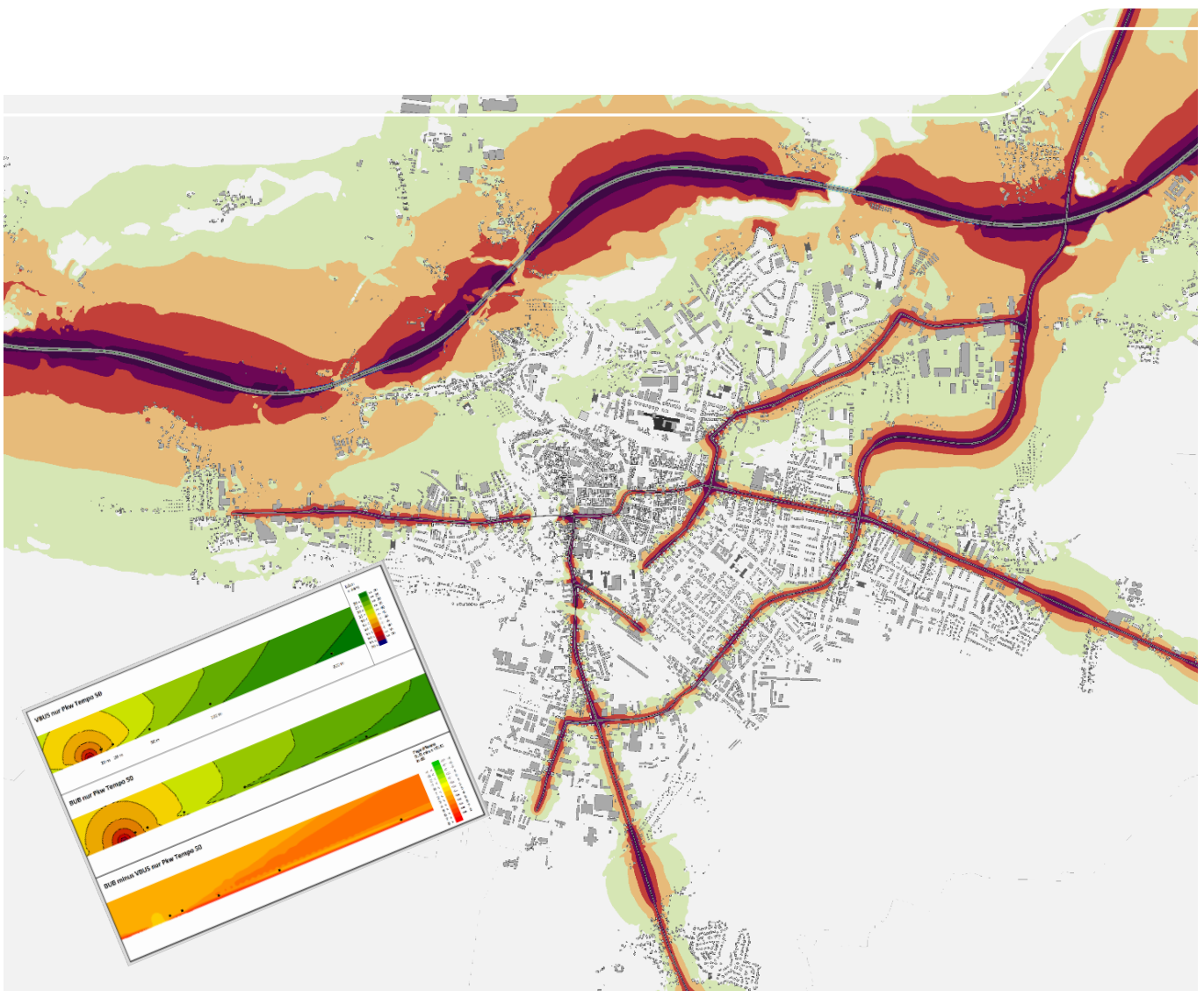


# Lärmkartierung nach EU- Umgebungslärmrichtlinie

Schriftenreihe, Heft 19/2022



# Erarbeitung von Methoden und Strategien zur Optimierung der Lärmkartierung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie

Systematische Untersuchung der aus der  
Berechnungsvorschrift CNOSSOS resultierenden  
Anforderungen für die Lärmkartierung an Straßen am  
Beispiel der Stadt Bautzen im Freistaat Sachsen

Sebastian Ibbeken, Michael Gillé, Bernd Fröhling, Svenja Veric, Dieter Zollitsch

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation und Zielsetzung .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Analyse der Berechnungsvorschriften .....</b>	<b>10</b>
2.1	Vorgehensweise .....	10
2.2	Emissionsrelevante Unterschiede .....	10
2.2.1	Emissionen nach BUB .....	10
2.2.1.1	Verkehr und Fahrzeugklassen .....	10
2.2.1.2	Straßenoberfläche .....	12
2.2.1.3	Kreuzungen (Lichtsignalanlagen) und Kreisverkehre .....	13
2.2.2	Emissionen nach VBUS .....	13
2.2.2.1	Verkehr und Fahrzeugklassen .....	13
2.2.2.2	Straßenoberfläche .....	14
2.2.2.3	Kreuzungen (Lichtsignalanlagen) und Kreisverkehre .....	14
2.2.3	Emissionen nach RLS-19 .....	14
2.2.3.1	Verkehr und Fahrzeuggruppen .....	14
2.2.3.2	Straßenoberfläche .....	15
2.2.3.3	Kreuzungen (Lichtsignalanlagen) und Kreisverkehre .....	16
2.2.4	Analyse der wesentlichen Unterschiede in den Emissionen .....	16
2.2.4.1	BUB versus VBUS .....	16
2.2.4.2	BUB versus RLS-19 .....	17
2.3	Unterschiede in der Ausbreitungsberechnung .....	18
2.3.1	Geometrische Ausbreitung .....	19
2.3.2	Luftabsorption .....	19
2.3.3	Beugung .....	19
2.3.4	Bodeneffekt .....	22
2.3.5	Beugung und Bodeneffekt .....	25
2.3.6	Analyse der Unterschiede in der Ausbreitungsberechnung .....	30
2.4	Ermittlung der Belastetenzahlen .....	31
2.4.1	Vorbemerkung .....	31
2.4.2	Vorgehensweise nach BEB .....	31
2.4.3	Vorgehensweise nach VBEB und Analyse der Unterschiede zur BEB .....	32
<b>3</b>	<b>Lärmberechnung für das Testgebiet nach BUB und VBUS .....</b>	<b>33</b>
3.1	Berechnungsmodell .....	33
3.1.1	Vorbemerkung .....	33
3.1.1.1	DGM .....	33
3.1.2	Gebäude .....	34
3.1.3	Lärmschutzwände .....	34
3.1.4	Straßen (ohne Verkehr) .....	34
3.1.5	Brücken .....	36
3.1.6	Knotenpunkte .....	36
3.1.7	Verkehr BUB .....	37
3.1.8	Verkehr VBUS .....	37
3.2	Berechnung und Ergebnisse .....	37
3.2.1	Berechnung nach BUB .....	37

3.2.2	Berechnung nach VBUS.....	39
3.2.3	Vergleich der Ergebnisse, Belastete.....	41
3.2.4	Vergleich der Ergebnisse, Differenz-Lärmkarte.....	42
3.2.5	Vergleich der Ergebnisse mit Emissions-Bezug.....	43
3.2.5.1	Autobahn, freie Ausbreitung, Ausschnitt A.....	43
3.2.5.2	Staatsstraße ohne Knotenpunkte, Ausschnitt B.....	44
3.2.5.3	Staatsstraße auf Brücke, Ausschnitt C.....	45
3.2.5.4	Staatsstraße mit Knotenpunkt (LSA), Ausschnitt D.....	46
3.2.5.5	Innenstadtbereich, Ausschnitt E.....	47
<b>4</b>	<b>Optimierung von Rechenparametern.....</b>	<b>47</b>
4.1	Vorgehensweise.....	47
4.1.1	Vorbemerkung.....	47
4.1.2	Testprofil.....	47
4.1.3	Untersuchte Parameter.....	48
4.1.4	Statistische Auswertung.....	49
4.2	Parameter-Variation.....	49
4.2.1	Anhebung der Toleranz.....	49
4.2.2	Reduktion des Reflexionsabstandes.....	50
4.2.3	Ausweitung des Suchradius.....	51
4.2.4	Kombination der Rechenparameter Toleranz 0,8, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m.....	52
4.2.5	Verschärfung der Toleranz über Toleranz auf Gesamtergebnis.....	53
4.3	Empfohlene Parameter (Parameter <sup>opt</sup> ).....	55
4.3.1	Optimierung der Parameter in SoundPLAN.....	55
4.3.2	Optimierung der Parameter in IMMI.....	55
4.3.3	Optimierung der Parameter allgemein.....	55
4.4	Lärmberechnung für das Testgebiet mit empfohlenen Rechenparametern.....	55
4.4.1	Vorbemerkung.....	55
4.4.2	Berechnung nach BUB mit Parametern <sup>opt</sup> .....	55
4.4.3	Berechnung nach VBUS mit Parametern <sup>opt</sup> .....	58
4.4.4	Vergleich der Ergebnisse.....	60
4.4.5	Rundungsregeln der 34. BImSchV.....	60
<b>5</b>	<b>Lärmberechnung für das Testgebiet nach RLS-19.....</b>	<b>61</b>
5.1	Vorbemerkung.....	61
5.2	Berechnungsmodell.....	61
5.2.1	Berechnungsparameter.....	61
5.2.2	Ermittlung der Verkehrszahlen.....	61
5.3	Berechnung und Ergebnisse.....	61
5.4	Vergleich der Ergebnisse von BUB und RLS-19.....	63
<b>6</b>	<b>Pegelanteile von Straßengattungen.....</b>	<b>64</b>
6.1	Vorgehensweise.....	64
6.2	Beispiel Bautzen.....	64
<b>7</b>	<b>Handlungsempfehlungen für die Lärmkartierung.....</b>	<b>66</b>
7.1	LAI-Hinweise zur Lärmkartierung.....	66

7.2	Straßenoberflächen .....	66
7.3	Geschwindigkeiten .....	66
7.4	Straßenachsen im Gelände .....	66
7.5	Berechnungsparameter .....	67
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Korrekturwerte von Straßendeckschichten nach RLS-19 [11] .....	16
Abbildung 2: Pegelminderung durch Lärmschutzwände, nur Pkw, Tempo 50.....	20
Abbildung 3: Pegelminderung durch Lärmschutzwände, nur Lkw, Tempo 50 .....	21
Abbildung 4: Pegelwerte unter Berücksichtigung der Bodendämpfung, nur Pkw, Tempo 50 .....	23
Abbildung 5: Pegelwerte unter Berücksichtigung der Bodendämpfung, nur Lkw, Tempo 50.....	24
Abbildung 6: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, nur Pkw, Tempo 50 .....	26
Abbildung 7: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, nur Lkw, Tempo 50 .....	27
Abbildung 8: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, Verkehrsmix Tempo 50 .....	28
Abbildung 9: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, Verkehrsmix Tempo 120 .....	29
Abbildung 10: Pegelminderung durch Lärmschutzwände, nur Pkw Tempo 50/120 bzw. nur Lkw Tempo 50/80 .....	30
Abbildung 11: Fassadenabschnitte und Fassadenpunkte nach BEB .....	31
Abbildung 12: Roh-DGM .....	34
Abbildung 13: DGM mit eingerechneten Straßenrändern .....	35
Abbildung 14: Ungenaue Straßenlage.....	35
Abbildung 15: Automatisch gefundene Brücke über die A4 und im Modell enthaltene Brückenpunkte ...	36
Abbildung 16: Lage der Knotenpunkte .....	36
Abbildung 17: Lärmkarten $L_{DEN}$ , $L_{Night}$ , BUB (Parameter <sup>ref</sup> ).....	38
Abbildung 18: Lärmkarten $L_{DEN}$ , $L_{Night}$ , VBUS (Parameter <sup>ref</sup> ).....	40
Abbildung 19: Differenz-Lärmkarte $L_{Night}$ , BUB – VBUS mit Lage der Ausschnitte A bis E .....	42
Abbildung 20: Differenz-Lärmkarte $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt A .....	43
Abbildung 21: Differenz-Lärmkarte $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt B .....	44
Abbildung 22: Differenz-Lärmkarte $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt C .....	45
Abbildung 23: Differenz-Lärmkarte $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt D .....	46
Abbildung 24: Testprofil mit 70 Gebäuden und 510 Immissionspunkten.....	48
Abbildung 25: Verteilung der Abweichungen und Statistik - alle Fassadenpunkte; Toleranz 0,8 dB .....	49
Abbildung 26: Verteilung der Abweichungen und Statistik; $L_n \geq 45$ dB(A); Toleranz 0,8 dB .....	50
Abbildung 27: Verteilung der Abweichungen und Statistik – alle Fassadenpunkte; Reflexions- abstand 200 m.....	50
Abbildung 28: Verteilung der Abweichungen und Statistik; $L_n \geq 45$ dB(A); Reflexionsabstand 200 m ...	51
Abbildung 29: Verteilung der Abweichungen und Statistik – alle Fassadenpunkte; Such- radius 3.000 m.....	52
Abbildung 30: Verteilung der Abweichungen und Statistik – alle Fassadenpunkte; Toleranz 0,8, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m.....	52
Abbildung 31: Verteilung der Abweichungen und Statistik; $L_n \geq 45$ dB(A); Toleranz 0,8, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m.....	53
Abbildung 32: Verteilung der Abweichungen und Statistik; Toleranz auf Gesamtergebnis 0,4, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m.....	54
Abbildung 33: Verteilung der Abweichungen und Statistik; $L_n \geq 45$ dB(A); Toleranz auf Gesamt- ergebnis 0,4, Reflexabstand 200 m, Suchradius=2.500 m.....	54
Abbildung 34: Lärmkarten $L_{DEN}$ , $L_{Night}$ , BUB (Parameter <sup>opt</sup> ) .....	57
Abbildung 35: Lärmkarten $L_{DEN}$ , $L_{Night}$ , VBUS (Parameter <sup>opt</sup> ).....	59
Abbildung 36: Lärmkarten $L_{Tag}$ , $L_{Nacht}$ , RLS-19 (Parameter <sup>opt</sup> ).....	63
Abbildung 37: Teillärmkarten $L_{DEN}$ , Bundesautobahn und Bundesstraße.....	64
Abbildung 38: Teillärmkarten $L_{DEN}$ , Staatsstraßen und Stadtstraßen .....	64

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fahrzeugklassen gemäß BUB (BUB, Tabelle 2.2).....	11
Tabelle 2: Summenpegel je Fahrzeug und Fahrzeugklasse.....	11
Tabelle 3: Straßenoberflächen (BUB) mit Pegeleigenschaften.....	12
Tabelle 4: Summenpegel je Fahrzeug und Fahrzeugklasse.....	13
Tabelle 5: Straßenoberflächen (VBUS) mit Pegeleigenschaften .....	14
Tabelle 6: Fahrzeuggruppen nach RLS-19 .....	14
Tabelle 7: Summenpegel je Fahrzeug und Fahrzeugklasse.....	15
Tabelle 8: Verkehrszusammensetzung für die Schallausbreitungsberechnung .....	18
Tabelle 9: Straßenoberflächen VBUS und Belagskennung in den Importdaten.....	35
Tabelle 10: Belastete nach BUB (Parameter <sup>ref</sup> ).....	37
Tabelle 11: Belastete nach VBUS (Parameter <sup>ref</sup> ) .....	39
Tabelle 12: Gegenüberstellung Belastete nach VBUS und BUB, Auswertung nach VBEB* .....	41
Tabelle 13: Belastete nach BUB, Auswertung nach BEB* .....	42
Tabelle 14: Belastete nach BUB (Parameter <sup>opt</sup> ) .....	56
Tabelle 15: Belastete nach VBUS (Parameter <sup>opt</sup> ).....	58
Tabelle 16: Belastete nach Parametern <sup>ref</sup> und Parametern <sup>opt</sup> .....	60
Tabelle 17: Belastete nach BUB (Parameter <sup>opt</sup> , 34. BImSchV neu).....	60
Tabelle 18: Belastete nach RLS-19 (Parameter <sup>opt</sup> ).....	62
Tabelle 19: Vergleich Belastete BUB mit RLS-19 .....	63
Tabelle 20: Belastete nach Straßengruppe .....	65

## Abkürzungsverzeichnis

BEB	Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm
BUB	Berechnungsmethoden für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen
Day	Tag, 06:00 bis 18:00 Uhr
dB(A)	Dezibel mit Frequenzbewertung A
DGM	Digitales Geländemodell
Evening	Abend, 18:00 bis 22:00 Uhr
L'W	Längenbezogener Schalleistungspegel
LDEN	24-Stunden Tag-Abend-Nacht-LärmindeX (DEN = Day/Evening/Night)
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Freistaat Sachsen)
Lm,E	Emissionspegel in 25 m Entfernung zur Linienquelle
LNight (oder Ln)	NachtlärmindeX
Lr,Nacht (oder LNacht)	Beurteilungspegel, Nacht
Lr,Tag (oder LTag)	Beurteilungspegel, Tag
LSA	Lichtsignalanlage
Night	Nacht, 22:00 bis 06:00 Uhr
RLS	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen
VBEB	Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm
VBUS	Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen



# 1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Richtlinie 2002/49/EG [8] über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm schreibt in einem Turnus von fünf Jahren die Lärmkartierung für Ballungsräume, Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und Großflughäfen vor.

Während die Kartierung bislang nach national eingeführten, vorläufigen Berechnungsverfahren für den Umgebungslärm erstellt wurde, ist zum 1. Januar 2019 ein europaweit einheitliches Berechnungsverfahren CNOSSOS-EU [7] in Kraft getreten, welches seit diesem Zeitpunkt verbindlich anzuwenden ist. Dies hat zur Folge, dass die Lärmkartierung im Jahr 2022 nach den Vorgaben von CNOSSOS erfolgen muss. Die in nationale Regelungen überführten und auf die deutschen Gegebenheiten konkretisierten Berechnungsmethoden sind im Bundesanzeiger veröffentlicht [1], [2], [3].

Aus den nun eingeführten Methoden resultieren Veränderungen gegenüber der bisherigen Herangehensweise an die Schallberechnung im Rahmen der Lärmkartierung. Beispielhaft zu nennen sind Änderungen an den für die Schallberechnung benötigten Eingangsdaten, aber auch an der der Berechnung zu Grunde liegenden Schallausbreitungsmodellierung.

Die aus CNOSSOS resultierenden Berechnungsmethoden wurden aktuell in die gängigen Schallberechnungsprogramme implementiert. Dabei zeigt sich, dass trotz der normativen Vorgaben innerhalb der Programme Variationsmöglichkeiten bei der Wahl von Berechnungsparametern bestehen, die sich auf die Genauigkeit der Kartierungsergebnisse aber auch auf die für die Lärmkartierung benötigten Rechenzeiten erheblich auswirken.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden für die Geräuschquelle Straßenverkehr die zu erwartenden Veränderungen gegenüber der bisherigen vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen systematisch herausgearbeitet. Weiterhin erfolgt eine Vergleichsberechnung nach der national für die Berechnung von Verkehrslärm anzuwendenden Berechnungsvorschrift 16. BImSchV [9] (RLS-19 [11]). Dabei wird exemplarisch auf ein akustisches Berechnungsmodell der Stadt Bautzen mit ca. 41.000 Einwohnern zurückgegriffen. Die zu erwartenden Änderungen hinsichtlich Aufwand und Ergebnisplausibilität werden in ihrer Variationsbreite analysiert und darauf basierend Empfehlungen für eine optimierte Herangehensweise an die Schallberechnung und Betroffenheitsanalyse im Rahmen einer landesweiten Lärmkartierung abgeleitet.

Es erfolgt eine systematische Analyse der in Umsetzung von CNOSSOS-EU für Deutschland vorgeschriebenen „Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen“ (BUB) [1]<sup>1</sup> sowie der „Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm“ (BEB) [3] am Beispiel der Stadt Bautzen. Darauf basierend und ergänzend zu den LAI-Hinweisen zur Lärmkartierung [13] wird eine belastbare und praktikable Herangehensweise für eine landesweite schalltechnische Berechnung des Straßenverkehrslärms im Rahmen der Lärmkartierung 2022 erarbeitet.

Zuständig für die Lärmkartierung an Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Städten mit einer Einwohnerzahl ab 80.000 ist ab der Kartierungsrunde 2022 das LfULG. Dementsprechend soll die Lärmkartierung landeszentral umgesetzt werden. Die Ergebnisse der Untersuchung dienen dazu, in Vorbereitung der Lärmkartierung 2022 die Fachkompetenz des LfULG zu stärken und einen effizienten Verwaltungsvollzug in Sachsen sicher zu stellen.

---

<sup>1</sup> Der herangezogene Stand der Berechnungsmethoden vom 17.11.2021 enthält u. a. Überarbeitungen der Koeffizienten für Straßenoberflächen in der Datenbank für die Berechnungsmethoden (BUB-D) [2] und eine Korrektur des anzuwendenden Bodenfaktors  $G_{\text{path}}$

## 2 Analyse der Berechnungsvorschriften

### 2.1 Vorgehensweise

In einer Analyse der Berechnungsvorschriften BUB und VBUS [4] werden die zugrundeliegenden Parameter bzw. Einflussgrößen - die berücksichtigten Effekte - für jede Vorschrift bestimmt, gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Ergebnisrelevanz im jeweiligen Anwendungsbereich beurteilt.

Im einem ersten Schritt werden emissionsrelevante Unterschiede exemplarisch herausgearbeitet. Dies sind insbesondere Fahrzeugklassen, die in BUB auf leichte, mittelschwere, schwere Kfz, Mopeds und Motorräder ausgeweitet sind. Dazu kommen Ampeln und Kreisverkehre, weiter differenzierte Straßenoberflächen und eine abgesenkte Quellhöhe. Die neuen Emissionsparameter werden in Bezug auf ihre Relevanz auf das Berechnungsergebnis diskutiert. Daraus wird abgeleitet, welche Schwerpunkte bei der Aufbereitung der Eingangsdaten zu setzen sind.

Im nächsten Schritt werden die einzelnen Terme der Ausbreitungsberechnung

- Geometrische Ausbreitung,
- Luftabsorption,
- Beugung und
- Bodeneffekt

untersucht und deren Auswirkung auf die Ergebnisse abgeschätzt.

Da nach der Berechnungsvorschrift BUB frequenzabhängig mit Oktavspektren gerechnet wird, müssen im Vergleich dieser Terme verschiedene Emissionsszenarien und deren Spektren betrachtet werden.

Bei den vergleichenden Betrachtungen werden auch die Ermittlung der Belastetenzahlen (VBEB, BEB) und die Unterschiede zur nationalen Berechnungsvorschrift „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ (RLS-19) untersucht.

Die aus den Einflussgrößen resultierenden Unterschiede der Immissionen werden in Kapitel 2.3 für verschiedene Ausbreitungseigenschaften und in Kapitel 3.2.5 im Zusammenhang mit den Berechnungen im Testgebiet Bautzen diskutiert.

## 2.2 Emissionsrelevante Unterschiede

### 2.2.1 Emissionen nach BUB

#### 2.2.1.1 Verkehr und Fahrzeugklassen

„Die Berechnung des Schalldruckpegels ist für die acht Oktavbänder mit den Mittenfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz vorzunehmen. Die Berechnung des Straßenverkehrs [...] erfolgt in Oktavbändern [...]. Für den Straßenverkehrs- [...] lärm, der auf diesen Oktavbandergebnissen beruht, wird der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel für den Zeitraum Tag, Abend und Nacht gemäß § 2 der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) durch Summierung über alle Frequenzen berechnet.

Die Quelle von Straßenverkehrslärm wird durch Kombination der Schallemission jedes einzelnen Fahrzeugs, das Teil des Verkehrsflusses ist, bestimmt. Die Fahrzeuge werden ausgehend von den Merkmalen ihrer Schallemission in vier Klassen eingeteilt:

- Klasse 1: Leichte Kraftfahrzeuge,
- Klasse 2: Mittelschwere Fahrzeuge,
- Klasse 3: Schwere Fahrzeuge,
- Klasse 4: Zweirädrige Kraftfahrzeuge,

Bei den zweirädrigen Kraftfahrzeugen erfolgt eine weitere Unterteilung in zwei Teilklassen, nämlich Mopeds und leistungsstärkere Kraffräder, da sie sehr unterschiedlich gefahren werden und ihre Geräuschemissionen in der Regel weit auseinanderliegen“ [1].

Für die frequenzabhängige Geräuschemission des Straßenverkehrs definiert die BUB vier Fahrzeugklassen mit zwei Unterklassen in der Klasse 4 (siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1: Fahrzeugklassen gemäß BUB (BUB, Tabelle 2.2)**

Klasse	Bezeichnung	Beschreibung	Fahrzeugklasse in EG-Typgenehmigung für vollständige Fahrzeuge	
1	Leichte Kraftfahrzeuge	PKW, Lieferwagen ≤ 3,5 t, Geländewagen (SUV), Großraumlimousinen, einschließlich Anhänger und Wohnwagen	M1 und N1	
2	Mittelschwere Fahrzeuge	Mittelschwere Fahrzeuge, Lieferwagen > 3,5 t, Busse, Wohnmobile usw. mit zwei Achsen und Doppelbereifung auf der Hinterachse	M2, M3 und N2, N3	
3	Schwere Fahrzeuge	Schwere Nutzfahrzeuge, Reisebusse, Busse, mit drei oder mehr Achsen	M2 und N2 mit Anhänger, M3 und N3	
4	Zweirädrige Kraftfahrzeuge	4a	Zwei-, drei- und vierrädrige Mopeds	L1e, L2e, L6e
		4b	Motorräder mit und ohne Seitenwagen, drei- und vierrädrige Motorräder	L3e, L4e, L5e, L7e

Für jede Fahrzeugklasse wird das Jahresmittel der Bewegungen und die zulässige Höchstgeschwindigkeit in den Beurteilungszeiten Tag (6 bis 18 Uhr), Abend (18 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) berücksichtigt.

Typische Emissionen der Fahrzeugklassen unterscheiden sich geschwindigkeitsabhängig um mehr als 10 dB. Beispielhaft für eine innerstädtische Geschwindigkeit von 50 km/h und eine Straßenoberfläche mit nicht geriffeltem Gussasphalt (nationale Referenz) wird in Tabelle 2 der längenbezogene Schalleistungs-Summenpegel über alle Frequenzen je eines Fahrzeuges pro Stunde der 5 Klassen dargestellt. Fahrzeuge ≤ 3,5 t und zweirädrige Kraftfahrzeuge liegen in einem Bereich von 51 bis 53 dB(A) und mittelschwere bis schwere Fahrzeuge ca. 6 bis 11 dB darüber.

**Tabelle 2: Summenpegel je Fahrzeug und Fahrzeugklasse**

Klasse	L <sub>w</sub> in dB(A)*
1	53,4
2	58,9
3	61,7
4a	52,3
4b	50,6

\* Längenbezogener Schalleistungspegel für jeweils ein Fahrzeug je Stunde auf Referenzoberfläche mit v = 50 km/h

Abweichend von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sind auf Autobahnen und Kraftfahrtstraßen ohne Geschwindigkeitsbegrenzung für die Fahrzeugklasse 1 (leichte Kraftfahrzeuge) 130 km/h anzusetzen.

Die Darstellung des Verkehrsflusses erfolgt durch eine Quellenlinie, die sich 0,05 m über der Straßenoberfläche befindet.

### 2.2.1.2 Straßenoberfläche

Die pegelbestimmenden frequenzabhängigen Koeffizienten für die Straßenoberflächen werden in der BUB für jede Fahrzeugklasse und einen jeweils eingeschränkten Geschwindigkeitsbereich angegeben. Exemplarisch wird in Tabelle 3 für leichte und mittelschwere Kraftfahrzeuge und jede definierte Oberflächenart die Abweichung der Summenpegel zur nationalen Referenz (nicht geriffelter Gussasphalt) angegeben.

**Tabelle 3: Straßenoberflächen (BUB) mit Pegel Eigenschaften**

Beschreibung	Pegelabweichung Klasse 1 in dB*	Pegelabweichung Klasse 2 in dB**
Geschwindigkeitsbereich 30 bis 60 km/h		
Nicht geriffelter Gussasphalt (nationale Referenz)	0,0	0,0
Splittmastixasphalte SMA 5 und SMA 8 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,8	-2,2
Asphaltbetone ≤ AC 11 abgestumpft mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,9	-2,4
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus AC D LOA nach E LA D	-3,8	-1,5
Dünne Asphaltdeckschichten in Heißeinbauweise auf Versiegelung aus DSH-V 5 nach ZTV BEA-StB 07/13	-4,6	-1,1
Pflaster mit ebener Oberfläche mit Fugenbreite ≤ 5,0 mm und Fase ≤ 2,0 mm	+2,0	+2,1
sonstiges Pflaster mit Fugenbreite > 5,0 mm oder Fase > 2,0 mm oder Kopfsteinpflaster	+6,1	+6,2
Geschwindigkeitsbereich 70 bis 130 km/h		
Nicht geriffelter Gussasphalt (nationale Referenz)	0,0	0,0
Splittmastixasphalte SMA 8 und SMA 11 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-1,9	-2,1
Asphaltbetone ≤ AC 11 abgestumpft mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,0	-2,2
Offenporiger Asphalt aus PA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	-4,9	-5,4
Offenporiger Asphalt aus PA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	-6,2	-7,6
Betone nach ZTV Beton-StB 07 mit Waschbetonoberfläche	-1,4	-2,5
Lärmarmierter Gussasphalt nach ZTV Asphalt -StB 07/13, Verfahren B	-2,2	-1,7
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus SMA LA 8 nach E LA D	-3,0	-5,6
Dünne Asphaltdeckschichten in Heißeinbauweise auf Versiegelung aus DSH-V 5 nach ZTV BEA-StB 07/13	-3,0	-2,6

\* Pegelabweichung (Summe) zu „Nicht geriffelter Gussasphalt“ für die Fahrzeugklasse 1 (leichte Kraftfahrzeuge)

\*\* Pegelabweichung (Summe) zu „Nicht geriffelter Gussasphalt“ für die Fahrzeugklasse 2 (mittelschwere Kraftfahrzeuge)

Im unteren Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 60 km/h wird für leichte Kraftfahrzeuge auf DSH-V 5 die größte Pegelminderung mit 4,6 dB erreicht. Die größte Pegelminderung im Geschwindigkeitsbereich von 70 bis 130 km/h erreichen mittelschwere Kraftfahrzeuge auf „Offenporiger Asphalt aus PA 8“ mit 7,6 dB.

### 2.2.1.3 Kreuzungen (Lichtsignalanlagen) und Kreisverkehre

Zur Berücksichtigung des Einflusses des Beschleunigens und Abbremsens vor bzw. nach lichtzeichenge-regelten Kreuzungen und Kreisverkehren bis zu einer Entfernung von 100 m zu den Schnittpunkten von Quellenlinien wird eine linear von der Entfernung und von der Fahrzeugklasse abhängige Korrektur des Roll- und Antriebsgeräusches vorgenommen.

## 2.2.2 Emissionen nach VBUS

### 2.2.2.1 Verkehr und Fahrzeugklassen

„Die VBUS ist angelehnt an die “Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90)” [10], wurde jedoch an die Erfordernisse der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/49/EG [8] angepasst. Dies beinhaltet die ausschließliche Berücksichtigung von A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegeln ohne Beurteilungszu- oder -abschläge, die Berücksichtigung eines für die Lärmemission ausschlaggebenden und hinsichtlich der Witterungsbedingungen durchschnittlichen Jahres [...]“ [4].

Für die frequenzunabhängige Geräuschemission des Straßenverkehrs definiert die VBUS Kraftfahrzeuge, die sich in Pkw und einen maßgebenden Lkw-Anteil aufteilen (Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t).

Für die Kraftfahrzeuge wird das Jahresmittel der Bewegungen und die zulässige Höchstgeschwindigkeit in den Beurteilungszeiten Tag (6 bis 18 Uhr), Abend (18 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) berücksichtigt.

Typische Emissionen der Fahrzeuge unterscheiden sich geschwindigkeitsabhängig um mehr als 13 dB. Beispielhaft für eine innerstädtische Geschwindigkeit von 50 km/h und eine Straßenoberfläche mit nicht geriffelter Gussasphalt (nationale Referenz) wird in Tabelle 4 der längenbezogene Schalleistungspegel eines Fahrzeuges pro Stunde dargestellt.

**Tabelle 4: Summenpegel je Fahrzeug und Fahrzeugklasse**

Klasse	L <sub>w</sub> in dB(A)*
Pkw	49,8
Lkw	63,4

\* Längenbezogener Schalleistungspegel für jeweils ein Fahrzeug je Stunde auf Referenzoberfläche mit  $v = 50 \text{ km/h}$

Abweichend von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sind auf Autobahnen und Kraftfahrtstraßen ohne Geschwindigkeitsbegrenzung für Pkw 130 km/h anzusetzen.

Der für die Berechnung des Emissionspegels maßgebende Emissionsort (Quellenlinie) ist in 0,5 m Höhe über der Mitte der Straße oder des Fahrstreifens anzunehmen.

### 2.2.2.2 Straßenoberfläche

Die Korrekturwerte der Straßenoberflächen werden in der VBUS unabhängig von der Fahrzeugart in den Geschwindigkeitsbereichen 30 km/h, 40 km/h,  $\geq 50$  km/h und  $\geq 60$  km/h angegeben (siehe Tabelle 5). Mit offenporigen Asphaltdeckschichten mit Kornaufbau 0/8 wird eine größte Pegelminderung von 5 dB erreicht.

