

TEXTE

61/2019

Leitfaden zur Kostenverteilung von Lärminderungs- maßnahmen bei einer Gesamtlärmbewertung

TEXTE 61/2019

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 55 1030
FB000020/ANH

Leitfaden zur Kostenverteilung von Lärmmin- derungsmaßnahmen bei einer Gesamtlärm- bewertung

von


Johannes Lang, Manfred Liepert, Ulrich Möhler
Möhler + Partner Ingenieure AG, Augsburg


Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

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

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

Durchführung der Studie:

Möhler + Partner Ingenieure AG
Prinzstraße 49
86153 Augsburg

Abschlussdatum:

Januar 2019

Redaktion:

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

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2019

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

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	8
2 Verwendung des Leitfadens.....	11
3 Die Gesamtlärbetrachtung in der Praxis der schalltechnischen Beurteilung.....	12
4 Kostenverteilung aus Sicht verschiedener Nutzergruppen.....	16
5 Aspekte einer wirkungsbezogenen Gesamtlärbetrachtung.....	17
6 Anforderungen und Methoden der Kostenverteilung.....	21
6.1 Anforderungen an eine praxisgerechte und nachvollziehbare Kostenverteilung.....	21
6.2 Methoden der Kostenverteilung.....	21
7 Finanzierungsmodell bei einer Gesamtlärbetrachtung.....	23
8 Praxisbeispiel.....	25
8.1 Schritt 1: Ermittlung der %HA.....	26
8.2 Schritt 2: Bestimmung der renormierten Ersatzpegel.....	27
8.3 Schritt 3: Ermittlung des WEBI-Index.....	28
8.4 Schritt 4: Festlegung der Priorisierungen der Maßnahmen.....	28
8.5 Schritt 5: Kostenverteilung auf Geräuschquellenarten.....	29
9 Quellenverzeichnis.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Gesamtlärmeinwirkungen von außen.....	8
Abbildung 3:	Nutzen der Emittenten.....	9
Abbildung 4:	Unterscheidung von Geräuschen anhand der Zeitstruktur.....	10
Abbildung 5:	Sektorale Betrachtungsweise im Immissionschutzrecht	12
Abbildung 6:	Ermittlung von Lärmschwerpunkten anhand der sektoralen Betrachtung und des energetisch ermittelten Gesamtlärms...	14
Abbildung 6:	Lärmbelastigung in Deutschland (UBA 2016).....	17
Abbildung 7:	Zeitstruktur und Spektrum	18
Abbildung 8:	Expositions-Wirkungs-Beziehungen nach WHO 2018.....	19
Abbildung 9:	Flussdiagramm zur Ermittlung des WEBI-Index	24
Abbildung 10:	Darstellung des Untersuchungsgebiets mit den einzelnen Lärmschutzmaßnahmen	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beurteilungspegel und renormierte Ersatzpegel L^*_{DEN} für den Gewerbelärm und den Schienenverkehrslärm bei 20 %HA	27
Tabelle 2:	Nutzen – Kosten – Index (NKI) für das Anwendungsbeispiel ...	29
Tabelle 3:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet im Praxisbeispiel	29
Tabelle 4:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet bei unterschiedlichen Realisierungsreihenfolgen	30

Abkürzungsverzeichnis

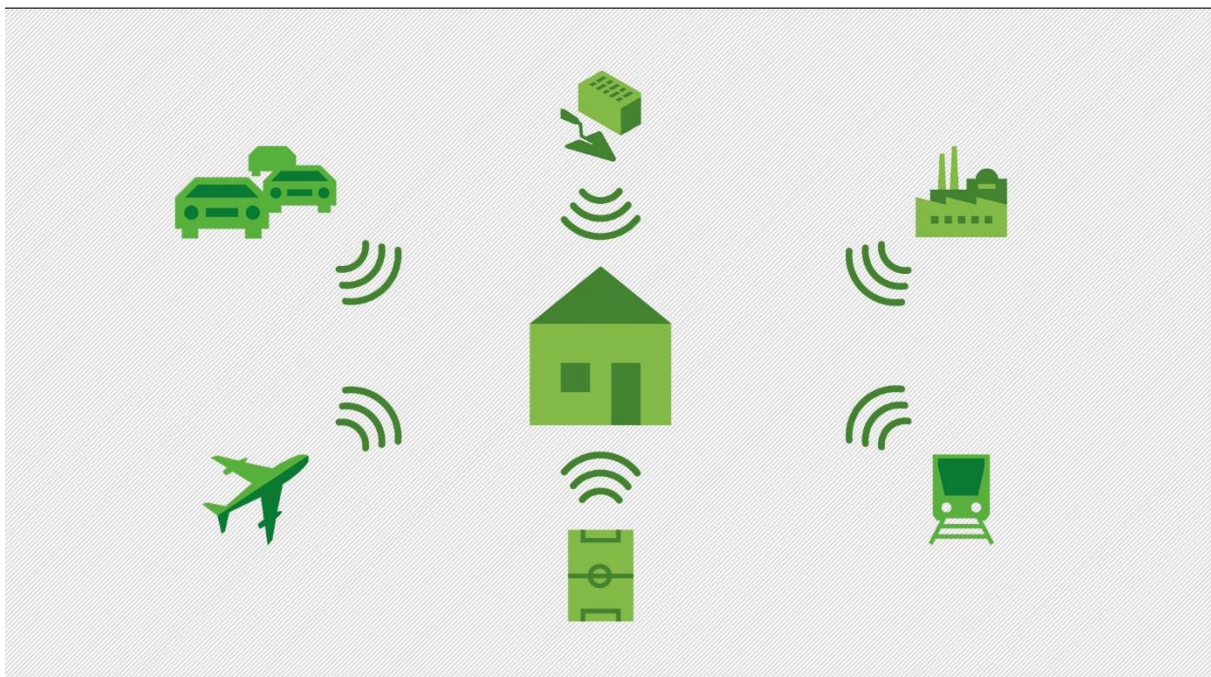
%HA	Percentage Highly annoyed
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
dB	Einheit für Schallpegel Dezibel
dB(A)	Einheit für Schallpegel Dezibel, A-bewertet
DIN	Deutsches Institut für Normung
EU	Europäische Union
FluLärmG	Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
L^*_x	Renormierter Ersatzpegel für den Zeitraum x
L_{AES}	Effektbezogenen Substitutionspegel
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
L_{DEN} bzw. $L_{r,TAN}$	Beurteilungspegel über Tag-Abend-Nacht (06-18 Uhr / 18-22 Uhr / 22-06 Uhr)
NKI	Nutzen-Kosten-Index
QSDO	Musterstadt der DIN 45687
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TSD	Tausend
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WEBI	Wirkungsbezogener energetischer Belastungsindex

1 Einleitung

Der Begriff „Lärm“ beschreibt eine Wertung von Geräuschen als ein unerwünschtes Ereignis. Bei allen Geräuschen, besonders markant aber bei Musikdarbietungen, kann die Einstellung der Hörerinnen und Hörer zum Geräusch stark unterschiedlich sein, so dass dieselbe Darbietung individuell unterschiedlich als Lärm oder als Genuss empfunden wird. Selbst bei Verkehrsgeräuschen kann der „Sound“ eines Motors auch als nicht störend empfunden werden. Im Immissionsschutzrecht muss davon ausgegangen werden, dass alle Geräusche, vor denen geschützt werden soll, als unerwünscht einzustufen sind. Aufgrund der unterschiedlichen Einstellungen der Betroffenen zu einwirkenden Geräuschen ist es verständlich, dass bei immissionsschutzrechtlichen Betrachtungen zwischen Geräuschquellenarten unterschieden wird und diese einzeln bewertet werden. Es stellt sich jedoch die Frage, ob eine vollständig voneinander unabhängige Betrachtung unerwünschter Geräusche aus verschiedenen Quellen notwendig oder eine Gesamtlärbewertung angebracht ist.

Unter Gesamtlärm wird die Summe der von außen auf einen Immissionsort, z. B. ein Gebäude, einwirkenden Geräusche verstanden (siehe Abbildung 1). Dazu gehören zumeist die Geräusche des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs, Geräusche von Gewerbe und Industrie, Sport- und Freizeitanlagen aber auch Geräusche von den Nachbarn. Nicht dazu gezählt werden Geräusche, die in der Wohnung bzw. im Haus verursacht werden (wie z.B. die Waschmaschine, der Fernseher oder Unterhaltungen mit Familienmitgliedern).

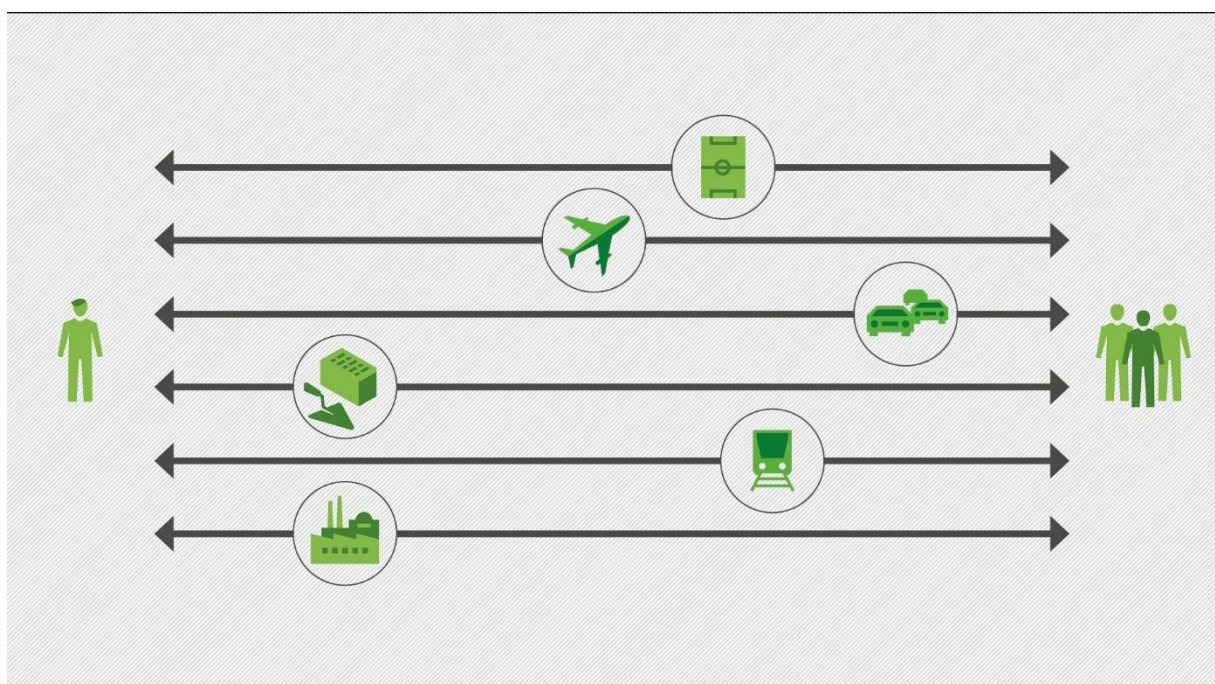
Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gesamtlärmeinwirkungen von außen



Quelle: eigene Darstellung

Die Frage einer Unterscheidung zwischen verschiedenen Geräuschquellenarten stellt sich besonders bei der baurechtlichen oder immissionsschutzrechtlichen Genehmigung von neuen Bauvorhaben. Diese können Privatpersonen oder Firmen (Gewerbeanlagen), der Allgemeinheit (Verkehrswege) oder Teilen der Allgemeinheit (z.B. Sportanlagen) dienen (vgl. Abbildung 2). Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sich die Einstellungen der betroffenen Bevölkerung zu den verschiedenen Lärmquellen unterscheidet.

