

Masterarbeit

Verkehrslärm(schutz) und Städtebau -
Wirkungsabschätzung einer geplanten
Blockrandbebauung in Hamburg Nord

Natali Cortes Losada

Matr.-Nr. XXXXXXXXXX

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Gertz
Zweitprüferin: Prof. Dr.-Ing. Heike Flämig
Betreuerin: Dr. Philine Gaffron

01.06.2018



Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keinem anderen Prüfungsamt vorgelegen. Ich stimme der Weitergabe meiner Arbeit zu wissenschaftlichen Zwecken zu.

Hamburg, den 01.06.2018

.....

Unterschrift Autor

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung und Fokus	2
1.2	Aufbau der Arbeit	2
2	Schallemissionen und -Immissionen	5
2.1	Grundlagen des Lärmschutzes	5
2.2	Subjektive Lärmwahrnehmung	7
2.3	Auswirkung von Lärm	8
2.4	Schalltechnische Grundlagen	9
2.4.1	Berechnung von Lärm	9
2.4.2	Messung vs. Rechnung	11
2.5	Rechtliche Grundlagen	12
2.5.1	Planungsrecht	12
2.5.2	Lärmvorsorge und -sanierung	12
2.5.3	EU-Richtlinie	13
2.6	Entstehung von Lärm im Straßenverkehr	15
2.7	Ausbreitung von Lärm	17
3	Lärmminderungsmaßnahmen	19
3.1	Strategische Maßnahmenentwicklung	19
3.2	Vermeidung von Verkehr	21
3.2.1	Förderung Fußgängerverkehr	21
3.2.2	Förderung Radverkehr	23
3.2.3	Förderung ÖPNV	23
3.3	Verlagerung von Verkehr	24

3.4	Verlangsamung von Verkehr	24
3.5	Verstetigung des Verkehrsverlaufes	25
3.6	Lärminderung an der Quelle	26
3.7	Lärmschutz auf dem Ausbreitungsweg	26
3.7.1	Maßnahmen am Straßenseitenraum	27
3.7.2	Maßnahmen an Gebäuden	27
4	Bestandsaufnahme und Maßnahmen	31
4.1	Geschichtliche Entwicklung des Untersuchungsgebiets	31
4.2	Lage und Bestand	33
4.2.1	Lage und Erschließung	33
4.2.2	Bevölkerung	34
4.2.3	Soziale Struktur	35
4.2.4	Infrastruktur	36
4.3	Kenngroßen der Mobilität	38
4.3.1	Modal Split	38
4.3.2	ÖPNV-Angebot	38
4.3.3	Verkehrsbelastung	40
4.3.4	Schadstoffemissionen	41
4.3.5	Lärmbelastung	42
4.4	Flächennutzungsplan und Landschaftsprogramm	44
4.5	Bebauungsplan	45
4.6	Maßnahmen	46
5	Empirische Analyse	51
5.1	Grundlagen der Berechnung	51
5.2	Topographische und bauliche Gegebenheiten	52
5.3	Emissionen	52
5.4	Immissionen	54
5.5	Ausbreitungsberechnung in IMMI	55
6	Empirische Ergebnisse	59

6.1	Validierung des Modells	59
6.2	Beurteilungspegel und Lärmpegelreduktion	60
6.2.1	Ist-Zustand	61
6.2.2	Maßnahme M0 (Variante V1 und V2)	63
6.2.3	Maßnahme M1 bis M7 (Variante V0)	64
6.2.4	Maßnahme M1 bis M7 (Variante V1 und V2)	65
6.2.5	Schlussfolgerungen	67
6.3	Grenzwertüberschreitung	69
6.3.1	Ist-Zustand	69
6.3.2	Maßnahme M0 (Variante V1 und V2)	71
6.3.3	Maßnahme M1 bis M7 (Variante V0, V1 und V2)	74
6.3.4	Schlussfolgerungen	75
6.4	Kosten und Übertragbarkeit	76
6.4.1	Randbebauung	77
6.4.2	Einführung von Tempo 30	77
6.4.3	Reduzierung des LKW-Anteils	79
6.4.4	Reduzierung des Straßenquerschnitts	79
6.5	Zusammenfassung und Diskussion	80
6.5.1	Ist-Zustand	80
6.5.2	Maßnahme M0	81
6.5.3	Maßnahme M1 bis M7	82
7	Zusammenfassung und Fazit	85
7.1	Zusammenfassung	85
7.2	Fazit	87
A	Beurteilungspegels nach der 16. BImSchV	89
B	Beurteilungspegel: Maßnahme 0	97
C	Beurteilungspegel: Maßnahme 1	99
D	Beurteilungspegel: Maßnahme 2	101

E Beurteilungspegel: Maßnahme 3	103
F Beurteilungspegel: Maßnahme 4	105
G Beurteilungspegel: Maßnahme 5	107
H Beurteilungspegel: Maßnahme 6	109
I Beurteilungspegel: Maßnahme 7	111
J Schallausbreitung	113
K Konfliktpläne	121
L Grobkostenschätzung - Tempo 30	125

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schallpegel-Skala von Alltagsgeräuschen	7
2.2	Schallpegel bei Autos	10
2.3	Beispiele für Schall- und Mittelungspegel	10
2.4	Einflussfaktoren auf Fahrzeuggeräusche	15
2.5	Schallemissionen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	16
2.6	Pegel-beeinflussende Faktoren bei der Schallausbreitung	17
2.7	Schallausbreitung bei punkt- und linienförmiger Schallquelle	18
3.1	Ebene der Lärminderungsplanung	20
3.2	Schallminderungsprinzip bei zweischaligen Außenwänden	29
4.1	Achsenmodell von Fritz Schumacher	32
4.2	Historische Bilder der untersuchten Trasse	33
4.3	Untersuchungsgebiet	34
4.4	Fotodokumentation vom Bestand	37
4.5	Regelquerschnitt der Lübecker Straße	38
4.6	Modal Split in Hamburg und Hamburg-Nord	39
4.7	Verkehrsnetzplan	39
4.8	Verkehrsfluss in der Lübecker Straße	41
4.9	Lärmkarte Straßenverkehr Tag-Abend-Nacht (L_{DEN}) 2017	43
4.10	Flächennutzungsplan	45
4.11	Landschaftsprogramm	46
4.12	Bebauungsplan	47
4.13	Untersuchte Bebauungstypen	48
4.14	Verkleinerte Regelquerschnitt	50

5.1	Belastungszahlen einiger Straßen	53
5.2	Immissionspunkte im Rechenmodell	54
5.3	Abstandskriterium nach RLS 90	55
5.4	Projektion von Linienquellen	56
5.5	Berechnung von Schallschirmen	57
6.1	Vergleich L_{DEN} (BUE) mit L_{DEN} (IMMI)	60
A.1	Berechnung von Mittelungspegel $L_{m,T(25)}$ und $L_{m,N(25)}$	91
A.2	Korrekturfaktoren für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten	91
A.3	Pegeländerung $D_{S\perp}$ durch unterschiedliche Abstände	93
A.4	Pegeländerung D_{BM} durch Boden- und Meteorologiedämpfung	93
A.5	Geometrische Parameter	94
A.6	Schirmwert z bei einer und mehreren Beugungskanten	94
B.1	Beurteilungspegel (Tag): „Keine veränderlichen Maßnahmen (M0)“	98
B.2	Beurteilungspegel (Nacht): „Keine veränderlichen Maßnahmen (M0)“	98
C.1	Beurteilungspegel (Tag): „Tempo 30 (M1)“	100
C.2	Beurteilungspegel (Nacht): „Tempo 30 (M1)“	100
D.1	Beurteilungspegel (Tag): „LKW-Anteil (M2)“	102
D.2	Beurteilungspegel (Nacht): „KW-Anteil (M2)“	102
E.1	Beurteilungspegel (Tag): „LKW-Anteil und Tempo 30 (M3)“	104
E.2	Beurteilungspegel (Nacht): „LKW-Anteil und Tempo 30 (M3)“	104
F.1	Beurteilungspegel (Tag): „RQS (M4)“	106
F.2	Beurteilungspegel (Nacht): „RQS (M4)“	106
G.1	Beurteilungspegel (Tag): „RQS und LKW-Anteil (M5)“	108
G.2	Beurteilungspegel (Nacht): „RQS und LKW-Anteil (M5)“	108
H.1	Beurteilungspegel (Tag): „RQS und Tempo 30 (M6)“	110
H.2	Beurteilungspegel (Nacht): „RQS und Tempo 30 (M6)“	110

I.1	Beurteilungspegel (Tag): „RQS, LKW-Anteil und Tempo 30 (M7)“ . . .	112
I.2	Beurteilungspegel (Nacht): „RQS, LKW-Anteil und Tempo 30 (M7)“ .	112
K.1	Konfliktplan (Tag): Ist-Zustand	122
K.2	Konfliktplan (Nacht): Ist-Zustand	122
K.3	Konfliktplan (Tag): Maßnahme 0 (M0), Variante 1 (V1)	123
K.4	Konfliktplan (Nacht): Maßnahme 0 (M0), Variante 1 (V1)	123
K.5	Konfliktplan (Tag): Maßnahme 0 (M0), Variante 2 (V2)	124
K.6	Konfliktplan (Nacht): Maßnahme 0 (M0), Variante 2 (V2)	124

Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht der wichtigen Richt-, Grenz-, und Orientierungswerte	14
3.1	Lärminderungsmaßnahmen und deren Wirkungspotential	22
4.1	Stadtteil-Profil (Hohenfelde)	35
4.2	KFZ-bedingte Schadstoffemissionen in der Lübecker Straße	42
4.3	Flächenbilanz der Neubauten	49
6.1	Wichtige Pegel und Reduktionen im gesamten Gebiet	62
6.2	Wichtige Pegel und Reduktionen auf der lärmzugewandten Seite	63
6.3	Überschreitungen im gesamten Gebiet	70
6.4	Überschreitungen auf der lärmzugewandten Seite	71
6.5	Empfehlungen und Grobkostenschätzung je Erhebung (netto)	78
A.1	Maßgebende Verkehrsstärke M und Maßgebende LKW-Anteil p	90
A.2	Korrekturfaktoren für unterschiedliche Straßenoberflächen	92
A.3	Korrekturfaktoren für Steigungen und Gefälle	92
A.4	Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der ersten Reflexion	95
A.5	Zuschlag K für erhöhte Störwirkung von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen	95
L.1	Grobkostenschätzung der Vorher-Erhebung (Netto) - Tempo 30	126
L.2	Grobkostenschätzung der Nachher-Erhebung (Netto) - Tempo 30	126
L.3	Grobkostenschätzung der Beschilderung (Netto) - Tempo 30	126

Abkürzungsverzeichnis

Indizes

L_{DEN}	[dB(A)]	Tag-Abend-Nacht-Lärminde
L_{Night}	[dB(A)]	Nachtlärminde
L_r	[dB(A)]	Beurteilungspegel
L_p	[dB]	Schallpegel
L_m	[dB]	Mittelungspegel

Richtlinien und Normen

16. BImSchV	Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
RLS-90	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - Ausgabe 1990
VBEB	Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm
VBUS	Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen

Abkürzungen

B-Plan	Bebauungsplan
BUE	Behörde für Umwelt und Energie
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DTV_w	Durchschnittlicher werktäglicher Verkehr
FNP	Flächennutzungsplan
LaPro	Landschaftsprogramm
LKW-%	LKW-Anteil
LSA	Lichtsignalanlage
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
RQS	Regelquerschnitt
T30	Tempo 30
UBA	Umweltbundesamt
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Kapitel 1

Einleitung

Angesichts ihrer Attraktivität ziehen große Städte immer mehr Menschen an. Allein in Hamburg werden bis zum Jahr 2030 über 100.000 mehr Einwohner erwartet [SBBB16, S. 3-5]. Um dem steigenden Wohnungsbedarf gerecht zu werden, hat sich der Hamburger Senat das Ziel gesetzt, die Voraussetzungen für 10.000 neue Wohnungen pro Jahr zu schaffen [BSW].

Aber auch schon in der Vergangenheit hatte Hamburg mit einem Bevölkerungswachstum zu kämpfen. In Folge der Industrialisierung und des Wirtschaftswachstums zogen nach der Jahrhundertwende immer mehr Menschen in die Stadt. Viele Bewohner sahen sich aufgrund der Wohnungsknappheit gezwungen, in die umliegenden preußischen Städten wie Altona, Wandsbek oder Harburg zuzuziehen [A⁺15]. Es bildete sich eine hochverflochtene Stadtregion, in der Wohnsiedlungen an der Peripherie gebaut wurden, während Arbeit und Dienstleistungen im Stadtzentrum blieben [BWV13, S. 18]. Auch heute noch ist die Wachstumsdynamik der Bevölkerung im Umland höher als in der Stadt [BWV13, S. 17].

Im Jahr 1920 entwickelte Fritz Schumacher ein Achsenmodell, um den aufsteigenden Verkehrsströmen gerecht zu werden. Bis heute wird die Stadt von jenem Modell geprägt, dessen Achsen von der Innenstadt ins Umland führen [A⁺15].

Unter dem Einfluss des US-amerikanischen Stadtbildes vieler Großstädte verfolgte der Hamburger Senat in den Sechzigerjahren das Konzept der „autogerechten Stadt“ [Vog12]. Die Stadt wurde dem Individualverkehr angepasst und die heutigen Magistralen wurden immer breiter. Das ÖPNV-Angebot blieb gleichzeitig in den umliegenden Gebieten schlecht [Woy, S. 131 - 133].

Heute hat Hamburg mit einem hohen Pendlerverkehr zu kämpfen. Auswertungen der Mobilität in Deutschland (MiD) haben gezeigt, dass die zurückgelegten Wege im Umland länger als in der Stadt sind und häufiger mit dem Pkw bewältigt werden (63 %) [BWV13, S. 18]. Aber auch in Hamburg ist der MIV-Anteil groß (42 %). Viele Hauptverkehrsstraßen sind aufgrund dessen durch erhebliche Verkehrs-, Lärm- und Schadstoffbelastungen beeinträchtigt [BHN].

Zur Gewährleistung einer möglichst hohen Lebensqualität an solchen Straßen werden Maßnahmen zur Lärminderung entwickelt. Solche Maßnahmen zielen zum einen auf

die Verlangsamung, Verlagerung, Vermeidung bzw. Verminderung der Emissionen des Straßenverkehrs. Zum anderen versucht die Stadtentwicklung, durch Minderungsmaßnahmen wie die Baulückenschließung Emissionen abzuschirmen. Das Schließen von Baulücken soll eine vergleichbare Lärminderung wie herkömmliche schallabschirmende Maßnahmen (Schallschutzwände, -wälle) erreichen [RML15, S. 72]. Außerdem kann diese durch das Heranrücken von Neubauten zur Stadtverdichtung beitragen.

1.1 Zielsetzung und Fokus

Lärm löst im Körper ein Alarmsignal aus, welches sich über das Nervensystem im ganzen Organismus ausbreitet [OEA11, S. 10]. Lärm führt zu Stress, Kommunikationsstörungen und erhöht das Risiko eines Herzinfarkts [Raa13, S. 2]. Daher ist es die Daueraufgabe des Umweltschutzes, der Stadtentwicklungs- und Verkehrsplanung, Menschen in ihrem Wohnumfeld vor Lärm zu schützen [BSU13b, S. 8].

Die Lärminderung des Straßenverkehrs erfordert ein umfassendes Paket einzelner aufeinander abgestimmter Maßnahmen, die von Steuerrecht über Straßenraumentwicklung bis zur Verkehrsplanung reichen.

Die Lübecker Straße als Bestandteil der Bundesstraße (B) 75 und durch die Weiterführung als B5 hat eine wichtige Funktion. Sie verbindet den Süden mit dem Norden und ist eine Alternative zum Elbtunnel. Die stark befahrene Lübecker Straße verläuft durch den Stadtteil Hohenfelde und verlärmert dabei viele Wohngebiete. Ausgehend vom Mühlendamm bis zur Neubertstraße befinden sich nördlich der Lübecker Straße acht Gebäudekomplexe in einer offenen Zeilenbauweise, die senkrecht zur Straße angeordnet sind.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Minderungswirkung einer geplanten Blockrandbebauung in dem genannten Gebiet anhand einer modellbasierten Simulation abzuschätzen. Zusätzlich werden straßenbauliche und verkehrsregulierende Maßnahmen untersucht, welche zu einer Verminderung der Lärmeinwirkung führen sollen. Für die Simulation wird das Programm IMMI, Version 2016 vom 02.05.2016 der Firma Wölfel Meßsysteme - Software GmbH + Co. KG verwendet.

1.2 Aufbau der Arbeit

Nach der Einführung in das Thema, folgen im Kapitel 2 physikalische, rechtliche und technische Grundlagen zum Thema Schall und Lärmschutz. Diese sollen eine theoretische Basis für die Analyse definieren.

Im Kapitel 3 werden Handlungsfelder und Maßnahmen in Bezug auf die Lärminderung im Straßenverkehr erläutert.

Im Kapitel 4 werden räumliche Charakteristiken des Gebiets ergründet und wichtige Parameter für die Untersuchung beschrieben. Behandelte Maßnahmen werden ebenfalls in dem Kapitel dargestellt.

Kapitel 5 widmet sich der Erläuterung der Methodik der Ausbreitungsberechnung mit der Software.

Kapitel 6 befasst sich mit Erläuterung der empirischen Ergebnisse. Sowohl die Pegelreduktionen als auch die Überschreitung der Grenzwerte werden präsentiert. Einzelmaßnahmen und Kombinationsmaßnahmen für das Untersuchungsgebiet werden mit Bezug auf die Übertragbarkeit vorgeschlagen.

Zum Schluss wird im Kapitel 7 die Arbeit zusammengefasst und ein Fazit gezogen.

Kapitel 2

Schallemissionen und -Immissionen

Der Mensch wird täglich mit einer Vielzahl an unterschiedliche Lärmquellen konfrontiert. Doch nicht jeder Schall wird als Lärm empfunden und die Lautstärke ist kein maßgebendes Kriterium. Erst wenn der Schall belästigt bzw. stört, wird von Lärm gesprochen. Lärm ist somit „*kein physikalisches, sondern ein psychologisch-medizinisches Phänomen*“ [ADA06, S. 6]. Laut Jahresbericht 2000 des Umweltbundesamt ist in Deutschland der Straßenverkehr die dominierende Lärmquelle¹ [UBA00, S. 130]. Die Auswirkung von Lärm ist vielseitig und komplex. Dieses Kapitel widmet sich der Erläuterung der wesentlichen Themen.



2.1 Grundlagen des Lärmschutzes

Schall ist ein physikalischer Vorgang, bei dem sich in einem Medium (z.B. Luft) Druckschwankungen in einer wellenförmigen Bewegung ausbreitet [SKL09, S. 3]. Schall wird durch die Schallgeschwindigkeit, die in der Luft 340 m/s beträgt, charakterisiert. Zusätzlich spielen folgende Faktoren bei der Beschreibung des Schalles eine wichtige Rolle:

- Frequenz (f): Unter Frequenz wird die Schwingungszahl pro Sekundeneinheit beschrieben, die in der physikalischen Einheit Hertz (Hz) angegeben wird. Sie beschreibt die Tonhöhe eines Schalles. Im Bereich von 16 bis 20.000 Hz werden Frequenzen vom menschlichen Ohr wahrgenommen [ADA06, S. 6] [Pla99, S. 3].
- Amplitude (A): Sie beschreibt die Stärke der Druckschwankung. Die Amplitude ist eine sinusförmige Welle, die die Auslenkung einer Welle um deren Mittelwert darstellt. Sie wird auch als Schallintensität ausgedrückt und beschreibt die wahrnehmbare Lautstärke eines Tons [PUO] [SKL09, S. 3].
- Wellenlänge (λ): Sie entspricht dem Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenfronten und wird in Meter angegeben [Pla99, S. 3].

¹Ca. 64 % der Bevölkerung fühlen sich vom Straßenverkehrslärm belästigt (vgl. [UBA00, S. 130]).

- Schallenergie (W): Schallwellen transportieren und besitzen kinetische Energie durch die Wechselbewegung von Teilchen bei der Schallausbreitung. Gleichzeitig werden Teilchen abwechselnd verdichtet und verdünnt, wodurch potenzielle Energie aufgenommen und abgegeben wird. Die Schallenergie eines Schallfeldes beschreibt die Summe der kinetischen und potenziellen Energie [CI].

Die ortsbezogene Intensität eines Schalles (Lautstärke) nimmt mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Schallquelle und Immissionsort² ab [SKL09, S. 3]. Der Hörbereich liegt zwischen der Hörschwelle³ (p_0) bei einem Schalldruck von $20 \mu Pa$ und der Schmerzgrenze bei $20 Pa$ [ADA06, S. 7] [SKL09, S. 3].

Im Lärmschutz wird weder der Schalldruck noch die Schallenergie herangezogen, um den Lärm zu beschreiben. Hier wird der sog. Schalldruckpegel (L_p) angewendet. Der Schalldruckpegel wird in einer logarithmischen Einheit mit der folgenden Formel beschrieben und als Dezibel (dB) angegeben:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

p_0 entspricht dabei der Hörschwelle und p dem momentanen Schalldruck. Aus der Formel lässt sich erkennen, dass der Druckpegel der 10-fache Logarithmus vom quadrierten Verhältnis des momentanen Schalldrucks zur Hörschwelle ist. Beim nicht quadrierten Verhältnis entspricht der Druckpegel dem 20-fachen Logarithmus. Der Pegel deckt den menschlichen Hörbereich von 0 dB (Hörschwelle) bis zu 120 dB (Schmerzgrenze) ab [ADA06, S. 7].

Das menschliche Hörorgan nimmt nicht alle Frequenzen (Tonhöhen) gleich wahr. Je nach Amplitude (Lautstärke) werden sehr tiefe und sehr hohe Frequenzen schwächer empfunden, als Mittlere. Um bei der Bemessung des Schallpegels Frequenzen miteinzubeziehen, werden sog. A-Bewertungskurve herangezogen. Dadurch wird die Verwendung des Dezibels als einheitliches Maß für alle Frequenzbereiche ($dB(A)$) ermöglicht [SK05, S. 167].

In der Abbildung 2.1 werden einige ausgewählte Alltagsgeräusche mit dem entsprechenden Schallpegel in $dB(A)$ und Schalldruck dargestellt.

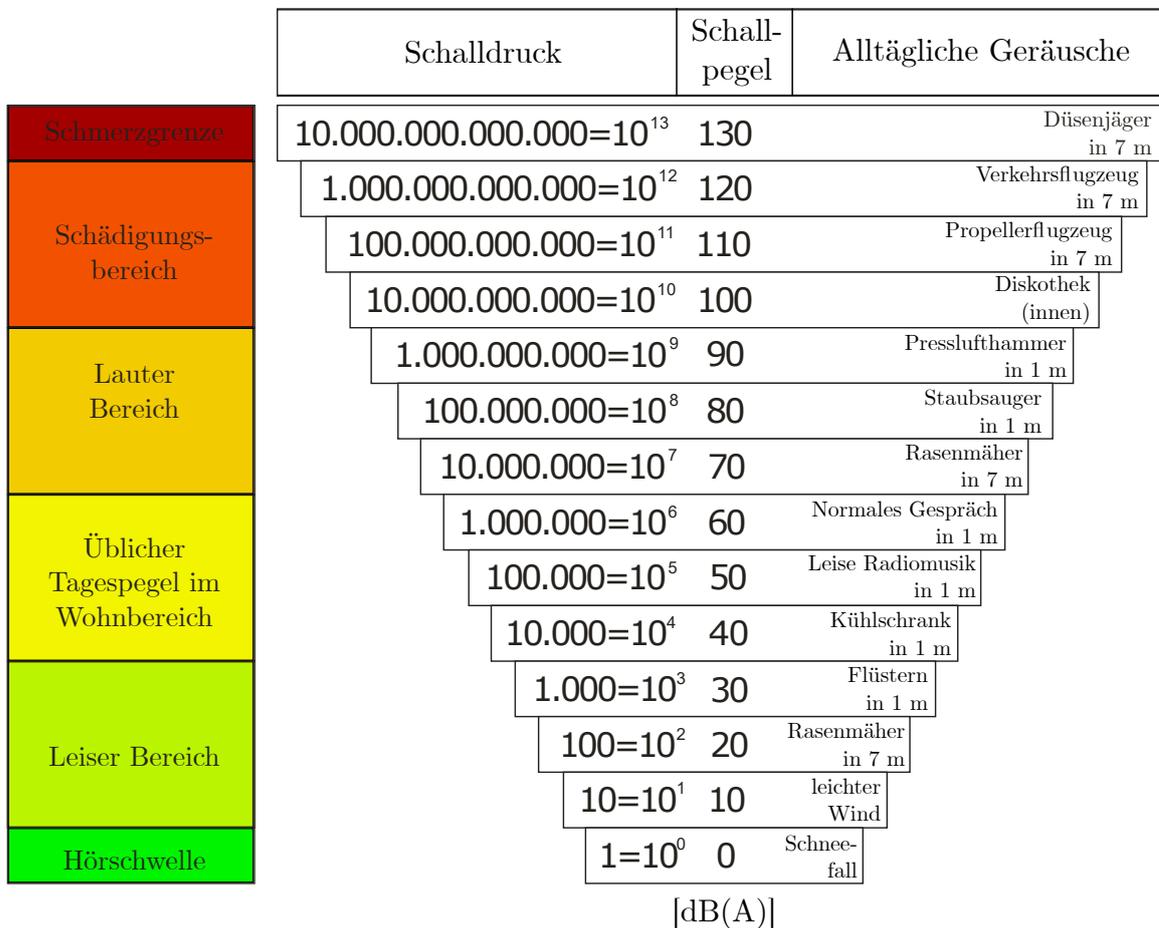
Als Orientierungswerte für die Wahrnehmung können folgende Pegelunterschiede als Anhaltspunkt dienen [SKL09, S. 5]:

- 1 $dB(A)$: Es ist die kleinste noch hörbare Veränderung im Lautheitsempfinden eines Geräusches.
- 3 $dB(A)$: Eine Differenz um 3 $dB(A)$ entspricht der Halbierung bzw. Verdoppelung der Schallenergie. Sie wird als eine deutliche Veränderung empfunden.
- 10 $dB(A)$: Eine Differenz um 10 $dB(A)$ entspricht einer Verzehnfachung der

²Die Aussendung bzw. der Empfang von Lärm wird mit der Begrifflichkeit Emission bzw. Immission definiert. Während eine Emission die Abstrahlung von Schall einer Schallquelle (z.B. ein Auto) ist, wird unter Immission das Einwirken von Schall auf ein Gebiet oder auf einen Punkt in einem Ort (Immissionsort) verstanden [Pla99, S. 8].

³Schalldruck, an dem ein Geräusch erst wahrgenommen werden kann.

Schallenergie und bedeutet die Halbierung bzw. Verdopplung der subjektiven Lärmempfindung.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Inkscape 0.91

Bildgrundlage: Lärmschutzbroschüre [SKL09, S. 4]

Abbildung 2.1: Schallpegel-Skala von Alltagsgeräuschen

Wird beispielsweise im Straßenverkehr durch eine verkehrstechnische Maßnahme (z.B. Tempo 30) eine Reduktion um 3 dB(A) erreicht, wird dies der Wirkung einer Halbierung des Verkehrsaufkommens entsprechen [SK05, S. 167].

2.2 Subjektive Lärmwahrnehmung

Lärm wird durch Verarbeitungsprozesse im Hörorgan bzw. Gehirn indiziert [SKL09, S. 5]. Die Beurteilung vom Lärm ist komplex und hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab. Bei dem Lästigkeitsurteil können u.a. folgende Faktoren eine entscheidende Rolle spielen: die individuelle Lärmempfindlichkeit, Zeitpunkt des Auftretens des Geräuschs im Tages- bzw. Nachtverlauf, Aufenthaltsort (innen / außen), Einstellung zur Lärmquelle, Bewältigungsvermögen, Alter, Jahreszeit, Einschätzung der Belästigung in der Zukunft, Entfernung und Sichtbarkeit der Quelle, Vertrauen in die mit

der Lärmbekämpfung betrauten Institutionen, Gefühl des Ausgeliefertseins oder des Damit-Umgehen-Könnens [UBA10, S.1].

So werden beispielsweise punktuell lautere periodische Einzelereignisse mit dazwischen liegenden Ruhephasen (z.B. Schienenverkehr mit getaktetem Fahrplan) oft als weniger störend empfunden, als leisere kontinuierliche Schallquellen (z.B. Straßenverkehr) [SK05, S. 167].

Obwohl in der Praxis Lärm ausschließlich durch den Schalldruckpegel bestimmt wird, werden nur 15 % der maßgebenden Faktoren zur Lästigkeitsurteil mit dem Schallpegel erklärt [UBA10, S.1].

2.3 Auswirkung von Lärm

Lärm führt nicht nur zur Beeinträchtigung der Befindlichkeit, sondern erhöht das Risiko für Gesundheitsstörungen und kann Überlastungssyndrome hervorrufen [OEA11, S. 1].

Lärm kann sowohl aurale als auch extraaurale Wirkungen auslösen. Erstgenannte führen bei Pegeln über der Schmerzschwelle zur direkten körperlichen Schäden [OEA11, S. 7]. Da solche hohen Lärmpegel beim Straßenverkehr nicht auftreten, werden die auralen Wirkungen in der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt.

Lärm wird bei Menschen über das Hörsinnessystem übertragen. Dies löst im Körper ein Alarmsignal aus, das über das Nervensystem in den ganzen Organismus geleitet wird. Dieser Effekt erfolgt sowohl im Wachzustand als auch während des Schlafs [OEA11, S. 10]. Bei lang andauernden Schallexpositionen (Schallemissionen) werden die Effekte als extraaurale Auswirkungen bezeichnet. Darunter zählen Kommunikationsstörungen, Schlafstörungen, kardiovaskuläre Effekte, Störungen der Psyche sowie soziale Effekte [OEA11, S. 10 - 25]. Doch das Ausmaß solche Auswirkungen hängt nicht nur von den objektivierbaren physikalischen Parametern, sondern auch von Adaptations- bzw. Habituationsprozessen, individuellen Bewältigungsstrategien und mental-emotionalen Prozessen ab [OEA11, S. 10].

Lärm begünstigt Herz-Kreislauf-Erkrankungen und kann zum Herzinfarkt führen. Laut einer dänischen Studie zum Herzinfarkttrisiko, steigt das Risiko um 12 % in einer um 10 dB lauterer Umgebung [Raa13, S. 2]. Dies entspricht einer Verzehnfachung des Verkehrsaufkommens (vgl. Abbildung 2.2). Weitere Untersuchungen deuten darauf hin, dass Menschen, die einem lang andauernden Mittelungspegel von über 65 dB(A) ausgesetzt sind, ein um 20 % höheres Risiko für Herz-Kreislauserkrankungen haben [BMB03, S. 26].

Studien zur Umweltgerechtigkeit zeigen außerdem, dass Menschen mit geringem Einkommen und niedrigem Bildungsniveau oftmals an verlärmten Durchgangsstraßen wohnen und somit ein Zusammenhang zwischen niedrigem Sozialstatus und Lärmexposition besteht. [UBA09b, S. 10 - 11]. So zeigen diese Personengruppen oft überdurchschnittliche Erholungsdefizite und fühlen sich stärker durch Lärm in ihrem Wohnumfeld belästigt, als sozial Bessergestellte [UBA09b, S. 11] [SK05, S. 167].

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt zur Verhinderung von Gesundheitsstörungen einen Immissionsgrenzwert im Außenbereich von 50⁴ dB(A) im Tageszeitraum festzulegen [WHO99, S. 47]. Nachts sollte an den Außenflächen von Wohnräumen ein Schalldruckpegel von 40 dB(A) nicht überschritten werden [WHO09, S. 109]. Wenn der nächtlich empfohlene Grenzwert nicht erreicht werden kann, sollte unbedingt als Minimalziel 55 dB(A) erreicht werden, um die Gesundheit der Bewohner zu schützen [WHO09, S. 109].

2.4 Schalltechnische Grundlagen

Die im Abschnitt 2.5.1 behandelten technischen Richtlinien und Normen erfordern Grundlagenkenntnisse der rechnerischen Handhabung. Dieser Abschnitt befasst sich mit den physikalisch maßgebenden Verfahren zur Berechnung und Bewertung von Lärm.

2.4.1 Berechnung von Lärm

Schallpegeladdition

Die Einwirkung von mehreren Schallquellen lässt sich nicht aus der arithmetischen Addition jeder einzelnen Quelle ermittelt. Die Zunahme der Schallimmission bei mehreren Schallquellen wird durch folgende Formel energetisch addiert:

$$L = 10 \cdot \lg \sum_i 10^{0,1L_i}$$

Dabei beschreibt L die eigentliche Zunahme [dB(A)] und L_i die einzelnen zu addierenden Lärmpegel [dB(A)] [MLU01, S. 31].

So ergibt beispielsweise die energetische Addition aus 60 dB(A) und 50 dB(A) einen Wert von 60 dB(A) ($60 \text{ dB(A)} + 50 \text{ dB(A)} = 60 \text{ dB(A)}$). Daraus lässt sich feststellen, dass bei der Addition zweier Pegel, die sich um mindestens 10 dB(A) unterscheiden, die Immission sich auf den höchsten Wert (hier 60 dB(A)) erhöhen wird [MLU01, S. 32]. Die Summe zweier pegelgleicher Werte ergibt eine Erhöhung um 3 dB(A) (z.B. $70 \text{ dB(A)} + 70 \text{ dB(A)} = 73 \text{ dB(A)}$) [MLU01, S. 32]. So wird, wie in der Abbildung 2.2 zu sehen ist, bei zwei Autos mit je 70 dB(A) ein Pegel von 73 dB(A) errechnet. Die Verzehnfachung des Verkehrsaufkommens erhöht den Schallpegel um 10 dB(A).

Energieäquivalenter Mittelungspegel

Bei einer Lärmbemessung im Straßenverkehr werden zeitlich veränderliche auf- und abschwellende Geräusche aufgezeichnet. Um die Belastung in einem Wert darzustellen, wird der sog. Mittelungspegel L_m ermittelt [BfV90, S. 5]. Der Mittelungspegel wird mit folgender Formel berechnet:

⁴Um starke Störungen zu verhindern, sollte ein Außenschallpegel von 55 dB(A) nicht überschritten werden [WHO99, S. XiV].

 70 dB	
 73 dB	+ 3 dB Unterschied gerade wahrnehmbar
 80 dB	+ 10 dB Verdoppelung der subjektiven Lautstärke

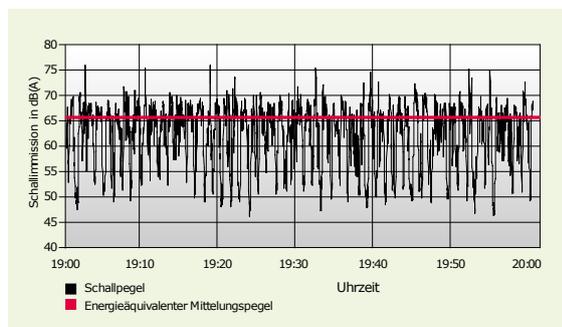
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Inkscape 0.91

Bildgrundlage: ADAC Straßenverkehrslärm [ADA06, S. 10]

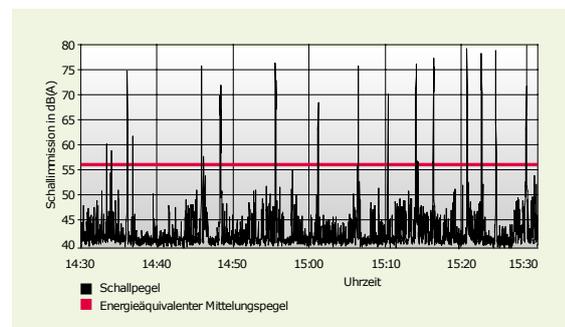
Abbildung 2.2: Schallpegel bei Autos

$$L_m = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{T_m} \int_{T_m} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt\right]$$

Dabei entspricht T_m dem Beurteilungszeitraum (Tag: 6h-22h oder Nacht: 22h-6h) und $L(t)$ dem Schalldruckpegel in dB(A) über die Zeit t . Als Ergebnis wird der energieäquivalente Dauerschallpegel in dB(A) angegeben. Die Höhe der Schallenergie des schwankenden Geräusches entspricht dabei genau der Selben des Mittelungspegels mit konstanter Lautstärke [ADA06, S. 8]. Eine Veranschaulichung des Schall- und Mittelungspegels einer verkehrsarmen bzw. einer verkehrsreichen Straße ist der Abbildung 2.3 zu entnehmen.



Schallpegel und Mittelungspegel einer verkehrsreichen Wohnstraße



Schallpegel und Mittelungspegel einer verkehrsarmen Wohnstraße

Quelle: ADAC Straßenverkehrslärm [ADA06, S. 8-9]

Abbildung 2.3: Beispiele für Schall- und Mittelungspegel

Beurteilungspegel

Der Beurteilungspegel L_T wird verwendet, um die gemessene bzw. berechnete Lärmexposition mit den regulierenden Immissionswerten (Grenz-, Richt-, Orientierungs- und Anhaltswerte) zu vergleichen [MLU01, S. 38].

Anders als beim Mittelungspegel, werden beim Beurteilungspegel einzelne Besonderheiten, wie Lichtsignalanlagen (LSA) an Kreuzungen und Einmündungen, mit berück-

sichtigt. Bei der Lärmberechnung werden solche Besonderheiten mittels Pegelzuschlägen beachtet. Die Pegelkorrekturen sind in den verschiedenen Regelwerke festgelegt. Ansonsten gleicht der Beurteilungspegel von Straßenverkehrsgeräuschen dem Mittelungspegel [MLU01, S. 39] [ADA06, S. 9]. Die Berechnung des Beurteilungspegels für Straßenverkehr nach der 16. BImSchV kann dem Anhang A entnommen werden.

Lärmindizes

Die Lärmindizes sind gemäß Umgebungsrichtlinie verbindliche Kenngrößen für den Umgebungslärm [SKL09, S. 8].

Die energieäquivalenten Dauerschallpegel (Mittelungspegel) L_{Day} , L_{Evening} und L_{Night} werden für ein Jahr gemittelt. Die Beurteilung der genannten Indizes erfolgen in den folgenden Zeiträumen:

- L_{Day} : 12 Stunden, zwischen 6h und 18h
- L_{Evening} : 4 Stunden, zwischen 18h und 22h
- L_{Night} : 8 Stunden, zwischen 22h und 6h

Der Tag-Abend-Nacht-Index L_{DEN} ist ein jahresdurchschnittlicher, zeitgewichteter Mittelwert und wird durch folgende Formel berechnet [BJ06, S. 3]:

$$L_{\text{DEN}} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Day}}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Evening}} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Night}} + 10}{10}} \right)$$

Aus der Formel lässt sich erkennen, dass in dem Abend- (18h-22h) bzw. Nachtzeitraum (22h-6h) der jeweilige Schallpegel sich um den Zuschlag 5 dB(A) bzw. 10 dB(A) erhöht.

2.4.2 Messung vs. Rechnung

Vorteil einer Messung ist, dass auch komplexe Ausbreitungsbedingungen, die in einem Modell nur bedingt darzustellen sind, abgebildet werden können [SK05, S. 168]. Solche Ausnahmen sind im Verkehrswesen jedoch nur selten der Fall. Nachteil einer Messung ist, dass Störgeräusche (z.B. Vogelgezwitscher und Regen) nicht zuverlässig isoliert werden können. Außerdem wird, vor allem bei Kurzzeitmessungen, die Repräsentativität und Aussagekraft der Ergebnisse durch zufällige Schwankungen der Wirkungsparameter (z.B. Verkehrsaufkommen, Wind- und Wetterlagen, Tages- und Jahreszeit) beeinträchtigt [SK05, S. 168]. Nur bei einer ganzjährigen Messung mit einheitlichen Messgeräten können vergleichbare und aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden [Sch17, S. 21].

Daher wird Verkehrslärm meist nach der gesetzlichen Konzeption berechnet. Physikalische Messungen werden heute nur noch selten durchgeführt [SKL09, S. 9] [Sch17, S. 21]. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit auf eine Erläuterung der Messverfahren verzichtet.

2.5 Rechtliche Grundlagen

Der Schutz vor Straßenverkehrslärm⁵ setzt an verschiedenen Ebenen an. So liegen Regelungen für Geräuschemissionen der Fahrzeuge, Betrieb von Fahrzeugen und Verhalten der Verkehrsteilnehmer vor. Zudem wird Lärmschutz bei Straßen- und Flächennutzungsplanung berücksichtigt. Auch für den Lärmschutz bei Neu- bzw. Ausbau von Straßen sowie an bestehenden Straßen existieren Regelungen [ADA06, S. 60]. Dieser Abschnitt widmet sich der Erläuterung der im Straßenverkehr relevanten Richtlinien und Normen.

2.5.1 Planungsrecht

Im städtebaulichen Planungsrecht sind die Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse bereits bei der Aufstellung eines Flächennutzungs- bzw. Bebauungsplanes zu berücksichtigen [MLU01, S. 20] [ADA06, S. 61].

Zum Schutz vor schädlichen Lärmeinwirkungen werden je nach ausgewiesener Nutzung des Gebiets Grenzen der zulässigen Belastungen anhand Mittelungspegel festgelegt. In einzelnen Fälle werden zur Regelung des Lärms auch Maximalpegeln herangezogen [RML15, S. 18]. Das Ausmaß der Immissionswerte hängt von der ausgewählten Regelung ab.

In Deutschland gelten u.a. folgende gesetzliche Regelungen [ADA06, S. 60-62]:

- DIN 18005: „Schallschutz im Städtebau“. Die Norm dient in der städtebaulichen Planung der Festlegung des Schutzniveaus in Wohngebiete mittels schalltechnischer Orientierungswerte. Sie beinhaltet das Berechnungsverfahren des Beurteilungspegels.
- RLS-90: „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - Ausgabe 1990“. Sie beschäftigen sich mit Lärmschutzmaßnahmen und mit Berechnungsverfahren zur Darstellung der physikalischen messbaren Lärmbelastung.
- TA-Lärm: „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm“. Sie dient dem Schutz vor Industrie- und Gewerbelärm und ist für den Straßenverkehr nicht relevant.
- 16. BImSchV: „Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionschutz-Gesetzes“. Sie regelt den Straßen- und Schienenverkehrslärm. Beim Straßenverkehr wird die Lärmbelastung nach der RLS-90 berechnet. Berechnungsgrundlagen können dem Anhang A entnommen werden.

2.5.2 Lärmvorsorge und -sanierung

Neben dem Lärmschutz durch Planung existiert im Straßenverkehr die Lärmvorsorge und Lärmsanierung. Während die Vorsorge „*Einwirkungen durch Verkehrslärm beim*

⁵Unter Straßenverkehr wird der Verkehr auf öffentlichen Parkplätzen und Straßen (Bundesautobahnen, Bundes-, Land- und Gemeindestraßen) verstanden [ADA06, S. 60].

„Neubau oder der wesentlichen Änderung⁶ von Straßen vermeiden“ soll, zielt die Sanierung darauf ab, „die Lärmbelastung an bestehenden Straßen zu vermindern“ [DBT16, S. 4].

Zur Lärmvorsorge sind die festgelegten Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV einzuhalten [DBT16, S. 4]. Bei bestehenden Verkehrswegen besteht zurzeit kein Rechtsanspruch auf einen angemessenen Lärmschutz. Die Lärmsanierung ist eine freiwillige Leistung auf der Grundlage haushaltsrechtlicher Regelungen [ADA06, S. 62]. Jedoch wird durch das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland die körperliche Unversehrtheit und das Eigentum geschützt [FK10, S. 21]. Um nicht dagegen zu verstoßen, werden im Hamburg in dem Lärmaktionsplan eine Reihe von Sanierungsmaßnahmen geplant. Seit 2010 gelten in der Stadt bei Wohngebieten Sanierungsgrenzwerte von 67/57 dB(A) Tag/Nacht, sofern die erforderlichen Haushaltsmittel zu Verfügung stehen und das Vorhaben nicht durch eine übergeordnete Belange gehindert wird [LSB].

Eine Übersicht der Grenzwerte sowie weiterer wichtiger Orientierungs-, Richt- und Auslösewerte sind der Tabelle 2.1 zu entnehmen.

2.5.3 EU-Richtlinie

Zusätzlich werden auf europäischer Ebene Lärmimmissionen mit der „EU-Richtlinie 200/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und die Bekämpfung von Umgebungslärm“ geregelt [RML15, S. 22].

Mit der Richtlinie wird eine vergleichbare Beschreibung von Lärmsituationen europaweit möglich [RML15, S. 22]. Dabei befasst sich die Richtlinie mit dem Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm sowie mit dem Lärm aus Industrieanlagen [ADA06, S. 64].

Gemäß EU-Umgebungsrichtlinie sind folgende Festlegungen vorzunehmen [RML15, S. 22] [ADA06, S. 64]:

- Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} sind als Auslöse- bzw. Orientierungswerte zu definieren (siehe Abschnitt 2.4.1).
- Belastung durch Umgebungslärm ist zu ermitteln. Dabei sollen für die Darstellung Lärmkarten erstellt werden.
- Maßnahmen sind in Lärmaktionsplänen zu bündeln. Die Pläne sollen dabei basierend auf der Lärmkarten entwickelt werden.
- Lärmkarten und Aktionspläne sind zu veröffentlichen und die Öffentlichkeit ist über den Umgebungslärm zu informieren.



Lärmkarten werden getrennt nach Lärmquelle erstellt. So gibt es für Hamburg eine Lärmkarte für den Straßenverkehr, eine für den Schienenverkehr, eine für den Flugverkehr und eine für Industrie- oder Gewerbegebiete einschließlich Häfen [BUE17d].

⁶Unter wesentlicher Änderung wird beispielsweise der Bau eines zusätzlichen Fahrstreifens oder ein erheblicher baulicher Eingriff, wodurch der Beurteilungspegel um mindestens 3 dB(A) oder auf mindestens 70/60 dB(A) Tag/Nacht erhöht wird [BJ990a].

Tabelle 2.1: Übersicht der wichtigen Richt-, Grenz-, und Orientierungswerte

Gebietsbezeichnungen	TA Lärm		DIN 18005 Teil 1 Beiblatt 1 Orientierungswerte In Klammern: Gilt für Orientierungswerte Industrie-, Gewerbe- und Freizeitlärm		16. BImSchV Lärmvorsorge		Lärmsanierung		
	Immissionsrichtwerte				Immissionsgrenzwerte				
	Tag dB(A)	Nacht dB(A)	Tag dB(A)	Nacht dB(A)	Tag dB(A)	Nacht dB(A)	Tag dB(A)	Nacht dB(A)	
Industriegebiete (GI)	70	70	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	
Gewerbegebiete (GE)	65	50	65	55(50)	69	59	75	65	
Kerngebiete (MK)	60	45	60	50(45)	64	54	72	62	
Dorfgebiete (MD)									
Mischgebiete (MI)									
Besondere Wohngebiete (WB)	keine Angaben	keine Angaben	60	45(40)	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	
Kleinsiedlungsgebiete (WS)	55	40	55	45(40)	59	49			
Allgemeine Wohngebiete (WA)							70	60	
Campingplatzgebiete							keine Angaben	keine Angaben	
Reine Wohngebiete (WR)	50	35	50	40(35)	59	49	70	60	
Wochenendhausgebiete	keine Angaben	keine Angaben			keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Ferienhausgebiete									
Kurgebiete	45	35	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	70	60	
Pflegeanstalten									
Krankenhäuser									
Altenheime									
Kurheime									
Schulen	keine Angaben	keine Angaben	55	55	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	
Friedhöfe									
Kleingartenanlagen									
Parkanlagen									
Schutzbedürftige Sondergebiete (S) je nach Nutzungsart			45...65	35...65					

Quelle: Eigene Darstellung

Tabellengrundlagen: Hinweise für die Bauleitplanung [MLU01, S. 46] und ADAC-Fachbroschüre [ADA06, S. 62]

Eine Gesamtlärmbertrachtung durch Überlagerungen der Immissionsbereiche mehrerer Schallquellen in sämtlichen Hauptverkehrsstraßen und Haupteisenbahnstrecken kann allerdings zur Festlegung von Belastungsräumen sinnvoller sein. In Hamburg werden heute solche Mehrfachbelastungen in Verdachtsflächen durchgeführt, wobei sich die Überlagerung meistens auf den Scheinen- und Straßenverkehr beschränkt. Eine Gesamtüberlagerung von Straßen-, Schienenverkehrslärm mit Flughafen- und Gewerbelärm wird in Hamburg nur in wenigen Einzelfällen durchgeführt [BSU08, S. 12].

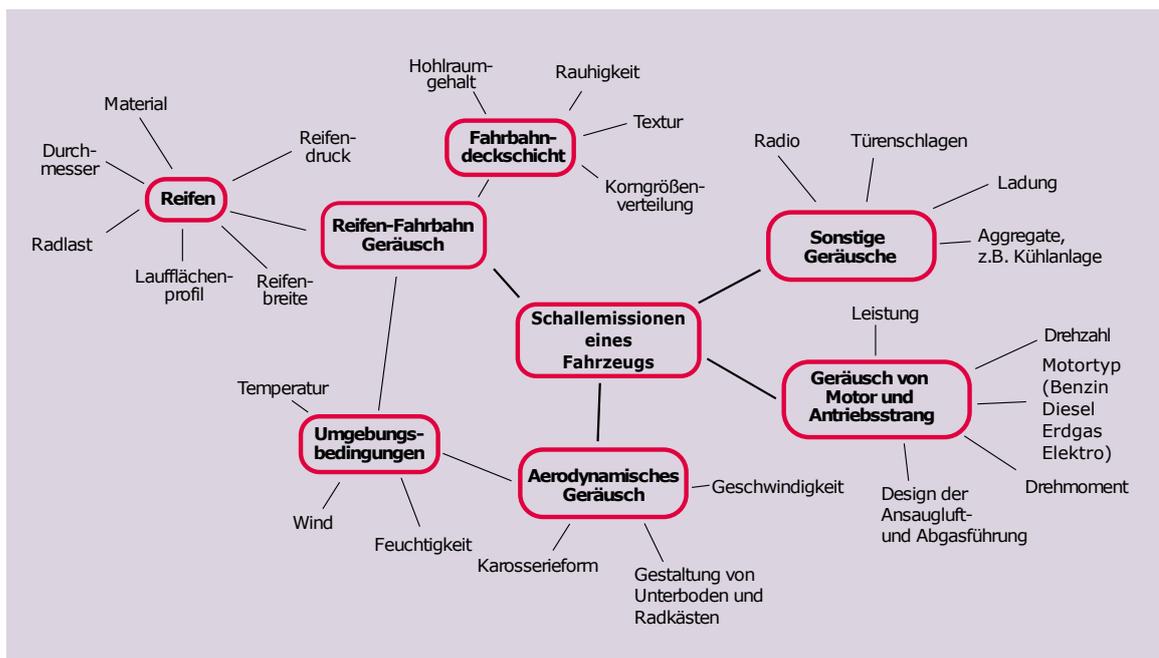
An dieser Stelle wird betont, dass die Bezugsgrundlagen bei der vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm (VBUS) nicht identisch mit der vom Berechnungsverfahren der 16. BImSchV (RLS-90) sind [RML15, S. 22]. Daher können die Ergebnisse nicht direkt verglichen werden.