**Tabelle 5: Straßenoberflächen (VBUS) mit Pegeleigenschaften**

Straßenoberfläche	D <sub>StrO</sub> in dB(A) bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit in km/h von			
	30	40	$\geq 50$	$\geq 60$
Nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	0,0	0,0	0,0	
Betone oder geriffelte Gussasphalte	1,0	1,5	2,0	
Pflaster mit ebener Oberfläche	2,0	2,5	3,0	
Sonstiges Pflaster	3,0	4,5	6,0	
Betone nach ZTV Beton 78 mit Stahlbesenstrich mit Längsglätter				1,0
Betone nach ZTV Beton-StB 01 mit Waschbetonoberfläche sowie mit Jutetuch-Längstexturierung				-2,0
Asphaltbetone < 0/11 und Splittmastixasphalte 0/8 und 0/11 ohne Absplittung				-2,0
Offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neubau einen Hohlraumgehalt > 15 % aufweisen				
- mit Kornaufbau 0/11				-4,0
- mit Kornaufbau 0/8				-5,0

### 2.2.2.3 Kreuzungen (Lichtsignalanlagen) und Kreisverkehre

Der Einfluss des Beschleunigens und Abbremsens vor bzw. nach lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Kreisverkehren wird in VBUS nicht berücksichtigt.

## 2.2.3 Emissionen nach RLS-19

### 2.2.3.1 Verkehr und Fahrzeuggruppen

„Die Stärke der Schallemission einer Straße (beschrieben durch den längenbezogenen Schallleistungspegel  $L'_{w}$ ) wird aus der Verkehrsstärke  $M$ , dem Anteil an Fahrzeugen der Fahrzeuggruppen Lkw1 und Lkw2  $p_1$  und  $p_2$ , den Geschwindigkeiten  $v$  der Fahrzeuggruppen und dem Typ der Straßendeckschicht berechnet. [...]“ [11].

Den in Tabelle 6 definierten Fahrzeuggruppen sind frequenzunabhängige Geräuschemissionen zugeordnet.

**Tabelle 6: Fahrzeuggruppen nach RLS-19**

Fahrzeuggruppe	Beschreibung
Pkw	Personenkraftwagen mit und ohne Anhänger und Lieferwagen (Güterkraftfahrzeuge mit einer zul. Gesamtmasse von bis zu 3,5 t). Pkw + PkwA + Lfw.
Lkw1	Lastkraftwagen ohne Anhänger mit einer zul. Gesamtmasse über 3,5 t und Busse. Lkw + Bus.
Lkw2 (einschl. Motorrad)	Lastkraftwagen mit Anhänger bzw. Sattelkraftfahrzeuge (Zugmaschine mit Auflieger) mit einer zul. Gesamtmasse über 3,5 t. LkwA + Sattel-Kfz. Motorräder sind wie Lkw2 mit der Geschwindigkeit von Pkw zu modellieren.

Für jede Fahrzeuggruppe wird das Jahresmittel der Bewegungen und die zulässige Höchstgeschwindigkeit in den Beurteilungszeiten Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) berücksichtigt.

Typische Emissionen der Fahrzeugklassen unterscheiden sich geschwindigkeitsabhängig um bis zu 8 dB. Beispielhaft für eine innerstädtische Geschwindigkeit von 50 km/h und eine Straßenoberfläche mit nicht geriffelter Gussasphalt (nationale Referenz) wird in Tabelle 7 der längenbezogene Schalleistungspegel je eines Fahrzeuges pro Stunde dargestellt.

**Tabelle 7: Summenpegel je Fahrzeug und Fahrzeugklasse**

Klasse	$L'_w$ in dB(A)*
Pkw	53,4
Lkw 1	58,9
Lkw 2 (einschl. Motorrad)	61,4

\* Längenbezogener Schalleistungspegel für jeweils ein Fahrzeug je Stunde auf Referenzoberfläche mit  $v = 50 \text{ km/h}$

Abweichend von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sind auf Autobahnen und Kraftfahrtstraßen ohne Geschwindigkeitsbegrenzung für die Fahrzeuggruppe Pkw 130 km/h anzusetzen und für die Fahrzeuggruppen Lkw1 und Lkw2 bzw. für Kfz über 3,5 t - zugunsten der Lärmbetroffenen – „reale“ 90 km/h. Auf einbahnigen Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften wird für Lkw1/2 eine Geschwindigkeit von 80 km/h angenommen.

Die Darstellung des Verkehrsflusses erfolgt durch eine Quellenlinie, die sich 0,5 m über der Straßenoberfläche befindet.

### 2.2.3.2 Straßenoberfläche

Die Korrekturwerte der Straßendeckschichttypen ohne Pflasterbelag werden in der RLS-19 für die Fahrzeuggruppen Pkw und Lkw in den Geschwindigkeitsbereichen „ $\leq 60 \text{ km/h}$ “ und „ $> 60 \text{ km/h}$ “ angegeben. Pflasterbeläge werden unabhängig von der Fahrzeuggruppe korrigiert (siehe Abbildung 1). Mit offenporigen Asphaltdeckschichten aus PA 8 wird für alle Fahrzeuggruppen eine größte Pegelminderung von ca. 5,5 dB erreicht.

**Tabelle 4a: Korrekturwerte  $D_{SD,SDT,FzG}(v)$  für unterschiedliche Straßendeckschichttypen SDT getrennt nach Pkw und Lkw und Geschwindigkeit  $v_{FzG}$  in dB; außer Pflasterbelägen**

Straßendeckschichttyp SDT	Straßendeckschichtkorrektur $D_{SD,SDT,FzG}(v)$ [dB] bei einer Geschwindigkeit $v_{FzG}$ [km/h] für			
	Pkw		Lkw	
	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60
Nicht geriffelter Gussasphalt	0,0	0,0	0,0	0,0
Splittmastixasphalte SMA 5 und SMA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,6	<del> </del>	-1,8	<del> </del>
Splittmastixasphalte SMA 8 und SMA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	<del> </del>	-1,8	<del> </del>	-2,0
Asphaltbetone ≤ AC 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13 und Abstumpfung mit Abstreumaterial der Lieferkörnung 1/3	-2,7	-1,9	-1,9	-2,1
Offenporiger Asphalt aus PA 11 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	<del> </del>	-4,5	<del> </del>	-4,4
Offenporiger Asphalt aus PA 8 nach ZTV Asphalt-StB 07/13	<del> </del>	-5,5	<del> </del>	-5,4
Betone nach ZTV Beton-StB 07 mit Waschbetonoberfläche	<del> </del>	-1,4	<del> </del>	-2,3
Lärmarrer Gussasphalt nach ZTV Asphalt-StB 07/13, Verfahren B	<del> </del>	-2,0	<del> </del>	-1,5
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus AC D LOA nach E LA D	-3,2	<del> </del>	-1,0	<del> </del>
Lärmtechnisch optimierter Asphalt aus SMA LA 8 nach E LA D	<del> </del>	-2,8	<del> </del>	-4,6
Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung aus DSH-V 5 nach ZTV BEA-StB 07/13	-3,9	-2,8	-0,9	-2,3

**Tabelle 4b: Straßendeckschichtkorrektur  $D_{SD,SDT}(v)$  für unterschiedliche Straßendeckschichttypen SDT für Geschwindigkeiten  $v$  in dB; für Pflasterbeläge**

Straßendeckschichttyp SDT	Straßendeckschichtkorrektur $D_{SD,SDT}(v)$ [dB] bei einer Geschwindigkeit $v$ [km/h]		
	30	40	ab 50
Pflaster mit ebener Oberfläche mit $b \leq 5,0$ mm <u>und</u> $b+2f \leq 9,0$ mm	1,0	2,0	3,0
sonstiges Pflaster mit $b > 5,0$ mm <u>oder</u> $f > 2,0$ mm <u>oder</u> Kopfsteinpflaster	5,0	6,0	7,0

**Abbildung 1: Korrekturwerte von Straßendeckschichten nach RLS-19 [11]**

**2.2.3.3 Kreuzungen (Lichtsignalanlagen) und Kreisverkehre**

Zur Berücksichtigung des Einflusses des Beschleunigens und Abbremsens vor bzw. nach lichtzeichenge-regelten Kreuzungen und Kreisverkehren bis zu einer Entfernung von 120 m zu den Schnittpunkten sich kreuzender oder zusammentreffender Quelllinien wird eine linear von der Entfernung abhängige Korrektur vorgenommen. Zwischen Fahrzeugklassen und Roll- bzw. Antriebsgeräuschen wird nicht unterschieden.

**2.2.4 Analyse der wesentlichen Unterschiede in den Emissionen**

**2.2.4.1 BUB versus VBUS**

Den vier Fahrzeugklassen der BUB steht die einfache Unterscheidung zwischen Pkw und Lkw der VBUS gegenüber. Neben der direkten Zuordenbarkeit der Pkw aus der VBUS zu der Klasse „leichte Kraftfahr-zeuge“ ist bei Lkw eine Zuordnung zu „mittelschweren Fahrzeugen“ und „schweren Fahrzeugen“ zu tref-fen, die sich in der Emission relevant unterscheiden (siehe Tabelle 2 und Tabelle 4). Bei einer innerstäd-tischen Geschwindigkeit von 50 km/h liegt die Geräuschemission von Pkw nach BUB ca. 3 dB über den Emissionen nach VBUS. Lkw wiederum werden bei dieser Geschwindigkeit 2 bis 4 dB geringer angesetzt. Der resultierende Unterschied der Geräuschemissionen der beiden Vorschriften ist somit stark vom Lkw-Anteil im Verkehr abhängig.



Detaillierte Vergleichsbetrachtungen sind auch in der „Lärmbekämpfung 14 (2019) Nr. 6; Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen“ [14] und „Umweltbundesamt (2021), Texte 84/2021, Vergleichsrechnungen für die EU-Umgebungslärmrichtlinie“ [15] zu finden, wenngleich dort die Aktualisierung der BUB/BUB-D zum 05.10.21 bzw. zum 17.11.21 noch nicht berücksichtigt werden konnte.

Im Testgebiet Bautzen wurde entschieden, die Aufteilung des Verkehrs von der VBUS zur BUB nach folgendem Schlüssel vorzunehmen:

Busse wurden gemäß den Vorgaben des Auftraggebers zu je 50 % in die Klassen 2 und 3 aufgeteilt, Lkw ohne Anhänger wurden zu 70 % der Klasse 2 und zu 30 % der Klasse 3 zugeschlagen. Sattelzüge sowie Lkw mit Anhänger kamen zu 100 % in Klasse 3.

„Zweirädrige Kraftfahrzeuge“ kommen hinzu und sind gesondert zu erfassen. Im Testgebiet Bautzen sind „Zweirädrige Kraftfahrzeuge“ nicht berücksichtigt.

In der BUB erfolgt eine Korrektur des Roll- und Antriebsgeräusches an lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Kreisverkehren infolge des Beschleunigens und Abbremsens. Diese Korrektur ist in der VBUS nicht vorgesehen. Die Summe der Korrekturen kann in unmittelbarer Nähe zum Lichtzeichen für die Fahrzeugklassen 2 und 3 bis zu 5 dB betragen. Bis zu diesem Betrag sind in der BUB lokal höhere Emissionen zu erwarten als nach VBUS.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Quellhöhe, die nach BUB 0,05 m und nach VBUS 0,50 m über der Fahrbahn liegt. Dieser emissionsneutrale, geometrische Unterschied hat insbesondere im Zusammenhang mit der Ausbildung des Geländemodells in Straßennähe einen Einfluss auf die Ausbreitungsberechnung (siehe Kapitel 7.4).

Bezüglich der Straßenoberflächen liegt der wesentliche Unterschied darin, dass die VBUS keine pegelmindernden Deckschichten für Geschwindigkeiten unter 60 km/h kennt und diese somit verglichen mit der BUB in der Geräuschemission um mehrere dB überschätzen kann.

Die Unterschiede treten situationsbedingt in verschiedenen Kombinationen und Ausprägungen auf, so dass keine pauschale Vorhersage zu höheren oder niedrigeren resultierenden Immissionspegeln möglich ist.

#### **2.2.4.2 BUB versus RLS-19**

Den vier Fahrzeugklassen der BUB stehen drei Fahrzeuggruppen der RLS-19 und ggf. Motorräder gegenüber. Die Klassen bzw. Gruppen stimmen in ihrer Klassifizierung und Geräuschemission nahezu überein, können jedoch in den Verkehrszahlen nicht direkt überführt werden. Die LAI-Hinweise zur Lärmkartierung [13] empfehlen in der dortigen Tabelle 2 einen Zuordnungsschlüssel, der eine Umrechnung des Verkehrs von der RLS-19 zur BUB und umgekehrt zulässt. Dieser Schlüssel kommt auch in der Erstellung des Verkehrsmodells Bautzen nach RLS-19 in Kapitel 5.2.2 zur Anwendung.

Die nach RLS-19 anzunehmende höhere Geschwindigkeit von Lkw auf Straßen ohne Geschwindigkeitsbegrenzung führt bei relevantem Lkw-Anteil zu höheren Emissionspegeln. Im Testgebiet Bautzen wird durch diesen Effekt der Nacht-Emissionspegel der RLS-19 an der Autobahn mit hohem Lkw-Anteil (rund 30 %) um mehr als 1 dB gegenüber der BUB angehoben.

In der BUB erfolgt eine Korrektur des Roll- und Antriebsgeräusches an lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Kreisverkehren infolge des Beschleunigens und Abbremsens. Die Summe der Korrekturen kann in unmittelbarer Nähe zum Lichtzeichen für die Fahrzeugklassen 2 und 3 bis zu 5 dB betragen. Nach RLS-19 kann die entsprechende Korrektur für alle Fahrzeuggruppen nur bis zu 3 dB betragen. Im Nahbereich von Lichtzeichen können die Emissionen allein durch die unterschiedlichen Korrekturen in BUB und RLS-19 um mehr als 1 dB voneinander abweichen.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Quellhöhe, die nach BUB 0,05 m und nach RLS-19 0,50 m über der Fahrbahn liegt. Dieser emissionsneutrale, geometrische Unterschied hat insbesondere im Zusammenhang mit der Ausbildung des Geländemodells in Straßennähe einen Einfluss auf die Ausbreitungsberechnung (siehe Kapitel 7.4).

### 2.3 Unterschiede in der Ausbreitungsberechnung

Um gleichbleibende Verhältnisse für alle Entfernungen (Quelle-Immissionsort) zu erhalten, wurden für die Analyse der Unterschiede in der Ausbreitungsberechnung zwischen VBUS und BUB für ein 2 m langes Straßenstück verschiedene Berechnungen mit folgenden Randbedingungen ausgeführt. Bei längeren Teilstücken würde mit zunehmendem Abstand zwischen Quelle und Immissionsort auch die Länge des zu betrachteten Teilstücks variieren. Die Betrachtung für ein 2 m Teilstück schließt dies aus:

- 2 m langes Straßenstück; Straßenbelag = Referenz
- 8 Immissionsorte in 4 m Höhe über Gelände mit einem Abstand von 10 m, 20 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, 1.000 m und 2.000 m von der „Straße“.
- Gelände eben,  $h = 0$  m.
- Bodeneffektgebiet mit  $G = 0,6$
- Ausbreitungsbedingungen (entsprechend Vorgaben BUB):
  - Tag 50 % günstig
  - Abend 75 % günstig
  - Nacht 100 % günstig

Dabei wurden die in nachfolgender Tabelle dargestellten Verkehrsszenarien betrachtet:

**Tabelle 8: Verkehrszusammensetzung für die Schallausbreitungsberechnung**

Straße	Anteil Pkw / Fahrzeugkategorie 1	Anteil Schwerverkehr / Fahrzeugkategorie 2/3	Geschwindigkeit Pkw / Schwerverkehr
1	100 %	-	120 / -
2	100 %	-	50 / -
3	-	100 %	- / 80
4	-	100 %	- / 50
5	90 %	10 %	120 / 80
6	90 %	10 %	50 / 50

Als Verkehrsmenge wurden je Zeitbereich 100 Kfz/Stunde angenommen. In der BUB werden die Lkw aus VBUS in die Klassen 2 und 3 im Verhältnis 40:60 aufgeteilt.

In den folgenden Vergleichen wurde die Emission richtlinienspezifisch, auf Basis identischer Verkehrszahlen und Verkehrsmixe erstellt.

Die dargestellten Pegelminderungen zum Vergleich der Richtlinien sind bei identischem Flottenmix und identischer Geschwindigkeit neutral in Bezug auf die Höhe des Emissionspegels, d. h. sie führen bei unterschiedlichen Emissionspegeln zu den gleichen Pegelminderungen.

Die unten dargestellten Schnittlärmkarten stellen für die beschriebenen Szenarien die Ausbreitungsrechnung nach VBUS, BUB und die aus dem Vergleich der Ergebnisse resultierenden Differenzen dar.

### **2.3.1 Geometrische Ausbreitung**

Der Abstand zwischen Quelle und Immissionsort geht bei beiden Berechnungsvorschriften in gleicher Weise in die Ausbreitungsrechnung ein. Unterschiede sind in den Termen nur durch die unterschiedlichen Ausgangswerte  $L_{m,E}$  in 25 m Abstand bzw. Schalleistungspegel für 1 m Straße gegeben.

### **2.3.2 Luftabsorption**

Der Dämpfungsterm für Luftabsorption ist bei beiden Richtlinien unabhängig von Flottenzusammensetzung und Geschwindigkeit. Die Dämpfung in den einzelnen Frequenzbändern ist bei der BUB unterschiedlich. Niedrige Frequenzen werden wenig gedämpft, während hohe Frequenzen eine stärkere Dämpfung erfahren. Ergebnisunterschiede ergeben sich aufgrund des Emissionsspektrums.

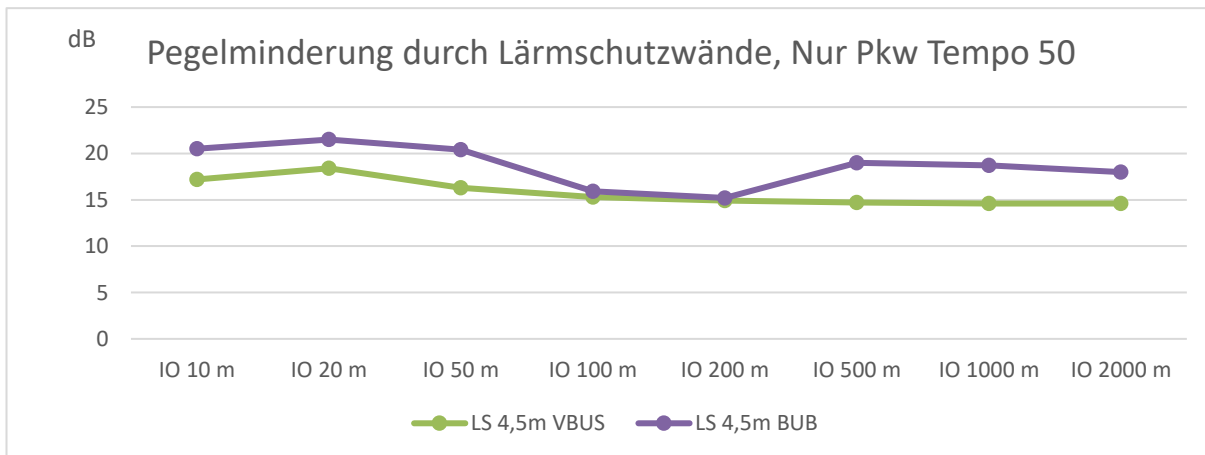
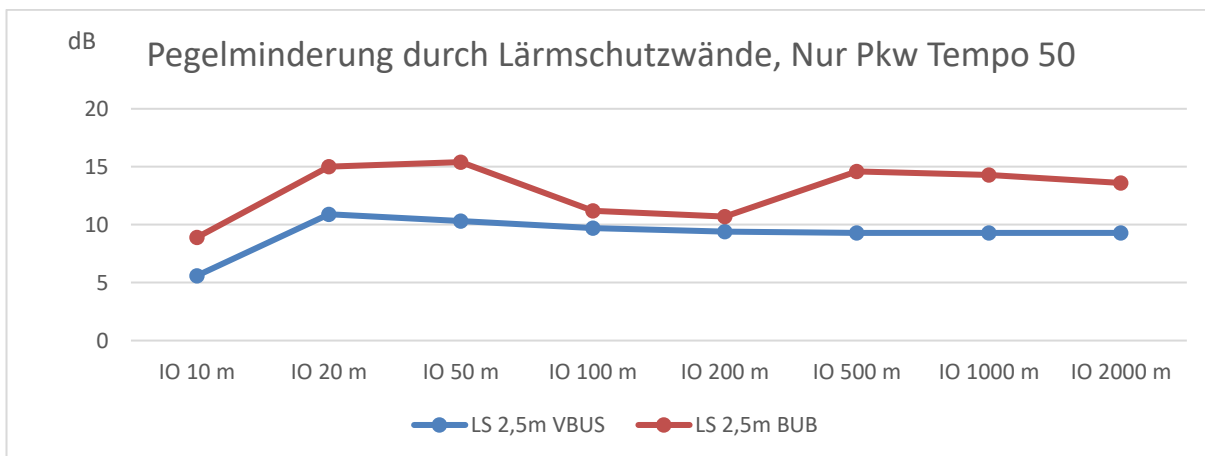
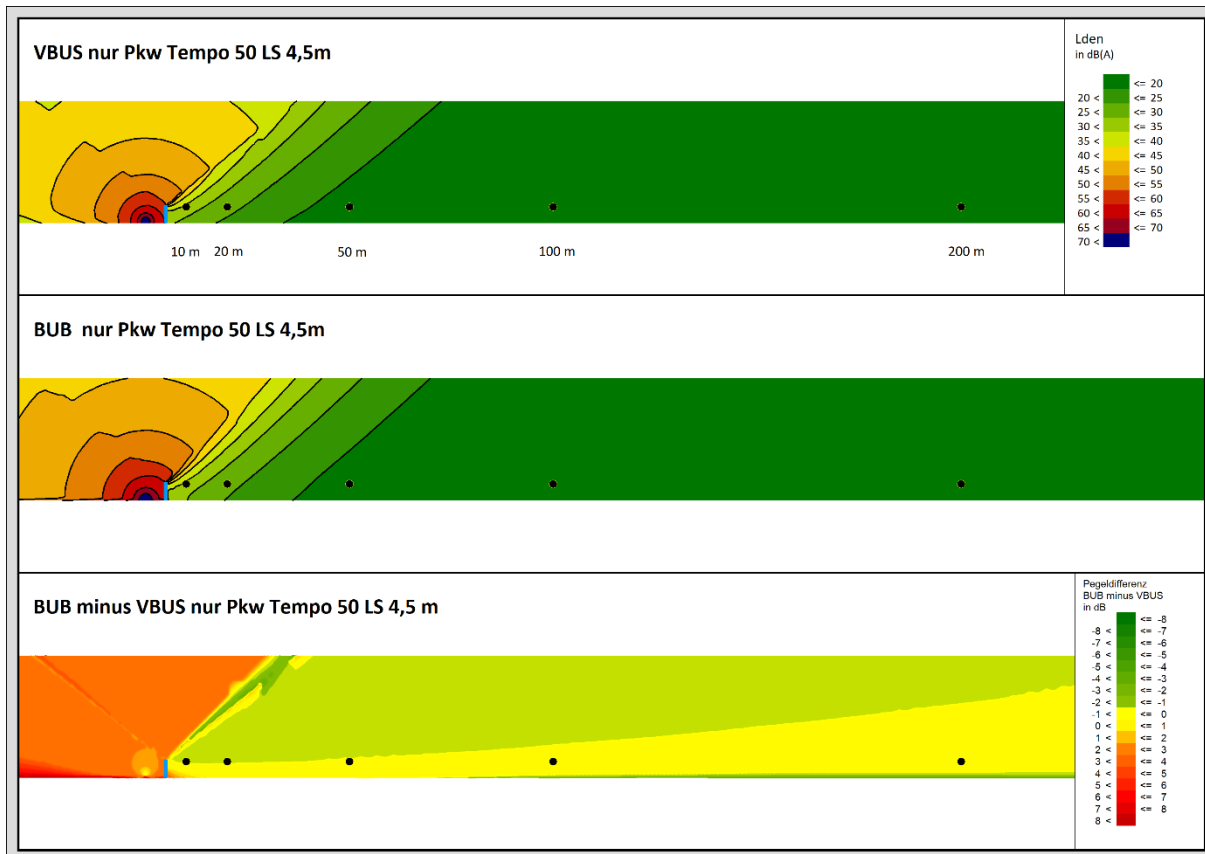
Der Term für die Luftabsorption wurde in den bisherigen Betrachtungen gemeinsam mit dem Bodeneffekt ausgewertet.

### **2.3.3 Beugung**

Für die vergleichende Betrachtung der Pegelminderung durch Lärmschutzwände wurden die Berechnungsmodelle um Lärmschutzwände (250 m Länge, Abstand zur Straße 5 m) in 2 verschiedenen Höhen, 2,5 m (innerorts) und 4,5 m (außerorts) entsprechend der mittleren Wandhöhe im Testgebiet Bautzen, ergänzt.

Da in der Praxis Beugung und Bodeneffekt immer zusammenwirken (siehe Kapitel 2.3.5) ist diese Betrachtung des reinen Beugungseffekts mehr theoretischer Natur, es gibt für diese Berechnungssituation keinen Praxisbezug. Um den Einfluss der Beugung besser vergleichen zu können, wurde bei der Berechnung nach BUB der Boden ähnlich dem definiert, wie er bei Berechnungen nach VBUS implizit interpretiert wird. Der Boden wurde quellnah mit  $G = 0$  und ab 5 m von der Quelle bis zum Immissionsorten mit  $G = 1$  definiert. Die Behandlung des Bodens entspricht damit nicht genau der Interpretation nach VBUS, die mit zunehmendem Abstand von der Quelle den Boden von  $G = 0$  bis  $G = 1$  gleitend verändert.

In den folgenden Schnittlärmkarten wurde die Emission richtlinienspezifisch, auf Basis identischer Verkehrszahlen erstellt. In den Aussagen zu Pegelwerten sind deshalb emissionsbedingte Unterschiede mit enthalten.



**Abbildung 2: Pegelminderung durch Lärmschutzwände, nur Pkw, Tempo 50**

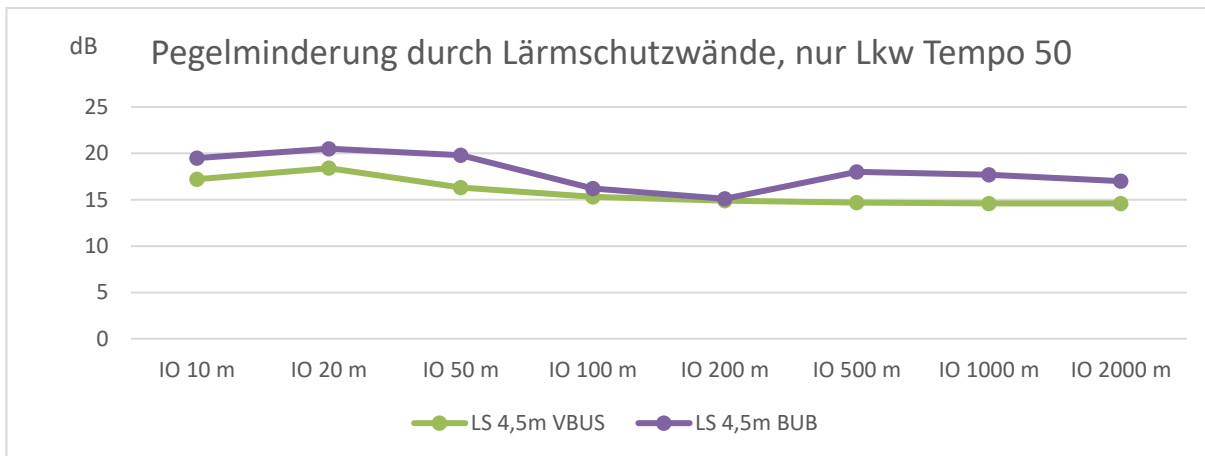
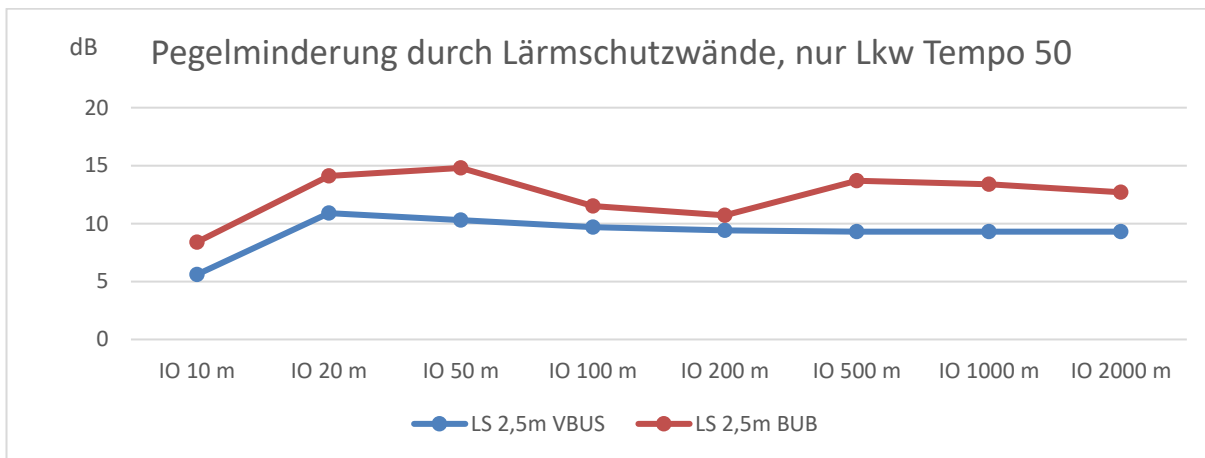
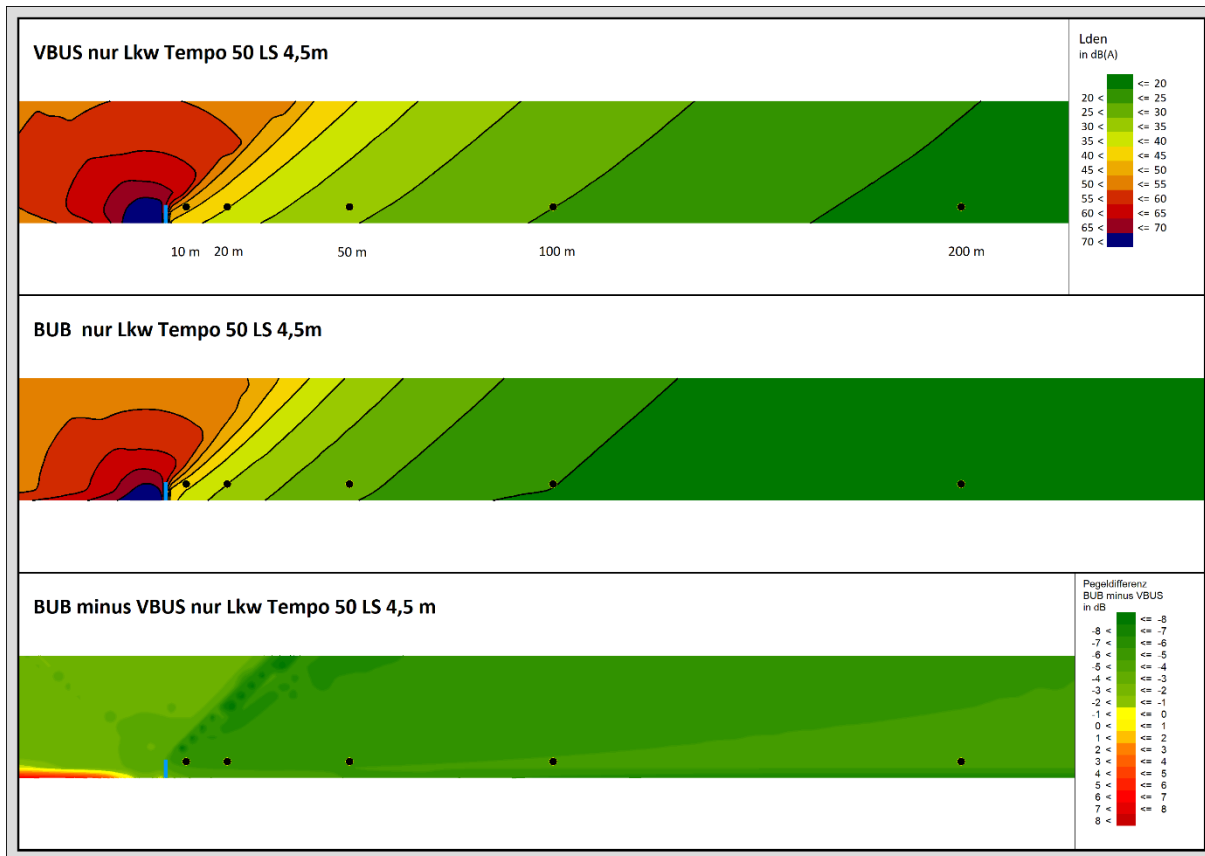


Abbildung 3: Pegelminderung durch Lärmschutzwände, nur Lkw, Tempo 50

Die BUB spricht Lärmschutzwänden generell eine höhere Minderung zu als VBUS. Dies liegt zum Teil auch an der unterschiedlichen Quellhöhe. Setzt man die Quellhöhe der BUB-Straße um 0,45 m höher, so ergibt sich zwar immer noch eine höhere Minderung als bei VBUS, der Unterschied ist jedoch nicht mehr so stark.

Die Pegelminderung nach VBUS ist für alle Geschwindigkeiten und Verkehrsszenarien gleich. Ab einer Entfernung von ca. 100 m ist die Pegelminderung annähernd konstant.

Der Rückgang der Pegelminderung basiert auf dem Bodeneffekt in der Ausgangssituation ohne Wand.

Während in der VBUS die Minderung allein aus der geometrischen Situation (Abstand IO zur Straße und Lage Hindernis) resultiert, ist sie nach BUB auch frequenzabhängig. Dieser Punkt wird in Kapitel 2.3.5 genauer dargestellt.

Sonstige Unterschiede:

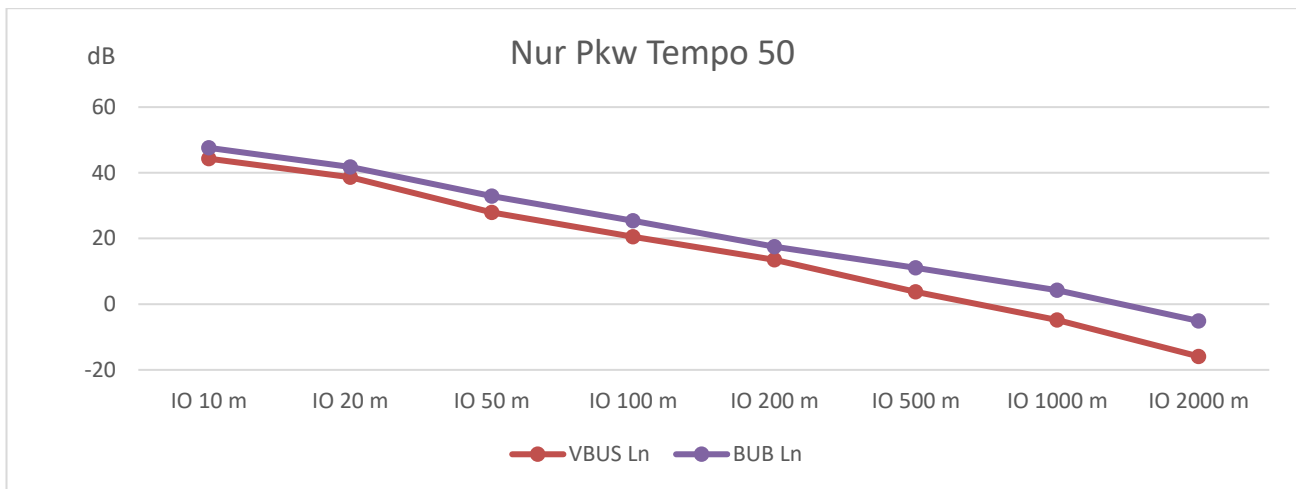
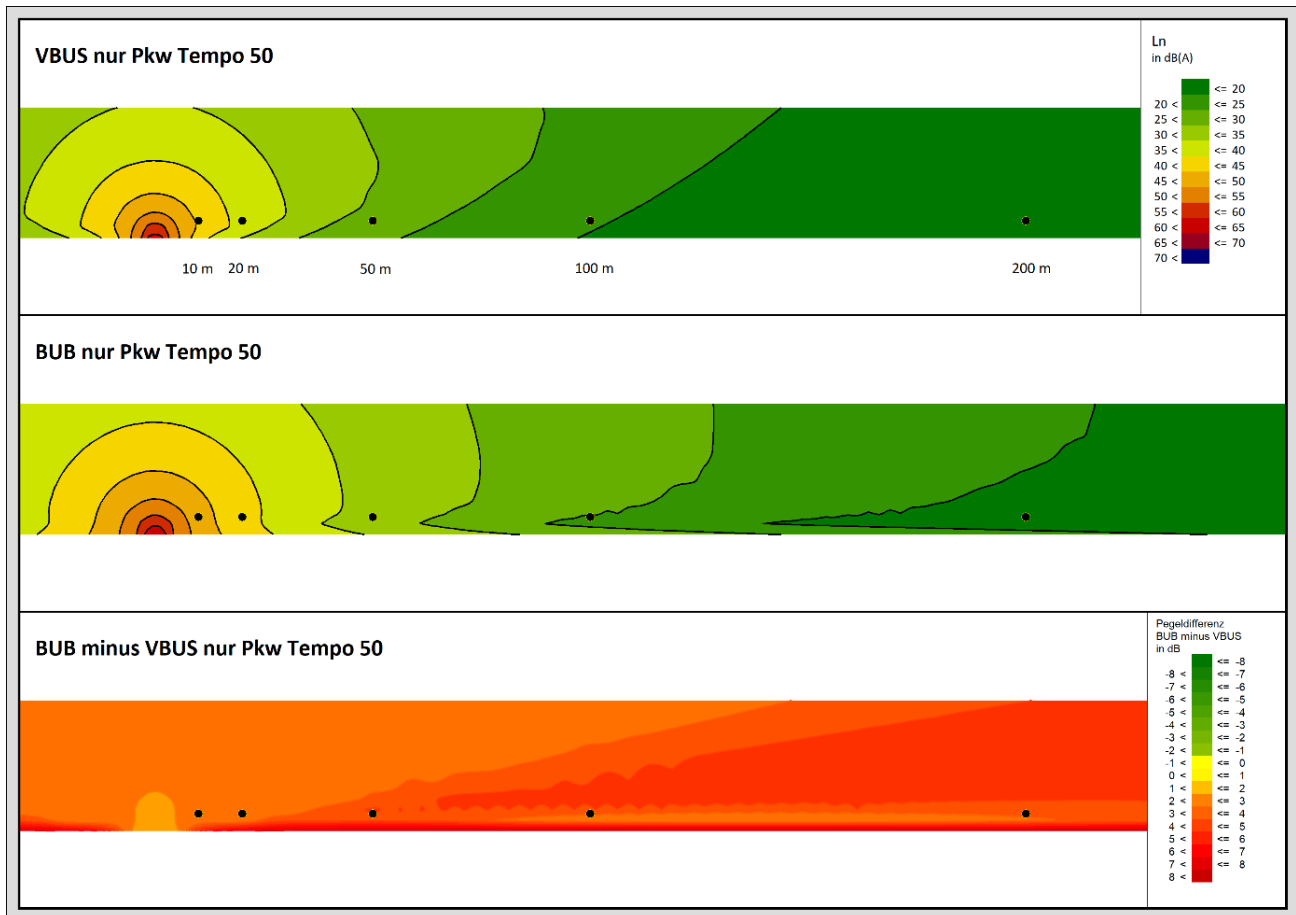
- Als wichtiger Unterschied ist hier die Begrenzung der Beugungsminderung in der BUB anzumerken. Während diese in der VBUS nicht begrenzt ist, ist sie bei Berechnungen nach BUB (Einfach- und Mehrfachbeugung) auf maximal 25 dB begrenzt.
- Bei der Berechnung nach BUB treten Pegelminderungen auch dann auf, wenn die Lärmschutzwand die Sichtverbindung zum IO nicht direkt unterbricht.

#### **2.3.4 Bodeneffekt**

Für die vergleichende Betrachtung der Pegelminderung durch Bodenabsorption und Luftabsorption wurden das BUB-Berechnungsmodell um ein Bodeneffektgebiet mit  $G = 0,6$  ergänzt.

In Bezug auf die Lärmkartierung entspricht diese Situation der Situation einer freien Schallausbreitung.

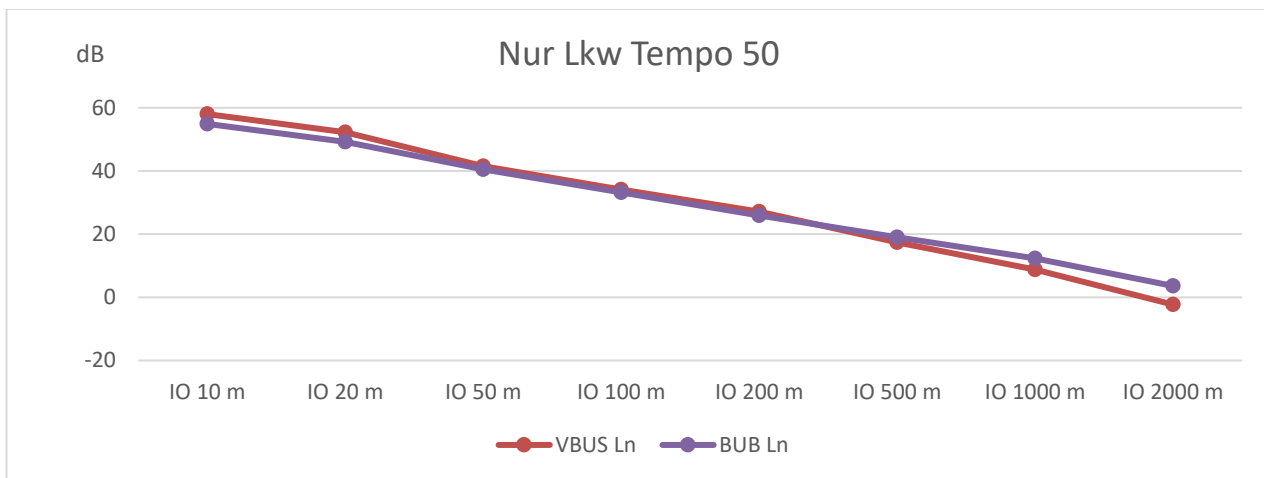
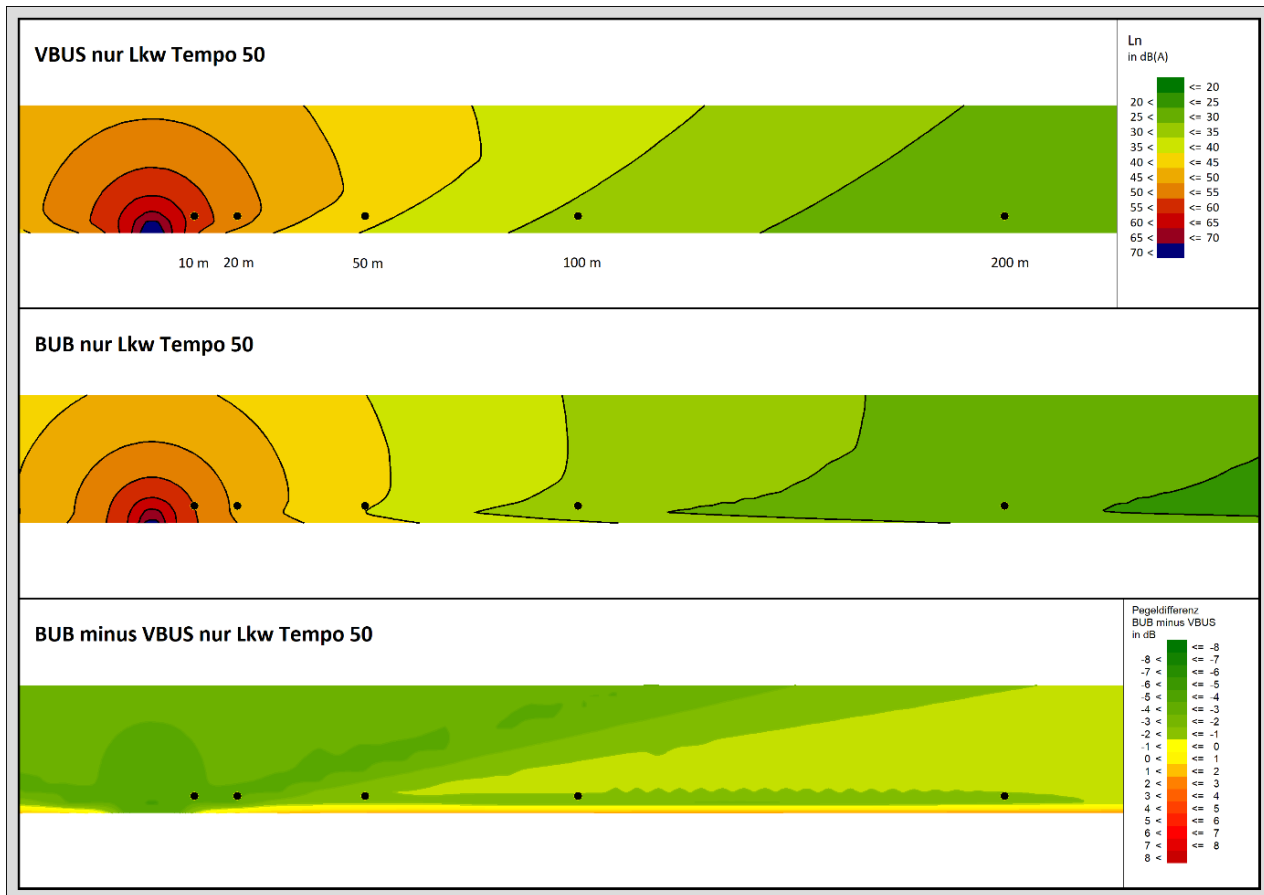
In den folgenden Schnittlärmkarten und Grafiken wurde die Emission richtlinienspezifisch, auf Basis identischer Verkehrszahlen, erstellt. In den Aussagen zu Pegelwerten sind deshalb emissionsbedingte Unterschiede mit enthalten.



IO	10 m	20 m	50 m	100 m	200 m	500 m	1000 m	2000 m
VBUS-BUB dB	-3,2	-3,1	-5,0	-4,9	-4,0	-7,3	-9,0	-10,8

**Abbildung 4: Pegelwerte unter Berücksichtigung der Bodendämpfung, nur Pkw, Tempo 50**

Die BUB gibt bei diesem Verkehrsszenario signifikant höhere Werte aus. Der Unterschied nimmt dabei ab einer Entfernung von 200 m noch deutlich zu. Bei 1.000 m Entfernung ergibt sich gegenüber dem Berechnungsergebnis nach VBUS ein Pegelunterschied von +9.0 dB, bei 2.000 m sogar von +10,8 dB.



IO	10 m	20 m	50 m	100 m	200 m	500 m	1000 m	2000 m
VBUS-BUB dB	3,0	3,1	1,1	0,9	1,3	-1,6	-3,5	-5,9

**Abbildung 5: Pegelwerte unter Berücksichtigung der Bodendämpfung, nur Lkw, Tempo 50**

Bis zu einer Entfernung von ca. 250 m gibt es bei diesem Verkehrsszenario bei Berechnungen nach BUB niedrigere Werte und ab 250 m höhere Werte als bei Berechnungen nach VBUS aus. Ab ca. 250 m Entfernung nimmt der Unterschied zwischen den Berechnungsergebnissen zu.

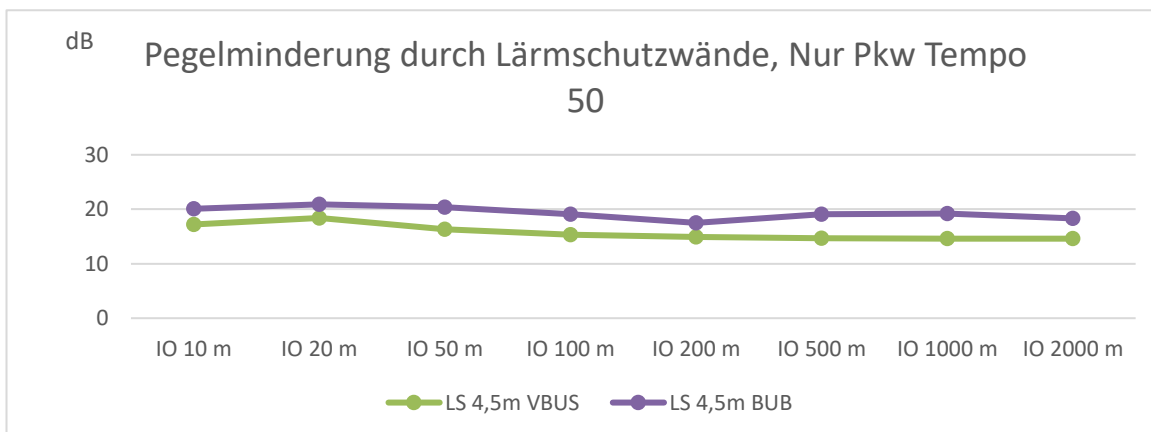
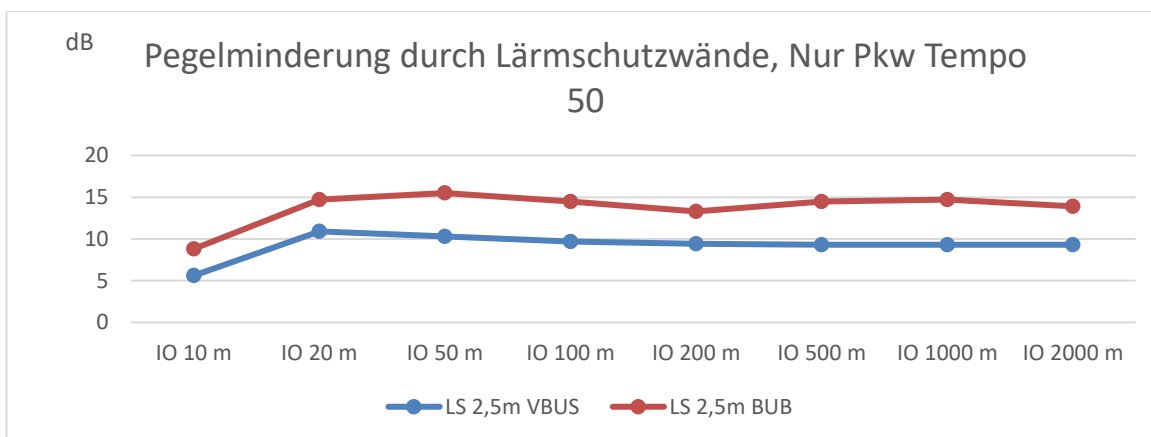
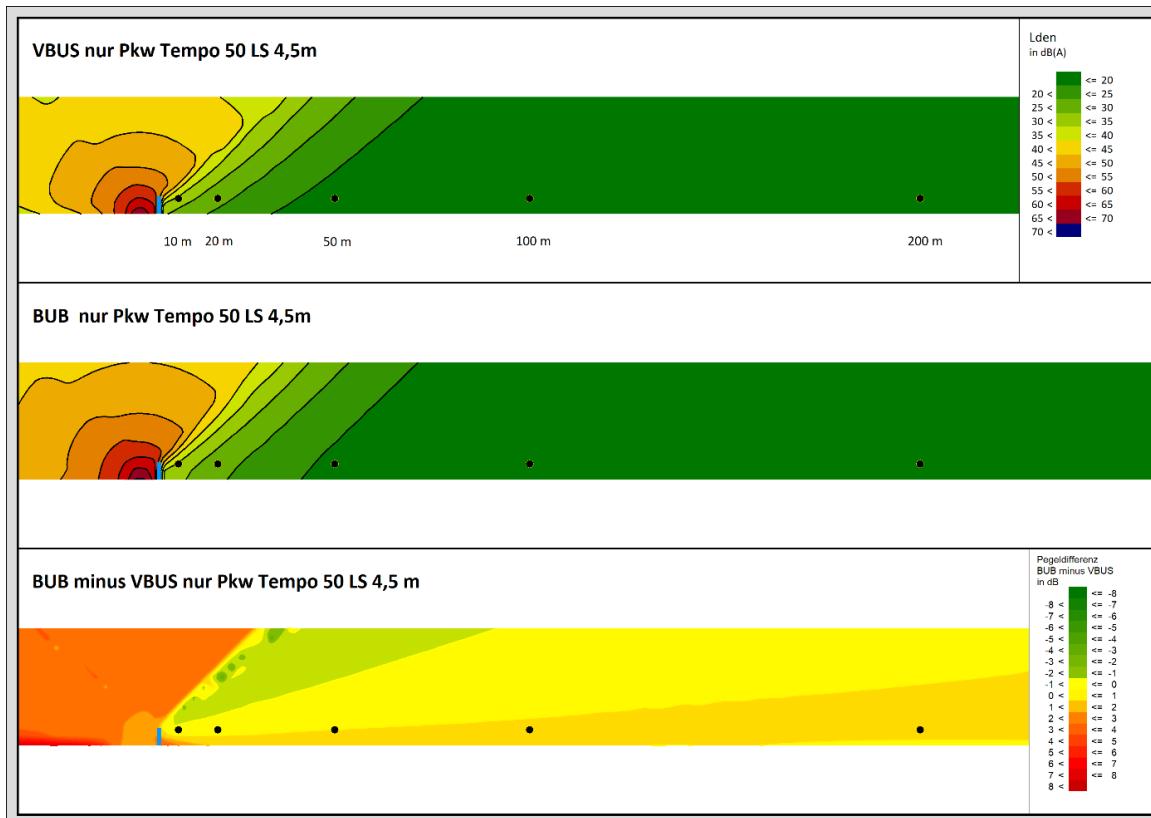
Damit ergibt in weiterer Entfernung zur Straße bei freier Schallausbreitung die BUB lautere Pegel als die VBUS.



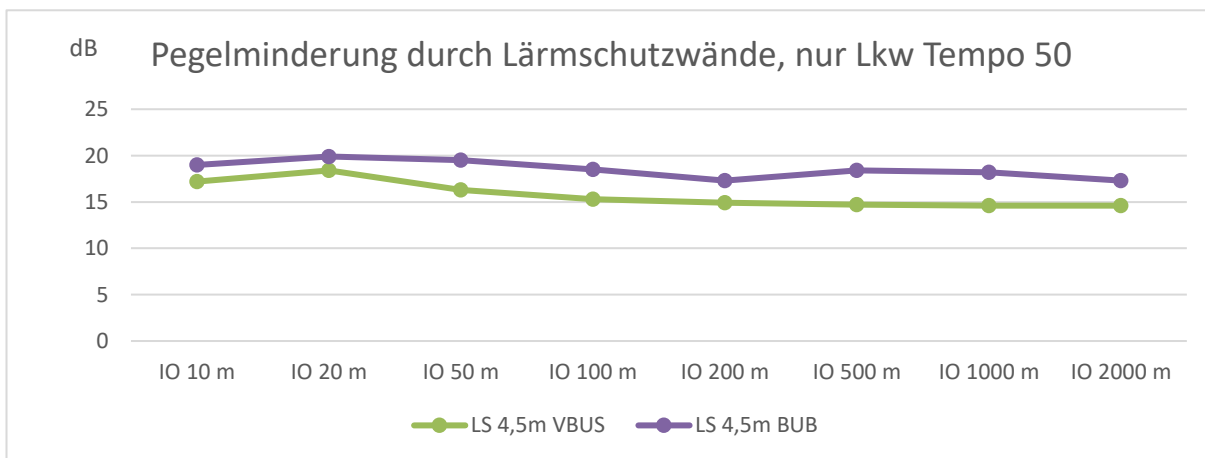
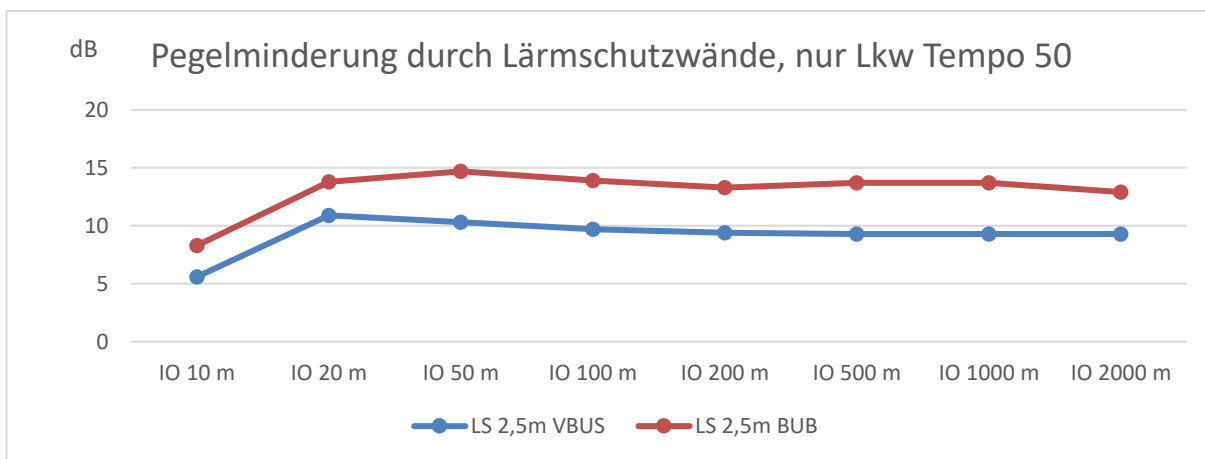
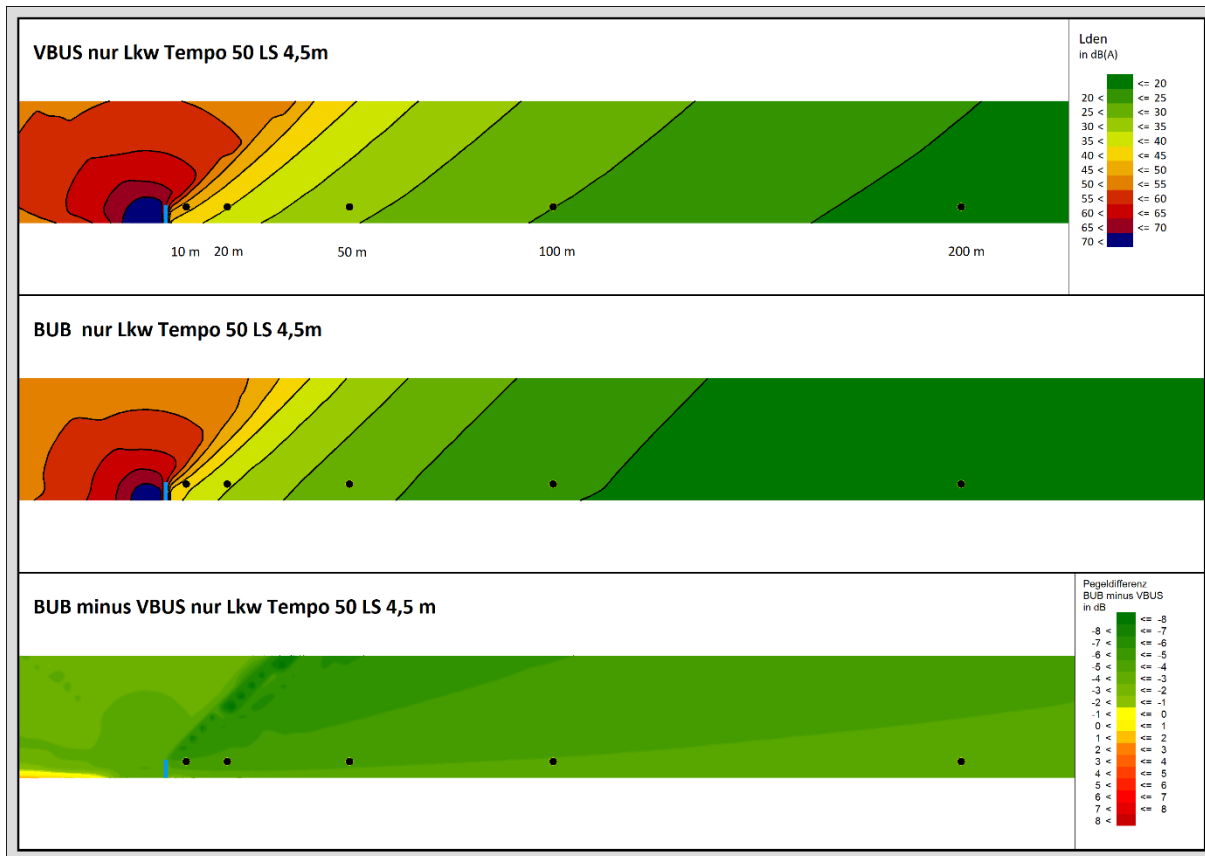
### **2.3.5 Beugung und Bodeneffekt**

Die Modelldaten wurden entsprechend Kapitel 2.3.3 und 2.3.4 ergänzt. D. h. das BUB-Berechnungsmodell wurde um ein Bodeneffektgebiet mit  $G = 0,6$  ergänzt und beiden Berechnungsmodellen wurden Lärmschutzwände hinzugefügt. Diese Berechnungssituation ist in Bezug auf die Lärmkartierung praxisrelevant. In dieser Situation ist die Bodenabsorption für die Berechnung nach BUB entsprechend der Vorgabe für die Lärmkartierung auf  $G = 0,6$  gesetzt.

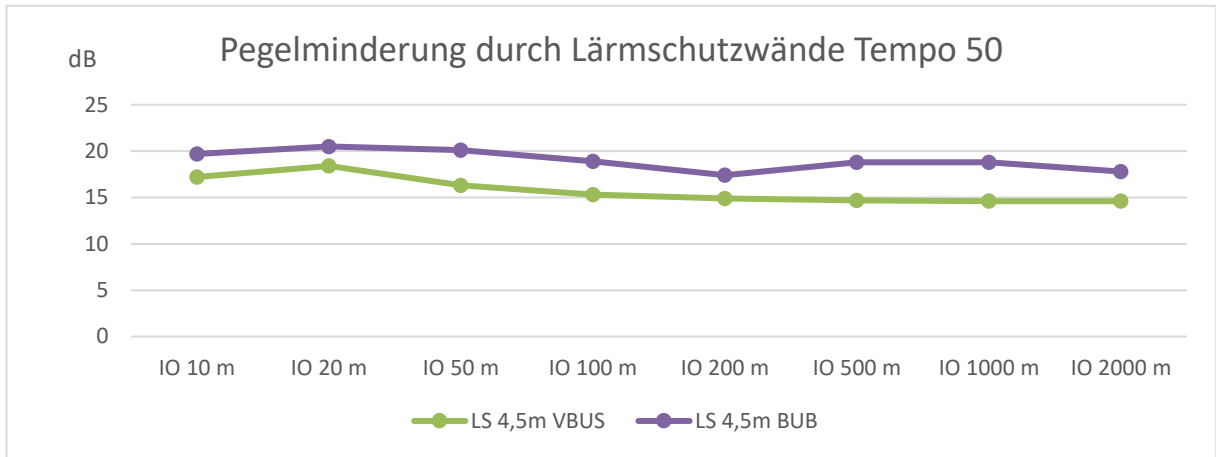
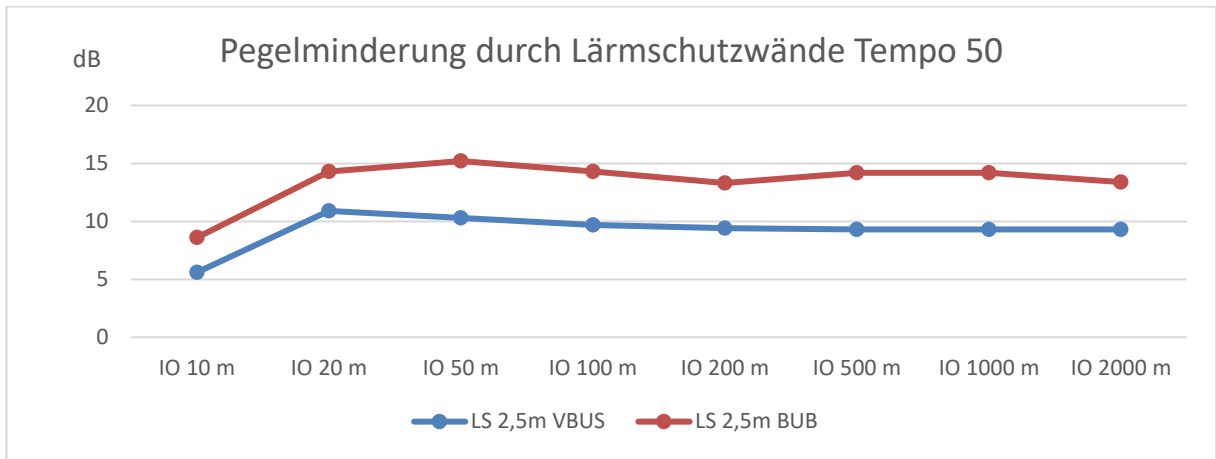
In den folgenden Schnittlärmkarten wurde die Emission richtlinienspezifisch, auf Basis identischer Verkehrszahlen, erstellt. In den Aussagen zu Pegelwerten sind deshalb emissionsbedingte Unterschiede mit enthalten.



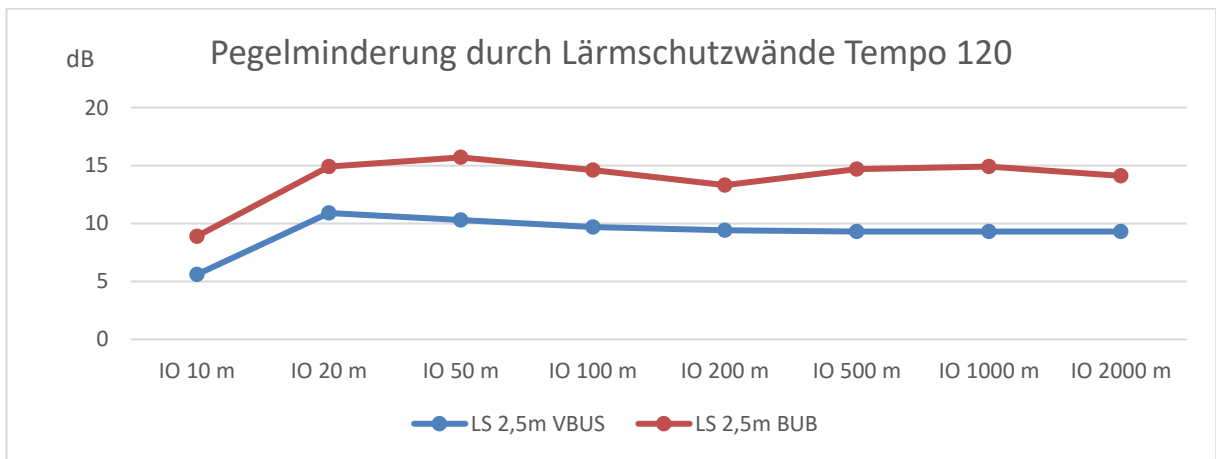
**Abbildung 6: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, nur Pkw, Tempo 50**

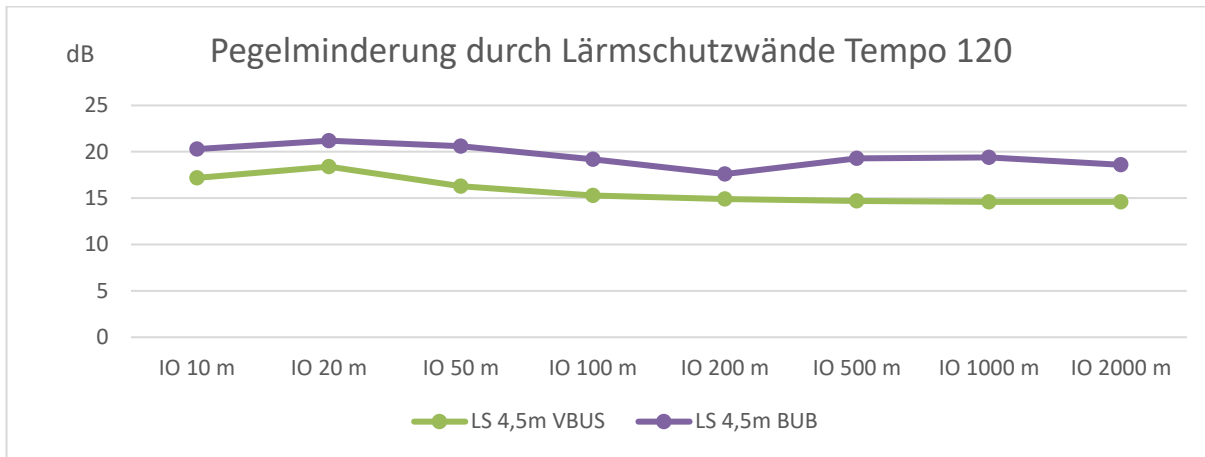


**Abbildung 7: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, nur Lkw, Tempo 50**



**Abbildung 8: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, Verkehrsmix Tempo 50**



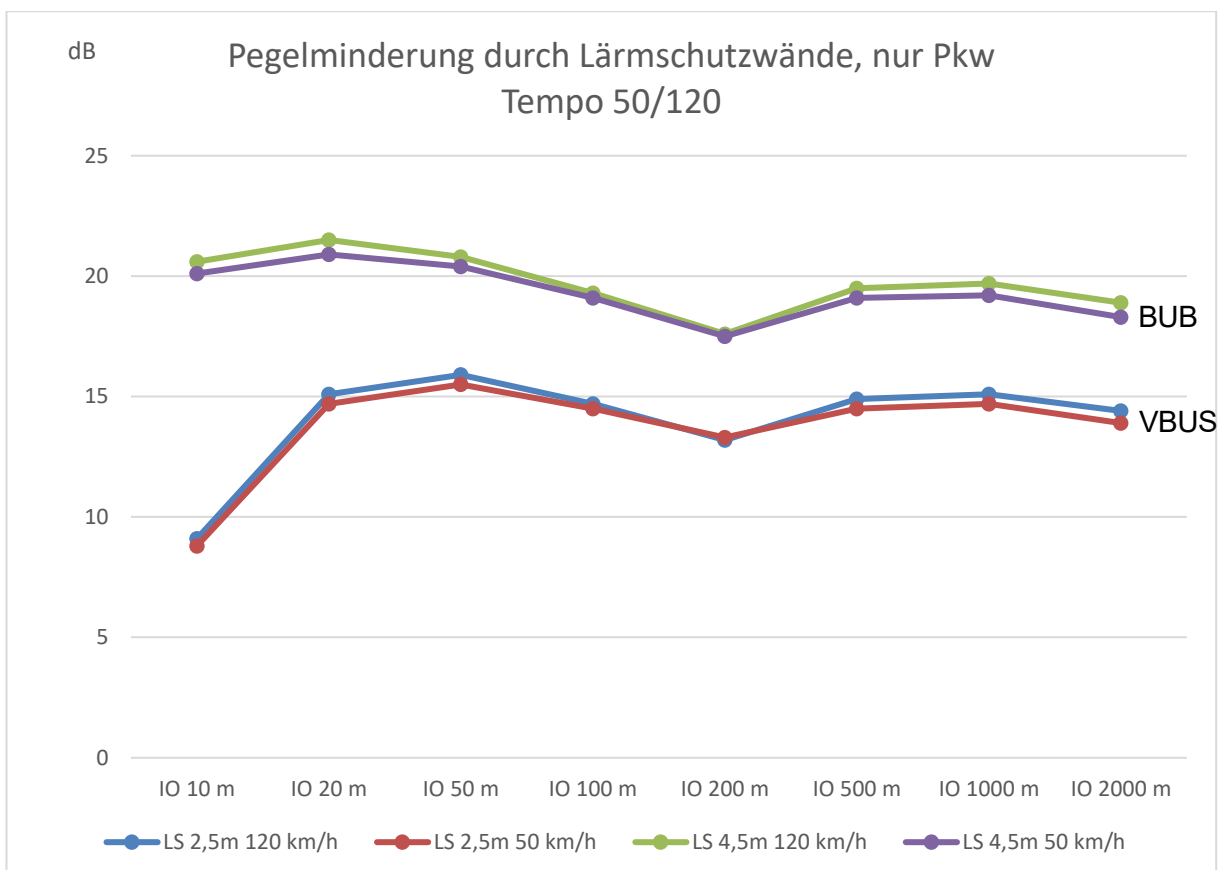


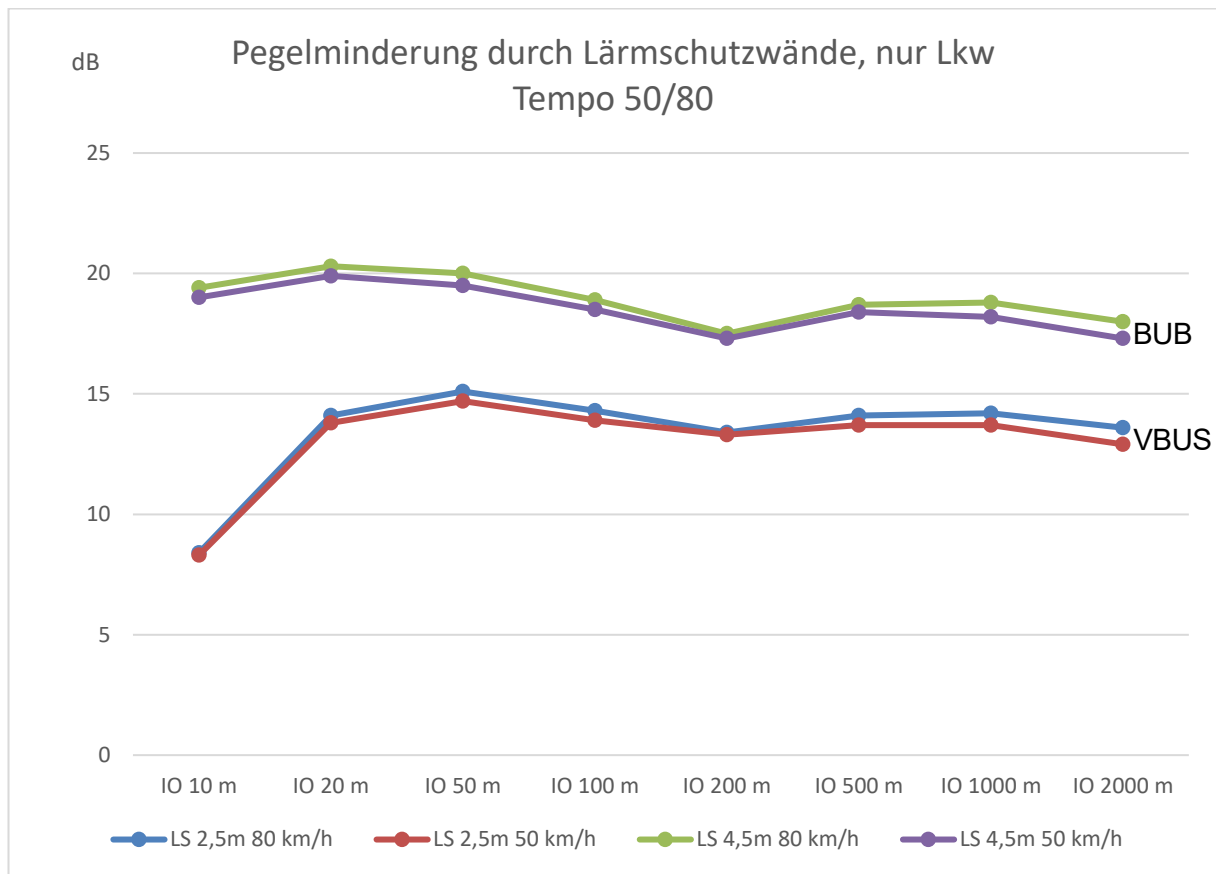
**Abbildung 9: Pegelminderung durch Lärmschutzwände und Bodeneffekt, Verkehrsmix Tempo 120**

Die Pegelminderung durch Abschirmung ist nach BUB (teils deutlich) höher als in der VBUS. Dies konnte auch schon bei der gesonderten Betrachtung des reinen Beugungseffekts in Kapitel 2.3.3 gezeigt werden und wird bei der Betrachtung zusammen mit dem Bodeneffekt weiter bestätigt.

Das zeigte sich auch am Beispiel Bautzen. Hier ist gerade auch die Abschirmung durch Geländekanten in den Ergebnissen der Rasterlärnkarte deutlich zu erkennen.

Während bei der VBUS die Minderung rein aufgrund der geometrischen Situation (Abstand IO zur Straße und Lage Hindernis) resultiert, ist sie bei der BUB auch frequenzabhängig. So wirkt eine Wand hier besser, wenn die Fahrzeuge mit einer höheren Geschwindigkeit fahren, bei Pkw tritt eine höhere Pegelminderung auf als bei Lkw.





**Abbildung 10: Pegelminderung durch Lärmschutzwände, nur Pkw Tempo 50/120 bzw. nur Lkw Tempo 50/80**

### 2.3.6 Analyse der Unterschiede in der Ausbreitungsberechnung

- Bei freier Schallausbreitung in weiterer Entfernung zur Straße ergibt die BUB lautere Pegel als die VBUS.
- Die BUB spricht Lärmschutzwänden generell eine höhere Minderung zu als VBUS. Dies liegt zum Teil auch an der unterschiedlichen Quellhöhe. Setzt man die Quellhöhe der BUB-Straße um 0,45 m höher, so ergibt sich zwar immer noch eine höhere Minderung als bei VBUS, der Unterschied ist jedoch nicht mehr so stark.
- Während in der VBUS die Minderung allein aus der geometrischen Situation (Abstand IO zur Straße und Lage Hindernis) resultiert, ist sie in der BUB auch frequenzabhängig. So wirkt eine Wand hier besser, wenn die Fahrzeuge mit einer höheren Geschwindigkeit fahren, bei Pkw tritt eine höhere Pegelminderung auf als bei Lkw. Dies hat ebenfalls mit der Frequenzzusammensetzung der Flotte zu tun und der gleichzeitig unterschiedlichen Dämpfung der einzelnen Frequenzbänder bei Abschirmung.
- Bei der Berechnung nach BUB treten Pegelminderungen auch dann auf, wenn die Lärmschutzwand die Sichtverbindung zum IO nicht unterbricht.
- Während nach VBUS die Beugungsminderung nicht begrenzt ist, ist diese bei Berechnungen nach BUB (Einfach- und Mehrfachbeugung) auf maximal 25 dB begrenzt, dabei kennt die VBUS nur die Einfachbeugung.

## 2.4 Ermittlung der Belastetenzahlen

### 2.4.1 Vorbemerkung

Belastetenzahlen geben die Anzahl von Bewohnern in einem Untersuchungsgebiet wieder, die – bezogen auf eine Lärmart wie beispielsweise Straßenverkehr – von einem bestimmten Immissionspegel bzw. einem Pegelband belastet werden. In der Umgebungslärmkartierung werden Belastetenzahlen in 5 dB-Schritten angegeben, andere Klassifizierungen sind möglich.

Die Zuordnung von Immissionspegeln zu (belasteten) Bewohnern erfolgt jeweils über Gruppen von Bewohnern in einem Gebäude zu Immissionspegeln an der Gebäudefassade in einer vorgegebenen Berechnungshöhe. Dabei unterscheidet sich das Zuordnungsverfahren der Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (BEB) [3] von der Vorgehensweise nach der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB) [5].

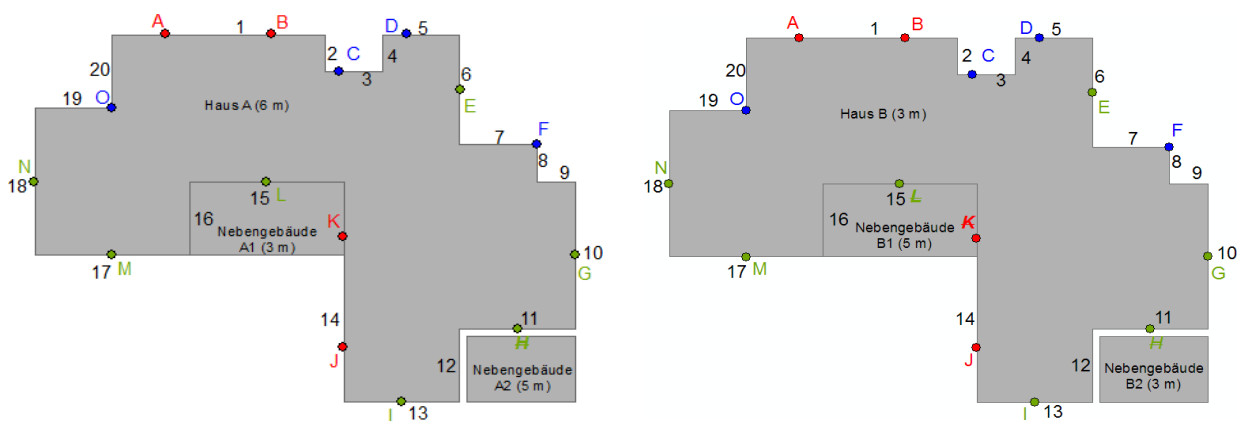
Sowohl in der BEB als auch in der VBEB werden verschiedene Ansätze beschrieben, Wohngebäuden Zahlen von Bewohnern zuzuordnen. In der Umgebungslärmkartierung im Freistaat Sachsen hat sich, wie auch in anderen Bundesländern, die Methode durchgesetzt, den Wohngebäuden detaillierte Einwohnermeldedaten zuzuordnen und auf pauschale Ansätze zu verzichten.

### 2.4.2 Vorgehensweise nach BEB

Nach BEB erfolgt die Zuweisung von Immissionsorten zu Gebäudefassaden, an denen die Immissionspegel zu ermitteln sind, nach folgendem Schema, wie auch in den Testaufgaben zur Belastetenermittlung [6] beschrieben.

Fassadenpunkte werden für Gebäude mit Bewohnern, Schulen und Krankenhäuser gesetzt. An Gebäuden mit einer Höhe von mindestens 4,2 m werden die Immissionsorte 4,0 m über dem Boden platziert. Für Gebäude mit einer Höhe von weniger als 4,2 m sind die Immissionsorte 0,2 m unterhalb der Gebäudeoberkante zu platzieren. Berechnungspunkte unterhalb einer Höhe von 2,0 m werden nicht verwendet. Die Berechnungspunkte werden in einer Entfernung von 0,1 m vor den Fassaden von Wohngebäuden angeordnet.

Grenzt ein betrachtetes Gebäude an ein anderes Gebäude, so entfallen Fassadenpunkte, die in diesem Gebäude liegen würden. Dabei ist eine Toleranz aufgrund ungenauer Lage/Digitalisierung von 1 m vorzusehen. Liegen diese Fassadenpunkte jedoch über dem anderen Gebäude sind sie zu berechnen. Die Vorgehensweise wird im Folgenden dargestellt (siehe Abbildung 11):



Quelle: Testaufgaben zur [...] Belastetenermittlung [6]

**Abbildung 11: Fassadenabschnitte und Fassadenpunkte nach BEB**

- Fassadensegmente mit einer Länge von mehr als 5 m werden in regelmäßige Abschnitte der größtmöglichen Länge, aber kleiner oder gleich 5 m unterteilt. Die Berechnungspunkte werden in die Mitte jedes regelmäßigen Abschnitts gesetzt.
- Abschnitt 1 und 14 werden geteilt und die Fassadenpunkte A, B, J und K festgelegt.
- Die verbleibenden Fassadensegmente mit einer Länge von mehr als 2,5 m werden durch einen Berechnungspunkt in der Mitte jedes Segments repräsentiert.
- Das betrifft die Abschnitte (Fassadenpunkte) 6 (E), 10 (G), 11 (H), 13 (I), 15 (L), 17 (M) und 18 (N).
- Verbleibende aneinandergrenzende Fassadensegmente mit einer Gesamtlänge von mehr als 2,5 m werden analog zu den Punkten 1 und 2 als zusammenhängende Fassadensegmente (Polylinienobjekte) behandelt.
- Abschnitte 2 bis 5 sind zusammen länger als 5 m (a) und werden durch die Punkte C und D repräsentiert. Abschnitte 7 bis 9 sind zusammen länger als 2,5 m (b) werden durch den Punkt F repräsentiert, die Abschnitte 19 und 20 durch den Punkt O.
- Die Abschnitte 12 und 16 sind jeweils kürzer als 2,5 m und nicht mit anderen kurzen Abschnitten verbunden. Hier werden keine Punkte berechnet.
- Liegt in weniger als 1 m Entfernung zu einem Berechnungspunkt, senkrecht zum repräsentierten Fassadensegment, ein anderes Gebäude dessen Höhe über der des jeweiligen Berechnungspunktes liegt, so ist dieser Berechnungspunkt nicht zu verwenden.
- Bei Haus A betrifft dies den Punkt H, bei Haus B die Punkte K und L.
- Die Berechnungspunkte eines Gebäudes werden in eine untere und eine obere Hälfte, basierend auf dem Medianwert aller für das Gebäude berechneten Geräuschpegel, aufgeteilt. Bei einer ungeraden Anzahl von Berechnungspunkten wird das Verfahren ohne den Berechnungspunkt mit dem jeweils niedrigsten Geräuschpegel angewandt.
- Auf die Berechnungspunkte in der oberen Hälfte des Datensatzes ist die Anzahl der Bewohner gleichmäßig zu verteilen, sodass die Summe aller Berechnungspunkte in der oberen Hälfte des Datensatzes die Gesamtzahl der Bewohner repräsentiert. In der unteren Hälfte des Datensatzes werden den Berechnungspunkten keine Bewohner zugewiesen.

Für die Zuordnung von Wohnungen zu Geräuschpegeln wird der lauteste Berechnungspunkt der einzelnen Wohnung verwendet. Wenn die genaue Lage der Wohnung oder die Zahl der Bewohner pro Wohnung nicht bekannt ist (was für den Freistaat Sachsen und andere Bundesländer zutrifft), kann die Zuordnung auf der Basis der ermittelten Belastetenzahlen erfolgen. Hierbei kann von einem Wert von 2,1 Bewohnern pro Wohnung ausgegangen werden.

Für die Zuordnung einzelner Gebäude von Schulen und Krankenhäusern zu Geräuschpegeln wird der jeweils lauteste Berechnungspunkt verwendet.

### **2.4.3 Vorgehensweise nach VBEB und Analyse der Unterschiede zur BEB**

Nach VBEB werden die Immissionsorte identisch zum Verfahren nach BEB festgelegt. Die Höhe wird jedoch ausschließlich 4,0 m über dem Boden definiert und für Gebäude mit einer Höhe von weniger als 4,0 m bzw. 4,2 m gibt es keine Sonderregelung zur Anpassung der Höhe. Die Definitionslücke hat in den vorangegangenen Lärmkartierungen zu verschiedenen Umsetzungen an entsprechend flachen Gebäuden geführt: Fassadenpunkte wurden beispielsweise abgesenkt, Gebäude wurden angehoben, Gebäude wurden ausgeschlossen oder Immissionen wurden „frei schwebend“ mit fehlender Abschirmung berechnet.



In Teilbereichen mit einer relevanten Zahl flacher Gebäude (< 4 m) ist zu erwarten, dass die jetzt eindeutige Vorgehensweise der BEB lokal abweichende Ergebnisse zu vorangegangenen Lärmkartierungen nach VBEB erzeugen wird.

Nach VBEB werden die Bewohner gleichmäßig den Pegeln der Fassadenpunkte zugeordnet. Die BEB hingegen ordnet sämtliche Bewohner eines Gebäudes ausschließlich der oberen Hälfte (Median) der berechneten Pegel zu. Die untere Hälfte der Pegel bleibt unberücksichtigt.

Für einen parallel zu einer maßgeblichen Verkehrslärmquelle liegenden Gebäuderiegel kann das beispielsweise bedeuten, dass nach VBEB 50 % der Bewohner einer lauten (verkehrszugewandten) und 50 % der Bewohner einer leisen (abgeschirmten) Fassade zugeordnet werden, wohingegen nach BEB 100 % dieser Bewohner der lauten Fassade zugeordnet sind. Nach BEB trägt dieses Beispielgebäude gegenüber der VBEB mit der zweifachen Zahl von Bewohnern zur Belastetenzahl in hohen Pegelbändern bei. Insgesamt ist zu erwarten, dass die Zahlen lärm betroffener Bewohner in hohen Pegelbändern nach BEB deutlich über vergleichbaren Zahlen nach VBEB liegen werden (siehe Kapitel 3.2.3).

Nach VBEB ist bei der Zuordnung von Pegeln zu Wohnungen nicht definiert, welcher Pegel (von ggf. vielen) an einer Wohnung heranzuziehen ist. Gemäß BUB ist der lauteste Berechnungspunkt zu verwenden. Dieser mögliche Unterschied hat in der Praxis keine Relevanz, da die Anzahl belasteter Wohnungen üblicherweise statistisch über die Belastetenzahl von Bewohnern ermittelt wird.

Nach VBEB ist bei der Zuordnung von Pegeln zu Gebäuden von Schulen und Krankenhäusern der energetische Mittelwert der einzelnen Werte am Gebäude zu verwenden. Nach BUB ist jedoch jeweils der lauteste Berechnungspunkt heranzuziehen. Damit ist auch für Schul- und Krankenhausgebäude zu erwarten, dass die Auswertung nach BEB im Vergleich zur VBEB tendenziell höhere Belastetenzahlen von Schulen und Krankenhäusern in vergleichbaren Pegelbändern ergibt.

## **3 Lärmberechnung für das Testgebiet nach BUB und VBUS**

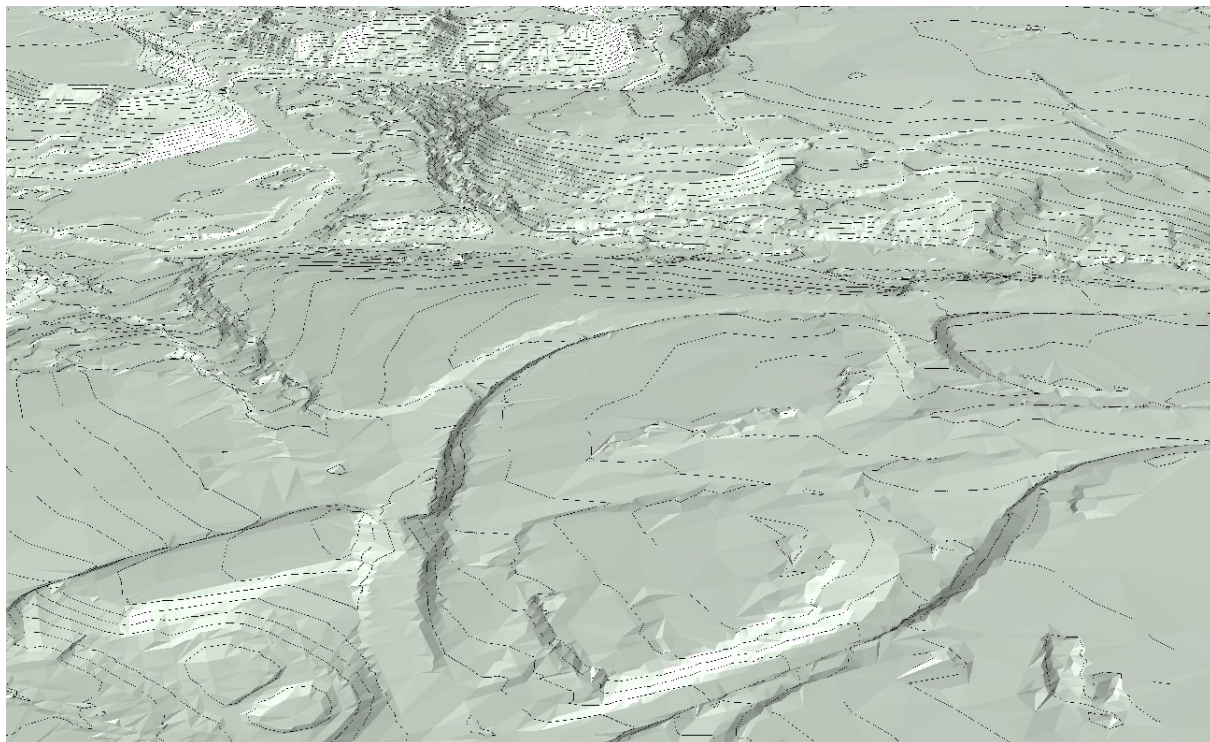
### **3.1 Berechnungsmodell**

#### **3.1.1 Vorbemerkung**

Die vom Auftraggeber bereitgestellten Modelldaten für das Testgebiet wurden analysiert und in die Berechnungssoftware importiert. Sämtliche akustische Berechnungen und Ergebnisausgaben dieser Untersuchung erfolgen gemäß interner Aufgabenverteilung mit der Software SoundPLAN [16]. Die Software IMMI [17] wird bei der Optimierung der Rechenparameter hinzugezogen.

##### **3.1.1.1 DGM**

Wie mit dem AG besprochen, wurden die Höhenpunkte des Original-DGM2 verwendet und während des Imports innerhalb einer Höhendifferenz von 0,5 m (über 90 % der Punkte liegen dabei innerhalb von 0,25 m) gefiltert. Insgesamt wurden über 98 % der Originalpunkte ausgefiltert. Alle relevanten Kanten bleiben erhalten.



**Abbildung 12: Roh-DGM**

### **3.1.2 Gebäude**

Die Gebäude wurden über eine Shape-Datei importiert, deren Attributtabelle zusätzliche Informationen zum Objekt beinhaltet. Dies sind neben der Gebäudehöhe und der Anzahl Einwohner auch ein eindeutiger Hausschlüssel sowie die Informationen „bewohnt“ zur Klassifizierung der Gebäude als Wohngebäude und „Funktion“, welche die Information „Schule“ bzw. „Krankenhaus“ beinhaltet. Zum anzusetzenden Reflexionsverlust gibt es in den Daten keine Angaben. Die Gebäude wurden nach dem Import auf das DGM gesetzt.

### **3.1.3 Lärmschutzwände**

Die Lärmschutzwände wurden als Shape zur Verfügung gestellt. Die Wandhöhen der Bauwerke und Angaben zu absorbierend/hochabsorbierend/reflektierend sind in den Daten enthalten. Als zusätzliche Informationen wurden die Bauwerksnummern sowie die Art des Lärmschutzes (Wand/Wall) und der Kommentar zu den Daten aus der Lärmkartierung 2017 übermittelt.

Die Geländehöhe bzw. die absolute Höhe der Bauwerksoberkante ist in den Daten enthalten.

### **3.1.4 Straßen (ohne Verkehr)**

Die kartierungspflichtigen Straßen wurden ebenfalls über Shape eingelesen. Die Verkehrsbelegungen und Geschwindigkeiten sowie weitere in den Straßendaten enthaltene Informationen, die zur weiteren Bearbeitung notwendig sind, wurden mit importiert. Dies betrifft Angaben zur Straßenoberfläche (Belagskategorie), Anzahl Fahrstreifen und Straßenbreite.

Die Belagskategorien wurden den entsprechenden Straßenoberflächen nach VBUS bzw. BUB zugeordnet.

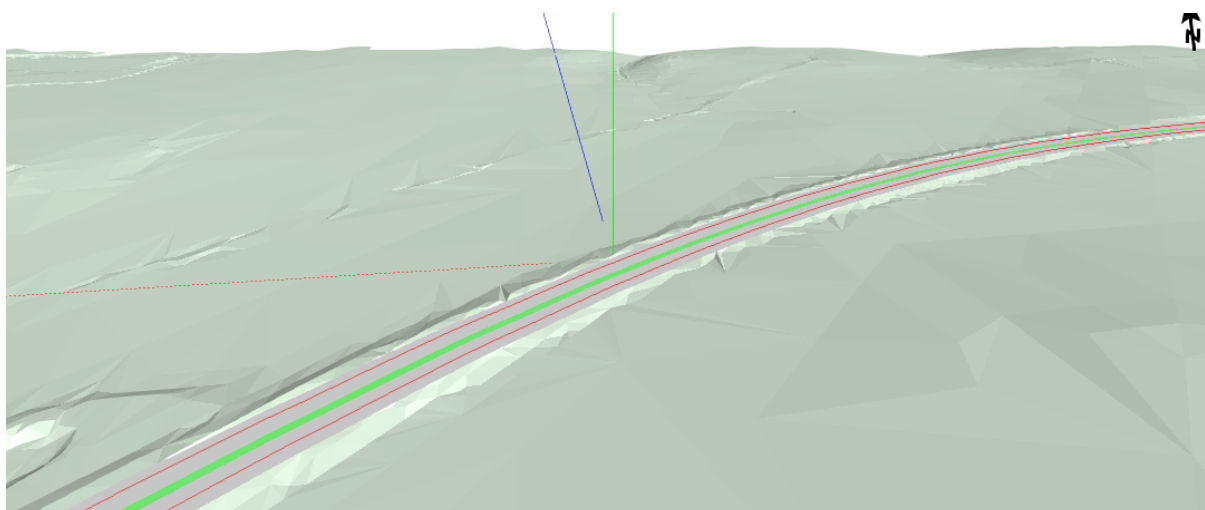
**Tabelle 9: Straßenoberflächen VBUS und Belagskennung in den Importdaten**

	VBUS	BUB
Belagskategorie 1	1 Nichtgeriffelte Gussasphalte	DE00 Nicht geriffelter Gussasphalt
Belagskategorie 67	7 Splittmastixasphalte 0/8 und 0/11 ohne Absplittung	DE02 Splittmastixasphalte SMA 8

Die in den Daten enthaltenen Straßenbreiten wurden den Feldern für die Fahrbahnbreite zugewiesen. Die Position der Emissionslinien wurde entsprechend der Regelquerschnitte RQ 26 (Autobahn) und RG 10,5 (sonstige Straßen) abgeleitet. Für die Autobahn wurde zusätzlich analog zu Regelquerschnitt RQ 26 ein 3 m breiter Mittelstreifen berücksichtigt.

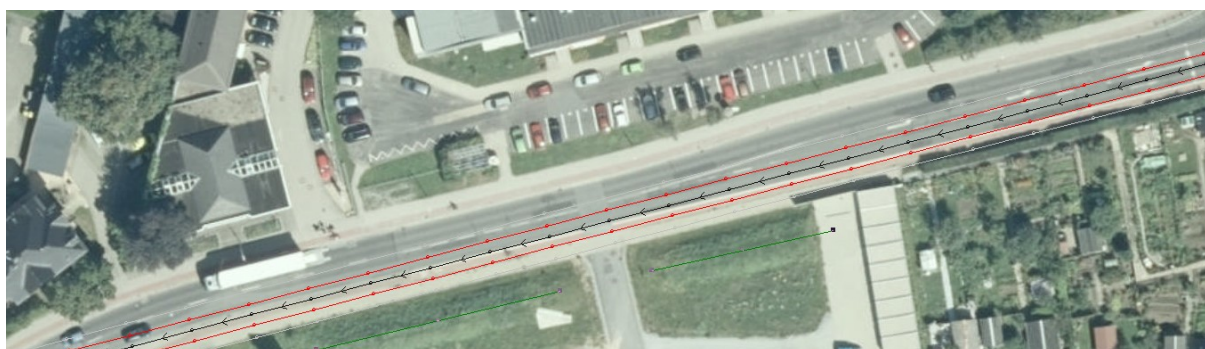
Die Straßenstücke wurden zusammengeführt, damit in einem weiteren Schritt Brücken erkannt werden können bzw. die relevanten Straßen für die Knotenpunkte ausgewertet werden können.

Die Straßen wurden auf das DGM gesetzt, wobei die Straßenränder in das DGM mit eingehen. Damit ist sichergestellt, dass keine Emissionslinien „verschüttet“ werden – auch bei einer Emissionshöhe von 0,05 m nach BUB (siehe auch Kapitel 7.4).



**Abbildung 13: DGM mit eingerechneten Straßenrändern**

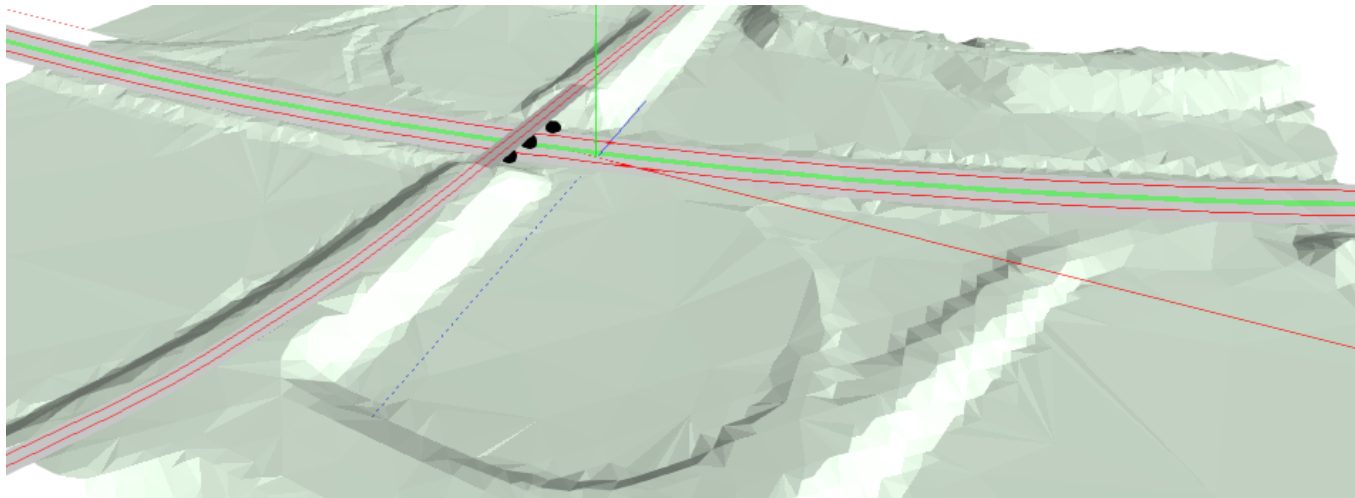
Die Lage der innerstädtischen Straßen wurde vor der endgültigen Modellfreigabe mit den Ortophotos des bereitgestellten WMS Servers abgeglichen, da bei Stichproben ungenaue Straßenlagen gefunden wurden.



**Abbildung 14: Ungenaue Straßenlage**

### 3.1.5 Brücken

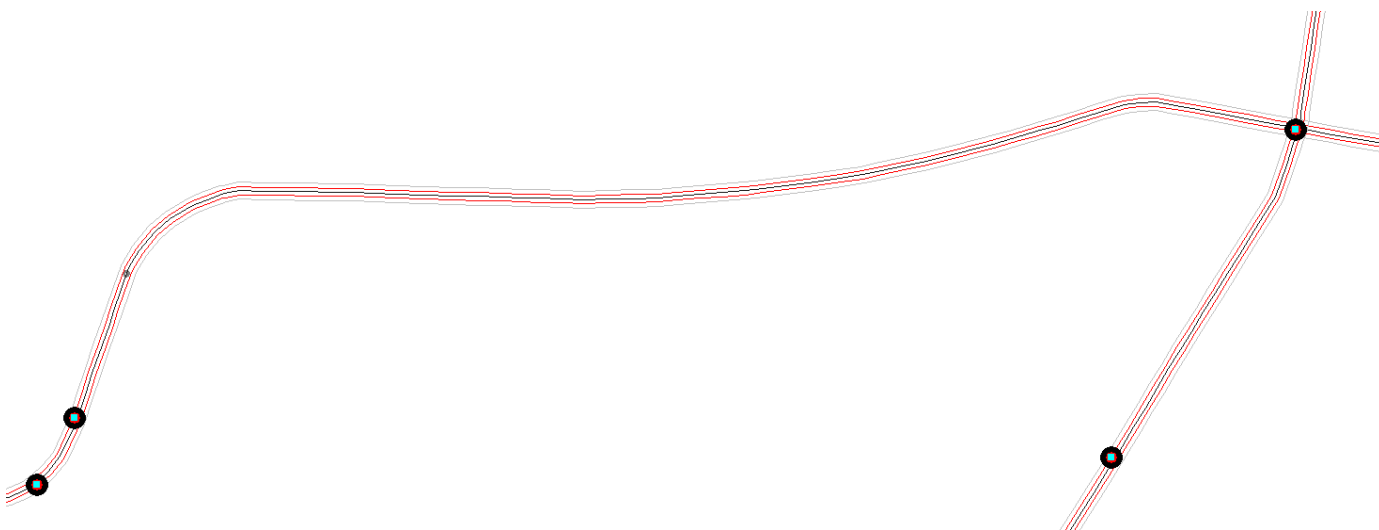
Im Zuge der Trassenbereinigung wurden über bestimmte Parameter zu Höhendifferenzen im DGM innerhalb der Gradienten Brücken gesucht. Ein Abgleich mit den zur Verfügung gestellten Brückenpunkten und den Orthophotos ergab sehr plausible Ergebnisse. Brückenpunkte im Modell, an denen keine kartierungspflichtigen Straßen kreuzen, müssen nicht zwingend modelliert werden.



**Abbildung 15: Automatisch gefundene Brücke über die A4 und im Modell enthaltene Brückenpunkte**

### 3.1.6 Knotenpunkte

In den Daten ist die Lage von Knotenpunkten (lichtzeichengeregelte Kreuzungen und Kreisverkehre) enthalten, zusammen mit der Information „BUB konform“. Diese müssen für die Berechnungen nach BUB eingepflegt werden. Allerdings liegen nur die wenigsten Knotenpunkte tatsächlich im Kreuzungsbereich zweier kartierungspflichtiger Straßen.



**Abbildung 16: Lage der Knotenpunkte**

### 3.1.7 Verkehr BUB

Die Verkehrsdaten für BUB wurden mit den Verkehrsmengen für die Zeiten Day, Evening, Night und den prozentualen Schwerverkehrsanteilen für die einzelnen Fahrzeugklassen vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

### 3.1.8 Verkehr VBUS

Die Verkehrsdaten für VBUS wurden aus den Zahlen der BUB durch Zusammenfassung der Lkw-Anteile abgeleitet.

## 3.2 Berechnung und Ergebnisse

### 3.2.1 Berechnung nach BUB

Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit folgenden Parametern und Ergebnissen durchgeführt:

- Berechnung der Fassadenpegel nach BEB für die betroffenen Gebäude mit Ausweisung von  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$ .
- Hierbei wird die nach Nr. 4.5 der BEB vorgegebene Neuverteilung und Gewichtung der „Empfangspunkte“ berücksichtigt.
- Ausweisung der aufsummierten Betroffenheiten nach Pegelbereichen sowie Flächen nach BEB für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  (siehe Tabelle 10)
- Berechnung von Flächenrastern mit einer Auflösung von 10 m x 10 m für die Beurteilungszeiträume  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  in einer Höhe von 4 m über dem Boden
- Darstellung der Ergebnisse in Lärmkarten für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  gemäß 34. BImSchV mit einer Isolinienbreite von 5 dB (siehe Abbildung 17)
- Berechnungsparameter gemäß unveränderten Parameter<sup>ref</sup> (siehe Kapitel 4.1.1)

**Tabelle 10: Belastete nach BUB (Parameter<sup>ref</sup>)**

„Referenzparameter“ Name	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik BUB BEB Median Anzahl Einwohner	
			$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	45 – 50	-	8.227
		50 – 55	-	4.857
		55 – 60	5.700	2.785
		60 – 65	3.654	1.069
		65 – 70	2.267	37
		70 – 75	528	-
		> 75	4	-

„Referenzparameter“ Name	Größe [km <sup>2</sup> ]	Schwellenwerte [dB(A)]	Flächenstatistik BUB Belastete Fläche Größe [km <sup>2</sup> ]	
			$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	> 55	25,99	11,69
		> 65	7,12	1,83
		> 75	1,18	0,41

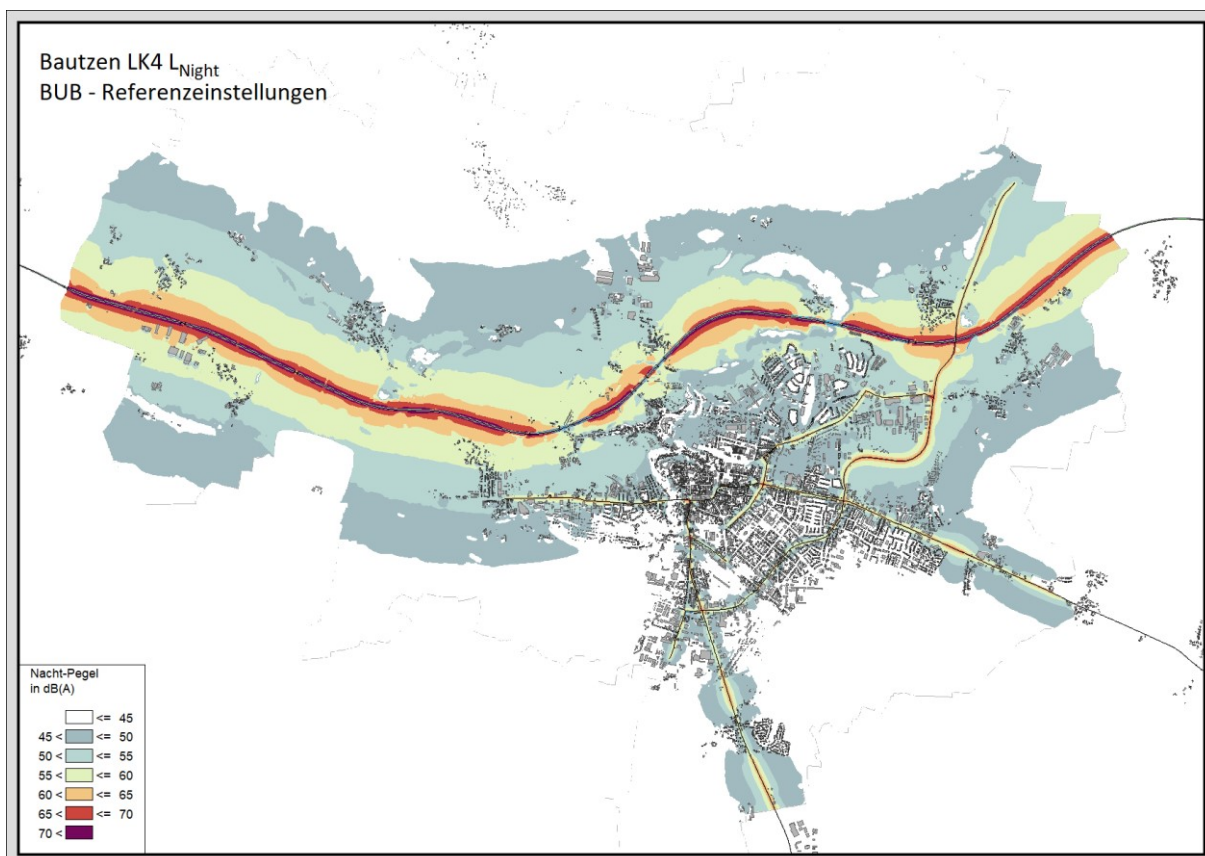
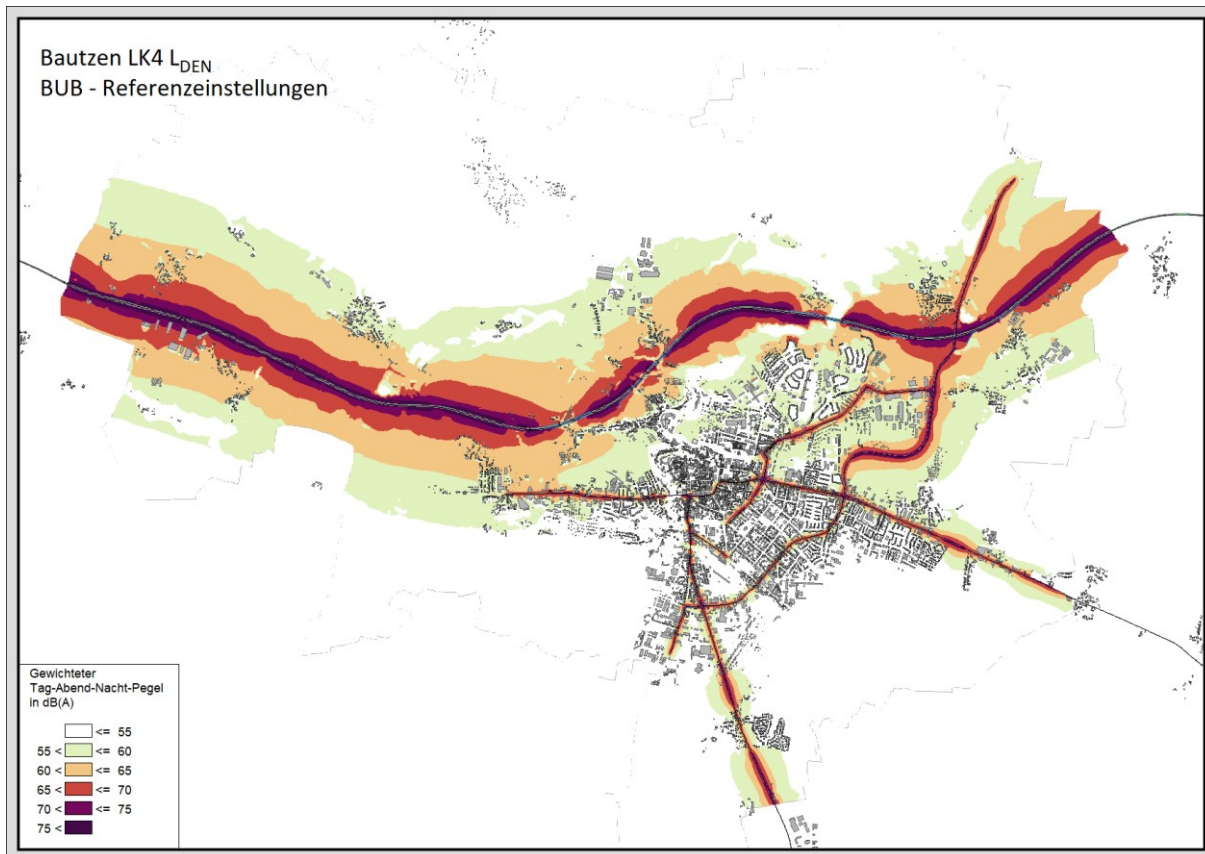


Abbildung 17: Lärmkarten  $L_{DEN}$ ,  $L_{Night}$ , BUB (Parameter<sup>ref</sup>)

### 3.2.2 Berechnung nach VBUS

Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit folgenden Parametern und Ergebnissen durchgeführt:

- Berechnung der Fassadenpegel nach VBUS für die betroffenen Gebäude mit Ausweisung von  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$ .
- Ausweisung der aufsummierten Betroffenheiten nach Pegelbereichen sowie Flächen nach VBUS für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  (siehe Tabelle 11)
- Berechnung von Flächenrastern mit einer Auflösung von 10 m x 10 m für die Beurteilungszeiträume  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  in einer Höhe von 4 m über dem Boden
- Darstellung der Ergebnisse in Lärmkarten für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  gemäß 34. BImSchV mit einer Isolinienbreite von 5 dB (siehe Abbildung 18)
- Berechnungsparameter gemäß unveränderten Parameter<sup>ref</sup> (siehe Kapitel 4.1.1)

**Tabelle 11: Belastete nach VBUS (Parameter<sup>ref</sup>)**

„Referenzparameter“		Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik VBUS VBEB Anzahl Einwohner	
Name	Größe [km <sup>2</sup> ]		$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	45 – 50	-	4.437
		50 – 55	-	2.119
		55 – 60	2.951	1.203
		60 – 65	1.283	394
		65 – 70	1.123	21
		70 – 75	194	-
		> 75	-	-

„Referenzparameter“		Schwellenwerte [dB(A)]	Flächenstatistik VBUS Belastete Fläche Größe [km <sup>2</sup> ]	
Name	Größe [km <sup>2</sup> ]		$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	> 55	17,73	6,62
		> 65	4,36	1,29
		> 75	0,90	0,33

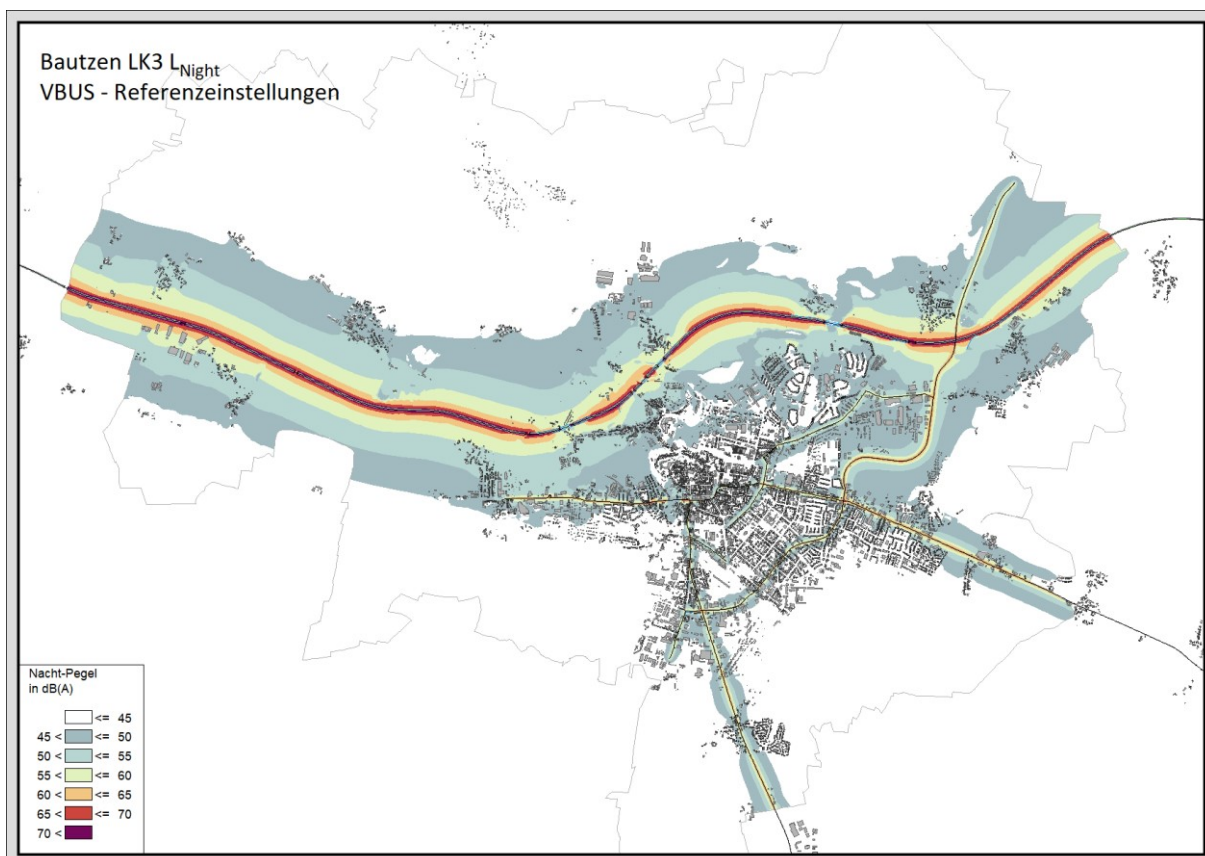
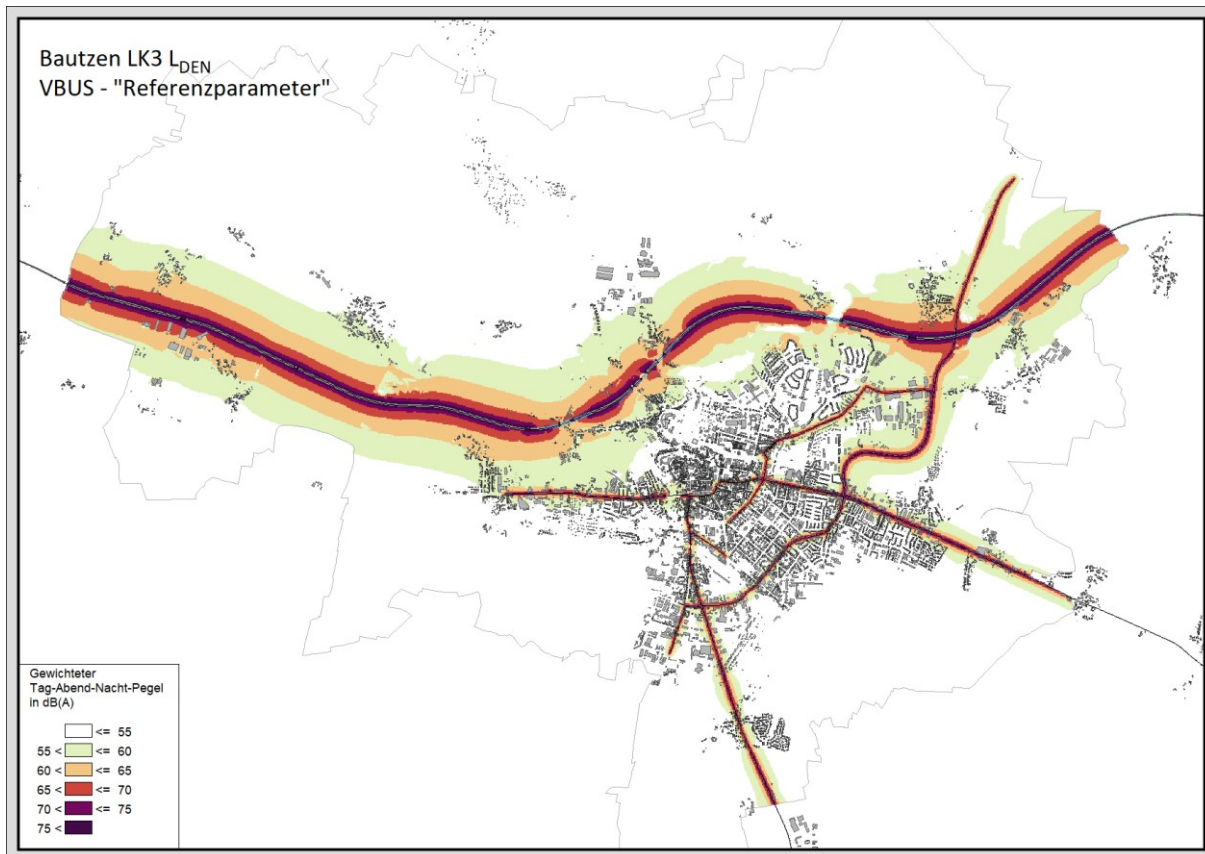


Abbildung 18: Lärmkarten  $L_{DEN}$ ,  $L_{Night}$ , VBUS (Parameter<sup>ref</sup>)



### 3.2.3 Vergleich der Ergebnisse, Belastete

Die Unterschiede in den Belastetenzahlen nach BUB und VBUS sind im Wesentlichen auf abweichende Emissionen (siehe Kapitel 2.2), unterschiedliche Ausbreitungsberechnungen (siehe Kapitel 2.3) und eine veränderte Auswertung nach BEB (siehe Kapitel 2.4) zurückzuführen. Auf einen weiteren Faktor, der die Rundung von Pegeln nach der 34. BImSchV berücksichtigt, wird in Kapitel 4.4.5 hingewiesen.

Einen durch die Auswertung nach der BEB nicht beeinflussten Vergleich zeigt Tabelle 12, in der die Belastetenzahlen der BUB in Anlehnung an die VBEB ermittelt wurden (Berücksichtigung aller Fassadenpegel ohne Bildung des Median).

**Tabelle 12: Gegenüberstellung Belastete nach VBUS und BUB, Auswertung nach VBEB\***

„Referenzparameter“		Einwohnerstatistik VBUS VBEB Anzahl Einwohner		
Name	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 50	-	4.437
		50 – 55	-	2.119
		55 – 60	2.951	1.203
		60 – 65	1.283	394
		65 – 70	1.123	21
		70 – 75	194	-
		> 75	-	-

„Referenzparameter“		Einwohnerstatistik BUB VBEB Anzahl Einwohner		
Name	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 50	-	5.916
		50 – 55	-	3.285
		55 – 60	3.842	1.512
		60 – 65	2.346	543
		65 – 70	1.184	18
		70 – 75	266	-
		> 75	2	-

\*berechnet mit Parametern<sup>ref</sup>

Es zeigt sich, dass schon die Berechnung nach BUB vor allem in den unteren zu betrachtenden Pegelintervallen zu deutlich höheren Belastetenzahlen führt, als nach VBUS.

In Tabelle 13 erfolgt die Auswertung der Belastetenzahlen regelkonform nach BEB (Berücksichtigung nur der Hälfte der Fassadenpegel mit höchsten Werten). Erwartungsgemäß ist ein erheblicher Anstieg der Belastetenzahlen gegenüber der VBEB-Methode zu erkennen.

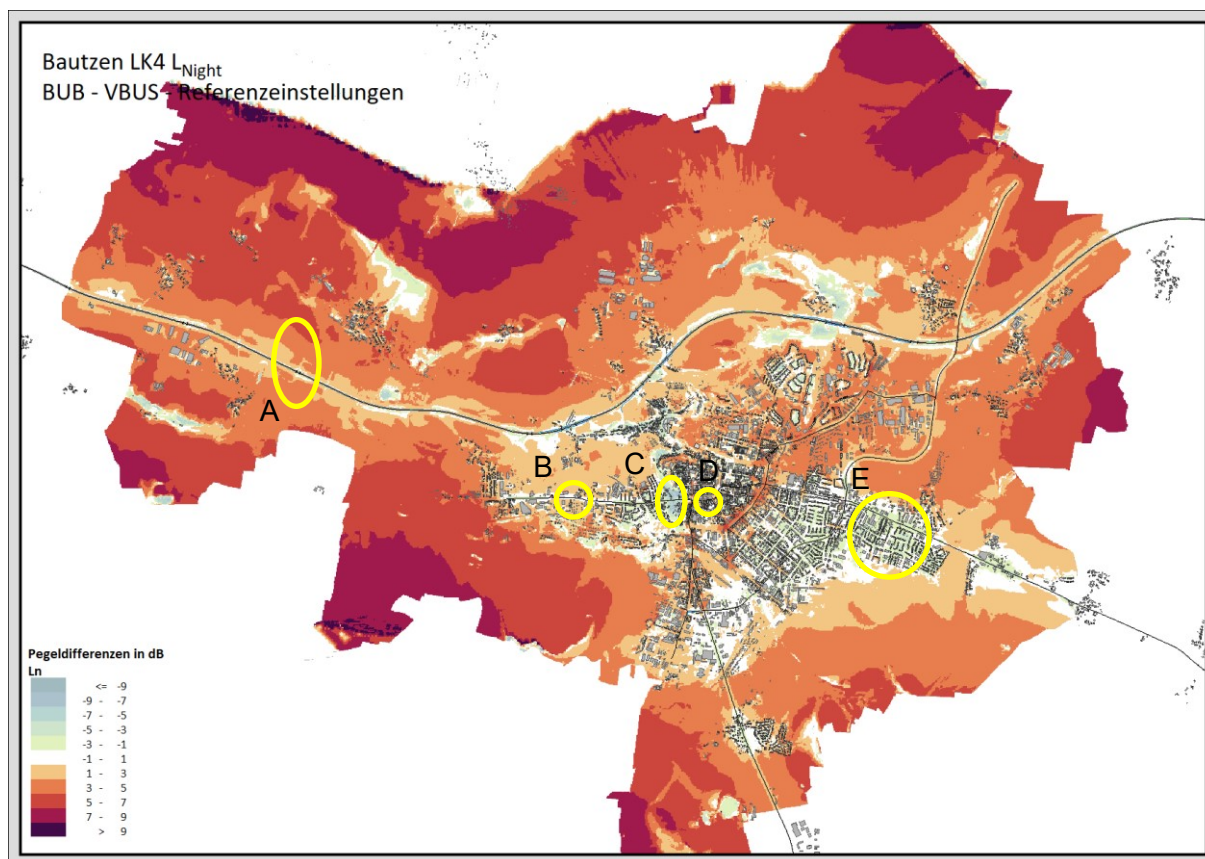
**Tabelle 13: Belastete nach BUB, Auswertung nach BEB\***

„Referenzparameter“ Name	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik BUB BEB Median Anzahl Einwohner	
			L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 50	-	8.227
		50 – 55	-	4.857
		55 – 60	5.700	2.784
		60 – 65	3.654	1.069
		65 – 70	2.267	37
		70 – 75	528	-
		> 75	4	-

\*berechnet mit Parametern<sup>ref</sup>

### 3.2.4 Vergleich der Ergebnisse, Differenz-Lärmkarte

In Abbildung 19 werden die Pegeldifferenzen des L<sub>Night</sub> von Berechnungen nach BUB minus VBUS in einer Differenz-Lärmkarte gezeigt. Positive Werte stehen für höhere Werte nach BUB.



**Abbildung 19: Differenz-Lärmkarte L<sub>Night</sub>, BUB – VBUS mit Lage der Ausschnitte A bis E**

Die Differenzkarte zeigt, dass bei freier Schallausbreitung und lichter Bebauung die BUB mit zunehmendem Abstand von der Quelle zu höheren Pegelwerten führt (siehe Kapitel 2.3.4). Sie zeigt aber auch, dass innerstädtisch, bei dichter Bebauung, durch Abschirmung nach BUB niedrigere Pegelwerte berechnet werden. In der Differenzkarte ist auch der Einfluss der Knotenpunktzuschläge (LSA) zu erkennen, der vor allem im direkten Umfeld zu Pegelerhöhungen führt. In Kapitel 3.2.5 werden die Pegeldifferenzen in fünf Ausschnitten A bis E, die wesentliche Trends und Auffälligkeiten abbilden, im Detail analysiert.

### 3.2.5 Vergleich der Ergebnisse mit Emissions-Bezug

Für fünf Ausschnitte A bis E (siehe Abbildung 19) werden zunächst die maßgeblichen Emissionspegel der Straße nach BUB und VBUS und deren Differenz benannt. Positive Werte stehen für höhere Werte nach BUB. Informativ wird auch der Anteil der Pegelminderung lärmarmen Staßenoberflächen angegeben, der bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h einen relevanten Anteil an der Differenz haben kann (Abschnitte C, D und E).

Anschließend werden Pegelunterschiede der Immissionen in Differenzkarten dargestellt und analysiert.

#### 3.2.5.1 Autobahn, freie Ausbreitung, Ausschnitt A

Der maßgebliche, mittlere Pegelunterschied  $L'_{w, Diff}$  der Emission in der Nacht beträgt in diesem Ausschnitt

$L'_{w, BUB}$ :	90,4 dB(A)	(enthält Pegelminderung 1,9 bis 2,1 dB durch SMA 8/11, s. Tabelle 3)
$L'_{w, VBUS}$ :	89,2 dB(A)	(enthält Pegelminderung 2,0 dB durch SMA 8/11, s. Tabelle 5)
$L'_{w, Diff}$ :	1,2 dB	

Mit Abzug dieses hier unbedeutenden, emissionsbezogenen Pegelunterschiedes ist die verbleibende Abweichung den Ausbreitungseigenschaften zuzuordnen (siehe Abbildung 20). Folgende Effekte sind abzulesen:

- Mit zunehmendem Abstand von der Straße steigen die Pegel der BUB gegenüber der VBUS bei freier Ausbreitung aufgrund der abweichend berücksichtigten Bodendämpfung (siehe Kapitel 2.3.4). deutlich an. In Abbildung 19 ist dieser Effekt auch für größere Entfernungen abzulesen.
- Die negativen Pegeldifferenzen im Bereich einer Brücke mit leichter Geländeabsenkung sind auf eine stärkere Wirkung der Brückenkanten-Abschirmung in Verbindung mit der niedrigeren Quellhöhe der „BUB-Straße“ zurückzuführen (siehe auch Kapitel 3.2.5.3).

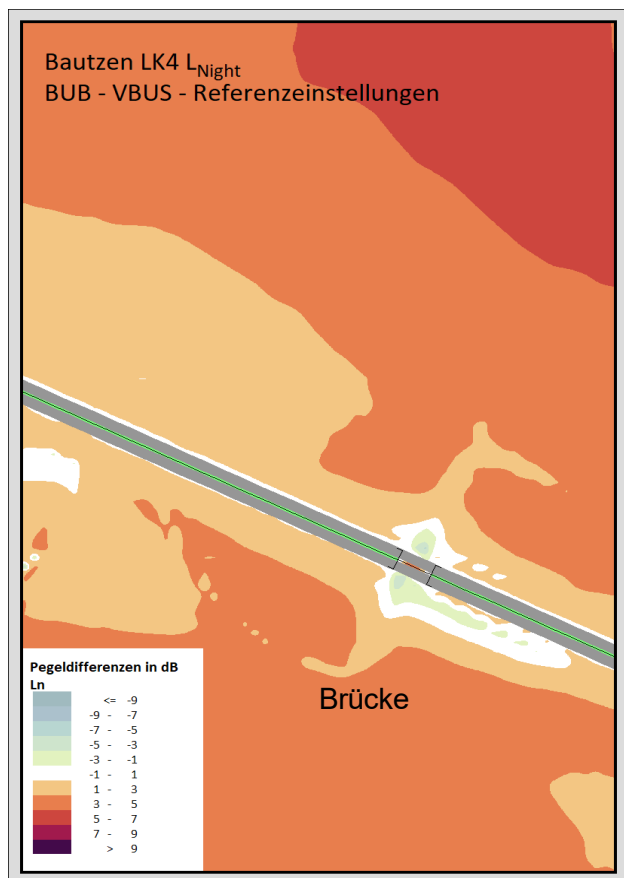


Abbildung 20: Differenz-Lärmkarte  $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt A

### 3.2.5.2 Staatsstraße ohne Knotenpunkte, Ausschnitt B

Der maßgebliche, mittlere Pegelunterschied  $L'_{w, Diff}$  der Emission in der Nacht beträgt in diesem Ausschnitt

$L'_{w, BUB}$ :	75,7 dB(A)	(Gussasphalt)
$L'_{w, VBUS}$ :	75,3 dB(A)	(Gussasphalt)
$L'_{w, Diff}$ :	0,4 dB	

Mit Abzug dieses hier unbedeutenden, emissionsbezogenen Pegelunterschiedes ist die verbleibende Abweichung den Ausbreitungseigenschaften zuzuordnen (siehe Abbildung 21). Folgende Effekte sind abzulesen:

- Auch in dünn besiedelten Flächen macht sich die unterschiedliche Bodendämpfung durch höhere Pegel nach BUB bemerkbar (siehe Kapitel 2.3.4 und 3.2.5.1).
- Auf der Rückseite von Gebäuden ist eine stärkere Abschirmung nach BUB zu erkennen (siehe Kapitel 2.3.5), die aufgrund der Medianbildung nach BEB (siehe Kapitel 2.4.2) jedoch keine Entlastung der Belastetenzahlen bewirkt.

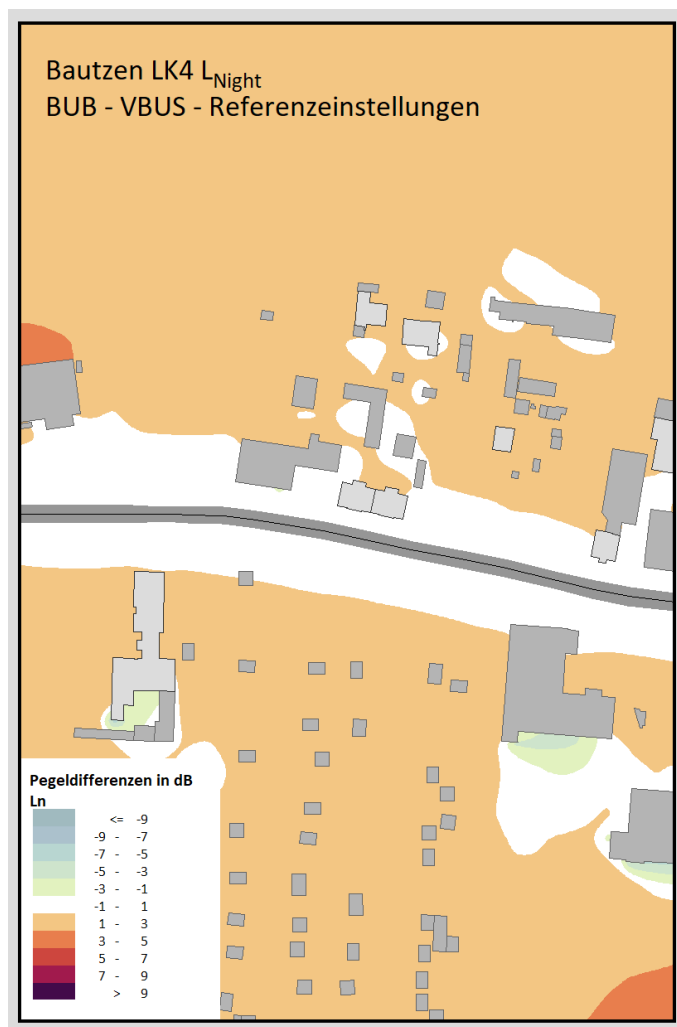


Abbildung 21: Differenz-Lärmkarte  $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt B

### 3.2.5.3 Staatsstraße auf Brücke, Ausschnitt C

Der maßgebliche, mittlere Pegelunterschied  $L'_{w, Diff}$  der Emission in der Nacht beträgt in diesem Ausschnitt

$L'_{w, BUB}$ : 75,8 dB(A) (enthält Pegelminderung 2,2 bis 2,8 dB durch SMA 5/8 s. Tabelle 3)

$L'_{w, VBUS}$ : 77,9 dB(A) (keine Pegelminderung, da  $v < 60$  km/h, s. Tabelle 5)

$L'_{w, Diff}$ : -2,1 dB

Mit Abzug dieses emissionsbezogenen Pegelunterschiedes, der nach Bereinigung der Eigenschaften der Straßenoberfläche zu vernachlässigen ist, ist die verbleibende Abweichung den Ausbreitungseigenschaften zuzuordnen (siehe Abbildung 22). Folgende Effekte sind abzulesen:

- Die ausgedehnten, negativen Pegeldifferenzen im Bereich der exemplarisch hier dargestellten "Friedensbrücke" über die Spree (Länge ca. 200 m, Höhe ca. 20 m) sind auf eine stärkere Wirkung der Brückenkantenabschirmung in Verbindung mit der niedrigeren Quellhöhe der „BUB-Straße“ zurückzuführen.

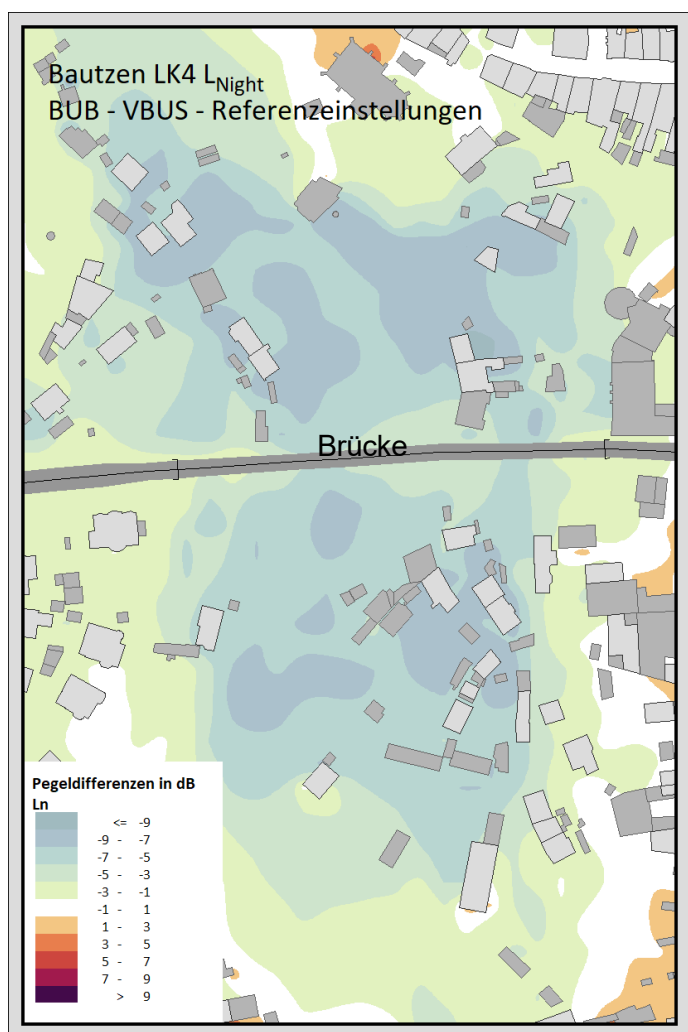


Abbildung 22: Differenz-Lärmkarte  $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt C

### 3.2.5.4 Staatsstraße mit Knotenpunkt (LSA), Ausschnitt D

Der maßgebliche, mittlere Pegelunterschied  $L'_{w, Diff}$  der Emission in der Nacht beträgt in diesem Ausschnitt

$L'_{w, BUB}$ : 73,2 dB(A) (enthält Pegelminderung 2,2 bis 2,8 dB durch SMA 5/8 s. Tabelle 3 und 3 dB Zuschlag für Knotenpunkt)

$L'_{w, VBUS}$ : 71,2 dB(A) (keine Pegelminderung, da  $v < 60$  km/h, s. Tabelle 5)

$L'_{w, Diff}$ : 2,0 dB

Mit Abzug dieses emissionsbezogenen Pegelunterschiedes, der nach Bereinigung der Eigenschaften der Straßenoberfläche sogar mehr als 4 dB betragen würde, ist die verbleibende Abweichung den Ausbreitungseigenschaften zuzuordnen (siehe Abbildung 23). Folgende Effekte sind abzulesen:

- Im Bereich des Knotenpunktes (LSA) macht sich der nach BUB zu vergebende Zuschlag bemerkbar, der in der VBUS nicht vorgesehen ist.
- Die freie Ausbreitung in die nach Süden gerichteten Gebäudeschlucht (keine modellierte Straße) zeigt die bereits genannten Effekte der Bodendämpfung.
- Der in den südöstlich der LSA gelegenen, tiefen Innenhöfen erwarteten starken Abschirmung wirkt die Beugungsbegrenzung nach BUB entgegen (siehe Kapitel 2.3.3).
- In den südwestlich gelegenen Innenhöfen wirkt die erwartete Abschirmung, da hier eine freiere Ausbreitung auf flachere Gebäude ohne relevante Beugungsbegrenzung trifft.

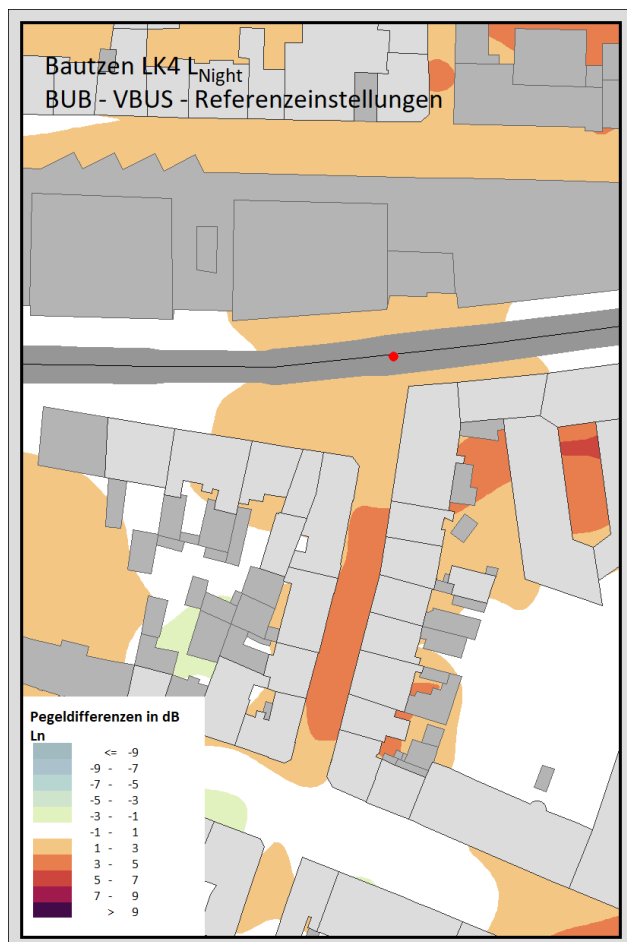


Abbildung 23: Differenz-Lärmkarte  $L_{Night}$ , BUB – VBUS, Ausschnitt D

### 3.2.5.5 Innenstadtbereich, Ausschnitt E

$L'_{w, BUB}$ :	74,8 dB(A)	(enthält Pegelminderung 2,2 bis 2,8 dB durch SMA 5/8 s. Tabelle 3)
$L'_{w, VBUS}$ :	77,9 dB(A)	( <u>keine</u> Pegelminderung, da $v < 60$ km/h, s. Tabelle 5)
$L'_{w, Diff}$ :	-3,1 dB	

Der emissionsbezogene Pegelunterschied ist hier bestimmend für die großflächig geringeren Pegel nach BUB (siehe Abbildung 19). Aufgrund der vergleichsweise dichten Bebauung wird dieser Effekt auch nicht durch die nach BUB geringere Bodendämpfung kompensiert, die in Ausschnitt A pegelbestimmend ist.

## 4 Optimierung von Rechenparametern

### 4.1 Vorgehensweise

#### 4.1.1 Vorbemerkung

Die hier zur Anwendung kommenden Berechnungsvorschriften BUB, VBUS und RLS-19 sehen keine Beschränkung bei den Entfernungen zwischen Quellen, Reflektoren und Immissionsorten vor. Auch die Berechnung von sehr kleinen Immissionsanteilen, die keinen relevanten Beitrag an der Gesamtmission haben, unterliegt keiner Beschränkung. In großräumigen Berechnungsgebieten, die in der Lärmkartierung üblicherweise vorliegen, hat das zunächst zur Folge, dass die Schallausbreitung jeder einzelnen Teil-schallquelle mit ihren zugehörigen Reflexionen im gesamten Untersuchungsgebiet an allen Gebäude- und Rasterpunkten mit uneingeschränkt hohem Rechen- und damit Zeitaufwand berechnet werden muss. Diese Zeit steht in der Regel nicht zur Verfügung und es müssen Einschränkungen vorgenommen werden, die den Rechenaufwand reduzieren und dabei das Rechenergebnis über eine vorgegebene Toleranz hinaus nicht verfälschen.

Wesentliche Parameter solcher Einschränkungen sind die Entfernung zwischen Quellen und Berechnungspunkten und die Ausdehnung der Wirksamkeit von Reflektoren. Diese Parameter wurden bereits in den Lärmkartierungen der ersten Runden für Berechnungen nach VBUS exemplarisch optimiert. So wurden für ein Kartierungsgebiet 2017 im Freistaat Sachsen die Reichweite von Quellen zum Immissionsort auf 2.500 m eingeschränkt, und Reflexionsflächen nur bis zu einer Entfernung von 500 m zur Quelle oder zum Immissionsort als Reflektoren berücksichtigt. Dennoch wird ein weiteres Optimierungspotenzial gesehen. Ausgehend von diesem Parametersatz (nachfolgend Parameter<sup>ref</sup>), der auch für die Berechnung im Kapitel 3 Anwendung gefunden hat, soll nun für die BUB geprüft werden, inwieweit diese Parameter weiter optimierbar sind ohne dass die Aussagekraft der Lärmkarten gemindert wird. Es werden empfohlene Parameter herausgearbeitet, die auf sämtliche Berechnungen der vorliegenden Untersuchung angewendet werden.

Die Wahl der Parameter wird in verschiedenen Berechnungsprogrammen unterschiedlich ermöglicht. Die Optimierungsschritte werden hier in SoundPLAN durchgeführt und anschließend in IMMI nachgebildet. Zu Optimierungen in anderen Berechnungsprogrammen werden allgemeine Hinweise gegeben.

#### 4.1.2 Testprofil

Für die Prüfung und Optimierung der Rechenparameter wird ein Testprofil mit 70 Gebäuden durch das Testgebiet Bautzen gelegt.

Die 70 Gebäude liegen entlang eines Profils, das unterschiedliche Besiedlungsdichten und Entfernungen zu großen und kleinen Straßen schneidet. Für jeden zu untersuchenden Parametersatz werden an den zusammen 510 Fassadenpunkten dieser Gebäude die resultierenden Immissionen berechnet (siehe Abbildung 24).

Die Referenz-Berechnung erfolgte nach Vorgaben durch den Auftraggeber mit den Parametern<sup>ref</sup>. Die ermittelten „Referenz“-Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der vereinfachten Parameter verglichen. Die Rechenzeit des Referenzmodells auf einem PC mit 6 Rechenkernen betrug 60 Minuten.



**Abbildung 24: Testprofil mit 70 Gebäuden und 510 Immissionspunkten**

#### **4.1.3 Untersuchte Parameter**

Untersucht wurden die Parameter „zulässige Toleranz“, „Suchradius“ und „zulässiger Abstand Quelle/Immissionsort von Reflexionsflächen“. Die resultierenden Ergebnisse wurden hinsichtlich ihrer Ergebnisgenauigkeit und Rechenzeit bewertet. Dabei wurden die Ergebnisse der mit variierten Parametern gerechneten Immissionsorte mit den „Referenz“-Ergebnissen verglichen, statistisch ausgewertet und der benötigten Rechenzeit gegenübergestellt.

Zulässige Toleranz:

Dieser Parameter dient der Rechenbeschleunigung. Höhere Werte bei der Toleranz führen eher zu einer Über- als zu einer Unterschätzung des Immissionspegels.

Da für die Lärmkartierung die Ergebnisse auch entsprechend ihrer Gruppenteilpegel (Straßengattungen) ausgewertet werden müssen, bezieht sich der verwendete Parameter „zulässige Toleranz“ nicht auf das Gesamtergebnis, sondern bereits auf die Teilpegel der betrachteten Gruppen. Dadurch ändern sich die Teilpegel für die anderen Gruppen nicht, wenn innerhalb einer Gruppe wichtige Quellen hinzugefügt oder entfernt werden. Allerdings führt dies zu längeren Rechenzeiten und hat einen geringen Einfluss auf die Genauigkeit des Gesamtergebnisses.

Suchradius:

Die Software sucht bei der Berechnung Quellen im Abstand „maximaler Suchradius“ vom Immissionsort. Zur Beschleunigung der Berechnung kann der maximale Suchradius vor allem für die Lärmkartierung verringert werden. Bei linienförmigen Schallquellen ist zu beachten, dass eine ausreichende Genauigkeit erst dann erzielt werden kann, wenn der maximale Suchradius größer als der 5-fache senkrechte Abstand zur Schallquelle ist.



Zulässige Abstände Immissionsort/Quelle von Reflexionsflächen:

Es werden nur solche Reflexkanten berücksichtigt, die entweder näher zum Immissionsort liegen als der erste Parameter vorgibt oder näher zur Quelle als der zweite Parameter vorgibt. Reflexkanten, die sowohl fern von der Quelle als auch fern des Immissionsorts liegen, liefern in aller Regel keinen relevanten Beitrag zum Immissionspegel.

#### 4.1.4 Statistische Auswertung

Alle Pegeldifferenzen wurde statistisch ausgewertet (Min-/Max-Werte, unteres und oberes Quartil, Median) und graphisch dargestellt.

Aus den Beträgen der Pegeldifferenzen wurde zusätzlich das 0,9-Quantil entsprechend DIN 45687 F.4 [12] ermittelt. Die Angabe des Quantils  $q_{0,9}$  ist eine Hilfsgröße zur Kennzeichnung der Genauigkeit von Rechenresultaten beispielsweise, um die Wirkung der Änderung von Rechenparametern beurteilen zu können. Bei 510 Stichproben ist der Rang  $R(q_{0,9}) = 460$ ; Das heißt, 90 % der gerechneten Immissionsorte haben gegenüber den Referenzergebnissen eine Abweichung von  $< q_{0,9}$  dB.

Die statistische Auswertung erfolgte über alle Fassadenpunkte. Eine zweite Auswertung erfolgte für Fassadenpunkte mit Pegeln in dem für die Lärmkartierung relevanten Bereich von  $L_n \geq 45$  dB(A).

### 4.2 Parameter-Variation

#### 4.2.1 Anhebung der Toleranz

In SoundPLAN ist für die Lärmkartierung eine zulässige Toleranz von 0,8 dB voreingestellt. Welchen Einfluss hat dies auf die Rechenzeit und die Genauigkeit der Ergebnisse?

Mit einer zul. Toleranz von 0,8 dB beträgt die Rechenzeit 27,3 Minuten. Der Rechenlauf ist damit mehr als doppelt so schnell wie mit einer zulässigen Toleranz von 0,1 dB.

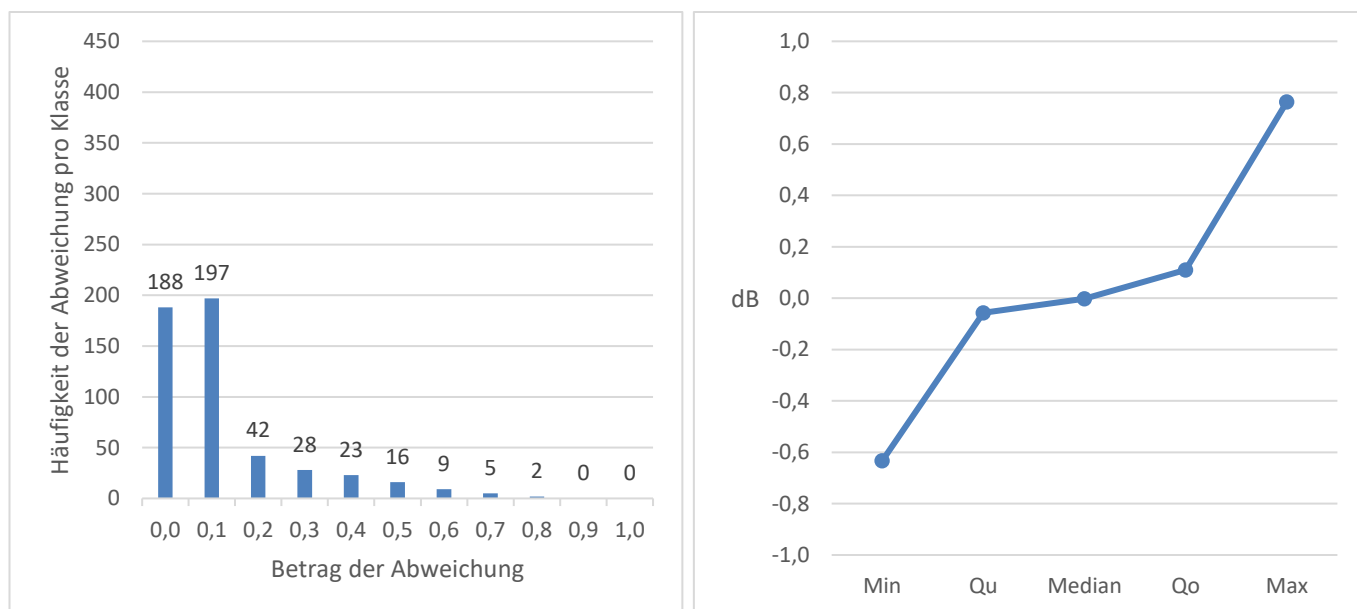
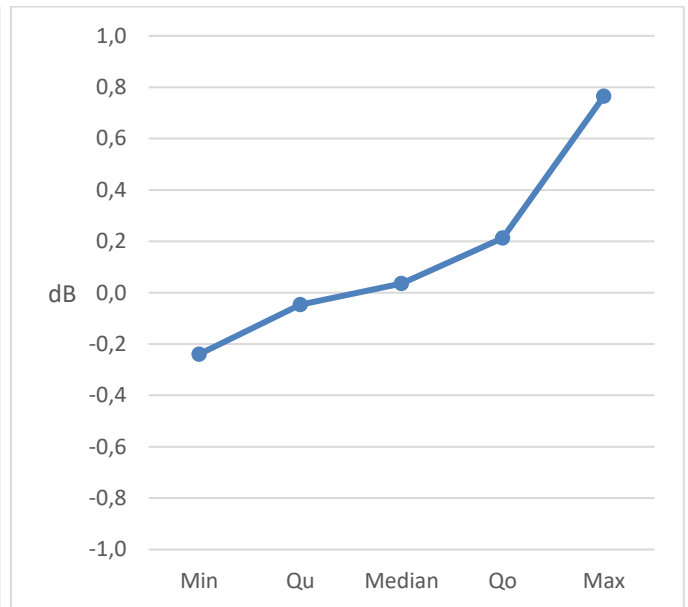
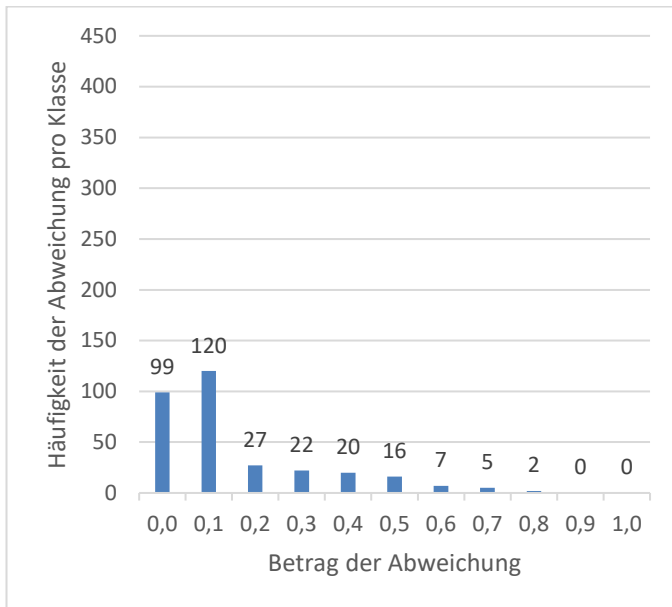


Abbildung 25: Verteilung der Abweichungen und Statistik - alle Fassadenpunkte; Toleranz 0,8 dB

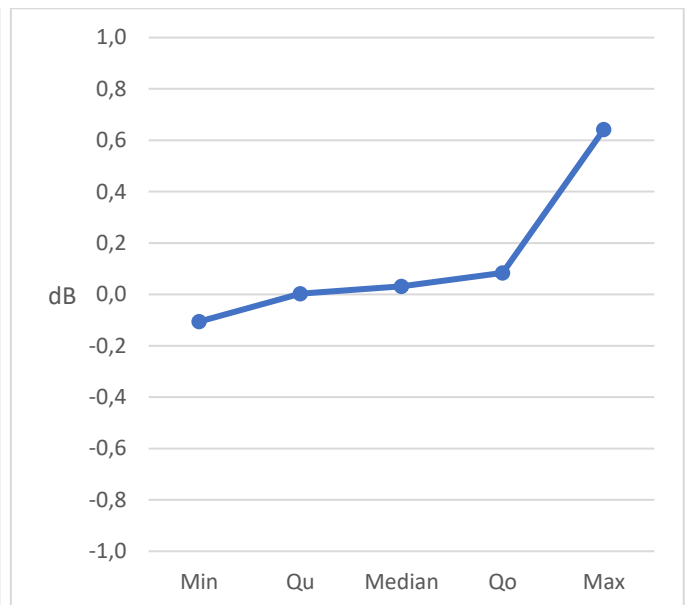
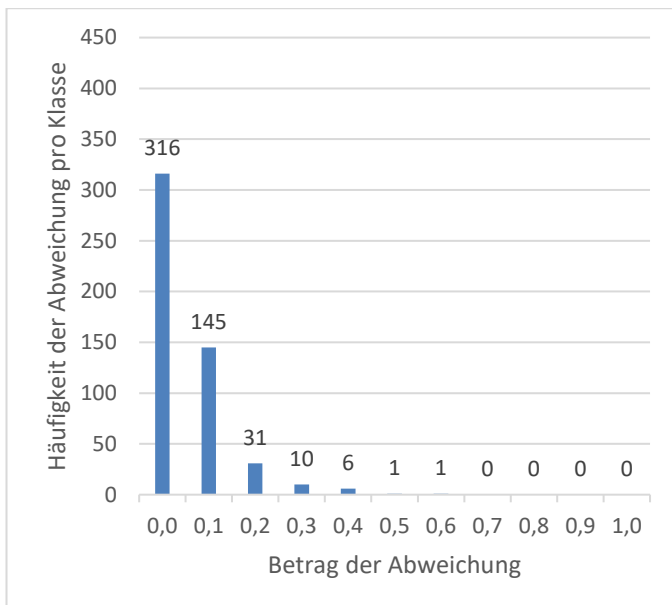


**Abbildung 26: Verteilung der Abweichungen und Statistik; Ln ≥ 45 dB(A); Toleranz 0,8 dB**

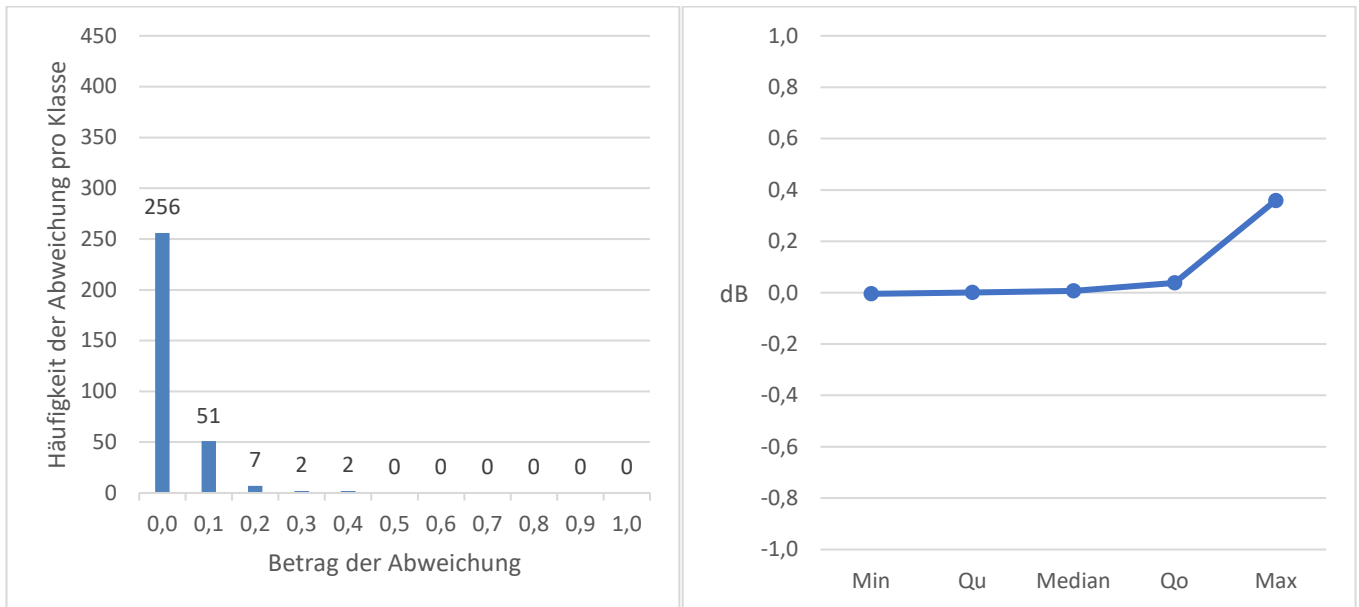
Die eingestellte zulässige Toleranz ist in fast allen Punkten deutlich unterschritten. 70 % der Punkte weisen dabei eine Differenz von < 0,15 dB zum „Referenz“-Ergebnis auf. Die Berechnung ist dabei signifikant beschleunigt.

#### 4.2.2 Reduktion des Reflexionsabstandes

Wie wirkt sich die Verringerung des Reflexionsabstands auf Rechengeschwindigkeit und die Genauigkeit der Ergebnisse aus? Geprüft wurde mit einem reduzierten Reflexionsabstand von 200 m. Mit diesem Reflexionsabstand beträgt die Rechenzeit 28,8 Minuten. Der Rechenlauf ist damit mehr als doppelt so schnell wie mit einem Reflexionsabstand von 500 m.



**Abbildung 27: Verteilung der Abweichungen und Statistik – alle Fassadenpunkte; Reflexionsabstand 200 m**



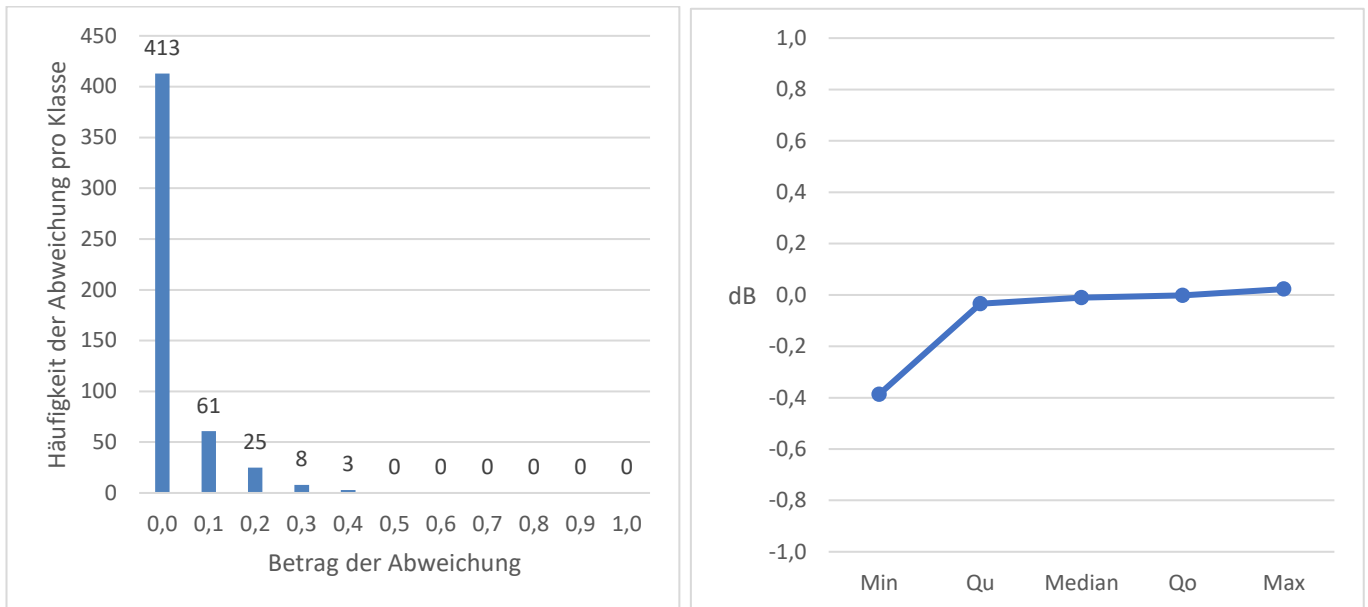
**Abbildung 28: Verteilung der Abweichungen und Statistik; Ln  $\geq$  45 dB(A); Reflexionsabstand 200 m**

Der ermittelte Wert für das Quantil  $q_{0,9}$  beträgt 0,14 dB. Annähernd 90 % der Immissionsorte haben damit eine Abweichung von  $< 0,14$  dB zum Referenzergebnis. Bei Betrachtung nur der Fassadenpunkte mit  $Ln \geq 45$  dB(A) sogar  $< 0,11$  dB. Wegen der signifikant beschleunigten Berechnung und der geringen Abweichungen wird vorgeschlagen den Reflexionsabstand für die Lärmkartierung auf 200 m zu reduzieren.

Für einzelne wenige Immissionsorte, weit entfernt von Quellen und in Gegenden mit wenig Bebauung, kann es in besonderen Situationen auch zu höheren Abweichungen kommen, allerdings sind dies dann meist auch nicht relevante Pegel.

#### 4.2.3 Ausweitung des Suchradius

Reicht ein Suchradius von 2.500 m? Um diese Fragestellung zu klären, wurde der Suchradius gegenüber den vom Auftraggeber vorgegebenen Parameter<sup>ref</sup> auf 3.000 m erhöht. Dadurch erhöht sich die Rechenzeit hier nur geringfügig auf 61,7 Minuten.

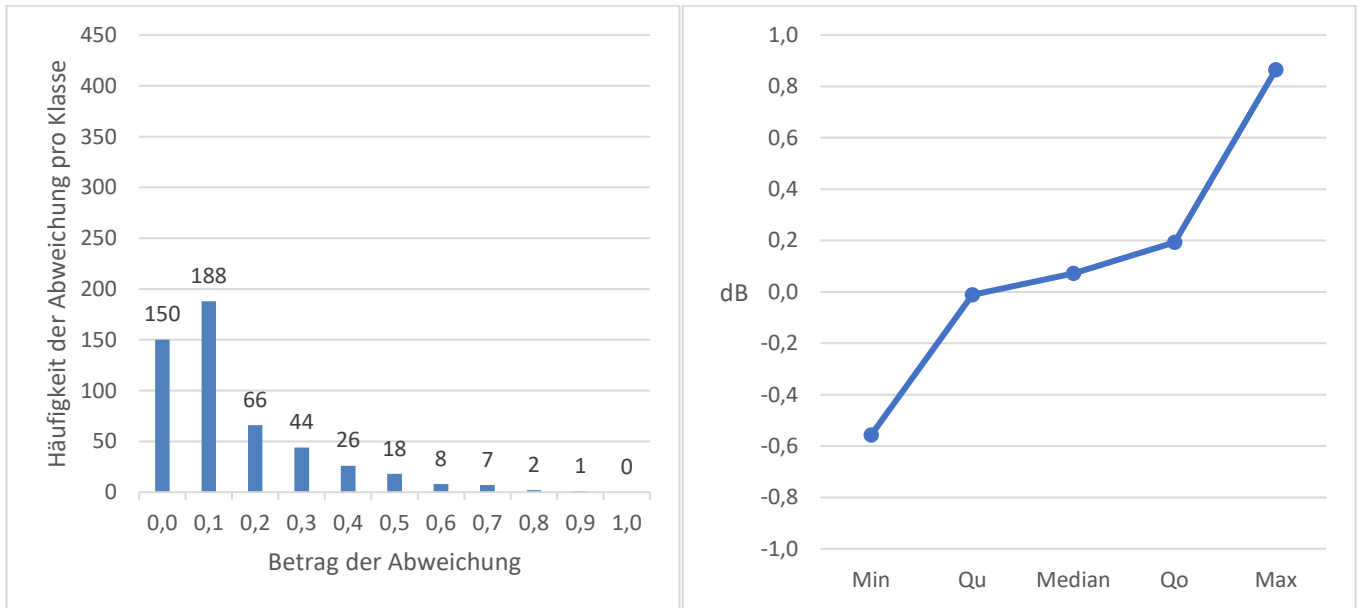


**Abbildung 29: Verteilung der Abweichungen und Statistik – alle Fassadenpunkte; Suchradius 3.000 m**

Der ermittelte Wert für das Quantil  $q_{0,9}$  beträgt 0,11 dB. Die Erhöhung des Suchradius bringt hier nur eine geringe Verbesserung der Ergebnisse. Die Rechenzeit ist kaum erhöht. Bei angewandter zulässiger Toleranz von 0,8 dB führt eine Erhöhung des Suchradius auch zu keiner signifikanten Verbesserung der Qualität der Ergebnisse, in dieser Kombination aber zu einer Erhöhung der Rechenzeit um 7 %. Es wird deshalb vorgeschlagen den Parameter Suchradius bei 2.500 m zu belassen.

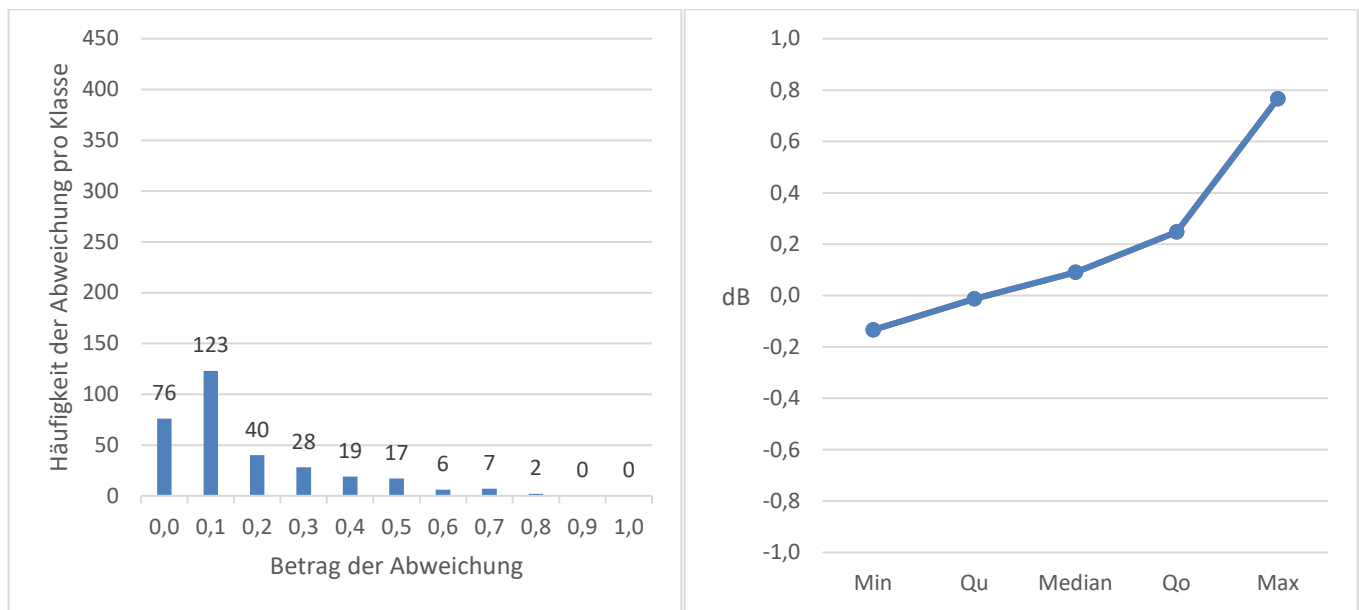
**4.2.4 Kombination der Rechenparameter Toleranz 0,8, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m**

Mit diesen Einstellungen beträgt die Rechenzeit für die 510 Immissionsorte 13,1 Minuten und ist damit um Faktor 4 schneller als mit den „VBUS-Referenz“-Einstellungen.



**Abbildung 30: Verteilung der Abweichungen und Statistik – alle Fassadenpunkte; Toleranz 0,8, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m**

Der ermittelte Wert für das Quantil  $q_{0,9}$  beträgt 0,39 dB.



**Abbildung 31: Verteilung der Abweichungen und Statistik;  $L_n \geq 45$  dB(A); Toleranz 0,8, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m**

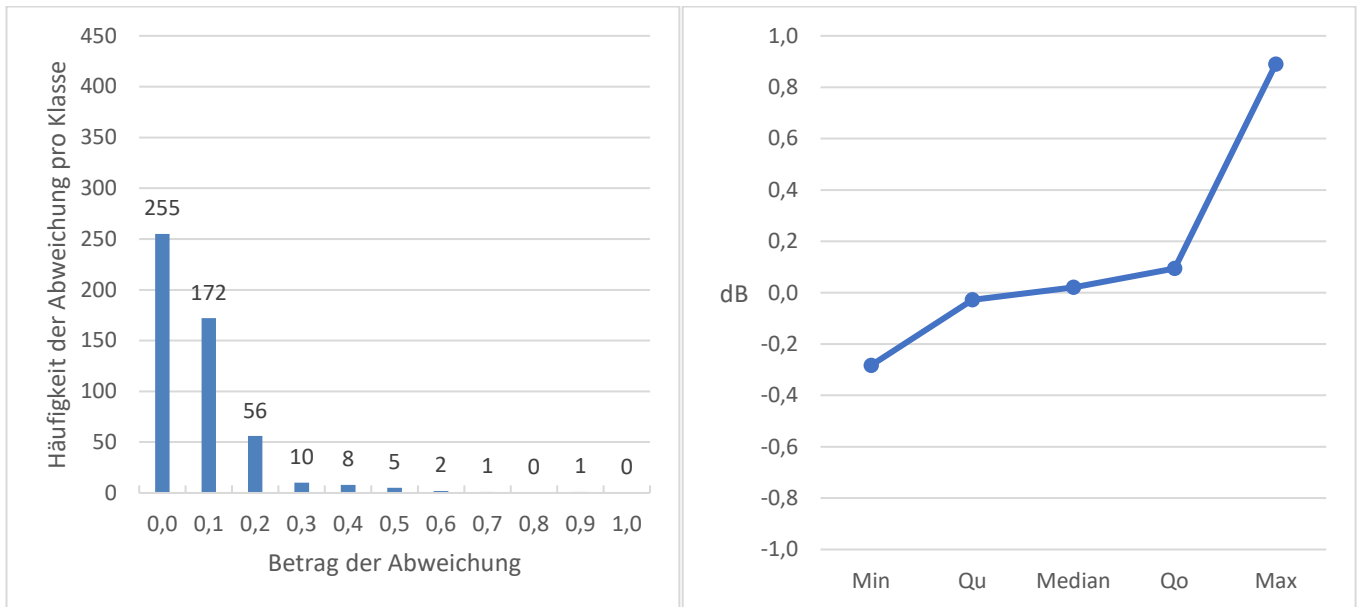
Der ermittelte Wert für das Quantil  $q_{0,9}$  beträgt hier 0,45 dB bei reduzierten Minimum- bzw. Maximum-Werten.

Akzeptiert man die Qualität der Ergebnisse bei einer zulässigen Toleranz von 0,8 dB, dann führt die Kombination mit dem geänderten Reflexabstand zu keiner signifikanten Verschlechterung der Qualität der Ergebnisse, trotzdem aber zu einer stark beschleunigten Berechnung. 62 % der Immissionspunkte weisen eine Differenz von  $< 0,15$  dB vom „Referenz“-Ergebnis aus. Der Median liegt hier bei 0,09 dB.

Behält man den Suchradius von 2 500 m und den Reflexionsabstand von 200 m bei und begrenzt dafür aber die zulässige Toleranz auf 0,4 dB, kann zwar die Qualität der Ergebnisse verbessert werden, allerdings bei einer damit verbundenen Erhöhung der Rechenzeit um 25 %. Die 510 Immissionsorte wurden mit diesen Einstellungen in 16,3 Minuten berechnet. Deshalb haben wir nach einer Alternative gesucht.

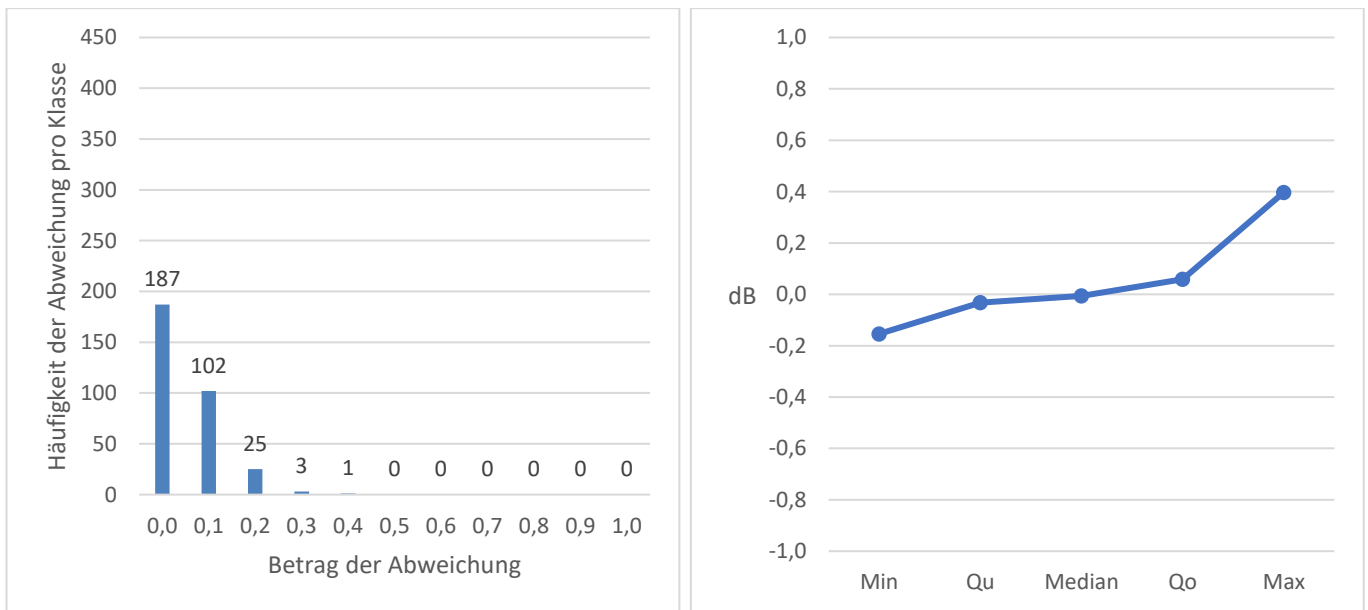
#### 4.2.5 Verschärfung der Toleranz über Toleranz auf Gesamtergebnis

Da für die Lärmkartierung die Ergebnisse auch entsprechend ihrer Gruppenteilpegel (Straßengattungen) ausgewertet werden müssen, bezieht sich der verwendete Parameter „zulässige Toleranz“ nicht auf das Gesamtergebnis, sondern bereits auf die Teilpegel der betrachteten Gruppen. Dies führt allerdings zu längeren Rechenzeiten. Allerdings werden die Gruppenteilpegel bei dieser Lärmkartierung nur für eine zusätzliche Auswertung (Aufschlüsselung der Fassadenpegel nach Straßengattung) verwendet. Aus diesem Grund haben wir auf Basis der vorangegangenen Untersuchungen eine alternative Einstellung getestet. Bei dieser Einstellung bezieht sich die „zulässige Toleranz“ auf das Gesamtergebnis. Dadurch nimmt man geringfügig größere Toleranzen bei den Gruppenteilpegeln in Kauf. Um diese zu kompensieren, wurde bei dieser Einstellung die Toleranz verschärft und auf 0,4 gesetzt.



**Abbildung 32: Verteilung der Abweichungen und Statistik; Toleranz auf Gesamtergebnis 0,4, Reflexabstand 200 m, Suchradius 2.500 m**

Die Ausreißer im Vergleich können durch die unterschiedliche Wirkung der Toleranz auf Gruppenteilpegel bzw. auf Gesamtergebnis erklärt werden.



**Abbildung 33: Verteilung der Abweichungen und Statistik;  $L_n \geq 45$  dB(A); Toleranz auf Gesamtergebnis 0,4, Reflexabstand 200 m, Suchradius=2.500 m**

Der ermittelte Wert für das Quantil  $q_{0,9}$  beträgt hier 0,14 dB. Der Median liegt bei 0 dB, die Abweichung der relevanten Pegel von den Pegeln in der „Referenz“-Einstellung beträgt maximal 0,4 dB. Neben der Verbesserung der Gesamtpegelergebnisse gegenüber Kapitel 4.2.4 konnte auch die Rechenzeit deutlich reduziert werden.

## 4.3 Empfohlene Parameter (Parameter<sup>opt</sup>)

### 4.3.1 Optimierung der Parameter in SoundPLAN

Für die Lärmkartierung Straße empfehlen wir die in Kapitel 4.2.5 beschriebenen Recheneinstellungen (nachfolgend Parameter<sup>opt</sup>) :

- Zulässige Toleranz: 0,4 dB (Wirkung auf Gesamtergebnis)
- Maximaler Reflexabstand: 200 m
- Suchradius Quelle - Immissionsort: 2.500 m

Der Vergleich der Betroffenenzahlen aus Berechnungen mit Parametern<sup>ref</sup> und Parametern<sup>opt</sup> in Kapitel 4.4.4 zeigt, dass sich die Belastetenzahlen durch die Optimierung der Parameter nicht relevant verändern.

### 4.3.2 Optimierung der Parameter in IMMI

Die zulässige Vernachlässigung von Teilgeräuschquellen, die keinen relevanten Einfluss auf den Immissionspegel haben, wird in der Software IMMI nicht durch die Vorgabe einer „zulässigen Toleranz“, sondern über einen sog. „Mindest-Pegelabstand“ geregelt. Der Mindest-Pegelabstand gibt an, um welchen Pegelbetrag die Immission einer Teilquelle unter einer zuvor gebildeten Immission aus anderen Teilquellen liegen darf, um in den Gesamtpegel übernommen zu werden. Durch die geeignete Wahl dieses Parameters muss sichergestellt sein, dass auch eine große Zahl vernachlässigter „leiser“ Teilpegel irrelevant für den Gesamtpegel sind. Über Vergleichsberechnungen in Anlehnung an Kapitel 4.2 hat sich ergeben, dass mit den nachfolgend empfohlenen Rechenparametern eine zu Kapitel 4.2.5 (Abbildung 33) vergleichbare statistische Verteilung von Abweichung erzielt werden kann.

- Mindestpegelabstand: 30 dB
- Maximaler Reflexabstand: 200 m
- Suchradius Quelle - Immissionsort: 2.500 m

### 4.3.3 Optimierung der Parameter allgemein

In weiteren - hier nicht näher untersuchten - Softwarelösungen werden auch andere Recheneinstellungen zur Beschleunigung der Berechnungen herangezogen. Beim Einsatz dieser Einstellungen ist darauf zu achten und durch Testberechnungen sicherzustellen, dass die Abweichungen der Rechenergebnisse im Rahmen der in Kapitel 4.2.5 dokumentierten Ergebnisse liegen oder sich an anderen vorgegebenen Maßstäben orientieren.

## 4.4 Lärmberechnung für das Testgebiet mit empfohlenen Rechenparametern

### 4.4.1 Vorbemerkung

Die in Kapitel 3 mit den Parametern<sup>ref</sup> durchgeführten Berechnungen werden nachfolgend mit den Parametern<sup>opt</sup> wiederholt und in ihren Ergebnissen verglichen.

### 4.4.2 Berechnung nach BUB mit Parametern<sup>opt</sup>

Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit folgenden Parametern und Ergebnissen durchgeführt:

- Berechnung der Fassadenpegel nach BEB für die betroffenen Gebäude mit Ausweisung von  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$
- Ausweisung der aufsummierten Betroffenheiten nach Pegelbereichen sowie Flächen nach BEB für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  (siehe Tabelle 14)
- Berechnung von Flächenrastern mit einer Auflösung von 10 m x 10 m für die Beurteilungszeiträume  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  in einer Höhe von 4 m über dem Boden

- Darstellung der Ergebnisse in Lärmkarten für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  gemäß 34. BImSchV mit einer Isolinienbreite von 5 dB (siehe Abbildung 34)
- Berechnungsparameter  $Parameter^{opt}$  (siehe Kapitel 4.3.1)

**Tabelle 14: Belastete nach BUB ( $Parameter^{opt}$ )**

Optimierte Rechenparameter		Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik BEB BEB Median Anzahl Einwohner	
Name	Größe [km <sup>2</sup> ]		$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	45 – 50	-	8.004
		50 – 55	-	4.804
		55 – 60	5.631	2.758
		60 – 65	3.668	1.062
		65 – 70	2.250	37
		70 – 75	523	-
		> 75	3	-

Optimierte Rechenparameter		Schwellenwerte [dB(A)]	Flächenstatistik BUB Belastete Fläche Größe [km <sup>2</sup> ]	
Name	Größe [km <sup>2</sup> ]		$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	> 55	25,78	11,53
		> 65	6,97	1,78
		> 75	1,15	0,39



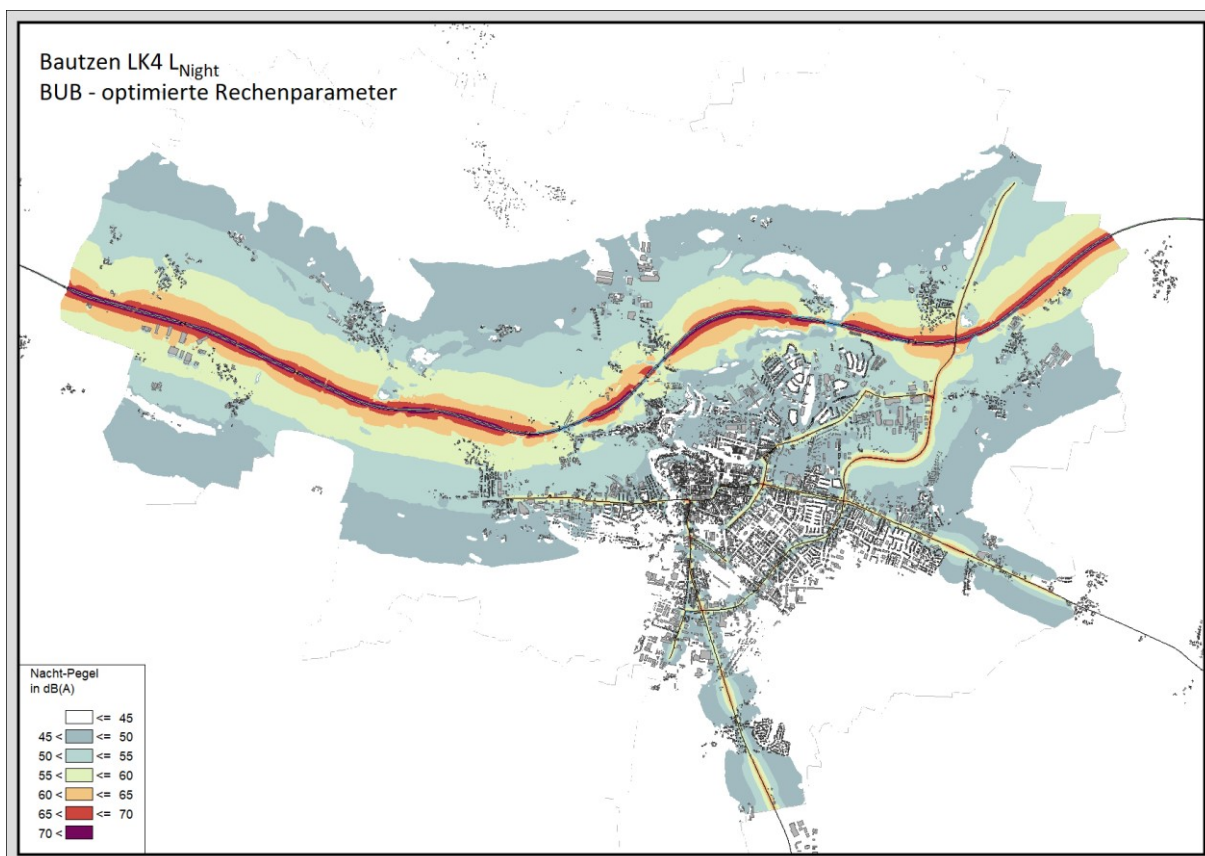
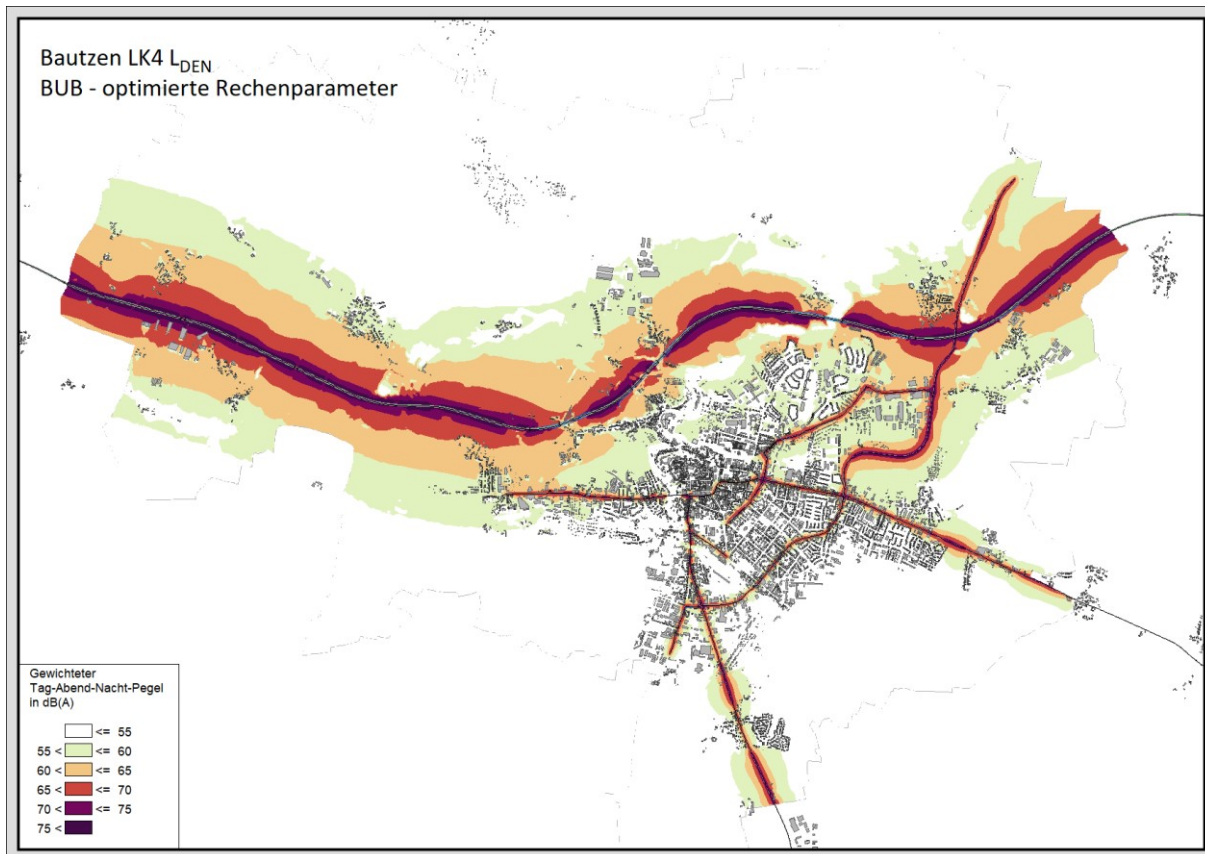


Abbildung 34: Lärmkarten  $L_{DEN}$ ,  $L_{Night}$ , BUB (Parameter<sup>opt</sup>)

#### 4.4.3 Berechnung nach VBUS mit Parametern<sup>opt</sup>

Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit folgenden Parametern und Ergebnissen durchgeführt:

- Berechnung der Fassadenpegel nach VBUS für die betroffenen Gebäude mit Ausweisung von  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$ .
- Ausweisung der aufsummierten Betroffenheiten nach Pegelbereichen sowie Flächen nach VBUS für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  (siehe Tabelle 15)
- Berechnung von Flächenrastern mit einer Auflösung von 10 m x 10 m für die Beurteilungszeiträume  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  in einer Höhe von 4 m über dem Boden
- Darstellung der Ergebnisse in Lärmkarten für  $L_{DEN}$  und  $L_{Night}$  gemäß 34. BImSchV mit einer Isolinienbreite von 5 dB (siehe Abbildung 35)
- Berechnungsparameter Parameter<sup>opt</sup> (siehe Kapitel 4.3.1)

**Tabelle 15: Belastete nach VBUS (Parameter<sup>opt</sup>)**

Optimierte Rechenparameter	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik VBUS VBEB Anzahl Einwohner	
			$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	45 – 50	-	4.084
		50 – 55	-	2.063
		55 – 60	2.887	1.177
		60 – 65	1.290	473
		65 – 70	1.116	28
		70 – 75	241	-
		> 75	-	-

Optimierte Rechenparameter	Größe [km <sup>2</sup> ]	Schwellenwerte [dB(A)]	Flächenstatistik VBUS Belastete Fläche Größe [km <sup>2</sup> ]	
			$L_{DEN}$	$L_{Night}$
Bautzen	66,64	> 55	17,47	6,68
		> 65	4,46	1,33
		> 75	0,93	0,35

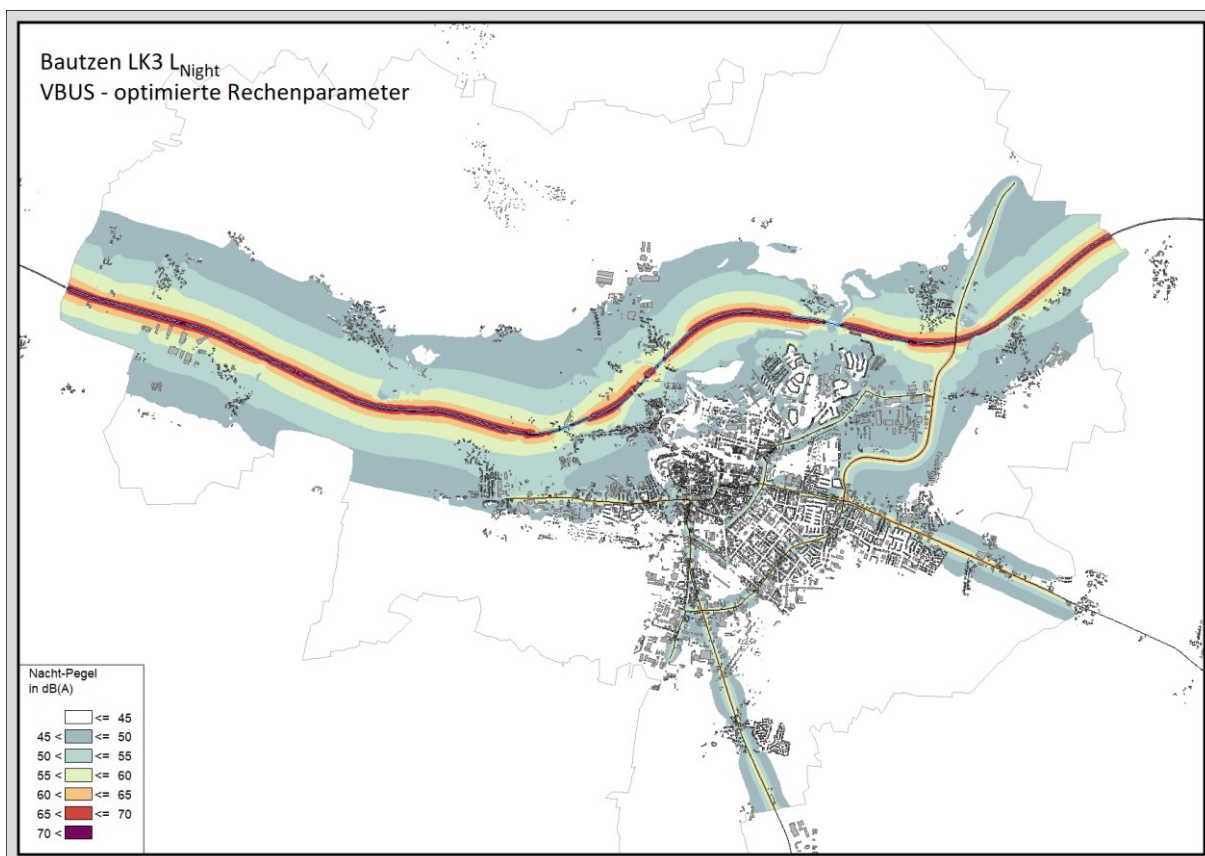
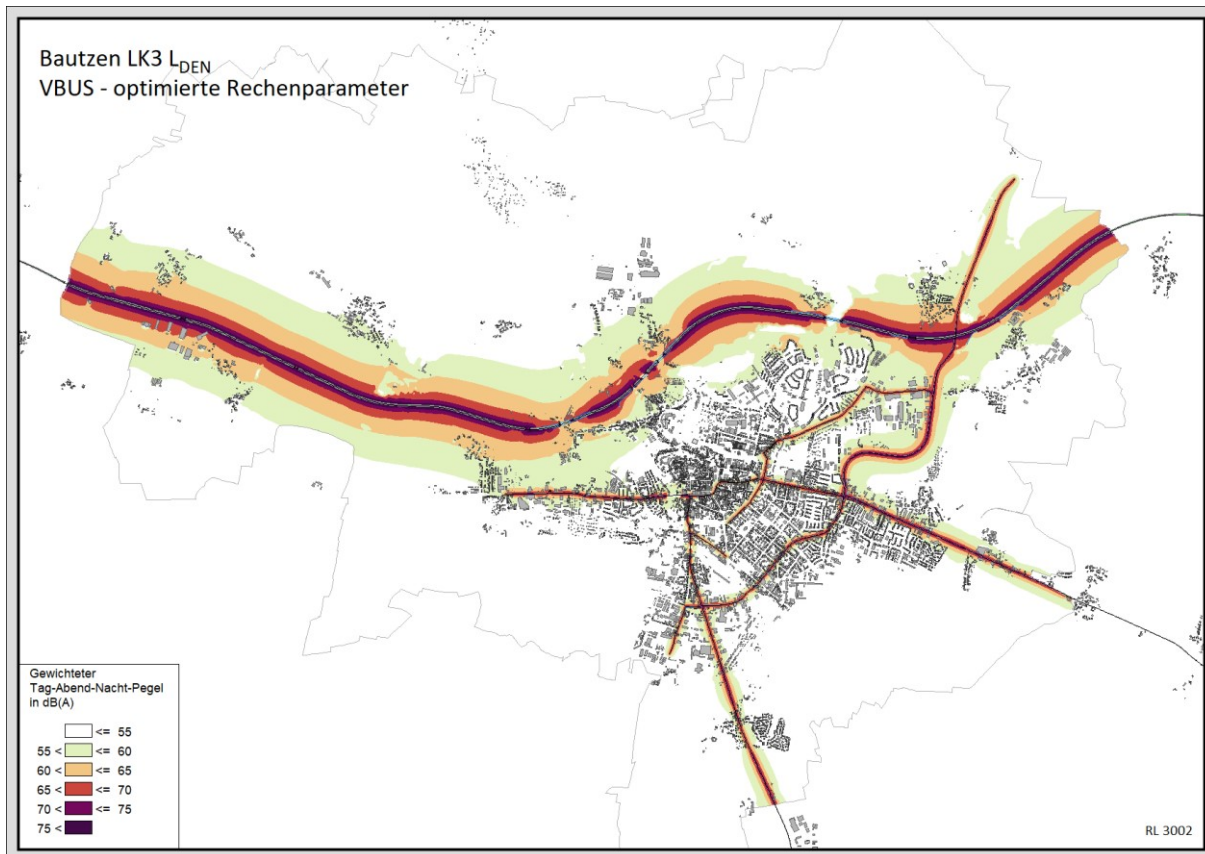


Abbildung 35: Lärmkarten  $L_{DEN}$ ,  $L_{Night}$ , VBUS (Parameter<sup>opt</sup>)

#### 4.4.4 Vergleich der Ergebnisse

Der Vergleich der Belastetenzahlen aus Berechnungen mit Parametern<sup>ref</sup> und Parametern<sup>opt</sup> zeigt, dass sich die Betroffenzahlen durch die Optimierung der Parameter nicht relevant verändern (siehe Tabelle 16, dort „Referenzparameter“ = Parameter<sup>ref</sup> und „Optimierte Rechenparameter“ = Parameter<sup>opt</sup>)

**Tabelle 16: Belastete nach Parametern<sup>ref</sup> und Parametern<sup>opt</sup>#**

BEB Median Name	Größe [km²]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik BUB „Referenzparameter“ Anzahl Einwohner		Einwohnerstatistik BUB Optimierte Parameter Anzahl Einwohner		Differenz in den Intervallen „Referenz“ optimiert Anzahl Einwohner	
			L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 50	-	8.277	-	8.004	-	273
		50 – 55	-	4.857	-	4.804	-	52
		55 – 60	5.700	2.784	5.631	2.758	69	26
		60 – 65	3.654	1.069	3.668	1.062	-14	7
		65 – 70	2.267	37	2.250	37	16	-
		70 – 75	528	-	523	-	6	-
		> 75	4	-	3	-	1	-

Es zeigt sich weiter, dass durch die Anwendung der für die Lärmkartierung optimierten Parameter nur im nicht relevanten L<sub>Night</sub> Intervall 45 - 50 dB(A) deutliche Ergebnisänderungen auftreten. Weitere Untersuchungen dazu haben ergeben, dass in diesem Intervall die Unterschiede durch den Parameter Reflexionsabstand zu erklären sind (siehe Kapitel 4.2.2).

Die Rechenzeit hat sich durch die Parameter<sup>opt</sup> im Vergleich zu den Parametern<sup>ref</sup> um einen Faktor 4 reduziert.

#### 4.4.5 Rundungsregeln der 34. BImSchV

Mit der Anpassung der 34. BImSchV [1] sind die berechneten Indices L<sub>DEN</sub> und L<sub>Night</sub> auf ganze Zahlen auf- oder abzurunden. In der Fassung der vorangegangenen Kartierungen hatte eine solche Rundung nicht zu erfolgen. Das hat zur Folge, dass beispielsweise ein L<sub>DEN</sub> von 54,5 dB(A) bisher dem Pegelintervall 50 bis 55 dB(A) und ab der anstehenden Kartierung 2022 dem höheren Pegelintervall 55 bis 60 dB(A) zuzuordnen ist. Damit verschieben sich die Belastetenzahlen signifikant nach oben (siehe Tabelle 17).

**Tabelle 17: Belastete nach BUB (Parameter<sup>opt</sup>, 34. BImSchV neu)**

Optimierte Rechenparameter Name	Größe [km²]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik BEB BEB Median Anzahl Einwohner	
			L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 50	-	8.004
		50 – 55	-	4.804
		55 – 60	5.631	2.758
		60 – 65	3.668	1.062
		65 – 70	2.250	37
		70 – 75	523	-
		> 75	3	-

Optimierte Rechenparameter	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik BUB BEB Median Rundung 0,5 Anzahl Einwohner	
			L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 49	-	8.234
		50 – 54	-	4.946
		55 – 59	6.010	3.013
		60 – 64	3.738	1.258
		65 – 69	2.402	64
		70 – 74	702	-
		> 75	7	-

Im hohen Pegelintervall L<sub>DEN</sub> 70 bis 75 dB(A) steigt die Betroffenenzahl des Testgebietes Bautzen beispielsweise um mehr als 30 % von 523 auf 702.

## 5 Lärmberechnung für das Testgebiet nach RLS-19

### 5.1 Vorbemerkung

In den Kapiteln 2.2.3 und 2.2.4 werden die wesentlichen emissionsrelevanten Unterschiede zwischen der BUB und der RLS-19 benannt. In der Lärmberechnung für das Testgebiet nach RLS-19 sollen diese Unterschiede in Bezug auf die resultierenden Lärmkarten und Betroffenenzahlen dokumentiert werden.

### 5.2 Berechnungsmodell

#### 5.2.1 Berechnungsparameter

Die Berechnungen nach RLS-19 wurden zur besseren Vergleichbarkeit der Karten mit den für die Lärmkartierung empfohlenen Rechenparametern durchgeführt, wobei die Reflexionen 2. Ordnung mitberücksichtigt wurden.

Bodendämpfung und Meteorologie wurden gemäß RLS-19 berücksichtigt.

#### 5.2.2 Ermittlung der Verkehrszahlen

Die Verkehrszahlen für die Berechnung nach RLS-19 wurden nach den Empfehlungen in den LAI-Hinweisen aus den Verkehrszahlen der BUB abgeleitet.

Für die Autobahn ohne Geschwindigkeitsbegrenzung wurde die Geschwindigkeit für Lkw1 und Lkw2 mit 90 km/h angesetzt.

### 5.3 Berechnung und Ergebnisse

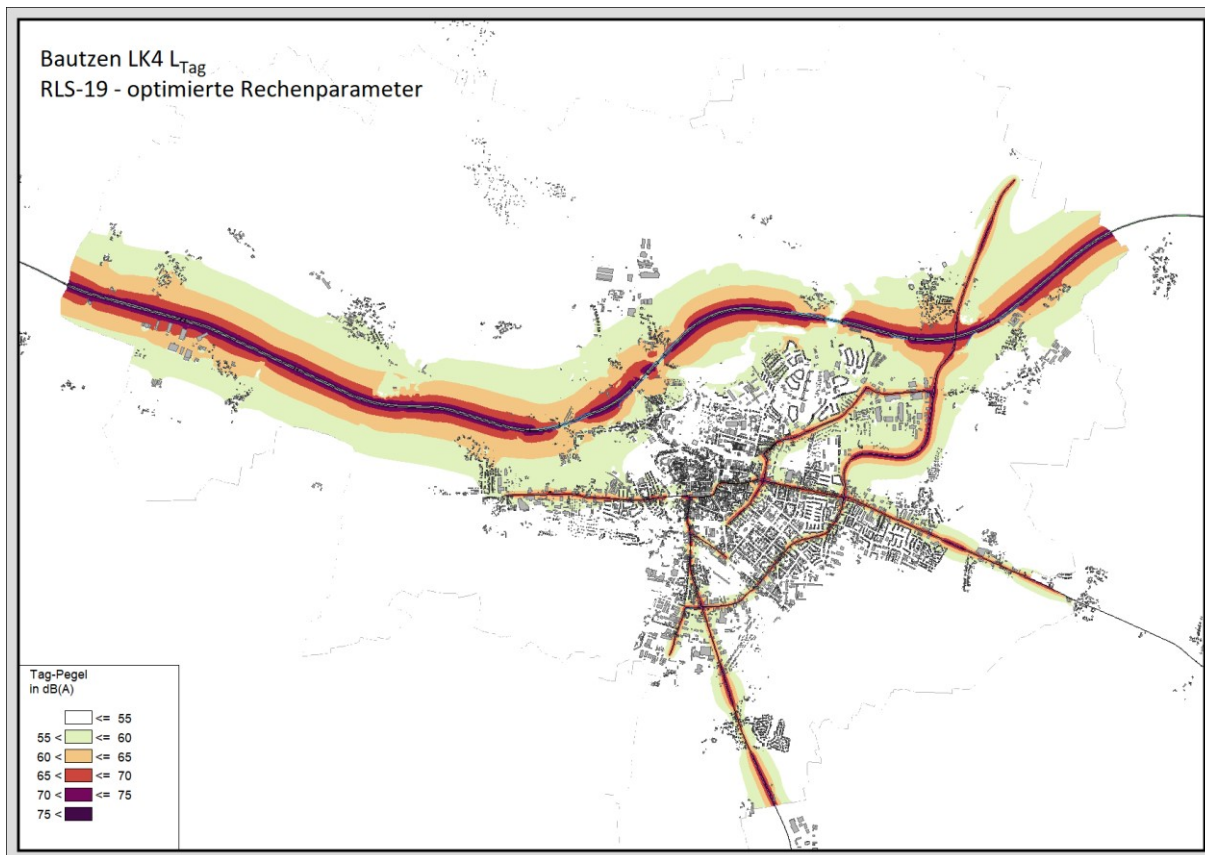
Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit folgenden Parametern und Ergebnissen durchgeführt:

- Berechnung der Fassadenpegel nach RLS-19 für die betroffenen Gebäude mit Ausweisung von L<sub>Tag</sub> und L<sub>Nacht</sub>
- Ausweisung der aufsummierten Betroffenheiten nach Pegelbereichen sowie Flächen nach BEB für L<sub>Tag</sub> und L<sub>Nacht</sub> (siehe Tabelle 18)
- Berechnung von Flächenrastern mit einer Auflösung von 10 m x 10 m für die Beurteilungszeiträume L<sub>Tag</sub> und L<sub>Nacht</sub> in einer Höhe von 4 m über dem Boden
- Darstellung der Ergebnisse in Lärmkarten für L<sub>Tag</sub> und L<sub>Nacht</sub> in Anlehnung an die 34. BImSchV mit einer Isolinienbreite von 5 dB (siehe Abbildung 36)
- Berechnungsparameter gemäß Parameter<sup>opt</sup> (siehe Kapitel 4.3.1)

**Tabelle 18: Belastete nach RLS-19 (Parameter<sup>opt</sup>)**

Optimierte Rechenparameter <b>Name</b>	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	Einwohnerstatistik RLS-19 VBEB Anzahl Einwohner	
			LrT	LrN
Bautzen	66,64	45 – 50	-	10.415
		50 – 55	-	3.311
		55 – 60	3.316	1.484
		60 – 65	1.474	630
		65 – 70	941	34
		70 – 75	176	-
		> 75	-	-

Optimierte Rechenparameter <b>Name</b>	Größe [km <sup>2</sup> ]	Schwellenwerte [dB(A)]	EU Flächenstatistik RLS 19 Größe [km <sup>2</sup> ]	
			LrT	LrN
Bautzen	66,64	> 55	17,89	9,48
		> 65	4,01	1,82
		> 75	0,81	0,47



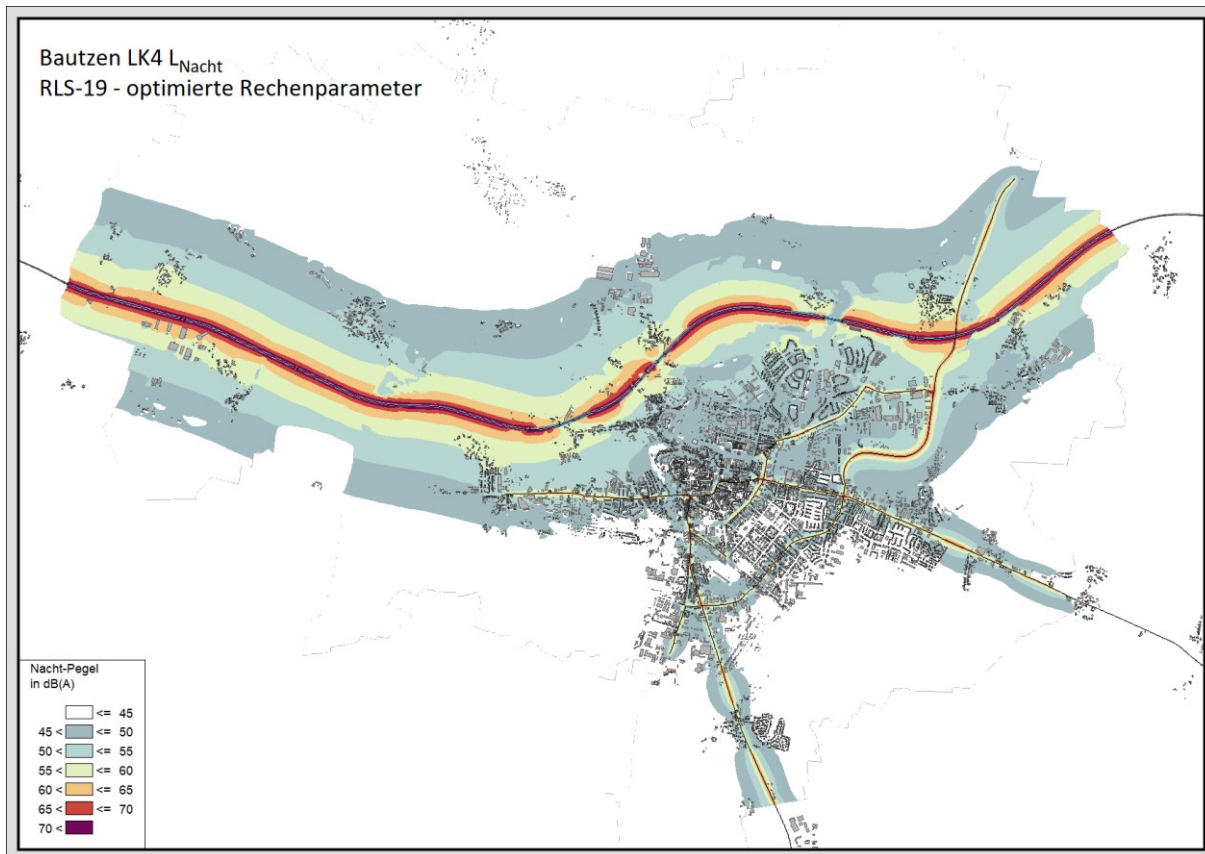


Abbildung 36: Lärmkarten  $L_{\text{Tag}}$ ,  $L_{\text{Nacht}}$ , RLS-19 (Parameter<sup>opt</sup>)

### 5.4 Vergleich der Ergebnisse von BUB und RLS-19

Aufgrund der unterschiedlichen Beurteilungszeitbereiche der BUB ( $L_{\text{DEN}}/L_{\text{Night}}$ ) und RLS-19 ( $L_{\text{rT}}/L_{\text{rN}}$ ) bezieht sich der Vergleich hier nur auf die Nacht (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Vergleich Belastete BUB mit RLS-19

Optimierte Rechenparameter	Größe [km <sup>2</sup> ]	Intervalle [dB(A)]	Vergleich Einwohnerstatistik	
			RLS-19 $L_{\text{rN}}$	BUB $L_{\text{Night}}$
Bautzen	66,64	45 – 50	10.458	5.729
		50 – 55	3.317	3.267
		55 – 60	1.501	1.513
		60 – 65	648	556
		65 – 70	34	18
		70 – 75	-	-
		> 75	-	-

Ab den relevanten Pegelintervallen 50 bis 55 dB(A) und darüber bestehen nur geringe Unterschiede in den Belastetenzahlen mit tendenziell geringeren Zahlen für die BUB. Der signifikante Unterschied im Pegelintervall 45 - 50 dB(A) kann im Rahmen dieses Projektes nicht analysiert werden. Es ist anzunehmen, dass u. a. Pegelanteile aus der 2. Reflexion nach RLS-19 dafür verantwortlich sind.

## 6 Pegelanteile von Straßengattungen

### 6.1 Vorgehensweise

Sind in SoundPLAN die Lärmquellen, in diesem Fall Straßen, unterschiedlichen Gruppen zugeordnet, werden bei Berechnungen nicht nur der Summenpegel, sondern auch die zugehörigen Teilepegel der einzelnen Gruppen für  $L_{DEN}$  und  $L_N$  bestimmt.

Damit die Fassadenpegel und damit die Lärmbetroffenheit anteilig auf Straßengattungen (Bundesautobahn, Bundesstraße, Staatsstraße oder Stadtstraße) aufgeteilt werden kann, müssen die Quellen zunächst den einzelnen Verursachern (Straßengattungen) zugeordnet werden. Die Zuordnung der einzelnen Straßen zu der jeweiligen Gruppe konnte in den Modelldaten direkt über die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten für die Straßen durchgeführt werden.

Diese spezielle Anforderung, hier für die Lärmkartierung auch die Gruppenteilepegel zu bestimmen, wurde bei der Wahl der Rechenparameter berücksichtigt (siehe Kapitel 4.2.5).

Damit können neben dem Gesamtpegel auch die jeweiligen Gruppenteilepegel für die Gruppen Bundesautobahn, Bundesstraße, Staatsstraße oder Stadtstraße und den Zeitbereiche  $L_{DEN}$  und  $L_N$  für die weitere Verarbeitung, z. B. um die ermittelte Lärmbetroffenheit auf die maßgeblich einwirkenden Straßengattungen aufzuteilen, herangezogen werden.

### 6.2 Beispiel Bautzen

Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit den Parametern gemäß Kapitel 4.4.1 für die vier Straßengruppen durchgeführt (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38 und Tabelle 20).

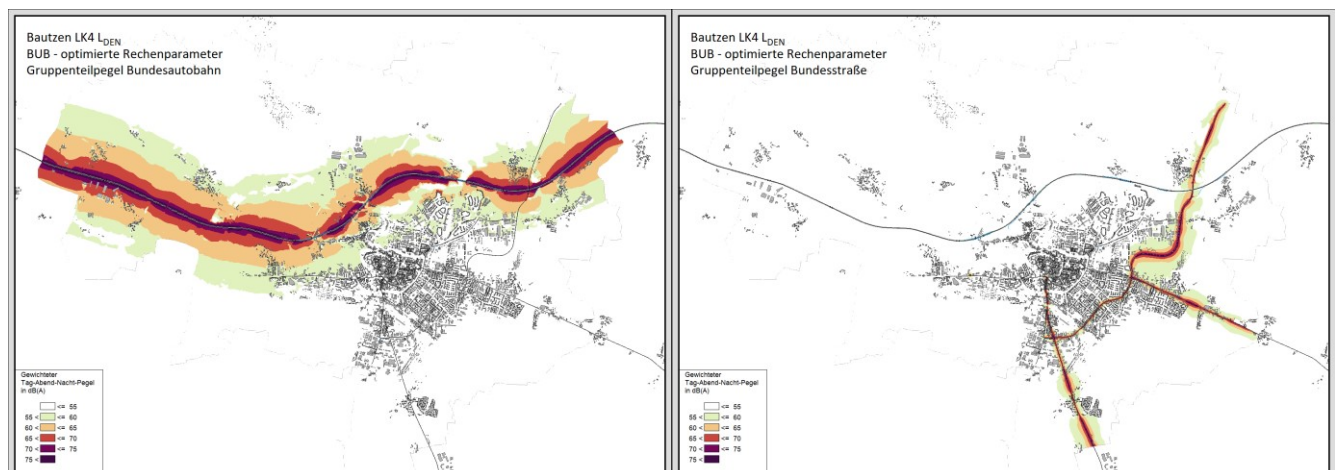


Abbildung 37: Teillärmkarten  $L_{DEN}$ , Bundesautobahn und Bundesstraße

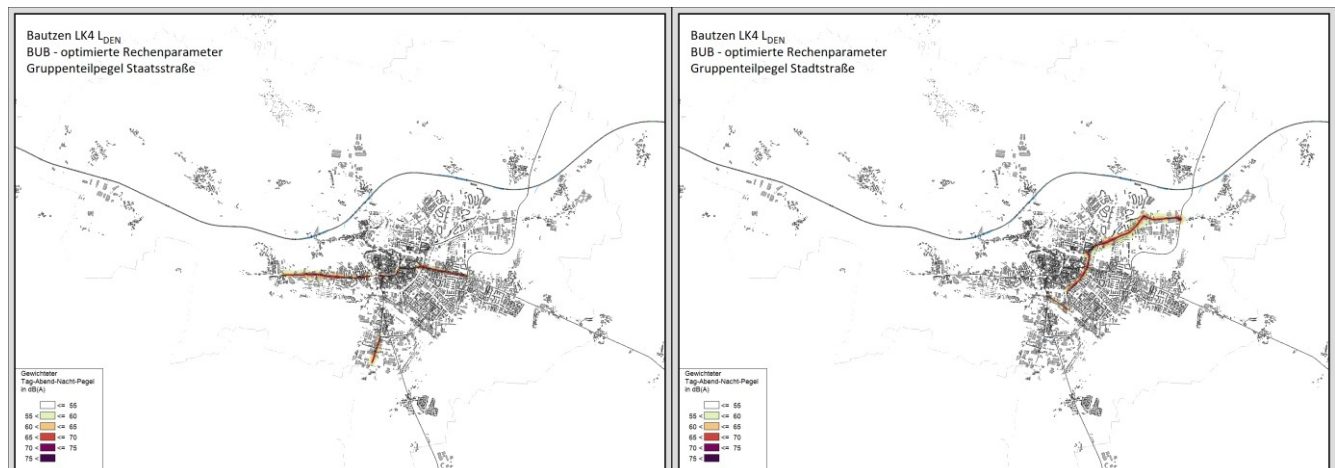


Abbildung 38: Teillärmkarten  $L_{DEN}$ , Staatsstraßen und Stadtstraßen



Die nach Straßengruppe differenzierten Fassadenpegel ermöglichen eine gruppenbezogene Zuordnung der Belasteten (siehe Tabelle 20).

**Tabelle 20: Belastete nach Straßengruppe**

Optimierte Rechenparameter Name	Größe [km <sup>2</sup> ]	Einwohnerstatistik BUB für den Summenpegel und die einzelnen Gruppenteilpegel										
		Intervall [dB(A)]	Summenpegel		Autobahn		Bundesstraße		Staatsstraße		Stadtstraße	
			L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>	L <sub>DEN</sub>	L <sub>Night</sub>
Bautzen	66,64	45 – 49	-	8.234	-	5.713	-	1.647	-	662	-	934
		50 – 54	-	4.946	-	2.687	-	898	-	397	-	706
		55 – 59	6.010	3.013	3.479	869	1.146	1.043	506	895	751	214
		60 – 64	3.738	1.258	1.639	27	957	555	483	486	616	132
		65 – 69	2.402	64	197	-	921	44	1.084	13	212	4
		70 – 74	702	-	5	-	395	-	156	-	114	-
		> 75	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Aufteilung wird in hohen Pegelintervallen weniger durch den vergleichsweise hohen Emissionspegel der Autobahn, sondern eher durch die Anwohnerdichte an den Straßen geprägt. Bei Mehrfachbelastung durch verschiedene Straßengattungen werden die Betroffenen jeder dieser Straßengattung zugeordnet.

## 7 Handlungsempfehlungen für die Lärmkartierung

### 7.1 LAI-Hinweise zur Lärmkartierung

Die LAI-Hinweise zur Lärmkartierung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) [13] geben umfangreiche Handlungsempfehlungen zur Datenerhebung, Modellbildung und Lärmkartierung von Straßen, Schienen- und Flugverkehr und Industrie- und Gewerbeflächen. Insbesondere auf die Hinweise zum Straßenverkehr wird hier ausdrücklich verwiesen.

Bei der Untersuchung der Berechnungsvorschriften am Beispiel der Stadt Bautzen im Freistaat Sachsen haben sich in Bezug auf die Modellbildung und Durchführung der Berechnungen über die LAI-Hinweise hinaus ergänzende Handlungsempfehlungen ergeben, die hier vorgestellt werden. Die übermittelten Modell-Eingangsdaten entsprechen bereits allen Anforderungen der BUB/BUB-D und bedürfen keiner weiteren Empfehlungen zu Anpassungen.

### 7.2 Straßenoberflächen

Nach der BUB-D ergeben sich für einige Gruppen von Straßenoberflächen jeweils sehr ähnliche Pegelgemeinschaften (siehe Kapitel 2.2.1.2). Wenn in den Straßendaten eine Differenzierung der Straßenoberflächen innerhalb dieser Gruppen (beispielsweise Splitmastix, lärmarmer Gussasphalt und Asphaltbeton) nicht vorliegt, sollte im Rahmen der angestrebten Gesamtgenauigkeit geprüft werden, ob der Zusatzaufwand für eine Erhebung und Berücksichtigung der differenzierten Oberflächen im Verhältnis zu einem kleinen Pegelbeitrag gerechtfertigt ist.

### 7.3 Geschwindigkeiten

In der auf die Lärmkartierung häufig folgenden Lärmaktionsplanung sind Maßnahmenvorschläge zu verkehrsrechtlichen Anordnungen auf Berechnungen nach der 16. BImSchV (RLS-19) zu beziehen. Die RLS-19 unterscheidet bei der Berücksichtigung der anzusetzenden Geschwindigkeit von Lkw1 und Lkw2 zwischen Autobahnen und Kraftverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit für Pkw von 130 km/h und „ohne Geschwindigkeitsbegrenzung“ für Pkw. Ohne Geschwindigkeitsbegrenzung für Pkw ist die Geschwindigkeit von Lkw1 und Lkw2 hypothetisch auf 90 km/h anzuheben.

Für die Weiterverwendbarkeit der Daten wird daher empfohlen, die Eigenschaft „ohne Geschwindigkeitsbegrenzung“ in den Eingangsdaten auszuweisen und nicht durch „130 km/h“ zu ersetzen.

### 7.4 Straßenachsen im Gelände

Durch die Herabsetzung der Quellhöhe von früher 50 cm (VBUS) auf jetzt 5 cm kann es zu Auffälligkeiten kommen, die hier näher untersucht werden.

Durch eine Quellhöhe von 5 cm über Straße kann es vermehrt zu ins Gelände „eintauchenden“ Emissionslinien oder auch zu falschen Beugungseffekten an quellnahen störenden Geländekanten kommen. Zur Lösung dieses Problems wurden während der Bearbeitung des Projekts unterschiedliche Methoden getestet:

- Methode 1: Einrechnen der Fahrbahnränder auf Basis der Gradienten ins Gelände; Bereinigung des DGMs innerhalb der Straßenfläche

Die für diesen Zweck vorgeschlagene Methode bestimmt die z-Koordinate der Fahrbahnränder auf Basis der Straßengradienten. Bei dieser Methode wird das DGM im Bereich der Straße, d. h. zwischen den Fahr-

bahnrändern, bereinigt. Die Straßenfläche wird dadurch zu einer ebenen Fläche, eventuell störende Geländekanten werden eingeebnet. Bei grob aufgelösten Geländemodellen steigert diese Methode die Qualität des Geländemodells.

In Bautzen, mit DGM2 oder DGM1 Daten, führte diese Methode für die meisten Straßen zu guten Ergebnissen. Bei sehr breiten Straßen mit Querneigung (Autobahnen) wurde dadurch die Straßenfläche ausgeglichen, die Querneigung blieb unberücksichtigt, teilweise entstanden hier an den Fahrbahnrändern Einschnitte, welche sich störend auf die Ausbreitungsberechnung auswirkten.

#### ■ Methode 2: Anheben der Emissionslinie um 5 cm über Gelände

Diese Methode ist die einfachste Methode. Hier wird für die zu berechnenden Segmente der Emissionslinien lediglich sichergestellt, dass sie 5 cm über Gelände verlaufen. In den einzelnen Programmen geschieht dies meist direkt bei der Berechnung, extra Bearbeitungsschritte müssen hierfür nicht durchgeführt werden. Diese Methode eignet sich vor allem für qualitativ hochwertige Geländemodelle. Allerdings können damit quellnahe störende Geländekanten nicht ausgeschlossen/verhindert werden.

#### ■ Methode 3: Festlegung der Fahrbahnränder als geländefolgend; Bereinigung des DGMs innerhalb der Straßenfläche

Diese in SoundPLAN entwickelte Methode ähnelt der ersten Methode. Hier werden die z-Koordinate der Fahrbahnränder aber nicht auf Basis der Straßengradiente, sondern über die entsprechende Geländeinformation bestimmt. Die Fahrbahnränder folgen damit dem Gelände. Brücken sind hierbei gesondert zu betrachten. Auch hier wird das DGM im Bereich der Straße, d. h. zwischen den Fahrbahnrändern, bereinigt. Die Straßenfläche wird dadurch zu einer ebenen Fläche, eventuell störende Geländekanten werden eingeebnet. Selbst qualitativ hochwertige Geländemodellen können damit im Bereich der Straßenflächen noch weiter optimiert werden.

Methode 1 ist somit für Geländemodelle geeignet, die aufgrund geringer Auflösung oder heterogener Punktverteilung keine hinreichend ebenen Straßenflächen aufspannen. Wenn diese Ebenen durch ein DGM mit Gitterweiten von 1 m oder 2 m oder auch grundsätzlich flaches Gelände abgebildet werden, können die Methoden 2 und 3 zur Anwendung kommen.

Im Freistaat Sachsen steht für die Kartierung ein Geländemodell DGM1 (Gitterweite 1 m) zur Verfügung. Mit diesem Geländemodell kann die Modellierung von Straßen nach Methode 2 erfolgen. Die optionale Anwendung von Methode 3 führt auf diesem Geländemodell zu einer weiteren Optimierung der Straßenflächen.

## 7.5 Berechnungsparameter

Der Rechenaufwand für großräumige Lärmkartierungen ist erheblich - besonders, wenn Immissionspegel auch aus zahlreichen irrelevanten (leisen) Teilgeräuschquellen gebildet werden. Zur erforderlichen Beschleunigung der Rechenzeiten müssen diese Teilquellen durch geeignete Parametereinschränkungen von der Berechnung ausgeschlossen werden. Dabei ist durch geeignete Testberechnungen in Anlehnung an diese Untersuchung darauf zu achten, dass resultierende Pegelabweichungen die in der Lärmkartierung anzustrebende Genauigkeit nicht verletzen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde für die Programme SoundPLAN und IMMI nachgewiesen, dass folgende Parameter in der Lärmkartierung angewendet werden können:

- Zulässige Toleranz (SoundPLAN): 0,4 dB
- Mindestpegelabstand (IMMI): 30 dB
- Maximaler Reflexabstand: 200 m
- Suchradius Quelle - Immissionsort: 2.500 m

## 8 Literaturverzeichnis

### Nr. Quelle

- [1] Bundesanzeiger, BAnz AT 05.10.2021 B4, Berechnungsmethoden für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB), i. V. m. Bundesanzeiger, BAnz AT 02.12.2021 B6, Berichtigung der Bekanntmachung der Berechnungsverfahren für den Umgebungslärm nach § 5 Absatz 1 der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) vom 17.11.2021
- [2] Bundesanzeiger, BAnz AT 05.10.2021 B4, Datenbank für die Berechnungsmethoden für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB-D)
- [3] Bundesanzeiger, BAnz AT 05.10.2021 B4, Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (BEB)
- [4] Bundesministerium der Justiz (2006): Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen – VBUS, 15.05.2006, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- [5] Bundesanzeiger, BAnz Nr. 75 20.04.2007, Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB) vom 9. Februar 2007
- [6] 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
- [7] RICHTLINIE (EU) 2015/996 DER KOMMISSION vom 19. Mai 2015 zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates  
i. V. m. Anhang der Delegierten Richtlinie der Kommission zur Änderung des Anhangs II der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich gemeinsamer Methoden zur Lärmbewertung zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt, C(2020) 9101 final, 21.12.2020
- [8] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (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
- [9] Bundesministerium der Justiz (2018): Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), 12.06.1990, Stand 18.12.2014, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln
- [10] Der Bundesminister für Verkehr e.V. (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
- [11] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19, Ausgabe 2019
- [12] DIN 45687-05, Akustik - Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien - Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen, 2006-05
- [13] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), LAI-Hinweise zur Lärmkartierung – Zweite Aktualisierung – 24.08.2020 i. V. m. Entwurf zu – Dritte Aktualisierung – 27.01.2022
- [14] Lärmbekämpfung 14 (2019) Nr. 6; Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen – RLS-19, Wolfram Bartolomaeus
- [15] Umweltbundesamt (2021), Texte 84/2021, Vergleichsrechnungen für die EU-Umgebungslärmrichtlinie, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

- [16] SoundPLAN GmbH, Software SoundPLANnoise 8.2; Anpassungen durch Änderungen der BUB wurden durch Programm-Updates in der Version nachgeführt. Die Qualitätssicherung erfolgte durch die zugehörigen Testaufgaben. Aktuelle Konformitätserklärungen zu RLS-19, BUB-Straße liegen offiziell noch nicht vor. Die Konformität der Implementierung in SoundPLAN kann aber auf Basis der Qualitätssicherung und der Testaufgaben bestätigt werden
- [17] Wölfel Engineering GmbH + Co. KG, Software IMMI Release 20210722, Programm zur Schallimmissionsprognose, geprüft auf Konformität gemäß den QSI-Formblättern zu VDI 2714:1988-01, VDI 2720 Blatt1:1997-03, DIN ISO 9613-2:1999-10, Schall 03:1990/2015, RLS 90:1990 und gemäß TEST-20 der BAST für RLS-19:2019

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
(LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Das LfULG ist eine nachgeordnete Behörde des  
Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt  
und Landwirtschaft

Diese Veröffentlichung wird finanziert mit Steuermitteln auf Grundlage  
des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen  
Haushalts.

**Autoren:**

Sebastian Ibbeken, Bernd Fröhling

Wölfel Engineering GmbH + Co. KG

Max-Planck-Straße 15, 97204 Höchberg

Telefon: + 49 30 390318-50

E-Mail: ibbeken@woelfel.de

Michael Gillé, Svenja Veric, Dieter Zollitsch

SoundPLAN GmbH

Etzwiesenberg 15, 71522 Backnang

Telefon: + 49 7191 9144 -19

E-Mail: michael.gille@soundplan.de

**Redaktion:**

Andreas Rink, Friedrich Karas

Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Lärm

Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden Pillnitz

Telefon: +49 351 2612 5211

E-Mail: Andreas.Rink@smekul.sachsen.de

**Auflage:**

1. Auflage

**Redaktionsschluss:**

15.04.2022

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als  
PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen  
werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im  
Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der  
Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von  
deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung  
verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist  
insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an  
Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder  
Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt  
ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der  
Wahlwerbung.

*Täglich für  
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de