinder Schienenverkehr bei mittlerer und hoher Geschwindigkeit ^a Autobahnverkehr > 80 km/h ^a Düsenflugzeug in geringem Abstand Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequente Geräusche abstrahlen	C (Spektrum Nr 1)
Städtischer Straßenverkehr Schienenverkehr bei geringer Geschwindigkeit ^a Propellerflugzeug Düsenflugzeug in großem Abstand Discomusik Betriebe, die überwiegend nieder- und mittelfrequente Geräusche abstrahlen	C _{tr} (Spektrum Nr 2)

^a In mehreren europäischen Ländern bestehen Rechenmodelle für Autobahnverkehrsgeräusche und Schienenverkehrsgeräusche, die Oktavbandschallpegel festlegen; diese können für den Vergleich mit den Spektren Nr 1 und 2 herangezogen werden.

Abbildung 4: Zuordnung der Spektrum-Anpassungswerte zu Geräuschquellen [4, S. 16]

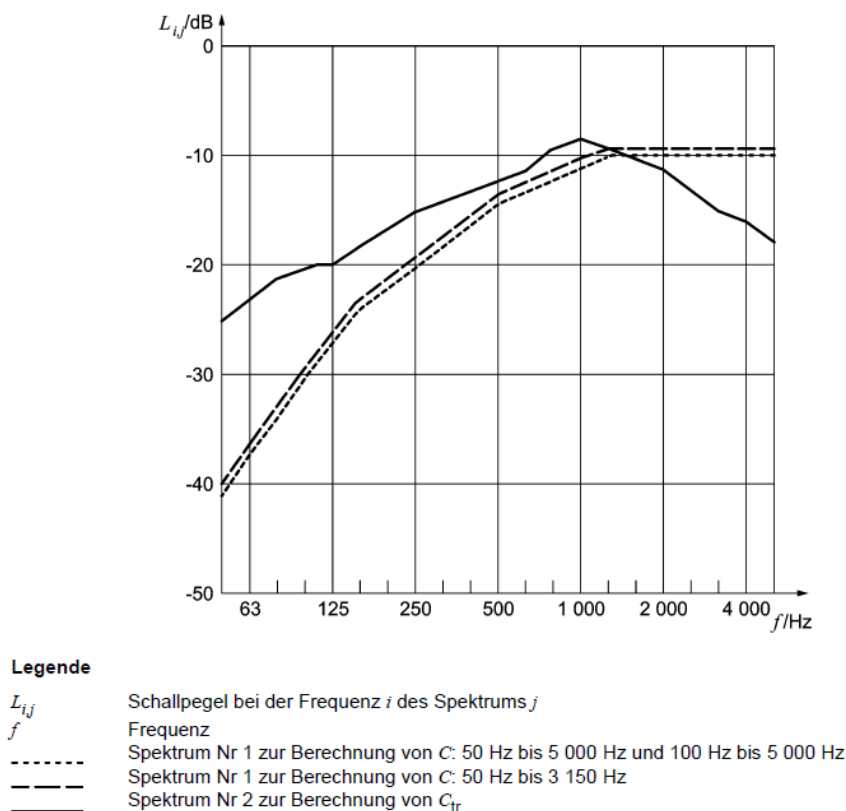


Bild B.1 — Schallpegelspektren zur Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte für Terzbandmessungen

Abbildung 5: Referenzspektren für die Berechnung von Spektrum-Anpassungswerten [4, S. 18]

Die Spektrum-Anpassungswerte an sich sind definiert als: [4, S. 13]

$$C = X_{A,1} - X_w \quad \& \quad C_{tr} = X_{A,2} - X_w$$

Setzt man die jeweiligen dahinterstehenden Größen ein, so erhält man:

$$C = (L_a - L_i) - R_w$$

Das entspricht der Definition des K-Werts multipliziert mit -1. Der Unterschied besteht letztlich in der Berechnung. Die C-Werte sind nicht tabellarisch aufgeführt, sondern werden berechnet. Eine Beispielrechnung ist in Abbildung 6 dargestellt.

Table C.1 — Berechnungsbeispiel: Messungen im festgelegten Frequenzbereich von 100 Hz bis 3 150 Hz

Fre- quenz Hz	R_i dB	Bezugs- werte, verschoben um -22 dB dB	Ungünstige Abwei- chung dB	Spek- trum Nr 1 dB	$L_{i1} - R_i$ dB	$10^{(L_{i1} - R_i)/10}$ /10 ⁻⁵	Spek- trum Nr 2 dB	$L_{i2} - R_i$ dB	$10^{(L_{i2} - R_i)/10}$ ×10 ⁻⁵
100	20,4	11	—	-29	-49,4	1,148...	-20	-40,4	9,120...
125	16,3	14	—	-26	-42,3	5,888...	-20	-36,3	23,442...
160	17,7	17	—	-23	-40,7	8,511...	-18	-35,7	26,915...
200	22,6	20	—	-21	-43,6	4,365...	-16	-38,6	13,803...
250	22,4	23	0,6	-19	-41,4	7,244...	-15	-37,4	18,197...
315	22,7	26	3,3	-17	-39,7	10,715...	-14	-36,7	21,379...
400	24,8	29	4,2	-15	-39,8	10,471...	-13	-37,8	16,595...
500	26,6	30	3,4	-13	-39,6	10,964...	-12	-38,6	13,803...
630	28,0	31	3,0	-12	-40,0	10,000	-11	-39,0	12,589...
800	30,5	32	1,5	-11	-41,5	7,079...	-9	-39,5	11,220...
1 000	31,8	33	1,2	-10	-41,8	6,606...	-8	-39,8	10,471...
1 250	32,5	34	1,5	-9	-41,5	7,079...	-9	-41,5	7,079...
1 600	33,4	34	0,6	-9	-42,4	5,754...	-10	-43,4	4,570...
2 000	33,0	34	1,0	-9	-42,0	6,309...	-11	-44,0	3,981...
2 500	31,0	34	3,0	-9	-40,0	10,000	-13	-44,0	3,981...
3 150	25,5	34	8,5	-9	-34,5	35,481...	-15	-40,5	8,912...
Summe = 31,8 < 32 $R_w = 52 - 22 \text{ dB} = 30 \text{ dB}$				Summe = 147,619 9... × 10 ⁻⁵ -10 lg Summe = 28,308... $C = 28 - 30 \text{ dB} = -2 \text{ dB}$			Summe = 206,063 6... × 10 ⁻⁵ -10 lg Summe = 26,859... $C_{tr} = 27 - 30 \text{ dB} = -3 \text{ dB}$		

Abbildung 6: Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte [4, S. 20]

Vereinfacht gesagt, liefert die K-Wert Berechnung höhere Anforderungen an das Bauteil, während die Wahl von Spektrum-Anpassungswerten über eine andere Bewertungskurve eine niedrigere Schalldämmung des gewählten Bauteils ergibt. Der Vollständigkeit halber sei gesagt, dass K-Werte auch negativ sein können. In diesem Fall gilt das Gleiche, nur umgekehrt.

Tabelle 1: Vergleich Korrektursummand & Spektrum-Anpassungswert

Korrektursummand	Spektrum-Anpassungswert
Tabelliert	Berechnet für Bauteil
Für verschiedene Lärmquellen	Für zwei Lärmspektren
Ergeben andere Anforderungen an Schalldämmung	Ergeben andere Schalldämmungen
<i>ABER: Beide basieren aktuell auf 30 Jahre alten Messungen</i>	

2.2.2 Datenaktualität

Bei guter Datenlage stellen beide Konzepte, also Korrektursummanden und Spektrum-Anpassungswerte, eine valide Möglichkeit dar zu genaueren Berechnungen der erforderlichen Schalldämmung zu kommen. In der Realität liegt die Erfassung der Berechnungsgrundlage in beiden Fällen in den 80er Jahren, also über 30 Jahre zurück.

Sieht man sich, bezogen auf Straßenverkehrslärm, PKW der damaligen Zeit und von heute an, ist sofort augenfällig, dass sich einiges an der Fahrzeugtechnik verändert hat. Entsprechend ist es fraglich inwieweit die damaligen Berechnungen zur Berücksichtigung der Spektren heute noch die Realität abbilden.

2.3 Vorgängeruntersuchungen

Zunächst gab es in den Jahren 1982 bis 1985 mehrere Untersuchungen zu Außenlärmspektren. Der Forschungsbericht „Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile; Meßtechnische Untersuchung der Relation zwischen bewertetem Bau-Schalldämm-Maß und A-Schallpegeldifferenz“ des Berliner Akustik-Ingenieurbüros Moll aus dem Jahr 1985 untersuchte im Auftrag des Umweltbundesamtes Verkehrsspektren von Straßen-, Schienen-, und Fluglärm. Daraus wurden K-Werte errechnet [5]

Die Untersuchungen unter dem Titel „Windows:Traffic Noise Reduction Indices“ der finnischen Firma Nordtest von 1987 bilden die Grundlage für die Spektrum-Anpassungswerte. [6]

In jüngerer Vergangenheit gab es Untersuchungen an der Hochschule Rosenheim und der TU München zur Thematik. Diese befassten sich mit:

- Schedl, Katharina (2016): „Untersuchung des Bemessungsansatzes der VDI 2719 für den Schallschutz von Fenstern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Außenlärmspektren“ [7]
- Leupoldt, Patrick (2017): „Ermittlung und Vergleich von Außenlärmspektren zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern“ [8]
- Fischer, Isabel (2018): Ermittlung und Vergleich von Straßenverkehrslärmspektren: Zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern“ [9]

3 Historische Entwicklung des Schallschutzes gegen Außenlärm in den Versionen der DIN 4109

Seit April 1944 existieren in Deutschland dedizierte Regelungen über den baulichen Schallschutz in Form der DIN 4109. Damals noch herausgegeben vom Deutschen Normenausschuss (DNA), der schließlich 1975 den jetzigen Namen Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) annimmt. [10] Die schallschutztechnischen Anforderungen in den verschiedenen Versionen der DIN 4109 haben sich seitdem deutlich weiterentwickelt, was bereits daran sichtbar wird, dass der Umfang bei Ersterscheinung lediglich sechs Seiten beträgt. Im Folgenden wird die Entwicklung des Schallschutzes gegen Außenlärm in den entsprechenden Normen dargestellt.

3.1 DIN 4109:1944-04

Die erste Version mit dem Titel: „Richtlinien für den Schallschutz im Hochbau“ erscheint im April des Jahres 1944. [11, S. 1] Sie behandelt Schallschutz bei der Planung und Ausbildung von Bauteilen, im Speziellen Wände und Decken und Schalldämmstoffe.

Der Schallschutz gegen Außenlärm wird dort nicht explizit geregelt. Jedoch heißt es bereits in der Einleitung: „Besonders wichtig ist dies [Schutz vor Lärmeinwirkungen – Anm. d. Verf.] in Großstädten, wo die Menschen [...] dem Lärm des Straßenverkehrs und benachbarter Betriebe ausgesetzt sind.“ [11, S. 1] Ein Teil der Schutzmaßnahmen wird dort in der Städtebaulichen Planung gesehen, welche die „Wohnruhe“ sicherstellen soll. [11, S. 2]

Im Abschnitt „III. § 3 a) Allgemeine Anforderungen für den Schallschutz“ ist eine mögliche Erklärung zu finden, weshalb zum Zeitpunkt der Erstellung der Norm keine genaueren Regelungen möglich waren. Die zu große Schalldurchlässigkeit der Fenster macht Maßnahmen gegen Straßenlärm wirkungslos [11, S. 2]. Die nötige Fenstertechnologie war zu dem Zeitpunkt schlicht nicht vorhanden. Dazu kommt, dass Fenster nicht grundsätzlich mit einer Dichtung ausgestattet sind. In den entsprechenden Tabellen werden Werte für Fenster mit und ohne Dichtung aufgeführt.

Die Schalldämmung von Fenstern zur damaligen Zeit wird in III: § 3 b) δ grob eingeschätzt. Die Werte sind in untenstehender Tabelle 2 dargestellt. Zum Vergleich: In der VDI 2719 von 1987 beginnen selbst Fenster der niedrigsten Schallschutzklasse bei einem bewerteten Schalldämmmaß R'_w von 25 dB [2, S. 5]

Tabelle 2: Schalldämmung von Fenstern DIN 4109:1944-04 [11, S. 4]

Fensterart	Schalldämmzahl D
Einfachfenster ohne zusätzliche Dichtung	Bis 15 dB
Einfachfenster mit guter zusätzlicher Dichtung	Bis 25 dB
Kastendoppelfenster ohne zusätzliche Dichtung	Bis 25 dB
Kastendoppelfenster mit guter zusätzlicher Dichtung	Bis 30 dB

3.1.1 Exkurs Schalldämmzahl D und Schalldämm-Maß R

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Versionen herzustellen, ist es notwendig die unterschiedlichen Begriffe zu klären. Die Ausgabe von 1944 zieht zur Beschreibung der Schalldämmung eines Bauteils die sogenannte **Schalldämmzahl D** heran. Diese ist definiert als der zehnfache dekadische Logarithmus des Verhältnisses der eintreffenden (J_1) und durchgelassenen (J_2) Schallstärke. [11, S. 2]

$$D = 10 \log \frac{J_1}{J_2} [dB]$$

Mit der Schallstärke wird in der Norm das physikalische Maß für die Schallleistung, bezogen auf die Fläche, bezeichnet. Das entspricht der Definition der Schallintensität.

$$J = P/S$$

Mit dem **Schalldämm-Maß R** wird das zehnfache logarithmische Verhältnis von der auf das Bauteil auftreffenden Schalleistung zur vom Bauteil durchgelassenen Schalleistung angegeben. [12]

$$R = 10 \log \frac{P_1}{P_2} [dB]$$

Da die Bauteilfläche im Bruch gekürzt werden kann, entspricht das Verhältnis der Schallstärken auch dem Verhältnis der Schallleistung. Die Größen Schalldämmzahl und Schalldämm-Maß beschreiben also die gleiche Größe.

$$D = 10 \log \frac{J_1}{J_2} = 10 \log \frac{P_1/S}{P_2/S} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = R$$

3.2 DIN 4109:1962-09

In der zweiten Ausgabe der Norm „Schallschutz im Hochbau“ wird erstmals ein, wenn auch kurzer, Abschnitt dem Thema Schallschutz gegenüber Außenlärm gewidmet. Wie schon in der vorangegangenen Fassung werden lediglich die Fenster schallschutztechnisch bewertet. Das Kapitel 5.3. aus Blatt 2 der DIN 4109:1962 gibt Empfehlungen für Fenster von lärmzugewandten Räumen. Dort wird geraten dichtschießende Fenstern mit erhöhter Luftschalldämmung zu verwenden. [13, S. 10]

Etwas detailliertere Hinweise zum Schallschutz gegen Außenlärm finden sich in Blatt 5 Abschnitt 2.4.4. „Türen und Fenster“. [13, S. 31]

Schutzbedürftige Räume sollen demnach mit folgenden Maßnahmen ausgerüstet werden, um eine ausreichende Luftschalldämmung zu ermöglichen. Es handelt sich allerdings nicht um konkrete Anforderungen. Die vorgeschlagenen Bauteile sind:

1. Glasbausteine

Durch das höhere Gewicht kann bei einschaliger Konstruktion die Schalldämmung durch den Masseeffekt gesteigert werden. Die Dicke, und damit die Masse, der Glasbausteine fließt direkt in die Schalldämmung ein.

2. Zweischalige Fensterkonstruktionen

Eine höhere Schalldämmung kann durch zweischalige Konstruktionen erreicht werden dank des überproportional ansteigenden Schalldämm-Maßes bei zweischaliger Bauweise oberhalb der Resonanzfrequenz. Die Norm empfiehlt daher auch Doppelfenster, statt Verbundfenster zu verwenden. Der erhöhte Schalenabstand der Doppelfenster führt zu höherer Schalldämmung. Außerdem sollen schallschluckende Absorber im Zwischenraum der Doppelfenster den Schallschutz erhöhen. [13, S. 31]

3. Ringsum dichter Abschluss

Für eine gute Luftschalldämmung ist ein dichtes Schließen der Fenster unverzichtbar. Es verhindert das Durchdringen der Schallwellen zwischen den einzelnen Bauteilen.

Auch in der 1962er Fassung sind mittlere Schalldämmmaße für Standard-Fenster gegeben. Diese sind gegenüber den Werten von 1944 um 5 bis 10 dB angestiegen. In nachstehender

Tabelle 3 sind die Werte aufgeführt und der Einfachheit halber der Anstieg gegenüber DIN 4109:1944 eingetragen.

Tabelle 3: Schalldämm-Maße von Fenstern DIN 4109:1962-09 und Vergleich mit Vorgängerfassung [13, S. 32]

Fensterart	Mittleres Schalldämm-Maß R			
	Ohne zusätzliche Dichtung		Mit zusätzlicher Dichtung	
	1962	<i>vgl. 1944</i>	1962	<i>vgl. 1944</i>
Einfachfenster	~ 20 dB	<i>(+5 dB)</i>	bis 25 dB	<i>(+0 dB)</i>
Verbundfenster	~ 25 dB	---	Bis 30 dB	---
Kastendoppelfenster	~ 30 dB	<i>(+5 dB)</i>	Bis 40 dB	<i>(+10 dB)</i>

Die Empfehlung dichtschießende Fenster zu verbauen und die Aufführung von Fenstern ohne zusätzliche Dichtung in der Tabelle legen die Vermutung nahe, dass Dichtungen keineswegs zur Standardausführung von Fenstern gehörten um das Jahr. Somit war ein wirksamer Schallschutz logischerweise schwierig umzusetzen.

3.3 DIN 4109:1989-11

Mit der 1989 erschienenen Fassung werden erstmals verbindliche Anforderungen für den Schallschutz gegen Außenlärm festgelegt.

Für die Außenbauteile von schützenswerten Räumen ist ein erforderliches resultierendes Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ einzuhalten. In der Norm enthalten sind Anforderungen an die Außenbauteile inklusive Decken und Dächer, sowie Hinweise zum Einfluss von Lüftungsanlagen. Abbildung 7 zeigt die entsprechende Tabelle.

Tabelle 8. Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Lärm- pegel bereich	„Maßgeb- licher Außenlärm- pegel“	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungs- räume in Beher- bergungsstätten, Unterrichtsräume und ähnliches	Bürräume ¹⁾ und ähnliches
		dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ des Außenbauteils in dB		
1	I	bis 55	35	30	–
2	II	56 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	VI	76 bis 80	2)	50	45
7	VII	> 80	2)	2)	50

1) An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.

2) Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Abbildung 7: Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen; DIN 4109:1989 [13, S. 13]

Das resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ setzt sich zusammen aus den einzelnen Elementen des Außenbauteils. Die jeweiligen bewerteten Schalldämm-Maße werden dabei über die Flächen gewichtet. Im Beiblatt 1 zu DIN 4109 ist die genaue Berechnung dargestellt. [14, S. 58]

Die beeinflussenden Faktoren für die gestellten Anforderungen sind:

- Raumnutzung
- Raumgeometrie
- Maßgeblicher Außenlärmpegel
 - 7 Stufen von < 55 dB bis > 80 dB

Im Folgenden wird der Einfluss der Parameter aufgeführt.

3.3.1 Einfluss der Raumnutzung

Die höchsten Anforderungen sind an Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien gestellt. Mittlere Anforderungen gelten für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und ähnliches, während Büroräume die niedrigsten Anforderungen einzuhalten haben. Wie zu erkennen ist, wird das Bedürfnis für eine ausreichend ruhige Umgebung in der jeweiligen Nutzung direkt zur Auslegung der Bauteile herangezogen. Typischerweise unterscheiden sich die erforderlichen Schalldämm-Maße, bei gleichem Außenlärmpegel, um je 5 dB, abhängig von den obengenannten Kategorien.

3.3.2 Einfluss der Raumgeometrie

Das Verhältnis der Fläche des Außenbauteils zur Grundfläche des Raums führt zu Erhöhung oder Minderung der erforderlichen Schalldämmung. Diese Korrekturwerte sind entnommen aus Tabelle 9 der DIN 4109 und tabellarisch aufgeführt in nachfolgender Tabelle.

Tabelle 4: Korrekturwerte für das erforderliche Schalldämm-Maß [15, S. 13]

Verhältnis S_{W+F}/S_G	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Korrektur [dB]	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Offenkundig ist der Einfluss des Außenlärms umso höher, je größer der Anteil des Außenbauteils eines Raums ist. Daher werden bei großen Verhältnissen Außenbauteil zu Grundfläche die erforderlichen Schalldämm-Maße mit bis zu + 5 dB beaufschlagt. Bei kleinen Verhältnissen sind Abminderungen bis zu - 3 dB möglich. Zu Zwischenwerten macht die Norm keine Aussage. In der Praxis wird nicht interpoliert, sondern der höhere Wert verwendet.

Als Vereinfachung darf bei normalen Wohnräumen ein Wert von - 2 dB angesetzt werden, also die vorletzte Spalte der Tabelle 4 [15, S. 13] Daran angeschlossen sind tabellierte Werte für die erforderlichen Schalldämm-Maße für übliche Wohnräume, ebenfalls als Vereinfachung.

3.3.3 Bedeutung des „maßgeblichen Außenlärmpegels“

Der wahrscheinlich wichtigste Faktor bei der Bemessung des Schallschutzes ist der einwirkende, außen vorliegende Lärm. Entscheidend für die Auslegung der Bauteile, sind die außen tatsächlich vorliegenden Schallemissionen. Das Ziel ist es, einen ausreichenden Schutz im Gebäude zu gewährleisten und gleichzeitig Überdimensionierungen zu vermeiden.

Um auf den Außenlärm angepasste Anforderungen stellen zu können, legt die Norm sieben sogenannte „Lärmpegelbereiche“ fest. Der „Maßgebliche Außenlärmpegel“ ergibt dabei in 5 dB(A) Schritten die einzelnen Stufen, wie in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5: Lärmpegelbereiche nach DIN 4109:1989 [15, S. 13]

Lärmpegelbereich	I	II	III	IV	V	VI	VII
Maßgeblicher Außenlärmpegel [dB(A)]	≤ 55	56 - 60	61 - 65	66 - 70	71 - 75	76 - 80	> 80

Die Bestimmung des maßgeblichen Außenlärmpegels ist je nach Lärmquelle angepasst, um deren unterschiedlichen Eigenschaften zu erfassen. Dabei wird unterschieden in Straßenverkehr, Schienenverkehr, Wasserverkehr und Luftverkehr. Die Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels wird hier exemplarisch für den Straßenverkehr dargestellt. Üblich ist die Berechnung, Ermittlung durch Messung ist im Sonderfall aber auch zulässig.

Grundsätzlich zu beachten sind die Lage der Außenbauteile und eventuell vorhandene Lärmschutzmaßnahmen. Von der Lärmquelle abgewandte Gebäudeteile dürfen pauschal abgemindert werden.

Der eigentliche Mittelungspegel wird aus dem Nomogramm [15, S. 15] in der Norm abgelesen und ergibt sich aus:

- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke DTV in Kfz/Tag
- Entfernung zur Straßenmitte
- Straßentyp

Zusätzlich gibt es Zuschläge zu den ermittelten Werten für:

- Beidseitig geschlossene Bebauung
- Längsneigung
- Lichtsignalanlagen

3.4 DIN 4109:2016-07

Zur 2016 erschienenen Version fallen die Änderungen auf den ersten Blick nur marginal aus. In weiten Teilen wurde die Formulierung übernommen oder nur leicht verändert, sowie auf die neuen Versionen von zitierten Normen angepasst.

Die Vereinfachung zum Korrekturwert für Raum-Geometrien bei Wohngebäuden wurde gestrichen, ebenso die dazugehörigen Vereinfachungen zum resultierenden Schalldämm-Maß. Grundsätzlich wird der Korrekturwert nun berechnet und ist nicht mehr der entsprechenden Tabelle zu entnehmen. Die Berechnung ist in DIN 4109-2:2016-07 geregelt [16, S. 36].

Die vielleicht wichtigste Änderung betrifft die Definition des Anforderungswertes. In der 2016 erschienenen Version wird dieser nun als gesamtes Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ bezeichnet. Die festgelegten Werte sind jedoch identisch mit den Anforderungen von 1989, wie in Abbildung 8 zu sehen.

Tabelle 7 — Anforderungen an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Lärm- pegel- bereich	„Maßgeblicher Außenlärmpegel“ dB	Raumarten		
			Bettenräume in Kranken- anstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungs- räume in Beherbergungs- stätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume ^a und Ähnliches
			$R'_{w,ges}$ des Außenbauteils dB		
1	I	bis 55	35	30	—
2	II	56 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	VI	76 bis 80	b	50	45
7	VII	> 80	b	b	50
^a An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.					
^b Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.					

Abbildung 8: Anforderungen an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden; DIN 4109:2016 [17, S. 21]

Der Unterschied zwischen $R'_{w,ges}$ und $R'_{w,res}$ besteht in mehreren Punkten.

- Berücksichtigung aller Bauteile, auch Rollladenkästen, Lüftungen
- Berücksichtigung aller Schallübertragungswege
 - Flankendämm-Maß
 - Schallübertragung durch Fugen
- Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwertes

Eine weitere Neuheit ist die separate Berechnung des maßgeblichen Außenlärmpegels für Tag und Nacht bei Straßenverkehr. Das erhöhte Ruhebedürfnis in der Nacht wird so abgebildet.

Der maßgebliche Außenlärmpegel wird über die Formel

$$L_a = \max \left\{ \begin{array}{l} L_{r,T} + 3dB \\ L_{r,N} + 3dB + 10dB \end{array} \right.$$

bestimmt. Dabei ist $L_{r,T}$ der Beurteilungspegel für den Tag und $L_{r,N}$ für die Nacht. Durch diese Berechnung wird sichergestellt, dass der Innenpegel nachts ausreichend niedrig ist. In der Norm von 1989 wurde pauschal ein um 10 dB niedrigerer Nachtpegel angenommen. [18, S. 273] Ist diese Annahme nicht erfüllt, sind die Innenpegel deutlich höher als gewünscht.

3.4.1 Beurteilungspegel – RLS-90

Die Ermittlung des Beurteilungspegels erfolgt nach DIN 4109-2:2016-07 über die Nomogramme in DIN 18005 Teil 1 Anhang A von 2002. Dort wird jedoch für die genaue Berechnung auf die Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90 verwiesen. [19, S. 14]

Der Beurteilungspegel ist eine Kombination aus mehreren Faktoren. Grundlegend wird aus den Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteilen je ein Mittelungspegel für Tag und Nacht gebildet, welche mit Aufschlägen für Geschwindigkeit, Straßenoberfläche, Steigung und Spiegelschallquellen (Reflexionen) den Emissionspegel bilden. Diese werden mit Korrekturen für die Pegeländerung durch den Abstand zum Emissionsort, die Boden- und Meteorologie-Dämpfung und durch bauliche und geologische Gegebenheiten im Umfeld angepasst. Zuletzt ergibt die Addition eines Lästigkeitszuschlags für Kreuzungen und Einmündungen die Beurteilungspegel zur Weiterverwendung in DIN 4109. [20, S. 11-19]

$$L_r = L_m^{(25)} + D_V + D_{StrO} + D_{Stg} + D_E + D_{S\perp} + D_{BM\perp} + D_{B\perp} + K$$

3.5 DIN 4109:2018-01

2018 wurde die bis jetzt neuste Version der Schallschutz-Norm herausgegeben. Sie ist allerdings noch nicht in allen Bundesländern eingeführt. In Bayern ist zum aktuellen Zeitpunkt noch DIN 4019:2016 in der Liste der technischen Baubestimmungen geführt.

Augenfällig ist der Wegfall der Anforderungstabelle, die seit 1989 zentraler Bestandteil der DIN 4109 war. Sie wurde ersetzt durch die Dezibel-genaue Berechnung über die Gleichung:

$$R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart}$$

Der Summand $K_{Raumart}$ ist wie bekannt abhängig von der Nutzung der untersuchten Räume.

Tabelle 6: Berücksichtigung der einzelnen Raumarten [21, S. 18]

$K_{Raumart} = 25 \text{ dB}$	Für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien
$K_{Raumart} = 30 \text{ dB}$	Für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches
$K_{Raumart} = 35 \text{ dB}$	Für Büroräume und Ähnliches

Die so generierten Anforderungen sind gleich oder niedriger als die Anforderungen aus 2016. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, sind die Sprünge der Anforderungswerte entfernt worden. Interessant ist, dass dadurch die Anforderungen in den meisten Fällen gesunken sind. Allerdings wird durch die separate Berechnung der Anforderungen für Tag und Nacht ein ausreichender Schutz sichergestellt.

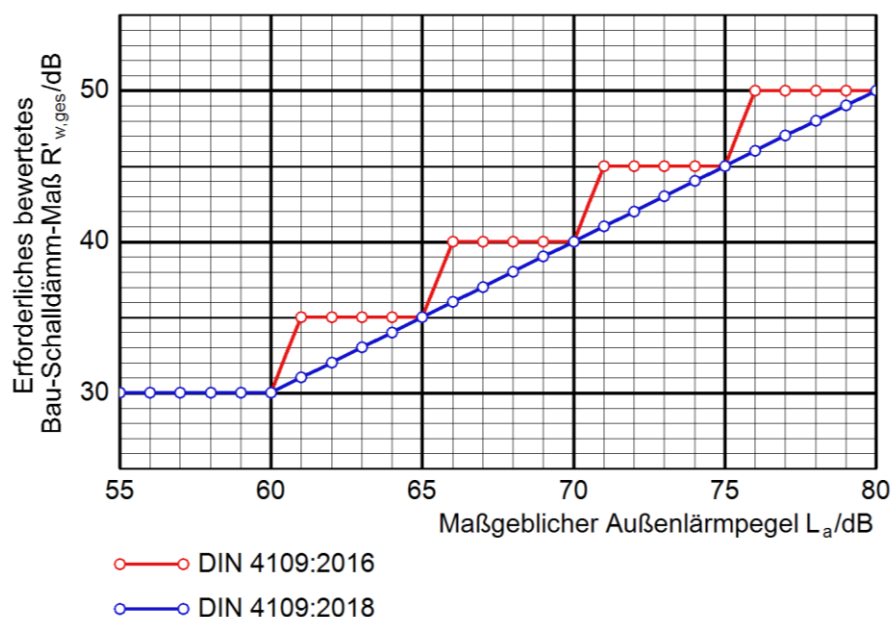


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Anforderungen DIN 4109:2016 und DIN 4109:2018

Dabei ist zu beachten, dass die erforderlichen Bau-Schalldämm-Maße nach unten beschränkt sind, um im Wesentlichen die gleichen Anforderungen zu stellen. Das bedeutet $R'_{w,ges}$ beträgt mindestens:

- 35 dB für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien
- 30 dB für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches

Die Ermittlung der maßgeblichen Außenlärmpegel und die Berechnung der gesamten Bau-Schalldämm-Maße ist unverändert gegenüber 2016.

3.5.1 Vorgehensweise bei der schalltechnischen Planung von Außenbauteilen

Aus den oben genannten Vorschriften ergibt sich eine Vorgehensweise zur Planung. In Abbildung 10 ist diese visualisiert.

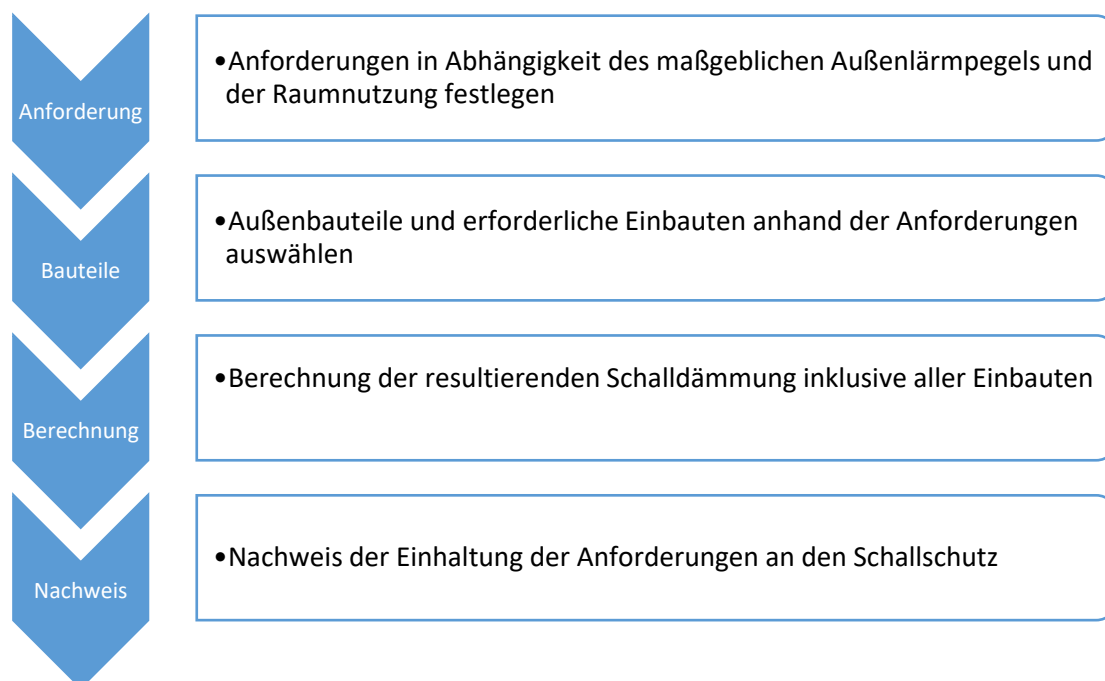


Abbildung 10: Vorgehensweise bei der schalltechnischen Planung von Außenbauteilen nach DIN 4109 [22]

Zunächst wird das erforderliche gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß ermittelt, das für den untersuchten Raum gilt. Dafür werden die Raumnutzung und der maßgebliche Außenlärmpegel benötigt. Danach können entsprechende Bauteile ausgewählt werden. Die Berechnung des Bau-Schalldämm-Maßes erfolgt gemäß DIN 4109-2:2018-01. Die Nachweisführung basiert auf der Formel:

$$R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf.} R'_{w,ges} + K_{AL}$$

3.6 DIN 4109 & Spektrumsanpassung

Aus der VDI 2719 ist die Verwendung von sogenannten Korrektursummanden bekannt. Die DIN 717 beinhaltet analog dazu Spektrum-Anpassungswerte. In der DIN 4109 sind zunächst scheinbar keine Berechnungen ersichtlich, um den spektralen Einfluss des Außenlärms abzubilden. In der Tat werden aber auch in DIN 4109 Versionen K-Werte benutzt.

