

TEXTE

84/2021

Abschlussbericht

Vergleichsrechnungen für die EU-Umgebungslärmrichtlinie

von:

Dipl.-Ing. Frank Heidebrunn, Dipl.-Ing. Christian Popp
LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg

Dr.-Ing. Klaus-Georg Krapf

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 84/2021

Projektnummer 141301

FB000470

Abschlussbericht

Vergleichsrechnungen für die EU-Umgebungslärmrichtlinie

von

Dipl.-Ing. Frank Heidebrunn, Dipl.-Ing. Christian Popp
LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg

Dr.-Ing. Klaus-Georg Krapf

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

LÄRMKONTOR GmbH
Altonaer Poststraße 13b
22767 Hamburg

Abschlussdatum:

November 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 2.4 Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen
Julia Treichel

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Mai 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Vergleichsrechnungen für die EU-Umgebungslärmrichtlinie

Für Berechnungen zum Straßenverkehrslärm nach nationalem Recht werden bisher die „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-90**“ angewandt. Diese werden am 01.03.2021 mit Änderung der 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung) durch die am 31.10.2019 im Verkehrsblatt bekanntgegebenen „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-19**“ abgelöst.

Die Berechnungen nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie erfolgten dagegen bis Ende 2018 nach der „Vorläufige[n] Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – **VBUS**“, die am 31.12.2018 durch die „Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – **BUB**“ ersetzt wurde.

Derzeit werden in Deutschland somit die Berechnungsergebnisse von drei, demnächst sogar vier verschiedenen Berechnungsvorschriften zum Straßenverkehr verglichen. Dies macht es erforderlich, die Unterschiede der Berechnungsverfahren und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse genau zu kennen.

Im Rahmen dieses Projektes sind daher die Unterschiede der einzelnen Berechnungsterme zwischen den vier genannten Berechnungsvorschriften herausgearbeitet und deren individuelle Auswirkungen verglichen worden. Darauf aufbauend wurden die Auswirkungen der schallquellen- und ausbreitungsbezogenen Änderungen auf die Immissionspegel durch Modellrechnungen zu einzelnen Ausbreitungsparametern herausgearbeitet. Die Auswirkungen von nationalen Standardwerten für einzelne Parameter sind dabei in die Bewertung einbezogen worden.

Abstract: Comparative calculations for the EU Environmental Noise Directive

For calculations of road traffic noise according to national law, the „*Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-90***“ (Guidelines for road noise protection – RLS-90) have been used so far. These will be replaced on March 1, 2021 by the „*Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-19***“ (Guidelines for road noise protection – RLS-19) announced in the Traffic Journal on October 31, 2019 with the amendment of the 16th BImSchV (Traffic Noise Protection Ordinance).

On the other hand, calculations according to the EU Environmental Noise Directive were carried out using the „*Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – **VBUS***“ (Preliminary calculation method for environmental noise on roads – VBUS) until the end of 2018. It was replaced by the „*Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – **BUB***“ (Calculation method for environmental noise from sources close to the ground (roads, railways, industry and commerce) – BUB) on December 31, 2018.

Therefore, in Germany the results of three, soon four different calculation methods for road traffic noise are being compared at present. This makes it necessary to know the methodical differences between the calculation methods and their effects on the calculated noise levels.

In this project, the differences of the individual calculation formulas between the four mentioned calculation methods were worked out and their individual differences and effects compared. Based on this, the effects of the source and propagation-related changes on the immission levels were analysed using model calculations for individual parameters. The effects of national standard values for individual parameters were included in the assessment.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	13
Formelverzeichnis	15
Abkürzungsverzeichnis	16
Formelzeichenverzeichnis	17
Zusammenfassung	18
Summary	23
1 Einleitung	28
2 Herangehensweise der Modellierung	29
2.1 Grundlegende Unterschiede	29
2.1.1 Einsatzzweck und Beurteilungszeiten	29
2.1.2 Beschreibung der Schallemission	30
2.1.2.1 RLS-90	30
2.1.2.2 RLS-19	30
2.1.2.3 VBUS	31
2.1.2.4 BUB	31
2.1.3 Beschreibung der Schallausbreitung	32
2.1.3.1 RLS-90	33
2.1.3.2 RLS-19	33
2.1.3.3 VBUS	33
2.1.3.4 BUB	34
2.1.4 Rundung	37
2.2 Nicht geometrische Emissionsparameter	37
2.2.1 Klassifikation der Fahrzeuge	37
2.2.2 Verkehrsmengen	38
2.2.3 Geschwindigkeit	39
2.2.4 Straßenoberfläche	40
2.2.4.1 RLS-90	40
2.2.4.2 RLS-19	41
2.2.4.3 VBUS	42
2.2.4.4 BUB	43
2.3 Geometrische Emissionsparameter	44

2.3.1	Knotenpunkte	44
2.3.1.1	Lichtzeichengeregelte Kreuzungen.....	44
2.3.1.2	Kreisverkehre	45
2.3.2	Gradienten	45
2.3.2.1	RLS-90	45
2.3.2.2	RLS-19	45
2.3.2.3	VBUS	46
2.3.2.4	BUB	46
2.3.3	Mehrfachreflexionen	47
2.3.3.1	RLS-90	47
2.3.3.2	RLS-19	48
2.3.3.3	VBUS	48
2.3.3.4	BUB	48
2.3.4	Fahrstreifen.....	49
2.3.5	Zerlegung der Fahrstreifen in Punktquellen	50
2.3.6	Emissionshöhe	50
2.4	Geometrische Parameter der Schallausbreitung.....	50
2.4.1	Boden-/Meteorologiedämpfung.....	50
2.4.2	Abstand und Luftabsorption	52
2.4.3	Abschirmung	53
2.4.3.1	RLS-90	53
2.4.3.2	RLS-19	53
2.4.3.3	VBUS	53
2.4.3.4	BUB	55
2.4.4	Reflexionen	55
2.4.4.1	RLS-90	56
2.4.4.2	RLS-19	57
2.4.4.3	VBUS	57
2.4.4.4	BUB	57
2.4.4.5	Mehrfachreflexion	58
2.4.4.6	Retrobeugung	58
3	Beispielhafte Szenarien	59
3.1	Grundlegende Unterschiede	59
3.1.1	Emissionspegel vs. Schallleistungspegel	59

3.1.2	Rundung	60
3.2	Nichtgeometrische Emissionsparameter	60
3.2.1	Stündliche Verkehrsstärken – Standardwerte	60
3.2.2	Lkw-Anteile – Standardwerte	61
3.2.3	Geschwindigkeiten.....	63
3.2.4	Geschwindigkeiten – Lkw auf Bundesautobahnen.....	65
3.2.5	Straßenoberflächen	66
3.2.5.1	Straßenoberflächen im Vergleich zu Gussasphalt	67
3.2.5.2	Vergleich der Immissionspegel auf Gussasphalt	70
3.2.5.3	Immissionspegelunterschiede aufgrund unterschiedlicher Straßenoberflächen	71
3.3	Geometrische Emissionsparameter	75
3.3.1	Knotenpunkte	75
3.3.1.1	Lichtzeichengeregelte Kreuzungen.....	75
3.3.1.2	Kreisverkehre	77
3.3.2	Gradienten	79
3.3.3	Fahrstreifen.....	82
3.3.4	Emissionshöhe	84
3.4	Geometrische Parameter der Schallausbreitung.....	89
3.4.1	Freie Schallausbreitung.....	90
3.4.2	Abschirmung	91
3.4.3	Reflexionen	93
3.4.3.1	Berechnung der Reflexionen	93
3.4.3.2	Absorption	95
3.4.3.3	Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexionen.....	97
3.5	Weitere Besonderheiten.....	99
3.5.1	Bodenfaktor G nach der BUB	99
3.5.2	Homogene vs. günstige Ausbreitung nach der BUB	106
3.5.3	Standardeinstellungen der Softwareprodukte	113
4	Zusammenfassung.....	114
4.1	Vorschriften.....	114
4.2	Unterschiede	114
4.2.1	Standardwerte zur Umrechnung von DTV in stündliche Verkehrsstärke M	115
4.2.2	Standardwerte für Lkw-Anteile.....	115
4.2.3	Geschwindigkeiten.....	115

4.2.4	Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h für Lkw auf BAB	116
4.2.5	Lichtzeichengeregelte Kreuzungen	116
4.2.6	Kreisverkehre	116
4.2.7	Steigung/Gefälle	116
4.2.8	Fahrstreifen.....	116
4.2.9	Emissionshöhe	116
4.2.10	Straßendeckschichten.....	117
4.2.11	Emissionspegel.....	117
4.2.12	Freie Schallausbreitung.....	117
4.2.13	Abschirmung	118
4.2.14	Reflexion	118
4.2.15	Absorption	118
4.2.16	Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexionen.....	118
4.2.17	Bodenfaktor G	118
4.2.18	Bodenfaktor G unter homogenen und günstigen Ausbreitungsbedingungen	119
4.2.19	Teilstückzerlegung	119
4.3	Gesamtvergleich	119
5	Quellenverzeichnis	121
A	Berechnungsgrundlagen.....	123
A.1	Kapitel 3.1.1: Emissionspegel vs. Schallleistungspegel	123
A.2	Kapitel 3.2.1: Stündliche Verkehrsstärken – Standardwerte.....	123
A.3	Kapitel 3.2.2: Lkw-Anteile – Standardwerte	123
A.4	Kapitel 3.2.3: Geschwindigkeiten.....	123
A.5	Kapitel 3.2.4: Geschwindigkeiten – Lkw auf Bundesautobahnen.....	123
A.6	Kapitel 3.2.5.1: Straßenoberflächen im Vergleich zu Gussasphalt	124
A.7	Kapitel 3.2.5.2: Vergleich der Immissionspegel auf Gussasphalt	124
A.8	Kapitel 3.2.5.3: Immissionspegelunterschiede aufgrund unterschiedlicher Straßenoberflächen	124
A.9	Kapitel 3.3.1.1: Lichtzeichengeregelte Kreuzungen.....	124
A.10	Kapitel 3.3.1.2: Kreisverkehre	125
A.11	Kapitel 3.3.2: Gradienten	127
A.12	Kapitel 3.3.3: Fahrstreifen.....	127
A.13	Kapitel 3.3.4: Emissionshöhe	127
A.14	Kapitel 3.4: Geometrische Parameter der Schallausbreitung.....	128

A.15	Kapitel 3.4.1: Freie Schallausbreitung.....	129
A.16	Kapitel 3.4.2: Abschirmung	129
A.17	Kapitel 3.4.3.1: Berechnung der Reflexion.....	130
A.18	Kapitel 3.4.3.2: Absorption	131
A.19	Kapitel 3.4.3.3: Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexion	131
A.20	Kapitel 3.5.1: Bodenfaktor G nach der BUB	131
A.21	Kapitel 3.5.2: Homogene vs. günstige Ausbreitung nach der BUB	132

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Quelllinien nach RLS-90/VBUS.....	49
Abbildung 2:	Quelllinien nach RLS-19	49
Abbildung 3:	Ausbreitungsweg nach RLS-90	53
Abbildung 4:	Ausbreitungsweg nach VBUS.....	54
Abbildung 5:	Spiegelschallquellen	56
Abbildung 6:	Auswirkung der Änderung der Lkw-Anteile (GA)	62
Abbildung 7:	Auswirkung der Änderung der Standardwerte für Lkw-Anteile (SMA 08)	63
Abbildung 8:	Geschwindigkeitsabhängige Pegelkorrektur (nicht geriffelter Gussasphalt)	64
Abbildung 9:	Geschwindigkeitsabhängige Pegelkorrektur (Splittmastixasphalt 0/8)	65
Abbildung 10:	Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – Splittmastixasphalte 0/8	67
Abbildung 11:	Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – OPA 11.....	68
Abbildung 12:	Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – OPA 8.....	68
Abbildung 13:	Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – Waschbeton	69
Abbildung 14:	Resultierende Deckschichtkorrekturen (ggü. GA) – Pflaster mit ebener Oberfläche	69
Abbildung 15:	Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – sonstiges Pflaster	70
Abbildung 16:	Deckschichtkorrekturen von Gussasphalt gegenüber RLS-90/VBUS.....	71
Abbildung 17:	Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – Splittmastixasphalte 0/8	72
Abbildung 18:	Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – OPA 11	72
Abbildung 19:	Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – OPA 8	73
Abbildung 20:	Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – Waschbeton	73
Abbildung 21:	Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – Pflaster mit ebener Oberfläche	74
Abbildung 22:	Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – sonstiges Pflaster	74
Abbildung 23:	Kreuzungszuschlag gemäß RLS-90.....	76
Abbildung 24:	Kreuzungszuschlag gemäß RLS-19.....	76
Abbildung 25:	Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 50 km/h	76
Abbildung 26:	Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 30 km/h	76
Abbildung 27:	Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 50 km/h	76
Abbildung 28:	Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 30 km/h	76
Abbildung 29:	Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 50 km/h.....	77
Abbildung 30:	Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 30 km/h.....	77
Abbildung 31:	Kreisverkehrszuschlag gemäß RLS-19.....	77
Abbildung 32:	Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 50 km/h.....	78
Abbildung 33:	Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 30 km/h.....	78
Abbildung 34:	Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 50 km/h	79
Abbildung 35:	Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 30 km/h	79
Abbildung 36:	Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 50 km/h.....	79
Abbildung 37:	Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 30 km/h.....	79
Abbildung 38:	Korrektur für Gradienten nach RLS-90/VBUS.....	80
Abbildung 39:	Korrektur für Gradienten nach RLS-19	81

Abbildung 40:	Korrektur für Gradienten nach BUB	81
Abbildung 41:	Differenz durch Änderung der Lage des Emissionsbandes auf Autobahnen (RQ 37,5)	82
Abbildung 42:	Differenz durch Änderung der Lage des Emissionsbandes auf Autobahnen (RQ 37,5) mit Lärmschutzwand	83
Abbildung 43:	Differenz durch Änderung der Lage des Emissionsbandes innerstädtisch (6-spurig)	83
Abbildung 44:	Differenz durch Änderung der Emissionsbandes innerstädtisch (6-spurig) mit Bebauung dicht an der Straße	84
Abbildung 45:	Differenz durch Emissionshöhe, BUB, Tag	85
Abbildung 46:	Differenz durch Emissionshöhe, BUB, Nacht	85
Abbildung 47:	Differenz durch Emissionshöhe, 0,5 m Geländesprung, BUB, Tag	86
Abbildung 48:	Differenz durch Emissionshöhe, 0,5 m Geländesprung, BUB, Nacht	86
Abbildung 49:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 2m, BUB, Tag	86
Abbildung 50:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 2m, BUB, Nacht, IMMI	87
Abbildung 51:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Tag, IMMI	87
Abbildung 52:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, IMMI	87
Abbildung 53:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, SoundPLAN	88
Abbildung 54:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, 1 m Straße, IMMI	88
Abbildung 55:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, 1 m Straße, SoundPLAN ..	88
Abbildung 56:	Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, IMMI, feinere Unterteilung in Punktquellen	89
Abbildung 57:	Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, LSW reflektierend	96
Abbildung 58:	Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, LSW reflexionsmindernd/absorbierend	96
Abbildung 59:	Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, LSW stark reflexionsmindernd/hochabsorbierend	96
Abbildung 60:	Mehrfachreflexion bei reflektierenden Wänden	97
Abbildung 61:	Mehrfachreflexion bei absorbierenden Wänden	98
Abbildung 62:	Mehrfachreflexion bei hochabsorbierenden Wänden	98
Abbildung 63:	Differenz Bodenfaktor $G=1$ zu $G=0$; 100 % homogene, freie Schallausbreitung ..	107
Abbildung 64:	Differenz Bodenfaktor $G=1$ zu $G=0$; 100 % günstige, freie Schallausbreitung	107
Abbildung 65:	Differenz günstige zu homogener, freier Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=0$..	107
Abbildung 66:	Differenz günstige zu homogener, freier Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=1$..	108
Abbildung 67:	Differenz $G=1$ zu $G=0$, 100 % homogene Schallausbreitung; 4 m Lärmschutzwand	108
Abbildung 68:	Differenz $G=1$ zu $G=0$, 100 % günstige Schallausbreitung; 4 m Lärmschutzwand	108
Abbildung 69:	Differenz günstige Schallausbreitung zu homogener Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=0$, 4 m Lärmschutzwand	109
Abbildung 70:	Differenz günstige Schallausbreitung zu homogener Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=1$, 4 m Lärmschutzwand	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Emissionsparameter RLS-90	30
Tabelle 2:	Emissionsparameter RLS-19	30
Tabelle 3:	Emissionsparameter BUB	31
Tabelle 4:	Übersicht über die Einflussgrößen der Schallausbreitung	33
Tabelle 5:	Klassifikation der Fahrzeuge	38
Tabelle 6:	Standardwerte für maßgebliche Verkehrsstärke M (in Kfz/h) und Lkw-Anteile p ..	39
Tabelle 7:	Geschwindigkeiten	40
Tabelle 8:	Referenzbelag	40
Tabelle 9:	Straßendeckschichtkorrekturen RLS-90	40
Tabelle 10:	Straßendeckschichtkorrekturen RLS-19 (Pflasterbeläge)	41
Tabelle 11:	Straßendeckschichtkorrekturen RLS-19 (außer Pflasterbelägen)	42
Tabelle 12:	Straßendeckschichtkorrekturen VBUS	43
Tabelle 13:	Geschwindigkeitsbereiche für Straßendeckschichtkorrekturen BUB	43
Tabelle 14:	Zuschlag für lichtsignalgeregelte Kreuzungen und Einmündungen nach RLS-90....	44
Tabelle 15:	Boden-/Meteorologiedämpfung	51
Tabelle 16:	Abstand und Luftabsorption	52
Tabelle 17:	Reflexionsverlust nach den RLS-90	57
Tabelle 18:	Reflexionsverlust nach den RLS-19	57
Tabelle 19:	Längenbezogene Schallleistungspegel nach BUB, Klasse 1 (Pkw), 50 km/h, nicht geriffelter Gussasphalt	59
Tabelle 20:	Differenz des quellenbeschreibenden Schallpegels gegenüber dem Immissionspegel in 25 m Entfernung und 4 m Höhe (Pkw, 50 km/h, GA)	59
Tabelle 21:	Auswirkung der Aufrundung von Endergebnissen	60
Tabelle 22:	Auswirkung der Standardwerte der stündlichen Verkehrsstärke auf die Emission	60
Tabelle 23:	Standardwerte Lkw-Anteile p (in %)	61
Tabelle 24:	Auswirkung der Geschwindigkeit von 90 km/h für Lkw auf Autobahnen nach RLS-19	65
Tabelle 25:	Straßenoberflächen im Vergleich	66
Tabelle 26:	Übersicht Knotenpunkte	75
Tabelle 27:	Koeffizienten $C_{R,m,k}$ und $C_{P,m,k}$ für lichtzeichengeregelte Kreuzungen (Auszug aus Tabelle A-2 der BUB-D /5/)	75
Tabelle 28:	Koeffizienten $C_{R,m,k}$ und $C_{P,m,k}$ für Kreisverkehre (Auszug aus Tabelle A-2 der BUB-D)	78
Tabelle 29:	Übersicht Gradienten	80
Tabelle 30:	Übersicht Fahrstreifen	82
Tabelle 31:	Übersicht Emissionshöhe	84
Tabelle 32:	Emissionen und Korrekturen Gemeindestraße	89
Tabelle 33:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung)	90
Tabelle 34:	Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung (4 m Lärmschutzwand, Standardzerlegung in Punktquellen)	91
Tabelle 35:	Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung (4 m Lärmschutzwand, feine Zerlegung in Punktquellen)	92

Tabelle 36:	Änderung der Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung aufgrund feinerer Zerlegung in Punktquellen (4 m Lärmschutzwand)	93
Tabelle 37:	Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung (Reflexionen an einer Wand mit Absorptionsverlust von 1 dB)	94
Tabelle 38:	Unterschiede der Reflexionsanteile durch geometrische Schallausbreitung (Reflexionen an einer Wand mit Absorptionsverlust von 1 dB)	94
Tabelle 39:	Korrektur für den Reflexionsverlust	95
Tabelle 40:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G gegenüber $G=0,3$ bei freier Schallausbreitung in dB.....	99
Tabelle 41:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,0$)	100
Tabelle 42:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,3$)	100
Tabelle 43:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,45$)	101
Tabelle 44:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,6$)	101
Tabelle 45:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,8$)	102
Tabelle 46:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=1,0$)	102
Tabelle 47:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G gegenüber $G=0,3$ mit einer 4 m Lärmschutzwand in dB	103
Tabelle 48:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=0,0$).....	103
Tabelle 49:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=0,3$).....	104
Tabelle 50:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=0,45$).....	104
Tabelle 51:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=0,6$).....	105
Tabelle 52:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=0,8$).....	105
Tabelle 53:	Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=1,0$).....	106
Tabelle 54:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung in dB	110
Tabelle 55:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen hinter einer 4 m Lärmschutzwand in dB	110
Tabelle 56:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung in dB, feine Unterteilung in Teilstücke	111
Tabelle 57:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen hinter einer 4 m Lärmschutzwand in dB, feine Unterteilung in Teilstücke	111
Tabelle 58:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung in dB, Differenz durch die feine Unterteilung in Teilstücke	112
Tabelle 59:	Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen hinter einer 4 m Lärmschutzwand in dB, Differenz durch die feine Unterteilung in Teilstücke	113
Tabelle 60:	Übersicht von Unterschieden zwischen den Vorschriften	114

Formelverzeichnis

Formel 1:	Emission RLS-90	30
Formel 2:	Emission RLS-19	30
Formel 3:	Emission BUB (Formeln zusammengefasst)	31
Formel 4:	Steigung RLS-90	45
Formel 5:	Steigung RLS-19	46
Formel 6:	Steigung VBUS	46
Formel 7:	Steigung BUB	47
Formel 8:	Mehrfachreflexion RLS-90	48
Formel 9:	Mehrfachreflexion RLS-19	48
Formel 10:	Abschirmung RLS-90	53
Formel 11:	Abschirmung VBUS	54
Formel 12:	Reflexion RLS-90	56
Formel 13:	Reflexion RLS-19	57

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BUB	Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen /4/
BUB-D	Datenbank für die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen /5/
eP	Pflaster mit ebener Oberfläche
GA	Gussasphalt
Krad	zweirädrige Kraftfahrzeuge (zwei-, drei- und vierrädrige Mopeds und Motorräder)
Lkw	Lastkraftwagen, je nach Vorschrift ab 2,8 t oder ab 3,5 t (► Kapitel 2.2.1)
Lkw1	leichte Lkw nach RLS-19 (► Kapitel 2.2.1)
Lkw2	schwere Lkw nach RLS-19 (► Kapitel 2.2.1)
ILkw	leichte Lkw, je nach Vorschrift unterschiedlich definiert (► Kapitel 2.2.1)
MGL	Mittlere Grundlinie nach der BUB
OPA	offenporige Asphaltdeckschicht
OPA 11	offenporige Asphaltdeckschichten mit Kornaufbau 0/11
OPA 8	offenporige Asphaltdeckschichten mit Kornaufbau 0/8
PA 11	offenporige Asphaltdeckschichten PA 11
PA 8	offenporige Asphaltdeckschichten PA 8
Pkw	Personenkraftwagen, je nach Vorschrift bis <2,8 t oder bis <3,5 t (► Kapitel 2.2.1)
RLS-19	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Ausgabe 2019 /2/
RLS-90	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Ausgabe 1990 /1/
RQ	Regelquerschnitt
sLkw	schwere Lkw, je nach Vorschrift unterschiedlich definiert (► Kapitel 2.2.1)
SMA	Splittmastixasphalt
SMA 8	Splittmastixasphalt SMA 8
sP	sonstiges Pflaster, Kopfsteinpflaster
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm /10/
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
ULR	Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm – Umgebungslärmrichtlinie /9/
VBUS	Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen /3/
WB	Waschbeton

Formelzeichenverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
A_{atm}	Minderung durch Luftdämpfung
A_{div}	Minderung durch geometrische Divergenz
D_{atm}	Minderung durch Luftdämpfung
D_{BM}	Minderung durch Boden- und Meteorologiedämpfung
D_{div}	Minderung durch geometrische Divergenz
D_{gr}	Minderung durch Bodendämpfung
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
D_v	Geschwindigkeitskorrektur
D_z	Abschirmmaß
G'_{path}	korrigierter Mittelwert des Bodenfaktors für einen Ausbreitungsweg
G_{path}	Mittelwert des Bodenfaktors für einen Ausbreitungsweg
G_s	Bodenfaktor unterhalb der Quelle
L_{DEN}	24-Stunden-Beurteilungspegel nach Umgebungsärmrichtlinie
$L_{m,E}$	Emissionspegel (RLS-90/VBUS)
L_{night}	Beurteilungspegel „Nacht“ nach Umgebungsärmrichtlinie
L_w'	Schallleistungspegel (RLS-19/BUB)
M	stündliche Verkehrsstärke
p	Wahrscheinlichkeit für günstige Ausbreitungsbedingungen (BUB)
p	Lkw-Anteil in Prozent
α_{atm}	Koeffizient der Luftdämpfung gemäß ISO 9613-1:1993-06 /7/

Zusammenfassung

Für Berechnungen zum Straßenverkehrslärm nach nationalem Recht werden bisher die „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-90**“ /1/ angewandt. Diese werden am 01.03.2021 mit Änderung der 16. BImSchV /6/ durch die am 31.10.2019 im Verkehrsblatt bekanntgegebenen „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-19**“ /2/ abgelöst.

Die Berechnungen nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie /9/ erfolgten dagegen bis Ende 2018 nach der „Vorläufige[n] Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – **VBUS**“ /3/, die am 31.12.2018 durch die „Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – **BUB**“ /4/ ersetzt wurde.

Derzeit werden in Deutschland somit die Berechnungsergebnisse von drei, demnächst sogar vier verschiedenen Berechnungsvorschriften zum Straßenverkehr verglichen. Dies macht es erforderlich, die Unterschiede der Berechnungsverfahren und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse genau zu kennen. Andere Lärmarten, wie z.B. Schienen- oder Industrielärm, die in den Vorschriften teilweise ebenfalls behandelt werden, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Bei der Bewertung der BUB liegt der Fokus auf der Anwendung im Rahmen der Lärmkartierung, so dass im Wesentlichen die Parameterwerte verwendet werden, die für diese Anwendung vorgegeben sind. Auswirkungen davon abweichender Parameter z.B. bei den Bodeneigenschaften und den Ausbreitungsbedingungen werden angesprochen.

Nach der VBUS und der BUB wird neben den (Beurteilungs-)Zeiträumen „Tag“ und „Nacht“ auch für den Zeitraum „Abend“ ein Schallpegel ermittelt. Dementsprechend ist der „Tag“ gemäß VBUS und BUB mit 12 Stunden kürzer, als er mit 16 Stunden nach den RLS-90 und den RLS-19 definiert ist. In der Untersuchung wurden die unterschiedlichen Tagzeiträume dennoch direkt verglichen. Der Abend spielt im Sinne der Aufgabenstellung nur eine untergeordnete Rolle und wird daher nicht gesondert betrachtet. Wesentlich ist er hauptsächlich bei der Betrachtung der meteorologischen Korrektur, wo die Ergebnisse zwischen denen von Tag und Nacht liegen.

Die vier Berechnungsvorschriften gehen unterschiedlich mit den Einflussgrößen zur Ermittlung der Schallpegel um (► Tabelle 60 in Kapitel 4). Diese Unterschiede werden im Bericht detailliert betrachtet und die Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst:

Standardwerte zur Umrechnung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke *DTV* in stündliche Verkehrsstärke *M*

Die RLS-90, die RLS-19 und die VBUS definieren Standardwerte zur Umrechnung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke *DTV* in stündliche Verkehrsstärken *M*. Die BUB definiert keine Standardwerte zur Umrechnung von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke in stündliche Verkehrsstärken.

In nahezu allen Situationen ergeben die Standardparameter der RLS-90 höhere Schallpegel, als dies nach den RLS-19 der Fall ist. Lediglich bei Landes-, Kreis- und Gemeindeverbindungsstraßen ergeben die Standardparameter der RLS-19 nachts höhere Werte als die Standardparameter der RLS-90. Die VBUS berechnet am Tag geringfügig höheren Schallpegel als die RLS-90. In der Nacht sind die Parameter und damit auch die Schallpegel identisch. Die Unterschiede zwischen den Vorschriften bewirken Pegelunterschiede von < 1 dB (► Kapitel 3.2.1).

Standardwerte für Lkw-Anteile

Den Tabellen der RLS-90, RLS-19 sowie VBUS sind darüber hinaus Standardwerte für Lkw-Anteile zu entnehmen, die verwendet werden können, wenn die Lkw-Anteile nicht bekannt sind.

Die BUB definiert keine Standardwerte für Lkw-Anteile und die Lkw-Anteile nach VBUS entsprechen denen der RLS-90. Außerdem unterscheiden die RLS-19 und die BUB zwischen leichten und schweren Lkw. Diese Unterscheidung machen die RLS-90 und die VBUS nicht.

Die Unterschiede in den Emissionspegeln als Folge der unterschiedlichen Umrechnungen der RLS-19 gegenüber RLS-90/VBUS sind abhängig von der Geschwindigkeit, dem Straßenbelag und dem Straßentyp. Die entsprechenden Abweichungen können mehrere dB betragen (► Kapitel 3.2.2).

Geschwindigkeiten

Die Abhängigkeit der berechneten Emissionspegel von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist bei den RLS-90 und der VBUS gleich und unabhängig von der Straßendeckschicht. Die RLS-19 und die BUB berechnen diese Abhängigkeit anders und sind dabei auch von der Deckschicht abhängig.

Die dadurch bedingten Pegelunterschiede sind abhängig vom Fahrzeugtyp, der Geschwindigkeit und dem Straßenbelag (► Kapitel 3.2.3). Unterschiede in der Größenordnung von 2 dB können auftreten.

Lichtzeichengeregelte Kreuzungen

Kreuzungszuschläge nach den RLS-90 und den RLS-19 liegen zwischen 0 und 3 dB. Nach der BUB ergeben sich unterschiedliche Zuschläge für Roll- und Antriebsgeräusch, was je nach Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit Korrekturen von bis zu etwa -2 bis zu +5 dB ergibt. Die VBUS vergibt keine Zuschläge.

Während nach den RLS-90 ein Emissionszuschlag auf die gesamte Schallquelle in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen dem Immissionsort und der nächstgelegenen Kreuzung von Fahrstreifen mit Lichtsignalanlage vergeben wird, erfolgt nach den RLS-19 sowie der BUB ein Emissionszuschlag auf nahegelegene Teilstücke in Abhängigkeit der Entfernung zwischen Emissionsort und nächstgelegener Kreuzung von Fahrstreifen mit Lichtsignalanlage. Damit sind Unterschiede von bis zu 3 dB zu erwarten, die mit der Entfernung abnehmen, allerdings auch in Entfernungen von mehr als 100 m noch Auswirkungen haben (► Kapitel 3.3.1.1).

Kreisverkehre

Kreisverkehre bekommen nach den RLS-90 und der VBUS keine Zuschläge. Nach den RLS-19 und der BUB werden die Zuschläge vergleichbar zu denen der lichtzeichengeregelten Kreuzungen berechnet, fallen aber geringer aus. Die RLS-19 berechnen einen Zuschlag von bis zu 2 dB, während die BUB Korrekturen zwischen -3 dB und +4 dB vergeben. Damit sind Unterschiede zwischen allen Vorschriften von bis zu 4 dB möglich (► Kapitel 3.3.1.2).

Steigung/Gefälle

Die RLS-19 und die BUB begrenzen die Steigungen/Gefälle rechnerisch auf maximal 12 %. Die VBUS und die RLS-90 begrenzen die Zuschläge nicht, beginnen jedoch erst ab einer Längsneigung von > 5 % Zuschläge zu vergeben.

Die BUB ermittelt Zuschläge von bis zu 2,8 dB, wogegen nach den RLS-19 Zuschläge von bis zu 9 dB möglich sind. Nach der BUB liegen die Steigungszuschläge unter denen der RLS-90. Innerorts sind die Steigungszuschläge nach den RLS-19 zumeist etwas geringer, als nach den RLS-90. Außerorts können sie je nach Steigung und Geschwindigkeit um mehr als 3 dB über den Zuschlägen der RLS-90 liegen. Gegenüber der BUB können Unterschiede von bis zu +6 dB auftreten (► Kapitel 3.3.2).

Fahrstreifen

Nach den RLS-19 werden die Quelllinien bei mehr als vier Fahrstreifen anders positioniert als nach den übrigen Vorschriften. Dies kann in zu Unterschieden von bis zu 1 dB führen (► Kapitel 3.3.3).

Emissionshöhe

Die BUB legt die Quelllinien 0,05 m über die Straßenoberfläche, während die übrigen Vorschriften diese bei 0,5 m über der Straßenoberfläche positionieren. Bei freier Schallausbreitung können dadurch in Bodennähe 1 dB höhere Schallpegel (nach BUB) auftreten. Hinter einer Abschirmung sind Pegelabnahmen von bis zu 2 dB möglich (► Kapitel 3.3.4).

Straßendeckschichten

Straßenbeläge (Straßendeckschichten) sind nach den Rechenvorschriften nicht immer vollständig vergleichbar. Außerdem liegen nicht für alle Deckschichten Korrekturwerte für alle Geschwindigkeitsbereiche vor. Der Referenzbelag ist in allen Rechtsvorschriften der nicht geriffelte Gussasphalt. Die Auswirkungen der Deckschicht werden als Korrektur gegenüber Gussasphalt angegeben.

In Abhängigkeit des Straßenbelags und des betrachteten Geschwindigkeitsbereichs sind bei den verschiedenen Vorschriften insgesamt Abweichungen von < 0,5 dB zu erwarten, im Falle von Pflasterbelag sind Abweichungen von bis zu 4,5 dB feststellbar (► Kapitel 3.2.5).

Emissionspegel

Ein Vergleich der Emissionspegel zeigt, dass bei hohen Lkw-Anteilen und geringen Geschwindigkeiten nach den RLS-19 um bis zu 2 dB geringere Emissionspegel zu erwarten sind als nach den RLS-90. Ab 80 km/h treten bei hohen Lkw-Anteilen durchgehend etwa 2 dB höhere Emissionspegel auf. Bei Straßen mit geringem Lkw-Anteil werden unter 50 km/h nach den RLS-19 etwa 0,5 dB höhere Emissionspegel berechnet als nach den RLS-90/VBUS. Dieser Unterschied steigt auf 2 dB ab 80 km/h an. Die BUB berechnen je nach Verkehrszusammensetzung bei 30 km/h zwischen 0,5 dB bei hohen Lkw-Anteilen und 1,5 dB bei niedrigen Lkw-Anteilen mehr als die RLS-90/VBUS. Dieser Unterschied steigt auf 2 dB bis 3 dB bei Geschwindigkeiten ab 80 km/h an und bleibt dann etwa konstant (► Kapitel 3.1.1).

Freie Schallausbreitung

Bei freier Schallausbreitung sind zwischen den RLS-90 und den RLS-19 sowie in der Nacht auch nach der VBUS keine nennenswerten Unterschiede aus der Schallausbreitung zu erwarten. Am Tag treten nach der VBUS aufgrund der meteorologischen Korrektur mit der Entfernung ansteigend bis zu 2 dB geringere Schallpegel auf. Nach der BUB ist erkennbar, dass die zunehmende Entfernung die Schallpegel weniger verringert, als dies nach den anderen Vorschriften der Fall ist und in Höhe des Erdgeschosses schon in Entfernungen unter 1 km zu mehr als 7 dB höheren Immissionspegeln führt. Die Differenz ergibt sich insbesondere aus dem unterschiedlichen Ansatz zur Behandlung der Bodendämpfung (► Kapitel 3.4.1).

Abschirmung

Die Schallausbreitung hinter einer Lärmschutzwand wird nach den RLS-90 und den RLS-19 nahezu identisch berechnet. Die VBUS berechnet direkt hinter der Lärmschutzwand nachts etwas höhere Pegel (< 1 dB), die aber mit zunehmender Entfernung schneller abnehmen. In 1 km Entfernung treten nach der VBUS hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand > 2 dB geringere Schallpegel auf als nach den RLS-90/RLS-19. Am Tag sind nach der VBUS die Pegel aufgrund der meteorologischen Korrektur noch um weitere bis zu 2 dB geringer (► Kapitel 3.4.2).

Insgesamt ist festzustellen, dass die Unterschiede zwischen der BUB zu den anderen Berechnungsvorschriften hinter einer Schallschutzwand mit etwa +2 bis -3 dB deutlich geringer ausfallen als bei freier Schallausbreitung. Gegenüber der VBUS, mit der die Ergebnisse zumeist verglichen werden dürften, ergeben sich Differenzen in einem Bereich von etwa ± 2 dB.

Reflexion

Pegelsteigerungen aufgrund der Reflexionen sind bei derselben Absorption der Reflektoren bei allen Vorschriften etwa gleich. Allerdings sind die im Folgenden behandelten Auswirkungen der Unterschiede bei der Absorption und der Mehrfachreflexion zu beachten.

Absorption

Während die RLS-90 und die VBUS eine Minderung des Schalls bei der Reflexion an hochabsorbierenden Lärmschutzwänden von 8 dB angeben, wird nach den RLS-19 nur eine Minderung 5 dB angenommen. Für absorbierende und reflektierende Oberflächen gelten ebenfalls abweichende Minderungen. Dies bewirkt Unterschiede in den Schallpegeln von bis zu 0,5 dB bei hochabsorbierenden und 0,2 dB bei anderen Reflektoren. Die BUB bestimmt die Minderung nach der zwischenzeitlich aktualisierten DIN EN 1793-1:2013-04 terzweise (► Kapitel 2.4.4).

Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexionen

Nach den RLS-90 und der VBUS treten in Straßenschluchten durch Mehrfachreflexion um bis zu 3,2 dB erhöhte Schallpegel auf (► Kapitel 3.4.3.3). Die RLS-19 vergeben einen halb so hohen Zuschlag (max. 1,6 dB), berechnen dafür jedoch Reflexionen der 2. Ordnung. Die RLS-90/VBUS rechnen lediglich mit Reflexionen 1. Ordnung. In Bereichen mit Mehrfachreflexion treten bei reflektierenden und absorbierenden Wänden nach den RLS-19 bis zu 1,5 dB niedrigere Schallpegel auf. Bei hochabsorbierenden Wänden treten in manchen Bereichen um bis zu 2,5 dB niedrigere Schallpegel auf.

Die BUB vergibt keine Zuschläge für Mehrfachreflexion. Dadurch können Unterschiede von bis zu 3,2 dB zwischen den Vorschriften (BUB gegenüber RLS-90/VBUS) auftreten.

Homogene und günstige Ausbreitungsbedingungen

Für die Lärmkartierung nach der VBUS und der BUB werden unterschiedliche Schallpegel für die Zeiträume „Tag“, „Abend“ und „Nacht“ aufgrund jeweils anderer meteorologischer Korrekturen ermittelt. So berechnet die VBUS einen pauschalen, entfernungsabhängigen Abzug von bis zu 2 dB am Tag und 1 dB am Abend.

Die BUB dagegen ermittelt getrennte Immissionspegel für homogene und günstige Schallausbreitungsbedingungen, die darüber hinaus von der Bodenbeschaffenheit stark beeinflusst werden. Die Auswirkungen nehmen bei freier Schallausbreitung mit zunehmender Entfernung zu. Bei homogenen Ausbreitungsbedingungen hat dabei die Bodenbeschaffenheit einen höheren Einfluss auf die Immissionspegel.

Die Immissionspegel unter homogenen Ausbreitungsbedingungen unterscheiden sich zwischen schallweichem und schallhartem Boden – in weniger als 1 km Entfernung, in einer Höhe von 4 m und bei freier Schallausbreitung – bereits um mehr als 20 dB, während der Unterschied unter günstigen Bedingungen weniger als 10 dB beträgt. Hinter einer Abschirmung sind die Unterschiede geringer.

Bodenfaktor G

Abweichend von den übrigen Vorschriften wird nach der BUB die Bodendämpfung differenziert berechnet. Im Rahmen der Lärmkartierung wird jedoch durchgehend $G=0,3$ vorgegeben. Die Abhängigkeit zwischen Ausbreitungsbedingungen und der Bodenbeschaffenheit ist so erheblich (► Kapitel 2.4.1), dass eine Festlegung von $G=0,3$ für die Lärmkartierung sinnvoll erscheint.

Teilstückzerlegung

Allen 4 Berechnungsvorschriften gemeinsam ist die Modellierung von Linienquellen als Einzelschallquellen (Punktquellen). Je nach Entfernung von der Quelle erfolgt diese Aufteilung feiner oder gröber (Teilstückzerlegung). Die RLS-90/VBUS fordern, dass die Teilstücklänge mindestens dem halben Abstand zum Immissionspunkt entsprechen muss. Hinzu kommt bei den RLS-90/VBUS die ergänzende Forderung konstanter Ausbreitungsbedingungen für jede Teilschallquelle (sog. Projektionsverfahren). Die RLS-19 definiert diese Teilstücklänge nur als „Faustregel“, die BUB gibt eine derartige Teilstücklänge lediglich bei Industriequellen vor.

In besonderen Situationen kann diese (vergleichsweise grobe) Festlegung die Ursache für Abweichungen bei der Berechnung des Immissionspegels sein. In abgeschirmten Situationen ist an manchen Punkten mehr als 2 dB Unterschied aufgrund einer veränderten Teilstückzerlegung festzustellen (► Kapitel 3.3).

Gesamtvergleich

Zwischen den RLS-90 und der VBUS sind nur geringe Unterschiede vorhanden. Diese betreffen zum einen um bis zu 2 dB geringere Schallpegel nach den VBUS am Tag aufgrund der meteorologischen Korrektur und zum anderen eine etwas andere Bewertung von Abschirmungen sowie den entfallenden Zuschlag für lichtzeichengeregelte Kreuzungen.

Demgegenüber sind die Ursachen der Unterschiede der RLS-19 zu RLS-90 und VBUS wesentlich komplexer. Dies beginnt bereits mit der Emissionsberechnung als längenbezogene Schallleistungspegel auf Basis von mehr Fahrzeugschichten und einer überarbeiteten Umrechnung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke auf die maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärken. Dazu kommen fahrzeugtypabhängige Straßendeckschichtkorrekturen, eine überarbeitete Korrektur für lichtzeichengeregelte Kreuzungen und Zuschläge für Kreisverkehre. Zudem ergeben sich Änderungen bei der Berechnung der Reflexionen (geringerer Mehrfachreflexionszuschlag, 2. Reflexionsordnung).

Die BUB verfolgt einen anderen Berechnungsansatz, indem sie Antriebs- und Rollgeräusch getrennt ermittelt und die Emissions- sowie die Ausbreitungsberechnung oktavweise für homogene und günstige Ausbreitungsbedingungen getrennt durchführt. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass die BUB derzeit an einigen Stellen überarbeitet wird. Diese Änderungen waren aber nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Nachdem die Vielzahl an Einflussgrößen der unterschiedlichen Berechnungsvorschriften zu ganz unterschiedlichen und teilweise gegenläufigen Abweichungen führen, die in diesem Bericht detailliert dokumentiert werden, erscheint eine pauschale quantitative Bewertung der Abweichungen der vier untersuchten Vorschriften nicht möglich. Punktuell und im Einzelfall werden durchaus deutliche Abweichungen von bis zu ca. 10 dB zwischen den Berechnungsvorschriften auftreten können. Eine derartige Bewertung sollte durch Berechnung von realen Testszenarios - etwa einer Musterstadt - erfolgen und auf Basis einer Betroffenheitsanalyse als integrale Ergebnisgröße vorgenommen werden.

Summary

For calculations of road traffic noise according to national law, the “*Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90*” (Guidelines for road noise protection – RLS-90) /1/ have been used so far. These will be replaced on March 1, 2021 by the “*Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-19*” (Guidelines for road noise protection – RLS-19) /2/ announced in the Traffic Journal on October 31, 2019 with the amendment of the 16th BImSchV (Traffic Noise Protection Ordinance) /6/.

On the other hand, calculations according to the EU Environmental Noise Directive /9/ were carried out using the “*Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen - VBUS*” (Preliminary calculation method for environmental noise on roads – VBUS) /3/ until the end of 2018. It was replaced by the “*Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) - BUB*” (Calculation method for environmental noise from sources close to the ground (Roads, railways, industry and commerce) – BUB) /4/ on December 31, 2018.

In Germany, the calculation results of three, soon four different calculation rules for road traffic are being compared. This makes it necessary to know the differences between the calculation methods and their effects on the results. Other sound sources, some of which are also dealt with in the regulations, are not the subject of the examination.

When evaluating the BUB, the focus is on the application in the context of noise mapping. Essentially, the default values are used which were specified for this application.

The effects of parameters deriving therefrom for the ground (*G*) and the propagation conditions (homogeneous vs. favourable) are considered additionally.

According to the VBUS and the BUB, in addition to the “daytime” and “night-time” periods, a noise level is also determined for the “evening” period. Therefore, the “daytime” according to VBUS and BUB (12 hours) is shorter than its definition according to RLS-90 and RLS-19 (16 hours). In the study, however, the different “daytime” periods were compared directly. The “evening” only plays a minor role in terms of the task of this study and is therefore not considered separately. It is mainly important when looking at the meteorological correction. The results for evening are between those of the day and the night.

The four calculation rules deal differently with the parameter for determining the sound levels. These differences are considered in detail in the report and the results are summarised below:

Default values for converting the average daily traffic volume *DTV* into hourly traffic volume *M*

The RLS-90, the RLS-19 and the VBUS defines default values for converting the average daily traffic volume *DTV* into hourly traffic volumes *M*. The BUB does not define any default values for converting the average daily traffic volume into hourly traffic volumes.

In almost all situations, the default parameters of the RLS-90 result in a higher noise level than the RLS-19. The default parameters of the RLS-19 only result in higher values than the default parameters of the RLS-90 in the case of state, district, and community roads at night. The VBUS calculates slightly higher noise levels than the RLS-90 during the day. At night, the parameters and therefore also the noise levels are identical. The differences between the regulations result in noise level differences of <1 dB.

Default values for truck shares

RLS-90, RLS-19 and VBUS also contain default values for the percentage of truck, which can be used if these are not known. The BUB does not define any default values and those according to VBUS correspond to those of the RLS-90. In addition, the RLS-19 and the BUB differentiate between light and heavy trucks. The RLS-90 and the VBUS do not make this distinction.

The differences in emission levels also depend on the speed, road surface and road type. The corresponding deviations can be several dB.

Speed

The dependence of the calculated emission level on the speed is the same for the RLS-90 and the VBUS and is independent of the road surface. Both the RLS-19 and the BUB calculate this dependency differently and are also dependent on the road surface.

The resulting level differences depend on vehicle type, speed, and road surface. Differences of up to around 2 dB can occur.

Light signal regulated crossings

Crossing surcharge according to RLS-90 and RLS-19 are between 0 and +3 dB. According to the BUB, there are different corrections for rolling and propulsion noise, which, depending on the vehicle type and speed, result in effective corrections of around -2 to +5 dB. VBUS does not award any corrections for light signal regulated crossings.

According to the RLS-90, an surcharge is given to the immission of an entire source line depending on the distance between the receiver point and the nearest intersection of lanes with traffic lights. In contrast, according to the RLS-19 and the BUB an emission correction is applied to nearby sections of the source line depending on the distance between the source point and the nearest intersection of lanes with traffic lights. Differences of up to 3 dB are to be expected, which decrease with distance still having effects at a distance of more than 100 m.

Roundabouts

Roundabouts do not get any corrections according to the RLS-90 and the VBUS. According to the RLS-19 and the BUB, the corrections are calculated comparable to the traffic light regulated crossings, but they are lower. The RLS-19 calculate a surcharge of up to 2 dB, while the BUB assign corrections between -3 dB and +4 dB. This means that differences between all regulations of up to 4 dB are possible.

Gradient

The RLS-19 and the BUB limit the gradient mathematically to a maximum of 12%. The VBUS and the RLS-90 do not limit the gradient and start to award surcharges from > 5%.

The BUB determines surcharges of up to 2.8 dB, whereas according to the RLS-19 surcharges of up to 9 dB are possible. The gradient surcharges according to the BUB are below those of the RLS-90. In urban areas, the increase of the surcharges according to the RLS-19 are usually somewhat lower than according to the RLS-90. Outside of urban areas, depending on the gradient and speed, they can be more than 3 dB above the surcharges of the RLS-90. Compared to the BUB, differences of up to +6 dB can occur.

Traffic lanes

According to the RLS-19, the source lines are positioned differently compared to the other regulations if there are more than four traffic lanes. This can lead to differences of up to 1 dB.

Height of emission

The BUB places the source lines 0.05 m above the road surface, while the other regulations place them at 0.5 m above the road surface. With unhindered sound propagation, 1 dB higher noise levels (according to BUB) can occur near the ground. Noise level reductions of up to 2 dB are possible behind a barrier.

Road surface

According to the regulations, road surfaces are not always completely comparable in terms of their construction methods. In addition, corrections are not available for all surfaces in all speed ranges. The reference surface is in all regulations the non-corrugated mastic asphalt. The effects of the surfaces are therefore compared as corrections to non-corrugated mastic asphalt.

Depending on road surface and speed usually differences of less than 0.5 dB are expected. However, differences of up to 4.5 dB are possible on pavement.

Emission levels

A comparison of the emission levels shows, that, with high truck percentages at low speeds up to 2 dB lower emission levels are to be expected than according to the RLS-90. Above 80 km/h, a high percentage of trucks consistently produces around 2 dB higher emission levels. On roads below 50 km/h with a small percentage of trucks, emissions levels are calculated about 0.5 dB higher according to the RLS-19 than according to the RLS-90/VBUS. This difference increases to 2 dB at 80 km/h. Depending on the traffic composition at 30 km/h, the BUB calculates between 0.5 dB for high truck shares and 1.5 dB for low truck shares more than the RLS-90/VBUS. This difference increases to 2 dB to 3 dB at speeds at 80 km/h and then remains roughly constant.

Unhindered sound propagation

With unhindered sound propagation, no significant differences in sound propagation are to be expected between the RLS-90 and the RLS-19. According to the VBUS, due to the meteorological correction with increasing distance, up to 2 dB lower noise levels occur in the daytime. According to the BUB, it can be seen that the increasing distance reduces the noise level less than according to the other regulations and at the level of the ground floor leads to more than 7 dB higher immission levels at distances less than 1 km. The difference derives from the ground/meteorological absorption and the air absorption.

Screening

The sound propagation behind a noise barrier is calculated almost identically according to RLS-90 and RLS-19. At night, the VBUS calculates slightly higher levels (< 1 dB) directly behind a barrier, but these levels decrease faster with increasing distance. At a distance of 1 km, according to the VBUS behind a 4 m high noise barrier, the noise level is more than 2 dB lower than according to the RLS-90/RLS-19. According to the VBUS, the levels are still up to 2 dB lower in the daytime due to the meteorological correction.

Overall, it can be stated, that the differences behind a noise barrier between the BUB and the other calculation methods are significantly lower at around +2 to -3 dB than with unhindered sound propagation. Compared to the VBUS, with which the results will usually be compared, there are differences of around +2 to -2 dB.

Reflection

Level increases due to the reflections are approximately the same for all regulations using the same façade absorption values. However, note the effects of the following differences in absorption and multiple reflection.

Absorption

While the RLS-90 and the VBUS indicate a reduction of 8 dB for the reflection of “highly absorbing noise barriers”, according to the RLS-19 only a reduction of 5 dB is to be assumed. Different reductions also apply to absorbing and reflecting surfaces. The BUB determines the reduction in accordance with the meanwhile revised DIN EN 1793-1:2013-04 by the octave band. This causes differences in the noise level opposite to the reflector of up to 0.5 dB for highly absorbing reflectors and 0.2 dB for other reflectors.

2nd order reflections and multiple reflections

According to the RLS-90 and the VBUS, the noise level in street canyons is up to 3.2 dB higher. The RLS-19 award a surcharge half as high (max. 1.6 dB) but calculates 2nd order reflections. In areas with multiple reflections, reflecting and absorbing walls according to RLS-19 produce up to 1.5 dB lower noise levels than the RLS-90 and the VBUS. With highly absorbing walls, the noise level is up to 2.5 dB lower in some areas.

The BUB does not award any surcharges for multiple reflections. This can result in differences of up to 3.2 dB between the regulations (BUB versus RLS-90/VBUS).

Homogeneous and favourable propagation conditions

For the application of noise mapping according to the VBUS and the BUB, different noise levels are determined for the period’s “daytime”, “evening” and “night-time” with different meteorological corrections in each case. VBUS calculates a fixed, distance-dependent reduction of up to 2 dB during the day and 1 dB in the evening.

The BUB, on the other hand, determines separate immission levels with homogeneous and favourable sound propagation conditions, which are also strongly influenced by the ground. With unhindered sound propagation, the effect increases with increasing distance. In the case of homogeneous propagation conditions, the ground has a greater influence on the immission level.

The immission levels under homogeneous propagation conditions differ between soft and hard ground – at a distance of less than 1 km, at a height of 4 m and with unhindered sound propagation – by more than 20 dB, while the difference is less than 10 dB under favourable conditions. The differences are smaller behind a barrier.

Ground factor G

In contrast to the other regulations, the BUB calculates the ground attenuation differently. As part of the noise mapping, $G = 0.3$ is used throughout. Because of the high dependence of the propagation on the ground conditions a definition of $G=0.3$ for noise mapping makes sense.

Section disassembling

All 4 calculation rules have in common the disassembling of the source lines into point sources (segmentation). Depending on the distance from the source, this segmentation is finer or coarser. The RLS-90/VBUS require that the length of the section must be at most half the distance to the immission point. In addition, with the RLS 90/VBUS there is the requirement of constant propagation conditions for each partial sound source (so-called projection method). The RLS-19 defines this section length only as a “rule of thumb”, the BUB only specifies such a section length for industrial sources.