Abbildung 2: Nutzen der Emittenten

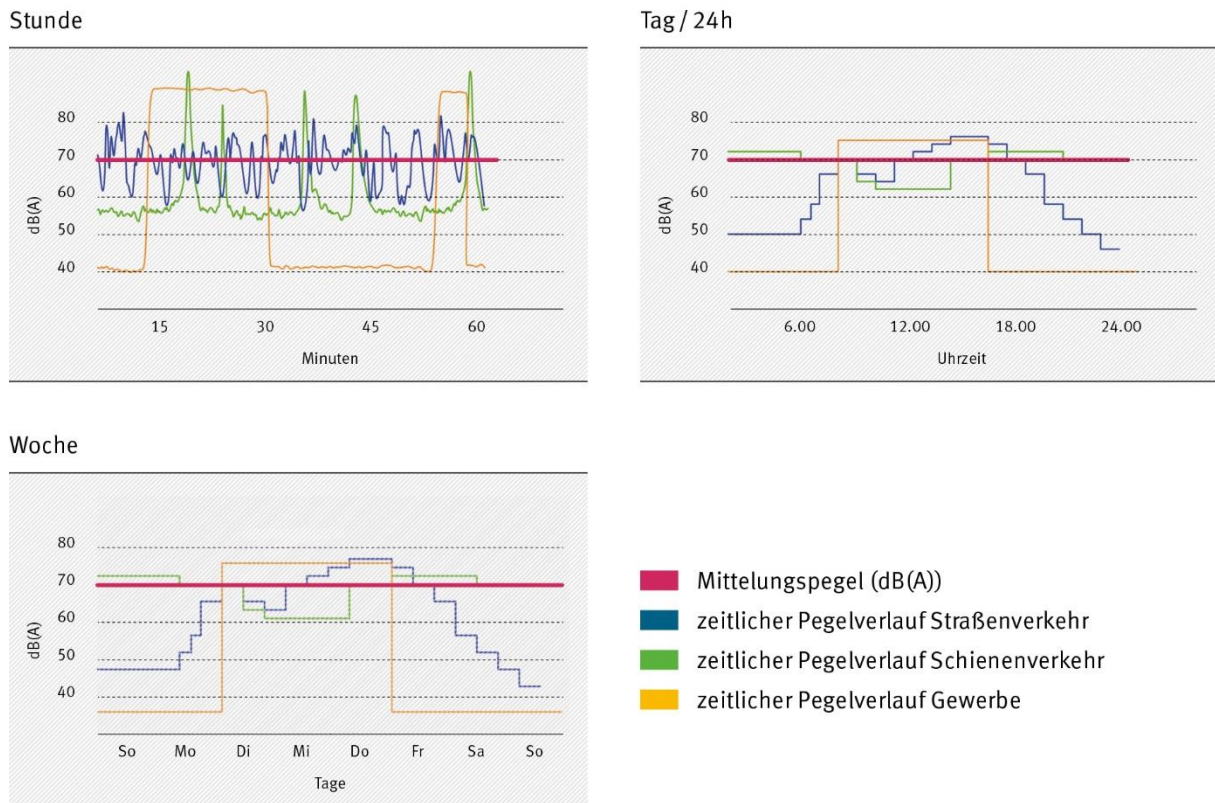


Quelle: eigene Darstellung

In der Verwaltungspraxis ist dies durch verschiedene Rechtsvorschriften mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen manifestiert. Eine Gesamtbetrachtung der verschiedenen Geräuschquellenarten ist in diesen Vorschriften nur ansatzweise vorgesehen. Teilweise werden in den Vorschriften nur Einzelvorhaben einer Geräuschart bewertet, ohne die Vorbelastung aus Quellen der gleichen Art zu berücksichtigen (z.B. Verkehrslärmschutzverordnung). In anderen Fällen erfolgt ansatzweise eine Summenbetrachtung mit Geräuschen anderer Quellarten (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm).

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass sich Geräusche neben der Intensität auch im Hinblick auf andere Aspekte der Geräuschcharakteristik unterscheiden. Dies sind insbesondere die spektrale Verteilung des Geräusches (eher tieffrequent, gleichförmig oder hochfrequent), die zeitliche Struktur des Geräusches (ein Dauergesch eines Lüfters oder das intermittierende Geräusch einer Bahnstrecke) oder die für einen Empfänger zusätzlich enthaltene Informationsgehalt (Lautsprecherdurchsagen oder Musik). Das zeitlich unterschiedliche Auftreten der Geräusche verschiedener Geräuschquellenarten ist schematisch am Beispiel des Schienen-, Straßen- und Gewerbelärms in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 3: Unterscheidung von Geräuschen anhand der Zeitstruktur



Quelle: eigene Darstellung

Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche zeigen häufig typische Zeitstrukturen: Bei einer stündlichen Betrachtung weist der Schienenverkehr wenige hohe Maximalpegel auf, während der Straßenverkehr durch viele kurze Geräusche gekennzeichnet ist, die bis zu einem Dauerrauschen verdichtet sein können (siehe Abbildung 4, links oben). Beim Tagesgang (rechts oben) gibt es ebenfalls typische Verläufe bei Straßenverkehr mit den beiden Spitzen morgens und abends (Rush-hour) und der Nachtabenkung sowie beim Schienenverkehr mit der häufig auftretenden Hauptbelastung an Hauptstrecken mit nächtlichem Güterverkehr. Der Gewerbelärm kann demgegenüber äußerst unterschiedlich ausfallen. Dies zeigt Abbildung 3 am Beispiel einer lauten Maschine, die in zwei Intervallen betrieben wird (links oben). Zudem tritt der Gewerbelärm häufig nachts nicht auf, weil in dieser Zeit die Geschäfte geschlossen sind bzw. nicht produziert wird (rechts oben). Es gibt jedoch auch nächtlichem Gewerbelärm (z.B. Speditionen, 3-Schicht-Betrieb). Auch über die Woche betrachtet (links unten) treten typische Verläufe auf.

2 Verwendung des Leitfadens

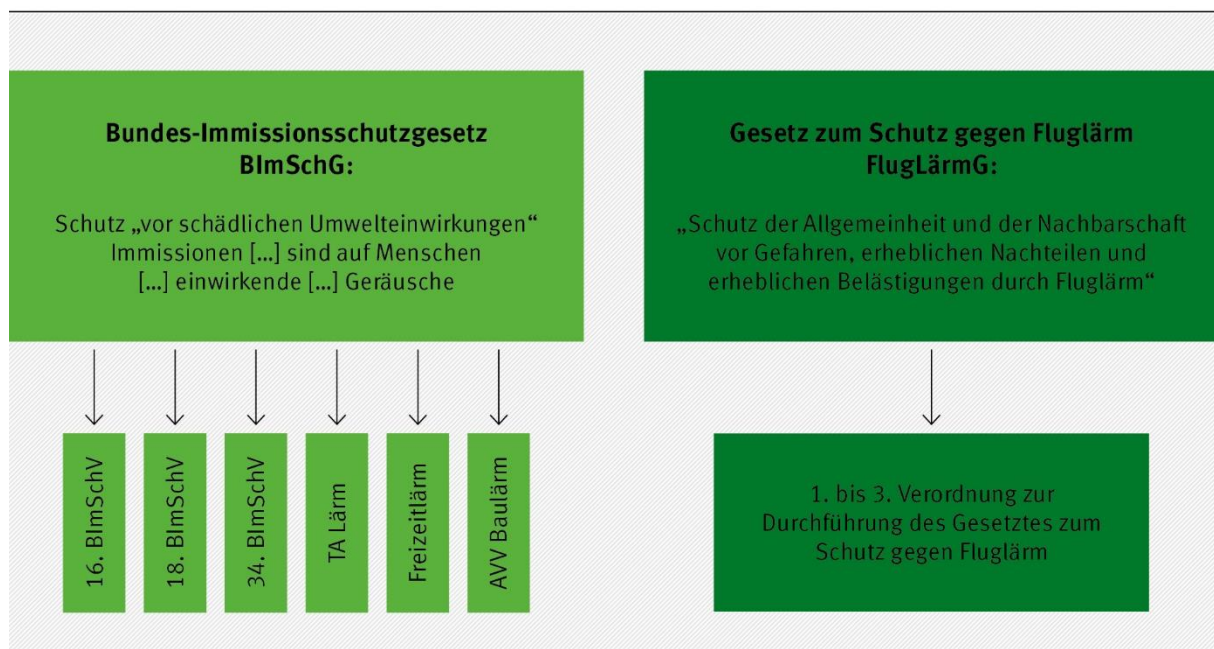
Der vorliegende Leitfaden enthält Hinweise und Informationen zur Gesamtlärbewertung in der Planung und Genehmigung von Infrastruktureinrichtungen und Anlagen. Bei der Planung und Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen gegenüber mehreren Lärmquellen ist eine geeignete Methode zur Priorisierung von Maßnahmen anzuwenden. Außerdem stellt sich die Frage, wie Kosten für Lärmschutzmaßnahmen praxisgerecht und nachvollziehbar unter den Verursachern der Gesamtlärbetrachtung verteilt werden können. Der Leitfaden stellt hierfür eine geeignete Methode vor. Zunächst wird die Frage behandelt, in welchen Anwendungen in der derzeitigen Rechtslage eine Gesamtlärbetrachtung einzuordnen ist und in welchen Fällen diese zum Tragen kommt. Darüber hinaus werden die Sichtweisen verschiedener Nutzergruppen zur Kostenverteilung beschrieben. Im Weiteren werden die Anforderungen an eine praxisgerechte und nachvollziehbare Kostenverteilung dargestellt, sowie die möglichen Methoden für eine Kostenverteilung diskutiert. Schließlich wird ein geeignetes Kostenverteilungsmodell vorgestellt und an einem Praxisbeispiel erläutert.