Betrachtet man die Regelungen zum Schienenverkehr in DIN 4109-2:2018, wird das anschaulich. Dort heißt es: *„Aufgrund der Frequenzzusammensetzung von Schienenverkehrsgeräuschen in Verbindung mit dem Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen ist der Beurteilungspegel für Schienenverkehr pauschal um 5 dB zu mindern.“* [21, S. 47] Offensichtlich sieht die Norm an dieser Stelle einen K-Wert von 5 dB vor.

Die Berücksichtigung der verschiedenen Frequenzzusammensetzungen findet noch an anderer Stelle statt. Die bekannten Tabellen, in denen die Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen gestellt werden, sowie die seit 2018 dafür verwendete Formel, verrechnen einen „versteckten“ K-Wert von 5 dB. Aus handschriftlichen Aufzeichnungen von Moll zur Konzeption der DIN 4109 von 1989 geht hervor, dass ein Innenpegel von 35 dB(A) als Zielwert für Wohnräume etc. vorgegeben wurde. Berechnet man die Innenpegel nach den Vorgaben der Norm, so erhält man ein um 5 dB(A) niedrigeres Ergebnis, also 30 dB(A). Das vollständige Dokument ist im Anhang zu finden.

$$R_{w,res,erf} \sim L_a - 35 + 5$$
$$R_{w,res,erf} \sim L_a - 30$$

Abbildung 11: Berechnung des erforderlichen Schalldämm-Maßes nach handschriftlichen Aufzeichnungen von Wolfgang Moll zum Entwurf der DIN 4109:1989

Das erforderliche Schalldämmmaß wird an dieser Stelle pauschal um 5 dB erhöht. Allerdings ist diese spektrale Sicherheit nicht näher in der Norm dokumentiert und den meisten Verwendern wohl auch unbewusst.

Durch die 5 dB-Abstufungen der Anforderungen und den indirekt eingeführten K-Wert konnten so bis einschließlich der Version von 2016 im schlimmsten Fall Überbemessungen bis 9 dB entstehen. Die Linearisierung der Anforderungen in der Version 2018 hat diese Gefahr bereits etwas entschärft.

Tabelle 7: Vergleichsrechnung der Anforderungen für die Berechnung nach verschiedenen Versionen der DIN 4109

Anforderungen für Maßgeblicher Außenlärmpegel = 61 dB	
Berechnung nach:	Resultierendes Schalldämm-Maß
DIN 4109:2016	35 dB (inkl. K-Wert 5 dB)
DIN 4109:2018	31 dB (inkl. K-Wert 5 dB)
DIN 4109:2018 mit K-Wert = 0 dB (z.B. Schienenverkehr)	26 dB

3.7 Visualisierung der Entwicklung der DIN 4109

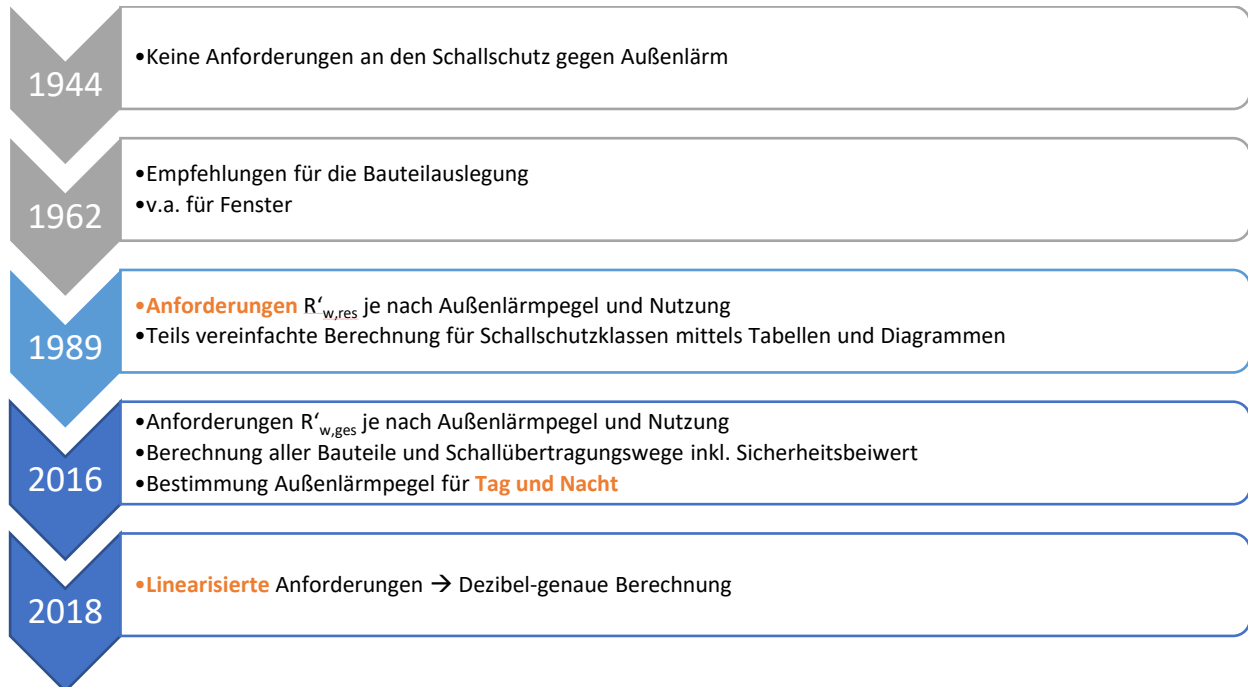


Abbildung 12: Wichtigste Neuerungen der Versionen der DIN 4109 bezogen auf den Schallschutz gegen Außenlärm

Die wichtigsten Neuerungen, bezogen auf Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm, sind in Abbildung 12 chronologisch dargestellt.

4 Qualitative Beschreibung der Schallemissionen von Kraftfahrzeugen

Tabelle 8: Wichtigste Einflüsse auf das Fahrzeuggeräusch

Motor	
Kraftstoff-Verbrennung	Motorenart (Benzin, Diesel, LPG, ...)
Mechanische Geräusche (Lager, Riemen, ...)	Leistung und Hubraum
Ansaugung (v.a. Turbolader/ Kompressor)	Drehzahl & Gang
Abgasanlage (Klappenauspuff, Schalldämpfer)	Kapselung des Motors
Reifen	
Material	Laufflächenprofil
Durchmesser, Reifenbreite, Felgengröße	Fahrbahn (Rauhigkeit, Korngrößen, ...)
Radlast	Witterung (Regen; Schnee)
Reifendruck	
Aerodynamik	
Karosserieform	Fahrgeschwindigkeit
C _w -Wert Luftwiderstand	
Sonstige	
Türenschnallen	Ladung
Radio	Hupe

Die Schallabstrahlung eines Kraftfahrzeugs hängt von unzähligen Faktoren ab. Entscheidend für das übliche Betriebsgeräusch sind Motor, Reifen und die Aerodynamik des Fahrzeugs. Die jeweilige Lautstärke wird wiederum maßgeblich beeinflusst von der Geschwindigkeit. In Abbildung 13 ist zu sehen, wie sich Motoren- und Reifengeräusch über die Geschwindigkeit entwickeln. Windgeräusche sind erst ab > 120 Stundenkilometern von Relevanz. [23, S. 476]

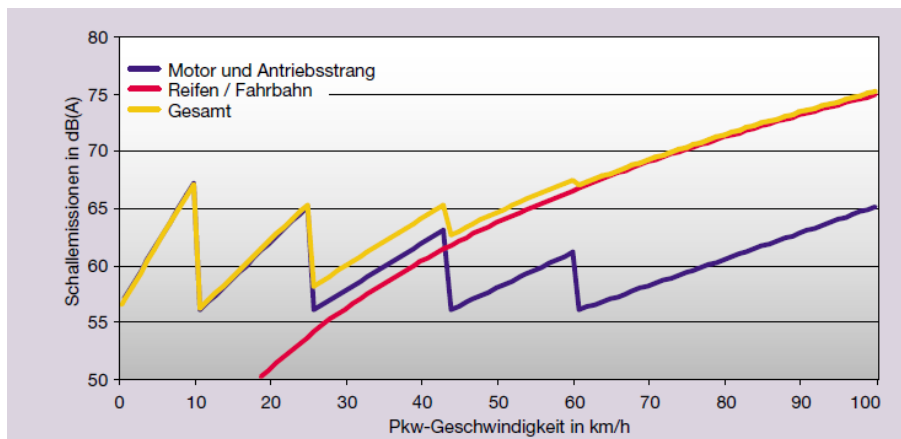


Abbildung 13: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Schallemission von Motor und Reifen [24, S. 28]

Nachstehende Tabelle stellt grob dar, welche der Schallquellen je nach Fahrtgeschwindigkeit den maßgeblichen Einfluss hat. Bei besonders lauten Motoren oder dergleichen sind natürlich deutliche Abweichungen möglich. Für Schwerverkehr ist diese Tabelle nicht anwendbar. Dort ist üblicherweise der Motor noch bei höheren Geschwindigkeiten die wichtigste Geräuschquelle.

Tabelle 9: Dominierende Schallquelle je nach Geschwindigkeitsbereich

Dominierende Schallquelle (PKW)		
Bis 40 km/h	40 bis 120 km/h	Ab 120 km/h
Motor	Reifen	Aerodynamik

4.1 Veränderungen in der Fahrzeugtechnik, bezogen auf schallemittierende Bauteile

Die Grundlagenermittlung des Schallschutzes gegen Außenlärm fand in den 80er Jahren statt. Seitdem hat sich die Fahrzeugtechnik immens weiterentwickelt. Veränderungen in der Schallabstrahlung der Fahrzeuge sind dabei nur logisch. Folgende Trends mit Auswirkungen auf die Schallemission sind festzustellen:

- Motoren sind zunehmend turboaufgeladen (Stichwort: Downsizing)
- Größere Felgen, sowie breitere Reifen
- Zunahme des Anteils großer Fahrzeuge (Geländewagen, SUV: 2008 3% → 2018 11% [25])
- Steigendes Fahrzeuggewicht hat Einfluss auf Radlast
- Geringerer Luftwiderstand
- Schalldämpfer, Kapselung der Motoren, Entdröhnung der Karosserie
- Getriebe mit mehr Gängen (4 Gänge → 6, 7 Gänge)

Die Veränderungen beeinflussen die absolute Lautstärke, aber auch die spektrale Zusammensetzung des Klangbilds eines Kfz.

Von gesetzlicher Seite wurden die Grenzwerte für die Schallemission von Fahrzeugen seit 1970 sukzessive abgesenkt. [23, S. 477] Bei PKW beispielsweise von 80 (bzw. 84 je nach Leistung) dB(A) auf 74 dB(A). Die tatsächliche Verbesserung der Geräuschemissionen im Verkehr ist aber wohl eher gering.

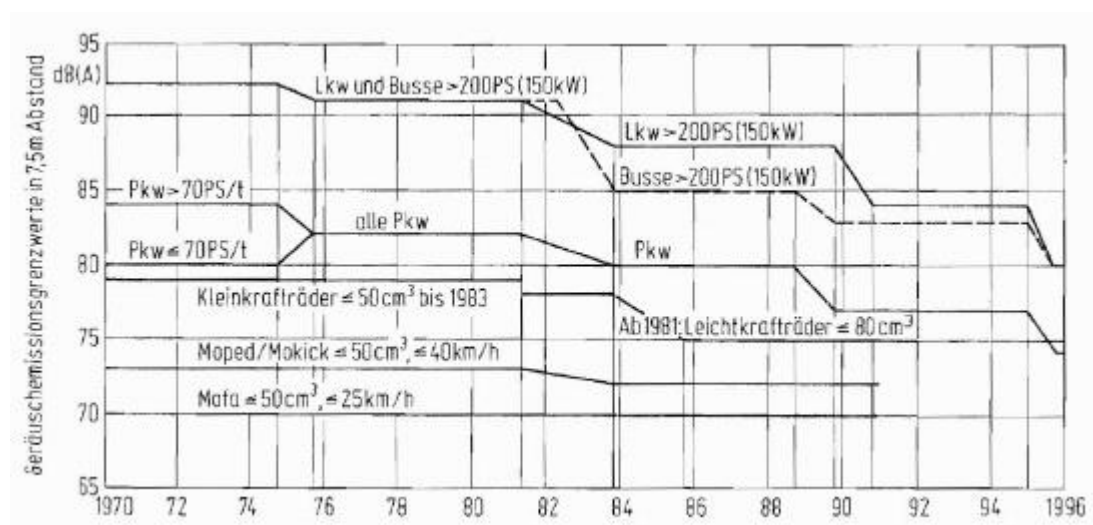


Abbildung 14: Verschärfung der Geräuschemissionsgrenzwerte [23, S. 477]

Das Umweltbundesamt führt dies auf die Betriebsbedingungen des Prüfverfahrens zurück. [26] Im Prüfverfahren „Beschleunigte Vorbeifahrt“ wird bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h bei Vollgas in 7,5 m Abstand die Schalleistung gemessen. Dieser Fahrzustand überschätzt den Einfluss des Motors auf die Schallabstrahlung. Das Rollgeräusch wird tendenziell unzureichend berücksichtigt. [23, S. 477]

4.2 Veränderungen im Straßenverkehrslärm insgesamt

Gegenläufig zum messtechnisch ermittelten Rückgang der Emissionen einzelner Fahrzeuge, ist die Zunahme von Nutzfahrzeugen im Lieferverkehr. Nicht zuletzt durch den Onlinehandel, sind immer mehr Transporter im Stadtverkehr unterwegs. Von 360.000 Nutzfahrzeugen bis 3,5 Tonnen im Jahr 2008 stieg die Anzahl auf 431.000 im Jahr 2017. Weiterhin hat generell das Fahrzeugaufkommen zugenommen. In den letzten zehn Jahren ist die Zahl der zugelassenen PKW von 41 Millionen auf 46,5 Millionen angestiegen. Die Zahl der Kraftfahrzeuge allgemein hat sich gegenüber 1980 etwa verdoppelt. [27] Hierbei spielt allerdings natürlich die Wiedervereinigung Deutschlands eine entscheidende Rolle.

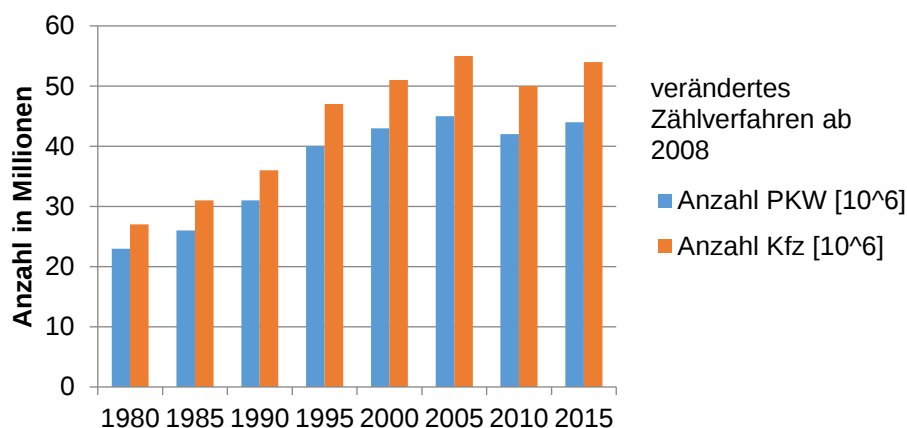


Abbildung 15: Entwicklung der Anzahl der Kraftfahrzeuge und Personenkraftwagen seit 1980 [27]

4.3 Perspektive Elektromobilität

Einer der Vorteile der Elektromobilität ist ihr leiser Antrieb. Da die Geräusche des Motors, der Abgasanlage, der Ansaugung und ähnlicher Komponenten entfallen, ist das Antriebsgeräusch weitestgehend eliminiert. Das hat zur Folge, dass vor allem Anfahr- und Beschleunigungsvorgänge deutlich leiser sind. Ab einer Geschwindigkeit von circa 30-40 km/h wird das Reifengeräusch maßgeblich. (vgl. Abbildung 13) Daher ist die Verbesserung der Lärmimmissionen durch E-Mobilität geringer als vielleicht vermutet. Im Bereich von Kreuzungen sollte sich durch die verringerten Motorengeräusche ein niedrigerer Pegel ergeben, im fließenden Verkehr ist die Schallemission in etwa gleich hoch wie bei Verbrennungsmotoren.

Am effektivsten aus Sicht des Schallschutzes, wäre die Verwendung von Elektroantrieben bei Nutzfahrzeugen, im Lieferverkehr und im ÖPNV, da dort das konventionelle Motorengeräusch sowohl lauter ist als auch über einen größeren Geschwindigkeitsbereich die maßgebende Schallquelle darstellt. Somit ist die mögliche Reduktion der Emissionen bei diesen Fahrzeugen besonders hoch. [28, S. 4]

Momentan beträgt der Anteil von voll- oder teilelektrischen Fahrzeugen lediglich 0,6 % bei PKW. [29] Um mit elektrisierten PKW einen wesentlichen Beitrag zum Schallschutz zu leisten, müsste dieser Anteil enorm steigen, was zurzeit nicht ersichtlich ist.

4.4 Auswirkungen auf den Schallschutz

Die oben genannten Veränderungen in der Fahrzeugtechnik und im Fahrzeugbestand beeinflussen die auf Gebäude einwirkenden Geräusche. Nachdem die heute angewandten Berechnungen auf Messungen von Verkehrsgeräuschen der 80er Jahre basieren, liegt hier die Vermutung nahe, dass neue Messungen notwendig sind, um mögliche akustische Veränderungen zu ermitteln. Auch zukünftig werden Veränderungen in der Mobilität dazu führen, dass Außenlärmspektren regelmäßig überprüft und auf den neuesten Stand gebracht werden müssen.

5 Messtechnische Erfassung von Straßenverkehrsspektren

5.1 Zielsetzung

Ziel der Messungen war es, Straßenverkehrsspektren aufzuzeichnen, um aktuelle Einwirkungen auf Gebäudehüllen zu ermitteln. Dabei wurde darauf geachtet an verschiedenen Straßentypen zu messen, um eine gewisse Streubreite an Verkehrssituationen zu erfassen. Leider konnten Einflüsse wie Verkehrsknotenpunkte, Steigungen, oder dergleichen nicht näher analysiert werden, da aufgrund der Witterungsverhältnisse im Winterhalbjahr Verkehrslärmmessungen nur in einem begrenzten Fenster möglich sind. Hier besteht weiterhin Forschungsbedarf.

5.2 Messaufbau

5.2.1 Normative Grundlage

Die Messungen wurden durchgeführt auf Basis der DIN 45642 [30]. Es wurden somit immer mindestens 15 Minuten lang und mindestens 100 Fahrzeuge gemessen. Die Mikrofonhöhe von 4m über dem Erdboden, konnte durch Verwendung eines geeigneten Stativs oder Messpositionen auf Brücken eingehalten werden. Alle Messungen fanden montags bis donnerstags zwischen 10:00 und 17:00 statt, also bei mittlerer Verkehrsstärke. Dabei wurde darauf geachtet, nicht bei Temperaturen unter 0°C, Regen bzw. Schnee oder Windgeschwindigkeiten über 5 m/s zu messen.

Witterungsbedingungen, Anzahl der Fahrzeuge, Geschwindigkeiten, Fahrbahneigenschaften und besondere Vorkommnisse wurden protokolliert. Somit war es im Nachgang möglich auffällige Spektren, wenn nötig, aus der Bewertung herauszunehmen.

5.2.2 Verwendete Messgeräte

Zur Messung der Spektren wurde ein Norsonic Nor140 Schallanalysator verwendet. Vor jeder Messreihe fand eine Kalibrierung statt.

5.2.3 Messgröße

Die Zielgröße der Messungen war ein „fast“-bewerteter, energieäquivalenter Schalldruckpegel $L_{f,eq}$ in Terzfrequenzbändern von 50 bis 5000 Hz. Die Zeitschritte zwischen einzelnen Messungen betrugen 0,25 Sekunden. Somit wurden jeweils 4800 frequenzabhängige Schalldruckpegel pro 20-Minuten-Messung aufgezeichnet und gemittelt.

5.2.4 Verkehrszählung

Die Verkehrsstärken in jedem Messzeitraum wurden über eine manuelle Verkehrszählung in einer Excel Tabelle erfasst. Als Eingabegerät wurde dafür ein Xbox 360 Controller for Windows benutzt, da dort sowohl gutes haptisches Feedback als auch blinde Bedienung sichergestellt waren.

Bei Straßen bis zu 4 Fahrstreifen und etwa 1500 Kfz/h bezog sich die Zählung auf den kompletten Querschnitt über die gesamte Dauer jeder Messung, typischerweise also 20 Minuten. Bei darüberhinausgehenden Verkehrsstärken und Fahrstreifen, fand je eine Zählung über 10 Minuten pro Fahrtrichtung statt, deren Ergebnisse im Nachgang auf 20 Minuten extrapoliert und über beide Fahrtrichtungen summiert wurden.

Die Kategorisierung der Fahrzeuge in Leicht- und Schwerverkehr erfolgte in Anlehnung an die Empfehlungen für Verkehrserhebungen der FGSV von 2012 [31, S. 34]. In den Spalten eins und zwei der Tabelle 9 (Abbildung 16) ist die verwendete Gruppierung zu sehen.

- Leichtverkehr:
 - Krafträder
 - PKW (auch mit Anhänger)
 - Transporter bis 3,5 t
- Schwerverkehr:
 - LKW
 - Busse
 - Andere

1	2	3	4	5
Nicht klassifizierbare Kfz	Nicht klassifizierbare Kfz	Nicht klassifizierbare Kfz	Nicht klassifizierbare Kfz	Nicht klassifizierbare Kfz
Krafträder	Krafträder	Krafträder	Krafträder	Krafträder
PKW	PKW	PKW	PKW	PKW
Transporter	Transporter	Transporter	Transporter	Transporter
LKW	LKW	LKW	LKW	LKW
Busse	Busse	Busse	Busse	Busse
LKW	LKW	LKW	LKW	LKW
LKW	LKW	LKW	LKW	LKW
LKW	LKW	LKW	LKW	LKW
Busse	Busse	Busse	Busse	Busse

Abbildung 16: Klassifizierung in Leicht- und Schwerverkehr nach FGSV EVE

5.2.4.1 Kontrolle der Ergebnisse

Mögliche Fehler in der Verkehrszählung können entstehen durch Übersehen oder die doppelte Erfassung von einzelnen Fahrzeugen. Beide Szenarien haben einen gegenteiligen Effekt und betreffen nur wenige Fahrzeuge.

Die Extrapolation der gezählten Fahrzeuge bei breiteren und stärker befahrenen Straßen kann bei periodisch schwankenden oder anders veränderlichen Verkehrszahlen zu Über- oder Unterschätzung der Verkehrsstärken führen.

Zur Kontrolle der Verkehrszählung wurden die Ergebnisse mit den Verkehrsmengenkarten der Stadt München [32] und des Landkreises Fürstenfeldbruck [33] verglichen. Diese stellen die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken dar, welche anhand Tabelle 3 der RLS-90 auf die Maßgebenden Verkehrsstärken pro Stunde umgerechnet wurden [20, S. 14]. Die errechneten Werte wurden schließlich verglichen mit den jeweiligen Zählungen. An allen Messstellen konnte eine Übereinstimmung im Bereich von $\pm 30 \%$ festgestellt werden.

Tabelle 10: Gegenüberstellung: Verkehrszählung und zu erwartender Verkehr

Messposition	Verkehrszählungen		Verkehrsmengenkarte		Abweichung
	[Kfz/20 Min]	[Kfz/h] extrapoliert	DTV	Maßgebende Verkehrsstärke [Kfz/h] *	
A99	1500	4500	96000	5760	-22%
A96	2000	6000	115000	6900	-13%
Georg-Brauchle-Ring	2500	7500	112000	6720	12%
B2	500	1500	26000	1560	-4%
Würmtalstraße	300	900	18000	1080	-17%
Augsburger Straße	100	300	---	---	---
Landsberger Straße	270	810	15000	900	-10%
Gabelsbergerstraße	300	900	15000	900	0%
Pasinger Straße	320	960	12500	750	28%
Sauerbruchstraße	300	900	21000	1260	-29%

Verkehrsmengenkarte München 2017

Verkehrsmengenkarte Fürstenfeldbruck 2015

* nach RLS-90 Tabelle 3, Seite 14

5.3 Messpositionen – Dokumentation

An insgesamt 10 Orten in und um München sind im Verlauf der Messungen 45 Einzelspektren aufgenommen worden.

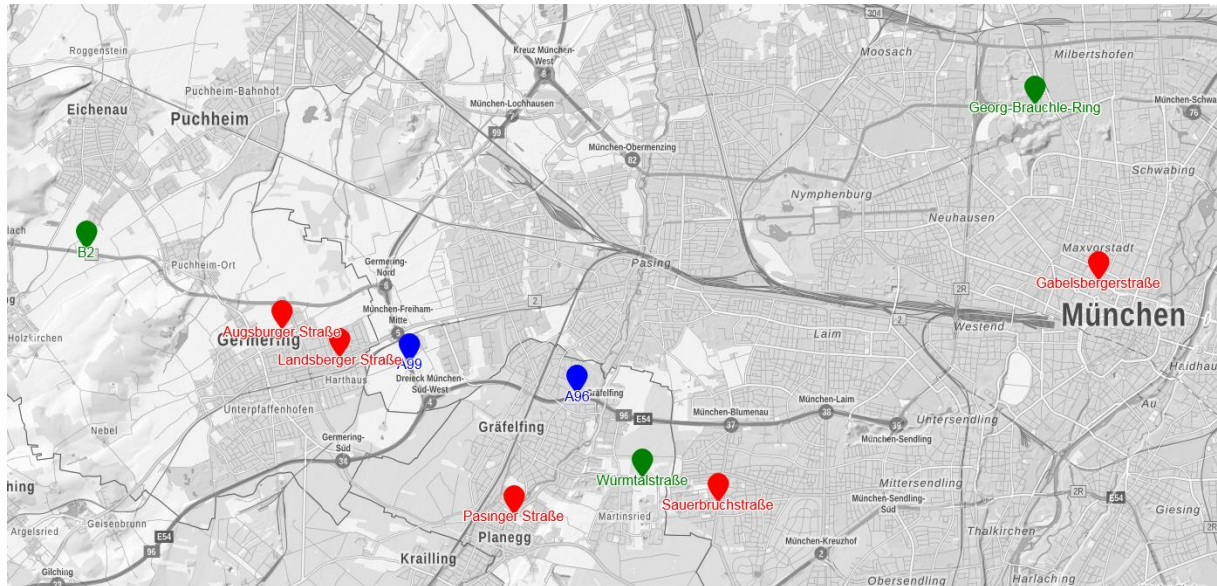


Abbildung 17: Position der Messungen im Raum München [„BayernAtlas“ Bayerischer Vermessungsverwaltung 2019, <https://v.bayern.de/SyMSQ> 28.02.2019]

Tabelle 11: Übersicht der durchgeführten Messungen

Straßentyp	Anzahl Messpositionen	Aufgenommene Spektren
Autobahn	2 Positionen	9 Spektren
Land-, Bundesstraße	3 Positionen	13 Spektren
Stadtstraße	5 Positionen	23 Spektren

Im Folgenden sind alle Positionen dokumentiert und die unbewerteten Spektren dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit sind diese jeweils in derselben Skalierung von 40 bis 75 dB über den erweiterten bauakustischen Frequenzbereich von 50 bis 5000 Hz aufgetragen.

5.3.1 Messposition A99

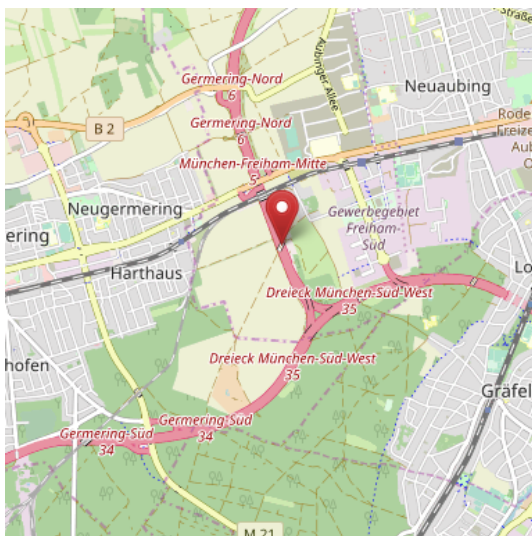
Tabelle 12: Lage & Fotos - Messposition A99



Blick Richtung Norden

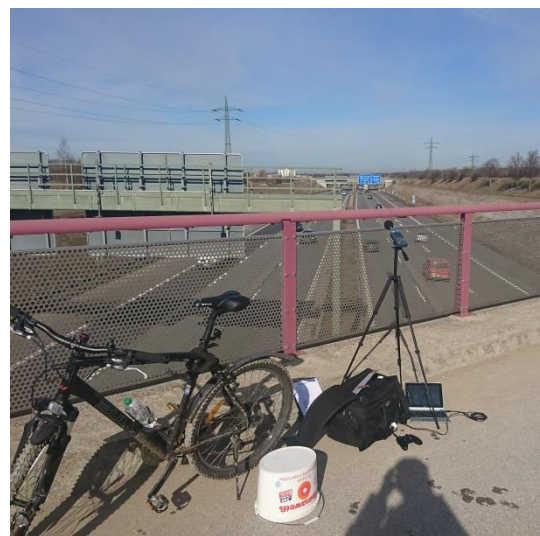


Blick Richtung Süden



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Messaufbau auf Brücke

Die Messung wurde durchgeführt auf einer Brücke über der A99 bei Freiham. Die Mikrofonposition war senkrecht über dem Mittelstreifen der Autobahn in circa 5-6 m Höhe auf der nördlichen Seite der Brücke. Die Brücke wurde hauptsächlich von Fuß- und Radverkehr benutzt. Durchfahrten von Kraftfahrzeugen hinter dem Messaufbau waren äußerst selten, insgesamt viermal.

Tabelle 13: Messprotokoll - Messposition A99

Messzeitpunkt	14.02.2019: 4 Messungen zwischen 11:33 und 13:01		
Lage	A99 bei Freiham		
Koordinaten	48.133070, 11.400035		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	11,0-14,7
100 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	30-40
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	970
3 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0,3-0,9
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Guter Zustand, keine Neigung (<1%)		Sonnig, leicht bewölkt, kaum Wind	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	1262
Jeweils 20 Minuten		Schwerverkehr	223 (15%)

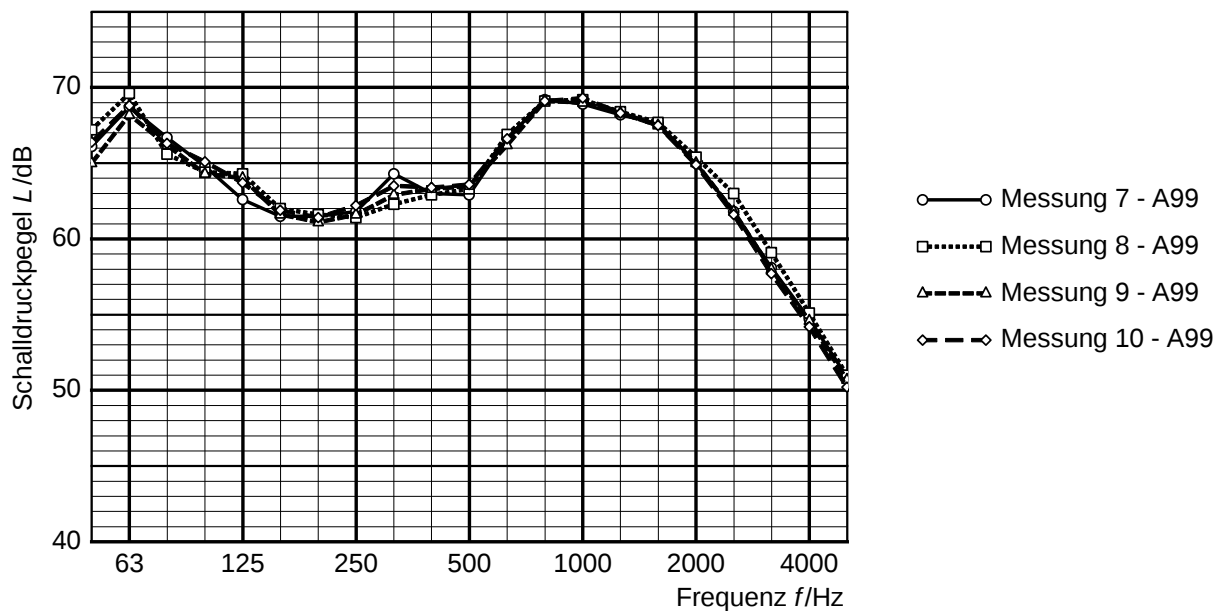


Abbildung 18: Gemessene Spektren – unbewertet - Messposition A99

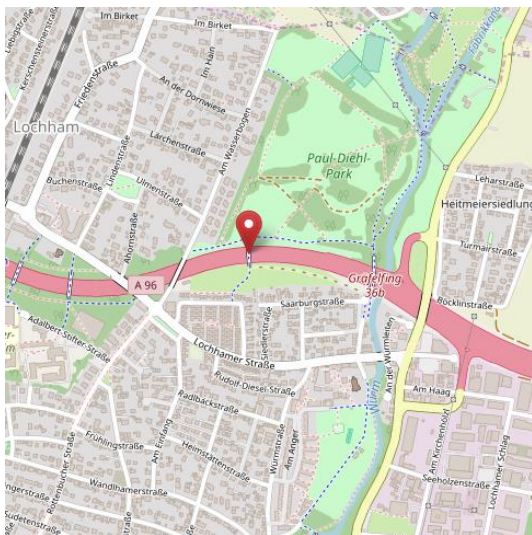
Alle aufgenommenen Spektren weisen den gleichen Verlauf auf mit sehr geringen Abweichungen voneinander.

5.3.2 Messposition A96

Tabelle 14: Lage & Fotos – Messposition A96



Panorama Richtung Westen



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Messaufbau auf Brücke

Die Messung wurde durchgeführt auf einer Brücke über der A96 bei Gräfelfing. Die Mikrofonposition war senkrecht über dem Mittelstreifen der Autobahn in circa 5-6 m Höhe auf der westlichen Seite der Brücke. Die Brücke wurde ausschließlich von Fuß- und Radverkehr benutzt. Ab etwa 14:00 wurde ein deutlicher Anstieg der Verkehrszahlen notiert.