2.6 Entstehung von Lärm im Straßenverkehr

Geräuschemissionen aus dem Straßenverkehr setzen sich aus folgenden Einzelgeräuschen zusammen [ADA06, S. 18] [PR14, S. 11]:

- Eintriebs- und Motorgeräusche
- Reifen- und Fahrbahngeräusche
- Aerodynamisch erzeugter Fahrtwindgeräusche

In der Abbildung 2.4 sind die Einflussfaktoren der Fahrzeuggeräusche dargestellt.



Quelle: ADAC Straßenverkehrslärm [ADA06, S. 18]

Abbildung 2.4: Einflussfaktoren auf Fahrzeuggeräusche

Windgeräusche sind erst bei sehr hoher Geschwindigkeit relevant [PR14, S. 11]. Im Straßenverkehr können daher diese vernachlässigt werden.

Beim Motorgeräusch spielen u.a. folgende Faktoren eine entscheidende Rolle [ADA06, S. 19]:

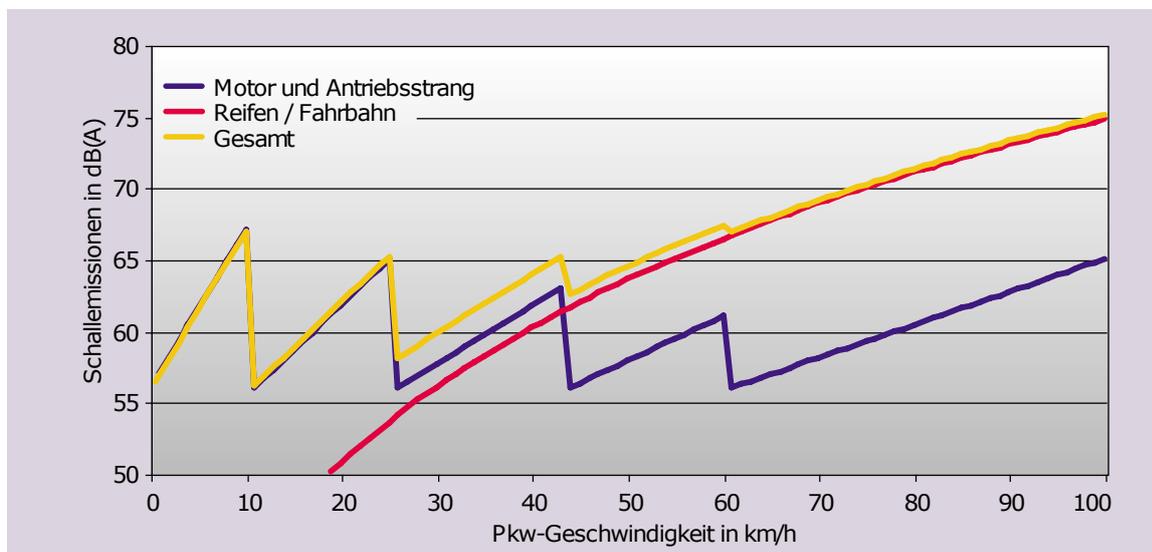
- Motorenart (Benzin- bzw. Dieselmotor)

- Kapselung des Motors
- Leistung und Hubraum des Motors
- Gefahrene Drehzahl

Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch dagegen ist das Resultat aus folgende zwei Mechanismen:

- Rollvorgang: Durch den Rollvorgang wird Schall abgestrahlt, indem die beim Vorgang angeregten mechanischen Schwingungen des Reifens von der Reifenoberfläche auf die Luft übertragen wird [PR14, S. 11].
- Air-Pumping: Der Raum zwischen den Blöcken wird durch das Fahrzeuggewicht zusammengepresst. Dadurch kommt zu einer aerodynamischen Anregung, bei der die Luft komprimiert und mit dem Abrollen des Reifens wieder dekomprimiert wird [PR14, S. 11] [ADA06, S. 20]. Somit ist dieser Mechanismus stark von der Oberflächenzusammensetzung der Fahrbahn abhängig.

Wie sich die Einzelpegel je nach Geschwindigkeit überlagern, kann der Abbildung 2.5 entnommen werden.



Quelle: ADAC Straßenverkehrslärm [ADA06, S. 28]

Abbildung 2.5: Schallemissionen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass unter 30 km/h das Motorgeräusch dominiert. Eine sprunghafte Zu- und Abnahme durch das Schalten der Gänge lässt sich dabei beobachten. Über 30 km/h dominiert das Geräusch von Reifen und Fahrbahn. Dieses steigt mit zunehmender Geschwindigkeit nahezu stetig.

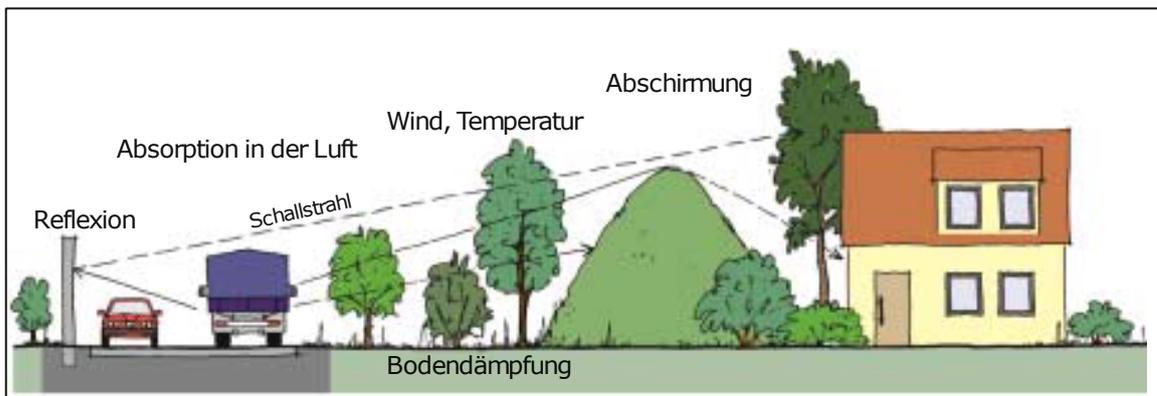
Neben der Geschwindigkeit und Fahrbahnoberfläche sind folgende Faktoren für das Ausmaß von Schallemissionen entscheidend und werden zusätzlich bei den Berechnungsverfahren mit betrachtet:

- Verkehrsaufkommen
- Verkehrszusammensetzung (LKW-Anteil)
- Steigungsverhältnisse
- betriebliche Einrichtungen (LSA)

2.7 Ausbreitung von Lärm

Der ausgesendete Schall wird als Emission bezeichnet. Der ankommende als Immission. Die Schallausbreitung ist das Bindeglied zwischen Emission und Immission und wird als Transmission definiert [MLU01, S. 13].

Im leeren Raum breitet sich der Schall geradlinig aus. Ansonsten kann der Schall durch die Luft absorbiert, durch den Boden, Wind und Lufttemperatur gedämpft und durch topografische und bauliche Gegebenheiten reflektiert bzw. abgeschirmt werden. Bei dem Teilstück-Verfahren, das bei der RLS-90 zur Anwendung kommt, werden zur Berücksichtigung solcher physikalischen Ereignisse Korrekturfaktoren herangezogen (vgl. [BfV90, S. 17]). In der Abbildung 2.6 werden die Einflussfaktoren auf die Schallausbreitung grafisch dargestellt.



Quelle: ADAC Straßenverkehrslärm [ADA06, S. 38]

Abbildung 2.6: Pegel-beeinflussende Faktoren bei der Schallausbreitung

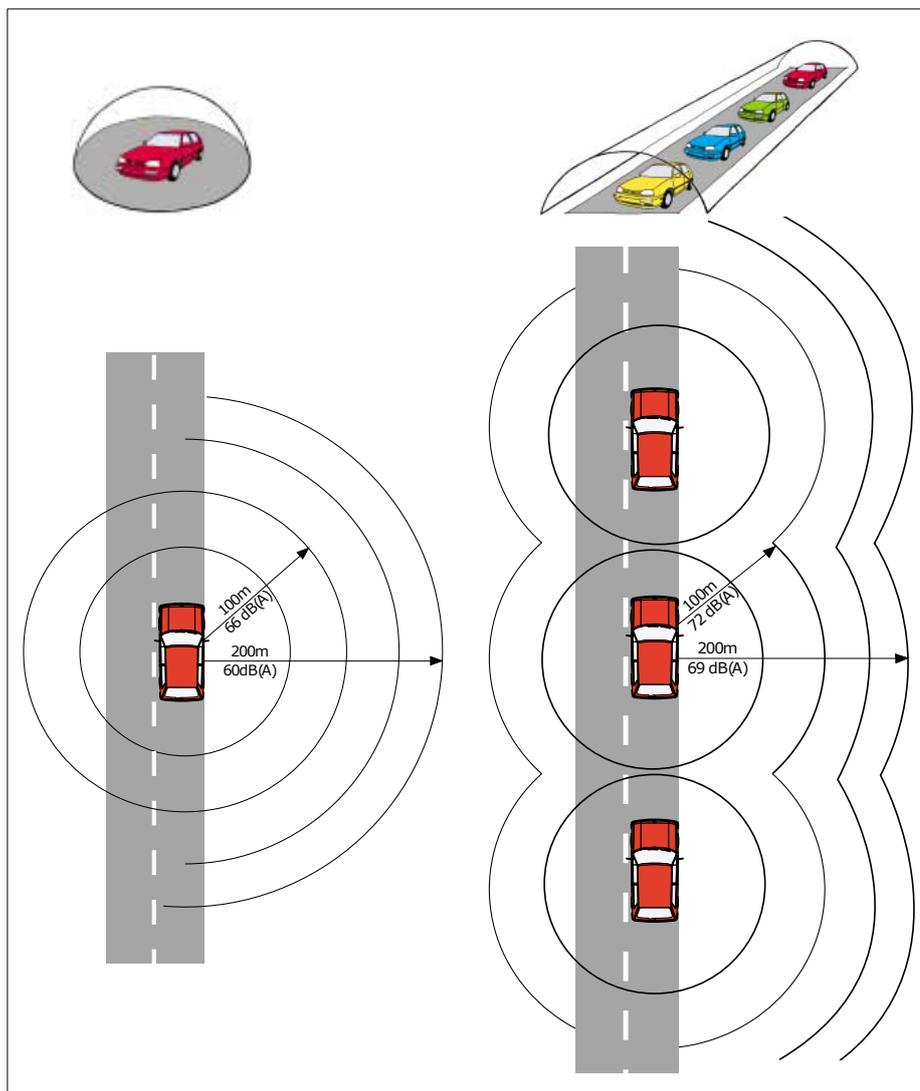
Im Straßenverkehr werden Schallquellen als punktförmige Geräuschquellen (z.B. ein einziges fahrendes Auto) bzw. als linienförmige Schallquelle (z.B. viele fahrende Autos) dargestellt. Dabei breitet sich der Schall halb-kugelförmig bzw. halb-zylinderförmig in die Luft aus. Letztes resultiert durch die Überlappung der halb-kugelförmigen Ausbreitung der einzelnen Autos bei einer viel gefahrenen Straße. In der Abbildung 2.7 wird dieser Effekt verdeutlicht.

Aus der Abbildung 2.7 lässt sich außerdem erkennen, dass mit zunehmender Entfernung die Höhe der Schallpegel abnimmt. Die Gründe dafür sind zu einem die Absorption durch Luft sowie die Luftmoleküle, die den Schall in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit bremsen. Zum anderen wird

die Schallenergie durch die Boden- und Meteorologiedämpfung abgeschwächt. Eventuelle Abschirmungen können hier ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen [ADA06, S. 38].

Die Höhe der Abnahme durch den Ausbreitungsweg unterscheidet sich je nach Quellenart (punkt- oder linienförmig). Wie in der Abbildung 2.7 zu sehen ist, lässt sich bei einer linienförmigen Quelle in selber Entfernung ein höherer Pegel, als bei einer punktförmigen Quelle ermitteln [ADA06, S. 38].

Die Auswirkung von Hindernissen auf die Schallausbreitung wird im Abschnitt 3.7 behandelt.



Quelle: Eigene Darstellung

Bildgrundlage: ADAC Straßenverkehrslärm [ADA06, S. 38]

Abbildung 2.7: Schallausbreitung bei punktförmiger und linienförmiger Schallquelle

Kapitel 3

Lärminderungsmaßnahmen

Lärminderung ist eine Daueraufgabe des Umweltschutzes, der Stadtentwicklungs- und der Verkehrsplanung [BSU13b, S. 8]. Die Reduzierung des Straßenverkehrslärms erfordert ein umfassendes Paket einzelner aufeinander abgestimmter Maßnahmen, die von der Optimierung der Fahrzeugtechnik über das Steuerrecht bis zur Verkehrsplanung gehen [UBA17]. Für eine effektive Lärminderung kann zum einen versucht werden, die Entfernungen zwischen Wohn-, Arbeitsstätten und der (Nah-)Versorgung zu minimieren. Zum anderen kann die Verlagerung des Verkehrs auf umweltschonende Verkehrsmittel (Fuß, Fahrrad, ÖPNV) eine Lärmreduzierung bewirken. Außerdem können straßen- und wohnbauliche Voraussetzungen die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr flächendeckend verringern [UBA17].

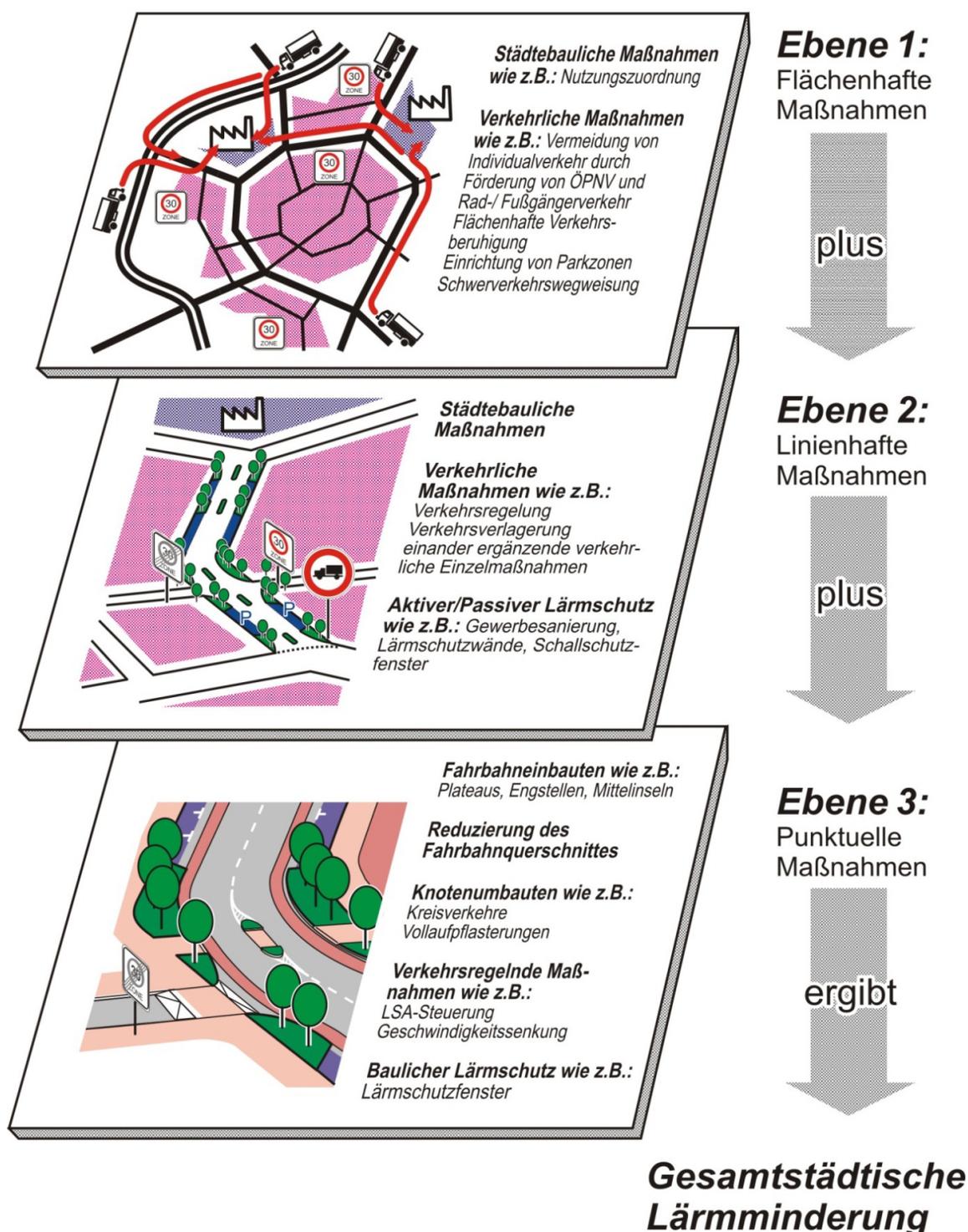
Dieses Kapitel widmet sich der Erläuterung der im Straßenverkehr relevanten rechtlichen, planerischen und technischen Maßnahmen.

3.1 Strategische Maßnahmenentwicklung

Das Grundprinzip des Umweltschutzes sieht bei der Aufstellung von Lärminderungsmaßnahmen in erster Linie die Vermeidung bzw. Verminderung von Lärm am Emissionsort vor. Durch sogenannte flächenhafte Maßnahmen soll der motorisierte Individualverkehr (MIV) durch die Förderung von ÖPNV, Rad- und Fußverkehr vermieden werden. Zudem besteht die Möglichkeit linienhafte Maßnahmen zu entwickeln, bei denen Emittenten auf weniger konfliktbehaftete Gebiete verlagert werden [RML15, S. 3].

Sind die Lärminderungspotenziale der flächen- bzw. linienhaften Maßnahmen ausgeschöpft, dann sollen punktuelle Maßnahmen ergriffen werden. Letztgenannte sollen Emissionen am Ort der Einwirkung mindern [RML15, S. 3]. Eine Übersicht der verschiedenen räumlichen Wirkungsebenen, die bei der Planung der Lärminderung betrachtet werden sollen, ist der Abbildung 3.1 zu entnehmen.

Der Erfolg einzelner Maßnahmen wird durch die Deckungshöhe und -umfang folgender Handlungsbedarfe bewertet: Vermeidung, Verlagerung, Verlangsamung und Verstetigung des Verkehrs. Geeignete Kombinationsmaßnahmen können im Vergleich zu



Quelle: Handbuch Lärmaktionspläne Handlungsempfehlungen für eine lärmindernde Verkehrsplanung [RML15, S. 35]

Abbildung 3.1: Ebene der Lärminderungsplanung

Einzelmaßnahmen einen hohen Beitrag zur Lärminderung leisten [RML15, S. 34]. So wird bei den meisten Einzelmaßnahmen eine Minderungswirkung von 1 dB(A) bis 3 dB(A) erzielt, während Kombinationsmaßnahmen eine Pegelreduktion von 5 dB(A) hervorrufen können. Die Minderungswirkung von komplexen Kombinationsmaßnah-

men bewegt sich sogar im Bereich von über 10 dB(A) [RML15, S. 38].

Individuelle Maßnahmenbündel sind daher je nach den örtlichen Gegebenheiten, entsprechend der bereits erbrachten Leistung, der Bereitstellung finanzieller Mittel und der Belastungshöhe zu entwickeln [RML15, S. 34].

Viele Maßnahmen leisten nicht nur einen Beitrag zur Lärminderung, sondern gehen mit Maßnahmen zur Luftreinhaltung, zur Verkehrssicherheit bzw. zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität des öffentlichen Raums einher [RML15, S. 37]. So können beispielsweise durch eine Sperrung für den LKW-Verkehr alle genannte Handlungsbereiche profitieren.

In der Tabelle 3.1 werden von verschiedenen Maßnahmen exemplarisch Erfahrungswerte zur Lärminderung und deren flankierende Wirkung auf anderen Zielfedern tabellarisch dargestellt.

3.2 Vermeidung von Verkehr

Maßnahmen zur Vermeidung von Verkehr streben nach dem Verzicht auf den lärmerezeugenden MIV. Dabei zielen diese darauf hin, den Verkehr auf umweltfreundliche Verkehrsmittel, wie ÖPNV, Fuß- und Radverkehr, durch deren Förderung zu verlagern. Solche mittel- bis langfristigen Maßnahmen bekämpfen die Ursache, anstatt Symptomen zu kurieren.

3.2.1 Förderung Fußgängerverkehr

Zur Fußgängerförderung sollen Maßnahmen entwickelt werden, die die Attraktivität und Verkehrssicherheit erhöhen. Die Kombination von Öffentlichkeitsarbeit und folgenden baulichen Maßnahmen sollen dabei die gewünschte Wirkung zur Entfaltung bringen [RML15, S. 48]:

- Aufbau attraktiver Fußwege und -verbindungen
- Verbesserung der Querungen an Hauptverkehrsstraßen
- Verlagerung des Radverkehrs von engen Gehwegbereichen auf die Fahrbahn
- Berücksichtigung der Barrierefreiheit

Zudem kann durch die Überwachung des ruhenden Verkehrs illegales Gehwegparken verhindert und so der Fußverkehr gefördert werden [RML15, S. 47].

Zur Vermeidung von Verkehr sollen außerdem Maßnahmen getroffen werden, die das Stadtbild „Stadt der kurzen Wege“ verfolgen. Bauleitplanerische Maßnahmen, wie die Erhaltung von dezentralen Versorgungsstrukturen in den Stadtteilen und die nutzungsverträgliche Nachverdichtung, können dabei einen Beitrag leisten.

Tabelle 3.1: Lärminderungsmaßnahmen und deren Wirkungspotential

Maßnahmen	Lärminderung (Mittelungs-/ Max.pegel) bis zu 12 dB(A)	flankierende Wirkungen			
		Luftschadstoff- (Feinstaub-) minderung	Verkehrssicherheit	Gestaltung	Freiraumnutzung
Kfz-Verlagerung					
Reduzierung der Verkehrsmengen um 50 % und mehr		⬆	⬆		
LKW-Lenkung					
Sperrung für den Schwerverkehr		⬆	⬆	⬆	⬆
Geschwindigkeitsreduzierung					
Geschwindigkeitsreduzierung von 50 km/h auf 30 km/h		⬆	⬆		⬆
Geschwindigkeitsreduzierung für den Schwerverkehr > 7,5 to von 50 km/h auf 30 km/h		⬆	⬆		
Geschwindigkeitsreduzierung von 50 km/h auf 40 km/h		⬆	⬆		
Geschwindigkeitskontrolle		⬆	⬆		
Verstetigung der Fahrgeschwindigkeit		⬆	⬆		
Straßenraumgestaltung					
Verdoppelung des Abstandes zur Lärmquelle		⬆		⬆	⬆
Anlage eines Radfahrstreifens			⬆		
Einziehung des rechten Fahrstreifens		⬆		⬆	⬆
Abschirmung durch parkende Fahrzeuge		⬆		⬆	
Querungsstellen und Mittelseln		⬆	⬆	⬆	⬆
Gestaltung. Straßenraumbegrünung z.B. Baumtor	subjektiv	⬆		⬆	⬆
Rasengleise				⬆	
Ersetzen von Lichtsignalanlagen durch Kreisel		⬆	⬆	⬆	
Erneuerung Fahrbahnbelag					
Austausch Kopfsteinpflaster gegen Asphalt bei 30 km/h		⬆		⬆	
Austausch Kopfsteinpflaster gegen Asphalt bei 50 km/h		⬆			
Lärmindernder Asphalt		⬆			

⬆ = positive Wirkung vorhanden ⬆ = positive Wirkung möglich

Quelle: Eigene Darstellung

Bildgrundlage: Handbuch Lärmaktionspläne Handlungsempfehlungen für eine lärmindernde Verkehrsplanung [RML15, S. 38]

3.2.2 Förderung Radverkehr

In Hamburg ist in den letzten Jahren die Fahrradnutzung gestiegen. Heute werden 12 % aller Fahrten mit dem Fahrrad zurückgelegt [BWV13, S. 14]. Jedoch liegt Hamburg im Vergleich zu anderen europäischen Städten, wie Kopenhagen (29 %¹) und Amsterdam (32 %²), stark zurück. Laut Mikael Colville-Andersen, Experte für urbanen Fahrradverkehr, müssen Raum und Infrastruktur angeboten werden, um die Nutzung des Fahrrads zu fördern [Kul14]. Für die Lärminderung ist allerdings nicht nur die Erhöhung des Radverkehrs relevant, sondern eher die Verringerung des MIV-Anteils. **Es wird vermutet, dass die Verlagerung vom ÖPNV auf das Fahrrad höher als die Verlagerung vom MIV auf das Rad ist.** Abschätzungen der verlagerbaren Fahrten gehen von einer Reduzierung des Kfz-Verkehrs von max. 10 bis 30 % aus [RML15, S. 48].

Folgende Maßnahmen können zur Radverkehrsförderung umgesetzt werden [RML15, S. 48] [KSP13, S. 2-5]:

- Aufbau attraktive Radwege
- Überprüfung von Einrichtungen von Fahrradstraßen und Radschnellwegen
- Erhöhung der Verkehrssicherheit für den Radverkehr durch Nachrüstung von Radverkehrsanlagen an Hauptverkehrsstraßen
- Zusätzliche Schaffung von Fahrradabstellanlagen
- Öffentlichkeitsarbeit zur Schaffung eines Fahrradklimas
- Intermodale Verkehrsangebote, wie Bike+Ride, unter Berücksichtigung der Verknüpfbarkeit mit dem ÖPNV

3.2.3 Förderung ÖPNV

Zur Förderung des ÖPNV dienen zahlreiche Infrastrukturmaßnahmen an Bushaltestellen, Bahnhofsumfeld, Busbetriebshöfen und Straßen. Zudem sind technische Maßnahmen zur Verbesserung von Betriebsabläufen und Angebot zweckdienlich. Folgende Ansätze können dabei verfolgt werden [RML15, S. 44, 50] [LNG]:

- Verbesserung des ÖPNV-Netzes, der Taktichte und der Vertaktung
- Beschleunigung des ÖPNV durch gesteuerte LSA und rechnergesteuerte Betriebsleitsysteme.
- Barrierefreier Ausbau von Bushaltestellen
- Ausbau von Stellplätzen für Park+Ride

¹Quelle: Fahrradportal [BVII7].

²Quelle: Amsterdam Economic Board [AEB18].

- Aus- und Neubau von Stadtbahn- und Stadtbussystemen
- Verbesserung der Schnittstellen mit dem Radverkehr
- Verbesserung der Tarifstruktur

3.3 Verlagerung von Verkehr

Das Ausmaß der Lärmemissionen unterscheidet sich je nach Fahrzeugart. So erzeugt beispielsweise im Innenortsbereich bei 50 km/h ein Pkw ca. 5 dB(A) weniger als ein LKW < 7,5 t und ca. 14 dB(A) weniger als ein LKW > 7,5 t [RML15, S. 55]. Außerdem spielt die gefahrene Geschwindigkeit bei der Minderungswirkung eine entscheidende Rolle. **Laut Steven, 1992, ist die Wirkung einer Reduktion des LKW-Anteils bei niedrigeren Geschwindigkeiten höher [RML15, S. 55].** Die Bedeutung des LKW-Verkehrs bei Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten nimmt daher zu und die Auslagerung des LKW-Verkehrs aus dem innerstädtischen Bereich bewirkt ein hohes Lärminderungspotenzial.

Die Verlagerung des LKW-Verkehrs soll im Rahmen einer Gesamtverkehrsentwicklungsplanung ausgearbeitet und durch die oberste Straßenverkehrsbehörde zugestimmt werden (vgl. [AKU08, S. 5]).

Bei der Verlagerung des MIV ist vorab zu prüfen, ob diese keine negative Auswirkungen, wie unerwünschter Neuverkehr und neue Lärmkonflikte, ausübt.

Für die Verlagerung von Verkehr können folgende Maßnahmen getroffen werden:

- Bau von Umgehungsstraßen, die den Stadtkern entlasten
- Führung des Verkehrs auf nutzungsunempfindlichen Straßen
- Restriktionen für Fahrzeuge bzw. Fahrzeugklassen (LKW)
- Fahrverbote (sowohl zeitlich als auch räumlich)
- Routennetzausweisung bzw. -beschränkung
- Parkraumbewirtschaftung

3.4 Verlangsamung von Verkehr

Durch die Verlangsamung von Verkehr wird nicht nur eine objektive Lärminderung veranlasst (siehe Abbildung 3.1). Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung lösen auch eine subjektive Lärminderung aus, verstetigen Verkehrsabläufe, erhöhen die Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität, tragen zur Luftreinhaltung bei und fördern häufig den Fuß- und Radverkehr [UBA16, S. 4] [RML15, S. 56 - 57].

Hierbei können sowohl verkehrstechnische als auch straßenbauliche Maßnahmen herangezogen werden:

- Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 30 km/h bis 40 km/h
- Einführung von Zone 30, Zone 20 bzw. Zone 10
- Koordinierung der LSA
- Anordnung von Mittelinseln
- Querschnittseinengungen

Wichtig ist dabei, mögliche negative Auswirkungen, wie unerwünschte Verlagerungseffekte, Zielkonflikte mit dem ÖPNV und Einfluss auf die Rettungszeiten, mittels Vor- und Nacherhebungen zu untersuchen (vgl. [Arg17, S. 2]).

Zusätzlich kann das Abrücken des Fahrstreifens vom Immissionsort durch beispielsweise Reduzierung der Fahrstreifenbreite bzw. -anzahl zu einer Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeit führen [UBA09a, S. 14]. Eine Verdopplung des Abstands zwischen Emissions- und Immissionsort halbiert die Schallenergie und reduziert den Mittelungspegel um 3 dB(A) [RML15, S. 70]. Solche Maßnahmen erhöhen außerdem die Verkehrssicherheit und führen zu einer Verstetigung des Fahrtverlaufes (siehe Abbildung 3.1). **Obwohl Maßnahmen zur Abstandvergrößerung nicht so zielführend wie verkehrsberuhigende Maßnahmen wirken, können diese durch eine optisch ansprechende Gestaltung der gewonnenen Fläche für eine hohe subjektive Lärminderung sorgen [UBA09a, S. 14] [RML15, S. 70].**

Die daraus gewonnene Fläche könnte für den Ausbau von Fuß- und Fahrradanlagen genutzt werden, wodurch der Fuß- und Radverkehr gefördert werden kann.

3.5 Verstetigung des Verkehrsverlaufes

Ein Auto, das im dritten Gang durchschnittlich bei 50 km/h fährt und ständig beschleunigt und abgebremst wird, erzeugt einen bis zu 7 dB(A) höheren Lärmpegel als ein Auto, das mit 30 km/h gleichmäßig im selben Gang fährt [RML15, S. 59]. Ein gleichmäßiger Fahrverlauf kann somit zu einer hohen Lärminderung beitragen.

Das Ausmaß der Lärmbelastung bei gestörtem Verkehrsfluss hängt von der gefahrenen Geschwindigkeit ab. Laut dem PGT-Handbuch Lärminderungspläne, 1994, ist die Lärmauswirkung eines gestörten Verkehrsflusses bei niedrigeren Geschwindigkeiten größer als bei höheren Geschwindigkeiten. So beträgt beispielsweise der Minderungspegel durch die Verbesserung der Verstetigung bei 30 km/h ca. 4 dB(A), während bei 50 km/h dieser bei ca. 3 dB(A) liegt (vgl. [RML15, S. 59-60]).

Maßnahmen, die zur Verlangsamung und Verstetigung des MIV umgesetzt werden, haben einen hohen Wirkungsgrad, sind kostengünstig und kurzfristig umsetzbar [RML15, S. 62]. Außerdem führen diese zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Verringerung des notwendigen Platzbedarfs (siehe Abbildung 3.1). Hierbei können zu den im Abschnitt 3.4 dargestellten Maßnahmen folgende Ansätze verfolgt werden:

- Ausweisung eines gemeinsamen Geh-/Radweges

- Markierung eines Schutzstreifens für Radfahrer
- Ergänzung eines Parkstreifens
- Geschwindigkeitsanzeige

3.6 Lärminderung an der Quelle

Die Minderung an der Quelle wird als primärer Lärmschutz bezeichnet. Dabei bekämpfen Maßnahmen an der Quelle die Ursachen von Lärmentstehung (siehe Abschnitt 2.6).

Neben der Geschwindigkeit, der Verkehrszusammensetzung, den betrieblichen Einrichtungen (LSA), dem Abstand zur Lärmquelle und den örtlichen Gegebenheiten (z.B. Längsneigung der Straße) ist die Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahndecke ein wichtiger Einflussfaktor auf den Straßenverkehrslärm.

Wie im Abschnitt 2.6 beschrieben, ist der abgestrahlte Schall bei einem Reifen-Fahrbahn-Geräusch stark von der Oberflächengestalt abhängig. Auch weitere akustische Eigenschaften, wie der Hohlraumgehalt (dicht, semi-dicht, semi-porös und porös) und das Texturspektrum (Mikro-, Makro- und Megaraugigkeit), bestimmen die Entstehung von Geräuschen (Air-Pumping, Rauigkeitstiefe, Rollwiderstand) und die Ausbreitung von Schall (Schallabsorption bei offenporigen Asphalten) [RML15, S. 66] [PR14, S. 11 - 12].

Vergleichsexperimente mit Oberflächen identischer Textur haben gezeigt, dass eine erhöhte Nachgiebigkeit der Fahrbahnoberfläche den Vorbeirollpegel mindert [PR14, S. 13].

Die Zusammensetzung der Fahrbahn bestimmt auch andere Eigenschaften, wie Haltbarkeit und Belastbarkeit. Daher müssen bei der Wahl des lärmindernden Fahrbahnbelags der Verwendungszweck (zulässige Höchstgeschwindigkeit, Schwerverkehrsanteil, etc.) berücksichtigt werden [PR14, S. 8].

Optimal für eine geringe Geräuscentstehung ist der Einsatz lärmindernden Fahrbahnbeläge. Hier kommen u.a. lärmarter Gussasphalt, Splittmastixasphalt, offenporiger Asphalt und Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche in Frage.

In den Lärmberechnungsvorschriften RLS-90 und VBUS wird die Wirkung der Fahrbahnoberfläche durch Korrekturwerte berücksichtigt.

3.7 Lärmschutz auf dem Ausbreitungsweg

Bei dem Lärmschutz auf dem Ausbreitungsweg handelt es sich um baulichen Abschirmungsmaßnahmen. Passive Lärmschutzmaßnahmen sind dagegen schalltechnische Verbesserungen an Gebäuden und werden erst umgesetzt, wenn der aktive Lärmschutz an Grenzen stößt [LSB13] [SHT11, S. 27]. So reduziert bzw. vermeidet aktiver

Lärmschutz Emissionen bei der Entstehung, während der passiver Lärmschutz seine Folgen mildert [SHT11, S. 27].

3.7.1 Maßnahmen am Straßenseitenraum

Innerorts sind klassische schallabschirmende Maßnahmen, wie Lärmwänden bzw. -wälle, oft nicht realisierbar. Je nach städtebaulicher Situation lassen sich jedoch optisch ansprechendere gestalterische Maßnahmen, wie Lärmschutzhecken, Grün-/ Pflanzstreifen und Geländemodellierung, umsetzen. Wichtig ist hier, dass die Schallschutzwirkung nicht durch Lücken unterbrochen bzw. beeinträchtigt wird [RML15, S. 72]. Auch Untertunnelungen oder Einhausungen von Straßen mindern den Lärm auf seinem Ausbreitungsweg. Allerdings haben solche Maßnahmen extrem hohe Investitions- und laufende Kosten [RML15, S. 73].

3.7.2 Maßnahmen an Gebäuden

Im Städtebau setzt der aktive Lärmschutz bereits bei der Aufstellung von Lärmgrenzwerten für Wohngebiete ein. Im Hausbau beruht der Lärmschutz im Allgemein auf dem erhöhten Eigengewicht der Bauteile und auf der schwingungsfreien Trennung von Bauteilen durch Fugen [SHT11, S. 27].

An Gebäuden kommen folgende Maßnahmen in Betracht:

Schließen von Baulücken

Die Lärmbelastungen der einzelnen Fassaden und Freiräume unterscheiden sich je nach Anordnung der Gebäude zur Lärmquelle. Vor allem bei Gebäudekomplexen, die senkrecht zu einer stark belasteten Straße angeordnet sind, lassen sich auch auf der lärmabgewandten Bebauung hohe Lärmpegel feststellen. Das Schließen von Baulücken bei einer solchen Anordnung bietet ein hohes Potenzial zur Lärmreduzierung. Die Schließung von Baulücken schützt die dahinter liegenden Wohnbebauungen und Freiräume vor einer zu hohen Lärmexposition.

Durch bauliche Elemente (Gebäude, Wand) parallel zur Straße kann die der Straße abgewandte Seite weitgehend vor Lärm geschützt werden. Durch die Schließung von Baulücken wird eine vergleichbare Lärmreduzierungswirkung wie beim Bau einer Lärmschutzwand erreicht. Im unmittelbaren Einflussbereich reduziert sich der Pegel um 12 bis 20 dB(A) [RML15, S. 74]. In einzelnen Fällen werden gezielt Nebengebäude, wie Garagen und Schuppen, zur Abschirmung eingesetzt [SKL09, S. 14]. Die Art des Bauelementes für die Erschließung wird oft durch die verfügbaren Platzverhältnisse und die notwendigen Zufahrten und Zugänge zum Grundstück bestimmt.

Das Heranrücken von Bauten zur Schließung von Baulücken trägt nicht nur zur Lärmreduzierung bei, sondern führt zu einer Verbesserung des Wohnumfeldes und der Nutzbarkeit von Freiflächen, trägt zur Stadtverdichtung bei und erhöht die Gesamtenergieeffizienz [RML15, S. 75]. Mögliche Verschattungen an den Ecken sowie

Beeinträchtigungen in der Orientierung und Durchlüftung sind zu beachten. Oft werden diese jedoch aufgrund der hohen Lärminderungswirkung im Kauf genommen [SK05, S. 158].

Der Bebauungsplan (B-Plan) ist ein wichtiges Instrument für die Lärminderung durch veränderte Bebauungsstruktur. Insbesondere die ausgewiesenen regulierenden Faktoren, wie Höhe und Stellung des Gebäudes, spielen bei der Unterbindung von Verlärmung des Straßenraums eine große Rolle [RML15, S. 74]. Aber auch die Ausweisung von überbaubarer bzw. nicht überbaubarer Fläche und ggf. die Art der baulichen Nutzung wird im B-Plan festgelegt.

In gesundheitsgefährdenden Bereichen (Beurteilungspegel über 60/70 dB(A) Tag/Nacht) können die Gemeinden allerdings nicht frei über die Ausweisung von Wohnnutzungen bestimmen³ [BSU10, S. 53]. In diesem Fall kann eine Nutzungszonierung⁴ erfolgen. Hierbei werden Nutzungen „zu einer Lärmquelle in Abhängigkeit von ihrer Störempfindlichkeit angeordnet“ [HMU12, S. 7]. So können gezielt emissionsarme Nutzungen, wie Büros und Lager, zwischen Lärmquelle und Wohnungen für den erforderlichen Schutzabstand sorgen [SKL09, S. 17] [BSU10, S. 53].

Grundrissgestaltung

Eine effektive Art des passiven Lärmschutzes ist es, lärmempfindliche Räume, wie Wohn-, Schlaf- und Arbeitsbereiche, gleich in der Bauplanung einer Wohneinheit auf der lärmabgewandten Seite des Hauses anzuordnen [ADA06, S. 58] [SKL09, S. 19].

In Bebauungsplänen wird heute die Veränderung von Wohnungsgrundrisse in stark belasteten Bereichen als vertretbare passive Lösung festgesetzt. Mittels Selbstabschirmung des Gebäudes kann eine Minderungswirkung von 5 bis 20 dB(A) erreicht werden [RML15, S. 74]. Zusätzlich können in besonders lärmbelasteten Bereichen zur Lärminderung Pufferzonen durch Laubgänge geschaffen werden [SKL09, S. 20].

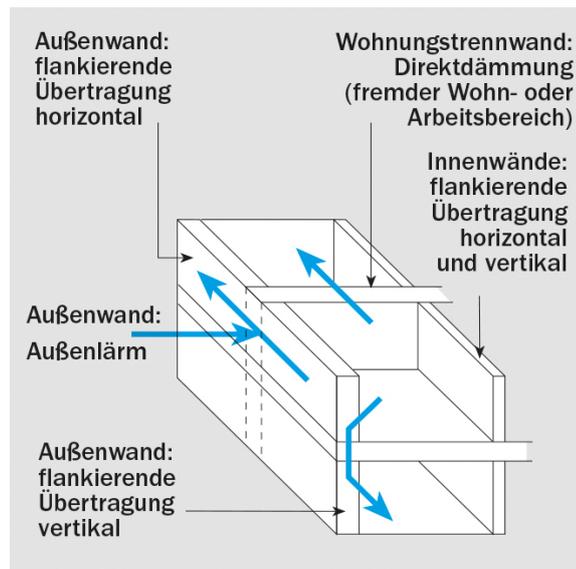
Zweischaligkeit

Zum Lärmschutz gegen Flankenübertragung über die Außenwand im Gebäudeinneren erweisen sich zweischalige Außenwänden nach DIN 1053-1 mit einer dazwischen liegenden Luft- und/oder Wärmedämmschicht schalltechnisch als sinnvoll [VSK].

Durch den mehrschichtigen Aufbau (siehe Abbildung 3.2) wirkt die Außenwand wie ein Masse-Feder-Masse-Schwingungssystem. Massive Schalen, die unterschiedlich dick und schwer sind, brechen die Schallwellen und verhindern Resonanzen. Für die Wirksamkeit einer solchen Wand ist auf eine wirkungsvolle Trennung durch Luftschicht und/oder Dämmung zu achten [FVZ].

³„Unter ganz bestimmten Rahmenbedingungen ist es unter städtebaulichen und umweltplanerischen Gesichtspunkten dennoch erforderlich – und bei der Anwendung sorgfältiger Instrumente vertretbar – in derart vorbelasteten Bereichen, je nach Situation des Einzelfalls, auch Wohnnutzungen zu ermöglichen“ [BSU10, S. 53].

⁴Die Nutzungszonierung auf Privatgrundstücken wird als Lärmschutzbebauung bezeichnet [BSU10, S. 53].



Quelle: Verein Süddeutscher Kalksandsteinwerke e.V. [VSK]

Abbildung 3.2: Schallminderungsprinzip bei zweischaligen Außenwänden

Die Schalldämmung eines Bauteils beruht in erster Linie auf der flächenbezogenen Masse [FVZ]. Das Vermögen eines Bauteils bzw. eines Übergangs zwischen zwei Bauteilen, Schall zu dämmen, wird als Schalldämm-Maß bezeichnet [Her]. Das bewertete Schalldämm-Maß einer zweischaligen Außenwand wird aus der Summe der flächenbezogenen Massen von beiden Schalen berechnet. Zweischalige Außenwände können bewertete Schalldämmmaße von über 55 dB erreichen [FVZ].

Balkon- bzw. Terrassenverglasung

Bei verglasten Balkonen und Wintergärten werden Pufferzonen geschaffen, wodurch der Lärm gemindert wird. Solche Einrichtungen können eine Minderungswirkung von 5 bis 15 dB(A) erzielen und tragen außerdem zur Energiegewinnung bei [RML15, S. 73] [SHT11, S. 27].

Vorbauten

Vorgelagerte Bauten, wie Garagen, Gartenhäuser und Wintergärten, können den Lärmpegel je nach Bauhöhe um 5 bis 20 dB(A) reduzieren [RML15, S. 74]. Hierbei wird ebenfalls ein Lärmpuffer veranlasst.

Absorbierende Verkleidung

Um Reflexionen zu verhindern, können absorbierende Verkleidungen an Balkonen und Terrassen eingesetzt werden. Dadurch werden Reflexionen um -2 bis -5 dB(A) gemindert [RML15, S. 73].

Schallschutzfenster

Schallschutzfenster werden in der Regel eingesetzt, wenn Abstände, Nutzungsorientierung und geeignete Grundrisse nicht den ausreichenden Lärmschutz gewährleisten [SKL09, S. 24].

In Deutschland wird die Höhe der Schalldämmung von Fenstern in normierten Schallschutzklassen gegliedert. Nach der VDI-Richtlinie 2719 „Schalldämmung von Fenstern“ werden bei Fenstern mit der Klasse 1 ein Schalldämmmaß von 25 bis 29 dB(A) erreicht. Fenster mit der Klasse 6 erreichen ein Schalldämmmaß von 45 bis 49 dB(A) [SKL09, S. 24] [RML15, S. 73].

Kapitel 4

Bestandsaufnahme und Maßnahmen

Aufgrund der kontinuierlich zunehmenden Stadtbevölkerung und der knappen Wohnfläche der Stadt versucht der Hamburger Senat mit der Strategie „Mehr Stadt in der Stadt“ Flächenressourcen aufzuwerten und unter bestimmten Voraussetzungen mehr Wohnraum zu schaffen [SBBB16, S. 5]. Dabei soll eine funktionale Nutzungsmischung und soziale Vielfalt erzielt werden [BHN].

Das Untersuchungsgebiet an der Lübecker Straße in Hamburg bietet durch die bestehende offene Zeilenbebauung ein großes Potenzial zur Stadtverdichtung. Durch das Heranrücken von Neubauten wird nicht nur mehr Wohnraum geschaffen, sondern ist gleichzeitig eine Lärminderung für die stark belasteten dahinterliegenden Gebäude zu erwarten. Um eine möglichst hohe Wohnqualität im Untersuchungsgebiet zu gewährleisten, ohne die Verkehrsfunktion einzuschränken, können zusätzlich verkehrsregulierenden Maßnahmen entwickelt werden.

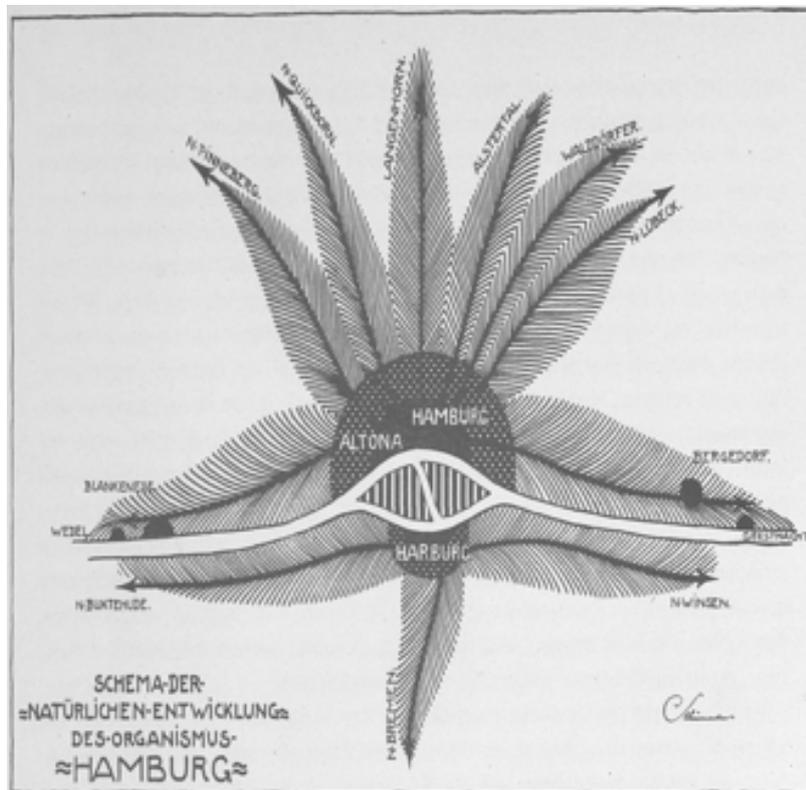
Vor diesem Hintergrund wird in diesem Kapitel das Untersuchungsgebiet genau betrachtet und wichtige Aspekte dargestellt. Zum Schluss werden alle untersuchten Maßnahmen beschildert.

4.1 Geschichtliche Entwicklung des Untersuchungsgebiets

Der Architekt und Stadtplaner Fritz Schumacher verewigte sich in der hamburgischen Geschichte nicht nur durch seine Bauwerke wie die Davidswache oder die Markthalle am Hauptbahnhof. Schon seit über 100 Jahren wird die Stadtentwicklung Hamburgs durch seine stadtplanerischen Ideen beeinflusst [A⁺15].

Im Rahmen der Industrialisierung und des Wirtschaftswachstums, welches Hamburg in der Zeit nach der Jahrhundertwende erlebte, kämpfte die Stadt mit dem schnell steigenden Bevölkerungswachstum. Die Wohnungsknappheit führte dazu, dass viele Arbeiter in den umliegenden preußischen Städten wie Altona, Wandsbek oder Harburg zuzogen. Die zunehmenden Verkehrsströme von der umliegenden Siedlungen in das Stadtzentrum sind die Grundlage für das von Fritz Schumacher entwickelte Ach-

senmodell von 1920 (siehe Abbildung 4.1). Dieses Konzept sah Achsen vor, die als wichtige Verkehrsadern die Innenstadt mit dem Umland verbinden sollten [A⁺15]. So entstanden die großen Magistralen Hamburgs, wie die Lübecker Straße.



Quelle: *Hamburgische Geschichten* [A⁺15]

Abbildung 4.1: Achsenmodell von Fritz Schumacher

Um das 19. Jahrhundert war Hamburg eine dichte und kompakte Stadt [BHN17, S. 3]. Das untersuchte Gebiet bestand überwiegend aus viergeschossigen Gebäuden, die eine geschlossene Raumkante bildeten (Siehe Abbildung 4.2). Die Pferdebahn, die über die Lübecker Straße fuhr, wurde im selben Jahrhundert durch elektrisch betriebene Straßenbahnen ersetzt. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die komplette Infrastruktur des Gebiets zerstört.

In den Sechzigerjahren verfügte Hamburg über eine stabile Politik und Wirtschaft. So wurde im Mai 1965 der Wiederaufbau der Stadt offiziell abgeschlossen und mit dem Aufbauplan Investitionen in neue Verkehrswege und Wohnsiedlungen zur Verfügung gestellt [Str].

Einige der vielen Gebäudekomplexe, die typisch für diese Zeit als Zeilenbebauung entstanden sind, sind heute im Untersuchungsgebiet wiederzufinden. Die Schließung der Baulücken der bestehenden Zeilenbebauung, die senkrecht zur Straße verlaufen, bietet nicht nur eine Möglichkeit zur Stadtverdichtung, sondern stellt auch eine effiziente Maßnahme zur Lärminderung dar.