3 Die Gesamtlärbetrachtung in der Praxis der schalltechnischen Beurteilung

Schallschutz bei der Genehmigung von Vorhaben

Regelungen zum Lärmschutz sind im deutschen Recht überwiegend bundesweit unter dem Dach des BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz) zusammengefasst. Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten jedoch nicht für Flugplätze, soweit nicht die sich aus diesem Gesetz ergebenden Anforderungen für Betriebsbereiche oder der Sechste Teil des BImSchG betroffen sind. Dementsprechend ist die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an Flugplätzen gesondert im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) geregelt, während die Lärmkartierung nach der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie in den Regelungsbereich des BImSchG fällt. Nach der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie ist eine Summenbetrachtung grundsätzlich möglich. Die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an Flugplätzen erfolgt dagegen allein auf der Grundlage der prognostizierten Fluglärmbelastung am jeweiligen Flugplatz (siehe Abbildung 5)

Abbildung 4: Sektorale Betrachtungsweise im Immissionsschutzrecht



Quelle: eigene Darstellung

Zum BImSchG sind zahlreiche Rechtsverordnungen (BImSchV) und Verwaltungsvorschriften zur Konkretisierung des BImSchG erlassen worden, die einen speziellen Anwendungsbereich haben (Verkehrswege, Sportanlagen, technische Anlagen, Freizeitanlagen, Baustellen). Diese sehen eine Gesamtlärbetrachtung zumeist nur sehr begrenzt vor.

Aus der Gutachterpraxis sind Schwierigkeiten bei der Vermittlung der Immissionsschutzbelange gegenüber Betroffenen hinsichtlich der Trennung der Geräuschquellen bei der Lärmbeurteilung bekannt. Bei einigen Regelungen sind Summenwirkungen mit Anlagen derselben Quellgruppe vorgesehen (u.a. TA Lärm, 18. BImSchV), jedoch keine Gesamtlärbetrachtung im Sinne einer Beurteilung aller einwirkenden Geräuschquellen. In einigen Fällen (TA Lärm, AVV Baulärm) ist eine Anhebung des Schutzniveaus bei erheblicher Vorbelastung aus anderen Quellen möglich, jedoch ergibt sich daraus kein Anspruch des Betroffenen auf eine Minderung der Gesamtlärmbelastung, sondern es wird aufgrund einer Vorbelastung ein über die einschlägigen Immissionswerte hinausgehender Beitrag von einzelnen Quellen zugelassen.

Im Rahmen der Verkehrslärmschutzverordnung ist selbst eine Beurteilung des Lärms aus mehreren Verkehrslärmquellen nicht vorgesehen. Der Anwendungsbereich umfasst nur den zu ändernden oder neu zu bauenden Verkehrsweg auch wenn ein anderer bestehender Verkehrsweg auf dieselben Immissionsorte einwirkt. Erst durch die ständige Rechtsprechung hat sich die Praxis der Gesamtlärbetrachtung bei potentiell gesundheitsgefährdenden Verkehrslärmpegeln als zusätzlicher Prüfschritt in den Verwaltungsverfahren ausgebildet.

Die Planung und der Betrieb von Emittenten (Verkehrswege, Anlagen) sind derart durch Richt- und Grenzwerte geregelt, dass bei Einhaltung dieser Werte bereits die erhebliche Belästigung zumeist vermieden wird. Die Grenze zur Gesundheitsgefährdung¹ stellt jedoch häufig eine Grenze dar, bei deren Überschreitung, entweder die Anwendung der Vorschriften verschärft ist (z.B. 16. BImSchV) oder freiwillige Sanierungsmaßnahmen getroffen werden.

Schallschutz in der städtebaulichen Planung

Ein weiteres Feld der Lärmbewertung ist die städtebauliche Planung, bei der es nicht um die Genehmigung von emittierenden Vorhaben geht, sondern um die räumliche Planung unterschiedlicher Nutzungen, wie z.B. die Bauleitplanung oder Lärmaktionsplanung.

Hier kommen jedoch meist nicht unmittelbar rechtsverbindliche Regelungen zum Tragen (wie z.B. die DIN 18005²). In diesen Fällen werden zumindest gleichartige Geräuschquellen in ihrer Summenwirkung betrachtet. Jedoch ist selbst in der DIN 18005 ausgeführt, dass Verkehrslärm getrennt zu betrachten ist. Andererseits ergibt sich in den seltensten Fällen ein Anspruch aus der Anwendung dieser Normen auf Minderung der Gesamtgeräusche gegenüber dem Verursacher, weil die Schwelle als sog. Orientierungswerte in einem zuweilen weiten Rahmen abwägbar sind und rechtlich bindende Grenzwerte fehlen.

Lärmaktionsplanung als Werkzeug der kommunalen Sanierung

Die Lärmaktionsplanung nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie berücksichtigt bei der Ermittlung der Betroffenen alle Hauptgeräuschquellen aus Straßenverkehr, Schienenverkehr, Großflughäfen und IVU-Anlagen (LAI-Hinweise zur Lärmkartierung 2011 und zur Lärmaktionsplanung 2017). Die Betroffenenzahlen sind jedoch auch nach EU-Umgebungslärmrichtlinie zunächst getrennt für die genannten einzelnen Quellen darzustellen. Eine Betrachtung des Gesamtlärms aus der Überlagerung der einzelnen Kartierungen kann zusätzlich zur Ermittlung der Lärmbrennpunkte und für die Priorisierung von Maßnahmen bei der Aktionsplanung durchgeführt werden. In Abbildung 5 ist ein Beispiel aus einer Lärmkartierung desselben Bereichs zunächst getrennt nach Geräuschquellenarten und bei einer Gesamtlärbetrachtung dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass nur die Gesamtlärbetrachtung die Chance auf eine nachvollziehbare und angemessene Ermittlung von Lärmbrennpunkten und einer Maßnahmenpriorisierung bietet.

¹ In der Rechtsprechung hat sich die Einschätzung durchgesetzt, dass der Staat Gesundheitsgefahren nach Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG durch Lärm nicht zulassen darf. Die grundrechtliche Zumutbarkeitsschwelle wird vom Bundesverwaltungsgericht für Wohngebiete regelmäßig ab einem äquivalenten Dauerschallpegel von 70 dB(A) tags und 60 dB(A) nachts angenommen.

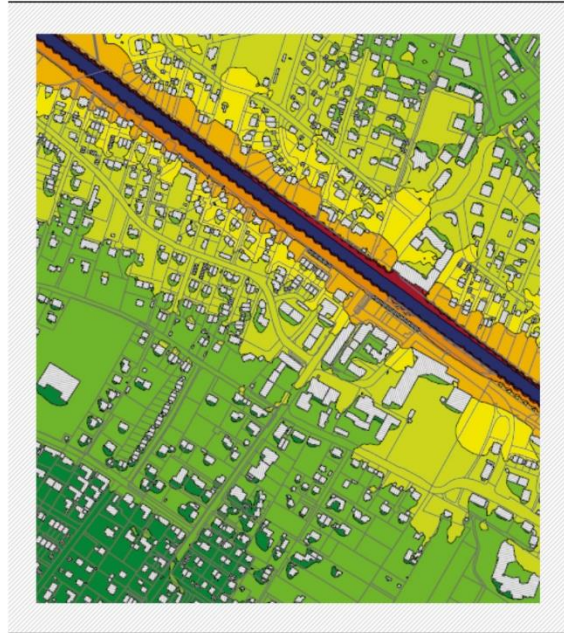
² Die DIN 18005-1: 2002-07 Schallschutz im Städtebau gibt Hinweise auf die Berücksichtigung des Schallschutzes in der Städteplanung. Im zugehörigen Beiblatt 1 werden Orientierungswerte für die städtebauliche Planung genannt, die sich als Abwägungskriterium in der Bauleitplanung durchgesetzt haben.

Abbildung 5: Ermittlung von Lärmschwerpunkten anhand der sektoralen Betrachtung und des energetisch ermittelten Gesamtlärms

Straße



Schiene



Gewerbe



Gesamtlärm



30 dB(A) < L_{DEN} < 35 dB(A)

35 dB(A) < L_{DEN} < 40 dB(A)

40 dB(A) < L_{DEN} < 45 dB(A)

45 dB(A) < L_{DEN} < 50 dB(A)

50 dB(A) < L_{DEN} < 55 dB(A)

55 dB(A) < L_{DEN} < 60 dB(A)

60 dB(A) < L_{DEN} < 65 dB(A)

65 dB(A) < L_{DEN} < 70 dB(A)

70 dB(A) < L_{DEN} < 75 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung

Einschränkend ist jedoch zu erwähnen, dass durch die Begrenzung des erforderlichen Umfangs der Lärmkartierung auf die Hauptlärmquellen entsprechend 34. BImSchV untergeordnete Straßen- und Schienenwege oder sonstige Anlagen, die nicht zu IVU-Anlagen zu zählen sind, keine Berücksichtigung finden.

Schallschutz im Hochbau

Schallschutzregelungen umfassen weiterhin auch die technischen Bestimmungen zur Ausführung der Schalldämmung von Gebäuden. Diese Regelungen sollen jedoch lediglich den Betroffenen in seinem Wohn- und Arbeitsumfeld innerhalb des Gebäudes schützen (DIN 4109, VDI 2719³). Für diese Fälle ist die technische Ausführung der Schalldämmung anhand der tatsächlichen oder planungsrechtlich zulässigen Gesamtlärmbelastung des Gebäudes zu dimensionieren. Ein Anspruch auf die Minderung der Geräuschbelastung des betroffenen Anwesens ergibt sich aus diesen Regelungen jedoch nicht.

³ Die Normenreihe DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ und die VDI-Richtlinie 2719 „Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“ enthalten Anforderungen an die Schalldämmung von Außenbauteilen von Gebäuden und das jeweils zugehörige Rechenverfahren zur Ermittlung der Anforderungen.