Tabelle 15: Messprotokoll - Messposition A96

Messzeitpunkt	25.02.2019 5 Messungen zwischen 13:05 und 14:54		
Lage	A96 bei Gräfelfing		
Koordinaten	48.128036, 11.441294		
Zulässige Geschwindigkeit	Temperatur [°C]	13,2-15,6	
80 km/h	Relative Luftfeuchte [%]	39,4-43,3	
Fahrstreifen	Luftdruck [hPa]	971	
3 je Richtung	Windgeschwindigkeit [m/s]	0,9-2,1	
Fahrbahn Zustand & Neigung	Beschreibung der Witterung		
Guter Zustand, kaum Neigung (~1%)	Blauer Himmel, sonnig, leichter Wind		
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	1888
Jeweils 20 Minuten		Schwerverkehr	142 (7%)

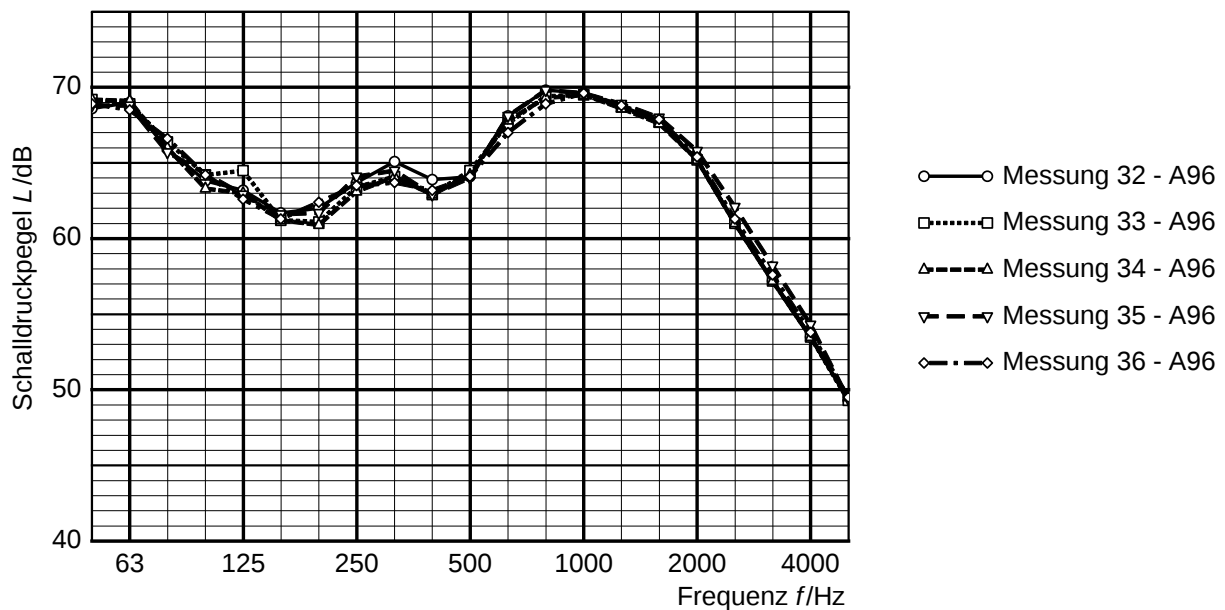


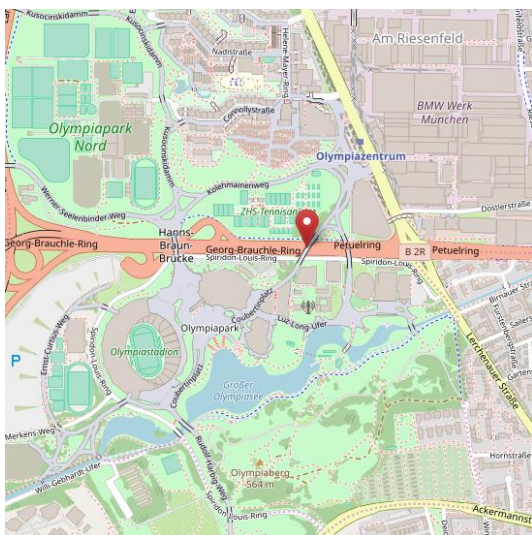
Abbildung 19: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition A96

5.3.3 Messposition Mittlerer Ring – Georg-Brauchle-Ring

Tabelle 16: Lage & Fotos – Mittlerer Ring

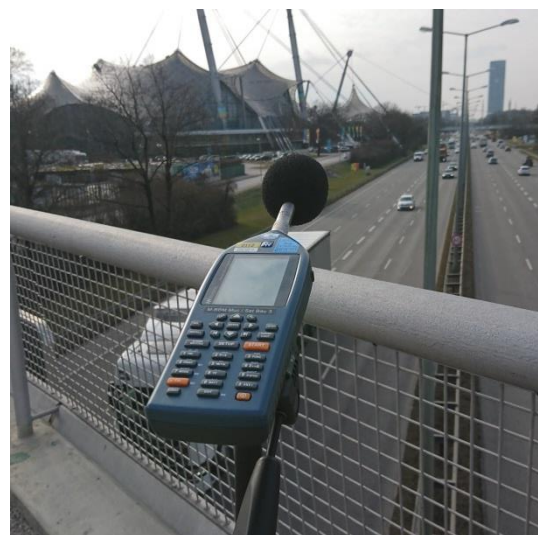


Panorama Richtung Westen



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Mikrofonposition

Die Messung wurde durchgeführt auf einer Brücke über dem mittleren Ring in München am Olympiapark. Die Mikrofonposition war senkrecht über dem Mittelstreifen der Straßen in circa 5-6 m Höhe auf der westlichen Seite der Brücke. Die Brücke wurde ausschließlich von Fuß- und Radverkehr benutzt.

Tabelle 17: Messprotokoll - Messposition Mittlerer Ring

Messzeitpunkt	20.02.2019 4 Messungen zwischen 14:30 und 15:57		
Lage	Georg-Brauchle-Ring am Olympiagelände in München		
Koordinaten	48.176166, 11.553673		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	10,7-11,9
60 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	54,2-56,9
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	963
4 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0-1,1
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Zustand ok, keine Neigung (=0%)		Bewölkt, trocken	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	2413
20 Minuten (1x 17)		Schwerverkehr	88 (4%)

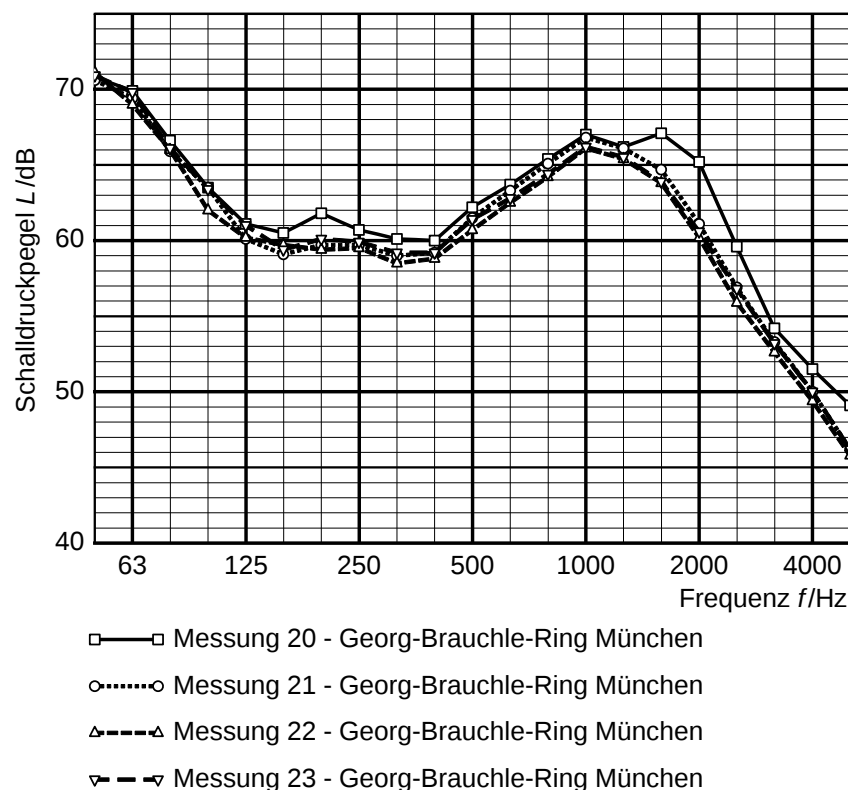


Abbildung 20: Gemessene Spektren – unbewertet – Mittlerer Ring

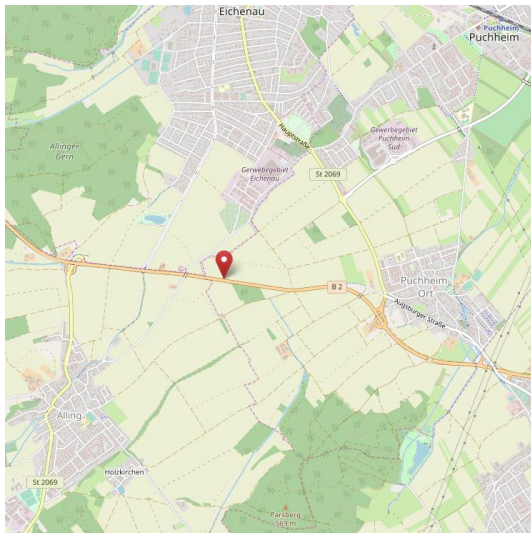
Wie zu sehen ist, hat Messung 20 einen abweichenden Verlauf zum Rest der Messungen. Eine mögliche Erklärung dafür ist das höhere Schwerverkehrsaufkommen bei dieser Messung (116 zu durchschnittlich 88). Dazu wurde mit fortschreitender Dauer zunehmend stockender Verkehr festgestellt.

5.3.4 Messposition B2

Tabelle 18: Lage & Fotos – Messposition B2



Panorama der Messposition; Blickrichtung Süden



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Messaufbau und Personal

Die Messung wurde durchgeführt auf einem Feldweg an der B2 zwischen Puchheim und Fürstenfeldbruck. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 7m vom Fahrbahnrand entfernt. Der Feldweg wurde von Fuß- und Radverkehr genutzt, sowie mehrfach von einem Traktor, der achtmal die Messung langsam passiert hat.

Tabelle 19: Messprotokoll - Messposition B2

Messzeitpunkt	19.02.2019 5 Messungen zwischen 14:04 und 15:56		
Lage	B2 zwischen Puchheim und Fürstenfeldbruck		
Koordinaten	48.151082, 11.320119		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	12-14,6
100 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	38,7-50
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	957
1 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	2-5,3
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Zustand ok, keine Neigung (<1%)		Bewölkt, trocken, windig	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	493
20 Minuten		Schwerverkehr	18 (3%)

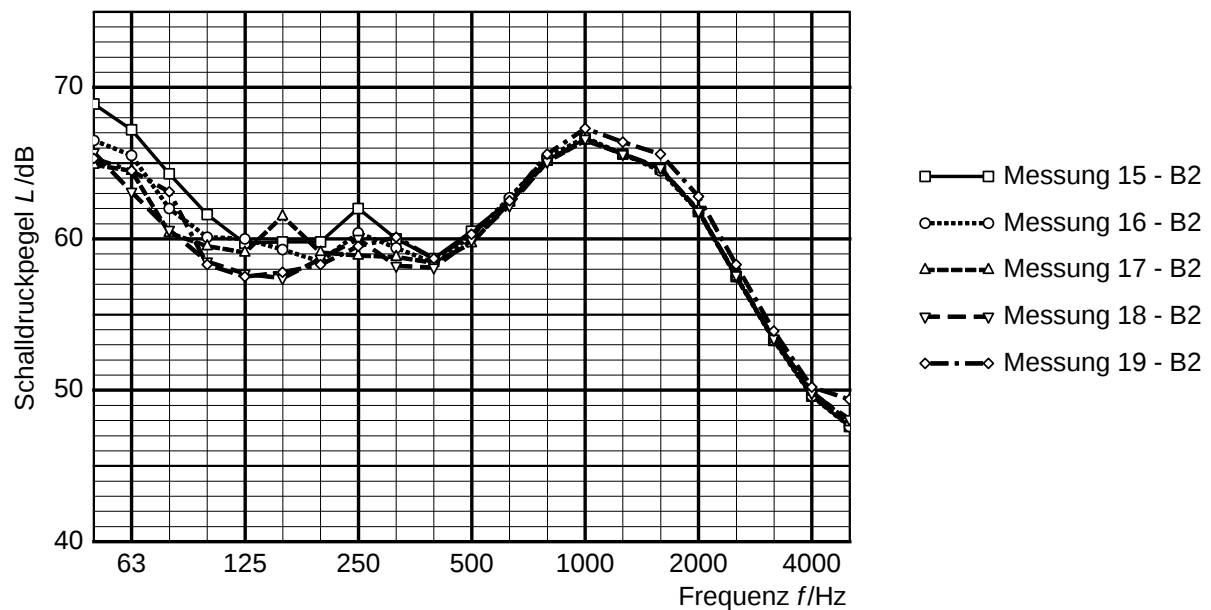


Abbildung 21: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition B2

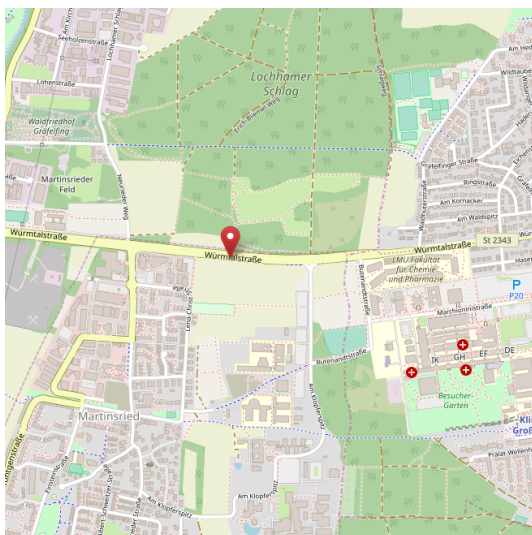
Aufgrund von starkem Wind bei Messung 15 und der augenfälligen Abweichung dieses Spektrums wurde dieses von der weiteren Berechnung ausgenommen.

5.3.5 Messposition Würmtalstraße

Tabelle 20: Lage & Fotos – Messposition Würmtalstraße



Panorama der Messposition; Blickrichtung Norden



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Messaufbau

Die Messung wurde durchgeführt auf einem Fuß- und Radweg an der Würmtalstraße zwischen Martinsried und Großhadern. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 6m vom Fahrbahnrand entfernt. Der Weg wurde gelegentlich von Fuß- und Radverkehr genutzt.

Tabelle 21: Messprotokoll - Messposition Würmtalstraße

Messzeitpunkt	21.02.2019 4 Messungen zwischen 13:41 und 15:09		
Lage	Würmtalstraße zwischen Martinsried und Großhadern		
Koordinaten	48.114370, 11.457204		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	13-14,6
80 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	47,1-49,4
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	962
2 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0,1-3,5
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Guter Zustand, keine Neigung (=0%)		Bewölkt, trocken, leichter Wind	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	310
20 Minuten		Schwerverkehr	12 (4%)

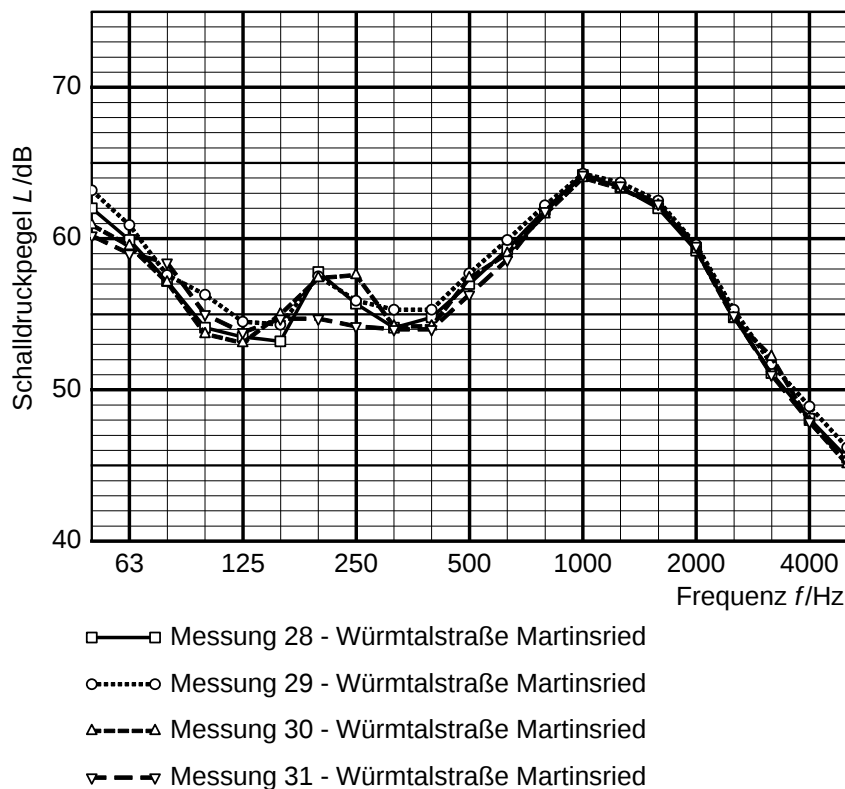


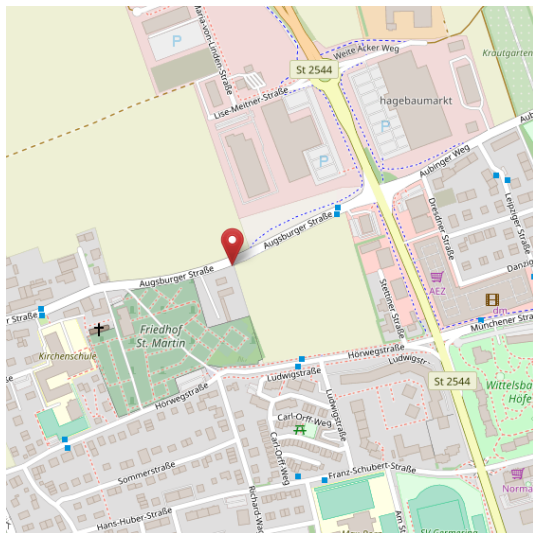
Abbildung 22: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Würmtalstraße

5.3.6 Messposition Augsburgur Straße

Tabelle 22: Lage & Fotos – Messposition Augsburgur Straße



Panorama der Messposition, Blickrichtung Norden



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Ansicht Messaufbau aus Nordost

Die Messung wurde durchgeführt neben einem Fuß- und Radweg an der Augsburgur Straße in Germering. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 6,5m vom Fahrbahnrand entfernt. Der Weg wurde gelegentlich von Fuß- und Radverkehr genutzt.

Tabelle 23: Messprotokoll - Messposition Augsburger Straße

Messzeitpunkt	18.02.2019 4 Messungen zwischen 10:23 und 11:49		
Lage	Augsburger Straße, Germering		
Koordinaten	48.138243, 11.368475		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	7,2-9,7
50 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	41-46,4
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	958
1 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0-1
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Guter Zustand, keine Neigung (<1%)		Kühl, trocken, blauer Himmel	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	108
20 Minuten (1x18)		Schwerverkehr	5 (4%)

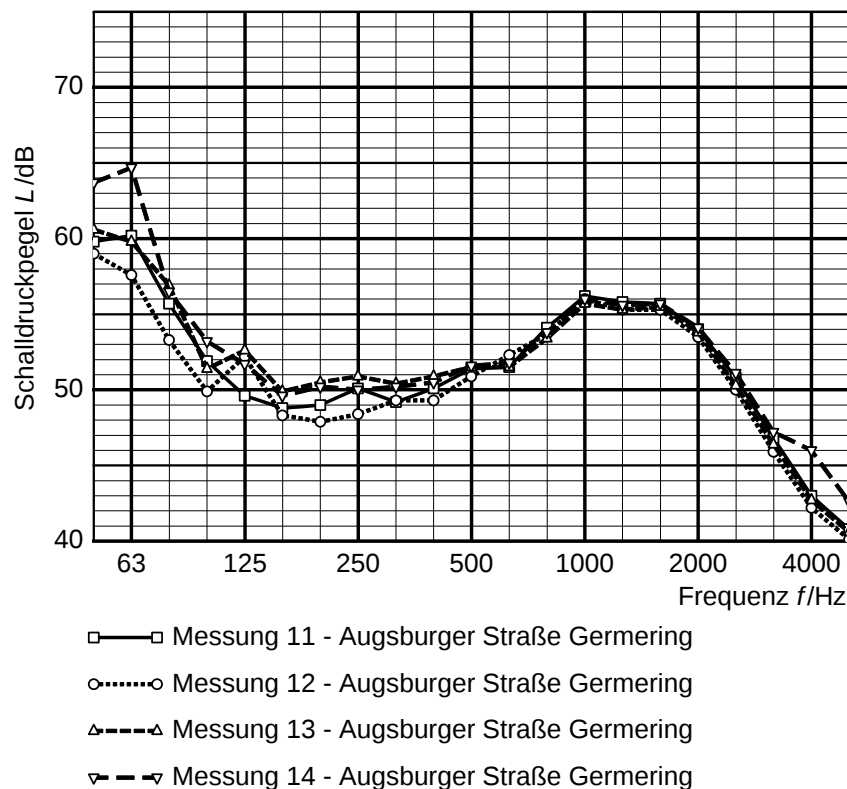


Abbildung 23: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Augsburger Straße

5.3.7 Messposition Landsberger Straße

Tabelle 24: Lage & Fotos – Messposition Landsberger Straße



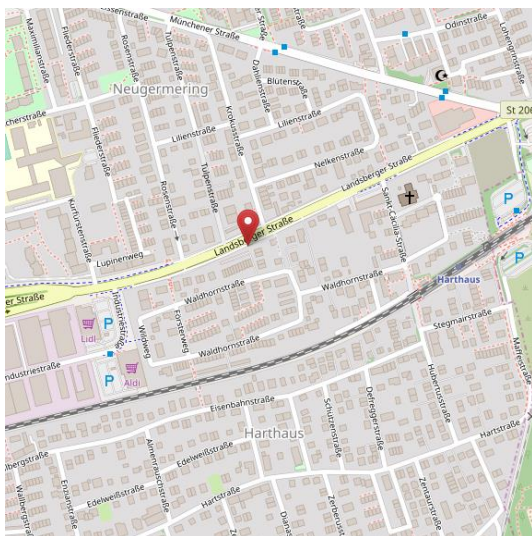
Blick Richtung West

Notiz: Die gemessene Straße befindet sich hinter der kleinen Hecke



Blick Richtung Ost

Notiz: Die gemessene Straße befindet sich hinter der kleinen Hecke



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Gelb: Messstelle; Rot: Landsberger Str.

[Google Maps, Google <https://www.google.de/maps/>]

Die Messung wurde durchgeführt auf einer Erschließungsstraße an der Landsberger Straße in Germering. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 7,5m vom Fahrbahnrand entfernt. Der Weg wurde gelegentlich von Fuß- und Radverkehr sowie vereinzelt von PKW genutzt.

Tabelle 25: Messprotokoll - Messposition Landsberger Straße

Messzeitpunkt	20.02.2019 4 Messungen zwischen 10:10 und 11:43		
Lage	Landsberger Straße, Germering		
Koordinaten	48.133752, 11.382760		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	9,5-10,1
50 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	55,7-62,5
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	960
1 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Zustand ok, keine Neigung (=0%)		Kühl, bewölkt, windstill	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	260
20 Minuten		Schwerverkehr	10 (4%)

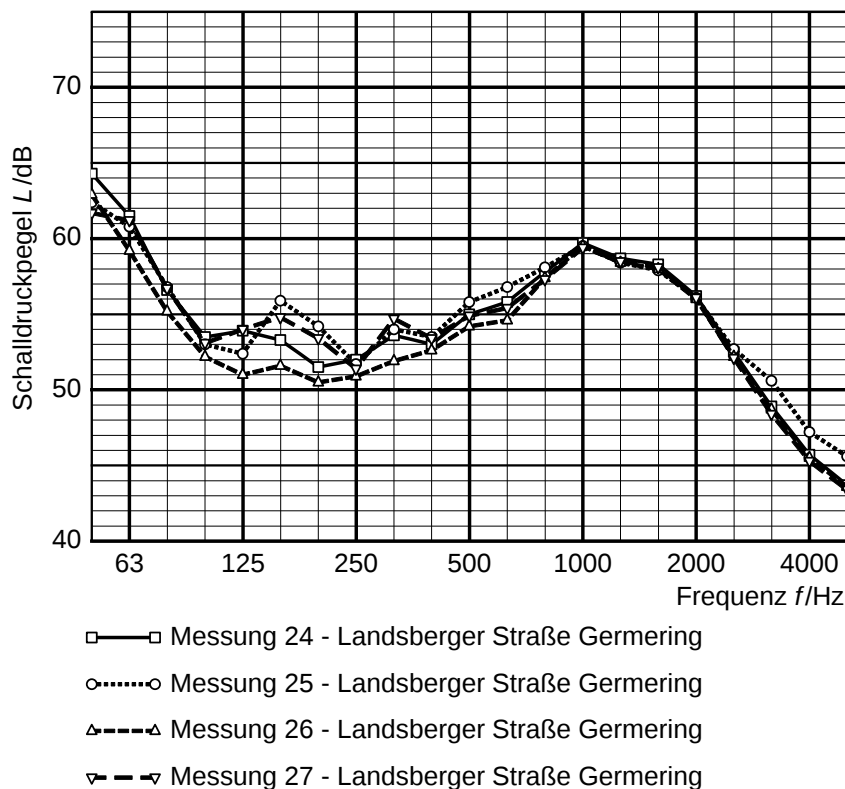


Abbildung 24: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Landsberger Straße

Während Messung 25 war in der näheren Umgebung eine Motorsäge zu hören. Da diese Messung an vielen Stellen von den anderen abweicht, wurde sie letztlich nicht berücksichtigt.

5.3.8 Messposition Gabelsbergerstraße

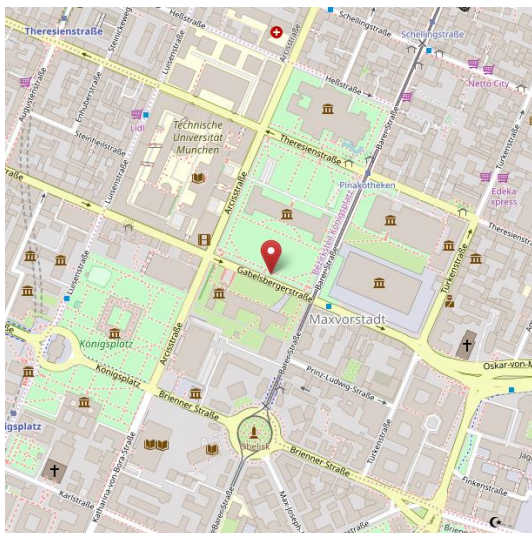
Tabelle 26: Lage & Fotos – Messposition Gabelsbergerstraße



Blickrichtung Ost



Blickrichtung West



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Schallpegelmessgerät
im Hintergrund TU München

Die Messung wurde durchgeführt auf dem Fußweg an der Gabelsbergerstraße in München. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 5m vom Fahrbahnrand entfernt. Der Weg wurde gelegentlich von Fuß- und Radverkehr genutzt. In Fahrtrichtung befindet sich eine Kreuzung mit Lichtsignalanlage in ungefähr 100 m Entfernung.

Tabelle 27: Messprotokoll - Messposition Gabelsbergerstraße

Messzeitpunkt	26.02.2019 5 Messungen zwischen 10:00 und 11:49		
Lage	Gabelsbergerstraße, München vor Alten Pinakothek		
Koordinaten	48.147290, 11.569550		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	12,2-17,7
50 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	39,4-50,4
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	972
3 (Einbahnstraße)		Windgeschwindigkeit [m/s]	0-1,1
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Leichte Fehlstellen, keine Neigung (<1%)		Sonnig, kaum Wind, trocken	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	276
20 Minuten (1x16)		Schwerverkehr	17 (6%)

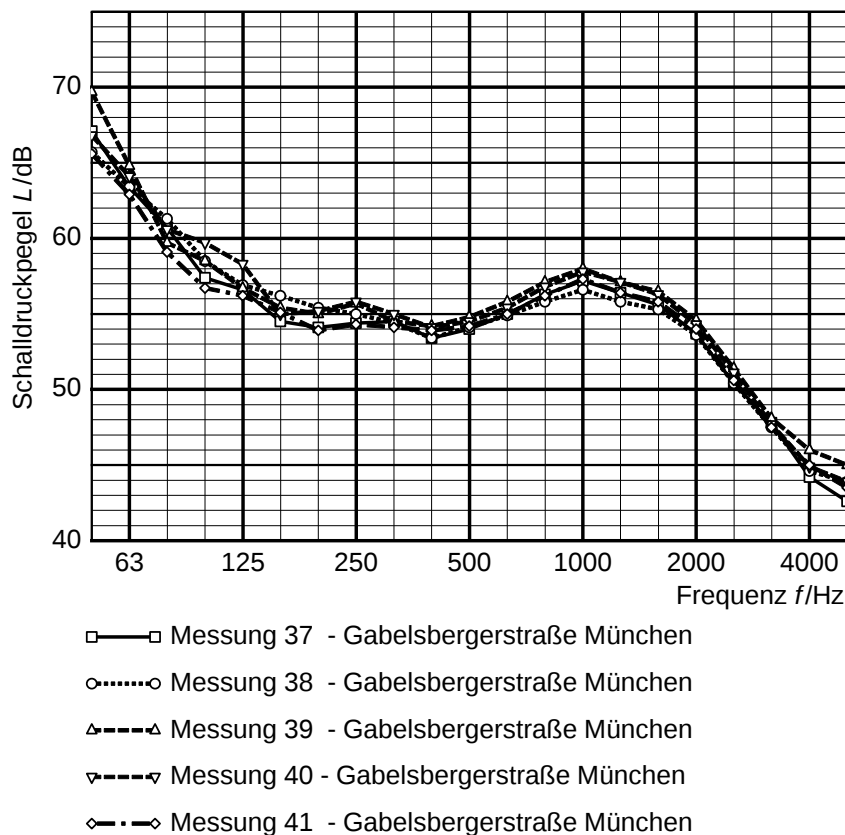


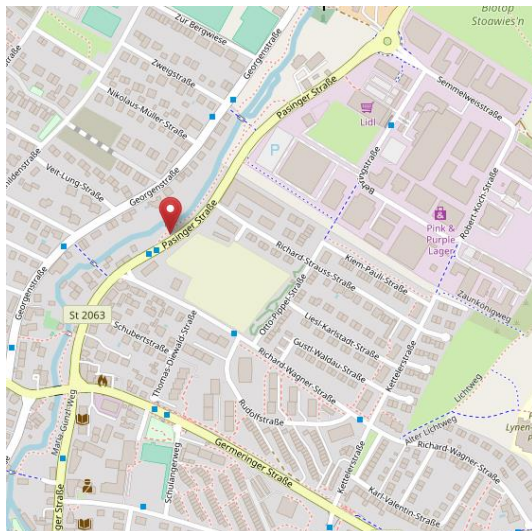
Abbildung 25: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Gabelsbergerstraße

5.3.9 Messposition Pasinger Straße

Tabelle 28: Lage & Fotos – Messposition Pasinger Straße



Panorama Blickrichtung Ost



Lage der Messstelle

[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende
<https://www.openstreetmap.org>]



Messaufbau

Die Messung wurde durchgeführt auf einer Grünfläche an der Pasinger Straße in Planegg. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 6m vom Fahrbahnrand entfernt.

Tabelle 29: Messprotokoll - Messposition Pasinger Straße

Messzeitpunkt	26.02.2019 5 Messungen zwischen 14:20 und 16:09		
Lage	Pasinger Straße, Planegg		
Koordinaten	48.108181, 11.425916		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	21,4-17,2
50 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	27,8-38,2
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	967
1 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0-0,7
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Zustand ok, keine Neigung (<1%)		Warm, sonnig	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	311
20 Minuten		Schwerverkehr	12 (4%)

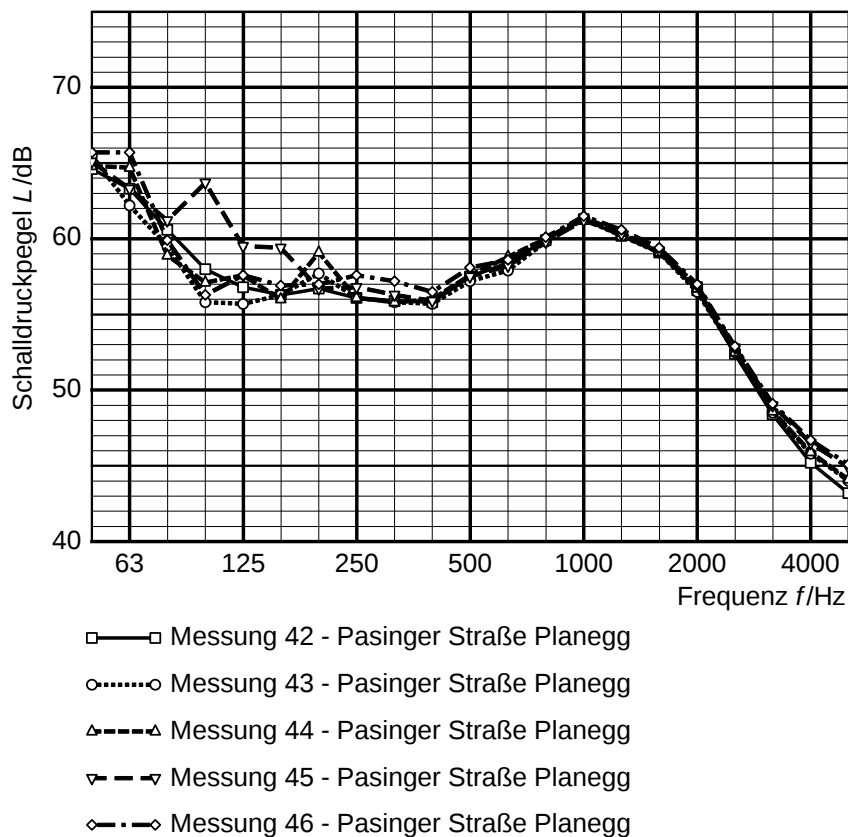
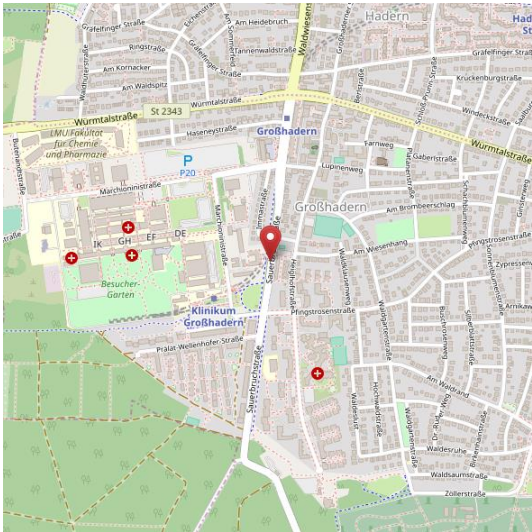


Abbildung 26: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Pasinger Straße

Erkennbar ist der Verlauf von Messung 45 zwischen 80 und 160 Hz deutlich abweichend zum Rest der Spektren. Eine plausible Erklärung hierfür war nicht zu finden.