Zwischen 1953 und 1967 verdreifachte sich das Verkehrsaufkommen in Hamburg [Vog12]. Unter dem Einfluss des US-amerikanischen Stadtbildes vieler Großstädte,



Lübecker Straße zwischen Neubertstraße und
Wandsbeker Stieg um 1918

Quelle: Hamburg Bildarchiv [HBA18]



Ecke Lübecker Straße und Mühlendamm um 1906

Quelle: Hamburg Bildarchiv [HBA06]

Abbildung 4.2: Historische Bilder der untersuchten Trasse

verfolgte der Hamburger Senat das Konzept der „autogerechten Stadt“ [Vog12]. Gemäß dem damaligen städtebaulichen Leitbild der gegliederten Stadt passten die Planer die Stadt dem Individualverkehr an und das Gesicht Hamburgs veränderte sich massiv in den darauf folgenden Jahrzehnten (vgl. [BHN17, S. 3] und [Vog12]). Infolge dessen sind die Magistralen heute durch erhebliche Verkehrs-, Lärm- und Schadstoffbelastungen beeinträchtigt [BHN].

Im Lauf der Sechzigerjahre wurden neben dem intensivierten Ausbau der Verkehrswege für den MIV, neue Teilstrecken des ÖPNV freigegeben und die Straßenbahn zurückgebaut (vgl. [BHN17, S. 3] und [Str]). Die heutige U1-Linie, die unter der Lübecker Straße verläuft, wurde zu dem Zeitpunkt bewilligt und die Straßenbahn wurde immer mehr durch Busse ersetzt [Str].

4.2 Lage und Bestand

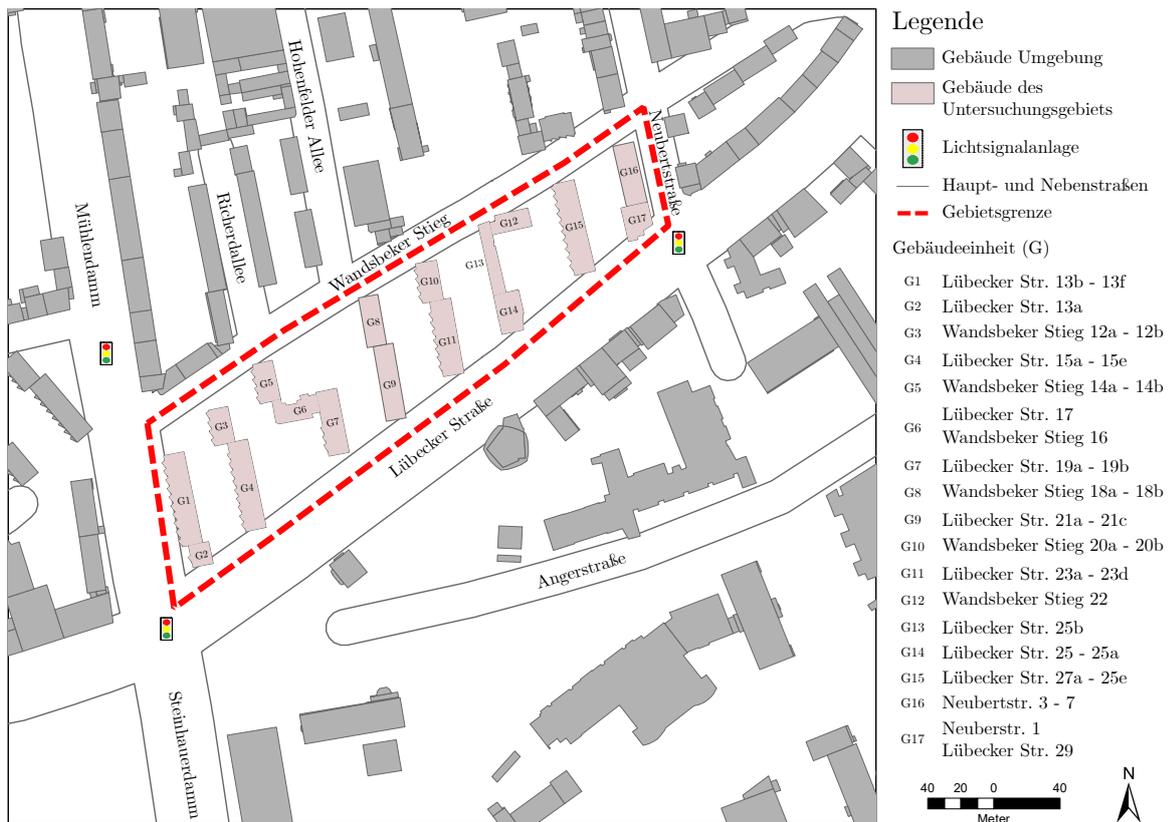
4.2.1 Lage und Erschließung

Das betrachtete Gebiet ist ca. 3,3 ha groß und befindet sich im Stadtteil Hohentelde im Bezirk Hamburg-Nord. Wie in der Abbildung 4.3¹ zu sehen ist, wird das Gebiet im Westen durch die Straße Mühlendamm, im Süden durch die Lübecker Straße, im Osten durch die Neubertstraße und im Norden durch den Wandsbeker Stieg begrenzt.

Südwestlich der Lübecker Straße liegt der Stadtteil St. Georg und weiter westlich die Kernstadt Hamburgs. Im Süden befindet sich der Stadtteil Borgfeld, im Norden Uhlenhorst und im Nordwesten Eilbeck.

Die Lübecker Straße als Bestandteil der B75 und durch die Weiterführung als B5 hat eine wichtige Funktion. Sie verbindet den Süden mit dem Norden und ermöglicht neben dem Elbtunnel eine Elbquerung.

¹Um in den folgenden Kapiteln, die Identifikation der einzelnen Gebäude zu erleichtern, werden in dieser Arbeit die bestehenden Bauten in Gebäudeeinheiten G1 bis G17 eingeteilt.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91,
Kartengrundlage: 3D-Stadtmodell LoD2-DE Hamburg [LGV17a]

Abbildung 4.3: Untersuchungsgebiet

Durch seine zentrale Lage ist das Untersuchungsgebiet sowohl durch den öffentlichen Nahverkehr (siehe Abschnitt 4.3.2) als auch über die angrenzenden Hauptverkehrsstraßen Lübecker Straße und Mühlendamm für den Individualverkehr hervorragend erschlossen.

4.2.2 Bevölkerung

Laut Statistikamt Nord leben im Stadtteil Hohenfelde ca. 10.000 Menschen, davon sind ca. 12 % unter 18 und ca. 16 % über 65 Jahre alt, wie in der Tabelle 4.1 zu sehen ist. Im Vergleich zu Hamburg leben in dem Stadtteil Hohenfelde 6,3 % mehr Personen zwischen 18 und 65 Jahren alt (vgl. Tabelle 4.1). Die Einwohnerdichte in Hamburg beträgt 2464 Menschen pro km². In dem gut verdichteten ca. 1,2 km² großen Stadtteil Hohenfelde leben dagegen 8561 Menschen pro km².

Der Ausländer-Anteil in Hohenfelde ist im Vergleich zu Hamburg oder dem gesamten Bezirk Hamburg-Nord wesentlich höher. Während im Bezirk Hamburg-Nord der Ausländer-Anteil 13,2 % und in Hamburg 16,7 % beträgt, machen die Ausländer im Stadtteil 18,8 % der gesamten Bevölkerung aus.

Abschätzungen über dem demografischen Wandel Hamburgs haben ergeben, dass im Jahr 2030 die Hamburger Bevölkerung in der Altersgruppe der 20- bis unter

Tabelle 4.1: Stadtteil-Profil (Hohenfelde)

		Stadtteil Hohenfelde	Bezirk Hamburg-Nord	Hamburg
Bevölkerung und Haushalte	Bevölkerung	9 886	306 732	1 860 759
	Unter 18-Jährige	1 176	41 017	300 538
	in % der Bevölkerung	11,9	13,4	16,2
	65-Jährige und Ältere	1 614	50 742	341 251
	in % der Bevölkerung	16,3	16,5	18,3
	Ausländerinnen und Ausländer	1 860	40 636	309 944
	in % der Bevölkerung	18,8	13,2	16,7
	Haushalte	6 229	190 234	1 021 666
	Personen je Haushalt	1,5	1,6	1,8
	Einpersonenhaushalte	4 068	119 564	555 306
	in % der Haushalte	65,3	62,9	54,4
	Haushalte mit Kindern	699	26 210	181 510
	in % der Haushalte	11,2	13,8	17,8
	Fläche in km ²	1,2	57,8	755,1
Einwohnerinnen und Einwohner je km ²	8 561	5 307	2 464	
Sozialstruktur	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (Wohnort)	4 247	135 899	723 026
	in % der 15- bis unter 65-Jährigen	58,6	61,6	57,1
	Arbeitslose	306	9 930	67 685
	in % der 15- bis unter 65-Jährigen	4,2	4,5	5,3
	Jüngere Arbeitslose	14	664	5 065
	in % der 15- bis unter 25-Jährigen	1,4	2,3	2,6
	Ältere Arbeitslose	49	1 742	11 370
	in % der 55- bis unter 65-Jährigen	5,4	5,5	5,5
Lohn- und Einkommensteuerpflichtige (2013)	5 111	161 769	943 570	
Gesamtbetrag der Einkünfte je Steuerpflichtigen (2013)	39 541	41 123	39 054	

Quelle: Eigene Darstellung, Tabellengrundlagen: Hamburger Stadtteil-Profile, Berichtsjahr 2016 [SAN15]

40-Jährigen und der 60- bis unter 80-Jährigen sich indirekt proportional entwickeln werden. Während die erstgenannte Gruppe schrumpfen wird, wird die zweitgenannte Gruppe wachsen und damit das Durchschnittsalter der Erwerbstätigen und der Gesamtbevölkerung steigen. Außerdem ist ein höherer Anteil an Menschen mit Migrationshintergrund zu erwarten [BWV13, S. 9].

4.2.3 Soziale Struktur

Seit 2010 wird in Hamburg einmal pro Jahr ein Sozialmonitoring-Bericht erstellt, in dem die Stadt zur Beobachtung von sozialen Indikatoren kleinteilig betrachtet wird. In einer zweistufigen Vorgehensweise werden Index-Verfahren und multivariate statistische Analysen angewandt und diese miteinander verbunden [HCU10, S. 3]. Grundlage

ist die statistische Ermittlung von 29 Strukturindikatoren, welche der demographischen, baulich-strukturellen und sozialen Beschreibung der einzelnen Gebietseinheiten dienen. Zudem sollen mittels acht weiterer Aufmerksamkeitsindikatoren konzentrierte soziale Belastungen identifiziert werden [HCU10, S. 3].

Als Ergebnis wird ein Statusindex ermittelt, der nach den vier folgenden Gruppen kategorisiert wird: hoch, mittel, niedrig und sehr niedrig. Zusätzlich wird ein Dynamikindex aufgefasst, bei dem Indikatoren herangezogen werden, die die Entwicklung des jeweiligen Gebietes im Vergleich zur Gesamtstadt beschreiben. Als Ergebnis werden die Planungsräume in einer der folgenden drei Klassen zugeordnet: positiv, stabil oder negativ [BSU14, S. 42].

Im Bericht vom 2017 zur sozialräumlichen Ungleichheit in Hamburg wird der soziale Status im Untersuchungsgebiet als „mittel“ klassifiziert und die Entwicklung des betrachteten Gebietes als „stabil“ gekennzeichnet [BSW18, S. 97] (vgl. auch zweite Hälfte der Tabelle 4.1)

4.2.4 Infrastruktur

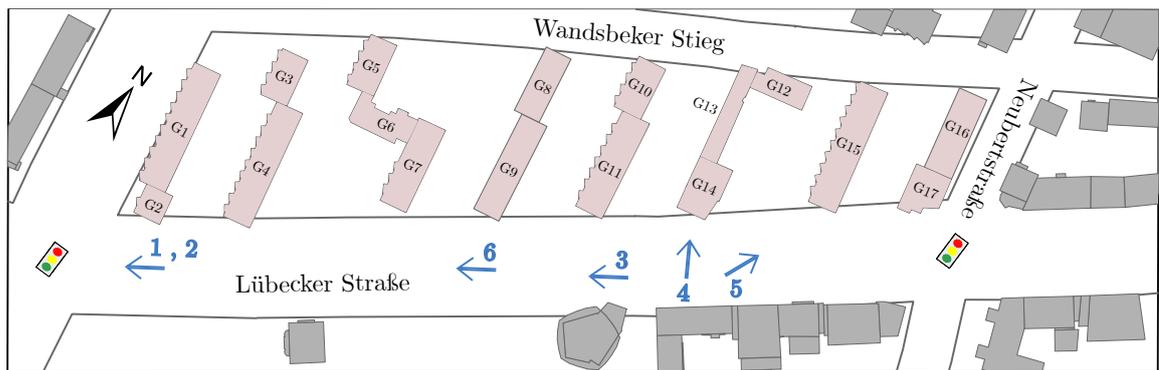
Das Untersuchungsgebiet liegt auf einem relativ flachen Areal. Wie im Abschnitt 4.1 beschrieben und auf dem Bild 4.3 zu sehen ist, besteht heute das Untersuchungsgebiet heute aus einer offenen Zeilenbebauung mit viergeschossigen Bauten in geschlossener Bauweise. Insgesamt besteht das Gebiet aus acht Gebäudekomplexen, vier Tiefgaragen und einem Stellplatz. Die bebauungsfreien Zonen sind überwiegend mit Gras bedeckt und bieten Platz für Bäume und andere Bepflanzungen (siehe Abbildung 4.4).

Das Gebiet wird überwiegend durch die Wohnnutzung geprägt. In dem Plangebiet befinden sich entlang der Lübecker Straße eine Bäckerei, ein Café und ein Schnellrestaurant. Auf dem gegenüberliegenden Bebauungsblock, ebenfalls entlang der Hauptstraße, sind ein Kiosk, ein Imbissladen, ein Frisör, eine Apotheke u.a. Geschäfte zu finden. In der Erdgeschosszone entlang der Neubertstraße wird die östliche Seite des Untersuchungsgebiets mit Büros und weiteren Läden belebt.

Wie vorher beschrieben, grenzt das Untersuchungsgebiet im Norden bzw. Nordosten an dem Wandsbeker Stieg bzw. der Neubertstraße. Im Südwesten treffen sich die sechsspurige Magistrale Lübecker Straße und die vierspurige Hauptstraße Mühlendamm. An diesem Knotenpunkt besitzen sie jeweils eine Abbiegespur mehr.

Die Lübecker Straße als Magistrale soll hauptsächlich als Stadtraum dienen und für Orientierung und Kommunikation sorgen. Als Verkehrsraum soll die Magistrale als Verbindungsachse für den ÖPNV und den MIV agieren (vgl. [BHN]). Die ca. 33,0 m breite Lübecker Straße mit ihrem sechs Fahrspuren und jeweils einem Parkstreifen auf jeder Seite erfüllt diese Aufgabe (siehe Abbildung 4.5).

Die Straßeninfrastruktur im betrachteten Gebiet mit bis zu sieben Fahrspuren entspricht heute immer noch dem Leitbild der autogerechten Stadt.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Inkscape 0.91

Stand: 15.04.2018

Abbildung 4.4: Fotodokumentation vom Bestand

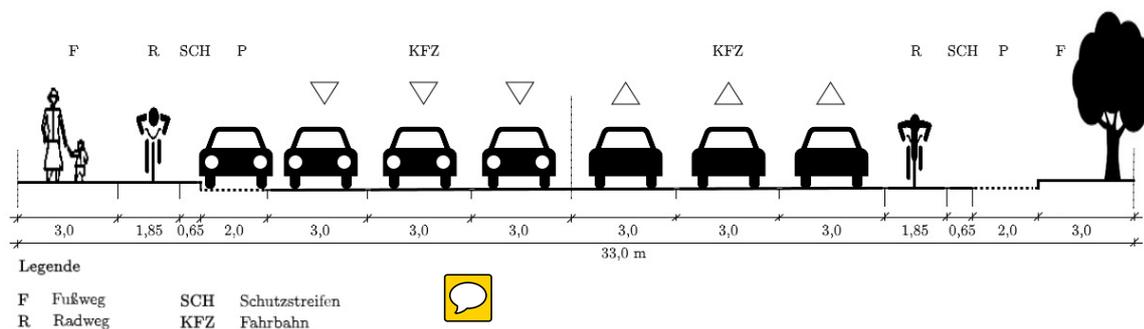


Abbildung 4.5: Regelquerschnitt der Lübecker Straße

4.3 Kenngrößen der Mobilität

4.3.1 Modal Split

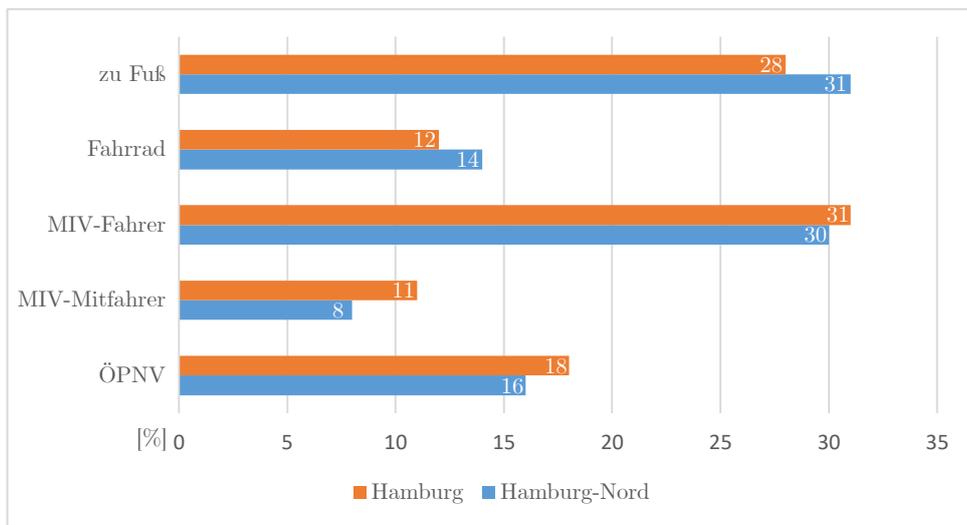
Der Verkehr von Hamburg ist das Ergebnis aus der Interaktion von verschiedenen Verkehrssystemen. Laut Modal-Split-Analyse von 2013 lässt sich bei der Wahl der Verkehrsmittel eine umweltorientierte Trendwende feststellen [BWV13, S. 14-15]. So sank der MIV-Anteil innerhalb von sechs Jahren trotz gesteigerter Bruttogeschossfläche und Bevölkerungszunahme um 5 % (vgl. [BHN17, S. 3] und [BWV13, S. 14-15]), während der Radverkehrsanteil von 9 % auf 12 % stieg [BWV13, S. 14-15].

Nichtsdestotrotz werden heute in Hamburg immer noch 42 % aller Fahrten mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegt. Im Bezirk Hamburg-Mitte sind es 4 % weniger. Aus der Abbildung 4.6 lässt sich entnehmen, dass im Vergleich zum gesamten Bereich Hamburgs der nichtmotorisierte Verkehrsanteil im Bezirk Hamburg-Mitte höher ist. Während in Hamburg nur 40 % aller Fahrten entweder mit dem Fahrrad (12 %) oder zu Fuß (28 %) betätigt werden, werden im Bezirk Hamburg-Mitte 44 % aller Fahrten mit dem nichtmotorisierten Verkehr bewältigt (davon 31 % zu Fuß und 14 % Fahrrad) [BWV13, S. 14]. Besonders positiv ist der Anteil an Verkehrsteilnehmer, die ihre Wege zu Fuß realisieren.

4.3.2 ÖPNV-Angebot

Das Untersuchungsgebiet wird, wie auf der Abbildung 4.7 zu sehen ist, durch die U-Bahn-Linie U1 und U3 mit der Haltestelle „Lübecker Straße“ erschlossen. Zusätzlich wird das ÖPNV-Netz im behandelten Gebiet durch die Schnell-Buslinien 35 und 36 mit der zu bedienenden Haltestellen „U-Lohmühlenstraße“ und „U-Wartenau“ bzw. die Nachtbuslinie 608 mit der Haltestelle „U Lübecker Straße“ ergänzt.

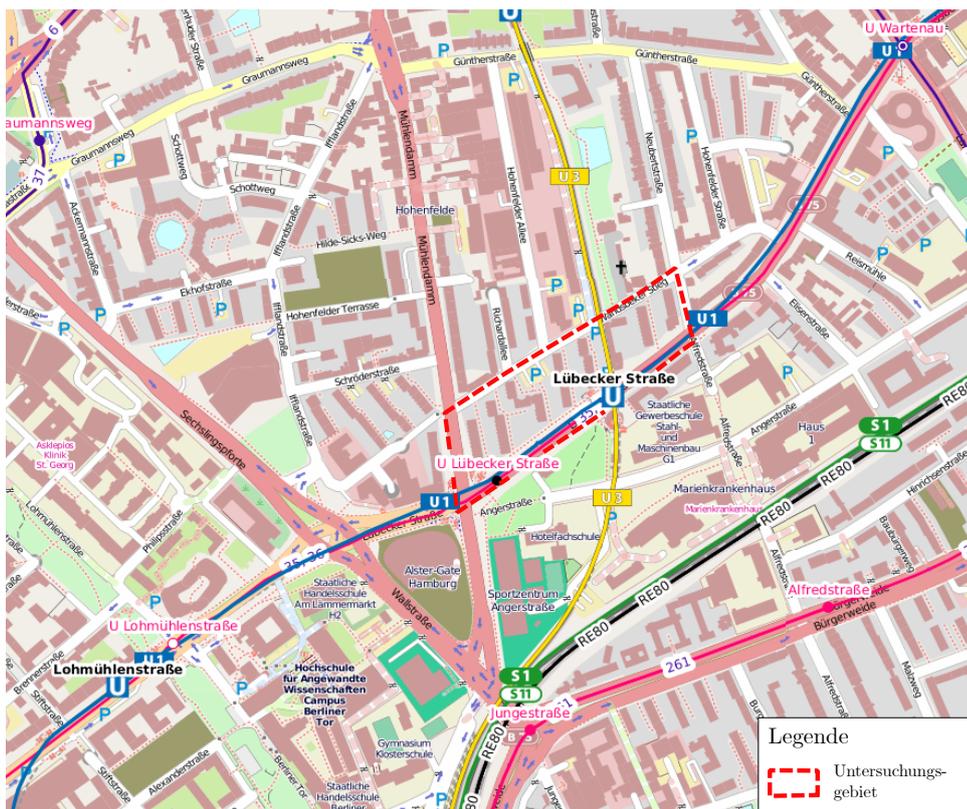
Der Grundtakt der U-Bahn-Linien beträgt an allen Tagen tagsüber mindestens 10 Minuten und ab ca. 23 Uhr 20 Minuten [HHA18]. Die Schnellbusse dagegen fahren



Quelle: Eigene Darstellung,

Diagrammgrundlage: Mobilitätsprogramm 2013 [BWV13, S. 14]

Abbildung 4.6: Modal Split in Hamburg und Hamburg-Nord



Quelle: Eigene Darstellung

Kartengrundlage: Geofax-Server [HVV]

Abbildung 4.7: Verkehrsnetzplan

von Montag bis Freitag mindestens alle 20 Minuten und ab 20 Uhr mindestens alle 30 Minuten. Samstags und Sonntags werden die Routen mindestens alle 30 Minuten befahren. Der Nachtbus fährt im 30-Minuten-Takt (vgl. Haltestellenaushang [HVV18]).

4.3.3 Verkehrsbelastung

In Hamburg werden täglich laut „Mobilität in Deutschland (MiD) 2008“ 5,79 Mio. Wege zurückgelegt [BWV13, S. 14]. Als Kenngröße der durchschnittlichen Verkehrsbelastung eines Straßenquerschnitts wird die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf der Basis von Verkehrszählungen und Hochrechnungen mittels mathematisch-statischer Verfahren ermittelt [BWV17]. Als Ergebnis wird die durchschnittliche Anzahl der Pkw eines Verkehrsstromes je 24 Stunden an einem Querschnitt entweder für alle Tage (DTV) oder für den Zeitraum zwischen Montag und Freitag (DTV_w) angegeben. Anschließend werden die DTV-Werte ergänzend durch den LKW-Anteil² des jeweiligen Querschnitts grafisch in der Karte „Verkehrsstärke Hamburg“ dargestellt. Die Karte beruht auf den verzeichneten Zählstellen, die sich auf Bundesautobahnen, Hauptverkehrsstraßen sowie auf Bezirksstraßen mit gesamtstädtischer Bedeutung befinden.

Obwohl in Hamburg zwischen 2000 und 2013 der Verkehr um 7 % sank [BHN17, S. 3], wird die Lübecker Straße zwischen Mühlendamm und Neubertstraße werktags durchschnittlich mit 44.000³ Fahrzeuge pro Tag belastet, wovon 3 % der Fahrzeug dem Schwerverkehrsanteil zuzurechnen ist (siehe Abbildung 5.1). Westlich davon werden 31.000⁴ Fahrzeuge am Tag und ein zwei prozentigen LKW-Anteil an DTV_w erwartet.

Im Vergleich zu dem stark befahrenen Abschnitt der Lübecker Straße weist die westlich angrenzende Straße Mühlendamm ein etwas niedrigeren DTV_w -Wert von 32.000⁵ Fahrzeuge am Tag auf. Der LKW-Anteil an dieser Stelle beträgt 4 %. Die im Norden bzw. im Osten angrenzende Straße Wandsbeker Stieg bzw. Neubertstraße ist in der Karte nicht verzeichnet.

Die Abbildung 4.8 verdeutlicht, wie der Verkehr sich im Tagesverlauf abwickelt.

Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass es im Bereich des Mühlendamms in Richtung Borgfelde morgens zu stockendem bzw. zähfließendem Verkehr kommt. In der Nachmittagsspitzenstunden reduziert sich der Verkehrsstrom geringfügig und es kommt zu zähfließendem Verkehr.

In der Lübecker Straße entwickelt sich die Verkehrslage im Laufe des Tages anders. Während morgens der Verkehr sich gut abwickelt, kommt es von ca. 12 Uhr bis ca. 21 Uhr in Richtung St. Georg zu zähfließendem Verkehr.

Insgesamt kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Verkehrsabläufe im Untersuchungsgebiet von morgens bis abends entweder zähfließend oder stockend sind. Infolgedessen ist eine Erhöhung des Verkehrslärms und Laufschadstoffemissionen durch das häufiges Abbremsen und Beschleunigen (siehe Abschnitt 2.6) zu erwarten.

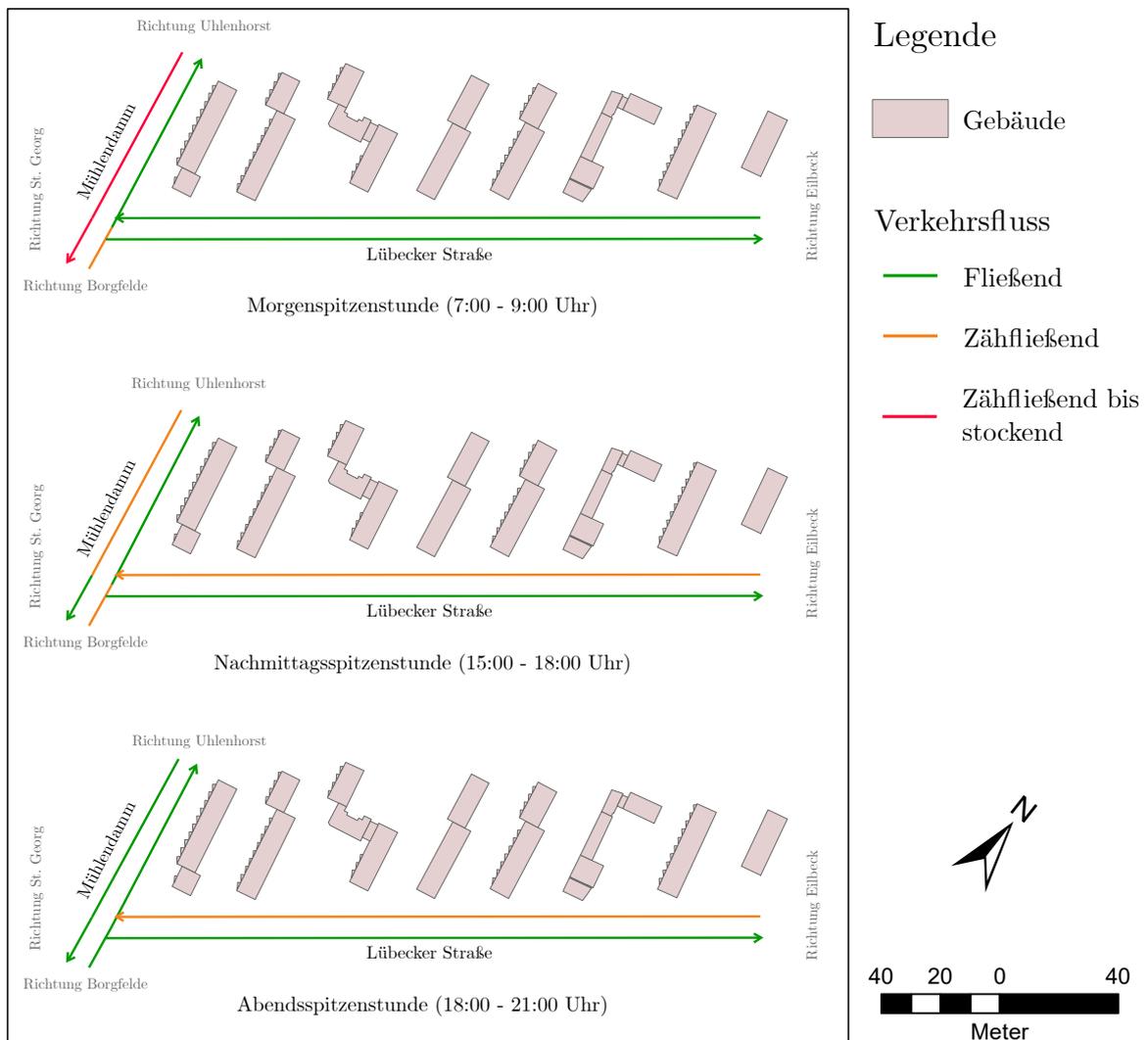


²Dabei handelt es sich um Fahrzeuge über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht [Boe18] und nicht gemäß der RLS-90 um Fahrzeuge größer als 2,8 t.

³Nr. 40 in der Abbildung 5.1.

⁴Nr. 84 in der Abbildung 5.1.

⁵Nr. 78, 74 und 79 in der Abbildung 5.1.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Inkscape 0.91,

Kartengrundlage: Google Maps, Verkehrslage

Abbildung 4.8: Verkehrsfluss in der Lübecker Straße

4.3.4 Schadstoffemissionen

Im Jahr 2013 verabschiedete der Hamburger Senat den Masterplan Klimaschutz, der die Reduktion des jährlichen CO₂-Ausstoßes bis 2020 gemäß der bundesdeutschen Ziele um 40 % gegenüber 1990 vorsah. **Bereits im Jahr 2013 zeigten die Emissionswerte, dass das Ziel für 2020, sieben Tonnen CO₂ pro Kopf zu reduzieren, kaum realisierbar ist.** So wurde im Jahr 2015 ein neuer Hamburger Klimaplan entwickelt, der als neues Ziel vorsah, bis 2030 den CO₂-Ausstoß um 50 % und bis 2050 um 80 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 zu reduzieren [Ott15, S. 13] [BWV13, S. 7].

Solche langfristigen Ziele bilden das Rückgrat eines erfolgreichen Klimaschutzes. Doch um dies zu erreichen, ist es notwendig, eine nachhaltige Mobilität durch die Verlagerung von Verkehr auf umweltfreundliche Verkehrsmittel wie den ÖPNV sowie den Fuß- und Radverkehr zu schaffen. Um die gesetzten Ziele zu erreichen und den CO₂-



Ausstoß⁶ zu reduzieren, hat der Hamburger Senat vor, ab 2020 keine mit fossilen Treibstoffen angetriebenen Linienbusse weiter zu beschaffen [BWV13, S. 24].

Hamburg erfuhr in den letzten Jahrzehnten eine positive Entwicklung. Laut Modal-Split-Analyse von 2013 lässt sich eine Verschiebung zwischen den einzelnen Verkehrsegmenten feststellen [BWV13, S. 14-15]. Fahrräder werden immer mehr benutzt, der MIV-Anteil ist um 4 % gesunken und die Luftqualität hat sich verbessert [BSU12, S. 1]. Nichtsdestotrotz kommt es heute in der Stadt u.a. weiterhin zu Überschreitungen der festgelegten Grenzwerte für Stickstoffoxide (NO₂) [BUE17c, S. 1]. Ein Gutachten über die Kfz-bedingte Schadstoffemissionen und Immissionen in Hamburg hat ergeben, dass in dem betrachteten Abschnitt der Lübecker Straße der jährlichen NO₂-Mittelgrenzwert von 40 µg/m³ nicht eingehalten wird (siehe Tabelle 4.2). Dort wurde eine hohe Überschreitung von 150 % errechnet (vgl. [LS10, S. 14]). Auch der errechnete Feinstaub (PM10⁷)-Jahresmittelwert von 31 µg/m³ ist relativ hoch. Obwohl der PM10-Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m³ nicht überschritten wird, liegt die Wahrscheinlichkeit beim errechneten Jahresmittelwert einer Überschreitung des Tagesgrenzwertes (50 µg/m³) bei 40 bis 80 % (vgl. [LS10, S. 19]).

Tabelle 4.2: KFZ-bedingte Schadstoffemissionen in der Lübecker Straße

Schadstoff	Berechnete Emissionswerte 2009		Grenzwerte gemäß 39. BImSchV	
	Ist-Zustand	Jahresmittel	Jahresmittel	Kurzzeit
	[µg/(m*s)]	[µg/m ³]	[µg/m ³]	
NO _x	200 - 500			
NO ₂	50 - 100	≤ 60	40	200 (Stundenwert, maximal 18 Überschreitungen / a)
PM10	30 - 50	≤ 31	40	50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen / a)
PM2,5	20 - 30	≤ 22	25	
Ruß	5 - 30	≤ 5		
Benzol	10 - 15		5	
Benzoapyren	0,5x10 ⁻⁶ - 1x10 ⁻⁶		0,001*	
CO ₂	100x10 ³ - 200x10 ³			

*Zielwerte als Gesamtgehalt in der PM10-Fraktion über ein Kalenderjahr

Quelle: Eigene Darstellung,

Tabellengrundlagen: 39. BImSchV [BJ110] und Gutachten über KFZ-bedingte Schadstoffemissionen und Immissionen in Hamburg [LS10]

4.3.5 Lärmbelastung

Das Plangebiet liegt im Einwirkungsbereich von relevanten Verkehrslärmimmissionen der angrenzenden Verkehrswege, insbesondere der Lübecker Straße und Mühlendamm. Gemäß Richtlinie 2002/49/EG ist die Belastung der Bevölkerung mittels strategischer Lärmkarten alle fünf Jahre zu ermitteln. Für Hamburg wurden bereits

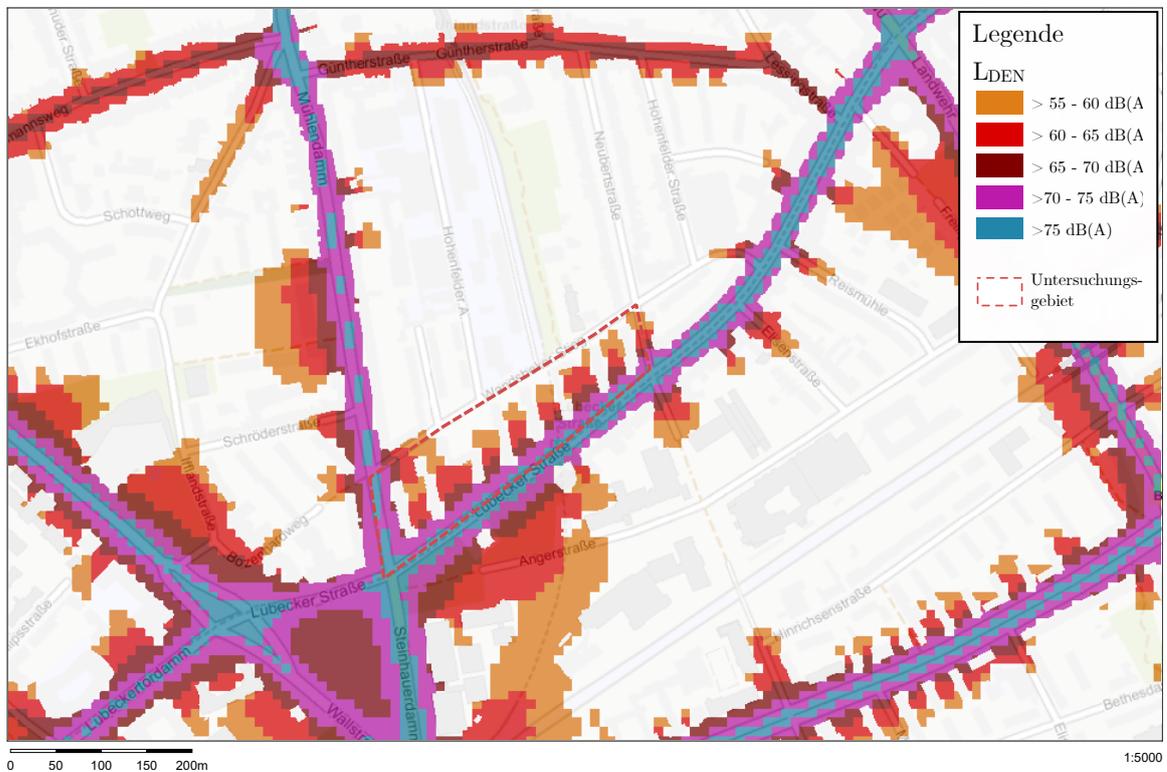
⁶25 % der CO₂-Emissionen werden heute durch den Stadtverkehr verursacht [BWV13, S. 7].

⁷PM, particulate matter. 10, maximaler Durchmesser in Mikrometer (µm).

im Jahr 2007 und 2012 strategische Lärmkarten erstellt [BUE17d]. Eine aktualisierte Lärmkarte erfolgte im Jahr 2017.

Entsprechend der Vorgaben der „Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB)⁸“ werden die Belastetenzahlen durch folgende Faktoren bestimmt: die durchschnittliche tägliche Anzahl der Fahrzeuge, ihre zulässige Höchstgeschwindigkeit, der LKW-Anteil und die Straßengegebenheiten (Belag und Steigung) [BUE17d].

In der Abbildung 4.9 ist die Lärmkarte des untersuchten Gebiets vom Jahr 2017 für den Straßenverkehr abgebildet. Der Lärmindex L_{DEN} (siehe Abschnitt 2.4) wird in der Karte mit einer Klassenbreite von 5 dB(A) dargestellt.



Quelle: Lärmkarten Hamburg [BUE17b]

Abbildung 4.9: Lärmkarte Straßenverkehr Tag-Abend-Nacht (L_{DEN}) 2017

Wie in der Abbildung 4.9 zu sehen, werden gesundheitsgefährdende Pegel von bis zu 70 dB(A) an der lärmzugewandten Seite entlang der Lübecker Straße erreicht. An der lärmabgewandten Seite sind Immissionspegel von bis zu 60 dB(A) berechnet worden.

⁸Beim Straßenverkehr kommt die „Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) [BJ06]“ zur Anwendung.

4.4 Flächennutzungsplan und Landschaftsprogramm

Flächennutzungsplan

Der Flächennutzungsplan (FNP) kann als die erste Stufe der Bauleitplanung gekennzeichnet werden. Er verkörpert den vorbereitenden Bauleitplan, der gemäß § 1 Abs. 2 BauGB dargestellt wird [WS16, S. 17]. In dem FNP wird die Art der Bodennutzung nach den voraussehbaren Bedürfnissen der Stadt in einer unregelmäßigen Rasterform räumlich dargestellt, die sich aus der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung ergeben [BSW17]. Im B-Plan werden die „groben Raster“ dann verfeinert [WS16, S. 17].

Der FNP für die Freie und Hansestadt Hamburg⁹ stellt das Plangebiet als „Wohnbaufläche“ und den Straßenzug der Lübecker Straße als „Sonstige Hauptstraße“ dar. Im Süden ist eine „Gemeinbedarfsfläche“ und im Nordosten eine „Gemischte Baufläche“ ausgewiesen. In der Abbildung 4.10 sind die vorhandene Nutzungen der benachbarten Gebiete und des untersuchten Areals grafisch dargestellt.

Die vorherrschende Nutzung des Gebietes ist Wohnen. Kleinere Gewerbeeinheiten entlang der Lübecker Straße ordnen sich dementsprechend darunter. Das Gebiet und damit die Immissionsorte sind somit in das Baugebiet „Allgemeines Wohngebiet“ eingestuft.

Landschaftsprogramm mit Arten- und Biotopschutz

Das Landschaftsprogramm (LaPro) ist ergänzend zum FNP ein ökologischer und freiraumplanerischer Baustein für die Stadtentwicklungsplanung, dessen Schwerpunkt auf den landschaftlichen Qualitäten liegt [BSW17]. Das LaPro legt die Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege anhand der Fachkarte „Arten- und Biotopschutz“ fest. Das Ziel des LaPro ist sowohl wichtige Landschaften, Tier- und Pflanzenarten als auch deren Lebensräume zu sichern und die Vielfalt sowie den Erholungswert der Natur zu erhalten [BUE17a].

Das LaPro für die Freie und Hansestadt Hamburg¹⁰ stellt für das Plangebiet das Milieu „Etagenwohnen“ dar. Der Straßenzug der Lübecker Straße wird als „Sonstige Hauptverkehrsstraße“ gekennzeichnet. Die milieübergreifende Funktion „Entwicklungsbereich Naturhaushalt“ dehnt sich über das gesamte Gebiet aus. In der Abbildung 4.11 wird der Bereich des untersuchten Gebiets dargestellt.

Die Fachkarte Arten- und Biotopschutz stellt für den Geltungsbereich des B-Plans den Biotopentwicklungsraum 12 „Städtisch geprägte Bereiche teils geschlossener, teils offener Wohn- und sonstiger Bebauung mit mittlerem bis geringem Grünanteil“ dar.

⁹FNP Hamburg in der Fassung der Neubekanntmachung vom 22. Oktober 1997 einschließlich der 1. - 156. Änderung und der 1. - 12. Berichtigung - Stand August 2017, einschließlich der Anpassungen aufgrund des Konturenabgleichs Bau-/Freiflächen September 2014 und aktualisierter nachrichtlicher Übernahmen - Stand November 2016.

¹⁰Landschaftsprogramm Hamburg in der Fassung vom Juli 1997, einschließlich der 1.-142. Änderung, der 1.- 16. Berichtigung und aktualisierter nachrichtlicher Übernahmen - Stand Oktober 2017 - einschließlich der Anpassungen aufgrund des Konturenabgleichs (Bau-/Freiflächen) mit dem Flächennutzungsplan im September 2014.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1,

Kartengrundlage: Flächennutzungsplan Hamburg [BSW17]

Abbildung 4.10: Flächennutzungsplan

Die Fläche der Lübecker Straße wird als Biotopentwicklungsraum 14e „Hauptverkehrsstraßen“ und der südlich benachbarte Bereich als Biotopentwicklungsraum 13b „Gemeinbedarfsfläche“ dargestellt [BSU13a].

4.5 Bebauungsplan

Der Flächennutzungsplan bildet die Grundlage für die Entwicklung des B-Planes, der gemäß § 8 Abs. 2 BauGB erstellt wird. Nach § 8 Abs. 1 BauGB enthält er die rechtsverbindliche Festsetzungen der städtebaulichen Ordnung [WS16, S. 21]. Eine Gemeinde legt im B-Plan als Satzung die Vorgaben für die Bebauung eines festgelegten Bereiches fest.

Für das untersuchte Gebiet besteht der B-Plan Hohenfelde 4 vom 23.02.1968. Wie



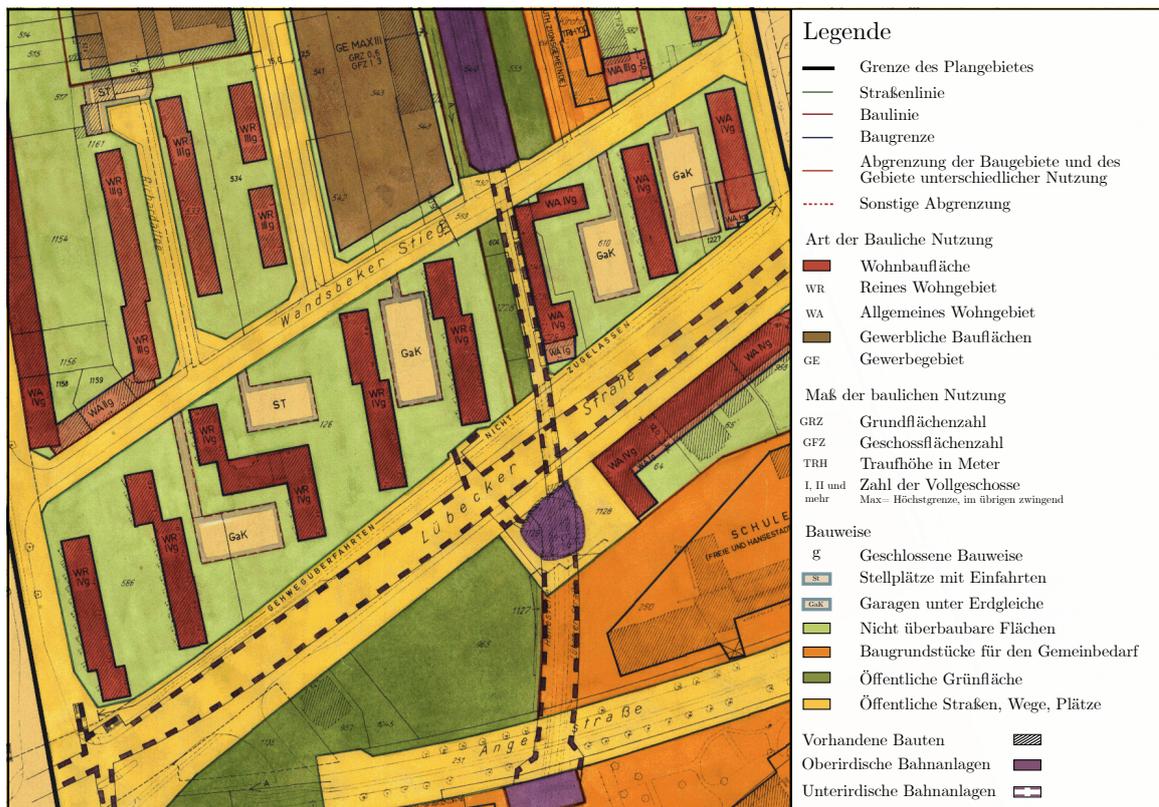
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91,
Kartengrundlage: Landschaftsprogramm Hamburg [BUE17a]

Abbildung 4.11: Landschaftsprogramm

in der Abbildung 4.12 zu sehen ist, wird im B-Plan die Fläche der Lübecker Straße als eine öffentliche Straße gekennzeichnet. Die fünf vorhandenen Bauten im Nordwesten werden als viergeschossige Bauten in geschlossener Bauweise vorgesehen, deren bauliche Nutzung als reines Wohngebiet ausgewiesen wird. Die restlichen drei viergeschossigen Bauten im Nordosten befinden sich in einer Fläche, die als allgemeines Wohngebiet gekennzeichnet wird und deren Bauweise ist ebenfalls als geschlossen festgelegt. Das reine Wohngebiet wird von dem allgemeinen Wohngebiet durch eine öffentliche, parallel zu den Gebäuden verlaufende Grünfläche getrennt. Die vorhandenen Freiflächen zwischen der Zeilenbebauung könnten bei einer Anpassung des B-Plans mit Wohngebäuden aber auch mit in allgemeinen Wohngebieten zulässigen Gewerbebetrieben bebaut werden, ohne dass sich dadurch der Gebietscharakter verändert.

4.6 Maßnahmen

Wie im Abschnitt 4.3 beschrieben, weist die Lübecker Straße ein hohes Verkehrsaufkommen auf (44000 Kfz / 24h DTV_w). Infolgedessen werden die Bewohner des untersuchten Gebiets, wie in der Abbildung 4.9 zu sehen ist, hohen Lärmbelastungen von bis zu 75 dB(A) ausgesetzt. Um dort die Lärmbelastung des Straßenverkehrs auf



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Inkscape 0.91,

Kartengrundlage: Bebauungsplan Hohenfelde 4 [BHN68]

Abbildung 4.12: Bebauungsplan

gesundheitlich unbedenkliche Werte zu reduzieren, wird im Rahmen dieser Arbeit mittels modellbasierter Simulation (siehe Abschnitt 5) zum einen eine Blockrandbebauung untersucht. Zum anderen werden weitere straßenbauliche und verkehrsrechtlichen Maßnahmen behandelt, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden.

Untersuchte Bebauungstypen

Wie im Abschnitt 4.2 geschildert, besteht das zu untersuchende Plangebiet aus einer offenen Zeilenbebauung, die senkrecht zur Lübecker Straße verläuft. Aus emissionsschutzfachlicher Sicht (siehe Abschnitt 3.7.2) und als Beitrag der nachhaltigen innerstädtischen Flächenentwicklung stellt das Schließen von Baulücken durch Heranrücken von Neubauten einen guten Lösungsansatz dar.

Die Wohnqualität in den bestehenden Wohnungen darf dabei nicht grundlegend beeinträchtigt werden. Auf eine ausreichende Belichtung und Belüftung der Wohnungen soll geachtet werden. Eine optimale Anordnung der Fenster und deren Geometrie sorgt für eine hohe Tageslichtverfügbarkeit und für das Minimieren der Transmissionswärmeverluste in den Wintermonaten. Der solare Eintrag im Sommer kann auf diese Weise reduziert werden (vgl. [UDE04]). Durch eine optimierte Anordnung und Geometrie der Neubauten sowie der Konstruktion der Gebäudehülle kann außerdem eine hohe Gesamtenergieeffizienz erreicht werden [Peh10]. Im Rahmen dieser Arbeit

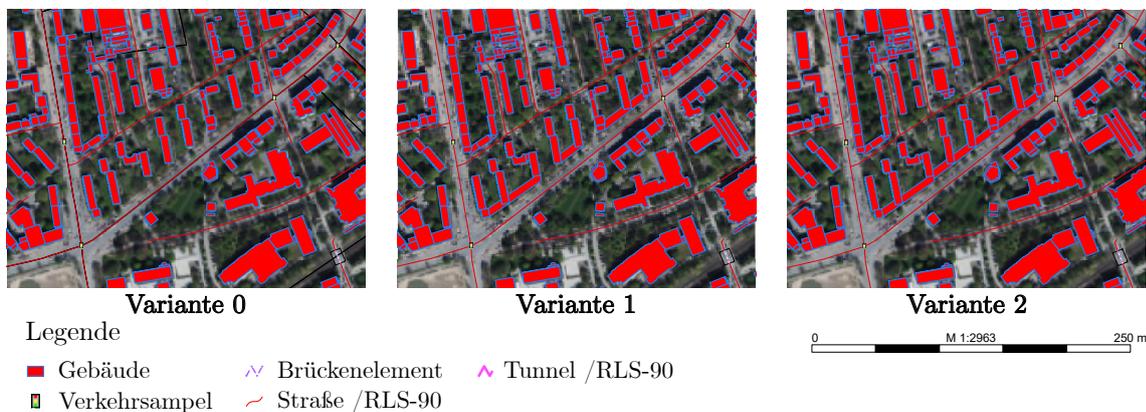
werden weder Grundrisse noch deren räumliche Anordnung innerhalb des Gebäudes betrachtet. Viel mehr wird in dieser Arbeit die Wirkung einer Blockrandbebauung auf die Schallausbreitung abgeschätzt.