4 Kostenverteilung aus Sicht verschiedener Nutzergruppen

Für einen vorbeugenden Umweltschutz und dem Schutz vor Erkrankungsrisiken ist eine Gesamtlärbetrachtung unabdingbar. Dennoch gibt es Vorbehalte und durchaus gewichtige Argumente gegen eine Gesamtlärbetrachtung. Werden bestehende lärmbelastete Gebiete durch Schallschutzmaßnahmen z.B. durch die Kommune saniert, stellt sich die Frage, wer die Kosten für nachträglich errichtete Maßnahmen zu tragen hat. Dabei ist die Belastung aus allen Quellen in einem Gebiet mit einzubeziehen. Die Sichtweisen der unterschiedlichen Akteure zur Kostenverteilung werden im Folgenden skizziert.

Gesamtlärbetrachtung aus Sicht eines Vorhabenträgers

Die Sichtweise eines öffentlichen oder privaten Vorhabenträgers ist es, dass eine Betrachtung des Lärms von seinem Vorhaben unabhängig von der Geräuschvorbelastung durch andere Einrichtungen vorzunehmen ist. Eine Eingriffs- oder Änderungsmöglichkeit der Vorbelastung aus anderen Quellen ist ihm zumeist auch verwehrt. Häufig wird zudem vorgebracht, dass die Zusatzbelastung aus seinem Vorhaben gegenüber der Vorbelastung von anderen Quellen vernachlässigbar ist und daher zu dulden sei.

Die Standortwahl für ein Vorhaben wird aus Sicht eines Vorhabenträgers durch eine Vorbelastung erschwert. Im Falle einer Sanierung eines lärmbelasteten Gebiets ist dem Vorhabenträger dann nur der Kostenanteil zu übertragen, der auch seiner Verlärmungsschuld bzw. der Reduzierung der Verlärmungsschuld in der Nachbarschaft entspricht.

Gesamtlärbetrachtung aus kommunaler Sicht

Aus kommunaler Sicht ist bei der Ortsplanung und der Ausweisung neuer Gebiete eine Gesamtlärbetrachtung fast immer angebracht, da ein wesentliches Ziel der Ortsplanung die Wahrung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse ist. Dennoch unterscheidet sich die Sichtweise einer Kommune substantiell von der eines Betroffenen. Die Kommune darf nicht nur die kleinräumige Geräuschbelastung im Auge haben, sondern muss sich gesamthaft über sein Gebiet Gedanken machen. So kann die Bündelung von Geräuschquellen sogar das Mittel der Wahl sein, um z.B. die Verlärmung bislang ruhiger Gebiete zu vermeiden. Dennoch muss im Hintergrund immer das Ziel sein, die Belastung der Bevölkerung durch Lärm soweit wie möglich zu reduzieren. Grundlage für das Handeln einer Kommune ist daher die Abwägung unterschiedlicher Belange, wobei die Belastung durch Lärm in Form der Gesamtlärbelastung ein gewichtiger Belang ist. Im Rahmen der Bauleitplanung ist beispielsweise die Beurteilung des Gesamtbeurteilungspegels aus Verkehrslärm bzw. Geräuschen von Anlagen anhand der Orientierungswerte der DIN 18005 seit langem üblich.

Die Verteilung der Kosten für Lärmsanierungsmaßnahmen ist aus Sicht einer Kommune ähnlich wie die Abwägung selbst vorzunehmen.

Gesamtlärbetrachtung aus Sicht von Lärm betroffener Personen

Die Sichtweise von Lärm betroffener Personen ist vergleichsweise eindeutig. Maßgeblich für den Gesundheitsschutz und die Lebensqualität ist die gesamte Geräuschbelastung an dem Wohnort. Jede weitere Erhöhung der Belastung ist aus ihrer Sicht zu vermeiden. Dies gilt umso mehr je höher die bereits vorhandene Vorbelastung ist. Zudem fühlen sich besonders Anwohnerinnen und Anwohner in ruhigen ländlichen Gebieten durch zusätzliche Geräuschquellen besonders belästigt.

Die Kosten für Lärmschutzmaßnahmen sind aus Sicht des Betroffenen von den Verursachern zu tragen.

5 Aspekte einer wirkungsbezogenen Gesamtlärbetrachtung

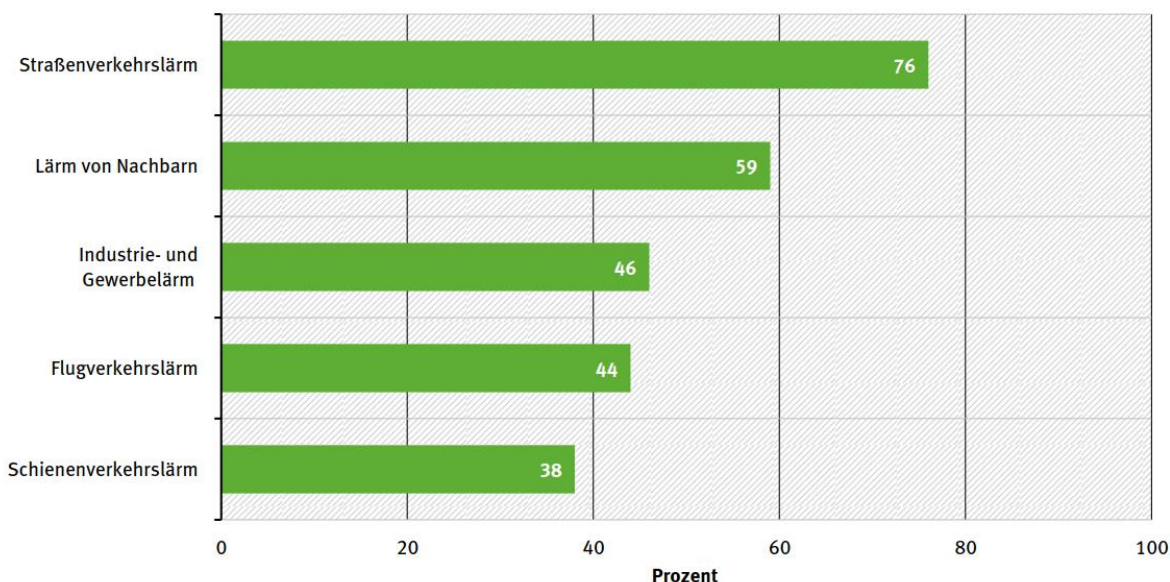
Die Lärmbelastigung in Deutschland wird in regelmäßigen Abständen durch das Umweltbundesamt erhoben. Dabei zeigt sich, dass insbesondere der Straßenverkehrslärm bei deutlich mehr als der Hälfte der Befragten Belästigungen hervorruft, jedoch auch andere Lärmquellen zur Belästigung der Bevölkerung beitragen (vgl. Abbildung 6). Allein anhand einer Aufsummierung der Prozentwerte der Belästigung für verschiedene Lärmarten ergibt sich, dass ein Großteil der Bevölkerung sich durch mehrere Lärmquellen belästigt fühlt.

Abbildung 6: Lärmbelastigung in Deutschland (UBA 2016)

Belästigung durch einzelne Lärmquellen 2016

Frage: Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate hier bei Ihnen denken, wie stark haben Sie sich persönlich durch den Lärm von folgenden Dingen gestört oder belästigt gefühlt?

Antworten: "zumindest etwas belästigt", das heißt Summe der Angaben „äußerst gestört oder belästigt“, „stark gestört oder belästigt“, „mittelmäßig gestört oder belästigt“ und „etwas gestört oder belästigt“



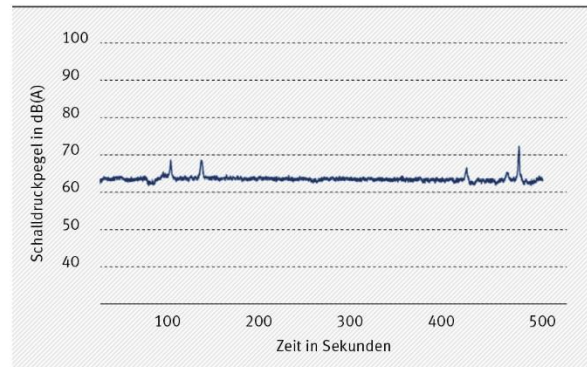
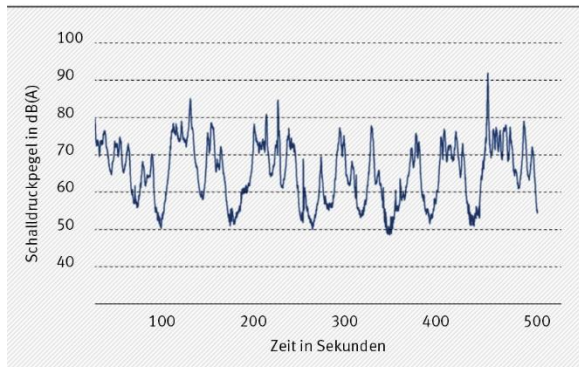
N= 2.030, Onlinebefragung 2016, 1. Befragungswelle, Stichprobe ab 14 Jahren

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit/Umweltbundesamt (Hrsg.), Umweltbewusstsein in Deutschland 2016, Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage

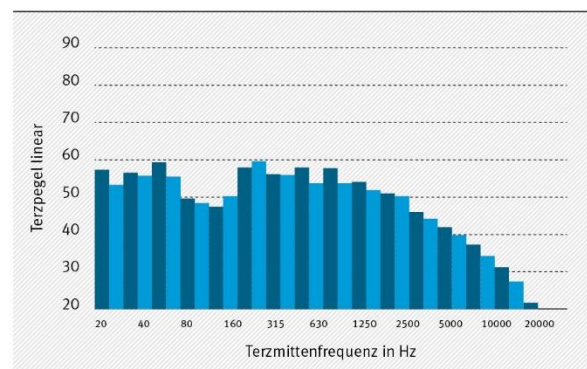
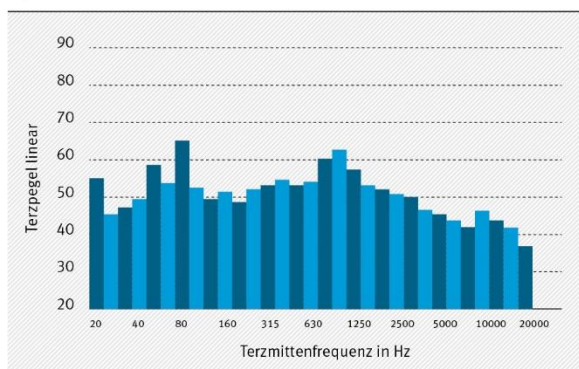
Dabei geht bei der Bewertung nicht nur die Intensität der Geräuschbelastung sondern auch der Grad der Belästigung durch die verschiedenen Quellen ein. Die verschiedenen Geräuschquellenarten können sich nämlich sowohl in ihrem Klangbild als auch in der Zeitstruktur deutlich voneinander unterscheiden. Diese Unterschiede bestimmen die Belästigung mit. Im Immissionschutzrecht müssen diese unterschiedlichen Geräusche jedoch mit einem einheitlichen Grenz- oder Richtwert verglichen werden. Hierfür werden im Allgemeinen Beurteilungspegel verwendet, die aus einem äquivalenten Dauerschallpegel und gegebenenfalls Zuschlägen für besondere Geräuschmerkmale bestehen.