In special situations, this (comparatively rough) definition can cause deviations in the calculated immission levels. In situations behind obstacles, a difference of more than 2 dB can be determined at some points due to a changed segmentation.

Overall comparison

Overall, there are only minor differences between the RLS-90 and the VBUS. On the one hand, these concern noise levels that are up to 2 dB lower according to the VBUS during the daytime due to the meteorological correction. On the other hand, the VBUS calculates a slightly higher rating of shielding and omits the surcharge for traffic light-controlled intersections.

In contrast, the causes of the differences between the RLS-19 on the one hand and RLS-90 or VBUS on the other are much more complex. This already begins with the emission calculation as a length-related sound power level based on more vehicle layers and a revised conversion of the average daily traffic volume (*DTV*) to the hourly traffic volume (*M*). In addition, there are road surface corrections depending on the vehicle layer, a revised correction for traffic light-controlled intersections and surcharges for roundabouts. This is supplemented by changes to the calculation of the reflections (lower multiple reflection surcharge, 2nd order reflection).

The BUB has a different calculation approach that determines propulsion and rolling noise separately and carries out the emission calculation and the propagation separately in octave bands for homogeneous and favourable propagation conditions. In this context it should be noted that the BUB is currently being revised. However, these changes were not the subject of this investigation.

Since the large number of influencing factors of the different calculation regulations lead to completely different and sometimes contradicting deviations, which are documented in detail in this report, a general quantitative assessment of the deviations of the four examined regulations does not seem possible. At certain points and in individual cases, significant deviations of up to 10 dB between the calculation methods can occur. Such an assessment should be carried out by calculating real test scenarios - such as a model city - and based on an impact analysis.

1 Einleitung

Für Berechnungen zum Straßenverkehrslärm nach nationalem Recht werden bisher die „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90“ /1/ angewandt. Diese werden am 01.03.2021 mit Änderung der 16. BImSchV /6/ durch die am 31.10.2019 im Verkehrsblatt bekanntgegebenen „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19“ /2/ abgelöst.

Die Berechnungen nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie /9/ erfolgten dagegen bis Ende 2018 nach der „Vorläufige[n] Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – VBUS“ /3/, die am 31.12.2018 durch die „Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – BUB“ /4/ ersetzt wurde.

Derzeit werden in Deutschland somit die Berechnungsergebnisse von drei, demnächst sogar vier verschiedenen Berechnungsvorschriften zum Straßenverkehr verglichen. Dies macht es erforderlich, die Unterschiede der Berechnungsverfahren und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse genau zu kennen.

Im Rahmen dieses Projektes sind daher die Unterschiede zwischen den genannten vier Berechnungsvorschriften herauszuarbeiten und deren jeweilige Auswirkung zu bewerten. Dazu werden im ersten Arbeitspaket zunächst sämtliche Eingangsparameter und die damit verbundenen Formeln gegenübergestellt und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede aufgezeigt. Die Auswirkungen von nationalen Standardwerten für einzelne Parameter werden dabei in die Bewertung einbezogen. Die einzelnen Ausbreitungsterme der Berechnungsvorschriften werden analysiert und verglichen.

Darauf aufbauend werden im zweiten Arbeitspaket die Auswirkungen der schallquellen- und ausbreitungsbezogenen Änderungen auf die Immissionspegel durch Modellrechnungen zu einzelnen Ausbreitungsparametern herausgearbeitet. Alle vier Vorschriften werden gegenübergestellt. Zudem werden die Auswirkungen von Standardparametern bewertet. Anhand von mehreren Beispielszenarien wird dann das Zusammenwirken dieser Unterschiede in verschiedenen Situationen untersucht.

In den RLS-90 und den RLS-19 werden Lärmimmissionen von öffentlichen Straßen und Parkplätzen behandelt. In der BUB werden neben dem Lärm von Straßen-, Schienen- und Flugverkehr auch der aus Industriegebieten behandelt. Diese Untersuchung beschränken sich auftragsgemäß auf den Straßenverkehrslärm. Bei der BUB wird darüber hinaus die Anwendung für die Lärmkartierung für die Vergleiche herangezogen, wo diese Einschränkungen gegenüber der allgemeinen Berechnungsmethode macht.

Die Emissionsdaten der Splittmastixasphalte SMA 5 und SMA 8 für 30-60 km/h sind nach Informationen der Bundesanstalt für Straßenwesen in der aktuellen Fassung der BUB-D fehlerhaft. Da diese jedoch zurzeit rechtlich nicht korrigiert wurden, wird in dieser Untersuchung mit den veröffentlichten, fehlerhaften Daten gerechnet.

Alle Berechnungen erfolgen, wenn nicht anders angegeben, mit IMMI 2020 (vom 28.07.2020 und 29.09.2020) der Firma Wölfel Engineering GmbH + Co. KG. Darüber hinaus wurden Berechnungen mit SoundPLANnoise 8.2 64-bit der SoundPLAN GmbH sowie Auswertungen mit Microsoft Excel 365 durchgeführt.

2 Herangehensweise der Modellierung

In diesem Arbeitspaket werden zunächst die Unterschiede zwischen den Berechnungsvorschriften herausgearbeitet. Die Auswirkungen, die diese auf die Emissions- und Immissionspegel haben, werden in Kapitel 3 analysiert.

Im Einzelnen werden die folgenden vier Berechnungsvorschriften verglichen:

- ▶ Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-90** /1/
- ▶ Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-19** /2/
- ▶ Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – **VBUS** /3/
- ▶ Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – **BUB** /4/

Kapitel 2.1 führt grundlegende Unterschiede zwischen den Vorschriften auf, die nicht direkt mit den Emissionsparametern oder der Geometrie zusammenhängen.

Kapitel 2.2 beschäftigt sich mit Emissionsparametern, die von der Geometrie unabhängig sind.

Kapitel 2.3 vergleicht Emissionsparameter, die von der Geometrie der Schallquellen oder der Umgebung bestimmt werden.

Kapitel 2.3.4 beschreibt geometrieabhängige Parameter, die keinen Einfluss auf den Emissionspegel haben.

2.1 Grundlegende Unterschiede

Diese vier Berechnungsvorschriften weisen eine Reihe von grundsätzlichen Unterschieden auf. Anders als die übrigen Berechnungsvorschriften beschreiben die RLS-90 zwei Verfahren. Da das vereinfachte Verfahren für „lange, gerade“ Fahrstreifen nach den RLS-90 in der Praxis nicht zur Anwendung kommt und deshalb in den RLS-19 auch nicht mehr enthalten ist, wird im Weiteren nur auf das Teilstückverfahren eingegangen.

2.1.1 Einsatzzweck und Beurteilungszeiten

Sowohl die RLS-90, also auch die RLS-19 stellen Verfahren dar, die zur bundesweit einheitlichen Berechnung von Beurteilungspegeln des Straßenverkehrs, insbesondere nach der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) und der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) /10/, vorgesehen sind. Dazu werden Schallpegel getrennt für den Tag (6⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr) und die Nacht (22⁰⁰ bis 6⁰⁰ Uhr) ermittelt.

Dagegen sind die VBUS und die BUB Berechnungsmethoden für den Umgebungslärm, d.h. zur Berechnung nach den Anforderungen der Umgebungslärmrichtlinie getrennt für den Tag (6⁰⁰ bis 18⁰⁰ Uhr), den Abend (18⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr) und die Nacht (22⁰⁰ bis 6⁰⁰ Uhr). Auf Basis dieser Zeiträume werden die Lärmindizes L_{DEN} (Tag-Abend-Nacht-Lärmindez) und L_{Night} (Nacht-Lärmindez) der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) ermittelt.

2.1.2 Beschreibung der Schallemission

2.1.2.1 RLS-90

Die RLS-90 berechnen einen A-bewerteten Emissionspegel $L_{m,E}$ in einer horizontalen Entfernung von 25 m und einer Höhe von 4 m über ebenem Gelände bei freier Schallausbreitung nach der folgenden Formel:

Formel 1: Emission RLS-90

$$L_{m,E} = L_{m(25)} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg}$$

Tabelle 1: Emissionsparameter RLS-90

Parameter	Bedeutung	Abhängigkeiten
$L_{m(25)}$	Mittelungspegel	stündliche Verkehrsstärke, Lkw-Anteil
D_v	Geschwindigkeitskorrektur	zulässige Höchstgeschwindigkeit, Lkw-Anteil
D_{StrO}	Straßenoberflächenkorrektur	Straßenoberfläche
D_{Stg}	Steigungskorrektur	Steigung und Gefälle

Dazu kommen gegebenenfalls Zuschläge für lichtzeichengeregelte Kreuzungen, die als Immissionszuschlag auf die Schallimmissionen der jeweiligen Straße addiert werden.

2.1.2.2 RLS-19

Die RLS-19 ermitteln einen A-bewerteten längenbezogenen Schallleistungspegel L_w' , d.h. die Schallleistung der Quelle pro Meter bei freier Schallausbreitung nach den folgenden Formeln:

Formel 2: Emission RLS-19

$$L_w' = 10 \cdot \lg[M] - 30 + 10 \cdot \lg \left[\frac{100 - p_1 - p_2}{100} \cdot \frac{10^{\frac{L_{W,Pkw}(v_{Pkw})}{10}}}{v_{Pkw}} + \frac{p_1}{100} \cdot \frac{10^{\frac{L_{W,Lkw1}(v_{Lkw1})}{10}}}{v_{Lkw1}} + \frac{p_2}{100} \cdot \frac{10^{\frac{L_{W,Lkw2}(v_{Lkw2})}{10}}}{v_{Lkw2}} \right]$$

$$L_{W,FzG}(v_{FzG}) = L_{W0,FzG}(v_{FzG}) + D_{SD,SDT,FzG}(v_{FzG}) + D_{LN,FzG}(g, v_{FzG}) + D_{K,KT}(x)$$

Tabelle 2: Emissionsparameter RLS-19

Parameter	Bedeutung	Abhängigkeiten
M	stündliche Verkehrsstärke	
p_1/p_2	Lkw-Anteile (p_1 : Lkw1; p_2 : Lkw2)	
FzG	Pkw, Lkw1 oder Lkw2	
$L_{W0,FzG}(v_{FzG})$	Grundwert des Schallleistungspegels	Fahrzeugtyp, Geschwindigkeit
$D_{SD,SDT,FzG}(v_{FzG})$	Straßendeckschichtkorrektur	Straßendeckschicht, Fahrzeugtyp, Geschwindigkeit
$D_{LN,FzG}(g, v_{FzG})$	Längsneigungskorrektur	Steigung/Gefälle, Fahrzeugtyp, Geschwindigkeit
$D_{K,KT}(x)$	Knotenpunktkorrektur	Typ des Knotens, Abstand zum nächstgelegenen Schnittpunkt von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Quelllinien

2.1.2.3 VBUS

Die VBUS berechnet einen A-bewerteten Emissionspegel $L_{m,E}$ in einer horizontalen Entfernung von 25 m und einer Höhe von 4 m über ebenem Gelände bei freier Schallausbreitung, der dem Emissionspegel der RLS-90 entspricht (► Kapitel 2.1.2.1).

2.1.2.4 BUB

Die BUB ermittelt längenbezogene Schallleistungspegel L_w' , d.h. die Schallleistung der Quelle pro Meter getrennt aus Roll- und Antriebsgeräusch je Fahrzeugklasse ($L_{w',i,m}$). Die gesamte Berechnung nach der BUB von den Schallemissionen bis zum Immissionspegel am jeweiligen Immissionsort erfolgt getrennt für die Oktaven von 63 Hz bis 8 kHz. Die Emissionsberechnung für die freie Schallausbreitung erfolgt dabei im Wesentlichen nach den folgenden, der Übersichtlichkeit halber zusammengefassten, Formeln:

Formel 3: Emission BUB (Formeln zusammengefasst)

$$L_{w',i,m} = 10 \cdot \lg \left[10^{\frac{L_{WR,i,m}}{10}} + 10^{\frac{L_{WP,i,m}}{10}} \right] + 10 \cdot \lg \left[\frac{Q_m}{1000 \cdot v_m} \right]$$

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \cdot \lg \left[\frac{v_m}{v_{ref}} \right] + \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{WR,acc,m,k} + \Delta L_{W,temp}$$

$$L_{WP,i,m} = A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \cdot \lg \left[\frac{v_m - v_{ref}}{v_{ref}} \right] + \Delta L_{WP,road,i,m} + \Delta L_{WP,grad,m} + \Delta L_{WP,acc,m,k}$$

Tabelle 3: Emissionsparameter BUB

Parameter	Bedeutung	Abhängigkeiten
m	Index für die Fahrzeugklasse	
Q_m	Verkehrsfluss	Fahrzeugklasse
v_m	Geschwindigkeit	Fahrzeugklasse
v_{ref}	Referenzgeschwindigkeit (70 km/h)	
$L_{w',i,m}$	längenbezogener Schallleistungspegel einer Quellenlinie	Fahrzeugklasse, Straßenoberfläche, Geschwindigkeit, Lufttemperatur, Steigung/Gefälle, Abstand zum nächstgelegenen Schnittpunkt von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Quelllinien
$L_{WR,i,m}$	Schallleistungspegel des Rollgeräusches eines Fahrzeugs	Fahrzeugklasse, Straßenoberfläche, Geschwindigkeit, Lufttemperatur, Abstand zum nächstgelegenen Schnittpunkt von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Quelllinien
$L_{WP,i,m}$	Schallleistungspegel des Antriebsgeräusches eines Fahrzeugs	Fahrzeugklasse, Straßenoberfläche, Geschwindigkeit, Steigung/Gefälle, Abstand zum nächstgelegenen Schnittpunkt von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Quelllinien
$A_{R,i,m}/B_{R,i,m}$	Grundkoeffizienten für das Rollgeräusch (BUB-D)	Fahrzeugklasse
$A_{P,i,m}/B_{P,i,m}$	Grundkoeffizienten für das Antriebsgeräusch (BUB-D)	Fahrzeugklasse

Parameter	Bedeutung	Abhängigkeiten
$\Delta L_{WR,road,i,m}$	Korrekturterm zur Berücksichtigung des Einflusses der Straßenoberfläche auf das Rollgeräusch	Fahrzeugklasse, Straßenoberfläche, Geschwindigkeit
$\Delta L_{WR,acc,m,k}$	Korrekturterm zur Berücksichtigung des Einflusses einer lichtzeichengeregelten Kreuzung oder eines Kreisverkehrs auf das Rollgeräusch	Fahrzeugklasse, Abstand zum nächstgelegenen Schnittpunkt von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Quelllinien
$\Delta L_{W,temp}$	Korrekturterm zur Berücksichtigung des Einflusses der Lufttemperatur auf das Rollgeräusch	Lufttemperatur
$\Delta L_{WP,road,i,m}$	Korrekturterm zur Berücksichtigung des Einflusses der Straßenoberfläche auf das Antriebsgeräusch	Fahrzeugklasse, Straßenoberfläche
$\Delta L_{WP,grad,m}$	Korrekturterm zur Berücksichtigung des Einflusses der Längsneigung der Straße auf das Antriebsgeräusch	Fahrzeugklasse, Steigung/Gefälle
$\Delta L_{WP,acc,m,k}$	Korrekturterm zur Berücksichtigung des Einflusses einer lichtzeichengeregelten Kreuzung oder eines Kreisverkehrs auf das Antriebsgeräusch	Fahrzeugklasse, Abstand zum nächstgelegenen Schnittpunkt von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Quelllinien

2.1.3 Beschreibung der Schallausbreitung

Die nach den RLS-90 und den RLS-19 berechneten Immissionspegel gelten für leichten Wind (etwa 3 m/s) von der Quelle zum Immissionsort und/oder Temperaturinversion, die beide die Schallausbreitung fördern.

Nach der VBUS werden nach Tageszeiten unterschieden meteorologische Korrekturen berechnet, wenn die Entfernung zwischen Emissionsort und Immissionsort größer als das zehnfache der mittleren Höhe des Ausbreitungswegs über Gelände ist.

Die BUB berechnet die Schallausbreitung generell getrennt für günstige (nach unten gekrümmter Schallstrahl) und homogene Ausbreitungsbedingungen (gerader Schallstrahl) und gewichten diese am Immissionsort je nach Tageszeit unterschiedlich. Die Berechnung kann für unterschiedliche Witterungsbedingungen durchgeführt werden. Für die Lärmkartierung sind eine Temperatur von 10 °C, eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 % und ein Luftdruck von 1013,25 hPa zu verwenden. Das Verfahren liefert Ergebnisse je Oktavband von 63 Hz bis 8 kHz. Die Berechnungen werden für jede Mittenfrequenz vorgenommen.

Keine dieser Vorschriften berechnet (für Straßenverkehr) seitliche Beugung.

Die RLS-90, die RLS-19 und die VBUS beschränken sich bei der Berechnung von Abschirmungen und Reflexionen auf die für gerade Schallstrahlen relevanten Hindernisse (Gummibandmethode). Nach der BUB erfolgt dagegen zusätzlich eine Berechnung von gekrümmten Schallstrahlen und Retrobeugung (Verlust an akustischer Energie bei der Reflexion durch die Nähe des Reflexionspunktes zur Oberkante des Reflektors). Außerdem wird auch bei freier Sichtverbindung zwischen Quelle und Immissionsort geprüft, ob durch Hindernisse unter diesem Ausbreitungsweg relevante „Beugung bei negativem Umweg“ vorliegt.

Nach den RLS-19 werden Schallreflexionen 2. Ordnung berechnet. Die übrigen Vorschriften beschränken sich (bei der BUB für die Lärmkartierung) auf Schallreflexionen 1. Ordnung. Nach den RLS-90, den RLS-19 und der VBUS werden diese um einen Zuschlag für Mehrfachreflexionen ergänzt.

Tabelle 4: Übersicht über die Einflussgrößen der Schallausbreitung

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Abstand	F. 21	F. 12	F. 10	F. 5.30
Luftabsorption		F. 13		F. 5.31
Bodendämpfung	F. 22	F. 14	F. 11 - 12	F. 5.32 - 5.41
Meteorologiedämpfung				1
Mehrfachreflexion	F. 24a - 24b	F. 9	F. 13 - 14	-
Abschirmung	F. 25 - 27	F. 15 - 17	F. 15 - 19	F. 5.42 - 5.53
Reflexionen	1. Ordnung	2. Ordnung	1. Ordnung	1. Ordnung ²
Absorptionseigenschaften	Tab. 7	Tab. 8	Tab. 7	F. 5.54 - 5.55
Meteorologische Korrektur	-	-	F. 20	F. 5.3

F. Formel/Formeln

¹ Die Meteorologiedämpfung nach der BUB wird nicht anhand einzelner Formeln berechnet, sondern ist Bestandteil der generellen Vorgehensweise zur Berechnung mit Hilfe der MGL und den homogenen sowie günstigen Ausbreitungsbedingungen.

² für die Anwendung in der Lärmkartierung

2.1.3.1 RLS-90

Nach den RLS-90 werden die Straßen in Teilstücke zerlegt, die durch Punktschallquellen repräsentiert werden. Die Einflussfaktoren

- Abstand und Luftabsorption,
- Boden- und Meteorologiedämpfung,
- Mehrfachreflexion und
- Abschirmung

werden, ausgehend von diesen Punktschallquellen, unabhängig voneinander bestimmt.

Zur Berücksichtigung von Reflexionen wird die Straße an der reflektierenden Fläche gespiegelt und scheint sich somit vom Immissionsort aus gesehen hinter der reflektierenden Wandfläche zu befinden. Mit diesen Spiegelquellen wird dann die Schallausbreitung mit einer durch die Absorption am Reflektor reduzierten Schallenergie berechnet.

2.1.3.2 RLS-19

Die RLS-19 berechnen die Auswirkungen des Abstandes und die Luftabsorption nach getrennten Formeln. Davon abgesehen ist das Verfahren mit dem der RLS-90 vergleichbar.

2.1.3.3 VBUS

Nach der VBUS wird, neben der Meteorologiedämpfung nach Formel 11 der VBUS, auch eine tageszeitabhängige meteorologische Korrektur berechnet, die am Tag und am Abend einen höheren Anteil homogener Ausbreitungsbedingungen ansetzt und daher in diesen Zeiträumen den Immissionspegel senkt. Davon abgesehen wird dasselbe grundlegende Verfahren verwendet, nach dem die RLS-90 die Schallausbreitung berechnen.

2.1.3.4 BUB

Bei Kenntnis der Quelleigenschaften berechnet die BUB den äquivalenten Langzeit-Dauerschallpegel am Immissionsort für zwei spezielle Klassen atmosphärischer Ausbreitungsbedingungen:

- günstige Ausbreitungsbedingungen (nach unten gekrümmter Schallstrahl) und
- homogene Ausbreitungsbedingungen (gerader Schallstrahl).

Bei günstigen Ausbreitungsbedingungen wird mit gekrümmten Schallstrahlen gerechnet und dabei angenommen, dass alle Abschnitte eines Ausbreitungswegs vom Quellpunkt zum Immissionsort denselben (Krümmungs-)Radius haben.

Die Berechnung des Gesamt-Langzeit-Dauerschallpegels an einem Immissionsort erfolgt schrittweise:

- Die Berechnungen erfolgen getrennt für jedes der acht Oktavbänder.
- Alle für den Immissionsort relevanten Quellen werden identifiziert. Dafür werden räumlich ausgedehnte Quellen durch Punktquellen ersetzt und beim Auftreten von Reflexionen zusätzliche Spiegelquellen gebildet. Für den Immissionsort entsteht so ein Satz zu betrachtender Punktquellen.
- Für jedes Quelle-Immissionsort-Paar wird ein Ausbreitungsweg in der vertikalen Ausbreitungsebene bestimmt.
- Für jeden Ausbreitungsweg erfolgt die Berechnung der Dämpfung bei günstigen und bei homogenen Ausbreitungsbedingungen, um aus beiden Teilergebnissen den Langzeit-Dauerschallpegel für den betrachteten Ausbreitungsweg unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung beider Ausbreitungsbedingungen zu berechnen.
- Die Langzeit-Dauerschallpegel aller relevanten Quellen unter Berücksichtigung aller dazugehörenden Ausbreitungswege werden energetisch zum Gesamt-Langzeit-Dauerschallpegel im betrachteten Oktavband aufsummiert.
- Der A-bewertete Gesamt-Langzeit-Dauerschallpegel am Immissionsort ergibt sich durch energetische Addition der Gesamt-Langzeit-Dauerschallpegel aller acht Oktavbänder unter Anwendung des A-Filters.

Anmerkung: Mit der Wahrscheinlichkeit p für günstige Ausbreitungsbedingungen ist für die Lärmkartierung für den Referenzzeitraum „Tag“ ein Wert von $p_{Day} = 0,50$, für den Referenzzeitraum „Abend“ ein Wert von $p_{Evening} = 0,75$ und für den Referenzzeitraum „Nacht“ ein Wert von $p_{Night} = 1,00$ zu verwenden.

Einflussgrößen des Schallausbreitungsmodells nach BUB

Mittlere Grundlinie (MGL)

In der vertikalen Ausbreitungsebene bildet das Hindernisprofil eine Polylinie. Zur Berechnung der Bodendämpfung wird diese Polylinie durch eine Gerade ersetzt, die sogenannte Mittlere Grundlinie (MGL). Die äquivalente Höhe eines Punktes ist gleich seinem Abstand von der Mittleren Grundlinie.

Zur Berechnung der MGL wird das Hindernisprofil, also die Kombination von Bodenprofil und allen Hindernissen wie z. B. Gebäuden und Dämmen, in der vertikalen Ausbreitungsebene berücksichtigt.

Schallausbreitungswege

Schallausbreitungswege werden getrennt für homogene und günstige Ausbreitungsbedingungen und in jedem Oktavband einzeln konstruiert. Dabei wird für jedes Quelle-Immissionsort-Paar ein Ausbreitungsweg in der vertikalen Ebene bestimmt, die Quelle und Immissionsort enthält. Zunächst wird geprüft, ob eine freie Sichtverbindung zwischen Quelle und Immissionsort besteht. Dafür wird das Bodenprofil mit allen Hindernissen wie z. B. Gebäuden und Lärmschutzwällen zum Hindernisprofil zusammengefügt. Die Sichtverbindung gilt als frei, wenn kein Punkt des Hindernisprofils oberhalb des direkten Schallstrahls von der Quelle zum Immissionsort liegt. Unter homogenen Ausbreitungsbedingungen ist der direkte Schallstrahl eine Gerade, unter günstigen Ausbreitungsbedingungen ein Kreissegment.

Freie Sichtverbindung

Besteht eine freie Sichtverbindung zwischen Quelle und Immissionsort, so wird in Abhängigkeit vom Oktavband geprüft, ob ein Punkt des Hindernisprofils zwischen Quelle und Immissionsort Beugungsdämpfung (durch „negative Beugung“) erzeugt. Dafür wird für alle Punkte des Hindernisprofils zwischen Quelle und Immissionsort die (in diesem Fall negative) Weglängendifferenz berechnet und der Punkt mit der größten Weglängendifferenz ermittelt.

Dieser Punkt zerteilt den Ausbreitungsweg in einen quellseitigen und einen immissionsortseitigen Teil. Für beide Teile wird eine eigene MGL berechnet. Die vom Punkt des Hindernisprofils erzeugte Beugung wird nur dann als relevant angesehen, wenn zwei vorgegebene Kriterien an die ermittelte Weglängendifferenz erfüllt sind (u.a. das „Rayleigh-Kriterium“).

Sind beide Kriterien erfüllt, wird die vom Punkt erzeugte Beugung berücksichtigt und die Bodenterme getrennt für den Quellbereich über der quellseitigen MGL und für den Bereich des Immissionsortes über der immissionsortseitigen MGL berechnet.

Ist mindestens eines dieser Kriterien nicht erfüllt, so wird keine Beugungsdämpfung (bei freier Sichtverbindung) im Ausbreitungsweg berücksichtigt und eine gemeinsame MGL für den gesamten Ausbreitungsweg berechnet.

Blockierte Sichtverbindung

Ist die Sichtverbindung zwischen Quelle und Immissionsort blockiert, fungieren ein oder mehrere Punkte des Hindernisprofils als Beugungspunkte. Der Schallstrahl besteht damit aus Abschnitten, die unter homogenen Ausbreitungsbedingungen Geradenabschnitte und unter günstigen Ausbreitungsbedingungen Kreissegmente gleichen Radius sind.

Der zu betrachtende gebeugte Ausbreitungsweg ist definiert als die kürzeste konvexe über alle Hindernisse hinweg verlaufende Verbindung von Quelle und Immissionsort. Unter homogenen Ausbreitungsbedingungen kann der Ausbreitungsweg mittels eines „Gummibands“ gefunden werden. Unter günstigen Ausbreitungsbedingungen ergeben sich die zu berücksichtigenden Beugungspunkte durch Konstruktion der kürzesten konvexen aus Kreisabschnitten bestehenden Verbindung zwischen Quelle und Immissionsort.

Für den Quellbereich zwischen Quelle und erstem Beugungspunkt ist eine quellseitige MGL und für den Bereich des Immissionsortes zwischen letztem Beugungspunkt und Immissionsort eine immissionsortseitige MGL zu berechnen. Unter Verwendung der oben definierten Beugungspunkte werden die Weglängendifferenzen unter zusätzlicher Verwendung von Spiegelquellen ermittelt. Diese Spiegelquellen in der vertikalen Ausbreitungsebene bilden die Bodenreflexion ab. Zur Berechnung der Beugung werden die Bodenterme getrennt für den Quellbereich über der quellseitigen MGL und für den Bereich des Immissionsortes über der immissionsortseitigen MGL berechnet.

Der Einfluss der Ausbreitungsbedingungen auf die Beugungsdämpfung wird ausschließlich bei der Berechnung der Weglängendifferenzen berücksichtigt.

Seitliche Beugung

Seitliche Beugung bleibt bei (Straßen-)Verkehrsquellen unberücksichtigt.

Reflexionen

Reflexionen werden mit Hilfe von Spiegelschallquellen abgebildet. Ein Hindernis wird nur dann als Reflektor berücksichtigt, wenn seine Neigung zur Vertikalen 15 Grad nicht überschreitet und es die Sichtverbindung zur Spiegelschallquelle blockiert. Als Reflexionspunkt wird der Punkt der reflektierenden Fläche definiert, an dem die – je nach Ausbreitungsbedingungen gerade oder kreisförmige – Verbindung zur Spiegelschallquelle die als vertikal angenommene Ebene des Reflektors durchdringt. Das reflektierende Hindernis muss dabei aus Sicht des einfallenden Strahls mindestens eine Abmessung von 0,5 m haben, um berücksichtigt zu werden.

Beim Auftreffen auf einen Reflektor wird ein Teil der einfallenden Schallenergie vom Reflektor absorbiert. Zusammen mit der Dämpfung durch Retrobeugung führt dies dazu, dass der Schallleistungspegel der Spiegelschallquelle kleiner als der der Originalschallquelle ist.

Die Emission der Spiegelquellen ergibt sich daher aus der Schallleistung der Originalquelle, reduziert um die Absorptionsverluste des Reflektors sowie des Verlusts an akustischer Energie bei der Reflexion durch die Nähe des Reflexionspunktes zur Oberkante des Reflektors. Dieser Verlust an Schallleistung wird als Dämpfung durch Retrobeugung bezeichnet, deren Berücksichtigung eine Besonderheit der BUB ist.

Anmerkung: Für die Lärmkartierung sind nur Ausbreitungswege mit maximal einer Reflexion zu berücksichtigen.

Bodendämpfung – gemittelter Bodenparameter

Die akustischen Absorptionseigenschaften des Bodens unterhalb des Ausbreitungswegs haben wesentlichen Einfluss auf die Bodendämpfung. Dabei spielt vor allem die Porosität des Bodens eine Rolle: Ein dichter Boden ist im Allgemeinen reflektierend, ein poröser Boden absorbierend.

Für die Berechnung der Bodendämpfung wird die akustische Absorption des Bodens durch den dimensionslosen Koeffizienten G ausgedrückt, der Werte von 0 für vollständig reflektierenden Boden bis 1 für komplett absorbierenden Boden annehmen kann.

Für jeweilige Abschnitte des Geländes entlang der MGL wird eine mittlere Bodenabsorption G_{path} bestimmt.

Die Berechnung der Bodendämpfung erfolgt immer in Bezug auf eine Mittlere Grundlinie. Je nach Art des Ausbreitungswegs werden MGLn für drei verschiedene Bereiche gebildet:

- ▶ Für den gesamten Ausbreitungsweg,
- ▶ für den Quellbereich bis zum ersten Beugungspunkt und
- ▶ für den Bereich des Immissionsortes hinter dem letzten Beugungspunkt.

Ggf. wird das G_{path} zu G'_{path} korrigiert, falls Quelle und Immissionsort nahe beieinanderliegen. G -Werte unter der Quelle gehen in diese Korrektur als G_s ein.

Für Quellen des Straßenverkehrs gilt $G_s = 0$, die Absorption poröser Straßendecken ist bereits im Emissionsmodell der Straße berücksichtigt.

Anmerkung: Für die Lärmkartierung ist $G_{path} = 0,3$ zu verwenden.

Dämpfung aufgrund geometrischer Divergenz

Die Dämpfung aufgrund geometrischer Divergenz entspricht einer Verringerung des Schallpegels mit zunehmender Ausbreitungsentfernung.

Dämpfung aufgrund von Luftabsorption

Die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption während der Ausbreitung von der Quelle zum Immissionsort wird berücksichtigt.

Zu beachten ist, dass die Werte des Luftdämpfungskoeffizienten α_{atm} gemäß Formel der ISO 9613-1: 1993-06 an den exakten Mittenfrequenzen der Oktavbänder ermittelt werden und den „nominellen“ Oktavmittenfrequenzen zugeordnet werden.

Anmerkung: Für die Lärmkartierung sind die Koeffizienten α_{atm} für eine Temperatur von 10 °C, eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 % und einen Luftdruck von 1013,25 hPa zu verwenden.

2.1.4 Rundung

Die RLS-90 wurde im Hinblick auf eine manuelle Berechnung entwickelt. Sie erfordert daher die Rundung von Zwischenergebnissen und Pegeldifferenzen auf 0,1 dB. Gesamtbeurteilungspegel sind auf volle dB(A) aufzurunden. Was in diesem Zusammenhang ein Zwischenergebnis und was ein Endergebnis ist, definieren die RLS-90 nicht eindeutig. Da die Berechnung heutzutage mit spezialisierter Software erfolgt, werden im Regelfall nur Ergebnisse gerundet oder aufgerundet, nicht jedoch Zwischenergebnisse.

Nach den RLS-19 dagegen ist bei der Berechnung explizit nicht zu runden. Erst für den Vergleich mit Immissionsgrenzwerten ist der aufgerundete Immissionspegel zu verwenden. Für die Prüfung auf „wesentliche Änderung“ im Sinne der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) ist zuerst die Differenz zu bilden und diese dann aufzurunden.

Nach der VBUS sind Mittelungspegel und Lärmindizes (L_{DEN} und L_{night}) auf 0,1 dB zu runden.

In der BUB werden keine Hinweise zur Rundung gegeben.

2.2 Nicht geometrische Emissionsparameter

2.2.1 Klassifikation der Fahrzeuge

Während die RLS-90 zwischen Personenkraftwagen (Pkw) und Lastkraftwagen (Lkw) die Grenze bei 2,8 t zieht, ist diese Abgrenzung nach VBUS bei 3,5 t vorgesehen. Weitere Unterscheidungen in der Zuordnung zu Fahrzeugklassen machen die RLS-90 nicht.

Sowohl die RLS-19, als auch die BUB grenzen die Lkw ebenfalls bei 3,5 t von den Pkw ab. Sie unterscheiden darüber hinaus jedoch auch weitere Fahrzeugklassen. Beide Vorschriften differenzieren zwischen leichteren und schwereren Lkw. Sie definieren diesen Unterschied jedoch anders. Während die BUB schwere Lkw als Fahrzeuge mit mehr als 2 Achsen definiert und Reisebusse grundsätzlich zu den sLkw zählen (Klasse 3), sind nach den RLS-19 alle Busse in der Klasse der lLkw (Lkw1).

Krafträder werden nach den RLS-19 wie sLkw (Lkw2) eingestuft, jedoch mit der für Pkw zulässigen Geschwindigkeit gerechnet. Zudem wird für die Ermittlung der Korrektur für den Straßendeckschichttyp nach den RLS-19 bei Krafträdern immer von 0 dB ausgegangen. Nach der BUB wird zwischen zwei-, drei- und vierrädrigen Mopeds (Klasse 4a) und leistungsstärkeren Krafträdern (Motorräder mit und ohne Seitenwagen, drei- und vierrädrige Motorräder, Klasse 4b) unterschieden. Für diese Krafträder wird nach der BUB nur das Motorengeräusch berechnet.

Die Unterschiede zwischen einzelnen Berechnungsvorschriften in der Klassifikation der Fahrzeuge sind in Tabelle 5 gegenübergestellt.

Tabelle 5: Klassifikation der Fahrzeuge

Vorschrift	Pkw	Lkw		Krafträder
RLS-90	Pkw Fahrzeuge $\leq 2,8$ t	Lkw Fahrzeuge $> 2,8$ t		nicht gesondert geregelt
RLS-19	Pkw Pkw/Lieferwagen $\leq 3,5$ t, auch mit Anhänger	Lkw1 Lkw $> 3,5$ t ohne Anhänger, Busse	Lkw2 Lkw $> 3,5$ t mit Anhänger, Sattelkraftfahrzeuge	Emissionsberechnung wie Lkw2, jedoch mit v_{Pkw} und $D_{Stro} = 0$ dB
VBUS	Pkw Fahrzeuge $\leq 3,5$ t	Lkw Fahrzeuge $> 3,5$ t		nicht gesondert geregelt
BUB	Klasse 1 Pkw, Lieferwagen $\leq 3,5$ t mit Anhänger	Klasse 2 Lieferwagen $> 3,5$ t, Busse, Wohnmobile usw. mit 2 Achsen	Klasse 3 schwere Nutzfahrzeuge, Reisebusse, Busse mit mehr als 2 Achsen	Klasse 4a Mopeds Klasse 4b leistungsstärkere Krafträder

Für die Untersuchung der Unterschiede zwischen den Vorschriften werden die Klassen bei Vergleichen im Folgenden einheitlich als Personenkraftwagen (Pkw, d.h. Pkw/Klasse 1), Lastkraftwagen (Lkw, d.h. Lkw/Lkw1/Lkw2/Klasse 2/Klasse 3), leichte Lastkraftwagen (lLkw, d.h. Lkw1/Klasse 2) und schwere Lkw (sLkw, d.h. Lkw2/Klasse 3) bezeichnet und die Unterschiede in den Definitionen nicht weiter beachtet.

2.2.2 Verkehrsmengen

Die BUB gibt keine Hinweise, wie die stündlichen Verkehrsstärken für die einzelnen Zeiträume und Fahrzeugklassen abgeleitet werden können, wenn nur aggregierte Daten vorliegen. Die RLS-90, RLS-19 und VBUS geben dagegen ein Vorgehen vor, nach dem aus der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke abgeleitet werden kann, wie viele dieser Fahrzeuge in den einzelnen Zeiträumen (Kapitel 2.1.1) und Fahrzeugklassen (Kapitel 2.2.1) anzusetzen sind.

Die Tabelle 6 fasst die einzelnen Faktoren zusammen. Verteilt man, nach den in Tabelle 6 aufgeführten Faktoren, die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf die maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärken (M), so ergeben sich in manchen Fällen in der Summe höhere Verkehrsmengen über den 24-Stunden-Tag.

Nach den RLS-90 ergeben sich zwischen 2,4 % und 7,2 % höhere Gesamtverkehrsmengen, was zu einer geringfügigen Überschätzung der Emissionspegel zu Gunsten der Betroffenen führt. Nach der VBUS liegen die sich ergebenden Differenzen zwischen +2,4 % und -2,4 %. Dies führt dazu, dass (auf Landes-, Kreis-, und Gemeindeverbindungsstraßen) die Summe der Fahrzeuge nach der Verteilung mit den in Tabelle 6 aufgeführten Faktoren geringer ist als der DTV-Wert, aus dem die stündlichen Verkehrsstärken ermittelt werden. Bei den RLS-19 sind die Umrechnungsfaktoren so gewählt worden, dass es nicht zu einer solchen Abweichung kommt.

Tabelle 6: Standardwerte für maßgebliche Verkehrsstärke M (in Kfz/h) und Lkw-Anteile p

Vorschrift/ Zeitraum		Bundesautobahnen		Bundesstraßen		Landes-, Kreis-, und Gemeindeverbindungsstraßen		Gemeindestraßen	
		M	$p^1/\%$	M	$p^1/\%$	M	$p^1/\%$	M	$p^1/\%$
RLS-90	Tag	0,0600 * DTV	25	0,0600 * DTV	20	0,0600 * DTV	20	0,0600 * DTV	10
RLS-90	Nacht	0,0140 * DTV	45	0,0110 * DTV	20	0,0080 * DTV	10	0,0110 * DTV	3
RLS-19	Tag	0,0555 * DTV	3/11	0,0575 * DTV	3/7	0,0575 * DTV	3/5	0,0575 * DTV	3/4
RLS-19	Nacht	0,0140 * DTV	10/25	0,0100 * DTV	7/13	0,0100 * DTV	5/6	0,0100 * DTV	3/4
VBUS	Tag	0,0620 * DTV	25	0,0620 * DTV	20	0,0620 * DTV	20	0,0620 * DTV	10
VBUS	Abend	0,0420 * DTV	35	0,0420 * DTV	20	0,0420 * DTV	15	0,0420 * DTV	6,5
VBUS	Nacht	0,0140 * DTV	45	0,0110 * DTV	20	0,0080 * DTV	10	0,0110 * DTV	3
BUB		keine Angaben							

¹ Lkw-Anteile p in Prozent der maßgeblichen (stündl.) Verkehrsstärke M , für RLS-19 getrennt nach p_1 (Lkw1) / p_2 (Lkw2). Der Zeitraum Tag nach RLS-90 und RLS-19 hat 16 Stunden (6⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr) und nach VBUS 12 Stunden (6⁰⁰ bis 18⁰⁰ Uhr), der Abend (4h) geht nach VBUS von 18⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr und die Nacht hat für alle Vorschriften 8 Stunden (22⁰⁰ bis 6⁰⁰ Uhr).

In der VBUS werden für den Abend Lkw-Anteile angegeben, die dem Mittelwert aus den Lkw-Anteilen am Tag und in der Nacht (nach RLS-90) entsprechen. Da die abendlichen Lkw-Fahrten der VBUS in den Tagzeitraum gemäß RLS-90 fallen, bedeutet dies gegenüber den RLS-90 erhöhte Lkw-Anteile am Tag auf Bundesautobahnen und gesenkte Lkw-Anteile auf den nachgeordneten Straßen. Nachts werden dieselben Lkw-Anteile angenommen.

Die RLS-19 gehen am Tag durchgehend von geringeren Lkw-Anteilen aus als die RLS-90. In der Nacht werden auf Bundesautobahnen ebenfalls geringere Lkw-Anteile (in Summe über Lkw1 und Lkw2) angenommen als die RLS-90 vorsehen. Im nachgeordneten Straßennetz dagegen gehen die RLS-19 nachts von höheren Lkw-Anteilen aus als die RLS-90.

2.2.3 Geschwindigkeit

Gemäß BUB sind fahrzeugklassenspezifische Geschwindigkeiten zu verwenden. Nur wenn keine Messdaten vorliegen ist die gesetzliche Höchstgeschwindigkeit – d.h. das Minimum aus gesetzlicher Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeugklasse und zulässiger Höchstgeschwindigkeit des Straßenabschnittes – zu verwenden. Für Geschwindigkeiten unter 20 km/h wird das Antriebsgeräusch verwendet, das bei 20 km/h ermittelt wird. Mit welcher Geschwindigkeit berechnet werden muss, wenn auf Autobahnen keine Höchstgeschwindigkeit ausgewiesen ist, regelt die BUB nicht. Allerdings liegen nur für den Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h bis 140 km/h Faktoren zur Berechnung der Fahrbahnoberflächen vor.

Die übrigen Vorschriften gehen grundsätzlich von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit aus (Tabelle 7).

Tabelle 7: Geschwindigkeiten

Vorschrift	Pkw	Lkw	Krafträder
RLS-90	30 – 130 km/h	30 – 80 km/h	-
RLS-19	30 – 130 km/h	BAB ¹ : 30 – 90 km/h sonst: 30 – 80 km/h	30 – 130 km/h
VBUS	30 – 130 km/h	30 – 80 km/h	-
BUB	30 – 140 km/h ²		

¹ Für Lkw wird nach RLS-19 „auf Autobahnen und Kraftfahrstraßen mit Fahrbahnen für eine Richtung, die durch Mittelstreifen oder sonstige bauliche Einrichtungen getrennt sind (§ 18 Absatz 5 StVO: 80 km/h), eine Geschwindigkeit von 90 km/h hypothetisch angenommen“, wenn der Straßenabschnitt nicht auf 80 km/h oder weniger beschränkt ist.

² Als Geschwindigkeit wird im Rahmen der Lärmkartierung üblicherweise die zulässige Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeugschicht auf der gegebenen Straße verwendet. Nach BUB können jedoch auch höhere Geschwindigkeiten von bis zu 140 km/h für alle Fahrzeugschichten berechnet werden.

2.2.4 Straßenoberfläche

Die Eigenschaften der Straßenoberflächen werden nach allen Vorschriften als Änderung gegenüber einem Referenzbelag berechnet (Tabelle 8).

Tabelle 8: Referenzbelag

Vorschrift	Referenzbelag
RLS-90	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte
RLS-19	nicht geriffelter Gussasphalt
VBUS	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte
BUB	Asphaltbeton 0/11 und Splittmastixasphalt 0/11 mit durchschnittlicher Verdichtungsgrad, zwei bis sieben Jahre alt und in einem repräsentativen Instandhaltungszustand

2.2.4.1 RLS-90

Der Einfluss der Straßenoberfläche wird gemäß Tabelle 4 der RLS-90 in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ermittelt. Diese Tabelle wurde durch mehrere „Allgemeine Rundschreiben Straßenbau“ des Bundesverkehrsministeriums um neue Korrekturwerte für Fahrbahnoberflächen bei Geschwindigkeiten über 60 km/h ergänzt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Straßendeckschichtkorrekturen RLS-90

Straßenoberfläche	30 km/h	40 km/h	50-60 km/h	> 60 km/h
nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Betone oder geriffelte Gussasphalte	1 dB	1,5 dB	2 dB	2 dB
Pflaster mit ebener Oberfläche	2 dB	2,5 dB	3 dB	3 dB
sonstige Pflaster	3 dB	4,5 dB	6 dB	6 dB
offenporiger Asphalt				-3 dB
Betone nach ZTV Beton 78 /18/ mit Stahlbesenstreich mit Längsglätter (ARS Nr. 14/1991 /12/)				+1 dB

Straßenoberfläche	30 km/h	40 km/h	50-60 km/h	> 60 km/h
Betone nach ZTV Beton 78 ohne Stahlbesenstrich mit Längsglätter und Längstexturierung mit einem Jutetuch (ARS Nr. 14/1991 /12/)				-2 dB
Asphaltbetone ≤ 0/11 und Splittmastixasphalte 0/8 und 0/11 ohne Absplittung (ARS Nr. 14/1991 /12/)				-2 dB
offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt ≥ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/11 (ARS Nr. 14/1991 /12/)				-4 dB
offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt ≥ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/8 (ARS Nr. 14/1991 /12/)				-5 dB
Waschbeton nach ZTV Beton-StB 01 /19/ (ARS Nr. 5/2006 /13/)				-2 dB
Lärmarmer Gussasphalt (ARS Nr. 22/2010 /14/)				-2 dB

2.2.4.2 RLS-19

Die RLS-19 verwenden, anders als die anderen Vorschriften, statt Straßenoberfläche zumeist den Begriff Straßendeckschicht. Die Korrekturwerte für Pflasterdeckschichten sind in Tabelle 10 für alle Fahrzeugklassen angegeben.

Tabelle 10: Straßendeckschichtkorrekturen RLS-19 (Pflasterbeläge)

Straßendeckschichttyp	30 km/h	40 km/h	≥ 50 km/h
Pflaster mit ebener Oberfläche	1 dB	2 dB	3 dB
sonstige Pflaster oder Kopfsteinpflaster	5 dB	6 dB	7 dB

Für die übrigen Deckschichten wird zwischen Pkw und Lkw unterschieden, wobei Lkw1 und Lkw2 mit derselben Korrektur gerechnet werden. Außerdem wird dabei zwischen den Geschwindigkeiten bis 60 km/h und darüber unterschieden (Tabelle 11).

Zwei weitere Besonderheiten der RLS-19 sind zu beachten: Zum einen werden Motorräder nach den RLS-19 grundsätzlich ohne Korrektur für die Deckschicht berechnet. Zum anderen ist auf Straßenabschnitten, deren Richtungsfahrbahnen mehrere Fahrstreifen mit unterschiedlichen Deckschichten aufweisen, „für Pkw und Lkw getrennt der größere Korrekturwert aller verbauten Straßendeckschichttypen zu verwenden“¹. Gemeint ist damit der Korrekturwert, der den jeweils höheren Emissionspegel erzeugt.

¹ Anmerkung in Kapitel 3.3.1 der RLS-19

Tabelle 11: Straßendeckschichtkorrekturen RLS-19 (außer Pflasterbelägen)

Straßendeckschicht	Pkw		Lkw	
	≤ 60 km/h	> 60 km/h	≤ 60 km/h	> 60 km/h
nicht geriffelter Gussasphalt	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB
Splittmastixasphalte SMA 5 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 /22/ und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,6 dB		-1,8 dB	
Splittmastixasphalte SMA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,6 dB	-1,8 dB	-1,8 dB	-2,0 dB
Splittmastixasphalte SMA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3		-1,8 dB		-2,0 dB
Asphaltbetone ≤ AC 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,7 dB	-1,9 dB	-1,9 dB	-2,1 dB
Offenporiger Asphalt aus PA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13		-4,5 dB		-4,4 dB
Offenporiger Asphalt aus PA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13		-5,5 dB		-5,4 dB
Betone nach ZTV Beton-StB 07 /20/ mit Waschbetonoberfläche		-1,4 dB		-2,3 dB
Lärmarmierter Gussasphalt nach ZTV Asphalt-StB 07 /21/, Verfahren B		-2,0 dB		-1,5 dB
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus AC D LOA nach E LA D	-3,2 dB		-1,0 dB	
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus SMA LA 8 nach E LA D		-2,8 dB		-4,6 dB
Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiege- lung aus DSH-V 5 nach ZTV BEA-StB 07/13 /23/	-3,9 dB	-2,8 dB	-0,9 dB	-2,3 dB

Hinweise: In den RLS-19 sind die Splittmastixasphalte SMA 8 je nach Geschwindigkeitsbereich mit einer der anderen Splittmastixasphalte (SMA 5 und SMA 11) zusammengefasst. Das wurde zur besseren Übersichtlichkeit hier geändert. Die ausgegrauten Felder zeigen Kombinationen von Deckschichten und Geschwindigkeiten, die in der Praxis nicht vorkommen (nicht zulässig sind) oder für die keine Korrekturfaktoren vorliegen.

2.2.4.3 VBUS

Der Einfluss der Straßenoberfläche gemäß Tabelle 3 der VBUS basiert auf Tabelle 4 der RLS-90 und ist ebenfalls von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit abhängig. (Tabelle 12).

Tabelle 12: Straßendeckschichtkorrekturen VBUS

Straßenoberfläche	30 km/h	40 km/h	50-60 km/h	> 60 km/h
nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Betone oder geriffelte Gussasphalte	+1 dB	+1,5 dB	+2 dB	+2 dB
Pflaster mit ebener Oberfläche	+2 dB	+2,5 dB	+3 dB	+3 dB
sonstige Pflaster	+3 dB	+4,5 dB	+6 dB	+6 dB
Betone nach ZTV Beton 78 /18/ mit Stahlbesenstrich mit Längsglätter				+1 dB
Betone nach ZTV Beton-StB 01 /19/ mit Waschbetonoberfläche sowie mit Jutetuch- Längsglätter				-2 dB
Asphaltbetone $\leq$ 0/11 und Splittmastixasphalte 0/8 und 0/11 ohne Absplittung				-2 dB
offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzu- stand einen Hohlraumgehalt $\geq$ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/11				-4 dB
offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzu- stand einen Hohlraumgehalt $\geq$ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/8				-5 dB

2.2.4.4 BUB

Nach der BUB werden die Eigenschaften der Straßenoberfläche durch ein Frequenzspektrum je Fahrzeugkategorie und einen frequenzunabhängigen Faktor zur Ermittlung des Einflusses der Geschwindigkeit abgebildet. Sie werden zur Berechnung der Abweichung von den Referenzbedingungen verwendet, die eine „virtuelle Referenzstraßenoberfläche, bestehend aus einem einen durchschnittlichen Verdichtungsgrad aufweisenden Asphaltbeton 0/11 und Splittmastixasphalt 0/11, zwei bis sieben Jahre alt und in einem repräsentativen Instandhaltungszustand“ abbildet.

Die Faktoren sind je nach Fahrzeugkategorie für unterschiedliche Geschwindigkeitsbereiche gültig (Tabelle 13). In der zugehörigen Tabelle A-3 der BUB-D /5/ sind auch die Fahrzeugkategorien 4a und 4b (Motorräder) angelegt, jedoch nicht mit Werten belegt. Für Motorräder werden keine Reifengeräusche berechnet.

Tabelle 13: Geschwindigkeitsbereiche für Straßendeckschichtkorrekturen BUB

Straßenoberfläche	Geschwindigkeitsbereich in km/h nach Fahrzeugkategorie				
	1	2	3	4a	4b
Referenzoberfläche (virtuell)	-	-	-	-	-
nicht geriffelter Gussasphalt (nationale Referenz)	30-140	30-90	30-90	30-45	30-140
Splittmastixasphalte SMA 5 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3 ¹	30-60	30-60	30-60	30-45	30-60
Splittmastixasphalte SMA 8 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3 ¹	30-140	30-90	30-90	30-45	30-140

Straßenoberfläche	Geschwindigkeitsbereich in km/h nach Fahrzeugkategorie				
	1	2	3	4a	4b
Splittmastixasphalte SMA 11 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	70-140	70-90	70-90	-	70-140
Asphaltbetone $\leq$ AC 11 abgestumpft mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	30-140	30-90	30-90	30-45	30-140
Offenporiger Asphalt aus PA 11	70-140	70-90	70-90	-	70-140
Offenporiger Asphalt aus PA 8	70-140	70-90	70-90	-	70-140
Betone mit Waschbetonoberfläche	70-140	70-90	70-90	-	70-140
Lärmarmer Gussasphalt, Verfahren B	70-140	70-90	70-90	-	70-140
Pflaster mit ebener Oberfläche mit Fugenbreite $\leq$ 5,0 mm und Fase $\leq$ 2,0 mm	30-60	30-60	30-60	30-45	30-60
sonstiges Pflaster mit Fugenbreite $>$ 5,0 mm oder Fase $>$ 2,0 mm oder Kopfsteinpflaster	30-60	30-60	30-60	30-45	30-60

Hinweise: In der BUB sind die Splittmastixasphalte SMA 8 je nach Geschwindigkeitsbereich mit einer der anderen Splittmastixasphalte (SMA 5 und SMA 11) zusammengefasst. Das wurde zur besseren Übersichtlichkeit hier geändert.

¹ Die Emissionsdaten der Splittmastixasphalte SMA 5 und SMA 8 für 30-60 km/h sind in der aktuellen Fassung der BUB-D fehlerhaft. Da diese jedoch zurzeit rechtlich nicht korrigiert wurden wird mit den fehlerhaften Daten gerechnet.