Für das untersuchte Gebiet werden neben der vorhandenen Bebauung, eine teil-geschlossene und eine geschlossene Raumkante simuliert. Obwohl eine geschlossene Raumkante vermutlich eine bessere Variante hinsichtlich des Lärmschutzes darstellt (vgl. Abschnitt 3.7.2), wird in dieser Arbeit ein aufgelöster Blockrand auf seine Eigenschaften hin untersucht. Die teil-geschlossene Randbebauung ermöglicht gleichzeitig nicht nur einen Bezug zwischen Innen- und Außen des Grundrisses, sondern schafft Freiräume, Distanzen und Blickbeziehungen. Durch einen aufgelösten Blockrand kann zudem die Schwierigkeit in der Grundrissdisposition überwunden werden [PB09, S. 25].

In dieser Arbeit werden die untersuchten Gebäudetypologien wie folgt definiert:

- **Variante 0:** Offene Bauweise, Ist-Zustand
- **Variante 1:** Teil-geschlossene Bauweise
- **Variante 2:** Geschlossene Bauweise

In Abbildung 4.13 werden die untersuchten Gebäudetypologien grafisch dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung 4.13: Untersuchte Bebauungstypen

Basierend auf den Vorgaben des B-Plans über die Zahl der Vollgeschosse der bestehenden Bauten (siehe Abschnitt 4.5) werden bei der Variante V1 und V2 als Neubauten zwischen der Zeilenbebauungen viergeschossige Gebäude im Modell angesetzt (siehe Abschnitt 5).

Hinsichtlich des Wohnraums stellt die geschlossene Randbebauung die bessere Variante dar. Wie in Tabelle 4.3 zu sehen ist, ergeben die geplanten viergeschossigen Bauten der Variante V1 bzw. V2 eine neue Wohnbaufläche von 0,8 ha bzw. 1,1 ha. Um die Anzahl der Wohneinheiten zu ermitteln, wird eine Bruttowohndichte von 75

Wohneinheiten (WE) pro Hektar als Orientierungswert für eine Geschossbebauung (3-4 Geschosse) festgelegt (vgl. [BHT, S. 12]). Dadurch ergibt sich 59 WE bei Variante V1 und 81 WE bei Variante V2.

Tabelle 4.3: Flächenbilanz der Neubauten

	Variante 1 (teil-geschlossen)	Variante 2 (geschlossen)
Untersuchtes Gebiet [m ²]	33050	33050
Wohnbaufläche pro Geschoss [m ²]	1978	2686
Gesamte Wohnbaufläche [m ²]	7912	10744
Wohneinheiten	59	81

Quelle: Eigene Darstellung

Weitere untersuchte Maßnahmen

Um den Bewohnern des untersuchten Gebiets eine möglichst hohe Wohnqualität frei von Lärmbelastung zu ermöglichen, werden zusätzlich straßenbauliche und verkehrsregulierende Maßnahmen untersucht, welche die Verminderung der Lärmeinwirkungen verstärken sollen. Dabei werden alle Maßnahmen nur für die Trasse der Lübecker Straße ausgehend von Mühlendamm bis zur Neubertstraße vorgestellt.

Einführung von Tempo 30: Die zulässigen Höchstgeschwindigkeit wird von 50 auf 30 km/h reduziert. Dies gilt sowohl für den Pkw- als auch für den LKW-Verkehr.

Reduktion des LKW-Anteils: Die für die Untersuchung verwendete Software (siehe Abschnitt 5) unterscheidet bei der Fahrzeugkategorien nur zwischen Pkw und LKW. Die Linienbusse werden somit dem LKW-Verkehr zugeordnet. Gemäß dem Buslinienfahrplan wird die untersuchte Trasse von 244 Stadtbussen pro Tag befahren. Das entspricht 0,55 % Anteil am DTV_w. Bei der Simulation dieser Maßnahme sollen nur noch die Stadtbusse auf der Strecke fahren. Dementsprechend wird der vorhandene LKW-Anteil von **2 % auf 0,55 % gesenkt**. ✓

Reduzierung des Straßenquerschnitts: Um den Fahrstreifen von Immissionsort abzurücken und so eine Lärminderung hervorzubringen, wird bei der Simulation der festgestellte Regelquerschnitt von 33 m (siehe Abbildung 4.5) auf 29 m verkleinert. Solcher Querschnitt könnte durch eine Reduzierung von sechs auf vier Fahrbahnstreifen realisiert werden. Unter Berücksichtigung der Empfehlungen im Rundschreiben „Planungshinweise für Stadtstraßen in Hamburg“ [BTB88, S. 28] wird in dieser Arbeit ein Beispiel für einen neuen Querschnitt ausgearbeitet (siehe Abbildung 4.14).

Offenporiger Asphalt: Die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche wird bei der Simulation von einem nicht geriffelten Gussasphalt auf einem offenporigen Asphaltbelag (Kornaufbau 0/8) geändert. Allerdings wird der Einsatz eines solchen Asphalts in Kombination mit einer zulässigen Geschwindigkeit kleiner als 70 km/h durch die verwendete Software nicht unterstützt. Aufgrund dessen wird diese Maßnahme nicht weiter behandelt.

Eine arithmetische Addition der einzelnen Maßnahmenergebnisse ist nicht möglich (Abschnitt 2.4.1). Deswegen werden in dieser Arbeit zusätzlich zu den einzelnen

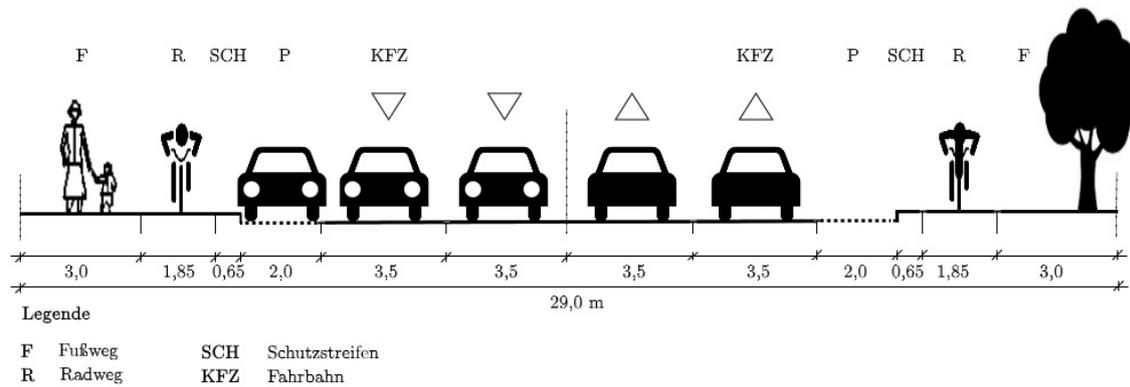


Abbildung 4.14: Verkleinerte Regelquerschnitt

Maßnahmen auch deren Kombinationen simuliert. Insgesamt werden die folgenden Maßnahmen untersucht:

- **M0:** Keine veränderlichen Maßnahmen
- **M1:** Einführung von Tempo 30
- **M2:** Reduktion des LKW-Anteils
- **M3:** Reduktion des LKW-Anteils und Einführung von Tempo 30
- **M4:** Reduzierung des Straßenquerschnitts
- **M5:** Reduzierung des Straßenquerschnitts und Reduktion des LKW-Anteils
- **M6:** Reduzierung des Straßenquerschnitts und Einführung von Tempo 30
- **M7:** Reduzierung des Straßenquerschnitts, Einführung von Tempo 30 und Reduktion des LKW-Anteils.

Kapitel 5

Empirische Analyse

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Auswirkung einer Blockrandbebauung in der Lübecker Straße, ausgehend vom Mühlendamm bis zur Neubertstraße, hinsichtlich des Verkehrslärmschutzes untersucht werden. Zusätzlich werden in Frage kommenden Handlungsfelder und Maßnahmengruppen behandelt, wodurch die schädlichen Lärmeinwirkungen auf das Untersuchungsgebiet vermieden bzw. verringert werden sollen (siehe Abschnitt 4.6). Dazu wird ein Modell erstellt, welches mit einem Simulationsprogramm berechnet wird. In diesem Kapitel werden die Grundlagen des Berechnungsverfahrens und die dem Modell zugrunde liegenden Daten erläutert.

5.1 Grundlagen der Berechnung

Alle Berechnungen werden mit dem Programm IMMI, Version 2016 vom 02.05.2016 der Firma Wölfel Meßsysteme - Software GmbH + Co. KG durchgeführt. Die Schallemissionen und Schallausbreitung werden mittels Algorithmen berechnet, welche durch die verwendeten IMMI-Elemente definiert und mit den ausgewählten spezifischen Richtlinien verknüpft werden.[IMM13, S.11].

Die Berechnung der Beurteilungspegel für die Straßenverkehrswege erfolgt gemäß den Empfehlungen „Hamburger Leitfaden Lärm in der Bauleitplanung 2010“ [BSU10] in Anlehnung an die 16. BImSchV [BJ990a] bzw. nach dem Teilstückverfahren der RLS-90 [BfV90] (siehe Anhang A und Abschnitt 2.5.1).

Im Plangebiet ist die Festsetzung von reinem und allgemeinem Wohngebiet vorgesehen (siehe Abschnitt 4.5). Im südlich benachbarten Gebiet ist eine Gemeinbedarfsfläche und eine öffentliche Grünfläche ausgewiesen. Für die Gemeinbedarfsfläche wird ein Schutzanspruch berücksichtigt, der einem Mischgebiet vergleichbar ist. Wie in der Tabelle 2.1 dargestellt, liegen gemäß 16. BImSchV die Grenzwerte sowohl in einem ausgewiesenen allgemeinen Wohngebiet als auch in einem reinen Wohngebiet bei 59 dB(A) Tag und bei 49 dB(A) Nacht. In einem Mischgebiet liegen die Grenzwerte bei 64 dB(A) Tag und 54 dB(A) Nacht. Allerdings kann gemäß den Empfehlungen „Hamburger Leitfaden Lärm in der Bauleitplanung 2010“ bei einer Blockranderschließung im Einzelfall eine Überschreitung der Gesundheitsgefährdungspegel

von 70/60 dB(A) Tag/Nacht auf der lärmzugewandten Seite gerechtfertigt werden [BSU10, S. 53]. Um eine Gesundheitsgefahr zu verhindern, werden eine Vielzahl an Vorkehrungen (siehe Abschnitt 4.6) getroffen.

Gemäß 16. BImSchV werde die Beurteilungspegel für die folgende Zeiträume ermittelt:

- **Tag:** von 6:00 bis 22:00 Uhr
- **Nacht:** von 22:00 bis 6:00 Uhr

Nach Empfehlung des Softwareentwicklers wird für das untersuchte Gebiet ein Gesamtareal von ca. 600 x 600 m modelliert. Dadurch werden alle Randbedingungen (z.B. Höhenlagen, abschirmende Elemente, Verkehrsaufkommen) ausreichend berücksichtigt, die für die Berechnung der Lärmbelastung und der Schallausbreitung auf dem Untersuchungsgebiet benötigt werden [Bar17].



5.2 Topographische und bauliche Gegebenheiten

Als Elemente für Abschirmung und Reflexion werden die vorhandenen Gebäude des zu untersuchenden Gebiets und der maßgeblichen Nachbarschaft aus dem „3D-Stadtmodell LoD2-DE Hamburg“ in ihrer Lage und Höhe in das IMMI-Modell importiert. Das verwendete LoD2 Modell basiert auf die amtliche digitale Liegenschaftskarte. Die Gebäudehöhen werden dagegen aus Laserdaten ermittelt. Die Höhengenaugigkeit beträgt hierbei $\pm 1,0$ m. Die Lagegenauigkeit der Gebäude hängt von der zugrunde liegenden Karte ab.

Im Berechnungsmodell wird die vorhandene Geländesituation berücksichtigt. Das für das Berechnungsmodell digitalisierte dreidimensionale Geländemodell wird aus dem „digitalen Höhenmodell Hamburg DGM 1“ entnommen. Ähnlich wie bei dem 3D-Stadtmodell werden die Höhendaten des DGM 1 durch flugzeuggestützte Laserscannvermessung gewonnen [LGV17c]. Dabei wird das digitale Geländemodell mit einer Rasterweite von einem Meter abgebildet [LGV17b].

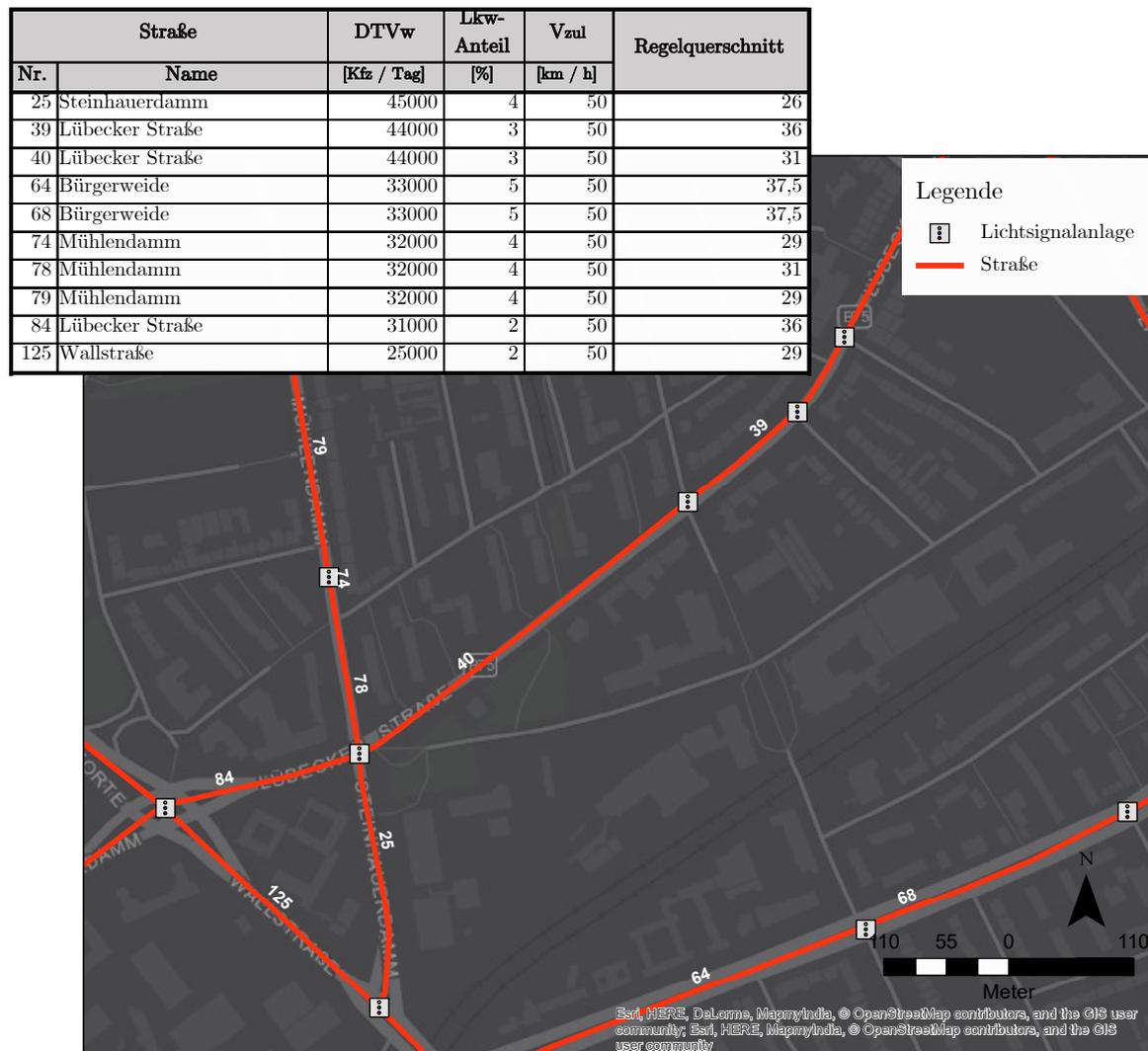
Die Genauigkeit eines einzelnen Messpunktes hängt bei diesem Modell von der eindeutigen Definition des Messbereiches. So werden beispielsweise gut definierte Straßenflächen mit einer Genauigkeit von $\pm 7,0$ cm aufgenommen, während Wälder- und Strauchgebiete eine geringere Genauigkeit aufweisen.

5.3 Emissionen

Die an dem zu untersuchenden Gebiet angrenzenden Straßenverkehrswege sowie für das Gebiet relevanten Straßen werden in das Berechnungsmodell miteinbezogen.

Auf der sicheren Seite liegend, werden die DTVw-Werte verwendet (siehe Abschnitt 4.3.3). Die Belastungszahlen entstammen der DTVw Karte 2015 der Freien und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt [BWW15]. Eine Zusam-

menstellung der Datensätze sowie eine grafische Darstellung der Lage der maßgebenden Straßen wird in der Abbildung 5.1 gezeigt. Weitere notwendige Verkehrszahlen für die Berechnung können der angegebenen Quelle entnommen werden.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91,
Kartengrundlage: Verkehrsstärken Hamburg [BWV15]

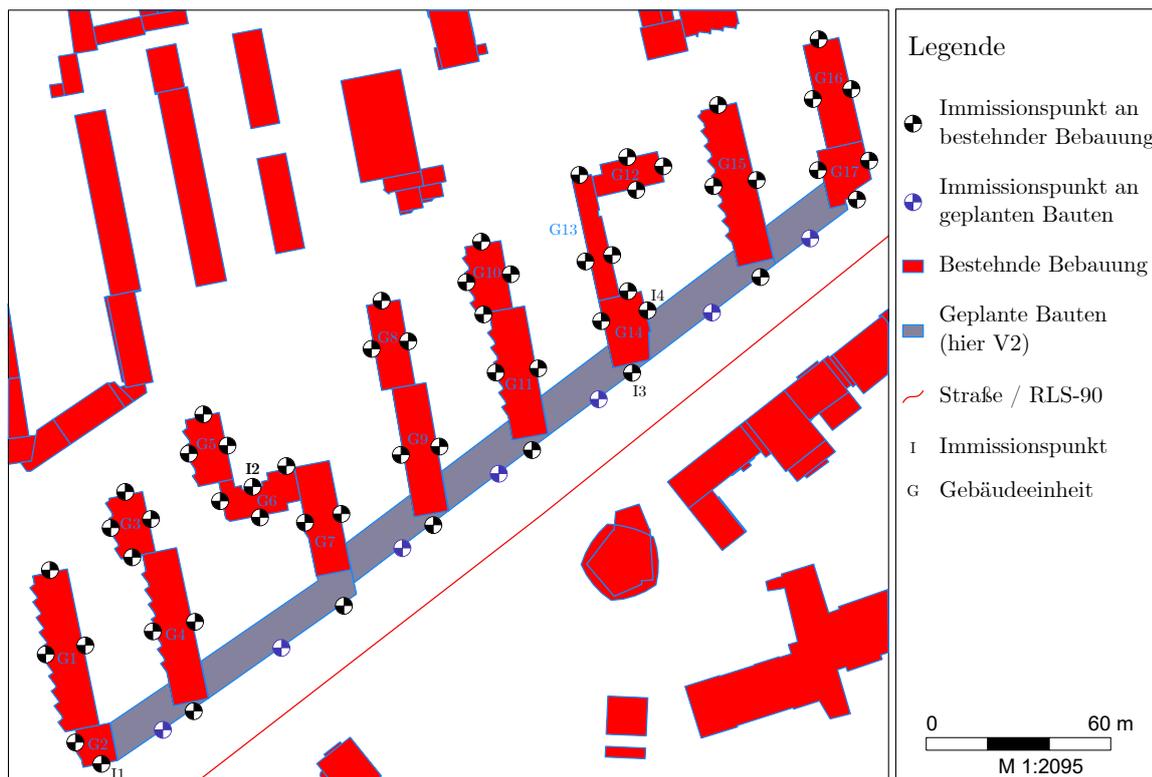
Abbildung 5.1: Belastungszahlen einiger Straßen

Da „Ampel-Elemente“ einen Zuschlag für Straßen nach RLS-90 generieren [IMM13, S. 20], werden diese im Berechnungsmodell digitalisiert. Die Lage der LSA entstammen der Karte „Lichtsignalanlagen Hamburg“ des Landesbetriebs Straßen, Brücken und Gewässer [LSB17].

Im Rahmen dieser Arbeit werden weitere Geräuscheinwirkungen wie z.B. durch den Gewerbelärm und den Schienenverkehr nicht berücksichtigt (siehe Abschnitt 2.5.1).

5.4 Immissionen

Unter Berücksichtigung der ersten Reflexion (siehe Anhang A) werden sowohl Einzelpunkt- als auch Rasterberechnungen durchgeführt. Für die Einzelpunktberechnungen werden einzelne Immissionsorte an bestehenden Gebäuden erzeugt. Diese sollen helfen, die Auswirkung im gesamten Gebiet abzuschätzen. Die 57 Immissionspunkte werden den bestehenden Gebäuden zugeordnet und sind in der Abbildung 5.2 schwarz-weiß markiert.



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von Inkscape 0.91

Abbildung 5.2: Immissionspunkte im Rechenmodell

Zusätzlich werden sieben weitere Immissionspunkte entlang der Lübecker Straße, an den geplanten Gebäuden der Varianten V1 und V2, erzeugt (blau-weiße Punkte in der Abbildung 5.2). Dadurch kann die Lärmauswirkung an der lärmzugewandten Seite infolge der neuen Gebäude untersucht werden.

An jedem Immissionspunkt werden drei Beurteilungspegel ermittelt. Diese werden jeweils in 3,0 m, 5,5 m und 8,0 m Höhe über Geländeoberkante berechnet. Anschließend wird bei jedem Punkt aus den drei Werten den **Mittelwert** gebildet. Im Anhang B bis I werden die Ergebnisse grafisch dargestellt.

Sowohl bei der Einzelpunkt- als auch bei der Rasterberechnung werden identische Rechenverfahren angewandt (vgl. [IMM13, S. 89]). Der Unterschied zwischen beiden Verfahren besteht in der Darstellung der Ergebnisse. Während bei der Rasterberechnung die Beurteilungspegel für das ganze Gebiet lediglich in Form eines Rasters dargestellt

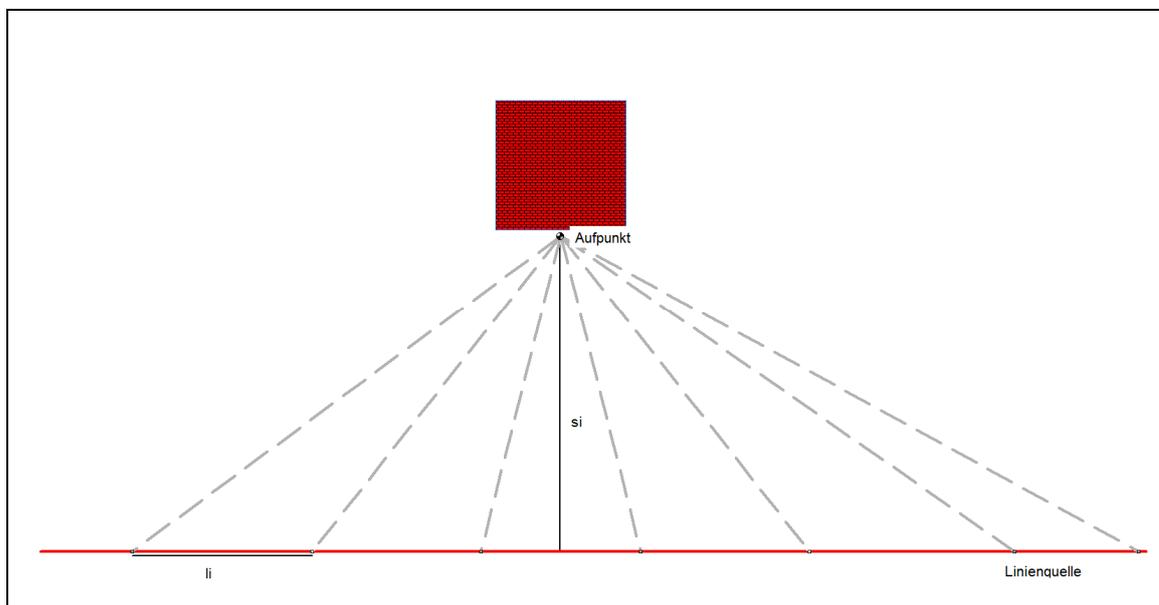
werden, können bei der Einzelpunktberechnung (zusätzlich zur grafischen farblichen Darstellung der Belastungen an den Immissionspunkten) Ergebnisse in Form von Tabellen abgelegt werden. Durch die Durchführung von beiden Berechnungsverfahren lassen sich Belastungen in Freiflächen erkennen und die Schallausbreitung bildlich darstellen (**Rasterberechnung**). Zusätzlich können durch die abgelegten Tabellen Maßnahmen besser verglichen werden (Einzelpunktberechnung).

5.5 Ausbreitungsberechnung in IMMI

Die mit IMMI durchgeführten Ausbreitungsberechnungen gehen von einer freien Schallausbreitung aus. Dabei werden die Einflüsse des Ausbreitungswegs berücksichtigt. Bei dem implementierten Berechnungsverfahren werden die ausgedehnten Schallquellen (z.B. Straßen) in genügend kleine Stücke zerlegt und als punktförmige Schallquellen berechnet [IMM13, S. 24]. Die zulässige Größe der Teilstücke richtet sich nach dem Abstandskriterium, das gemäß RLS-90 durch die folgenden Formel beschrieben wird:

$$l_i \leq 0,5 \cdot s_i$$

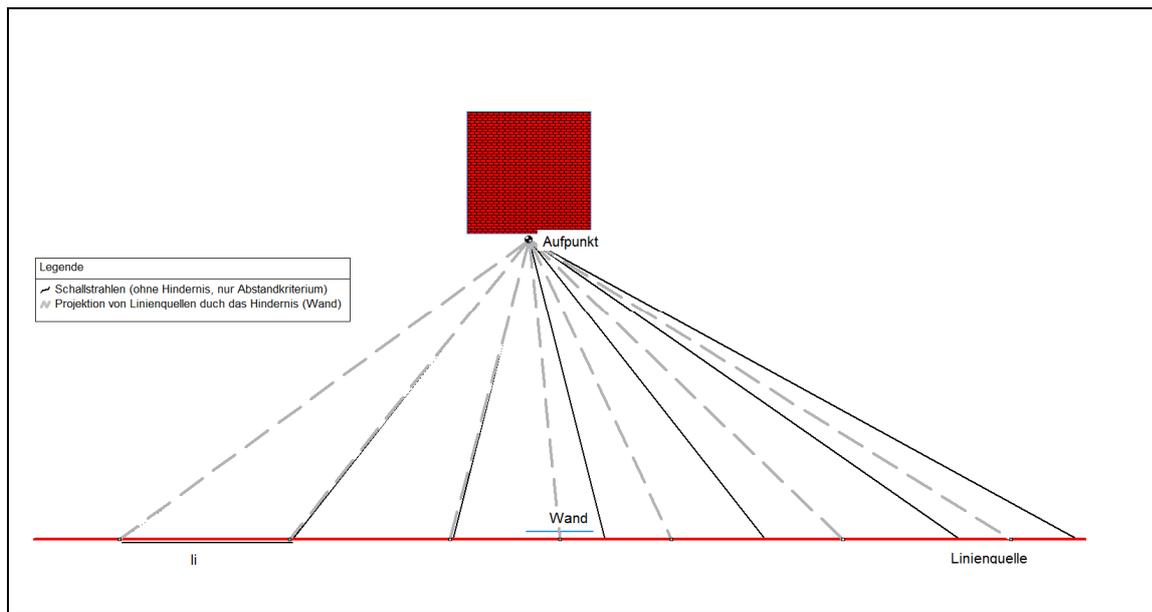
Wie in Abbildung 5.3 dargestellt, entspricht l_i der Länge eines Teilstücks. s_i gibt den Abstand zwischen dem Mittelpunkt des Teilstücks und dem Immissionsort an [IMM13, S. 25]. Die rot markierte Linie stellt eine linienförmige Schallquelle (z.B. eine Straße) dar.



Quelle: *Lärmberechnung mit IMMI* [IMM13, S. 25]

Abbildung 5.3: Abstandskriterium nach RLS 90

Die Projektion bei der Unterteilung von Linienquellen wird durch Schallstrahlen basierend auf dem Abstandskriterium berücksichtigt (siehe Abbildung 5.4) [IMM13, S. 26].



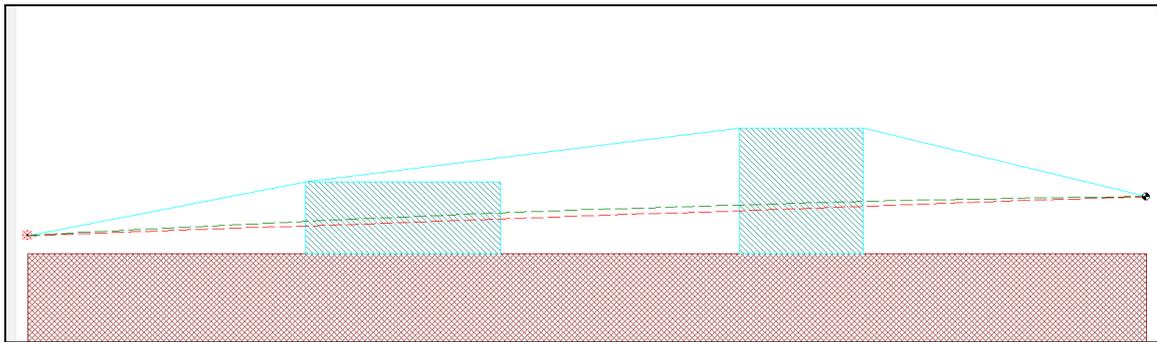
Quelle: Lärmberechnung mit IMMI [IMM13, S. 26]

Abbildung 5.4: Projektion von Linienquellen

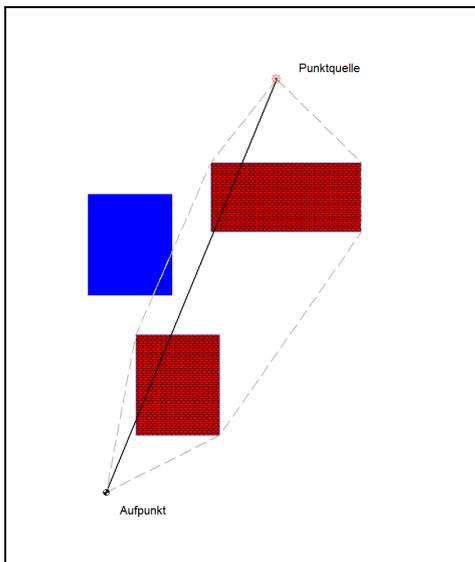
Bei der Berechnung der Schallschirmen werden grundsätzlich zwei Schallwege ermittelt: „Weg über Hindernisse“ und „seitlicher Umweg“. Der zuerst genannte Weg wird in der Regel mittels Gummiband-Methode berechnet [IMM13, S. 28]. Wie in der Abbildung 5.5 (A) zu sehen ist, wird dabei anstatt des direkten Schallwegs (gestrichelten Linien), ein Schallstrahl berechnet, dessen Verlauf gradlinig die Oberkanten der Hindernisse in der X-Z Ebene umhüllt. Für den seitlichen Umweg (siehe Abbildung 5.5 (B)) wird sowohl links als auch rechts des direkten Weges (schwarz durchgezogene Linie) ein Schallstrahl (grau gestrichelten Linien) ausgerechnet, der das Hindernis in der X-Y Ebene umgibt [IMM13, S. 29]. Das auf dem Bild blau markierte Gebäude wird in diesem Beispiel nicht erfasst, da dies vom maßgebenden Schallstrahl (schwarz durchgezogene Linie) nicht geschnitten wird. Zusätzlich werden bei aneinander grenzenden Gebäuden, die als getrennte IMMI-Elemente erfasst werden, entweder neu digitalisiert und als Eins erfasst¹ oder sie über eine gemeinsame Kennziffer miteinander gekoppelt (siehe Abbildung 5.5 (C)) [IMM13, S. 30].

Die in dieser Arbeit ausgewählte Vorschrift (siehe Abschnitt 5.1) berücksichtigt allerdings den seitlichen Umweg nicht (vgl. [IMM13, S. 32]). Anstatt dessen wird eine unendlich große Dämpfung für die Abschirmung angesetzt, sodass nur der Weg von „oben drüber“ ermittelt wird [IMM13, S. 29].

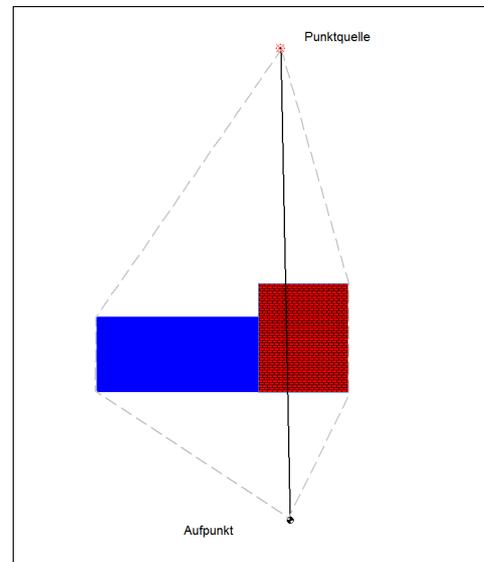
¹sehr umständlich und bei komplexer Geometrie nicht immer machbar.



(A) Weg über das Hindernis - Gummibandmethode



(B) Seitlicher Umweg



(C) Kopplung von Schallschirmen

Quelle: *Lärmberechnung mit IMMI [IMM13, S. 28-31]*

Abbildung 5.5: Berechnung von Schallschirmen

Kapitel 6

Empirische Ergebnisse

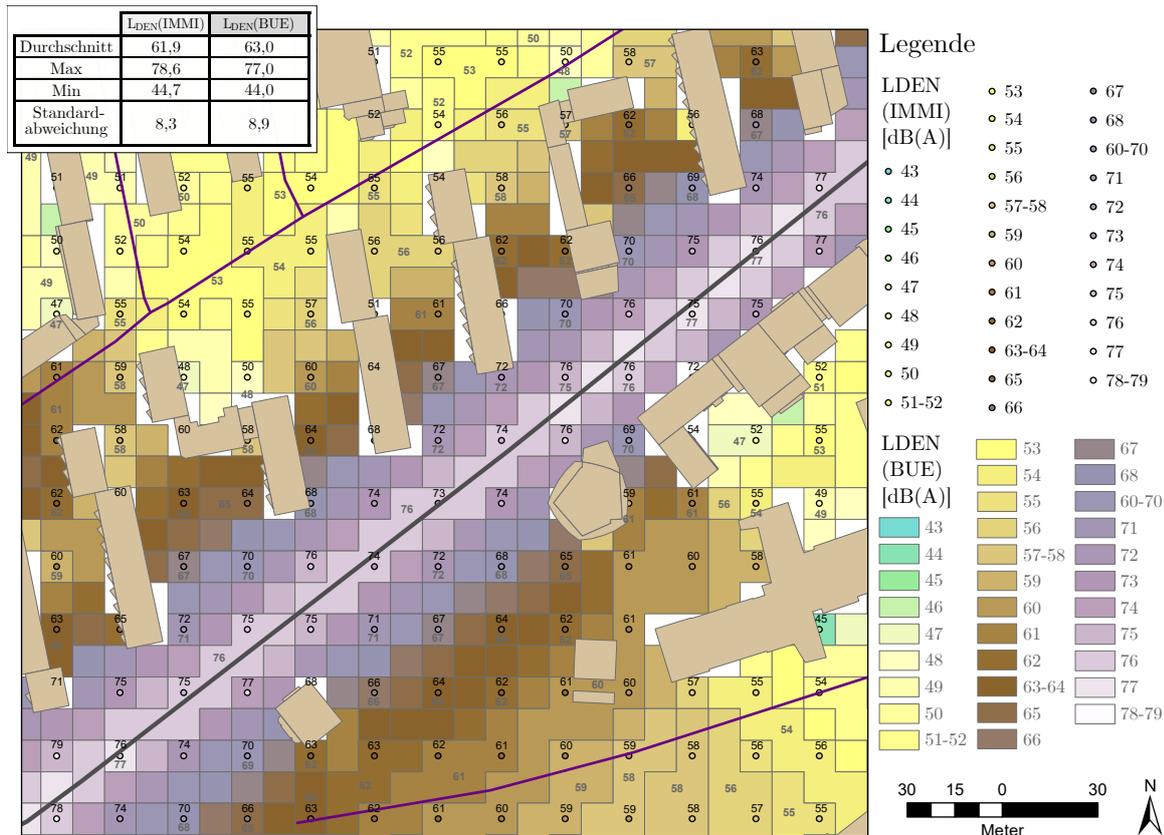
Im Rahmen dieser Arbeit werden für das untersuchte Gebiet verschiedene Baulückenschließungen diskutiert (teil- und geschlossen). Gemäß Abschnitt 4.6 werden drei Bebauungstypologien modelliert und deren Schallausbreitung mit Hilfe des EDV-Programms IMMI berechnet. Die im Abschnitt 4.6 vorgestellten Maßnahmen (M1 bis M7) werden in allen drei Bebauungsszenarien (V0 bis V2) vorgenommen und die daraus entstandenen Beurteilungspegel miteinander verglichen. Dieses Kapitel befasst sich mit der Auswertung der Ergebnisse.

6.1 Validierung des Modells

Um das in IMMI aufgebaute Modell zu validieren, wird mit IMMI der Null-Zustand zusätzlich nach der VBUS gemäß Vorgaben der VBEB berechnet. Erst dadurch ist ein Vergleich der strategischen Lärmkarte der Behörde für Umwelt und Energie (BUE) und dem Modell in IMMI. In der Abbildung 6.1 werden beide Karten übereinander gelegt. Das Punktraster stellt dabei den von IMMI berechneten Lärmindex dar (schwarz markierte Werte). Das darunterliegende Flächenraster bildet L_{DEN} aus der Lärmkarte ab (grau markierte Werte). Eine Übersichtstabelle der zusammengefassten Ergebnisse ist ebenfalls der Abbildung zu entnehmen.

Bei der Rasterberechnung mit IMMI werden Beurteilungspunkte in regelmäßigem Abstand berechnet (siehe Abschnitt 5.4). Die Rasterfläche aus der Lärmkarte zeigt dagegen ein unregelmäßiges Muster, mit einer höheren Dichte von Knotenpunkten nah der Lübecker Straße, in höherem Pegelbereich. In den südöstlichen und nordwestlichen Arealen mit niedrigeren Pegeln weist die Lärmkarte eine geringere Dichte von Knotenpunkten auf.

Bei dem Vergleich wird das geschlossene System aus der Abbildung 6.1 untersucht, dessen Grenzen der Rahmen des Bildes ist. Dabei werden insgesamt 371 Datenpunkten aus der Lärmkarte und 169 Datenpunkte aus IMMI erfasst. Trotz der unterschiedlichen Dichteverteilung und Anzahl an Datenpunkten der beiden Modelle, variieren die ermittelten durchschnittlichen, maximalen und minimalen Lärmindizes um nur 1 dB(A). Durch die geringere Anzahl an Datenpunkten im hohen Pegelbereich, be-



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung 6.1: Vergleich L_{DEN} (BUE) mit L_{DEN} (IMMI)

rechnet sich mit IMMI ein kleinerer durchschnittlicher L_{DEN} als bei der Lärmkarte festzustellen ist, obwohl der maximale und minimale Wert bei IMMI größer ist (siehe Abbildung 6.1). Die Standardabweichungen bei beiden Modellen sind ähnlich (IMMI: 8,3 dB(A). BUE: 8,9 dB(A)). **Somit erscheint das Modell aus IMMI plausibel.**

6.2 Beurteilungspegel und Lärmpegelreduktion

Die in diesem Abschnitt dargestellten Beurteilungspegel basieren auf den erhobenen Datensätzen der Immissionspunktberechnungen. Die Wirkungsabschätzung der untersuchten Maßnahmen erfolgt in zwei Ebenen.

Zum einen werden mit den Daten aus den Immissionspunkten an bestehender Bebauung (schwarz-weiß markierte Punkte in der Abbildung 5.2) wichtige Pegel und Reduktionen für das gesamte Gebiet ermittelt (Tabelle 6.1).

Zum anderen ermöglichen die Daten aus den Immissionspunkten der geplanten Bauten (blau-weiß markierte Punkte in der Abbildung 5.2) eine Wirkungsabschätzung auf der lärmzugewandten Seite (Tabelle 6.2).

Tabelle 6.1 bietet eine Übersicht der relevanten Beurteilungspegel¹ und deren Reduktionen infolge der einzelnen Maßnahmen für das gesamte Gebiet. Sie beinhaltet den durchschnittlichen Beurteilungspegel der jeweiligen Maßnahme in der jeweiligen Variante sowie den maximal und minimal errechneten Wert. Zudem werden dort Standardabweichungen angegeben.

Um die Lärmpegelreduktion der jeweiligen Variante darzustellen, wird bei jedem Datensatz die absolute Differenz zum Null-Zustand errechnet. Dies wird durch folgende Formel beschrieben:

$$\Delta L_{r,M_i} = L_{r,M_i}(V_i) - L_{r,M_0}(V_0)$$

Dabei entspricht L_{r,M_i} dem Beurteilungspegel der jeweiligen Maßnahme M_i , V_i der untersuchten Variante und L_{r,M_0} dem Beurteilungspegel der Referenzvariante im Null-Zustand. Auch hier wird die durchschnittliche, maximale und minimale Differenz sowie Standardabweichung der jeweiligen Variante und Maßnahme berechnet. Diese Ergebnisse sind in der zweiten Hälfte der Tabelle 6.1 zu finden.

Analog dazu werden relevante Beurteilungspegel und Reduktionen, welche auf den berechneten Daten aus den blau-weiß markierten Immissionspunkten (siehe Abbildung 5.2) basieren, auf der lärmzugewandten Seite ermittelt und in Tabelle 6.2 zusammengefasst.

6.2.1 Ist-Zustand

Bei der Maßnahme M0 und Variante V0 wird der Null-Zustand bzw. Ist-Zustand simuliert.

Im Anhang B sind Beurteilungspegel sowohl für den Tages- als auch für den Nachtzeitraum grafisch dargestellt.

Tageszeitraum

Wie in der Tabelle 6.1 zu sehen ist, wird während des Tageszeitraums beim Null-Zustand ein durchschnittlicher Beurteilungspegel von 58,2 dB(A) und eine Standardabweichung von 8,1 dB(A) berechnet. Der höchste Beurteilungspegel von ca. 75 dB(A)² wird am südwestlichen Immissionspunkt I1 (siehe Abbildung 5.2), der sich am Knotenpunkt Lübecker Straße - Mühlendamm befindet, lokalisiert. Grund dafür ist das starke Verkehrsaufkommen auf der Lübecker Straße und dem Mühlendamm sowie der Zuschlag aus der LSA an benannter Kreuzung.

Nachtzeitraum

Nachts wird im Null-Zustand einen durchschnittlichen Beurteilungspegeln von 50,5 dB(A)

¹ Alle Beurteilungspegel werden gemäß Anhang A sowohl für den Tages- als auch für den Nachtzeitraum in Anlehnung an der 16. BImSchV berechnet.

² Die ermittelten Beurteilungspegel werden mit einer Nachkommastelle angegeben. In dieser Arbeit werden die Werte gemäß Rundungsregel der DIN 1333 ab- bzw. aufgerundet (mathematische Rundung, d.h. Abrundung bei $\leq 0,4$, Aufrundung bei $\geq 0,5$).

Tabelle 6.1: Wichtige Pegel und Reduktionen im gesamten Gebiet

Pegel, Tag [6-22h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	58,2	53,5	51,8	74,7	74,8	74,8	43,2	43,1	43,0	8,1	10,0	10,2
M1	Tempo 30 (T30)	56,7	52,5	51,1	72,8	72,9	72,9	42,7	42,6	42,3	7,8	9,6	9,9
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	57,1	52,8	51,3	73,3	73,5	73,5	42,8	42,7	42,5	7,9	9,7	10,0
M3	LKW-% u. T30	55,8	52,0	50,7	71,7	71,8	71,8	42,4	42,1	41,9	7,7	9,4	9,6
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	58,2	53,4	51,8	74,6	74,7	74,7	43,2	43,0	43,0	8,1	10,0	10,2
M5	RQS 29 u. LKW-%	57,1	52,8	51,3	73,2	73,3	73,3	42,8	42,7	42,5	7,9	9,7	9,9
M6	RQS 29 u. T30	56,6	52,5	51,1	72,7	72,8	72,8	42,7	42,6	42,3	7,8	9,6	9,8
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	55,8	52,0	50,7	71,6	71,8	71,8	42,4	42,1	41,9	7,7	9,4	9,6

Pegel, Nacht [22-6h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	50,5	45,6	43,9	67,3	67,4	67,4	35,2	35,0	34,8	8,2	10,1	10,3
M1	Tempo 30 (T30)	49,0	44,6	43,1	65,4	65,6	65,6	34,5	34,4	34,3	7,9	9,8	10,0
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	49,4	44,9	43,3	66,0	66,1	66,1	34,7	34,5	34,4	8,0	9,9	10,1
M3	LKW-% u. T30	48,1	44,0	42,7	64,4	64,5	64,5	34,2	34,1	33,8	7,8	9,5	9,7
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	50,5	45,6	43,8	67,2	67,3	67,3	35,2	35,0	34,8	8,2	10,1	10,3
M5	RQS 29 u. LKW-%	49,4	44,8	43,3	65,8	66,0	66,0	34,7	34,5	34,4	8,0	9,8	10,0
M6	RQS 29 u. T30	48,9	44,6	43,1	65,3	65,4	65,4	34,5	34,4	34,3	7,9	9,7	9,9
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	48,0	44,0	42,7	64,3	64,4	64,4	34,2	34,1	33,8	7,8	9,5	9,7

$\Delta L_{r, M_i} = L_{r, M_i}(V_i) - L_{r, M_0}(V_0)$ Tag [6-22h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	0,0	-4,7	-6,4	0,0	-20,7	-20,8	0,0	0,1	0,1	0,0	5,9	6,2
M1	Tempo 30 (T30)	-1,5	-5,7	-7,1	-2,3	-21,7	-21,8	0,0	0,0	0,0	0,8	5,8	6,2
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	-1,1	-5,4	-6,9	-1,7	-21,4	-21,5	0,0	0,0	0,0	0,6	5,9	6,2
M3	LKW-% u. T30	-2,4	-6,2	-7,5	-3,8	-22,3	-22,3	0,0	0,0	0,0	1,3	5,8	6,2
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	0,0	-4,7	-6,4	-0,1	-20,7	-20,8	0,1	0,0	0,0	0,0	5,9	6,2
M5	RQS 29 u. LKW-%	-1,1	-5,4	-6,9	-1,8	-21,5	-21,5	0,0	0,0	0,0	0,6	5,9	6,2
M6	RQS 29 u. T30	-1,5	-5,7	-7,1	-2,4	-21,7	-21,8	0,0	0,0	0,0	0,8	5,8	6,2
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	-2,4	-6,2	-7,5	-3,9	-22,3	-22,3	0,0	0,0	0,0	1,3	5,8	6,2

$\Delta L_{r, M_i} = L_{r, M_i}(V_i) - L_{r, M_0}(V_0)$ Nacht [6-22h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	0,0	-4,9	-6,7	0,0	-21,0	-21,1	0,0	0,1	0,1	0,0	6,1	6,4
M1	Tempo 30 (T30)	-1,6	-5,9	-7,4	-2,4	-22,2	-22,2	0,0	0,0	0,0	0,8	6,0	6,4
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	-1,1	-5,7	-7,2	-1,7	-21,8	-21,9	0,0	0,0	0,0	0,5	6,0	6,4
M3	LKW-% u. T30	-2,5	-6,5	-7,8	-3,8	-22,7	-22,8	0,0	0,0	0,0	1,3	6,0	6,4
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	0,0	-4,9	-6,7	-0,1	-21,0	-21,1	0,1	0,0	0,0	0,0	6,1	6,4
M5	RQS 29 u. LKW-%	-1,1	-5,7	-7,3	-1,8	-21,8	-21,9	0,0	0,0	0,0	0,6	6,0	6,4
M6	RQS 29 u. T30	-1,6	-5,9	-7,5	-2,5	-22,2	-22,2	0,0	0,0	0,0	0,8	6,0	6,4
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	-2,5	-6,5	-7,9	-3,9	-22,7	-22,8	0,0	0,0	0,0	1,3	6,0	6,4

Quelle: Eigene Darstellung

und eine Standardabweichung von 8,2 dB(A) ermittelt. Obwohl im Untersuchungsgebiet nachts der Grenzwert von 49 dB(A) (siehe Abschnitt 5.1) nicht überschritten werden soll, zeigt der Immissionspunkt I1 den höchsten Immissionspegel von ca. 67 dB(A).

Auf der lärmzugewandten Seite lässt sich ein relativ hoher durchschnittlicher Beurteilungspegel von ca. 71/64 dB(A) Tag/Nacht feststellen. Die Standardabweichung

beträgt in beiden Zeiträumen ca. 2 dB(A) (siehe Tabelle 6.2).

Tabelle 6.2: Wichtige Pegel und Reduktionen auf der lärmzugewandten Seite

Pegel, Tag [6-22h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	71,0	70,9	70,8	74,7	74,7	74,7	68,77	68,8	68,4	1,9	1,8	1,9
M1	Tempo 30 (T30)	68,8	68,6	68,5	72,6	72,4	72,4	66,48	66,5	66,1	1,9	1,9	1,9
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	69,4	69,2	69,1	73,3	73,1	73,1	67,14	67,2	66,8	1,9	1,9	1,9
M3	LKW-% u. T30	67,4	67,2	67,1	71,3	71,1	71,1	65,06	65,1	64,7	1,9	1,9	2,0
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	70,9	70,8	70,7	74,6	74,5	74,5	68,68	68,7	68,3	1,9	1,8	1,9
M5	RQS 29 u. LKW-%	69,3	69,1	69,0	73,1	72,9	72,9	67,05	67,1	66,7	1,9	1,8	1,9
M6	RQS 29 u. T30	68,7	68,5	68,4	72,5	72,3	72,3	66,39	66,4	66,0	1,9	1,9	1,9
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	67,3	67,1	67,0	71,1	70,9	70,9	64,97	65,0	64,6	1,9	1,9	2,0

Pegel, Nacht [22-6h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	63,7	63,5	63,4	67,3	67,3	67,3	61,4	61,4	61,0	1,9	1,8	1,9
M1	Tempo 30 (T30)	61,4	61,2	61,1	65,3	65,1	65,1	59,1	59,1	58,7	1,9	1,9	2,0
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	62,0	61,8	61,8	65,9	65,7	65,7	59,8	59,8	59,4	1,9	1,9	1,9
M3	LKW-% u. T30	60,0	59,8	59,7	63,9	63,7	63,7	57,7	57,7	57,3	1,9	1,9	2,0
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	63,5	63,4	63,3	67,2	67,2	67,2	61,3	61,3	60,9	1,9	1,8	1,9
M5	RQS 29 u. LKW-%	61,9	61,7	61,6	65,8	65,6	65,6	59,7	59,7	59,3	1,9	1,9	1,9
M6	RQS 29 u. T30	61,3	61,1	61,0	65,1	64,9	64,9	59,0	59,0	58,6	1,9	1,9	1,9
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	59,9	59,7	59,6	63,8	63,6	63,6	57,6	57,6	57,2	1,9	1,9	2,0

$\Delta L_{r, M_i} = L_{r, M_i}(V_i) - L_{r, M_0}(V_0)$ Tag [6-22h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	0,0	-0,2	-0,3	0,0	-0,4	-0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,1
M1	Tempo 30 (T30)	-2,3	-2,5	-2,6	-2,3	-2,6	-2,7	-2,2	-2,3	-2,4	0,1	0,1	0,1
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	-1,6	-1,8	-1,9	-1,7	-2,0	-2,0	-1,5	-1,6	-1,8	0,0	0,1	0,1
M3	LKW-% u. T30	-3,7	-3,9	-4,0	-3,8	-4,1	-4,1	-3,5	-3,7	-3,8	0,1	0,1	0,1
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	-0,1	-0,3	-0,4	-0,1	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	-0,3	0,0	0,1	0,1
M5	RQS 29 u. LKW-%	-1,7	-1,9	-2,0	-1,8	-2,1	-2,1	-1,6	-1,7	-1,9	0,0	0,1	0,1
M6	RQS 29 u. T30	-2,4	-2,6	-2,7	-2,4	-2,7	-2,8	-2,2	-2,4	-2,6	0,1	0,1	0,1
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	-3,8	-4,0	-4,1	-3,9	-4,2	-4,2	-3,5	-3,8	-3,9	0,1	0,1	0,1

$\Delta L_{r, M_i} = L_{r, M_i}(V_i) - L_{r, M_0}(V_0)$ Nacht [6-22h] [dB(A)]		Durchschnitt			Max			Min			Standardabweichung		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	0,0	-0,2	-0,3	0,0	-0,4	-0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,1
M1	Tempo 30 (T30)	-2,3	-2,5	-2,6	-2,3	-2,6	-2,7	-2,2	-2,3	-2,4	0,0	0,1	0,1
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	-1,6	-1,8	-1,9	-1,7	-2,0	-2,0	-1,6	-1,6	-1,8	0,0	0,1	0,1
M3	LKW-% u. T30	-3,7	-3,9	-4,0	-3,8	-4,1	-4,1	-3,5	-3,7	-3,8	0,1	0,1	0,1
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	-0,1	-0,3	-0,4	-0,1	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	-0,3	0,0	0,1	0,1
M5	RQS 29 u. LKW-%	-1,7	-1,9	-2,0	-1,8	-2,1	-2,1	-1,6	-1,7	-1,9	0,0	0,1	0,1
M6	RQS 29 u. T30	-2,4	-2,6	-2,7	-2,4	-2,8	-2,8	-2,3	-2,4	-2,6	0,1	0,1	0,1
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	-3,8	-4,0	-4,1	-3,9	-4,2	-4,2	-3,6	-3,8	-3,9	0,1	0,1	0,1

Quelle: Eigene Darstellung

6.2.2 Maßnahme M0 (Variante V1 und V2)

Bei der Maßnahme M0 wird in dieser Arbeit lediglich die Wirkung der Randbebauung untersucht. Gemäß Abschnitt 4.6 werden durch Variante V0 die Immissionen im Be-

stand mit offener Raumkante (Ist-Zustand) berechnet. Variante V1 entspricht einer teil-geschlossenen Randbebauung und Variante V2 einer geschlossenen Raumkante. In der Abbildung 4.13 werden die Varianten grafisch dargestellt.

Tageszeitraum

Wie in der Tabelle 6.1 zu sehen ist, wird im Tageszeitraum bei V1 ein durchschnittlicher Beurteilungspegel von 53,5 dB(A) berechnet. Bei V2 beträgt dieser nur noch 51,8 dB(A). Somit ergibt sich im Vergleich zum Null-Zustand eine durchschnittliche Reduktion um -4,7 dB(A) bei V1 bzw. um -6,4 dB(A) bei V2.

Bei beiden Varianten wird am Immissionspunkt I1 (siehe Abbildung 5.2) ein maximaler Beurteilungspegel von ca. 75 dB(A) ermittelt.

Nachtzeitraum

Bei V1 wird nachts ein um -4,9 dB(A) kleinerer durchschnittlicher Beurteilungspegel von 45,6 dB(A) berechnet (siehe Tabelle 6.1). Dessen Standardabweichung beträgt 10,1 dB(A). Bei V2 wird ein durchschnittlicher Beurteilungspegel von 43,9 dB(A) und eine Standardabweichung von 10,3 dB(A) ermittelt. Die durchschnittliche Lärmpegelreduktion bei V2 ergibt -6,7 dB(A).

Auch wie beim Null-Zustand lässt sich bei V1 und V2 der maximale Beurteilungspegel (hier ca. 67 dB(A)) am Immissionspunkt I1 feststellen.

Die maximalen Lärmpegelreduktionen in beiden Beurteilungszeiträumen werden am Immissionspunkt I4 beobachtet (siehe Abbildung 5.2). Bei beiden Varianten (V1 und V2) ergeben die Berechnungen eine maximale Lärmpegelreduktion von ca. -21 dB(A) sowohl tags als auch nachts (siehe Tabelle 6.1). Diese hohe Reduktion lässt sich aus der unmittelbaren Nähe des Immissionsortes zu dem geplanten Gebäude zwischen G14 und G15 (vgl. Abbildung 5.2), das sowohl bei V1 als auch bei V2 vorkommt, erklären.

Aus der Tabelle 6.2 lässt sich erkennen, dass innerhalb der Maßnahme M0 die Beurteilungspegel der jeweiligen Varianten auf der lärmzugewandten Seite sich nicht nennenswert voneinander unterscheiden. Dementsprechend sind die Lärmpegelreduktionen durch die Randbebauung nahezu Null. Dies lässt sich in beiden Zeiträumen feststellen. Im Durchschnitt wird entlang der Lübecker Straße ein Beurteilungspegel von 71/64 dB(A) Tag/Nacht und eine kleine Standardabweichung von 2 dB(A) ermittelt.

6.2.3 Maßnahme M1 bis M7 (Variante V0)

Um einen höheren Beitrag zur Reduktion von Lärmbelastungen zu leisten, wird in dieser Arbeit zusätzlich neben verkehrsregulierenden Maßnahmen auch eine straßenbauliche Maßnahme untersucht. Gemäß Abschnitt 4.6 werden die Maßnahmen M1 bis M7 jeweils in den Varianten V0 bis V2 simuliert. Die daraus resultierenden Beurteilungspegel werden in dem Anhang C bis I grafisch dargestellt.

Zur Abschätzung der lärmindernden Wirkung der einzelnen Maßnahmen, befasst sich dieser Abschnitt mit den Beurteilungspegeln und Differenzen für den Fall mit offener Zeilenbebauung (V0). Im anschließenden Abschnitt werden die Ergebnisse aus der teil-geschlossenen (V1) und geschlossenen (V2) Randbebauung betrachtet.

Wie in Tabelle 6.1 zu sehen ist, stellt sich die Einführung eines Tempolimits von 30 km/h (M1) als die effektivste Maßnahme heraus. Allein durch M1 wird im ganzen Gebiet eine durchschnittliche Lärmpegelreduktion von -1,5/-1,6 dB(A) Tag/Nacht und eine maximale Differenz von -2,3/-2,4 dB(A) Tag/Nacht erreicht. Somit wird bei M1 im Durchschnitt ein Beurteilungspegel von 56,7/49,0 dB(A) Tag/Nacht berechnet. Der höchste Lärmpegel von ca. 73/65 dB(A) Tag/Nacht lässt sich nicht nur bei V0, sondern auch bei V1 und V2 am Immissionspunkt I1 in beiden Zeiträumen feststellen.

Bei der Reduzierung des LKW-Anteils (M2) ohne veränderte Bebauung (V0) wird ein durchschnittlicher Pegel von 57,1/49,4 dB(A) Tag/Nacht berechnet (siehe Tabelle 6.1). Der maximal berechnete Beurteilungspegel beträgt sowohl bei V0 als auch bei V1 und V2 ca. 73/66 dB(A) Tag/Nacht und wird wie bei M1 am Punkt I1 festgestellt. In beiden Zeiträumen senkt sich bei V0 der durchschnittliche Lärmpegel um -1,1 dB(A), wobei -1,7 dB(A) bei I4 die maximal erreichbare Reduktion ist.

Die Maßnahme M3 stellt sich als die effektivste kombinierte Maßnahme heraus. Im Durchschnitt wird bei M3 ein Beurteilungspegel von 55,8/48,1 dB(A) Tag/Nacht ermittelt (siehe Tabelle 6.1). Auch hier wird bei allen drei Varianten der höchsten Wert an I1 identifiziert. Dieser beträgt ca. 72/64 dB(A) Tag/Nacht. Im gesamten Untersuchungsgebiet erzielt M3 im Durchschnitt eine Reduktion von -2,4/-2,5 dB(A) Tag/Nacht, wobei maximal eine Pegeldifferenz von -3,8 dB(A) erreicht wird.

Bei der Reduzierung des Straßenquerschnitts (M4) wird im Vergleich zum Null-Zustand keine nennenswerte Veränderung des durchschnittlichen Beurteilungspegels festgestellt.

Aufgrund der geringfügigen Wirkung von M4 unterscheiden sich die kombinierten Maßnahmen M5 bis M7 nicht nennenswert von M1, M2 bzw. M3. Daher wird in diesem Abschnitt auf eine Erläuterung dieser Ergebnisse verzichtet.

Alle in diesem Abschnitt vorgestellten Extrema der Lärmpegelreduktion bzw. der Lärmpegel werden an den Immissionspunkten I3 bzw. I1 identifiziert (siehe Abbildung 5.2).

6.2.4 Maßnahme M1 bis M7 (Variante V1 und V2)

Bei der Varianten V1 und V2 ist ein hoher Lärminderungseffekt der Schließung der Baulücken zu verdanken. In diesem Abschnitt soll die Wirkung der Randbebauung in Kombination mit u.a. verkehrsregulierenden Maßnahmen untersucht werden.

Aus der Tabelle 6.1 lässt sich erkennen, dass sich für die jeweiligen Maßnahmen der maximal berechnete Beurteilungspegel bei allen drei Varianten (auch bei V0) nahezu gleicht. Da diese schon im Abschnitt 6.2.3 detailliert dargestellt wurden, wird hier auf eine zusätzliche Erläuterung der Werte verzichtet.

Um die tatsächliche Minderungswirkung durch die Maßnahmen M1 bis M7 besser darzustellen, werden in diesem Abschnitt die zusätzlichen Reduktionen, die zu M0 erreicht werden, vorgestellt.

Die Kombination aus M1 und der teil-geschlossenen Randbebauung (V1) ergibt zu der in M0 und V1 erreichten durchschnittlichen Reduktion einen zusätzlichen Beitrag um $-0,9/-1,0$ dB(A) Tag/Nacht. Somit berechnet sich bei M1 und V1 im Durchschnitt einen Pegel von $52,5/44,6$ dB(A) Tag/Nacht (siehe Tabelle 6.1). Analog dazu lässt sich feststellen, dass M1 in Kombination mit der komplett geschlossenen Raumkante (V2) zu einer zusätzlichen Reduktion um $-0,7/-0,8$ dB(A) Tag/Nacht führt. So wird im Untersuchungsgebiet ein durchschnittlicher Beurteilungspegel von $51,1/43,1$ dB(A) Tag/Nacht berechnet.

Hinsichtlich der Immissionen auf der lärmzugewandten Seite lässt sich feststellen, dass die zusätzliche Reduktion mit einem Wert von $-2,3$ dB(A) bei beiden Varianten und in beiden Zeiträumen gleich groß sind. So wird im Durchschnitt entlang der Lübecker Straße bei beiden Varianten ein Lärmpegel von ca. $69/61$ dB(A) Tag/Nacht berechnet (siehe Tabelle 6.2).

M2 in Kombination mit V1 erzielt in beiden Zeiträumen eine zusätzliche Reduktion von $-0,7$ dB(A). In Kombination mit V2 ruft diese eine zusätzliche Reduktion um $-0,5/-0,6$ dB(A) Tag/Nacht hervor. So werden durchschnittlich im ganzen Untersuchungsgebiet Beurteilungspegel von $52,8/44,9$ dB(A) Tag/Nacht bei V1 bzw. $51,3/43,3$ dB(A) Tag/Nacht bei V2 ermittelt.

Auf der lärmzugewandten Seite reduzieren sich die Immissionen bei beiden Varianten und beiden Zeiträumen um $-1,6$ dB(A). So lässt sich hier im Durchschnitt ein Beurteilungspegel von ca. $69/62$ dB(A) Tag/Nacht feststellen.

Die Kombination aus M1 und M2, also M3, erzielt zu M0 eine weitere Reduktion um $-1,5/-1,5$ dB(A) Tag/Nacht bei V1 bzw. um $-1,1/-1,2$ dB(A) Tag/Nacht bei V2. Der durchschnittliche Beurteilungspegel beträgt hier ca. $52/44$ dB(A) Tag/Nacht bei V1 bzw. ca. $51/43$ dB(A) Tag/Nacht bei V2.

Wie im theoretischen Teil beschrieben, ist die Lärmreduzierungs Wirkung von solchen Maßnahmen vor allem auf der lärmzugewandten Seite bemerkbar. Bei der Betrachtung der Lärmimmissionen lediglich entlang der Lübecker Straße, lässt sich feststellen, dass M3 zu einer zusätzlichen Reduktion um $-3,7$ dB(A) bei beiden Varianten und beiden Zeiträumen führt. Nichtsdestotrotz wird der Grenzwert von $59/49$ dB(A) Tag/Nacht immer noch überschritten und im Durchschnitt ca. $67/60$ dB(A) Tag/Nacht sowohl bei V1 als auch bei V2 berechnet (siehe Tabelle 6.2).

Bei M4 werden auch hier nahezu gleiche Werte wie bei M0 ermittelt. Dementsprechend werden bei der kombinierten Maßnahmen M5, M6 und M7 keine nennenswerten Unterschiede im Vergleich zu den Werten aus den Einzelmaßnahmen M1, M2 und M3 festgestellt. Aufgrund dessen werden auch hier diese Ergebnisse nicht weiter betrachtet.

Bei allen in diesem Abschnitt behandelten Maßnahmen und Varianten ähneln sich die maximalen erreichbaren Lärmpegelreduktionen. Im Tageszeitraum liegt diese zwischen -21 und -22 dB(A) und im Nachtzeitraum zwischen -21 und -23 dB(A) (siehe Tabelle 6.1). Anders als bei V0 ist die maximale Reduktion bei V1 und V2 in allen Maßnahmen bei I4 (siehe Abbildung 5.2) festzustellen.

6.2.5 Schlussfolgerungen

Basierend auf den vorgestellten Ergebnissen werden in diesem Abschnitt folgende wichtige Schlussfolgerungen zusammengefasst und diskutiert:

- Bei allen Maßnahmen in Kombination mit der offenen Raumkante (V0) zeigt der Immissionspunkt I3 die maximal erreichbare Lärmpegelreduktion. Allerdings wird innerhalb einer Maßnahme bei allen Immissionspunkten auf der lärmzugewandten Seite eine vergleichbare ähnliche Reduktionswirkung erzielt (siehe Tabelle 6.2). Grund für die hohe Lärmreduktion ist die Verstetigung und Verlangsamung des Verkehrs, die durch die Maßnahmen hervorgerufen wird. Die höchste Reduktion von ca. -4 dB(A) wird auf der lärmzugewandten Seite bei den Maßnahmen M3 und M7 festgestellt.
- Bei allen Maßnahmen, Varianten und Zeiträumen wird am Immissionspunkt I1 der höchste Beurteilungspegel berechnet. Grund dafür ist das hohe Verkehrsaufkommen und der lichtsignalisierte Knotenpunkt.
- Alle in der Tabelle 6.1 angegebenen Minima werden ebenfalls bei allen Maßnahmen, Varianten und Zeiträumen an dem selben Immissionsort, I2, ermittelt. Dies lässt sich durch den Abschirmungseffekt bedingt durch die Gebäudeeinheit G5 (siehe Abbildung 5.2) erklären. Im Tageszeitraum liegt der minimale Pegel zwischen 42 und 43 dB(A) und im Nachtzeitraum zwischen 34 und 35 dB(A). Um zu verstehen, wie der Schall sich im Untersuchungsgebiet ausbreitet, werden im Anhang J die Rasterergebnisse aus M0 in allen drei Varianten dargestellt.
- Die Schließung der Baulücken wird durch ihre hohe lärmmindernde Wirkung als besonders effektiv hervorgehoben. Die teil-geschlossene Raumkante (V1, M0) setzt im Durchschnitt den Lärm um -4,7/-4,9 dB(A) Tag/Nacht herab (siehe Tabelle 6.1), ohne den Lärmpegel entlang der Lübecker Straße zu erhöhen (vgl. Tabelle 6.2). Die komplett geschlossene Randbebauung (V2, M0) verändert den Lärmpegel entlang der Straße ebenfalls nicht. Sie ruft eine durchschnittliche Lärmpegelreduktion von -6,4/-6,7 dB(A) Tag/Nacht hervor.
- Nichtsdestotrotz zeigt die Randbebauung (V1 und V2) ohne zusätzliche Maßnahmen (M0) auf der lärmzugewandten Seite keine nennenswerten Verbesserungen hinsichtlich der Immissionen. So wird im Durchschnitt weiterhin ein Lärmpegeln von ca. 71/63 dB(A) Tag/Nacht erfasst (siehe Tabelle 6.2). Am Knotenpunkt Lübecker Straße - Mühlendamm wird sogar 75/67 dB(A) Tag/Nacht berechnet.
- Bei allen Maßnahme in Kombination mit der Variante V1 bzw. V2 wird die höchste erreichbare Reduktion am Immissionspunkt I4 lokalisiert. Sowohl bei V1 als auch bei V2 liegt diese tags zwischen -21 und -22 dB(A) bzw. nachts zwischen -21 und -23 dB(A) (siehe Tabelle 6.1). Die unmittelbare Nähe des Immissionsortes zum herangerückten Gebäude zwischen G14 und G15 (vgl. Abbildung 5.2), welches sowohl bei V1 als auch bei V2 vorkommt, und der daraus resultierende Abschirmungseffekt sind Gründe für die hohe Reduktion.

- Bei der Betrachtung der Maßnahmen M1 bis M7 und der Varianten V1 und V2 lässt sich für das ganze Gebiet feststellen, dass der Lärmpegel im Durchschnitt bei der teil-geschlossenen Raumkante um 1,5/1,6 dB(A) Tag/Nacht höher ist (vgl. Tabelle 6.1).
- Auf der lärmzugewandten Seite sind innerhalb einer Maßnahme die Lärmpegel nahezu gleich (siehe Tabelle 6.2). Daher ist für das Ausmaß der Immissionen entlang der Lübecker Straße die Art der Bebauung (geschlossen, teil-geschlossen oder offen) kein entscheidendes Kriterium.
- Bei der Betrachtung der Maßnahmen M1 bis M7 und der Varianten V1 und V2 lässt sich im gesamten Gebiet feststellen, dass innerhalb einer Variante die lärm-mindernde Wirkung der einzelnen Maßnahmen vor allem bei höheren Belastungen bemerkbar ist. So senkt sich beispielsweise tags bei M3 und V1 im Vergleich zu M0 und V1 der maximal berechneten Beurteilungspegel um -3 dB(A), während der minimale Pegel sich lediglich um -1 dB(A) reduziert (vgl. Tabelle 6.1).
- Auf der lärmzugewandten Seite lässt sich dies noch deutlicher erkennen. Im Vergleich zum Null-Zustand ist durch die Randbebauung nahezu keine Minderung bzw. Erhöhung der Lärmbelastungen zu sehen. Erst bei den Maßnahmen M1 bis M7 wird entlang der Lübecker Straße eine Senkung der Beurteilungspegel festgestellt. So werden beispielsweise durch M3 die Immissionen sowohl tagsüber als auch nachts um -3,7 dB(A) gesenkt (vgl. Tabelle 6.2). Eine solche Differenz entspricht der Halbierung der Schallenergie und wird als eine deutliche Veränderung empfunden.
- Hinsichtlich der Lärmimmissionen auf der lärmzugewandten Seite lässt sich feststellen, dass die Standardabweichung bei allen Maßnahmen und Varianten bei ca. 2 dB(A) liegt (siehe Tabelle 6.2). Die Standardabweichung zur durchschnittlichen Lärmpegelreduktion beträgt nur 0,1 dB(A). Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass innerhalb einer Maßnahme die berechneten Beurteilungspegel enger um den Mittelwert liegen. Dies verdeutlichen außerdem die Abbildungen im Anhang J.
- Das Ausmaß der Reduktion der jeweiligen Maßnahme und Variante ist sowohl für den Tages- als auch für den Nachtzeitraum nahezu gleich (siehe Tabelle 6.1) bzw. identisch (siehe Tabelle 6.2). Grund dafür ist, dass die Lärmpegelreduktionen durch die in dieser Arbeit untersuchten Maßnahmen ausschließlich durch die Korrekturfaktoren bedingt sind und diese Korrekturen innerhalb einer Maßnahme in beiden Zeiträumen gleich hoch sind (siehe Anhang A). Bei der Berechnung des Beurteilungspegels fließt der Zeitraum nur in den Mittelungspegel ein. Hierbei hängt der Mittelungspegel ausschließlich von dem LKW-Anteil und der Verkehrsstärke ab, welche dem DTV_w unterliegt. Somit bleibt innerhalb einer Variante bei allen Maßnahmen (selbst bei solchen, die eine Reduktion des LKW-Anteils³ vorsehen) der Mittelungspegel in den jeweiligen Zeiträumen nahezu gleich.

³Bei der Maßnahmen M2, M3, M6 und M7 wird u.a. eine Reduktion des LKW-Anteils von 2 auf 0,55 % vorgesehen. Bei einer solchen geringfügigen Reduktion bleibt der Mittelungspegel nahezu gleich.

6.3 Grenzwertüberschreitung

Der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche ist erst sichergestellt, wenn die Schallbelastung durch Straßenverkehr am maßgeblichen Immissionsort die Immissionsgrenzwerte nicht überschreitet. Daher besteht die Notwendigkeit, Maßnahmen zu entwickeln, die den Lärm auf seinem Ausbreitungsweg eindämmen bzw. an der Quelle dämpfen.

Bei allen untersuchten Maßnahmen handelt es sich um freiwillige Leistungen, bei denen keine wesentliche Änderung am Verkehrsträger nach der 16. BImSchV vorgesehen wird (Lärmsanierung nach Abschnitt 2.5.2). Dementsprechend könnten für alle Maßnahmen die Auslösewerte aus der Tabelle 2.1 als maßgebend festgelegt werden. Jedoch werden in dieser Arbeit die Grenzwerte der 16. BImSchV für alle Maßnahmen zu Grunde gelegt. Grund dafür ist, dass bei solchen hohen lang andauernden Schallexpositionen die Bewohner trotz des finanziellen Aufwandes weiterhin einer unzumutbaren Lärmbelastung ausgesetzt wären (siehe Abschnitt 2.3). Außerdem besteht die Gefahr, dass durch eine Steigerung des Verkehrsaufkommens innerhalb kurzer Zeit eine Sanierung erneut ausgelöst wird.

Mit Hilfe eines Empfindlichkeitsplans, in dem Nutzung und Immissionsgrenzwerte räumlich zugewiesen werden, werden in dieser Arbeit Konfliktpläne erstellt. Im Konfliktplan wird die Differenz aus dem jeweiligen Beurteilungspegel und dem entsprechenden nutzungsabhängigen Grenzwert des Empfindlichkeitsplans gebildet. Dadurch lässt sich erkennen, an welchen Stellen und in welchem Ausmaß Grenzwerte überschritten werden. Hierfür werden in der vorliegenden Arbeit die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV gemäß ausgewiesener Nutzung im B-Plan verwendet (siehe Abschnitt 5.1).

Die Veranschaulichungen der Ergebnisse basieren zum einen auf der Rasterberechnung, welche für die grafische Darstellung verwendet wird. Zum anderen bilden die erhobenen Daten der Punktberechnungen die Grundlagen der dargestellten Übersichtstabellen.

6.3.1 Ist-Zustand

Der Ist-Zustand wird bei der Maßnahme M0 und Variante V0 untersucht. Für die Variante V0 werden Konfliktpläne sowohl für den Tages- als auch für den Nachtzeitraum erstellt und sind in den Abbildungen K.1 und K.2 dargestellt.

Tageszeitraum

Aus der Abbildung K.1 lässt sich erkennen, dass entlang der Lübecker Straße und des Mühlendamms in dem Tageszeitraum die größte Grenzwerteüberschreitung stattfindet. Vor allem am Knotenpunkt Lübecker Straßen - Mühlendamm sowie Lübecker Straße - Neubertstraße treten die höchsten Überschreitungen auf. Es werden an der Fassade der Gebäudeeinheiten G1, G2, G15 und G17 (siehe Abbildung 5.2) Überschreitungen von über 14 dB(A) ermittelt. Die Auswertung der Immissionspunktbe-

rechnung hat ergeben, dass die maximale Überschreitung von 15,7 dB(A) am Immissionspunkt I1 (siehe Abbildung 5.2) auftritt (vgl. Abbildung B.1).

Auch an der lärmabgewandten Seite werden höhere Beurteilungspegel berechnet als erlaubt sind. Bedingt durch vom Mühlendamm ausgehende zusätzliche Lärmbelastung werden vor allem im Südosten an der Gebäudeeinheit G1 hohe Überschreitungen von über 8 dB(A) festgestellt. Im Nordosten zeigen die Gebäudeeinheiten G15 und G16 an der lärmabgewandten Seite Überschreitungen von bis zu 2 dB(A).

Außerdem lässt sich eine hohe Häufigkeit der Überschreitungen erkennen. So lassen sich insgesamt im Null-Zustand bei 42 % der erhobenen Daten Überschreitungen feststellen. Im Durchschnitt wird im ganzen Gebiet tagsüber eine Überschreitung von 2,8 dB(A) und eine Standardabweichung von 4,7 dB(A) berechnet. In der Übersichtstabelle 6.3 sind die Ergebnisse der Untersuchung zusammenfasst.

Tabelle 6.3: Überschreitungen im gesamten Gebiet

Überschreitung der Grenzwerte, Tag [6-22h]		Durchschnitt			Max			Standardabweichung			Häufigkeit*		
		[dB(A)]			[dB(A)]			[dB(A)]			[%]		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	2,8	2,4	2,4	15,7	15,8	15,8	4,7	4,7	4,6	42	29	25
M1	Tempo 30 (T30)	2,2	2,1	2,0	13,8	13,9	13,9	4,1	4,0	4,0	29	25	25
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	2,3	2,2	2,1	14,3	14,5	14,5	4,3	4,2	4,1	36	27	25
M3	LKW-% u. T30	2,0	1,9	1,8	12,7	12,8	12,8	3,7	3,7	3,6	29	25	25
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	2,8	2,4	2,3	15,6	15,7	15,7	4,7	4,6	4,6	42	29	25
M5	RQS 29 u. LKW-%	2,3	2,1	2,1	14,2	14,3	14,3	4,2	4,2	4,1	36	27	25
M6	RQS 29 u. T30	2,2	2,0	2,0	13,7	13,8	13,8	4,1	4,0	3,9	29	25	25
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	1,9	1,8	1,8	12,6	12,8	12,8	3,7	3,6	3,6	29	25	25

Überschreitung der Grenzwerte, Nacht [22-6h]		Durchschnitt			Max			Standardabweichung			Häufigkeit*		
		[dB(A)]			[dB(A)]			[dB(A)]			[%]		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	4,0	3,2	2,9	18,3	18,4	18,4	5,5	5,6	5,5	56	33	25
M1	Tempo 30 (T30)	3,1	2,7	2,6	16,4	16,6	16,6	4,9	4,9	4,9	44	31	25
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	3,3	2,8	2,7	17,0	17,1	17,1	5,1	5,1	5,1	47	31	25
M3	LKW-% u. T30	2,7	2,4	2,4	15,4	15,5	15,5	4,6	4,5	4,5	38	27	25
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	4,0	3,2	2,9	18,2	18,3	18,3	5,5	5,5	5,5	56	33	25
M5	RQS 29 u. LKW-%	3,3	2,8	2,7	16,8	17,0	17,0	5,1	5,1	5,0	47	31	25
M6	RQS 29 u. T30	3,1	2,7	2,6	16,3	16,4	16,4	4,9	4,9	4,8	44	31	25
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	2,7	2,4	2,4	15,3	15,4	15,4	4,6	4,5	4,5	40	27	25

* Bei der Häufigkeit der Überschreitung handelt es sich um den Prozentanteil an Daten, die den Grenzwert überschreiten. Insgesamt sind von jeder Variante 55 Daten vorhanden.

Quelle: Eigene Darstellung

Auf der lärmzugewandten Seite (siehe Tabelle 6.4) werden relativ hohe Überschreitungen berechnet. Entlang der Lübecker Straße wird im Durchschnitt eine Überschreitung von 12 dB(A) und eine Standardabweichung von 9,8 dB(A) berechnet.

Nachtzeitraum

Nachts lässt sich feststellen, dass die Überschreitungen sich noch weiter ausbreiten als im Tageszeitraum. Insgesamt überschreiten nachts ca. 56 % der erhobenen Daten

den Grenzwert von 49 dB(A) (siehe Tabelle 6.3). Die berechnete durchschnittliche Überschreitung ergibt 4 dB(A) und die Standardabweichung 5,5 dB(A).

Wie in der Abbildung K.2 zu sehen ist, reichen auf der nordöstlichen lärmabgewandten Seite die Lärmüberschreitungen sogar bis zu den Gebäuden an der Neuberststraße außerhalb des Untersuchungsgebiets. Hier überschreiten die Beurteilungspegel, an der Gebäudeeinheiten G15 und G16, den vorgesehenen Grenzwert um bis zu 4 dB(A). Im Südosten an G1 werden bis über 10 dB(A) mehr als erlaubt berechnet.

Tabelle 6.4: Überschreitungen auf der lärmzugewandten Seite

Überschreitung der Grenzwerte, Tag [6-22h]		Durchschnitt			Max			Standardabweichung			Häufigkeit*		
		[dB(A)]			[dB(A)]			[dB(A)]			[%]		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	12,0	11,9	11,8	15,7	15,7	15,7	9,8	9,8	9,4	100	100	100
M1	Tempo 30 (T30)	9,8	9,6	9,5	13,6	13,4	13,4	7,5	7,5	7,1	100	100	100
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	10,4	10,2	10,1	14,3	14,1	14,1	8,1	8,2	7,8	100	100	100
M3	LKW-% u. T30	8,4	8,2	8,1	12,3	12,1	12,1	6,1	6,1	5,7	100	100	100
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	11,9	11,8	11,7	15,7	15,5	15,5	9,7	9,7	9,3	100	100	100
M5	RQS 29 u. LKW-%	10,3	10,1	10,0	14,1	13,9	13,9	8,1	8,1	7,7	100	100	100
M6	RQS 29 u. T30	9,7	9,5	9,4	13,5	13,3	13,3	7,4	7,4	7,0	100	100	100
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	8,3	8,1	8,0	12,1	11,9	11,9	6,0	6,0	5,6	100	100	100

Überschreitung der Grenzwerte, Nacht [22-6h]		Durchschnitt			Max			Standardabweichung			Häufigkeit*		
		[dB(A)]			[dB(A)]			[dB(A)]			[%]		
		Variante (V _i)											
Maßnahme (M _i)		V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	V2
M0	Keine Maßnahmen	14,7	14,5	14,4	18,3	18,3	18,3	12,4	12,4	12,0	100	100	100
M1	Tempo 30 (T30)	12,4	12,2	12,1	16,3	16,1	16,1	10,1	10,1	9,7	100	100	100
M2	LKW-Anteil (LKW-%)	13,0	12,8	12,8	16,9	16,7	16,7	10,8	10,8	10,4	100	100	100
M3	LKW-% u. T30	11,0	10,8	10,7	14,9	14,7	14,7	8,7	8,7	8,3	100	100	100
M4	Regelquerschnitt 29 (RQS 29)	14,5	14,4	14,3	18,3	18,2	18,2	12,3	12,3	11,9	100	100	100
M5	RQS 29 u. LKW-%	12,9	12,7	12,6	16,8	16,6	16,6	10,7	10,7	10,3	100	100	100
M6	RQS 29 u. T30	12,3	12,1	12,0	16,1	15,9	15,9	10,0	10,0	9,6	100	100	100
M7	RQS 29, T30 u. LKW-%	10,9	10,7	10,6	14,8	14,6	14,6	8,6	8,6	8,2	100	100	100

* Bei der Häufigkeit der Überschreitung handelt es sich um den Prozentanteil an Daten, die den Grenzwert überschreiten. Insgesamt sind von jeder Variante 7 Daten vorhanden.

Quelle: Eigene Darstellung

Vor allem auf der lärmzugewandten Seite werden hohe Überschreitungen berechnet. Sowohl im Südosten (G1 und G2) als auch im Nordwesten (G14 und G15) werden Überschreitungen von über 16 dB(A) ermittelt. Am höchsten wird, wie auch im Tageszeitraum, der Grenzwert am Immissionsort I1 überschritten. Dort werden ca. 18 dB(A) mehr als erlaubt berechnet. Entlang der Lübecker Straße wird im Schnitt eine Überschreitung von ca. 15 dB(A) festgestellt (siehe Tabelle 6.4). Die Standardabweichung liegt auf dieser Seite bei ca. 12 dB(A).

6.3.2 Maßnahme M0 (Variante V1 und V2)

Analog zum vorherigen Abschnitt werden Überschreitungen zum Immissionsgrenzwert für die Variante V1 und V2 ermittelt. Wie auch in Abschnitt 6.2 zu sehen

ist, lässt sich hier feststellen, dass die Randbebauung sowohl teil- (V1) als auch komplett geschlossen (V2) eine erhebliche Eindämmung der Emissionen hervorruft. Allein durch die Randbebauung reduziert sich die Häufigkeit an Grenzwertüberschreitungen stark. Im Vergleich zum Null-Zustand werden bei V1 ca. 13/24 % Tag/Nacht weniger Immissionen festgestellt, die die Grenzwerte überschreiten (vgl. Tabelle 6.3). Bei V2 sind es sogar 16/31 % Tag/Nacht weniger.

Variante 1

Tageszeitraum

Wie in der Abbildung K.3 zu sehen ist, werden bei V1 tagsüber weiterhin entlang der Lübecker Straße und des Mühlendamms an der Gebäudefassade höhere Beurteilungspegel als 59 dB(A) berechnet. In der Mitte der Lübecker Straße lässt sich auf der Höhe der Gebäudeeinheiten G4 sowie G15 und G17 eine Erhöhung der Lärmpegel feststellen. Der Grund dafür liegt an der zweiten Reflektion, die durch die herangerückten Bauten bedingt ist (vgl. Abbildung K.1 und K.3).

Tagsüber treten wie im Null-Zustand die höchsten Überschreitungen von 14 dB(A) an den Gebäudeeinheiten G1, G2 und G17 auf. Auch an der Fassade der herangerückten Bauten zwischen G2 und G4, G4 und G7, G14 und G15 sowie G15 und G17 werden hohe Überschreitungen zwischen 12 und 15 dB(A) berechnet. Aufgrund der Ausbreitung des Schalles (siehe Abschnitt 5.5) und seiner Eigenschaften (siehe Abschnitt 2.1) werden an der Fassade des geplanten Gebäudes zwischen G9 und G11 dagegen bessere Werte ermittelt. Hier wird in der Mitte der lärmzugewandten Fassade ein Beurteilungspegel von ca. 67 dB(A) berechnet. An der selben Stelle wurde im Null-Zustand ein Beurteilungspegeln von ca. 71 dB(A) festgestellt. Jedoch bleiben im Durchschnitt die Immissionen entlang der Lübecker Straße nahezu unverändert. So wird auf dieser Seite wie bei V0 im Durchschnitt eine Überschreitung von ca. 12 dB(A) und eine Standardabweichung von 9,8 dB(A) berechnet (siehe Tabelle 6.4).

Hinsichtlich der Überschreitung lässt sich vor allem eine erhebliche Verbesserung bei den Gebäuden und unbebauten Flächen, die hinter den geplanten Bauten liegen, feststellen. Auch die noch offenen Baulücken der teil-geschlossenen Raumkante (zwischen G7 und G11 bzw. G11 und G14) zeigen im Vergleich zum Null-Zustand, eine kleine Verbesserung. Obwohl die Peaks⁴ an den selben Stellen wie vorher auftreten (vgl. Abbildungen K.1 und K.3), lässt sich an der Fassade der betroffenen Gebäudeeinheiten eine geringfügige Verbesserung aufgrund der wellenförmige Schallausbreitung feststellen (vgl. östliche Fassade der Gebäudeeinheit G13).

Im Durchschnitt wird bei V1 eine Überschreitung von 2,4 dB(A) und eine Standardabweichung von 4,7 dB(A) errechnet (siehe Tabelle 6.3). Der maximale Wert von 15,8 dB(A) tritt weiterhin im südöstlichen Immissionspunkt I1 auf. Bei V1 zeigen insgesamt 29 % der Daten eine Überschreitung des Grenzwertes.

⁴Die UTM-Koordinaten des Peaks zwischen G7 und G11 bzw. G11 und G14 lauten: Zone 32N E: 568060 N: 5935080 bzw. E: 568120 N: 59351030.

Nachtzeitraum

Aus den Abbildungen K.3 und K.4 lässt sich feststellen, dass im Vergleich zum Tageszeitraum die Auswirkung der Randbebauung nachts höher ist. Im Vergleich zum Null-Zustand reduziert sich im Tageszeitraum die Häufigkeit der festgestellten Überschreitungen um 13 %. Im Nachtzeitraum werden sogar 23 % weniger Überschreitungen festgestellt (vgl. Tabelle 6.3).

Obwohl die maximale Überschreitung, wie auch im Null-Zustand, weiterhin bei ca. 18 dB(A) (an I1) liegt, wird eine Verbesserung des durchschnittlichen Wertes um ca. -1 dB(A) ermittelt⁵.

Entlang der Lübecker Straße bleiben die Überschreitungen nahezu gleich. Im Schnitt wird an der lärmzugewandten Seite eine Überschreitung von 14,5 dB(A) und eine Standardabweichung von 12,4 dB(A) ermittelt (siehe Tabelle 6.4).

Variante 2

Tageszeitraum

Variante V2 repräsentiert eine geschlossene Raumkante. Wie in der Abbildung K.5 zu sehen ist, lässt sich bei V2 eine hohe lärmmindernde Wirkung feststellen. Fast alle hinter den Neubauten liegenden Gebäuden und unbebauten Flächen sind frei von Überschreitungen. Obwohl die durchschnittliche Überschreitung von 2,4 dB(A) bei V2 gleich hoch wie bei V1 ist (siehe Tabelle 6.3), nimmt die Anzahl an Datenpunkten die den Grenzwert überschreiten um -4 % ab (vgl. V1 und V2). Im Vergleich zum Null-Zustand reduziert sich die Häufigkeit sogar um -17 %.

Tagsüber lässt sich, wie auch bei V1, auf der lärmzugewandten Seite an G9 eine Verbesserung der Immission feststellen (vgl. Abbildung K.1 und K.5). Jedoch ist im Durchschnitt entlang der Lübecker Straße bei V2 keine nennenswerte Differenz sowohl zum Null-Zustand als auch zu V1 festzustellen. Die durchschnittliche Überschreitung entlang der Lübecker Straße von ca. 12 dB(A) bleibt nahezu gleich.

Nachtzeitraum

Im Nachtzeitraum erreichen die Überschreitungen auch hier höhere Werte. Trotzdem lässt sich feststellen, dass im Vergleich zum Null-Zustand im Nachtzeitraum, die Überschreitungen lediglich auf der lärmzugewandten Seite auftreten. Im restlichen Untersuchungsgebiet sinkt der Lärmpegel unter den Grenzwert von 49 dB(A). Insgesamt werden nur noch bei 25 % der erhobenen Daten eine Überschreitung festgestellt (siehe Tabelle 6.3). Im Durchschnitt wird im Untersuchungsgebiet eine Überschreitung von 2,9 dB(A) und eine Standardabweichung von 5,5 dB(A) berechnet.

Entlang der Lübecker Straßen werden auch im Nachtzeitraum keine nennenswerten Veränderungen im Vergleich zu den vorher untersuchten Varianten festgestellt, sodass die durchschnittliche Überschreitung bei 14,4 dB(A) liegt (siehe Tabelle 6.4).

⁵Im Null-Zustand wurde eine durchschnittliche Überschreitung von 4 dB(A) berechnet. Bei V1 dagegen beträgt diese ca. 3 dB(A).

6.3.3 Maßnahme M1 bis M7 (Variante V0, V1 und V2)

Bei M1 bis M7 handelt es sich u.a. um kurz- bzw. langfristige verkehrsrechtlichen Maßnahmen. M1 und M2 sind verkehrsregulierenden Maßnahmen, die grundsätzlich zur Bekämpfung von Verkehrslärm durch Minderung der Schallentstehung eingesetzt werden. M3 ist eine Kombination aus den ersten zwei Maßnahmen. M4 ist eine straßenbauliche Maßnahme, bei der in erster Linie ein größerer Abstand zwischen Lärmquelle und Immissionsort geschaffen wird, wodurch eine Reduktion des Lärmpegels an der Fassade hervorgerufen wird (siehe Kapitel 3). M5, M6 und M7 sind Kombinationen aus M4 und der ersten drei genannten Maßnahmen.

Die in diesem Abschnitt behandelten Maßnahmen beeinflussen den Ausbreitungsweg nicht, sondern werden zur Reduktion des Lärms direkt an der Quelle eingesetzt. Daher wird für die folgenden Maßnahmen auf die grafische Darstellung des Konfliktplans verzichtet. Viel mehr sollen in diesem Abschnitt die eigentlichen Grenzwertüberschreitungen dargestellt werden.

Die Einführung von Tempo 30 ergibt in allen drei Varianten eine ähnliche durchschnittliche Überschreitung von ca. 2/3 dB(A) Tag/Nacht und eine vergleichbare Standardabweichung von ca. 4/5 dB(A) Tag/Nacht (siehe Tabelle 6.3). Die Häufigkeit ändert sich jedoch zwischen den Varianten, vor allem im Nachtzeitraum. Während nachts bei V0 44 % der Daten eine Überschreitung aufweisen, sind es bei V1 31 % und bei V2 nur noch 25 %. Dies entspricht allerdings im Vergleich zu M0 einer Differenz von -12 % bei V0, -2 % bei V1 und 0 % bei V2 (vgl. Tabelle 6.3).

Die Wirkung durch M1 macht sich erst bei den maximalen Überschreitungen bemerkbar. Im Vergleich zu M0 wird bei M1 eine um ca. 2/1 dB(A) Tag/Nacht kleinere maximale Überschreitung von ca. 14/17 dB(A) Tag/Nacht festgestellt (siehe Tabelle 6.3). Auf der lärmzugewandten Seiten werden bei allen drei Varianten eine vergleichbare durchschnittliche Überschreitung von 10/12 dB(A) Tag/Nacht und eine Verbesserung im Vergleich zu M0 um 2/3 dB(A) Tag/Nacht berechnet (siehe Tabelle 6.4).

Ähnlich wie bei der Einführung einer 30 km/h Geschwindigkeitsbeschränkung, unterscheiden sich die einzelnen Überschreitungen der jeweiligen Varianten bei der Reduktion des LKW-Anteils innerhalb der Maßnahmen nicht viel. So wird im Durchschnitt im gesamten Gebiet eine Überschreitung von ca. 2/3 dB(A) Tag/Nacht und eine Standardabweichung von ca. 4/5 dB(A) Tag/Nacht berechnet (siehe Tabelle 6.3). Auch hier ergeben sich im Vergleich zu M0 keine großen Differenzen hinsichtlich der Häufigkeiten der Überschreitungen bei V1 und V2. Lediglich bei V0 ist eine Reduzierung festzustellen. So überschreiten bei V0 anstatt 42/56 % Tag/Nacht nur noch 36/47 % Tag/Nacht der Daten den Grenzwert (siehe Tabelle 6.3). Auch bei M2 lässt sich hauptsächlich die Lärminderungswirkung bei den stark belasteten Immissionsorten feststellen. So wird im Vergleich zu M0 die maximale Überschreitung von ca. 16/18 dB(A) Tag/Nacht auf ca. 14/17 dB(A) Tag/Nacht gesenkt. Auf der lärmzugewandten Seite reduziert sich ebenfalls die durchschnittliche Überschreitung auf 10/13 dB(A) Tag/Nacht (siehe Tabelle 6.4).

Bei der kombinierten Maßnahme M3 ist ebenfalls eine höheren Wirkung beim Hauptverkehrsträger bemerkbar. Die maximale Überschreitung liegt für M3 bei 12/15 dB(A) Tag/Nacht (siehe Tabelle 6.3) und die durchschnittlichen Überschreitung auf der

Lärmzugewandten Seite wird auf 8/11 dB(A) Tag/Nacht gesenkt (siehe Tabelle 6.4). Hinsichtlich der Häufigkeiten der Überschreitungen zeigt M3 die gleiche Prozentanteile wie M1.

Aus der Tabellen 6.3 und 6.4 ist zu entnehmen, dass bei der Reduzierung des Regelquerschnitts keine nennenswerten Veränderungen im Vergleich zur M0 erkennbar sind. Dementsprechend ergeben die Maßnahmen M5 bis M7 ähnliche Werte wie die jeweiligen Einzelmaßnahmen. Dies gilt sowohl für den Tages- als auch für den Nachtzeitraum. Deswegen wird hier auf eine Erläuterung dieser Ergebnisse verzichtet.

6.3.4 Schlussfolgerungen

Aus der Betrachtung der Grenzwerteüberschreitung konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Innerhalb einer Maßnahme werden tagsüber bei allen drei Varianten nahezu gleiche durchschnittliche Überschreitungen und Standardabweichungen berechnet.
- Auch die maximal ermittelte Überschreitung innerhalb einer Maßnahmen ist bei allen Varianten fast gleich und wird bei allen Maßnahmen und Varianten am Immissionspunkt I1 festgestellt. Dies ist sowohl tagsüber als auch nachts festzustellen.
- Das Ausmaß der Häufigkeit der Grenzwerteüberschreitung ist innerhalb einer Maßnahme stark von der gewählten Variante abhängig.
- Daraus ist zu schließen, dass die Lärminderungswirkung durch die Randbebauung in den weniger lärmbelasteten Gebieten höher ist.
- Die Überschreitungen in beiden Zeiträumen bleiben an der stark belasteten Lübecker Straße bzw. am Mühlendamm innerhalb einer Maßnahme nach Schließung der Baulücken nahezu unverändert.
- Bei M1 bis M3 und M5 bis M7 ist im ganzen Gebiet innerhalb einer Maßnahme tagsüber keine nennenswerte Reduktion der durchschnittlichen Überschreitungen in den jeweiligen Varianten festzustellen (siehe Tabelle 6.3). Grund dafür ist, dass die hohen Überschreitungen im benannten Zeitraum sich vor allem (V0 und V1) bzw. nur (V2) auf der lärmzugewandten Seite konzentrieren (siehe Abbildungen K.1, K.3 und K.5). Wie im Abschnitt 6.2.5 beschrieben, spielt die Art der Bebauung auf der lärmzugewandten Seite bei der Lärmpegelreduktion keine entscheidende Rolle. Die Minderungswirkung durch die Randbebauung ist ausschließlich in den hinter den Neubauten liegenden Immissionsorten bemerkbar.
- Nachts dagegen spielt die Abschirmung durch die geplanten Bauten aus V1 und V2 im gesamten Gebiet eine größere Rolle. Grund dafür ist, dass im benannten Zeitraum die Überschreitungen auf der lärmzugewandten Seite höher sind und diese sich weiter in Richtung Nordwest auch hinter der geplanten Bauten ausbreiten (siehe Abbildungen K.2, K.4 und K.6). Im Vergleich zum Tageszeitraum

werden bei mehreren Immissionsorten eine Überschreitung festgestellt (z.B. bei V1, M1, Tag: 25%. Bei V1, M1, Nacht: 31%). Durch die Abschirmung der Randbebauung wird nachts eine höhere Reduktion der Grenzwertüberschreitungen als tags festgestellt.

- Die Überschreitungshäufigkeiten blieben bei allen Maßnahmen innerhalb der Variante V1 bzw. V2 nahezu gleich bzw. identisch (siehe Tabelle 6.3). Dies lässt sich durch die Verteilung der Grenzwertüberschreitung bei den genannten Varianten, die sich auf die lärmzugewandte Seite konzentriert, erklären. Nur bei der Variante V0 konnte eine Veränderung der Häufigkeit festgestellt werden (siehe Tabelle 6.3).
- Bei der Beurteilung der Überschreitungen auf der lärmzugewandten Seite, konnte eine hohe Lärminderungswirkung der Maßnahmen M1 bis M7 festgestellt werden. Daraus lässt sich ableiten, dass die Maßnahmen M1 bis M7 vor allem der Minderung der Überschreitungen in den stark belasteten Bereichen auf der lärmzugewandten Seite dienen.
- Vor allem die Kombination aus Einführung eines 30 km/h Tempolimits und Reduzierung des LKW-Anteils (M3) senkt die maximal berechnete Überschreitung am I3 und die durchschnittliche Überschreitung auf der lärmzugewandten Seite. So wird durch M3 die höchste Überschreitung von ca. 16/18 dB(A) Tag/Nacht auf ca. 12/15 dB(A) Tag/Nacht reduziert. Auf der lärmzugewandten Seite wird die durchschnittliche Überschreitung von ca. 12/15 dB(A) Tag/Nacht auf ca. 8/11 dB(A) Tag/Nacht gesenkt.
- Hinsichtlich der Schallausbreitung ist nach Schließung der Baulücken sowohl in V1 als auch in V2, keine feststellbare Reflektion auf die gegenüberliegenden Bauten außerhalb des Untersuchungsgebiet zu erkennen (vgl. beispielsweise Abbildung K.1 mit K.3 und K.5).
- Im Vergleich zum Tageszeitraum ist nachts das Ausmaß und die Häufigkeit der Überschreitungen höher. Im Null-Zustand (M0,V0) zeigen sogar 56 % der berechneten Daten eine Überschreitung des Grenzwertes (siehe Tabelle 6.3).

6.4 Kosten und Übertragbarkeit

Die Auswertung der in dieser Arbeit untersuchten Maßnahmen basiert in erster Linie auf den Parametern: Beurteilungspegel, Lärmpegelreduktion und Grenzwertüberschreitung. Untergeordnet werden zusätzlich die maßgebenden Maßnahmen nach Wirtschaftlichkeit und Übertragbarkeit bewertet. Allerdings wird in diesem Abschnitt nicht auf eine genauere Berechnung der Kosten eingegangen. Viel mehr wird hier eine grobe Abschätzung ausgearbeitet, um Maßnahmen zu vergleichen.

6.4.1 Randbebauung

Mit dem Ziel „Mehr Stadt in der Stadt“ versucht der Hamburger Senat durch eine effizientere Flächennutzung innerhalb der bestehenden Siedlungskulisse mehr Wohnraum zu schaffen, um so die Wohnungsknappheit Hamburgs zu bekämpfen. So agieren V1 und V2 (die Schließung von Baulücken durch das Heranrücken von Neubauten) nicht nur im Sinne der Lärminderung, sondern leistet einen Beitrag zur Stadtverdichtung. Aufgrund des zusätzlichen Wohnraumvorteils ist ein Vergleich des wirtschaftlichen Aufwands dieser Maßnahme mit den untersuchten Vorkehrungen nicht repräsentativ. Daher bleiben die wirtschaftlichen Kriterien dieser Maßnahme hier unberücksichtigt und werden nicht weiter aufgeführt.

Im Bereich, wo die geplanten Bauten stehen sollen, wird im B-Plan zurzeit eine nicht überbaubare Fläche ausgewiesen (siehe Abbildung 4.12). Aufgrund des über dem Gesundheitsgefährdungsbereich liegenden Pegels auf der Lärmzugewandten Seite ist allerdings die Planungsfreiheit der Gemeinde für die Ausweisung von Wohnnutzungen sehr beschränkt (Vgl. [BSU10, S. 53]). *„Unter ganz bestimmten Rahmenbedingungen ist es unter städtebaulichen und umweltplanerischen Gesichtspunkten dennoch erforderlich - und bei der Anwendung sorgfältiger Instrumente vertretbar - in derart vorbelasteten Bereichen, je nach Situation des Einzelfalls, auch Wohnnutzungen zu ermöglichen“* [BSU10, S. 53]. Andernfalls bietet sich die Möglichkeit, gezielt emissionsarme Nutzungen, wie Büros und Lager anzuordnen, um Konflikte zu vermeiden. Hinzu sollten an den geplanten Bauten weitere Untersuchungen hinsichtlich des Grundrisses sowie der Anordnung und der Geometrie der Neubauten erfolgen und dementsprechend im B-Plan übernommen werden.

6.4.2 Einführung von Tempo 30

Die Einführung von Tempo 30 muss sorgfältig geplant und im Bezug auf mögliche negative Auswirkungen geprüft werden. Bei den Auswirkungen handelt es sich um unerwünschte Verlagerungseffekte, Zielkonflikte mit dem ÖPNV, Einfluss auf die Rettungszeiten, etc. (vgl. [Arg17, S. 2]). Um dies zu erreichen, sollten maßgebende Parameter wie z.B. Geschwindigkeitsverhalten, Verkehrsmengen, Qualität des Verkehrsflusses und Lärmbelastung anhand von Erhebungen vor und nach der Einführung ermittelt werden. Eine grobe Schätzung der Kosten je Erhebung ist der Tabelle 6.5 zu entnehmen.

Unter der Annahme, dass für die Querschnitterhebung der Kfz-Verkehrsmenge und Geschwindigkeiten ein technisches Gerät benötigt wird, lassen sich gemäß Tabelle 6.5 netto Gesamtkosten für die Vorher-Erhebung in einer Höhe von 33.500 EUR zzgl. MwSt. beziffern (siehe Tabelle L.1). Die Lärmmessungen, Lärmberechnungen und die Eigenarbeit ist hierbei nicht einkalkuliert. Die Nachher-Erhebung würde 31.000 EUR zzgl. MwSt. betragen (siehe Tabelle L.2). Auch hier werden die Lärmmessungen, Lärmberechnungen und Eigenarbeit nicht berücksichtigt (vgl. [Arg17, S. 23]). Die eigentlichen Investitionskosten der notwendigen Beschilderung⁶ inklusiv die Kos-

⁶zwei 30 km/h-Schilder (Anfangspunkt der jeweiligen Beschränkung), sowie zwei 50 km/h-Schilder (Endpunkt der jeweiligen Beschränkung).

Tabelle 6.5: Empfehlungen und Grobkostenschätzung je Erhebung (netto)

Querschnitterhebung der Kfz-Verkehrsmengen und der Geschwindigkeiten mit städtischen Seitenradargeräten	2.500 € Je Gerät*
Einrichtung von Dauermessstellen	Marktpreisermittlung**
Ermittlung der Lärmbelastung durch Lärmberechnung (TraNECaM)	Marktpreisermittlung
Untersuchung des MIV-Verkehrsflusses mit GPS-Messfahrten	8.000 € je Strecke
Untersuchung des MIV-Verkehrsflusses mit ÖPNV-Messfahrten	8.000 € je Strecke
Ermittlung der Lärmbelastung durch Lärm-messung (SPB-Methode)	Marktpreisermittlung
Ermittlung der empfundenen Geschwindigkeits- und Lärmwahrnehmung mit schriftlicher Befragung	15.000 € je mittlerem Streckenabschnitt

* Die Anschaffungskosten sind abhängig von den gewählten Optionen. Da die Geräte nach der Tempo 30-Evaluation auch anderen Nutzungen der Stadt zur Verfügung stehen, entstehen die Kosten nur anteilig für die Evaluation selbst. Die Höhe dieses Anteils kann nicht abgeschätzt werden. Nicht berücksichtigt ist der Personalbedarf für den Betrieb der Geräte und die Datenauswertung.

** Derzeit wird unabhängig von der Evaluation von Tempo 30 die Einrichtung von Dauermessstellen in Hamburg diskutiert. Eine Kostenschätzung ist aufgrund der großen Preisspanne zwischen den einzelnen Systemen nicht möglich. Es wird davon ausgegangen, dass die langfristige Evaluation von Tempo 30 mit Dauermessstellen kostengünstiger ist als mit extern zu vergebenden Messplattenerhebungen.

Quelle: Eigene Darstellung anhand des Gutachtens „Tempo 30 Hamburg“ [Arg17, S. 21]

ten für die Aufstellung der Schilder⁷ liegen bei ca. 1.000⁸ EUR zzgl. MwSt und Eigenarbeit (siehe Tabelle L.3).

Somit errechnet sich ein Aufwand von 65.500 EUR zzgl. MwSt, Lärm-messungen und Eigenarbeit.

Studien über die Auswirkungen von Tempo 30 haben ergeben, dass die Leistungsfähigkeit einer Straße und die Qualität des Verkehrsflusses vor allem durch die Gestaltung der lichtsignalgeregelten Knotenpunkte bestimmt wird und nicht durch die maximal zulässige Geschwindigkeit [UBA16, S. 4]. Im Gegenteil kann eine geringere Geschwindigkeit eine bessere Fahrzeugpulkbildung ermöglichen, wodurch Grüne Wellen besser genutzt werden können [UBA16, S. 10]. Ein verbesserter Verkehrsfluss trägt zur Lärm-minderung bei. Tempo 30 erfordert eine Überprüfung der lichtsignalisierten Knotenpunkte im Hinblick auf die Steuerung und Koordinierung.

⁷Insgesamt werden 6 Rohrpfeiler und 12 Rohrschellen benötigt.

⁸Die Kosten werden auf Basis von Preisen aus dem Jahr 2009 berechnet.

6.4.3 Reduzierung des LKW-Anteils

Eine stadtverträgliche Lenkung des Straßengüterverkehrs erfordert Handlungsbedarf. Die innerstädtische Abwicklung des Schwerverkehrs soll durch ein Güterverkehrskonzept geplant und aufgezeichnet werden. In der Stadt übt der Güterverkehr hauptsächlich Sammel- und Verteilfunktionen aus. Die Verbesserung der Abwicklung des Lieferverkehrs für den Handel, Empfangs- und Versandverkehr ist ein stark diskutiertes Thema des städtischen Wirtschaftsverkehrs [BWV13, S. 13].

In der untersuchten Straße verkehren täglich 44.000 Fahrzeuge. Davon zählen 3 % zu dem LKW-Anteil (siehe Abschnitt 4.3.3). Um den LKW-Verkehr mittels LKW-Verbot (außer Busse) zu reduzieren, müsste eine neue Routenplanung im Rahmen einer Gesamtverkehrsentwicklungsplanung ausgearbeitet und durch die oberste Straßenverkehrsbehörde zugestimmt werden (vgl. [AKU08, S. 5]).

Um den wirtschaftlichen Aufwand der erforderlichen Erhebungen sowie bauliche Maßnahmen zu bewerten, ist eine tiefere Untersuchung nötig, die im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt wird. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Aufwand bei M2 deutlich größer als bei M1 ist. 

6.4.4 Reduzierung des Straßenquerschnitts

Das Abrücken des Fahrstreifens vom Immissionsort vergrößert den Abstand zwischen dem Immissionsort und der Quelle. So reduziert sich die Lärmbelastung an der lärmzugewandten Fassade. Zusätzlich kann M4 indirekt zu einer Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten und zu einer Verstetigung des Verkehrs beitragen, was zu einer Verringerung der Luftschadstoffkonzentrationen und Lärmimmissionen führt [UBA09a, S. 14]. Solche zusätzlichen lärm mindernden Effekte blieben in der vorliegenden Arbeit bei der Berechnung von Beurteilungspegeln unberücksichtigt.

Die gewonnene Fläche könnte für den Ausbau der Fuß- und Radverkehrsanlagen verwendet werden, wodurch eine Verbesserung der Seitenräume zugunsten des nicht motorisierten Verkehrs erzielt wird. Dadurch kann die Sicherheit für Radfahrer und Fußgänger erhöht werden. Eine solche Strategie fördert nicht nur indirekt emissionsarme Verkehrsarten, sondern kann durch eine attraktive optische Gestaltung der gewonnenen Seitenflächen für eine subjektive Lärminderung sorgen [UBA09a, S. 14].

Die geringsten Kosten würden bei einer alleinigen Ummarkierung ausfallen. Diese Variante ist aus gestalterischen Gründen sehr unattraktiv und somit nicht realistisch. An dieser Stelle sollten Machbarkeitsstudien für die in Frage kommenden Baumaßnahmen durchgeführt und monetär beziffert werden.

Heute sind die Verkehrsabläufe um das Untersuchungsgebiet von morgens bis abends entweder zähfließend oder stockend. Um M4 im Untersuchungsgebiet verwirklichen zu können, ist eine deutliche Reduzierung des Verkehrsaufkommens notwendig, sonst könnte die Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes an dieser Stelle nicht ausreichen.

Das zurzeit weltweit diskutierte Thema, das autonome Fahren, kann die Verkehrsentwicklung in der Zukunft stark beeinflussen. Hinsichtlich des Abstandserfordernisses 

könnte durch autonom fahrenden Autos der Verkehrsstrom in einem Straßenquerschnitt erhöht werden und dadurch Fahrstreifen eingespart werden [BHN17, S. 4].

6.5 Zusammenfassung und Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Wirkung einer teil-geschlossenen und einer geschlossenen Randbebauung untersucht werden. Zusätzlich werden in der vorliegenden Arbeit verkehrsregulierenden Maßnahmen beurteilt, die den Lärm direkt an der Quelle bekämpfen. Darunter wird die lärmindernde Wirkung durch die Einführung von Tempo 30, das LKW-Verbot (außer Busse) sowie die Reduzierung des Regelquerschnitts analysiert. Außerdem werden deren Kombinationen untersucht.

Um die Wirkung der untersuchten Maßnahmen abzuschätzen werden die Maßnahmen nach den Kriterien Beurteilungspegel, Lärmpegelreduktion, Grenzwertüberschreitung, Kosten und Übertragbarkeit bewertet. Während die letzten zwei genannten Kriterien nur grob abgeschätzt werden, basiert die Abschätzung der restlichen Faktoren auf Daten, die aus der Simulation mit IMMI errechnet werden.

6.5.1 Ist-Zustand

Hinsichtlich der Immissionen im Null-Zustand lässt sich für das ganze Gebiet ein durchschnittlicher Beurteilungspegel von ca. 58/51 dB(A) Tag/Nacht feststellen. Bei der Betrachtung der Immissionen lediglich auf der lärmzugewandten Seite wird ein relativ hoher durchschnittlicher Beurteilungspegel von ca. 71/64 dB(A) Tag/Nacht berechnet. Der höchste Beurteilungspegel von ca. 75/67 dB(A) Tag/Nacht wird im Südosten am Immissionspunkt I1 (siehe Abbildung 5.2) berechnet. Somit lässt sich feststellen, dass entlang des Hauptverkehrsträgers die gesundheitsgefährdende Lärmchwelle (70/60 dB(A) Tag/Nacht) überschritten wird.

Im Durchschnitt zeigen die Daten in dem Nachtzeitraum eine höhere Grenzwertüberschreitungshäufigkeit. Während im Tageszeitraum bei 42 % der erhobenen Daten ein höherer Beurteilungspegel als 59 dB(A) berechnet wird, überschreiten im Nachtzeitraum 56 % der berechneten Daten den Grenzwert von 49 dB(A). Für das ganze Gebiet wird eine durchschnittliche Überschreitung von ca. 3/4 dB(A) Tag/Nacht berechnet, wobei die maximale Grenzwertüberschreitung bei ca. 16/18 dB(A) Tag/Nacht liegt. Hinsichtlich der Immissionen entlang der Lübecker Straße wird eine hohe durchschnittliche Grenzwertüberschreitung von ca. 12/15 dB(A) Tag/Nacht registriert.

Studien haben gezeigt, dass bei lang andauernden Lärmpegeln von über 60 dB(A) tags ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen besteht [OEA11, S. 19]. Im Tageszeitraum werden bereits bei einem Beurteilungspegel über 55 dB(A) deutliche Belästigungsreaktionen festgestellt [OEA11, S. 25].

Eine schwerwiegende Auswirkung von Lärm ist die Beeinträchtigung und Störung des Schlafes. Die Schlafqualität bestimmt über das Wohlbefinden, die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit [FK10, S. 6]. Bei Pegeln von über 55 dB(A) nachts wird eine Gesundheitsgefährdung befürchtet und das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten

steigt an [OEA11, S. 26]. Bei Pegeln über 60 dB(A) nachts können sogar psychische Störungen hervorgerufen werden [WHO09, S. 104].

6.5.2 Maßnahme M0

Unter der Maßnahme M0 wird lediglich die Wirkung der Randbebauung ohne zusätzliche veränderlichen Maßnahmen in dieser Arbeit untersucht.

Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass die Schließung der Baulücken im Durchschnitt eine hohe lärmindernde Wirkung im ganzen Untersuchungsgebiet auslöst. So sinkt der durchschnittliche Pegel im Vergleich zum Null-Zustand durch die teilgeschlossene Randbebauung (V1) um -4,7/-4,9 dB(A) Tag/Nacht. Die komplett geschlossene Randbebauung (V2) ruft eine durchschnittliche Lärmpegelreduktion um sogar -6,4/-6,7 dB(A) Tag/Nacht hervor. Aus der grafischen Darstellung der Schallausbreitung, die im Anhang J zu finden ist, lässt sich feststellen, dass vor allem in dem hinter den Neubauten liegenden Bereich eine erhebliche Entlastung stattfindet.

Die Betrachtung der Grenzwertüberschreitung im ganzen Gebiet offenbart, dass die Wirkung der Randbebauung in den weniger lärmbelasteten Bereichen höher ist. Obwohl die Grenzwertüberschreitungshäufigkeit durch die Randbebauung stark zurückgeht⁹ (siehe Tabelle 6.3), sind innerhalb einer Maßnahme bei allen drei Varianten die durchschnittliche und die maximale Überschreitung fast unverändert. Dabei sind bei allen Varianten die Standardabweichungen nahezu gleich.

Die Randbebauung ermöglicht zwar die Schaffung ruhigerer Bereiche hinter den Neubauten, vermindert aber nicht die Belastungen im Nahbereich der Lübecker Straße. Auf der stark über dem Grenzwert belasteten lärmzugewandten Seite erzielt die Randbebauung kaum eine Auswirkung. Dort wird weder ein positiver noch negativer Effekt beobachtet. Die Bewohner nahe der Lärmquelle werden weiterhin einer unzumutbaren Lärmbelastung ausgesetzt (siehe Abschnitt 2.3).

Hinsichtlich der Übertragbarkeit sollte hier eine tiefere Untersuchung der Anordnung und Geometrie der Neubauten erfolgen.

Sollte die Maßnahme M0 nicht in Kombination mit einer weiteren verkehrsregulierenden Maßnahme umgesetzt werden, müssen folgende Vorkehrungen getroffen werden, um die Bewohner vor gesundheitsschädlichen Auswirkungen zu schützen. Zum einen müssen lärmempfindliche Räume, wie Wohn- und Schlafzimmer, zur lärmabgewandten Gebäudeseite orientiert werden. Zum anderen müssen zweischalige Außenwände gebaut werden, die für den notwendigen Schallschutz sorgen sollen [BSU10, S. 53].

Auf der lärmabgewandten Seite werden bei den meisten geplanten Bauten Lärmbelastungen über 49 dB(A) nachts festgestellt (siehe Anhang J). Aufgrund dessen müsste außerdem durch geeignete passive bauliche Schallschutzmaßnahmen, wie Doppelfassaden oder besondere Fensterkonstruktionen, sichergestellt werden, dass während der Nachtzeit auch bei teilgeöffneten Fenstern in Schlafzimmern ein Innenraumpegel von 30 dB(A) nicht überschritten wird [BSU10, S. 56]. Es empfiehlt sich außerdem schutzbedürftige Freiflächen und Außenwohnbereiche, wie Terrassen und Kinderspielflächen, in die Innenhöfe zu orientieren.

⁹Die Überschreitungshäufigkeit reduziert sich bei V1 um 13/24 % Tag/Nacht bzw. bei V2 um 16/31 % Tag/Nacht.

6.5.3 Maßnahme M1 bis M7

Anders als bei der Randbebauung ist die Lärminderungswirkung infolge von M1 bis M7 vor allem in stark belasteten Bereichen spürbar. Es lässt sich feststellen, dass sich die Beurteilungspegel innerhalb einer Maßnahme bei allen untersuchten Bebauungsvarianten auf der lärmzugewandten Seite sehr ähneln (siehe Tabelle 6.2). Stattdessen ist das Ausmaß der Reduktion stark von der gewählten Maßnahme abhängig. Daher wird in diesem Abschnitt zur Beurteilung der Maßnahmenwirkung nur die lärmzugewandte Seite betrachtet.

Wie in Tabelle 6.2 zu sehen ist, senkt die Maßnahme M1 und die Randbebauung (sowohl teil- als auch komplett geschlossen) den durchschnittlichen Beurteilungspegel um ca. -3 dB(A). Dadurch sinkt der durchschnittliche Beurteilungspegel im Tageszeitraum unter die Gesundheitsgefährdungsschwelle auf ca. 69 dB(A). Bei M1 wird für den nächtlichen Zeitraum ein Pegel von 61 dB(A) berechnet.

Beim LKW-Verbot (außer Busse) wird auch im Tageszeitraum ein Beurteilungspegel von 69 dB(A) berechnet. Somit wird im benannten Zeitraum die Gesundheitsgefährdungsschwelle nicht überschritten. Nachts wird jedoch ein Überschreitung diese Schwelle um 2 dB(A) festgestellt. Der Beurteilungspegel bei M2 im Nachtzeitraum beträgt 62 dB(A).

Vor allem die kombinierte Maßnahme aus Tempo 30 und LKW-Verbot (außer Busse) erzielt eine hohe Wirkung. Entlang der Lübecker Straße werden dadurch ca. 67 dB(A) Tag und ca. 60 dB(A) Nacht berechnet.

Die Grenzwerte zur Lärmvorsorge (siehe Abschnitt 2.5.1), welche bei den Maßnahmen M1 bis M7 zu Grunde gelegt werden, können auf der lärmzugewandten Seite beim aktuellen Verkehrsaufkommen nicht durch die untersuchten alleinigen verkehrsregulierenden Maßnahmen realisiert werden (siehe Abschnitt 6.3). Um die Grenzwerte einzuhalten, müssten aktive Schallschutzmaßnahmen (z.B. Schallschutzwand) vorgenommen werden. Solche Maßnahmen sind jedoch in der Regel nicht stadtbildverträglich bzw. realisierbar.

Um nicht gegen das Recht auf körperliche Unversehrtheit und das Eigentum zu stoßen, muss auf der lärmzugewandten Seite der Immissionspegel mindestens auf die Gesundheitsgefährdungsschwelle gesenkt werden. Dies wird allerdings nur durch die Kombination aus Tempo 30 und LKW-Verbot (außer Busse) in beiden Zeiträumen erreicht. Die Maßnahmen M1 und M2 senken den durchschnittlichen Beurteilungspegel im Tageszeitraum knapp unter die 70 dB(A), jedoch schaffen es diese nicht während der Nachtzeit den Wert von 60 dB(A) einzuhalten.

Gemäß den Empfehlungen „Hamburger Leitfaden Lärm in der Bauleitplanung 2010“ wäre für die Umsetzung der Randbebauung (teil- bzw. geschlossen) in Kombination mit M1 bzw. M2 das Prinzip der Zweischaligkeit in Verbindung mit einer Grundrisorientierung von lärmempfindlichen Aufenthaltsräumen zur lärmabgewandten Seite erforderlich (vgl. [BSU10, S. 53]). Es empfiehlt sich aber auch bei der Kombination mit M3 die genannten Vorkehrungen vorzunehmen. Zusätzlich können durch passive Maßnahmen an den Gebäuden, wie ausreichendes Schalldämmmaß der Außenbauteile (Fenster, Türen) und zusätzliche fensterunabhängige Lüftungseinrichtungen, die

Lärminderung verstärkt werden (siehe Abschnitt 3.7.2).

Hinsichtlich der Kosten und der Übertragbarkeit kann festgestellt werden, dass die Einführung von Tempo 30 einen geringeren Aufwand als die Reduzierung des LKW-Anteils darstellt. Im Hinblick auf die Machbarkeit und mögliche negative Effekte, sollten weitere genauere Untersuchungen durchgeführt werden.

Bei der Reduzierung des Straßenquerschnitts werden keine nennenswerten Pegelunterschiede im Vergleich zum Null-Zustand festgestellt. Dementsprechend unterscheiden sich die kombinierten Maßnahmen nicht von den jeweiligen einzelnen Maßnahmen. Allerdings können diese Maßnahmen durch eine attraktive optische Gestaltung der gewonnenen Seitenflächen für eine subjektive Lärminderung sorgen. Außerdem kann durch die gewonnene Fläche die Verkehrsanlage für den nicht motorisierten Verkehr ausgebaut werden und dadurch emissionsärmere Verkehrsarten gefördert werden.

Kapitel 7

Zusammenfassung und Fazit

7.1 Zusammenfassung

In Deutschland ist der Straßenverkehr die dominierende Lärmquelle [UBA00, S. 130]. Lärmbelastungen gehen mit Schlaf-, Kommunikationsstörungen, mentaler Störungen, bis hinzu Erhöhung des Herzinfarkttrisikos einher. Die Bekämpfung des Straßenverkehrslärms erfordert ein umfassendes Paket einzelner aufeinander abgestimmter Maßnahmen, die von Verkehrsrecht über Straßenraumentwicklung bis hin zu Sanierungen von Gebäuden reichen.

Die Lübecker Straße ist Bestandteil der B75 und durch die Weiterführung als B5 hat sie eine wichtige Funktion. Sie verbindet den Süden mit dem Norden und ermöglicht neben dem Elbtunnel eine Elbquerung. Im Hamburg-Nord verläuft die stark befahrene Lübecker Straße durch den Stadtteil Hohenfelde und verlärmert dabei viele Wohngebiete.

Das in dieser Arbeit untersuchte Gebiet befindet sich nördlich der Lübecker Straße, ausgehend vom Mühlendamm bis zur Neubertstraße. Das Plangebiet besteht aus acht Gebäudekomplexen in einer offenen Zeilenbauweise, die senkrecht zur Straße angeordnet sind.

In der vorliegenden Arbeit wird die Minderungswirkung einer Baulückenschließung im Untersuchungsgebiet anhand einer modellbasierten Simulation abgeschätzt. Hierbei wird eine teil- und eine geschlossene Randbebauung simuliert. Zudem werden folgende Einzelmaßnahmen und deren Kombinationen untersucht: Einführung von Tempo 30, Reduktion des LKW-Anteils und Reduzierung des Straßenquerschnitts. Insgesamt werden zu der Blockrandbebauung sieben Maßnahmen untersucht.

Die Ergebnisse aus der Untersuchung haben gezeigt, dass das Gebiet im Ist-Zustand durch hohe Lärmbelastungen beeinträchtigt wird. Im Durchschnitt wird für das ganze Gebiet ein Beurteilungspegel von 58/51 dB(A) Tag/Nacht festgestellt. Auf der lärmzugewandten Seite wird durchschnittlich ein Pegel von 71/64 dB(A) Tag/Nacht, welcher die Gesundheitsgefährdungsschwelle von 70/60 dB(A) Tag/Nacht überschreitet, berechnet.

Die Schließung der Baulücken löst im Durchschnitt eine hohe lärmindernde Wirkung im ganzen Untersuchungsgebiet aus. Der durchschnittliche Pegel wird im Vergleich zum Null-Zustand durch die teil-geschlossene Randbebauung um 4,7/4,9 dB(A) Tag/Nacht gesenkt. Die komplett geschlossene Randbebauung ruft eine durchschnittliche Lärmpegelreduktion sogar um 6,4/6,7 dB(A) Tag/Nacht hervor. Vor allem bei den hinter der Neubauten liegenden Bebauungen und Freiflächen ist eine erhebliche Entlastung festzustellen. Auf der lärmzugewandten Seite wird weder ein positiver noch negativer Effekt beobachtet. Die Gesundheitsgefährdungsschwelle wird auf dieser Seite weiterhin überschritten.

Die restlichen Maßnahmen zielen vor allem auf die Verlagerung bzw. Verlangsamung des Verkehrs. Wie auch in der Theorie macht sich im Untersuchungsgebiet die Wirkung solcher Maßnahmen vor allem auf der lärmzugewandten Seite bemerkbar. Im Allgemeinen wird im ganzen Untersuchungsgebiet je nach Maßnahme eine zusätzliche Minderung des durchschnittlichen Beurteilungspegels um 1 bis 2 dB(A) erzielt.

Auf der lärmzugewandten Seite wird dagegen durch die Einführung von Tempo 30 eine Reduktion um 3 dB(A) erreicht. Der durchschnittliche Beurteilungspegel beträgt bei dieser Maßnahme 69/61 dB(A) Tag/Nacht. Die Reduktion des LKW-Anteils mindert den durchschnittlichen Beurteilungspegel (69/62 dB(A) Tag/Nacht) um 2 dB(A).

Die Kombination aus beiden Maßnahmen erzielt eine Minderung um 4 dB(A) und erreicht einen Beurteilungspegel von 67/60 dB(A) Tag/Nacht. Somit schafft nur diese Kombination auf der lärmzugewandten Seite den Beurteilungspegel unter der Gesundheitsgefährdungsschwelle in beiden Zeiträumen zu reduzieren.

Die Reduzierung des Straßenquerschnitts erzielt ähnliche Werte wie beim Null-Zustand. Dementsprechend unterscheiden sich die kombinierten Maßnahmen nicht nennenswert von den jeweiligen Einzelmaßnahmen. Eine solche Vorkehrung kann jedoch durch eine attraktive optische Gestaltung der gewonnenen Seitenflächen für eine subjektive Lärminderung sorgen [UBA09a, S. 14]. Zudem könnten emissionsarme Verkehrsarten, wie Fuß- und Radverkehr, durch den Ausbau der Verkehrsanlagen gefördert werden.

Die Umsetzung der Randbebauung (teil- bzw. geschlossen) in Kombination mit der Einführung von Tempo 30 oder mit der Reduktion des LKW-Anteils, oder ohne zusätzliche Vorkehrungen an der Quelle erfordert einige planerischen Maßnahmen. Zum einen muss eine Grundrissorientierung von schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen, wie Wohn-, Schlaf-, Kinderzimmer, an die lärmabgewandten Gebäudefassaden erfolgen. Zum anderen müssen entlang der Lübecker Straße zweischalige Außenwände gebaut werden, die für den notwendigen Schutz sorgen sollen [BSU10, S. 53]. Der erforderliche Schallschutz kann durch zusätzliche passive Maßnahmen an den Gebäuden hergestellt werden. Hierfür wird die Lärminderung durch ein ausreichendes Schalldämmmaß der Außenbauteile (Fenster, Türen) und ggf. durch zusätzliche fensterunabhängige Lüftungseinrichtungen verstärkt. Außerdem wird empfohlen schutzbedürftige Freiflächen und Außenwohnbereiche, wie Terrassen und Kinderspielflächen, in die Innenhöfe zu orientieren.



7.2 Fazit

Ein übergeordnetes Ziel der Stadt, ist die Anzahl der vom hohen Lärm betroffenen Einwohnern zu reduzieren [BHH17, S. 3].

Die Blockrandbebauung hat sich als eine effiziente Maßnahme zur Lärminderung erwiesen. Die Schließung von Baulücken entlastet vor allem die Bebauungen und Freiflächen, die hinter der geplanten Bauten liegen. Eine Erhöhung der Schadstoffemissionen entlang der Lübecker Straße ist allerdings bei dieser Maßnahme zu erwarten.

Im betrachteten Abschnitt der Lübecker Straße ist im Null-Zustand eine 150 prozentige Überschreitung des jährlichen NO_2 -Mittelgrenzwertes vorhanden (vgl. [LS10, S. 14]). Auch der PM_{10} -Jahresmittelwert ist relativ hoch. In dieser Hinsicht sollte eine weitere Untersuchung in Bezug auf die Schadstoffausbreitung und -konzentration an der Lübecker Straße erfolgen. Belange der Luftreinhaltung sind sorgfältig abzuwägen.

Studien zum Thema Schallschutz haben gezeigt, dass bepflanzte Fassaden in Abhängigkeit von ihren Geometrien eine Lärminderung von bis zu 2 dB(A) hervorrufen können [HSVR⁺16, S. 64]. Bepflanzte Schrägdächer können eine Lärmreduktion von sogar 8 dB(A) erzielen [HSVR⁺16, S. 73]. In dieser Hinsicht könnte die Wirkung weiterer schallabsorbierenden Materialien von Außenbauteilen untersucht werden.

Zur Bekämpfung einer Gesamtstrategie sind Maßnahmen, welche die Belastungen an der Quelle reduzieren, langfristig effizienter. Hierbei sollten Ziele, wie Verkehrsvermeidung, nachhaltige Stadtentwicklung und Verkehrsverlagerung auf emissionsärmere Verkehrsmittel verfolgt werden.

Anhang A

Beurteilungspegels nach der 16. BImSchV

Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen

Der Beurteilungspegel wird nach der 16. BImSchV - Anlage 1 [BJ990b] für den Tageszeitraum (6-22h) durch folgende Formel berechnet und in Dezibel angegeben:

$$L_{r,T} = L_{m,T^{(25)}} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg} + D_{S\perp} + D_{BM} + D_B + K \quad (A.1)$$

Für den Nachtzeitraum (22-6h) wird folgende Formel verwendet. Hierbei wird der Beurteilungspegel ebenfalls in Dezibel angegeben:

$$L_{r,N} = L_{m,N^{(25)}} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg} + D_{S\perp} + D_{BM} + D_B + K \quad (A.2)$$

In der Regel wird die für die Berechnung notwendige stündliche Verkehrsstärke M und der LKW-Anteil p mittels durchschnittlicher täglicher Verkehrsstärke (DTV) nach Tabelle A.1 ermittelt. Dabei wird das Verkehrsaufkommen einer Straße jeweils in der Mitte der beiden äußeren Fahrstreifen zugeordnet und die Emissionsorte in 0,5 m Höhe über der Fahrbahn angenommen [BJ990b].

Tabelle A.1: Maßgebende Verkehrsstärke M und Maßgebende LKW-Anteil p

Straßengattung	Tags (6-22h)		Nachts (22-6h)	
	M	P	M	P
	Kfz/h	%	Kfz/h	%
Bundesautobahnen	0,06 DTV	25	0,014 DTV	45
Bundesstraßen	0,06 DTV	20	0,011 DTV	20
Landes-, Kreisstraßen, Gemeindeverbindungsstraßen	0,06 DTV	20	0,008 DTV	10
Gemeindestraßen	0,06 DTV	10	0,011 DTV	3

Quelle: Eigene Darstellung

Tabellengrundlagen: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Der Mittelungspegel $L_{m,T^{(25)}}$ bzw. $L_{m,N^{(25)}}$ ist nach der Formel aus der Abbildung A.1 zu berechnen.

Der Korrekturfaktor D_v berücksichtigt das Auftreten unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom LKW-Anteil p und wird nach der Abbildung A.2 bestimmt.

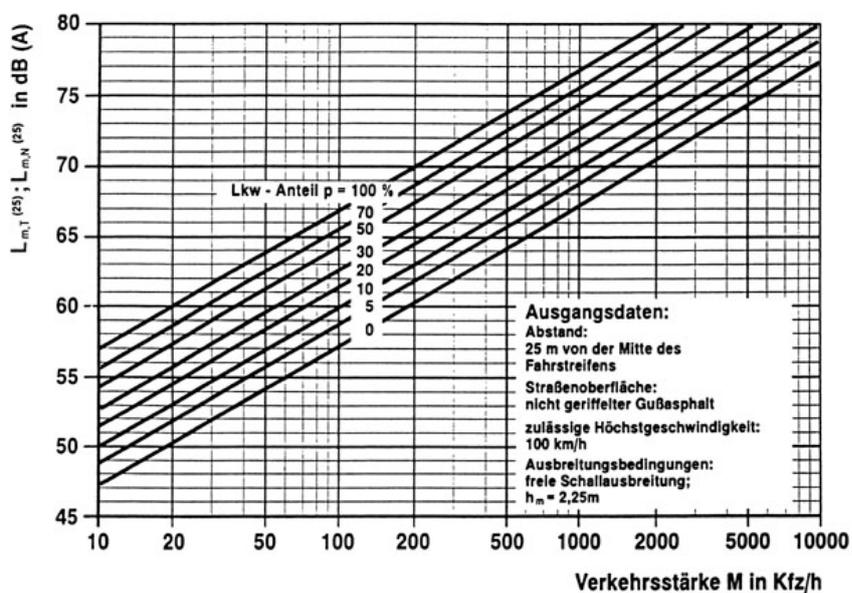
D_{StrO} entspricht dem Korrekturfaktor für unterschiedliche Straßenoberflächen nach Tabelle A.2 und D_{Stg} der Korrektur für Steigungen und Gefälle nach Tabelle A.3.

Durch $D_{S\perp}$ wird die Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände $S\perp$ zwischen dem Emissionsort¹ und dem maßgebenden Immissionsort² berücksichtigt. Die Korrektur $D_{S\perp}$ wird nach Abbildung A.3 ermittelt.

D_{BM} entspricht dem Korrekturfaktor, der die Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung berücksichtigt. Dieser wird in Abhängigkeit von der mittleren Höhe h_m angegeben, welche dem mittleren Abstand zwischen der Geländeoberkante und der Verbindungslinie (zwischen Emissions- und Immissionspunkt) entspricht.

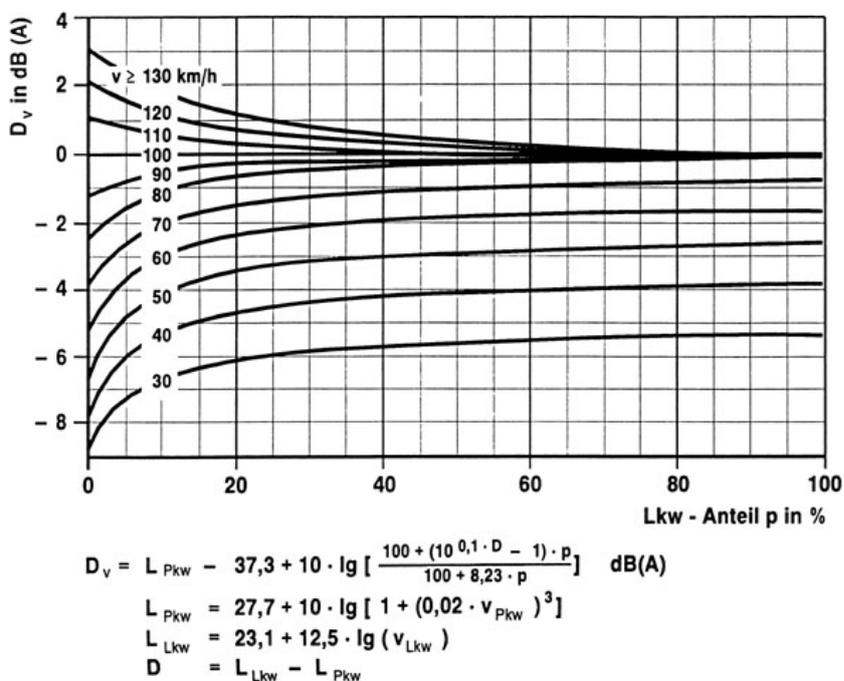
¹Der Emissionsort liegt 0,5 m über der Mitte des betrachteten Fahrstreifens.

²Die Höhe des maßgebenden Immissionsortes wird in Abhängigkeit der Umstände im Einzelfall festgelegt. Vor Gebäuden liegt er in Höhe der Geschosdecke (0,2 m über der Fensteroberkante) des betrachteten Raums. Bei Außenwohnbereichen liegt der Immissionspunkt 2,0 m über der Mitte der Außenwohnbereichsfläche [BJ990b].



Quelle: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Abbildung A.1: Berechnung von Mittelungspegel $L_{m,T}^{(25)}$ und $L_{m,N}^{(25)}$



Quelle: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Abbildung A.2: Korrekturfaktoren für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten

Tabelle A.2: Korrekturfaktoren für unterschiedliche Straßenoberflächen

Straßenoberfläche	D _{Str0} *
	dB(A)
Nicht geriffelte Gußasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalt	0
Beton oder geriffelte Gußasphalte	2
Pflaster mit ebener Oberfläche	3
Pflaster	6

* Für lärmindernde Straßenoberflächen, bei denen aufgrund neuer bautechnischer Entwicklungen eine dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können auch andere Korrekturwerte D_{Str0} berücksichtigt werden, z.B. für offenporige Asphalte bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten > 60 km/h minus 3 dB(A).

Quelle: Eigene Darstellung

Tabellengrundlagen: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Tabelle A.3: Korrekturfaktoren für Steigungen und Gefälle

Steigung / Gefälle	D _{Stg}
%	dB(A)
≤ 5	0
6	0,6
7	1,2
8	1,8
9	2,4
10	3
für jedes zusätzliche Prozent	0,6

Quelle: Eigene Darstellung

Tabellengrundlagen: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

D_{BM} wird gemäß Abbildung A.4 berechnet.

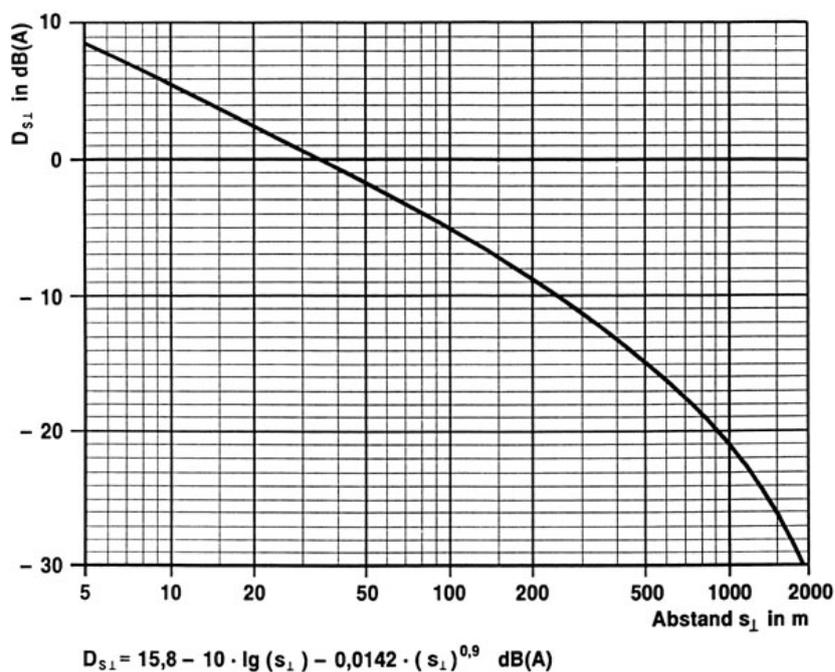
Durch D_B wird die Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen miteinbezogen. D_B ist nach RLS-90 mittels folgender Formel zu berechnen [BfV90, S. 17]:

$$D_B = D_{refl} - D_z$$

Die Pegelerhöhung durch die Mehrfachreflexion bei Fahrstreifen zwischen parallelen Wänden wird mit dem Faktor D_{refl} berücksichtigt. Dabei nimmt der Mittelungspegel zusätzlich zur ersten Reflektion um folgenden Faktor zu [BfV90, S. 17]:

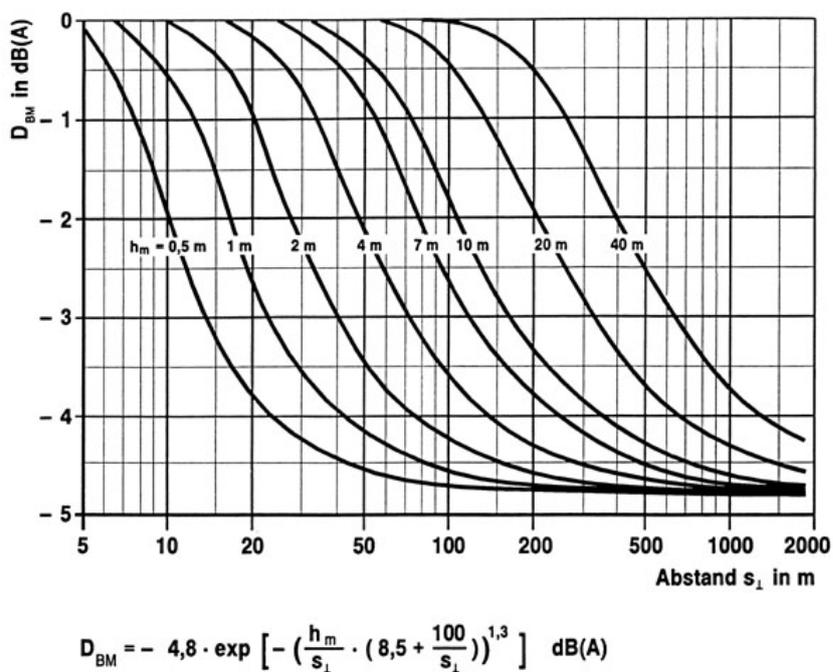
$$D_{refl} = 4 \cdot h_{Beb}/w \leq 3,2$$

Mit h_{Beb} und w werden geometrische Randbedingungen eingebunden (siehe Abbildung A.5).



Quelle: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Abbildung A.3: Pegeländerung $D_{s_{\perp}}$ durch unterschiedliche Abstände



Quelle: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Abbildung A.4: Pegeländerung D_{BM} durch Boden- und Meteorologiedämpfung

Bei schallabsorbierenden³ Lärmschutzwänden oder Stützmauern wird die Mehrfachreflexion durch folgende Formel berücksichtigt:

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

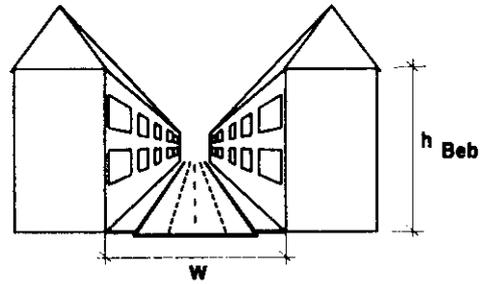
D_z entspricht der Pegelminderung durch Abschirmung. Das Abschirmmaß wird wie folgt definiert:

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

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

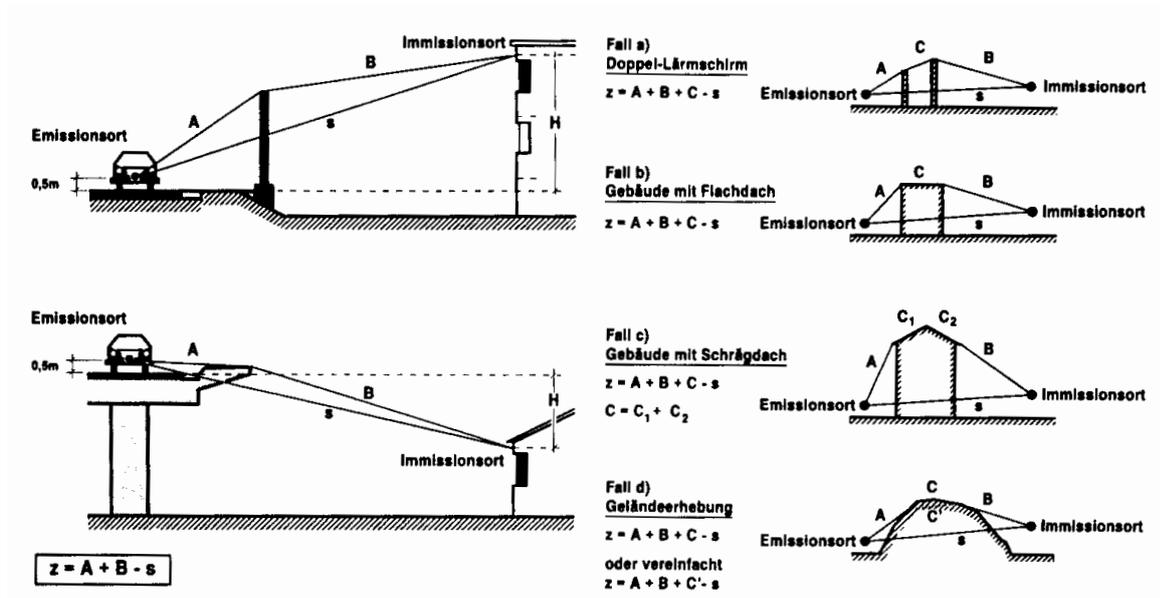
$$K_w = \exp\left(-\frac{1}{2000} \sqrt{\frac{A \cdot B \cdot s}{2 \cdot z}}\right)$$

Die Faktoren A , B , C und s können der Abbildung A.6 entnommen werden. Dabei wird links der Fall mit einer Beugungskante dargestellt. Rechts wird der Schirmwert bei mehreren Beugungskanten abgebildet.



Quelle: RLS-90 [BfV90, S. 15]

Abbildung A.5: Geometrische Parameter



Quelle: RLS-90 [BfV90, S. 16]

Abbildung A.6: Schirmwert z bei einer und mehreren Beugungskanten

Die erste Reflexion entspricht dem einfach reflektierten Schall, der nach dem ersten Stoß auf Stützmauern, Hausfassaden oder andere Flächen entsteht. Bei Straßen, die zwischen parallelen Wänden verlaufen wird die erste Reflexion durch D_E nach Tabelle A.4 berücksichtigt. Alle weiteren Reflexionen werden durch den Faktor D_{refl} miteinbezogen [BfV90, S. 20-21].

³Bei hoch schallabsorbierenden Lärmschutzwänden oder Mauern wird die Mehrfachreflexion nicht berücksichtigt [BfV90, S. 17].

Tabelle A.4: Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der ersten Reflexion

Reflexionsart	D _E
	dB(A)
Glatte Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände	-1
Gegliederte Hausfassaden (z.B. Fassaden mit Erkern, Balkonen etc.)	-2
Absorbierende Lärmschutzwände	-4
Hochabsorbierende Lärmschutzwände	-8

Quelle: Eigene Darstellung

Tabellengrundlagen: RLS-90 [BfV90, S. 20]

Der letzte Faktor K aus der Formel A.1 bzw. A.2 entspricht dem Zuschlag für erhöhte Störwirkung von lichtsignalgeregelten Knotenpunkten und Einmündungen. Er wird nach Tabelle A.5 ermittelt.