Abbildung 7: Zeitstruktur und Spektrum

Zeitstruktur



Spektrum



Quelle: eigene Darstellung

Dies sind beispielsweise Zuschläge für Tonhaltigkeit (tonhaltiges Geräusch in Abbildung 7, links unten) oder Impulshaltigkeit (z.B. Geräuschspitzen in Abbildung 7 links oben). Diese Vorgehensweise hat sich besonders bei den sehr stark unterschiedlichen Anlagengeräuschen bewährt.

Im Bereich von Verkehrsgeräuschen ist die Geräuschvielfalt geringer. Hier muss lediglich zwischen Straßen-, Schienen- und Luftverkehrslärm unterschieden werden. Diese drei Geräuscharten sind in ihrer Geräuschcharakteristik unterschiedlich, innerhalb der jeweiligen Verkehrsweart jedoch vergleichsweise homogen.

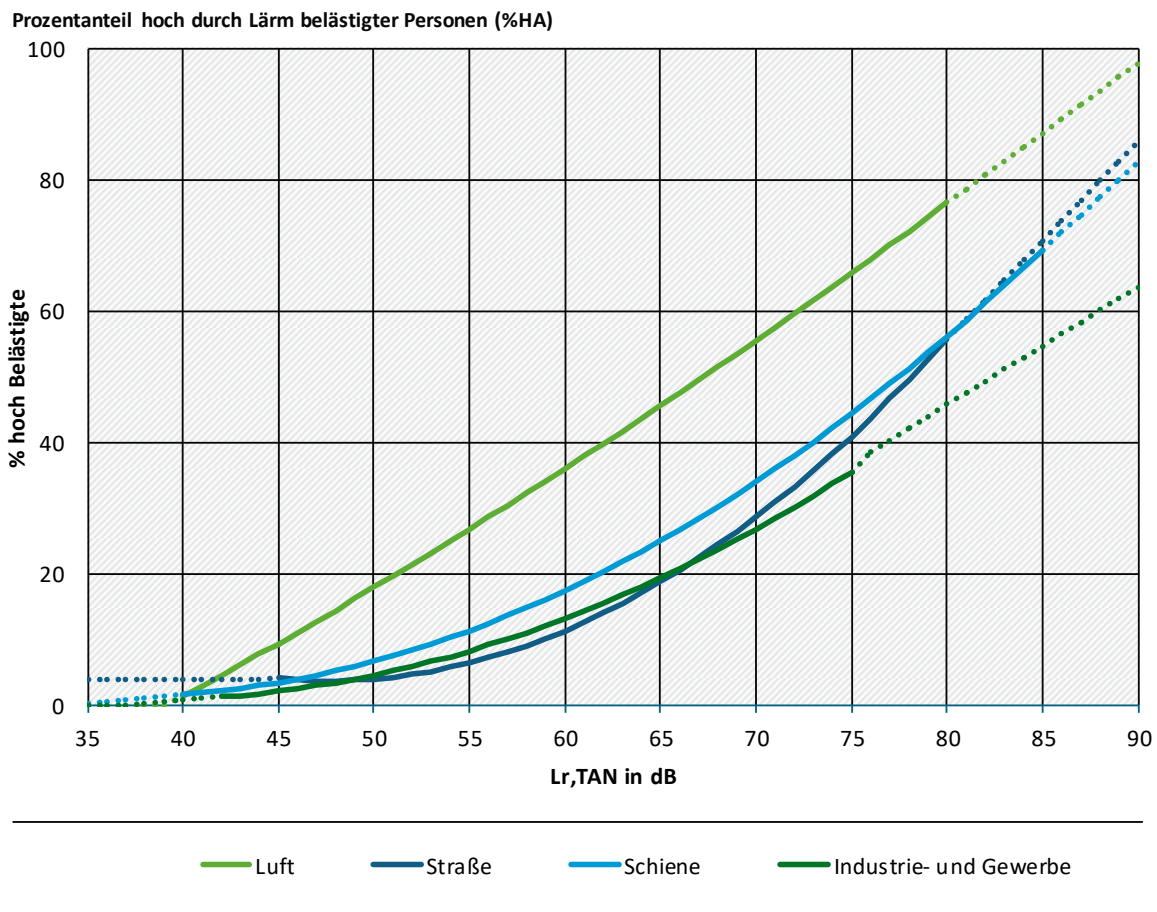
Während Luft- und Schienenverkehr durch einzelne Geräuschereignisse mit hohen Pegeln und mehr oder weniger langen Pausenzeiten aufweisen, ist der Straßenverkehr überwiegend durch das ständig vorherrschende Geräusch mehrerer Fahrzeuge charakterisiert. Längere Ruhephasen treten bei Straßenverkehr zumeist nur in den späten Nachtstunden auf. Auch das Frequenzspektrum unterscheidet sich zwischen den Verkehrslärmarten. So zeichnet sich vor allem der Straßenverkehr durch einen erhöhten Anteil tieffrequenter Geräusche aus. Diese Unterschiede in den Geräuschcharakteristika müssen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit beachtet werden.

Einen differenzierten und auf wissenschaftlichen Meta-Analysen basierenden Ansatz für die unterschiedliche Wirkung von Verkehrsgeräuschen verfolgt die VDI-Richtlinie 3722 Blatt 2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“. Diese hat als VDI-Richtlinie keinen rechtlich bindenden Charakter, sondern kann als Sachverständigenäußerung gewertet werden. Sie soll als Hilfsmittel verwendet werden, um Planungsalternativen

wirkungsgerecht zu bewerten, wenn auf ein schutzbedürftiges Gebiet mehrere Geräuschquellenarten einwirken. Die Vorgehensweise der VDI 3722 Blatt 2 sieht vor, als Entscheidungsgrundlage für eine von mehreren Alternativen für die Planung von Verkehrswegen den Anteil der Personen zu verwenden, die durch den Lärm der Verkehrswege entweder belästigt ist oder im Schlaf gestört ist.

Der Anteil der Bevölkerung, der sich durch Verkehrslärm bei einem bestimmten Mittelungspegel belästigt oder im Schlaf gestört fühlt, wird dabei anhand von normierten sogenannten Expositions-Wirkungs-Beziehungen ermittelt. Diese Beziehungen wurden durch Auswertungen verschiedener Studien zur Wirkung von Verkehrsgeräuschen bestimmt. Die daraus resultierenden sog. Expositions-Wirkungs-Beziehungen sind derzeit in Anhang A der VDI-Richtlinie genannt, jedoch ist bereits der Hinweis enthalten, dass bei Vorliegen neuerer Erkenntnisse auch aktuelle Beziehungskurven zu prüfen und ggfs. zu verwenden sind. Abbildung 8 zeigt als Beispiel die aktuellen Expositions-Wirkungs-Beziehungen nach dem WHO-Evidenzreview zur Belästigung durch Umgebungslärm (siehe hierzu WHO: Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018) den Anteil der Personen, die sich Straßen-, Schienen-, Luftverkehr sowie Industrie und Gewerbe hoch belästigt fühlen.

Abbildung 8: Expositions-Wirkungs-Beziehungen nach WHO 2018



Für einen Vergleich von Planungsalternativen wird in der VDI 3722 Blatt 2 zunächst die in der Abbildung 8 dargestellte unterschiedliche Wirkung der Geräuscharten berücksichtigt. Dazu wird der Pegel des Schienenverkehrs, Luftverkehrs bzw. Industrie und Gewerbe auf einen sogenann-

ten renormierten Ersatzpegel L^*_x umgerechnet. Das ist der Pegelwert, der eine Lärmbeeinträchtigung verursacht, die vergleichbar mit der durch Straßenverkehrsgeräusche ist. Der Straßenverkehr wird sozusagen als Referenzquelle verwendet. Wirken mehrere Verkehrsgeräuschquellen auf ein Gebiet ein, werden die renormierten Ersatzpegel der beteiligten Quellen energetisch zu einem effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} summiert. Der L_{AES} ist somit der Pegel von Straßenverkehrsgeräuschen, der denselben Anteil vom Lärm betroffener Personen hervorrufen würde, wie das gleichzeitige Einwirken der beteiligten Verkehrsgeräuschquellen.

Im Vergleich zur herkömmlichen energetischen Summierung von Geräuschquellen werden bei den renormierten Ersatzpegeln und dem effektbezogenen Substitutionspegel also die unterschiedlichen Wirkungen von verschiedenen Quellarten berücksichtigt. Damit bietet dieser Ansatz im Weiteren die Möglichkeit, eine wirkungsgerechte Verteilung der Kosten auf die Lärmverursacher vorzunehmen.

6 Anforderungen und Methoden der Kostenverteilung

6.1 Anforderungen an eine praxiserichte und nachvollziehbare Kostenverteilung

Werden lärmbelastete Gebiete z.B. durch eine Kommune im Rahmen der Lärmaktionsplanung schalltechnisch durch Lärmschutzmaßnahmen saniert, stellt sich die Frage ob und wie die Kosten für die Lärmschutzmaßnahmen auf die Verursacher verteilt werden sollen. Dies muss möglichst diskriminierungsfrei und nachvollziehbar erfolgen, da andernfalls keine Akzeptanz erwartet werden kann. Dabei sind unterschiedliche Aspekte zu beachten:

- ▶ Ein zu untersuchender/sanierender Bereich muss vor Durchführung der Untersuchungen zu potenziellen Schallschutzmaßnahmen örtlich eingegrenzt werden. Die Wahl der örtlichen Eingrenzung darf die Verteilung der Kosten nicht beeinflussen (Gebietsunabhängigkeit).
- ▶ Der Untersuchungszeitraum muss festgelegt werden; bei einer schrittweisen (sequentiellen) Umsetzung mehrerer Lärmschutzmaßnahmen sind Effekte der Reihenfolge auf die Kostenverteilung auszuschließen (Kommutativität).
- ▶ Bestehende Lärmschutzeinrichtungen können rückwirkend in das Finanzierungsmodell eingebracht werden; die Einbeziehung bestehender Maßnahmen darf keinen Einfluss auf die Kostenverteilungen bei weiteren Maßnahmen haben (Stichtagsunabhängigkeit).
- ▶ Die Kosten einer Maßnahme sollen den Hauptverursachern der Gesamtlärmbelastung zugewiesen werden und deren Beitrag am Gesamtlärm am stärksten durch die Maßnahme reduziert wird (Kostengerechtigkeit).
- ▶ Bei der Kostengerechtigkeit soll der Beitrag einer Quellenart an der Gesamtlärmbelastung anhand der Zahl der Betroffenen bewertet werden, d.h. im Untersuchungsgebiet sollen die Siedlungsdichte in einzelnen Bereichen einberechnet werden.
- ▶ Die Gesamtlärmbelastung wird als wirkungsgerechte Belastung bemessen. Unterschiedliche Wirkungen von verschiedenen Quellenarten sollen berücksichtigt werden.