5.3.10 Messposition Sauerbruchstraße

Tabelle 30: Lage & Fotos – Messposition Sauerbruchstraße

	
Blickrichtung Norden	Blickrichtung Süden
	
Lage der Messstelle	Messaufbau
[OpenStreetMap, OpenStreetMap-Mitwirkende https://www.openstreetmap.org]	

Die Messung wurde durchgeführt auf einer Grünfläche an der Sauerbruchstraße in Großhadern. Die Mikrofonposition war in 4m Höhe auf einem entsprechenden Stativ, etwa 7,5m vom Fahrbahnrand entfernt. Aufgrund der optischen Abschirmung der Messstelle zur Straße durch den Bewuchs und den Parkplatz, wurde die Messung von nahezu keinem Fahrer wahrgenommen. Dadurch wurden hier vom Fahrverhalten unverfälschte Spektren gemessen.

Tabelle 31: Messprotokoll - Messposition Sauerbruchstraße

Messzeitpunkt	27.02.2019 5 Messungen zwischen 10.15 und 12:06		
Lage	Sauerbruchstraße, Großhadern		
Koordinaten	48.110243, 11.476267		
Zulässige Geschwindigkeit		Temperatur [°C]	14,1-18,6
50 km/h		Relative Luftfeuchte [%]	27,2-40,3
Fahrstreifen		Luftdruck [hPa]	963
1 je Richtung		Windgeschwindigkeit [m/s]	0-0,6
Fahrbahn Zustand & Neigung		Beschreibung der Witterung	
Zustand ok, keine Neigung (<1%)		Warm, trocken, blauer Himmel	
Messdauer	Verkehrszählung Mittelwert	Leichtverkehr	297
20 Minuten		Schwerverkehr	5 (2%)

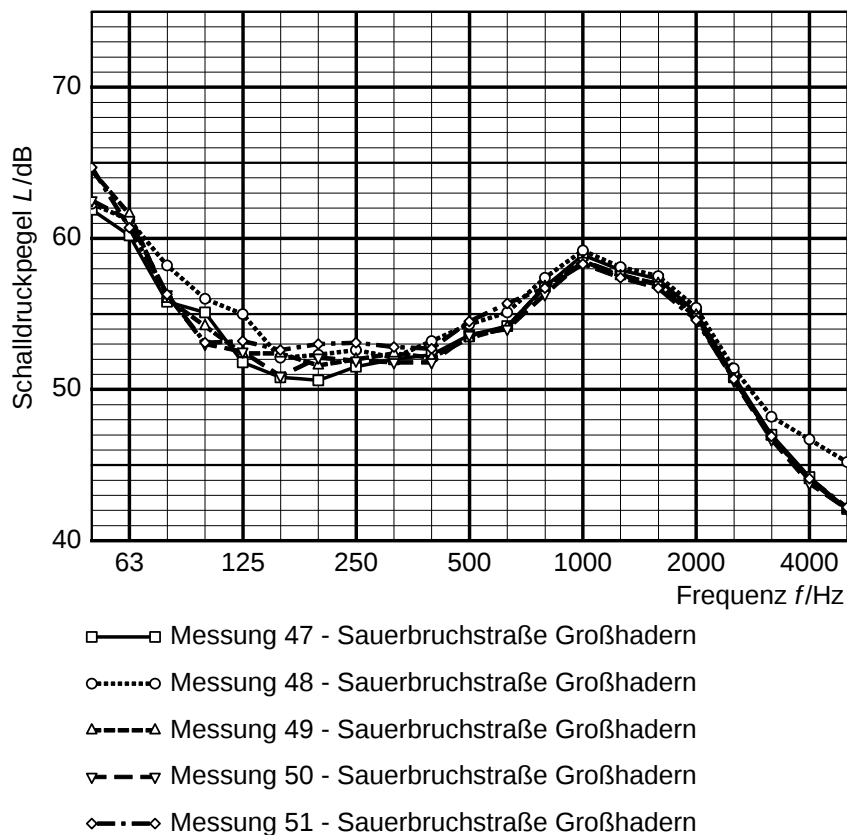


Abbildung 27: Gemessene Spektren – unbewertet – Messposition Sauerbruchstraße

6 Analyse und Vergleich der Messergebnisse

6.1 Allgemeine Beobachtungen

6.1.1 Typische Verkehrsspektren

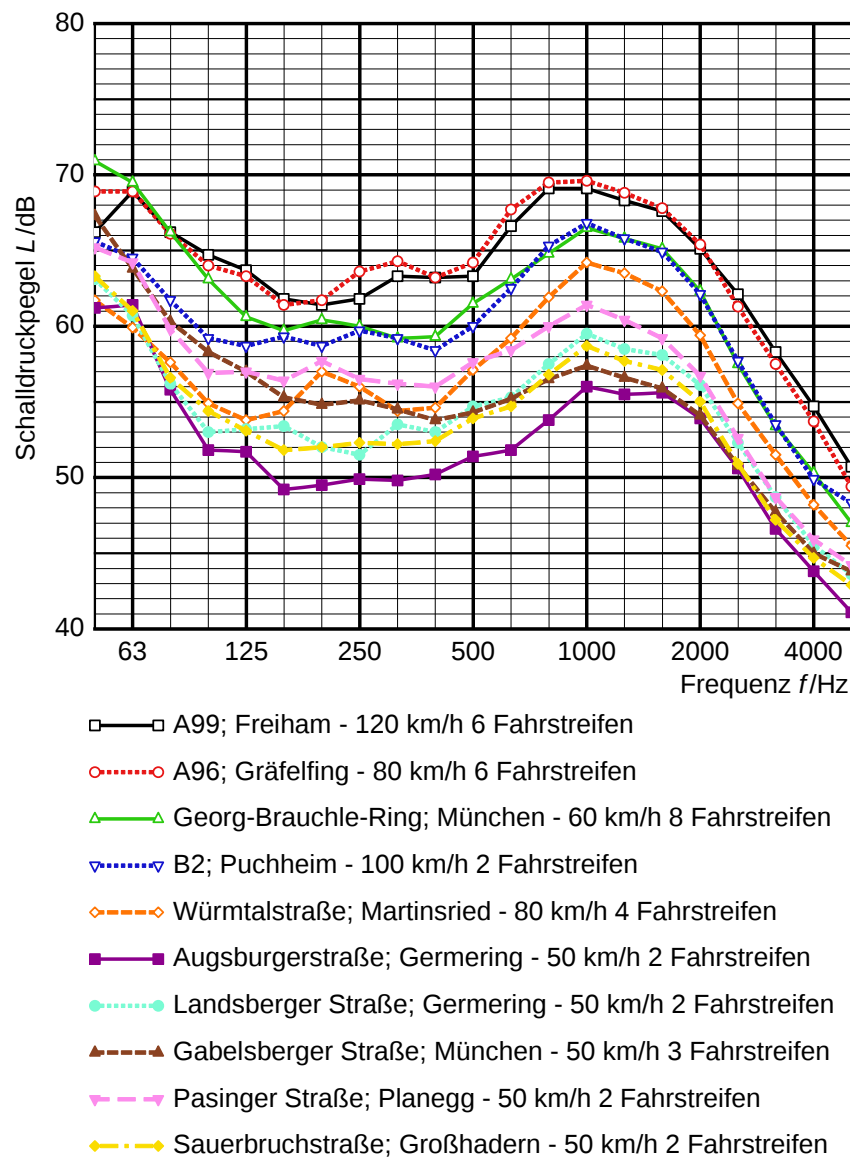


Abbildung 28: Gemessene, unbewertete Spektren an den zehn Standorten

Offenbar gibt es einen typischen Frequenzverlauf für Straßenverkehrslärm. Dabei gibt es Maxima unterhalb von 100 Hz und zwischen 630 und 1600 Hz. Im Bereich zwischen 100 Hz und 630 Hz sind die Schalldruckpegel geringer. Ab 1600 Hz sinken die gemessenen Pegel deutlich.

Manche Kurven (z.B. rot und blau, gepunktet) sind bei tiefen Frequenzen und um 1000 Hz etwa gleich laut. Die betreffenden Straßen sind Autobahnen und Schnellstraßen. Andere (z.B. grün und violett) starten bei tiefen Frequenzen 5 dB über dem Wert, den sie um 1000 Hz erreichen. Dies ist der Fall bei innerstädtischen Straßen. Die braune gestrichelte Kurve gehört zur Messung an der Gabelsbergerstraße mit deutlichem Kreuzungseinfluss. Sie ist tieffrequent um 10 dB lauter als bei 1000 Hz. Die spektrale Zusammensetzung scheint also stark geschwindigkeitsabhängig zu sein.

Die Straßen mit dem höchsten Verkehrsaufkommen sind auch am lautesten. Die Kurven mit den höchsten Pegeln gehören zu den Straßen, wo die größten Verkehrszahlen gezählt wurden.

6.1.2 Kreuzungseinfluss

Die RLS-90 setzen für Beurteilungspegel in einer Entfernung zu Kreuzungen bis 100 m einen Lästigkeitszuschlag an. Darüber hinaus wird der Einfluss vernachlässigt.

Tatsächlich ist der Einfluss einer lichtsignalanlagengeregelten Kreuzung aber auch abhängig von der vorliegenden Verkehrsstärke und der Anzahl an Fahrstreifen. Der Rückstau an der Messposition Gabelsbergerstraße erreichte beispielsweise öfter eine Länge von über 100 m zur Kreuzung bei etwa 900 Fahrzeugen pro Stunde auf drei Fahrstreifen verteilt. Das entspricht einem DTV von 15000.

Dadurch treten nicht nur Brems- und Beschleunigungsvorgänge verstärkt auf, sondern auch andere Fahrsituationen, wie „lift and coast“ also das ausrollen lassen des Fahrzeuges oder Motorbremsvorgänge. Die Änderungen im Fahrverhalten haben freilich Auswirkungen auf die Schallemissionen des Straßenverkehrs. Besonders Schwerverkehr erzeugt hier durch die Druckluftbremsen und hohe geforderte Motorleistung beim Anfahren Geräusche, die im fließenden Verkehr eher unüblich sind.

6.2 Vergleich mit Vorgängerarbeit von Fischer 2018

Nachfolgend sind Spektren aus eigenen Messungen in schwarz dargestellt. Blaue Spektren stammen aus der Vorgängerarbeit [9] von Isabel Fischer, rote Spektren aus dem Untersuchungsbericht [5] des Ingenieurbüro Moll.

6.2.1 Autobahn

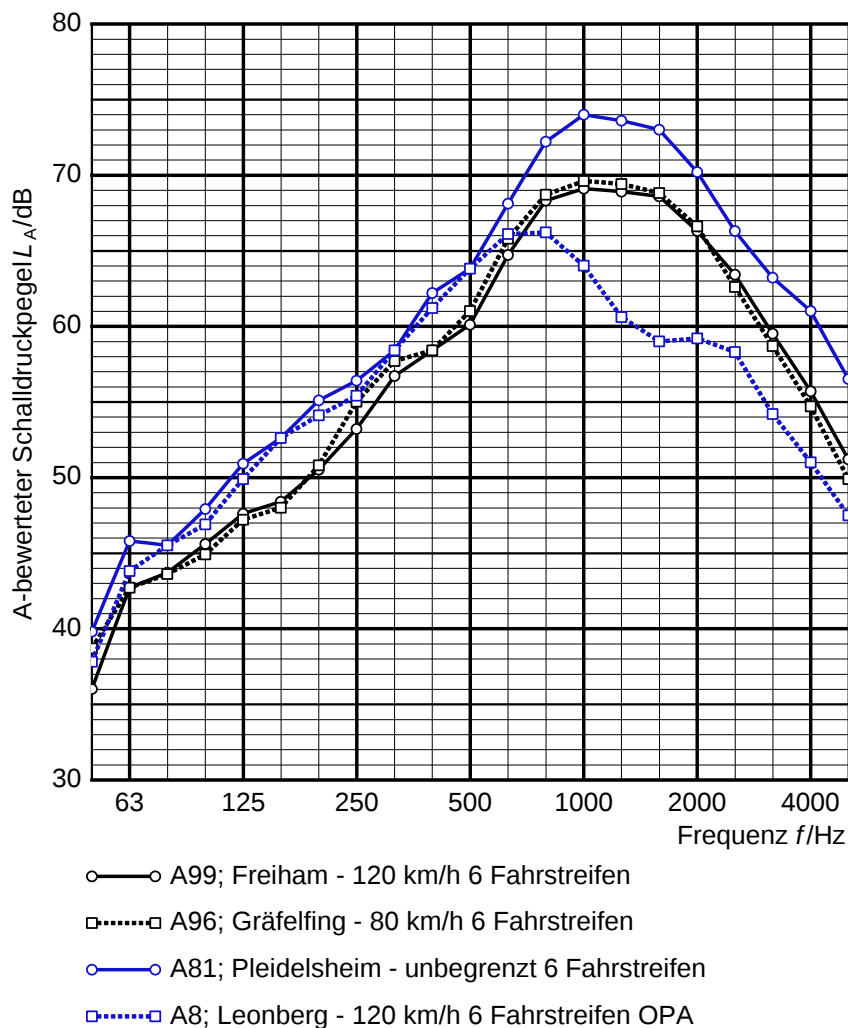


Abbildung 29: Verkehrslärmspektren Autobahn - A-bewertet

Für die Autobahnspektren ist ein typischer Verlauf zu erkennen (Abbildung 29). Lediglich offenporiger Asphalt hat einen abweichenden Verlauf. Im Fall der Autobahn A81 ohne Tempolimit ist die gesamte Kurve nach oben verschoben, durch die höheren Fahrgeschwindigkeiten und Verkehrsstärken. (~2750 Fahrzeuge in 20 Minuten statt ~1500 / 2000 bei A99 und A96)

Daraus ergibt sich eine gute spektrale Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Autobahn Messungen, wie aus Abbildung 30 hervorgeht.

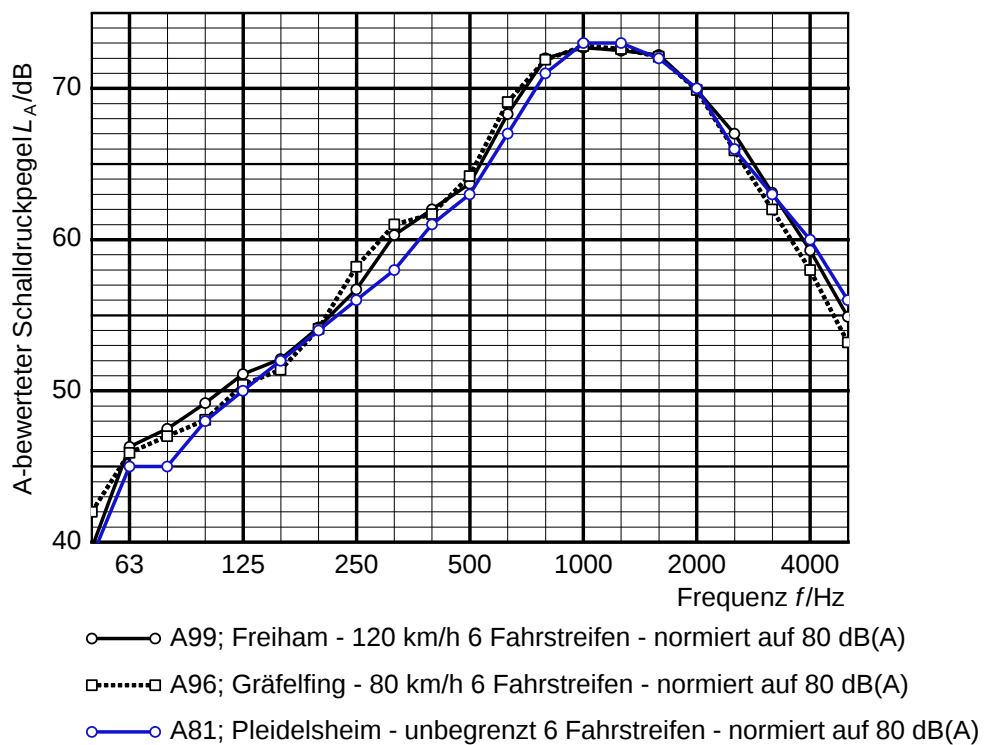


Abbildung 30: Verkehrslärmspektren Autobahn – normiert auf 80 dB(A)

Normiert fällt auf, dass das Spektrum der schnelleren Straße (A81) minimal hochfrequenter ist. Ein Effekt, der wohl durch Reifengeräusche und vor allem Luft Verwirbelungen an den Fahrzeugen zu erklären ist, da dort keine Geschwindigkeitsbegrenzung vorhanden war. Insgesamt zeichnet sich aber ein typisches Spektrum für Autobahnen ab.

6.2.2 Schnellstraße

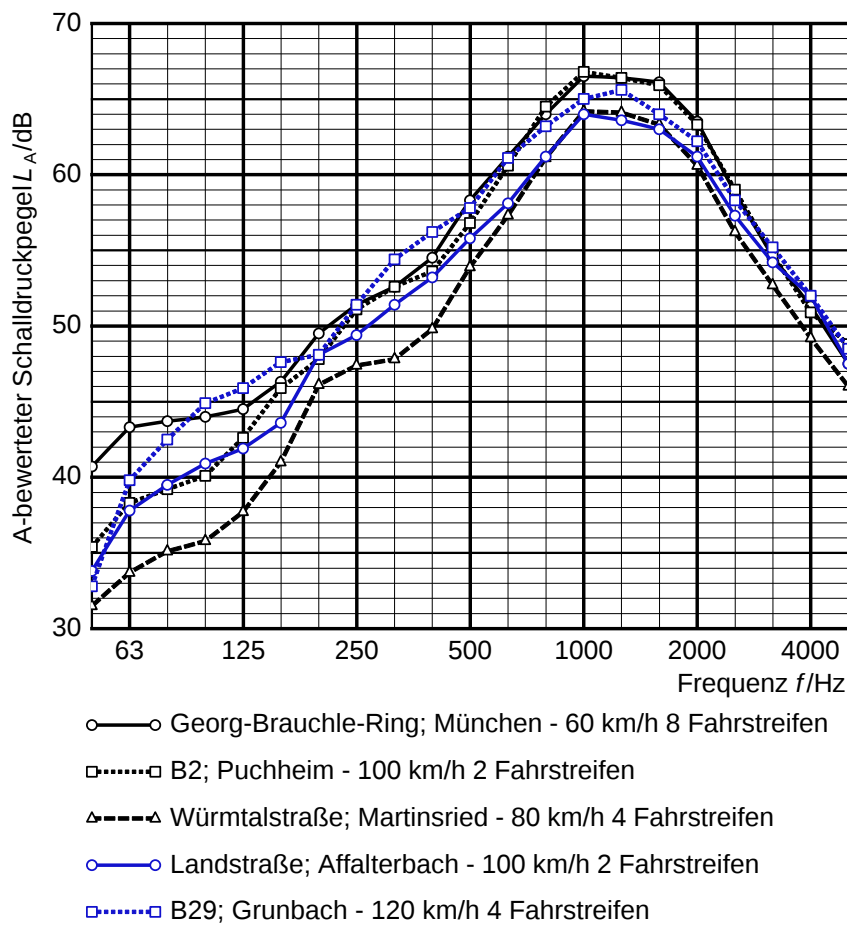


Abbildung 31: Verkehrslärmspektren Schnellstraße - A-bewertet

Auf den ersten Blick (Abbildung 31) haben die Spektren der Schnellstraße eine höhere Varianz als die vorangegangenen Autobahn-Spektren, besonders unterhalb von 500 Hz. Dort treten Differenzen von bis zu 9 dB(A) zwischen verschiedenen Straßensituationen auf. Oberhalb von etwa 1000 Hz befinden sich alle Spektren in einem Bereich von 3 dB(A).

Allerdings weisen die gemessenen Straßen auch unterschiedliche Geschwindigkeiten (von 60 bis 120 km/h), Querschnitte (2, 4 oder 8 Fahrstreifen) und Verkehrsstärken (350 bis 2500 Fahrzeuge je Messzeitraum) auf, eine deutlich weitere Streuung der Randbedingungen als bei den Messungen an Autobahnen oder Stadtstraßen.

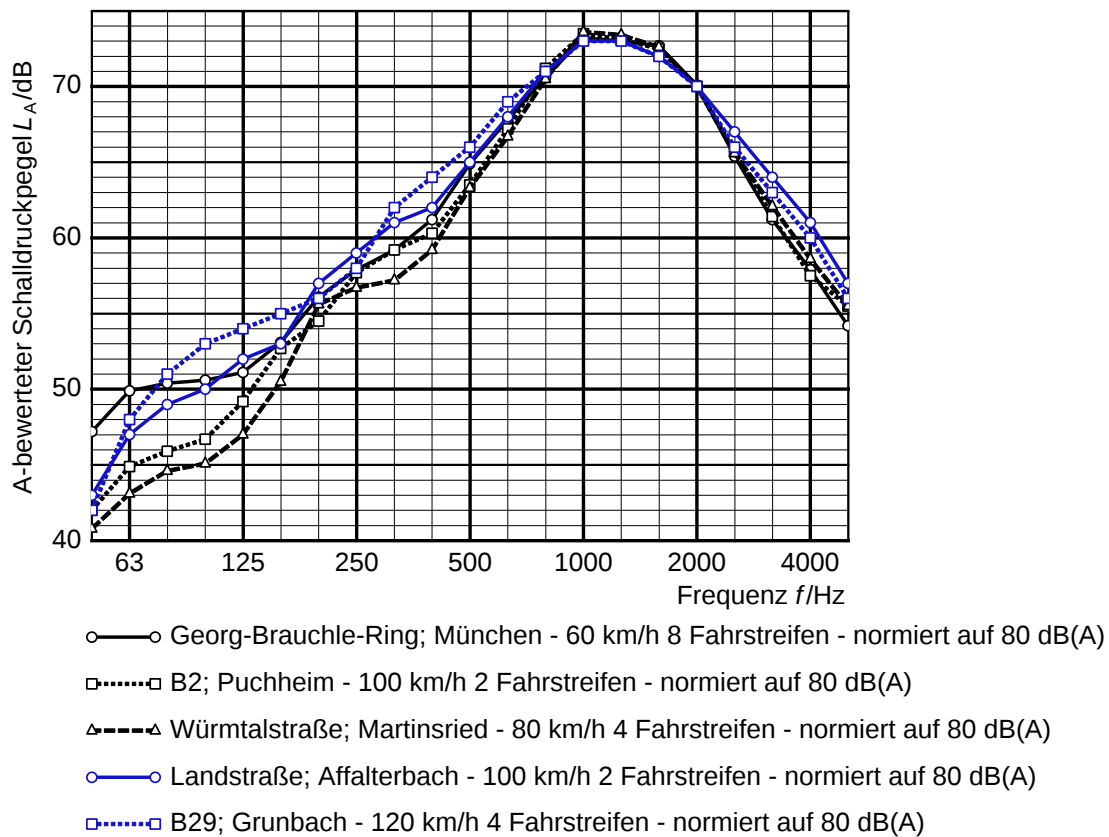


Abbildung 32: Verkehrslärmspektren Schnellstraße - normiert auf 80 dB(A)

Die Kurven folgen wieder einem typischen Muster, mit dem Maximum zwischen 800 und 2000 Hz.

Es ist auffällig, dass beide im Sommer aufgenommenen Spektren sowohl im tieffrequenten (50-630 Hz), als auch im hochfrequenten (>2500 Hz) Bereich lauter sind als die Messungen aus dem Winterhalbjahr.

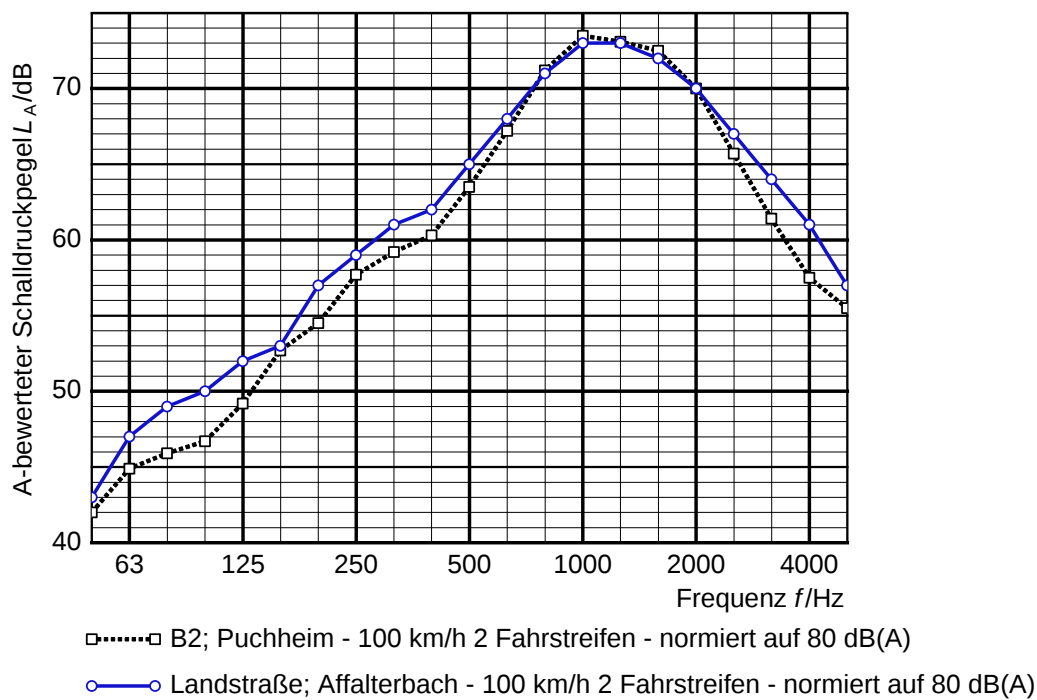


Abbildung 33: Vergleich zweier ähnlicher Straßensituationen

Vergleicht man nur die Messstellen an der B2 bei Puchheim und an der Landstraße zwischen Affalterbach und Schwaikheim miteinander, wird oben beschriebene Abweichung noch deutlicher. Die Differenz liegt im Bereich von 2 bis 3 dB. Dabei weisen beide Messstellen etwa den gleichen Querschnitt, die gleiche Geschwindigkeitsbegrenzung, sowie eine ähnliche Anzahl Fahrzeuge auf.

Vermutlich liegt hier die Verwendung von Winter- und Sommerreifen zugrunde, die unterschiedlich Schall abstrahlen.

6.2.3 Stadtstraße

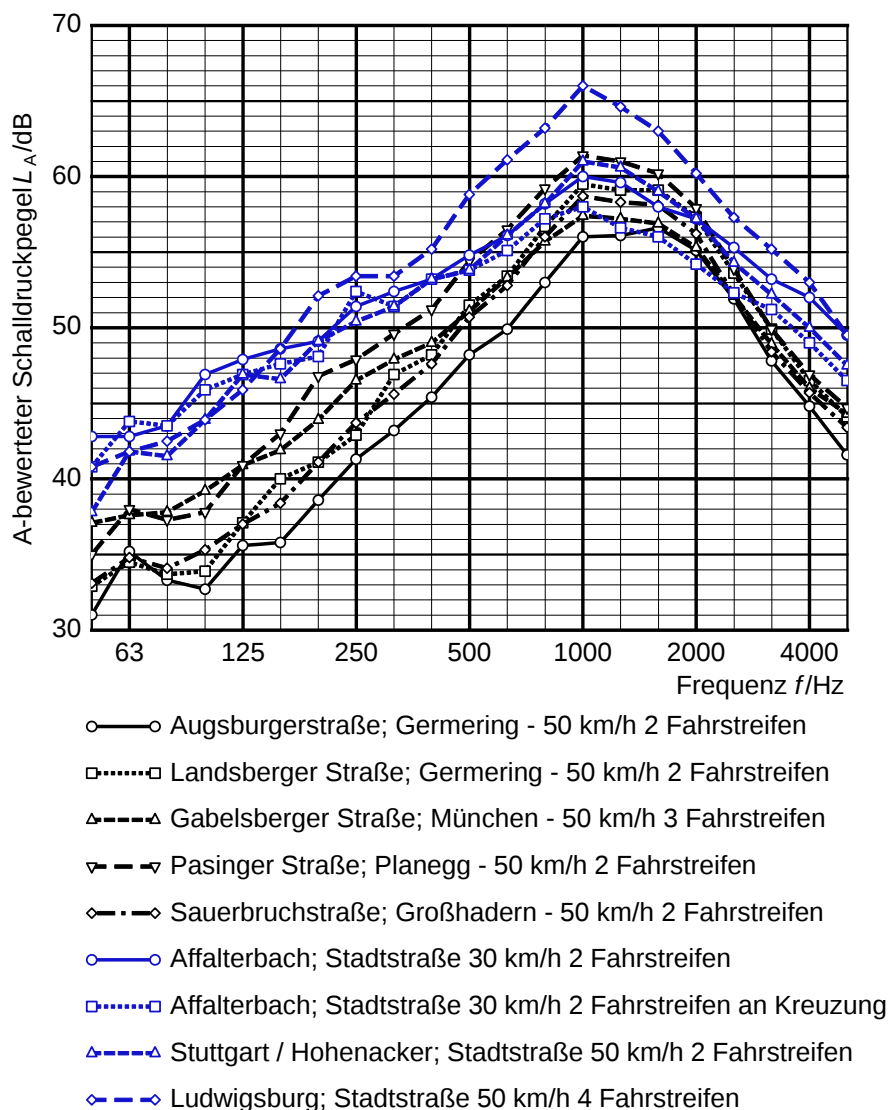


Abbildung 34: Verkehrslärmspektren Innerstädtisch - A-bewertet

Auch die gemessenen Spektren für Stadtstraßen verlaufen grundsätzlich ähnlich zu den Schnellstraßen und Autobahnen. Hier sind vor allem die Verkehrsstärke, die umgebende Bebauung und der Verkehrsfluss beeinflussend für die Frequenzzusammensetzung.

Was sich bei den Schnellstraßen schon abzeichnete, ist an den innerstädtischen Straßen ein auffälliger Unterschied. Die im Winter gemessenen Verkehrsspektren sind bis 500 Hz leiser als die Messungen im Sommer. Das gilt ebenso über 2000 Hz, wenn auch weniger ausgeprägt.

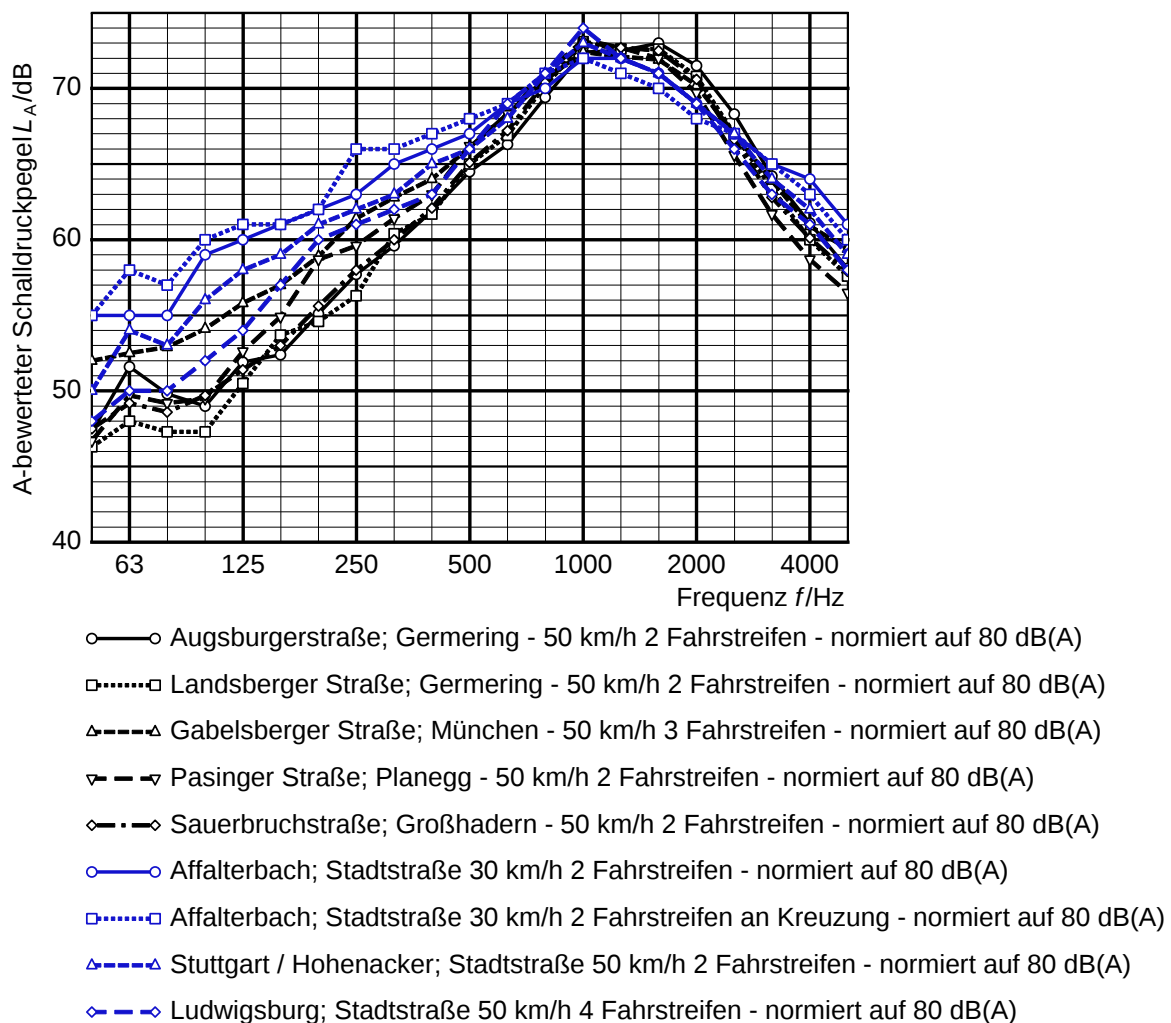


Abbildung 35: Verkehrslärmspektren Innerstädtisch - normiert auf 80 dB(A)

Normiert ist sichtbar, wie sehr tieffrequenter die im Sommer gemessenen Spektren sind. Ab etwa 630 Hz abwärts fächern sich die Kurven auf, von 1000 bis 2000 Hz sind die winterlichen Messungen etwas präsenter.