2.3 Geometrische Emissionsparameter

2.3.1 Knotenpunkte

An Knotenpunkten wird von einigen Berechnungsvorschriften eine Korrektur (zumeist ein Zuschlag) berücksichtigt. Dabei werden von RLS-90, RLS-19 und BUB an lichtzeichengeregelten Kreuzungen Zuschläge vergeben. Die RLS-19 und die BUB vergeben darüber hinaus auch Korrekturen für Kreisverkehre.

2.3.1.1 Lichtzeichengeregelte Kreuzungen

Nach den RLS-90 wird in Abhängigkeit von der Entfernung (von bis zu 100 m) des **Immissionsorts** zur nächstgelegenen lichtzeichengeregelten Kreuzung oder Einmündung stufenweise ein Zuschlag von bis zu 3 dB auf den Mittelungspegel der betreffenden Straßenabschnitte vergeben (► Tabelle 14). Da auf die gesamte Länge des Straßenabschnitts ein Zuschlag vergeben wird, hat in manchen Situationen die genaue Modellierung, und damit das Ende des zugeordneten Straßenabschnitts, Einfluss auf den Immissionspegel. Aufgrund der Entfernungsbestimmung ausgehend vom Immissionsort erhöhen sich die berechneten Immissionspegel ausschließlich in einer Entfernung bis 100 m zur lichtzeichengeregelten Kreuzung.

Tabelle 14: Zuschlag für lichtsignalgeregelte Kreuzungen und Einmündungen nach RLS-90

Abstand des Immissionsortes vom nächsten Schnittpunkt der Achse von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Fahrstreifen	Zuschlag <i>K</i>
≤ 40 m	3 dB
> 40 m bis ≤ 70 m	2 dB
> 70 m bis ≤ 100 m	1 dB
> 100 m	0 dB

Die RLS-19 und die BUB vergeben dagegen, in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen dem **das Teilstück repräsentierenden Emissionspunkt** und der lichtzeichengeregelten Kreuzung, einen Zuschlag von bis zu 3 dB auf den Emissionspegel des Teilstücks der Straßen, der mit der Entfernung linear abnimmt. Nach den RLS-19 wird dieser Zuschlag bis zu einer Entfernung von 120 m vergeben. Gemäß der BUB dagegen erfolgt ein Zuschlag nur bis zu einer Entfernung von 100 m. Daraus ergibt sich, dass nach den RLS-19 und der BUB auch in Entfernungen von mehr als 100 m zur lichtzeichengeregelten Kreuzung noch Erhöhungen des Immissionspegels erfolgen, da die Emissionspegel auch in größerer Entfernung wirksam sind.

Als Position, zu der der Abstand ermittelt wird, ist nach allen drei Vorschriften der Punkt zu verwenden, der den nächstgelegenen Schnittpunkt der zu berechnenden Quellenlinien repräsentiert (siehe dazu auch Kapitel 2.3.4). Nach VBUS werden keine Zuschläge für lichtzeichengeregelte Kreuzungen vergeben.

2.3.1.2 Kreisverkehre

Für Kreisverkehre vergeben nur RLS-19 und BUB Zuschläge. Die Vorgehensweise ist identisch mit der Vorgehensweise, die für lichtzeichengeregelte Kreuzungen gilt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass der maximale Zuschlag nur 2 dB beträgt. Nach den RLS-90 und der VBUS wird kein Zuschlag für Kreisverkehre vergeben.

2.3.2 Gradienten

Die RLS-90 und die VBUS vergeben dieselben linear ansteigenden Zuschläge für Steigungen und Gefälle von mehr als 5 %.

Nach den RLS-19 und der BUB werden Zuschläge bereits bei geringeren Steigungen vergeben. Außerdem erfolgen die Zuschläge in Abhängigkeit von Fahrzeugkategorie, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit und sind auf 12 % begrenzt (d.h. bei mehr als 12 % wird der Korrekturfaktor verwendet, der sich aus 12 % ergibt). Während nach den RLS-19 die Emissionspegel der Fahrzeugklassen jeweils mit einem Zuschlag belegt werden, ergeben sich nach der BUB Zuschläge nur für die Motorengeräusche der jeweiligen Fahrzeugklassen.

2.3.2.1 RLS-90

Nach den RLS-90 wird bei mehr als 5 % Steigung ein linear ansteigender Zuschlag berechnet, der unabhängig von Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Fahrzeugtyp ist. Dieser Zuschlag ist in seiner Höhe nicht begrenzt.

Formel 4: Steigung RLS-90

$$D_{Stg} = 0,6 \cdot |g| - 3 \quad \text{für} \quad |g| > 5\%$$

$$D_{Stg} = 0 \quad \text{für} \quad |g| \leq 5\%$$

mit

g Längsneigung des Fahrstreifens in %

2.3.2.2 RLS-19

Die RLS-19 berechnen die Zuschläge für Steigungen und Gefälle getrennt. Darüber hinaus werden die Fahrzeugkategorien mit unterschiedlichen geschwindigkeitsabhängigen Zuschlägen versehen. Diese Zuschläge setzen je nach Fahrtrichtung und Fahrzeugkategorie bei unterschiedlichen Steigungen/Gefällen ein. Bei mehr als 12 % werden die Korrekturen berechnet, die sich bei 12 % ergeben.

Bei Pkw wird an Steigungen ein von 2 % bis 12 % linear ansteigender Zuschlag berechnet. Bei Gefälle ergibt sich ein zwischen 6 % und 12 % linear ansteigender Zuschlag:

Bei Lkw wird an Steigungen ein von 2 % bis 12 % linear ansteigender Zuschlag berechnet. Bei Gefälle ergibt sich ein zwischen 4 % und 12 % linear ansteigender Zuschlag. Diese Zuschläge werden für Lkw1 und Lkw2 getrennt ermittelt:

Formel 5: Steigung RLS-19

$$D_{LN,Pkw}(g, v_{Pkw}) = \begin{cases} \frac{g+6}{-6} \cdot \frac{90 - \min\{v_{Pkw}; 70\}}{20} & \text{für } g < -6 \\ \frac{g-2}{10} \cdot \frac{v_{Pkw} + 70}{100} & \text{für } g > +2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$D_{LN,Lkw1}(g, v_{Lkw1}) = \begin{cases} \frac{g+4}{-8} \cdot \frac{v_{Lkw1} - 20}{10} & \text{für } g < -4 \\ \frac{g-2}{10} \cdot \frac{v_{Lkw1}}{10} & \text{für } g > +2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$D_{LN,Lkw2}(g, v_{Lkw2}) = \begin{cases} \frac{g+4}{-8} \cdot \frac{v_{Lkw2}}{10} & \text{für } g < -4 \\ \frac{g-2}{10} \cdot \frac{v_{Lkw2} + 10}{10} & \text{für } g > +2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

mit

g Längsneigung der Fahrbahn in %. Für Steigungen unterhalb von -12 % und oberhalb von 12 % ist $D_{LN,FzG}(G, v_{FzG})$ für -12 % bzw. 12 % zu verwenden.

v_{FzG} Geschwindigkeit der Fahrzeuggruppe FzG (Pkw, Lkw1 und Lkw2) in km/h

2.3.2.3 VBUS

Nach der VBUS wird, wie nach den RLS-90, bei mehr als 5 % Steigung ein linear ansteigender Zuschlag berechnet, der unabhängig von Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Fahrzeugtyp ist. Dieser Zuschlag ist nicht bei höheren Steigungen begrenzt.

Formel 6: Steigung VBUS

$$D_{Stg} = 0,6 \cdot |g| - 3 \quad \text{für } |g| > 5\%$$

mit

g Längsneigung des Fahrstreifens in %

2.3.2.4 BUB

Die BUB berechnet die Zuschläge für Steigungen und Gefälle getrennt. Darüber hinaus werden die Fahrzeugkategorien mit unterschiedlichen geschwindigkeitsabhängigen Zuschlägen versehen. Diese Zuschläge setzen je nach Fahrtrichtung und Fahrzeugkategorie bei unterschiedlichen Steigungen/Gefällen ein. Bei mehr als 12 % werden die Korrekturen berechnet, die sich bei 12 % ergeben. Eine Ausnahme bilden auch hier wieder die Motorräder, für die keine Zuschläge ermittelt werden.

Bei Pkw wird an Steigungen ein von 2 % bis 12 % linear ansteigender Zuschlag berechnet. Bei Gefälle ergibt sich ein zwischen 6 % und 12 % linear ansteigender Zuschlag:

Bei Lkw wird an Steigungen ein von 0 % bis 12 % linear ansteigender Zuschlag berechnet. Bei Gefälle ergibt sich ein zwischen 4 % und 12 % linear ansteigender Zuschlag. Diese Zuschläge werden für die Fahrzeugkategorien 2 und 3 getrennt ermittelt:

Formel 7: Steigung BUB

Leichte Kraftfahrzeuge

$$\Delta L_{WP,grad,m=1}(v_m) = \begin{cases} \frac{\min\{12\%; -s\} - 6\%}{1\%} & \text{für } s < -6\% \\ 0 & \text{für } -6\% \leq s \leq 2\% \\ \frac{\min\{12\%; s\} - 2\%}{1,5\%} \cdot \frac{v_m}{100} & \text{für } s > 2\% \end{cases}$$

Mittelschwere Fahrzeuge

$$\Delta L_{WP,grad,m=2}(v_m) = \begin{cases} \frac{\min\{12\%; -s\} - 4\%}{0,7\%} \cdot \frac{v_m - 20}{100} & \text{für } s < -4\% \\ 0 & \text{für } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\min\{12\%; s\}}{1\%} \cdot \frac{v_m}{100} & \text{für } s > 0\% \end{cases}$$

Schwere Fahrzeuge

$$\Delta L_{WP,grad,m=3}(v_m) = \begin{cases} \frac{\min\{12\%; -s\} - 4\%}{0,5\%} \cdot \frac{v_m - 10}{100} & \text{für } s < -4\% \\ 0 & \text{für } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\min\{12\%; s\}}{0,8\%} \cdot \frac{v_m}{100} & \text{für } s > 0\% \end{cases}$$

Krafträder

$$\Delta L_{WP,grad,m=4}(v_m) = 0$$

mit

v_m Geschwindigkeit der Fahrzeugklasse

s Längsneigung des Fahrstreifens in %

2.3.3 Mehrfachreflexionen

Alle vier Berechnungsvorschriften berücksichtigen Reflexionen an Hindernissen (siehe Kapitel 2.4.4). Sie gehen jedoch unterschiedlich mit Reflexionen nach der 1. Ordnung um.

2.3.3.1 RLS-90

Nach den RLS-90 wird die erste Reflexion explizit per Spiegelquelle berechnet. Zwischen parallelen Stützmauern, reflektierenden Lärmschutzwänden oder geschlossenen Hausfassaden (mit einem Lückenanteil $\leq 30\%$) wird darüber hinaus ein Zuschlag für Mehrfachreflexionen vergeben. Eine Definition, was als parallel anzusehen ist, liefert diese Vorschrift nicht. Auch wie lang ein Abschnitt mindestens sein muss, wie der Lückenanteil zu bestimmen ist und wie weit die Wände voneinander entfernt sein dürfen, wird nicht ausgeführt. Allerdings werden mit den Rechenbeispielen zu den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RBLärm-92) /11/ Hinweise dazu gegeben, wie zu verfahren ist.

Der Zuschlag wird wie folgt bestimmt:

Formel 8: Mehrfachreflexion RLS-90

$$D_{refl} = \frac{4 \cdot h_{Beb}}{w} \leq 3,2$$

mit

h_{Beb} mittlere Höhe der Stützmauern, Lärmschutzwände oder geschlossenen Hausfassaden, wobei die Seite mit der geringeren mittleren Höhe maßgeblich ist

w Abstand der reflektierenden Flächen voneinander

Bei absorbierenden Lärmschutzwänden oder Stützmauern (4 bis < 8 dB Reflexionsverlust) wird dieser Zuschlag halbiert. Sind diese hochabsorbierend (≥ 8 dB Reflexionsverlust) entfällt er vollständig.

2.3.3.2 RLS-19

Die RLS-19 berechnen die Schallreflexionen bis zur zweiten Ordnung per Spiegelquellenverfahren. Darüber hinaus wird ebenfalls ein Zuschlag für Mehrfachreflexion ermittelt. Zur Ermittlung wird jedoch nicht von einem Fahrstreifen ausgegangen, sondern von einem (durch einen Emissionspunkt repräsentierten) Fahrstreifenteilstück. Damit ist kein Lückenanteil zu beachten, weil in Lücken kein Zuschlag berechnet wird. Weiterhin ist „parallel“ als in einem Winkel zur Straßenachse von weniger als 5° definiert. Die reflektierenden Wände dürfen nicht weiter als 100 m voneinander entfernt sein.

Formel 9: Mehrfachreflexion RLS-19

$$D_{refl}(h_{Beb}, w) = \frac{2 \cdot h_{Beb}}{w} \leq 1,6$$

mit

h_{Beb} Höhe der Stützmauern, Lärmschutzwände oder geschlossenen Hausfassaden, wobei die Seite mit der geringeren Höhe maßgeblich ist

Anmerkung: Da der Zuschlag nicht auf einen Fahrstreifen (wie bei den RLS-90), sondern auf ein (durch eine Punktschallquelle repräsentiertes) Teilstück des Fahrstreifens angewandt wird, gibt es für diese Punktquelle jeweils nur einen Reflektor je Seite. Daher wird nicht – wie bei den RLS-90 – eine mittlere Höhe ermittelt.

w Abstand der reflektierenden Flächen voneinander

Bei reflexionsmindernden und stark reflexionsmindernden Lärmschutzwänden entfällt der Zuschlag für Mehrfachreflexion.

2.3.3.3 VBUS

Die Berechnung ist identisch mit der gemäß RLS-90 (► Kapitel 2.3.3.1).

2.3.3.4 BUB

Die BUB begrenzt die zu berücksichtigte Reflexionsordnung nicht generell, schreibt für den Anwendungsfall der Lärmkartierung jedoch vor, nur die erste Reflexion zu berechnen. Die BUB vergibt keine Mehrfachreflexionszuschläge.

2.3.4 Fahrstreifen

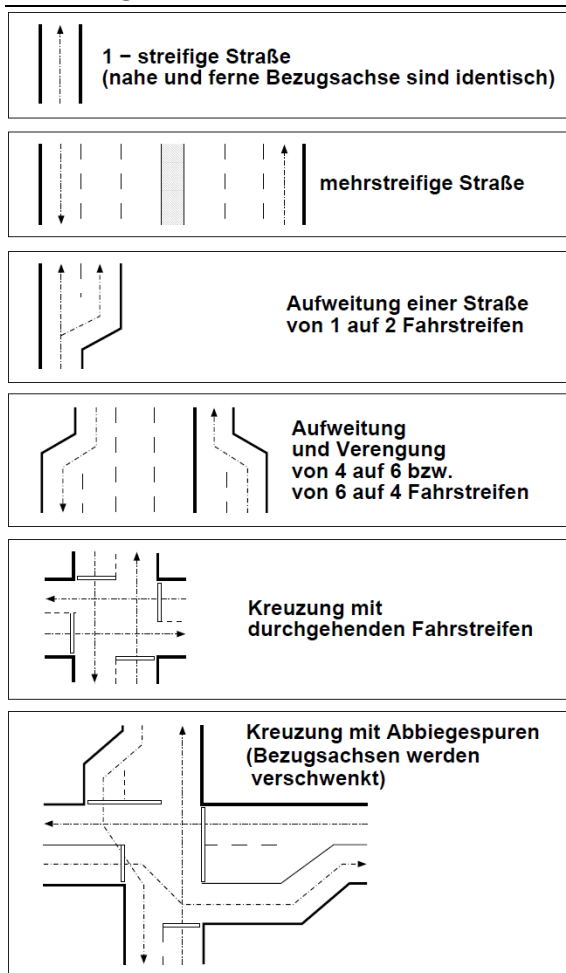
Anmerkung:

Die BUB verwendet statt Fahrstreifen den Begriff Fahrspur. Im Folgenden wird einheitlich der Begriff Fahrstreifen verwendet. Die RLS-90 und die VBUS bezeichnen die Linien, die die Schallquellen repräsentieren (ausschließlich in den Abbildungen) als Bezugsachse, die RLS-19 verwendet den Begriff Quelllinie und die BUB den Begriff Quelllinie, der im Weiteren verwendet wird, um die Position der Linie anzugeben, von der aus die Schallausbreitung berechnet wird.

Bei einspurigen Straßen liegt die Quelllinie immer über der Mitte des Fahrstreifens. Sind mehrere Fahrstreifen vorhanden, unterscheiden sich die Vorgehensweisen der Vorschriften.

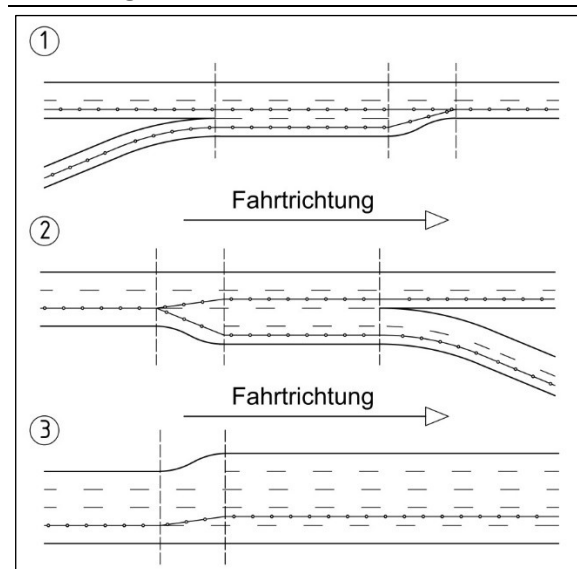
Nach den RLS-90 und der VBUS werden zwei Quelllinien jeweils über den Mitten der äußeren Fahrstreifen angenommen (► Abbildung 1). Dabei werden Abbiege-, Ein- und Ausfädelstreifen als äußere Fahrstreifen angenommen, auf denen der gesamte Richtungsverkehr fährt.

Abbildung 1: Quelllinien nach RLS-90/VBUS



Quelle: VBUS

Abbildung 2: Quelllinien nach RLS-19



Quelle: RLS-19

Bei Straßen nach RLS-19 wird für jede Fahrtrichtung eine eigene Quelllinie angesetzt. Die Position der Quelllinien hängt jedoch, abweichend von den RLS-90 und der VBUS, von der Anzahl der Fahrstreifen pro Fahrtrichtung ab. Steht für eine Fahrtrichtung nur ein Fahrstreifen zur Verfügung, so liegt die Quelllinie über der Mitte dieses Fahrstreifens. Stehen zwei Fahrstreifen für eine Fahrtrichtung zur Verfügung, liegt die Quelllinie über der Mitte des äußeren Fahrstreifens, bei drei oder vier Fahrstreifen über der Trennlinie zwischen den beiden äußersten Fahrstreifen und ab fünf Fahrstreifen über der Mitte des zweitäußersten Fahrstreifens (► Abbildung 2). Abbiege-,

Ein- und Ausfädelungstreifen zählen hierbei als eigene Straße. Ihre Fahrstreifen werden nicht zur Anzahl der Fahrstreifen hinzugezählt, sondern durch eine eigene Quelllinie repräsentiert.

Bei maximal zwei Fahrstreifen je Richtung ist die (horizontale) Position nach den RLS-19 somit dieselbe, wie bei den RLS-90 und der VBUS. Sind mehr als zwei Fahrstreifen für eine Fahrtrichtung vorhanden, so wird die Quelllinie weiter zur Mitte der Straße positioniert. Dies führt zu geringerer Wirksamkeit von Lärmschutzwänden, weil sie weiter von der nahegelegenen Quelllinie entfernt sind.

Die BUB regelt die Lage der Quelllinien nicht konkret. Allerdings empfiehlt sie, jeden Fahrstreifen durch eine eigene Quelllinie zu repräsentieren. Es ist nach BUB jedoch auch akzeptabel, bei einer Straße mit zwei Richtungsfahrbahnen eine Quellenlinie in der Straßenmitte oder bei mehrspurigen Straßen eine Quellenlinie je Fahrbahn in den äußeren Fahrstreifen zu modellieren.

2.3.5 Zerlegung der Fahrstreifen in Punktquellen

Straßen sind Linienquellen, die für die Ausbreitungsberechnung in Punktquellen aufgeteilt werden müssen. Dazu werden die Linienquellen in Teilstücke unterteilt, die jeweils durch eine Punktschallquelle in ihrer Mitte repräsentiert werden und annähernd konstante Ausbreitungsbedingungen aufweisen. Die RLS-90, die VBUS und die RLS-19 enthalten jeweils die Anforderung, dass ein Teilstück höchstens halb so lang sein darf, wie der Abstand zwischen dem Immissionsort und dem Quellpunkt, der das Teilstück repräsentiert. Darüber hinaus ergeben sich aus der Berechnung von Gelände und Hindernissen Aufteilungen der Linienquellen, die nur teilweise durch die jeweilige Abschirmung betroffen sind.

Die BUB regelt die Zerlegung der Linienquellen in Punktquellen nicht. Vielmehr weist sie darauf hin, dass „die Wahl geeigneter Ersatzquellen [...] vom räumlichen Kontext von Quelle und Immissionsort“ abhängt und „gegebenenfalls über dieses Berechnungsverfahren hinausgehender Festlegungen“ bedarf. Im Zusammenhang mit Industrie- und Gewerbelärm weist sie darüber hinaus darauf hin, dass so modelliert werden sollte, dass „die Bedingung des halben Abstands erfüllt ist.“ Üblicherweise wird daher dasselbe Projektionsverfahren verwendet, nach dem die anderen Vorschriften die Linienquellen in Punktquellen zerlegen.

Insofern sind keine relevanten Unterschiede zwischen den Berechnungsvorschriften zu erwarten, die sich aus der Zerlegung in Teilstücke und deren Repräsentation durch Punktquellen ergibt.

2.3.6 Emissionshöhe

Nach den RLS-90, den RLS-19 und der VBUS werden die Punktschallquellen, die die Straßen repräsentieren, in einer Höhe von 0,5 m über der Fahrbahn angenommen. Die BUB dagegen geht von einer Höhe von 0,05 m über der Fahrbahn aus. Dies bewirkt höhere Anforderungen an das Geländemodell, da bereits geringe Unterschiede im Gelände zu Abschirmungen führen können.

2.4 Geometrische Parameter der Schallausbreitung

2.4.1 Boden-/Meteorologiedämpfung

Nach den RLS-90 und der VBUS wird der Begriff „Boden- und Meteorologiedämpfung“ verwendet. Die RLS-19 und die BUB dagegen verwendet nur den Begriff „Bodendämpfung“.

Nach den RLS-90 wird Boden- und Meteorologiedämpfung (D_{BM}) nur bei freier Schallausbreitung berechnet, nicht jedoch bei gebeugten Ausbreitungswegen über Hindernisse.

Nach den RLS-19 werden sowohl das Abschirmmaß (D_Z), als auch die Bodendämpfung (D_{gr}) berechnet, jedoch nur der Wert mit dem größeren Betrag verwendet.

Nach der VBUS werden sowohl das Abschirmmaß (D_Z), als auch die Boden- und Meteorologiedämpfung (D_{BM}) berechnet, jedoch nur der Wert mit dem größeren Betrag verwendet.

Nach der BUB erfolgt die Berechnung getrennt für jedes Oktavband und jeweils für homogene und günstige Ausbreitungsbedingungen. Darüber hinaus wird nach der BUB die Beschaffenheit des Bodens in die Berechnung einbezogen. Für die Lärmkartierung wird für die Bodenbeschaffenheit mit einem konstanten Wert ($G_{path} = 0,3$) gerechnet, was jedoch die höhere Komplexität der Berechnung nicht mindert. Die sich daraus ergebenden Immissionspegel werden dann nach der Häufigkeit des Auftretens gewichtet. Im Anwendungsfall der Lärmkartierung wird von 50 % günstigen Bedingungen am Tag, 75 % am Abend und 100 % in der Nacht ausgegangen.

Tabelle 15: Boden-/Meteorologiedämpfung

Vorschrift	Berechnungsterm	Bemerkungen
RLS-90	$D_{BM} = \left(\frac{h_m}{s}\right) \cdot \left(34 + \frac{600}{s}\right) - 4,8 \leq 0$	D_{BM} wird zum Schallpegel addiert
RLS-19	$D_{gr} = \max\left\{4,8 - \frac{h_m}{s} \cdot \left(34 + \frac{600}{s}\right); 0\right\}$	D_{gr} wird (als Teil von D_A) vom Schallpegel subtrahiert
VBUS	$D_{BM} = 4,8 - \frac{h_m}{s} \cdot \left(34 + \frac{600}{s}\right) \geq 0$	D_{BM} wird vom Schallpegel subtrahiert
BUB	die BUB berechnet oktavweise unter Einbeziehung der Eigenschaften des Untergrundes der Ausbreitungsbedingungen	

Aus Tabelle 15 ist zu ersehen, dass die ersten drei Vorschriften hier dieselben Korrektursummanden berechnen. Lediglich nach RLS-90 wird nicht geprüft, ob im Falle der Abschirmung der Abzug durch Boden- und Meteorologiedämpfung größer wäre als der Abzug durch Beugung.

Das Vorgehen der BUB weicht hier grundsätzlich von den übrigen Vorschriften ab. Hier haben die akustischen Absorptionseigenschaften des Bodens unterhalb des Ausbreitungswegs wesentlichen Einfluss auf die Bodendämpfung. Dabei spielt vor allem die Porosität des Bodens eine Rolle: Ein dichter Boden ist im Allgemeinen reflektierend, ein poröser Boden absorbierend. Für die Berechnung der Bodendämpfung wird die akustische Absorption des Bodens durch den dimensionslosen Koeffizienten G ausgedrückt, der Werte von 0 für vollständig reflektierenden Boden bis 1 für komplett absorbierenden Boden annehmen kann.

Die Berechnung der Bodendämpfung erfolgt immer in Bezug auf eine Mittlere Grundlinie (MGL). Für die Abschnitte des Geländes entlang der MGL wird eine mittlere Bodenabsorption G_{path} bestimmt. Je nach Art des Ausbreitungswegs werden Mittlere Grundlinien für drei verschiedene Bereiche gebildet:

- für den gesamten Ausbreitungsweg,
- für den Quellbereich bis zum ersten Beugungspunkt und
- für den Bereich des Immissionsortes hinter dem letzten Beugungspunkt.

Ggf. wird das G_{path} zu G'_{path} korrigiert, falls Quelle und Immissionsort nahe beieinanderliegen. G -Werte unter der Quelle gehen in diese Korrektur als G_s ein. Für Quellen des Straßenverkehrs

gilt $G_s = 0$ (schallharter Boden), die Absorption poröser Straßendecken ist bereits im Emissionsmodell der Straße berücksichtigt. Für die Lärmkartierung wird der Boden nicht explizit modelliert. Es ist $G_{path} = 0,3$ zu verwenden.

2.4.2 Abstand und Luftabsorption

Die RLS-90 und die VBUS berechnen einen gemeinsamen Korrekturterm für die Auswirkung des Abstandes und die Luftabsorption. Nach den RLS-19 und der BUB werden diese in getrennten Termen ermittelt.

Tabelle 16: Abstand und Luftabsorption

Vorschrift	Berechnungsterm	Bemerkungen
RLS-90	$D_s = 11,2 - 20 \cdot \lg(s) - \frac{s}{200}$	
RLS-19	$D_{div} = 20 \cdot \lg[s] + 10 \cdot \lg[2\pi]$ $D_{atm} = \frac{s}{200}$	D_{div} Minderung durch geom. Divergenz D_{atm} Minderung durch Luftdämpfung
VBUS	$D_s = 20 \cdot \lg(s) + \frac{s}{200} - 11,2$	
BUB	$A_{div} = 20 \cdot \lg(\overline{SR}) + 11$ $A_{atm} = \alpha_{atm} \cdot \frac{d}{1000}$	A_{div} Minderung durch geom. Divergenz $\overline{SR}$ Abstand Quelle zu Empfänger A_{atm} Minderung durch Luftabsorption α_{atm} Koeffizient der Luftdämpfung gemäß ISO 9613-1:1993-06

Die Teile der Berechnungsterme aus Tabelle 16, die von der Entfernung abhängig sind, stellen sich nach allen vier Vorschriften vergleichbar da. Die BUB berechnet die Luftabsorption frequenzabhängig. Ausgehend von 20° C Lufttemperatur und 70 % Luftfeuchtigkeit gilt bei 1.000 Hz für den Koeffizienten $\alpha_{atm} = 4,98$. Davon ausgehend, dass die anderen Vorschriften für eine Mittenfrequenz von 1.000 Hz die Luftabsorption ermitteln, ist die Vorgehensweise der BUB mit den übrigen Vorschriften vom Ergebnis her vergleichbar. Allerdings wird sie oktavweise auf Basis der ISO 9613-1:1993-06 bestimmt, was zu Abweichungen führt.

Während die RLS-90 und die VBUS 11,2 dB auf den Schallpegel addieren werden nach den RLS-19 immer $10 \cdot \lg[2\pi]$ (≈ 8 dB) und nach der BUB 11 dB subtrahiert. Die RLS-19 begründet die Verwendung von 8 dB mit einer Anmerkung: „Mit dem Summanden $10 \cdot \lg[2\pi]$ statt $10 \cdot \lg[4\pi]$ wird die Bodenreflexion berücksichtigt“ ($10 \cdot \lg[4\pi] \approx 11$ dB). Die Differenz von 3 dB der BUB gegenüber den RLS-19 ergibt sich durch die andere Berechnung des Bodens in der BUB und steckt dort in der Berechnung von A_{ground} (bei $G=0$ und homogener Ausbreitung ist $A_{ground} = -3$ dB).

Somit ergibt sich, zwischen den RLS-90 und der VBUS auf der einen und den RLS-19 und der BUB auf der anderen Seite, eine Differenz von $8 \text{ dB} + 11,2 \text{ dB} = 19,2 \text{ dB}$, was dem Unterschied zwischen Emissionspegel und Schallleistungspegel entspricht (► Kapitel 3.1.1).

2.4.3 Abschirmung

2.4.3.1 RLS-90

Die RLS-90 berechnen ein Abschirmmaß D_z , wenn die Sichtlinie zwischen Emissions- und Immissionsort die Beugungskante mindestens tangiert. In diesem Falle entfällt die Boden- und Meteorologiedämpfung. Das Abschirmmaß ist

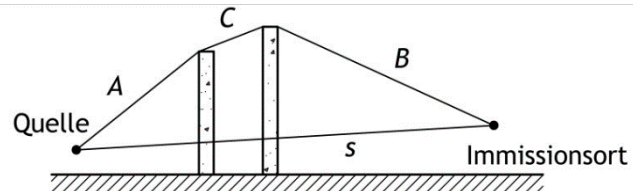
Formel 10: Abschirmung RLS-90

$$D_z = 10 \cdot \lg(3 + 80 \cdot z \cdot K_w)$$

$$z = A + B + C - s$$

$$K_w = e^{\left(-\frac{l}{2000} \sqrt{\frac{A \cdot B \cdot s}{2 \cdot z}}\right)}$$

Abbildung 3: Ausbreitungsweg nach RLS-90



Quelle: RLS-19

mit

z Schirmwert, Differenz zwischen der Länge des Ausbreitungswegs über das Hindernis und dem direkten Ausbreitungsweg (s)

s direkter Ausbreitungsweg zwischen Emissionsort und Immissionsort

A Abstand zwischen Emissionsort und erster Beugungskante

B Abstand zwischen letzter Beugungskante und Immissionsort

C Summe der Abstände zwischen den Beugungskanten

K_w Witterungskorrektur zur Berücksichtigung der Strahlenkrümmung durch positive Gradienten von Temperatur und/oder Witterung

Für die Berechnung der Witterungskorrektur K_w wird C zum größeren der Abstände A oder B addiert.

Innerhalb des Teilstückes darf sich die Höhe der Beugungskante über der die Achse des Fahrstreifens repräsentierenden Quelllinie um nicht mehr als 0,2 m und die senkrechte Entfernung der Beugungskante von der Fahrstreifenmitte um nicht mehr als 0,5 m ändern. Andernfalls ist das Teilstück weiter zu unterteilen.

2.4.3.2 RLS-19

Die RLS-19 berechnen ein Abschirmmaß D_z , wenn die Sichtlinie zwischen Emissions- und Immissionsort von der Beugungskante unterbrochen wird. Es wird entweder das Abschirmmaß (D_z) oder die Bodendämpfung (D_{gr}) vom Schallpegel subtrahiert, je nachdem, welcher Betrag größer ist.

Ansonsten erfolgt die Berechnung identisch zu den RLS-90.

2.4.3.3 VBUS

Die VBUS berechnet ein Abschirmmaß D_z , wenn die Sichtlinie zwischen Emissions- und Immissionsort von der Beugungskante mindestens tangiert wird. Der Effekt der Strahlenkrümmung wird durch eine Verlagerung der Beugungskante berücksichtigt. Dabei werden alle Hindernisse berücksichtigt, die von einem Gummiband berührt werden.

Formel 11: Abschirmung VBUS

$$D_z = \begin{cases} 10 \cdot \lg(3 + 60 \cdot z) & z > -\frac{1}{30} \\ 0 & \text{für } z \leq -\frac{1}{30} \end{cases}$$

$$z = \sum_i A_i + B - \left(\sum_i A'_i + B' \right)$$

$$h_{D,i} = h_{GE} + \frac{a_i}{s_0} (h_{SI} - h_{GE})$$

$$\Delta h_i = \frac{a_i \cdot b_i}{2 \cdot \gamma} \cdot \left(\frac{s}{s_0} \right)^2$$

$$\gamma = \begin{cases} 1000 & s \leq 125 \text{ m} \\ 8 \cdot s & \text{für } s > 125 \text{ m} \end{cases}$$

mit

i Index des Hindernisses $i = 1 \dots n$, beginnend an der Straße

a_i Entfernung Emissionsort zum Hindernis i

b_i Entfernung Hindernis i zum Immissionsort

A_i Für $i = 1$: Abstand des Emissionsortes von der Beugungskante des ersten Hindernisses
Für $i \neq 1$: Abstand der Beugungskante des $(i-1)$ -ten Hindernisses von der Beugungskante des i -ten Hindernisses

A'_i Für $i = 1$: Abstand des Emissionsortes von dem um Δh_1 erhöhten Durchstoßpunkt des ersten Hindernisses
Für $i \neq 1$: Abstand des um Δh_{i-1} erhöhten Durchstoßpunktes des $(i-1)$ -ten Hindernisses von dem um Δh_i erhöhten Durchstoßpunkt des i -ten Hindernisses

B Abstand der letzten (n -ten) Beugungskante vom Immissionsort

B' Abstand des Immissionsortes von dem um Δh_n erhöhten Durchstoßpunkt des letzten (n -ten) Hindernisses

Δh_i Änderung der Höhe der Abschirmeinrichtung i aufgrund der parabolischen Krümmung der Schallstrahlen

γ Parabolische Krümmung

h_i Höhe des Hindernisses, bezogen auf die Straßenoberfläche

$h_{D,i}$ Höhe des Durchstoßpunktes des Hindernisses, bezogen auf die Straßenoberfläche

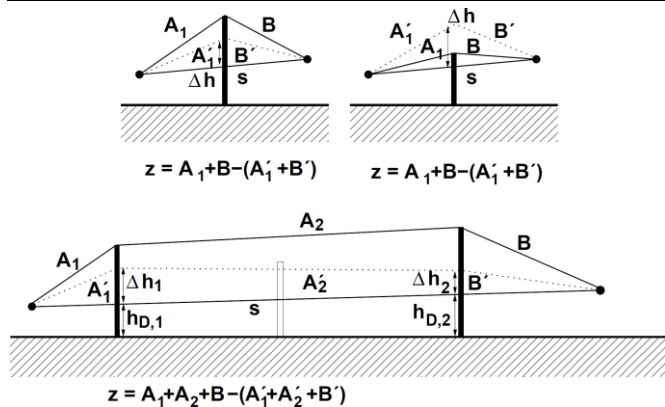
h_{SI} Höhe des Immissionsortes, bezogen auf die Straßenoberfläche

s Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort

s_0 Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort

z Schirmwert

Abbildung 4: Ausbreitungsweg nach VBUS



Quelle: VBUS

Innerhalb des Teilstückes darf sich die Höhe der Beugungskante über der Achse des Fahrstreifens um nicht mehr als 0,2 m und die senkrechte Entfernung der Beugungskante von der Fahrstreifenmitte um nicht mehr als 0,5 m ändern. Andernfalls ist das Teilstück weiter zu unterteilen.

2.4.3.4 BUB

Besteht eine freie Sichtverbindung zwischen Quelle und Immissionsort, so wird geprüft, ob ein Punkt des Hindernisprofils zwischen Quelle und Immissionsort in relevantem Maß Beugungsdämpfung (durch „negative Beugung“) erzeugt. Dafür wird für alle Punkte des Hindernisprofils zwischen Quelle und Immissionsort die (in diesem Fall negative) Weglängendifferenz berechnet und der Punkt mit der größten Weglängendifferenz ermittelt. Dieser Punkt zerteilt den Ausbreitungsweg in einen quellseitigen und einen immissionsortseitigen Teil. Für beide Teile wird eine eigene MGL berechnet. Die vom Punkt des Hindernisprofils erzeugte Beugung wird nur dann als relevant angesehen und daher berücksichtigt, wenn zwei vorgegebene Kriterien an die ermittelte Weglängendifferenz erfüllt sind (u.a. das „Rayleigh-Kriterium“).

Sind beide Kriterien erfüllt, wird die vom Punkt erzeugte Beugung berücksichtigt und die Bodenterme getrennt für den Quellbereich über der quellseitigen MGL und für den Bereich des Immissionsortes über der immissionsortseitigen MGL berechnet.

Ist mindestens eines dieser Kriterien nicht erfüllt, so wird keine Beugungsdämpfung (bei freier Sichtverbindung) im Ausbreitungsweg berücksichtigt und eine gemeinsame MGL für den gesamten Ausbreitungsweg berechnet.

Ist die Sichtverbindung zwischen Quelle und Immissionsort blockiert, fungieren ein oder mehrere Punkte des Hindernisprofils als Beugungspunkte. Der Schallstrahl besteht damit aus Abschnitten, die unter homogenen Ausbreitungsbedingungen Geradenabschnitte und unter günstigen Ausbreitungsbedingungen Kreissegmente gleichen Radius' sind.

Der zu betrachtende gebeugte Ausbreitungsweg ist definiert als die kürzeste konvexe über alle Hindernisse hinweg verlaufende Verbindung von Quelle und Immissionsort. Unter homogenen Ausbreitungsbedingungen kann der Ausbreitungsweg mittels eines Gummibands gefunden werden. Unter günstigen Ausbreitungsbedingungen ergeben sich die zu berücksichtigenden Beugungspunkte durch Konstruktion der kürzesten konvexen, aus Kreisabschnitten bestehenden Verbindung zwischen Quelle und Immissionsort.

Für den Quellbereich, zwischen Quelle und erstem Beugungspunkt, ist eine quellseitige MGL und für den Bereich des Immissionsortes zwischen letztem Beugungspunkt und Immissionsort eine immissionsortseitige MGL zu berechnen. Unter Verwendung der oben definierten Beugungspunkte werden die Weglängendifferenzen unter zusätzlicher Verwendung von Spiegelquellen ermittelt. Diese Spiegelquellen in der vertikalen Ausbreitungsebene bilden die Bodenreflexion ab. Zur Berechnung der Beugung werden die Bodenterme getrennt für den Quellbereich über der quellseitigen MGL und für den Bereich des Immissionsortes über der immissionsortseitigen MGL berechnet.

Der Einfluss der Ausbreitungsbedingungen auf die Beugungsdämpfung wird ausschließlich bei der Berechnung der Weglängendifferenzen berücksichtigt.

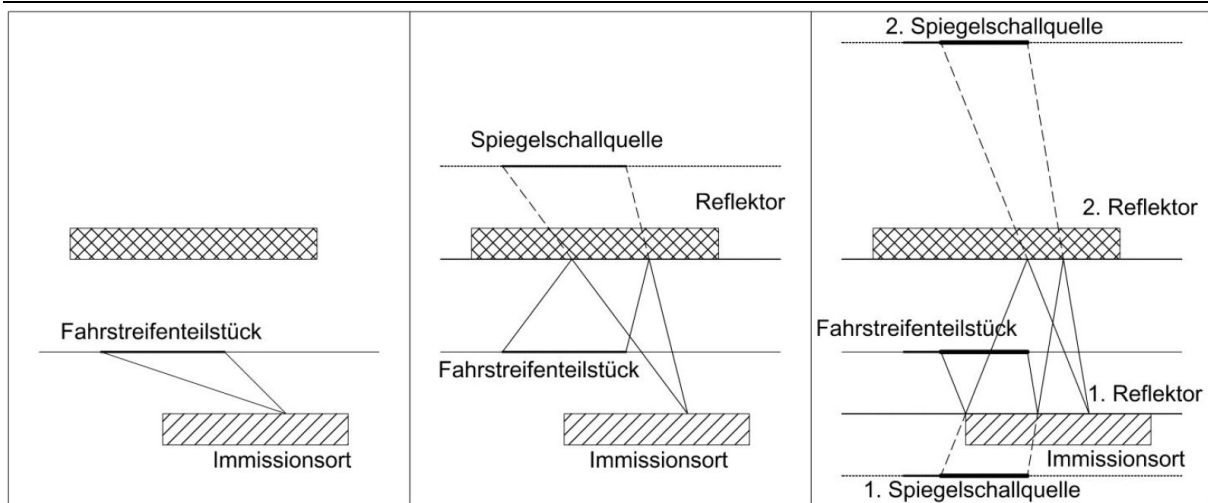
2.4.4 Reflexionen

Nach allen vier Vorschriften werden Reflexionen durch die Verwendung von Spiegelschallquellen berechnet. Nach den RLS-90 und der VBUS werden nach diesem Verfahren nur Reflexionen der ersten Ordnung ermittelt. Die RLS-19 berechnen unter Verwendung von Spiegelschallquellen Reflexionen bis zur zweiten Ordnung. Nach der BUB können auch mehr als zwei Reflexionen

gerechnet werden. Für die Lärmkartierung sind nach der BUB maximal die Reflexionen erster Ordnung zu berechnen. Darüber hinaus werden nach den RLS-90, der VBUS sowie den RLS-19 Zuschläge für Mehrfachreflexionen vergeben.

Zur Berücksichtigung der Reflexion wird die Straße an der reflektierenden Fläche gespiegelt, so dass hinter der reflektierenden Fläche eine zusätzliche Schallquelle (Spiegelschallquelle) zu sein scheint (Abbildung 5). Dabei ist nur das Teilstück der Spiegelschallquelle wirksam, von dem aus die „Schallstrahlen“ zum Immissionsort durch die reflektierende Fläche hindurch laufen. Mit der Spiegelschallquelle wird dann die Schallausbreitung berechnet, wobei das reflektierende Hindernis ignoriert wird. Dabei wird ein Reflexionsverlust abgezogen, der von den Eigenschaften des Reflektors abhängig ist.

Abbildung 5: Spiegelschallquellen



Quelle: RLS-19

Reflexionen zweiter 2. Ordnung (rechter Teil der Abbildung) werden nicht nach allen Vorschriften berechnet.

2.4.4.1 RLS-90

Die RLS-90 erfordern die Berücksichtigung von reflektierenden Flächen ab einer minimalen Höhe des Reflektors in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Schallquelle und Reflektor.

Formel 12: Reflexion RLS-90

$$h_R \geq 0,3 \cdot \sqrt{a_R}$$

mit

h_R Höhe der reflektierenden Fläche

a_R Abstand zwischen Quelle und Reflektor

Vorgesehen ist dies, um kleine Reflektoren (wie z.B. Beschilderungen) nicht zu erfassen. Die konsequente Anwendung führt jedoch dazu, dass in einer Entfernung von mehr als 100 m ein Hindernis von 3 m Höhe (wie z.B. ein Flachbau) den Schall vor dem Gebäude (z.B. auf eine Terrasse) nicht mehr reflektiert. Da für den Fall eines kleineren Reflektors kein Ausschluss definiert ist, kann auch die Reflexion von kleineren Flächen berechnet werden.

Der Reflexionsverlust von Spiegelschallquellen wird nach den RLS-90 in Abhängigkeit von den Absorptionseigenschaften der folgenden Reflexionsarten unterschieden:

Tabelle 17: Reflexionsverlust nach den RLS-90

Reflexionsart	Korrektur D_E
glatte Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände	-1 dB
gegliederte Hausfassaden (z.B. Fassaden mit Erkern, Balkonen etc.)	-2 dB
absorbierende Lärmschutzwände	-4 dB
hochabsorbierende Lärmschutzwände	-8 dB

2.4.4.2 RLS-19

Die RLS-19 erfordert die Berechnung der 2. Reflexionsordnung explizit per Spiegelquellenverfahren. Sie berücksichtigt dazu reflektierende Flächen ab einer minimalen Höhe des Reflektors und in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Schallquelle und Reflektor bzw. Reflektor und Immissionsort, je nach dem, was geringer ist. Darüber hinaus wird eine minimale Höhe von 1 m vorausgesetzt.

Formel 13: Reflexion RLS-19

$$h_R \geq 0,3 \cdot \sqrt{a_R} \quad \text{und} \quad h_R \geq 1$$

mit

h_R Höhe der reflektierenden Fläche

a_R Abstand zwischen Quelle und Reflektor oder Reflektor und Immissionsort, je nach dem, was geringer ist

Der Reflexionsverlust von Spiegelschallquellen wird nach den RLS-19 in Abhängigkeit von den Absorptionseigenschaften der folgenden Reflexionsarten unterschieden:

Tabelle 18: Reflexionsverlust nach den RLS-19

Art des Reflektors	Korrektur D_{RV1}/D_{RV2}
Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände	0,5 dB
reflexionsmindernde Lärmschutzwände	3,0 dB
stark reflexionsmindernde Lärmschutzwände	5,0 dB

2.4.4.3 VBUS

Nach der VBUS werden Reflexionen nach demselben Verfahren behandelt, wie es die RLS-90 anwenden.

2.4.4.4 BUB

Reflexionen werden nach der BUB mit Hilfe von Spiegelschallquellen abgebildet. Ein Hindernis wird nur dann als Reflektor berücksichtigt, wenn seine Neigung zur Vertikalen 15 Grad nicht überschreitet und es die Sichtverbindung zur Spiegelschallquelle blockiert. Als Reflexionspunkt wird der Punkt der reflektierenden Fläche definiert, an dem die – je nach Ausbreitungsbedingungen gerade oder kreisförmige – Sichtverbindung zur Spiegelschallquelle die als vertikal angenommene Ebene des Reflektors durchdringt. Das reflektierende Hindernis muss dabei aus der Richtung des einfallenden Strahls mindestens eine Höhe und projizierte Breite von jeweils 0,5 m haben, um berücksichtigt zu werden.

Beim Auftreffen auf einen Reflektor wird ein Teil der einfallenden Schallenergie vom Reflektor absorbiert. Der Absorptionskoeffizient der Oberfläche des Reflektors wird dabei gemäß der Defi-

nition in DIN EN 1793-1:2013-04 terzweise bestimmt. Zusammen mit der Dämpfung durch Retrobeugung (► Kapitel 2.4.4.6) führt dies dazu, dass der Schallleistungspegel der Spiegelschallquelle kleiner als der der Originalschallquelle ist.

Für die Lärmkartierung werden nur Reflexionen 1. Ordnung berechnet.

2.4.4.5 Mehrfachreflexion

In Straßenschluchten und zwischen anderen, reflektierenden Wänden werden Reflexionen höherer Ordnung durch einen Zuschlag (Mehrfachreflexion) abgeschätzt. Dies wird in Kapitel 2.3.3 erläutert.

2.4.4.6 Retrobeugung

Retrobeugung ist eine Besonderheit der BUB und wird nach den übrigen Vorschriften nicht berechnet.

Die Emission von Spiegelquellen ergibt sich nach der BUB aus der Schallleistung der Originalquelle abzüglich der Absorptionsverluste des Reflektors sowie, unter Berücksichtigung des Verlustes an akustischer Energie bei der Reflexion, durch die Nähe des Reflexionspunktes zur Oberkante des Reflektors. Dieser Verlust an Schallleistung, d.h. der Anteil der Schallleistung, der oberhalb des Reflexionspunktes über das Hindernis gebeugt und damit nicht reflektiert wird, wird als Dämpfung durch Retrobeugung bezeichnet.

3 Beispielhafte Szenarien

In diesem Arbeitspaket werden die Unterschiede zwischen den Berechnungsvorschriften verglichen und deren Auswirkungen auf die Emissions- und Immissionspegel analysiert.

3.1 Grundlegende Unterschiede

3.1.1 Emissionspegel vs. Schallleistungspegel

Der Emissionspegel $L_{m,E}$ nach den RLS-90 und der VBUS ist bezogen auf eine horizontale Entfernung von 25 m (an der Stelle mit dem kürzesten Abstand zwischen Straße und Immissionsort) und eine Höhe von 4 m über ebenem Gelände bei freier Schallausbreitung. Die RLS-19 und die BUB dagegen ermitteln einen längenbezogenen Schallleistungspegel L_w' . Um die Schallpegel an der Quelle zu vergleichen, ist dieser Unterschied auszugleichen. In der Literatur wird zumeist eine Umrechnung des Emissionspegels $L_{m,E}$ der RLS-90 in den längenbezogenen Schallleistungspegel L_w' der RLS-19 von $L_w' = L_{m,E} + 19,1$ dB angewendet /8/.

Da die BUB die Emission in Oktaven beschreibt, wird zunächst eine Emission für die folgenden Referenzbedingungen berechnet:

- 1 Fahrzeug Klasse 1 (Pkw) pro Stunde
- Geschwindigkeit 50 km/h
- nicht geriffelter Gussasphalt

Daraus ergeben sich die folgenden längenbezogenen Schallleistungspegel L_w' :

Tabelle 19: Längenbezogene Schallleistungspegel nach BUB, Klasse 1 (Pkw), 50 km/h, nicht geriffelter Gussasphalt

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Σ
L_w'	48,04 dB	42,18 dB	41,04 dB	45,34 dB	50,93 dB	47,23 dB	38,55 dB	29,78 dB	53,46 dB(A)

Ausgehend von diesem längenbezogenen Schallleistungspegel L_w' ergeben sich in der Nacht (d.h. mit $C_0 = 0$) in einer Entfernung von 25 m folgende Unterschiede gegenüber dem Emissionspegel $L_{m,E}$ der RLS-90:

Tabelle 20: Differenz des quellenbeschreibenden Schallpegels gegenüber dem Immissionspegel in 25 m Entfernung und 4 m Höhe (Pkw, 50 km/h, GA)

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Differenz zwischen Immissionspegels und dem die Schallquelle beschreibenden Emissionspegel bzw. längenbezogenen Schallleistungspegel	+0,24 dB*	-18,94 dB	+0,24 dB	Klasse 1: -17,96 dB Klasse 2: -17,87 dB Klasse 3: -17,85 dB
Differenz gegenüber dem Emissionspegel der RLS-90 (Korrekturwert zum Vergleich der Pegel)	0 dB	-19,18 dB	0 dB	-18,20 dB

* Nach dem Teilstückverfahren der RLS-90 ergibt sich gegenüber dem Emissionspegel $L_{m,E}$ in 25 m Entfernung und 4 m Höhe zur Schallquelle für eine lange gerade Strecke eine Differenz.

Für die weiteren Vergleiche der Schallemission werden daher bei Vergleichen von Emissionspegeln die längenbezogenen Schalleleistungspegel der RLS-19 um 19,18 dB und die der BUB um 18,20 dB verringert, so dass am Referenzpunkt für einen Pkw derselbe Immissionspegel auftritt. Die für Lkw nach BUB um 0,1 dB abweichende Korrektur wird im Weiteren vernachlässigt.

3.1.2 Rundung

Die Rundung der Zwischenergebnisse nach RLS-90 erfolgt in der Praxis bei Berechnungen mit spezialisierter Berechnungssoftware nicht, so dass dies keinen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse hat. Die RLS-90 und die RLS-19 runden die Endergebnisse beide auf ganze dB auf. Daraus ergeben sich im Mittel um 0,5 dB höhere Schallpegel (0 bis 1 dB) gegenüber der VBUS und der BUB. In dieser Untersuchung werden ausschließlich ungerundete Werte verglichen.

Tabelle 21: Auswirkung der Aufrundung von Endergebnissen

RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
+ 0,5 dB (≥ 0 bis < 1 dB)	+ 0,5 dB (≥ 0 bis < 1 dB)	-	-

3.2 Nichtgeometrische Emissionsparameter

3.2.1 Stündliche Verkehrsstärken – Standardwerte

Die Standardwerte für die Verteilung der Verkehrsstärken, auf Basis der üblicherweise vorliegenden durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV), ist nach den einzelnen Vorschriften unterschiedlich (Kapitel 2.2.2). Die BUB enthält keine entsprechenden Regelungen, so dass für die Berechnung immer stündliche Verkehrsstärken als Eingangsdaten benötigt werden. Da die BUB keine Standardwerte definieren, werden sie in diesem Kapitel nicht betrachtet.

Tabelle 22: Auswirkung der Standardwerte der stündlichen Verkehrsstärke auf die Emission

In der Tabelle sind die Unterschiede in dB getrennt für Tag und Nacht dargestellt. Dabei ist die Änderung der links angegebenen Vorschrift gegenüber der oben angegebenen Vorschrift dargestellt. Der Abend wird nur nach VBUS berechnet und daher nicht zum Vergleich herangezogen.