Tabelle A.5: Zuschlag K für erhöhte Störwirkung von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen

Abstand des Immissionsortes vom nächsten Schnittpunkt der Achsen von sich kreuzenden oder zusammentreffenden Fahrstreifen	K
	dB(A)
bis 40 m	3
über 40 bis 70 m	2
über 70 bis 100 m	1

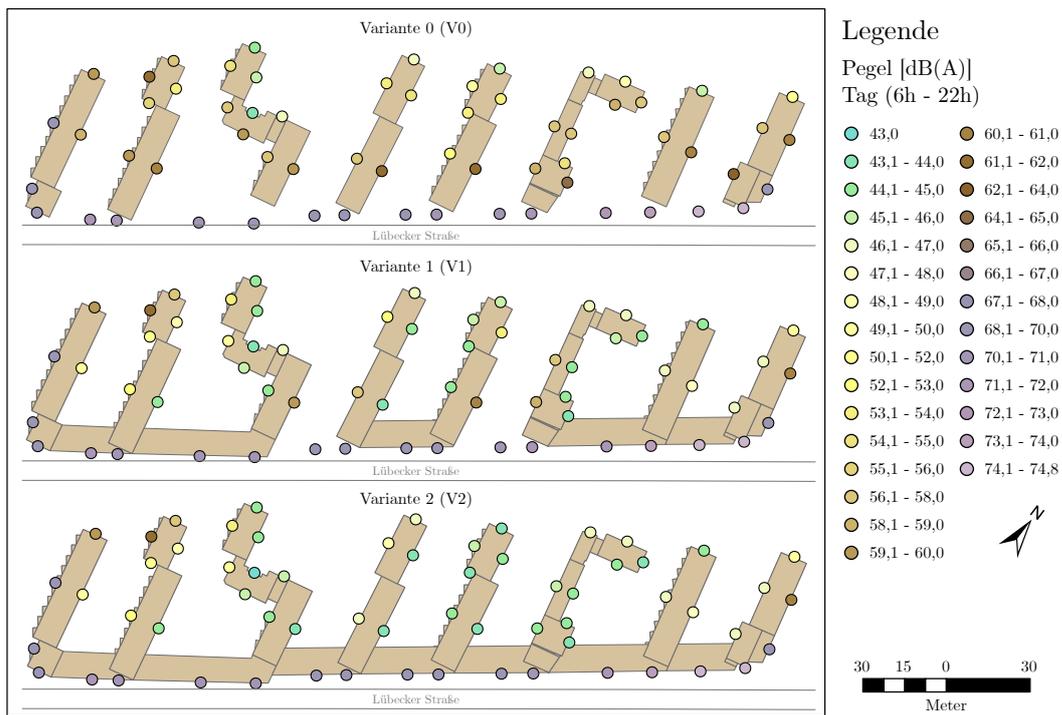
Quelle: Eigene Darstellung

Tabellengrundlagen: Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen - Anlage 1 [BJ990b]

Anhang B

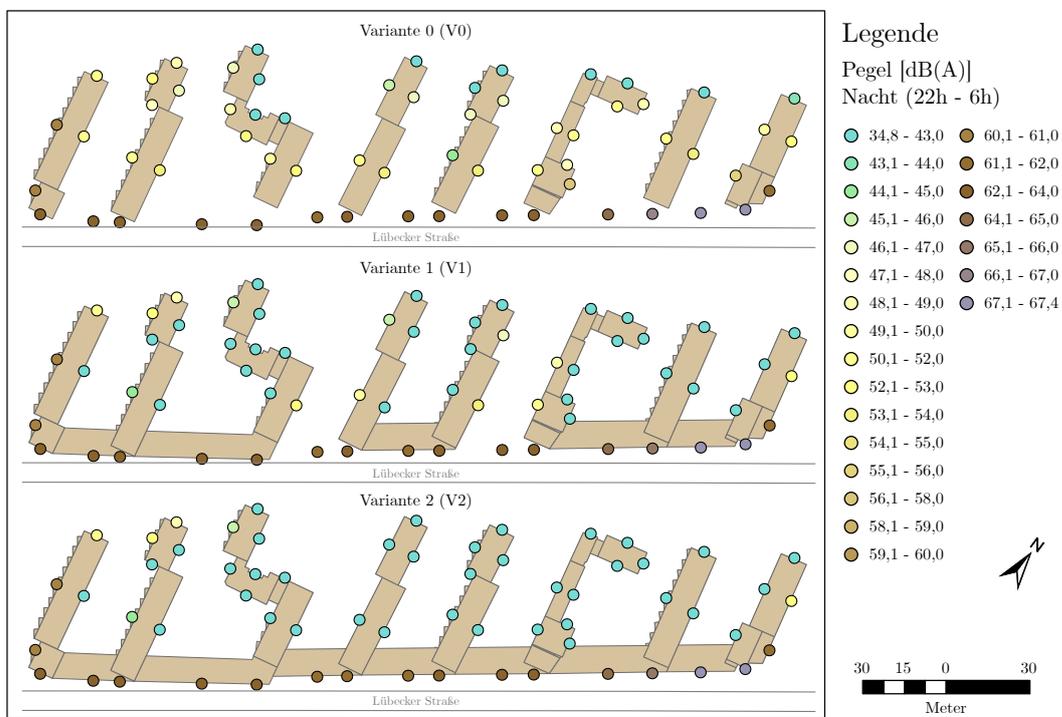
Beurteilungspegel: Maßnahme 0

„Keine veränderlichen Maßnahmen“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung B.1: Beurteilungspegel (Tag): „Keine veränderlichen Maßnahmen (M0)“



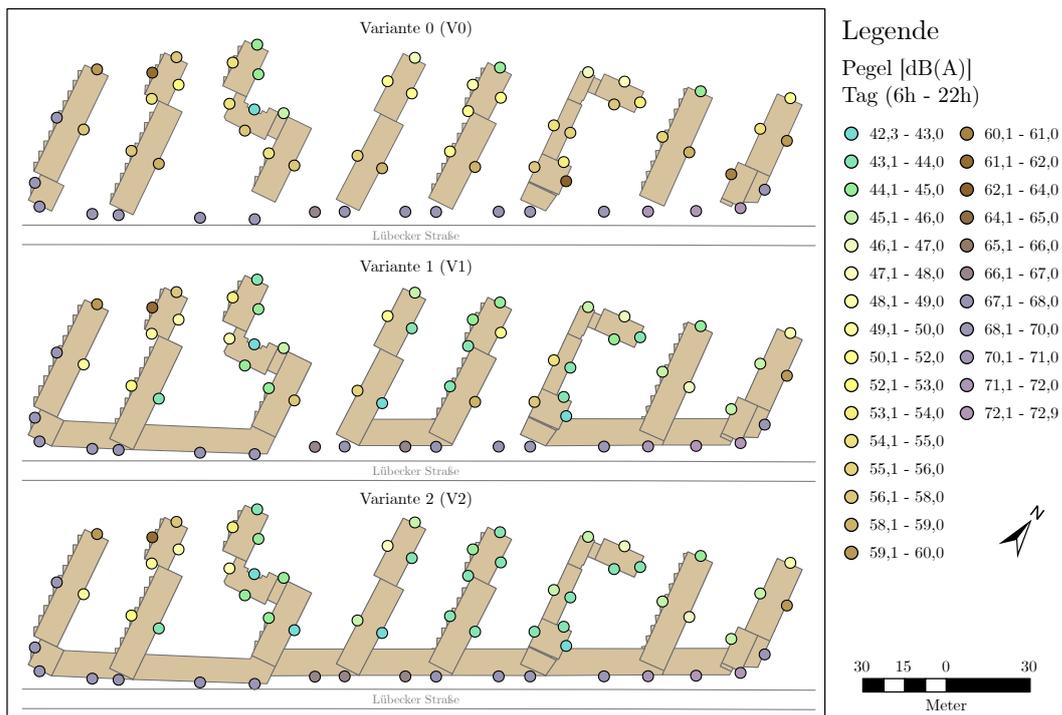
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung B.2: Beurteilungspegel (Nacht): „Keine veränderlichen Maßnahmen (M0)“

Anhang C

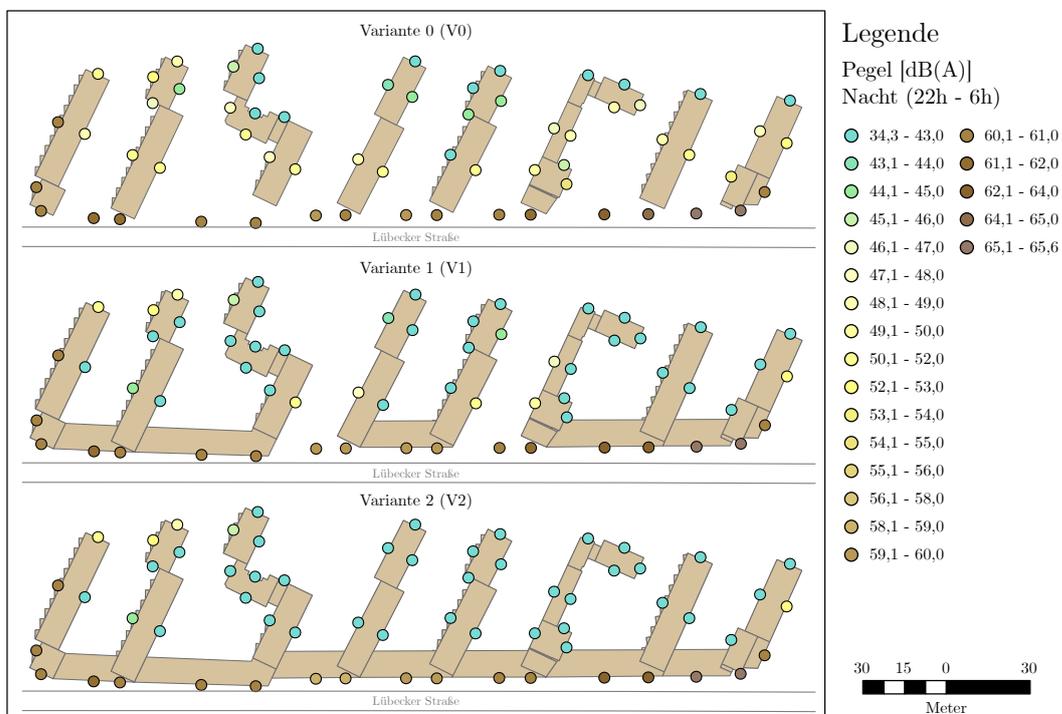
Beurteilungspegel: Maßnahme 1

„Einführung von Tempo 30“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung C.1: Beurteilungspegel (Tag): „Tempo 30 (M1)“



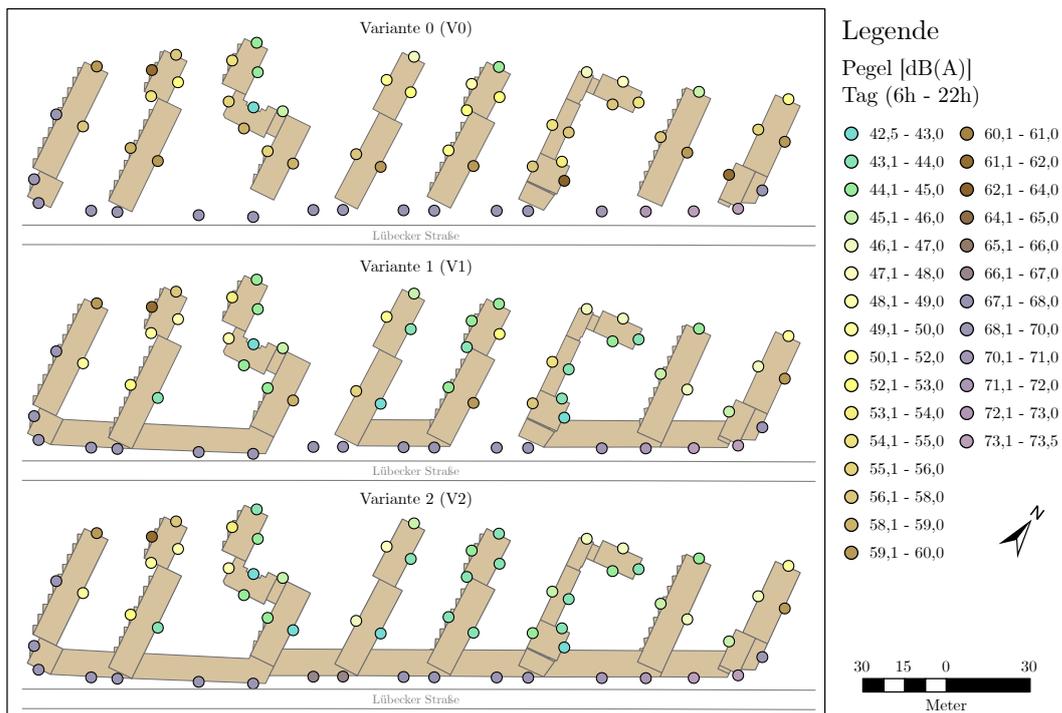
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung C.2: Beurteilungspegel (Nacht): „Tempo 30 (M1)“

Anhang D

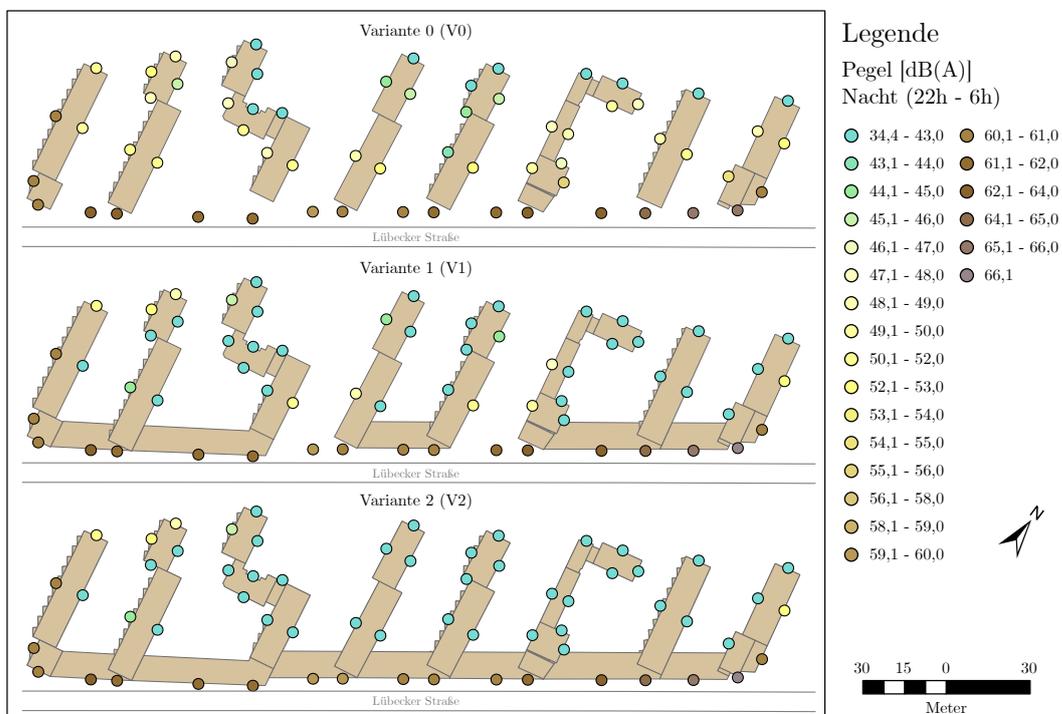
Beurteilungspegel: Maßnahme 2

„Reduktion des LKW-Anteils“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung D.1: Beurteilungspegel (Tag): „LKW-Anteil (M2)“



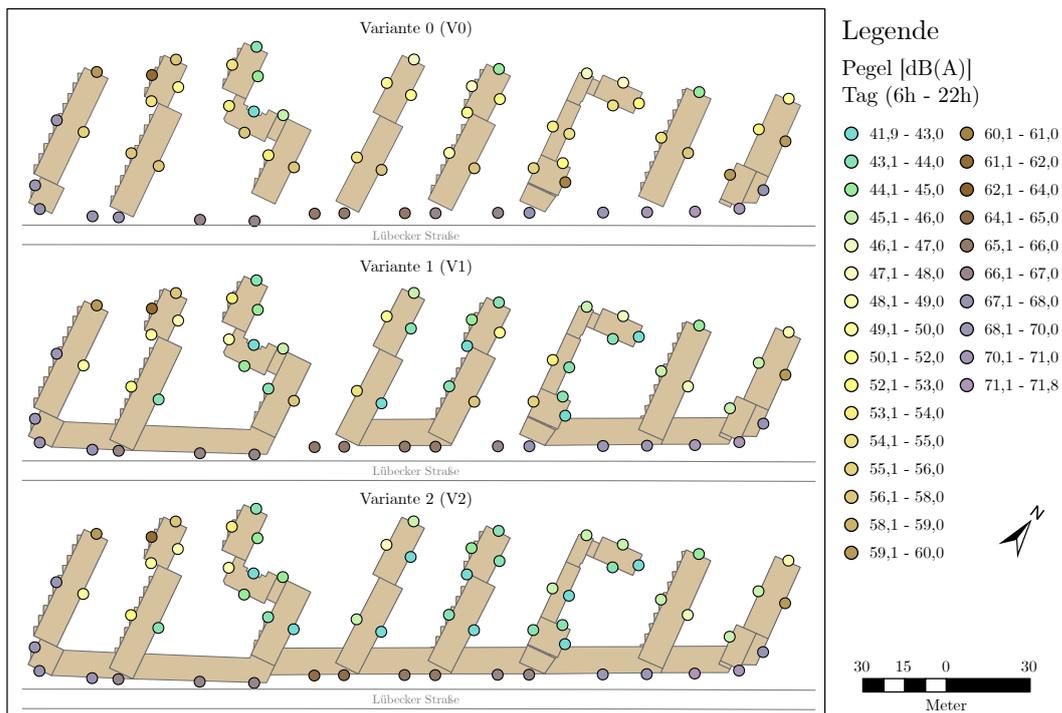
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung D.2: Beurteilungspegel (Nacht): „KW-Anteil (M2)“

Anhang E

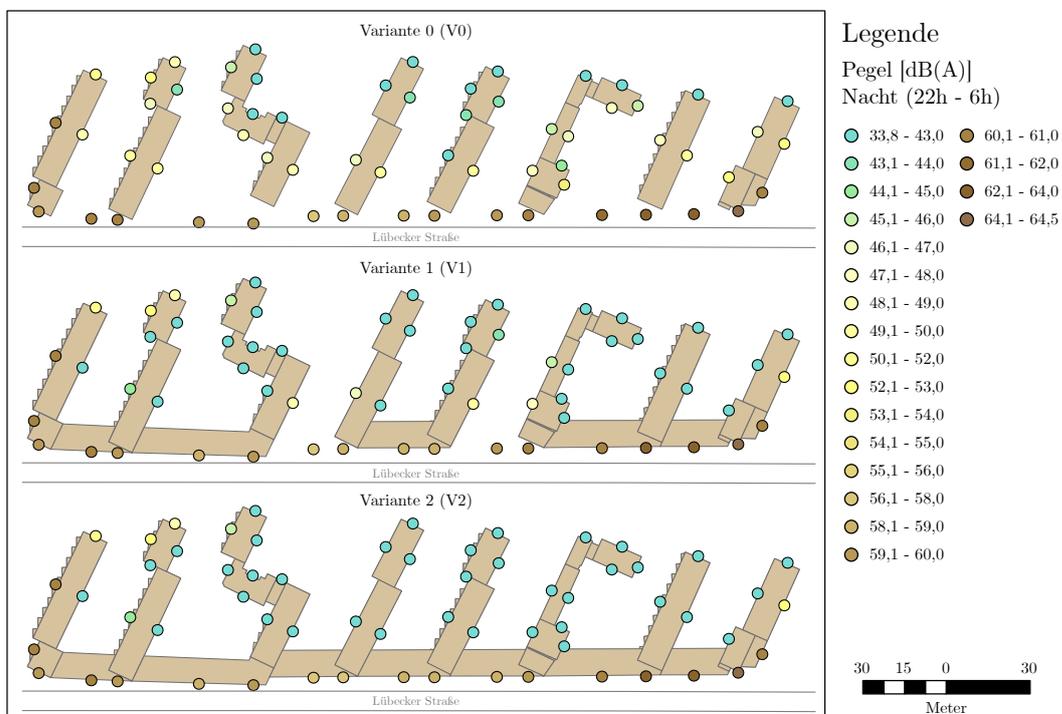
Beurteilungspegel: Maßnahme 3

„Reduktion des LKW-Anteils und Einführung von Tempo 30“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung E.1: Beurteilungspegel (Tag): „LKW-Anteil und Tempo 30 (M3)“



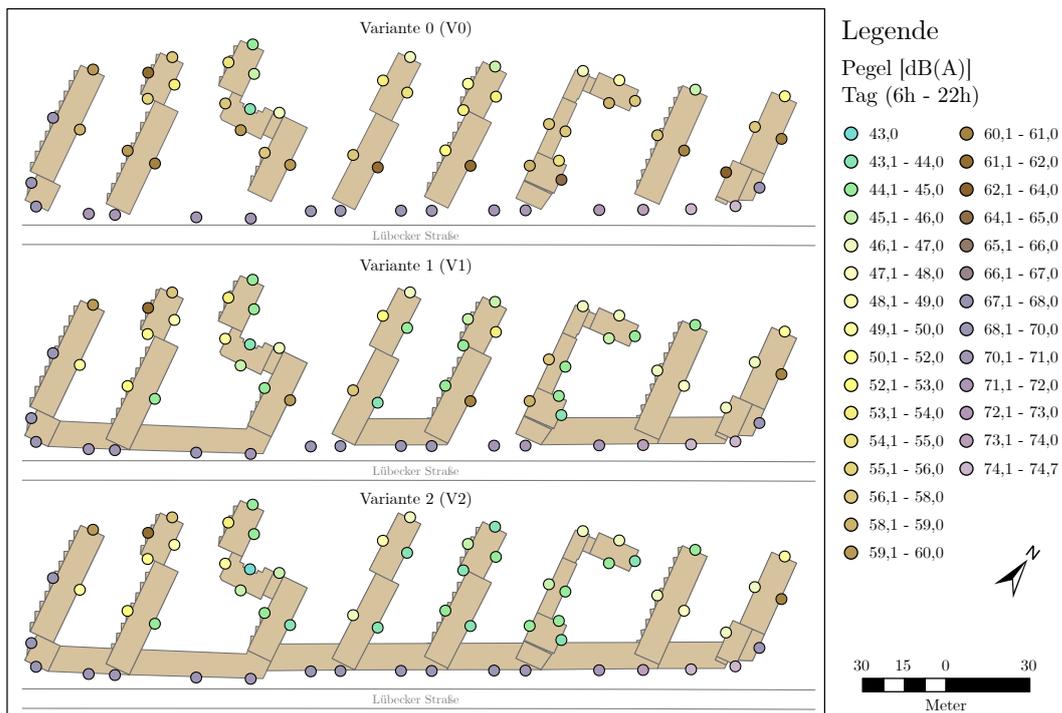
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung E.2: Beurteilungspegel (Nacht): „LKW-Anteil und Tempo 30 (M3)“

Anhang F

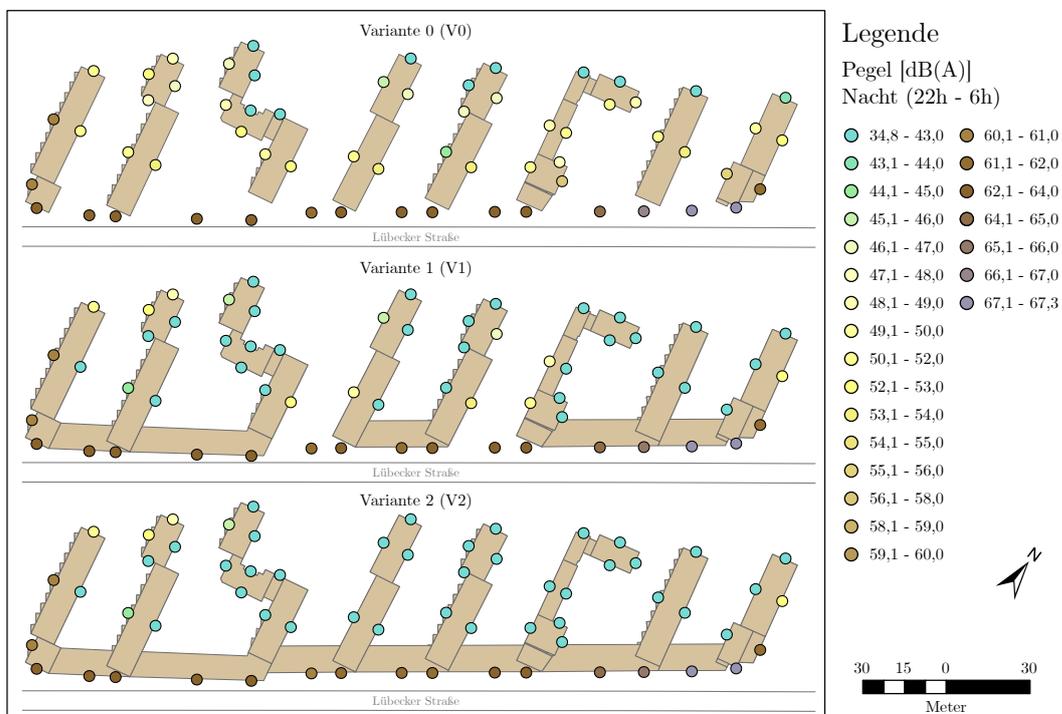
Beurteilungspegel: Maßnahme 4

„Reduzierung des Straßenquerschnitts“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung F.1: Beurteilungspegel (Tag): „RQS (M4)“



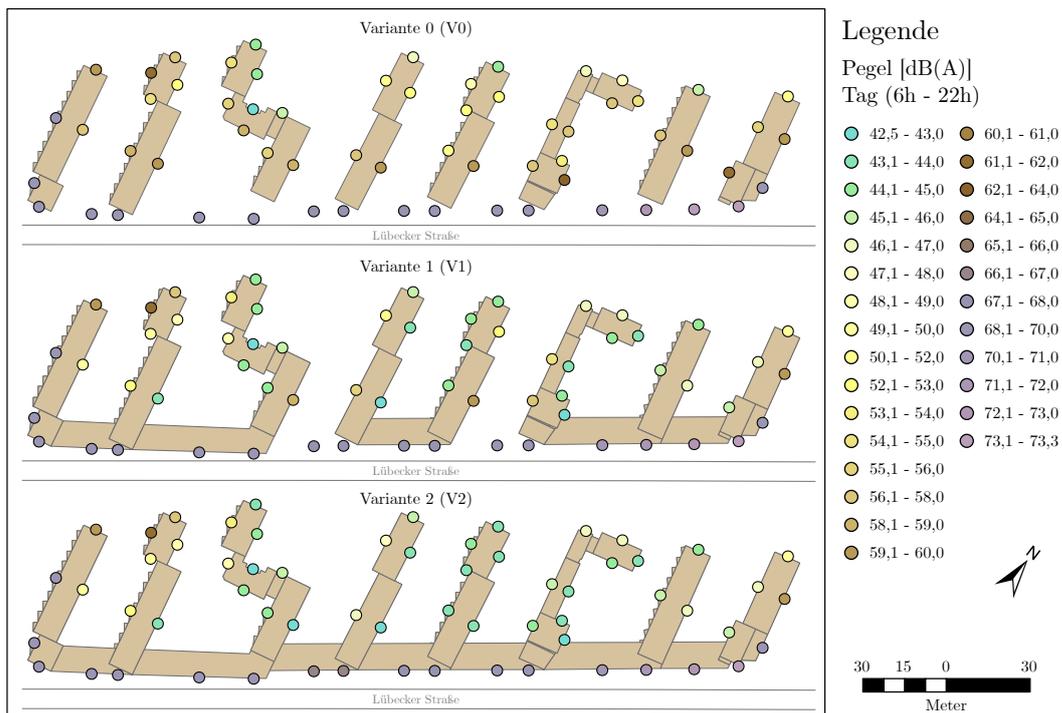
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung F.2: Beurteilungspegel (Nacht): „RQS (M4)“

Anhang G

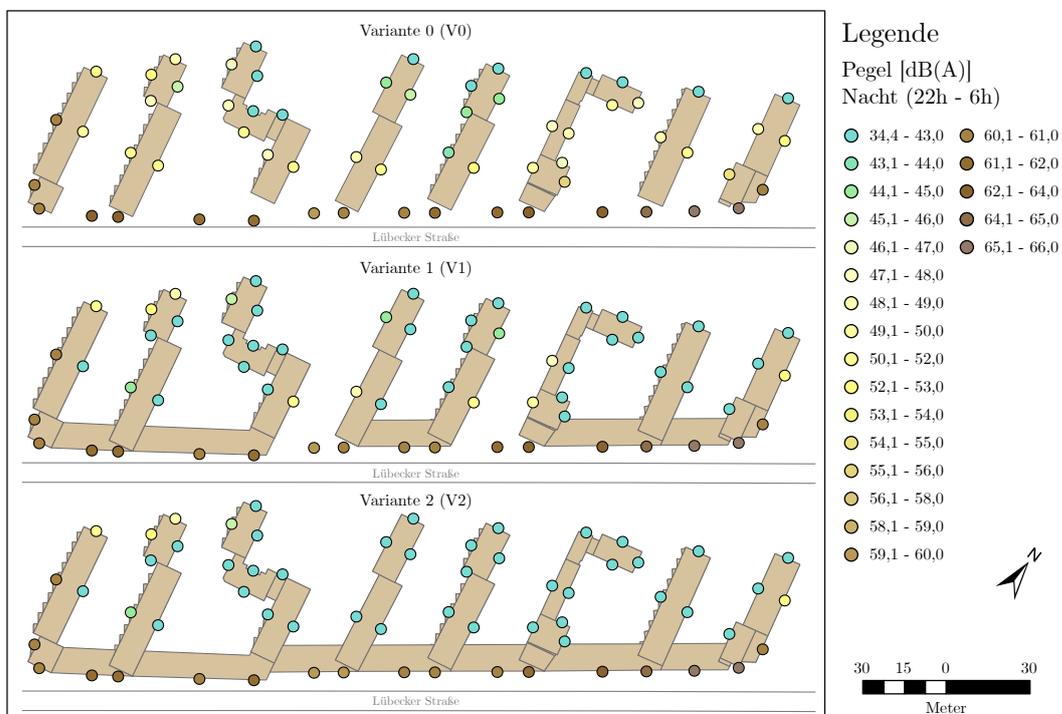
Beurteilungspegel: Maßnahme 5

„Reduzierung des Straßenquerschnitts
und Reduktion des LKW-Anteils“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung G.1: Beurteilungspegel (Tag): „RQS und LKW-Anteil (M5)“



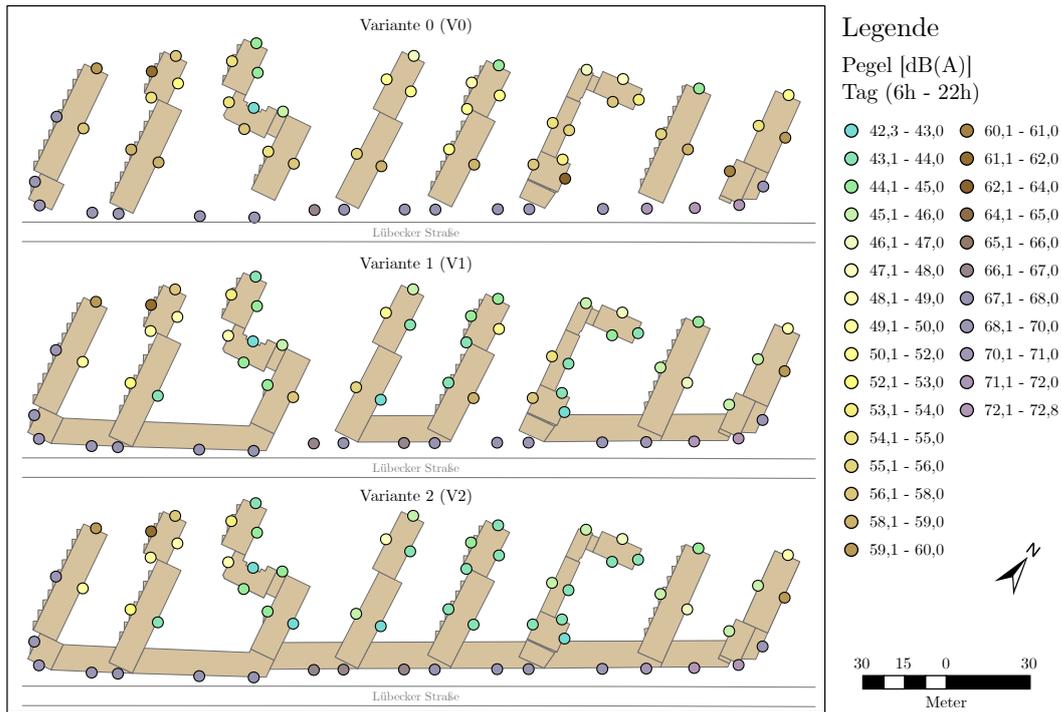
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung G.2: Beurteilungspegel (Nacht): „RQS und LKW-Anteil (M5)“

Anhang H

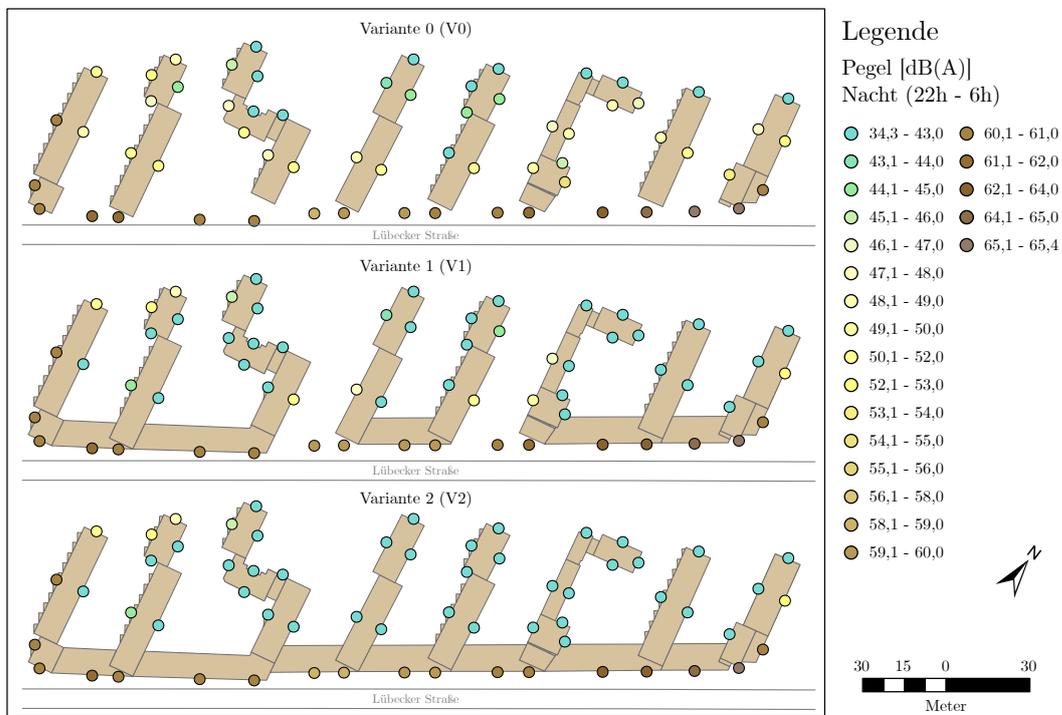
Beurteilungspegel: Maßnahme 6

„Reduzierung des Straßenquerschnitts
und Einführung von Tempo 30“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung H.1: Beurteilungspegel (Tag): „RQS und Tempo 30 (M6)“



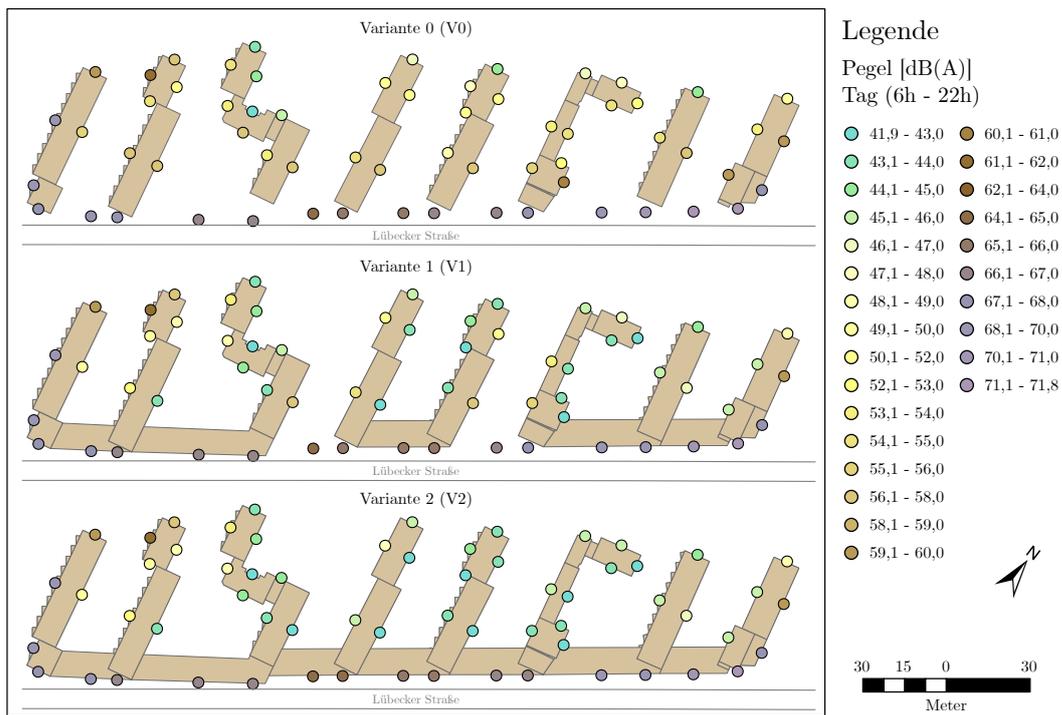
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung H.2: Beurteilungspegel (Nacht): „RQS und Tempo 30 (M6)“

Anhang I

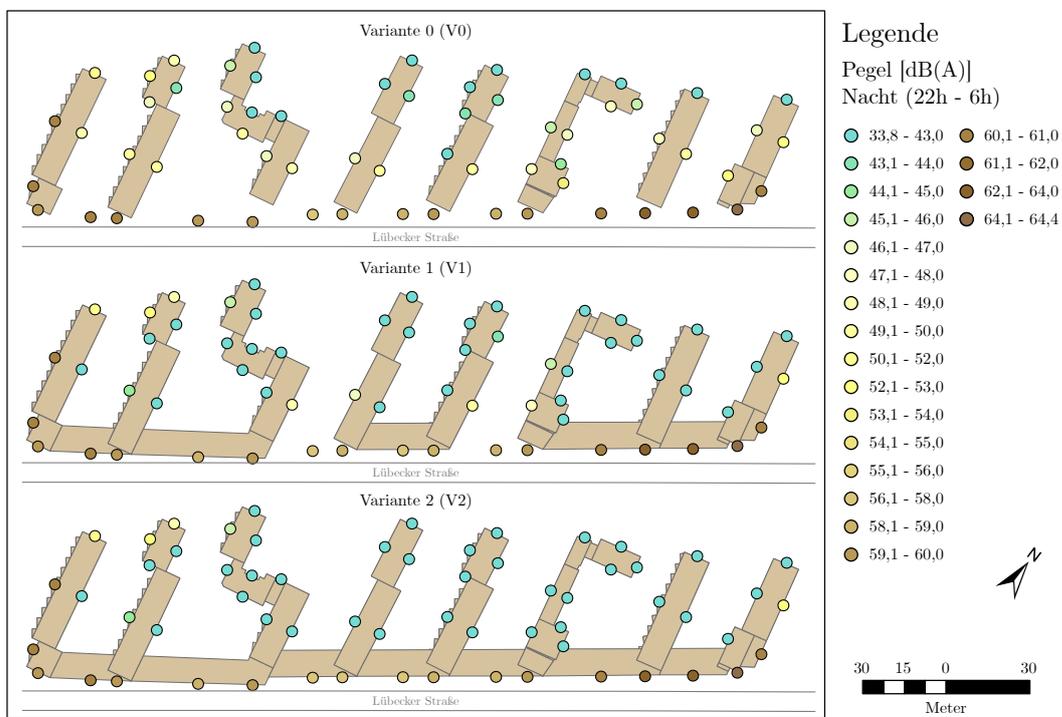
Beurteilungspegel: Maßnahme 7

„Reduzierung des Straßenquerschnitts,
Einführung von Tempo 30 und Reduk-
tion des LKW-Anteils“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

Abbildung I.1: Beurteilungspegel (Tag): „RQS, LKW-Anteil und Tempo 30 (M7)“



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von ArcGIS 10.4.1 und Inkscape 0.91

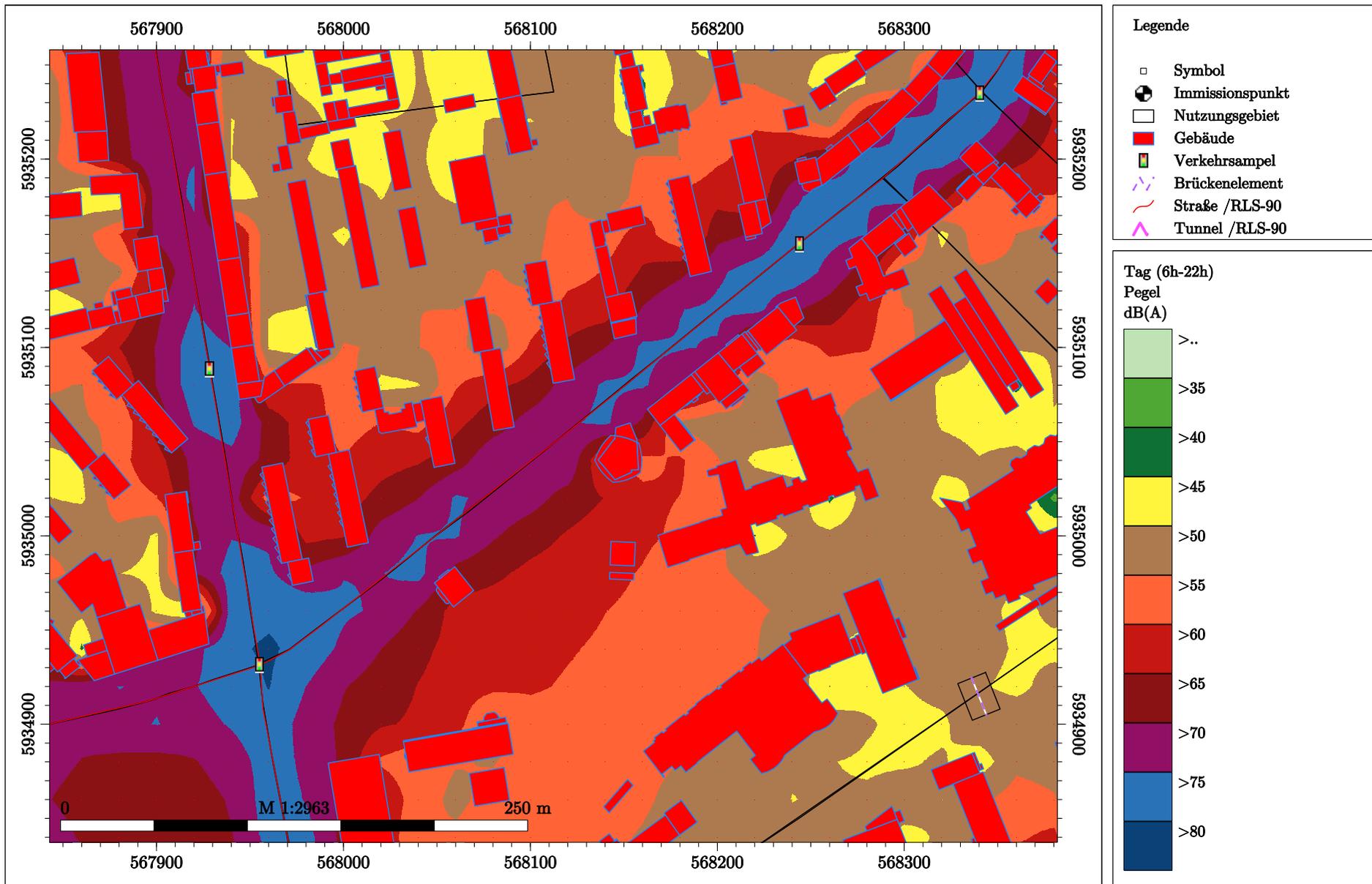
Abbildung I.2: Beurteilungspegel (Nacht): „RQS, LKW-Anteil und Tempo 30 (M7)“

Anhang J

Schallausbreitung

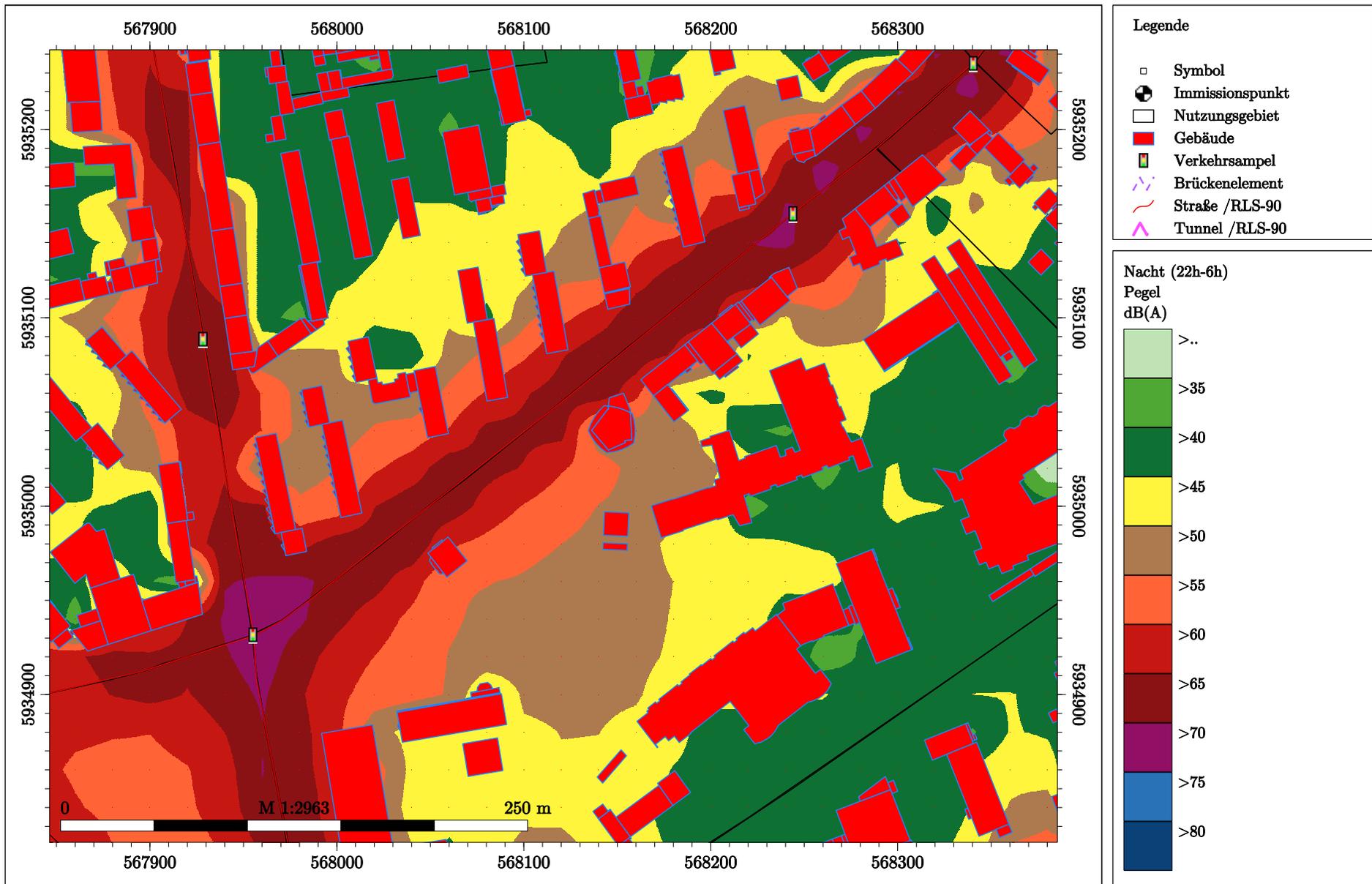
Schallausbreitung anhand der Maßnahme 0 „Keine veränderliche Maßnahmen“, Variante V0, V1 und V2

Schallausbreitung, Variante 0



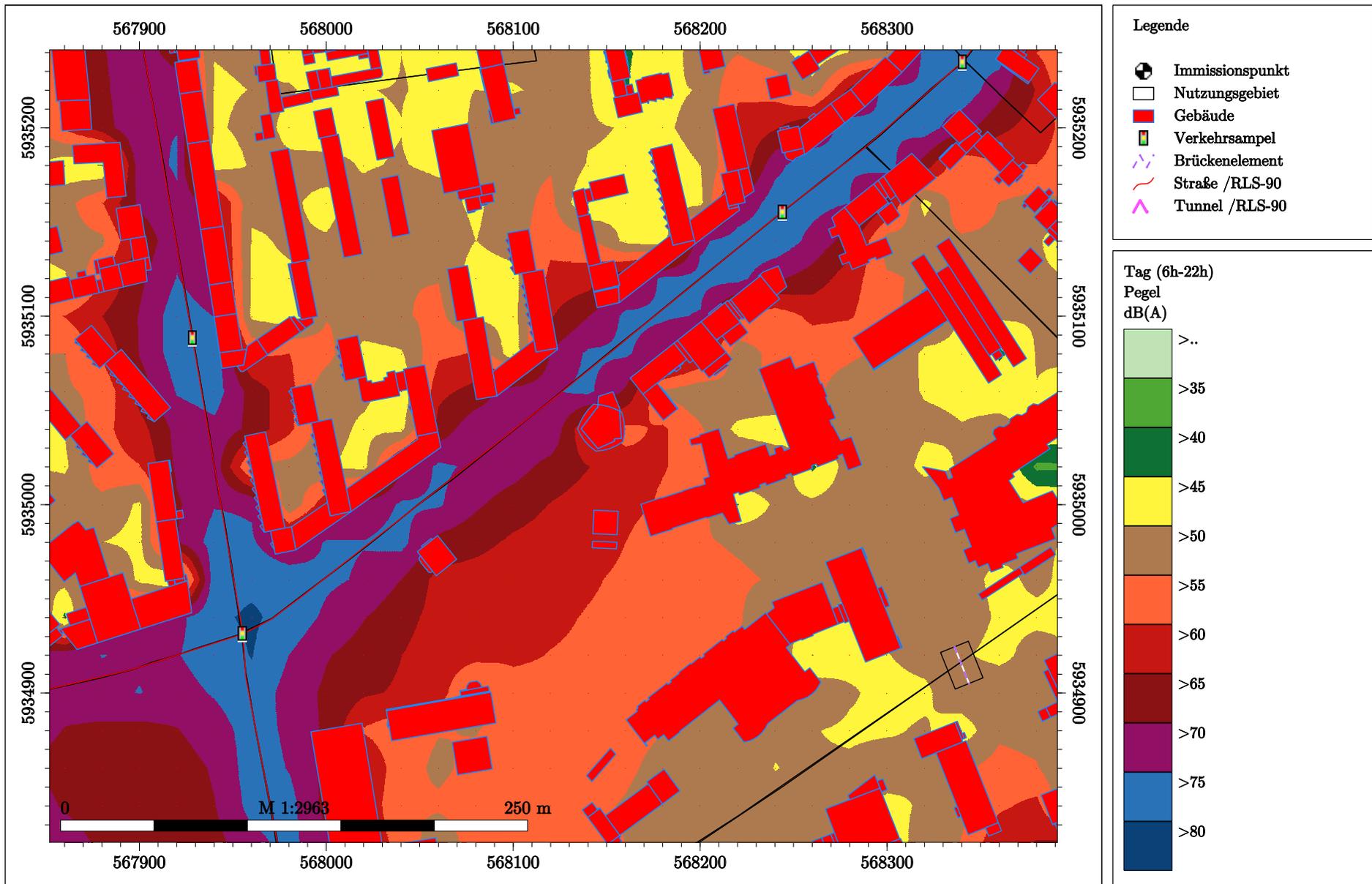
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI

Schallausbreitung, Variante 0



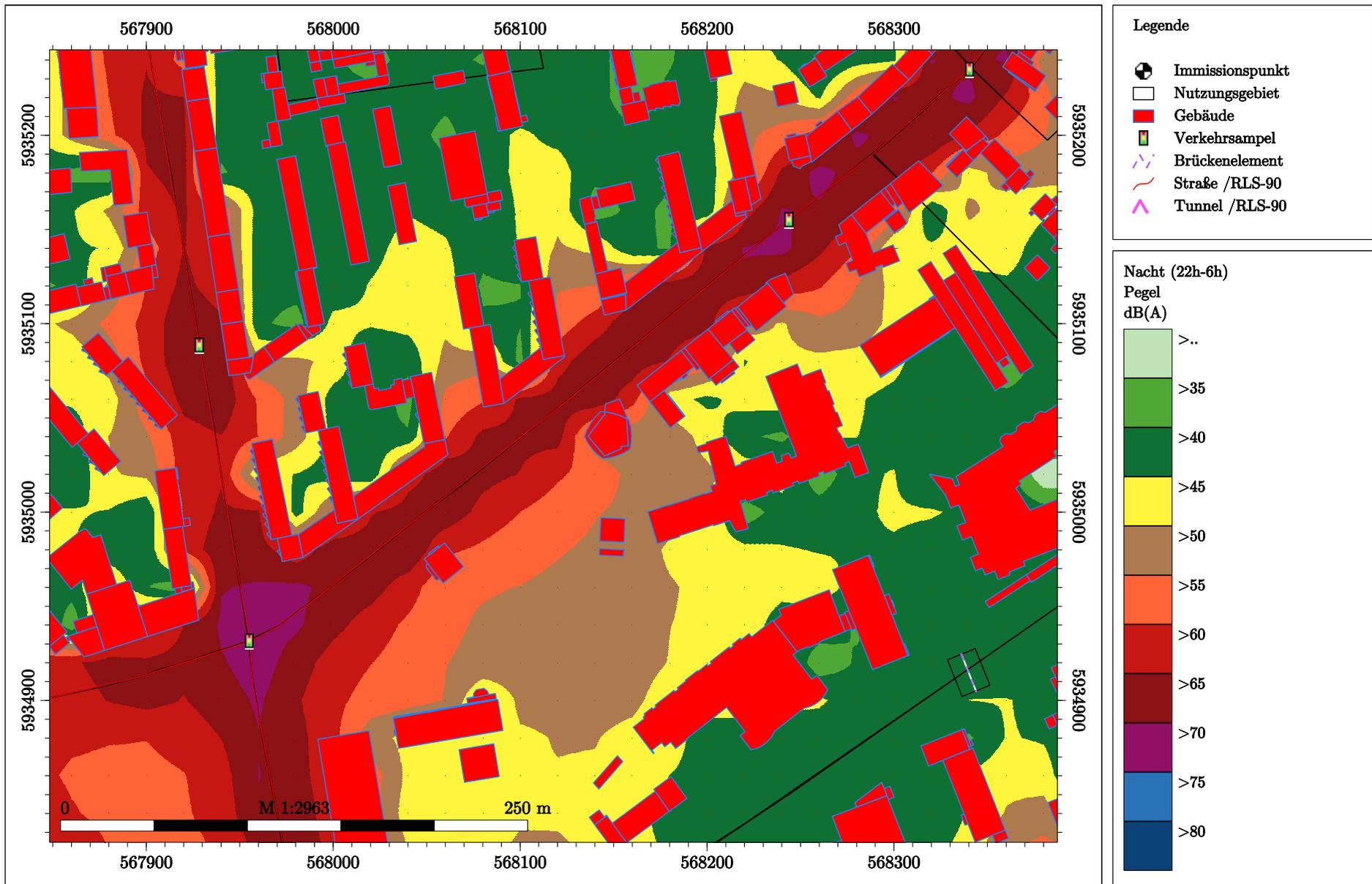
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI

Schallausbreitung, Variante 1



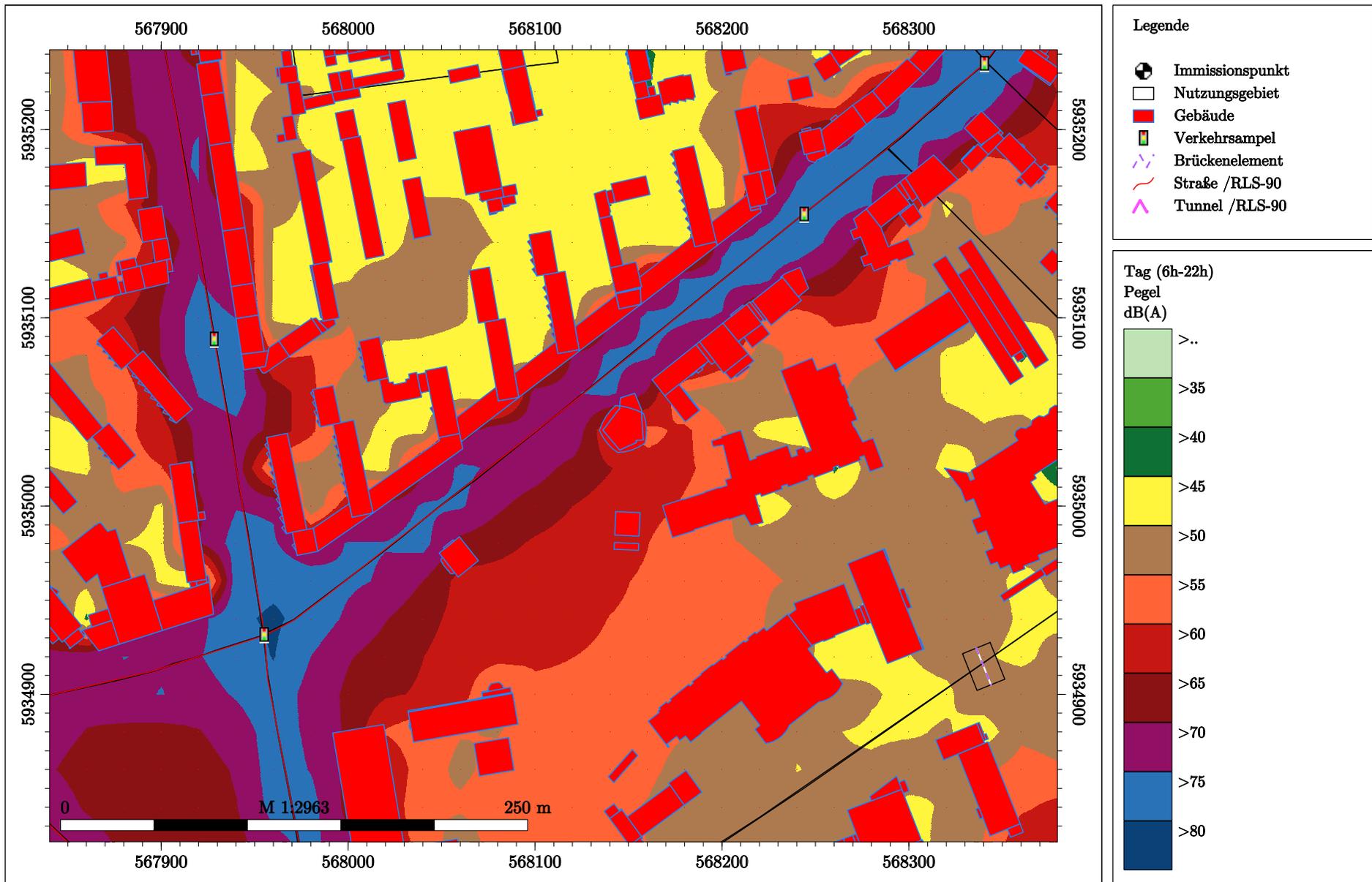
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI

Schallausbreitung, Variante 1



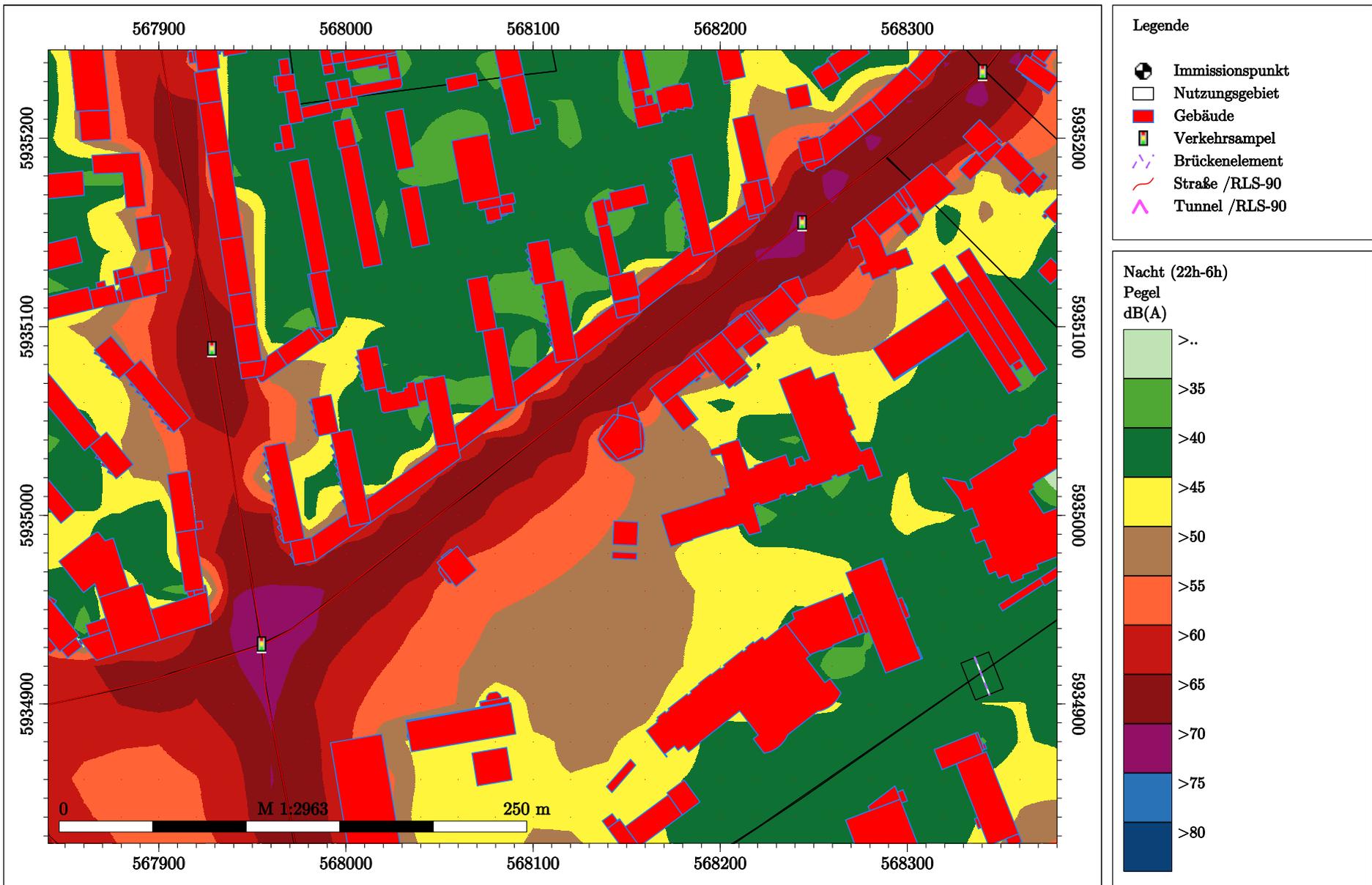
Quelle: Eigene Darstellung unter verwendung von IMMI

Schallausbreitung, Variante 2



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI

Schallausbreitung, Variante 2

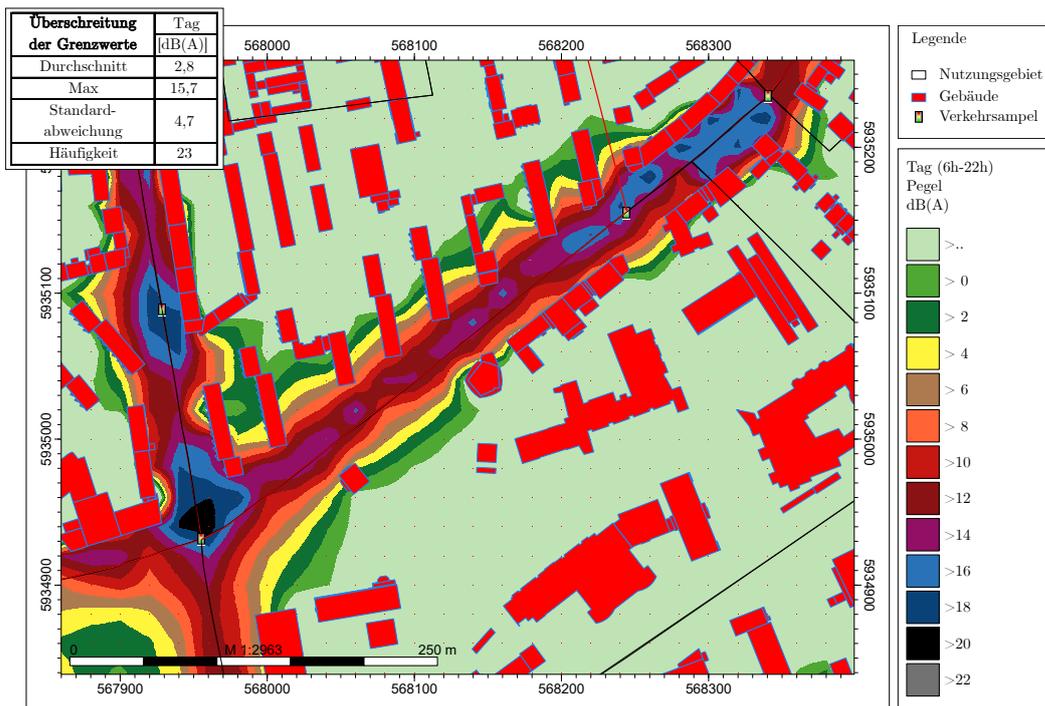


Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI

Anhang K

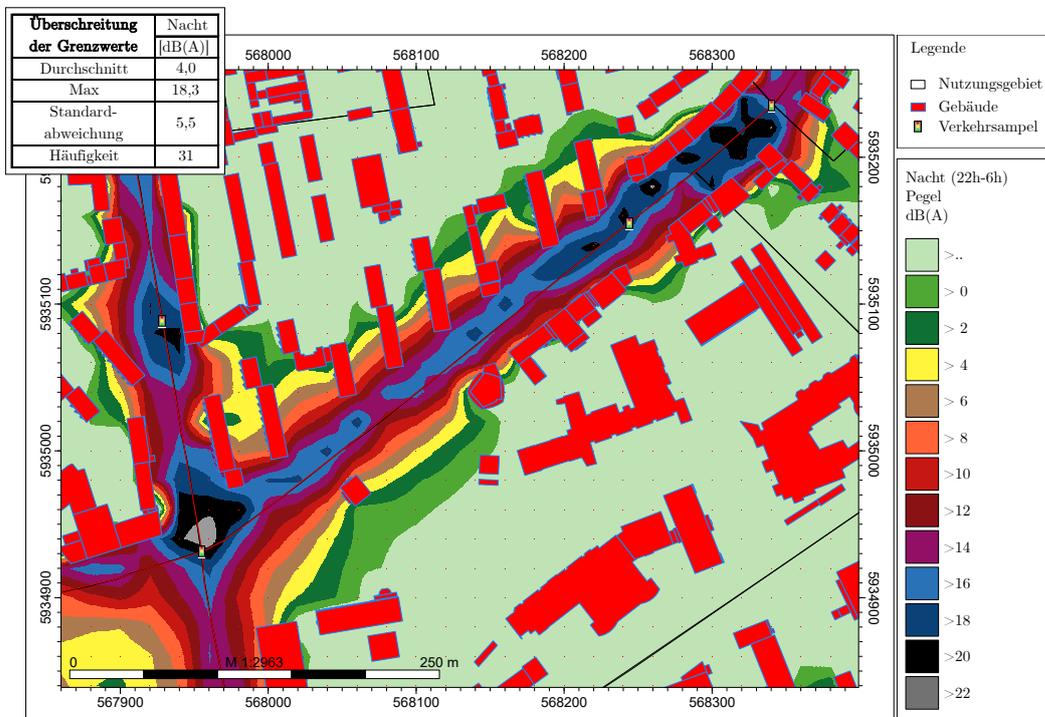
Konfliktpläne

Maßnahme M0, Variante V0, V1 und
V2



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI und Inkscape 0.91

Abbildung K.1: Konfliktplan (Tag): Ist-Zustand



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI und Inkscape 0.91

Abbildung K.2: Konfliktplan (Nacht): Ist-Zustand

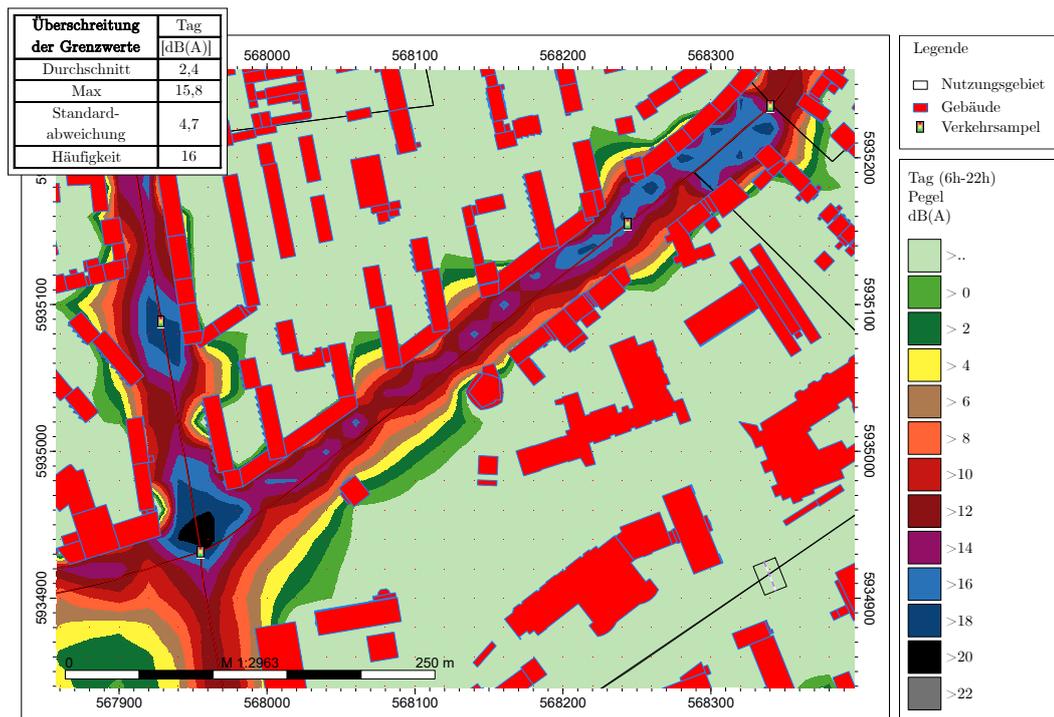


Abbildung K.3: Konfliktplan (Tag): Maßnahme 0 (M0), Variante 1 (V1)

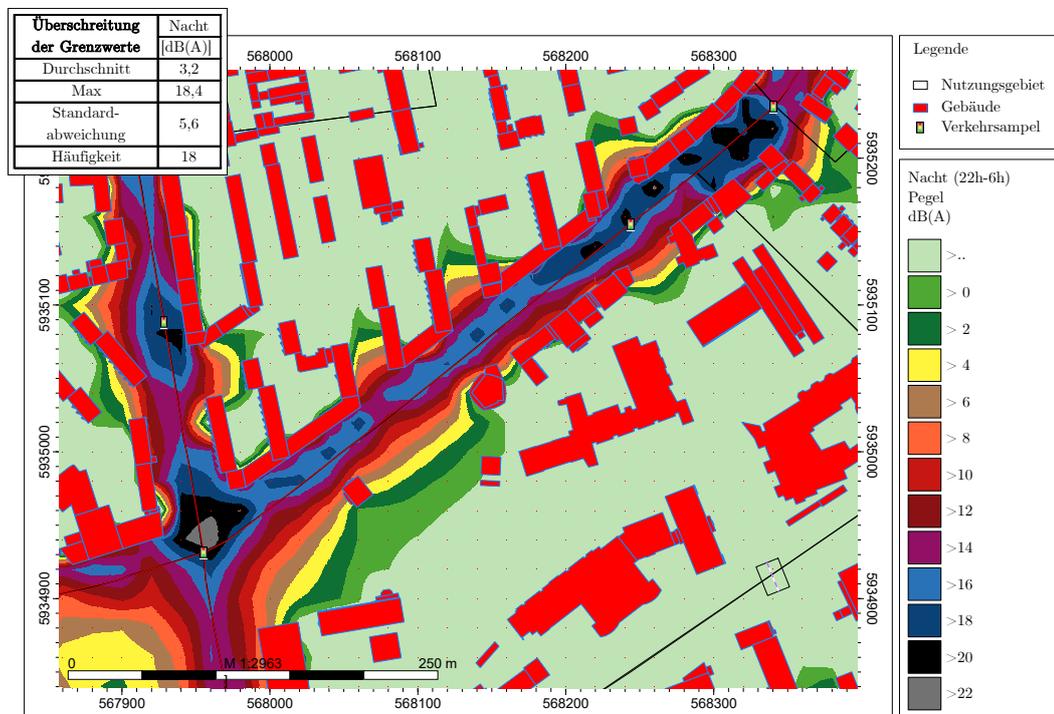
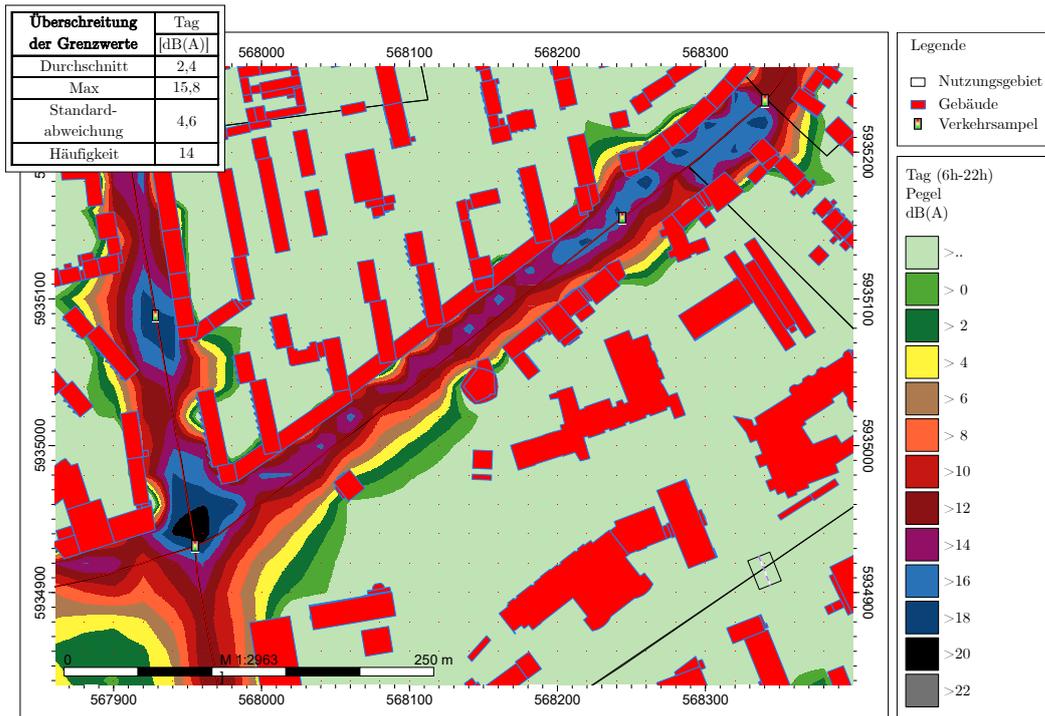
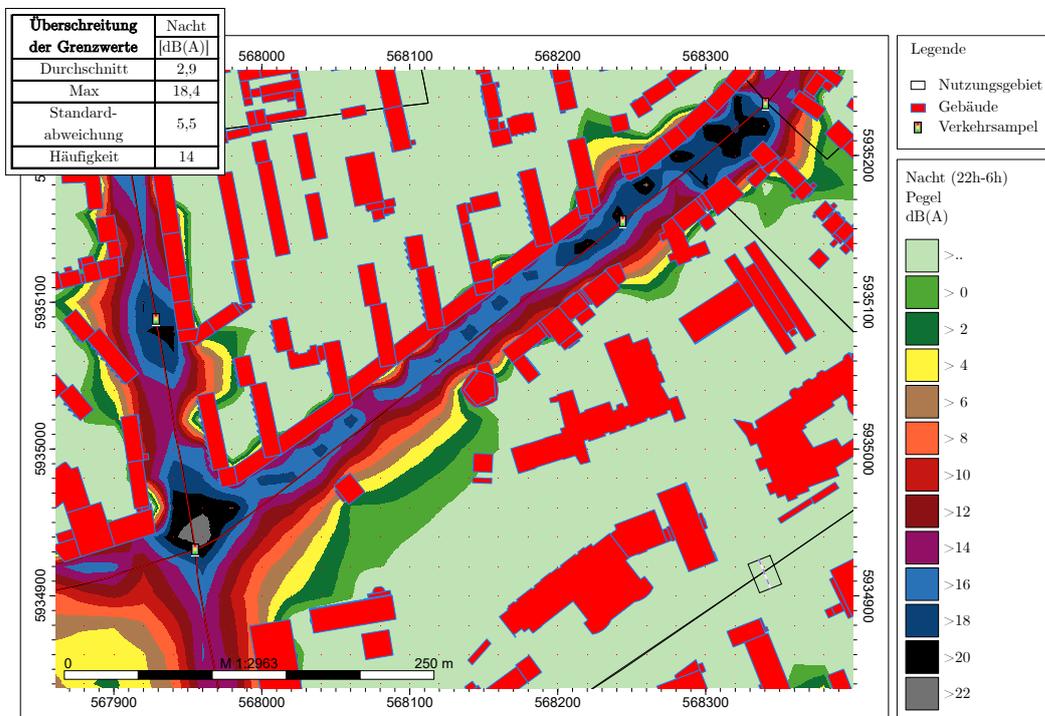


Abbildung K.4: Konfliktplan (Nacht): Maßnahme 0 (M0), Variante 1 (V1)



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI und Inkscape 0.91

Abbildung K.5: Konfliktplan (Tag): Maßnahme 0 (M0), Variante 2 (V2)



Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von IMMI und Inkscape 0.91

Abbildung K.6: Konfliktplan (Nacht): Maßnahme 0 (M0), Variante 2 (V2)

Anhang L

Grobkostenschätzung - Tempo 30

Erhebungen und Beschilderung

Querschnitterhebung der Kfz-Verkehrsmengen und der Geschwindigkeiten mit städtischen Seitenradargeräten	2.500 € für 1 Gerät*
Untersuchung des MIV-Verkehrsflusses mit GPS-Messfahrten	8.000 €
Untersuchung des MIV-Verkehrsflusses mit ÖPNV-Messfahrten	8.000 €
Ermittlung der empfundenen Geschwindigkeits- und Lärmwahrnehmung mit schriftlicher Befragung	15.000 €
Total	33.500 €**

* Die Anschaffungskosten sind abhängig von den gewählten Optionen.

** Zzgl. MwSt, Lärmmessungen, Lärmberechnungen und Eigenarbeit.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an das Gutachten „Tempo 30 Hamburg“ [Arg17, S. 21]

Tabelle L.1: Grobkostenschätzung der Vorher-Erhebung (Netto) - Tempo 30

Untersuchung des MIV-Verkehrsflusses mit GPS-Messfahrten	8.000 €
Untersuchung des MIV-Verkehrsflusses mit ÖPNV-Messfahrten	8.000 €
Ermittlung der empfundenen Geschwindigkeits- und Lärmwahrnehmung mit schriftlicher Befragung	15.000 €
Total	31.000 €**

* Die Anschaffungskosten sind abhängig von den gewählten Optionen.

** Zzgl. MwSt, Lärmmessungen, Lärmberechnungen und Eigenarbeit.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an das Gutachten „Tempo 30 Hamburg“ [Arg17, S. 21]

Tabelle L.2: Grobkostenschätzung der Nachher-Erhebung (Netto) - Tempo 30

	Einheit	Pro Einheit	Gesamt
30 km/h- Schild	2	131,2 €	262,4 €
50 km/h-Schild	2	131,2 €	262,4 €
Rohrpfosten	6	80,0 €	480,0 €
Rohrschellen	12	3,3 €	39,6 €
Total			1044,4 €*

* Zzgl. MwSt, Lärmmessungen, Lärmberechnungen und Eigenarbeit.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Diplomarbeit „Nutzwertanalyse zu Lärminderungsmaßnahmen an Ortsdurchfahrtsstraßen“ [Ste09, S. LXXX - LXXXII]

Tabelle L.3: Grobkostenschätzung der Beschilderung (Netto) - Tempo 30

Literaturverzeichnis

- [A⁺15] ALBRECHT, S. u. a.: *Architektur: Wie ein Schumacher Hamburgs Stadtbild für immer veränderte*. <http://www.hh-geschichten.uni-hamburg.de/?p=2737>. Version: 2015
- [ADA06] ADAC, Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. (Hrsg.): *Straßenverkehrslärm*. https://www.adac.de/_mmm/pdf/fi_strassenverkehrsplaerm_1106_238780.pdf. Version: 2006
- [AEB18] Amsterdam Economic Board: *journey modal split Amsterdam*. <https://www.amsterdameconomicboard.com/nieuws/feiten-en-cijfers-toekomst-mobiliteit/journey-modal-split-amsterdam>. Version: 2018
- [AKU08] Landeshauptstadt Saarbrücken. Amt für Klima- und Umweltschutz: *Lärmaktionsplanung 2008. Bericht zur Information der Öffentlichkeit und zur Weiterleitung an die Europäische Kommission*. <http://www.saarbruecken.de/media/download-532af4d5b6d21>. Version: 2008
- [Arg17] LK Argus GmbH: *Tempo 30 Hamburg. Prüfung der 40 Straßenabschnitte und Wirkungsermittlungskonzept*. <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/gutachten-tempo-30-hamburg?forceWeb=true>. Version: 2017
- [Bar17] BARTHEL, M.: *Email - Re: AW: AW: AW: WG: Masterarbeit - Studentenversion*. Barthel@woelfel.de. Version: 18.05.2017
- [BFN08] Bundesamt für Naturschutz: *Stärkung des Instrumentariums zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme*. https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/siedlung/positionspapier_flaeche.pdf. Version: 2008
- [BfV90] Bundesministerium für Verkehr: *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90*. <http://www.gesund-am-stienitzsee.de/wp-content/uploads/RLS90-opt.pdf>. Version: 1990
- [BHH17] Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg: *Mobilität in Hamburg - Ziele. Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft*. <https://www.buergerschaft-hh.de/ParlDok/dokument/56376/mobilit%C3%A4t-in-hamburg-%E2%80%93-ziele.pdf>. Version: 2017

- [BHN] Bezirksamt Hamburg-Nord, Fachamt Stadt- und Landschaftsplanung: *Gutachterliche Untersuchung der Magistrale vom Mundsburger Damm bis zur Bramfelder Straße*. http://geoportal-hamburg.de/beteiligung_magistrale/
- [BHN68] Bezirksamt Hamburg-Nord, Fachamt Stadt- und Landschaftsplanung: *Bebauungsplan Hohenfelde 4, Freie und Hansestadt Hamburg*. http://daten-hamburg.de/infrastruktur_bauen_wohnen/bebauungsplaene/pdfs/bplan/hohenfelde4.pdf. Version: 1968
- [BHN17] Bezirksamt Hamburg-Nord, Fachamt Stadt- und Landschaftsplanung: *Gutachterliche Untersuchung der Magistrale Mundsburger Damm bis Bramfelder Straße. Informationsveranstaltung. Protokoll*. <http://www.hamburg.de/contentblob/9892692/a007127b9d14592a77567cc10c99021a/data/neuer-inhalt.pdf>.
Version: 2017
- [BHT] Bau-HTL für Berufstätige: *Strukturplanung*. <http://www.bauberufe.eu/images/doks/Strukturplanung.pdf>
- [BJ110] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: *Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV)*. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/BJNR106510010.html#BJNR106510010BJNG000200000. Version: 2010
- [BJ06] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: *Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsverfahren für den Umgebungslärm nach §5 Abs. 1 der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV)*. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bundesanzeiger_154a.pdf.
Version: 2006
- [BJ990a] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: *Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes*. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_16/BJNR010360990.html. Version: 1990
- [BJ990b] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: *Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) Anlage 1 (zu §3) Berechnung des Beurteilungspegels für Straßen*. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_16/anlage_1.html. Version: 1990
- [BMB03] Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Umwelt und Gesundheit. Beispiele aus der Forschungspraxis*. http://www.kinderumweltgesundheit.de/index2/pdf/dokumente/50051_1.pdf.
Version: 2003

- [Boe18] BOESE, S.: *Email - WG: Informationen über die Karte der Verkehrsstärke*. Stefanie.Boese@bwvi.hamburg.de. Version: 23.03.2018
- [BSU08] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt: *Leitfaden zur Aufstellung des Lärmaktionsplans*. <http://www.hamburg.de/contentblob/144150/f96c3df0d58f9da2ec8fc338be8007d2/data/leitfaden-gesamt.pdf>. Version: 2008
- [BSU10] Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt: *Hamburger Leitfaden Lärm in der Bauleitplanung 2010*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/hamburg_laerm_bauleitpl_2010.pdf. Version: 2010
- [BSU12] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt: *Luftreinhalteplan für Hamburg. 1. Fortschreibung 2012*. <http://www.hamburg.de/contentblob/3744850/f3984556074bbb1e95201d67d8085d22/data/fortschreibung-luftreinhalteplan.pdf>. Version: 2012
- [BSU13a] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Natur- und Ressourcenschutz: *Arten- und Biotopschutz. Landschaftsprogramm*. <http://www.hamburg.de/contentblob/3978994/5b3eac732ae0730789d33ed93c0398d3/data/karte-arten-und-biotopschutz.pdf>. Version: 2013
- [BSU13b] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt: *Lärmaktionsplan Hamburg 2013 (Stufe 2)*. <http://www.hamburg.de/contentblob/4088786/bf60a4e79382478e0ec2cab750911ddc/data/laermaktionsplan-hamburg-2013.pdf>. Version: 2013
- [BSU14] HafenCity Universität Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt: *Sozialmonitoring Integrierte Stadtteilentwicklung, Bericht 2014*. <http://www.hamburg.de/contentblob/4451384/3146eccd0cc179a290ad5f17bb721d2d/data/d-sozialmonitoring-bericht-2014.pdf>. Version: 2014
- [BSW] Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen: *10.000 Wohnungen pro Jahr, Wohnungsbau wird weiter gestärkt*. <http://www.hamburg.de/bsw/wohnungsbau/4029174/wohnungspolitik/>
- [BSW16] Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen. Amt für Bauordnung und Hochbau: *Bauprüfdienst (BPD) 7/2016. Altes Planrecht*. <http://www.hamburg.de/contentblob/4323702/0c0f82c7d9a3a27816334da97e4cbdf4/data/bpd-altes-planrecht.pdf>. Version: 2016
- [BSW17] Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen: *Flächennutzungsplan Hamburg*. <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/flachennutzungsplan-hamburg18>. Version: 2017
- [BSW18] Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen: *Sozialmonitoring Integrierte Stadtteilentwicklung, Bericht 2017*. <http://www.hamburg.de/>

- contentblob/10287918/9ffcec8270f2bb10d3ab4c80903d7661/data/d-sozialmonitoring-2017-langfassung.pdf. Version: 2018
- [BTB88] Baubehörde-Tiefbauamt. Hauptabteilung Stadtverkehr: *Rundschreiben Stadtverkehr Planung. RSP 1/88. Planungshinweise für Stadtstraßen in Hamburg. Teil 3 - Querschnitte.* <http://www.hamburg.de/contentblob/2507444/9d1386005376f20f00e9b062c2a862fa/data/plast3.pdf>. Version: 1988
- [BUE17a] Behörde für Umwelt und Energie: *Landschaftsprogramm Hamburg.* <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/landschaftsprogramm-hamburg10>. Version: 2017
- [BUE17b] Behörde für Umwelt und Energie, Amt für Immissionsschutz und Betriebe: *Lärmkarten Hamburg (§47c BImSchG).* <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/larmkarten-hamburg-47c-blmschg4>. Version: 2017
- [BUE17c] Behörde für Umwelt und Energie: *Luftreinhalteplan für Hamburg (2. Fortschreibung).* <http://www.hamburg.de/contentblob/9024022/7dde37bb04244521442fab91910fa39c/data/d-lrp-2017.pdf>. Version: 2017
- [BUE17d] Behörde für Umwelt und Energie: *Strategische Lärmkartierung. Aktualisierung der Lärmkarten 2017.* <http://www.hamburg.de/laermkarten/>. Version: 2017
- [BVI17] Fahrradportal: *Bicycle Account Copenhagen 2016 - Zufriedenheit mit "Kopenhagen als Fahrradstadt steigt auf 97 Prozent.* <https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/aktuell/nachrichten/zufriedenheit-mit-kopenhagen-als-fahrradstadt>. Version: 2017
- [BWV13] Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, Amt für Verkehr und Straßenwesen: *Mobilitätsprogramm 2013. Grundlage für eine kontinuierliche Verkehrsentwicklungsplanung in Hamburg.* <http://www.hamburg.de/contentblob/4119700/50fd34e0e06432b8ea113bf40cfc6ca7/data/mobilitaetsprogramm-2013.pdf>. Version: 2013
- [BWV15] Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation. Amt für Verkehr und Straßenwesen: *Verkehrsstärken Hamburg.* <https://www.geoportal-hamburg.de/Geoportal/geo-online/#>. Version: 2015
- [BWV17] Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation. Amt für Verkehr und Straßenwesen: *Verkehrsstärken Hamburg. Beschreibung DTV-, DTVw-Karten.* <http://metaver.de/trefferanzeige?docuuid=6520CBEF-D2A6-11D5-88C8-000102DCCF41>. Version: 2017
- [CI] Cosmo indirekt - Physik für Schüler: *Schallenergie.* <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Schallenergie>

- [DBT16] Deutscher Bundestag: *Verkehrslärmschutz an Bestandsstraßen. Sachstand.* <https://www.bundestag.de/blob/416956/c67056c8307b3b9a3aa7fa44614fd6f8/wd-7-021-16-pdf-data.pdf>.
Version: 2016
- [FHB18] Freie Hansestadt Bremen: *Lärm und Gesundheit.* https://www.gesundheitsamt.bremen.de/laerm_und_gesundheit-4039.
Version: 2018
- [FK10] FÜRST, P. ; KÜHNE, R.: *Straßenverkehrslärm. Eine Hilfestellung für Betroffene.* <http://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Publikationen/Druckschriften/Strassenverkehrslaerm.pdf>.
Version: 2010
- [FVZ] Fachverband der Ziegelindustrie Nord e.V.: *Zweischaliges Mauerwerk. Schallschutz.* <https://www.ziegelindustrie.de/zweischaliges-mauerwerk/bauphysik/schallschutz/>
- [HBA06] Hamburg Bildarchiv.de: *Lübecker Straße.* <http://www.hamburg-bildarchiv.de/XAA8452.jpg>. Version: 1906
- [HBA18] Hamburg Bildarchiv.de: *Lübecker Straße.* <http://www.hamburg-bildarchiv.de/XAA8439.jpg>. Version: 1918
- [HCU10] HafenCity Universität Hamburg und Universität Hamburg: *Pilotbericht SSozialmonitoring im Rahmenprogramm Integrierte Stadtteilentwicklung (RISE)".* <http://www.hamburg.de/contentblob/4603412/fe9857cb0a8f72db26da5467e4aa8e6f/data/pilotbericht-rise-2010.pdf>. Version: 2010
- [Her] HERRMANN, B.: *Bauakustik - Grundlagen der Luftschalldämmung von Bauteilen.* <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/29.00-vor30.htm>
- [HHA18] Hamburger Hochbahn AG: *Streckennetz.* <https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Einsteigen/U-Bahn/Streckennetz>.
Version: 2018
- [Hmb97] Justizbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg: *Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt.* <http://www.luewu.de/gvbl/1997/52.pdf>. Version: 1997
- [HMU12] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: *Handlungsempfehlungen - Schallschutz für neue Wohn- und Mischgebiete in der Nachbarschaft von bestehenden Industrie- und Gewerbegebieten.* http://wohnungswirtschaft-heute.de/dokumente/Handlungsempfehlung_Schallschutz_f%C3%BCr_Wohngebiete_in_der_Nachbarschaft_von_Gewerbegebieten.pdf.
Version: 2012

- [HSVR⁺16] HORNIKX, M. ; SMYRNOWA, Y. ; VAN RENTERGHEM, T. ; CHEA, C. ; KANG, J.: *Technical Report on Acoustic simulation tools for urban streets, squares and road-side courtyards integrating vegetation*. <http://www.hosanna.bartvanderaa.com/publicFiles/wp5GreeningBuildings/Acoustic%20simulation%20tools%20for%20urban%20streets,%20squares%20and%20road-side%20courtyards%20integrating%20vegetation,%20FP7%20HOSANNA%20Deliverable%205.3.pdf>. Version: 2016
- [HVV] HVV: *Verkehrsnetzplan*. http://geofox.hvv.de/jsf/mapsOSM.seam;jsessionid=6CF03FF0FDED9E1A0A47CD83BA5A0E60.geofox1?LANGUAGE=de_DE&startRegion=Hamburg&startType=0&language=de_DE&startName=&cid=190021
- [HVV18] HVV: *Haltestellenaushang*. http://geofox.hvv.de/jsf/showStationScheduleResult.seam?LANGUAGE=de_DE&language=de_DE&cid=197644. Version: 2018
- [IMM13] Wölfel, Wölfel Meßsysteme · Software GmbH + Co. KG: *Lärmberechnung mit IMMI. 2-tägiges Schulungsseminar*. 2013
- [KSP13] Stadt Karlsruhe Stadtplanungsamt: *Radverkehr. 20-Punkte-Programm*. https://www.karlsruhe.de/b3/verkehr/radverkehr/massnahmen/HF_sections/content/ZZkRU2CZAAtsvPA/ZZ14jA7xgdAQNo/Brosch%C3%BCre_Internetversion_klein.pdf. Version: 2013
- [Kul14] KULKE, U.: *So revolutionieren Fahrräder die Metropolen*. <https://www.welt.de/vermischtes/article126782466/So-revolutionieren-Fahrraeder-die-Metropolen.html>. Version: 2014
- [LGV17a] Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung: *3D-Stadtmodell LoD2-DE Hamburg*. <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/3d-stadtmodell-lod2-de-hamburg2>. Version: 2017
- [LGV17b] Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung: *Übersicht Kachelbezeichnungen*. <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/ubersicht-kachelbezeichnungen3>. Version: 2017
- [LGV17c] Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung: *Digitales Höhenmodell Hamburg DGM 1*. <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/digitales-hohenmodell-hamburg-dgm-15>. Version: 2017
- [LNG] Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen mbH: *ÖPNV-Beschleunigung*. <https://www.lnvg.de/foerderung/oepnv-foerderung/oepnv-beschleunigung/>
- [LS10] LORENTZ, H. ; SCHMIDT, W.: *Berechnung KFZ-Bedingter Schadstoffemissionen und Immissionen in Hamburg*. <http://www.hamburg.de/contentblob/2893032/74c9316979ef4ca6aa3bc17208cb5c6c/data/gutachten-lohmeyer.pdf>. Version: 2010

- [LSB] Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer: *Lärmschutz an Bundesfernstraßen*. <http://lsbg.hamburg.de/np-strassen/4390596/laermschutz-an-bundesfernstrassen/>
- [LSB13] Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg: *Arten der Lärmschutzmaßnahmen*. <http://www.ls.brandenburg.de/sixcms/detail.php/537268>. Version: 2013
- [LSB17] Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer. Geschäftsbereich Straßen. Fachbereich Verkehrssteuerung, Öffentliche Beleuchtung und Parkraumbewirtschaftung: *Lichtsignalanlagen Hamburg*. <https://www.geoportal-hamburg.de/Geoportal/geo-online/#>. Version: 2017
- [MLU01] Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung. Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr: *Städtebauliche Lärmfibel. Hinweise für die Bauleitplanung*. http://www.mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/lrmfibel.pdf. Version: 2001
- [OEA11] Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL): *ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18. Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen Beurteilungshilfen für den Arzt*. http://www.oedal.at/images/rl_downloads/rl_6_18_2011.pdf. Version: 2011
- [Ott15] OTTO, A. H.: *Hamburg auf dem Weg zur Smart City. Haspa Hamburg-Studie. L(i)ebenswertes Hamburg*. http://www.hamburgfuturelab.org/fileadmin/haspa/studien/hl_SmartCity/Haspa_SmartCity.pdf. Version: 2015
- [PB09] PFEIFER, G. ; BRAUNECK, P.: *Stadthäuser*. Birkhäuser Verlag AG, 2009. – ISBN 978-3-7643-8609-2
- [Peh10] PEHNT, Martin: *Energieeffizienz: Ein Lehr- und Handbuch*. Springer Berlin Heidelberg, 2010
- [Pla99] PLANK, M.: *Grundbegriffe der Akustik*. http://www.bekon-akustik.de/Literatur/Laermschutz/Grundbegriffe_der_Akustik.pdf. Version: 1999
- [PR14] PESCHEL, U. ; REICHART, U.: *Lärmmindernde Fahrbahnbeläge*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_20_2014_laermmindernde_fahrbahnbelaege_barrierefrei.pdf. Version: 2014
- [PUO] Physikunterricht-Online: *Beschreibung von Schwingungen*. <http://physikunterricht-online.de/jahrgang-7/beschreibung-von-schwingungen/>
- [Raa13] RAABE, K.: *Lautstarker Terror. Leben mit Lärm*. https://www.wdr.de/tv/applications/fernsehen/wissen/quarks/pdf/Q_Laerm.pdf. Version: 2013

- [RML15] RICHARD, J. ; MAZUR, H ; LAUENSTEIN, D.: *Handbuch Lärmaktionspläne Handlungsempfehlungen für eine lärmindernde Verkehrsplanung*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/handbuch-laerm-aktionsplaene-handlungsempfehlungen>. Version: 2015
- [SAN15] Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, Statistikamt Nord: *Hamburger Stadtteil-Profile, Berichtsjahr 2016*. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/NORD.regional/NR19_Statistik-Profil-HH_2017.pdf. Version: 2015
- [SBBB16] STAPELFELDT, D. ; BEHRENDT, T. ; BÖHM, M. ; BRAUN, J.: *Wohnen in Hamburg 2030. Wohnen in Hamburg 2030*. <http://www.hamburg.de/contentblob/6534226/5b2e2675ff2e028bf4a7f7fa0a36392f/data/d-doku-wohnen-in-hamburg-2030.pdf>. Version: 2016
- [Sch17] SCHULZE, G.: *Lärmaktionsplan. Gemeinde Rietheim-Weilheim*. http://www.rietheim-weilheim.de/fileadmin/Dateien/Dateien/Be_LAP_Rietheim-Weilheim_Beschluss_20170313.pdf. Version: 2017
- [SHT11] SAUTER, H. ; HARTMANN, A. ; T., Katz: *Einführung in das Entwerfen. Band 1: Entwurfspragmatik*. Vieweg+Teubner Verlag, 2011
- [SK05] STEIERWALD, G. ; KÜHNE, H. D.: *Stadtverkehrsplanung*. Bd. 2. Springer, 2005. – ISBN 3-540-40588-7
- [SKL09] Stadt Kaiserslautern. Referat Stadtentwicklung, Abteilung Stadtplanung: *Hinweise und Empfehlungen zum Bauen in lärmbelasteten Lagen*. <https://www.kaiserslautern.de/mb/themen/umwelt/laerm/pdf/laermschutzbrochure.pdf>. Version: 2009
- [Ste09] STEINER, U.: *Nutzwertanalyse zu Lärminderungsmaßnahmen an Ortsdurchfahrtsstraßen*. https://opus-hslb.bsz-bw.de/files/109/Steiner_Ulrike.pdf. Version: 2009
- [Str] STRUPP, C.: *Sechziger Jahre, 1960 - 1969*. <https://geschichtsbuch.hamburg.de/epochen/sechziger-jahre/>
- [UBA00] Umweltbundesamt. LK Argus: *Jahresbericht 2000*. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2001.pdf>. Version: 2000
- [UBA09a] Umweltbundesamt. LK Argus: *Maßnahmenblätter zur Lärminderung im Straßenverkehr*. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/480/publikationen/3802-0.pdf>. Version: 2009
- [UBA09b] Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Umwelt, Gesundheit und soziale Lage. Studien zur sozialen Ungleichheit gesundheitsrelevanter Umweltbelastungen in Deutschland*. http://www.apug.de/archiv/pdf/Umwelt_und_Gesundheit_02_2009_Web.pdf. Version: 2009

- [UBA10] Umweltbundesamt: *Lärmwirkungen. Dosis-Wirkungsrelationen.* https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3917_0.pdf. Version: 2010
- [UBA16] Umweltbundesamt: *Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen.* https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/wirkungen_von_tempo_30_an_hauptstrassen.pdf. Version: 2016
- [UBA17] Umweltbundesamt: *Straßenverkehrslärm.* <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/stressenverkehrslaerm#textpart-1>. Version: 2017
- [UDE04] Universität Duisburg-Essen, Institut für Materialwissenschaft: *Bilanzierung eines vorgegebenen Gebäudes nach dem vereinfachten Verfahren der neuen Energieeinsparverordnung vom 16.11.2001.* <https://www.uni-due.de/ibpm/Aufgabensammlung/SchemazurEnEV.pdf>. Version: 2004
- [Vog12] VOGEL, M.: *Wie das Auto die Hansestadt veränderte.* <https://www.abendblatt.de/kultur-live/article106576072/Wie-das-Auto-die-Hansestadt-veraenderte.html>. Version: 2012
- [VSK] Verein Süddeutscher Kalksandsteinwerke e.V.: *Zweischalige KS-Außenwände.* https://www.kalksandstein.de/ks_sued/zweischalige-aussenwand?page_id=82218
- [WHO99] World Health organization: *Guidelines for Community Noise.* <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/activities/development-of-who-environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>. Version: 1999
- [WHO09] World Health organization: *Night Noise Guidelines for Europe.* http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf. Version: 2009
- [Woy] WOYKE, M. ; SALDERN, Adelheid von (Hrsg.): *Stadt und Kommunikation in bundesrepublikanischen Umbruchszeiten*
- [WS16] WIRTH, A. ; SCHNEEWEISS, A.: *Öffentliches Baurecht praxisnah. Basiswissen mit Fallbeispielen.* Bd. 2. Springer Vieweg, 2016. – ISBN 978-3-658-15102-7