Mögliche Einflussfaktoren für dieses Phänomen sind.

- Bereifung: Winterreifen & Sommerreifen
- Motoren: Kältere Ansauglufttemperatur begünstigt Motorleistung
- Reflexion: Aus der Fotodokumentation ist erkennbar, dass bei den sommerlichen Messungen in den meisten Fällen näher an der Straße Bebauung vorhanden war, als bei den im Winter durchgeführten.

Allerdings ist auch hier festzuhalten, dass Verkehrszahlen und SV-Anteile bei einigen der im Sommer durchgeführten Messungen signifikant höher lagen als bei den im Winter durchgeführten.

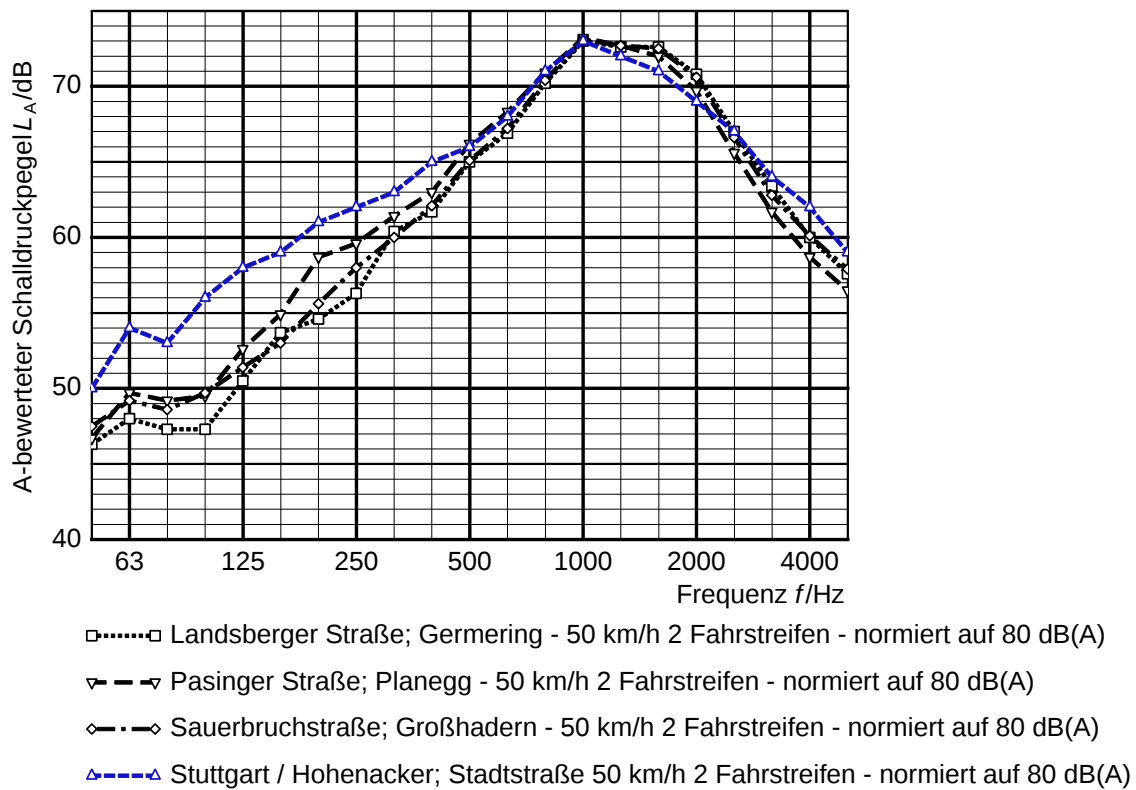


Abbildung 36: Vergleich von vier ähnlichen Verkehrssituationen innerstädtisch

Die in Abbildung 36 ausgewählten Spektren sind alle bei ähnlichen Verkehrsstärken um 900 Fahrzeuge pro Stunde auf ähnlichen Querschnitten durchgeführt worden. Dennoch sieht man die Abweichung im Bereich von 50 bis 500 Hz. Die Messstelle Sauerbruchstraße unterscheidet sich insofern von den anderen winterlichen Messungen, als das auf der gegenüberliegenden Straßenseite eine schallreflektierende Fassade vorhanden war, analog zu den Messungen aus Stuttgart. Jedoch war hier ein sehr geringer SV-Anteil zu vermerken

6.3 Vergleich mit Untersuchungsbericht von Moll 1985

Der Untersuchungsbericht zur „Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile“ enthält Straßenverkehrsspektren die gruppiert und gemittelt wurden zu den Straßentypen:

- Bundesautobahn
- Schnellstraßen
- Stadtstraßen
 - Straßen mit offener Bebauung
 - Straßen mit geschlossener Bebauung

Analog dazu wurden die selbst ermittelten Spektren und Spektren aus der Arbeit von Fischer, 2018 zusammengefasst und gemittelt. Nachfolgend sind jeweils die A-bewerteten Absolut-Pegel, sowie auf 80 dB(A) normierte Spektren gegenübergestellt, um Veränderungen bei den Verkehrslärmpegeln und in der spektralen Zusammensetzung erkennen zu können.

Leider sind zu keinem der Spektren aus dem Bericht von Moll die vorliegenden Verkehrszahlen oder andere Umwelteinflüsse bekannt. Das erschwert die Diskussion der Ergebnisse etwas.

6.3.1 Autobahn

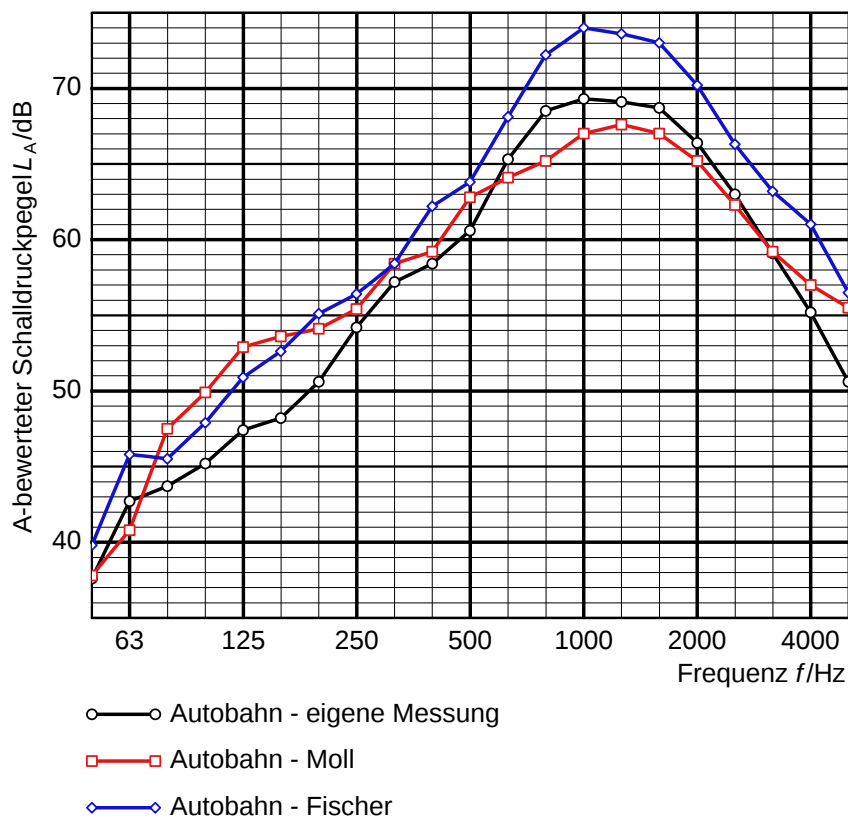


Abbildung 37: Mittelwertspektren von Autobahnen – A-bewertet

Als einziger untersuchter Straßentyp haben Autobahnen insgesamt in ihrer Schallabstrahlung zugenommen seit den Untersuchungen in den 80er Jahren. Besonders Frequenzen von ~ 500 Hertz aufwärts haben zugelegt. Diese Frequenzen sind eher den Reifen sowie Windgeräuschen zuzuschreiben. Währenddessen hat der Lärm um 125 Hz abgenommen. Dort wurden vor allem Motorengeräusche durch bessere Kapselung, Entdröhnung und Getriebe mit mehr Fahrstufen abgedämpft.

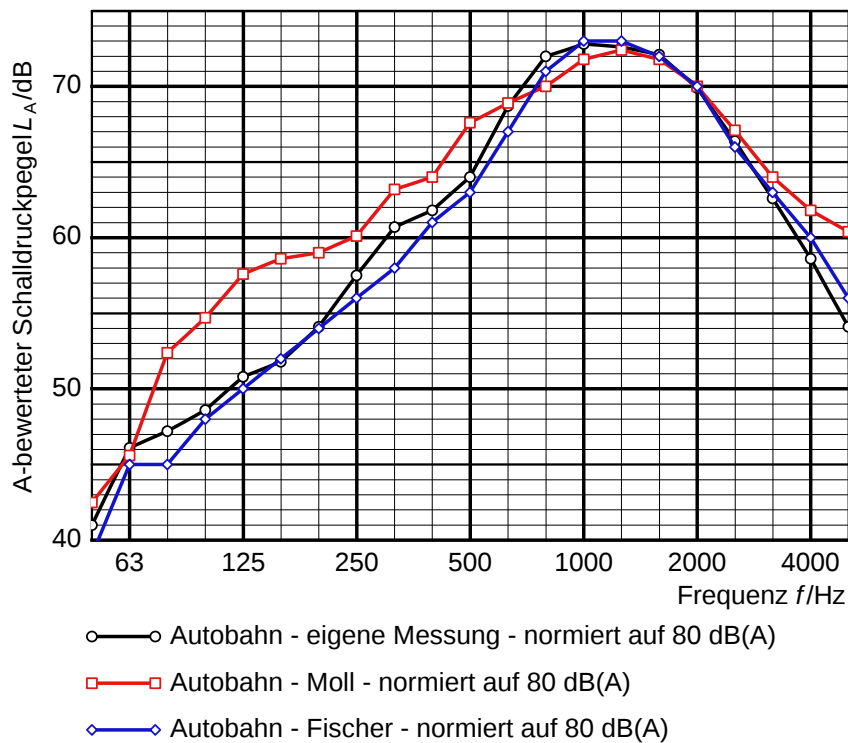


Abbildung 38: Mittelwertspektren von Autobahnen - normiert auf 80 dB(A)

Seit 1985 ist der Pegel unterhalb von 500 Hertz relativ weit abgesenkt worden. Die größte Differenz tritt auf bei 125 Hz. Dort ist das von Moll gemessene Spektrum ca. 6 dB lauter. Im oberen Frequenzbereich liegt die von Moll ermittelte Kurve wieder über den neuen Spektren. Hier kommt die Aerodynamik zu tragen, wobei durch Verwirbelungen der Luft an den Karosserieteilen Schall entsteht. Die Luftwiderstände wurden nicht zuletzt aus Gründen der Effizienz immer weiter gesenkt in den letzten Jahren.

6.3.2 Schnellstraße/Stadtautobahn

Als Schnellstraße wurden im Forschungsbericht des Akustik-Ingenieurbüros Moll von 1985 Messungen am Berliner Stadtring herangezogen. Deshalb sind diese dort teilweise als Stadtautobahn gekennzeichnet. Zum Vergleich ist in die Diagramme nun ebenso das Spektrum am Mittleren Ring in München eingezeichnet, welcher einer Stadtautobahn mindestens ähnelt.

Der Berliner Stadtring ist mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h vermerkt, während am mittleren Ring eine Beschränkung auf 60 km/h vorliegt.

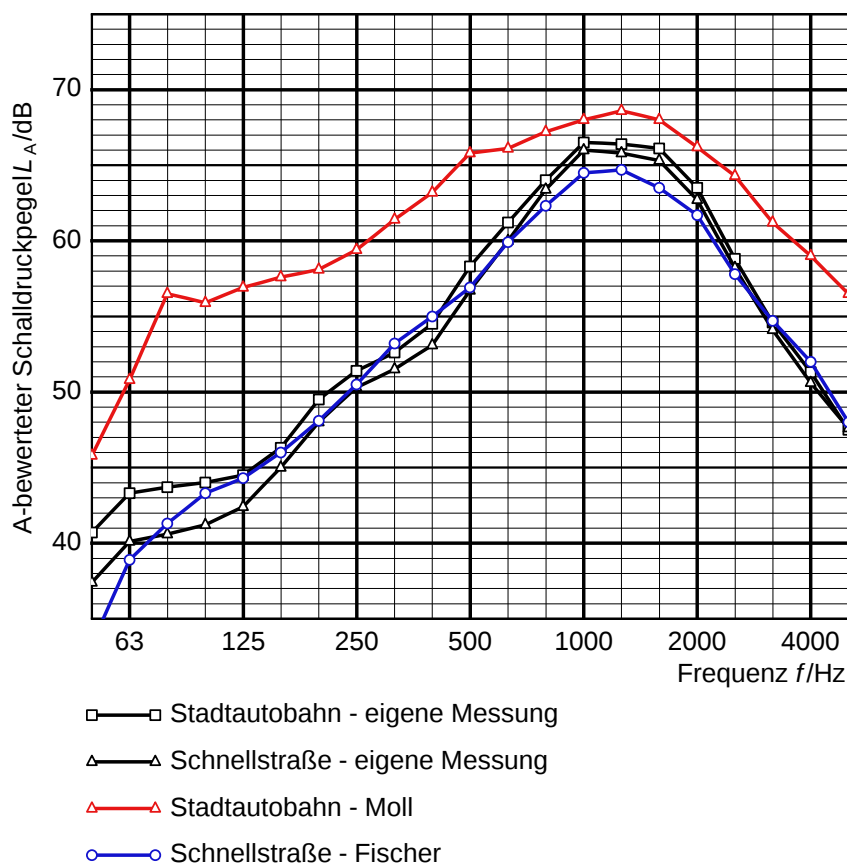


Abbildung 39: Mittelwertspektren von Schnellstraßen - A-bewertet

Aus den absoluten Ergebnissen wird schnell klar, dass sich die absoluten Pegel und die spektrale Verteilung stark verändert haben. Die von Moll gemessene Stadtautobahn ist über den gesamten Frequenzbereich lauter als die Messungen von 2018 und 2019.

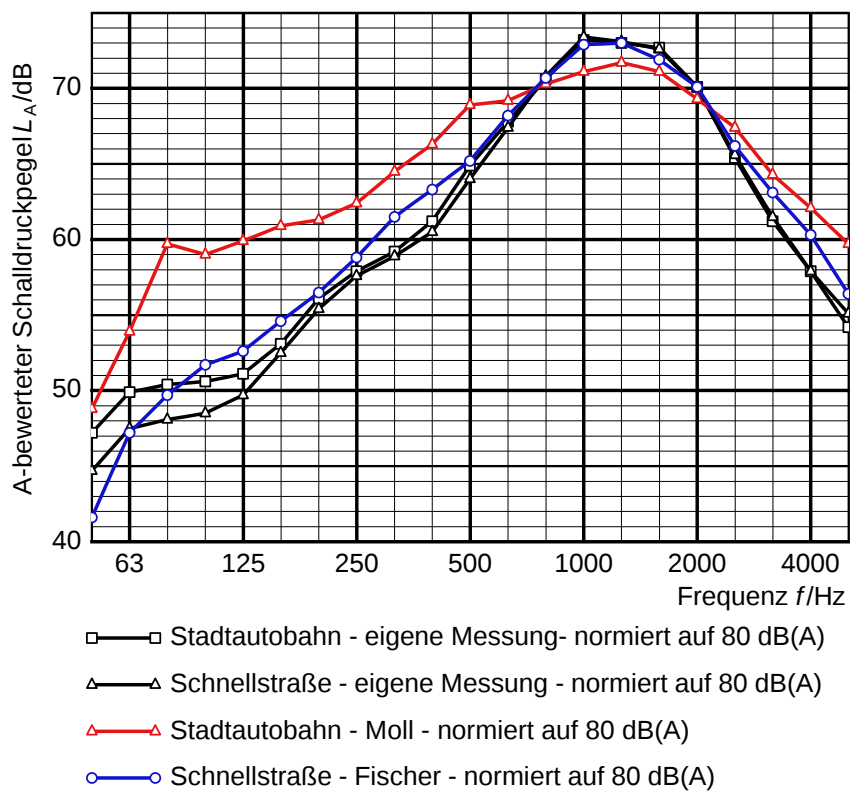


Abbildung 40: Mittelwertspektren von Schnellstraßen – normiert auf 80 dB(A)

Betrachtet man lediglich den Verlauf der Spektren, wird sichtbar, dass die aus dem Jahr 1985 stammenden Verkehrsspektren im Bereich von 50 bis 630 Hz stark überwiegen. Die oben diskutierte Differenz zwischen Sommer und Winter scheint hier in Relation fast vernachlässigbar.

6.3.3 Stadtstraße

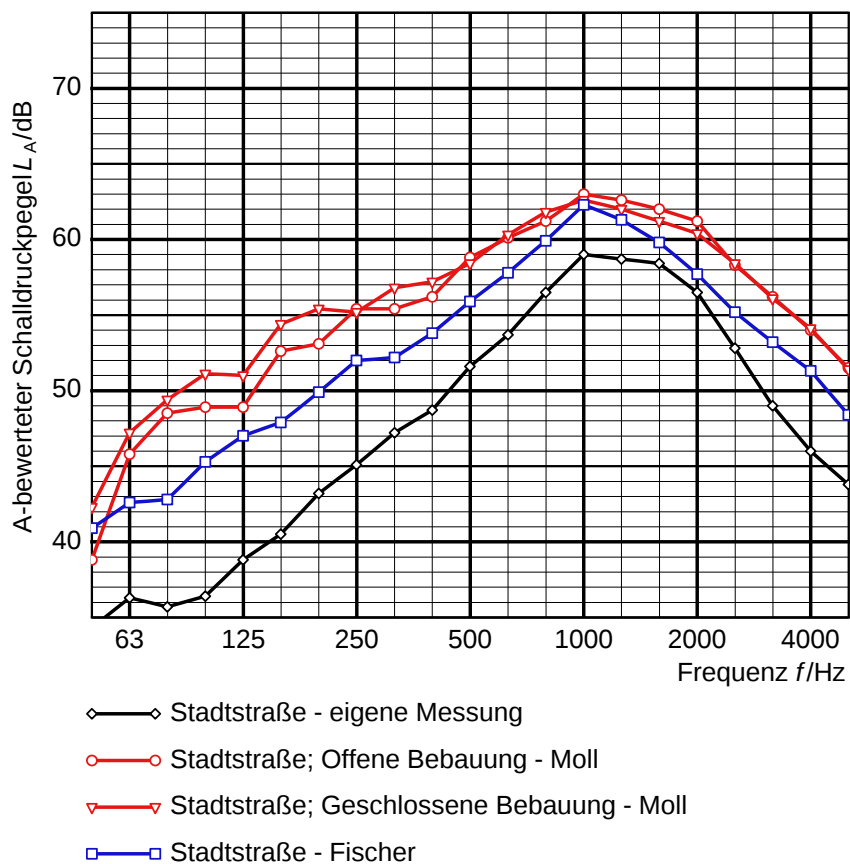


Abbildung 41: Mittelwertspektren von Stadtstraßen – A-bewertet

Bei den Messungen zu Stadtstraßen unterscheidet Moll in die Kategorien offene Bebauung und geschlossene Bebauung. Beide sind aber insgesamt über den gesamten betrachteten Frequenzbereich lauter als die zusammengefassten Stadtstraßen-Spektren aus neuen Messungen.

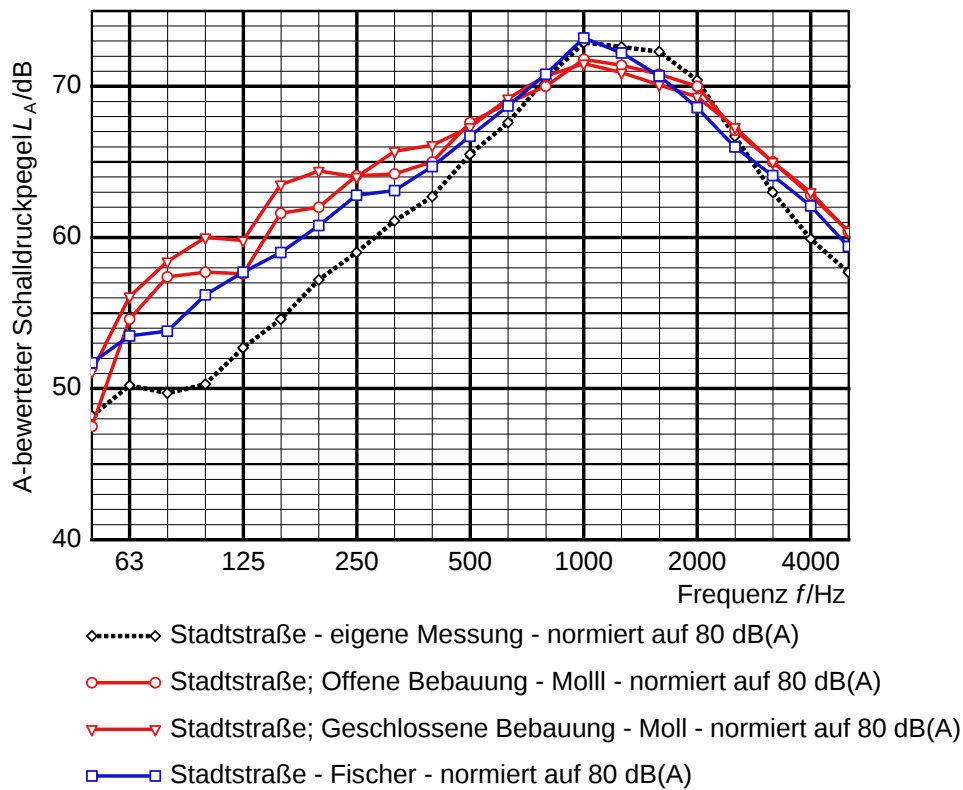


Abbildung 42: Mittelwertspektren von Stadtstraßen - normiert auf 80 dB(A)

Während die Messungen von Fischer bereits eine Abnahme von tieffrequentem Lärm feststellt, ist diese in den eigens durchgeführten Messungen noch größer. Wie bereits bekannt, waren unter den Straßen aber weniger „Extremsituationen“ als in der Arbeit von Fischer. Zusammen mit den niedrigeren SV-Anteilen und möglichen Einflüssen von Bereifung und Temperatur, ergibt sich, dass Stadtverkehrsspektren durchaus auch noch weniger tiefe Frequenzanteile aufweisen können, als bisher angenommen.

Vor allem im Stadtverkehr besteht weiterhin Forschungsbedarf, um den Einfluss von Kreuzungen, Steigungen, Parkvorgängen, Rangierfahrten und dergleichen besser nachvollziehen zu können. Außerdem wären weitere Erkenntnisse über den Einfluss von reflektierender Bebauung in verschiedenen Abständen wünschenswert.

6.4 Vergleich mit Spektrum-Anpassungswerten

Die hier zugrunde liegenden Spektren wurden, wie in Kapitel 2.3 erwähnt, in den Jahren 1982 bis 1985 in Dänemark und Schweden ermittelt. Die Spektren von Moll sind etwa gleich alt und wie gezeigt, hat sich das Straßengeräusch messbar verändert. Daher wird an dieser Stelle ebenfalls der Vergleich mit den Spektrum-Anpassungswerten herangezogen. Wie aus Abbildung 43 abzulesen ist, soll für Autobahnen das C-Spektrum und für Stadtverkehr das C_{tr}-Spektrum angewendet werden.

Art der Geräuschquelle	Entsprechender Spektrum-Anpassungswert
Wohnaktivitäten (Unterhaltung, Musik, Radio, TV) Spielende Kinder Schienenverkehr bei mittlerer und hoher Geschwindigkeit ^a Autobahnverkehr > 80 km/h ^a Düsenflugzeug in geringem Abstand Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequente Geräusche abstrahlen Städtischer Straßenverkehr	C (Spektrum Nr 1)
Schienenverkehr bei geringer Geschwindigkeit ^a Propellerflugzeug Düsenflugzeug in großem Abstand Discomusik Betriebe, die überwiegend nieder- und mittelfrequente Geräusche abstrahlen	C _{tr} (Spektrum Nr 2)

^a In mehreren europäischen Ländern bestehen Rechenmodelle für Autobahnverkehrsgeräusche und Schienenverkehrsgeräusche, die Oktavbandschallpegel festlegen; diese können für den Vergleich mit den Spektren Nr 1 und 2 herangezogen werden.

Abbildung 43: Zuordnung der Spektrum-Anpassungswerte zu Geräuschquellen [4, S. 16]

Nachfolgend werden zunächst die Spektren aus 2018 und 2019 mit den Spektrum-Anpassungswerten verglichen. Anschließend ist auch der Vergleich zu den Spektren von Moll aufgeführt.

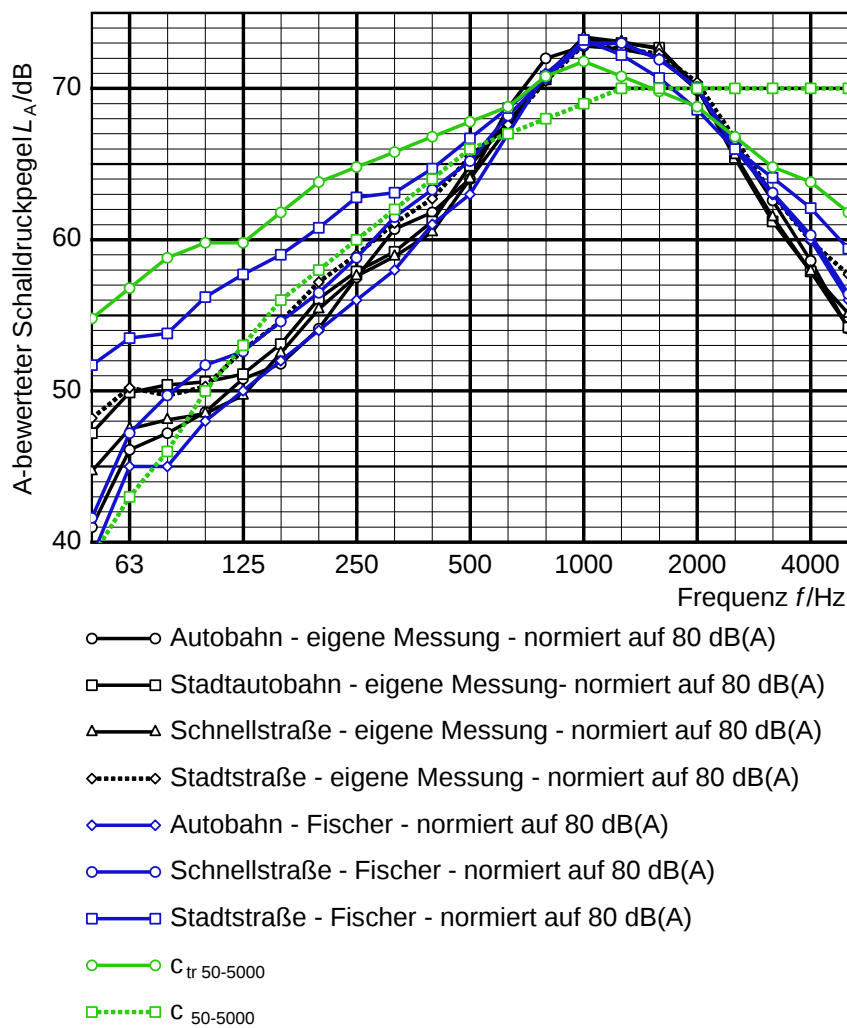


Abbildung 44: Mittelwertspektren von aktuellen Straßen - normiert auf 80 dB(A) - Vergleich mit den Schallpegelspektren der Spektrum-Anpassungswerte

In der Arbeit von Fischer wurde bereits nachgewiesen, dass C_{tr} als worst-case angesehen werden kann. [9, S. 35] Die gemittelten Spektren für alle Straßen von 50 bis 630 Hz tendieren mittlerweile eher in Richtung des Spektrums für die C-Bewertung, oder liegen sogar darunter. Zwischen 630 und 2000 Hz unterschätzen beide Spektrum-Anpassungswerte die Schallemissionen. Da die C-Spektrum-Anpassung, die einem rosa Rauschen nachempfunden ist, ab 1250 Hz konstant ist, findet dort im hochfrequenten Bereich eine starke Überschätzung statt.

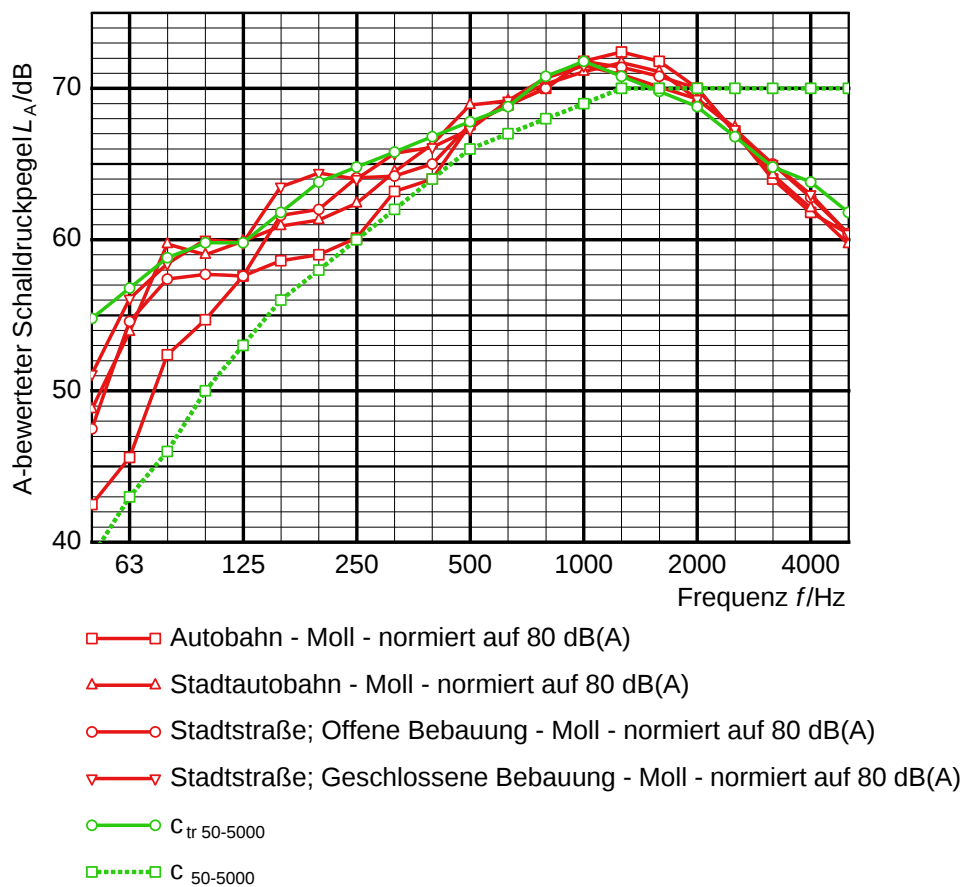


Abbildung 45: Vergleich der Verkehrslärmspektren von Moll und der C-Bewertung

Man erkennt, dass die Referenzspektren zur Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte und die Spektren von Moll recht gut zueinander passen. Das war insoweit zu erwarten, da beide auf Messungen von Fahrzeugen mit ähnlicher Technik basieren. Daher haben Ergebnisse für Korrektursummanden im Folgenden auch analog Bedeutung für die Benutzung von Spektrum-Anpassungswerten.

7 Berechnung und Diskussion von Korrektursummanden

7.1 Grundlagen der Berechnung

Die Berechnung erfolgte mittels Tabellenkalkulation anhand der vereinfachten Formel aus VDI 2719. [2, S. 12] (Siehe Kapitel 2.2)

$$K = R'_w - (L_a - L_i)$$

Die tabellarische Berechnung ist beispielhaft in Abbildung 46 zu sehen.

Als Bauteildaten wurden Einfachfenster verwendet aus der Bachelorarbeit von Katharina Schedl von der Hochschule Rosenheim. [7] Dabei beschränkt sich die Untersuchung auf Schallschutzklasse 2 bis 4, wobei jeweils 2- und 3-Scheiben Verglasung für die Berechnung verwendet wurden. Verbund- und Kastenfenster wurden aufgrund ihrer relativen Seltenheit vernachlässigt.

Des Weiteren wurden Schalldämmungsmessungen aus der Masterarbeit von Julia Graf an der Hochschule München [34] verwendet, um einen Eindruck zu bekommen, wie K-Werte für komplette Fassaden ausfallen können. Dabei wurden zwei unterschiedliche Büroräume, zwei Wohnräume und ein Bad (MFH) betrachtet. Letzteres hat einen sehr geringen Fensterflächenanteil. Die Schalldämmungen sind im Anhang aufgeführt.

Insgesamt wurden 11 Außenlärmspektren mit 11 Schalldämmungsverläufen kombiniert um 121 Korrekturwerte zu ermitteln. Diese wurden jeweils für den bauakustischen Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz und den erweiterten bauakustischen Frequenzbereich von 50 bis 5000 Hz berechnet. Die daraus entstandenen 242 K-Werte wurden anschließend analysiert hinsichtlich der Einflüsse von Frequenzbereich, Straßenverkehrslärm und Schalldämmung. Zudem wurde der Vergleich mit anderen K-Werten, nicht zuletzt aus der Masterarbeit von Isabel Fischer aus dem Jahr 2018 angestellt.