Diese Anforderungen sollte ein Modell für die Kostenverteilung von Schallschutzmaßnahmen möglichst umfassend erfüllen. Dabei muss das Verfahren transparent und praxisericht sein, damit es sowohl bei den vom Lärm Betroffenen als auch den Kostenträgern und den Planungsbehörden auf Akzeptanz stößt.

6.2 Methoden der Kostenverteilung

Grundsätzlich kommen verschiedene Methoden für die Verteilung der Kosten in Frage. Mögliche Methoden sind im Folgenden aufgeführt, jedoch erfüllen diese Methoden die Anforderungen aus Abschnitt 6.1 nicht in gleichem Maße.

Folgende Methoden sind denkbar:

Wie stark trägt eine Quelle zur Gesamtlärmbelastung bei?

Der ursprüngliche Beitrag einer Geräuschquelle an der Gesamtlärmbelastung ist ein möglicher Indikator für den Kostenbeitrag zu einer Schallschutzmaßnahme. Eine Quelle, deren Beitrag am

Gesamtlärm gegenüber den anderen Quellen vor Umsetzung von Maßnahmen dominiert, trägt anteilig entsprechend ihrem Gesamtlärmanteil einen korrelierenden Kostenanteil. Der Minderungsbeitrag an dieser Quelle durch die Schallschutzmaßnahme wird mit dieser Methode nicht bewertet.

Wie stark wird eine Lärmquelle im Vergleich zu den anderen Lärmquellen gemindert?

Eine weitere Methode ist die Kostenverteilung anhand der Wirksamkeit einer Schallschutzmaßnahme bezüglich der betrachteten Quellenart. Bei dieser Methode würden die Kosten anhand der Verhältnisse der Pegelminderung der Quellenarten untereinander verteilt. Eine Quelle, die die doppelte Pegelminderung erfährt wie eine andere Quelle würde mit den doppelten Kosten belastet. Bei dieser Betrachtung bleibt der Anteil einer Quelle am Gesamtlärm außer Betracht. Eine in der Gesamtbetrachtung unbedeutende Quelle könnte an den Kosten maßgeblich beteiligt werden, wenn deren (geringer) Anteil im Vergleich zu den anderen Quellen entsprechend stark gemindert würde. Diese Betrachtungsweise kommt einer sektoralen Betrachtungsweise sehr nahe, da auch bei getrennter Beurteilung von Lärmarten die Kosten ausschließlich der Quelle zugeordnet werden, die die Schallschutzmaßnahme auslöst.

Wie stark ist der Anteil der Lärminderung einer Quelle an der Gesamtlärminderung?

Ein weiterer Ansatz ist der Gedanke, den Kostenanteil der Lärminderung einer Quelle in Verhältnis zur Gesamtlärminderung zu setzen. Dieser Ansatz ist jedoch technisch nicht realisierbar, wenn die Minderung als Schallpegeldifferenz in Dezibel ausgedrückt wird, da z.B. die Minderung einer Quelle einen höheren Dezibel-Wert aufweisen kann als die Gesamtlärminderung. Betrachtet man den Anteil der Lärminderung nicht anhand von Schallpegeln sondern anhand der nicht logarithmierten Schallenergie, ergibt sich ein umsetzbares Finanzierungsmodell.

7 Finanzierungsmodell bei einer Gesamtlärbetrachtung

Nachfolgend wird ein Finanzierungsmodell vorgestellt, das bei einer Gesamtlärbetrachtung angewendet werden kann (vgl. Schade 2014). Es basiert auf dem Verhältnis der Lärminderung einer Quelle an der Gesamtlärminderung auf Basis von Schallenergien anstelle von Pegelgrößen. Das Modell sieht mehrere Schritte vor, die der Kostenverteilung vorangehen. Nach der Eingrenzung des Sanierungsgebiets und der Planung möglicher Schallschutzmaßnahmen werden folgende Schritte auf Grundlage eines energetischen Belastungsindizes durchgeführt:

- ▶ Priorisierung der Maßnahmen nach Nutzen-Kosten-Verhältnis
- ▶ Verteilung der Kosten auf die Verursacher

Für beide Schritte wird ein energetischer Belastungsindex zugrunde gelegt, der auf wirkungsbezogenen Kenngrößen nach VDI 3722-2 basiert. Der Belastungsindex WEBI (wirkungsbezogener energetischer Belastungsindex) ist wie folgt definiert:

$$WEBI = \sum_{i=1}^I N_i \times 10^{0,1 L_{AES,i}} \quad (1)$$

Der Index repräsentiert somit den delogarithmierten nach VDI 3722-2 effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} für die Belästigungsart „Highly Annoyed“, aufsummiert über die Berechnungspunkte i und Betroffenen N_i .

In dem ersten Schritt wird eine Priorisierung der Schallschutzmaßnahmen getroffen anhand des Verhältnisses (NKI) der Minderung der Gesamtbelastungsindizes zu den Kosten:

$$NKI = \frac{WEBI_{vorher} - WEBI_{nachher}}{Kosten} \quad (2)$$

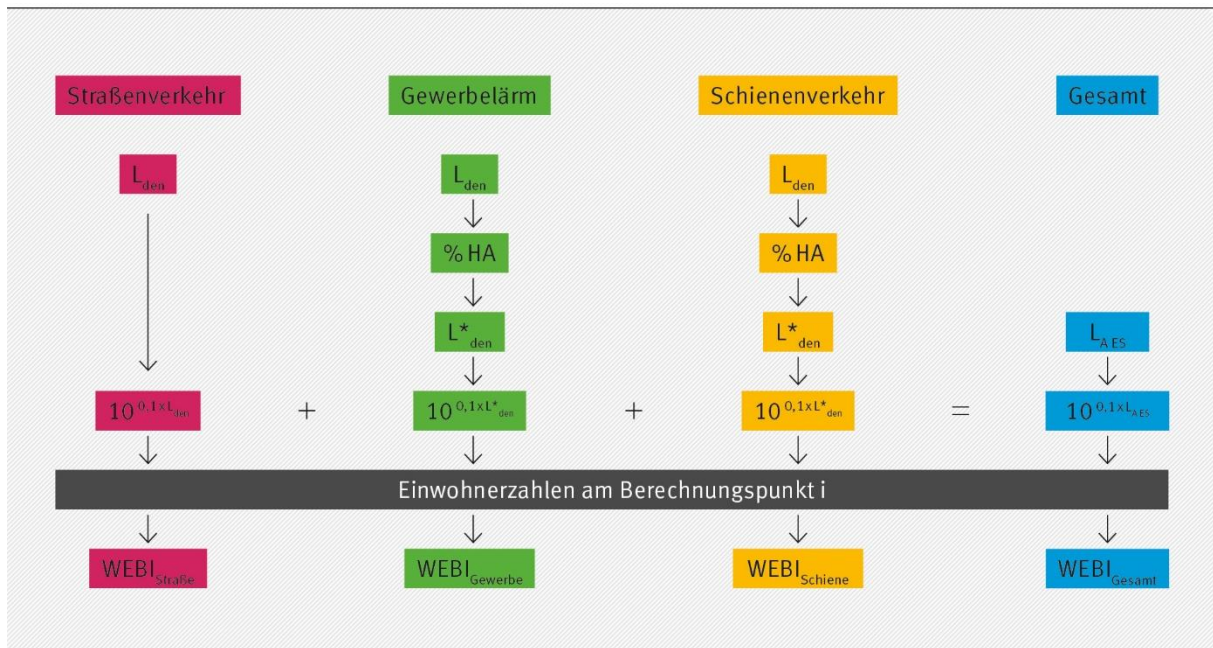
Maßnahmen mit hohem NKI haben entsprechend hohe Priorität. Anschließend werden sukzessive bei jedem Realisierungsschritt von Maßnahmen deren Kosten auf die Geräuschquellen j anhand des Verhältnisses der Minderung der Indizes der Quelle j am Gesamtindex aufgeteilt:

$$Kosten_j = Kosten_{ges} \times \frac{WEBI_{j,vorher} - WEBI_{j,nachher}}{WEBI_{vorher} - WEBI_{nachher}} \quad (3)$$

In das Finanzierungsmodell gehen für die Quelle j somit die Wirksamkeit der Maßnahme bezogen auf die Quelle j im Verhältnis auf die Wirksamkeit der Maßnahme bezogen auf den Gesamtlärm ein.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der dafür benötigten Indizes ist in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Flussdiagramm zur Ermittlung des WEBI-Index