		RLS-90 Tag ¹ / Nacht	RLS-19 Tag ¹ / Nacht	VBUS Tag ¹ / Nacht
RLS-90	Bundesautobahn	-	+0,34 dB / +0,00 dB	-0,14 dB / +0,00 dB
	Bundesstraße	-	+0,18 dB / +0,41 dB	-0,14 dB / +0,00 dB
	L, K oder GV	-	+0,18 dB / -0,97 dB	-0,14 dB / +0,00 dB
	Gemeindestraße	-	+0,18 dB / +0,41 dB	-0,14 dB / +0,00 dB
RLS-19	Bundesautobahn	-0,34 dB / +0,00 dB	-	-0,48 dB / +0,00 dB
	Bundesstraße	-0,18 dB / -0,41 dB	-	-0,33 dB / -0,41 dB
	L, K oder GV	-0,18 dB / +0,97 dB	-	-0,33 dB / +0,97 dB
	Gemeindestraße	-0,18 dB / -0,41 dB	-	-0,33 dB / -0,41 dB
VBUS	Bundesautobahn	+0,14 dB / +0,00 dB	+0,48 dB / +0,00 dB	-
	Bundesstraße	+0,14 dB / +0,00 dB	+0,33 dB / +0,41 dB	-
	L, K oder GV	+0,14 dB / +0,00 dB	+0,33 dB / -0,97 dB	-
	Gemeindestraße	+0,14 dB / +0,00 dB	+0,33 dB / +0,41 dB	-

L, K oder GV Landes-, Kreis-, oder Gemeindeverbindungsstraße

¹ Tag nach den RLS-90/RLS-19: 6⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr; Tag nach der VBUS: 6⁰⁰ bis 18⁰⁰ Uhr

Aus den Standardparametern zur Ermittlung der stündlichen Verkehrsstärke (M) aus der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) ergeben sich somit, unabhängig von anderen Parametern, Unterschiede von bis zu 0,48 dB am Tag und 0,97 dB in der Nacht (jeweils zwischen VBUS und RLS-19).

3.2.2 Lkw-Anteile – Standardwerte

Die Standardwerte für die Lkw-Anteile sind nach den einzelnen Vorschriften unterschiedlich (Tabelle 23). Die BUB enthält keine Standardwerte für Lkw-Anteile, so dass die BUB in diesem Kapitel nicht mit betrachtet wird. Die VBUS berechnet gegenüber den RLS-90 zusätzlich den Abendzeitraum. Die Standardparameter für die Lkw-Anteile am Tag und in der Nacht entsprechen denen der RLS-90, so dass die VBUS in diesem Kapitel nicht getrennt untersucht wird. Die Aussagen zur RLS-90 gegenüber der RLS-19 gelten ebenfalls für die VBUS.

Tabelle 23: Standardwerte Lkw-Anteile p (in %)

Vorschrift / Zeitraum	Bundesautobahnen				Bundesstraßen				Landes-, Kreis-, und Gemeindeverbindungsstraßen				Gemeindestraßen			
	p_t		p_n		p_t		p_n		p_t		p_n		p_t		p_n	
	$p_{1,t}$	$p_{2,t}$	$p_{1,n}$	$p_{2,n}$	$p_{1,t}$	$p_{2,t}$	$p_{1,n}$	$p_{2,n}$	$p_{1,t}$	$p_{2,t}$	$p_{1,n}$	$p_{2,n}$	$p_{1,t}$	$p_{2,t}$	$p_{1,n}$	$p_{2,n}$
RLS-90	25		45		20		20		20		10		10		3	
VBUS	25		45		20		20		20		10		10		3	
RLS-19	3	11	10	25	3	7	7	13	3	5	5	6	3	4	3	4
BUB	keine Angaben															

p_t/p_n Lkw-Anteile p in Prozent der maßgeblichen (stündl.) Verkehrsstärke M , für RLS-19 getrennt nach p_1/p_2 (Lkw1/Lkw2). Der Zeitraum Tag nach RLS-90 und RLS-19 hat 16 Stunden (6⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr) und nach VBUS 12 Stunden (6⁰⁰ bis 18⁰⁰ Uhr), der Abend (4h) geht nach VBUS von 18⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr und die Nacht hat für alle Vorschriften 8 Stunden (22⁰⁰ bis 6⁰⁰ Uhr). Für die VBUS wird der 12-Studentag mit dem 16-Studentag der RLS-90/RLS-19 verglichen. Der Abend wird nicht getrennt verglichen, da er nach den RLS-90 und den RLS-19 nicht vorkommt und nach der BUB keine Angaben zu Standardwerten vorliegen. Eine Umrechnung von Abend und 12-Studentag auf den 16-Studentag hätte geringe Auswirkungen ($\leq 0,4$ dB).

Die RLS-90 berechnen die Lkw in Zusammenhang mit der Geschwindigkeitskorrektur anders, als dies bei den Pkw der Fall ist. Weitere Unterschiede in der Berechnung gibt es zwischen Pkw und Lkw nicht.

Die RLS-19 berechnen die Lkw in zwei Klassen (und Motorräder als zusätzliche Klasse) abhängig von:

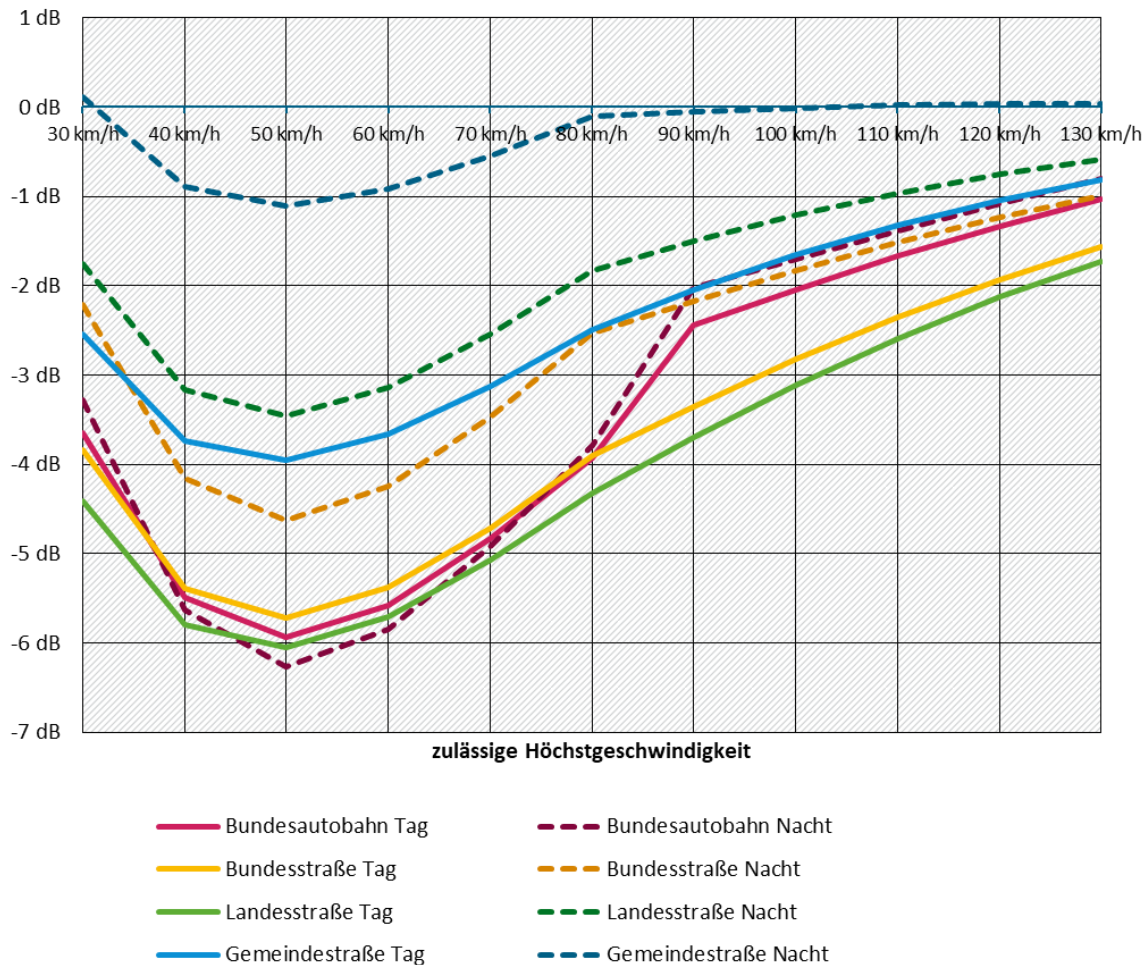
- zulässiger Höchstgeschwindigkeit
- Straßenoberfläche/Deckschicht
- Längsneigung

Um die Auswirkungen der Standardwerte für Lkw zu bewerten, wird daher bei ebenem Gelände die Änderung des Emissionspegels/Schallleistungspegels gegenüber einem Verkehr mit ausschließlich Pkw untersucht. Dabei wird die Betrachtung für den Referenzbelag (nicht geriffelter Gussasphalt) und den Splittmastixasphalt SMA 08 durchgeführt.

Da Lkw lauter sind als Pkw, steigt der Emissionspegel/Schallleistungspegel der Straßen in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil (und der Geschwindigkeit) an. In den folgenden Abbildungen ist dargestellt, wie sich dieser Pegelanstieg durch die RLS-19 gegenüber den RLS-90 bei der Verwendung von Default-Lkw-Anteilen ändert.

Abbildung 6: Auswirkung der Änderung der Lkw-Anteile (GA)

Vergleich der Anstiege der Summenpegel mit Standard-Lkw-Anteilen gegenüber reinem Pkw-Verkehr; Abweichung der RLS-19 gegenüber den RLS-90 mit dem Referenzbelag: nicht geriffelter Gussasphalt [(Schallleistungspegel mit Lkw-Anteilen gemäß Tabelle 2 der RLS-19) minus (Schallleistungspegel nur Pkw)] minus [(Emissionspegel mit Lkw-Anteilen gemäß Tabelle 3 der RLS-90) minus (Emissionspegel nur Pkw)]



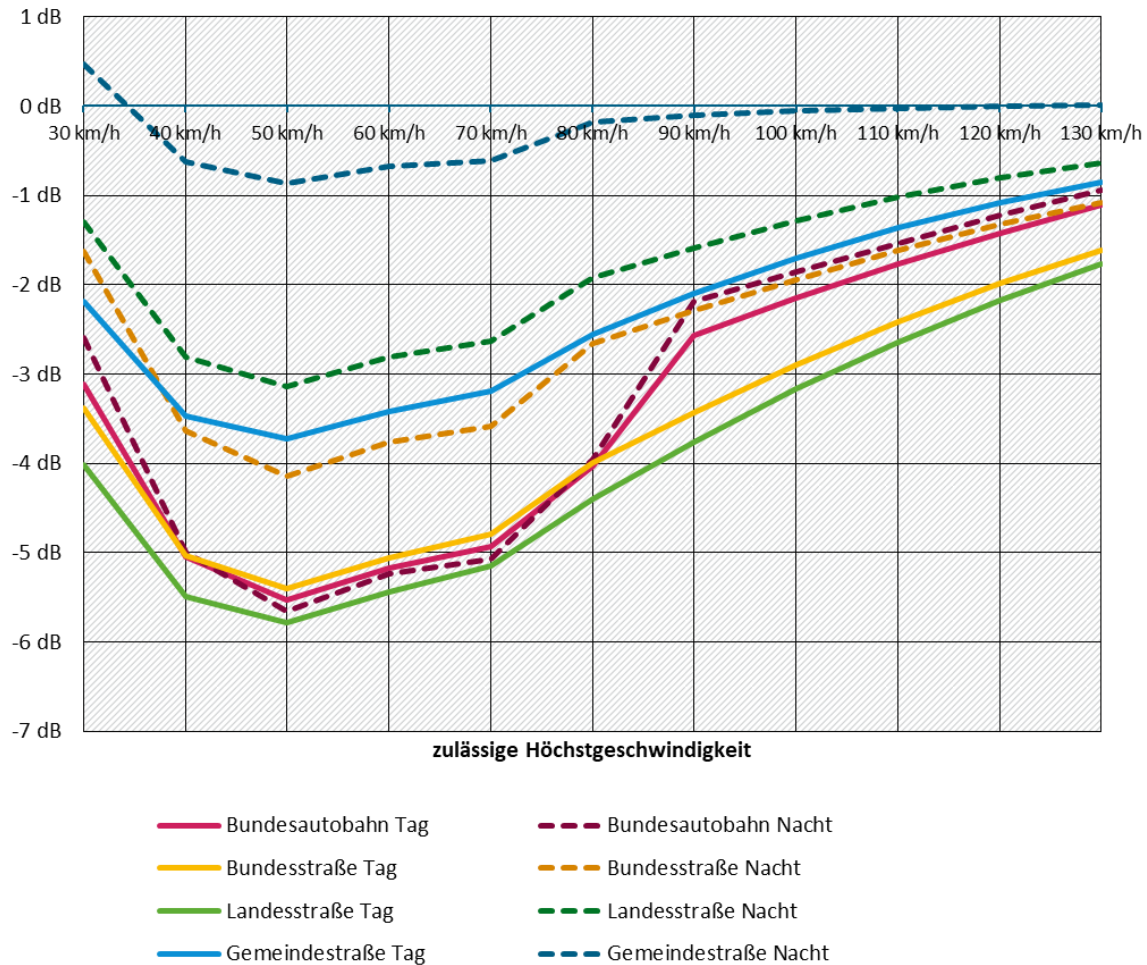
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 6 ist zu entnehmen, dass die Pegelsteigerungen durch die Lkw-Anteile gegenüber reinem Pkw-Verkehr nach RLS-19 deutlich geringer ausfallen als nach RLS-90/VBUS. Lediglich bei den in etwa vergleichbaren Lkw-Anteilen nachts auf Gemeindestraßen fallen die Unterschiede gering aus. Dennoch sind auch hier um etwa 1 dB geringere Emissionspegel bei 50 km/h festzustellen. Deutlich wird auch, dass die Differenzen bei Geschwindigkeiten von 50 km/h am größten sind, während bei hohen Geschwindigkeiten verhältnismäßig geringe Unterschiede auftreten. Dies liegt unter anderem daran, dass Lkw mit maximal 80 km/h bzw. 90 km/h in die Berechnung eingehen und damit der Anteil der Pkw am Summenpegel bei hohen Geschwindigkeiten zunimmt.

Aus Abbildung 7 wird ersichtlich, dass auf Splittmastixasphalt 0/8 etwas geringere Differenzen auftreten.

Abbildung 7: Auswirkung der Änderung der Standardwerte für Lkw-Anteile (SMA 08)

Vergleich der Anstiege der Summenpegel mit Standard-Lkw-Anteilen gegenüber reinem Pkw-Verkehr;
Abweichung der RLS-19 gegenüber den RLS-90 mit Splittmastixasphalt 0/8



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.2.3 Geschwindigkeiten

Die RLS-90 sowie die VBUS berücksichtigen die Geschwindigkeitsabhängigkeit ausschließlich mit der Geschwindigkeitskorrektur D_v . Sie werden daher in diesem Kontext nicht weiter unterschieden. Nach den RLS-19 ist darüber hinaus auch der Steigungszuschlag geschwindigkeitsabhängig. Zudem ändert sich der Korrekturwert für die Straßenoberfläche ebenfalls geschwindigkeitsabhängig. Nach der BUB wird die Ermittlung der Schallpegel getrennt für Antriebs- und Rollgeräusch jeweils in Abhängigkeit verschiedener Faktoren spektral durchgeführt.

Um die Vergleichbarkeit der Schallpegel zu gewährleisten, wird für ein ebenes Gelände in einer Entfernung von 25 m und in einer Höhe von 4 m ein Immissionspegel berechnet. Für die sich an diesem Immissionsort ergebenden Schallpegel werden Pegelerhöhungen gegenüber dem Schallpegel bei 30 km/h angegeben, d.h. gegenüber der Mindestgeschwindigkeit aller vier Rechenverfahren.

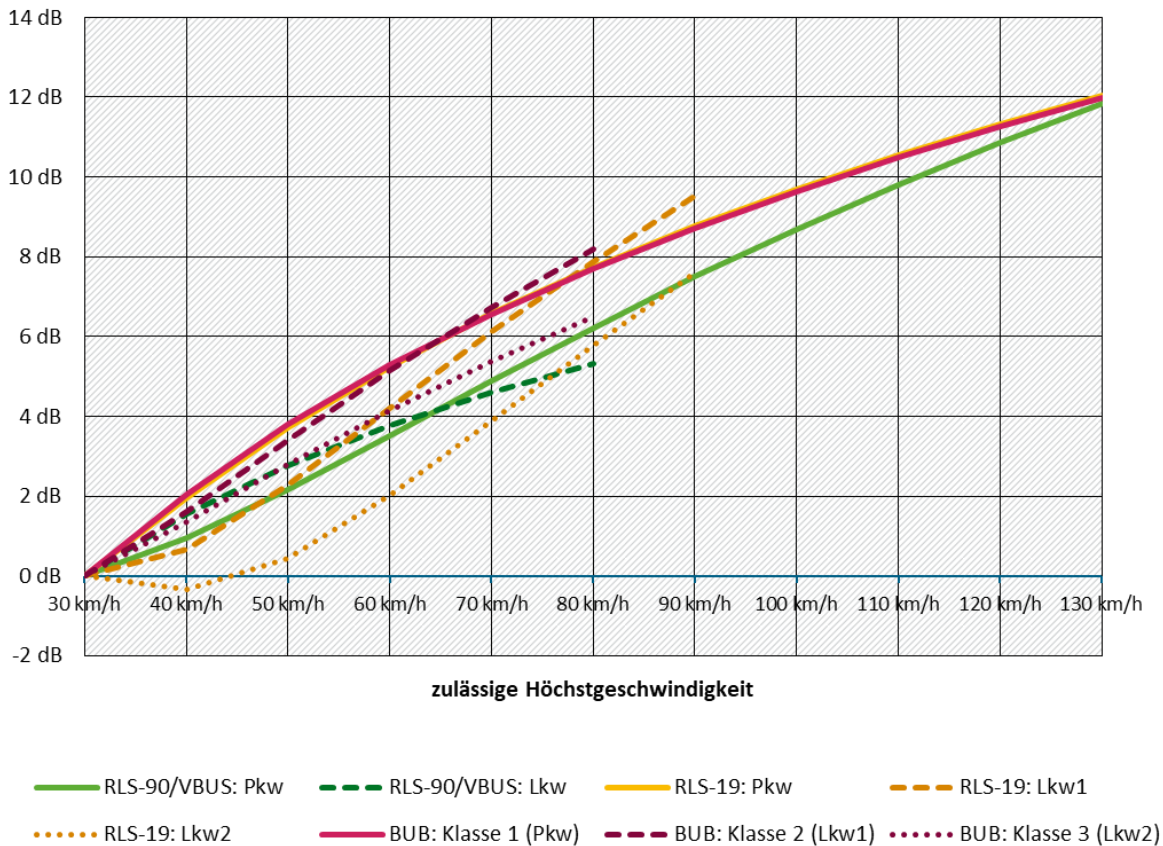
Abbildung 8 ist zu entnehmen, wie die Schallpegel mit Zunahme der Geschwindigkeit ansteigen. Dabei gehen die RLS-90/VBUS bei Pkw von einem geringeren Pegelanstieg im mittleren Geschwindigkeitsbereich aus. Bei Geschwindigkeiten über 100 km/h gleicht sich dies jedoch aus.

Nach den RLS-19 und der BUB ergeben sich für Pkw nahezu identische Geschwindigkeitsabhängigkeiten.

Bei den Lkw sind nach den RLS-90/VBUS und der BUB nur verhältnismäßig geringe Abweichungen zwischen Pkw und Lkw in der geschwindigkeitsabhängigen Korrektur zu erkennen. Die RLS-19 dagegen berechnen im unteren Geschwindigkeitsbereich (innerorts) für Lkw sehr viel geringere Geschwindigkeitsabhängigkeiten als die anderen Vorschriften. Bei höheren Geschwindigkeiten (außerorts) nähern sich die Korrekturen für Lkw an die der Pkw an. Für die sLkw jedoch bleibt die Geschwindigkeitsabhängigkeit auch bei hohen Geschwindigkeiten geringer als bei den Pkw.

Abbildung 8: Geschwindigkeitsabhängige Pegelkorrektur (nicht geriffelter Gussasphalt)

Pegelanstieg einzelner Fahrzeuge gegenüber 30 km/h auf nicht geriffeltem Gussasphalt
(25 m Entfernung, 4 m Höhe)

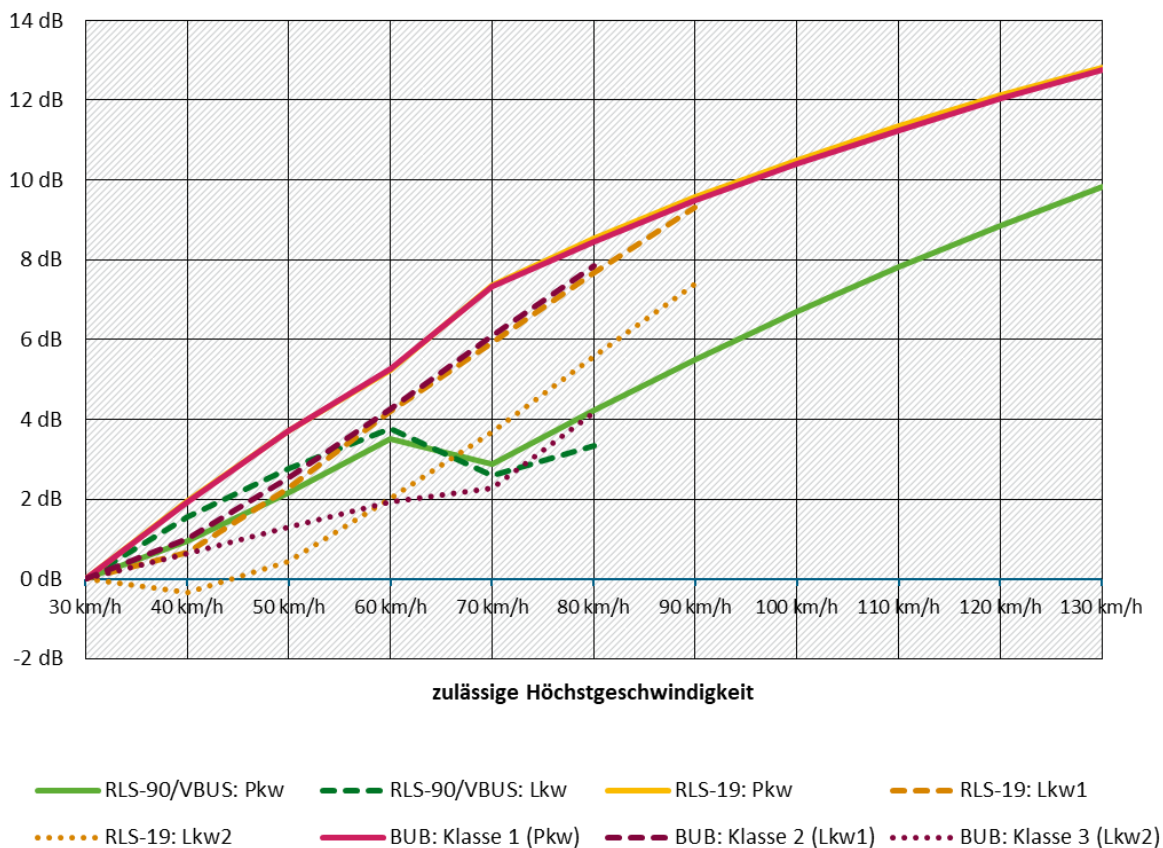


Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 9 zeigt vergleichbare Geschwindigkeitsabhängigkeiten auf Splittmastixasphalt 0/8. Erkennbar ist hier ein Sprung zwischen 60 km/h und 70 km/h. Dieser ergibt sich aus der anderen Behandlung der Straßenoberfläche unterhalb und oberhalb dieser Geschwindigkeit. Nach den RLS-90/VBUS ergibt sich bei mehr als 60 km/h ein Abzug, der darunter nicht anzusetzen ist. Auch bei den RLS-19 und der BUB ist der Übergang zu erkennen, da hier andere Zuschläge, bzw. andere Faktoren herangezogen werden.

Abbildung 9: Geschwindigkeitsabhängige Pegelkorrektur (Splittmastixasphalt 0/8)

Pegelanstieg einzelner Fahrzeuge gegenüber 30 km/h auf Splittmastixasphalt 0/8 (25 m Entfernung, 4 m Höhe)



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.2.4 Geschwindigkeiten – Lkw auf Bundesautobahnen

Nach den RLS-19 werden Lkw auf Bundesautobahnen und vergleichbaren Straßen mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h gerechnet, wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht geringer ist. Da die BUB für die Lärmkartierung im Allgemeinen die Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeugklasse ansetzt, ist hier für Lkw wie bei den RLS-90 und der VBUS von 80 km/h auszugehen.

Tabelle 24: Auswirkung der Geschwindigkeit von 90 km/h für Lkw auf Autobahnen nach RLS-19

Dargestellt ist die Pegelerhöhung durch eine Geschwindigkeit von 90 km/h gegenüber 80 km/h für Lkw. Gemäß Tabelle 2 der RLS-19 sind am Tag 3 % Lkw1 und 11 % Lkw2, in der Nacht 10 % Lkw1 und 25 % Lkw2 angesetzt.

Deckschicht	Lkw1 (ILkw) je Fahrzeug	Lkw2 (sLkw) je Fahrzeug	Lkw-Anteile gemäß Tab.2 der RLS-19, Pkw mit 130 km/h	
			Tag	Nacht
Nicht geriffelter Gussasphalt	1,62 dB	1,81 dB	0,65 dB	1,15 dB
Splittmastixasphalt 0/8			0,63 dB	1,13 dB

3.2.5 Straßenoberflächen

Auch wenn für die RLS-90 nachträglich Korrektursummanden für einzelne Straßenoberflächen eingeführt wurden, sind die nach den RLS-90 und der VBUS mit Korrekturen versehenen Straßenoberflächen teilweise älter als die nach den RLS-19 und der BUB beschriebenen. Direkt verglichen werden die in der Tabelle 25 aufgeführten Straßenoberflächen, auch wenn die Bauweisen nicht immer vollständig identisch sind.

Tabelle 25: Straßenoberflächen im Vergleich

Kurzbezeichnung	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
GA (Referenz)	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	nicht geriffelter Gussasphalt	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	Nicht geriffelter Gussasphalt (nationale Referenz)
SMA8 bis 60 km/h	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	Splittmastixasphalte SMA 5/8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 /22/ und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	Splittmastixasphalte SMA 5/8 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3
ab 70 km/h	Asphaltbetone $\leq$ 0/11 und Splittmastixasphalte 0/8 und 0/11 ohne Absplittung (ARS Nr. 14/1991 /12/)	Splittmastixasphalte SMA 8/11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	Asphaltbetone $\leq$ 0/11 und Splittmastixasphalte 0/8 und 0/11 ohne Absplittung	Splittmastixasphalte SMA 8/11 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3
OPA 11	offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt $\geq$ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/11 (ARS Nr. 14/1991 /12/)	Offenporiger Asphalt aus PA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt $\geq$ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/11	Offenporiger Asphalt aus PA 11
OPA 8	offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt $\geq$ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/8 (ARS Nr. 14/1991 /12/)	Offenporiger Asphalt aus PA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neuzustand einen Hohlraumgehalt $\geq$ 15% aufweisen mit Kornaufbau 0/8	Offenporiger Asphalt aus PA 8
WB	Waschbeton nach ZTV Beton-StB 01 /19/ (ARS Nr. 5/2006 /13/)	Betone nach ZTV Beton-StB 07 /20/ mit Waschbetonoberfläche	Betone nach ZTV Beton-StB 01 mit Waschbetonoberfläche sowie mit Jutetuch-Längsglätter	Betone mit Waschbetonoberfläche
eP	Pflaster mit ebener Oberfläche	Pflaster mit ebener Oberfläche	Pflaster mit ebener Oberfläche	Pflaster mit ebener Oberfläche mit Fugenbreite $\leq$ 5,0 mm und Fase $\leq$ 2,0 mm
sP	sonstige Pflaster	sonstige Pflaster oder Kopfsteinpflaster	sonstige Pflaster	sonstiges Pflaster mit Fugenbreite $>$ 5,0 mm oder Fase $>$ 2,0 mm oder Kopfsteinpflaster

Für die untersuchten Straßenoberflächen sind nicht in allen Vorschriften für alle Geschwindigkeitsbereiche Korrekturen hinterlegt. Verglichen werden daher jeweils nur die Geschwindigkeitsbereiche, für die in allen Vorschriften eine Korrektur berechnet werden kann. Daraus ergibt sich, dass nur für SMA8 Unterschiede über den Geschwindigkeitsbereich von 30 km/h bis

140 km/h ermittelt werden können. Für Pflaster liegen nach der BUB keine Korrekturwerte für Geschwindigkeiten über 60 km/h vor. Für die übrigen Straßenoberflächen liegen keine Korrekturwerte für Geschwindigkeiten unter 70 km/h vor.

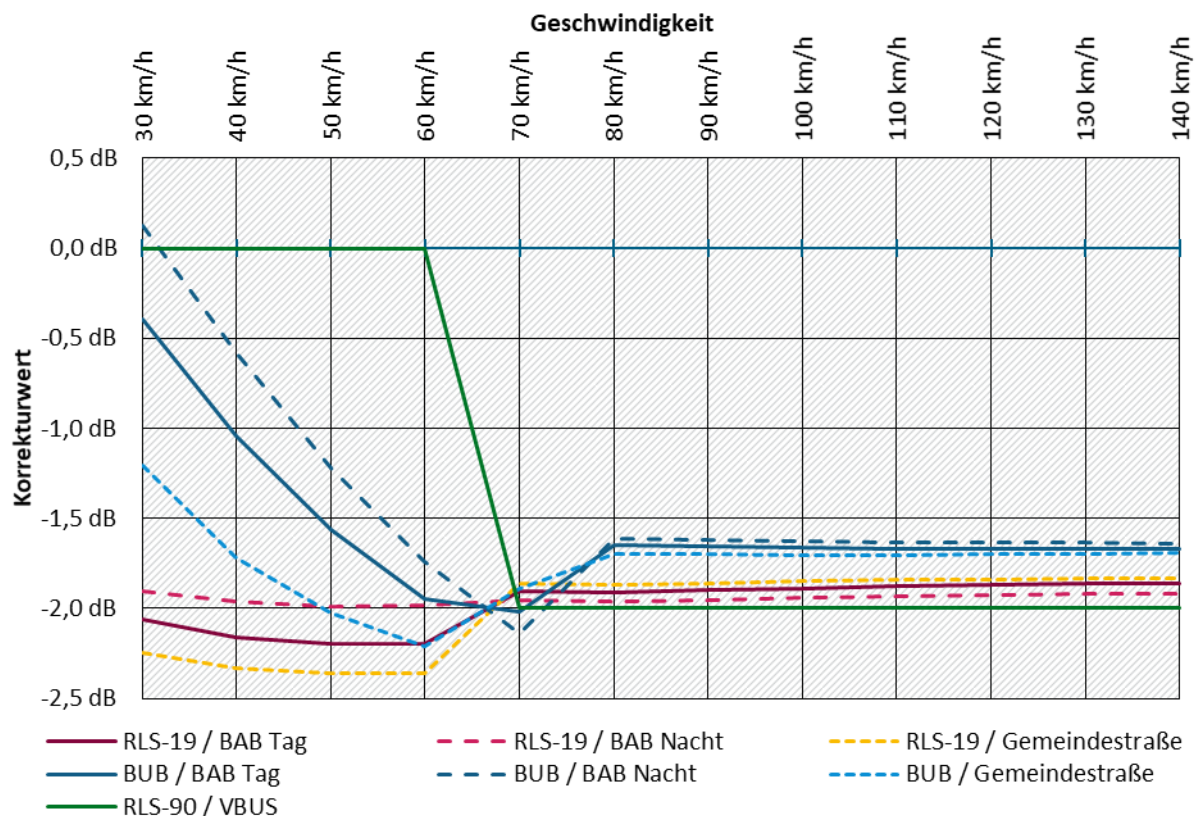
3.2.5.1 Straßenoberflächen im Vergleich zu Gussasphalt

Der nicht geriffelte Gussasphalt (GA) wird in den RLS-90, den RLS-19 und der VBUS mit dem Korrekturwert „0 dB“ belegt und von der BUB als nationale Referenz bezeichnet. Daher wird der GA hier als Referenz herangezogen und die Unterschiede ausgewertet, die sich nach der jeweiligen Vorschrift durch andere Straßenoberflächen gegenüber dem GA ergeben.

Da die RLS-90 und die VBUS sich in diesem Kontext nicht relevant unterscheiden, werden sie im Folgenden zusammengefasst. Die Korrekturen nach den RLS-19 und BUB sind für Pkw und Lkw unterschiedlich. Daher werden die Unterschiede für Bundesautobahnen und Gemeindestraßen mit den Lkw-Anteilen gemäß den RLS-19, Tabelle 2 ermittelt. Für die RLS-90 und die VBUS werden dabei Lkw1 und Lkw2 addiert. Nach den BUB wird Klasse 2 = Lkw1 und Klasse 3 = Lkw2 angenommen. Die sich hieraus ergebenden Korrekturwerte liegen für die allermeisten real vorkommenden Straßen zwischen diesen Lkw-Anteilen und damit auch zwischen den für Bundesautobahnen und Gemeindestraßen ermittelten Korrekturen.

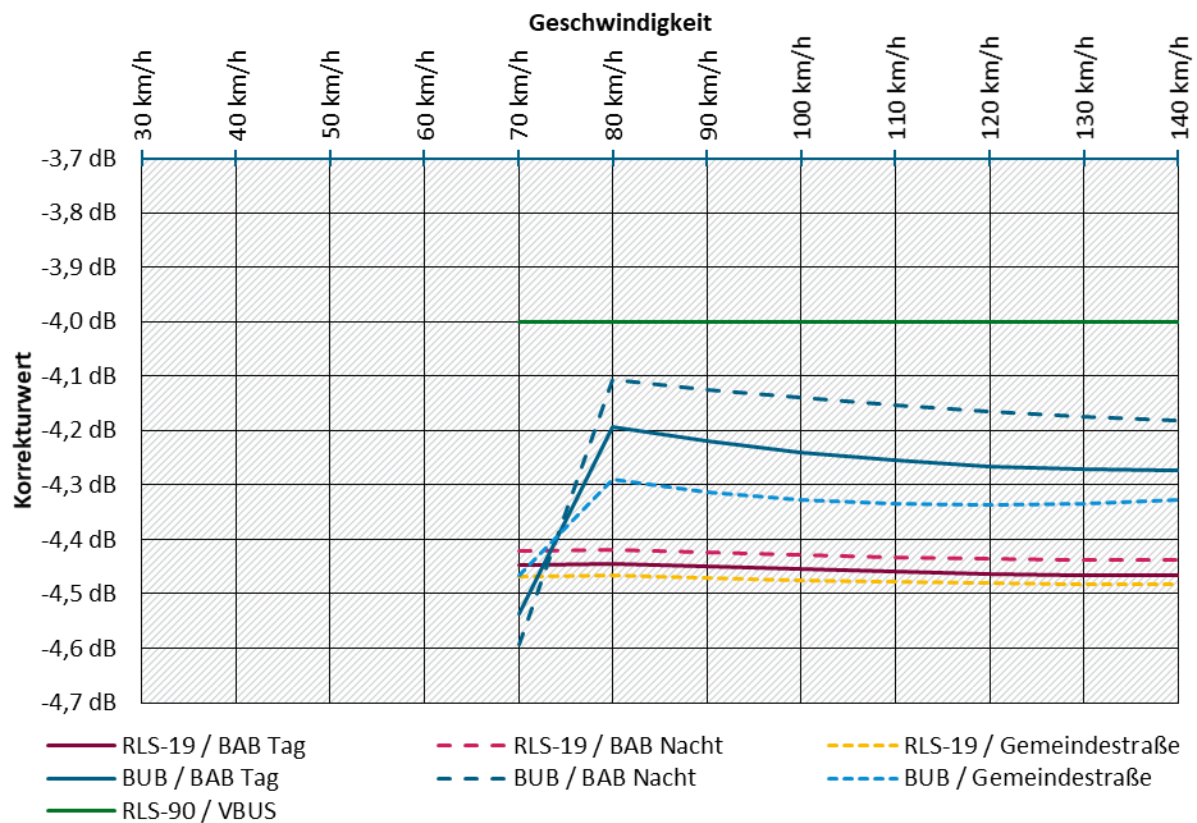
In Abbildung 10 bis Abbildung 15 werden die Korrekturen (gegenüber Gussasphalt) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für die einzelnen Straßenoberflächen gemäß Tabelle 2 dargestellt.

Abbildung 10: Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – Splittmastixasphalte 0/8



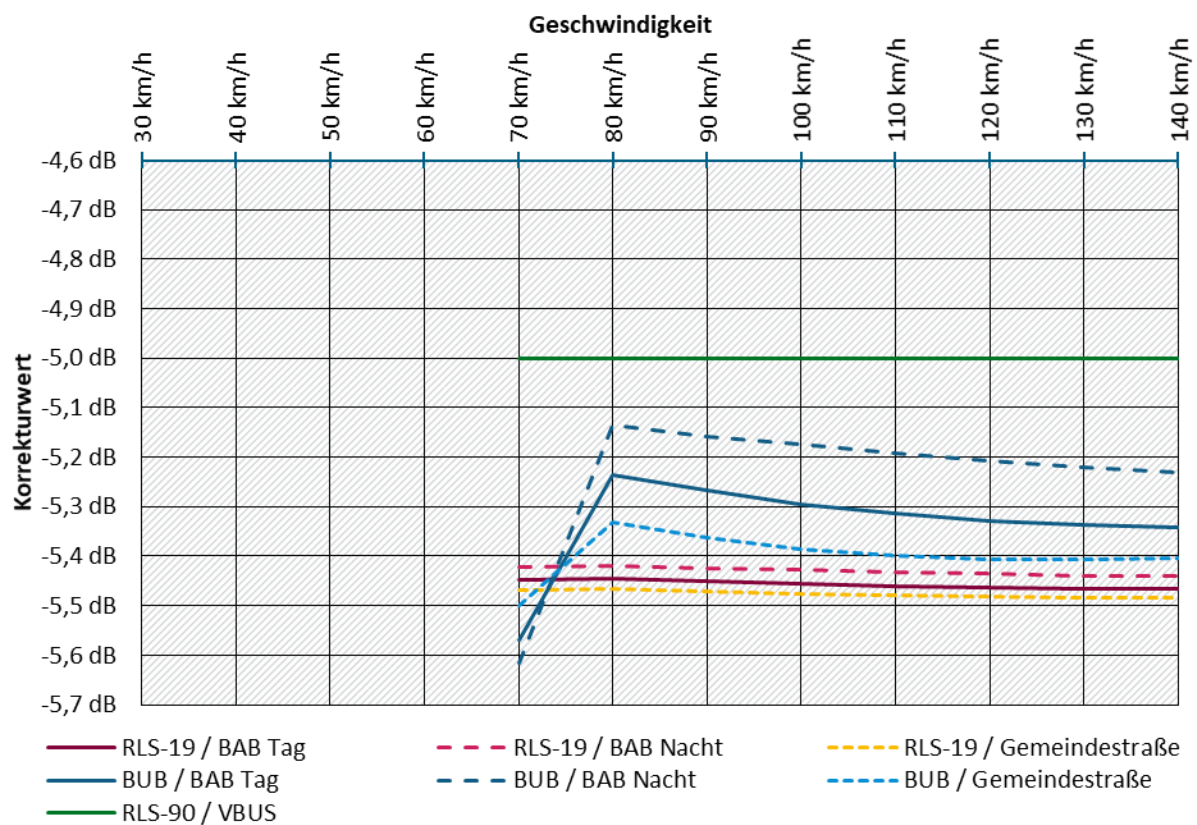
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 11: Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – OPA 11



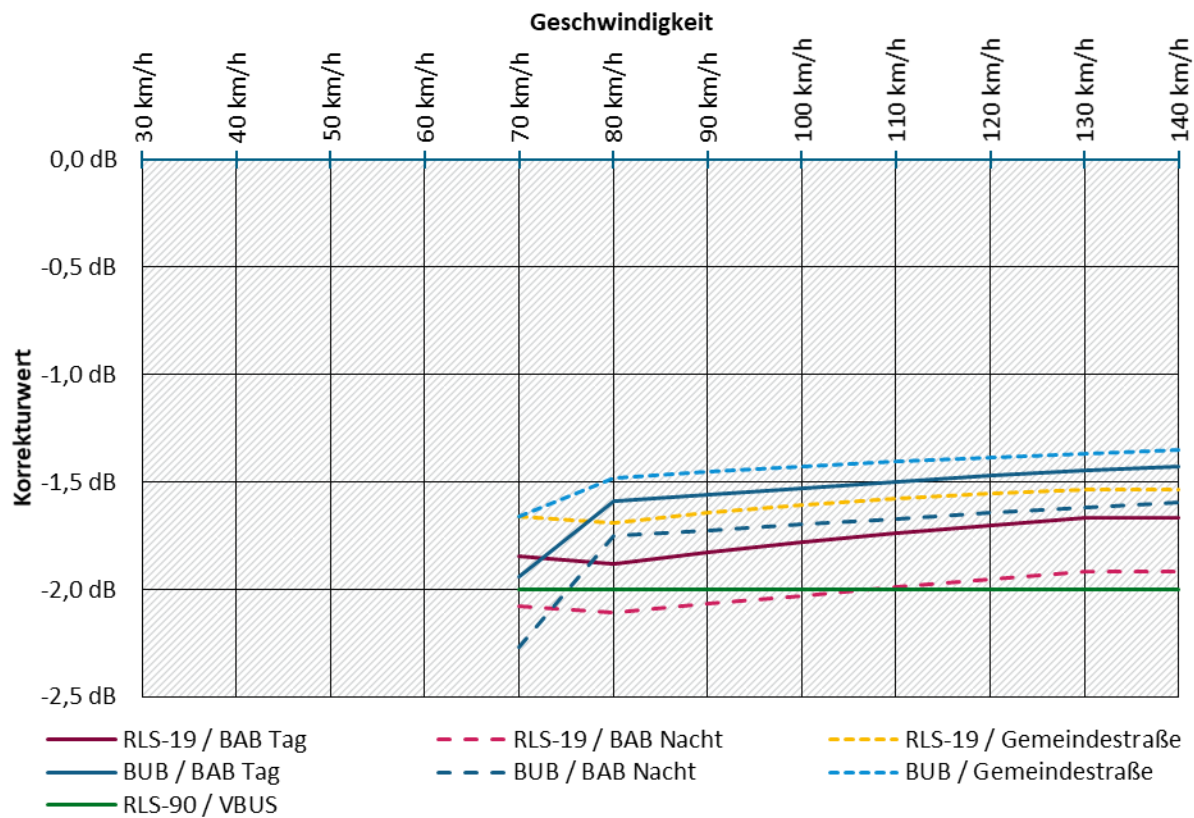
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 12: Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – OPA 8



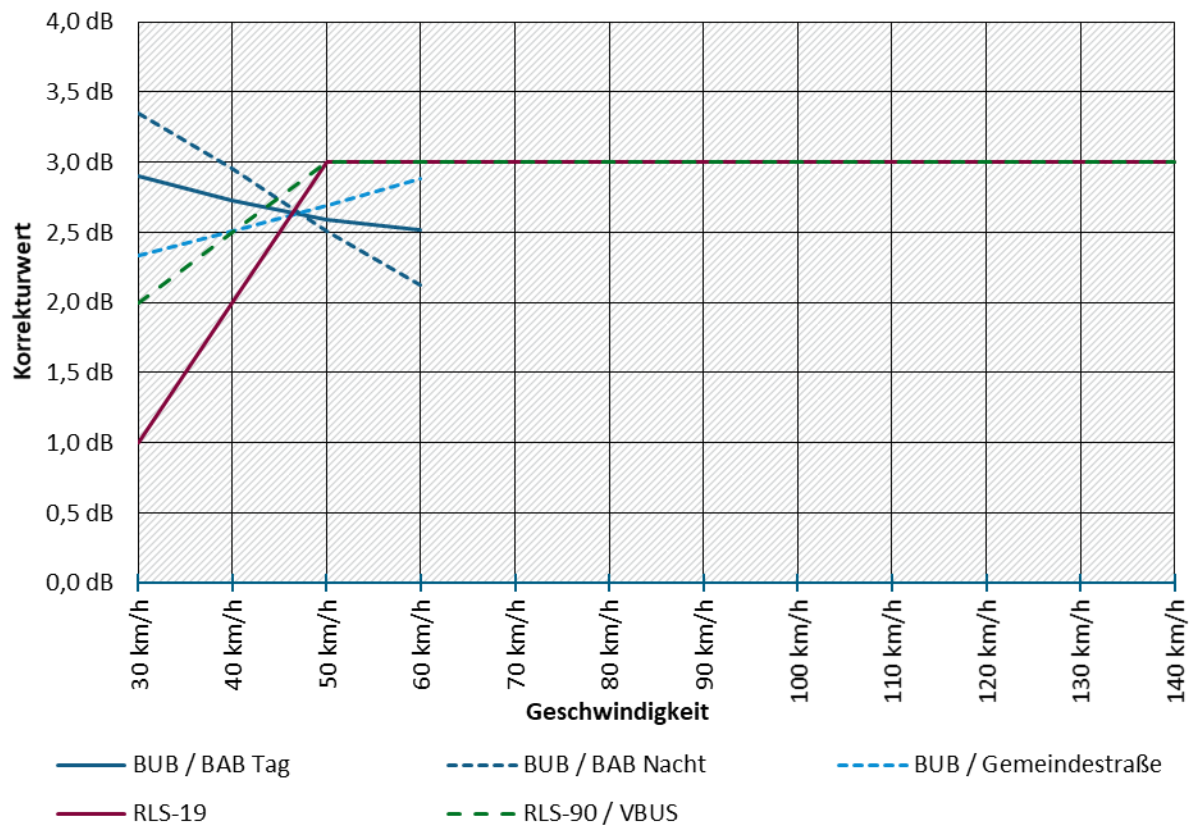
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 13: Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – Waschbeton



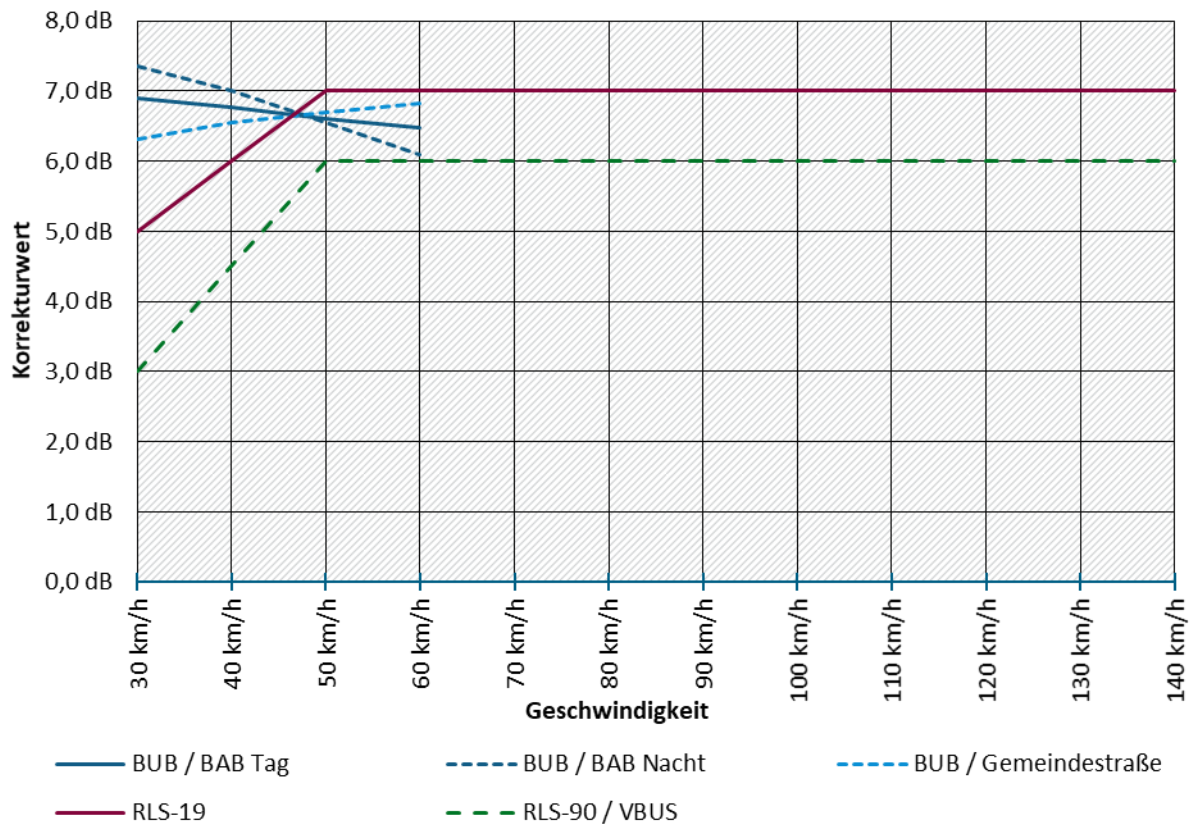
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 14: Resultierende Deckschichtkorrekturen (ggü. GA) – Pflaster mit ebener Oberfläche



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 15: Resultierende Deckschichtkorrekturen (gegenüber GA) – sonstiges Pflaster

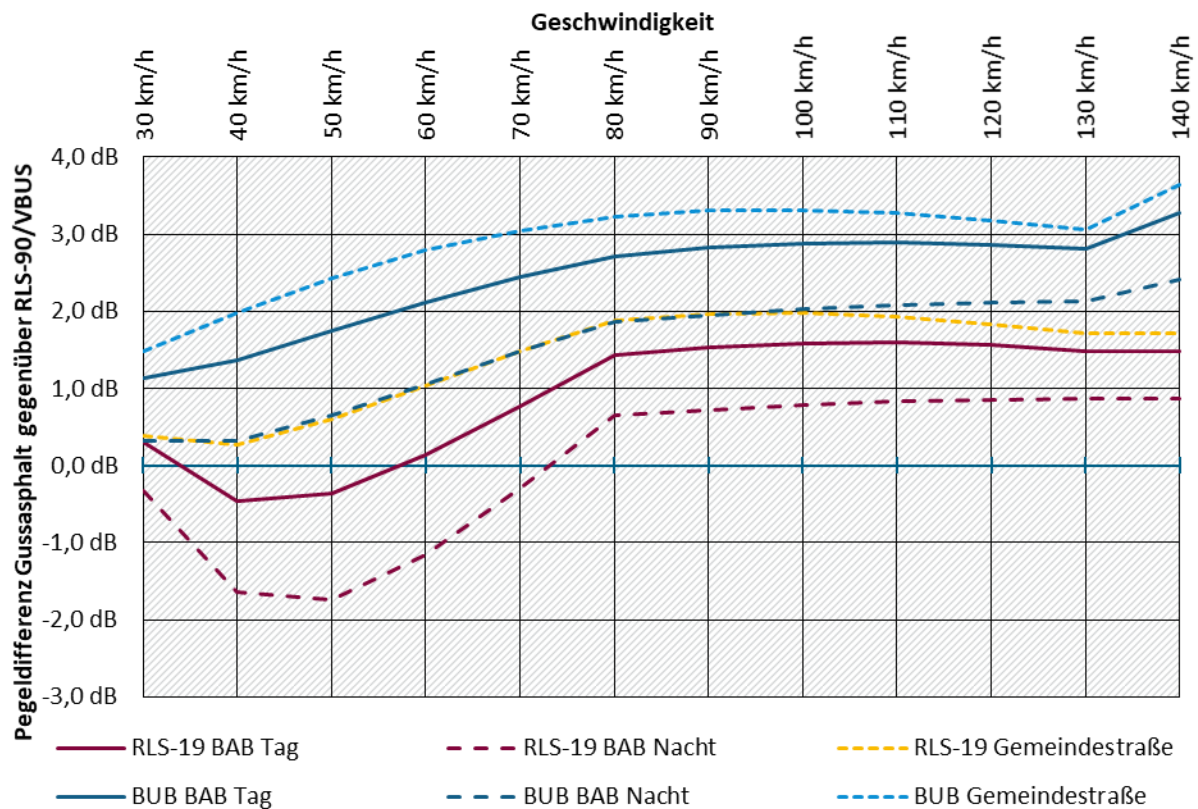


Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.2.5.2 Vergleich der Immissionspegel auf Gussasphalt

In Kapitel 3.2.5.1 wurden die Korrekturen gegenüber dem Referenzbelag Gussasphalt bewertet. Für den Gussasphalt ergeben sich jedoch je nach Vorschrift ebenfalls unterschiedliche Immissionspegel. Abbildung 16 zeigt die Unterschiede in den Immissionspegeln (in 25 m Entfernung in 4 m Höhe; für die Lkw-Anteile gemäß Tabelle 2 der RLS-19), die sich auf Gussasphalt durch die Berechnungsvorschriften ergeben.

Abbildung 16: Deckschichtkorrekturen von Gussasphalt gegenüber RLS-90/VBUS

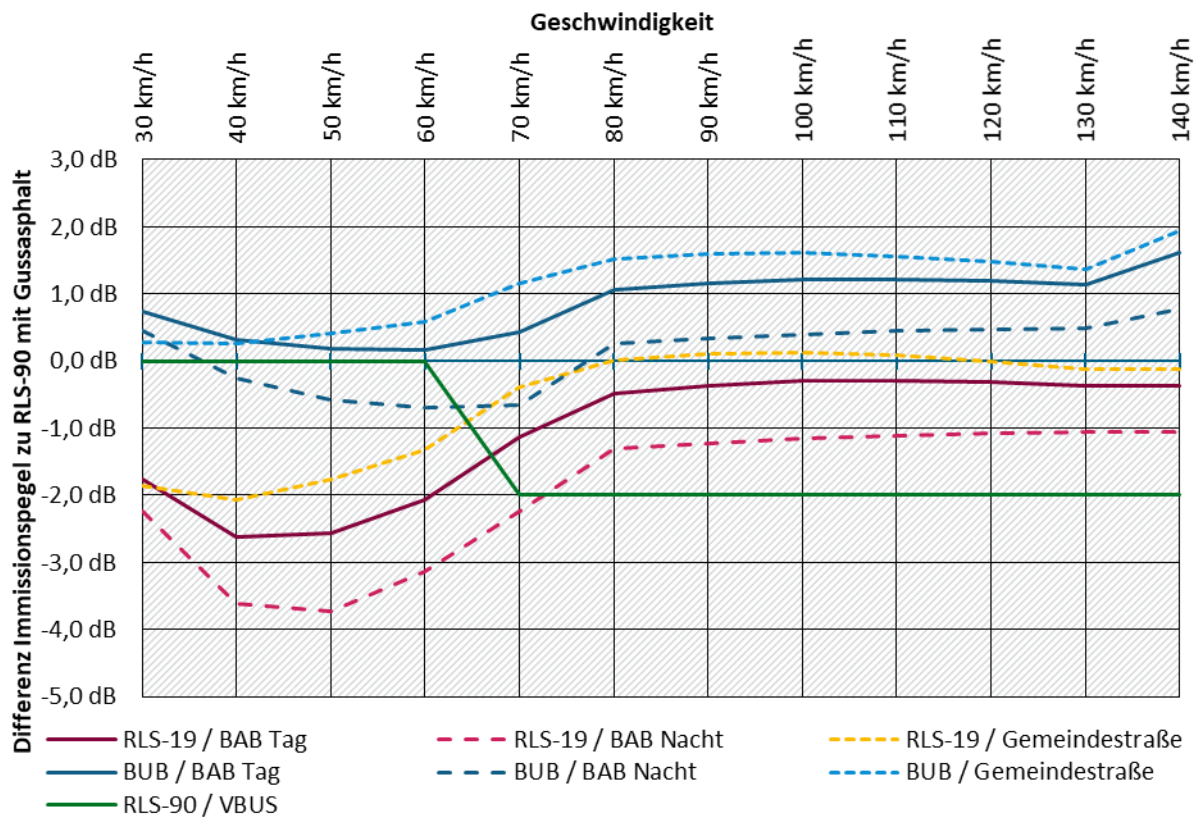


Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.2.5.3 Immissionspegelunterschiede aufgrund unterschiedlicher Straßenoberflächen

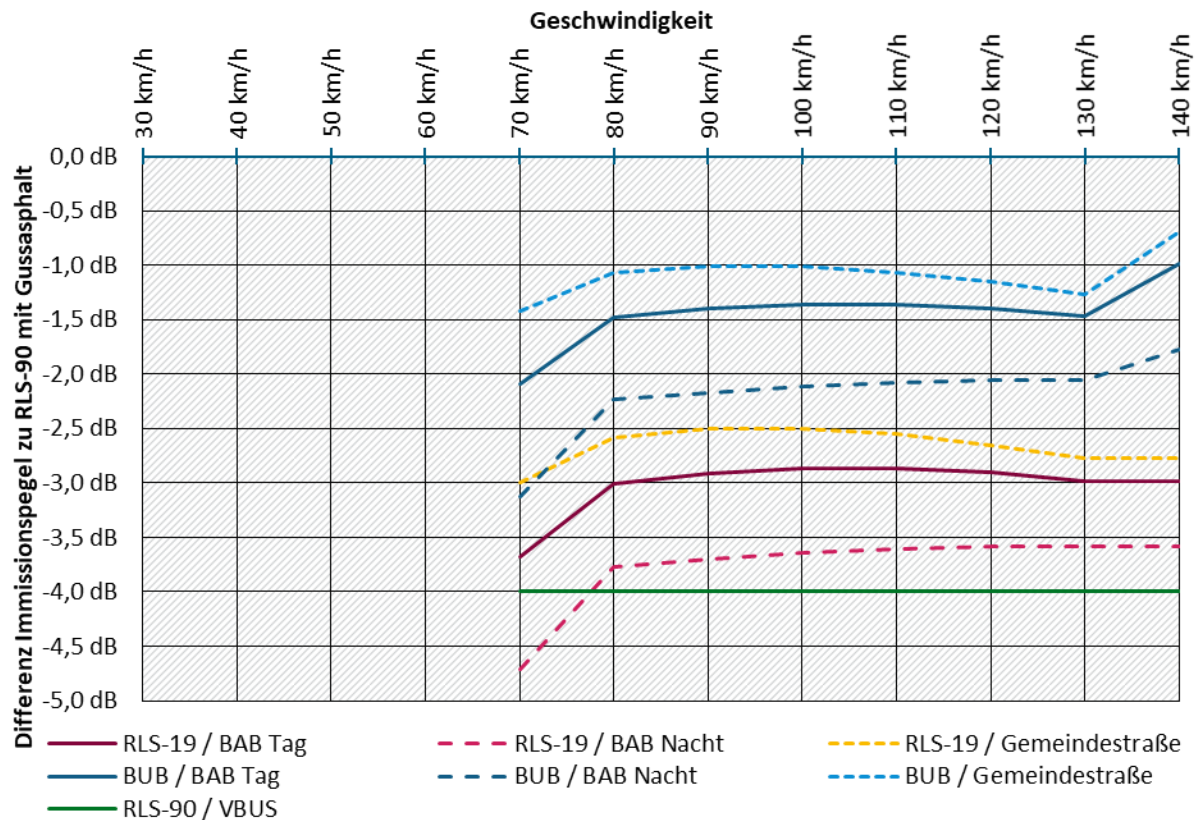
Lediglich die Effekte zu betrachten, die sich bei der Emission aus der Korrektur durch die Straßenoberfläche gegenüber dem Gussasphalt ergeben, ergibt jedoch kein ausreichendes Bild. Durch die wesentlichen Unterschiede in der Bewertung des Referenzbelags ergeben sich Unterschiede in den Immissionspegeln, die sich nicht direkt aus den in Kapitel 3.2.5.1 dargestellten Diagrammen ableiten lassen. Aus Abbildung 17 bis Abbildung 22 ist ersichtlich, wie sich die Immissionspegel durch den Straßenbelag gegenüber einem Immissionspegel auf Basis von Gussasphalt nach RLS-90 ändern.

Abbildung 17: Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – Splittmastixasphalte 0/8



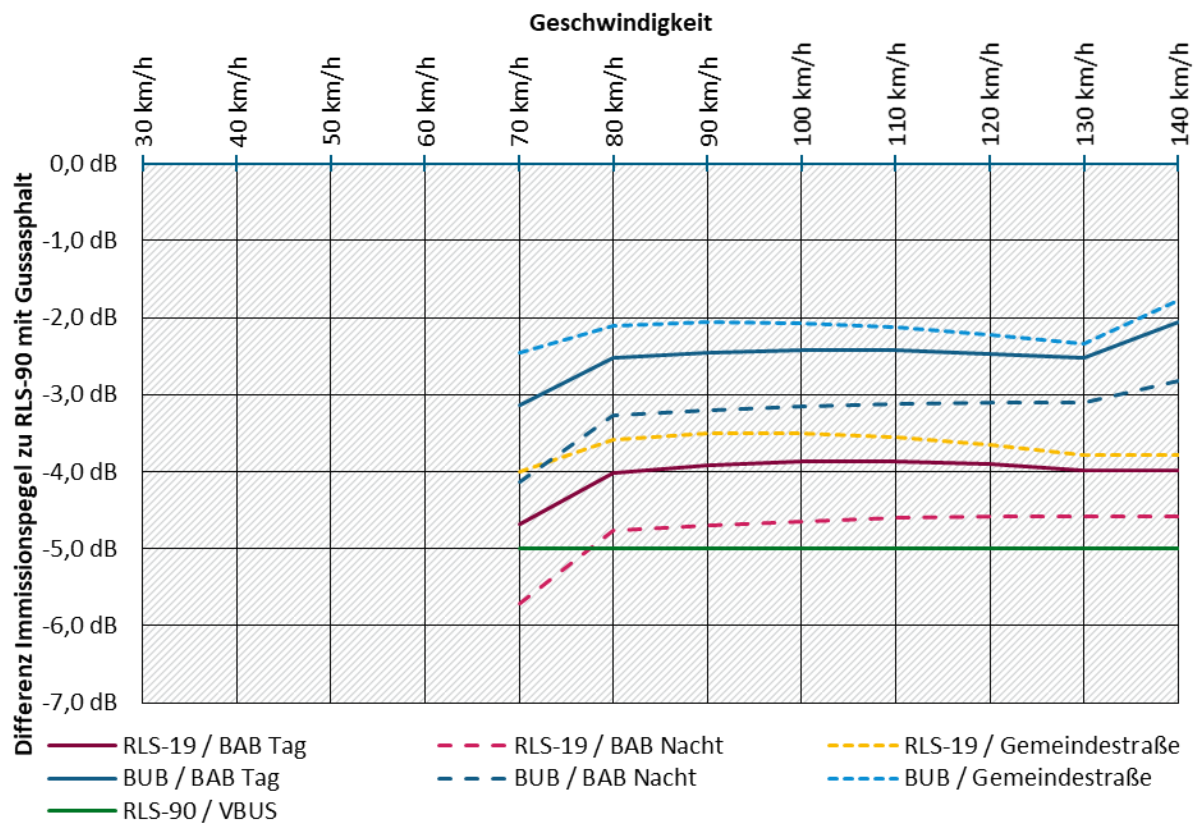
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 18: Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – OPA 11



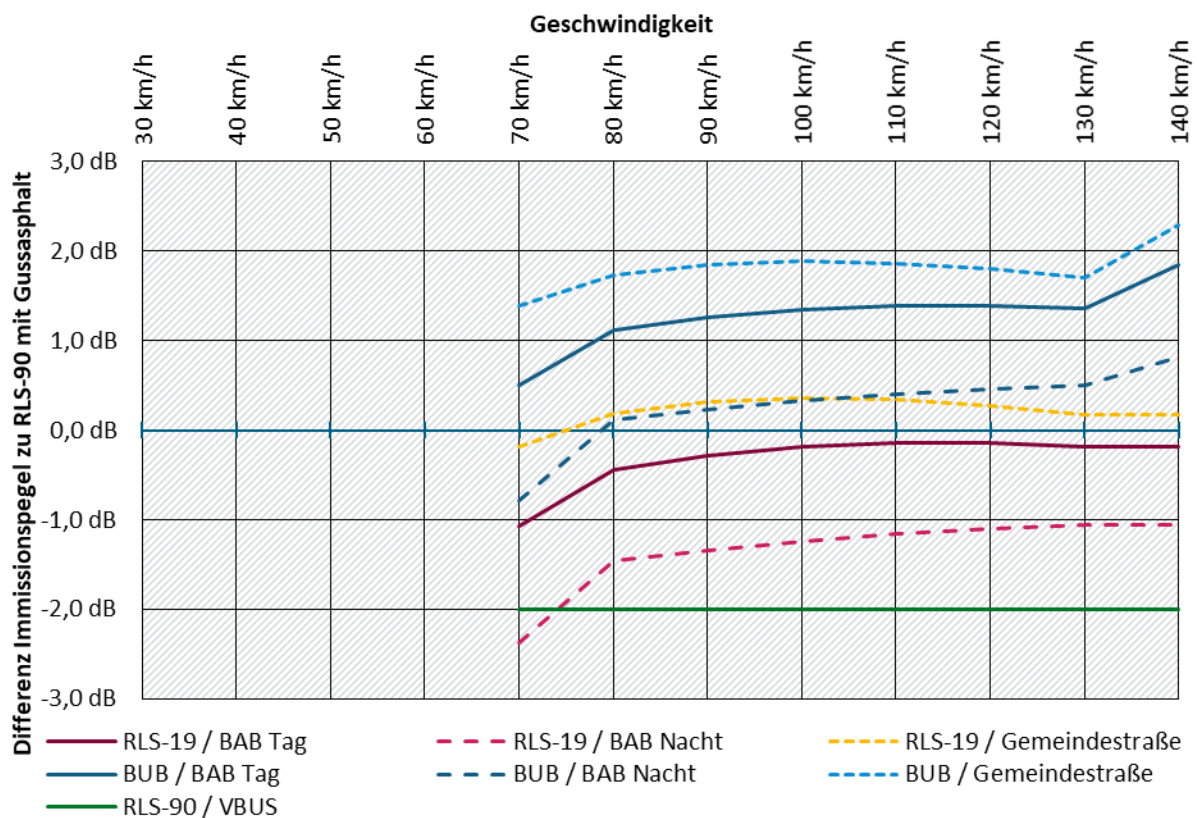
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 19: Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – OPA 8



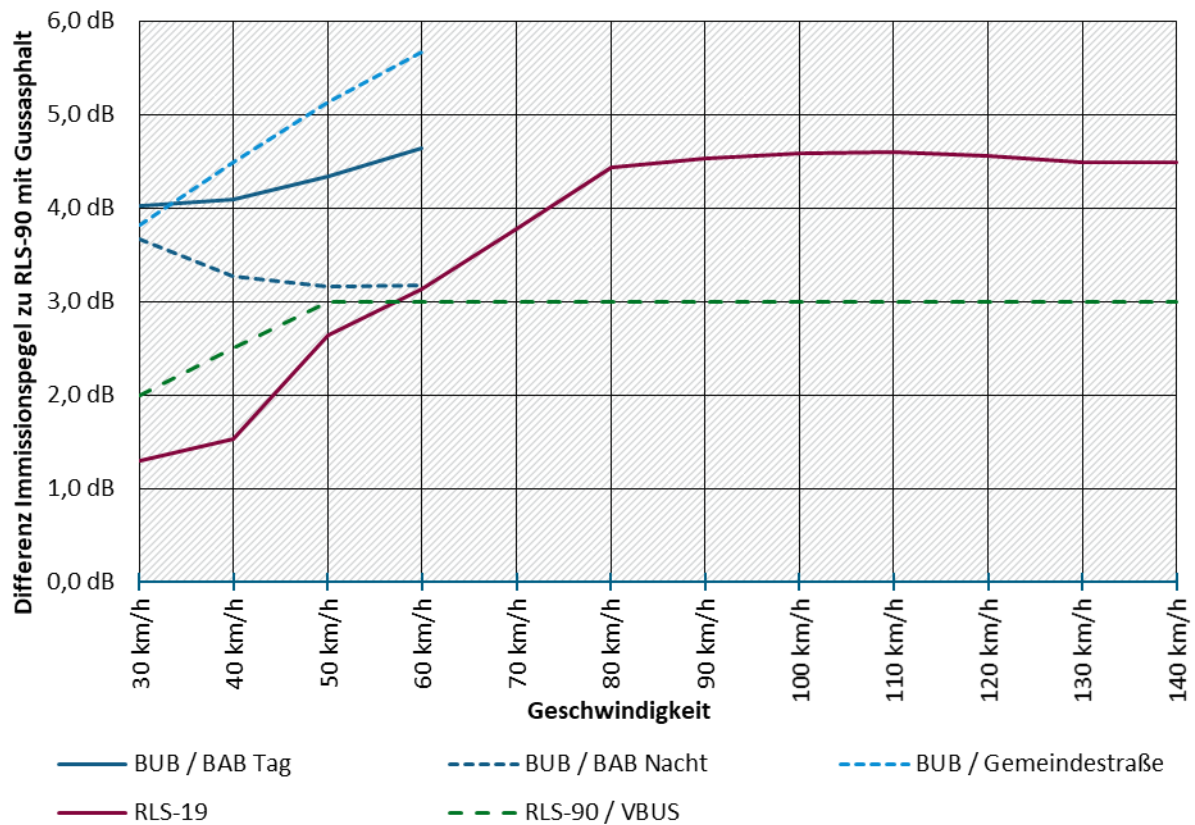
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 20: Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – Waschbeton



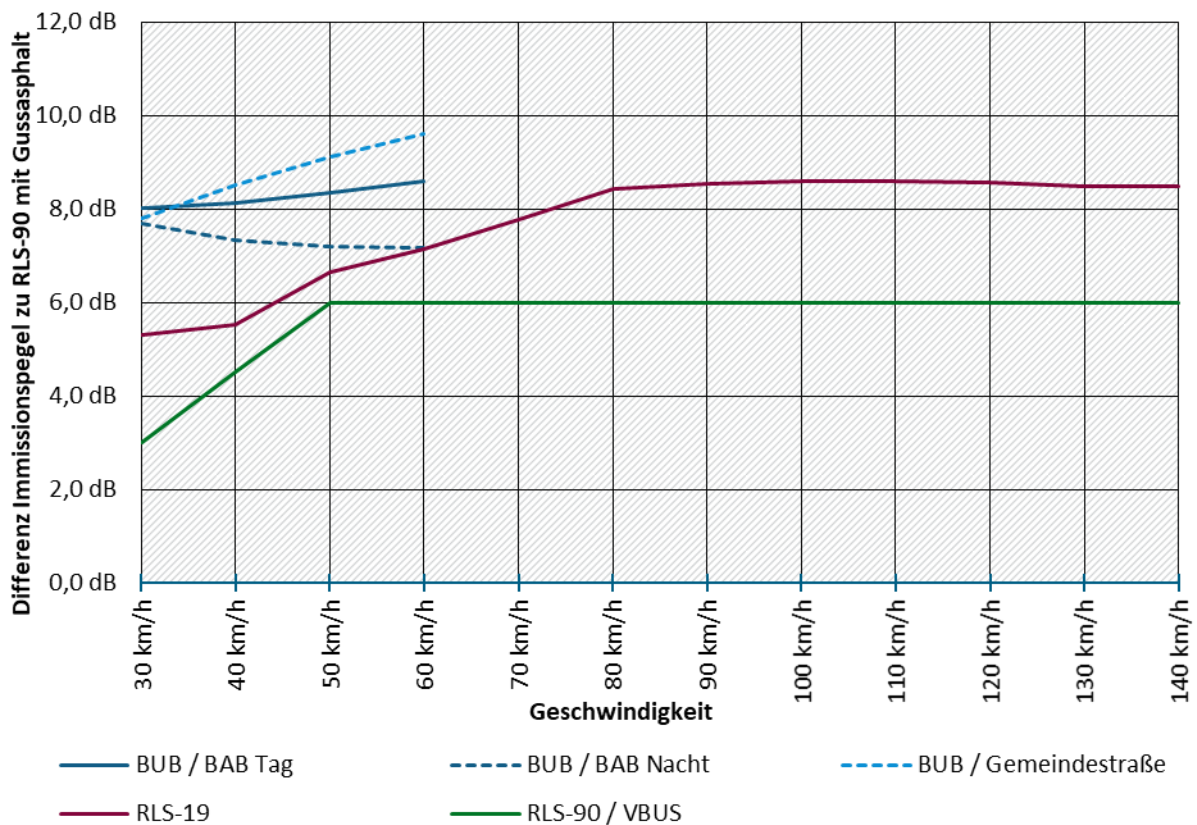
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 21: Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – Pflaster mit ebener Oberfläche



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 22: Differenz Immissionspegel (gegenüber GA RLS-90) – sonstiges Pflaster



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.3 Geometrische Emissionsparameter

3.3.1 Knotenpunkte

An Knotenpunkten wird von einigen Berechnungsvorschriften ein Zuschlag vergeben. Dabei werden von den RLS-90, den RLS-19 und der BUB an lichtzeichengeregelte Kreuzungen Zuschläge berechnet. Die RLS-19 und die BUB vergeben darüber hinaus auch Zuschläge für Kreisverkehre. In allen Fällen werden dabei die Abstände zu dem jeweils nächsten Punkt verwendet, an dem sich die relevanten (d.h. zumeist äußeren), die Fahrstreifen repräsentierenden Quelllinien schneiden.

Tabelle 26: Übersicht Knotenpunkte

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB ¹
lichtzeichengeregelte Kreuzungen	bis 3 dB	bis 3 dB	-	-4,5 bis 9,0
Kreisverkehre	-	bis 2 dB	-	-4,4 bis 6,7

¹ Abzüge auf Rollgeräusch und Zuschläge auf Motorengeräusch, unterschiedlich nach Fahrzeugkategorie

3.3.1.1 Lichtzeichengeregelte Kreuzungen

Nach den RLS-90 werden an lichtzeichengeregelten Kreuzungen in Abhängigkeit vom Abstand des Immissionsortes zur nächstgelegenen Kreuzung von Fahrstreifen mit Lichtsignalanlage stufenweise Zuschläge von bis zu 3 dB vergeben. Da diese Zuschläge stufenweise vergeben werden, ergeben sich beim Beurteilungspegel 1-dB-Sprünge im Umfeld der lichtzeichengeregelten Kreuzungen. In mehr als 100 m Entfernung sind diese Zuschläge 0 dB (► Abbildung 23).

Nach den RLS-19 werden an lichtzeichengeregelten Kreuzungen in Abhängigkeit vom Abstand des Emissionsortes (d.h. bei der Zerlegung erzeugter Quellpunkt) zur nächstgelegenen Kreuzung von Fahrstreifen mit Lichtsignalanlage linear ansteigende Zuschläge von bis zu 3 dB vergeben. Damit bewirken diese Zuschläge auch in einer Entfernung von mehr als 100 m noch Pegelsteigerungen (► Abbildung 24).

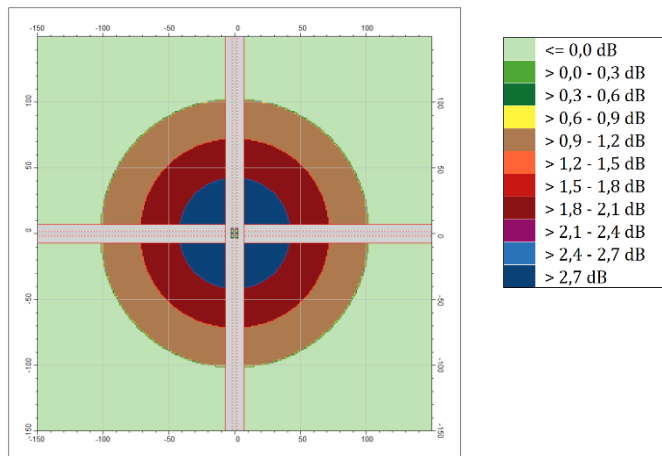
Nach der BUB werden, wie bei den RLS-19, die Abstände des Emissionsortes zur nächstgelegenen Kreuzung von Fahrstreifen mit Lichtsignalanlage ermittelt. Basierend auf diesem Abstand werden Zuschläge für das Antriebsgeräusch und Abschläge für das Rollgeräusch ermittelt (► Tabelle 27). Diese Zu- und Abschläge sind abhängig von der Fahrzeugklasse. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung des Gesamtgeräuschs aus Roll- und Antriebsgeräusch sowie der unterschiedlichen Zu- und Abschläge für Lkw gegenüber Pkw bestehen darüber hinaus auch Abhängigkeiten von der Geschwindigkeit und der Verkehrszusammensetzung.

Tabelle 27: Koeffizienten $C_{R,m,k}$ und $C_{P,m,k}$ für lichtzeichengeregelte Kreuzungen (Auszug aus Tabelle A-2 der BUB-D /5/)

Die Koeffizienten $C_{R,m,k}$ und $C_{P,m,k}$ stellen die maximalen Zu- und Abschläge auf Roll- und Antriebsgeräusch dar.

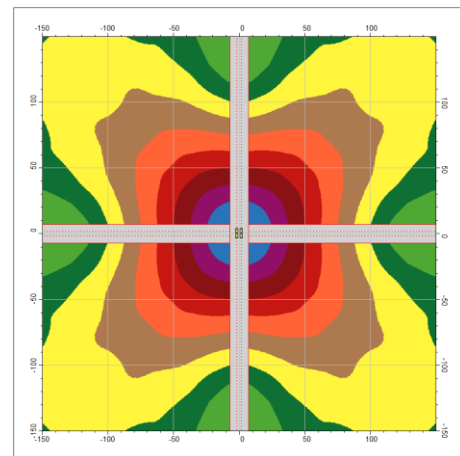
Fahrzeugkategorie	$C_{R,m,k}$ (Rollgeräusch)	$C_{P,m,k}$ (Antriebsgeräusch)
1 (Pkw)	-4,5 dB	+5,5 dB
2 (ILkw)	-4,0 dB	+9,0 dB
3 (sLkw)	-4,0 dB	+9,0 dB
4a (Moped)	0,0 dB	0,0 dB
4b (Motorrad)	0,0 dB	0,0 dB

Abbildung 23: Kreuzungszuschlag gemäß RLS-90



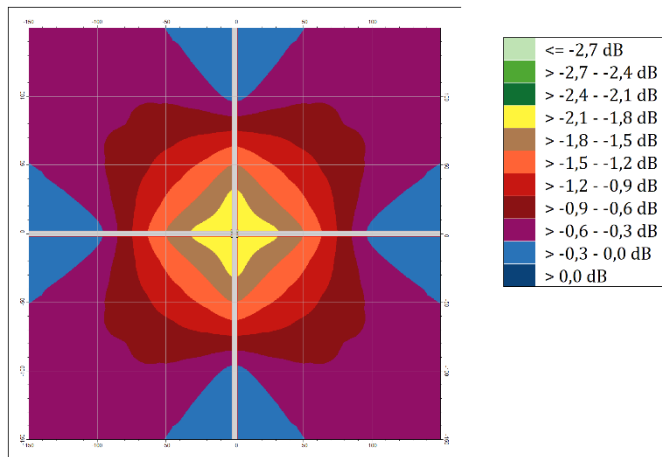
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 24: Kreuzungszuschlag gemäß RLS-19



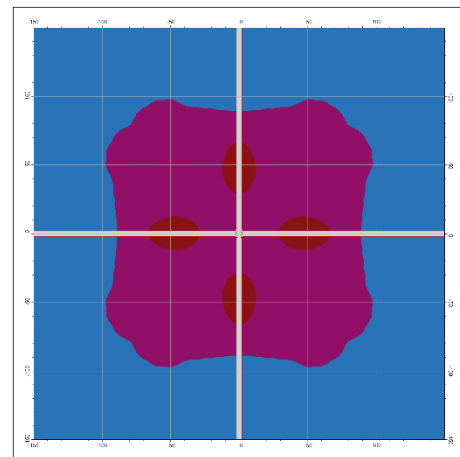
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 25: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 50 km/h



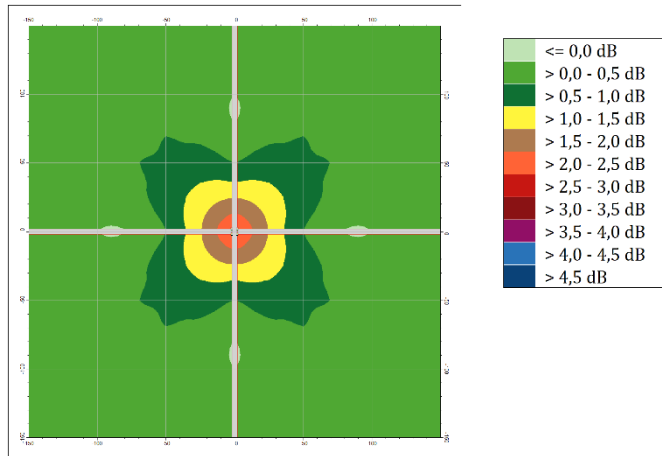
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 26: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 30 km/h



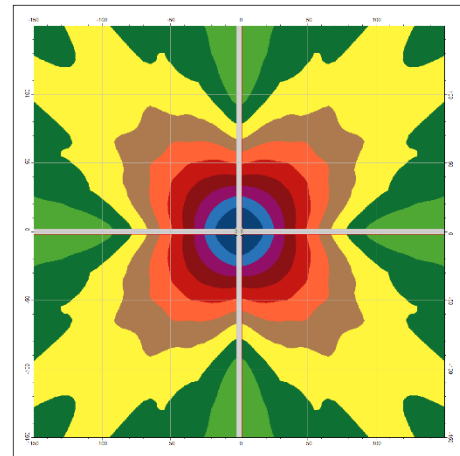
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 27: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 50 km/h



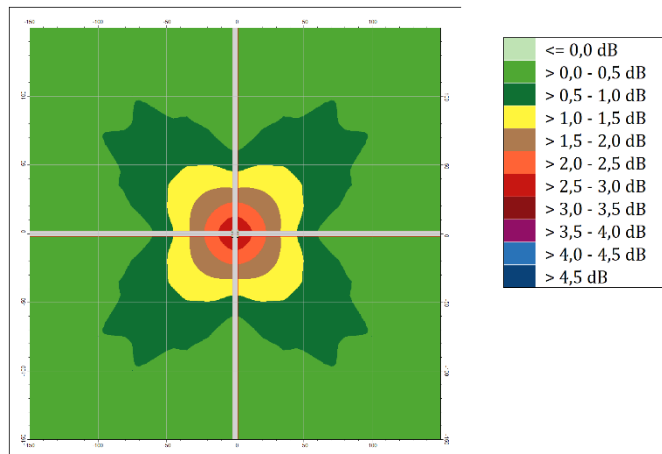
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 28: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 30 km/h



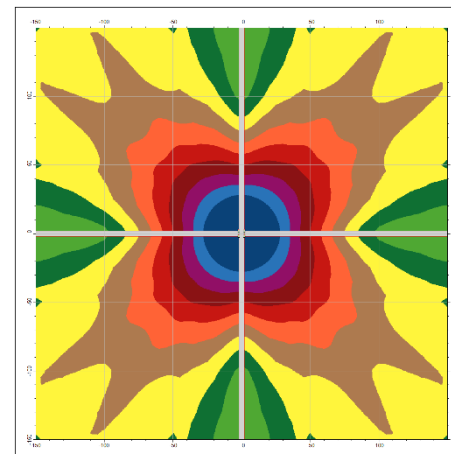
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 29: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 50 km/h



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 30: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 30 km/h



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

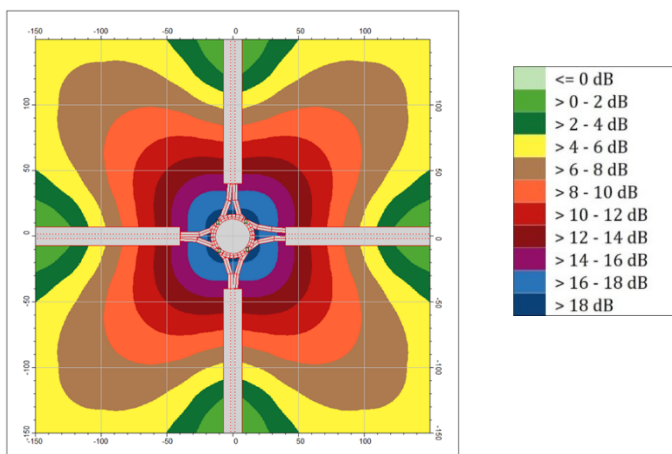
Betrachtet man die Auswirkungen bei der BUB auf die einzelnen Fahrzeugklassen bei 50 km/h und 30 km/h, so zeigen sich deutliche Unterschiede. Die Auswirkungen von Zuschlägen auf das Antriebsgeräusch bei gleichzeitigen Abzügen auf das Rollgeräusch führen dazu, dass bei Pkw der Zuschlag negativ ausfällt (► Abbildung 25/Abbildung 26), während bei Lkw der Zuschlag positiv ist (► Abbildung 27/Abbildung 28 für ILkw und Abbildung 29/Abbildung 30 für sLkw).

Sowohl die RLS-90, als auch die RLS-19 vergeben ausschließlich positive Zuschläge im Bereich von Kreuzungen. Die BUB implementiert ein differenzierteres Vorgehen. Die Zu- und Abschlüsse, die sich nach der BUB bei 50 km/h ergeben, weichen deutlich von den Zu- und Abschlüssen bei 30 km/h ab. Bei geringeren Geschwindigkeiten hat das Rollgeräusch einen geringeren Einfluss auf den Gesamtschallpegel, so dass die Abnahme beim Rollgeräusch weniger Auswirkungen hat und der Einfluss des zunehmenden Antriebsgeräusches größer wird. Insgesamt zeigt sich, dass Pkw leiser werden, während Lkw im Umfeld von Kreisverkehren deutlich lauter sind.

3.3.1.2 Kreisverkehre

Die RLS-19 berechnen den Zuschlag für einen Kreisverkehr in derselben Weise wie den Zuschlag für eine lichtsignalgeregelte Kreuzung. Allerdings beträgt der Zuschlag für Kreisverkehre maximal 2 dB gegenüber 3 dB bei lichtsignalgeregelten Kreuzungen (► Abbildung 31).

Abbildung 31: Kreisverkehrszuschlag gemäß RLS-19



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Wie auch bei den lichtzeichengeregelten Kreuzungen und bei den RLS-19 werden nach der BUB ebenfalls die Abstände des Emissionsortes zur nächstgelegenen Kreuzung von Fahrstreifen ermittelt. Basierend auf diesem Abstand werden auch hier Zuschläge für das Antriebsgeräusch und Abschläge für das Rollgeräusch ermittelt (► Tabelle 28). Diese Zu- und Abschläge sind abhängig von der Fahrzeugklasse. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung von Roll- und Antriebsgeräusch zum Gesamtgeräusch sowie der unterschiedlichen Zu- und Abschläge für Lkw gegenüber Pkw bestehen darüber hinaus auch Abhängigkeiten von der Geschwindigkeit und der Verkehrszusammensetzung.

Tabelle 28: Koeffizienten $C_{R,m,k}$ und $C_{P,m,k}$ für Kreisverkehre (Auszug aus Tabelle A-2 der BUB-D)

Die Koeffizienten $C_{R,m,k}$ und $C_{P,m,k}$ stellen die maximalen Zu- und Abschläge auf Roll- und Antriebsgeräusch dar.

Fahrzeugkategorie	$C_{R,m,k}$ (Rollgeräusch)	$C_{P,m,k}$ (Antriebsgeräusch)
1 (Pkw)	-4,4 dB	+3,1 dB
2 (ILkw)	-2,3 dB	+6,7 dB
3 (sLkw)	-2,3 dB	+6,7 dB
4a (Moped)	0,0 dB	0,0 dB
4b (Motorrad)	0,0 dB	0,0 dB

Bei den Kreisverkehren sind mit den Kreuzungen vergleichbare Effekte festzustellen. Während nach den RLS-19 nur positive Zuschläge berechnet werden, ergeben sich nach der BUB auch an Kreisverkehren für Pkw geringere, für Lkw dagegen höhere Pegel, die aufgrund der Steigerung des Antriebsgeräusches bei gleichzeitiger Senkung des Rollgeräusches bei höheren Geschwindigkeiten zu geringeren Pegelsteigerungen bei Lkw und höheren Pegelabsenkungen bei Pkw führen (► Abbildung 32 bis Abbildung 37).

Abbildung 32: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 50 km/h

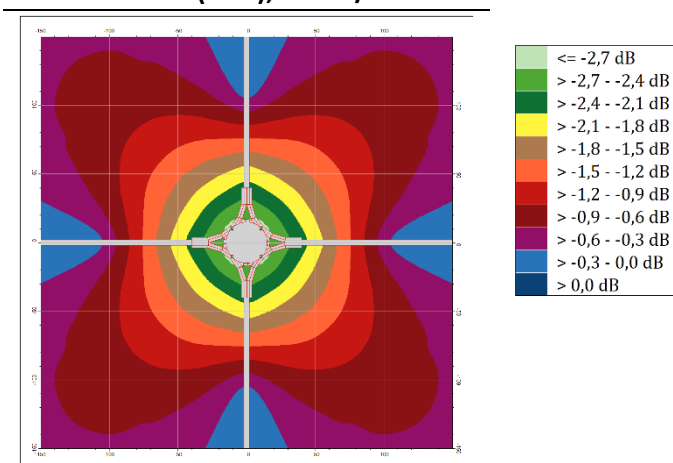


Abbildung 33: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 30 km/h

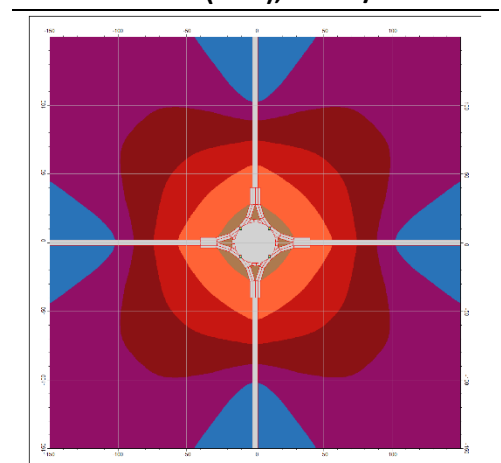
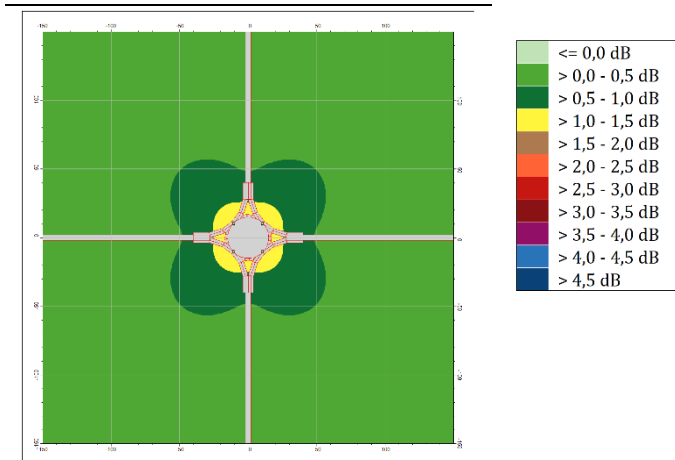
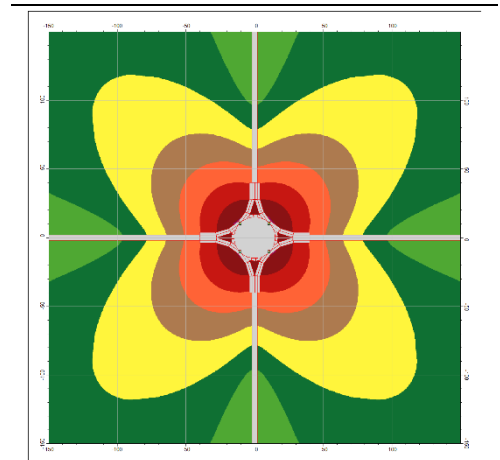


Abbildung 34: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 50 km/h



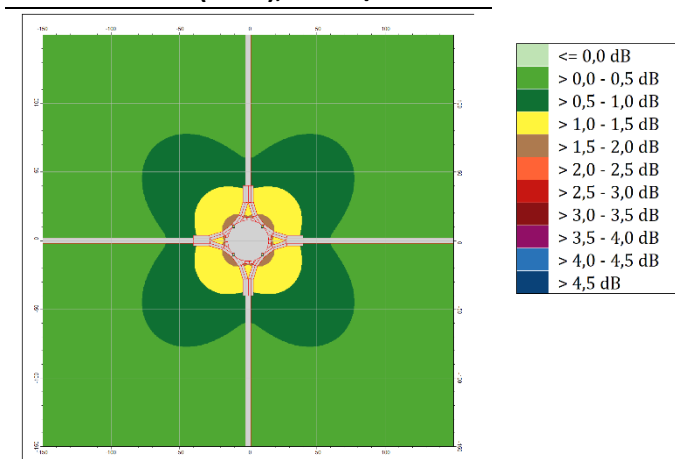
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 35: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 30 km/h



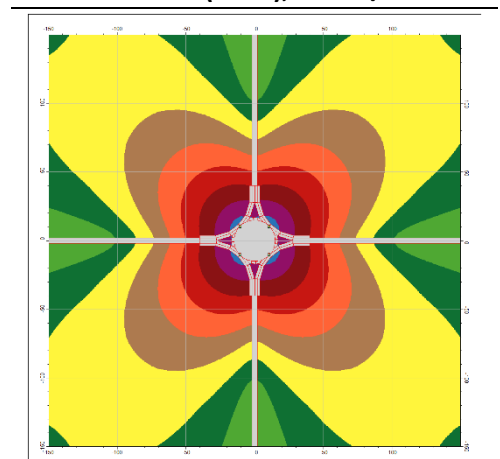
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 36: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 50 km/h



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 37: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 30 km/h



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.3.2 Gradienten

Nach den RLS-90 und der VBUS wird bei mehr als 5 % Steigung ein linear ansteigender Zuschlag berechnet, der unabhängig von Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Fahrzeugtyp ist. Dieser Zuschlag ist in seiner Höhe nicht begrenzt (► Abbildung 38).

Die RLS-19 berechnen die Zuschläge für Steigungen und Gefälle getrennt. Darüber hinaus werden die Fahrzeugkategorien und Geschwindigkeiten mit unterschiedlichen Zuschlägen versehen. Diese Zuschläge setzen je nach Fahrtrichtung und Fahrzeugkategorie bei unterschiedlichen Steigungen/Gefällen ein. Bei mehr als 12 % werden die Korrekturen angesetzt, die sich bei 12 % ergeben (► Abbildung 39).

Es zeigt sich, dass bei höheren Lkw-Anteilen die Zuschläge nach den RLS-19 deutlich über denen der RLS-90 und der VBUS liegen. Bei Straßen mit geringen Lkw-Anteilen ergeben sich, wenn man von Zweirichtungsverkehr ausgeht, Zuschläge, die weniger als 1 dB über denen der RLS-90 liegen. Bei höheren Steigungen fallen die Zuschläge nach RLS-19 gegenüber denen der RLS-90/VBUS geringer aus.

Die BUB berechnet die Zuschläge für Steigungen und Gefälle getrennt. Darüber hinaus werden die Fahrzeugkategorien und Geschwindigkeiten mit unterschiedlichen Zuschlägen versehen. Diese Zuschläge setzen je nach Fahrtrichtung und Fahrzeugkategorie bei unterschiedlichen Steigungen/Gefällen ein. Bei mehr als 12 % werden die Korrekturen angesetzt, die sich bei 12 % ergeben (► Abbildung 40).

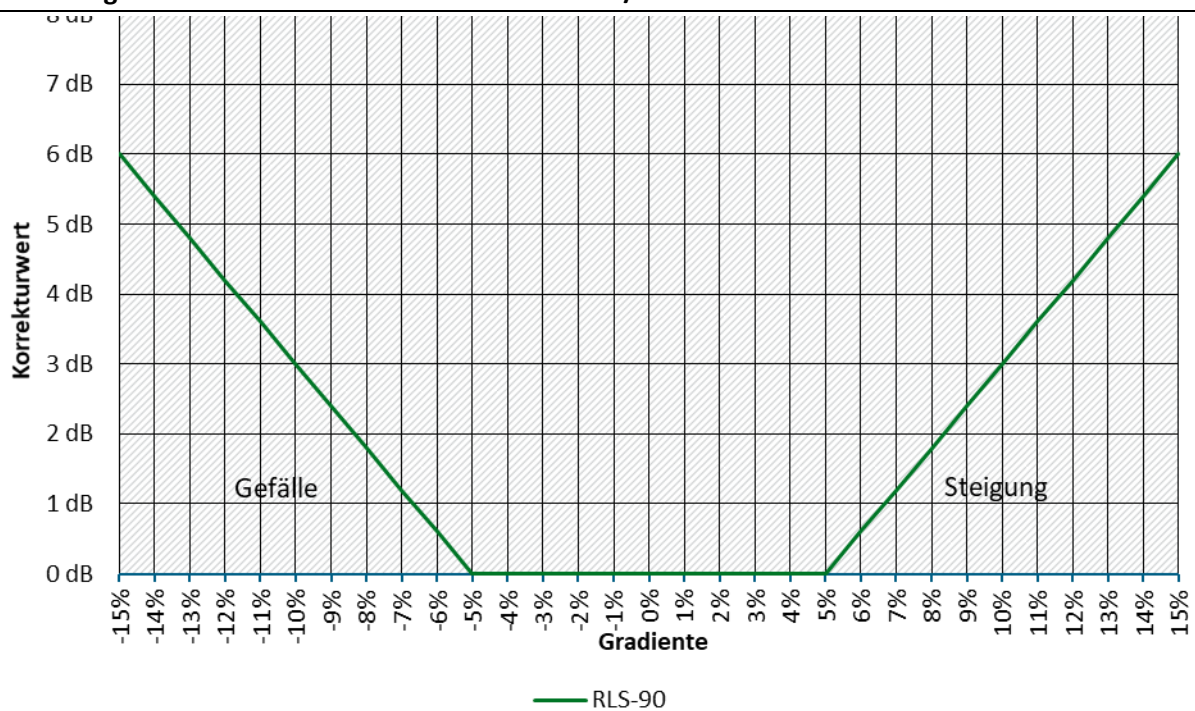
Nach der BUB ergeben sich – bis auf den Bereich geringer Steigungen, für die die RLS-90/VBUS keine Zuschläge berechnen – erheblich geringere Zuschläge durch Steigungen und Gefälle. Dies ist darin begründet, dass nur das Motorengeräusch beaufschlagt wird, während bei höheren Geschwindigkeiten das Reifen-Fahrbahngeräusch den Schallleistungspegel dominiert.

Tabelle 29: Übersicht Gradienten

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB ¹
Steigung begrenzt	nein	12 %	nein	12 %
max. Zuschlag	-	9,0 dB	-	2,8 dB

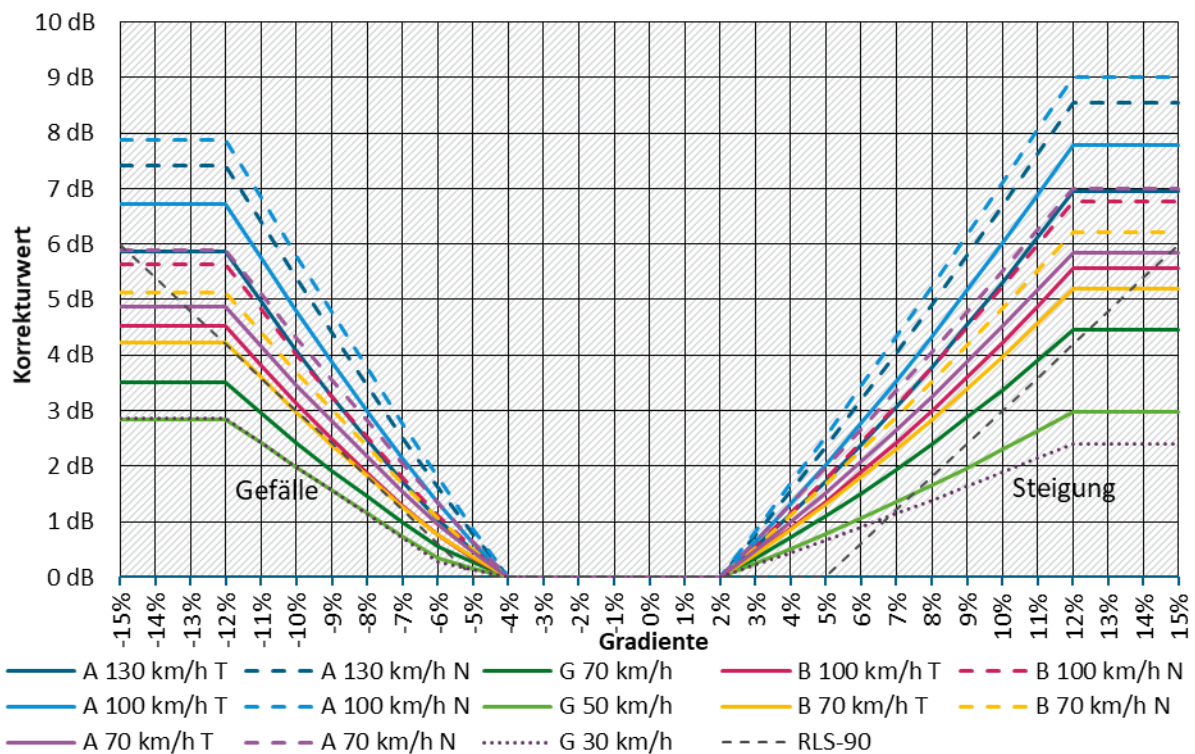
¹ Zuschläge nur auf das Motorengeräusch, unterschiedlich nach Fahrzeugkategorie

Abbildung 38: Korrektur für Gradiente nach RLS-90/VBUS



Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 39: Korrektur für Gradiente nach RLS-19

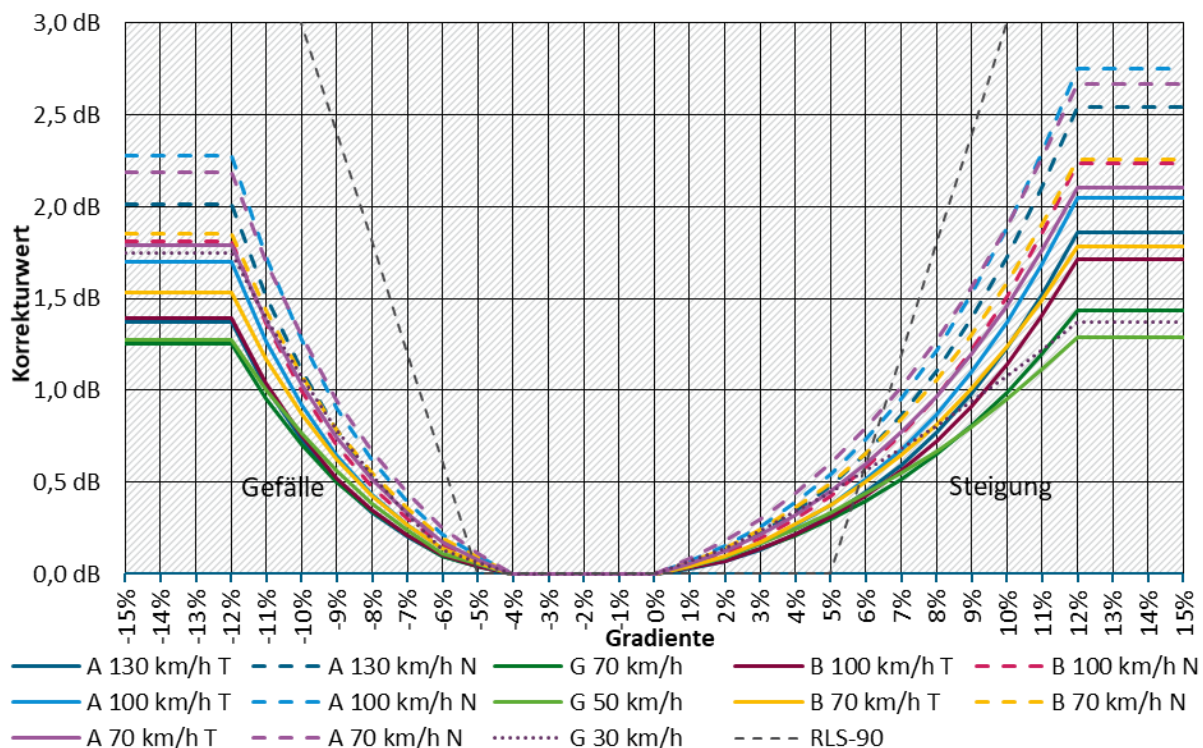


Lkw-Anteile gemäß Tabelle 2 der RLS-19, A: Bundesautobahn, B: Bundesstraße, G: Gemeindestraße, T: Tag, N: Nacht

Zum Vergleich ist der Korrekturwert gemäß RLS-90 (= VBUS) mit dargestellt.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 40: Korrektur für Gradiente nach BUB



Lkw-Anteile gemäß Tabelle 2 der RLS-19, A: Bundesautobahn, B: Bundesstraße, G: Gemeindestraße, T: Tag, N: Nacht

Zum Vergleich ist der Korrekturwert gemäß RLS-90 (= VBUS) mit dargestellt.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.3.3 Fahrstreifen

Nach den RLS-19 werden die Quelllinien bei Straßen ab drei Fahrstreifen pro Richtung und im Bereich von Abbiegespuren anders modelliert, als dies nach den RLS-90/VBUS der Fall ist. Die Auswirkungen der getrennten Modellierung von Abbiegespuren und der Hauptfahrbahn gegenüber der Modellierung als eine Quelllinie auf dem äußeren Fahrstreifen ist stark davon abhängig, wie sich die Verkehre auf diese beiden Quelllinien verteilen.

Tabelle 30: Übersicht Fahrstreifen

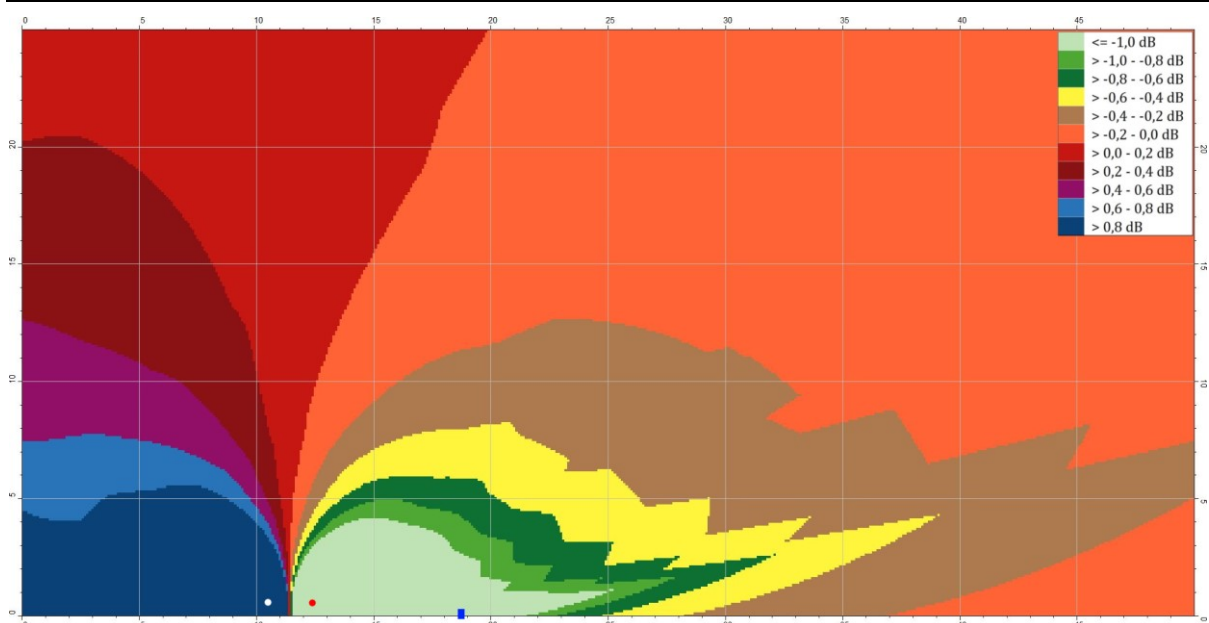
	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Lage	äußere Fahrstreifen	bis vier Fahrstreifen die äußeren Fahrstreifen, dann abweichend	äußere Fahrstreifen	Fahrbahnmitte, äußere oder alle Fahrstreifen zulässig

Mehr als vier Fahrstreifen pro Richtung sind Ausnahmesituationen, die zu ähnlichen Ergebnissen führen und daher nicht weiter betrachtet werden. Untersucht werden jeweils Situationen ohne Reflektoren auf der gegenüberliegenden Seite.

In Abbildung 41 sind die Auswirkungen der Verlagerung der Emissionsbänder dargestellt, die sich bei einer Berechnung nach den RLS-19 ergeben. Es zeigen sich zwar deutliche Differenzen im Straßenraum, doch in Bereichen ab ca. 20 m Entfernung zum Straßenraumes sind nur geringe Auswirkungen (von bis zu -0,4 dB) festzustellen, die mit der Entfernung weiter abnehmen.

Betrachtet man dieselbe Situation mit einer 4 m Lärmschutzwand (Abbildung 42), so zeigt sich, dass die Schallpegel hinter der Lärmschutzwand im Erdgeschoss um 0,3 dB zunehmen. In höheren Etagen können, aufgrund der dort nicht mehr erfolgenden Abschirmung des nahen Fahrstreifens, Pegelsteigerungen um nahezu 3 dB an den ungünstigsten Punkten festgestellt werden.

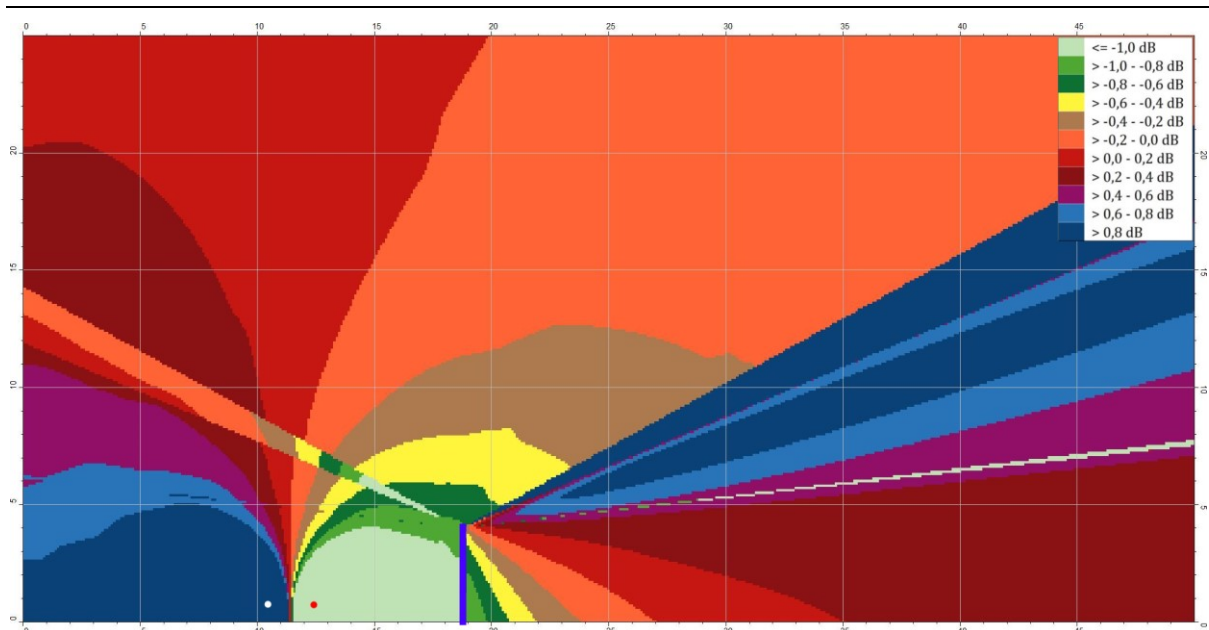
Abbildung 41: Differenz durch Änderung der Lage des Emissionsbandes auf Autobahnen (RQ 37,5)



Änderung der Immissionen durch die Verschiebung des Emissionsbandes bei einer 6-spurigen Autobahn (RQ 37,5) von der Mitte des äußeren Fahrstreifens ($D_{sq} = 12,375$ m, roter Punkt) auf die Trennlinie zwischen den beiden äußeren Fahrstreifen einer Fahrtrichtung ($D_{sq} = 10,45$ m, weißer Punkt). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 25 m Höhe und 50 m Entfernung bei freier Schallausbreitung gemäß RLS-19. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Die blaue Markierung bei 18,75 m kennzeichnet den Rand des Straßenraumes, d.h. die Position, in der ggfs. eine Lärmschutzwand steht.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

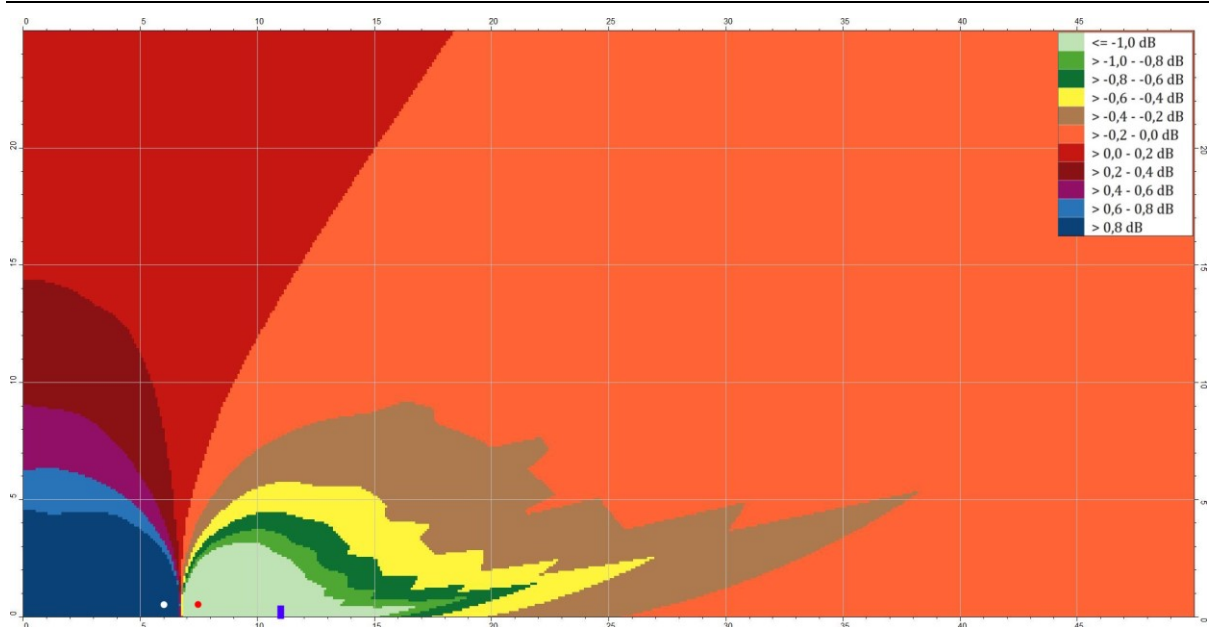
Abbildung 42: Differenz durch Änderung der Lage des Emissionsbandes auf Autobahnen (RQ 37,5) mit Lärmschutzwand



Änderung der Immissionen durch die Verschiebung des Emissionsbandes, bei einer 6-spurigen Autobahn mit einer stark reflexionsmindernden, 4 m hohen Lärmschutzwand (RQ 37,5), von der Mitte des äußeren Fahrstreifens ($D_{Sq} = 12,375$ m, roter Punkt) auf die Trennlinie zwischen den beiden äußeren Fahrstreifen einer Fahrtrichtung ($D_{Sq} = 10,45$ m, weißer Punkt). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 25 m Höhe und 50 m Entfernung bei Schallausbreitung gemäß RLS-19. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Die blaue Markierung kennzeichnet die Lärmschutzwand am Rand des Straßenraumes.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

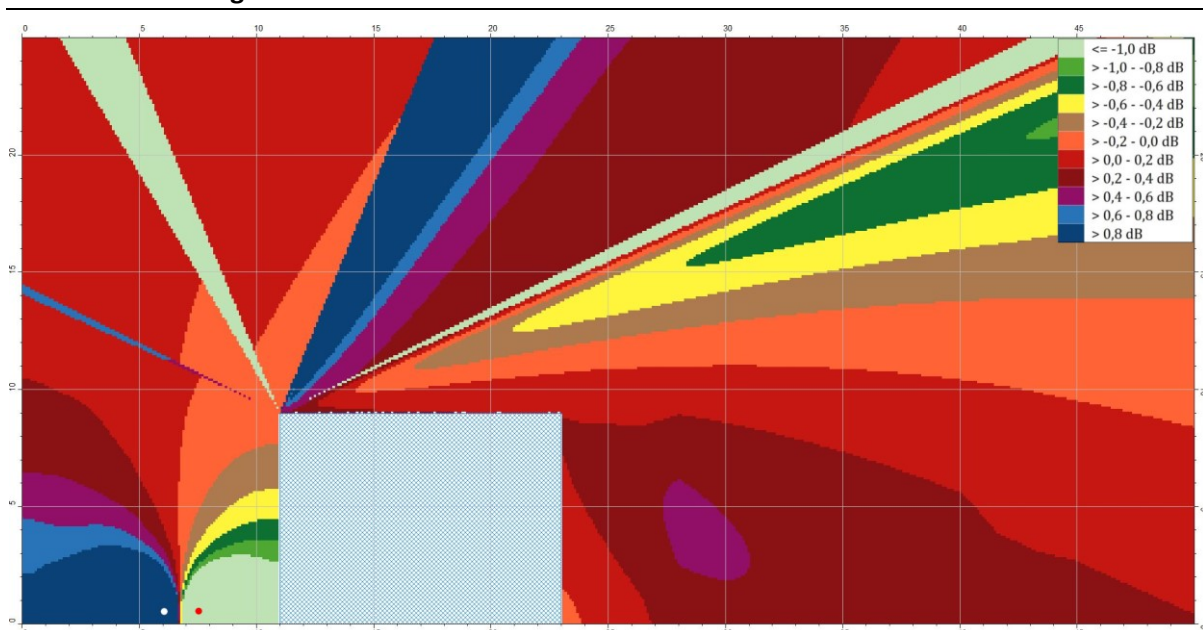
Abbildung 43: Differenz durch Änderung der Lage des Emissionsbandes innerstädtisch (6-spurig)



Änderung der Immissionen durch die Verschiebung des Emissionsbandes bei einer 6-spurigen Innerortsstraße (3 m je Fahrstreifen) von der Mitte des äußeren Fahrstreifens ($D_{Sq} = 7,5$ m, roter Punkt) auf die Trennlinie zwischen den beiden äußeren Fahrstreifen einer Fahrtrichtung ($D_{Sq} = 6$ m, weißer Punkt). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 25 m Höhe und 50 m Entfernung bei freier Schallausbreitung gemäß RLS-19. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Die blaue Markierung kennzeichnet den Bereich, ab dem in engen Straßenräumen mit Bebauungen zu rechnen ist (2 m Abstand zum Fahrbahnrand).

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 44: Differenz durch Änderung der Emissionsbandes innerstädtisch (6-spurig) mit Bebauung dicht an der Straße



Änderung der Immissionen durch die Verschiebung des Emissionsbandes bei einer 6-spurigen Innerortsstraße (3 m je Fahrstreifen) von der Mitte des äußeren Fahrstreifens ($D_{Sq} = 7,5$ m, roter Punkt) auf die Trennlinie zwischen den beiden äußeren Fahrstreifen einer Fahrtrichtung ($D_{Sq} = 6$ m, weißer Punkt). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 25 m Höhe und 50 m Entfernung bei freier Schallausbreitung gemäß RLS-19. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Der blau markierte Bereich stellt ein dreigeschossiges Gebäude dar.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Anmerkung: Die nach links zur Schallquellen weisenden Keile in Abbildung 42 und Abbildung 44 ergeben sich durch entfallenden Reflexionen durch die verschobenen Achsen.

Bei der Bewertung der Wirksamkeit von Lärmschutzwänden ergibt die Kombination aus geringeren Schallpegeln ohne Lärmschutz und höherem Schallpegel mit Lärmschutzwand eine deutlich geringere Wirksamkeit von Lärmschutzwänden (und Wällen).

Vergleicht man die Auswirkungen der geänderten Lage der Quelllinie anhand einer innerstädtischen Straße (drei Fahrstreifen je Fahrtrichtung à 3 m; Abbildung 43), so ist im Erdgeschoss (ca. 2 m Höhe) mit bis zu 1,2 dB geringeren Schallpegeln zu rechnen. Anders als im direkten Umfeld von Autobahnen ist in diesem Bereich bei enger Bebauung regelmäßig mit relevanten Immissionsorten zu rechnen. Befinden sich an dieser Position Gebäude (Abbildung 44), so ergeben sich, durch die andere Lage der Quelllinie und die damit geringere Abschirmwirkung der Gebäude, hinter dem Gebäude Pegelsteigerungen von bis zu 0,4 dB.

3.3.4 Emissionshöhe

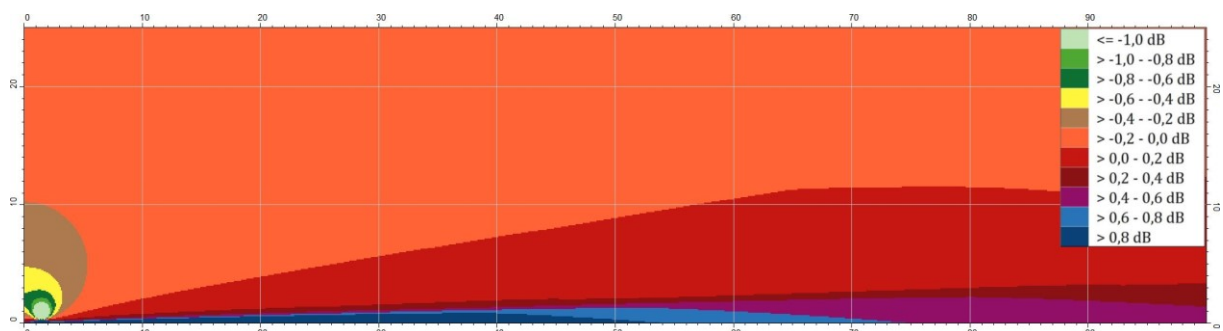
In der BUB wird, abweichend von den anderen Vorschriften, die Emission in einer Höhe von 0,05 m (statt 0,5 m) über der Fahrbahn angesetzt. Im Folgenden wird die Auswirkung der geringeren Emissionshöhe nach BUB betrachtet. Die Berechnungen erfolgen anhand einer Innerortsstraße mit den Lkw-Anteilen nach Tabelle 2 der RLS-19 bei 50 km/h auf nicht geriffeltem Gussasphalt mit zwei Fahrstreifen mit jeweils 3 m Breite.

Tabelle 31: Übersicht Emissionshöhe

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Emissionshöhe	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,05 m

Abbildung 45 zeigt, dass durch die geringere Höhe des Ausbreitungswegs über dem Gelände die Bodendämpfung zunimmt und damit die Immissionspegel abnehmen. Im bodennahen Bereich (in Höhen von bis zu 11 m bei Entfernungen um 80 m) treten allerdings bei tiefer angesetzter Schallquelle höhere Schallpegel auf. Untersucht man die zugrundeliegenden Berechnungen genauer, zeigt sich für diesen Bereich, dass die Verringerung des „linken“ Bezugspunktes der MGL z_l (von 0,5 m auf 0,05 m) zu einer Verringerung der modifizierten äquivalenten Höhe ζ_l und einer Steigerung von ζ_r (BUB Gleichungen 5.36/5.37) führt. Außerdem ändern sich die Bodendämpfungen $A_{ground,H}$ und $A_{ground,F,min}$ (BUB Gleichungen 5.32/5.39), was insgesamt im bodennahen Bereich zu geringeren Bodendämpfungen führt. Diese Wirkung ist überwiegend, aber nicht ausschließlich, bei den günstigen Ausbreitungsbedingungen festzustellen. Daraus ergibt sich, dass in der Nacht diese bodennahen Pegelsteigerungen durch die Absenkung des Emissionsbandes noch deutlicher werden (Abbildung 46).

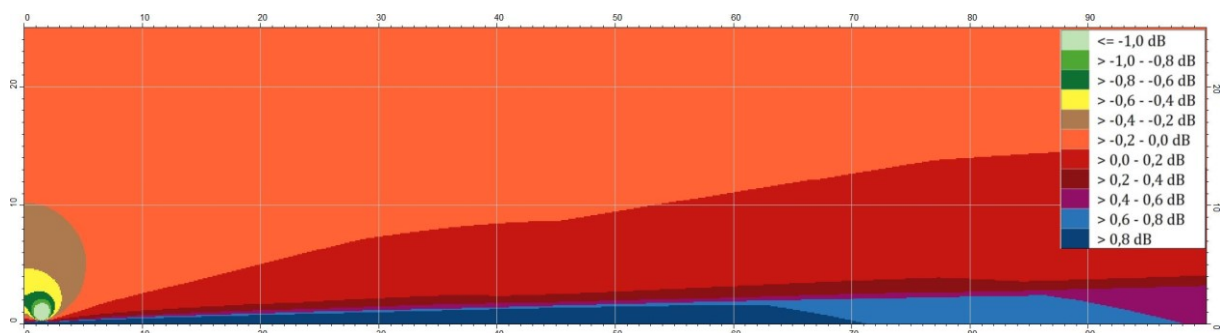
Abbildung 45: Differenz durch Emissionshöhe, BUB, Tag



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung bei freier Schallausbreitung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 46: Differenz durch Emissionshöhe, BUB, Nacht



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung bei freier Schallausbreitung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

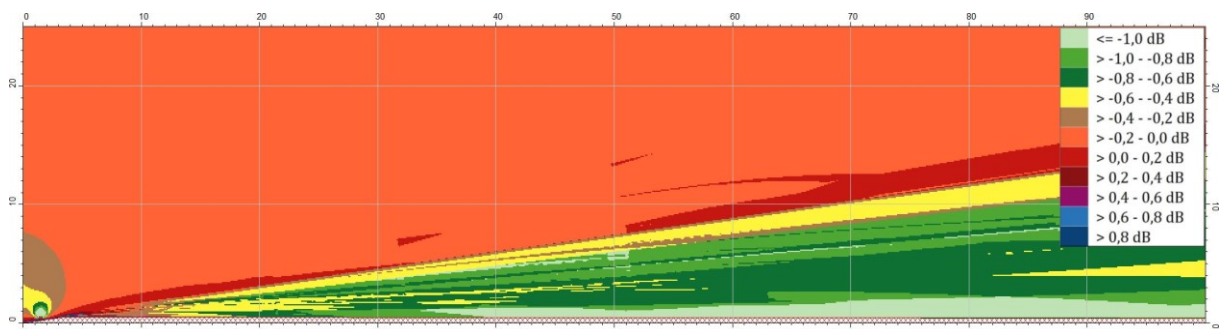
Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Da die geringe Emissionshöhe zu erheblich höheren Anforderungen an die Genauigkeit des Geländemodells führt (bereits kleine Abweichungen im Gelände können zur Abschirmung führen), werden neben dem ebenen Gelände auch eine Situation mit einem geringem Geländesprung (0,5 m) betrachtet. Der angenommene Geländesprung liegt in einer Entfernung von 3,5 m zur Straßenachse bei einer Fahrstreifenbreite von 3 m.

Betrachtet man die Auswirkungen, die ein Geländesprung von 0,5 m am Rande der Straße hat (was bei auf Höhenlinien oder Höhenpunkten basierenden Geländemodellen einer hohen Genauigkeit entspricht), so zeigt sich kein einheitliches Bild (► Abbildung 47 und Abbildung 48). Die

Auswirkungen der Emissionshöhe in der Berechnung der Bodendämpfung führt zu unerwünschten Effekten.

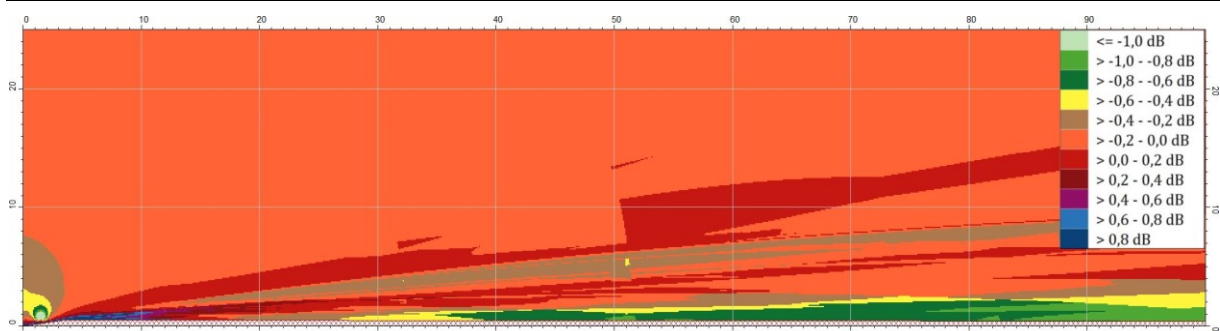
Abbildung 47: Differenz durch Emissionshöhe, 0,5 m Geländesprung, BUB, Tag



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Das Gelände steigt bis in 3 m Entfernung zur Straßenachse auf 0,5 m an. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 48: Differenz durch Emissionshöhe, 0,5 m Geländesprung, BUB, Nacht

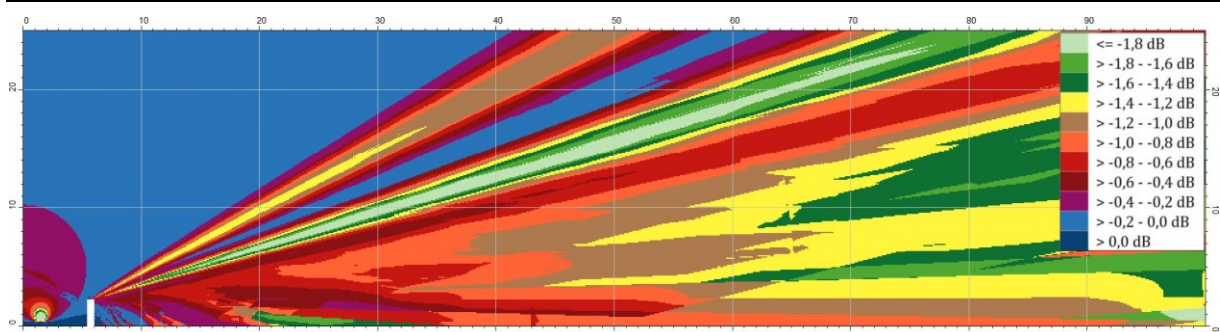


Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Das Gelände steigt bis in 3 m Entfernung zur Straßenachse auf 0,5 m an. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Die Wirksamkeit von Abschirmungen (Lärmschutzwände und -wälle, Gebäude) ist bei einer tieferliegenden Schallquelle höher zu erwarten. Daher werden zusätzlich zwei hochabsorbierende Lärmschutzwände (Höhen 2 m und 4 m) in 5,5 m Entfernung zur Straßenachse betrachtet (► Abbildung 49 bis Abbildung 52).

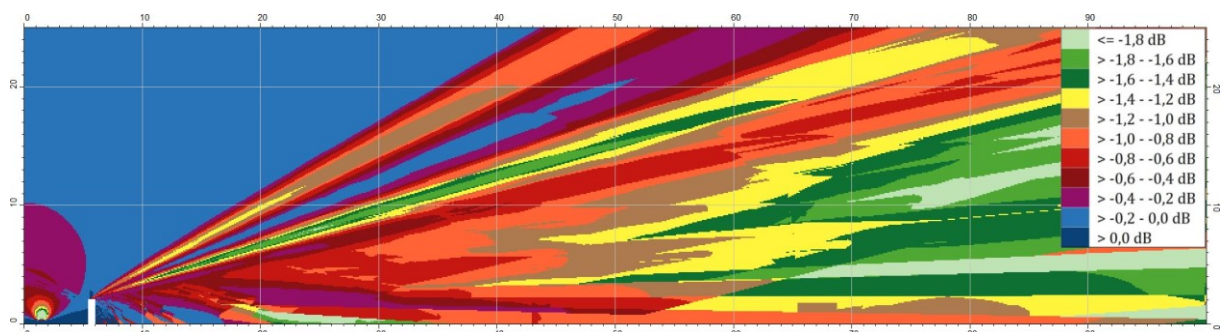
Abbildung 49: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 2m, BUB, Tag



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 2 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

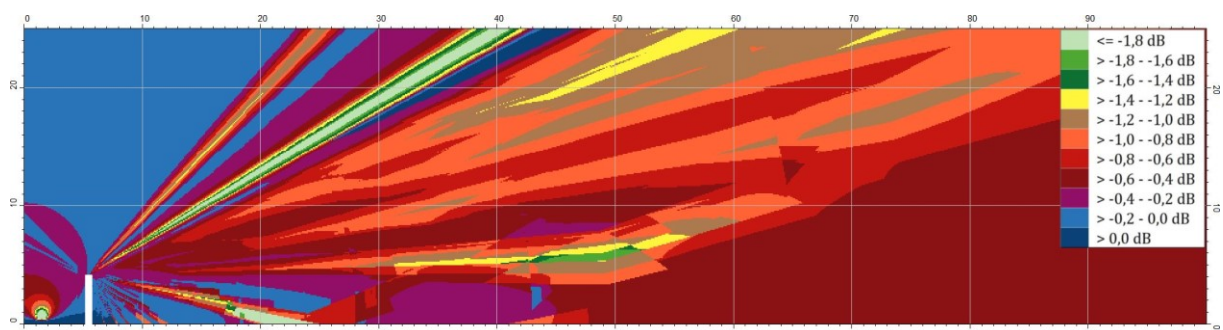
Abbildung 50: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 2m, BUB, Nacht, IMMI



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 2 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

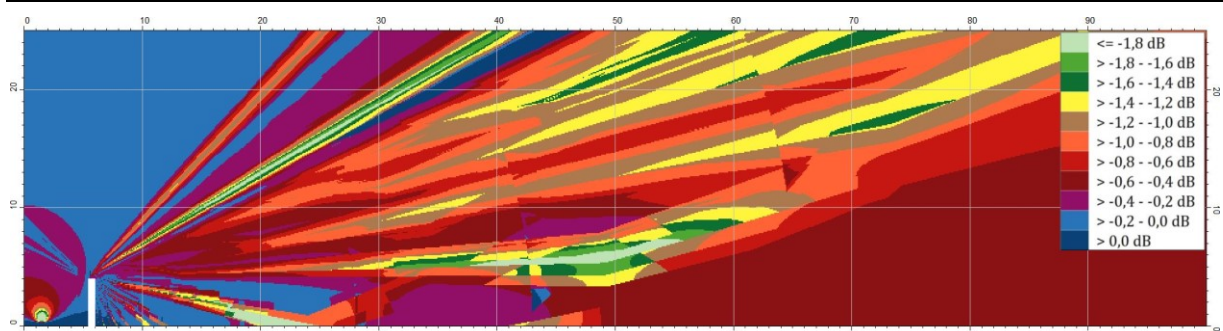
Abbildung 51: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Tag, IMMI



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 4 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 52: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, IMMI

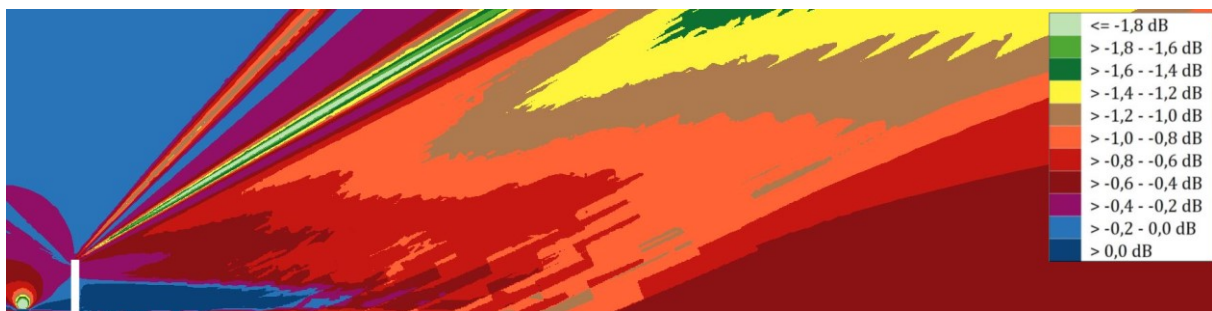


Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 4 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Berechnet wurde mit IMMI 2020.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Auf Basis von Abbildung 45 bis Abbildung 52 lässt sich vermuten, dass unter anderem die Zerlegung der Emissionsbändern in Punktquellen deutlichen Einfluss auf die Schallpegel hinter einer durchgehenden Abschirmung hat. Die BUB gibt keine Verfahren vor, nach denen die Zerlegung in Punktquellen vorzunehmen ist. Daher wurde zum Vergleich mit SoundPLAN 8.2 die Berechnung wiederholt, das einen anderen Algorithmus bzw. andere Parameter zur Zerlegung in Punktschallquellen verwendet (► Abbildung 53).

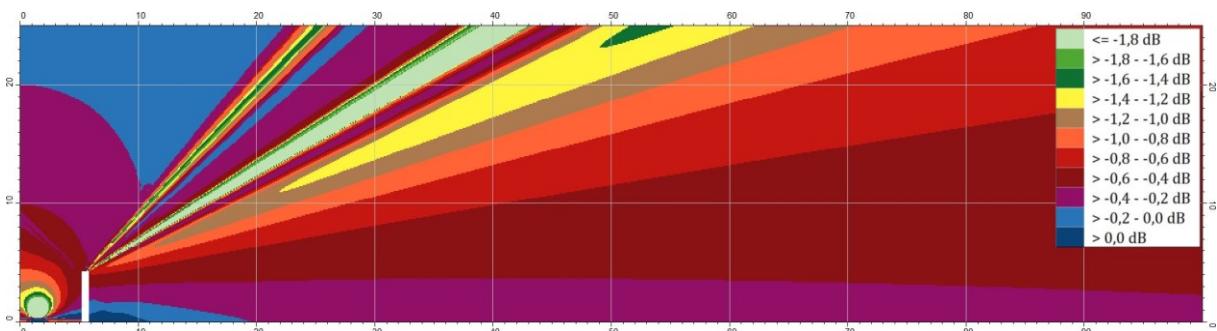
Abbildung 53: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, SoundPLAN



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 4 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Berechnet wurde mit SoundPLAN 8.2. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

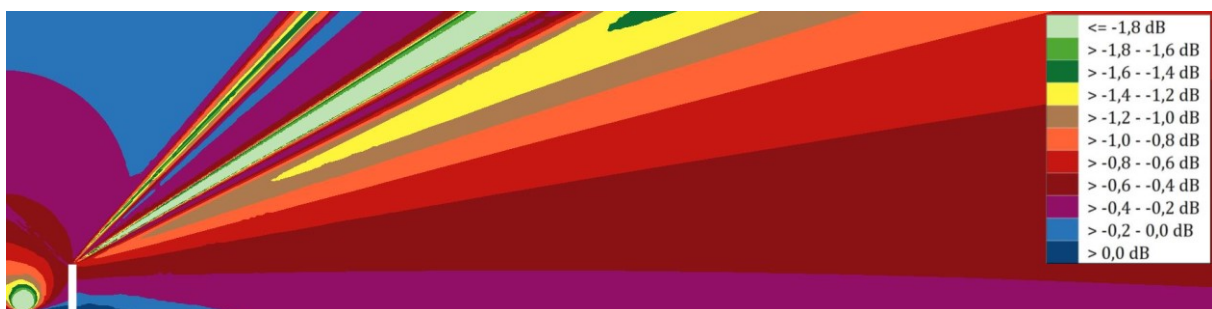
Die Unterschiede zwischen Abbildung 52 (berechnet mit IMMI 2020) und Abbildung 53 (Berechnet mit SoundPLAN 8.2) fallen deutlich aus. Um Programmfehler als Ursache auszuschließen, wurde eine weitere Vergleichsrechnung durchgeführt, bei der die Teilstückzerlegung keine Rolle spielt. Zieht man zur Ermittlung der Unterschiede nicht eine längere Straße heran, sondern nur einen 1-m-Straßenabschnitt (der durch eine einzelne Punktschallquelle repräsentiert wird), so ergeben sich Ergebnisse, die keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Berechnungsprogrammen erkennen lassen (► Abbildung 54 und Abbildung 55).

Abbildung 54: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, 1 m Straße, IMMI



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 4 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Berechnet wurde mit IMMI 2020. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

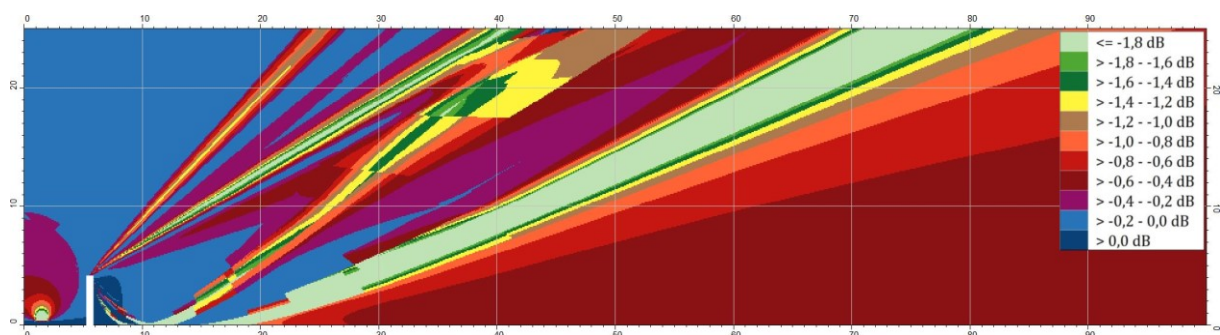
Abbildung 55: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, 1 m Straße, SoundPLAN



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 4 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Berechnet wurde mit SoundPLAN 8.2. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Um vergleichbare Rechenergebnisse mit unterschiedlichen Softwareprodukten erhalten zu können scheint es erforderlich zu sein, ein Verfahren zur Zerlegung in Punktschallquellen explizit vorzugeben. In Abbildung 56 ist dargestellt, wie sich die Abbildung 52 verändert, wenn eine stark erhöhte Anzahl Punktquellen zur Repräsentation der Linienquellen verwendet wird. Dort wird anhand von Sprüngen im Raster erkennbar, dass sich mit zunehmendem Abstand die Teilung in Punktquellen ändert.

Abbildung 56: Differenz durch Emissionshöhe, LSW 4 m, BUB, Nacht, IMMI, feinere Unterteilung in Punktquellen



Änderung der Immissionspegel durch die Höhe des Emissionsbandes von 0,05 m nach der BUB gegenüber 0,5 m nach den übrigen Berechnungsvorschriften. Eine Lärmschutzwand mit einer Höhe von 4 m steht in 2,5 m Abstand zum Fahrbahnrand (weiße Markierung). Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster gemäß BUB in bis zu 25 m Höhe und 100 m Entfernung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand. Berechnet wurde mit IMMI 2020 mit einer gegenüber der Standardeinstellung stark erhöhten Zergliederung in Punktquellen. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Auch wenn die Testaufgaben von allen Programmen korrekt gerechnet werden und keine Implementierungsfehler vorliegen ergeben sich mit unterschiedlichen Programmen abweichende Ergebnisse. Keines der Ergebnisse ist dabei „richtiger“ oder „falscher“, da alle Programme regelgerecht rechnen.

3.4 Geometrische Parameter der Schallausbreitung

Um die Effekte der Schallausbreitung möglichst isoliert zu untersuchen, wird für die folgenden Betrachtungen eine normierte Emission verwendet. Es findet eine Gemeindestraße mit 100 Kfz/h auf nicht geriffeltem Gussasphalt bei 50 km/h mit den Lkw-Anteilen der RLS-19 (Tabelle 2) Verwendung, für die sich die in Tabelle 32 angegebenen Unterschiede in den Emissionen ergeben. Um die im Folgenden angestellten Vergleiche auf die geometrischen Effekte der Schallausbreitung zu beschränken werden daher die Immissionspegel der RLS-19 und der BUB entsprechend der Tabelle 32 korrigiert.

Tabelle 32: Emissionen und Korrekturen Gemeindestraße

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Emissionspegel $L_{m,E}$	54,76 dB(A)	-	54,76 dB(A)	-
Schalleistungspegel/m L'_w	-	74,54 dB(A)	-	74,96 dB(A)
Korrektur gemäß Kapitel 3.1.1	-	-19,18 dB	-	-18,2 dB
äquivalenter Emissionspegel $L_{m,E}$	54,76 dB(A)	55,36 dB(A)	54,76 dB(A)	56,76 dB(A)
Korrektur für die Immission	-	-0,60 dB	-	-2,00 dB

3.4.1 Freie Schallausbreitung

Die Minderung des Schalls bei der Ausbreitung ist abhängig von

- Bodendämpfung (► Kapitel 2.4.1),
- Meteorologiedämpfung (► Kapitel 2.4.1),
- Abstand/geometrische Divergenz (► Kapitel 2.4.2) und
- Luftabsorption/Luftdämpfung (► Kapitel 2.4.2),

die in den genannten Kapiteln einzeln untersucht werden.

Betrachtet werden in diesem Kapitel die Unterschiede, die sich aus der Schallausbreitung in sieben Entfernungen und zwei Höhen bei freier Schallausbreitung über ebenes Gelände insgesamt ergeben (► Tabelle 33).

Tabelle 33: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung)

h	s	RLS-90	RLS-19		VBUS				BUB			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	59,37	-0,63	59,47	-0,53
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	54,86	1,29	55,15	1,58
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	51,21	2,12	51,89	2,80
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	47,54	2,49	49,15	4,10
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	43,84	3,13	46,15	5,44
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	39,37	3,91	41,92	6,46
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	32,97	4,46	35,65	7,14
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	59,23	-0,82	59,26	-0,79
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	55,05	0,07	55,15	0,17
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	51,51	1,80	51,73	2,02
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	47,66	2,33	48,25	2,92
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	43,65	2,79	45,22	4,36
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	38,98	3,44	41,36	5,82
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	32,67	4,12	35,35	6,80

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 33 lässt erkennen, dass die RLS-90, die RLS-19 und die VBUS nachts keine wesentlichen Unterschiede bei der freien Schallausbreitung aufweisen. Die Immissionspegel der VBUS am Tag sind aufgrund der meteorologischen Korrektur ($C_o = 2$ dB am Tag) geringer, d.h. die Dämpfung ist höher.

Nach der BUB ist erkennbar, dass die zunehmende Entfernung die Schallpegel weniger verringert, als dies nach den anderen Vorschriften der Fall ist. Die Berechnung von A_{div} nach der BUB ist mit D_{div} nach den RLS-19 vergleichbar. Die Differenz ergibt sich daher nur aus der Boden-/Meteorologiedämpfung sowie aus der Luftdämpfung.

3.4.2 Abschirmung

Betrachtet man dieselbe Situation wie in Kapitel 3.4.1, jedoch hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand in einer Entfernung von 5,5 m von der Straßenachse, so wird die nach der VBUS von den RLS-90 und den RLS-19 abweichende Berechnung der Abschirmung sichtbar (► Tabelle 34). Die Lärmschutzwand hat eine höhere Wirksamkeit in größeren Entfernungen. Auch die BUB weist eine höhere Wirksamkeit der Lärmschutzwand auf. Bei beiden Vorschriften (VBUS und BUB) ist durch die unterschiedliche Gewichtung der Ausbreitungsbedingungen (homogen und günstig) eine bessere Abschirmung am Tag gegenüber der Nacht vorhanden.

Tabelle 34: Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung (4 m Lärmschutzwand, Standardzerlegung in Punktquellen)

h	s	RLS-90	RLS-19		VBUS				BUB			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB
2 m	10 m	44,69	44,69	0,00	44,78	0,09	45,56	0,87	44,84	0,15	46,64	1,95
2 m	25 m	41,26	41,26	0,00	40,64	-0,62	41,76	0,50	40,62	-0,64	42,29	1,03
2 m	50 m	37,79	37,79	0,00	36,25	-1,54	37,73	-0,06	34,84	-2,95	35,49	-2,30
2 m	100 m	33,61	33,61	0,00	31,56	-2,05	33,24	-0,37	30,60	-3,01	31,35	-2,26
2 m	200 m	28,82	28,82	0,00	26,59	-2,23	28,40	-0,42	25,91	-2,91	27,35	-1,47
2 m	400 m	23,52	23,52	0,00	20,77	-2,75	22,66	-0,86	21,00	-2,52	23,12	-0,40
2 m	800 m	17,54	17,54	0,00	13,47	-4,07	15,41	-2,13	14,94	-2,60	17,43	-0,11
4 m	10 m	48,02	48,02	0,00	48,44	0,42	48,83	0,81	46,67	-1,35	48,02	0,00
4 m	25 m	42,31	42,31	0,00	42,23	-0,08	42,99	0,68	40,83	-1,48	42,22	-0,09
4 m	50 m	38,35	38,35	0,00	37,36	-0,99	38,42	0,07	35,19	-3,16	35,65	-2,70
4 m	100 m	33,93	33,93	0,00	32,11	-1,82	33,54	-0,39	30,73	-3,20	31,13	-2,80
4 m	200 m	29,00	28,99	-0,01	26,89	-2,11	28,55	-0,45	25,95	-3,05	26,71	-2,29
4 m	400 m	23,62	23,61	-0,01	20,93	-2,69	22,74	-0,88	20,68	-2,94	22,50	-1,12
4 m	800 m	17,59	17,59	0,00	13,55	-4,04	15,44	-2,15	14,68	-2,91	17,07	-0,52

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Aufgrund der Erkenntnisse aus Kapitel 3.3.4 wurde für diese Betrachtung die Aufteilung in Punktquellen untersucht. Immissionspunkte in 10 m Entfernung wurden mit 24 Punktquellen für den nahen Fahrstreifen und 22 Punktquellen für den fernen Fahrstreifen berechnet. Die Immissionsorte in 200 m Entfernung wurden mit 8 Punktquellen je Fahrstreifen berechnet. Daraufhin wurde die Berechnung mit einer gegenüber dem Standardverfahren um Faktor 100 feineren Unterteilung (mit einer minimalen Teilstücklänge von 0,1 m) berechnet. Dabei ergaben sich für alle Immissionspunkte jeweils 400 Punktquellen je Fahrstreifen (► Tabelle 35).

Tabelle 35: Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung (4 m Lärmschutzwand, feine Zerlegung in Punktquellen)

h	s	RLS-90	RLS-19		VBUS				BUB			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB
2 m	10 m	43,09	43,08	-0,01	42,88	-0,21	43,94	0,85	46,29	3,20	48,87	5,78
2 m	25 m	40,79	40,79	0,00	40,19	-0,60	41,47	0,68	37,72	-3,07	39,00	-1,79
2 m	50 m	37,52	37,52	0,00	35,39	-2,13	36,89	-0,63	33,92	-3,60	34,83	-2,69
2 m	100 m	33,42	33,42	0,00	31,22	-2,20	32,92	-0,50	30,32	-3,10	31,21	-2,21
2 m	200 m	28,79	28,79	0,00	26,54	-2,25	28,35	-0,44	25,87	-2,92	27,33	-1,46
2 m	400 m	23,52	23,51	-0,01	20,75	-2,77	22,64	-0,88	20,98	-2,54	23,11	-0,41
2 m	800 m	17,52	17,51	-0,01	13,41	-4,11	15,35	-2,17	14,89	-2,63	17,39	-0,13
4 m	10 m	45,30	45,29	-0,01	45,52	0,22	46,09	0,79	46,07	0,77	48,16	2,86
4 m	25 m	41,63	41,63	0,00	41,20	-0,43	42,20	0,57	41,80	0,17	43,99	2,36
4 m	50 m	38,11	38,11	0,00	36,46	-1,65	37,55	-0,56	34,26	-3,85	34,70	-3,41
4 m	100 m	33,76	33,75	-0,01	31,77	-1,99	33,22	-0,54	30,37	-3,39	30,91	-2,85
4 m	200 m	28,96	28,96	0,00	26,83	-2,13	28,50	-0,46	25,92	-3,04	26,72	-2,24
4 m	400 m	23,61	23,61	0,00	20,91	-2,70	22,72	-0,89	20,67	-2,94	22,49	-1,12
4 m	800 m	17,57	17,57	0,00	13,49	-4,08	15,38	-2,19	14,64	-2,93	17,03	-0,54

L_r korrigierter Immissionspegel (►Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 35 zeigt inhaltlich dieselbe Betrachtung wie Tabelle 34, jedoch mit der deutlich feineren Zerlegung in Punktquellen. Die Unterschiede zwischen Tabelle 35 und Tabelle 34 sind in Tabelle 36 dargestellt. Unterschiede von mehr als 1 dB sind rot markiert. Es zeigt sich, dass durch eine deutlich feinere Unterteilung der Emissionsbänder in Punktschallquellen hinter einer Abschirmung nach allen Vorschriften geringere Schallpegel zu erwarten sind. Diese Unterschiede betragen kurz hinter der Abschirmung mehr als 1 dB. Einzige Ausnahme bilden hier die BUB, die durch eine feinere Zerlegung in Punktschallquellen dicht hinter dem Hindernis deutlich höhere Schallpegel berechnet.

Tabelle 36: Änderung der Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung aufgrund feinerer Zerlegung in Punktquellen (4 m Lärmschutzwand)

h	s	RLS-90	RLS-19		VBUS				BUB			
		dL _r /dB	dL _r /dB	dΔL _r /dB	dL _{r,T} /dB	dΔL _{r,T} /dB	dL _{r,N} /dB	dΔL _{r,N} /dB	dL _{r,T} /dB	dΔL _{r,T} /dB	dL _{r,N} /dB	dΔL _{r,N} /dB
2 m	10 m	-1,60	-1,60	-0,01	-1,91	-0,30	-1,62	-0,02	1,45	3,05	2,23	3,83
2 m	25 m	-0,47	-0,47	0,00	-0,45	0,02	-0,29	0,18	-2,90	-2,43	-3,29	-2,82
2 m	50 m	-0,27	-0,27	0,00	-0,86	-0,59	-0,84	-0,57	-0,92	-0,65	-0,66	-0,39
2 m	100 m	-0,19	-0,19	0,00	-0,33	-0,15	-0,32	-0,13	-0,28	-0,09	-0,14	0,05
2 m	200 m	-0,04	-0,04	0,00	-0,05	-0,02	-0,05	-0,02	-0,04	-0,01	-0,02	0,01
2 m	400 m	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01
2 m	800 m	-0,02	-0,02	-0,01	-0,06	-0,04	-0,06	-0,04	-0,05	-0,03	-0,04	-0,02
4 m	10 m	-2,72	-2,72	-0,01	-2,92	-0,20	-2,74	-0,02	-0,60	2,12	0,14	2,86
4 m	25 m	-0,68	-0,68	0,00	-1,03	-0,35	-0,79	-0,11	0,97	1,65	1,77	2,45
4 m	50 m	-0,24	-0,24	0,00	-0,90	-0,66	-0,87	-0,63	-0,93	-0,69	-0,95	-0,71
4 m	100 m	-0,17	-0,18	-0,01	-0,34	-0,17	-0,33	-0,15	-0,36	-0,19	-0,23	-0,05
4 m	200 m	-0,03	-0,04	0,01	-0,05	-0,02	-0,05	-0,01	-0,03	0,01	0,00	0,05
4 m	400 m	-0,01	-0,01	0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00
4 m	800 m	-0,02	-0,02	0,00	-0,06	-0,04	-0,06	-0,04	-0,04	-0,02	-0,04	-0,02

dL_r Änderung der korrigierten Immissionspegel (►Tabelle 32) durch feinere Zerlegung in Punktquellen

dΔL_r Änderung der Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90 durch feinere Zerlegung in Punktquellen

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

3.4.3 Reflexionen

3.4.3.1 Berechnung der Reflexionen

Zur Untersuchung der Reflexionen wird eine Wand mit 4 m Höhe in 5,5 m Entfernung zur Straßenachse gegenüber der Schallausbreitungsrichtung positioniert. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten wird einheitlich mit einem Reflexionsverlust von 1 dB gerechnet. Zur Auswirkung der nach den RLS-19 geringeren Absorptionsverlusten siehe Kapitel 3.4.3.2.

Tabelle 37 zeigt, dass nach den RLS-90 und den RLS-19 sowie in der Nacht auch nach der VBUS die Auswirkungen der Reflexion gleich sind. Im Tagzeitraum ergeben sich nach der VBUS Unterschiede, die auf den Anteilen der homogenen Ausbreitungsbedingungen beruhen. Die BUB berechnet unter Verwendung des Bodenparameters $G=0,3$ im Rahmen der Lärmkartierung mit zunehmender Entfernung zunehmend höhere Schallpegel, was zu höheren Differenzen gegenüber den RLS-90 führt. Der Grund ist das Rechenverfahren der BUB, das anders vorgeht als die übrigen Rechenverfahren. Alle an der Schallausbreitung beteiligten Parameter haben hier Einfluss auf die Differenz zu allen übrigen Vorschriften. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass man über einen anderen Standardwert für G die BUB so abstimmen könnte, dass die Differenzen zu den übrigen Rechenverfahren im Mittel geringer ausfallen.

Tabelle 37: Unterschiede der Immissionspegel durch geometrische Schallausbreitung (Reflexionen an einer Wand mit Absorptionsverlust von 1 dB)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB			
		L _r /dB(A)	L _r /dB(A)	ΔL _r /dB	L _{r,T} /dB(A)	ΔL _{r,T} /dB	L _{r,N} /dB(A)	ΔL _{r,N} /dB	L _{r,T} /dB(A)	ΔL _{r,T} /dB	L _{r,N} /dB(A)	ΔL _{r,N} /dB	
2 m	10 m	60,96	60,95	-0,01	60,82	-0,14	60,96	0,00	60,64	-0,32	60,76	-0,20	
2 m	25 m	55,18	55,17	-0,01	54,52	-0,66	55,18	0,00	56,65	1,47	56,98	1,80	
2 m	50 m	51,15	51,15	0,00	49,83	-1,32	51,15	0,00	53,32	2,17	54,09	2,94	
2 m	100 m	47,32	47,32	0,00	45,68	-1,64	47,32	0,00	49,83	2,51	51,49	4,17	
2 m	200 m	43,10	43,09	-0,01	41,29	-1,81	43,10	0,00	46,25	3,15	48,58	5,48	
2 m	400 m	37,90	37,89	-0,01	36,01	-1,89	37,90	0,00	41,81	3,91	44,37	6,47	
2 m	800 m	30,98	30,98	0,00	29,04	-1,94	30,98	0,00	35,44	4,46	38,13	7,15	
4 m	10 m	61,28	61,27	-0,01	61,22	-0,06	61,28	0,00	60,57	-0,71	60,61	-0,67	
4 m	25 m	56,45	56,45	0,00	56,26	-0,19	56,45	0,00	56,86	0,41	56,98	0,53	
4 m	50 m	51,72	51,72	0,00	50,97	-0,75	51,72	0,00	53,61	1,89	53,85	2,13	
4 m	100 m	47,60	47,59	-0,01	46,25	-1,35	47,60	0,00	49,95	2,35	50,59	2,99	
4 m	200 m	43,24	43,23	-0,01	41,59	-1,65	43,24	0,00	46,03	2,79	47,64	4,40	
4 m	400 m	37,97	37,97	0,00	36,17	-1,80	37,97	0,00	41,43	3,46	43,81	5,84	
4 m	800 m	31,02	31,02	0,00	29,13	-1,89	31,02	0,00	35,14	4,12	37,83	6,81	

L_r korrigierter Immissionspegel (►Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 38: Unterschiede der Reflexionsanteile durch geometrische Schallausbreitung (Reflexionen an einer Wand mit Absorptionsverlust von 1 dB)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB			
		L _r /dB(A)	L _r /dB(A)	ΔL _r /dB	L _{r,T} /dB(A)	ΔL _{r,T} /dB	L _{r,N} /dB(A)	ΔL _{r,N} /dB	L _{r,T} /dB(A)	ΔL _{r,T} /dB	L _{r,N} /dB(A)	ΔL _{r,N} /dB	
2 m	10 m	53,93 (20%)	53,93 (20%)	0,00	53,60 (19%)	-0,33	53,93 (20%)	0,00	54,67 (25%)	0,74	54,86 (26%)	0,93	
2 m	25 m	50,09 (31%)	50,08 (31%)	0,00	49,10 (29%)	-0,99	50,09 (31%)	0,00	51,93 (34%)	1,85	52,36 (34%)	2,27	
2 m	50 m	46,92 (38%)	46,92 (38%)	0,00	45,52 (37%)	-1,40	46,92 (38%)	0,00	49,18 (38%)	2,25	50,08 (40%)	3,16	
2 m	100 m	43,43 (41%)	43,42 (41%)	0,00	41,76 (41%)	-1,66	43,43 (41%)	0,00	45,94 (41%)	2,52	47,69 (42%)	4,26	
2 m	200 m	39,35 (42%)	39,35 (42%)	-0,01	37,54 (42%)	-1,81	39,35 (42%)	0,00	42,54 (43%)	3,19	44,89 (43%)	5,54	
2 m	400 m	34,23 (43%)	34,22 (43%)	0,00	32,33 (43%)	-1,89	34,23 (43%)	0,00	38,15 (43%)	3,92	40,71 (43%)	6,48	
2 m	800 m	27,35 (43%)	27,35 (43%)	0,00	25,41 (43%)	-1,94	27,35 (43%)	0,00	31,82 (43%)	4,47	34,51 (43%)	7,16	
4 m	10 m	55,19 (25%)	55,18 (25%)	-0,01	55,08 (24%)	-0,11	55,19 (25%)	0,00	54,81 (27%)	-0,38	54,86 (27%)	-0,32	
4 m	25 m	51,03 (29%)	51,02 (29%)	0,00	50,71 (28%)	-0,31	51,03 (29%)	0,00	52,20 (34%)	1,17	52,34 (34%)	1,31	
4 m	50 m	47,41 (37%)	47,41 (37%)	0,00	46,51 (36%)	-0,91	47,41 (37%)	0,00	49,44 (38%)	2,02	49,72 (39%)	2,31	
4 m	100 m	43,68 (41%)	43,68 (41%)	-0,01	42,30 (40%)	-1,39	43,68 (41%)	0,00	46,08 (41%)	2,40	46,78 (42%)	3,10	
4 m	200 m	39,49 (42%)	39,48 (42%)	-0,01	37,83 (42%)	-1,66	39,49 (42%)	0,00	42,28 (42%)	2,79	43,95 (43%)	4,46	
4 m	400 m	34,30 (43%)	34,30 (43%)	0,00	32,49 (43%)	-1,81	34,30 (43%)	0,00	37,78 (43%)	3,48	40,17 (43%)	5,87	
4 m	800 m	27,39 (43%)	27,39 (43%)	0,00	25,50 (43%)	-1,89	27,39 (43%)	0,00	31,52 (43%)	4,13	34,21 (43%)	6,82	

L_r Reflexionsanteil des korrigierten Immissionspegels in dB(A) und in Prozent der Schallenergie (►Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des Reflexionsanteils des korrigierten Immissionspegels zum Reflexionsanteils des korrigierten Immissionspegels der RLS-90

In Tabelle 38 sind für dieselbe Situation ausschließlich die Reflexionsanteile dargestellt. Auch hier ist erkennbar, dass die RLS-90, RLS-19 und in der Nacht die VBUS nahezu identisch rechnen. Auch ist aus den prozentualen Anteilen der VBUS am Tag erkennbar, dass die relativen Anteile der Reflexionen an den Schallpegeln nur geringfügig von denen in der Nacht abweichen. Nach der BUB sind die prozentualen Reflexionsanteile am Immissionspegel nahe der Schallquelle geringfügig höher als nach den übrigen Vorschriften. Insgesamt ist keine größere Abweichung von der freien Schallausbreitung festzustellen.

3.4.3.2 Absorption

Die RLS-90, die RLS-19 und die VBUS bestimmen die Korrektur für die Spiegelschallquellen in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Reflektors (d.h. die Absorption bzw. Reflexionsminderung) mit Hilfe von vorgegebenen Summanden (► Tabelle 39). Die RLS-19 verwenden deutlich geringere Minderungen und verweisen auf das ADRIENNE-Verfahren nach DIN EN 1793-5 /17/. Dieses Verfahren bestimmt die Absorption in gerichteten Schallfeldern und ist vorgesehen für:

- Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallreflexion von Lärmschutzvorrichtungen, die entlang von Straßen einzubauen sind und die vor Ort oder an einem relevanten Abschnitt des Prüfkörpers zu messen sind
- Bestimmung der vor Ort gegebenen akustischen Eigenschaften der Schallreflexion von Lärmschutzvorrichtungen im tatsächlichen Einsatz
- Vergleich der Bemessungsspezifikationen mit den tatsächlichen Leistungsdaten nach Abschluss der Bauarbeiten
- Überprüfung der Langzeitwirksamkeit von Lärmschutzvorrichtungen (durch wiederholtes Anwenden des Verfahrens)

Die BUB (in Kraft getreten am 31.12.2018) verwendet den Sabine Absorptionskoeffizienten auf Basis der zurückgezogenen DIN EN 1793-1:2013-04 /15/ in diffusen Schallfeldern. Die in der BUB verwendete Ausgabe der Norm wurde bereits 2017 durch die DIN EN 1793-1:2017-07 /16/ abgelöst. Die neue Fassung aus 2017 bestimmt nicht weiter den Sabine Absorptionskoeffizienten (wie die Fassung aus 2013), sondern ein davon abweichendes Maß für die Absorption.

Tabelle 39: Korrektur für den Reflexionsverlust

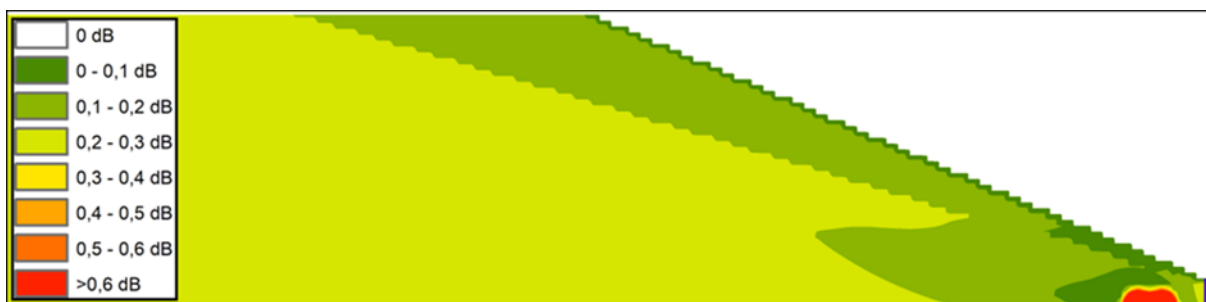
Reflexionsart	Korrektur $D_E/D_{RV1}/D_{RV2}/$			
	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
glatte Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände	-1 dB	0,5 dB	-1 dB	$10 \cdot \log(\alpha_r)$ mit α_r gemäß DIN EN 1793-1: 2013-04 /15/
gegliederte Hausfassaden (z.B. Fassaden mit Erkern, Balkonen etc.)	-2 dB	0,5 dB	-2 dB	
absorbierende Lärmschutzwände	-4 dB	3,0 dB	-4 dB	
hochabsorbierende Lärmschutzwände	-8 dB	5,0 dB	-8 dB	

Abbildung 57: Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, LSW reflektierend



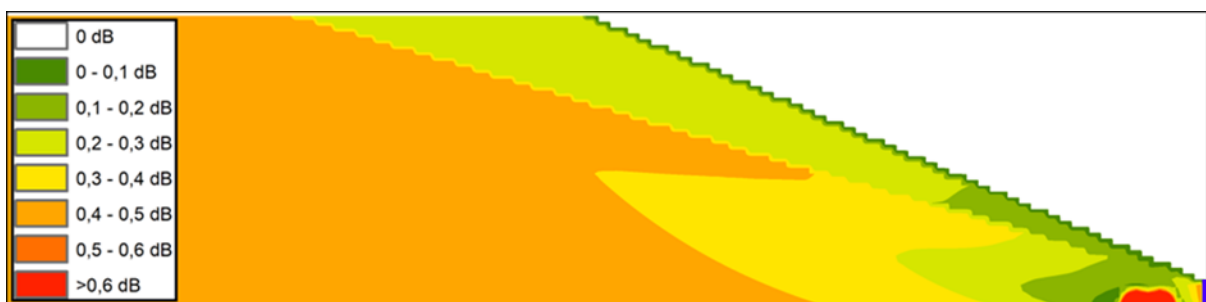
Änderung der Immissionen durch die Änderung der Korrekturen für die Absorption/den Reflexionsverlust. Dargestellt ist ein 0,1-m-Differenzraster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung (RLS-19 minus RLS-90), bei dem 50 m über der Straße die Differenz 0 dB beträgt. Die Straße befindet sich rechts im Bild. Die blaue Markierung rechts kennzeichnet eine Lärmschutzwand in 10 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 58: Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, LSW reflexionsmindernd/absorbierend



Änderung der Immissionen durch die Änderung der Korrekturen für die Absorption/den Reflexionsverlust. Dargestellt ist ein 0,1-m-Differenzraster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung (RLS-19 minus RLS-90), bei dem 50 m über der Straße die Differenz 0 dB beträgt. Die Straße befindet sich rechts im Bild. Die blaue Markierung rechts kennzeichnet eine Lärmschutzwand in 10 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 59: Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, LSW stark reflexionsmindernd/hochabsorbierend



Änderung der Immissionen durch die Änderung der Korrekturen für die Absorption/den Reflexionsverlust. Dargestellt ist ein 0,1-m-Differenzraster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung (RLS-19 minus RLS-90), bei dem 50 m über der Straße die Differenz 0 dB beträgt. Die Straße befindet sich rechts im Bild. Die blaue Markierung rechts kennzeichnet eine Lärmschutzwand in 10 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 57 ist zu entnehmen, dass nach den RLS-90 bei reflektierenden Wänden die Schallpegel gegenüber dem Reflektor um ca. 0,1 bis 0,2 dB zunehmen. Sind die Wände absorbierend bzw. reflexionsmindernd tritt ein nur geringfügig höherer Unterschied auf (► Abbildung 58). Vergleicht man dagegen die Auswirkung von hochabsorbierenden bzw. stark reflexionsmindernden Lärmschutzwänden, so zeigt sich ein Unterschied, der bereits in Entfernungen von weniger als 100 m zur Schallquelle 0,5 dB beträgt.

3.4.3.3 Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexionen

Nach den RLS-90, der VBUS und den RLS-19 werden neben der explizit berechneten Reflexion (► Kapitel 3.4.3.1) noch Zuschläge für Mehrfachreflexionen für Straßen zwischen reflektierenden Flächen berechnet. Die BUB kennen diesen Emissionszuschlag nicht.

Während die RLS-90 und die VBUS nur Reflexionen 1. Ordnung ermitteln, werden nach den RLS-19 auch die Reflexionen 2. Ordnung berechnet. Der Zuschlag für Mehrfachreflexionen fällt dafür nach den RLS-19 nur halb so hoch aus wie nach den RLS-90 bzw. entfällt bei reflexionsmindernden Wänden ganz.

Um die sich nach den RLS-90/VBUS und den RLS-19 ergebenden Unterschiede aufgrund der Mehrfachreflexion zu vergleichen, muss auch die zweite Reflexionsordnung nach den RLS-19 einbezogen werden. Berechnet wurde dazu ein Schnitt durch ein Modellgebiet (200 m breit, 50 m hoch, Lärmschutzwände 20 m hoch beidseitig der Straße mit 20 m Abstand zueinander am rechten Rand des Gebietes). Diese Wände repräsentieren Gebäudefassaden, Tröge oder parallele Wände.

Abbildung 60 vergleicht eine Straßenschlucht mit reflektierenden Wänden, die nach beiden Vorschriften eine Mehrfachreflexion erzeugt. Nach den RLS-19 werden dabei in der Straßenschlucht bis zu 1 dB geringere Immissionspegel berechnet. Außerhalb der Straßenschlucht werden 1,5 dB bis 2,0 dB geringere Schallpegelanstiege berechnet als nach den RLS-90/VBUS.

Abbildung 61 zeigt, dass bei absorbierenden Wänden (gemäß RLS-90) bzw. reflexionsmindernden Wänden (gemäß RLS-19) in der Straßenschlucht ebenfalls bis zu 1 dB geringere Immissionspegel nach den RLS-19 auftreten. In dieser Situation berechnen die RLS-90 eine verringerte Mehrfachreflexion, während die RLS-19 keinen Mehrfachreflexionszuschlag vergeben. Außerhalb der Straßenschlucht treten (je nach Höhe des Immissionsortes) ebenfalls ca. 1 dB geringere Immissionspegel auf.

Abbildung 62 zeigt die Situation mit Wänden, die nach beiden Vorschriften keine Mehrfachreflexion erzeugen (hochabsorbierend/stark reflexionsmindernd). Daher ergeben sich Zuschläge von bis zu etwa 2,5 dB durch die Reflexionen 2. Ordnung nach RLS-19.

Da nach den BUB keine Mehrfachreflexionen und im Rahmen der Lärmkartierung nur die 1. Reflexionsordnung berechnet werden, können zwischen RLS-90 und BUB Unterschiede in der Größenordnung des maximalen Mehrfachreflexionszuschlags von bis zu 3,2 dB auftreten. Zu den RLS-19 und der VBUS ist in den meisten Fällen ein etwas geringerer Unterschied zu erwarten.

Abbildung 60: Mehrfachreflexion bei reflektierenden Wänden

Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, Wände reflektierend



Differenz der Immissionen durch die Mehrfachreflexionszuschläge, die Unterschiede in der anzusetzenden Reflexionsminderung und die 2. Reflexionsordnung nach den RLS-19. Dargestellt ist ein 1-m-Differenzraster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung (RLS-19 minus RLS-90), bei dem 50 m über der Straße die Differenz 0 dB beträgt. Die Straße befindet sich rechts im Bild. Die blaue Markierung rechts kennzeichnet eine Lärmschutzwand in 10 m Entfernung zur Mittelachse der Straße.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 61: Mehrfachreflexion bei absorbierenden Wänden

Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, Wände absorbierend (RLS-90) / reflexionsmindernd (RLS-19)



Differenz der Immissionen durch die Mehrfachreflexionszuschläge, die Unterschiede in der anzusetzenden Reflexionsminderung und die 2. Reflexionsordnung nach den RLS-19. Dargestellt ist ein 1-m-Differenzraster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung (RLS-19 minus RLS-90), bei dem 50 m über der Straße die Differenz 0 dB beträgt. Die Straße befindet sich rechts im Bild. Die blaue Markierung rechts kennzeichnet eine Lärmschutzwand in 10 m Entfernung zur Mittelachse der Straße.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 62: Mehrfachreflexion bei hochabsorbierenden Wänden

Differenz RLS-19 gegenüber RLS-90, Wände hochabsorbierend (RLS-90) / stark reflexionsmindernd (RLS-19)



Differenz der Immissionen durch die Unterschiede in der anzusetzenden Reflexionsminderung und die 2. Reflexionsordnung nach den RLS-19. Dargestellt ist ein 1-m-Differenzraster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung (RLS-19 minus RLS-90), bei dem 50 m über der Straße die Differenz 0 dB beträgt. Die Straße befindet sich rechts im Bild. Die blaue Markierung rechts kennzeichnet eine Lärmschutzwand in 10 m Entfernung zur Mittelachse der Straße.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

3.5 Weitere Besonderheiten

3.5.1 Bodenfaktor G nach der BUB

Abweichend von den übrigen Vorschriften wird nach der BUB die Bodendämpfung differenziert berechnet. Im Rahmen der Lärmkartierung wird dabei allerdings durchgehend mit dem Bodenfaktor $G=0,3$ gerechnet.

Da die RLS-90, die RLS-19 und die VBUS den Parameter nicht in die Berechnung einbeziehen, hat der Aufbau des Bodens keinen Einfluss auf die Immissionspegel dieser Vorschriften.

Tabelle 40 zeigt die Änderungen im Immissionspegel, die sich bei freier Schallausbreitung gegenüber dem für die Lärmkartierung vorgegeben überwiegend schallharten Boden ($G=0,3$) nach der BUB ergeben.

Tabelle 40: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G gegenüber $G=0,3$ bei freier Schallausbreitung in dB

Abweichung der Immissionspegel in dB bei freier Schallausbreitung gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenfaktor $G=0,3$.

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
2 m	10 m	0,45	0,49	-0,27	-0,32	-0,51	-0,60	-0,82	-0,98	-1,16	-1,46
2 m	25 m	0,96	1,04	-0,69	-0,80	-1,38	-1,67	-2,26	-2,84	-3,14	-4,10
2 m	50 m	1,70	1,74	-1,63	-1,70	-3,21	-3,24	-5,47	-5,44	-7,37	-7,16
2 m	100 m	2,87	2,63	-2,78	-2,65	-5,01	-4,77	-7,22	-6,62	-8,62	-7,81
2 m	200 m	3,27	2,65	-2,59	-2,50	-4,46	-4,13	-5,89	-5,42	-7,27	-6,75
2 m	400 m	3,15	2,46	-1,67	-1,43	-2,80	-2,46	-4,51	-4,14	-6,27	-5,88
2 m	800 m	3,30	2,57	-1,49	-1,28	-2,81	-2,57	-4,56	-4,28	-6,28	-5,99
4 m	10 m	0,23	0,24	-0,13	-0,13	-0,26	-0,29	-0,43	-0,50	-0,60	-0,72
4 m	25 m	0,46	0,49	-0,27	-0,29	-0,59	-0,67	-1,02	-1,25	-1,51	-1,98
4 m	50 m	0,81	0,85	-0,54	-0,55	-1,30	-1,53	-2,13	-2,60	-3,10	-4,08
4 m	100 m	1,43	1,44	-1,22	-1,10	-2,76	-2,55	-5,15	-4,94	-6,95	-6,44
4 m	200 m	2,47	2,20	-1,64	-1,11	-4,50	-3,88	-6,37	-5,54	-7,73	-6,75
4 m	400 m	2,94	2,24	-1,54	-1,19	-3,72	-3,31	-4,89	-4,40	-6,11	-5,58
4 m	800 m	3,28	2,44	-1,40	-1,22	-2,67	-2,44	-4,33	-4,07	-5,97	-5,69

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

In Tabelle 41 bis Tabelle 46 wird gegenübergestellt, wie sich diese Unterschiede im Verhältnis zu den übrigen Rechenvorschriften auswirken. Tabelle 42 wiederholt der Übersichtlichkeit halber Tabelle 33.

Tabelle 41: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,0$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,0)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	59,82	-0,18	59,96	-0,04	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	55,82	2,25	56,19	2,62	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	52,91	3,82	53,63	4,54	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	50,41	5,36	51,78	6,73	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	47,11	6,40	48,80	8,09	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	42,52	7,06	44,38	8,92	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	36,27	7,76	38,22	9,71	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	59,46	-0,59	59,50	-0,55	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	55,51	0,53	55,64	0,66	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	52,32	2,61	52,58	2,87	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	49,09	3,76	49,69	4,36	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	46,12	5,26	47,42	6,56	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	41,92	6,38	43,60	8,06	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	35,95	7,40	37,79	9,24	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 42: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,3$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,3)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	59,37	-0,63	59,47	-0,53	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	54,86	1,29	55,15	1,58	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	51,21	2,12	51,89	2,80	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	47,54	2,49	49,15	4,10	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	43,84	3,13	46,15	5,44	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	39,37	3,91	41,92	6,46	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	32,97	4,46	35,65	7,14	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	59,23	-0,82	59,26	-0,79	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	55,05	0,07	55,15	0,17	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	51,51	1,80	51,73	2,02	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	47,66	2,33	48,25	2,92	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	43,65	2,79	45,22	4,36	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	38,98	3,44	41,36	5,82	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	32,67	4,12	35,35	6,80	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 43: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,45$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,45)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	59,10	-0,90	59,15	-0,85	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	54,17	0,60	54,35	0,78	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	49,58	0,49	50,19	1,10	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	44,76	-0,29	46,50	1,45	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	41,25	0,54	43,65	2,94	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	37,70	2,24	40,49	5,03	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	31,48	2,97	34,37	5,86	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	59,10	-0,95	59,13	-0,92	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	54,78	-0,20	54,86	-0,12	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	50,97	1,26	51,18	1,47	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	46,44	1,11	47,15	1,82	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	42,01	1,15	44,11	3,25	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	37,44	1,90	40,17	4,63	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	31,27	2,72	34,13	5,58	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 44: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,6$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,6)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	58,86	-1,14	58,87	-1,13	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	53,48	-0,09	53,48	-0,09	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	48,00	-1,09	48,65	-0,44	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	42,53	-2,52	44,38	-0,67	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	39,38	-1,33	42,02	1,31	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	36,57	1,11	39,46	4,00	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	30,16	1,65	33,08	4,57	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	58,97	-1,08	58,97	-1,08	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	54,46	-0,52	54,48	-0,50	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	50,21	0,50	50,20	0,49	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	44,90	-0,43	45,70	0,37	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	39,15	-1,71	41,34	0,48	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	35,26	-0,28	38,05	2,51	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	30,00	1,45	32,91	4,36	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 45: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=0,8$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,8)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	58,55	-1,45	58,49	-1,51	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	52,60	-0,97	52,31	-1,26	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	45,74	-3,35	46,45	-2,64	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	40,32	-4,73	42,53	-2,52	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	37,95	-2,76	40,73	0,02	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	34,86	-0,60	37,78	2,32	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	28,41	-0,10	31,37	2,86	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	58,80	-1,25	58,76	-1,29	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	54,03	-0,95	53,90	-1,08	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	49,38	-0,33	49,13	-0,58	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	42,51	-2,82	43,31	-2,02	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	37,28	-3,58	39,68	-1,18	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	34,09	-1,45	36,96	1,42	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	28,34	-0,21	31,28	2,73	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 46: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (freie Schallausbreitung, $G=1,0$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=1,0)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	58,21	-1,79	58,01	-1,99	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	51,72	-1,85	51,05	-2,52	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	43,84	-5,25	44,73	-4,36	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	38,92	-6,13	41,34	-3,71	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	36,57	-4,14	39,40	-1,31	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	33,10	-2,36	36,04	0,58	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	26,69	-1,82	29,66	1,15	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	58,63	-1,42	58,54	-1,51	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	53,54	-1,44	53,17	-1,81	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	48,41	-1,30	47,65	-2,06	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	40,71	-4,62	41,81	-3,52	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	35,92	-4,94	38,47	-2,39	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	32,87	-2,67	35,78	0,24	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	26,70	-1,85	29,66	1,11	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Aus Tabelle 47 ist ersichtlich, wie sich die Änderungen im Immissionspegel hinter einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Straßenachse ergeben.

Tabelle 47: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G gegenüber $G=0,3$ mit einer 4 m Lärmschutzwand in dB

Abweichung der Immissionspegel in dB hinter einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Straßenachse gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenfaktor $G=0,3$.

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
2 m	10 m	1,90	2,17	-0,89	-1,02	-1,74	-2,01	-2,80	-3,28	-3,79	-4,50
2 m	25 m	1,80	1,99	-0,82	-0,94	-1,61	-1,86	-2,61	-3,06	-3,52	-4,15
2 m	50 m	1,35	1,27	-0,63	-0,64	-1,19	-1,29	-1,89	-2,07	-2,56	-2,84
2 m	100 m	1,57	1,36	-0,74	-0,70	-1,36	-1,42	-2,12	-2,23	-2,76	-2,95
2 m	200 m	2,21	1,68	-1,11	-0,94	-1,81	-1,86	-2,48	-2,81	-3,16	-3,66
2 m	400 m	2,80	2,13	-1,21	-1,03	-2,08	-1,95	-3,34	-3,32	-4,48	-4,68
2 m	800 m	3,12	2,37	-1,29	-1,16	-2,49	-2,32	-4,04	-3,88	-5,50	-5,44
4 m	10 m	1,66	2,07	-1,00	-1,34	-1,64	-2,16	-2,22	-2,87	-2,74	-3,49
4 m	25 m	1,44	1,66	-0,75	-0,92	-1,59	-2,00	-2,23	-2,71	-2,92	-3,53
4 m	50 m	1,09	1,05	-0,44	-0,46	-0,90	-0,95	-1,51	-1,61	-2,14	-2,35
4 m	100 m	1,27	1,17	-0,45	-0,47	-0,93	-0,98	-1,56	-1,67	-2,17	-2,36
4 m	200 m	1,64	1,39	-0,52	-0,55	-1,08	-1,15	-1,78	-1,97	-2,41	-2,77
4 m	400 m	2,59	1,97	-0,68	-0,84	-1,22	-1,70	-2,09	-2,85	-2,93	-3,98
4 m	800 m	3,05	2,30	-1,06	-1,07	-2,10	-2,14	-3,36	-3,59	-4,53	-5,05

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 48: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=0,0$)

h	s	RLS-90	RLS-19		VBUS				BUB ($G=0,0$)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	46,74	-13,26	48,81	-11,19
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	42,42	-11,15	44,28	-9,29
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	36,19	-12,90	36,76	-12,33
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	32,17	-12,88	32,71	-12,34
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	28,12	-12,59	29,03	-11,68
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	23,80	-11,66	25,25	-10,21
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	18,06	-10,45	19,80	-8,71
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	48,33	-11,72	50,09	-9,96
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	42,27	-12,71	43,88	-11,10
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	36,28	-13,43	36,70	-13,01
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	32,00	-13,33	32,30	-13,03
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	27,59	-13,27	28,10	-12,76
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	23,27	-12,27	24,47	-11,07
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	17,73	-10,82	19,37	-9,18

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

In Tabelle 48 bis Tabelle 53 wird gegenübergestellt, wie sich diese Unterschiede im Verhältnis zu den übrigen Rechenvorschriften auswirken. Tabelle 49 wiederholt der Übersichtlichkeit halber Tabelle 33.

Tabelle 49: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, G=0,3)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,3)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	44,84	0,15	46,64	1,95	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	40,62	-0,64	42,29	1,03	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	34,84	-2,95	35,49	-2,3	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	30,6	-3,01	31,35	-2,26	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	25,91	-2,91	27,35	-1,47	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	21	-2,52	23,12	-0,4	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	14,94	-2,6	17,43	-0,11	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	46,67	-1,35	48,02	0	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	40,83	-1,48	42,22	-0,09	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	35,19	-3,16	35,65	-2,7	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	30,73	-3,2	31,13	-2,8	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	25,95	-3,05	26,71	-2,29	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	20,68	-2,94	22,5	-1,12	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	14,68	-2,91	17,07	-0,52	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 50: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, G=0,45)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,45)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	43,95	-16,05	45,62	-14,38	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	39,80	-13,77	41,35	-12,22	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	34,21	-14,88	34,85	-14,24	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	29,86	-15,19	30,65	-14,40	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	24,80	-15,91	26,41	-14,30	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	19,79	-15,67	22,09	-13,37	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	13,65	-14,86	16,27	-12,24	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	45,67	-14,38	46,68	-13,37	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	40,08	-14,90	41,30	-13,68	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	34,75	-14,96	35,19	-14,52	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	30,28	-15,05	30,66	-14,67	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	25,43	-15,43	26,16	-14,70	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	20,00	-15,54	21,66	-13,88	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	13,62	-14,93	16,00	-12,55	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 51: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, G=0,6)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,6)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	43,10	-16,90	44,63	-15,37	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	39,01	-14,56	40,43	-13,14	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	33,65	-15,44	34,20	-14,89	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	29,24	-15,81	29,93	-15,12	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	24,10	-16,61	25,49	-15,22	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	18,92	-16,54	21,17	-14,29	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	12,45	-16,06	15,11	-13,40	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	45,03	-15,02	45,86	-14,19	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	39,24	-15,74	40,22	-14,76	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	34,29	-15,42	34,70	-15,01	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	29,80	-15,53	30,15	-15,18	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	24,87	-15,99	25,56	-15,30	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	19,46	-16,08	20,80	-14,74	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	12,58	-15,97	14,93	-13,62	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 52: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, G=0,8)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=0,8)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	42,04	-17,96	43,36	-16,64	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	38,01	-15,56	39,23	-14,34	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	32,95	-16,14	33,42	-15,67	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	28,48	-16,57	29,12	-15,93	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	23,43	-17,28	24,54	-16,17	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	17,66	-17,80	19,80	-15,66	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	10,90	-17,61	13,55	-14,96	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	44,45	-15,60	45,15	-14,90	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	38,60	-16,38	39,51	-15,47	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	33,68	-16,03	34,04	-15,67	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	29,17	-16,16	29,46	-15,87	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	24,17	-16,69	24,74	-16,12	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	18,59	-16,95	19,65	-15,89	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	11,32	-17,23	13,48	-15,07	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 53: Immissionspegel und Unterschiede zur RLS-90 (4 m LSW, $G=1,0$)

h	s	RLS-90	RLS-19			VBUS				BUB (G=1,0)			
		L_r /dB(A)	L_r /dB(A)	ΔL_r /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	$L_{r,T}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,T}$ /dB	$L_{r,N}$ /dB(A)	$\Delta L_{r,N}$ /dB	
2 m	10 m	60,00	59,99	-0,01	59,90	-0,10	60,00	0,00	41,05	-18,95	42,14	-17,86	
2 m	25 m	53,57	53,56	-0,01	53,05	-0,52	53,57	0,00	37,10	-16,47	38,14	-15,43	
2 m	50 m	49,09	49,09	0,00	47,81	-1,28	49,09	0,00	32,28	-16,81	32,65	-16,44	
2 m	100 m	45,05	45,04	-0,01	43,42	-1,63	45,05	0,00	27,84	-17,21	28,40	-16,65	
2 m	200 m	40,71	40,71	0,00	38,91	-1,80	40,71	0,00	22,75	-17,96	23,69	-17,02	
2 m	400 m	35,46	35,46	0,00	33,57	-1,89	35,46	0,00	16,52	-18,94	18,44	-17,02	
2 m	800 m	28,51	28,51	0,00	26,57	-1,94	28,51	0,00	9,44	-19,07	11,99	-16,52	
4 m	10 m	60,05	60,05	0,00	60,01	-0,04	60,05	0,00	43,93	-16,12	44,53	-15,52	
4 m	25 m	54,98	54,98	0,00	54,84	-0,14	54,98	0,00	37,91	-17,07	38,69	-16,29	
4 m	50 m	49,71	49,71	0,00	49,05	-0,66	49,71	0,00	33,05	-16,66	33,30	-16,41	
4 m	100 m	45,33	45,33	0,00	44,01	-1,32	45,33	0,00	28,56	-16,77	28,77	-16,56	
4 m	200 m	40,86	40,86	0,00	39,22	-1,64	40,86	0,00	23,54	-17,32	23,94	-16,92	
4 m	400 m	35,54	35,54	0,00	33,74	-1,80	35,54	0,00	17,75	-17,79	18,52	-17,02	
4 m	800 m	28,55	28,55	0,00	26,66	-1,89	28,55	0,00	10,15	-18,40	12,02	-16,53	

L_r korrigierter Immissionspegel (► Tabelle 32)

ΔL_r Differenz des korrigierten Immissionspegels zum Immissionspegel der RLS-90

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

3.5.2 Homogene vs. günstige Ausbreitung nach der BUB

Für die Lärmkartierung (nach VBUS und BUB) werden unterschiedliche Schallpegel für die Zeiträume „Tag“, „Abend“ und „Nacht“ mit jeweils anderen meteorologischen Korrekturen ermittelt. Die VBUS berechnet dazu einen pauschalen, entfernungsabhängigen Abzug (► Kapitel 2.4.1). Nach der BUB wird die Schallausbreitung für homogene und für günstige Ausbreitungsbedingungen getrennt durchgeführt und je nach Beurteilungszeit am Immissionsort in unterschiedlichen Verhältnissen zusammengefasst.

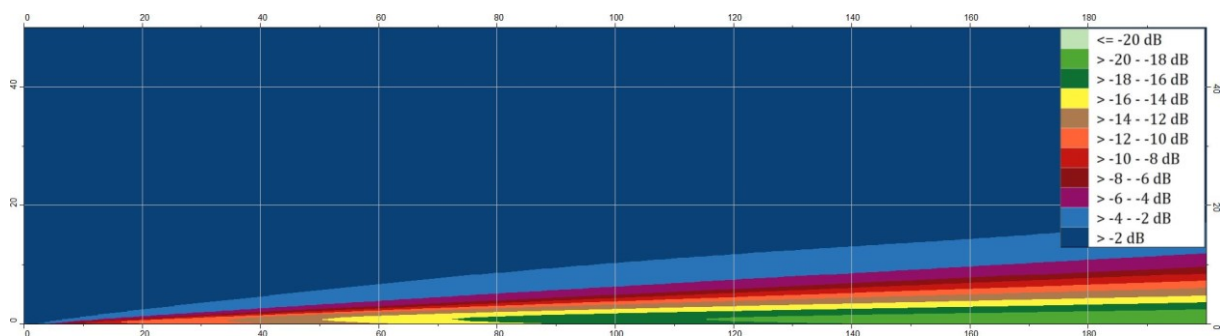
Für den Referenzzeitraum „Tag“ wird dazu ein Anteil günstiger Ausbreitungsbedingungen von $p_{Day} = 0,50$, für den Referenzzeitraum „Abend“ von $p_{Evening} = 0,75$ und für den Referenzzeitraum „Nacht“ von $p_{Night} = 1,00$ verwendet.

Der Abend liegt damit nicht nur zeitlich, sondern auch von den Schallpegeln zwischen Tag und Nacht. Da er darüber hinaus ausschließlich für die Lärmkartierung nach der VBUS und der BUB berechnet wird, betrachten wir im Folgenden den Abend nicht getrennt. Zum besseren Verständnis der Unterschiede werden dagegen die homogene und die günstige Schallausbreitung getrennt untersucht.

Abbildung 63 zeigt den Unterschied, der sich bei homogener, freier Schallausbreitung zwischen schallhartem ($G=1$) und schallweichem ($G=0$) Boden ergibt. Daraus wird ersichtlich, dass in 200 m Entfernung die Unterschiede in Bodennähe nahezu 20 dB erreichen und mit zunehmender Höhe abnehmen.

In Abbildung 64 ist dieselbe Situation für günstige Ausbreitungsbedingungen dargestellt. Aufgrund des geringeren Einflusses der Bodeneigenschaften in Bodennähe sind die Unterschiede zwischen hartem und weichem Boden dort geringer (bis zu etwa 10 dB).

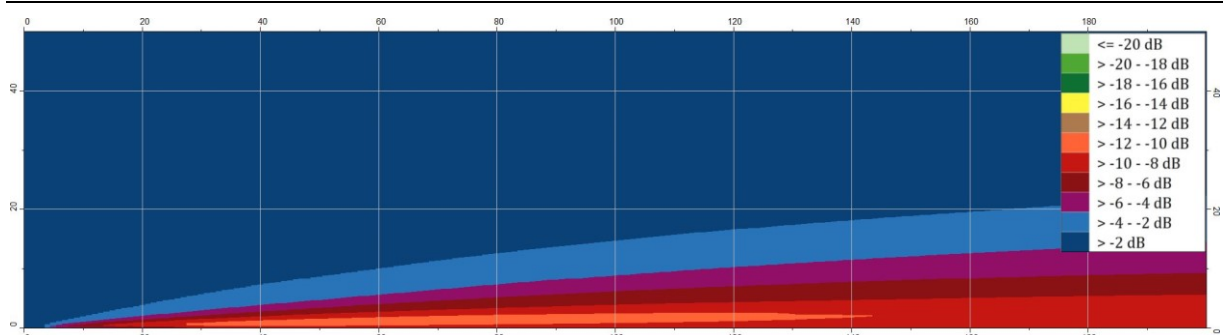
Abbildung 63: Differenz Bodenfaktor $G=1$ zu $G=0$; 100 % homogene, freie Schallausbreitung



Differenz der Immissionspegel zwischen $G=1$ (schallharter Boden) und $G=0$ (weicher Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 64: Differenz Bodenfaktor $G=1$ zu $G=0$; 100 % günstige, freie Schallausbreitung



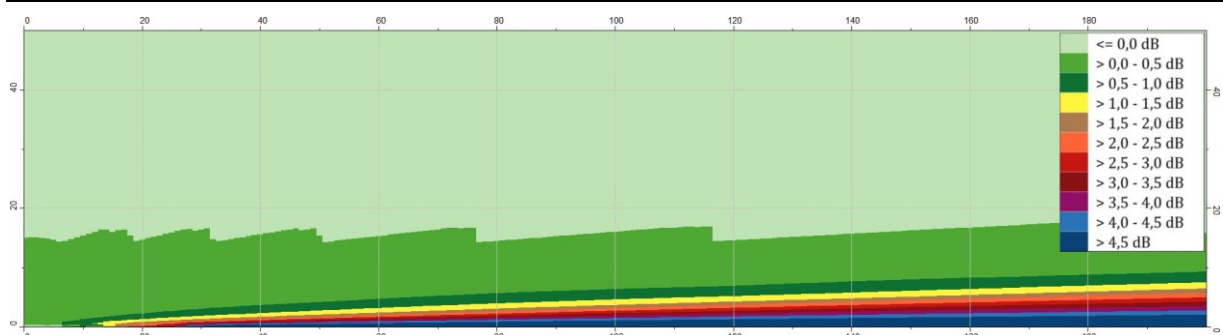
Differenz der Immissionspegel zwischen $G=1$ (schallharter Boden) und $G=0$ (weicher Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 65 zeigt die Differenz, die sich nach der BUB zwischen günstigen und homogenen Ausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung über schallweichem Boden ergeben. Bei schallhartem Boden ($G=1$, Abbildung 66) sind die Unterschiede deutlich größer (andere Skala als in Abbildung 65).

In Abbildung 65 ist an der Grenze zur Differenz 0 dB die Auswirkung der Teilstückzerlegung erkennbar. Die sich daraus ergebenden Unterschiede sind jedoch gering und lassen sich ggf. durch feinere Aufteilung in Einzelquellen (Teilstücke) reduzieren.

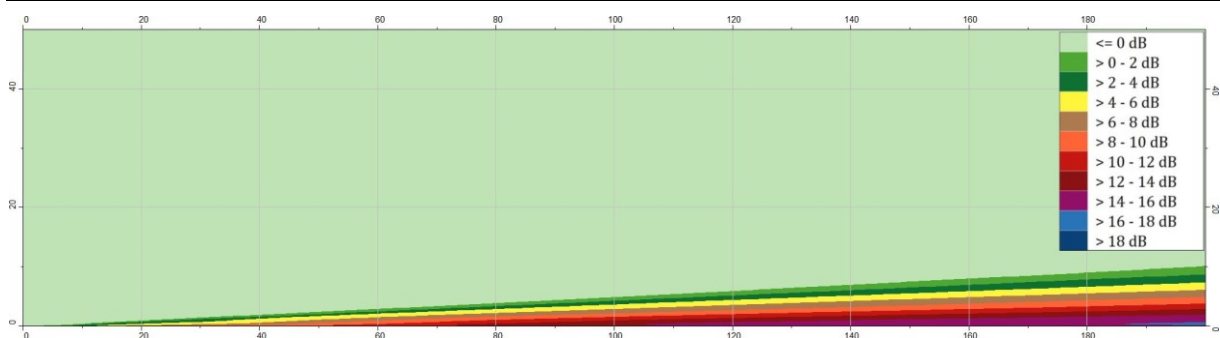
Abbildung 65: Differenz günstige zu homogener, freier Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=0$



Differenz der Immissionspegel zwischen günstigen und homogenen Ausbreitungsbedingungen mit $G=0$ (schallweicher Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 66: Differenz günstige zu homogener, freier Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=1$



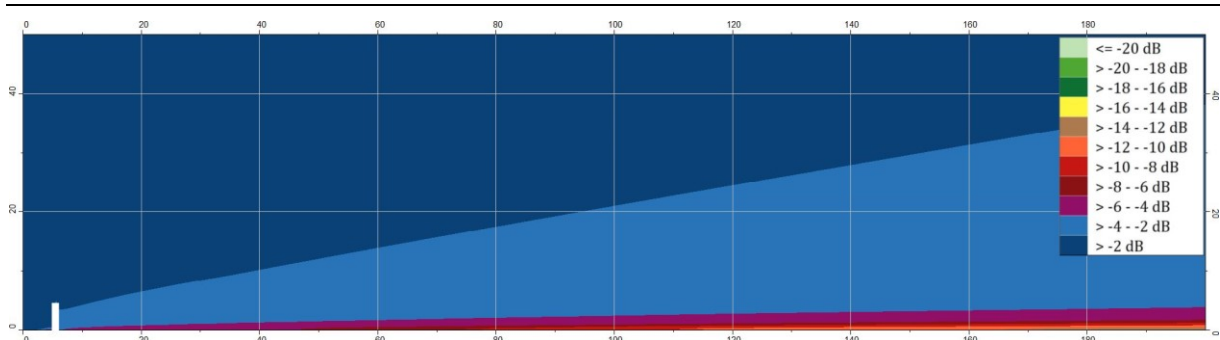
Differenz der Immissionspegel günstigen und homogenen Ausbreitungsbedingungen mit $G=1$ (schallharter Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein Raster mit der horizontalen Auflösung 1 m und vertikalen Auflösung 0,1 m in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung bei freier Schallausbreitung. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 67 zeigt den Unterschied, der sich bei homogener Schallausbreitung hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand zwischen schallhartem ($G=1$) und schallweichem ($G=0$) Boden ergibt. Daraus wird ersichtlich, dass in 200 m Entfernung in einer Höhe von 4 m ein Unterschied von etwa 4 dB auftritt.

In Abbildung 68 ist dieselbe Situation für günstige Ausbreitungsbedingungen dargestellt. Hier sind nur geringe Unterschiede zwischen homogener und günstiger Schallausbreitung erkennbar.

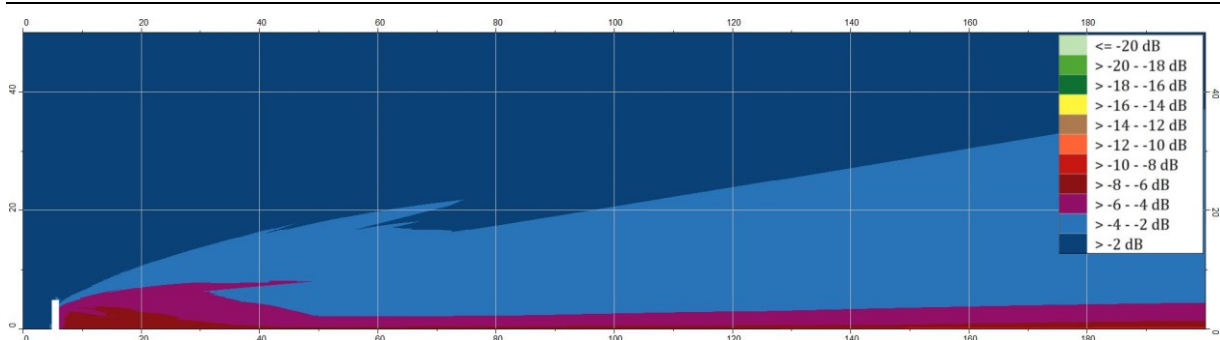
Abbildung 67: Differenz $G=1$ zu $G=0$, 100 % homogene Schallausbreitung; 4 m Lärmschutzwand



Differenz der Immissionspegel zwischen $G=1$ (schallharter Boden) und $G=0$ (schallweicher Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein 0,1-m-Raster in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung mit einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 68: Differenz $G=1$ zu $G=0$, 100 % günstige Schallausbreitung; 4 m Lärmschutzwand

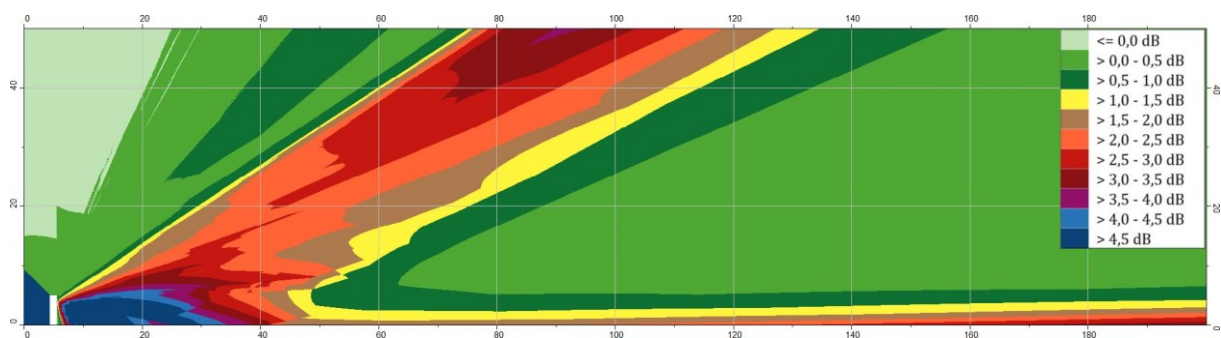


Differenz der Immissionspegel zwischen $G=1$ (schallharter Boden) und $G=0$ (schallweicher Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein Raster mit der horizontalen Auflösung 1m und vertikalen Auflösung 0,1m in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung mit einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 69 zeigt die Differenzen, die sich nach der BUB zwischen günstigen und homogenen Ausbreitungsbedingungen bei der Schallausbreitung hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand über weichen Boden ergeben. Vor und direkt hinter der Wand sind bei günstigen Schallausbreitungsbedingungen um bis zu 5 dB höhere Schallpegel festzustellen, als bei homogenen Schallausbreitungsbedingungen. Ist der Boden schallhart, so fallen die Unterschiede geringer aus (► Abbildung 70).

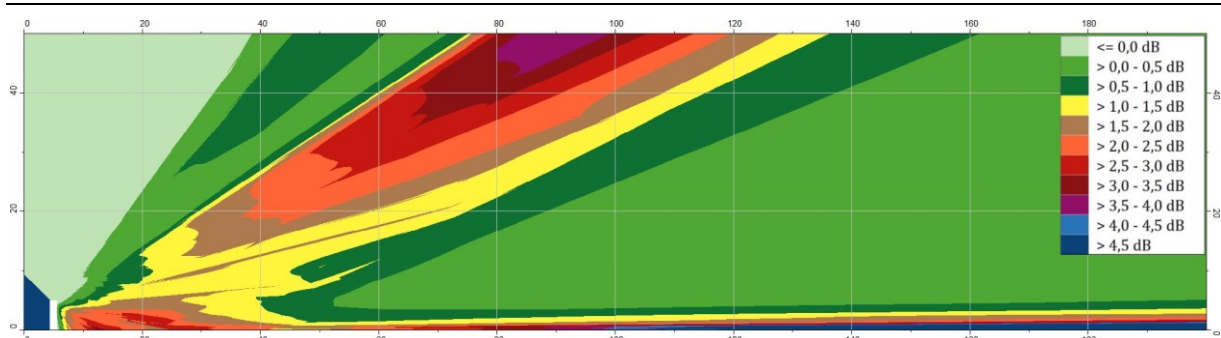
Abbildung 69: Differenz günstige Schallausbreitung zu homogener Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=0$, 4 m Lärmschutzwand



Differenz der Immissionspegel zwischen günstigen und homogenen Ausbreitungsbedingungen mit $G=0$ (schallweicher Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein Raster mit der horizontalen Auflösung 1 m und vertikalen Auflösung 0,1 m in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung mit einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Abbildung 70: Differenz günstige Schallausbreitung zu homogener Schallausbreitung; Bodenfaktor $G=1$, 4 m Lärmschutzwand



Differenz der Immissionspegel günstigen und homogenen Ausbreitungsbedingungen mit $G=1$ (schallharter Boden) nach der BUB. Dargestellt ist ein Raster mit der horizontalen Auflösung 1 m und vertikalen Auflösung 0,1 m in bis zu 50 m Höhe und 200 m Entfernung mit einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße. Die Mitte der Straße befindet sich am linken Bildrand.

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH

Aus Abbildung 63 bis Abbildung 70 ist ersichtlich, dass sich gerade in Bodennähe relevante Unterschiede ergeben. Dies ist in einer grafischen Darstellung für größere Entfernungen nicht gut erkennbar. Daher werden im Folgenden die bisherigen Grafiken durch bodennahe Punktberechnungen in bis zu 800 m Entfernung ergänzt. Dabei werden in den entsprechenden Tabellen getrennt für homogene und günstige Schallausbreitungsbedingungen die Unterschiede (in dB) dargestellt, die sich gegenüber dem für die Lärmkartierung festgelegten Wert von $G=0,3$ ergeben.

Tabelle 54 führt die Differenzen bei freier Schallausbreitung (entspricht Abbildung 63 bis Abbildung 66) und Tabelle 55 hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand auf (entspricht Abbildung 67 bis Abbildung 70).

Tabelle 54: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung in dB

Abweichung der Immissionspegel in dB bei freier Schallausbreitung gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenparameter $G=0,3$. Die Schallquelle wird standardmäßig in Teilstücke zerlegt.

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig
2 m	10 m	0,40	0,49	-0,23	-0,32	-0,42	-0,60	-0,66	-0,98	-0,87	-1,46
2 m	25 m	0,87	1,04	-0,57	-0,80	-1,07	-1,67	-1,68	-2,84	-2,26	-4,10
2 m	50 m	1,64	1,74	-1,53	-1,70	-3,15	-3,24	-5,51	-5,44	-7,68	-7,16
2 m	100 m	3,45	2,63	-3,14	-2,65	-5,74	-4,77	-9,37	-6,62	-11,99	-7,81
2 m	200 m	5,72	2,65	-3,18	-2,50	-7,16	-4,13	-10,62	-5,42	-12,88	-6,75
2 m	400 m	6,83	2,46	-4,84	-1,43	-8,63	-2,46	-11,58	-4,14	-14,89	-5,88
2 m	800 m	8,05	2,57	-5,75	-1,28	-8,42	-2,57	-12,67	-4,28	-15,21	-5,99
4 m	10 m	0,21	0,24	-0,12	-0,13	-0,23	-0,29	-0,36	-0,50	-0,48	-0,72
4 m	25 m	0,44	0,49	-0,26	-0,29	-0,52	-0,67	-0,79	-1,25	-1,07	-1,98
4 m	50 m	0,76	0,85	-0,53	-0,55	-1,06	-1,53	-1,67	-2,60	-2,22	-4,08
4 m	100 m	1,43	1,44	-1,38	-1,10	-3,07	-2,55	-5,45	-4,94	-7,74	-6,44
4 m	200 m	3,10	2,20	-3,35	-1,11	-6,64	-3,88	-9,75	-5,54	-12,21	-6,75
4 m	400 m	5,83	2,24	-4,72	-1,19	-7,83	-3,31	-11,01	-4,40	-13,78	-5,58
4 m	800 m	8,39	2,44	-4,97	-1,22	-7,86	-2,44	-11,61	-4,07	-13,84	-5,69

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 55: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen hinter einer 4 m Lärmschutzwand in dB

Abweichung der Immissionspegel in dB hinter einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenfaktor $G=0,3$. Die Schallquelle wird standardmäßig in Teilstücke zerlegt.

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig
2 m	10 m	0,94	2,17	-0,51	-1,02	-1,00	-2,01	-1,60	-3,28	-2,13	-4,50
2 m	25 m	1,21	1,99	-0,54	-0,94	-0,97	-1,86	-1,57	-3,06	-2,14	-4,15
2 m	50 m	1,46	1,27	-0,62	-0,64	-1,05	-1,29	-1,65	-2,07	-2,20	-2,84
2 m	100 m	1,85	1,36	-0,81	-0,70	-1,27	-1,42	-1,95	-2,23	-2,50	-2,95
2 m	200 m	3,24	1,68	-1,53	-0,94	-1,72	-1,86	-1,81	-2,81	-2,18	-3,66
2 m	400 m	4,94	2,13	-2,13	-1,03	-2,70	-1,95	-3,40	-3,32	-3,70	-4,68
2 m	800 m	6,63	2,37	-2,45	-1,16	-4,18	-2,32	-5,56	-3,88	-5,97	-5,44
4 m	10 m	0,64	2,07	-0,35	-1,34	-0,70	-2,16	-1,09	-2,87	-1,45	-3,49
4 m	25 m	0,92	1,66	-0,39	-0,92	-0,80	-2,00	-1,32	-2,71	-1,81	-3,53
4 m	50 m	1,13	1,05	-0,42	-0,46	-0,84	-0,95	-1,38	-1,61	-1,89	-2,35
4 m	100 m	1,38	1,17	-0,43	-0,47	-0,88	-0,98	-1,44	-1,67	-1,95	-2,36
4 m	200 m	1,99	1,39	-0,47	-0,55	-0,97	-1,15	-1,51	-1,97	-1,92	-2,77
4 m	400 m	4,13	1,97	-0,23	-0,84	0,03	-1,70	-0,32	-2,85	-0,66	-3,98
4 m	800 m	6,12	2,30	-1,02	-1,07	-1,81	-2,14	-2,13	-3,59	-2,17	-5,05

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 56: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung in dB, feine Unterteilung in Teilstücke

Abweichung der Immissionspegel in dB bei freier Schallausbreitung gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenparameter $G=0,3$. Die Schallquelle wird sehr fein in Teilstücke zerlegt (Teilstücklänge ab 0,1 m).

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig
2 m	10 m	0,36	0,47	-0,12	-0,26	-0,23	-0,43	-0,34	-0,59	-0,46	-0,87
2 m	25 m	0,84	0,97	-0,30	-0,64	-0,57	-1,36	-0,91	-2,27	-1,29	-3,36
2 m	50 m	1,57	1,52	-1,16	-1,55	-2,70	-2,94	-4,88	-5,00	-7,00	-6,58
2 m	100 m	3,40	2,49	-3,21	-2,68	-5,70	-4,71	-9,28	-6,30	-11,99	-7,47
2 m	200 m	5,72	2,66	-3,19	-2,42	-7,16	-3,93	-10,64	-5,49	-12,90	-6,76
2 m	400 m	6,83	2,46	-4,84	-1,40	-8,63	-2,46	-11,58	-4,14	-14,88	-5,88
2 m	800 m	8,07	2,57	-5,74	-1,29	-8,41	-2,57	-12,66	-4,28	-15,20	-5,99
4 m	10 m	0,23	0,30	-0,12	-0,11	-0,19	-0,29	-0,26	-0,39	-0,33	-0,47
4 m	25 m	0,52	0,63	-0,26	-0,25	-0,44	-0,65	-0,61	-1,03	-0,77	-1,65
4 m	50 m	0,92	1,02	-0,46	-0,46	-0,79	-1,59	-1,17	-2,37	-1,60	-3,80
4 m	100 m	1,57	1,48	-1,23	-1,10	-2,72	-2,43	-5,05	-4,83	-7,38	-6,39
4 m	200 m	3,09	2,16	-3,36	-1,16	-6,65	-3,93	-9,76	-5,58	-12,22	-6,64
4 m	400 m	5,83	2,24	-4,72	-1,19	-7,83	-3,30	-11,02	-4,46	-13,78	-5,54
4 m	800 m	8,41	2,44	-4,96	-1,22	-7,86	-2,44	-11,60	-4,07	-13,83	-5,69

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 57: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen hinter einer 4 m Lärmschutzwand in dB, feine Unterteilung in Teilstücke

Abweichung der Immissionspegel in dB hinter einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenfaktor $G=0,3$. Die Schallquelle wird sehr fein in Teilstücke zerlegt (Teilstücklänge ab 0,1 m).

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig
2 m	10 m	1,12	2,59	-0,81	-1,28	-1,82	-2,53	-2,85	-4,18	-3,51	-5,77
2 m	25 m	1,66	1,14	-0,73	-0,65	-1,05	-1,52	-1,45	-2,47	-2,14	-3,81
2 m	50 m	1,93	1,36	-0,81	-0,77	-1,18	-1,48	-1,55	-2,35	-1,94	-3,00
2 m	100 m	2,03	1,51	-0,85	-0,79	-1,43	-1,53	-2,09	-2,33	-2,57	-3,08
2 m	200 m	3,26	1,68	-1,51	-0,94	-1,71	-1,80	-1,79	-2,84	-2,24	-3,69
2 m	400 m	4,94	2,13	-2,13	-1,02	-2,69	-1,97	-3,41	-3,32	-3,70	-4,68
2 m	800 m	6,64	2,37	-2,45	-1,16	-4,19	-2,32	-5,57	-3,89	-5,98	-5,45
4 m	10 m	0,81	2,31	-0,60	-2,16	-1,28	-3,46	-1,95	-4,42	-2,39	-4,95
4 m	25 m	0,99	2,34	-0,53	-1,58	-1,00	-3,42	-1,53	-4,55	-2,03	-5,69
4 m	50 m	1,19	0,98	-0,51	-0,44	-1,02	-0,90	-1,58	-1,60	-2,07	-2,25
4 m	100 m	1,59	1,24	-0,20	-0,48	-0,72	-1,01	-1,32	-1,74	-1,87	-2,48
4 m	200 m	2,04	1,40	-0,51	-0,58	-0,86	-1,18	-1,48	-2,02	-1,89	-2,82
4 m	400 m	4,13	1,97	-0,23	-0,84	0,02	-1,70	-0,32	-2,85	-0,70	-3,98
4 m	800 m	6,14	2,30	-1,03	-1,07	-1,82	-2,15	-2,15	-3,59	-2,19	-5,06

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Bei freier Schallausbreitung treten mehr als 15 dB Differenz bei homogener und nahezu 7 dB Differenz bei günstiger Schallausbreitung durch einen abweichenden Bodenfaktor G von den für die Lärmkartierung festgelegten $G=0,3$ auf. Hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand sind bis zu etwa 6 dB Unterschied erkennbar.

Aufgrund der Erkenntnisse zum Einfluss der Teilstückzerlegung wurden die Berechnungen für Tabelle 54 und Tabelle 55 mit erheblich mehr Teilstücken wiederholt (► Kapitel 3.4.2).

Tabelle 56 entspricht der Tabelle 54 mit feinerer Aufteilung in Teilstücke. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Tabellen sind Tabelle 58 zu entnehmen.

Tabelle 57 entspricht der Tabelle 55 mit feinerer Aufteilung in Teilstücke. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Tabellen sind Tabelle 59 zu entnehmen.

Aus Tabelle 58 lässt sich ableiten, dass bei freier Schallausbreitung durch die genauere Unterteilung in Teilstücke im Nahbereich unter 50 m Entfernung mit Unterschieden bis zu 1 dB zu rechnen ist. Mit ansteigender Entfernung sind diese Unterschiede geringer und ab ca. 200 m zu vernachlässigen.

Hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand treten durch die Teilstückzerlegung in Entfernungen unter 50 m Unterschiede von z.T. mehr als 2 dB auf (► Tabelle 59). Mit ansteigender Entfernung sind diese Unterschiede geringer und ebenfalls ab ca. 200 m zu vernachlässigen.

Tabelle 58: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen bei freier Schallausbreitung in dB, Differenz durch die feine Unterteilung in Teilstücke

Abweichung der Immissionspegel in dB bei freier Schallausbreitung gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenfaktor $G=0,3$. Angegeben ist die Differenz, die sich durch die feine Teilstückzerlegung ergibt (Tabelle 56 minus Tabelle 54).

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig
2 m	10 m	-0,04	-0,02	0,11	0,06	0,20	0,17	0,32	0,39	0,41	0,59
2 m	25 m	-0,03	-0,07	0,27	0,16	0,50	0,31	0,77	0,57	0,96	0,73
2 m	50 m	-0,06	-0,23	0,36	0,16	0,46	0,31	0,63	0,45	0,68	0,59
2 m	100 m	-0,05	-0,14	-0,07	-0,02	0,03	0,05	0,09	0,31	0,01	0,34
2 m	200 m	0,00	0,00	-0,01	0,08	0,00	0,20	-0,03	-0,08	-0,02	-0,01
2 m	400 m	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 m	800 m	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
4 m	10 m	0,02	0,06	0,00	0,02	0,04	0,00	0,10	0,11	0,16	0,25
4 m	25 m	0,08	0,13	0,00	0,03	0,08	0,03	0,18	0,22	0,30	0,33
4 m	50 m	0,16	0,16	0,07	0,09	0,27	-0,06	0,49	0,23	0,62	0,28
4 m	100 m	0,15	0,04	0,15	0,00	0,36	0,11	0,39	0,11	0,35	0,05
4 m	200 m	-0,01	-0,04	-0,01	-0,05	-0,01	-0,06	-0,01	-0,04	-0,01	0,11
4 m	400 m	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,06	0,00	0,04
4 m	800 m	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

Tabelle 59: Unterschiede der Immissionspegel durch den Bodenfaktor G und Schallausbreitungsbedingungen hinter einer 4 m Lärmschutzwand in dB, Differenz durch die feine Unterteilung in Teilstücke

Abweichung der Immissionspegel in dB hinter einer 4 m Lärmschutzwand in 5,5 m Entfernung zur Mittelachse der Straße gegenüber dem nach BUB für die Lärmkartierung vorgegebenen Bodenfaktor $G=0,3$. Angegeben ist die Differenz, die sich durch die feine Teilstückzerlegung ergibt (Tabelle 57 minus Tabelle 55).

h	s	$G = 0,0$		$G = 0,45$		$G = 0,6$		$G = 0,8$		$G = 1,0$	
		homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig	homogen	günstig
2 m	10 m	0,17	0,42	-0,31	-0,25	-0,82	-0,52	-1,25	-0,90	-1,38	-1,27
2 m	25 m	0,45	-0,85	-0,20	0,28	-0,08	0,34	0,12	0,58	0,00	0,34
2 m	50 m	0,46	0,09	-0,19	-0,12	-0,13	-0,19	0,10	-0,29	0,26	-0,16
2 m	100 m	0,17	0,14	-0,04	-0,09	-0,16	-0,11	-0,14	-0,09	-0,07	-0,12
2 m	200 m	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,06	0,01	-0,04	-0,06	-0,03
2 m	400 m	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
2 m	800 m	0,01	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01
4 m	10 m	0,17	0,25	-0,24	-0,82	-0,58	-1,29	-0,85	-1,55	-0,94	-1,46
4 m	25 m	0,08	0,67	-0,13	-0,66	-0,20	-1,42	-0,21	-1,84	-0,23	-2,16
4 m	50 m	0,06	-0,07	-0,09	0,02	-0,18	0,05	-0,20	0,01	-0,18	0,09
4 m	100 m	0,21	0,06	0,23	-0,01	0,16	-0,03	0,11	-0,07	0,07	-0,11
4 m	200 m	0,05	0,01	-0,03	-0,03	0,12	-0,03	0,04	-0,04	0,04	-0,06
4 m	400 m	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,01	0,00	-0,04	0,00
4 m	800 m	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01

h Höhe des Immissionsorts

s horizontaler Abstand zwischen Straßenachse und Immissionsort

3.5.3 Standardeinstellungen der Softwareprodukte

Die Untersuchungen wurden mit IMMI 2020 (vom 28.07.2020 und 29.09.2020) der Firma Wölfel Engineering GmbH + Co. KG oder mit SoundPLANnoise 8.2 64-bit der SoundPLAN GmbH durchgeführt.

Beide Softwareprodukte beinhalten vollständige Implementierungen für alle vier Berechnungsvorschriften. Für die Berechnungen nach den RLS-90, der VBUS und den RLS-19 stellen sie jeweils Standardeinstellungen („Referenzeinstellung“ gem. /25/) zur Verfügung, die den Parametern dieser Vorschriften ohne zusätzliche Vereinfachungen (etwa zur Beschleunigung der Rechenzeiten) entsprechen.

Die BUB definieren speziell für die Anwendung in der Lärmkartierung spezifische Rahmenparameter (Berechnung von Reflexionen 1. Ordnung, Bodenfaktor $G=0,3$ usw.). Keines der beiden Softwareprodukte hat zurzeit vorgegebene Berechnungseinstellungen für diese, für die Lärmkartierung, spezifischen Parameter, so dass zur Zeit der Bearbeiter die Verwendung dieser Parameter sicherstellen muss. Insbesondere die feste (Vor-)Auswahl des Bodenfaktors fehlt derzeit in den „Referenzeinstellungen“ der Programme, was auch damit zu begründen ist, dass die offiziellen Testaufgaben zur BUB /24/ diesen Parameter variieren. Da es für die anderen Berechnungsvorschriften jedoch Voreinstellungen für die individuellen Berechnungsvorgaben der Vorschriften gibt, gehen wir davon aus, dass diese in zukünftigen Versionen eingeführt werden.

4 Zusammenfassung

4.1 Vorschriften

Zurzeit sind für Straßenverkehrslärm in Deutschland vier Berechnungsvorschriften relevant:

- ▶ Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-90** /1/
aktuell noch verwendet zur Berechnung nach nationalem Recht
- ▶ Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – **RLS-19** /2/
zukünftig zur Berechnung nach nationalem Recht zu verwenden
- ▶ Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – **VBUS** /3/
bis Ende 2018 verwendet zur Berechnung nach der Umgebungslärmrichtlinie – ULR /9/
- ▶ Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – **BUB** /4/
seit 2019 zu verwenden zur Berechnung nach der Umgebungslärmrichtlinie – ULR

Derzeit werden in Deutschland somit die Berechnungsergebnisse von drei, demnächst sogar von vier verschiedenen Berechnungsvorschriften zum Straßenverkehr verglichen. In dieser Untersuchung wurden die Unterschiede dieser Berechnungsverfahren und deren individuelle Auswirkungen auf die Ergebnisse analysiert.

4.2 Unterschiede

Eine Übersicht grundlegender Unterschiede gibt Tabelle 60.

Tabelle 60: Übersicht von Unterschieden zwischen den Vorschriften

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Anwendungszweck	Planungsgenehmigung		Umgebungslärm (ULR /9/)	
Beurteilungszeiträume	Tag (6 ⁰⁰ bis 22 ⁰⁰ Uhr) Nacht (22 ⁰⁰ bis 6 ⁰⁰ Uhr)		Tag (6 ⁰⁰ bis 18 ⁰⁰ Uhr) Abend (18 ⁰⁰ bis 22 ⁰⁰ Uhr) Nacht (22 ⁰⁰ bis 6 ⁰⁰ Uhr)	
Aufrundung von Endergebnissen auf ganze dB(A)	ja	ja	nein	nein
Unterscheidung der Ausbreitungsbedingungen nach Beurteilungszeitraum	nein	nein	ja	ja
Beschreibung der Schallquelle	Emissions- pegel $L_{m,E}$	längen- bezogener Schallleis- tungspegel $L_{w'}$	Emissions- pegel $L_{m,E}$	längen- bezogener Schallleis- tungspegel $L_{w'}$
Fahrzeugschichten	Pkw, Lkw	Pkw, Lkw1, Lkw2	Pkw, Lkw	4 Klassen (Pkw, ILkw, sLkw, Krad)
Berechnung der Emission	A-bewertet	A-bewertet	A-bewertet	8 Oktaven
Berechnung der Schallausbreitung	A-bewertet	A-bewertet	A-bewertet	8 Oktaven
Bewertung der Immission	A-bewertet	A-bewertet	A-bewertet	A-bewertet
getrennte Ermittlung von Antriebs- und Rollgeräuschen	nein	nein	nein	ja

	RLS-90	RLS-19	VBUS	BUB
Berechnung von individuellen Witterungseinflüssen	nein	nein	nein	ja ¹
Berechnung von individuellen Bodenbedingungen	nein	nein	nein	ja ¹
Berechnete Reflexionsordnung	1. Ordnung	2. Ordnung	1. Ordnung	offen ²
Zuschlag für Mehrfachreflexionen	ja	ja	ja	nein
Berechnung von Retrobeugung	nein	nein	nein	ja
Zuschlag für lichtzeichengeregelte Kreuzungen ³	ja	ja	nein	ja
Zuschlag für Kreisverkehre	nein	ja	nein	ja
Zuschlag für Steigung/Gefälle begrenzt	nein	12 %	nein	12 %
Zuschlag für Steigung/Gefälle richtungsabhängig	nein	ja	nein	ja
Zuschlag für Steigung/Gefälle nach Fahrzeugklasse	nein	ja	nein	ja
Zuschlag für Steigung/Gefälle ab Steigung von	> 5 %	> 2 %	> 5 %	> 0 % ⁴
Emissionshöhe	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,05 m
Abschirmung bei vorhandener Sichtverbindung	nein	nein	nein	ja
Höchstgeschwindigkeit Pkw auf BAB	130 km/h	130 km/h	130 km/h	140 km/h
Höchstgeschwindigkeit Lkw auf BAB	80 km/h	90 km/h	80 km/h	80 km/h

¹ Für die Anwendung bei der Lärmkartierung nach Umgebungsärmrichtlinie ist ein konstanter Wert vorgegeben.

² Für die Anwendung bei der Lärmkartierung nach Umgebungsärmrichtlinie ist nur die 1. Ordnung zu berechnen. Nach der BUB können jedoch auch Reflexionen höherer Ordnung berechnet werden.

³ Während die RLS-90 einen Zuschlag für lichtzeichengeregelte Kreuzungen auf die ganze Schallquelle vergeben, erfolgt der Zuschlag nach den RLS-19 und der BUB nur für Teilstücke. Nach den BUB werden dabei Zu- und Abschlüsse getrennt für Roll- und Antriebsgeräusch vergeben.

⁴ Zu- und Abschlüsse für Steigungen und Gefälle werden nach den BUB getrennt nach Fahrzeugklasse jeweils unterschiedlich für Roll- und Antriebsgeräusch berechnet.

4.2.1 Standardwerte zur Umrechnung von DTV in stündliche Verkehrsstärke M

Die BUB definiert keine Standardwerte zur Umrechnung von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke *DTV* in stündliche Verkehrsstärken *M* (► Kapitel 3.2.1). Die Unterschiede zwischen den übrigen Vorschriften bewirken Pegelunterschiede von < 1 dB.

4.2.2 Standardwerte für Lkw-Anteile

Die BUB definiert keine Standardwerte für Lkw-Anteile und die Lkw-Anteile nach VBUS entsprechen denen der RLS-90. Die Unterschiede der RLS-19 gegenüber RLS-90/VBUS belaufen sich auf 0,1 dB bis -6,3 dB bei Gussasphalt (Referenzbelag) und 0,5 dB bis -5,8 dB bei Splittmastixasphalt 0/8 (► Kapitel 3.2.2).

4.2.3 Geschwindigkeiten

Nach RLS-19/BUB nehmen die Pegel von Pkw mit der Geschwindigkeit bis 70 km/h auf Gussasphalt schneller zu als nach RLS-90/VBUS; über 70 km/h kehrt sich dieser Trend um. Die Pegel von Lkw nehmen nach RLS-90/VBUS mit der Geschwindigkeit in abnehmendem Maße zu. Nach den BUB ist dieser Anstieg annähernd linear, wogegen er nach den RLS-19 zunächst sehr gering ist und mit zunehmender Geschwindigkeit immer stärker zunimmt. Unterschiede von bis zu etwa 2 dB können bei 50 km/h auftreten (► Kapitel 3.2.3).

Auf SMA 8 sind die Verhältnisse ähnlich, allerdings wird auf SMA 8 nach den RLS-90 erst ab 70 km/h mit einem Abzug gerechnet und die Berechnungsparameter nach der BUB sind für diesen Belag bis 60 km/h fehlerhaft. Unterschiede von bis zu 4 dB bei 70 km/h sind möglich.

4.2.4 Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h für Lkw auf BAB

Die anzusetzende Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h auf BAB nach den RLS-19 führt bei üblichen Verkehrsstärken zu Pegelanstiegen von < 2 dB (► Kapitel 3.2.4).

4.2.5 Lichtzeichengeregelte Kreuzungen

Kreuzungszuschläge (► Kapitel 3.3.1.1) nach RLS-90 und RLS-19 liegen zwischen 0 und +3 dB. Nach der BUB ergeben sich je nach Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit Korrekturen von etwa -2 bis +5 dB. Die VBUS vergibt keine Zuschläge. Damit sind Unterschiede von bis zu 3 dB zu erwarten.

4.2.6 Kreisverkehre

Kreisverkehre (► Kapitel 3.3.1.2) bekommen nach den RLS-90 und der VBUS keine Zuschläge. Die RLS-19 berechnen einen Zuschlag von bis zu +2 dB, während die BUB Korrekturen zwischen -3 dB und +4 dB vergeben. In relevanten Entfernungen (d.h. nicht auf der Straße selbst) sind Unterschiede von bis zu 3 dB zu erwarten.

4.2.7 Steigung/Gefälle

Die RLS-19 und die BUB begrenzen die Steigungen/Gefälle rechnerisch auf maximal 12 %. Die VBUS und die RLS-90 begrenzen die Zuschläge nicht, beginnen jedoch erst ab > 5 % Zuschläge zu vergeben, weshalb bei starken Steigungen deutliche Unterschiede zu den RLS-19 und der BUB möglich sind (► Kapitel 3.3.2).

Die BUB ermittelt Zuschläge von bis zu +2,8 dB, wogegen nach den RLS-19 Zuschläge von bis zu +9 dB möglich sind. Nach der BUB liegen die Steigungszuschläge unter denen der RLS-90. Innerorts, d.h. mit Geschwindigkeiten bis 50 km/h und geringeren Verkehrsmengen, sind die Steigungszuschläge nach den RLS-19 zumeist etwas geringer, als nach den RLS-90. Außerorts können sie je nach Steigung und Geschwindigkeit um mehr als 3 dB über den Zuschlägen der RLS-90 liegen. Gegenüber der BUB können Unterschiede von bis zu +6 dB auftreten.

4.2.8 Fahrstreifen

Nach den RLS-19 werden die Quelllinien bei mehr als vier Fahrstreifen anders positioniert als nach den übrigen Vorschriften (► Kapitel 3.3.3). Dies kann in relevanten Bereichen zu Unterschieden von bis zu 1 dB führen.

4.2.9 Emissionshöhe

Die BUB legt die Quelllinien 0,05 m über die Straßenoberfläche, während die übrigen Vorschriften diese bei 0,5 m über der Straßenoberfläche positionieren (► Kapitel 3.3.4). Bei freier Schallausbreitung können dadurch in Bodennähe 1 dB höhere Schallpegel (nach BUB) auftreten. Hinter einer Abschirmung sind Pegelabnahmen von bis zu 2 dB möglich. Da die Teilstückzerlegung wesentlichen Einfluss auf den Immissionspegel hat, ist die Auswirkung in abgeschirmten Lagen schwankend.

4.2.10 Straßendeckschichten

Straßendeckschichten sind in ihren Bauweisen nach den Vorschriften nicht immer vollständig vergleichbar (► Kapitel 3.2.5). Außerdem liegen nicht für alle Deckschichten Korrekturen in allen Geschwindigkeitsbereichen vor. Der Referenzbelag ist in allen Vorschriften der nicht geriffelte Gussasphalt.

Demgegenüber ist Splittmastixasphalt 0/8 (neuer: SMA 8) nach den RLS-90/VBUS bis 60 km/h ohne Korrektur, ab 70 km/h mit einer Korrektur von -2 dB zu berechnen. Nach den BUB ist die Korrektur von 30 km/h bis 60 km/h fehlerhaft. Über 70 km/h beträgt sie ca. -1,7 dB. Nach den RLS-19 liegt die Korrektur für Pkw unter 70 km/h bei etwa -2,5 dB, sonst bei etwa -2,0 dB. Damit sind insgesamt Abweichungen von < 0,5 dB zu erwarten.

Der offenporige Asphalt OPA 11 hat nach den RLS-90/VBUS ab 70 km/h eine Korrektur von -4,0 dB. Die Korrekturen der übrigen Vorschriften liegen je nach Verkehrszusammensetzung zwischen -4,1 dB und -4,6 dB. Die Abweichungen untereinander liegen damit unter 0,5 dB. Beim offenporigen Asphalt OPA 8 liegen die Korrekturen gegenüber OPA 11 um 1 dB niedriger. Das Verhältnis untereinander ist aber vergleichbar, so dass auch hier Unterschiede von < 0,5 dB auftreten.

Waschbeton hat nach den RLS-90/VBUS einen Korrekturwert von -2,0 dB und erreicht nach den übrigen Vorschriften etwas geringere Minderungen, so dass Unterschiede von < 0,6 dB auftreten.

Pflaster werden nach den verschiedenen Vorschriften sehr unterschiedlich beurteilt. Ab 50 km/h sind die Korrekturfaktoren nach den RLS-90/VBUS sowie den RLS-19 konstant, so dass hier auf ebenem Pflaster kein Unterschied und auf sonstigem Pflaster ein Unterschied von 1 dB auftritt. Die BUB berechnet über 60 km/h keine Pflasterbeläge. Bis 60 km/h weicht sie deutlich von den übrigen Vorschriften ab. Daher sind auf ebenem Pflaster bei 30 km/h Unterschiede von bis zu 2,5 dB und auf sonstigem Pflaster von bis zu 4,5 dB möglich.

4.2.11 Emissionspegel

Ein Vergleich der Emissionspegel (nach den RLS-19 und der BUB umgerechnet, ► Kapitel 3.1.1) auf Basis der Lkw-Anteile der Tabelle 2 der RLS-19 zeigt, dass nach den RLS-19 bei hohen Lkw-Anteilen und geringen Geschwindigkeiten um bis zu 2 dB geringere Emissionspegel zu erwarten sind als nach den RLS-90. Ab 80 km/h treten bei hohen Lkw-Anteilen durchgehend etwa 2 dB höhere Emissionspegel auf. Bei Straßen mit geringem Lkw-Anteil werden unter 50 km/h nach den RLS-19 ca. 0,5 dB höhere Emissionspegel berechnet als nach den RLS-90/VBUS. Dieser Unterschied steigt auf 2 dB ab 80 km/h an. Die BUB berechnen je nach Verkehrszusammensetzung bei 30 km/h zwischen 0,5 dB bei hohen Lkw-Anteilen und 1,5 dB bei niedrigen Lkw-Anteilen mehr als die RLS-90/VBUS. Dieser Unterschied steigt auf 2 dB bis 3 dB bei Geschwindigkeiten ab 80 km/h an und bleibt dann etwa konstant.

4.2.12 Freie Schallausbreitung

Bei freier Schallausbreitung (► Kapitel 3.4.1) sind zwischen den RLS-90 und den RLS-19 sowie in der Nacht nach der VBUS keine nennenswerten Unterschiede aus der Schallausbreitung zu erwarten. Am Tag treten nach der VBUS aufgrund der meteorologischen Korrektur mit der Entfernung ansteigend bis zu 2 dB geringere Schallpegel auf. Die BUB berechnet nahe an der Quelle bei freier Schallausbreitung tendenziell etwas geringere Schallpegel, die aber gegenüber den anderen Vorschriften mit der Entfernung schneller ansteigen und in Höhe des Erdgeschosses schon in Entfernungen unter 1 km zu mehr als 7 dB höheren Immissionspegeln führen.

4.2.13 Abschirmung

Die Schallausbreitung hinter einer Lärmschutzwand (► Kapitel 3.4.2) wird nach den RLS-90 und den RLS-19 nahezu identisch berechnet. Die VBUS berechnet direkt hinter der Lärmschutzwand nachts etwas höhere Pegel (< 1 dB), die aber mit zunehmender Entfernung schneller abnehmen. In 1 km Entfernung treten hinter einer 4 m hohen Lärmschutzwand > 2 dB geringere Schallpegel auf als nach den RLS-90/RLS-19. Am Tag sind nach der VBUS die Pegel aufgrund der meteorologischen Korrektur noch um weitere bis zu 2 dB geringer.

Die BUB ermittelt ebenfalls direkt hinter einer Lärmschutzwand höhere Schallpegel (≈ 2 dB) in der Nacht, die bis in den Bereich von 50 m bis 100 m schnell (bis ≈ -3 dB), dann aber langsamer abfallen und bei 1 km Abstand in etwa die Minderung der RLS-90/RLS-19 erreichen. Am Tag werden nach der BUB gegenüber der Nacht nahe der Abschirmung um etwa 1,5 dB geringere Schallpegel berechnet. Im Bereich von 50 m bis 100 m sind nur etwa 0,5 dB geringere Schallpegel am Tag festzustellen, die mit steigender Entfernung dann auf eine Differenz von mehr als 2 dB anwachsen. Insgesamt ist festzustellen, dass die Unterschiede zwischen der BUB zu den anderen Berechnungsvorschriften hinter einer Schallschutzwand mit etwa +2 bis -3 dB deutlich geringer ausfallen als bei freier Schallausbreitung. Gegenüber der VBUS, mit der die Ergebnisse zumeist verglichen werden dürften, ergeben sich Differenzen von etwa +2 bis -2 dB.

4.2.14 Reflexion

Pegelsteigerungen aufgrund der Reflexionen sind bei derselben Absorption bei allen Vorschriften etwa gleich. Allerdings sind die Auswirkungen der Unterschiede bei der Absorption (► Kapitel 3.4.3.2/4.2.15) und der Mehrfachreflexion (► Kapitel 3.4.3.3/4.2.16) zu beachten.

4.2.15 Absorption

Während die RLS-90 und die VBUS eine Minderung des Schalls bei der Reflexion an hochabsorbierenden Lärmschutzwänden von 8 dB angeben, wird nach den RLS-19 nur eine Minderung von 5 dB angenommen. Für absorbierende und reflektierende Oberflächen gelten ebenfalls abweichende Minderungen (► Kapitel 2.4.4). Die BUB bestimmt die Minderung terzweise nach der, vor der Veröffentlichung der BUB durch die DIN EN 1793-1:2017-07 /16/ ersetzten, DIN EN 1793-1:2013-04 /15/. Dies bewirkt Unterschiede im Schallpegel am Immissionsorten gegenüber dem Reflektor von bis zu 0,5 dB bei hochabsorbierenden und 0,2 dB bei anderen Reflektoren.

4.2.16 Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexionen

Nach den RLS-90 und der VBUS treten in Straßenschluchten um bis zu 3,2 dB erhöhte Schallpegel auf (► Kapitel 3.4.3.3). Die RLS-19 vergeben einen halb so hohen Zuschlag (max. 1,6 dB), berechnen dafür jedoch Reflexionen der 2. Ordnung. Die BUB vergibt keine Zuschläge. Dadurch können Unterschiede von bis zu 3,2 dB zwischen den Vorschriften auftreten.

4.2.17 Bodenfaktor G

Abweichend von den übrigen Vorschriften wird nach der BUB die Bodendämpfung differenziert berechnet. Im Rahmen der Lärmkartierung wird dabei durchgehend mit $G=0,3$ gerechnet. Bei schallhartem Boden ($G=0$) treten mit der Entfernung zunehmend höhere Schallpegel auf, die – unabhängig davon, ob die Schallausbreitung über Hindernisse hinweg erfolgt oder nicht – am Tag mehr als 3 dB über denen liegen, die sich mit der Vorgabe für die Lärmkartierung ergeben. Mit durchgehend weichem Boden ($G=1$) treten je nach Entfernung bei freier Schallausbreitung bis zu 8 dB und bei abgeschirmter Situation bis zu 5 dB geringere Schallpegel auf.

Die übrigen Vorschriften beziehen diesen Parameter nicht in die Berechnung ein, so dass sie keine Unterschiede auf Basis der Bodenbeschaffenheit berechnen.

4.2.18 Bodenfaktor **G** unter homogenen und günstigen Ausbreitungsbedingungen

Für die Lärmkartierung nach der VBUS und der BUB werden unterschiedliche Schallpegel für die Zeiträume „Tag“, „Abend“ und „Nacht“ mit jeweils anderen meteorologischen Korrekturen ermittelt. Die VBUS berechnet dazu einen pauschalen, entfernungsabhängigen Abzug (► Kapitel 2.4.1) von bis zu 2 dB am Tag und 1 dB am Abend.

Die BUB dagegen ermittelt getrennte Immissionspegel mit homogenen und günstigen Schallausbreitungsbedingungen, die darüber hinaus von der Bodenbeschaffenheit stark beeinflusst werden. Die Auswirkungen nehmen bei freier Schallausbreitung mit zunehmender Entfernung zu. Bei homogenen Ausbreitungsbedingungen hat dabei die Bodenbeschaffenheit einen höheren Einfluss auf die Immissionspegel.

Die Immissionspegel unter homogenen Ausbreitungsbedingungen unterscheiden sich zwischen schallweichem und schallhartem Boden – in weniger als 1 km Entfernung, in einer Höhe von 4 m und bei freier Schallausbreitung – bereits um mehr als 20 dB, während der Unterschied unter günstigen Bedingungen weniger als 10 dB beträgt. Hinter einer Abschirmung sind die Unterschiede geringer.

4.2.19 Teilstückzerlegung

Verschiedene Vergleiche haben gezeigt, dass die Aufteilung der Quelllinien in Punktschallquellen einen erheblichen Einfluss auf die Immissionspegel hat. Während bei freier Schallausbreitung die Unterschiede in den untersuchten Bereichen nicht über 1 dB betragen sind in abgeschirmten Situationen an manchen Punkten mehr als 2 dB nur durch eine veränderte Teilstückzerlegung Unterschied festzustellen. Vergleicht man Abbildung 52 (Seite 87) mit Abbildung 53 (Seite 88), so ist erkennbar, dass unterschiedliche Softwareprodukte – nur durch unterschiedliche Algorithmen oder unterschiedliche Parameter der Algorithmen zur Teilstückzerlegung – deutliche Abweichungen in den Ergebnissen aufweisen können. Dabei sind die Ergebnisse bei der Berechnung einer einzelnen Punktquelle nahezu identisch (► Abbildung 54 und Abbildung 55, Seite 88).

4.3 Gesamtvergleich

Zwischen den RLS-90 und der VBUS sind nur geringe Unterschiede vorhanden. Diese betreffen zum einen um bis zu 2 dB geringere Schallpegel nach den VBUS am Tag aufgrund der meteorologischen Korrektur und zum anderen eine etwas höhere Bewertung von Abschirmungen sowie den entfallenden Zuschlag für lichtzeichengeregelte Kreuzungen.

Demgegenüber sind die Ursachen der Unterschiede der RLS-19 zu RLS-90 und VBUS wesentlich komplexer. Dies beginnt bereits mit der Emissionsberechnung als längenbezogenen Schallleistungspegel auf Basis von mehr Fahrzeugschichten und einer überarbeiteten Umrechnung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (*DTV*) auf die maßgeblichen stündlichen Verkehrsstärken (*M*). Dazu kommen fahrzeugschichtabhängige Straßendeckschichtkorrekturen, eine überarbeitete Korrektur für lichtzeichengeregelte Kreuzungen und Zuschläge für Kreisverkehre. Dies wird ergänzt durch Änderungen an der Berechnung der Reflexionen (geringerer Mehrfachreflexionszuschlag, 2. Reflexionsordnung).

Die BUB verfolgt einen anderen Berechnungsansatz, indem sie Antriebs- und Rollgeräusch getrennt ermittelt und die Emissionsberechnung sowie die Ausbreitungsberechnung oktavweise für homogene und günstige Ausbreitungsbedingungen getrennt durchführt. Es ist daher nicht

möglich aufzuzeigen, welche Parameter welche Unterschiede zu den übrigen Vorschriften bewirken, da die andere Berechnungsweise nicht auf denselben Parametern basiert. Es wäre wesentlich einfacher zu definieren, was keinen Einfluss auf den Unterschied zu anderen Berechnungsmethoden hat. Das sind in den meisten Fällen ausschließlich die Parameter, die auf eine gegebene Ausbreitungssituation keinen Einfluss haben, da sie nicht anzuwenden sind (z.B. Kreuzungssituationen, Kreisverkehre, Steigungen). Darüber hinaus liegt mittlerweile ein Entwurf mit Änderungen gegenüber der hier verwendeten Version der BUB vor, der bei einer Einführung neben der Korrektur der Straßendeckschicht SMA 08 weitere Änderungen bringen kann.

5 Quellenverzeichnis

- /1/ Der Bundesminister für Verkehr e.V. [Hrsg.] (1990): **Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90**, FGSV-Nr. 334, Ausgabe 1990, Berichtigte Fassung 1992, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V., Köln
- /2/ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV [Hrsg.] (2019): **Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19**, FGSV-Nr. 052, Ausgabe 2019, Berichtigte Fassung 2020, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V., Köln
- /3/ Bundesministerium der Justiz [Hrsg.] (2006): **Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – VBUS**, 15.05.2006, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- /4/ Bundesministerium der Justiz [Hrsg.] (2018): **Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB)**, 28.12.2018, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- /5/ Bundesministerium der Justiz [Hrsg.] (2018): **Datenbank für die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB-D)**, 28.12.2018, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- /6/ Bundesministerium der Justiz [Hrsg.] (2018): **Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV)**, 12.06.1990, Stand 18.12.2014, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- /7/ International Organization for Standardization [Hrsg.] (1993): **ISO 9613-1:1993-6 – Akustik; Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 1: Berechnung der Schallabsorption durch die Luft**, 1993, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- /8/ Bartolomaeus, W. (2019): **Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19**. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 2019, Nr. 6, VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, Düsseldorf
- /9/ Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union [Hrsg.] (2002): **Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm**, 18.07.2002, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften
- /10/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (1998): **Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)**, 26.08.1998, Stand 01.06.2017, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- /11/ Bundesministerium für Verkehr, Abteilung „Straßenbau“ (1992): **Rechenbeispiele zu den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RBLärm-92**, 1992, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V., Köln
- /12/ Bundesminister für Verkehr [Hrsg.] (1991): **Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 14/1991; Sachgebiet 12.1: Lärmschutz; „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ – Ausgabe 1990 – RLS-90**, 25.04.1991, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V., Köln
- /13/ Bundesminister für Verkehr [Hrsg.] (2006): **Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 05/2006; Sachgebiet 12.1: Lärmschutz; „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ – Ausgabe 1990 – RLS-90**, 17.02.2006, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V., Köln
- /14/ Bundesminister für Verkehr [Hrsg.] (2010): **Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 22/2010; Sachgebiet 12.1: Umweltschutz; Lärmschutz; Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90 – Fahrbahnoberflächen-Korrekturwert D_{Stro} für Lärmarmen Gussasphalt**, 04.09.2010, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V., Köln

- /15/ Deutsches Institut für Normung e.V. [Hrsg.] (2013): **DIN EN 1793-1:2013-04 – Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption**, 2013, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- /16/ Deutsches Institut für Normung e.V. [Hrsg.] (2017): **DIN EN 1793-1:2017-07 – Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption in diffusen Schallfeldern**, 2017, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- /17/ Deutsches Institut für Normung e.V. [Hrsg.] (2018): **DIN EN 1793-5:2018-12 – Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 5: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern**, 2018, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- /18/ Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V. (1982): **ZTV Beton 78 - Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton**, 1982, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V., Köln
- /19/ Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V. (2001): **ZTV Beton-StB 01 - zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton**, 2001, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V., Köln
- /20/ Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V. (2007): **ZTV Beton-StB 07 - zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton**, 2007, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V., Köln
- /21/ Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V. (2007): **ZTV Asphalt-StB 07 - zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt**, 2007, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V., Köln
- /22/ Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V. (2007/2013): **ZTV Asphalt-StB 07/13 - zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt**, Fassung 2013, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V., Köln
- /23/ Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V. (2009/2013): **ZTV BEA-StB 09/13 - zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen - Asphaltbauweisen**, Fassung 2013, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.V., Köln
- /24/ Umweltbundesamt (2019): **Testaufgaben zur Ermittlung der Schall-Emissionen von Straße, Schiene, Industrie und der Berechnung der Schall-Ausbreitung (BUB), der Berechnung des Fluglärms (BUF) und der Belastetenermittlung (BEB) gemäß Richtlinie (EU) 2015/996**, 2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/testaufgaben-zur-ermittlung-der-schall-emissionen>
- /25/ Deutsches Institut für Normung e.V. [Hrsg.] (2006): **DIN 45687:2006-05 Akustik — Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien — Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen**, 2006, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- /26/ International Organization for Standardization [Hrsg.] (2015): **ISO 17534-1, Acoustics — Software for the calculation of sound outdoors - Part 1: Quality requirements and quality assurance**, 2015, Beuth Verlag GmbH, Berlin

A Berechnungsgrundlagen

In diesem Anhang sind Angaben zu den berechneten Beispielen aufgeführt, die zur Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse erforderlich sind.

Sofern nicht anders ausgewiesen wurden die Untersuchungen mit IMMI 2020 der Firma Wölfel Engineering GmbH + Co. KG mit den Referenzeinstellungen durchgeführt.

Das Gelände wird, wenn nicht anders erwähnt, mit einer Geländehöhe von 0 m angesetzt.

Nach der BUB wird, wenn nicht anders angegeben, der Boden mit $G=0,3$ gerechnet.

A.1 Kapitel 3.1.1: Emissionspegel vs. Schallleistungspegel

- ▶ 1 Pkw pro Stunde
- ▶ Geschwindigkeit 50 km/h
- ▶ nicht geriffelter Gussasphalt

A.2 Kapitel 3.2.1: Stündliche Verkehrsstärken – Standardwerte

- ▶ Verkehrsmengen-Anteile gemäß den jeweiligen Tabellen der Vorschriften (▶ Kapitel 2.2.2).

A.3 Kapitel 3.2.2: Lkw-Anteile – Standardwerte

- ▶ Verkehrsmengen-Anteile gemäß den jeweiligen Tabellen der Vorschriften (▶ Kapitel 2.2.2).
- ▶ Straßenoberfläche/Deckschicht: nicht geriffelter Gussasphalt und Splittmastixasphalt 08
- ▶ zulässiger Höchstgeschwindigkeit: 30 km/h bis 130 km/h

A.4 Kapitel 3.2.3: Geschwindigkeiten

- ▶ Straßenoberfläche/Deckschicht: nicht geriffelter Gussasphalt und Splittmastixasphalt 08
- ▶ zulässiger Höchstgeschwindigkeit: 30 km/h bis 130 km/h
- ▶ jeweils 1 Pkw und 1 Lkw bzw. 1 leichter und 1 schwerer Lkw

A.5 Kapitel 3.2.4: Geschwindigkeiten – Lkw auf Bundesautobahnen

- ▶ Straßenoberfläche/Deckschicht: nicht geriffelter Gussasphalt und Splittmastixasphalt 08
- ▶ zulässiger Höchstgeschwindigkeit: 80 km/h und 90 km/h für Lkw, 130 km/h für Pkw
- ▶ jeweils 1 leichter und 1 schwerer Lkw (Spalten 2/3)
- ▶ Lkw-Anteile (Spalten 4/5): 3 %/11 % (leichte/schwere Lkw) tags und 10 %/25 % nachts

A.6 Kapitel 3.2.5.1: Straßenoberflächen im Vergleich zu Gussasphalt

Vorschrift / Zeitraum	Bundesautobahnen				Gemeindestraßen			
	p _t		p _n		p _t		p _n	
	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}
RLS-90/VBUS	14		35		7		7	
RLS-19	3	11	10	25	3	4	3	4
BUB	3	11	10	25	3	4	3	4

A.7 Kapitel 3.2.5.2: Vergleich der Immissionspegel auf Gussasphalt

Die Straße wurde einspurig berechnet. Die Emissionen entsprechen Kapitel A.6.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße	-999	0	0	999	0	0
Immissionspunkt	0	25	4			

A.8 Kapitel 3.2.5.3: Immissionspegelunterschiede aufgrund unterschiedlicher Straßenoberflächen

Identisch mit Kapitel A.7.

A.9 Kapitel 3.3.1.1: Lichtzeichengeregelte Kreuzungen

Für diese Berechnung ist das Update 1 zu IMMI 2020 erforderlich.

Element	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ14	-490	0	0	490	0	0
Straße – RQ14	0	-490	0	0	490	0
Verkehrsampel	-1,88	-1,88	0			
Verkehrsampel	1,88	-1,88	0			
Verkehrsampel	-1,88	1,88	0			
Verkehrsampel	1,88	1,88	0			

Abbildung	Ge- schwin- digkeit	RQ	Fahr- zeuge
Abbildung 23: Kreuzungszuschlag gemäß RLS-90	*	14	*
Abbildung 24: Kreuzungszuschlag gemäß RLS-19	*	14	*

Abbildung	Ge- schwin- digkeit	RQ	Fahr- zeuge
Abbildung 25: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 50 km/h	50 km/h	0	Klasse 1
Abbildung 26: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 30 km/h	30 km/h	0	Klasse 1
Abbildung 27: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 50 km/h	50 km/h	0	Klasse 2
Abbildung 28: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 30 km/h	30 km/h	0	Klasse 2
Abbildung 29: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 50 km/h	50 km/h	0	Klasse 3
Abbildung 30: Kreuzungszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 30 km/h	30 km/h	0	Klasse 3

* kein Einfluss auf das Ergebnis

RQ Regelquerschnitt (RQ 14: Abstand der Fahrachsen zur Mittelachse: 1,875 m; RQ 0: einspurig)

A.10 Kapitel 3.3.1.2: Kreisverkehre

Für diese Berechnung ist das Update 1 zu IMMI 2020 erforderlich.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ14	-490	0	0	-40	0	0
Straße – RQ14	0	-490	0	0	-40	0
Straße – RQ14	490	0	0	40	0	0
Straße – RQ14	0	490	0	0	40	0
Straße – einzelne Achse	-40,0	-1,9	0	-28,0	-1,9	0
	-18,0	-5,0	0	-10,5	-10,5	0
	-5,0	-18,0	0	-1,9	-28,0	0
	-1,9	-40,0	0			
Straße – einzelne Achse	-40,0	1,9	0	-28,0	1,9	0
	-18,0	5,0	0	-10,5	10,5	0
	-5,0	18,0	0	-1,9	28,0	0
	-1,9	40,0	0			
Straße – einzelne Achse	40,0	-1,9	0	28,0	-1,9	0
	18,0	-5,0	0	10,5	-10,5	0
	5,0	-18,0	0	1,9	-28,0	0
	1,9	-40,0	0			
Straße – einzelne Achse	40,0	1,9	0	28,0	1,9	0
	18,0	5,0	0	10,5	10,5	0
	5,0	18,0	0	1,9	28,0	0
	1,9	40,0	0			

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – einzelne Achse	2,12	14,85	0	-0,82	14,98	0
	-3,72	14,53	0	-6,49	13,53	0
	-9	12	0	-11,17	10,01	0
	-12,91	7,64	0	-14,15	4,98	0
	-14,85	2,12	0	-14,98	-0,82	0
	-14,53	-3,72	0	-13,53	-6,49	0
	-12	-9	0	-10,01	-11,17	0
	-7,64	-12,91	0	-4,98	-14,15	0
	-2,12	-14,85	0	0,82	-14,98	0
	3,72	-14,53	0	6,49	-13,53	0
	9	-12	0	11,17	-10,01	0
	12,91	-7,64	0	14,15	-4,98	0
	14,85	-2,12	0	14,98	0,82	0
	14,53	3,72	0	13,53	6,49	0
	12	9	0	10,01	11,17	0
	7,64	12,91	0	4,98	14,15	0
	2,12	14,85	0			
Verkehrsampel	-10,5	-10,5	0			
Verkehrsampel	10,5	-10,5	0			
Verkehrsampel	-10,5	10,5	0			
Verkehrsampel	10,5	10,5	0			

Abbildung	Geschwindigkeit	Fahrzeuge
Abbildung 31: Kreisverkehrszuschlag gemäß RLS-19	*	*
Abbildung 32: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 50 km/h	50 km/h	Klasse 1
Abbildung 33: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 1 (Pkw), 30 km/h	30 km/h	Klasse 1
Abbildung 34: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 50 km/h	50 km/h	Klasse 2
Abbildung 35: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 2 (ILkw), 30 km/h	30 km/h	Klasse 2
Abbildung 36: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 50 km/h	50 km/h	Klasse 3
Abbildung 37: Kreisverkehrszuschlag gemäß BUB für Klasse 3 (sLkw), 30 km/h	30 km/h	Klasse 3

* kein Einfluss auf das Ergebnis

A.11 Kapitel 3.3.2: Gradienten

Vorschrift / Zeitraum	Bundesautobahnen				Bundesstraßen				Landes-, Kreis-, und Gemeindeverbindungsstraßen				Gemeindestraßen			
	p _t		p _n		p _t		p _n		p _t		p _n		p _t		p _n	
	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}
RLS-90/VBUS	*		*		*		*		*		*		*		*	
RLS-19	3	11	10	25	3	7	7	13	3	5	5	6	3	4	3	4
BUB	3	11	10	25	3	7	7	13	3	5	5	6	3	4	3	4

* kein Einfluss auf das Ergebnis

Berechnet wurde nach den RLS-19 und der BUB für die Geschwindigkeiten 70 km/h, 100 km/h und 130 km/h. Für die RLS-90 und die VBUS ist die Geschwindigkeit nicht relevant.

A.12 Kapitel 3.3.3: Fahrstreifen

Verglichen werden Straßen nach den RLS-19 mit

- d(SQ) = 10,45 m zu
- d(SQ) = 12,375 m

sowie

- d(SQ) = 6 m zu
- d(SQ) = 7,5 m

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße	-499	0	0	499	0	0
Lärmschutzwand	-499	18,75	4	499	18,75	4
Gebäude	-499	11	9	499	11	9
	499	23	9	-499	23	9

Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung und Geschwindigkeit sind für die Vergleiche nicht relevant.

A.13 Kapitel 3.3.4: Emissionshöhe

Verglichen wird eine Emissionshöhe von 0,5 m mit einer Emissionshöhe von 0,05 m. Dazu wird das Element (für die 0,5 m Emissionshöhe) auf eine Höhe von 0,45 m gelegt (die Emission wird von der Software 0,05 m darüber angesetzt). Die Straße wurde mit einem d(SQ) von 1,5 m berechnet.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße (Emissionsachse 0,05 m)	-499	0	0	499	0	0
Straße (Emissionsachse 0,5 m)	-499	0	0,45	499	0	0,45

Für die Betrachtungen mit Geländesprung werden die folgenden Höhen zusätzlich verwendet:

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Höhenlinie (umlaufend)	-550	-50	0	550	-50	0
	550	50	0	-550	50	0
	-550	-50	0			
Höhenlinie (Straßenachse)	-499	0	0	499	0	0
Höhenlinie (Geländeanhebung)	-499	3,5	0,5	499	3,5	0,5

Für die Betrachtungen mit Lärmschutzwänden werden die folgenden reflexionsmindernden Lärmschutzwände mit Absorptionsverlust von 5 dB verwendet:

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Lärmschutzwand (2m)	-499	5,5	2	499	5,5	2
Lärmschutzwand (4m)	-499	5,5	4	499	5,5	4

Die Berechnungen für Abbildung 53 und Abbildung 55 wurden mit SoundPLANnoise 8.2 64-bit der SoundPLAN GmbH durchgeführt.

Abbildung 54 und Abbildung 55 wurden mit der folgenden Straßengeometrie berechnet:

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße (Emissionsachse 0,05 m)	-0,5	0	0	0,5	0	0
Straße (Emissionsachse 0,5 m)	-0,5	0	0,45	0,5	0	0,45

Für Abbildung 56 wurde mit einer gegenüber den Referenzeinstellungen feineren Teilung für die Teilstückzerlegung gerechnet. Dazu wurde mit einer Mindestteilstücklänge von 0,1 m (Referenz = 1 m) sowie einem zusätzlichen Faktor für das Abstandskriterium von 100 (Referenz = 1) gerechnet.

Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung und Geschwindigkeit sind für die Vergleiche nicht relevant.

A.14 Kapitel 3.4: Geometrische Parameter der Schallausbreitung

Vorschrift / Zeitraum	Gemeindestraßen			
	p _t		p _n	
	p _{1,t}	p _{2,t}	p _{1,n}	p _{2,n}
RLS-90/VBUS	7		7	
RLS-19	3	4	3	4
BUB	3	4	3	4

- Gemeindestraße
- 100 Kfz/h
- Nicht geriffelter Gussasphalt
- 50 km/h

A.15 Kapitel 3.4.1: Freie Schallausbreitung

Basis ist die Emission aus Kapitel A.14.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ 9	-499	0	0	499	0	0
Immissionspunkt	0	10	2			
Immissionspunkt	0	25	2			
Immissionspunkt	0	50	2			
Immissionspunkt	0	100	2			
Immissionspunkt	0	200	2			
Immissionspunkt	0	400	2			
Immissionspunkt	0	800	2			
Immissionspunkt	0	10	4			
Immissionspunkt	0	25	4			
Immissionspunkt	0	50	4			
Immissionspunkt	0	100	4			
Immissionspunkt	0	200	4			
Immissionspunkt	0	400	4			
Immissionspunkt	0	800	4			

A.16 Kapitel 3.4.2: Abschirmung

Basis ist die Emission aus Kapitel A.14.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ 9	-499	0	0	499	0	0
Lärmschutzwand	-499	5,5	4	499	5,5	4
Immissionspunkt	0	10	2			
Immissionspunkt	0	25	2			
Immissionspunkt	0	50	2			
Immissionspunkt	0	100	2			

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Immissionspunkt	0	200	2			
Immissionspunkt	0	400	2			
Immissionspunkt	0	800	2			
Immissionspunkt	0	10	4			
Immissionspunkt	0	25	4			
Immissionspunkt	0	50	4			
Immissionspunkt	0	100	4			
Immissionspunkt	0	200	4			
Immissionspunkt	0	400	4			
Immissionspunkt	0	800	4			

Für die Tabelle 35 wurde mit einer gegenüber den Referenzeinstellungen feineren Teilung für die Teilstückzerlegung gerechnet. Dazu wurde mit einer Mindestteilstücklänge von 0,1 m (Referenz = 1 m) sowie einem zusätzlichen Faktor für das Abstandskriterium von 100 (Referenz = 1) gerechnet.

A.17 Kapitel 3.4.3.1: Berechnung der Reflexion

Basis ist die Emission aus Kapitel A.14.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ 9	-499	0	0	499	0	0
Lärmschutzwand	-499	-5,5	4	499	-5,5	4
Immissionspunkt	0	10	2			
Immissionspunkt	0	25	2			
Immissionspunkt	0	50	2			
Immissionspunkt	0	100	2			
Immissionspunkt	0	200	2			
Immissionspunkt	0	400	2			
Immissionspunkt	0	800	2			
Immissionspunkt	0	10	4			
Immissionspunkt	0	25	4			
Immissionspunkt	0	50	4			
Immissionspunkt	0	100	4			
Immissionspunkt	0	200	4			
Immissionspunkt	0	400	4			

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Immissionspunkt	0	800	4			

A.18 Kapitel 3.4.3.2: Absorption

Basis ist die Emission aus Kapitel A.14.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ 14	-499	0	0	499	0	0
Lärmschutzwand	-499	-10	4	499	-10	4

A.19 Kapitel 3.4.3.3: Zweite Reflexionsordnung und Mehrfachreflexion

Basis ist die Emission aus Kapitel A.14.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße – RQ 14	-499	0	0	499	0	0
Lärmschutzwand	-499	-10	20	499	-10	20
Lärmschutzwand	-499	10	20	499	10	20

A.20 Kapitel 3.5.1: Bodenfaktor G nach der BUB

Die Straße wurde einspurig berechnet.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße	-499	0	0	499	0	0
Immissionspunkt	0	10	2			
Immissionspunkt	0	25	2			
Immissionspunkt	0	50	2			
Immissionspunkt	0	100	2			
Immissionspunkt	0	200	2			
Immissionspunkt	0	400	2			
Immissionspunkt	0	800	2			
Immissionspunkt	0	10	4			
Immissionspunkt	0	25	4			
Immissionspunkt	0	50	4			
Immissionspunkt	0	100	4			
Immissionspunkt	0	200	4			

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Immissionspunkt	0	400	4			
Immissionspunkt	0	800	4			

A.21 Kapitel 3.5.2: Homogene vs. günstige Ausbreitung nach der BUB

Die Straße wurde einspurig berechnet.

Elemente	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
Straße	-499	0	0	499	0	0
Lärmschutzwand	-499	5,5	4	499	5,5	4

Für Tabelle 56 und Tabelle 57 wurde mit einer gegenüber den Referenzeinstellungen feineren Teilung für die Teilstückzerlegung gerechnet. Dazu wurde mit einer Mindestteilstücklänge von 0,1 m (Referenz = 1 m) sowie einem zusätzlichen Faktor für das Abstandskriterium von 100 (Referenz = 1) gerechnet.