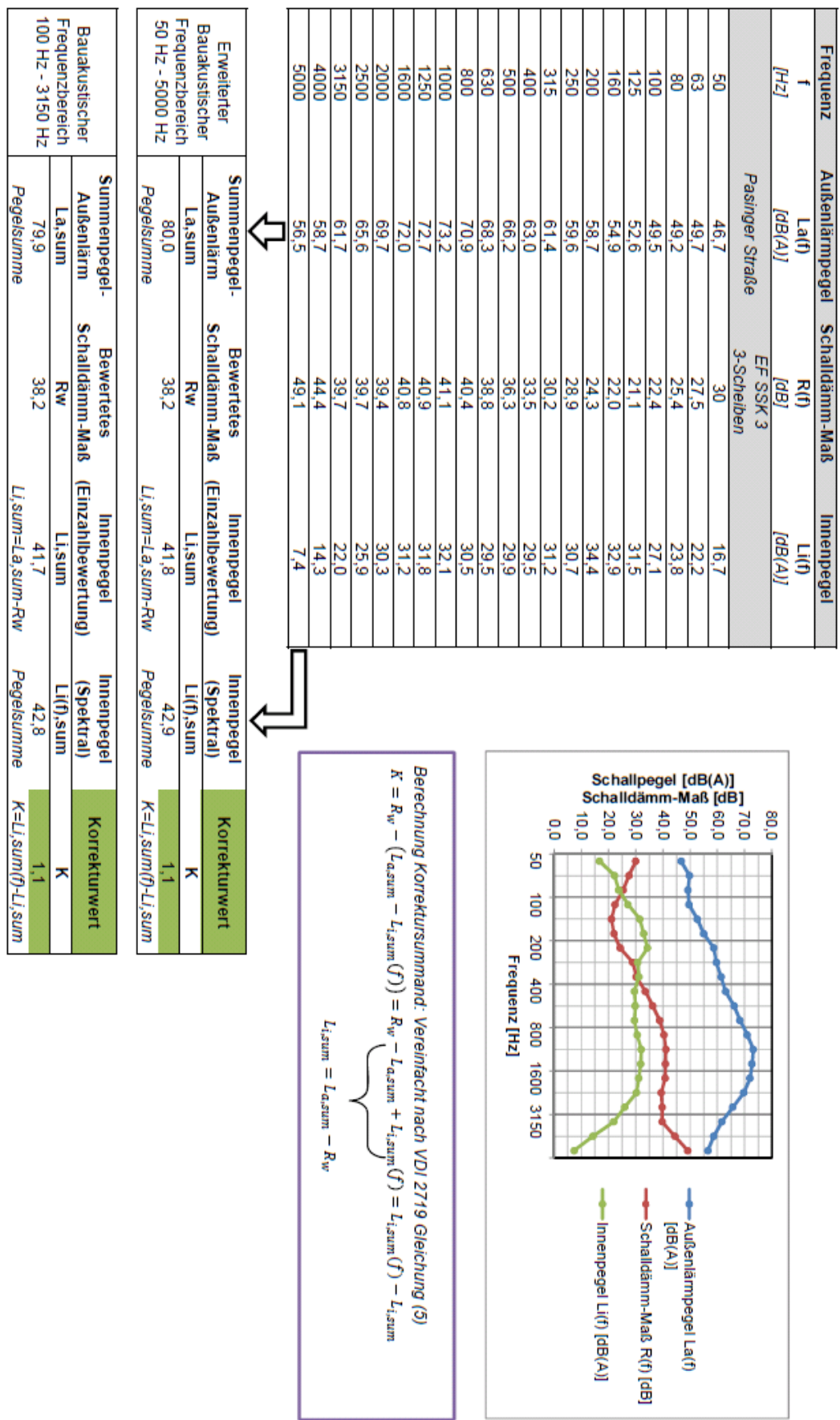


Abbildung 46: Tabelle zur Berechnung der Korrektursummanden

7.2 Ermittelte Korrektursummanden

Tabelle 32: Korrektursummanden für den bauakustischen und erweiterten bauakustischen Frequenzbereich für typische Fenster und exemplarische Fassaden bei verschiedenen Straßen

K-Wert Erweiterter bauakustischer Frequenzbereich	STRASSENTYP	STRASSENSITUATION																							
		Autobahn			Schnellstraße			Stadtstraße			Georg-Brauchle- Ring	B2			Wilmanns Augsburg			Landsholzer			Gabelsbergers	Pasinger			Sauerbrunn straße
		fenster			fenster			fenster				traße			straße			straße				straße			
FENSTER	Einach- fenster	SSK 2	2 Scheiben	-0,6	-0,7	0,7	-0,2	-0,9	-1,1	-0,5	-0,7	-0,7	2,2	2,2	1,3	-0,2	-0,7	2,2	2,3	1,0	-0,7				
		SSK 3	2 Scheiben	-1,2	-1,2	0,4	-0,7	-1,4	-2,0	-0,9	-1,0	-1,0	2,3	2,3	1,0	-0,7	2,3	2,3	1,0	-0,7					
		SSK 3	2 Scheiben	0,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,0	0,3	0,3	0,3	1,9	1,9	1,2	0,5	1,9	1,9	1,2	0,5					
		SSK 4	2 Scheiben	0,0	-0,1	0,8	0,2	-0,3	-0,6	0,1	0,1	0,1	2,1	2,1	1,1	0,2	2,1	2,1	1,1	0,3					
FASSADEN- MESSUNGEN		SSK 4	3 Scheiben	0,8	0,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	2,2	2,2	1,5	1,0	2,2	2,2	1,5	1,0					
		Büro	KVR Ruppertsstraße 19	0,7	0,6	1,2	0,9	0,5	0,3	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	1,4	0,8	2,1	2,1	1,4	0,8					
		KVR Ruppertsstraße 11	1,4	1,3	1,8	1,6	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	2,9	2,9	2,0	1,5	2,9	2,9	2,0	1,5						
		MFH	Kawendelstraße	0,9	0,7	1,1	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,7	1,8	1,8	1,4	0,8	1,8	1,8	1,4	0,8					
FENSTER		EFH	Obgeschoss	-0,7	-0,9	-0,3	-0,8	-1,0	-1,1	-0,5	-0,6	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6					
		EFH	Obgeschoss	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
K-Wert bauakustischer Frequenzbereich		STRASSENTYP										STRASSENSITUATION													
FENSTER	Einach- fenster	Autobahn			Schnellstraße			Stadtstraße			Georg-Brauchle- Ring	B2			Wilmanns Augsburg			Landsholzer			Gabelsbergers	Pasinger			Sauerbrunn straße
		fenster			fenster			fenster				traße			straße			straße				straße			
		SSK 2	2 Scheiben	-0,6	-0,7	0,7	-0,2	-0,9	-1,1	-0,5	-0,7	-0,7	2,2	2,2	1,3	-0,2	-0,7	2,2	2,3	1,0	-0,7				
		SSK 3	2 Scheiben	-1,2	-1,2	0,4	-0,7	-1,4	-2,0	-0,9	-1,0	-1,0	2,3	2,3	1,0	-0,7	2,3	2,3	1,0	-0,7					
FASSADEN- MESSUNGEN		SSK 3	2 Scheiben	0,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,0	0,3	0,3	1,9	1,9	1,2	0,5	1,9	1,9	1,2	0,5						
		SSK 3	2 Scheiben	0,0	-0,1	0,8	0,2	-0,3	-0,6	0,1	0,1	0,1	2,1	2,1	1,1	0,2	2,1	2,1	1,1	0,3					
		SSK 4	2 Scheiben	0,8	0,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	2,2	2,2	1,5	1,0	2,2	2,2	1,5	1,0					
		SSK 4	3 Scheiben	0,7	0,6	1,2	0,9	0,5	0,3	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	1,4	0,8	2,1	2,1	1,4	0,8					
FASSADEN- MESSUNGEN		Büro	KVR Ruppertsstraße 19	1,4	1,3	1,8	1,6	1,2	1,0	1,2	1,2	2,9	2,9	2,0	1,5	2,9	2,9	2,0	1,5						
		KVR Ruppertsstraße 11	0,9	0,7	1,1	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,7	1,8	1,8	1,4	0,8	1,8	1,8	1,4	0,8						
		MFH	Kawendelstraße	-0,7	-0,9	-0,3	-0,8	-1,0	-1,1	-0,5	-0,6	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6					
		EFH	Obgeschoss	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0					
FENSTER		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
K-Wert bauakustischer Frequenzbereich		STRASSENTYP										STRASSENSITUATION													
FENSTER	Einach- fenster	Autobahn			Schnellstraße			Stadtstraße			Georg-Brauchle- Ring	B2			Wilmanns Augsburg			Landsholzer			Gabelsbergers	Pasinger			Sauerbrunn straße
		fenster			fenster			fenster				traße			straße			straße				straße			
		SSK 2	2 Scheiben	-0,6	-0,7	0,7	-0,2	-0,9	-1,1	-0,5	-0,7	-0,7	2,2	2,2	1,3	-0,2	-0,7	2,2	2,3	1,0	-0,7				
		SSK 3	2 Scheiben	-1,2	-1,2	0,4	-0,7	-1,4	-2,0	-0,9	-1,0	-1,0	2,3	2,3	1,0	-0,7	2,3	2,3	1,0	-0,7					
FASSADEN- MESSUNGEN		SSK 3	2 Scheiben	0,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,0	0,3	0,3	1,9	1,9	1,2	0,5	1,9	1,9	1,2	0,5						
		SSK 3	2 Scheiben	0,0	-0,1	0,8	0,2	-0,3	-0,6	0,1	0,1	0,1	2,1	2,1	1,1	0,2	2,1	2,1	1,1	0,3					
		SSK 4	2 Scheiben	0,8	0,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	2,2	2,2	1,5	1,0	2,2	2,2	1,5	1,0					
		SSK 4	3 Scheiben	0,7	0,6	1,2	0,9	0,5	0,3	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	1,4	0,8	2,1	2,1	1,4	0,8					
FASSADEN- MESSUNGEN		Büro	KVR Ruppertsstraße 19	1,4	1,3	1,8	1,6	1,2	1,0	1,2	1,2	2,9	2,9	2,0	1,5	2,9	2,9	2,0	1,5						
		KVR Ruppertsstraße 11	0,9	0,7	1,1	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,7	1,8	1,8	1,4	0,8	1,8	1,8	1,4	0,8						
		MFH	Kawendelstraße	-0,7	-0,9	-0,3	-0,8	-1,0	-1,1	-0,5	-0,6	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6					
		EFH	Obgeschoss	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0					
FENSTER		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
K-Wert bauakustischer Frequenzbereich		STRASSENTYP										STRASSENSITUATION													
FENSTER	Einach- fenster	Autobahn			Schnellstraße			Stadtstraße			Georg-Brauchle- Ring	B2			Wilmanns Augsburg			Landsholzer			Gabelsbergers	Pasinger			Sauerbrunn straße
		fenster			fenster			fenster				traße			straße			straße				straße			
		SSK 2	2 Scheiben	-0,6	-0,7	0,7	-0,2	-0,9	-1,1	-0,5	-0,7	-0,7	2,2	2,2	1,3	-0,2	-0,7	2,2	2,3	1,0	-0,7				
		SSK 3	2 Scheiben	-1,2	-1,2	0,4	-0,7	-1,4	-2,0	-0,9	-1,0	-1,0	2,3	2,3	1,0	-0,7	2,3	2,3	1,0	-0,7					
FASSADEN- MESSUNGEN		SSK 3	2 Scheiben	0,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,0	0,3	0,3	1,9	1,9	1,2	0,5	1,9	1,9	1,2	0,5						
		SSK 3	2 Scheiben	0,0	-0,1	0,8	0,2	-0,3	-0,6	0,1	0,1	0,1	2,1	2,1	1,1	0,2	2,1	2,1	1,1	0,3					
		SSK 4	2 Scheiben	0,8	0,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	2,2	2,2	1,5	1,0	2,2	2,2	1,5	1,0					
		SSK 4	3 Scheiben	0,7	0,6	1,2	0,9	0,5	0,3	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	1,4	0,8	2,1	2,1	1,4	0,8					
FASSADEN- MESSUNGEN		Büro	KVR Ruppertsstraße 19	1,4	1,3	1,8	1,6	1,2	1,0	1,2	1,2	2,9	2,9	2,0	1,5	2,9	2,9	2,0	1,5						
		KVR Ruppertsstraße 11	0,9	0,7	1,1	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,7	1,8	1,8	1,4	0,8	1,8	1,8	1,4	0,8						
		MFH	Kawendelstraße	-0,7	-0,9	-0,3	-0,8	-1,0	-1,1	-0,5	-0,6	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6					
		EFH	Obgeschoss	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0					
FENSTER		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
K-Wert bauakustischer Frequenzbereich		STRASSENTYP										STRASSENSITUATION													
FENSTER	Einach- fenster	Autobahn			Schnellstraße			Stadtstraße			Georg-Brauchle- Ring	B2			Wilmanns Augsburg			Landsholzer			Gabelsbergers	Pasinger			Sauerbrunn straße
		fenster			fenster			fenster				traße			straße			straße				straße			
		SSK 2	2 Scheiben	-0,6	-0,7	0,7	-0,2	-0,9	-1,1	-0,5	-0,7	-0,7	2,2	2,2	1,3	-0,2	-0,7	2,2	2,3	1,0	-0,7				
		SSK 3	2 Scheiben	-1,2	-1,2	0,4	-0,7	-1,4	-2,0	-0,9	-1,0	-1,0	2,3	2,3	1,0	-0,7	2,3	2,3	1,0	-0,7					
FASSADEN- MESSUNGEN		SSK 3	2 Scheiben	0,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,0	0,3	0,3	1,9	1,9	1,2	0,5	1,9	1,9	1,2	0,5						
		SSK 3	2 Scheiben	0,0	-0,1	0,8	0,2	-0,3	-0,6	0,1	0,1	0,1	2,1	2,1	1,1	0,2	2,1	2,1	1,1	0,3					
		SSK 4	2 Scheiben	0,8	0,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	2,2	2,2	1,5	1,0	2,2	2,2	1,5	1,0					
		SSK 4	3 Scheiben	0,7	0,6	1,2	0,9	0,5	0,3	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	1,4	0,8	2,1	2,1	1,4	0,8					
FASSADEN- MESSUNGEN		Büro	KVR Ruppertsstraße 19	1,4	1,3	1,8	1,6	1,2	1,0	1,2	1,2	2,9	2,9	2,0	1,5	2,9	2,9	2,0	1,5						
		KVR Ruppertsstraße 11	0,9	0,7	1,1	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,7	1,8	1,8	1,4	0,8	1,8	1,8	1,4	0,8						
		MFH	Kawendelstraße	-0,7	-0,9	-0,3	-0,8	-1,0	-1,1	-0,5	-0,6	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,6					
		EFH	Obgeschoss	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0					
FENSTER		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
		EFH	Obgeschoss	0,2	0,0	0,8	0,3	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	2,0	1,1	0,3					
K-Wert bauakustischer Frequenzbereich		STRASSENTYP										STRASSENSITUATION													
FENSTER	Einach- fenster	Autobahn			Schnellstraße																				

Tabelle 33: Korrektursummanden für typische Fenster und verschiedene Straßen aus der Arbeit von I. Fischer

K-Wert Berechnung: I. Fischer										
erweiterter bauakustischer Frequenzbereich										
FENSTER	Einfachfenster	SSK 2	2 Scheiben	A-65	B120-4S	L100-2S	S30-2S	K30-2S	S50-2S	S50-4S
			3 Scheiben	-1,3	0,5	0,5	4,5	5,4	3,3	2,4
		SSK 3	2 Scheiben	-1,8	0,5	0,0	5,0	5,8	3,6	2,2
			3 Scheiben	0,0	1,0	0,7	3,8	4,4	2,7	1,8
		SSK 4	2 Scheiben	-0,4	1,1	0,6	4,5	5,2	3,2	1,9
			3 Scheiben	0,7	1,6	1,2	4,2	4,9	3,1	2,1
			3 Scheiben	0,5	1,5	1,1	4,3	5,0	3,1	2,0
	Anzahl Fz	2100-3300	980-1700	300-450	360-480	200-260	220-440	630-720		
	Anteil Sv	10-20%	3-10%	5-10%	3-9%	2-6%	3-11%	7-10%		
	Fahrstreifen	6	4	2	2	2	2	4		
	Bebauung	keine	keine	keine	direkt an Straße		hohes Gebäude / Stützmauer	Kleinere Mauer/ Zaun		
	Bewuchs	Acker	Sträucher, Acker	Acker	wenig			Bäume		
	Temperatur	22°C	20-27°C	22°C	16-26°C	30°C	25-28°C	32°C		
	Besonderheit	Brücke	Brücke							

7.3 Einfluss des Frequenzbereichs

In der meisten Fällen liegt die Differenz zwischen K-Werten, die für den erweiterten Frequenzbereich ermittelt wurden und K-Werten für den bauakustischen Frequenzbereich nicht weiter auseinander als 0,2 dB. Im Mittel betrug die Abweichung 0,1 dB. Dabei ist fast immer der K-Wert für erweiterte Frequenzbereiche der höhere Wert.

Eine Fassadenmessung sticht jedoch heraus. Bei der Berechnung für den Büroraum in der Ruppertstraße 19 ergeben sich bis zu 0,8 dB Unterschiede. Das liegt an der vergleichsweise schlechten Schalldämmung von 50 bis 100 Hz, verglichen zum Rest der Schalldämmung des Bauteils. Das bedeutet, dass dieser Frequenzbereich durch die logarithmische Pegelsummenberechnung besonders stark zur Bildung des Innenpegels beiträgt. Da im bauakustischen Frequenzbereich diese Werte nicht in die Berechnung einfließen, kommt es zu größeren Unterschieden zwischen beiden Bereichen. In Abbildung 47 ist die angesprochene Schalldämmkurve und der resultierende Innenpegel grafisch dargestellt.

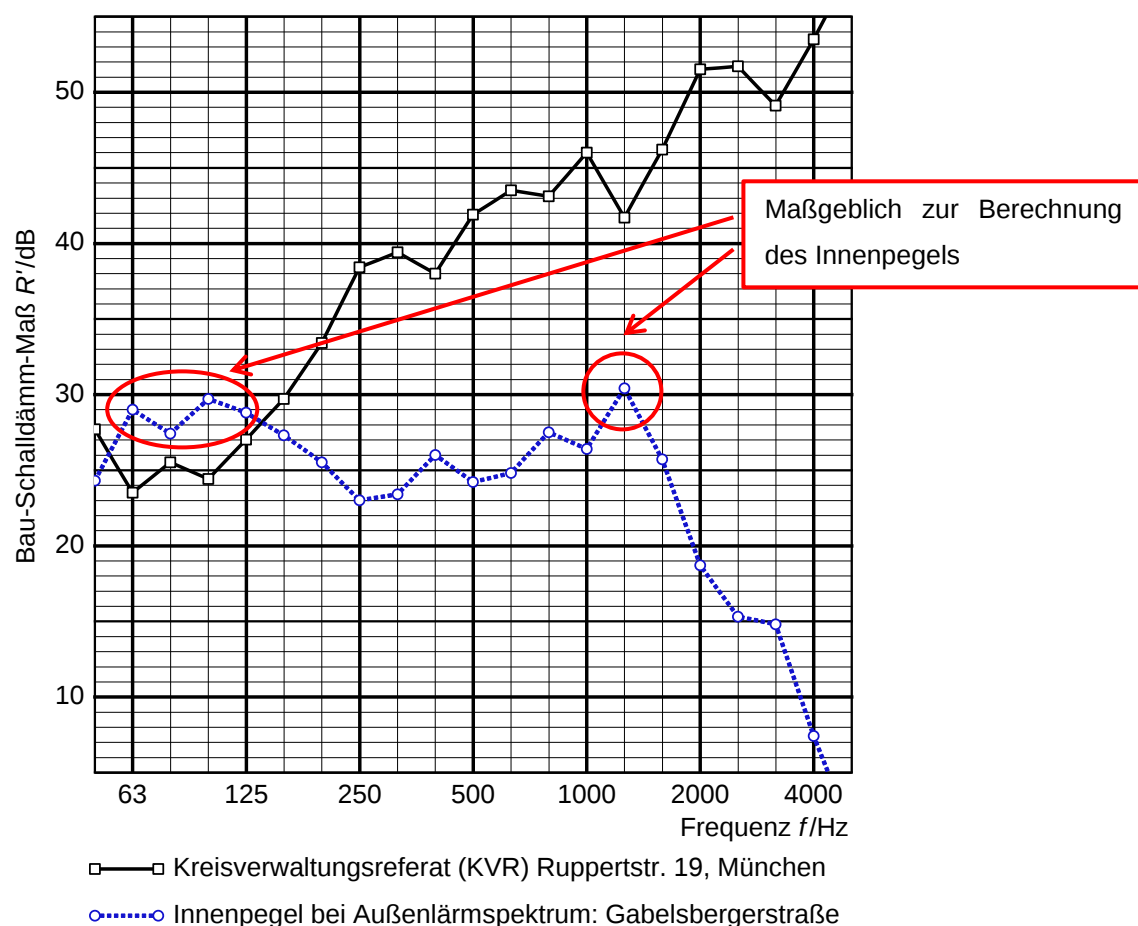


Abbildung 47: Schalldämmkurve und resultierender Innenpegel

Allgemein kann man feststellen, wenn ein Bauteil zwischen 50 und 100 Hz oder 3150 und 5000 Hz besonders schlechte Schalldämmung im Vergleich zum Rest des Bauteils aufweist, ergibt sich eine große Differenz in der Berechnung der K-Werte für die Frequenzbereiche.

Es besteht also ein Zusammenhang zwischen den Schalldämmverläufen und der K-Wert-Berechnung für unterschiedliche Frequenzbereiche. Ist die Schalldämmung im Bereich außerhalb von 100 – 3150 Hz eher niedrig im Vergleich zum Rest des Verlaufs der Schalldämmung, so sind größere Differenzen zwischen den K-Werten zu erwarten. Ist die Dämmwirkung relativ hoch außerhalb des baukustischen Frequenzbereichs, ergeben sich kaum Unterschiede zwischen dem baukustischen und dem erweiterten Frequenzbereich in der Berechnung des Innenpegels und somit auch zwischen den Korrektursummanden.

Als Experiment wurden K-Werte berechnet für ein fiktives Bauteil, welches die Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1 als Schalldämmkurve aufweist. Dabei wurde die Kurve für den erweiterten Frequenzbereich linear extrapoliert (Abbildung 48). Zur Berechnung des Schalldämm-Maßes dieses fiktiven Bauteils wird die Bezugskurve so verschoben, bis die Summe der ungünstigen Abweichungen höchstens 32 dB beträgt. Die Kurve wird dafür um 2 dB nach oben verschoben ($16 \text{ Terzen} \times 2 \text{ dB} = 32 \text{ dB}$), somit beträgt das Schalldämm-Maß des fiktiven Bauteils 54 dB. Durch die gewählte Form der Kurve sind die Terzen mit der schlechtesten Schalldämmung außerhalb des baukustischen Frequenzbereichs. Daraus sollten sich große Differenzen in der K-Wert Berechnung ergeben.

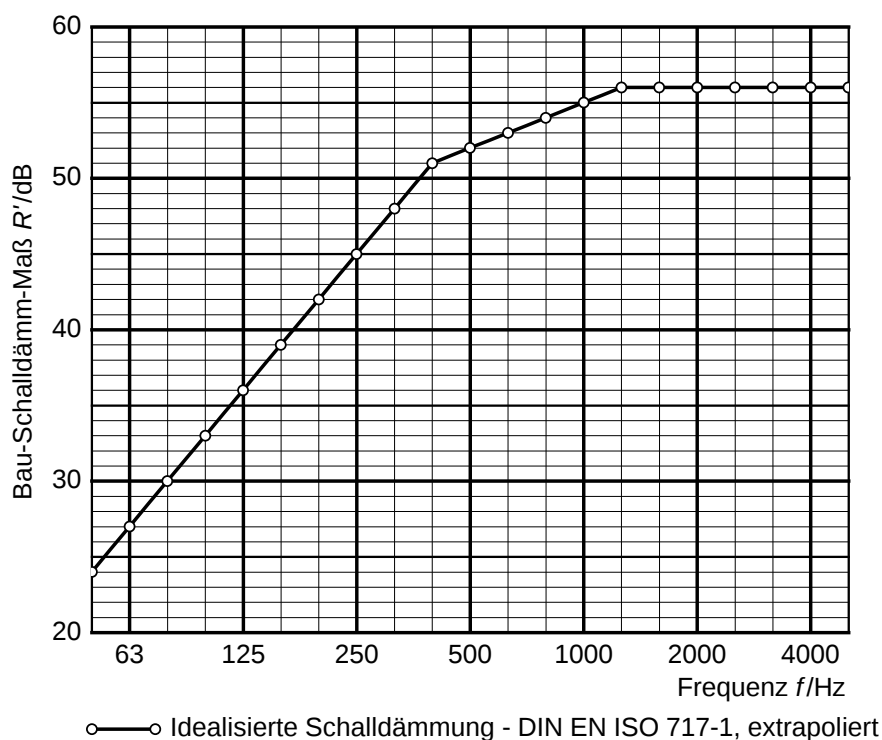


Abbildung 48: Extrapolierter Verlauf der Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1

Tatsächlich liefert die Berechnung von Korrektursummanden für die in Abbildung 48 gezeigte Schalldämmkurve in Anlehnung an DIN EN ISO 717-1 besonders starke Unterschiede zwischen den Frequenzbereichen. Die Korrektursummanden für den erweiterten bauakustischen Frequenzbereich sind durchweg höher als für den bauakustischen Frequenzbereich.

Tabelle 34: Korrektursummanden für eine Schalldämmkurve nach DIN EN ISO 717-1

ISO 717 Frequenzen [Hz]	STRASSENTYP			STRASSENSITUATION							
	A	L	S	L1	L2	L3	S1	S2	S3	S4	S5
50-5000	2.1	2.7	4.4	4.0	1.7	1.1	4.2	3.0	6.8	4.0	3.7
100-3150	0.6	0.5	1.3	0.9	0.3	-0.1	0.6	0.5	2.7	1.4	0.8
Differenz	1.5	2.2	3.1	3.1	1.4	1.2	3.6	2.5	4.1	2.6	2.9

LEGENDE	
A	Autobahn
L	Schnellstraße (Land)
S	Stadtstraße
L1	Georg-Brauchle-Ring
L2	B2
L3	Würmtalstraße
S1	Augsburger Straße
S2	Landsberger Straße
S3	Gabelsbergerstraße
S4	Pasinger Straße
S5	Sauerbruchstraße

Die lineare Steigung von 3 dB pro Terz (von 50 bis 400 Hz) bewirkt, dass die unteren drei Terzen in der Berechnung von Innenpegeln besonders dominant sind, da dort wenig Dämmwirkung vorhanden ist. Vor allem die Kombination mit tieffrequenten Spektren (bspw. Gabelsbergerstraße; Tabelle 34) liefert dann hohe Differenzen zwischen den K-Werten, weil diese kritischen Frequenzen im normalen bauakustischen Frequenzbereich vernachlässigt werden. Im Mittel beträgt die Abweichung so für alle eigens gemessenen Spektren 2,5 dB. (Statt 0,1 dB für echte Bauteile und Fassaden)

7.4 Einfluss der Verkehrssituation

7.4.1 Exkurs: Boxplot

Zur Darstellung der Bandbreite der Korrektursummanden wurde ein Boxplot Diagramm gewählt. Diese Diagramme ermöglichen eine gute Übersicht über die Streuung der Werte und die Eingrenzung des Bereichs, in dem die meisten Werte zu finden sind. Es muss dabei natürlich berücksichtigt werden, dass die zugrundeliegende Wertemenge teilweise sehr klein war, zum Beispiel nur 6 Fenstertypen pro Straße.

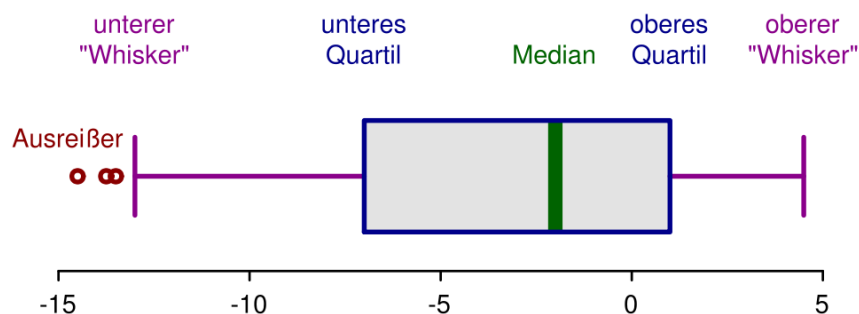


Abbildung 49: Systematik Boxplot [„Elements of a Boxplot“ by RobSeb is licensed under CC BY-SA 3.0]

Innerhalb der namensgebenden Box sind 50% der Werte zu finden, jeweils 25 % zu beiden Seiten des Median. Die oberen Whisker sind in diesem Fall die höchsten Werte, die innerhalb von einer Distanz vom Median zum oberen Quartil + 1,5-mal der Breite der Box auftreten. (siehe auch Abbildung 50). Für die unteren Whisker gilt analog das gleiche.

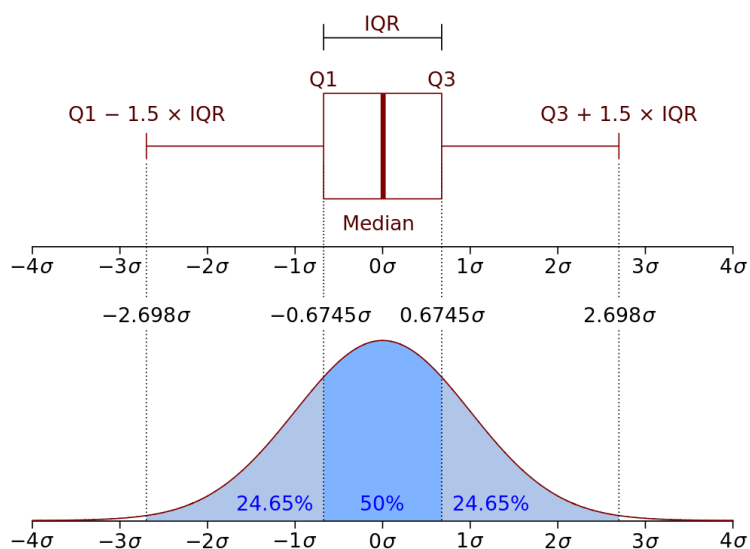


Abbildung 50: Vergleich Boxplot und Normalverteilung [„Boxplot vs PDF“ by Jhguch and Chen-Pan Liao is licensed under CC BY-SA 2.5]

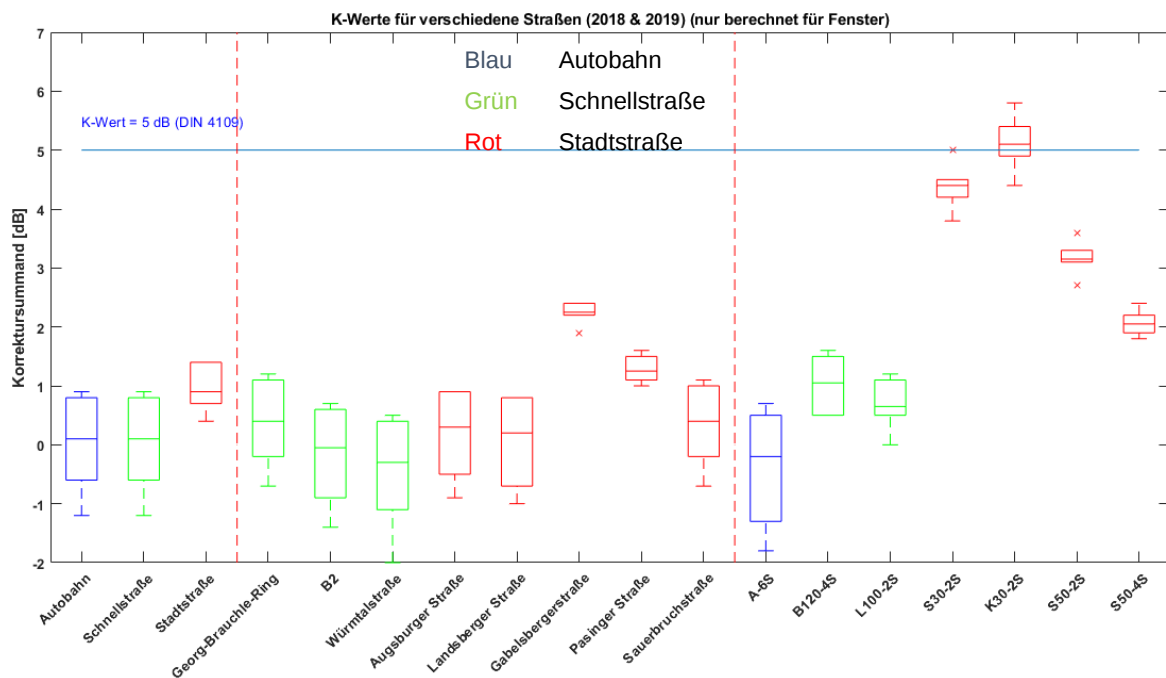


Abbildung 51: Korrektursummanden für verschiedene Straßen (Links: Mittelung über eigene Messungen, Mitte: Einzelne Messungen ohne Autobahn, Rechts: Messungen I. Fischer); Berechnung nur für Einfachfenster

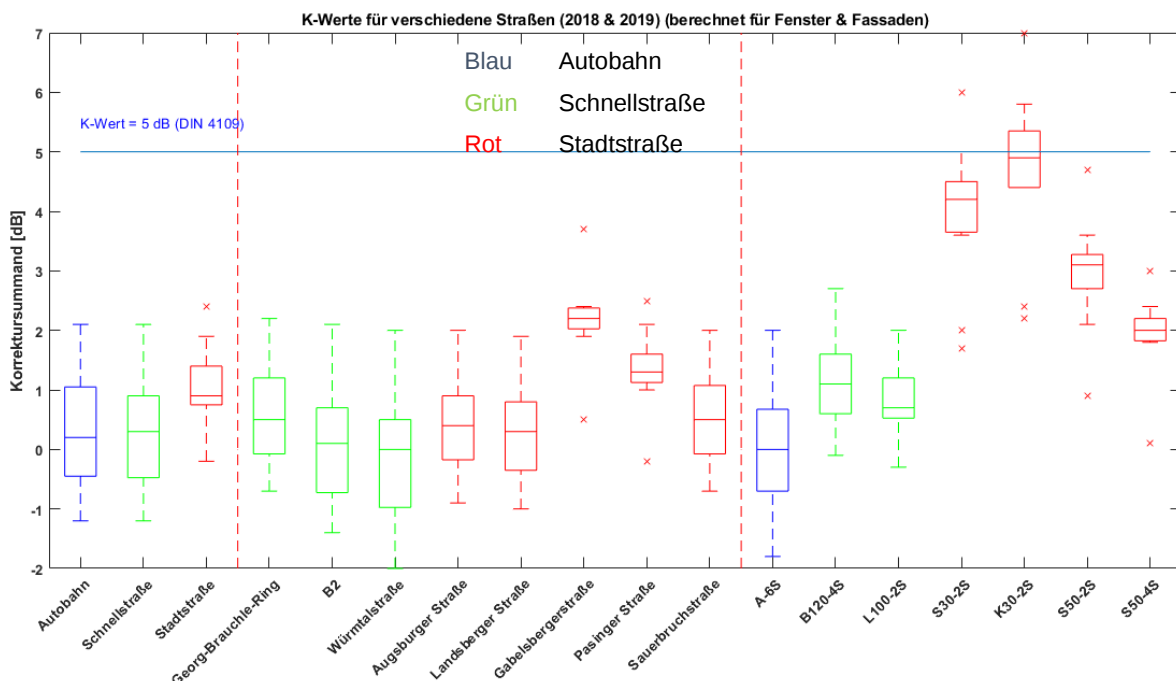


Abbildung 52: Korrektursummanden für verschiedene Straßen (Links: Mittelung über eigene Messungen, Mitte: Einzelne Messungen ohne Autobahn, Rechts: Messungen I. Fischer); Berechnung für Einfachfenster und Fassaden

Aus den Diagrammen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Fast alle Korrektursummanden unterschreiten die 5 dB aus DIN 4109, teilweise sogar deutlich
- Obwohl die untersuchten Autobahnen und Schnellstraßen sehr diverse Randbedingungen haben, sind die K-Werte sehr ähnlich
- Bei Stadtstraßen ist die Streuung am größten
- Stadtstraßen mit niedrigen Geschwindigkeiten und Kreuzungseinflüssen etc. liefern erhöhte K-Werte
- Die Berücksichtigung der Schalldämmverläufe von Fassaden erhöht die Streuung der K-Werte

7.5 Einfluss der Schalldämmung

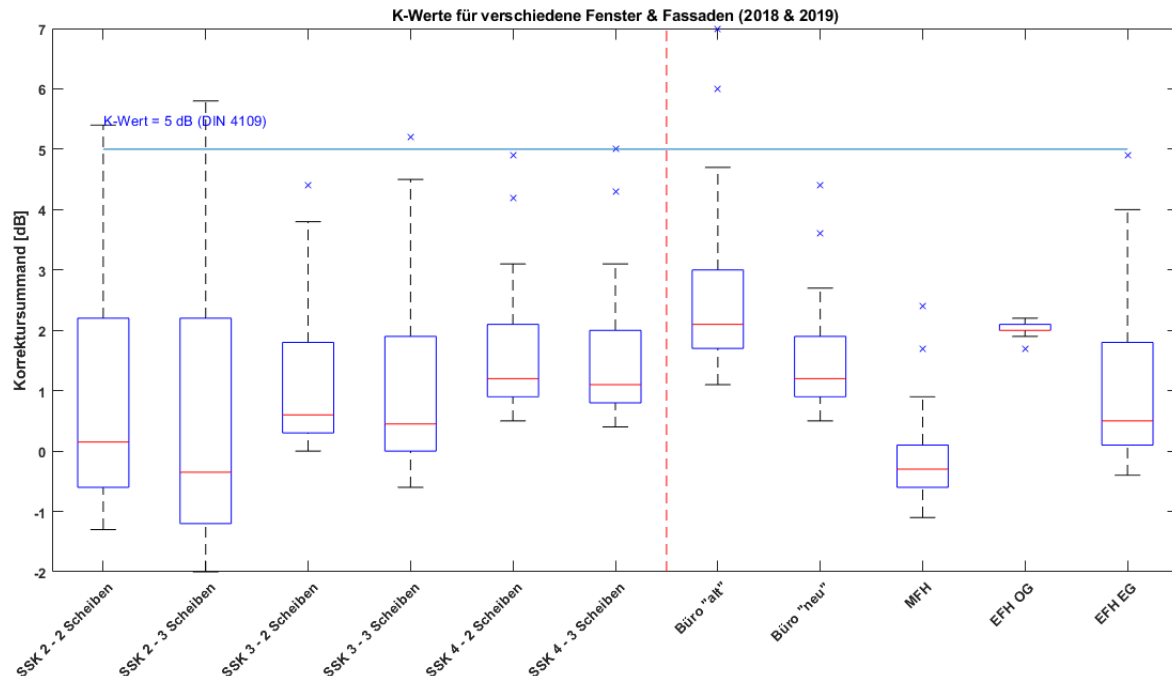


Abbildung 53: Korrektursummanden für verschiedene Fenster und Fassaden; Berechnung über alle Straßenspektren (2018 & 2019)

Aus dem Diagramm lässt sich schlussfolgern:

- Verschiedene Bauteile und Konstruktionen haben eine unterschiedliche Streuung der K-Werte
- Das bedeutet, dass sie auf anliegende Außenlärmspektren verschieden „reagieren“
- Die minimale Spannweite der K-Werte beträgt 0,5 dB bei der Schalldämmkurve des Obergeschoss Einfamilienhaus
- Die maximale Spannweite der K-Werte beträgt 7,8 dB bei der Schalldämmkurve des Schallschutzklasse 2 Fensters mit drei Scheiben Verglasung

Auf Seite 14 des Forschungsberichts von W. Moll heißt es:

„K ist abhängig von der Steilheit der Dämmkurve. Bei flachen Dämmverläufen sind die K-Werte [...] kaum noch von der Form des Spektrums abhängig. Bei steilen Dämmverläufen ist der Einfluss des Spektrums auf den K-Wert am größten.“ [5, S. 14]

Dieser Effekt tritt hier auf. Der Vergleich der Schalldämmkurven mit der höchsten und niedrigsten Streuung (Abbildung 54) zeigt, eine sehr flache Kurve (Einfamilienhaus Obergeschoss), die quasi für jedes Außenlärm-Spektrum den gleichen K-Wert ergibt und eine steile Kurve (Fenster SSK 2 – 3 Scheiben), die auf verschiedene Außenlärm-Spektren deutlich reagiert.

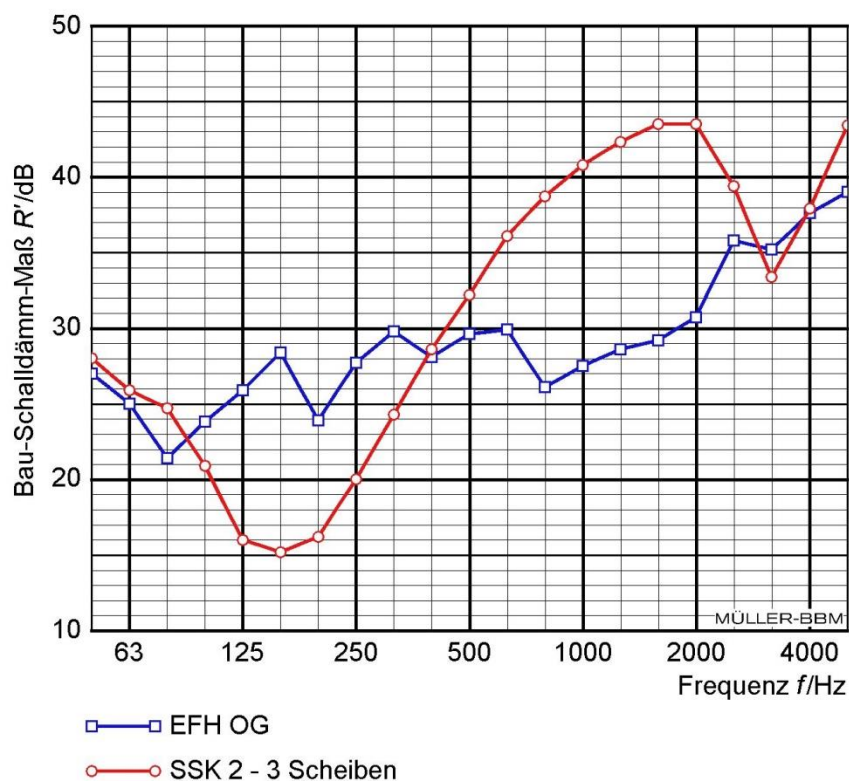
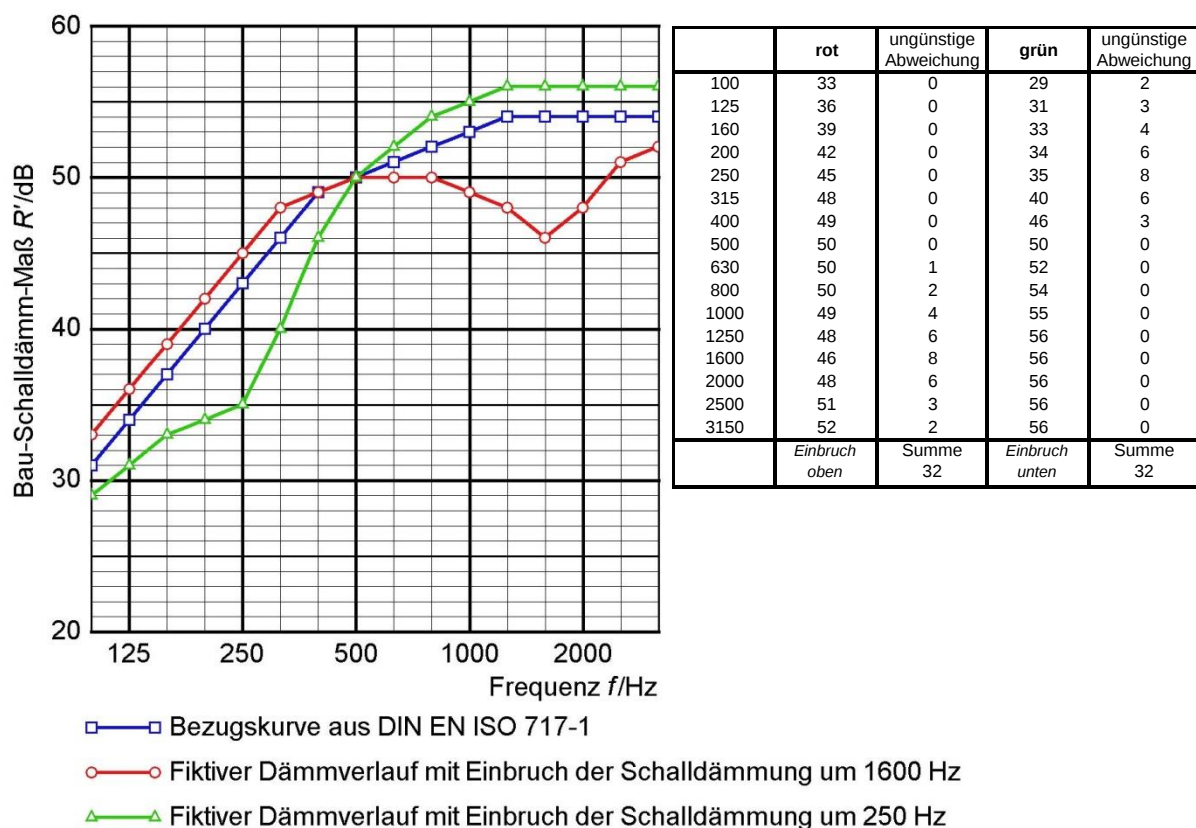


Abbildung 54: Vergleich der Fassaden mit der höchsten und niedrigsten Streuung der K-Summanden

Berechnet man K-Werte für eine exakt horizontale Schalldämmkurve, so betragen diese immer 0,0 dB. In diesem Fall ist also das Ergebnis der Einzahlberechnung identisch mit der Spektralen Berechnung.

Abbildung 55: Fiktive Schalldämmverläufe mit $R_w = 50$ dB

Für Abbildung 55 wurden zwei Schalldämmungen konstruiert mit dem gleichen Schalldämm-Maß von 50 dB, aber unterschiedlichen Einbrüchen in der Schalldämmung. Das rote Spektrum hat ungünstige Abweichungen im Bereich des Maximums der Straßenverkehrsspektren, das grüne bei eher unkritischen Frequenzen um 250 Hz. Bei Einzahlberechnung von Innenpegeln liefern beide Spektren das gleiche Ergebnis, aufgrund des gleichen Schalldämm-Maßes.

Theoretisch jedoch, sollte das Spektrum mit Einbruch um 1600 Hz höhere K-Werte liefern, da dort im Bereich der Maxima der Straßenlärmspektren Schwächen in der Schalldämmung vorhanden sind. Die K-Werte für die grüne Kurve sollten niedriger liegen.

Dabei gilt natürlich weiterhin, dass die flachere rote Kurve weniger stark auf verschiedene Außenlärmspektren reagiert als die steilere grüne Kurve.

Tabelle 35: K-Werte für den bauakustischen Frequenzbereich für beide fiktiven Dämmungen und DIN EN ISO 717-1 Bezugskurve als Vergleich; Differenz zwischen beiden Schalldämmkurven

Fiktive Dämmung	STRASSENTYP			STRASSENSITUATION							
	A	L	S	L1	L2	L3	S1	S2	S3	S4	S5
Einbruch 1600 Hz	2.0	2.1	2.2	2.2	2.0	2.0	2.2	2.1	2.6	2.2	2.1
<i>ISO 717</i>	<i>0.6</i>	<i>0.5</i>	<i>1.3</i>	<i>0.9</i>	<i>0.3</i>	<i>-0.1</i>	<i>0.6</i>	<i>0.5</i>	<i>2.7</i>	<i>1.4</i>	<i>0.8</i>
Einbruch 250 Hz	0.1	0.0	1.5	0.6	-0.2	-0.9	0.3	0.0	3.5	1.8	0.6
Differenz	1.9	2.1	0.7	1.6	2.2	2.9	1.9	2.1	-0.9	0.4	1.5

LEGENDE	
A	Autobahn
L	Schnellstraße (Land)
S	Stadtstraße
L1	Georg-Brauchle-Ring
L2	B2
L3	Würmtalstraße
S1	Augsburger Straße
S2	Landsberger Straße
S3	Gabelsbergerstraße
S4	Pasinger Straße
S5	Sauerbruchstraße

Tatsächlich ergibt die rote Kurve (hochfrequenter Einbruch) höhere und gleichmäßigere K-Werte als die grüne Kurve (tieffrequenter Einbruch), mit Ausnahme der relativ tieffrequenten Gabelsbergerstraße. Die Ergebnisse für die aus DIN EN ISO 717-1 stammende Bezugskurve liegen größtenteils dazwischen.

7.6 Erkenntnisse

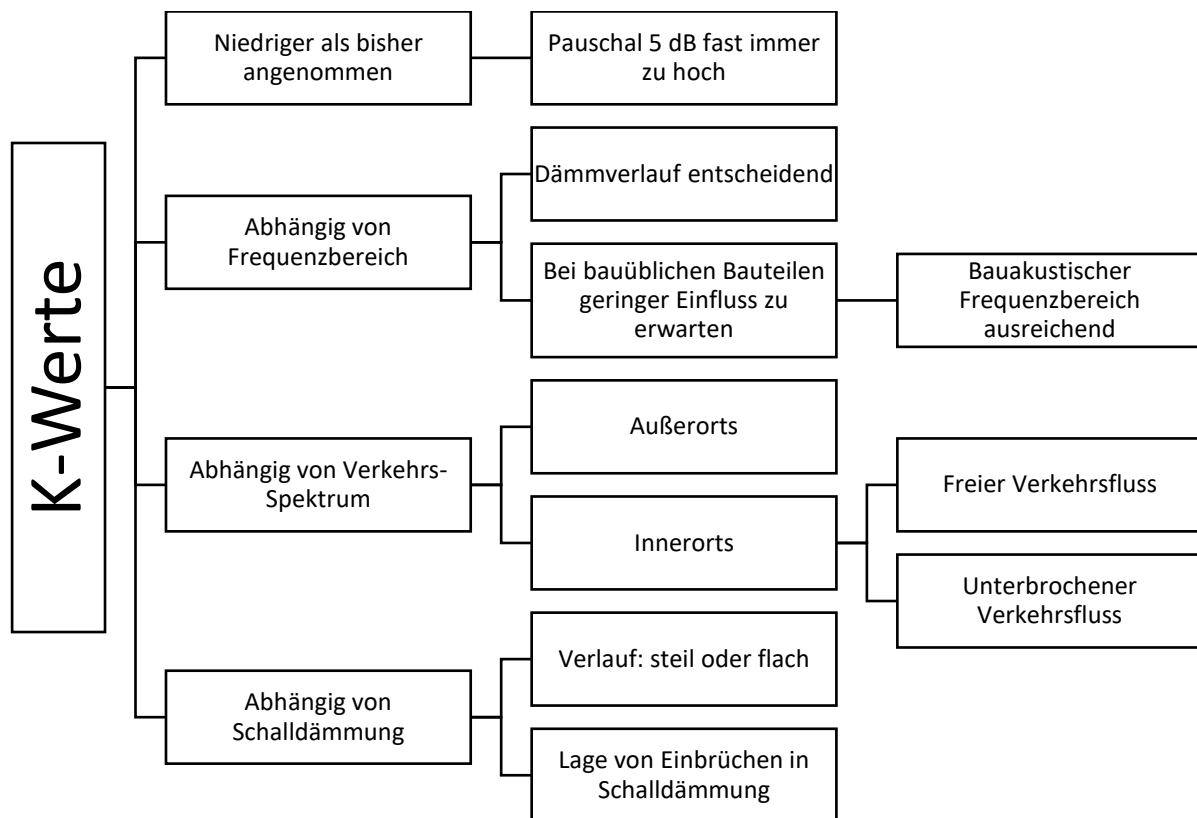


Abbildung 56: Erkenntnisse der K-Wert-Berechnung

Vorangehend konnten Abhängigkeiten der Korrekturwertberechnung mit den Frequenzbereichen, der Schalldämmung und den Verkehrsspektren diskutiert werden. Eine grobe Übersicht über die Zusammenhänge ist in Abbildung 56 dargestellt. Offenbar sind Korrektursummanden für heutigen Straßenverkehr in der Regel wesentlich niedriger als die pauschalen 5 dB aus DIN 4109. Der Einfluss der Wahl des Frequenzbereichs liegt für die untersuchten Fenster und Fassaden bei durchschnittlich nur 0,1 dB. Die höchsten errechneten Unterschiede zwischen dem bauakustischen und dem erweiterten bauakustischen Frequenzbereich lagen unter 1 dB. Verschiedene Schalldämmungen ergeben jedoch wesentlich unterschiedliche Streuungen in der Berechnung von K-Werten. Entscheidend sind dort besonders die Lage von Einbrüchen und die allgemeine Steigung der Schalldämmkurve. Die in anderen Normen verwendete Unterscheidung in innerorts und außerorts für Straßenverkehrslärm ist sinnvoll, da sie sichtbar andere Korrektursummanden erfordern. Eine zusätzliche Differenzierung nach Verkehrsfluss verbessert die Genauigkeit der Spektrums-Anpassung nochmals.

7.7 Gegenüberstellung der K-Werte

Tabelle 36: Diverse K-Werte für Einfachfenster in dB

	VDI 2179	DIN 4109	W. Moll 1985	I. Fischer 2018	M. Gierens 2019
Außerorts	3	5	2-3	0,7	0,5
Innerorts	6	5	4-6	2,7-4,9	2,1

Erkennbar sind die neu errechneten K-Werte deutlich niedriger, als die in den Normen enthaltenen. Interessanterweise liegen auch die von W. Moll gemessenen K-Werte [5, S. 39] teilweise unterhalb der 5 dB aus DIN 4109. Offensichtlich wurden seinerzeit bei der Festlegung von K-Werten Sicherheiten eingebaut.

7.7.1 Vorschlag für neue K-Werte

Denkbar wäre die Aufstellung von neuen Korrektursummanden für drei Bereiche.

1. Außerorts, worunter gleichsam Autobahnen, Bundes- und Landstraßen fallen.
2. Innerorts, frei fließender Verkehr
3. Innerorts, unterbrochener Verkehrsfluss (z.B. durch Kreuzungen, Lichtsignalanlagen, Parkvorgänge, Rangierfahrten, hoher Schwerverkehrsanteil, niedrige Geschwindigkeiten)

Tabelle 37: Vorschlag für K-Werte für unterschiedliche Straßentypen

Außerorts	0,5 dB
Innerorts; freier Verkehrsfluss	1,3 dB
Innerorts; unterbrochener Verkehrsfluss	3,6 dB

Die Werte wurden errechnet durch Mittelung über die zum Straßentyp zugeordneten Messungen von Gierens und Fischer.

7.8 Regelmäßige Aktualisierung von K-Werten

Die hier auf Basis neuer Messungen errechneten Korrektursummanden könnten in einigen Jahren wiederum veraltet sein, wenn sich die Mobilität weiterentwickelt. Es ist sinnvoll, die Aktualität sicherzustellen, durch regelmäßige Messungen, beispielsweise alle zehn bis zwanzig Jahre. Die vermutlich zunehmende Verbreitung alternativer Antriebsarten von Kraftfahrzeugen, wie Elektromotoren, Brennstoffzellen oder synthetischen Kraftstoffen wird die Straßenverkehrsspektren sicherlich verändern.

8 Fazit und Forschungsbedarf

Nachdem die Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm in den letzten Versionen der DIN 4109 präzisiert worden sind, scheint die pauschale Abbildung der Frequenzzusammensetzung mit 5 dB nicht mehr angemessen. Die seit DIN 4109-2:2016 erlaubte Verwendung von Spektrum-Anpassungswerten aus DIN EN ISO 717-1 ist hier keine Hilfe, da ihnen zwischenzeitlich veraltete Messdaten aus den 80-er Jahren zugrunde liegen.

Die für die Planung von passivem Schallschutz praktische Berechnung mittels Einzahlwerten benötigt die Anpassung an die vorliegenden Spektren durch Korrektursummanden, um anwendbare Ergebnisse zu erzielen. Nachdem diese Werte unter anderem von der Fahrzeugtechnik und dem Fahrzeugbestand abhängen, sind sie zeitlich veränderlich und sollten regelmäßig überprüft werden.

Korrektursummanden auf Basis aktueller Messungen liegen im Bereich 0,5 dB für außerorts befindliche Straßen und 2,1 dB für Straßen innerorts. Außerdem zeigt sich, dass die Genauigkeit der Berechnung durch eine differenzierte Betrachtung von Straßentypen erhöht werden kann. So ergeben Stadtstraßen mit freiem Verkehrsfluss niedrigere K-Werte (im Schnitt 1,3 dB) als Stadtstraßen auf denen der Verkehr unterbrochen fließt (im Schnitt 3,6 dB). Allerdings besteht genau hier noch Forschungsbedarf, bei der Erfassung von Spektren von Verkehrssituationen mit unterbrochenem Verkehrsfluss. Da solche Fahrzustände besonders in Städten auftreten, ist dies von besonderer Relevanz für den Schallschutz von Gebäuden.

Des Weiteren wären Messungen zur Schallemission von Verbrennungsmotoren bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen und zur Unterscheidung der Spektren von Winter- und Sommerbereifung wünschenswert. Inwieweit diese Einflüsse relevant sind, konnte in der vorliegenden Arbeit nur vermutet werden. Allerdings waren in den gemessenen Frequenzverläufen teilweise deutliche Unterschiede sichtbar. Die Gründe dafür konnten nicht zweifelsfrei ermittelt werden.

Eine andere offene Frage ist, ob die Berechnung des maßgeblichen Außenlärmpegels nach RLS-90 noch korrekte Ergebnisse liefert. Diese Richtlinie ist, wie dem Namen schon zu entnehmen ist, beinahe 30 Jahre alt und fließt direkt in die Bemessung von Außenbauteilen ein.

Momentan könnten aber bereits an den aktuellen Fahrzeugbestand angepasste Korrektursummanden dazu beitragen Außenbauteile genauer auszulegen. Dadurch würden Überbemessungen vermieden und somit auch Kosten für Schallschutzmaßnahmen gesenkt werden.

Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] Umweltbundesamt, *Lärmwirkungen*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkungen#textpart-1>. Zugriff am: Apr. 23 2019.
- [2] *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen*, VDI 2719, 1987.
- [3] *Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung): 24. BImSchV*, 1997.
- [4] *Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen*, DIN EN ISO 717-1:2013-06, 2013.
- [5] W. Moll und R. Szabunia, „Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile; Meßtechnische Untersuchung der Relation zwischen bewertetem Bau-Schalldämm-Maß und A-Schallpegeldifferenz“. Forschungsbericht 105 02 511 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Akustik-Ingenieurbüro Moll, Berlin, Nov. 1985.
- [6] Nordtest, „nordtest method: Windows: Traffic noise reduction indices“, Espoo, Jun. 1987.
- [7] K. Schedl, „Untersuchung des Bemessungsansatzes der VDI 2719 für den Schallschutz von Fenstern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Außenlärmspektren“. Bachelorarbeit, Fakultät für Angewandte Natur- und Geisteswissenschaften, Hochschule für angewandte Wissenschaften Rosenheim, Rosenheim, 2016.
- [8] P. Leupoldt, „Ermittlung und Vergleich von Außenlärmspektren zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern“. Bachelorarbeit, Fakultät für Holztechnik und Bau, Hochschule für angewandte Wissenschaften Rosenheim, Rosenheim, 2017.
- [9] I. Fischer, „Ermittlung und Vergleich von Straßenverkehrslärmspektren: Zur Überprüfung der Korrektursummanden der VDI 2719 hinsichtlich des Schallschutzes von Fenstern“. Masterarbeit, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt Lehrstuhl für Bauphysik, Technische Universität München, München, 2018.
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *100 Jahre DIN: Zeitstrahl*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/100/zeitstrahl>. Zugriff am: Okt. 23 2018.
- [11] *Richtlinien für den Schallschutz im Hochbau*, DIN 4109:1944-04, 1944.
- [12] BauNetz Media GmbH, *Baunetz Wissen Glossar*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/s/schalldaemm-mass-r-49121>. Zugriff am: Okt. 24 2018.
- [13] *Schallschutz im Hochbau*, DIN 4109:1962-09, 1962.
- [14] *Schallschutz im Hochbau*, Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989-11, 1989.
- [15] *Schallschutz im Hochbau*, DIN 4109:1989-11, 1989.
- [16] *Schallschutz im Hochbau*, DIN 4109-2:2016-07, 2016.
- [17] *Schallschutz im Hochbau*, DIN 4109-1:2016-07, 2016.
- [18] A. Meier, „Schallschutz gegen Außenlärm in DIN 4109 - Anforderungen und Hintergründe“, *Bauphysik*, Jg. 39, Nr. 4, S. 272–276, 2017.

- [19] *Schallschutz im Städtebau*, DIN 18005-1:2002-07, 2002.
- [20] *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen: RLS-90*, 1990.
- [21] *Schallschutz im Hochbau*, DIN 4109-2:2018-01, 2018.
- [22] A. Rabold und J. Hessinger, „Schallschutz von Außenbauteilen: Vorgehensweise nach der neuen DIN 4109“, *Holzbau - Die neue Quadriga*, Nr. 3, S. 25–28, 2018.
- [23] G. Müller und M. Möser, Hg., *Taschenbuch der Technischen Akustik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
- [24] Allgemeiner Deutscher Automobil-Club, *Straßenverkehrslärm*. [Online] Verfügbar unter: https://www.adac.de/_mmm/pdf/fi_strassenverkehrslaerm_1106_238780.pdf. Zugriff am: Jan. 23 2019.
- [25] Kraftfahrt-Bundesamt, *Bestand am 1. Januar 2018 nach Segmenten*. [Online] Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Segmente/segmente_node.html. Zugriff am: Jan. 23 2019.
- [26] Umweltbundesamt, *Straßenverkehrslärm*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/strassenverkehrslaerm>. Zugriff am: Jan. 23 2019.
- [27] Kraftfahrt-Bundesamt, *Bestand in den Jahren 1960 bis 2018 nach Fahrzeugklassen*. [Online] Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/b_fzkl_zeitreihe.html?nn=652402. Zugriff am: Jan. 23 2019.
- [28] Umweltbundesamt, *Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos*. [Online] Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/position_kurzfristig_kaum_laermminderung_im_verkehr.pdf. Zugriff am: Jan. 23 2019.
- [29] Kraftfahrt-Bundesamt, *Bestand an Pkw am 1. Januar 2018 nach ausgewählten Kraftstoffarten*. [Online] Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2018_b_umwelt_dusl.html. Zugriff am: Jan. 23 2019.
- [30] *Messung von Verkehrsgeräuschen*, DIN 45642:2004-06, 2004.
- [31] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Empfehlungen für Verkehrserhebungen: EVE*, 2012. Aufl. Köln: FGSV-Verl., 2012.
- [32] Landeshauptstadt München Referat für Stadtplanung und Bauordnung, *Verkehrsmengenkarte 2017: Gesamtverkehr*. München: Landeshauptstadt München Referat für Stadtplanung und Bauordnung, 2017.
- [33] Staatliches Bauamt Freising, *Landkreis Fürstenfeldbruck Verkehrsmengenkarte 2015*. München: Staatliches Bauamt Freising, 2015.
- [34] J. Graf, „Untersuchung der Dämmwirkung von Gebäudefassaden zum Schallschutz gegen Schienenverkehrslärm auf der Grundlage von exemplarischen Bausituationen und normativen Berechnungsverfahren“. Masterarbeit, Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München; Hochschule Mittweida, München, 2019.

Anhangsverzeichnis

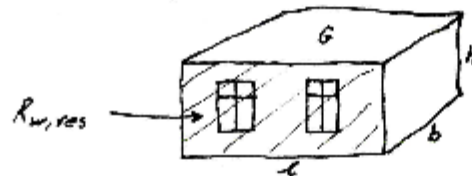
Anhang A	Wolfgang Moll: Vorschlag für Anforderungstabelle DIN 4109:1989
Anhang B	Gemessene Straßenverkehrsspektren, unbewertet
Anhang C	Gemessene Straßenverkehrsspektren, A-bewertet
Anhang D	Gemessene Straßenverkehrsspektren, normiert auf 80 dB(A)
Anhang E	Verkehrszählung
Anhang F	Straßenverkehrsspektren aus Forschungsbericht „Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile“ von Akustik-Ingenieurbüro Moll
Anhang G	Schalldämmungsmessungen aus Masterarbeit „Untersuchung der Dämmwirkung von Gebäudefassaden zum Schallschutz gegen Schienenverkehrslärm auf der Grundlage von exemplarischen Bausituationen und normativen Berechnungsverfahren“ von Julia Graf

DIN 4109, Teil 6

Vorschlag Moll für Tabelle 2:

Zeile	LPB	MAP dB(A)	$R_{w, res, erf.}$ in dB für Aufenthaltsräume
1	II	56-60	30
2	III	61-65	35
3	IV	66-70	40
4	V	71-75	45
5	VI	76-80	50
6	VII	>80	gesondert festlegen

Begründung:



$$R_{w, res, erf} \sim L_a - L_i + 10 \lg \frac{S}{A} + 5 \text{ dB}$$

$$A \sim 0,8 \times G = 0,8 \cdot l \cdot b$$

$$S = l \cdot h$$

$$10 \lg \frac{S}{A} = 10 \lg \frac{l \cdot h}{0,8 \cdot l \cdot b} = 10 \lg \frac{h}{0,8 \cdot b} \sim 10 \lg 1 = 0$$

Verteilbar: $L_i = 35 \text{ dB(A)}$ bei stärkster Lärmentwicklung, also bei MAP.

Daher:

$$R_{w, res, erf} \sim L_a - 35 + 5$$

$$R_{w, res, erf} \sim L_a - 30$$

Für L_a wird oberes LPB-Wert eingesetzt (s. Tabelle),
daher $L_i < 35 \text{ dB(A)}$ für mittleren oder unteren
Wert im LPB.