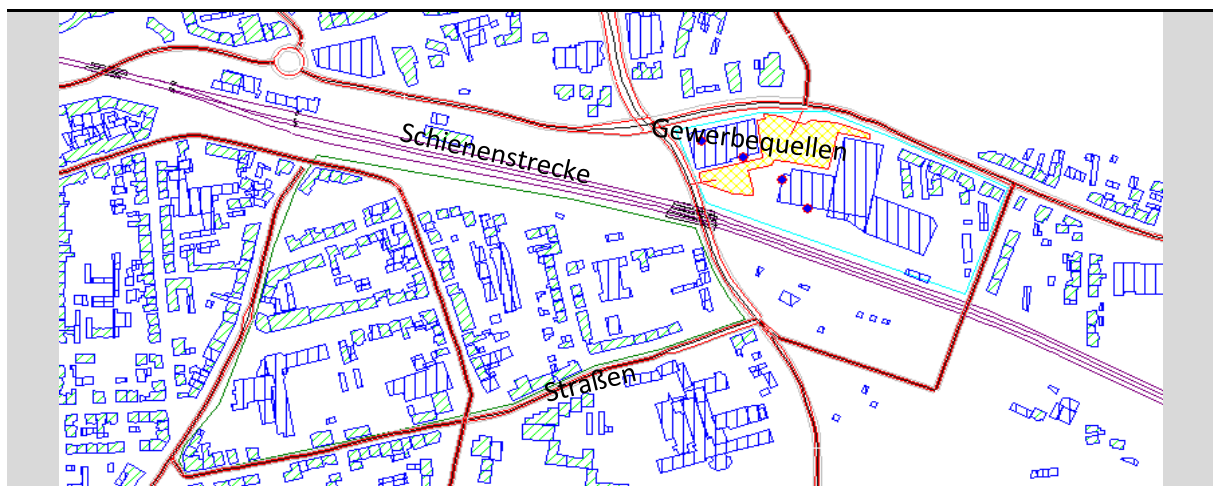
Quelle: eigene Darstellung

8 Praxisbeispiel

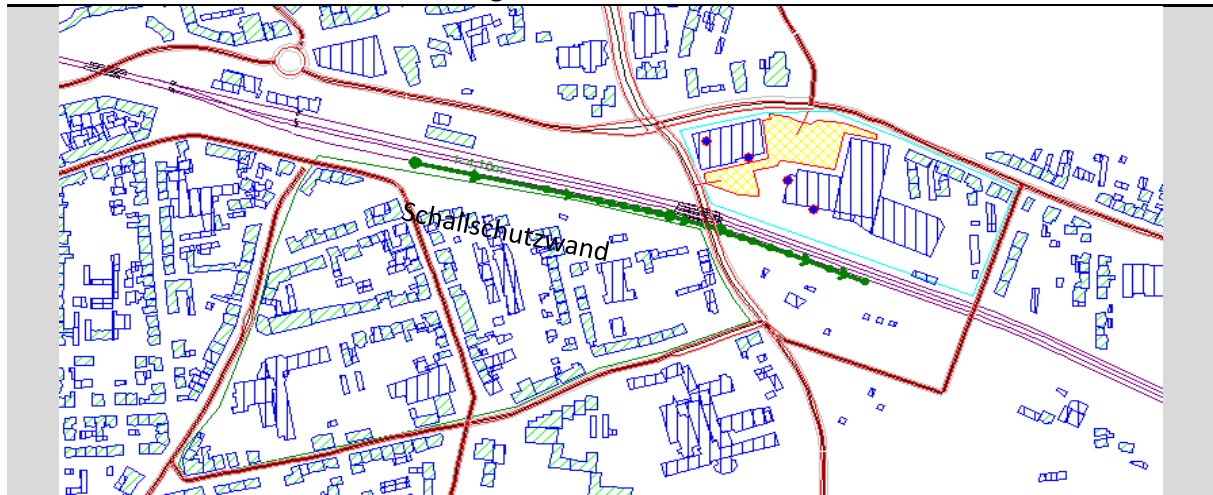
Im Folgenden wird das Finanzierungsmodell an einem Praxisbeispiel angewendet. Hierfür wurde ein Teilbereich der Musterstadt QSDO aus der DIN 45687⁴ gewählt. In diesem Beispiel wirken neben den Geräuschen von Straßen auch Gewerbe- und Schienenverkehrslärm auf das Untersuchungsgebiet ein (siehe Abbildung 10). Für das Gebiet liegen zwei Maßnahmenvorschläge vor, weshalb hier zunächst eine Priorisierung anhand des Nutzen-Kosten-Index (NKI) vorgenommen werden kann.

Abbildung 10: Darstellung des Untersuchungsgebiets mit den einzelnen Lärmschutzmaßnahmen

Ist-Zustand vor der Ergriffung von Lärmschutzmaßnahmen

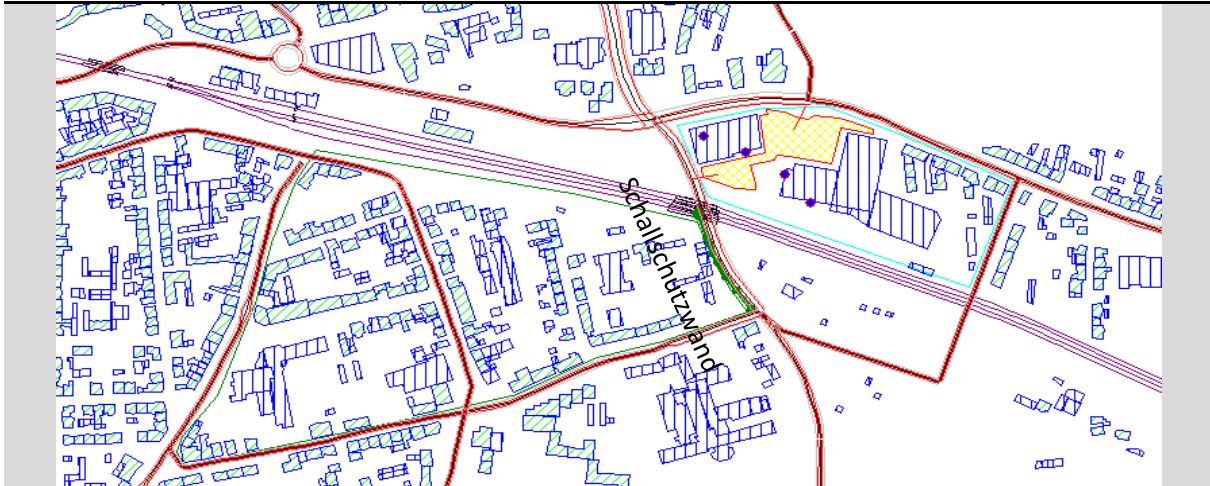


Maßnahme 1: Lärmschutzwand entlang der Schienen

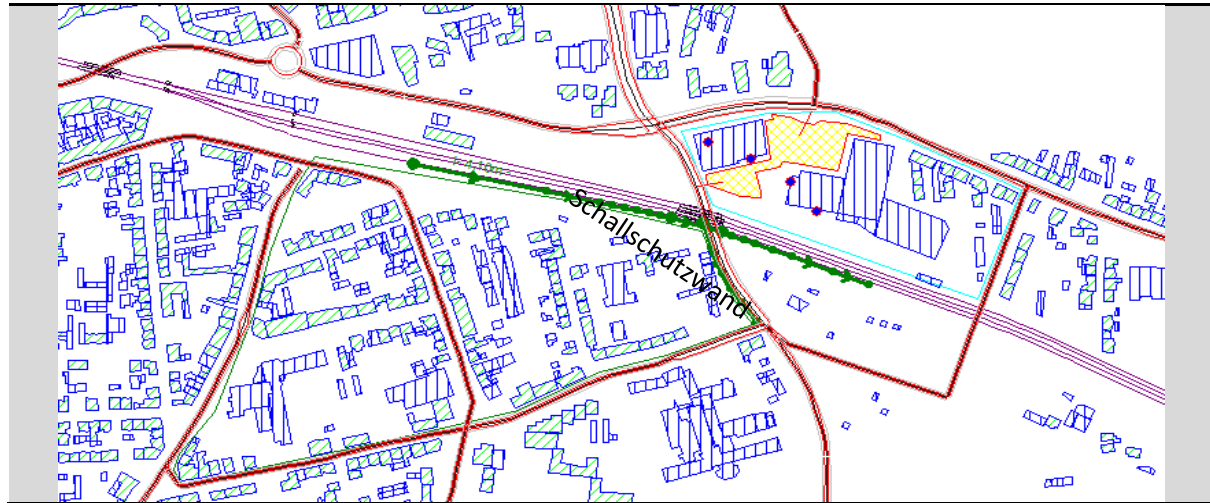


⁴ Die DIN 45687 Akustik — Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien — Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen“ definiert Anforderungen an Software-Programme, die bei der schalltechnischen Beurteilung von Vorhaben zur rechnerischen Ermittlung der Schallimmissionen verwendet werden. In den Anhängen zur Norm sind zudem Anforderungen an Testaufgaben zur Prüfung auf konforme Umsetzung der Rechenvorschriften in Software-Programmen definiert.

Maßnahme 2: Lärmschutzwand entlang der Benninghofer Straße, südlich der Gleisanlagen



Gesamte Maßnahmen: Kombination von Maßnahme 1 und Maßnahme 2



Quelle: Eigene Darstellung

8.1 Schritt 1: Ermittlung der %HA

Zunächst ist der Anteil der Straßen- und Schienenverkehr sowie Gewerbe sich stark belästigt fühlenden Personen (%HA) zu bestimmen. Hierfür werden die in diesem Forschungsvorhaben erarbeiteten Vorschläge für eine Aktualisierung der Expositions-Wirkungs-Beziehungen der VDI 3722-2 herangezogen (vgl. Guski et al., 2017, Basner & McGuire, 2018). Demnach muss die Ermittlung der %HA sowohl unterhalb, innerhalb und oberhalb des eigentlichen Substitutionsbereichs erfolgen. Diese Vorgehensweise ist nachfolgend für die jeweilige Quellenart dargestellt.

Straßenverkehrslärm

Unterhalb des Wertebereichs ($L_{DEN} < 45 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 4,0 \% \tag{4}$$

Innerhalb des Wertebereichs ($45 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 80 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 116,4304 - 4,7342 * L_{DEN} + 0,0497 * L_{DEN}^2 \tag{5}$$

Oberhalb des Wertebereichs ($L_{DEN} > 80 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 3,019 * L_{DEN} - 185,845 \tag{6}$$

Schienenverkehrslärm

Unterhalb des Wertebereichs ($L_{DEN} < 40 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 1,5 \% \quad (7)$$

Innerhalb des Wertebereichs ($40 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 85 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 38,1596 - 2,05538 * L_{DEN} + 0,0285 * L_{DEN}^2 \quad (8)$$

Oberhalb des Wertebereichs ($L_{DEN} > 85 \text{ dB(A)}$):

$$= 2,676 * L_{DEN} - 158,120 \quad (9)$$

Gewerbelärm

Unterhalb des Wertebereichs ($L_{DEN} < 42 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 1,6 \% \quad (10)$$

Innerhalb des Wertebereichs ($42 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 75 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 36,307 - 1,886 * L_{DEN} + 0,02523 * L_{DEN}^2 \quad (11)$$

Oberhalb des Wertebereichs ($L_{DEN} > 75 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 1,798 * L_{DEN} - 98,093 \quad (12)$$

8.2 Schritt 2: Bestimmung der renormierten Ersatzpegel

Im nächsten Schritt sind die renormierten Ersatzpegel zu ermitteln. Die renormierten Ersatzpegel beziehen sich auf die Beurteilungspegel des Straßenverkehrs L_{DEN} weswegen die Substitution nur für die Quellenarten Schiene und Gewerbe vorzunehmen ist.