Anhang B: Gemessene Straßenverkehrsspektren, unbewertet

Messung Nummer	Messort	Frequenz [Hz]																				
		50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
7	A99; Freiham	66,1	68,7	66,7	64,8	62,6	61,5	61,5	61,8	64,3	63	62,9	66,6	69,2	68,9	68,2	67,6	65	61,8	58,1	54,7	50,9
8		67,2	69,6	65,6	64,4	64,3	62	61,6	61,4	62,3	62,9	63,3	66,9	69,1	69,2	68,4	67,7	65,4	63	59,1	55,1	51
9		65	68,2	66,2	64,3	64	61,6	61,1	61,6	62,9	63,3	63,5	66,2	69,1	69	68,3	67,5	65	61,8	58	54,6	50,7
10		66,4	68,8	66,3	65,1	63,7	61,9	61,4	62,2	63,5	63,4	63,6	66,6	69,1	69,3	68,3	67,5	64,9	61,6	57,7	54,2	50,2
Mittelung		66,2	68,9	66,2	64,7	63,7	61,8	61,4	61,8	63,3	63,2	63,3	66,6	69,1	69,1	68,3	67,6	65,1	62,1	58,3	54,7	50,7
11	Augsburger Straße; Germering	59,8	60,2	55,7	51,9	49,6	48,8	49	50,1	49,2	50,1	51,4	51,5	54,1	56,2	55,8	55,7	54	50,8	46,8	43	40,8
12		59	57,6	53,3	49,9	52,2	48,3	47,9	48,4	49,3	49,3	50,9	52,3	53,7	56	55,3	55,3	53,5	50	45,9	42,2	40,1
13		60,6	59,8	56,9	51,4	52,6	49,9	50,5	50,9	50,4	50,9	51,5	51,5	53,4	55,7	55,3	55,5	53,8	50,3	46,4	42,7	40,6
14		63,7	64,7	56,5	53,2	51,7	49,6	50,2	50	50,2	50,5	51,6	51,8	53,8	56	55,6	55,7	54,1	51,1	47,2	46	42,6
Mittelung		61,2	61,4	55,8	51,8	51,7	49,2	49,5	49,9	49,8	50,2	51,4	51,8	53,8	56,0	55,5	55,6	53,9	50,6	46,6	43,8	41,1
15	B2; Puchheim	68,9	67,2	64,3	61,6	59,7	59,8	59,8	62	60	58,7	60,5	62,5	65,2	66,6	65,6	64,6	61,8	57,5	53,3	49,6	47,6
16		66,5	65,5	62	60,1	60	59,3	58,5	60,4	59,4	58,4	60,2	62,7	65,4	66,7	65,6	64,5	61,8	57,5	53,3	49,6	47,6
17		64,9	64,5	60,4	59,5	59,1	61,5	59,1	58,9	58,8	58,4	59,7	62,4	65,1	66,5	65,6	64,6	61,9	57,5	53,4	49,9	47,9
18		65,7	63,1	60,6	58,5	57,7	57,4	58,7	60	58,2	58,1	59,9	62,2	65,1	66,6	65,6	64,7	61,8	57,6	53,4	49,8	48,1
19		65,3	64,5	63,1	58,3	57,5	57,8	58,3	59,5	60,1	58,7	60,3	62,5	65,6	67,3	66,4	65,6	62,8	58,3	53,9	50,2	49,4
Mittelung		65,6	64,5	61,7	59,2	58,7	59,3	58,7	59,7	59,2	58,4	60,0	62,5	65,3	66,8	65,8	64,9	62,1	57,7	53,5	49,9	48,3
20	Georg-Brauchle-Ring; München	70,8	69,9	66,6	63,5	61,1	60,5	61,8	60,7	60,1	60	62,2	63,7	65,4	67	66,2	67,1	65,2	59,6	54,2	51,5	49,1
21		70,6	69,4	65,9	63,5	60,1	59,1	59,7	59,7	59	59,2	61,5	63,3	65,1	66,8	66,1	64,7	61,1	56,9	53,3	50	46,2
22		71,1	69	66	62	60,2	59,7	59,4	59,5	58,5	58,8	60,7	62,5	64,2	66,1	65,4	63,8	60,2	55,9	52,6	49,4	45,8
23		70,9	69,8	66,1	63,4	61	59,4	60,1	59,9	59,2	59,2	61,4	62,8	64,4	66,2	65,5	63,9	60,6	56,8	53,2	50	46,2
Mittelung		70,9	69,5	66,2	63,1	60,6	59,7	60,4	60,0	59,2	59,3	61,5	63,1	64,8	66,5	65,8	65,1	62,3	57,5	53,4	50,3	47,0
24	Landsberger Straße; Germering	64,3	61,5	56,6	53,5	53,9	53,3	51,5	52	53,6	53	55	55,8	57,8	59,7	58,7	58,3	56,2	52,5	48,9	45,7	43,7
25		62,4	60,8	56,8	53	52,4	55,9	54,2	51,7	54	53,5	55,8	56,8	58,1	59,5	58,4	57,9	56,1	52,7	50,6	47,2	45,6
26		62,9	59,2	55,2	52,2	51	51,6	50,5	50,9	51,9	52,6	54,2	54,6	57,4	59,5	58,4	58	56	52,2	48,7	45,5	43,6
27		61,7	61,2	56,7	53,1	54	54,8	53,4	51,4	54,7	53,4	54,9	55,4	57,3	59,4	58,5	58,1	56,1	52,1	48,4	45,3	43,4
Mittelung		63,1	60,7	56,2	53,0	53,2	53,4	52,0	51,5	53,5	53,0	54,7	55,3	57,5	59,5	58,5	58,1	56,1	52,3	48,7	45,5	43,6
28	Würmtalstraße; Martinsried	62	59,9	57,2	54,1	53,5	53,2	57,8	55,7	54,1	54,8	57	59,3	61,9	64,2	63,4	62	59,2	54,8	51,1	48,1	45,5
29		63,2	60,9	57,6	56,3	54,5	54,3	57,5	55,9	55,3	55,3	57,7	59,9	62,2	64,3	63,7	62,5	59,6	55,3	51,7	48,9	46,2
30		60,9	59,5	57,1	53,7	53,1	55	57,4	57,6	54,2	54,2	57,4	59	61,6	64	63,3	62,2	59,3	54,7	52,2	47,9	45,1
31		60,2	59	58,4	55	53,8	54,7	54,7	54,2	54	54	56,3	58,6	61,8	64,2	63,5	62,3	59,5	54,9	51	47,9	45,3

Mittelung		61,7	59,9	57,6	54,9	53,8	54,4	57,0	56,0	54,4	54,6	57,1	59,2	61,9	64,2	63,5	62,3	59,4	54,9	51,5	48,2	45,5
32	A96; Gräfelfing	68,6	69	65,9	63,8	63,2	61,7	62	63,7	65,1	63,9	64,1	68,1	69,8	69,6	68,8	67,7	65,2	61	57,2	53,5	49,3
33		69,2	68,9	66,4	64,2	64,5	61,2	61,1	63,4	64,1	62,9	64,5	67,6	69,4	69,5	68,7	67,7	65,2	61	57,2	53,5	49,3
34		69,2	69,1	66	63,3	63	61,2	60,9	63,1	64,1	62,9	64,2	67,8	69,3	69,5	68,6	67,6	65,2	61	57,2	53,5	49,5
35		68,8	68,8	65,7	64,3	62,9	61,6	61,7	64,1	64,5	62,9	64	68,1	69,8	69,6	68,9	68	65,8	62,1	58,2	54,3	49,4
36		68,9	68,5	66,6	64,2	62,6	61,3	62,4	63,5	63,7	63,2	64,1	67	68,9	69,6	68,8	67,9	65,4	61,3	57,6	53,8	49,5
Mittelung		68,9	68,9	66,1	64,0	63,3	61,4	61,7	63,6	64,3	63,2	64,2	67,7	69,5	69,6	68,8	67,8	65,4	61,3	57,5	53,7	49,4
37	Gabelsberger straße; München	67,1	63,4	60,7	57,4	56,6	54,5	54,1	54,4	54,5	53,4	54	55	56,3	57,2	56,4	55,6	53,7	50,4	47,8	44,2	42,6
38		65,7	63,4	61,3	58,5	56,9	56,2	55,4	55	54,4	53,4	54,1	54,9	55,8	56,6	55,8	55,3	53,6	50,4	47,5	44,6	43,9
39		69,7	64,8	59,7	58,5	56,7	55,4	55	55,7	54,5	54,2	54,8	55,8	57,1	58	57,1	56,5	54,6	51,4	48,1	46	45
40		66,8	64,1	60,6	59,7	58,3	55	55,2	55,8	55	54,1	54,5	55,4	56,8	57,8	57,1	56,3	54,3	51,1	47,7	44,9	43,9
41		65,6	62,9	59,1	56,7	56,2	55,1	53,9	54,3	54,1	53,9	54,2	55	56,2	57,3	56,4	55,8	54	50,6	47,5	45	43,5
Mittelung		67,3	63,8	60,3	58,3	57,0	55,3	54,8	55,1	54,5	53,8	54,3	55,2	56,5	57,4	56,6	55,9	54,1	50,8	47,7	45,0	43,8
42	Pasinger Straße; Planegg	64,6	63,3	60,6	58	56,8	56,3	56,7	56,1	55,9	55,8	57,5	58,4	59,9	61,3	60,2	59,1	56,6	52,4	48,4	45,2	43,2
43		65,5	62,2	59,5	55,8	55,7	56,3	57,7	56,1	55,8	55,7	57,2	57,9	59,8	61,3	60,2	59,1	56,5	52,5	48,5	45,8	44
44		64,8	64,7	58,9	57,1	57,6	56	59,1	56,1	55,8	56	57,6	58,8	60	61,4	60,4	59,1	56,7	52,5	48,6	45,9	44,1
45		65,1	63,3	61,2	63,7	59,5	59,4	56,7	56,8	56,3	55,9	57,5	58,2	59,8	61,2	60,3	59,2	56,9	52,8	49	46,5	44,9
46		65,7	65,7	59,9	56,3	57,6	56,9	57	57,6	57,2	56,5	58,1	58,6	60,1	61,5	60,6	59,4	57	52,9	49,1	46,7	45,1
Mittelung		65,2	64,2	59,8	56,9	57,0	56,4	57,7	56,5	56,2	56,0	57,6	58,4	60,0	61,4	60,4	59,2	56,7	52,6	48,7	45,9	44,2
47	Sauerbruchstraße; Großhadern	61,9	60,2	55,8	55,1	51,8	50,8	50,6	51,5	52	52,3	53,6	54,2	56,8	58,9	57,9	57,3	55,1	50,9	47	44,2	42,1
48		62,3	61,2	58,2	56	55	52,1	52,3	52,6	52,1	53,2	54,3	55,1	57,4	59,2	58,1	57,5	55,4	51,4	48,2	46,7	45,2
49		64,5	61,6	56	54,2	52,4	52,4	51,6	52	52,4	52,1	53,4	54,1	56,8	58,5	57,5	57	54,9	50,7	46,9	44	42,1
50		62,5	61,2	56,3	53	52,5	50,9	52,1	51,9	51,8	51,8	53,6	54	56,3	58,5	57,6	56,9	54,8	50,6	46,7	43,8	42,1
51		64,7	60,7	56,3	53,1	53,2	52,6	53	53,1	52,8	52,7	54,5	55,7	56,7	58,3	57,4	56,7	54,6	50,7	46,9	44,1	42,2
Mittelung		63,3	61,0	56,6	54,4	53,1	51,8	52,0	52,3	52,2	52,4	53,9	54,7	56,8	58,7	57,7	57,1	55,0	50,9	47,2	44,7	42,9

Anhang C: Gemessene Straßenverkehrsspektren, A-bewertet

Messung Nummer	Messort	Frequenz [Hz]																				
		50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
7	A99; Freiham	35,8	42,5	44,3	45,7	46,4	48,3	50,7	53,1	57,7	58,2	59,7	64,7	68,4	68,9	68,8	68,6	66,2	63,1	59,3	55,7	51,5
8		36,9	43,4	43,2	45,3	48,1	48,8	50,8	52,7	55,7	58,1	60,1	65,0	68,3	69,2	69,0	68,7	66,6	64,3	60,3	56,1	51,6
9		34,7	42,0	43,8	45,2	47,8	48,4	50,3	52,9	56,3	58,5	60,3	64,3	68,3	69,0	68,9	68,5	66,2	63,1	59,2	55,6	51,3
10		36,1	42,6	43,9	46,0	47,5	48,7	50,6	53,5	56,9	58,6	60,4	64,7	68,3	69,3	68,9	68,5	66,1	62,9	58,9	55,2	50,8
Mittelung		36,0	42,6	43,8	45,5	47,5	48,5	50,6	53,1	56,7	58,4	60,1	64,7	68,3	69,1	68,9	68,6	66,3	63,4	59,5	55,6	51,3
11	Augsburger Straße; Germering	29,5	34,0	33,3	32,8	33,4	35,6	38,2	41,4	42,6	45,3	48,2	49,6	53,3	56,2	56,4	56,7	55,2	52,1	48,0	44,0	41,4
12		28,7	31,4	30,9	30,8	36,0	35,1	37,1	39,7	42,7	44,5	47,7	50,4	52,9	56,0	55,9	56,3	54,7	51,3	47,1	43,2	40,7
13		30,3	33,6	34,5	32,3	36,4	36,7	39,7	42,2	43,8	46,1	48,3	49,6	52,6	55,7	55,9	56,5	55,0	51,6	47,6	43,7	41,2
14		33,4	38,5	34,1	34,1	35,5	36,4	39,4	41,3	43,6	45,7	48,4	49,9	53,0	56,0	56,2	56,7	55,3	52,4	48,4	47,0	43,2
Mittelung		30,9	35,2	33,4	32,6	35,5	36,0	38,7	41,3	43,2	45,5	48,1	49,9	53,0	56,0	56,1	56,5	55,1	51,8	47,8	44,7	41,7
15	B2; Puchheim	38,6	41,0	41,9	42,5	43,5	46,6	49,0	53,3	53,4	53,9	57,3	60,6	64,4	66,6	66,2	65,6	63,0	58,8	54,5	50,6	48,2
16		36,2	39,3	39,6	41,0	43,8	46,1	47,7	51,7	52,8	53,6	57,0	60,8	64,6	66,7	66,2	65,5	63,0	58,8	54,5	50,6	48,2
17		34,6	38,3	38,0	40,4	42,9	48,3	48,3	50,2	52,2	53,6	56,5	60,5	64,3	66,5	66,2	65,6	63,1	58,8	54,6	50,9	48,5
18		35,4	36,9	38,2	39,4	41,5	44,2	47,9	51,3	51,6	53,3	56,7	60,3	64,3	66,6	66,2	65,7	63,0	58,9	54,6	50,8	48,7
19		35,0	38,3	40,7	39,2	41,3	44,6	47,5	50,8	53,5	53,9	57,1	60,6	64,8	67,3	67,0	66,6	64,0	59,6	55,1	51,2	50,0
Mittelung		35,4	38,3	39,3	40,0	42,5	46,1	47,8	51,1	52,5	53,6	56,8	60,5	64,5	66,8	66,4	65,9	63,3	59,0	54,7	50,8	48,9
20	Georg-Brauchle-Ring; München	40,5	43,7	44,2	44,4	44,9	47,3	51,0	52,0	53,5	55,2	59,0	61,8	64,6	67,0	66,8	68,1	66,4	60,9	55,4	52,5	49,7
21		40,3	43,2	43,5	44,4	43,9	45,9	48,9	51,0	52,4	54,4	58,3	61,4	64,3	66,8	66,7	65,7	62,3	58,2	54,5	51,0	46,8
22		40,8	42,8	43,6	42,9	44,0	46,5	48,6	50,8	51,9	54,0	57,5	60,6	63,4	66,1	66,0	64,8	61,4	57,2	53,8	50,4	46,4
23		40,6	43,6	43,7	44,3	44,8	46,2	49,3	51,2	52,6	54,4	58,2	60,9	63,6	66,2	66,1	64,9	61,8	58,1	54,4	51,0	46,8
Mittelung		40,6	43,3	43,8	44,0	44,4	46,5	49,5	51,3	52,6	54,5	58,2	61,2	64,0	66,5	66,4	66,1	63,5	58,8	54,6	51,3	47,6
24	Landsberger Straße; Germering	34,0	35,3	34,2	34,4	37,7	40,1	40,7	43,3	47,0	48,2	51,8	53,9	57,0	59,7	59,3	59,3	57,4	53,8	50,1	46,7	44,3
25		32,1	34,6	34,4	33,9	36,2	42,7	43,4	43,0	47,4	48,7	52,6	54,9	57,3	59,5	59,0	58,9	57,3	54,0	51,8	48,2	46,2
26		32,6	33,0	32,8	33,1	34,8	38,4	39,7	42,2	45,3	47,8	51,0	52,7	56,6	59,5	59,0	59,0	57,2	53,5	49,9	46,5	44,2
27		31,4	35,0	34,3	34,0	37,8	41,6	42,6	42,7	48,1	48,6	51,7	53,5	56,5	59,4	59,1	59,1	57,3	53,4	49,6	46,3	44,0
Mittelung		32,8	34,5	33,8	33,8	37,0	40,2	41,1	42,8	46,9	48,2	51,5	53,4	56,7	59,5	59,1	59,1	57,3	53,5	49,9	46,5	44,1

28	Würmtalstraße; Martinsried	31,7	33,7	34,8	35,0	37,3	40,0	47,0	47,0	47,5	50,0	53,8	57,4	61,1	64,2	64,0	63,0	60,4	56,1	52,3	49,1	46,1
29		32,9	34,7	35,2	37,2	38,3	41,1	46,7	47,2	48,7	50,5	54,5	58,0	61,4	64,3	64,3	63,5	60,8	56,6	52,9	49,9	46,8
30		30,6	33,3	34,7	34,6	36,9	41,8	46,6	48,9	47,6	49,4	54,2	57,1	60,8	64,0	63,9	63,2	60,5	56,0	53,4	48,9	45,7
31		29,9	32,8	36,0	35,9	37,6	41,5	43,9	45,5	47,4	49,2	53,1	56,7	61,0	64,2	64,1	63,3	60,7	56,2	52,2	48,9	45,9
Mittelung		31,5	33,7	35,2	35,7	37,6	41,1	46,2	47,3	47,8	49,8	53,9	57,3	61,1	64,2	64,1	63,2	60,6	56,2	52,7	49,2	46,1
32	A96; Gräfelfing	38,3	42,8	43,5	44,7	47,0	48,5	51,2	55,0	58,5	59,1	60,9	66,2	69,0	69,6	69,4	68,7	66,4	62,3	58,4	54,5	49,9
33		38,9	42,7	44,0	45,1	48,3	48,0	50,3	54,7	57,5	58,1	61,3	65,7	68,6	69,5	69,3	68,7	66,4	62,3	58,4	54,5	49,9
34		38,9	42,9	43,6	44,2	46,8	48,0	50,1	54,4	57,5	58,1	61,0	65,9	68,5	69,5	69,2	68,6	66,4	62,3	58,4	54,5	50,1
35		38,5	42,6	43,3	45,2	46,7	48,4	50,9	55,4	57,9	58,1	60,8	66,2	69,0	69,6	69,5	69,0	67,0	63,4	59,4	55,3	50,0
36		38,6	42,3	44,2	45,1	46,4	48,1	51,6	54,8	57,1	58,4	60,9	65,1	68,1	69,6	69,4	68,9	66,6	62,6	58,8	54,8	50,1
Mittelung		38,7	42,6	43,7	44,8	47,1	48,2	50,8	54,9	57,7	58,4	60,9	65,8	68,7	69,6	69,3	68,8	66,6	62,6	58,7	54,7	50,0
37	Gabelsberger straße; München	36,8	37,2	38,3	38,3	40,4	41,3	43,3	45,7	47,9	48,6	50,8	53,1	55,5	57,2	57,0	56,6	54,9	51,7	49,0	45,2	43,2
38		35,4	37,2	38,9	39,4	40,7	43,0	44,6	46,3	47,8	48,6	50,9	53,0	55,0	56,6	56,4	56,3	54,8	51,7	48,7	45,6	44,5
39		39,4	38,6	37,3	39,4	40,5	42,2	44,2	47,0	47,9	49,4	51,6	53,9	56,3	58,0	57,7	57,5	55,8	52,7	49,3	47,0	45,6
40		36,5	37,9	38,2	40,6	42,1	41,8	44,4	47,1	48,4	49,3	51,3	53,5	56,0	57,8	57,7	57,3	55,5	52,4	48,9	45,9	44,5
41		35,3	36,7	36,7	37,6	40,0	41,9	43,1	45,6	47,5	49,1	51,0	53,1	55,4	57,3	57,0	56,8	55,2	51,9	48,7	46,0	44,1
Mittelung		37,0	37,5	38,0	39,1	40,8	42,0	43,9	46,4	47,9	49,0	51,1	53,3	55,7	57,4	57,2	56,9	55,3	52,1	48,9	45,9	44,4
42	Pasinger Straße; Planegg	34,3	37,1	38,2	38,9	40,6	43,1	45,9	47,4	49,3	51,0	54,3	56,5	59,1	61,3	60,8	60,1	57,8	53,7	49,6	46,2	43,8
43		35,2	36,0	37,1	36,7	39,5	43,1	46,9	47,4	49,2	50,9	54,0	56,0	59,0	61,3	60,8	60,1	57,7	53,8	49,7	46,8	44,6
44		34,5	38,5	36,5	38,0	41,4	42,8	48,3	47,4	49,2	51,2	54,4	56,9	59,2	61,4	61,0	60,1	57,9	53,8	49,8	46,9	44,7
45		34,8	37,1	38,8	44,6	43,3	46,2	45,9	48,1	49,7	51,1	54,3	56,3	59,0	61,2	60,9	60,2	58,1	54,1	50,2	47,5	45,5
46		35,4	39,5	37,5	37,2	41,4	43,7	46,2	48,9	50,6	51,7	54,9	56,7	59,3	61,5	61,2	60,4	58,2	54,2	50,3	47,7	45,7
Mittelung		34,9	38,0	37,4	37,7	40,8	43,1	46,9	47,9	49,6	51,2	54,4	56,5	59,2	61,4	60,9	60,2	57,9	53,9	49,9	46,9	44,7
47	Sauerbruch Straße; Großhadern	31,6	34,0	33,4	36,0	35,6	37,6	39,8	42,8	45,4	47,5	50,4	52,3	56,0	58,9	58,5	58,3	56,3	52,2	48,2	45,2	42,7
48		32,0	35,0	35,8	36,9	38,8	38,9	41,5	43,9	45,5	48,4	51,1	53,2	56,6	59,2	58,7	58,5	56,6	52,7	49,4	47,7	45,8
49		34,2	35,4	33,6	35,1	36,2	39,2	40,8	43,3	45,8	47,3	50,2	52,2	56,0	58,5	58,1	58,0	56,1	52,0	48,1	45,0	42,7
50		32,2	35,0	33,9	33,9	36,3	37,7	41,3	43,2	45,2	47,0	50,4	52,1	55,5	58,5	58,2	57,9	56,0	51,9	47,9	44,8	42,7
51		34,4	34,5	33,9	34,0	37,0	39,4	42,2	44,4	46,2	47,9	51,3	53,8	55,9	58,3	58,0	57,7	55,8	52,0	48,1	45,1	42,8
Mittelung		33,1	34,8	34,2	35,3	36,9	38,6	41,1	43,6	45,6	47,7	50,7	52,8	56,0	58,7	58,3	58,1	56,2	52,1	48,4	45,7	43,5

Anhang D: Gemessene Straßenverkehrsspektren, normiert auf 80 dB(A)

		Frequenz [Hz]																						Pegelsumme
		50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000		
Autobahn	A99; Freiham	36,0	42,6	43,8	45,5	47,5	48,5	50,6	53,1	56,7	58,4	60,1	64,7	68,3	69,1	68,9	68,6	66,3	63,4	59,5	55,6	51,3	76,4	
	Normiert auf 80 dB(A)	39,6	46,3	47,5	49,2	51,1	52,1	54,2	56,7	60,3	62,0	63,7	68,3	72,0	72,7	72,5	72,2	69,9	67,0	63,1	59,3	54,9	80,0	
	A96; Gräfelfing	38,7	42,6	43,7	44,8	47,1	48,2	50,8	54,9	57,7	58,4	60,9	65,8	68,7	69,6	69,3	68,8	66,6	62,6	58,7	54,7	50,0	76,7	
	Normiert auf 80 dB(A)	42,0	45,9	47,0	48,1	50,4	51,4	54,1	58,2	61,0	61,7	64,2	69,1	71,9	72,8	72,6	72,1	69,9	65,9	62,0	58,0	53,2	80,0	
	Mittelung	37,5	42,6	43,8	45,2	47,3	48,3	50,7	54,1	57,2	58,4	60,5	65,3	68,5	69,3	69,1	68,7	66,4	63,0	59,1	55,2	50,7	76,5	
	Normiert auf 80 dB(A)	41,0	46,1	47,2	48,6	50,8	51,8	54,1	57,5	60,7	61,8	64,0	68,7	72,0	72,8	72,6	72,1	69,9	66,4	62,6	58,6	54,1	80,0	
Stadtautobahn	Georg-Brauchle-Ring; München	40,6	43,3	43,8	44,0	44,4	46,5	49,5	51,3	52,6	54,5	58,2	61,2	64,0	66,5	66,4	66,1	63,5	58,8	54,6	51,3	47,6	73,4	
	Normiert auf 80 dB(A)	47,2	49,9	50,4	50,6	51,1	53,1	56,1	57,9	59,2	61,2	64,9	67,8	70,6	73,2	73,0	72,7	70,1	65,4	61,2	57,9	54,2	80,0	
Schnellstraße	Georg-Brauchle-Ring; München	40,6	43,3	43,8	44,0	44,4	46,5	49,5	51,3	52,6	54,5	58,2	61,2	64,0	66,5	66,4	66,1	63,5	58,8	54,6	51,3	47,6	73,4	
	Normiert auf 80 dB(A)	47,2	49,9	50,4	50,6	51,1	53,1	56,1	57,9	59,2	61,2	64,9	67,8	70,6	73,2	73,0	72,7	70,1	65,4	61,2	57,9	54,2	80,0	
	B2; Puchheim	35,4	38,3	39,3	40,0	42,5	46,1	47,8	51,1	52,5	53,6	56,8	60,5	64,5	66,8	66,4	65,9	63,3	59,0	54,7	50,8	48,9	73,3	
	Normiert auf 80 dB(A)	42,0	44,9	45,9	46,7	49,2	52,7	54,5	57,7	59,2	60,3	63,5	67,2	71,2	73,5	73,1	72,5	70,0	65,7	61,4	57,5	55,5	80,0	
	Würmtalstraße; Martinsried	31,5	33,7	35,2	35,7	37,6	41,1	46,2	47,3	47,8	49,8	53,9	57,3	61,1	64,2	64,1	63,2	60,6	56,2	52,7	49,2	46,1	70,6	
	Normiert auf 80 dB(A)	40,8	43,1	44,6	45,1	47,0	50,5	55,6	56,7	57,2	59,2	63,3	66,7	70,5	73,6	73,4	72,6	70,0	65,6	62,1	58,6	55,5	80,0	
	Mittelung	35,8	38,4	39,4	39,9	41,5	44,5	47,8	49,9	51,0	52,7	56,3	59,7	63,2	65,8	65,6	65,1	62,5	58,0	54,0	50,4	47,5	72,4	
	Normiert auf 80 dB(A)	43,4	46,0	47,0	47,5	49,1	52,1	55,4	57,5	58,5	60,2	63,9	67,3	70,8	73,4	73,2	72,6	70,0	65,6	61,6	58,0	55,1	80,0	
Stadtstraße	Augsburger Straße; Germering	30,9	35,2	33,4	32,6	35,5	36,0	38,7	41,3	43,2	45,5	48,1	49,9	53,0	56,0	56,1	56,5	55,1	51,8	47,8	44,7	41,7	63,6	
	Normiert auf 80 dB(A)	47,3	51,6	49,8	49,0	51,9	52,4	55,1	57,7	59,6	61,9	64,5	66,3	69,4	72,4	72,5	73,0	71,5	68,3	64,2	61,1	58,1	80,0	
	Landsberger Straße; Germering	32,8	34,5	33,8	33,8	37,0	40,2	41,1	42,8	46,9	48,2	51,5	53,4	56,7	59,5	59,1	59,1	57,3	53,5	49,9	46,5	44,1	66,5	
	Normiert auf 80 dB(A)	46,3	48,0	47,3	47,3	50,5	53,7	54,6	56,3	60,4	61,7	65,0	66,9	70,2	73,0	72,6	72,6	70,8	67,0	63,4	60,0	57,6	80,0	
	Gabelsbergerstraße; München	37,0	37,5	38,0	39,1	40,8	42,0	43,9	46,4	47,9	49,0	51,1	53,3	55,7	57,4	57,2	56,9	55,3	52,1	48,9	45,9	44,4	65,0	
	Normiert auf 80 dB(A)	52,0	52,5	52,9	54,1	55,8	57,0	58,9	61,4	62,8	64,0	66,1	68,3	70,6	72,4	72,1	71,9	70,2	67,0	63,9	60,9	59,4	80,0	
	Pasinger Straße; Planegg	34,9	38,0	37,4	37,7	40,8	43,1	46,9	47,9	49,6	51,2	54,4	56,5	59,2	61,4	60,9	60,2	57,9	53,9	49,9	46,9	44,7	68,2	
	Normiert auf 80 dB(A)	46,7	49,7	49,2	49,5	52,6	54,9	58,7	59,6	61,4	63,0	66,2	68,3	70,9	73,2	72,7	72,0	69,7	65,6	61,7	58,7	56,5	80,0	
	Sauerbruchstraße; Großhadern	33,1	34,8	34,2	35,3	36,9	38,6	41,1	43,6	45,6	47,7	50,7	52,8	56,0	58,7	58,3	58,1	56,2	52,1	48,4	45,7	43,5	65,6	
	Normiert auf 80 dB(A)	47,5	49,2	48,6	49,7	51,4	53,0	55,6	58,0	60,0	62,1	65,1	67,2	70,4	73,1	72,7	72,5	70,6	66,6	62,8	60,1	57,9	80,0	
	Mittelung	34,2	36,2	35,8	36,4	38,8	40,7	43,3	45,0	47,1	48,7	51,6	53,7	56,5	59,0	58,6	58,4	56,5	52,8	49,0	46,0	43,8	66,1	
	Normiert auf 80 dB(A)	48,2	50,2	49,7	50,3	52,7	54,6	57,2	59,0	61,1	62,7	65,5	67,6	70,5	72,9	72,6	72,3	70,4	66,7	63,0	59,9	57,7	80,0	

Anhang E: Verkehrszählung

Messung Nummer	Messort	Leichtverkehr <i>PKW, Krad, Lieferwagen</i>	Schwerverkehr <i>LKW, Bus</i>	SV Anteil [%]
7	A99; Freiham	1213	217	15%
8		1298	233	15%
9		1207	202	14%
10		1331	240	15%
Mittelwert		1262	223	15%
11	Augsburger Straße; Germering	106	4	4%
12		117	3	3%
13		97	6	6%
14		110	5	4%
Mittelwert		108	5	4%
15	B2; Puchheim	408	23	5%
16		431	21	5%
17		453	20	4%
18		531	18	3%
19		556	11	2%
Mittelwert		493	18	3%
20	Georg-Brauchle-Ring; München	2337	116	5%
21		2398	77	3%
22		2540	71	3%
23		2377	87	4%
Mittelwert		2413	88	4%
24	Landsberger Straße; Germering	266	17	6%
25		234	13	5%
26		253	5	2%
27		262	8	3%
Mittelwert		260	10	4%
28	Würmtalstraße; Martinsried	302	11	4%
29		318	16	5%
30		285	16	5%
31		334	6	2%
Mittelwert		310	12	4%
32	A96; Gräfelfing	1738	149	8%
33		1851	156	8%
34		1827	138	7%
35		2031	162	7%
36		1993	107	5%
Mittelwert		1888	142	7%
37	Gabelsbergerstraße; München	273	15	5%
38		291	14	5%
39		292	23	7%
40		292	19	6%
41		230	13	5%
Mittelwert		276	17	6%
42	Pasinger Straße; Planegg	272	12	4%
43		326	12	4%
44		305	11	3%
45		347	11	3%
46		340	12	3%
Mittelwert		311	12	4%
47	Sauerbruch Straße; Großhadern	294	3	1%
48		306	6	2%
49		298	4	1%
50		299	3	1%
51		289	10	3%
Mittelwert		297	5	2%

Anhang F: Straßenverkehrsspektren aus Forschungsbericht: „Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile“ von Akustik-Ingenieurbüro Moll

Frequenz	Autobahn	A-bewertet	Normiert auf 80 dB(A)	Stadtautobahn	A-bewertet	Normiert auf 80 dB(A)	offene Bebauung	A-bewertet	Normiert auf 80 dB(A)	geschlossene Bebauung	A-bewertet	Normiert auf 80 dB(A)
50	68	37,7	42,5	76	45,7	48,8	69	38,7	47,5	72,5	42,2	51,1
63	67	40,8	45,6	77	50,8	53,9	72	45,8	54,6	73,4	47,2	56,1
80	70	47,6	52,4	79	56,6	59,7	71	48,6	57,4	71,9	49,5	58,4
100	69	49,9	54,7	75	55,9	59,0	68	48,9	57,7	70,2	51,1	60,0
125	69	52,8	57,6	73	56,8	59,9	65	48,8	57,6	67,1	50,9	59,8
160	67	53,8	58,6	71	57,8	60,9	66	52,8	61,6	67,8	54,6	63,5
200	65	54,2	59,0	69	58,2	61,3	64	53,2	62,0	66,3	55,5	64,4
250	64	55,3	60,1	68	59,3	62,4	64	55,3	64,1	63,8	55,1	64,0
315	65	58,4	63,2	68	61,4	64,5	62	55,4	64,2	63,4	56,8	65,7
400	64	59,2	64,0	68	63,2	66,3	61	56,2	65,0	62,0	57,2	66,1
500	66	62,8	67,6	69	65,8	68,9	62	58,8	67,6	61,6	58,4	67,3
630	66	64,1	68,9	68	66,1	69,2	62	60,1	68,9	62,2	60,3	69,2
800	66	65,2	70,0	68	67,2	70,3	62	61,2	70,0	62,6	61,8	70,7
1000	67	67,0	71,8	68	68,0	71,1	63	63,0	71,8	62,6	62,6	71,5
1250	67	67,6	72,4	68	68,6	71,7	62	62,6	71,4	61,4	62,0	70,9
1600	66	67,0	71,8	67	68,0	71,1	61	62,0	70,8	60,2	61,2	70,1
2000	64	65,2	70,0	65	66,2	69,3	60	61,2	70,0	59,2	60,4	69,3
2500	61	62,3	67,1	63	64,3	67,4	57	58,3	67,1	57,1	58,4	67,3
3150	58	59,2	64,0	60	61,2	64,3	55	56,2	65,0	54,9	56,1	65,0
4000	56	57,0	61,8	58	59,0	62,1	53	54,0	62,8	53,1	54,1	63,0
5000	55	55,6	60,4	56	56,6	59,7	51	51,6	60,4	50,9	51,5	60,4

Anhang G: Schalldämmungsverläufe aus Masterarbeit „Untersuchung der Dämmwirkung von Gebäudefassaden zum Schallschutz gegen Schienenverkehrslärm auf der Grundlage von exemplarischen Bausituationen und normativen Berechnungsverfahren“ von Julia Graf

Gebäude	Kreisverwaltungs- referat (KVR)	Kreisverwaltungs- referat (KVR)	Mehrfamilien- haus	Einfamilien- haus	Einfamilien- haus
Adresse	Ruppertstr. 19, München	Ruppertstr. 11, München	Karwendelstr. 24a, München	Erhardstr. 29, Hattenhofen	Erhardstr. 29, Hattenhofen
Raum	Büro 3082	Büro 283	Bad	Wohnen, 1. OG	Wohnen, EG
f [Hz]	R'w (45°)	R'w (45°)	R'w (45°)	R'w (45°)	R'w (45°)
50	27,7	28,5	41,3	27,0	23,7
62	23,5	22,4	36,9	25,0	28,6
80	25,5	20,5	39,6	21,4	27,4
100	24,4	24,0	37,6	23,8	25,6
125	27,0	28,4	39,5	25,9	20,4
160	29,7	26,0	47,0	28,4	23,9
200	33,4	27,0	43,7	23,9	24,2
250	38,4	31,0	46,1	27,7	24,5
315	39,4	30,5	42,1	29,8	28,2
400	38,0	33,7	43,4	28,1	32,9
500	41,9	34,0	46,5	29,6	34,8
630	43,5	34,3	49,8	29,9	37,1
800	43,1	36,1	53,5	26,1	37,9
1000	46,0	38,6	51,6	27,5	38,7
1250	41,7	39,4	51,7	28,6	39,8
1600	46,2	38,0	51,6	29,2	38,7
2000	51,5	42,4	52,3	30,7	40,2
2500	51,7	41,4	48,7	35,8	40,3
3150	49,1	40,5	44,5	35,2	36,8
4000	53,5	44,6	49,4	37,6	41,1
5000	58,2	45,2	54,9	39,0	45,2
R'w	44,6	38,0	49,5	30,5	37,0

Eigenständigkeitserklärung zur Masterthesis

Ich versichere hiermit, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen Quellen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Die Arbeit wurde noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt.

München, den 15.05.2019

.....

Martin Gierens