Der Grundgedanke hierbei ist, dass derselbe prozentuale Anteil der „stark belästigten“ ($\%HA$) beim Schienenverkehr bzw. beim Gewerbelärm dem Beurteilungspegel des Straßenverkehrs entspricht, durch den derselbe Prozentsatz $\%HA$ errechnet wird. Die nachfolgende Tabelle 1 stellt dies exemplarisch dar.

Tabelle 1: Beurteilungspegel und renormierte Ersatzpegel L^*_{DEN} für den Gewerbelärm und den Schienenverkehrslärm bei 20 %HA

	Beurteilungspegel L_{DEN} [dB(A)]	%HA [%]	Renormierter Ersatzpegel L^*_{DEN} [dB(A)]
Straßenverkehr	65,7	20	--
Schienenverkehr	61,8	20	65,7
Gewerbe	64,8	20	65,7

Die renormierten Ersatzpegel werden durch Umformen der Gleichungen (4) bis (6) für die Berechnung der %HA des Straßenverkehrs ermittelt. Dies erfolgt in den jeweiligen Wertebereichen der Expositions-Wirkungs-Beziehungen für Straßenverkehr. Demnach entspricht ein Beurteilungspegel L_{DEN} des Straßenverkehrs von 80 dB(A) einem %HA von 55,8% und bildet somit die obere Grenze des Wertebereichs. Ab dieser Stelle gilt die nachfolgende Gleichung, die sich durch Umformen der Gleichung (6) für die Ermittlung der %HA oberhalb des Wertebereichs ergibt:

$$L_{DEN}^* = \frac{\%HA + 185,845}{3,019} \quad \text{für } \%HA > 55,8\% \quad (13)$$

Analog hierzu wird die untere Grenze des Wertebereichs mit einem %HA von 4,0% beschrieben, was einem Beurteilungspegel von 45 dB(A) entspricht.

Durch das Umformen der Gleichung (5) für die %HA des Straßenverkehrs bei Straßenpegeln von 45 dB(A) $\leq L_{DEN} \leq 80$ dB(A) erhält man nachfolgendes Polynom zweiter Ordnung.

$$L_{DEN}^* = \frac{4,7342 + \sqrt{4,7342^2 - 0,1988 * (116,4304 - \%HA)}}{0,0994} \quad \text{für } 4,0\% \leq \%HA \leq 55,8\% \quad (14)$$

Bei der Ermittlung des renormierten Ersatzpegels unterhalb des Wertebereichs wird pauschal ein renormierter Ersatzpegel von 50,1 dB(A) für alle %HA unter 4,0% angenommen.

Mit diesen Grundlagen ist nun die Berechnung des WEBI-Index möglich.

8.3 Schritt 3: Ermittlung des WEBI-Index

Der WEBI-Index repräsentiert in einem realen Modell das Produkt der Einwohner pro Berechnungspunkt mit dem delogarithmierten renormierten Ersatzpegel der betrachteten Quellenart. Er berechnet sich wie folgt:

$$WEBI = \sum_{I=1}^I N_i * 10^{0,1 * L_{DEN}^*} \quad (15)$$

Der Index I steht hier für die Berechnungspunkte und N_i für die Einwohnerzahlen des entsprechenden Berechnungspunktes. Der WEBI – Index wird für alle Berechnungspunkte zuerst einzeln ermittelt um anschließend daraus die gebietsweise Summe des WEBI-Index pro Quellenart zu berechnen.

8.4 Schritt 4: Festlegung der Priorisierungen der Maßnahmen

Nach der Ermittlung des WEBI-Index erfolgt nun eine Priorisierung der Schallschutzmaßnahmen nach Gleichung (2). Hierbei wird der Nutzen einer Maßnahme durch die Differenz des WEBI-Index der Gesamtlärsituation vorher und nachher beschrieben. In Verbindung mit den Kosten der jeweiligen Maßnahme erhält man somit einen Quotienten; den Nutzen-Kosten-Index (NKI).

Tabelle 2: Nutzen – Kosten – Index (NKI) für das Anwendungsbeispiel

	WEBI _{vorher}	WEBI _{nachher}	Kosten	NKI
Maßnahme 1	7246773536	4763479163	946.485,00€	2623,7
Maßnahme 2	7254094012	7252743292	237.937,50€	5,7

Im vorliegenden Praxisbeispiel liegt der NKI bei Maßnahme 1 bei ca. 2623,7, wohingegen der NKI bei Maßnahme 2 lediglich bei ca. 5,7 liegt (siehe Tabelle 2). In Anbetracht der stärkeren Auswirkungen und des größerem Ausmaßes der Maßnahme 1 erscheint dies plausibel. Die Priorisierungsreihenfolge des Maßnahmenpakets sähe demnach wie folgt aus:

- Priorität 1: Maßnahme 1 entlang der Schienen
- Priorität 2: Maßnahme 2 entlang der Straßen

Anhand der in Schritt 2 und 3 dargestellten Ergebnisse kann nun eine detaillierte Ausführungsplanung mit zugewiesenen Kosten durchgeführt werden.

8.5 Schritt 5: Kostenverteilung auf Geräuschquellenarten

Aus dem WEBI-Index kann im Weiteren anhand Gleichung (3) der individuelle Kostenanteil j einer Quellenart ermittelt werden. Die Berechnungen ergeben für das Praxisbeispiel folgende Verteilung der Kosten:

Tabelle 3: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet im Praxisbeispiel

		Straßenverkehr	Gewerbebetriebe	Schienenverkehr
Maßnahme 1	Anteil	0,1 %	0,0 %	99,9 %
	Kosten	1 TSD €	0,00 €	945 TSD €
Maßnahme 2	Anteil	100,0 %	0,0 %	0,0 %
	Kosten	240 TSD €	0,00 €	0,00 €

Anhand der obigen Tabelle kann folgendes festgestellt werden:

- ▶ Die größte und nahezu einzige Abschirmwirkung bei der Maßnahme 1 wird für die Schienenverkehrswege erzielt. Die nördlich angrenzenden Gewerbebetriebe werden kostenmäßig nicht mit einbezogen, da die durch die Anlagengeräusche verursachten Beurteilungspegel deutlich unterhalb der Schienenverkehrsgeräusche liegen.
- ▶ Bei der Maßnahme 2 wird im Grunde nur der durch die Gemeindestraßen verursachte Lärm abgeschirmt. Folgerichtig ergibt sich somit eine 100%ige Aufteilung der Kosten auf die Gemeindestraßen. Eine Lärminderung der anderen Lärmquellenarten tritt nicht auf.

Tabelle 4 zeigt die Kostenverteilung für das betrachtete Untersuchungsgebiet bei einer unterschiedlichen Realisierungsreihenfolge der Lärmschutzmaßnahmen.

Tabelle 4: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet bei unterschiedlichen Realisierungsreihenfolgen

Maßnahme 1 vor Maßnahme 2				
		Straßen	Gewerbebetriebe	Schienenverkehr
Maßnahme 1	Anteil	0,1 %	0,0 %	99,9 %
	Kosten	1 TSD €	0,00 €	945 TSD €
Maßnahme 2	Anteil	100,0 %	0,0 %	0,0 %
	Kosten	240 TSD €	0,00 €	0,00 €
Anteil an den Gesamtkosten	Anteil	20,2 %	0,0 %	79,8 %
	Kosten	241 TSD €	0,00 €	945 TSD €
Maßnahme 2 vor Maßnahme 1				
		Straßen	Gewerbebetriebe	Schienenverkehr
Maßnahme 2	Anteil	100,0 %	0,0 %	0,0 %
	Kosten	241 TSD €	0,00 €	0,00 €
Maßnahme 1	Anteil	0,3 %	0,0 %	99,7 %
	Kosten	3 TSD €	0,00 €	942 TSD €
Anteil an den Gesamtkosten	Anteil	20,3 %	0,0 %	79,7 %
	Kosten	244 TSD €	0,00 €	942 TSD €

Es wird ersichtlich, dass die Kostenverteilung beim WEBI-Index im Wesentlichen unabhängig von der Reihenfolge der Realisierung der Maßnahmen ist. Geringe Unterschiede bei unterschiedlichen Reihenfolgen sind auf die Begrenzung der Expositions-Wirkungs-Beziehungen im unteren Pegelbereich zurückzuführen, bei dem eine Reduzierung der Pegel nicht mehr zu einer Reduzierung der Betroffenen führt. Die in Abschnitt 6 gestellten Anforderungen an ein Modell zur Kostenverteilung werden dennoch erfüllt.

9 Quellenverzeichnis

16. BImSchV: Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269) geändert worden ist

18. BImSchV: Sportanlagenlärmschutzverordnung vom 18. Juli 1991 (BGBl. I S. 1588, 1790), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Juni 2017 (BGBl. I S. 1468) geändert worden ist

34. BImSchV: Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516), die zuletzt durch Artikel 84 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschemissionen – vom 19. August 1970

BASNER, M. und MCGUIRE, S., 2018. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Sleep. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*, 15, 519. DOI:10.3390/ijerph15030519

Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist

Datensatz der Musterstadt QSDO im QSI-Format in der Fassung vom 15. März 2013, übermittelt am 10. August 2016

DIN 18005-1, 2002-07: Schallschutz im Städtebau - Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung

DIN 4109-1, 2018-01: Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen

DIN 45687, 2006-05: Akustik - Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien - Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen

Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550)

GUSKI, R., SCHRECKENBERG, D. und SCHUEMER, R., 2017. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1539. DOI:10.3390/ijerph14121539

LAI-Hinweise zur Lärmkartierung einschließlich Beratungsunterlage und Beschluss zu TOP 13.1 der 133. LAI-Sitzung am 2. und 3. März 2011

LAI-Hinweise zur Lärmaktionsplanung – zweite Aktualisierung – in der Fassung vom 9. März 2017

MIEDEMA, H.M.E. , 2004. Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(2), 949-957

RICHTLINIE 2002/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm

SCHADE, L., 2014. Gesamtlärm und verursachergerechte Kostenverteilung bei der Lärmsanierung. ALD-Veranstaltung „Gesamtlärm“, 22.09.2014, Berlin

Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)

Umweltbundesamt 2016:Umweltbewusstsein in Deutschland. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. [Zugriff am 27.06.2018]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltbewusstsein_deutschland_2016_bf.pdf

Umweltbundesamt: Lärmbelästigung [Zugriff am 27.02.2018]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelastigung>

Umweltbundesamt 2018: Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm nach Umgebungslärmrichtlinie. [Zugriff am 16.12.2018]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/belastung-der-bevoelkerung-durch-umgebungs-laerm>

VDI 2719, 1987-08: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen

VDI 3722-2, 2013-05. „Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“

World Health Organization (WHO), 2018. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe