

TEXTE

60/2019

Modell zur Gesamtlärbewertung

Abschlussbericht

TEXTE 60/2019

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 55 1030

FB000020

Modell zur Gesamtlärbewertung

Abschlussbericht

von

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

Dirk Schreckenber, Sarah Benz
ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt-
und Sozialforschung, Hagen

Michael Gillé, Corinna Kurz
Soundplan GmbH, Backnang

Prof. Dr. med. Andreas Seidler, MPH,
Dr. rer. biol. hum. Janice Hegewald
GWT-TUD GmbH, Dresden

Dr. Martin Schröder
Seufert Rechtsanwälte, München

Hartmut Stapelfeldt
Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH, Dortmund

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:

Dezember 2018

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.

Kurzbeschreibung: Modell zur Gesamtlärbewertung

Auf dem Weg zu einer rechtlichen Regelung einer Gesamtlärbetrachtung werden in vorliegender Veröffentlichung folgende Fragestellungen untersucht:

- ▶ Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Gesamtlärbewertung auf der Grundlage der VDI 3722-2
- ▶ Einfluss auf die Gesundheit bei Einwirken mehrerer Geräuschquellenarten
- ▶ Möglichkeiten der rechtlichen Umsetzung einer Gesamtlärbetrachtung
- ▶ Vorschlag für ein Finanzierungsmodell für Maßnahmen bei einer Gesamtlärbetrachtung
- ▶ Erweiterung des Datensatzes Musterstadt der DIN 45687 und Erprobung des entwickelten Finanzierungsmodells.

Zur Beantwortung der Fragestellungen befasste sich ein interdisziplinäres Team mit aktuellen Forschungsergebnissen zur Wirkung von einzelnen Geräuschquellenarten und Gesamtlärmwirkungen, der RE-Analyse epidemiologischer Untersuchungen, den rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Gesamtlärbewertung und den Methoden für eine praxisgerechte Kostenverteilung von Lärmschutzmaßnahmen sowie deren Erprobung an einer Modellstadt.

Zu den einzelnen Fragestellungen wurden Vorschläge erarbeitet, die eine Vertiefung der Gesamtlärbetrachtung ermöglichen und abschließend zu einem Vorschlag für eine Verwaltungsvorschrift zur Bewertung von Gesamtlärm auf Basis des Substitutionsverfahrens der VDI 3722-2 und mit einem Finanzierungsmodell für Lärmschutzmaßnahmen führt.

Abstract: Model for assessment of total noise exposure

In pursuit of an approach towards a legal regulation of a total-noise appraisal the present publication addresses the following issues

- ▶ Further development of a concept for noise assessment on the basis of VDI 3722-2:
- ▶ Influence of multiple noise on health effects (re-analysis of epidemiological studies)
- ▶ Possibilities of the legal implementation of a total noise appraisal
- ▶ Proposal of a financing model for measures in case of an assessment of total noise
- ▶ Extension of the dataset for the sample city of DIN 45687 and testing of the financing model.

In order to answer the questions an interdisciplinary team dealt with the recent research results concerning the impact of individual types of noise and total noise, the RE-analysis of epidemiological studies, the legal environment for an assessment of total noise and methods for a practice-oriented cost distribution of sound insulation measures as well as their testing based on a dataset of a sample city.

By dealing with the particular questions proposals are developed to enable a deepening of the total noise appraisal and in the end lead to a recommendation for an administrative regulation for the assessment of total noise on the basis of the substitution procedure of VDI 3722-2 and a financing model for sound insulation measures.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis.....	11
Formelzeichen.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Zusammenfassung	19
Summary	32
1 Einleitung	44
1.1 Aufgabenstellung.....	44
1.2 Vorgehensweise	49
2 Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Gesamtlärbewertung auf Grundlage der VDI 3722-2	50
2.1 Aufgabenstellung.....	50
2.2 Regelungen der VDI 3722-2.....	50
2.3 Regelungslücken der VDI 3722-2.....	54
2.3.1 Anwendung von Pegeln außerhalb des Wertebereiches:	54
2.3.2 Empfehlungen zur Wahl der Beeinträchtigungskurven	58
2.3.3 Bewertung der VDI 3722-2 unter Gesundheitsschutzaspekten und Unterbreitung von Verbesserungsvorschlägen.....	59
2.3.3.1 Evidenz der Gesundheitswirkungen von Umgebungslärm	59
2.3.3.2 Zusammenfassender Kennwert der Gesundheitswirkung von Gesamtlärm	63
2.3.4 Beurteilung möglicher Interaktionen zwischen den Tages- und den Nachtwirkungen bei verschiedenen Quellenartenkombinationen.....	70
2.3.5 Mögliche Einbeziehung des Industrie- und Gewerbelärms in die VDI 3722-2.....	72
2.3.6 Aktualisierung der Expositions-Wirkungsfunktionen	77
2.4 Weiterentwicklung der VDI 3722-2	78
2.5 Ermittlung der Gesamtwirkung von Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm in Bezug auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und psychische Erkrankungen.....	86
2.5.1 Einleitung.....	86
2.5.1.1 Methodisches Vorgehen	86
2.5.2 Fallkontrollstudie im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main	87
2.5.2.1 Methodik	87
2.5.2.2 Ergebnisse	89
2.5.3 Entwicklung eines Algorithmus zur Abschätzung absoluter Exzess-Risiken bei gegebenen Mittelungspegeln gegenüber Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm.....	101

2.5.3.1	Algorithmus zur Abschätzung der verkehrslärmbedingten Zahl von Herz-Kreislauf-Erkrankungen.....	102
2.5.3.2	Algorithmus zur Abschätzung der verkehrslärmbedingten Zahl von Depressionen ..	103
2.6	Diskussion offener Punkte	104
2.6.1	Vorbemerkung	104
2.6.2	Industrie- und Gewerbelärm	104
2.6.3	Gesundheitliche Bewertung	105
2.6.4	Zusammenwirken von verschiedenen Verkehrslärmarten.....	107
2.6.5	Weiterer Forschungsbedarf	107
3	Finanzierungsmodell für Maßnahmen bei einer Gesamtlärbetrachtung	109
3.1	Anforderungen.....	109
3.2	Vorhandene Finanzierungsmodelle	109
3.2.1	Erschließungsbeitragssatzungen.....	109
3.2.2	Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“	110
3.2.3	Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“	110
3.3	Vorschläge für weitere Finanzierungsmodelle	111
3.3.1	Übersicht.....	111
3.3.2	Finanzierungsmodell „Anteil Lärmpegelminderung“	112
3.3.3	Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	112
3.4	Bewertung der betrachteten Finanzierungsmodelle	114
3.4.1	Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“	115
3.4.2	Finanzierungsmodell „Anteil Lärmpegelminderung“	116
3.4.3	Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	117
3.4.4	Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“	119
3.5	Empfehlungen für ein Finanzierungsmodell	122
3.6	Weiterentwicklung des Finanzierungsmodells auf Grundlage eines summarischen Indikators für die Gesamtlärmbelastung	123
4	Rechtsgutachten zur Einbindung der VDI 3722-2 und des Finanzierungsmodells in das Immissionsschutzrecht	125
4.1	Aufgabenstellung	125
4.1.1	Hintergrund.....	125
4.1.2	Aufgabenstellung des Rechtsgutachtens.....	126
4.2	Möglichkeiten zur Einbindung der VDI 3722-2 in das geltende nationale und europäische Immissionsschutzrecht.....	126

4.2.1	Segmentierung der Geräuschquellen als prägendes Strukturelement des deutschen Lärmschutzrechts	127
4.2.2	Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertungen im geltenden deutschen Immissionsschutzrecht	128
4.2.2.1	Verfassungsrechtlich gebotene, quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung bei Gesundheitsgefahr und Eingriff in die Substanz des Eigentums (Art. 2 Abs. 2 Satz 1, 14 Abs. 1 Satz 1 GG).....	128
4.2.2.2	Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertungen in der TA Lärm	131
4.2.2.3	18. BImSchV (Sportanlagenlärmenschutzverordnung)	135
4.2.2.4	Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung in der Lärminderungsplanung (Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG, §§ 47a ff. BImSchG)	138
4.2.2.5	Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung und Anwendung der Richtlinie VDI 3722-2 in der Bauleitplanung	143
4.2.2.6	Zusammenfassung.....	144
4.2.3	Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung im geltenden europäischen Immissionsschutzrecht	145
4.3	Rechtspolitische Vorschläge zur erweiterten Einbindung der VDI 3722-2 nach AP 1 in das nationale Immissionsschutzrecht	147
4.3.1	Einführung von Regeln zur Ermittlung und Bewertung von quellenartübergreifendem Gesamtlärm sowie zur systematischen Erkennung von Gesamtlärmkonflikten.....	147
4.3.1.1	Kodifizierung von Werten für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit und die einfachrechtliche Erheblichkeit von Gesamtlärm	147
4.3.1.2	Systematische Erkennung von Gesamtlärmkonflikten	151
4.3.2	Quellenartübergreifender Gesamtlärm in der Lärminderungsplanung und Bauleitplanung.....	152
4.3.3	Quellenartübergreifender Gesamtlärm bei Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm, Verkehrswegen und Flughäfen.....	152
4.3.3.1	Ausgangspunkt: Die existierenden Regelungen für mehrere Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm, die gemeinsam eine schädliche Umwelteinwirkung durch Geräusche verursachen.....	152
4.3.3.2	Vorschlag: Erstreckung der Regelungen für Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm auf Verkehrswege (Straßen, Schienenwege) und Flughäfen	160
4.4	Rechtspolitische Vorschläge zur Einbindung der VDI 3722-2 nach AP 1 in das europäische Immissionsschutzrecht	163
4.5	Vorschläge für die rechtliche Umsetzung des im AP 2 entwickelten Finanzierungsmodells	165
5	Erweiterung des Datensatzes Musterstadt der DIN 45687	167
5.1	Vorgehensweise	167
5.2	Straße.....	168

5.3	Schiene	168
5.4	Industriequellen	168
5.5	Gebäude	168
5.6	Zusätzliche relevante Objekte.....	169
5.7	Erweiterter Datensatz	169
6	Erprobung des entwickelten Modells für eine Gesamtlärbewertung.....	170
6.1	Vorgehensweise	170
6.2	Darstellung des Verfahrens.....	171
6.3	Ablauf des Verfahrens.....	172
6.3.1	Vorbereitung der Datengrundlage.....	172
6.3.2	Beschreibung des Untersuchungsgebietes Dortmund Phönixsee	172
6.3.3	Schritt 1: Ermittlung der %HA	174
6.3.4	Schritt 2: Bestimmung der renormierten Ersatzpegel	175
6.3.5	Schritt 3: Ermittlung des WEBI-Index und Kostenanteile	177
6.3.6	Schritt 4: Festlegung der Priorisierungen der Maßnahmen	177
6.4	Erprobung des Finanzierungsmodells an Praxisbeispielen	178
6.4.1	Dortmund-Wichlinghofen	178
6.4.2	Dortmund Phönixsee	180
6.4.3	Dortmund-Dorstfeld	186
6.4.4	Betrachtung der Gesundheitswirkungen am Praxisbeispiel Dortmund-Wichlinghofen.	190
7	Empfehlungen für eine Gesamtlärbewertung	191
8	Quellenverzeichnis	193

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bestimmung des renormierten Ersatzpegels am Beispiel von %HA durch Fluglärm.....	52
Abbildung 2:	Expositions-Wirkungskurven zum %A, %HA (oben), %SD und %HSD (unten).....	54
Abbildung 3:	Populationsbasiertes attributables Risiko.....	65
Abbildung 4:	Expositions-Wirkungs-Beziehung für den Anteil durch Windenergieanlagen-Lärm belästigter bzw. hoch belästigter Personen	76
Abbildung 5:	Darstellung der Gewichtungsfunktion g beim Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“	113
Abbildung 6:	Flussdiagramm zur Ermittlung des WEBI-Index	171
Abbildung 7:	Darstellung des Untersuchungsgebiets Dortmund Phönixsee mit den verschiedenen Lärmschutzmaßnahmen	173
Abbildung 8:	Darstellung der Problematik bei der Zuweisung von %HA zu einem renormierten Ersatzpegel L^*_{DEN} an der Grenze des unteren Wertebereichs.....	176
Abbildung 9:	Darstellung des Untersuchungsgebietes Dortmund-Wichlinghofen	179
Abbildung 10:	Darstellung der einzelnen Lärmschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee	181
Abbildung 11:	Darstellung des Untersuchungsgebiets Dortmund-Dorstfeld.....	187
Abbildung 12:	Darstellung des eingegrenzten Gebiets in Bezug auf das ursprüngliche Untersuchungsgebiet	188

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bewertung der unterschiedlichen Methoden Finanzierungsmodelle	25
Tabelle 2:	Comparison of the different financing models	37
Tabelle 3:	Beeinträchtigungsgewichte (DW) für verschiedene Gesundheitsbeeinträchtigungen	66
Tabelle 4:	Änderungsvorschläge für die VDI 3722-2	79
Tabelle 5:	Relevante Design-Parameter der Studie im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main (u.a. Seidler et al. 2016)	87
Tabelle 6:	Kombinierte Exposition gegenüber verschiedenen Verkehrslärmarten und Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen	91
Tabelle 7:	Risikoerhöhung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)	93
Tabelle 8:	Risikoerhöhung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)	95
Tabelle 9:	Kombinierte Exposition gegenüber verschiedenen Verkehrslärmarten und Depressionsrisiko	97
Tabelle 10:	Risikoerhöhung pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)	99
Tabelle 11:	Risikoerhöhung bei Depressionen pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)	101
Tabelle 12:	Beispiel für die unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Lärmanteil Bestand“	115
Tabelle 13:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Anteil Lärmpegelminderung“	116
Tabelle 14:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	117
Tabelle 15:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	117
Tabelle 16:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	118
Tabelle 17:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Lärmquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	118
Tabelle 18:	Beispiel für unterschiedliche Realisierungsreihenfolgen für das Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	119
Tabelle 19:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Anteil energetischer Belastungsminderung“	120

Tabelle 20:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Anteil energetischer Belastungsminderung“	120
Tabelle 21:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell Anteil „Anteil energetischer Belastungsminderung“	120
Tabelle 22:	Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell Anteil „Anteil energetischer Belastungsminderung“	121
Tabelle 23:	Beispiel für unterschiedliche Realisierungsreihenfolgen für das Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“	121
Tabelle 24:	Bewertung der unterschiedlichen Finanzierungsmodelle	122
Tabelle 25:	Beispiel zur Bestimmung der renormierten Ersatzpegel L^*_{DEN} für den Gewerbelärm und den Schienenverkehrslärm	175
Tabelle 26:	Beispiele zur Lösungsfindung des renormierten Ersatzpegels an der unteren Grenze des Wertebereichs	177
Tabelle 27:	Nutzen – Kosten – Index (NKI) für das Anwendungsbeispiel Dortmund Phönixsee	178
Tabelle 28:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund-Wichlinghofen	180
Tabelle 29:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee	183
Tabelle 30:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee bei unterschiedlichen Realisierungsreihenfolgen.....	185
Tabelle 31:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund-Dorstfeld.....	189
Tabelle 32:	Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Wichlinghofen	190

Formelzeichen

Formelzeichen	Beschreibung
%A	Percentage annoyed
%HA	Percentage highly annoyed
%HSD	Percentage highly sleep disturbed
%SD	Percentage sleep disturbed
ΔL	Pegeldifferenz
DALY	Disability – Adjusted Life Years
dB	Einheit für Schallpegel Dezibel
dB(A)	Einheit für Schallpegel Dezibel, A-bewertet
L^*_{DEN}	Renormierter Ersatzpegel für Day-Evening-Night
L^*_{Flug}	Renormierte Ersatzpegel für Flugverkehrsgeräuschbelastung
L^*_{night}	Renormierter Ersatzpegel für Night
L^*_x	Renormierter Ersatzpegel für den Zeitraum x
$L^*_{x,j}$	A-bewerteter wirkungsbezogener Ersatzpegel des auf Straßenverkehrsgeräusche renormierten Pegels der Quellart j
$L_{A,i}$	Beurteilungspegel der Verkehrslärmquelle A im Berechnungspunkt i
L_{AES}	Effektbezogener A-bewerteter Substitutionspegel
L_{DEN}	Tag-Abend-Nacht-Lärmindex nach EU-Umgebungslärmrichtlinie (06-18 Uhr / 18-22 Uhr / 22-06 Uhr); entspricht $L_{r,TAN}$ nach VDI 3722-2
$L_{DEN,aircraft}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für Fluggeräusche
$L_{DEN,industry}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für Industriegeräusche
$L_{DEN,r}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für die Gesamtlärmbelastung nach EEA (2010)
$L_{DEN,rail}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für Schienengeräusche
$L_{DEN,road}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für Straßengeräusche
$L_{DEN,shunt}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für Rangierbahnhofgeräusche
$L_{DEN,wt}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht für Geräusche von Windenergieanlagen
L_{DN}	Beurteilungspegel für Tag-Nacht (06-22 Uhr / 22-06 Uhr)
$L_{Ges,i}$	Beurteilungspegel der Gesamtlärmbelastung am Berechnungspunkt i
L_{max}	Maximalschalldruckpegel
L_N	Mittelungspegel für die Nacht von 22-06 Uhr

Formelzeichen	Beschreibung
L_{night}	Nachtlärmindex nach EU-Umgebungslärmrichtlinie (22-06 Uhr); entspricht $L_{r,N}$ nach VDI 3722-2
$L_{pAeq,16h}$	Mittelungspegel über 16 Stunden (Tag)
$L_{pAeq,24h}$	Mittelungspegel über 24 Stunden
L_r	Beurteilungspegel
$L_{r,A}$	Beurteilungspegel für Abend
$L_{r,a}$	Wirkungsbezogener Beurteilungspegel für Fluglärm nach EEA (2010)
$L_{r,i}$	Wirkungsbezogener Beurteilungspegel für Industrielärm nach EEA (2010)
$L_{r,m}$	Wirkungsbezogener Beurteilungspegel für Straßenverkehrslärm nach EEA (2010)
$L_{r,N}$	Beurteilungspegel für Nacht
$L_{r,r}$	Wirkungsbezogener Beurteilungspegel für Schienenverkehrslärm nach EEA (2010)
$L_{r,T}$	Beurteilungspegel für Tag
$L_{r,TAN}$	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht
$L_{r,wt}$	Wirkungsbezogener Beurteilungspegel für Lärm von Windenergieanlagen nach EEA (2010)
$L_{r,y}$	Wirkungsbezogener Beurteilungspegel für Rangierbahnhöfe nach EEA (2010)
N_B	Beeinträchtigungskenngröße
NKI	Nutzen-Kosten-Index
PAF	Populationsbezogene attributable Fraktion
PAR	Populationsbezogene attributable Risiko
SEL	Schallexpositionspegel
$WEBI$	Wirkungsbezogener energetischer Belastungsindex

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
1. FlugLSV	Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV)
24 h-Pegel	Mittelungspegel über den gesamten Tag von 24 h (0.00 bis 24.00 Uhr)
ABIEG	Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft
Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft
AIC	Akaike information criterion
ALD	Arbeitsring Lärm der DEGA
AP	Arbeitspaket
Art.	Artikel
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD	Anleitung zur Datenerfassung über Flugbetrieb
BAB	Bundesautobahn
BAnz AT	Bundesanzeiger, Amtlicher Teil
BauNVO	Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung)
BayVGH	Bayerischer Verwaltungsgerichtshof
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BeckOK	Beck'sche Online-Kommentare
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGH	Bundesgerichtshof
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BoDEN	Burdens of Disease from Environmental Noise
BR-Drs.	Bundesrats-Drucksache

Abkürzung	Beschreibung
BT-Ausschuss	Deutscher Bundestagsausschuss
BT-Drs.	Bundestags-Drucksache
BUB	Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
CHD	Coronary Heart Disease
CHERIO	Community health-based environmental risk indicator for outdoor pollutions
CI	Konfidenzintervall
CNOSSOS_EU	Common Noise Assessment Methods in Europe
DEGA	Deutsche Gesellschaft für Akustik
DGM	Digitales Gelände Modell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DW	Disability weight
EBI	Energetischer Belastungsindex
EEA	European Environment Agency
EEG	Elektroenzephalogramm
EG	Europäische Gemeinschaft
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
EU	Europäische Union
FluLärmG	Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
FNI	Fluglärm-Nachtindex
FTI	Fluglärm-Tagesindex
GBD	Global Burden of Disease
GG	Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GMBI	Gemeinsames Ministerialblatt
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise
ICD	International Statistical Classification of Disease
IRIS	IRIS ist im Französischen das Acronym für aggregierte Einheiten für statistische Informationen (<i>Ilots Regroupés pour l'Information Statistique</i>). Es gibt

Abkürzung	Beschreibung
	verschiedene IRIS-Typen. In diesem Bericht bezieht sich IRIS auf lokale Gebietseinheiten in der Größenordnung von 2000 Einwohnerinnen/Einwohner, in die Frankreich aufgeteilt ist.
ISO	International Organization for Standardization
ISSN	International Standard Serial Number
IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
KOM	Kommentar
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
mbH	mit beschränkter Haftung
MPH	Master of Public Health
MSc	Master of Science
NA	Normenausschuss
NJW	Neue Juristische Wochenschrift
NORAH	Noise-Related Annoyance, Cognition and Health
NRW	Nordrhein-Westfalen
NuR	Natur und Recht
NVwZ	Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht
OR	Odds Ratio
PC	Verursachungswahrscheinlichkeit
QALY	Quality-adjusted live years
QS	Qualitätssicherung
QSDO	Musterstadt der DIN 45687
QSI	Qualitätssicherung für Software-Erzeugnisse zur Immissionsberechnung
RA	Rechtsanwalt
RKI	Robert-Koch-Institut
RLS	Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen
Rn	Randnummer
RR	Relative Risks
RRI	Relatives Risiko in der Geräuschkategorie i
SGB	Sozialgesetzbuch

Abkürzung	Beschreibung
SiRENE	Short and Long Term Effects of Transportation Noise Exposure
SMPH	Summary measure of population health
St. Rspr.	ständige Rechtsprechung
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TSD	Tausend
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UPR	Umwelt- und Planungsrecht
VBIBW	Verwaltungsblätter für Baden-Württemberg
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VG	Verwaltungsgericht
VGH BW	Verwaltungsgerichtshof Baden Württemberg
VwGO	Verwaltungsgerichtsordnung
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WEA	Windenergieanlage
WHO	World Health Organisation
YLD	Years lived with disability/disease
YLL	Years of life lost
ZUR	Zeitschrift für Umweltrecht

Zusammenfassung

Die Bevölkerung in Deutschland ist einer Vielzahl von Geräuschquellen ausgesetzt, im Regelfall werden die Betroffenen von unterschiedlichen Geräuschquellenarten gleichzeitig belastet. Für einen umfassenden Schutz vor Immissionen aus Geräuschen fehlt es in den Ausführungsbestimmungen zum Bundes-Immissionsschutzgesetz an einer verbindlichen Gesamtlärbetrachtung. Gleichzeitig besteht bislang kein gesetzlicher Anspruch Betroffener auf Lärmsanierung bei Einwirkung von bestehenden Verkehrswegen.

Auf dem Weg zu einer gesetzlichen Gesamtlärbetrachtung werden in vorliegender Veröffentlichung die Fragestellungen in den unten aufgeführten vier Arbeitspaketen untersucht. Die Bearbeitung der Arbeitspakete erfolgt durch ein Projektteam aus verschiedenen Disziplinen, dem die Möhler + Partner Ingenieure AG (schalltechnisches Beratungsbüro), die ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung (Umweltpsychologen), die Soundplan GmbH und die Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH (Software-Hersteller), die GWT-TUD GmbH (Epidemiologen) sowie Dr. Martin Schröder (Jurist) angehören. Jedes der Arbeitspakete hat einen Arbeitsschwerpunkt, der durch die jeweiligen Fachspezialisten bearbeitet wird.

Die Bearbeitung der Aufgabenstellung erfolgt in den folgenden vier Arbeitspaketen (AP):

- ▶ AP 1: Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Gesamtlärbewertung auf Grundlage der VDI 3722-2 (ZEUS GmbH, Möhler + Partner Ingenieure AG) sowie Einbeziehung von Gesundheitsaspekten (GWT-TUD GmbH und Möhler + Partner Ingenieure AG)
- ▶ AP 2: Vorschlag für ein Finanzierungsmodell für Maßnahmen bei einer Gesamtlärbetrachtung (Möhler + Partner Ingenieure AG) und rechtliche Umsetzung (RA Dr. Schröder)
- ▶ AP 3: Erweiterung des Datensatzes Musterstadt der DIN 45687 (Soundplan GmbH, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH)
- ▶ AP 4: Erprobung des entwickelten Modells für eine Gesamtlärbewertung (Soundplan GmbH, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH, Möhler + Partner Ingenieure AG)

AP1: Weiterentwicklung der VDI 3722-2

In der VDI 3722-2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“ (VDI 3722 Blatt 2:2013-05) werden Verfahren vorgestellt,

- ▶ mit denen auf Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen zu einzelnen Quellenarten (derzeit: Luft-, Schienen- und Straßenverkehr) die Gesamtbelästigung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für einzelne Quellenarten sowie
- ▶ die selbst berichtete Gesamtschlafstörung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für einzelne Quellenarten abgeschätzt und
- ▶ die Hilfsmittel für die schalltechnische Bewertung von Planungsalternativen darstellen (VDI 3722-2, 1. Anwendungsbereich).

Die VDI 3722-2 enthält einige Regelungslücken und Weiterentwicklungsmöglichkeiten, die in diesem Gutachten im AP1 aufgegriffen werden. Fünf Aspekte werden hierbei behandelt:

Anwendung von Pegeln außerhalb des Wertebereiches

Die Expositions-Wirkungsfunktionen, die für die Ermittlung der Wirkungen verwendet werden, gelten für einen definierten Geräuschpegelbereich der Einzelquellenarten. Dies betrifft Funktionen zum Prozentanteil belästigter Personen (%A), hoch belästigter Personen (%HA), schlafgestörter Personen (%SD) und hoch schlafgestörter Personen (%HSD). Offen ist, wie dabei mit Situationen umzugehen ist, in denen einzelne zum Gesamtlärm beitragende Quellenarten außerhalb dieses Wertebereichs liegen. Für Pegelwerte oberhalb der Wertebereiche der Expositions-Wirkungsfunktionen wird eine lineare Verlängerung auch über einen rechnerischen 100%-Beeinträchtigungsanteil hinaus vorgeschlagen, da Informationen über den weiteren Kurvenverlauf bzw. über den Wendepunkt von den exponentiellen Funktionen hin zu sigmoiden Kurven nicht vorliegen und die lineare Fortführung in dieser Situation die einfachste Annahme mit der geringsten Unsicherheit darstellt. Für Pegel unterhalb des Wertebereichs bei berichteten Schlafstörungen wird entsprechend eines Ansatzes von Probst & Gillé (2014) eine lineare Verlängerung des $L_{r,N}$ -Pegelbereichs zwischen 0 dB und 40 dB empfohlen. Für die Expositions-Wirkungsfunktionen zum Anteil (hoch) Belästigter wird für quellenartbezogene Beurteilungspegel $L_{r,TAN} < 37$ dB (für %A) und $L_{r,TAN} < 42$ dB (für %HA) empfohlen, den renormierten Ersatzpegel auf 37 dB (für %A) bzw. 42 dB (für %HA) und den entsprechenden %A/HA-Anteil auf 0% zu setzen. Die so festgesetzten Ersatzpegel fließen entsprechend in die Berechnung des effektbezogenen Substitutionspegels L_{AES} ein.

Wahl der Belästigungskurven mit Hinblick auf situationsabhängige Vor- und Nachteile der % A-Kurven im Vergleich zu den % HA-Kurven

Es wird empfohlen, keine verbindlichen Festlegungen zur Wahl der Expositions-Wirkungsbeziehungen (%A/HA, %SD/HSD) zu treffen. Dies sollte in den konkreten Planungsfällen erfolgen. Vielmehr wird empfohlen, Substitutionspegel auf Basis aller in der VDI 3722-2 enthaltenen Varianten von Expositions-Wirkungsbeziehungen (derzeit: %A, %HA, %SD, %HSD) vorzunehmen. Damit soll transparent gemacht werden, dass je nach Zielsetzung und betrachteter Wirkung gegebenenfalls verschiedene Maßnahmenrankings resultieren. Für die Lärmbelästigung und berichtete Schlafstörung liegen allerdings neue Expositions-Wirkungsbeziehungen vor, die sich ausschließlich auf %HA bzw. %HSD beziehen. Die Wirkungsgrößen %A und %SD können demnach entfallen, wenn diese neuen Kurven in die VDI-Richtlinie eingebunden werden.

Bewertung der VDI 3722-2 unter Gesundheitsschutzaspekten und Unterbreitung von Verbesserungsvorschlägen.

Um neben der Lärmbelästigung und lärmbedingten Schlafstörungen auch weitere Gesundheitsschutzaspekte berücksichtigen und alle betrachteten Wirkungen in einem Index darstellen zu können, wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

- ▶ Berechnung der effektbezogenen Substitutionspegel $L_{r,TAN}$ für %HA und $L_{r,N}$ für %HSD anhand der jeweils aktuellen verfügbaren Expositions-Wirkungsfunktion.
- ▶ Berechnung der Anzahl der hoch belästigten Personen im Untersuchungsgebiet mit der Expositions-Wirkungsfunktion zum Prozentanteil durch Straßenverkehrslärm hoch belästigter Personen aus dem WHO-Review zur Umgebungslärmbelästigung von Guski et al. (2017) (Gleichung (15)) und der Anzahl der hoch schlafgestörten Personen im Untersuchungsgebiet mit der Funktion zum Prozentanteil durch Straßenverkehrslärm hoch schlafgestörter Personen aus dem WHO-Review zur Wirkung von Umgebungslärm auf den Schlaf von Basner & McGuire (2018) (Gleichung(16)) jeweils multipliziert mit der Einwohnerzahl.

- ▶ Berechnung der Anzahl der zusätzlich durch Gesamtlärm erkrankten Personen (des populationsbezogenen attributables Risikos, PAR) für ausgewählte Leiterkrankungen auf Basis aktueller robuster relativen Risikoschätzungen für Gesamtlärm bezogen auf den L_{DEN} und Angaben zur Prävalenz der betreffenden Erkrankung im Untersuchungsgebiet oder ersatzweise Prävalenzangaben aus der amtlichen Statistik (regionale, landes- oder bundesweite Gesundheitsberichterstattung).
- ▶ Jeweils die Anzahl der (hoch) Belästigten, Schlafgestörten und zusätzlich Erkrankten werden mit ihrem jeweiligen Beeinträchtigungsgewicht (*disability weight, DW*) multipliziert und die gewichteten Werte auf ganze Fälle gerundet.
- ▶ Bei Berücksichtigung von mehreren Erkrankungen Auswahl derer mit dem höchsten DW-gewichteten PAR.
- ▶ Summierung zu einem Gesamtindex: Addition der gewichteten (gerundeten) Anzahlen von Belästigungs-, Schlafstörungs- und ausgewählten Erkrankungsfällen zu einem Index der Zahl der durch Gesamtlärm hervorgerufenen Beeinträchtigungsfälle.
- ▶ Unter Hinzunahme von Eingangsdaten zu Alter, Lebenserwartung, Dauer der Erkrankung aus der amtlichen Statistik: Berechnung der verlorenen gesunden Lebensjahre (*disability-adjusted life years, DALYs*).

Grundsätzlich wird empfohlen, in jedem Fall die Beeinträchtigungsfälle pro Wirkungsbereich (Belästigung, Schlafstörung, Erkrankung) auszuweisen. Eine gewichtete Aufsummierung der Beeinträchtigungsfälle kann ergänzend erfolgen, wenn es das Ziel ist, zur Komplexitätsreduzierung einen Einzahlwert zur Beschreibung der gesundheitlichen Wirkung von Gesamtlärm zu verwenden. Daneben sollten aber auch die Beeinträchtigungszahlen pro Wirkungsbereich gesondert ausgewiesen werden, damit die einzelnen Beiträge der unterschiedlichen Lärmwirkungen zur Gesamtwirkung transparent werden. Dazu werden in diesem Forschungsvorhaben Aktualisierungen der Expositions-Wirkungsbeziehungen für die Quellenarten Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm vorgeschlagen sowie Kurven für Industrie- und Gewerbelärm und Lärm von Windenergieanlagen eingeführt.

Untersuchung und Beurteilung möglicher Interaktionen zwischen den Tages- und den Nachtwirkungen bei verschiedenen Quellenartenkombinationen.

Unter der Prämisse, dass eine gute, physiologische Schlafqualität das Hauptschutzziel für den Nachtzeitraum darstellt, wird empfohlen Maximalpegelkriterien und hierauf bezogene physiologische Aufwachreaktionen als Kenngrößen in die VDI 3722-2 aufzuführen und sich nicht allein auf den nächtlichen Dauerschallpegel zu beschränken. Dazu müssen aber Expositions-Wirkungsbeziehungen für zusätzliche, lärmbedingte Aufwachreaktionen aus Feldstudien für alle einbezogenen Lärmquellenarten sowie für verschiedene weitere Bevölkerungsgruppen (z.B. Kinder, Personen mit schlafrelevanten Erkrankungen) vorliegen. Die Gesamtlärbewertung erfolgt hierbei nicht über die Zahl von (hoch) schlafgestörten oder belästigten Personen, sondern über die Zahl der zusätzlichen, (gesamt-)lärmbedingten Aufwachreaktionen. Zusätzlich soll der nächtlichen Dauerschallpegel beibehalten bleiben, um auch die Exposition bei weiteren, über die physiologischen Aufwachreaktionen hinausgehenden nächtlichen Wirkungen abbilden zu können.

Weiterhin wird empfohlen, Kenngrößen sowohl auf der Wirkungs- und als auch der Expositions-Seite nach den anvisierten Effektzeiten der vorgesehenen Lärminderungsmaßnahmen zu wählen. Maßnahmen, die auf einen Schutz für 24 Stunden eines Tages abzielen bzw. über 24 Stunden

wirken, können auch dann in ihren Gesamtlärm-Auswirkungen mit einem Substitutionsverfahren unter Einbezug des $L_{r,TAN}$ und z.B. der Lärmbelastigung als Wirkungsgröße ($\%A$, $\%HA$) bewertet werden, wenn die verschiedenen in die Berechnungen einfließenden Lärmquellenarten zu verschiedenen Tageszeiten wirken. Maßnahmen, die dagegen auf einen Nachtschutz abzielen (z.B. tageszeitlich begrenzte Betriebsbeschränkungen), werden wiederum mit Expositions-Wirkungsfunktionen für die Nachtzeit bewertet.

Weiterentwicklung der VDI 3722-2 hinsichtlich der Einbeziehung des Industrie- und Gewerbelärms.

Für die Weiterentwicklung der VDI 3722-2 wird empfohlen, so lange keine neueren Erkenntnisse vorliegen, die Expositions-Wirkungsfunktionen von Miedema & Vos (2004b) für den $\%HA$ -Anteil bezogen auf den Lärm ganzjähriger Industrieanlagen (other industries) zu verwenden (Formel(8)).

Für die Berücksichtigung des Lärms von WEA in der VDI 3722-2 kann die Expositions-Wirkungsfunktion für $\%HA$ (innen) aus Janssen & Vos (2011) verwendet werden (Formel (9)), sofern nur die Lärmbelastigung betrachtet wird. Bei einer Gesamtlärmwirkungsindex-Berechnung wird wie beim Industrie- und Gewerbelärm die ersatzweise Verwendung der $\%HA$ und $\%HSD$ -Funktionen für Straßenverkehrslärm vorgeschlagen.

Einbeziehung von Gesundheitsaspekten

Auf der Grundlage der Ergebnisse der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken für das Rhein-Main-Gebiet (Seidler et al. 2016) lässt sich erkennen, dass die „energetische Summation“ von Geräuschpegeln sowohl die Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken wie auch die Depressionsrisiken teilweise deutlich unterschätzt. Die „epidemiologische Risikomultiplikation“ wird in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken den Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken wie auch den Depressionsrisiken besser gerecht. Der Befund einer besseren Abbildung der Erkrankungsrisiken durch die „epidemiologische Risikomultiplikation“ als durch die „energetische Summation“ von Geräuschpegeln bedarf noch der Bestätigung durch weitere epidemiologische Studien. Derzeit erfolgt ein entsprechender Vergleich auf der Grundlage der Köln-Bonner Studie (Greiser & Greiser 2010).

Aus den besonders hohen Risiken bei Kombinationsbelastung gegenüber mehreren Verkehrslärmträgern resultiert ein besonderer Präventionsbedarf. Verkehrsplanerische Maßnahmen sollten die besonders hohen Risiken bei gleichzeitiger Exposition der Wohnbevölkerung gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen berücksichtigen.

Es wird ein Algorithmus vorgeschlagen, der ausgehend von den Ergebnissen der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken bei gegebenen Mittelungspegeln gegenüber Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm eine Berechnung der absoluten Exzess-Risiken, also der zu erwartenden zusätzlichen Fälle von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Depressionen ermöglicht. Als wesentliche Voraussetzung für die Anwendung dieses Algorithmus müssen für alle Adressen der jeweils zugrunde gelegten Population die adressgenauen Fluglärm-, Straßenverkehrslärm- und Schienenverkehrslärmpegel bekannt sein.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Abschätzungen konkreter verkehrslärmbedingter Fallzahlen beim derzeitigen Forschungsstand noch hohen Unsicherheiten unterliegen. Insofern kann der vorgeschlagene Algorithmus lediglich beispielhaft das Vorgehen illustrieren. Einen wesentlichen Nutzen kann der Algorithmus darin haben, die resultierenden Verursachungswahrscheinlichkeiten bei unterschiedlichen Verkehrslärmszenarien miteinander vergleichen zu können. Unter der Voraussetzung eines epidemiologisch multiplikativen Zusammenwirkens der einzelnen Verkehrslärmarten kann dem Vergleich der Verursachungswahrscheinlichkeiten – mit dem Ziel der Minimierung der Verursachungswahrscheinlichkeit – damit verkehrsplanerische Bedeutung zukommen. Es soll aber deutlich darauf hingewiesen werden, dass zur Absicherung insbesondere der

Berechnung konkreter verkehrslärmbedingter Fallzahlen noch weitere große epidemiologische Untersuchungen sowie systematische Reviews mit Metaanalysen vorliegender Studien erforderlich sind. Es ist durchaus zu erwarten, dass der Algorithmus zur Berechnung konkreter verkehrslärmbedingter Fallzahlen auf der Grundlage künftiger epidemiologischer Untersuchungen noch modifiziert werden muss. In zukünftigen verfeinerten Analysen sollten insbesondere in Regionen mit einer hohen Nachtlärmexposition spezifische Nachtlärmrisiken Berücksichtigung finden. Hierzu können die Köln-Bonner Daten eine Grundlage bilden.

AP 2: Finanzierungsmodell für Maßnahmen und rechtliche Einbindung der VDI 3722-2 und des Finanzierungsmodells

Vorschlag für ein Finanzierungsmodell für Maßnahmen

Für eine nachhaltige und wirksame Entlastung der Bevölkerung von Lärm ist eine Reduzierung der Gesamtlärmpegel anzustreben. Trotz technischer Innovationen, den Schallschutz an der jeweiligen Quelle umzusetzen, müssen Lärmschutzmaßnahmen im Ausbreitungsweg (Schallschutzwände und Schallschutzwälle) weiterhin als eine der zentralen Maßnahmen zur Minderung der Lärmbelastung geplant werden. Diese entfalten ihre Wirksamkeit nicht nur auf eine Quelle, so dass die Kosten für die Lärmschutzmaßnahme auch auf die Verursacher nach einem einheitlichen Verteilungsmodell verteilt werden müssten. Derartige Vorgehensweisen oder Regelungen zur Verteilung von Maßnahmenkosten auf verschiedene Verursacher sind bislang nicht geregelt.

Sollen die Kosten auf den oder die Verursacher der Gesamtlärmbelastung umgelegt werden, muss dies möglichst diskriminierungsfrei und nachvollziehbar erfolgen, da andernfalls keine Akzeptanz bei den Planungsbeteiligten und Betroffenen erwartet werden kann. Dabei sind u.a. folgende Aspekte zu beachten, die bei der Verteilung der Kosten maßgeblich sind:

- ▶ Beachtung des Verursacherprinzips (Kostengerechtigkeit): Die Kosten sollen dem Baulastträger zugewiesen werden, der im Sinne der Reduzierung der Verlärmungsschuld, von der Maßnahme profitiert.
- ▶ Kommutativität (Vertauschbarkeit): Die Kostenverteilung darf nicht von der Reihenfolge der Maßnahmen abhängen.
- ▶ Stichtagsunabhängigkeit: Die Kosten dürfen nicht von einem willkürlichen Stichtag abhängen.
- ▶ Gebietsunabhängigkeit: Die genaue Wahl der Grenzen des Sanierungsgebiets darf keinen Einfluss auf die Kostenverteilung haben.

Im Rahmen der Untersuchung werden bestehende Ansätze zur Verteilung von Kosten vorgestellt und weitere Vorschläge unterbreitet. Aus diesen wurden vier Finanzierungsmodelle mit unterschiedlichen Herangehensweisen ermittelt und dargestellt. Die unterschiedlichen Modelle sind

- ▶ Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“: Die Kosten werden anhand des energetischen Anteils einer Lärmquelle an der Gesamtlärmbelastung vor Umsetzung der Schallschutzmaßnahme (energetischen prozentualen Anteils einer Lärmquelle am Gesamtlärm) verteilt.

$$\frac{10^{0,1 \times A}}{(10^{0,1 \times A} + 10^{0,1 \times B})} \times 100 = \text{Anteil } A \text{ in } \%$$

- Finanzierungsmodell „Anteil Lärmpegelminderung“: Die Kosten werden anhand des Verhältnisses der Lärminderung einer Quelle zu der Summe der Lärminderungen aller Quellen verteilt.

$$Kosten_A = \frac{\sum_i 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})}}{\sum_i 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})} + \sum_i 10^{0,1 \times (L_{B,i,vorher} - L_{B,i,nachher})}} \times Kosten_{Ges}$$

- Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“: Die Kosten werden wie in vorigem Modell anhand des Verhältnisses der Lärminderung der Quelle zur Summe der Lärminderung aller Quellen verteilt, jedoch wird der Anteil der Quelle zudem noch mit dem Beitrag zur Gesamtlärbelastung gewichtet, wobei Quellen ohne Beitrag zum Gesamtlärm nicht an den Kosten beteiligt werden.

$$Kosten_A = \frac{\sum_i g_{Ai} \times 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})}}{\sum_i g_{Ai} \times 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})} + \sum_i g_{Bi} \times 10^{0,1 \times (L_{B,i,vorher} - L_{B,i,nachher})}} \times Kosten_{Ges}$$

$$g = -\frac{1}{10} * \Delta L_{vorher} + 1 \quad \text{für } \Delta L \leq 10$$

$$g = 0 \quad \text{für } \Delta L > 10$$

mit g : Gewichtung

ΔL_{vorher} : Differenz aus dem Beurteilungspegel der Gesamtlärbelastung und Beurteilungspegel der betrachteten Verkehrslärmquelle vor Umsetzung von Maßnahmen

- Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“: Die Kosten werden anhand des Verhältnisses der Minderung eines wirkungsbezogenen Belastungsindex einer Quelle zur Minderung dieses Index bezogen auf den Gesamtlärm verteilt.

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

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

mit:

$L_{AES,i}$: Effektbezogener Substitutionspegel nach VDI 3722-2 für %HA am Berechnungspunkt i

N_i : Zahl der Betroffenen am Berechnungspunkt i

Anhand von methodischen Überlegungen und Rechenbeispielen werden die vier Modelle mit den Kriterien für ein Finanzierungsmodell verglichen. Das Ergebnis des Vergleichs ist in folgender Übersicht dargestellt.

Tabelle 1: Bewertung der unterschiedlichen Methoden Finanzierungsmodelle

Finanzierungsmodell/ Kriterium	„Lärmanteil Bestand“	„Anteil Lärmpegelminderung“	„Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	„Anteil energetischer Belastungsminde- rung“
Kostengerechtigkeit	Nein, im Sinne der Reduzierung der Verlärmungsschuld	Nein	Ja	Ja
Kommutativität	Nein, außer wenn Ausgangssituation für alle Schallschutzmaßnahmen gleich gewählt wird	Ja	Nein, außer wenn Ausgangssituation für alle Schallschutzmaßnahmen gleich gewählt wird	Geringere Einschränkung der Unabhängigkeit, wenn Ausgangssituation für alle Schallschutzmaßnahmen gleich gewählt wird
Stichtagsunabhängig	Nein, da der Zeitpunkt der Ausgangssituation die Kostenverteilung bestimmt	Ja	Eingeschränkt, da der Zeitpunkt der Ausgangssituation die Kostenverteilung beeinflusst	Eingeschränkt
Gebietsunabhängig	Nein	Ja	Ja	Ja

Für die Erprobung in der Musterstadt in Arbeitspaket 4 wurde das Modell „Anteil energetische Belastungsminde- rung“ auf Basis der renormierten Ersatzpegel und der effektbezogenen Substitutionspegel nach VDI 3722-2 für %HA als Belastungskenngröße ausgewählt. Eine mögliche Weiterentwicklung dieses Ansatzes ist die Berücksichtigung des in AP1 dargestellten summarischen Wirkungsindikators (PAR) anstelle der Kenngröße %HA. Die entsprechende Berechnungsformel für das Finanzierungsmodell würde sich wie folgt ergeben:

$$Kosten_j = Kosten_{ges} \times \frac{PAR_{j,vorher} - PAR_{j,nachher}}{PAR_{vorher} - PAR_{nachher}}$$

wobei

PAR_j: populationsbezogenes attributables Risiko durch die Quelle j; vorher: vor Umsetzung einer Maßnahme; nachher: nach Umsetzung einer Maßnahme

PAR: populationsbezogenes attributables Risiko durch die Gesamtlärbetrachtung; vorher: vor Umsetzung einer Maßnahme; nachher: nach Umsetzung einer Maßnahme

Rechtliche Einbindung der VDI 3722-2 und des Finanzierungsmodells

Das Rechtsgutachten geht zunächst der Frage nach, ob das geltende deutsche und europäische Immissionsschutzrecht Möglichkeiten eröffnet, eine gemäß AP 1 überarbeitete und erweiterte VDI 3722 - 2 einzubinden. Für die wesentlichen Lärmquellenarten (insbesondere Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm, Fluglärm, Industrie- und Gewerbelärm, Sportanlagenlärm, Freizeitlärm) gibt es in Deutschland jeweils eigenständig Regelungen. Die Segmentierung der Geräuschquellenarten ist das prägende Strukturelement des deutschen Lärmschutzrechts. Dennoch sieht bereits das geltende Recht für einige Fallgruppen quellenartübergreifende Gesamtlärbewertungen vor. Die quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung ist *geboten*,

- ▶ wenn Geräuschimmissionen aus ungleichartigen Quellen auf ein Grundstück einwirken und die Gesamtbelastung dort zu einer Gesundheitsgefahr oder zu einem Eingriff in die Substanz des Eigentums führt (verfassungsrechtliche Schutzpflicht aus Art. 2 Abs. 2 S. 1, 14 Abs. 1 S. 1 GG bei Erreichen der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeitsschwelle),
- ▶ wenn ein maßgeblicher Immissionsort derart mit andersartigen Geräuschen beaufschlagt ist, dass der Immissionsbeitrag der zu prüfenden Anlage im Anwendungsbereich der TA Lärm oder der Sportanlagenlärmenschutzverordnung an diesem Immissionsort relevant zur Entstehung einer schädlichen Umwelteinwirkungen beitragen kann (Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm, Sonderfallprüfung im Anwendungsbereich der Sportanlagenlärmenschutzverordnung),
- ▶ wenn ungleichartige Immissionsbeiträge aus unterschiedlichen Geräuschquellenarten im Gebiet der Lärmkartierung relevant zur Gesamtbelastung beitragen (§ 47c BImSchG) und im Bereich der Lärmaktionspläne einen relevanten Beitrag zur Entstehung von zu regelnden Lärmproblemen leisten (§ 47d BImSchG).

In der Bauleitplanung ist eine quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung diesseits der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeitsschwelle zur Ermittlung und Bewertung des Abwägungsmaterials nicht geboten, aber *zulässig* (§ 2 Abs. 3, § 1 Abs. 7 BauGB).

Zwar ist die VDI 3722-2 keine Rechtsnorm, sondern ein technisches Regelwerk nichtstaatlicher, privater Provenienz, Vorhabenträger, planende Gemeinden, Behörden und Gerichte können sich jedoch bei der Durchführung von Gesamtlärbewertungen als Erkenntnisquelle und zur Konkretisierung der anerkannten Regeln der Technik daran bedienen.

Abgesehen von dem Erlass der Richtlinie 2002/49/EG (Umgebungslärmrichtlinie), die durch §§ 47a ff. BImSchG in deutsches Recht umgesetzt worden ist, verfolgt die EU bisher auf dem Gebiet des Lärmschutzes einen ausschließlich produktbezogenen Ansatz, der den grenzüberschreitenden Warenverkehr durch Festlegung von Emissionshöchstwerten reguliert. Soweit das Lärmschutzrecht der EU produktbezogen ist, haben Methoden der immissionsbezogenen Gesamtlärbewertung keinen Anwendungsbereich.

Das Rechtsgutachten macht in einem zweiten Schritt rechtspolitische Vorschläge zur erweiterten Einbindung der VDI 3722-2 in das deutsche Immissionsschutzrecht. Vorgeschlagen wird die Kodifizierung von Grenzwerten für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit und Richtwerten für die einfachgesetzliche Erheblichkeit von Gesamtlärm einschließlich des zugehörigen Ermittlungsverfahrens. Die Richtlinie VDI 3722-2, die über Dosis-Wirkungsbeziehungen wirkungsadäquate Gesamtpegel bestimmt, steht im Zentrum des vorgeschlagenen Ermittlungsverfahrens, zu dem auch Dominanz- oder Irrelevanzkriterien gehören, die es erlauben, die Dominanz oder die Unbeachtlichkeit von Immissionsbeiträgen festzustellen. Vorgeschlagen wird ferner in Anlehnung an das Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung eine Gesamtlärm-Vorprüfung, wenn bei der Neuerrichtung oder wesentlichen Änderung lärmemittierender Anlagen das Vorhaben nach Einschätzung der zuständigen Behörde schädliche Umwelteinwirkungen durch Gesamtlärm mitverursachen kann. Auf diese Weise wird die systematische Erkennung von Gesamtlärmkonflikten sichergestellt. Grenz- und Richtwerte einschließlich des Ermittlungsverfahrens und der Gesamtlärm-Vorprüfung werden nach dem Vorschlag des Rechtsgutachtens in einer TA Gesamtlärm geregelt, die gemäß § 48 BImSchG erlassen wird. Der vorgeschlagene Regelungskomplex für den Gesamtlärm

könnte auch in Gestalt einer fachlichen Arbeitshilfe durch eine (obere) Fachbehörde, als Hinweise des LAI oder als Norm einer privaten Normungsorganisation eingeführt werden. Die zuletzt genannten Handlungsformen treten vor allem deshalb ins Blickfeld, weil die in erster Linie vorgeschlagene TA Gesamtlärm als allgemeine Verwaltungsvorschrift nach § 48 BImSchG den Fluglärm nur dann erfassen könnte, wenn er ebenfalls im BImSchG geregelt wäre, was de lege lata nicht der Fall ist.

Die Ergebnisse der vorgeschlagenen Gesamtlärmprüfung können Grundlage nachträglicher Maßnahmen nach §§ 17, 24 BImSchG gegen Betreiber von genehmigungsbedürftigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen im Anwendungsbereich des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sein. Die vorgeschlagene Gesamtlärmregelung muss ähnliche Probleme lösen, wie sie die TA Lärm 1998 bei Einführung der Vorbelastungsanalyse zu lösen hatte. Vorgeschlagen werden deshalb Zulassungserleichterungen in Anlehnung an Nr. 3.2.1 Abs. 2-5 TA Lärm sowie eine Bestandsschutzregelung, die jedoch keineswegs so weit gehen muss und soll wie jene in Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm.

Die Umsetzung der Ergebnisse der vorgeschlagenen Gesamtlärmprüfung bei der Zulassung und Kontrolle planfeststellungsbedürftiger Verkehrseinrichtungen (Straßen, Schienenwege, Flughäfen) verlangt wesentliche Änderungen des für diese Verkehrseinrichtungen geltenden Fachplanungsrechts. Diesem Recht ist eine quellenartübergreifende Gesamtlärbetrachtung diesseits der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit bisher fremd. In das Fachplanungsrecht für Straßen, Schienen und Flugplätze müssten entsprechende Öffnungsklauseln eingefügt werden. Wegen der erhöhten Bestandskraft unanfechtbarer Planfeststellungsbeschlüsse sind nachträgliche Lärmsanierungsanordnungen gegenüber Trägern von Schienen, Straßen und Flughäfen, die einen Gesamtlärmkonflikt mitverursachen, derzeit nicht möglich. Wollte man auch die Träger der genannten Verkehrsanlagen zur Bewältigung von Gesamtlärmkonflikten heranziehen, müsste insbesondere die Bestandskraft der entsprechenden Planfeststellungsbeschlüsse beschränkt werden.

Gesamtlärmkonflikte werden regelmäßig von Anlagen mehrerer unterschiedlicher Träger mitverursacht, die in der Terminologie des Ordnungsrechts als Störer einzustufen sind. Teil der vorgeschlagenen Gesamtlärmregelung müssen daher auch Vorgaben für die sachgerechte Störerauswahl sein. Da in der Regel für verschiedene, zu einem Gesamtlärmkonflikt beitragende Anlagen verschiedene Behörden zuständig sind, müssen die Länder Zuständigkeiten verändern, wenn die quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung in die Vollzugspraxis überführt werden soll.

Die Frage, welcher Anlagenträger aus einer Runde von Mitverursachern eines Gesamtlärmkonflikts mit einer Lärmminderungsanordnung überzogen wird (Störerauswahl, Primärebene), ist streng zu trennen von der Frage, wie die Kosten der Lärmsanierung unter den Störern verteilt werden (Kostenzurechnung, Sekundärebene). Auf der Ebene der Anordnung von Lärmminderungsmaßnahmen (Primärebene) haben die zuständigen Behörden weder die Pflicht noch die Möglichkeit, Lastengerechtigkeit herzustellen. Notwendig ist damit ein finanzieller Ausgleichsmechanismus zwischen mehreren Störern, sofern nicht die Behörde alle Störer ordnungsrechtlich in Anspruch genommen hat. Vorgeschlagen wird die Einführung eines Ausgleichsmechanismus' in Anlehnung an § 426 BGB. Denn strukturell weist das Verhältnis zwischen zuständiger Immissionsschutzbehörde und einer Mehrheit von Störern große Ähnlichkeiten mit dem bürgerlich-rechtlichen Gesamtschuldverhältnis auf. Als Vorbild könnte § 24 Abs. 2 BBodSchG dienen. Die in dem AP 2 entwickelten Finanzierungsmodelle können auf der Grundlage einer solchen Vorschrift zur Anwendung gebracht werden und bestimmen, ob und in welchem Umfang ein Gesamtschuldnerausgleich bei Störermehrheit stattfindet.

AP3 Erweiterung des Datensatzes Musterstadt der DIN 45687

Mit dem Datensatz Musterstadt QSDO (Stadt Dortmund) wurde auf der Basis der QSI Formatspezifikation (1. Dokumentation-QSI-Datenschnittstelle-DIN_45687) ein erstes „realistisches“ Modell zur Durchführung großräumiger Lärmausbreitungsberechnungen in Bezug auf Straßenverkehrslärm erstellt. Als Testaufgabe dient der Datensatz der Qualitätssicherung für „Akustik-Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien“. In Ringversuchen wurden mit den verschiedenen nach DIN 45687 qualitätsgesicherten Softwareprodukten Berechnungen durchgeführt, Ergebnisse verglichen, Abweichungen analysiert und anschließend statistisch ausgewertet. Anhand dieser Auswertungen wurden gemeinsam Rahmenbedingungen für das Datenmodell festgelegt und die Vorgehensweise bei Grauzonen in der Anwendung der Richtlinie gemeinsam abgestimmt. Durch diese Änderungen wurde die Ergebnis-Spannbreite deutlich minimiert. Im März 2013 wurde als erstes Ergebnis die „4. Dokumentation – Testaufgaben mit der Musterstadt QSDO“ zur DIN 45687 veröffentlicht. Auf dieser Basis können bisher aber nur vereinfachte Datensätze ausgetauscht werden. Zur Vervollständigung des Datensatzes zur Abbildung realistischer umfassender Szenarien, fehlen Gewerbe- und Schienenquelle, Hindernisse, weitere Merkmale in der Objektbeschreibung sowie Parameter zur Beschreibung der Emission nach weiteren Regelwerken.

Der Datensatz Musterstadt QSDO musste für die Erprobung des Modells zur Gesamtlärbewertung in unterschiedlichen Szenarien erweitert werden. Hierfür benötigte das Straßennetz zusätzliche Merkmale (z.B. Klassifizierung), außerdem mussten Schienenstrecken und Gewerbequellen ergänzt werden.

Das Straßen- und Schienennetz wurde für das gesamte Gebiet der Mustertstadt neu aufbereitet.

Nach der Fertigstellung des Modells, wurde unter Einbeziehung des Straßen- und Schienennetzes ein neues digitales Geländemodell berechnet.

Gewerbequellen wurden fiktiv, aber praxisnah in den für die entsprechend in den für die Szenarien ausgewählten Teilgebieten der Musterstadt ergänzt.

Im Bereich Dortmund-Salangen, Baroper Straße wurde der Datensatz um eine Windenergieanlage ergänzt.

Die im bestehenden Datensatz enthaltenen Gebäude wurden mit dem aktuellen Geländemodell verschnitten. Sie haben alle eine gegebene Gebäudehöhe und Anzahl von Bewohnern sowie Wohnungen.

Im Zuge dieses Vorhabens wurde der Datensatz auch um weitere relevante Objekttypen ergänzt. Damit können diese realitätsnahen Modelldaten der Musterstadt auch für zukünftige Testaufgaben verwendet werden. Folgende Objekte wurden exemplarisch in die Modellstadt aufgenommen:

- ▶ Brücken, können für Schienen emissionsseitig berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung als Bauwerk ist zurückgestellt.
- ▶ Tunnelportale werden nicht als eigene Objektart umgesetzt, Straßen und Schienen im Tunnel können ohne Emission modelliert werden
- ▶ Wasserflächen sind im Szenario Phönix umgesetzt
- ▶ Lärmschutzwände sowie Bodeneigenschaften sind in den entsprechenden Szenarien im Datensatz enthalten.

Mit dem überarbeiteten Datensatz QSDO steht nun ein Datensatz zur Verfügung der zukünftig als Testaufgabe für Berechnungen in komplexen, realistischen Szenarien einer Großstadt verwendet werden kann. Um den Datensatz für sämtliche „Akustik-Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien“ nutzbar zu machen, gibt es Empfehlungen für das DIN-Gremium NA 001 BR-02 SO zur Änderung bzw. Erweiterung der QSI-Formatspezifikation.

Der neue Datensatz wurde nahe an der Realität modelliert. Damit ist es zukünftig einfach möglich den Datensatz durch weitere „echte“ Geometrien zu aktualisieren bzw. zu ergänzen.

So bald für Straßen und Schienen die Emissionsparameter weiterer Rechenverfahren auch via QSI beschreiben sind, können diese in den neuen Datensatz eingepflegt werden. Für die aktuelle Schall 03 und die kommende RLS ist dies in Vorbereitung. Hierfür fehlt noch die finale Abstimmung im NA 001 BR-02 SO.

Für Gewerbequellen ist die Frage der Richtwirkung noch zu diskutieren. Die Diskussion wurde im NA 001 BR-02 SO Expertenkreis QS begonnen, wegen der Komplexität der Sache aber noch kein Konsens bezüglich einer geeigneten Formatspezifikation gefunden.

Anwenderinnen und Anwender von „Akustik-Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien“ haben mit diesem Datensatz die Möglichkeit, selbst und ohne großen Aufwand, beispielsweise Rechenzeiten neuer Richtlinien bzw. die Auswirkung unterschiedlicher Rechenparameter/Beschleunigungsschaltern ihrer eingesetzte Softwareprodukte auf Genauigkeit und Rechenzeit in großräumigen realistischen Szenarien zu testen.

AP4 Erprobung des entwickelten Modells für eine Gesamtlärbewertung

Für die Praxisbeispiele zur Erprobung des Finanzierungsmodells wurden drei Gebiete aus der Musterstadt für Lärminderungsszenarien ausgewählt:

- ▶ Dortmund-Wichlinghofen/Bittermark; Lärm von Straßen verschiedener Baulastträger
- ▶ Dortmund Phönixsee; Straßen, Schienen- und Gewerbelärm
- ▶ Dortmund-Dorstfeld; Straßen-, Schienen- und Gewerbelärm

Die Ausgangswerte (Emissionspegel der Geräuschquellenarten Straßen- und Schienenverkehr) wurden unverändert aus dem Datensatz QSDO übernommen. Für den Gewerbelärm wurden praxisnahe und typische Emittenten (u.a. Parkplatz für Mitarbeitende eines Betriebs, Abluftanlagen von Produktionsanlagen, Einkaufsmärkte mit Kundenparkplatz und Anlieferbereich) in die Musterstadt integriert.

In verschiedenen Berechnungen wurden die Geräuschpegel ohne und mit den betrachteten Lärmschutzmaßnahmen und somit die schalltechnische Wirkung dieser Maßnahmen, getrennt nach den Baulastträgern bzw. den einzelnen Geräuschquellenarten ermittelt. Anschließend wurde das vorgeschlagene Finanzierungsmodell unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Ergänzungen der VDI 3722-2 an den drei Gebieten aus der Musterstadt angewendet. Die Vorgehensweise erfolgte in drei Schritten unterteilt.

Schritt 1: Ermittlung der %HA

Als erster Schritt wurden die %HA (Prozentsatz der „stark Belästigten“) für die einzelnen Verkehrslärmarten bestimmt. Die entsprechenden Expositionsfunktionen sind nachfolgend entsprechend ihres jeweiligen Wertebereichs bzw. der Quellenart dargestellt:

Straßenverkehrslärm

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

$$\%HA = 4,0 \%$$

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

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

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

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

Schienenverkehrslärm

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

$$\%HA = 1,5 \%$$

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

$$\%HA = 38,1596 - 2,05538 L_{DEN} + 0,0285 L_{DEN}^2$$

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

$$\%HA = 2,676 L_{DEN} - 158,120$$

Gewerbelärm

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

$$\%HA = 1,6 \%$$

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

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

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

$$\%HA = 1,798 L_{DEN} - 98,093$$

Schritt 2: Bestimmung der renormierten Ersatzpegel

Die renormierten Ersatzpegel beziehen sich auf die Beurteilungspegel des Straßenverkehrs L_{DEN} , weswegen die Substitution nur für die Geräuschquellenarten Schiene und Gewerbe vorzunehmen ist.

Ein Beurteilungspegel L_{DEN} des Straßenverkehrs von 80 dB(A) entspricht einem $\%HA$ von 55,8%. Für Werte von $\%HA$ des Schienenverkehrs- oder Gewerbelärms berechnet sich der renormierte Ersatzpegel zu:

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

Durch das Umformen der entsprechenden Gleichung für die $\%HA$ des Straßenverkehrs für den Pegelbereich des Straßenverkehrs zwischen $40 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 85 \text{ dB(A)}$ erhält man:

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

Für alle $\%HA$ unter 4,0% wird pauschal ein renormierter Ersatzpegel von 50,1 dB(A) angesetzt.

Schritt 3: Ermittlung des WEBI-Index und Kostenanteile

Der WEBI-Index stellt den wirkungsbezogenen Belastungsindex dar und repräsentiert das Produkt der Einwohner pro Berechnungspunkt mit dem delogarithmierten Beurteilungspegel der betrachteten Geräuschquellenart.

Der Praxistest für das Finanzierungsmodell an den drei Gebieten und die Erfüllung der Bewertungskriterien für das Finanzierungsmodell sind in Kapitel 6 dargestellt. Demnach erweist sich das vorgeschlagene Finanzierungsmodell in der Praxis als transparent umsetzbar und kann zudem die gestellten Anforderungen erfüllen.

Summary

The German population is exposed to a multitude of noise sources; as a general rule, the persons affected are simultaneously impacted by multiple noise sources. For comprehensive protection from noise immission, the implementing regulations subordinated to the German Federal Immission Control Act lack a mandatory total noise assessment. At the same time, persons affected by noise currently do not have a claim to noise mitigation measures, if the noise is caused by existing traffic routes.

In pursuit of an approach towards a legal regulation of a total noise appraisal, the present publication deals with the issues outlined below. Four work packages are handled by an interdisciplinary project team comprising Möhler + Partner Ingenieure AG (noise consultants), ZEUS GmbH, Centre for Applied Psychology, Social and Environmental Research (environmental psychologists), Soundplan GmbH and Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH (software manufacturers), GWT-TUD GmbH (epidemiologists) and Dr. Martin Schröder (lawyer). Each of the work packages has a special focus, which is handled by the relevant specialists.

The work assignment was handled in the following work packages (WP):

- ▶ WP 1: Further development of a concept for total noise assessment based on VDI 3722-2 (ZEUS GmbH, Möhler + Partner Ingenieure AG) with the inclusion of health aspects (GWT-TUD GmbH and Möhler + Partner Ingenieure AG)
- ▶ WP 2: Proposal for a financing model for noise mitigation measures in connection with a total noise assessment (Möhler + Partner Ingenieure AG) and legal implementation (Dr. Schröder, lawyer)
- ▶ WP 3: Enhancement of the Musterstadt "(Sample City)" data set contained in DIN 45687 (Soundplan GmbH, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH)
- ▶ WP 4: Testing of the developed model for total noise assessment (Soundplan GmbH, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH, Möhler + Partner Ingenieure AG)

AP1: Further development of VDI 3722-2

VDI 3722-2 "Effects of traffic noise - Characteristic quantities in case of impact of multiple sources" (VDI 3722 Part 2:2013-05) proposes methods enabling the estimation of total noise annoyance with the help of exposure – response relationships for individual source types (currently: air, rail and road traffic) on the basis of effect-equivalent average levels for individual source types, and of the self-reported total sleep disturbance on the basis of effect-equivalent average levels for individual source types, including the presentation of tools for the acoustic assessment of planning alternatives (VDI 3722-2, 1. Scope).

VDI 3722-2 contains a number of regulatory gaps and provides scope for further development, which is covered in WP 1 in the present expert opinion. Five aspects are addressed:

Application of levels outside the value range

The exposure-response curves used for the determination of effects apply to a defined noise level range for individual source types. This applies to functions describing the percentage of annoyed persons (%A), highly annoyed persons (%HA), sleep-disturbed persons (%SD) and highly sleep-disturbed persons (%HSD). The question of how to handle situations, in which individual source types contributing towards total noise are situated outside this value range, remains open. For

levels above the value range of the exposure – response curves, a linear extension beyond a calculated 100% annoyance level is proposed, given that information regarding the progression of the curve or the turning point from exponential functions towards sigmoid curves is not available and linear continuation appears to be the simplest assumption with the minimum of uncertainty in this situation. A linear extension of the $L_{r,N}$ level range between 0 dB and 40 dB is recommended for levels below the value range with reported sleep disturbance, in accordance with the approach proposed by Probst & Gillé (2014). Concerning exposure-response curves relating to the proportion of (highly) annoyed persons, it is recommended for the source-type related assessment levels $L_{r,TAN} < 37$ dB (for %A) and $L_{r,TAN} < 42$ dB (for %HA) that the renormalized substitute level be set to 37 dB (for %A) and 42 dB (for %HA), and the corresponding %A/HA portion to 0%. The substitute levels thus defined are considered appropriately in the calculation of the effect-related substitution level L_{AES} .

Selection of annoyance curves with a view to situation-dependent advantages and disadvantages of % A curves compared to % HA curves

It is suggested that no binding regulation should be established, which exposure- response curves (%A/HA, %SD/HSD) has to be used. This decision should be made depending on the concrete planning cases. Rather it is recommended that substitution levels be applied on the basis of all variants of exposure-response curves contained in VDI 3722-2 (currently: %A, %HA, %SD, %HSD). Thus different rankings of measures may result, depending on the objective pursued and the effect considered. However, new exposure-response curves are available for noise annoyance and reported sleep disturbance that relate exclusively to %HA and %HSD. Hence, the effective quantities %A and %SD can be eliminated completely, if these new curves were to be included in the VDI guide.

Evaluation of VDI 3722-2 under considerations of health protection and suggestions for improvement.

To be able to take into consideration further health protection aspects other than noise annoyance and noise-induced sleep disturbance and to be able to show all effects considered in an index, the following procedure is suggested:

- ▶ Calculation of effect-related substitution levels $L_{r,TAN}$ for %HA and $L_{r,N}$ for %HSD with the help of the latest, most current exposure-response curve.
- ▶ Calculation of the number of highly annoyed persons in the area under review using the function from step 1 for road traffic noise, and of the number of highly sleep-disturbed persons in the area under review using the function from step 2 for road traffic noise, in each case multiplied with the number of inhabitants.
- ▶ Calculation of the number of persons additionally suffering from total-noise induced disease (population-attributable risk, PAR) for selected major diseases. Calculation based on up-to-date, robust relative risk estimates for total noise related to L_{DEN} and information on the prevalence of the respective disease in the area being surveyed. Alternatively, based on information on prevalence from official statistics (regional, state-wide or national health reports).
- ▶ Multiplication of the number of (highly) annoyed, sleep-disturbed and additional disease-affected persons with their respective disability weight (DW). Rounding of the weighted values to the nearest whole number of cases.
- ▶ If several diseases are considered, select the one with the highest DW weighted PAR.

- ▶ Summation to obtain an overall index: Addition of weighted (rounded) numbers of cases of annoyance, sleep disturbance and (selected) diseases to obtain an overall index of the number of cases of impairment due to total noise.
- ▶ Inclusion of input data pertaining to age, life expectancy, duration of disability from official statistics: Calculation of disability-free life years lost (*disability-adjusted life years, DALYs*).

Generally speaking, it is recommended that the number of cases of impairment are shown per area of effect (annoyance, sleep disturbance or disease) in each case. A weighted summation (steps 6- 8) can be made additionally, if the intention is to use a single-number value to describe the health effects of total noise in order to reduce complexity. However, the impairment numbers should also be shown separately per area of effect, so that the individual contributions of the different noise effects to the total effect will become transparent. To this effect, the present expert opinion proposes the use of updated exposure-response relationships for the source types aircraft, rail and road traffic noise, as well as for industrial and commercial noise, and noise emitted by wind power generating plants.

Investigation and assessment of potential interaction between daytime and nighttime effects for different source type combinations.

On the assumption that adequate, physiological quality of sleep is the major target for the night period, it is suggested that maximum level criteria and physiological wake-up criteria related to these maximum level criteria should be included in VDI 3722-2, rather than restricting oneself to the night-time continuous noise level alone. However, this presupposes the availability of exposure-response curves for additional, noise-induced wake-up reactions from field studies for all noise type sources included, and for a variety of further population groups (such as children, persons with sleep-relevant diseases). The total noise assessment in this case will not be made on the basis of (high) sleep-disturbed persons or annoyed persons, but rather on the basis of the number of additional (total) noise-induced wake-up reactions. In addition, the night-time continuous noise level should be maintained, so as to be able to show night-time effects going beyond physiological wake-up reactions.

Furthermore, it is suggested that characteristic quantities both on the effect and on the exposure side should be selected according to the envisaged effective times of the proposed noise abatement measures. Measures aimed at 24 hour protection throughout the day, or effective over 24 hours, may be assessed in terms of the total noise effects with a substitution method with the inclusion of $L_{r,TAN}$ and, e.g., noise annoyance as effective quantity (%A, %HA), even if the different noise type sources used in the calculations are effective at different times of the day. On the other hand, measures aimed at night-time protection (such as operational restrictions limited to certain times of the day, will be evaluated with exposure-response curves for night-time.

Further development of VDI 3722-2 with a view to the inclusion of industrial and commercial noise.

Our recommendation for the further development of VDI 3722-2 is, that in the absence of later findings, the exposure-response curves proposed by Miedema & Vos (2004b) for the %HA percentage related to the noise emitted by year-round industrial facilities (other industries) should be used (equation (8)).

As for the consideration of noise generated by wind turbines in the VDI 3722-2 the exposure-response curve for %HA (interior) from Janssen & Vos (2011) may be used, if only noise annoyance is considered. In the case of the calculation of a total-noise effect index, the use of %HA and %HSD functions for road traffic noise is recommended as alternative, as in the case of industrial and commercial noise.

Inclusion of health aspects

Based on the results of the NORAH study on health risks conducted in the Germany Rhine-Main area (Seidler et al. 2016), the "energetic summation" of noise levels appears to underestimate the noise-related risks for cardiovascular disorders and depression, sometimes considerably. The "epidemiological risk multiplication" more accurately describes the combined traffic-noise related risks of cardiovascular disorders and the risk of depression observed in the NORAH study on health risks. At the moment similar comparisons are being conducted using data from a study conducted in the Cologne-Bonn area (Greiser & Greiser 2010).

The particularly high risks connected with combined exposure to noises from multiple traffic noise sources results in a particular need for prevention. Traffic planning should take into account the particularly high risks resulting from simultaneously exposing residential populations to multiple sources of traffic noise.

An algorithm based on the results of the NORAH study on disease risks at the observed averaged sound levels for aircraft, road and rail traffic noise is proposed which will enable the calculation of the absolute excess risks, i.e. the number of additional traffic-noise related cases of cardiovascular disorders and depression. The main prerequisite for application of the algorithm is that address-specific aircraft, road and rail traffic noise levels must be known for the respective populations of interest.

It should be pointed out that at the current state of research, the estimates of concrete traffic-induced cases are still subject to considerable uncertainty. Respectively, the proposed algorithm serves only as an illustrative example of a potential approach. The main benefit of the algorithm may be by enabling comparisons of potential probabilities of causation for different traffic noise scenarios. Under the assumption of an epidemiologically multiplicative interaction between the different types of traffic noise, the comparison of probabilities of causation – with the objective of minimizing the probability of causation – could gain considerable importance for traffic planning. However, we clearly wish to point out that further large-scale epidemiological studies and systematic reviews with meta-analyses of existing studies are required. This is to provide verification of the calculations of concrete traffic-noise induced cases. It is to be expected that the algorithm for the calculations of concrete traffic-noise induced cases may require modification in the light of forthcoming epidemiological studies. Future, more refined analyses should specifically investigate night-time risks, particularly in regions with high night-time traffic-noise exposures; the data obtained in the study for the Cologne-Bonn regions may constitute a basis for such investigations.

AP 2: Financing model for noise abatement measures and legal integration of VDI 3722-2 and financing model

Proposal for a financing model for noise abatement measures

To ensure sustainable and effective protection of the population against noise, a reduction of the total noise level should be aimed for. Despite technical advances regarding the implementation of noise mitigation measures at source, noise mitigation at the propagation path (such as noise protection walls and acoustic barriers) must still play a key role in planning when it comes to reducing the noise load. The latter will be effective for more than a single source, meaning that the cost needs to be distributed to the polluters according to a consistent distribution model. Until now, such procedures and regulations for sharing the cost of noise abatement measures between different polluters have not been provided for.

The distribution of cost to one or more originators of the total noise load must be achieved transparently and without discrimination. Otherwise acceptance by the parties involved in the planning process and affected persons cannot be expected. In particular, the following aspects must be considered, which are essential for the distribution of costs:

- ▶ Observation of polluter-pays principle (fairness of cost): Costs should be attributed to that traffic authority benefiting from the measure in terms of their obligation to reduce the noise level.
- ▶ Commutativity (interchangeability): Cost distribution should not be affected by the order in which the measures are implemented.
- ▶ Independence from a given effective date: Cost should not be dependent upon an arbitrary effective date.
- ▶ Area independence: The exact selection of the boundaries of a designated area selected for implementation of noise abatement measures should not influence the distribution of cost.

The present investigation presents existing approaches towards cost distribution and submits further proposals. From the above, four financing models based on different approaches were identified and presented. These different models are:

- ▶ *Financing model "Contribution to existing noise"*: Cost is distributed on the basis of the energetic contribution of a noise source towards the total noise load *prior to the implementation of the noise abatement measure* (energetic percentage contribution of a noise source towards overall noise).

$$\frac{10^{0,1 \times A}}{(10^{0,1 \times A} + 10^{0,1 \times B})} \times 100 = \text{contribution } A \text{ in } \%$$

- ▶ *Financing model "Contribution to noise level reduction"*: Cost is distributed on the basis of the ratio between the reduction of the noise from a given source and the reduction of total noise from all sources.

$$Cost_A = \frac{\sum_i 10^{0,1 \times (L_{A,i,prior} - L_{A,i,subsequent})}}{\sum_i 10^{0,1 \times (L_{A,i,prior} - L_{A,i,subsequent})} + \sum_i 10^{0,1 \times (L_{B,i,prior} - L_{B,i,subsequent})}} \times Cost_{Tot}$$

- ▶ *Financing model "Weighted contribution to noise level reduction"*: As in the case of the preceding model, cost is distributed on the basis of the ratio between reduction of noise from a given source and the reduction of noise from all sources; however, the contribution of a given source is weighted with its contribution towards total noise load, whereby while sources that do not contribute towards total noise will not take a share of the cost.

$$Cost_A = \frac{\sum_i g_{Ai} \times 10^{0,1 \times (L_{A,i,prior} - L_{A,i,subsequent})}}{\sum_i g_{Ai} \times 10^{0,1 \times (L_{A,i,prior} - L_{A,i,subsequent})} + \sum_i g_{Bi} \times 10^{0,1 \times (L_{B,i,prior} - L_{B,i,subsequent})}} \times Cost_{Tot}$$

$$g = -\frac{1}{10} * \Delta L_{prior} + 1 \quad \text{for } \Delta L \leq 10$$

$$g = 0 \quad \text{for } \Delta L > 10$$

where g : Weighting

ΔL_{prior} : Difference between the assessment level of the total noise load and the assessment level of the traffic noise source under consideration prior to the implementation of the measures

- Financing model "Contribution to energetic load reduction": Cost is distributed on the basis of the ratio between the reduction of an effect-related load index for a given source and the reduction of this index related to overall noise.

$$Cost_j = Cost_{tot} \times \frac{WEBI_{j,prior} - WEBI_{j,subsequent}}{WEBI_{prior} - WEBI_{subsequent}}$$

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

where:

$L_{AES,i}$: Effect-related substitution level to VDI 3722-2 for %HA at calculation point i

N_i : Number of affected persons at calculation point i

On the basis of methodological considerations and calculation examples, the four models are compared using the criteria for a financing model listed above. The results of the comparison are shown in the following table.

Tabelle 2: Comparison of the different financing models

Financing model / Criteria	"Contribution to existing noise"	"Contribution to noise level reduction"	"Weighted contribution to noise level reduction"	"Contribution to energetic load reduction"
Fairness of cost	No, within the meaning of noise reduction	No	Yes	Yes
Commutativity	No, except when initial situation is chosen equal for all noise mitigation measures	Yes	No, except when initial situation is chosen equal for all noise mitigation measures	Limited decrease of commutativity when initial situation is chosen equal for all noise mitigation measures
Independence from an effective date	No, as timing of initial situation influences cost distribution	Yes	Limited, as timing of initial situation influences cost distribution	Limited
Area independence	No	Yes	Yes	Yes

For testing in the sample city in Work Package 4, the financing model "Contribution to energetic load reduction" was chosen, based on the renormalized substitute levels and effect-related substitution levels to VDI 3722-2 for %HA as characteristic quantity for load. A possible further development of this approach may consist in the inclusion of the summary effect indicator (*PAR*) shown in AP1 instead of the characteristic quantity %HA. The respective calculation formula for the financing model would be as follows:

$$Cost_j = Cost_{Tot} \times \frac{PAR_{j,prior} - PAR_{j,subsequent}}{PAR_{vorher} - PAR_{subsequent}}$$

with

PAR_j: Population-attributable risk from source *j*; with prior = prior to the implementation of a measure, and subsequent = subsequent to the implementation of a measure

PAR: Population-attributable risk from total noise; where prior: prior to the implementation of a measure and subsequent = subsequent to the implementation of a measure

Legal integration of VDI 3722-2 and financing model

The legal expertise initially explores the question as to whether German or European immission control legislation allows the integration of a new VDI 3722-2 regulation revised and extended in accordance with WP 1. In Germany, separate and independent regulations apply to the major sources of noise (in particular road traffic noise, rail traffic noise and aircraft noise, industrial and commercial noise, noise from sports facilities and other leisure-time noise). Segmentation of different noise sources is a characterizing structural element of German noise control legislation. However, even the currently applicable legislation provides for a total noise assessment encompassing multiple sources for a number of case groups. Assessment of the total noise level across multiple sources is *required*,

- ▶ when a site is affected by noise from heterogeneous sources and total noise load constitutes a health risk or affects the substance of the property at this site (constitutional protective duty resulting from Art. 2 para. 2 sentence 1, 14 para. 1, sentence 1 GG (German Constitution) on reaching the constitutional threshold of unacceptable impact),
- ▶ when different noise types are present at a relevant immission site, to the extent that the contribution of the facility under investigation within the scope of application of the Technical Instruction on Noise (TA Lärm) or the German regulations on the noise generated by sport facilities (Sportanlagenlärmschutzverordnung) may add significantly to a detrimental environmental effect at this immission site (Investigation of special cases to Item 3.2.2 TA Lärm; Investigation of special cases within the scope of application of the German Regulations on the Noise Generated by Sports Facilities),
- ▶ when dissimilar immission contributions from different noise sources make a relevant contribution to the total noise load in a given noise mapping area (Section 47c of the German Federal Immission Control Act BImSchG) and make a relevant contribution in the area of noise action plans toward the generation of noise problems to be controlled (Section 47d of German Immission Control Act BImSchG).

Unless the constitutional threshold of unacceptability is reached, urban land use planning does not prescribe the inclusion of an overall noise assessment across multiple noise sources for the determination and assessment of the material submitted for consideration, although this is *permissible* (Section 2 para. 3, Section 1 para 7 of the German Building Code Bau GB).

VDI 3722 - 2 is not a legal norm, but rather a set of technical rules issued by non-governmental, private-sector organizations, which project developers, planning communities, public authorities and courts of law may use in the assessment of total noise, as a source of knowledge and concrete information about acknowledged technological standards.

Apart from the adoption of the Directive 2002/49/EC (Environmental Noise Directive), transposed into German law by Sections §§ 47a ff. of the German Federal Immission Control act (BImSchG), the EU has in the past pursued an exclusively product-related approach in the area of noise protection, regulating cross-border goods traffic through the definition of maximum emission values. Methods of overall noise assessment are not applicable in the cases when the EU noise protection legislation is product-related.

In a second step, the legal expert opinion includes proposals for legislative policy relating to an extended integration of VDI 3722 - 2 into the German Immission Control Law. The document proposes the codification of limit values defining the constitutional level of unacceptability and reference values for the relevance of total noise under ordinary law, including the associated investigation procedure. The Guideline VDI 3722 - 2, which defines effect-equivalent total levels through dose-response relationships, resides at the center of the proposed investigation procedure, which also includes dominance or irrelevance criteria, enabling the determination of the dominance or irrelevance of immission contributions. In addition, a preliminary total noise assessment, similar to the law pertaining to environmental impact assessment, is proposed if in the opinion of the relevant authority, harmful effects to the environment due to the overall noise level may result from the construction of new or significant modification of existing noise-emitting facilities. In this way the systematic identification of total noise conflicts will be ensured. Limit and reference values, including investigation procedure and preliminary total noise assessment, are provided in a Technical Instruction on Total Noise (TA Gesamtlärm), which is to be in accordance with Section 48 of the German Federal Immission Control Act BImSchG. The proposed set of rules for total noise could also be introduced in the form of a technical working guide by a (higher) specialist authority, as guidelines of the LAI (Working Group of the Federal Government and the Federal States on Immission Control), or as a standard issued by a private-sector standards organization. The latter two forms of actions come to the fore given that the solution proposed in the first instance, i.e. the Technical Instruction on Total Noise (TA Gesamtlärm), as general administrative regulation under Section 48 of the Federal Immission Control Act (BImSchG), would only be able to cover aircraft noise, if the latter was also covered by the German Immission Control Act, which is not the case under current law.

The results of the proposed total noise assessment may constitute the basis for subsequent measures in accordance with Sections §§ 17, 24 of the Federal Immission Control Act (BImSchG) against operators of facilities falling under the scope of application of the Federal Immission Control Act subject to or exempt from approval. The problems to be solved by the proposed total noise regulation are similar to those encountered during the introduction of the Technical Instruction Noise (TA Lärm) in 1998 in connection with the prior load assessment. For this reason, facilitated approval is suggested similar to item 3.2.1 para. 2-5 of the Technical Instruction on Noise

(TA Lärm), including a provision ensuring the right of continuance, which, however, should not and need not go as far as stipulated in item 5.1 para. 3 of the Technical Instruction on Noise.

The implementation of the results of the proposed total-noise assessment during approval and verification of traffic installations (roads, railways, airports) subject to planning permission procedures necessitates significant changes to the public building and planning law applicable to these traffic installations. This law currently does not provide for multiple-source total noise considerations, unless the constitutional unacceptability threshold is reached. The respective opening clauses would have to be included into the public building and planning law for roads, railways and airports. Due to the stronger legal force of uncontested planning resolutions, the subsequent ordering of noise mitigation measures against bodies responsible for railways, roads or airports contributing towards a total noise conflict is currently not allowable. If bodies responsible for such traffic installations were to be included in the resolution of total noise conflicts, the legal force of the respective planning resolutions would have to be restricted.

Total noise conflicts are typically caused jointly by installations run by several independent bodies, which must be rated as "disturber" in the terminology of regulatory law. The proposed regulation on total noise would therefore need to include specifications regarding an appropriate selection of disturber. As a rule, multiple facilities contributing towards a total noise conflict are governed by separate public authorities; hence, the German Federal States would need to modify competences, if a multiple-source total noise assessment is to be implemented in practice.

The question as to which of a number of bodies responsible for facilities jointly contributing towards a total noise conflict will be subjected to a noise mitigation order (selection of disturber, primary level) must be strictly separated from the question of how the cost of the noise mitigation measures will be distributed amongst the disturbers (cost attribution, secondary level). On the level of the ordering of noise mitigation measures (primary level), the competent authorities have neither the obligation nor the capability to ensure fairness of burdens. This necessitates a financial compensation mechanism between a multiplicity of disturbers, unless the public authority has taken recourse to all disturbers under regulatory law. The introduction of a compensation mechanism similar to Section 426 of the German Civil Code (BGB) is proposed, given that the relationship between the competent immission protection authority and a multiplicity of disturbers is highly similar to the concept of joint and several debt under civil law. Section § 24 para. 2 of the German Federal Soil Protection Act (BBodSchG) might serve as example. The financing models developed under WP2 may be applied on the basis of such a regulation and may determine whether and to what extent a compensation between joint and several debtors will take place in the case of a multiplicity of disturbers.

AP3 Extension of the "Sample City" data set in DIN 45687

Using the Musterstadt (sample city) QSDO data set (City of Dortmund) and on the basis of the QSI format specifications (1. Dokumentation-QSI-Datenschnittstelle-DIN_45687), an initial "realistic" model was created for conducting large-scale noise propagation calculations with regard to road traffic noise. The quality assurance data set for "Acoustics - Software products for the calculation of the sound propagation outdoors" was used as test task. Calculations were conducted in ring tests using the different software products quality-controlled in accordance with DIN 45687, results were compared, deviations were noted and statistically analyzed. Based on these analyses, framework conditions were jointly defined for the data model, and a procedure to be used in grey zones in the application of the guidelines was agreed. These modifications significantly narrowed

the range of results. In March 2013 the "4th documentation – Test Tasks using the Musterstadt QSDO" for the DIN 45687 standard was published as a first result.

However, only simplified data sets can be exchanged on this basis so far. The completion of the data set with a view to mapping realistic, comprehensive scenarios requires commercial and rail noise sources, obstacles, further features in the object description and parameters for the description of the emission in accordance with further rules and regulations.

For testing of the model in terms of total noise assessment the Musterstadt QSDO data set had to be extended in a number of different scenarios. To this end, the road network required further features (e.g. classification); in addition, railway lines and commercial noise sources had to be added.

Road and rail network were revised for the entire Musterstadt area.

Following completion of the model, a new digital model of the terrain was calculated.

Fictitious, but close-to-real commercial sources of noise were added in the sub-districts of the model city selected for the scenarios.

In the Dortmund-Salangen area, Baroper Straße, the data set was extended with a wind generator system.

The buildings contained in the existing data set were combined with the current terrain model. All buildings are characterized by a given building height and number of inhabitants and flats.

Within the framework of this project, the data set was also extended with other relevant object types. This enables these close-to-real Musterstadt model data to be used for future test tasks.

By way of examples, the following objects were included in the sample city:

- ▶ Bridges; may be considered on the emission side for railway lines. Consideration as a building has been postponed.
- ▶ Tunnel portals are not considered as a distinct type of object; roads and railways lines in the tunnel may be modelled without emission.
- ▶ Expanses of water were implemented in the "Dortmund-Phönixsee" scenario
- ▶ Noise barriers and soil properties are contained in the data set in the respective scenarios.

The revised QSDO data set now provides a data set which can be used as a test task for complex, close-to-real scenarios in large cities. To enable the use of the data set for the full range of "Acoustic Software Products for Calculation of Noise Immission Outside", recommendations have been made for the Standards Committee Acoustics, Noise Control and Vibration Engineering regarding the modification and extension of the QSI format specification.

The new data set was modelled close to reality. This will facilitate future updating and extension of the data set with further "true" geometries.

As soon as the description of the emission parameters from further calculation procedures via QSI has been completed, these parameters can be integrated into the new data set. This is under preparation for the current Schall 03 noise regulation and the upcoming RLS guideline for railway noise, pending final approval in the standards committee.

As concerns commercial sources, the question of direction effect still requires further debate. Discussions in the standard committee have started, however, no consensus regarding a suitable format specification was found so far, due to the complexity of the matter.

This data set enables users of "Acoustic Software Products for Calculation of Noise Immission Outside" to test the new guidelines and the effects of different calculation parameters used in their software products in large-scale realistic scenarios with a view to accuracy and calculation time at reasonable expense in terms of time and effort.

AP4 Proving of the developed model for total noise assessment

As practical examples, three districts in the Sample City were chosen for noise mitigation scenarios:

- ▶ Dortmund-Wichlinghofen/Bittermark; Noise originating from roads under the responsibility of various public authorities
- ▶ Dortmund -Phönixsee; road, railway and commercial noise
- ▶ Dortmund-Dorstfeld; road, railway and commercial noise

Starting values (emission levels of noise sources road and rail traffic) were taken without modifications from the QSDO data set. As regards commercial noise, typical, close-to-real emitting sources were integrated into the sample city (e.g. staff car park of an organization, exhaust air systems of production facilities, shopping centers including customer parking and delivery area).

Noise levels with and without the envisaged noise mitigation measured and hence the acoustic effect of these measures was assessed in various calculations and separately for the individual responsible bodies and individual source types. Subsequently the proposed financing model including suggested additions to VDI 3722-2 was applied in the three districts of the sample city. A three-step approach was chosen:

Step 1: Determination of %HA

In a first step, the percentage of "highly annoyed" persons (%HA) was determined for the individual traffic noise types. The respective exposure functions are shown below in accordance with their respective value range and source type:

Road traffic noise

Below value range ($L_{DEN} < 45$ dB(A)):

$$\%HA = 4.0 \%$$

Within value range (45 dB(A) $\leq L_{DEN} \leq 80$ dB(A)):

$$\%HA = 116.4304 - 4.7342 L_{DEN} + 0.0497 L_{DEN}^2$$

Above value range ($L_{DEN} > 80$ dB(A)):

$$\%HA = 3.019 L_{DEN} - 185.845$$

Rail traffic noise

Below value range ($L_{DEN} < 40$ dB(A)):

$$\%HA = 1.5 \%$$

Within value range ($40 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 85 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 38.1596 - 2.05538 L_{DEN} + 0.0285 L_{DEN}^2$$

Above value range ($L_{DEN} > 85 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 2,676 L_{DEN} - 158.120$$

Commercial noise

Underneath value range ($L_{DEN} < 42 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 1.6 \%$$

Within value range ($42 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 75 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 36.307 - 1,886 L_{DEN} + 0,02523 L_{DEN}^2$$

Above value range ($L_{DEN} > 75 \text{ dB(A)}$):

$$\%HA = 1.798 L_{DEN} - 98,093$$

Step 2: Determination of renormalized substitute levels

Renormalized substitute levels relate to the assessment levels L_{DEN} for road traffic, meaning that substitution needs to be made only for source types rail and commercial noise.

An assessment level L_{DEN} for road traffic of 80 dB(A) corresponds to $\%HA$ of 55.8% . For $\%HA$ values for rail traffic or commercial traffic, the renormalized substitute level is calculated as:

$$L_{DEN}^* = \frac{\%HA + 185.845}{3.019} \quad \text{for } \%HA > 55.8 \%$$

By transforming the respective equation for $\%HA$ for road traffic for the road traffic level range between $40 \text{ dB(A)} \leq L_{DEN} \leq 85 \text{ dB(A)}$ the following is obtained:

$$L_{DEN}^* = \frac{4,7342 + \sqrt{4,7342^2 - 0.1988 * (116.4304 - \%HA)}}{0,0994} \quad \text{for } 4.0\% \leq \%HA \leq 55.8\%$$

For all $\%HA$ values below 4.0% a renormalized substitute level of 50.1 dB(A) is applied.

Step 3: Determination of WEBI index and cost proportions

The WEBI index is the effect-related load index and represents the product of the number of inhabitants per calculation point and the delogarithmized assessment level for the source type under consideration.

The practical test for the financing model in the three districts and compliance with the criteria for the financing model is shown in Chapter 6. The financing model proved to be both flexible and viable in practical use, and is capable of fulfilling existing requirements.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

„Das Immissionsschutzrecht in der Bundesrepublik Deutschland ist seit 1974 im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geregelt. Der Gesetzeszweck des BImSchG ist seit der ersten Fassung aus dem Jahr 1974 der Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen vor schädlichen Umwelteinwirkungen. Die schädlichen Umwelteinwirkungen werden dabei als Immissionen konkretisiert, die geeignet sind, z.B. erhebliche Belästigungen für die Nachbarschaft hervorzurufen. Damit ist der sogenannte Akzeptorbezug eingeführt, wonach die Beschränkung der Einwirkungen auf ein Schutzgut maßgeblich ist. Eine Unterscheidung in unterschiedliche Quellarten (Verkehr, Gewerbe, Nachbarschaft, Sport etc.) ist bis dahin explizit nicht vorgesehen. Erst durch die nachrangigen Rechtsverordnungen entsteht die sektorale Betrachtungsweise der verschiedenen Geräuschquellenarten, wie sie in der alltäglichen Anwendung des Immissionsschutzrechts anzutreffen ist.

Dabei ist die Bevölkerung nicht nur einer Vielzahl von Geräuschquellen ausgesetzt, sondern im Regelfall werden die Betroffenen von unterschiedlichen Geräuschquellen gleichzeitig belastet. So sind rund 40 Millionen Menschen in Deutschland von zwei oder mehr Quellenarten betroffen. Neben dem Straßenverkehrslärm, von dem knapp rund 8,7 Millionen Menschen von L_{DEN} -Pegeln von über 55 dB(A) betroffen sind (UBA 2018), wirken meist noch zahlreiche andere Geräuschquellen auf die Betroffenen ein. Diese Mehrfachbetroffenheiten werden im Immissionsschutzrecht in der Regel nicht betrachtet, da nur für die in einem Genehmigungsverfahren zu beurteilende Quelle bzw. Quellenart ein bestimmter Immissionsgrenzwert oder –richtwert einzuhalten ist. Im Bereich des bodengebundenen Verkehrs werden nur die neuen oder baulich zu ändernden Verkehrswege in die Lärmbetrachtung einbezogen (16. BImSchV). Ein verbindliches Regelwerk zur Sanierung des Lärms von bestehenden Straßen und Schienenwegen existiert derzeit nicht. Erst im Fall der Gefährdung der Gesundheit oder eines Eingriffs in die Substanz des Eigentums hat sich in der Rechtsprechung nach einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (BVerwG zu 4 C 9/95 vom 21.03.1996) die Betrachtung eines Summenpegels bei Pegeln, die üblicherweise über 70 dB(A) tags oder 60 dB(A) nachts liegen, etabliert.

Regelungslücke Gesamtlärm

Für einen umfassenden Immissionsschutz im Sinne des BImSchG fehlt es allerdings noch an einer verbindlichen Gesamtlärmbetrachtung aller von außen einwirkenden Geräuschquellenarten. Gleichzeitig besteht bislang kein Anspruch betroffener Bürgerinnen und Bürger auf Lärmsanierung bei Einwirkung von bestehenden Verkehrswegen. Diese Lücke im Immissionsschutzrecht ist in den letzten Jahren zunehmend Anlass für Forderungen seitens der Betroffenen nach Verbesserung des Immissionsschutzrechtes geworden. Gerade in hochbelasteten und von mehreren Quellenarten betroffenen Flusstälern (Mittelrheintal, Elbtal, Inntal etc.) führt das räumlich enge Nebeneinander von Straßenverkehr, Schienenverkehr, Schifffahrtsverkehr und angrenzender Wohnbebauung zu erheblichen Belastungen der Bevölkerung. Diese Problematik hat die Bundesregierung zum Anlass genommen, in ihrem Koalitionsvertrag von 2018 (Koalitionsvertrag 2018) die Absicht zu fassen, eine Gesamtlärmbetrachtung einzuführen und an Bestandsstrecken der Schiene und an Fernstraßen erhöhte Lärmschutzmaßnahmen zu ergreifen. Zudem soll die freiwillige Lärmsanierung und die Lärmaktionsplanung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie möglichst stärker miteinander verschränkt werden.

Voraussetzung für die gemeinsame Bewertung verschiedener Geräuschquellenarten ist eine vergleichbare Ermittlungsmethode der Belastung für unterschiedliche Geräuschquellenarten und eine Methode zur Festlegung des Gesamtbelastungsmaßes. Für das gemeinsame Lärmbelastungs-

maß bei einer Gesamtlärbetrachtung kommen nur integrative Pegelmaße wie der Mittelungspegel infrage. Einzelereignisorientierte Pegelmaße wie der Maximalpegel lassen demgegenüber keine Summenbildung zu und können allenfalls ein Gesamtbelastungsmaß ergänzen. Es ist daher naheliegend, den Mittelungspegel als Gesamtbelastungsmaß heranzuziehen. Der Mittelungspegel allein ist jedoch nicht in der Lage, alle Geräuscheigenschaften einer Quelle abzubilden. Unterschiede in der Frequenzverteilung, der Zeitstruktur aber auch nicht-akustische Faktoren beeinflussen die Wirkung von unterschiedlichen Geräuschquellen, selbst wenn diese den gleichen Mittelungspegel aufweisen.

Wirkungsgerechte Betrachtungsweise

Umfassend werden diese unterschiedlichen Wirkungen in einer Meta-Analyse von Miedema (Miedema & Vos, 1998) dargestellt. Hier werden sog. Expositions-Wirkungsbeziehungen für Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche bzgl. der Belästigung durch Lärm (percentage annoyed %A bzw. percentage highly annoyed %HA) und der Störung des Nachtschlafs (percentage sleep disturbed %SD bzw. percentage highly sleep disturbed %HSD) einander gegenüber gestellt. Darin zeigen sich sowohl für die allgemeine Lärmbelästigung, bezogen auf den 24 h-Pegel, als auch für die Schlafstörung, bezogen auf den Nachtpegel, unterschiedliche Grade des Wirkungsausmaßes für die drei Verkehrslärmarten Straße, Schiene und Flug bei gleichem Mittelungspegel.

Eine rein energetische Summation der Pegel dieser unterschiedlichen Geräuschquellenarten führt daher zu einer Fehleinschätzung der Gesamtlärmwirkung, sowohl in der Höhe als auch bezüglich der Anteile der einzelnen Quellenarten an der Gesamtwirkung. Eine Lärmschutzmaßnahme mit dem Ziel den Gesamtlärm zu reduzieren, sollte vor allem den Anteil derjenigen Quellenart maßgeblich reduzieren, deren Lärmwirkung durch Belästigung oder Schlafgestörtheit dominiert.

Die derzeit häufigste Anwendung einer Gesamtlärbetrachtung ist die Lärmaktionsplanung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG). In Artikel 6, Absatz 3 der Richtlinie wird explizit darauf verwiesen, dass zur Bewertung von gesundheitsschädlichen Auswirkungen Dosis-Wirkungs-Relationen verwendet werden können. Zu den Dosis-Wirkungs-Relationen, die hierfür herangezogen werden, zählen nach Anhang III der Richtlinie insbesondere diejenigen zur allgemeinen Belästigung und zu den Schlafstörungen. Das Ziel der EU-Umgebungslärmrichtlinie ist entsprechend Artikel 1 schädliche Auswirkungen einschließlich Belästigung, durch Umgebungslärm zu verhindern, vorzubeugen und zu mindern. Der wirkungsgerechte Ansatz der EU-Umgebungslärmrichtlinie lässt sich demnach bereits in der Zielsetzung ablesen. Eine Zusammenfassung des wirkungsbezogenen Ansatzes der EU-Umgebungslärmrichtlinie zu einer integrierten Gesamtlärbewertung ist allerdings noch nicht vorgesehen, vielmehr werden die Wirkungen des Umgebungslärms pro Einzelquellenart betrachtet und hierbei auch nur bezogen auf den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie Industrieanlagen.

Wirkungsmodelle zum Gesamtlärm

In der Literatur werden Modelle zur Gesamtlärmwirkung vor allem für den Wirkungsbereich der Lärmbelästigung behandelt, wobei verschiedene Ansätze diskutiert werden (zusammenfassend u.a. Weber et al., 1996). Dabei haben insgesamt vier Modelle die meiste Aufmerksamkeit in den empirischen Untersuchungen erhalten (Wothge et al., 2017):

- ▶ das Energiesummutationsmodell,
- ▶ das „Independent-Effect“-Modell,
- ▶ das Dominanzmodell („Dominant-source“-Modell),
- ▶ das Belästigungs-Äquivalenz-Modell.

Das *Energiesummodell* nimmt an, dass sich die Gesamtlärmbelastigung in Expositions-Wirkungsfunktionen durch die energetische Summation der Mittelungspegel der Einzelquellenarten darstellen lässt, die Einzelquellenarten demnach bei gleichem Mittelungspegel die gleiche Belästigungswirkung erzeugen. Dies ist allerdings empirisch nicht haltbar – weder für die Lärmbelastigung, noch für berichtete lärmbedingte Schlafstörungen. So zeigen die im Anhang III der Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG) aufgeführten Funktionen zur Lärmbelastigung und berichteten Schlafstörungen, dass sich die Beziehungen zwischen dem Anteil der Belästigten bzw. Schlafgestörten und dem Mittelungspegel unterscheiden. Gegenüber diesen „Miedema-Kurven“ sind neuere Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Belästigung und (berichteten) Schlafstörungen zwar verschoben, zeigen aber nach wie vor, dass eine reine Energiesummation nicht wirkungsadäquat ist. Studien, die direkt die Gesamtlärmwirkung zum Inhalt haben, bestätigen dies (z.B. Miedema, 2004; Pierrette et al., 2012, Wothge et al., 2017).

Das „*Independent-Effect*“-Modell schätzt die Gesamtlärmbelastigung durch eine gewichtete Regression auf die Mittelungspegel der einfließenden Einzelquellenarten ab. Damit wird immerhin berücksichtigt, dass die Einzelquellenarten mit unterschiedlichem Gewicht zur Gesamtlärmbelastigung beitragen (Taylor, 1982). Nicht berücksichtigt werden in dem Modell dagegen die möglichen Interaktionen, die in der Wirkung auf die Gesamtlärmbelastigung bei gleichzeitiger Einwirkung der Geräuschbelastung durch mehrere Einzelquellenarten auftreten können.

Weit verbreitet unter den wirkungsbezogenen Modellen zur Gesamtlärmbelastigung und empirisch bestätigt ist das *Dominanzmodell*, wonach das Gesamtlärmbelastigungsurteil dem Maximum der quellenspezifischen Lärmbelastigungsurteile entspricht (Pierrette et al., 2012). Ergebnisse der NORAH-Studie zur Gesamtlärmbelastigung zeigen, dass die aus dem Modell abgeleiteten Annahmen zur Gesamtlärmbelastigung auch dann zutreffen, wenn die Mittelungspegel der am stärksten belästigenden Einzelquellenart niedriger sind als die der weiteren Quellenart(en) (Wothge et al., 2017).

Das *Belästigungs-Äquivalenz-Modell* von Miedema (2004) orientiert sich an dem in der Toxikologie verwendeten toxic-equivalents-Modell. Damit wird die toxische Wirkung einer aus verschiedenen Stoffen bestehenden Chemikalienmischung bestehend aus verschiedenen Stoffen in unterschiedlicher Konzentration und Giftigkeit anhand eines toxischen Äquivalenzfaktors eingeschätzt. Von Miedema (2004) wurde dieses Modell auf den Lärmbereich übertragen. Auf Basis von Expositions-Wirkungsfunktionen zum %HA bzw. %A-Anteil werden die Geräuschpegel (L_{DEN}) der verschiedenen Quellenarten in belästigungsäquivalente Straßenverkehrsgeräuschpegel umgerechnet und erst dann werden alle Geräuschpegel energetisch aufaddiert. Damit handelt es sich um eine Art Energiesummodell verknüpft mit einer Bonus-/Malusregelung bezogen auf Straßenverkehrsgeräuschpegel als Referenz. Die gleiche Umrechnungsmöglichkeit besteht auch für die nächtlichen Geräuschpegel (L_{night}) mehrerer Quellenarten unter Rückgriff auf Expositions-Wirkungsfunktionen zum %SD bzw. %HSD-Anteil. Streng genommen „erklärt“ dieses Modell nicht die Gesamtlärmbelastigung, sondern stellt eine pragmatische Lösung dar, die verschiedenen Störungs- und Belästigungswirkungen verschiedener Einzelquellenarten zu addieren. Wie beim Independent-Effekt werden dabei Interaktionen zwischen den Quellenarten nicht berücksichtigt, d.h. das Modell impliziert die Annahme, dass die jeweilige quellenspezifische Expositions-Wirkungsfunktion zum %A/%HA- oder %SD/%HSD-Anteil unabhängig von der Einwirkung weiterer Quellenarten gilt.

Nationale Richtlinie VDI 3722-2

In der nationalen Normung wird der Ansatz der wirkungsgerechten Bewertung und der Gesamtlärmbetrachtung in der VDI 3722-2 vom Mai 2013 konkretisiert. Ziel dieser Richtlinie ist es, ein

Verfahren zur Schätzung der wirkungsgerechten Gesamtlärmwirkung bei Einwirken mehrerer unterschiedlicher Quellenarten anzugeben. Auf Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen werden wirkungsäquivalente Ersatzpegel je Quellenart berechnet und die Anteile der Quellenart zu einem wirkungsäquivalenten Substitutionspegel aufsummiert. Das Prinzip des Substitutionsverfahrens folgt dem Belästigungs-Äquivalenz-Modell von Miedema (2004).

Die Vorgehensweise eignet sich besonders für städtebauliche und raumordnende Planungen sowie Lärmaktionsplanungen nach der Umgebungslärmrichtlinie. Bei der Wahl der Expositions-Wirkungsbeziehungen schlägt der Anhang A der Richtlinie die in dem „Good Practice Guide on noise exposure and potential health effects“ der European Environment Agency (2010) angegebenen Beziehungen vor, schränkt jedoch gleichzeitig ein, dass bei Vorliegen neuerer Kurven, diese geprüft und ggfs. verwendet werden sollen.

Die Gesamtlärbewertung nach VDI 3722-2 enthält in der derzeitigen Fassung noch Regelungslücken, die eine uneingeschränkte Anwendung in der Lärmaktionsplanung bisher verhindert. Um diese Lücken zu füllen sollen in diesem Forschungsvorhaben folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- ▶ Wie werden Pegel außerhalb des Wertebereiches der vorhandenen Expositions-Wirkungsbeziehungen behandelt?
- ▶ Welche Belästigungskurven sind hinsichtlich situationsabhängiger Vor- und Nachteile der % A-Kurven im Vergleich zu den % HA-Kurven zu verwenden?
- ▶ Gibt es Expositions-Wirkungsbeziehungen zu Gesundheitsschutzaspekten zur Erweiterung der Bewertung nach VDI 3722-2?
- ▶ Welche Interaktionen treten zwischen den Tages- und den Nachtwirkungen bei verschiedenen Quellenartenkombinationen auf?
- ▶ Wie kann Industrie- und Gewerbelärm in die Gesamtlärbewertung nach VDI 3722-2 einbezogen werden?

Als Ergebnis der Untersuchungen soll ein Vorschlag zur Erweiterung der VDI 3722-2 unterbreitet werden. Die erweiterte VDI 3722-2 kann dann als Werkzeug für Planerinnen und Planern zur Bewertung der Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen oder bei der Bewertung von Planungsalternativen gewinnbringend eingesetzt werden.

Finanzierungsmodell

Beim Einsatz eines Modells zur Gesamtlärbewertung stellt sich in der Praxis zwangsläufig die Frage der Kostenbeteiligung. Lärmschutzmaßnahmen in einem Gesamtlärmkontext sind mit Kosten und Minderungen der Geräuschbelastung verbunden, die jedoch für verschiedene Quellen unterschiedliche Wirkungen erzeugen können. Eine Parallellage von Geräuschquellen mit gleichverteilter Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen dürfte in Praxis die absolute Ausnahme sein. Wenn Kosten auf die Baulastträger der verschiedenen Emittenten verteilt werden sollen, sind daher zwei Fragestellungen zu klären:

- ▶ Wie werden die Kosten unter den Baulastträgern gerecht verteilt (Finanzierungsmodell)?

- ▶ Welche Möglichkeiten gibt es, das Finanzierungsmodell in das Immissionsschutzrecht einzubinden?

Die Anforderungen an ein Finanzierungsmodell sind vielschichtig. Zunächst müssen die Kosten hinsichtlich der Verursachung der Gesamtlärmbelastung gerecht verteilt werden. Die Quelle, deren Beitrag an der Gesamtlärmbelastung der Bevölkerung am stärksten durch die Maßnahme gemindert wird, trägt den entsprechend größten Kostenanteil. Dabei muss das Modell jederzeit transparent und nachvollziehbar gestaltet sein, um Angriffspunkte für die Glaubwürdigkeit des Modells zu minimieren. Dazu gehört auch, dass die Kostenverteilung unabhängig von der Größe des betrachteten Einwirkungsbereichs der Maßnahmen ermittelt wird. Weiterhin dürfen auch keine Kostenunterschiede bei vertauschten Reihenfolgen mehrerer Maßnahmen auftreten.

Diese Anforderungen sind Voraussetzung für eine praxisgerechte Umsetzung des Verfahrens und für eine Einbindung in das Immissionsschutzrecht. Wie die konkrete rechtliche Einbindung erfolgen kann, soll in einem Rechtsgutachten beantwortet werden.

Realitätsnahe Erprobung an Praxisfällen

Das vorzuschlagende Finanzierungsmodell muss an realitätsnahen „komplexen“ Situationen getestet werden, um die Praxistauglichkeit des Verfahrens zu prüfen. Mit dem Datensatz Musterstadt QSDO wurde auf der Basis der QSI Formatspezifikation (1. Dokumentation-QSI-Datenschnittstelle-DIN_45687) ein erstes „realistisches“ Modell zur Durchführung großräumiger Lärmausbreitungsberechnungen in Bezug auf Straßenverkehrslärm erstellt. Auf Basis dieser Formatspezifikation können bisher allerdings nur vereinfachte Datensätze ausgetauscht werden. Schallausbreitungsberechnungen in Gebieten mit komplexem Lärmszenario, weiteren Geräuschemitteln (Gewerbelärm, Schienenverkehrs- bzw. Luftverkehrslärm) oder auch unter Berücksichtigung weiterer Lärmberechnungsmethoden können auf dieser Basis nicht ausgetauscht werden. Der Datensatz Musterstadt wird daher für die Verwendung weiterer Berechnungsverfahren, wie:

- ▶ Anlage 2 zur 16. BImSchV: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03),
- ▶ DIN ISO 9613-2,
- ▶ Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (BUB)

erweitert. Weiterhin werden für die Berücksichtigung von Gewerbelärm Modellbetriebe in den Datensatz QSDO eingebaut. Hierbei werden typische, häufig wiederkehrende und charakteristische Betriebstypen idealisiert dargestellt. Dies können z.B. Flächen mit überwiegend oberflächlichem Park- und Fahrverkehr (wie z.B. Einkaufsmärkte) oder Anlagen mit hochliegenden Schallquellen (Industrieanlagen, Gewerbehallen mit Abluftanlagen) sein. Im Rahmen der Modellierung nach Schall03 werden zudem großflächige Rangieranlagen des Schienenverkehrs enthalten sein. In drei beispielhaft ausgewählten Teilgebieten aus dem Datensatz QSDO wird die Gesamtlärmbetrachtung gemäß dem in diesem Projekt entwickelten Verfahren zur Kostenverteilung bestimmt. Die vorgeschlagenen Weiterentwicklungen zur Gesamtlärbewertung auf Grundlage der VDI 3722-2 werden dabei soweit möglich und sinnvoll bereits eingearbeitet. Bei den Teilgebieten werden zwei Situationen mit zwei unterschiedlichen Quellenarten (z.B. Straße /Schiene und Straße/Gewerbe) und eine Situation mit drei Quellenarten ausgewählt, um zu testen, ob das Finanzierungsmodell in komplexeren Situationen zu nachvollziehbaren Ergebnissen führt.

1.2 Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Fragestellungen aus Abschnitt 1.1 wird das Forschungsvorhaben in vier Arbeitspakete (AP) aufgeteilt. Die Bearbeitung erfolgt durch ein Projektteam aus verschiedenen Disziplinen, dem die Möhler + Partner Ingenieure AG (schalltechnisches Beratungsbüro), die ZEUS GmbH (Umweltpsychologen), die Soundplan GmbH und die Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH (Software-Hersteller), die GWT-TUD GmbH (Epidemiologen) sowie Dr. Martin Schröder (Jurist) angehören. Jedes der Arbeitspakete hat einen Schwerpunkt, der durch die jeweiligen Fachspezialisten bearbeitet wird.

Die Bearbeitung der Aufgabenstellung erfolgt in den folgenden vier Arbeitspaketen:

- ▶ AP 1: Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Gesamtlärbewertung auf Grundlage der VDI 3722-2 (ZEUS GmbH, Möhler + Partner Ingenieure AG) sowie Einbeziehung von Gesundheitsaspekten (GWT-TUD GmbH und Möhler + Partner Ingenieure AG)
- ▶ AP 2: Vorschlag für ein Finanzierungsmodell für Maßnahmen bei einer Gesamtlärbetrachtung (Möhler + Partner Ingenieure AG) und rechtliche Umsetzung (RA Dr. Schröder)
- ▶ AP 3: Erweiterung des Datensatzes Musterstadt der DIN 45687 (Soundplan GmbH, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH)
- ▶ AP 4: Erprobung des entwickelten Modells für eine Gesamtlärbewertung (Soundplan GmbH, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH, Möhler + Partner Ingenieure AG)

2 Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Gesamtlärbewertung auf Grundlage der VDI 3722-2

2.1 Aufgabenstellung

Arbeitspaket 1 befasst sich mit Regelungslücken der VDI 3722-2 im Hinblick auf eine wirkungsgerechte Gesamtlärbewertung. Die Lücken werden aufgezeigt und Vorschläge zur Lösung auf Basis der einschlägigen wissenschaftlichen Fachliteratur und eines Experten-Workshops dargestellt. Zu beachten ist, dass die VDI 3722-2 nur eine Möglichkeit darstellt, die Gesamtlärmwirkung zu beschreiben. Die VDI 3722-2 folgt dem bereits vorgestellten Belästigungs-Äquivalenz-Modell (Miedema, 2004) - vgl. Abschnitt 1.1. Sobald sich quellenartspezifische Expositions-Wirkungsfunktionen verändern, hat dies Auswirkung auf die Gültigkeit der Substitution, so dass dieser Ansatz eine regelmäßige Überprüfung und Anpassung der Substitution erfordert. Entsprechend sind auch die im Folgenden genannten Lösungsvorschläge zu den Regelungslücken vor dem Hintergrund der jeweiligen in der VDI 3722-2 implementierten Expositions-Wirkungsfunktionen zu sehen.

Die nachfolgende Diskussion über die Regelungen in der VDI 3722-2 und deren Lücken sowie die hierzu ausgearbeiteten Empfehlungen erfolgen unter der Annahme der Gültigkeit des Belästigungs-Äquivalenz-Modells.

In Abschnitt 2.2 werden zunächst die Regelungen der VDI 3722-2 dargestellt. Anschließend werden identifizierte Regelungslücken beschrieben, deren Problematik diskutiert und Empfehlungen zum Umgang mit bzw. Lösung der Regelungslücken gegeben. Die Regelungslücken betreffen verschiedene Aspekte. Hierzu gehören der Geräuschpegel-Wertebereich, in dem die wirkungsbezogene Gesamtlärbewertung anwendbar ist (Abschnitt 2.3.1), die Wahl der Expositions-Wirkungsfunktion für die Gesamtlärbewertung (Abschnitt 2.3.2) und der Einbezug weiterer Gesundheitswirkungen in die VDI 3722-2 zusätzlich zur Lärmbelästigung und Schlafstörungen (Abschnitt 2.3.3). Darüber hinaus wird auf den Umgang mit einer möglichen Interaktion von Tag- und Nachtwirkungen bei verschiedenen Quellenartenkombinationen (Abschnitt 2.3.4) sowie die mögliche Weiterentwicklung der VDI 3722-2 durch die Einbeziehung des Industrie- und Gewerbelärms (Abschnitt 2.3.5) eingegangen. Anschließend wird die Frage der Aktualisierung der für die Gesamtlärbewertung zu verwendenden Expositions-Wirkungsfunktionen erörtert (Abschnitt 2.3.6). Abschnitt 2.4 enthält Vorschläge zur Überarbeitung der VDI 3722-2. Im Abschnitt 2.5 wird die Berücksichtigung der Gesundheitswirkungen bei der Gesamtlärbewertung nochmals aufgegriffen und ein epidemiologischer Ansatz der Multiplikation der durch Einzelgeräuschquellenarten resultierenden Erkrankungsrisiken vorgestellt. Der Ansatz wird gesondert beschrieben, da das Verfahren der epidemiologischen Risikomultiplikation über das in der VDI 3722-2 verankerte Prinzip des Substitutionsverfahrens und der energetischen Addition von wirkungsbezogenen Ersatzpegeln hinausgeht. Im Abschnitt 2.6 werden schließlich noch offene Punkte diskutiert und ein Ausblick gegeben.

2.2 Regelungen der VDI 3722-2

In der VDI 3722-2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“ (VDI 3722 Blatt 2:2013-05) werden Verfahren vorgestellt

- a) mit denen auf Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen zu einzelnen Quellenarten (derzeit: Luft-, Schienen- und Straßenverkehr) die Gesamtbelästigung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für einzelne Quellenarten sowie

- b) die selbst berichtete Gesamtschlafstörung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für einzelne Quellenarten abgeschätzt werden und
- c) die Hilfsmittel für die schalltechnische Bewertung von Planungsalternativen darstellen (VDI 3722-2, 1. Anwendungsbereich).

Zur Abschätzung der Gesamtlärmbelastigung und selbst berichteten Schlafstörungen werden zunächst für die jeweilige Beurteilungszeit¹ für jede Geräuschquellenart ein Beurteilungspegel aus dem äquivalenten Dauerschallpegel (Mittelungspegel) und wirkungsbezogenen Ab-/Zuschlägen gebildet. Anschließend werden die Beurteilungspegel energetisch addiert. Der Beurteilungspegel pro Geräuschquellenart lautet:

$$L_r = 10 \lg \left[\frac{1}{T_r} \sum_{i=1}^n T_i \times 10^{0,1(L_{pAFeq,T_i} + K_i)} \right] \text{ dB} \quad (1)$$

mit

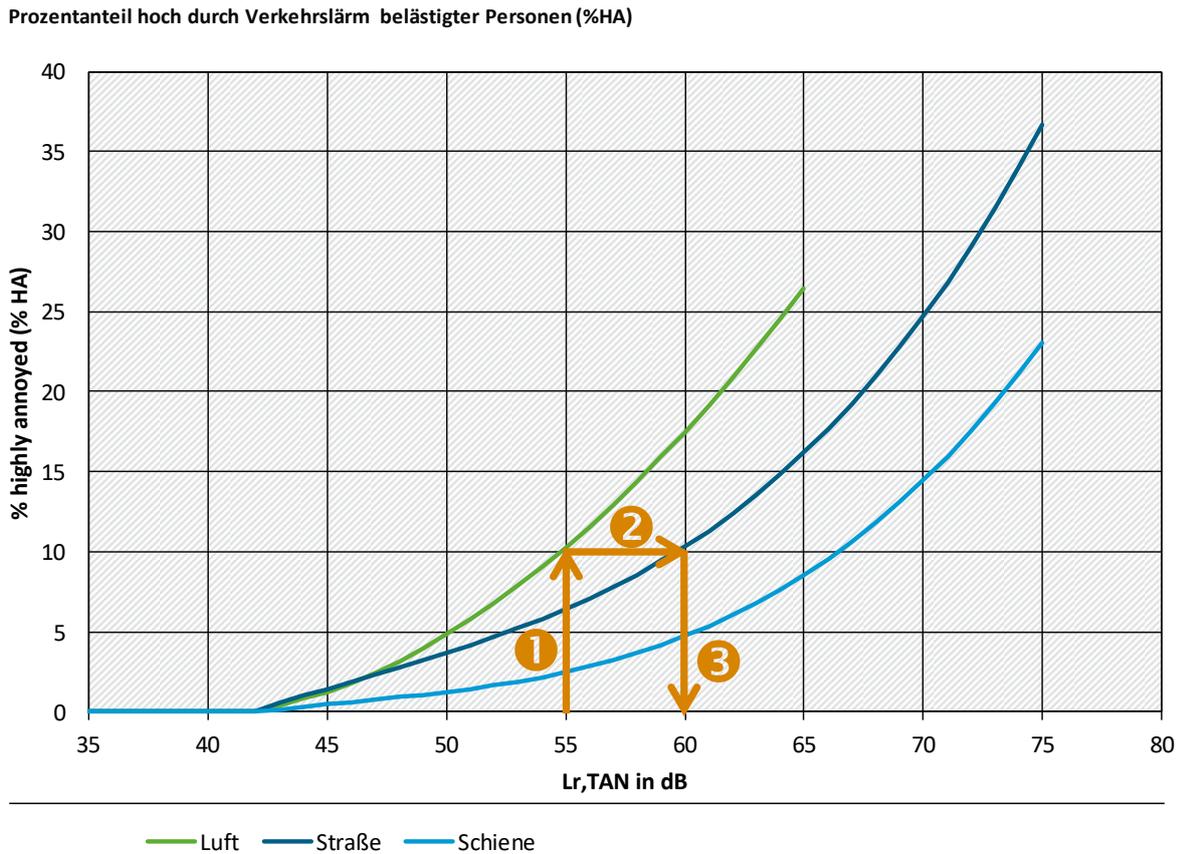
n = Anzahl der Teilzeitintervalle

K_i = Korrekturfaktor, wirkungsbezogener Zuschlag

Die Ab- und Zuschläge ergeben sich auf Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Prozentanteil belästigter ($\%A$, *percentage annoyed*) bzw. stark belästigter Personen ($\%HA$, *percentage highly annoyed*) und zu den Prozentanteilen schlafgestörter bzw. stark schlafgestörter Personen ($\%SD$ *percentage sleep disturbed* bzw. $\%HSD$, *percentage highly sleep disturbed*). Die Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Straßenverkehrslärm bilden die Referenz. Der Korrekturfaktor für Zuschläge ist hier $K = 0$. Für die nicht auf Straßenverkehr bezogenen Geräuschquellenarten (derzeit Luft- und Schienenverkehr) wird jeweils ein „renormierter Ersatzpegel“ bestimmt. Das ist der Geräuschpegel von Straßenverkehrsgeräuschen, der zum gleichen Wert der Beeinträchtigung führt, der sich aus den jeweils angewandten Expositions-Wirkungsbeziehungen ergibt. Abbildung 1 zeigt dies am Beispiel von Fluglärm. Bei einem durch Fluggeräusche verursachten Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht $L_{r,TAN} = 55$ dB beträgt der $\%HA$ -Anteil 10% (❶). Dieser $\%HA$ -Wert wird nach der $\%HA$ -Kurve für Straßenverkehrsgeräusche (❷) bei einem $L_{r,TAN} = 60$ dB erreicht (❸). Der renormierte Ersatzpegel für eine Luftverkehrsgeräuschbelastung von $L_{r,TAN} = 55$ dB beträgt also $L^*_{Flug} = 60$ dB.

¹ Für die Lärmbelastigung 24 Stunden und für die Schlafstörungen acht Stunden von 22 bis 6 Uhr

Abbildung 1: Bestimmung des renormierten Ersatzpegels am Beispiel von %HA durch Fluglärm



Quelle: Eigene Darstellung.

Die renormierten Ersatzpegel der einzelnen Geräuschquellenarten werden zu einem wirkungsbezogenen Gesamtpegelwert, dem „effektbezogenen Substitutionspegel“ L_{AES} , energetisch addiert. Zu diesem Pegelwert wird die Wahrscheinlichkeit für die Beeinträchtigung bestimmt (Beeinträchtigungsfunktion), wobei die Expositions-Wirkungsfunktionen der Referenzquellenart „Straßenverkehr“ zugrunde gelegt werden. Die Beeinträchtigungskenngröße, die schließlich für die Bewertung von Planungsalternativen verwendet wird, stellt die Anzahl der durch die Gesamtgeräuschbelastung in einem Untersuchungsgebiet beeinträchtigten Personen dar (Produkt aus Einwohnerzahl im Untersuchungsgebiet und Beeinträchtigungsfunktion).

Die für die Gesamtlärbewertung zugrunde gelegten quellenartspezifischen Expositions-Wirkungsfunktionen sind im Anhang A der VDI 3722-2 aufgeführt. Als Referenz bzw. Datenbasis wird der Bericht der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency (EEA), 2010, S. 9ff.) zitiert. Darin wird wiederum auf die EU-Positionspapiere zu Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Belästigung durch Verkehrslärm und zum nächtlichen Lärm (EC/WG1, 2004; EC/WG2, 2002) verwiesen. Letztlich stammen die Expositions-Wirkungsbeziehungen aus Meta-Analysen von Miedema und Kollegen: Für die Verkehrslärmbelästigung: Miedema & Oudshoorn, 2001; für berichtete Schlafstörungen durch Straßen- und Schienenverkehrslärm: Miedema et al., 2003, für berichtete Schlafstörungen durch Fluglärm: Miedema & Vos, 2004a.

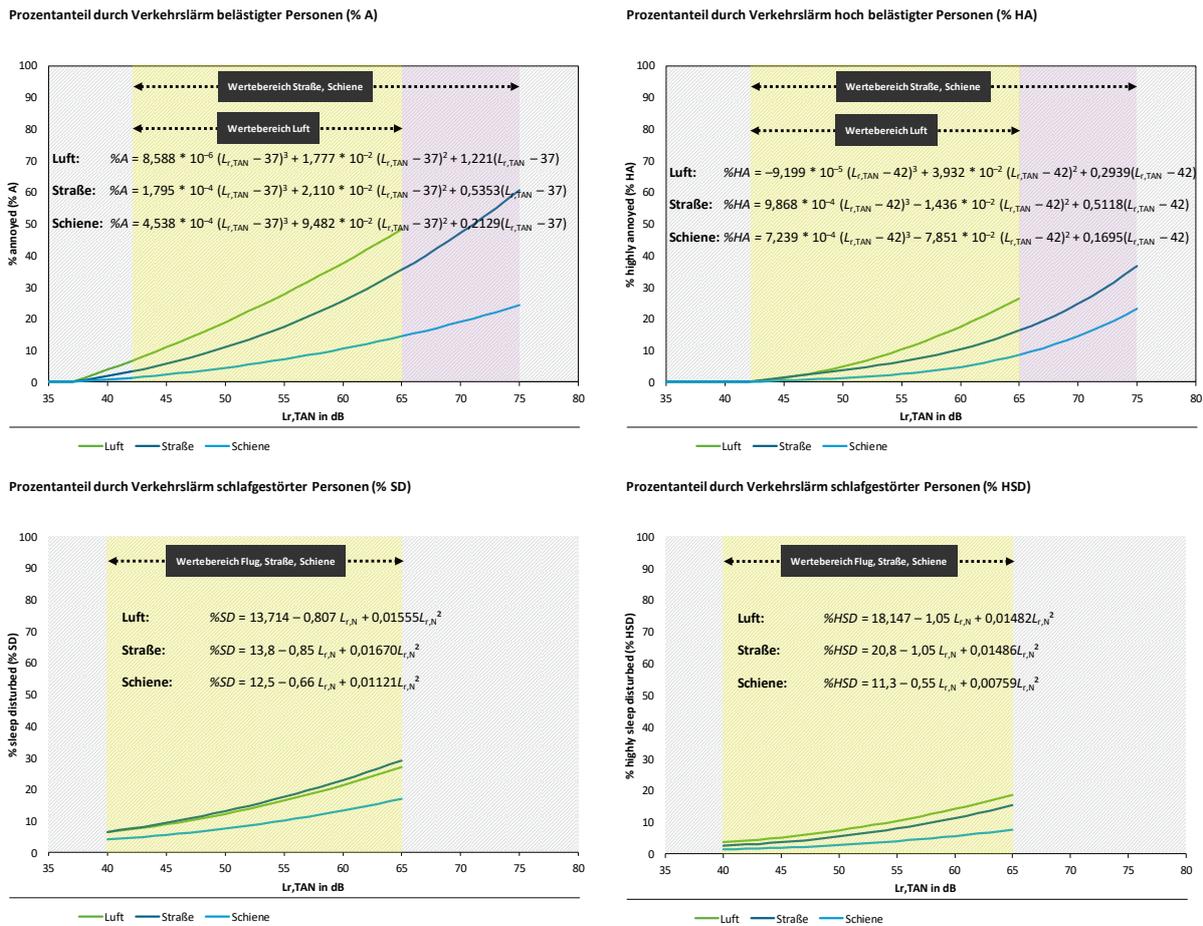
Die Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Lärmbelästigung (%A, %HA) beziehen sich auf den Beurteilungspegel für 24 Stunden, den Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{TAN} mit tagesspezifischen Zuschlägen (5 dB für den Zeitraum 18 – 22 Uhr, 10 dB für den Zeitraum 22 – 06 Uhr). Die Expositions-

Wirkungsbeziehungen zu berichteten Schlafstörungen ($\%SD$, $\%HSD$) werden auf den Dauerschallpegel (Mittelungspegel) für den Nachtzeitraum (22 – 06 Uhr) L_N bezogen. Die Expositions-Wirkungskurven zu den Wirkungsgrößen $\%(H)A$ können in folgenden Pegelwertebereichen des Beurteilungspegels für Tag-Nacht $L_{r,NT}$ (24-Stunden-Beurteilungspegel mit 10 dB Zuschlag für den Zeitraum 22-06 Uhr) und zu den Wirkungsgrößen $\%(H)SD$ im folgenden Wertebereich des Beurteilungspegels für die Nacht $L_{r,N}$ angewandt werden:

- ▶ $37 \text{ dB} \leq L_{r,NT} \leq 75 \text{ dB}$ für $\%A$ bezogen auf Straßen- und Schienenverkehrslärm,
- ▶ $37 \text{ dB} \leq L_{r,NT} \leq 65 \text{ dB}$ für $\%A$ bezogen auf Fluglärm,
- ▶ $42 \text{ dB} \leq L_{r,NT} \leq 75 \text{ dB}$ für $\%HA$ bezogen auf Straßen- und Schienenverkehrslärm,
- ▶ $42 \text{ dB} \leq L_{r,NT} \leq 65 \text{ dB}$ für $\%HA$ bezogen auf Fluglärm,
- ▶ $40 \text{ dB} \leq L_{r,N} \leq 65 \text{ dB}$ für $\%HSD$ und $\%SD$ bezogen auf alle Quellenarten.

Die genannten Wertebereiche gelten für die „Miedema-Kurven“, die in der Anlage 1 zur VDI 3722-2 aufgeführt sind (vgl. Abbildung 2). In der Anlage wird ebenfalls darauf hingewiesen, dass das „Verfahren [...] auch auf andere Expositions-Wirkungsbeziehungen anwendbar [ist]. Sobald neuere Expositions-Wirkungsbeziehungen vorliegen, sollten diese geprüft und gegebenenfalls verwendet werden“ (VDI 3722-2:2013-05, Anlage A1, S. 15). Inzwischen liegen neuere Expositions-Wirkungsfunktionen zur Lärmbelästigung und zu Schlafstörungen sowie auch für Erkrankungsrisiken vor, so dass deren Verwendung anstelle der zwischenzeitlich veralteten „Miedema-Kurven“ zu empfehlen ist. Hierauf wird im Abschnitt 2.3.6 weiter eingegangen.

Abbildung 2: Expositions-Wirkungskurven zum %A, %HA (oben), %SD und %HSD (unten)



Quelle: Eigene Darstellung

2.3 Regelungslücken der VDI 3722-2

2.3.1 Anwendung von Pegeln außerhalb des Wertebereiches:

Die Ermittlung des %A-Anteils durch den Gesamtlärm kann für die in der VDI 3722-2 derzeit (Stand 2018) verwendeten Expositions-Wirkungsfunktionen bezogen auf den Beurteilungspegel für Tag-Nacht $L_{r,TN}$ im Wertebereich $37 \text{ dB} \leq L_{r,TN} \leq 75 \text{ dB}$ für Straßen- und Schienenverkehrslärm und im Bereich $37 \text{ dB} \leq L_{r,TN} \leq 65 \text{ dB}$ für Fluglärm erfolgen. Für den %HA-Anteil beginnt der Wertebereich bei 42 dB. Der Wertebereich im Nachtpegel zur Bestimmung des Anteils schlafgestörter (%SD) bzw. stark schlafgestörter Personen (%HSD) lautet für alle drei Verkehrslärmarten $40 \text{ dB} \leq L_{r,N} \leq 65 \text{ dB}$.

Offen ist, wie dabei mit Situationen umzugehen ist, in denen einzelne zum Gesamtlärm beitragende Quellenarten außerhalb dieses Wertebereichs liegen. Hier ist zu fragen, wie die Substitution erfolgen soll, d.h., inwieweit die dabei anzuwendenden Expositions-Wirkungsfunktionen zu extrapolieren sind. Auch wenn sich neuere Expositions-Wirkungsfunktionen auf andere Wertebereiche beziehen, stellt sich die Frage des Umgangs mit Werten außerhalb des Wertebereichs grundsätzlich.

Regelungslücke in der Vorgehensweise oberhalb des Wertebereichs

Theoretisch plausibel ist eine asymptotische Annäherung der Expositions-Wirkungskurven für die Gesamtlärmbelastigung und Gesamtschlafstörung im unteren Bereich an den Wert $\%A/HA = 0$

bzw. $\%SD/HSD = 0\%$ und im oberen Bereich jeweils an den Wert 100%. Insgesamt ist also theoretisch von einer sigmoiden Beziehung zwischen Geräuschpegeln und den Beeinträchtigungswirkungen ($\%A/HA$ bzw. $\%HS/HSD$) auszugehen, da eben nicht weniger als 0% oder nicht mehr als 100% von Personen belästigt oder schlafgestört sein können.

Betrachtet man allerdings die in der VDI-Richtlinie zugrundeliegenden Expositions-Wirkungskurven von Miedema und Kollegen (s. Abbildung 2), so ist ein exponentieller Verlauf erkennbar, der bei einfacher Extrapolation auf Basis der kubischen Expositions-Wirkungsfunktion zu Werten größer 100% im Anteil (stark) belästigter/schlafgestörter Personen führen würde. Um auf Basis dieser Funktionen im oberen Pegelbereich zu einer sigmoiden Kurve zu gelangen, müssten Annahmen über den Wendepunkt (Punkt, ab dem die Kurve abflacht) bestehen.

Lösungsvorschläge für den Umgang mit Pegelwerten oberhalb des Wertebereichs

Solange hier mangels Daten keine begründete Festlegung möglich ist, wäre eine lineare Fortführung der Kurven als vereinfachende Lösung denkbar. Bei dieser Lösungsmöglichkeit erreicht die Kurve ab einem gewissen Pegel eine Belästigung von 100% (stark) belästigter bzw. schlafgestörter Personen oder darüber. Ein Lösungsansatz ist dann, als maximalen renormierten Ersatzpegel den Pegel anzusetzen, der zu einem $\%A/HA$ bzw. $\%SD/HSD$ -Anteil von 100% (bezogen auf Straßenverkehrslärm) führt. Es kann allerdings angeregt werden, bei Pegelwerten, die über einen Prozentanteil Beeinträchtigter von 100% hinausführen, für die Bestimmung der Zahl (hoch) belästigter bzw. schlafgestörter Personen im Untersuchungsgebiet mit Werten $> 100\%$ weiterzurechnen. Der $\%A/\%HA/\%SD/\%HSD$ -Wert wird damit zu einem abstrakten Indexwert, der zur Priorisierung von Maßnahmen eingesetzt werden kann.

Regelungslücke in der Vorgehensweise unterhalb des Wertebereichs

Für alle Verkehrslärmarten gilt mit Bezug auf die Belästigungskurven ($\%A$, $\%HA$), dass rechnerisch bei der Grenze von $L_{r,TN} = 37$ (42) dB 0% (hoch) belästigter Personen vorliegen. Bei den Schlafstörungen ($\%SD$, $\%HSD$) liegen bei $L_{r,N} = 40$ dB noch Prozentwerte $> 0\%$ vor.

Zu beachten ist, dass sich die Definition des Wertebereichs für die Lärmbelästigung auf den Beurteilungspegel für Tag-Nacht $L_{r,NT}$ bezieht, die Expositions-Wirkungskurven dazu (zu $\%A$ und $\%HA$) selbst aber auf den Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht $L_{r,TAN}$. Allerdings ergeben die von Miedema und Kollegen aufgestellten Expositions-Wirkungskurven bezogen auf den Tag-Nacht-Pegel (Miedema & Vos, 1998) als auch bezogen auf den Tag-Abend-Nacht-Pegel (Miedema & Oudshorn, 2001) für beide akustische Kenngrößen einen Anteil von 0% belästigter Personen bei 37 dB und einen Anteil von 0% hoch belästigter Personen bei 42 dB. Bei einer etwaigen Novellierung der VDI 3722-2 wird empfohlen, Wertebereich und Expositions-Wirkungsfunktion auf dieselbe akustische Kenngröße ($L_{r,TAN}$) zu beziehen.

Lösungsvorschläge für den Umgang mit Pegelwerten unterhalb des Wertebereichs

Die zu klärende Frage ist nun, wie unterhalb dieser Grenzen Beurteilungspegel substituiert und addiert werden, insbesondere wenn diese, wie bei der Lärmbelästigung, rechnerisch zu negativen Prozentanteilen im Anteil beeinträchtigter Personen führen.

Bezogen auf die Lärmbelästigung ($\%A$, $\%HA$) sind für Pegelwerte unterhalb des Wertebereichs folgende Lösungsvorschläge denkbar:

1. Werte unterhalb von $L_{r,TN} = 37/42$ dB werden nicht berücksichtigt, da sie zu einem Anteil von (hoch) belästigten Personen kleiner 0% führen, mithin also bei diesen Werten keine (hohe) Lärmbelästigung vorliegt.

2. Es findet unterhalb des Wertebereichs keine Substitution statt, d.h. unterhalb des Wertebereichs liegende Beurteilungspegel werden ohne den Zwischenschritt der Bildung renormierter Ersatzpegel energetisch addiert.
3. Pegelwerte $L_{r,TAN} < 37/42$ dB werden linear nach unten verlängert.
4. Extrapolation, d.h. die Expositions-Wirkungsfunktion wird bei Pegelwerten $L_{r,TAN} < 37/42$ dB weiter unverändert angewandt.
5. Unterhalb von $L_{r,TAN} < 37/42$ dB wird „abgeschnitten“, d. h. der renormierte Pegel auf 37 bzw. 42 dB und damit %A bzw. %HA auf 0% gesetzt.

Option 4 widerspricht der Setzung eines Wertebereichs und führt ggf. zu kaum interpretierbaren Ergebnissen. Beispielweise etwa wenn sich auch nach Addition der normierten Ersatzpegel ein Substitutionspegel für den Gesamtlärm ergibt, bei dem negative Prozentwerte in der Belästigung auftreten. Option 1 ist abzulehnen, da auch nach Addition sehr niedriger Pegelwerte für die Einzelquellenbelastung eine Gesamtbelastung entstehen kann, die mit einem (hohen) Anteil lärmbelästigter Personen $> 0\%$ verbunden ist. Option 2 wird ebenfalls nicht empfohlen, da ohne eine Substitution das Konzept der *wirkungsbezogenen* Bewertung des Gesamtlärms verletzt wird. Bei einer linearen Verlängerung entsprechend Option 3 würden für %A/%HA Minuswerte auftreten, was nicht realistisch ist. Deshalb wird für %A/%HA Option 5 bevorzugt; diese Option wird im folgenden Absatz näher erläutert.

Bei den Kurven für %SD/%HSD zeigt sich, dass diese innerhalb des Wertebereichs den Wert 0% nicht erreichen. Deshalb bietet sich hier unterhalb des Wertebereichs eine lineare Verlängerung zwischen 0 und 40 dB an; auch hierauf wird im nach nachfolgenden Abschnitt näher eingegangen.

Zusätzliche Festlegungen zum Wertebereich bei Testaufgabenentwicklung

Mit der Problematik des Wertebereichs haben sich auch Probst & Gillé (2014) (vgl. auch Probst & Probst, 2014) im Rahmen der Entwicklung einer Testaufgabe zur VDI 3722-2 beschäftigt. Sie berichten über zusätzliche Festlegungen, die mit dem für die VDI 3722-2 zuständigen DIN Normenausschuss NA 001-01-02 AA abgestimmt wurden und die den Randbereich des Wertebereichs betreffen.

Die hierbei abgestimmte Lösung lautet (Probst & Gillé, 2014, S. 9ff.):

- ▶ Bei quellenartbezogenen Beurteilungspegeln oberhalb des Wertebereichs werden die Expositions-Wirkungsfunktion für %A, %HA, %SD und %HSD unverändert angesetzt; es wird also nicht linear, sondern entsprechend der Funktion extrapoliert. Die Autoren bilden für jede Expositions-Wirkungsfunktion diese Extrapolation bis zu einem Prozentanteil von 100% bzw. bis zu 100 dB ab. Was bei Pegelwerten erfolgen soll, die rechnerisch zu höheren Prozentanteilen führen, wird nicht ausgeführt.
- ▶ Für die Berechnung von der Anzahl (hoch) belästigter Personen wird bei Pegelwerten unterhalb des Wertebereichs ($L_{r,TN} < 37$ dB bzw. 42 dB) der %A- und %HA-Wert auf 0% gesetzt. Der quellenartbezogene Beurteilungspegel trägt dann nicht zu Prozentanteilen Beeinträchtigter bei und wird auf „-88“ (Missingwert) gesetzt. Entsprechend trägt dieser Beurteilungspegel auch nicht zum effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} bei, dieser bestimmt sich dann aus verbleibenden quellenartbezogenen Beurteilungspegeln innerhalb des Wertebereichs bzw. deren renormierten Ersatzpegeln.

- ▶ Bei der unteren Grenze des Wertebereichs der $\%SD/HSD$ -Funktionen ($L_{r,N} = 40$ dB) liegen $\%SD/HSD$ -Werte $> 0\%$ vor. Hier lautet die zusätzliche Festsetzung, dass die Expositions-Wirkungsfunktionen für $\%SD$ und $\%HSD$ zwischen $0 \text{ dB} \leq L_{r,N} \leq 40 \text{ dB}$ linear verlängert wird, wobei bei $L_{r,N} = 0$ dB ein $\%SD$ - und $\%HSD$ -Wert $= 0\%$ festgelegt wird und bei $L_{r,N} = 40$ dB der Wert, der sich jeweils aus der Expositions-Wirkungsfunktion für $\%SD$ bzw. $\%HSD$ ergibt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass quellenartbezogene Beurteilungspegel unterhalb des Wertebereichs bei Aufaddierung zum effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} nicht vernachlässigt werden sollten. Dies wäre bei der hier vorgestellten Festsetzung der Fall, wenn Beurteilungspegel unterhalb des Wertebereichs, denen eine Beeinträchtigungswirkung von 0% HA/A zugewiesen wird, als Missingwert (-88) definiert werden. Eine Lösung wäre, bei Berechnung der Zahl der (hoch) Belästigten die Beurteilungspegel unterhalb des Wertebereichs auf den renormierten Ersatzpegelwert zu setzen, der 0% A bzw. HA entspricht, also auf 37 dB für die $\%A$ -Berechnung und auf 42 dB für die $\%HA$ -Berechnung. In dieser Pegelhöhe (37 dB bzw. 42 dB) würden diese renormierten Ersatzpegel dann in den L_{AES} einfließen.

Empfehlungen zu Pegelwerten außerhalb des Wertebereichs der Expositions-Wirkungsfunktionen

Folgende Empfehlungen innerhalb der Verfahrensweise der VDI 3722-2 werden für das Vorgehen außerhalb des Wertebereichs gegeben:

- ▶ *Für Pegel oberhalb des Wertebereichs:*

Sowohl bei den von Probst & Gillé (2014) dargestellten Festsetzungen als auch im Experten-Workshop wurde für Beurteilungspegel oberhalb des Wertebereichs eine Extrapolation vorgeschlagen. Probst & Gillé (2014) schlagen die unveränderte Anwendung der Originalfunktionen vor, unklar ist bei ihnen aber das Vorgehen bei Pegelwerten, die rechnerisch Beeinträchtigungs-Prozentanteile $> 100\%$ erbringen. In dem Fall wird eine lineare Verlängerung angeregt, dann auch rechnerisch für Prozentanteile $> 100\%$ Beeinträchtigung hinaus. Anstelle der Anwendung einer Umkehrfunktion (vgl. VDI-Norm 3722-2, Gleichungen A7, A8, A15 und A16) schlagen Probst & Probst (2014) die softwaretechnische Invertierung der eigentlichen $\%HA$ -, $\%A$ -, $\%SD$ -, $\%HSD$ -Funktionen vor.. Das heißt, für die softwaretechnische Bearbeitung sind die Umkehrfunktionen nicht erforderlich und führen stattdessen aufgrund des eingeschränkten Pegel-Wertebereichs zu Inkonsistenzen (Probst & Gille, 2014, S. 11ff).

Für Pegelwerte oberhalb des Wertebereiches

Es wird eine lineare Verlängerung der Expositions-Wirkungsfunktionen für $\%A/HA$ und $\%SD/HSD$ auch über einen rechnerischen 100%-Beeinträchtigungsanteil hinaus vorgeschlagen, da Informationen über den weiteren Kurvenverlauf bzw. über den Wendepunkt von den exponentiellen Funktionen hin zu sigmoiden Kurven nicht vorliegen und die lineare Fortführung in dieser Situation die einfachste Annahme mit der geringsten Unsicherheit darstellt.

Für Pegel unterhalb des Wertebereichs bei berichteten Schlafstörungen

Für die Expositions-Wirkungsfunktionen zu berichteten Schlafstörungen wird der in Probst & Gillé (2014) beschriebene Ansatz der linearen Verlängerung des $L_{r,N}$ -Pegelbereichs zwischen 0 dB und 40 dB empfohlen. Die Empfehlung gilt auch für die neuen im Abschnitt 2.3.6 vorgeschlagenen Expositions-Wirkungsfunktionen zu berichteten Schlafstörungen ($\%HSD$).

Für Pegel unterhalb des Wertebereichs bei der Lärmbelastigung

Für die Expositions-Wirkungsfunktionen zum Anteil (hoch) Belästigter wird eine Modifikation der in Probst & Gillé (2014) beschriebenen Festsetzung empfohlen. Danach wird für quellenartbezogene Beurteilungspegel $L_{r,TAN} < 37$ dB (für %A) und $L_{r,TAN} < 42$ dB (für %HA) der renormierte Ersatzpegel auf 37 dB (für %A) bzw. 42 dB (für %HA) und der entsprechende %A/HA-Anteil auf 0% gesetzt. Die so festgesetzten Ersatzpegel fließen entsprechend in die Berechnung des effektbezogenen Substitutionspegels L_{AES} ein. Die neuen im Abschnitt 2.3.6 vorgestellten Expositions-Wirkungsfunktionen zur Lärmbelastigung (nur noch zu %HA) liegen innerhalb des Wertebereichs oberhalb von 0% HA. Hier wird das gleiche Vorgehen wie bei %HSD vorgeschlagen, nämlich im Pegelbereich zwischen 0 dB und dem untersten dB-Wert des Wertebereichs die Kurve linear zu verlängern.

2.3.2 Empfehlungen zur Wahl der Beeinträchtigungskurven

Die Frage der situationsabhängigen Vor- und Nachteile der Verwendung von %A-Kurven im Vergleich zu den %HA-Kurven ist insbesondere im Hinblick auf die Sensitivität der Kurven für Veränderungen zu beantworten. Ein Anwendungsbereich der VDI 3722-2 ist die Bereitstellung eines Hilfsmittels für die schalltechnische Bewertung von Planungsalternativen. Dies erfolgt pro Immissionspunkt durch Bestimmung und Vergleich der Beeinträchtigungskenngröße, die eine Funktion der renormierten Ersatzpegel der zu betrachtenden Geräuscharten und der Zahl der Betroffenen darstellt. Soweit es um Planung oder Änderung von Verkehrswegen, Planung von Lärminderungsmaßnahmen oder Vergleich von Änderungsvarianten geht, sollte das Untersuchungsgebiet und die zu betrachtenden Orte so gewählt werden, dass die Maßnahme „den effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} mehr als unwesentlich verändert“ (VDI 3722-2, Abschnitt 5.3, Abs. 2). Die Beeinträchtigungskenngrößen werden im Auswirkungsbereich ermittelt, der das Gebiet umfasst, in dem die Beurteilungsfunktion zu für die Fragestellung relevanten Werten größer Null führt und eine Veränderung der Geräuschsituation relativ zur Ausgangssituation auftritt (VDI 3722-2, Abschnitt 6.1). Werte der Beeinträchtigungsgrößen können dadurch zustande kommen, dass eine große Personenzahl weniger stark oder eine kleinere Anzahl von Personen sehr stark belastet ist (VDI 3722-2, Abschnitt 5.8). Die Sensitivität der Beeinträchtigungskenngrößen hängt auch davon ab, welche Belästigungs-/Schlafstörungsfunktion für die Bestimmung des Substitutionspegels herangezogen wird.

Ein Vorteil der Verwendung von %A bzw. %SD-Kurven besteht darin, dass diese Kurven Effekunterschiede der Geräuschquellenarten in niedrigeren bis moderaten Pegelbereichen besser wieder spiegeln, da die %HA/HSD-Kurven in Bereichen von ca. $L_{r,TAN} < 50-55$ dB bzw. $L_{r,N} < 45-50$ kaum noch Wirkungsunterschiede abbilden, die aber bei %A und %SD-Kurven noch ersichtlich sind. Eine adäquate effektbezogene Abschätzung des Gesamtlärms und in der Folge eine effektbezogene Bestimmung von Beeinträchtigungskenngrößen ist also bei Maßnahmen, die insbesondere in niedrigeren/moderaten Pegelbereichen wirken, eher mit Hilfe von %A- und %SD- als mit %HA und %HSD-Kurven möglich. Dieser Vorteil der %A- und %SD-Kurven stellt aber auch gleichzeitig ein Nachteil dar, wenn das vorrangige Ziel ist, mit Maßnahmen besonders stark betroffene Gebiete (Hot Spots) zu entlasten.

Ist in niedrigeren Pegelbereichen die Bevölkerungsdichte höher, werden die Beeinträchtigungskenngrößen bei Verwendung von %A- und %SD-Kurven zu sehr von einer Vielzahl weniger stark belasteter Personen determiniert. Damit können unter Umständen Maßnahmen priorisiert werden, die das mögliche Minderungspotenzial in besonders stark belasteten Gebieten nicht voll ausschöpfen.

Empfehlungen zur Wahl der Beeinträchtigungskurven

Es wird empfohlen, keine verbindlichen Festlegungen zur Wahl der Expositions-Wirkungskurven (%A/HA, %SD/HSD) zu treffen. Dies sollte in den konkreten Planungsfällen erfolgen. Vielmehr wird empfohlen, Substitutionspegel auf Basis aller in der VDI 3722-2 enthaltenen Varianten von Expositions-Wirkungskurven (derzeit: %A, %HA, %SD, %HSD) vorzunehmen, um auch transparent zu machen, dass je nach Zielsetzung und betrachteter Wirkung gegebenenfalls verschiedene Maßnahmenrankings resultieren.

Im Abschnitt 2.3.6 werden neue Expositions-Wirkungskurven zur Lärmbelästigung und zu berichteten Schlafstörungen vorgestellt, die in aktuellen systematischen Evidenz-Reviews (Guski et al., 2017; Basner & McGuire, 2018) für das Update der WHO Environmental Noise Guidelines erarbeitet wurden. Diese enthalten keine Angaben zu %A und %SD mehr, sondern nur noch Funktionen zu %HA und %HSD. Sollten diese neuen Kurven für die neue VDI 3722-2 verwendet werden (was bei Beibehaltung der VDI-Richtlinie empfohlen wird), entfällt die Frage der Wahl zwischen %A und %HA bzw. zwischen %SD und %HSD-Kurven.

2.3.3 Bewertung der VDI 3722-2 unter Gesundheitsschutzaspekten und Unterbreitung von Verbesserungsvorschlägen

2.3.3.1 Evidenz der Gesundheitswirkungen von Umgebungslärm

Die Weltgesundheitsorganisation (*World Health Organization*, WHO) nennt die folgenden extra-auralen, d.h. nicht auf das Gehör bezogenen, gesundheitsbezogenen Wirkungen von Umgebungslärm, die als Folge lärmbedingter Stressbelastungen auftreten können (WHO, 2011):

- ▶ Lärmbelästigung,
- ▶ Schlafstörung,
- ▶ Herz-Kreislauferkrankung,
- ▶ Beeinträchtigung der kognitiven Leistung (insbesondere bei Kindern),
- ▶ Tinnitus.

Ergänzen lässt sich diese Liste noch um die Wirkung von Umgebungslärm auf die psychische Gesundheit (Clark & Paunovic, 2016; Seidler et al., 2017).

Der Anwendungsbereich der VDI 3722-2 bezieht sich allerdings bislang nur auf Verfahren zur Schätzung der Gesamtbelästigung und Gesamtschlafstörung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel. Weitere Gesundheitswirkungen bleiben bisher unberücksichtigt. Inzwischen liegt allerdings eine Reihe von Studien vor, die die wissenschaftliche Evidenz von Erkrankungsrisiken, insbesondere für lärmbedingte Herz-Kreislauferkrankungen aber auch für die psychische Gesundheit, aufzeigen. Diese Erkenntnisse beziehen sich allerdings überwiegend auf die Wirkung einzelner Geräuschquellenarten.

Bezogen auf koronare Herzerkrankungen etwa liegen verschiedene Reviews und deren Updates vor:

- ▶ Babisch (2008) berichtet in seiner Metaanalyse zu kardiovaskulären Wirkungen von Straßenverkehrslärm von einer gepoolten² Risikoerhöhung von 17% pro 10 dB Anstieg oberhalb eines $L_{pAeq,16h} = 60$ dB. In seinem Update von 2014 beziffert er die Risikoerhöhung auf 8% oberhalb eines $L_{DN} = 52$ dB (oberhalb der L_{DN} -Pegelklasse 50 bis 55 dB).
- ▶ Vienneau et al. (2015) betrachten Studien zur Wirkung von Flug- und Straßenverkehrslärm und beziffern die kontinuierliche Risikoerhöhung an ischämischen Herzerkrankungen durch Verkehrslärm pro 10 dB Anstieg im L_{DEN} auf 6% beginnend ab 50 dB.
- ▶ Im WHO-Review zu lärmbedingtem Risiko von Herz-Kreislaufkrankungen von van Kempen et al. (2017, 2018) wird eine Risikoerhöhung pro 10 dB Anstieg im L_{DEN} in Höhe für ischämisch Herzerkrankungen (Inzidenzfälle, d.h. Neuerkrankungen) um 9% bezogen auf Fluglärm und 8% bezogen auf Straßenverkehrslärm genannt (bezüglich Schienenverkehrslärm ergab sich keine statistisch signifikante Risikoerhöhung). Ein Startpunkt in der Exposition für die metaanalytische Risikoabschätzung für Herz-Kreislaufkrankungen wird nur für Straßenverkehrslärm genannt: Danach wird eine gepoolte Expositions-Wirkungsbeziehung im L_{DEN} -Bereich von 42 bis 80 dB vorgestellt. Der Pegelbereich der untersuchten Originalstudien bewegt sich beim Fluglärm im L_{DEN} -Bereich von < 45 dB bis ≥ 75 dB und beim Schienenverkehrslärm im Bereich 30 bis 80 dB. Die NORAH-Studie zu Erkrankungsrisiken hatte eine Herzinfarkt-Risikoerhöhung pro 10 dB $L_{pAeq,24h}$ oberhalb von 40 dB beim Straßenverkehrslärm in Höhe von 2,8% und beim Schienenverkehrslärm in Höhe von 2,3% zum Ergebnis (Seidler et al., 2015). Für Fluglärm bezogen auf den $L_{pAeq,24h}$ waren die Ergebnisse statistisch nicht signifikant. Das Risiko einer hypertensiven (blutdruckbedingten) Herzkrankheit/Herzinsuffizienz pro 10 dB $L_{pAeq,24h}$ war für alle Verkehrslärmarten erhöht: 1,6% beim Fluglärm, 2,4% beim Straßenverkehrslärm und 3,1% beim Schienenverkehrslärm. Für Schlaganfall ergab sich eine Risikoerhöhung pro 10 dB $L_{pAeq,24h}$ von 1,7% für Straßenverkehrslärm und 1,8% für Schienenverkehrslärm. Zudem konnte für Fluglärm festgestellt werden, dass bei einer L_{DEN} -Exposition < 40 dB bereits eine statistisch signifikante Erkrankungsrisikoerhöhung um 7% auftritt, wenn mindestens sechs Überflüge mit einem $L_{max} \geq 50$ dB auftreten (Seidler et al., 2015). Beim Straßen- und Schienenverkehrslärm wurde diese besondere Betrachtung von Maximalpegeln nicht vorgenommen, so dass sich für die Gesamtlärbetrachtung aus diesem Einzelbefund noch kein Alternativkriterium zum Mittelungspegel ableiten lässt. Die Bedeutung des Maximalpegels für eine Verkehrslärbewertung zeigt sich allerdings auch in Analysen zur Wirkung des nächtlichen Schienenverkehrslärms in einem Gutachten im Auftrag des Hessischen Umweltministeriums (Möhler et al., 2017).

Die Studienergebnisse zur Wirkung von Lärm auf psychische Erkrankungen sind derzeit noch heterogen. Während in Reviews (de Kluizenaar & Matsui, 2017; van Kamp et al., 2013; van Kamp & Davies, 2008; Clark et al., 2007) auf die Uneindeutigkeit der Befundlage hingewiesen wird, weisen neuere Studien auf einen Zusammenhang zwischen der Verkehrsgeräuschbelastung und psychischen Erkrankungen, insbesondere Depression, hin, z. B. die NORAH-Studie zu Erkrankungsrisiken (Seidler et al., 2017), Fluglärmwirkungsstudie am Flughafen Köln/Bonn (Greiser & Greiser, 2010) oder die Heinz Nixdorf Recall Studie (Orban et al. 2015). So liegen etwa im Hinblick auf

² Im Rahmen einer Meta-Analyse aus allen betrachteten Originalstudien statistisch zusammengeführte Risikoerhöhung.

lärmbedingte Depression aus der NORAH-Studie zu Erkrankungsrisiken folgende Ergebnisse vor (Seidler et al., 2017):

- ▶ Der lineare Depressions-Risikoanstieg pro 10 dB $L_{pAeq,24h}$ beträgt für Straßenverkehrslärm 3,7% mit einem Startpunkt bei 35 dB $L_{pAeq,24h}$. Ein höheres Risiko depressiver Symptome (29%) bedingt durch Straßenverkehrslärm > 55 dB vs. < 55 dB L_{DEN} wurde in der Heinz Nixdorf Recall Studie befunden (Orban et al., 2015). In der Studie wurden die depressiven Symptome mittels Befragungen erhoben, in der Studie von Seidler et al. (2017) dagegen anhand von Krankenversicherungsruinedaten über stationäre und ambulante Diagnosen.
- ▶ Für Flug- und Schienenverkehrslärm wurde in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken eine umgekehrt u-förmige Beziehung zwischen dem Erkrankungsrisiko und dem $L_{pAeq,24h}$ gefunden, mit dem höchsten Depressions-Risikoanstieg für Schienenverkehrslärm bei 60 bis 65 dB $L_{pAeq,24h}$ von 15% und für Fluglärm bei 50 bis 55 dB $L_{pAeq,24h}$ von 23% gegenüber der Gruppe der gering Exponierten (< 40 dB $L_{pAeq,24h}$).
- ▶ In der NORAH-Studie zu Erkrankungsrisiken (Seidler et al., 2017) wurde auch eine Risikoschätzung für Depression durch kombinierte Verkehrslärmbelastung vorgenommen. Der Risikoanstieg gegenüber denjenigen mit einer Exposition < 40 dB $L_{pAeq,24h}$ liegt mit 42% am höchsten in der Gruppe derjenigen, die sowohl durch Flug-, Schienen- als auch Straßenverkehrslärm mit jeweils einem 24-Stunden-Dauerschallpegel von mindestens 50 dB $L_{pAeq,24h}$ belastet sind.

In einem im Auftrag des UBA durchgeführten Forschungsvorhaben „Umgebungslärm und Gesundheit am Beispiel Bremen“ (Greiser & Greiser, 2015) wurden die Auswirkungen von Verkehrslärm (Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm) auf die Gesamtmortalität und auf Krebsrisiken untersucht. Dabei erfolgte auch eine Betrachtung der kombinierten Wirkung von Straßen- und Schienenverkehrslärm, d.h. eine Analyse von Interaktionseffekten. Es zeigte sich, dass die gesundheitlichen Wirkungen einer Quellenart in Abhängigkeit von der Ausprägung der Lärmbelastung durch die zweite Quellenart zum Teil deutlich unterschiedlich ausgeprägt waren.

Mit dem WHO-Review zu lärmbedingten Erkrankungsrisiken auf das Herz-Kreislaufsystem (van Kempen et al., 2017, 2018) liegt ein zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts aktuelles systematisches Review zu dieser Thematik vor. Die darin analysierten Originalstudien wurden zwischen Januar 2000 und August 2015 veröffentlicht. Ergebnisse neuerer Studien, wie die der Schweizerischen SiRENE-Studie (Röösli et al., 2017) oder der NORAH-Studie zu Erkrankungsrisiken (u.a. Seidler et al., 2016) sind darin nicht enthalten. Außerdem liegen aktuelle Reviewergebnisse zu lärmbedingten psychischen Erkrankungen wie Depression zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts nicht vor. Überdies betrachten die vorliegenden WHO-Reviews die Umgebungslärmquellenarten (auftragsgemäß) im Wesentlichen einzeln. Gesamtlärbetrachtungen liegen nur partiell, bei Herzkreislauf und metabolischen Erkrankungen nur als Zusatzanalysen im Hauptbericht (van Kempen et al., 2017), nicht aber in der Zeitschriftpublikation zum Review (van Kempen et al., 2018) vor.

Unter Verwendung aktueller, nicht in den veröffentlichten WHO-Reviews enthaltenen Studiendaten sowohl zu lärmbedingten Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken als auch zu psychischen Erkrankungen hat das Forschungsteam von Prof. Dr. Andreas Seidler, Technische Universität Dresden ergänzende Untersuchungen zu diesem Gutachten zur Bestimmung von Interaktionseffekten zwischen den Geräuschquellenarten und der Ableitung von Exzess-Effekten bei kombinierter Lärmeinwirkung vorgenommen.

Hierzu wurden Daten aus der Fall-Kontrollstudie zu Erkrankungsrisiken des NORAH-Verbundprojekts (Seidler et al., 2015) reanalysiert. Betrachtet wurden dabei Interaktionseffekte der Verkehrslärmarten Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm auf die Gesundheitsrisiken. Die Ergebnisse werden im Abschnitt 2.5 ausführlich vorgestellt. Sie zeigen, dass eine wirkungsgerechte Bewertung des Gesamtlärms durch eine Multiplikation der durch die Einzelquellenarten ermittelten Erkrankungsrisiken („epidemiologische Risikomultiplikation“) die beste Modellgüte aufweist. Damit reicht dieser Ansatz über das in der VDI 3722-2 verankerte Prinzip des Substitutionsverfahrens und der energetischen Addition von wirkungsbezogenen Ersatzpegeln hinaus. Eine Anwendung der im Abschnitt 2.5.3 ermittelten Erkrankungsrisikofunktionen durch Gesamtlärm ist in den Grenzen der VDI 3722-2 zwar praktisch möglich; im Grunde allerdings unterscheiden sich die zugrundeliegenden Modellvorstellungen (energetische Pegeladdition kombiniert mit wirkungsbezogenen Korrekturfaktoren in der VDI 3722-2 vs. epidemiologischer Risikomultiplikation). Bevor die VDI 3722-2 an dieses neue Verfahren angepasst wird oder umgekehrt die VDI-Richtlinie durch das Verfahren der Risikomultiplikation ersetzt wird, wird eine Vertiefung des Ansatzes der Risikomultiplikation vorgeschlagen. Dazu gehören unter anderem:

- ▶ der Einbezug weiterer Studienergebnisse zu Herz-Kreislauf- und Depressionserkrankungsrisiken;
- ▶ eine Erweiterung auf weitere psychische und physische Erkrankungsrisiken;
- ▶ die Prüfung der Anwendbarkeit der Risikomultiplikation auf die Lärmbelästigung und Schlafstörung durch Gesamtlärm.

Soweit man innerhalb der Verfahrenslogik der VDI 3722-2 bleibt, bietet sich der Einbezug von Erkrankungsrisiken an, für die robuste Risikoschätzungen vorliegen und die sich als Leiterkrankung(en) verwenden lassen.

Kriterien für die Festlegung als Leiterkrankung sind

- ▶ die Evidenz, d.h. die vorliegenden Befunde zu lärmassoziierten Erhöhungen des Erkrankungsrisikos,
- ▶ Erkenntnisse über Entstehung und Entwicklung der Erkrankungen im Zusammenhang mit Lärm und
- ▶ die Verfügbarkeit von erforderlichen Eingangsdaten für alle einbezogenen Geräuschquellenarten zur Abschätzung der lärmbedingten Erkrankungsrisiken für die Gesamtlärbewertung.

Liegen nicht für alle einbezogenen Geräuschquellenarten robuste Expositions-Wirkungsfunktionen vor, so ist zumindest zu fordern, dass für die Referenzquellenart „Straßenverkehrslärm“ eine entsprechende robuste Risikoabschätzung gegeben ist.

Abgesehen von den im Rahmen dieses Vorhabens vorgenommenen Expositions-Wirkungsabschätzungen für die Wirkung von Gesamtlärm auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Depression (vgl. Abschnitt 2.5) liefert das zum Zeitpunkt dieses Berichts aktuelle WHO-Review zur Wirkung von Umgebungslärm auf Herz-Kreislauf- und metabolische Erkrankungen (van Kempen et al., 2017, 2018) eine Expositions-Wirkungsfunktion zur Wirkung von Straßenverkehrslärm auf ischämische Herzerkrankungen. Nach Angaben der Autoren dieses Reviews sind lediglich die Ergebnisse zum Straßenverkehrslärm robust genug, um eine solche Expositions-Wirkungskurve aufzustellen. Die für die übrigen Verkehrslärmarten identifizierten Herzerkrankungsrisiken basieren

auf Studien, für welche die Review-Autoren überwiegend eine Qualitätseinstufung in der Evidenz von „niedrig“ (*quality of evidence: 'low'*) angeben.

2.3.3.2 Zusammenfassender Kennwert der Gesundheitswirkung von Gesamtlärm

Für eine Abschätzung der gesamten gesundheitsbezogenen Wirkung von Gesamtlärm bzw. zur Bewertung von gesamtlärmreduzierenden Maßnahmen kann es sinnvoll sein, anstelle oder zusätzlich zur Betrachtung der einzelnen Wirkungen (Belästigung, Schlafstörungen, diverse Erkrankungsrisiken) eine Methodik anzuwenden, mit der die verschiedenen Wirkungsbereiche integriert werden und somit eine Gesamtwirkungsabschätzung vorgenommen werden kann. Dies kann entweder ein Verfahrensvorschlag zum Prozess einer sukzessiven Wirkungsbetrachtung sein oder die Definition eines Einzahlkennwertes sein, der die Gesundheitswirkungen einschließlich Belästigung und Schlafstörungen summarisch zusammenfasst (*SMPH: summary measure of population health*).

Der Vorteil eines SMPH-Index liegt in der Komplexitätsreduzierung und dem einfachen Vergleich von Planungsszenarien anhand eines Einzahlwertes. Nachteilig ist, dass ein solcher Index für das Zusammenfügen von sehr unterschiedlichen Lärmwirkungen wie z.B. Lärmbelästigung und Herzkrankung entweder (hinterfragbare) Setzungen von Gewichten benötigt, mit denen diese unterschiedlichen Wirkungen aufsummiert werden oder unrealistischerweise von einer Gleichsetzung des Schweregrads der Wirkungen ausgeht.

Es wird daher empfohlen, für die Gesamtlärmwirkung nicht nur einen summarischen SMPH-Index (Gesamtlärmwirkungsindex) anzugeben, sondern stets auch den Wert pro Wirkungsbereich, um das Zustandekommen und damit eine bessere Interpretierbarkeit des SMPH-Index zu ermöglichen.

Ein Beispiel für ein SMPH-Index wäre die Berechnung der durch Erkrankungen oder vorzeitigem Tod verloren gegangenen gesunden Lebensjahre (*disability-adjusted life years, DALY*), die von der WHO zur Abschätzung der Gesundheitswirkung von Umgebungslärm angewandt wurde (WHO, 2011). Dabei werden die Gesundheitswirkungen durch die Anzahl des Verlusts gesunder Jahre dargestellt. Ein Beispiel für eine sukzessive Wirkungsbetrachtung wäre die Methodik der Bewertung flugbetrieblicher Maßnahmen im Rahmen der Lärmaktionsplanung am Flughafen Berlin-Brandenburg von ACCON (Pelz, 2015). In anderen Noise-Impact-Assessment-Ansätzen wird die „Anzahl beeinträchtigter Personen“ durch den Lärm einer Quellenart bestimmt. Dies gilt zum Beispiel für den Züricher Fluglärmindex, der die Anzahl belästigter und schlafgestörter Personen beschreibt (Brink et al., 2010). Andere Indizes, wie der Frankfurter Fluglärm-Tagesindex *FTI* und der Nachtindex *FNI* berechnen das absolute Ausmaß an Beeinträchtigung in der Region um den Frankfurter Flughafen getrennt nach Wirkungsbereich (*FTI*: Anzahl hoch belästigter Personen, *FNI*: Anzahl von zusätzlichen, fluglärmbedingten Aufwachreaktionen). Dieses Prinzip der Zählung von absoluten Wirkungen getrennt nach Wirkungsbereich besteht mit der aktuellen VDI 3722-2 allerdings schon, hier derzeit getrennt für die Zahl der (hoch) belästigten und (hoch) schlafgestörten Personen.

Zu den weiteren im Lärmbereich angewandten Verfahren zur Wirkungsquantifizierung zählen u.a. der Index *CHERIO* (*Community health-based environmental risk indicator for outdoor pollutions*) von Houthouijs (2015) und der in Frankreich verwendete Indikator lärmbezogener Gesundheitsrisiken nach Baulac et al. (2010). Mit dem *CHERIO*-Index wird das *DALY*-Verfahren auf die Bewertung der Gesundheitswirkungen von Umweltbelastungen (darunter Lärm) in Bezug auf eine „Durchschnittsperson“ anstelle einer spezifischen Population angewandt. Berechnet wird nicht die absolute Anzahl verlorener, gesunder Lebensjahre innerhalb der betrachteten Studienregion, sondern der Prozentwert verlorener Zeit bezogen auf eine Durchschnittsperson. Ansonsten entspricht die Berechnung dem des *DALY*-Verfahrens, das im Folgenden genauer vorgestellt wird.

Der französische Index nach Baulac beinhaltet die Berechnung des %HA- und %HSD-Anteils für Schienen- und Straßenverkehrslärm bezogen auf alle Einwohner eines lokalen Gebiets, sog. IRIS³ mit einer ca. 2000 Einwohner umfassenden Gebietsgröße. Die %HA- und %HSD-Anteile werden jeweils pro Geräuschquellenart auf eine Skala von 0 bis 10 gebracht und aufaddiert. Anschließend werden kardiovaskuläre Erkrankungen, die Gebäudenutzungsart (z.B. „sensible Gebäude“ wie Schulen, Krankenhäuser) und das Vorhandensein von Grünanlagen additiv als Beitragsfaktoren hinzugezählt. Der Index stellt eine sehr vereinfachte Form einer Gesundheitsbewertung dar. Er kann, da die Ausgangsbasis Gebäude und die Einwohner innerhalb eines Gebäudes sind, für unterschiedliche lokale Gebietsgrößen (z.B. für Neubau-Wohngebiete) berechnet werden und erlaubt prinzipiell auch einen Maßnahmenvergleich. Positiv ist die Berücksichtigung situativer Faktoren wie der Grünanteil und die „Gebäudesensibilität“. Die Berücksichtigung der kardiovaskulären Wirkungen des Straßen- und Schienenverkehrslärms durch einen willkürlich gesetzten Beitragsfaktor erfolgt angesichts der inzwischen bestehenden Befundlage zu verkehrslärmbedingten Erkrankungsrisiken allerdings sehr unzureichend. Das DALY-Verfahren sowie die Berechnung der Anzahl gesundheitlich beeinträchtigter Personen (oder Fälle) zählen zu den wichtigsten Indizes, die im Weiteren genauer vorgestellt werden.

Environmental burden of disease

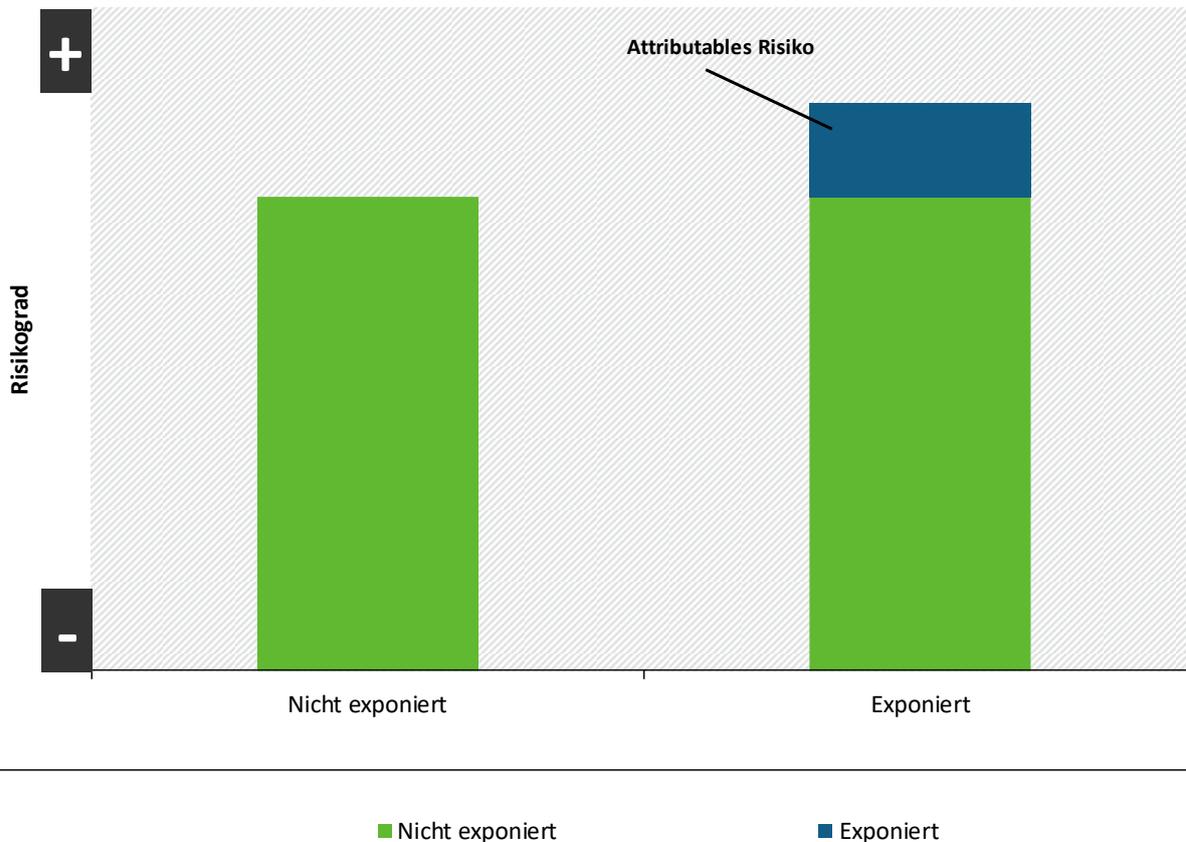
Der Index DALY ist ein gesundheitskorrigiertes Maß der Lebensjahre (HALY, *health-adjusted live years*; Gold, 2002). Es beschreibt die Anzahl verlorener gesunder Lebensjahre (Tobollik, M., Plaß, D., Steckling, N. et al., 2018). DALY ist die Summe der potentiellen Anzahl verlorener Lebensjahre durch vorzeitigen Tod (YLL, *years of life lost*) plus der Anzahl von Lebensjahren gelebt mit einer Gesundheitsbeeinträchtigung (YLD, *years lived with disability/disease*). YLL ergibt sich aus der Anzahl von Todesfällen (in Altersgruppen oder vereinfacht alters- und geschlechtsungewichtet) multipliziert mit der verbliebenen Lebenserwartung in Jahren von Männern bzw. Frauen im Sterbealter (WHO, 2011, 2017). YLD ist das Produkt von inzidenten Erkrankungsfällen, der durchschnittlichen Erkrankungs-/Behinderungsdauer in Jahren und einem Beeinträchtigungsgewicht (*disability weight* - DW), das den Schweregrad der Erkrankung im Wertebereich von 0 (völlig Gesundheit) bis 1 (Tod) ausdrückt. Ein weiterer Adjustierungsfaktor stellt das time discounting dar, das die soziale Präferenz eines gesunden Lebensjahres (höhere Präferenz) jetzt oder in der Zukunft (geringere Präferenz) reflektiert (Prüss-Üstün et al., 2003).

Das positive Gegenstück zum DALY ist das Maß QALY (*quality-adjusted live years*), das die Qualität (im Wertebereich von 0 bis 1) der altersbedingt verbleibenden Lebenserwartung beschreibt. Dieses Maß wird oftmals zur Kosten-Nutzen-Abschätzung von gesundheitsbezogenen Interventionen verwendet (Sassi, 2006). Zur Quantifizierung umweltbedingter Krankheitslasten (*environmental burden of disease*) wird allerdings das DALY-Verfahren verwendet.

Um den Anteil von DALYs zu einer Beeinträchtigung zu bestimmen, der auf einen bestimmten Risikofaktor (hier: Umgebungslärm) zurückzuführen ist, wird das Produkt aus dem DALY und der populationsbezogenen attributablen Fraktion (PAF) bestimmt. Die PAF beschreibt den Anteil der Erkrankung/Beeinträchtigung in der Bevölkerung, der durch den Risikofaktor (Lärm) verursacht wird und über das Risiko der nicht-exponierten Bevölkerung hinausgeht. In absoluter Anzahl ausgedrückt, d.h. mit der Anzahl der Erkrankten in der betrachteten Gesamtpopulation multipliziert, ergibt dies das populationsbezogene attributable Risiko (PAR) – vgl. Abbildung 3.

³ IRIS ist im Französischen das Acronym für aggregierte Einheiten für statistische Informationen (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique). Hier bezieht sich IRIS auf lokale Gebietseinheiten in der Größenordnung von 2000 Einwohnerinnen/Einwohner, in die Frankreich aufgeteilt ist.

Abbildung 3: Populationsbasiertes attributables Risiko



Quelle: Eigene Darstellung nach Prüss-Üstün et al. (2003)

Die PAF ergibt sich aus den in Originalstudien ermittelten relativen risikofaktorbedingten Erkrankungsrisiken (Odds Ratio OR, relative Risks RR) – vgl. Prüss-Üstün, et al., 2003; WHO, 2011. Die Gesundheitsbeeinträchtigung durch Lärm (*Burden of Disease from Environmental Noise, BoDEN*), ausgedrückt in dem durch Lärm verursachten Verlust an gesunden Lebensjahren, ergibt sich also pro Wirkungsbereich wie folgt:

$$BoDEN = PAF * DALY. \quad (2)$$

Das DALY-Maß wird von der WHO u.a. zur regelmäßigen Bestimmung des Global Burden of Disease (GBD), d.h. der Quantifizierung des Gesundheitszustands bzw. Krankheitslast einer Bevölkerung (in Regionen, Staaten) und der verursachenden Risikofaktoren verwendet (u.a. WHO, 2017). Für die Gesundheitswirkungen durch Umgebungslärm wurden Ergebnisse von DALY-Berechnungen für Europa im WHO-Bericht von 2011 veröffentlicht. Die DALY-Berechnungen erfolgten für Herz-Kreislaufkrankungen, kognitive Leistungsbeeinträchtigung von Kindern, Schlafstörungen, Tinnitus und Lärmbelästigung. Ein kritischer Faktor bei der DALY-Berechnung ist die Bestimmung des Beeinträchtigungsgewichts (DW), das im Allgemeinen von Expertengremien festgelegt wird. Für die verschiedenen Gesundheitswirkungen von Lärm werden in der Literatur bezogen auf den europäischen Raum unterschiedliche DW genannt (EEA, 2010; WHO, 2010, 2011, 2012) - Tabelle 3.

Der Vorteil der DALY-Berechnung besteht darin, dass es sich um ein standardisiertes, international etabliertes Verfahren handelt, mit dem verschiedene Wirkungen (z.B. Belästigung, ischämische Herzerkrankungen) in einer nachvollziehbaren, verständlichen „Einheit“ (Verlust an gesunden Lebensjahren) ausgedrückt werden können (WHO, 2011).

Die Verfügbarkeit der Eingangsdaten für die Berechnung der Größen YLL, YLD, DW ist auf lokaler Ebene nicht gegeben, so dass hier bundesländerbezogene oder bundesweite Bevölkerungsangaben als „Standardbevölkerungsangaben“ zugrunde zu legen sind. Damit wird allerdings auch dem Problem begegnet, dass lokale Fluktuationen in der Bevölkerung, die zu Verschiebungen in lokalen DALY-Berechnungen führen würden, unberücksichtigt bleiben können. Allerdings bleibt bei der DALY-Berechnung das Problem, dass gerade für die Berechnung des Verlusts an Lebensjahren Annahmen z.B. zur Dauer von Erkrankungen und Lebenserwartungen erforderlich sind, die Setzungen darstellen und auf lokaler Ebene nicht unbedingt gültig sein müssen. Solange die DALY-Berechnung für Planungszwecke bzw. für einen Maßnahmenvergleich erfolgt, führt dies dennoch zu interpretierbaren Ergebnissen: Die vorzunehmenden Setzungen gelten für alle Planungsszenarien. Damit können diese untereinander verglichen werden. Dennoch wäre eine vereinfachte und möglicherweise auch allgemein verständlichere Lösung denkbar, bei der anstelle verlorener gesunder Lebensjahre die Zahl beeinträchtigter Personen bzw. Fälle berechnet wird und die die „Beeinträchtigungen“ Lärmbelästigung, Schlafstörungen und Erkrankungsfälle einschließt. Mit Hilfe der im DALY-Verfahren angewandten Beeinträchtigungsgewichte können die für die verschiedenen Wirkungsbereiche des Gesamtlärms ermittelten Beeinträchtigungszahlen zu einem Index aufsummiert werden.

Tabelle 3: Beeinträchtigungsgewichte (DW) für verschiedene Gesundheitsbeeinträchtigungen

DW	EEA (2010)	WHO (2010)	WHO (2011)	WHO (2012)
Herzinfarkt (auch als Proxy für ischämische Herzerkrankungen insgesamt)	0,406	0,23 - 0,395	0,405	0,230
Akute Ischämische Herzerkrankungen gesamt	0,350		0,350 - 0,352	
Kognitive Beeinträchtigung von Kindern			0,006	
Schlafstörungen	0,070	0,090	0,070	0,070
Tinnitus			0,120	
Belästigung	0,01 / 0,02		0,02	

Anzahl von Beeinträchtigungsfällen durch Umgebungslärm

Für die durch Umgebungslärm bedingten Belästigungen und Schlafstörungen können die Zahl der beeinträchtigten Personen über Expositions-Wirkungsfunktionen und Bevölkerungszahlen bestimmt werden. Ebenso kann die Zahl von Erkrankungsfällen über Funktionen populationsbasierter Risiken ermittelt werden. Diese getrennt pro Wirkungsbereich berechneten Beeinträchtigungszahlen können einerseits mittels Beeinträchtigungsgewichten aufsummiert werden oder sie können für Planungszwecke getrennt in einem gestuften Scoring-Verfahren dargestellt werden. Ein Beispiel für ein gestuftes Scoring-Verfahren wurde von ACCON (Petz, 2015) im Rahmen der

Lärmaktionsplanung am Flughafen Berlin-Brandenburg vorgeschlagen, mit dem eine Bewertung der Auswirkungen flugbetrieblicher Maßnahmen auf die Belästigung, Schlafstörung und das koronare Herzerkrankungsrisiko durch die Gesamtlärmbelastung im Betrachtungsraum vorgenommen wird. Eggers et al. (2017) haben ebenfalls dieses gestufte Verfahren in abgewandelter Form (ohne Gesamtlärmbetrachtung) zur Bewertung von Flugrouten aus Lärmwirkungssicht angewandt. Im Rahmen dieses Verfahrens wird zunächst die Gesamtlärmbelastung für 24 Stunden und für die Nachtzeit wirkungsbezogen auf den %HA- und %HSD-Anteil nach der VDI 3722-2 ermittelt. Weiterhin wird unter Rückgriff auf Ergebnisse der Metaanalyse von Babisch (2014) das attributive Risiko für koronare Herzerkrankungen durch Straßenverkehrslärm bestimmt. Die weitere Maßnahmenbewertung erfolgt dann gestuft. Zunächst wird der Effekt verschiedener Planungsszenarien (Maßnahmen) auf das attributive Risiko koronarer Herzerkrankungen betrachtet und geprüft, ob die Zahl der Erkrankten das gesetzte Abwägungskriterium von 15% gegenüber der Ausgangsvariante überschreitet (führt zu Ausschluss des Szenarios) bzw. unterschreitet (führt zur Beibehaltung des Szenarios). Verbleiben mehrere Varianten, werden diese anhand der Zahl der hoch Schlafgestörten geprüft. Wird dabei das gesetzte Abwägungskriterium von mindestens 5% Reduzierung gegenüber der Ausgangsvariante von mehreren Varianten eingehalten, werden die verbleibenden Varianten anhand der Zahl der hoch Belästigten und des 5%-Abwägungskriteriums geprüft. Mit dem gestuften Scoring-Vorgehen und der dabei getrennten Betrachtung der verschiedenen Wirkungsbereiche werden (willkürliche) Setzungen vermieden wie sie bei Zusammenfassung der Wirkungsbereiche erforderlich sind. Dazu gehört z.B. die Einführung der Beeinträchtigungsgewichtung (DW). Allerdings gewinnt das gestufte Scoring-Verfahren an Komplexität, je mehr Wirkungen berücksichtigt werden, da dann immer mehr Abstufungsschritte hinzukommen. So wäre es denkbar, neben koronaren Herzerkrankungen auch weitere vaskuläre Erkrankungen wie Schlaganfall einzubeziehen oder auch mit Umgebungslärm assoziierte psychische Erkrankungen wie Depressionen, die in letzter Zeit zunehmend Beachtung finden. Bei mehreren berücksichtigten Krankheiten stellt sich dann die Frage, wie die Reihenfolge der Stufen festzulegen ist.

Ein gestuftes Scoring-Verfahren gelangt schnell an seine Grenzen, je mehr Wirkungsbereiche in die Gesamtlärbewertung einbezogen werden. Dem gegenüber ist ein Summen-Index flexibler, solange es gelingt, verschiedene gesundheitsbezogene Lärmwirkungen auf eine „Einheit“ zu bringen. Diese Einheit sollte ebenso wissenschaftlich fundiert wie praxisgerecht, auf lokaler Ebene anwendbar sein und.

Die in der VDI 3722-2 bereits berücksichtigten Wirkungen Lärmbelästigung (%HA, %A) und (berichtete) Schlafstörungen (%HSD, %SD) haben in Verbindung mit der Einwohnerzahl im Untersuchungsgebiet als gemeinsame „Einheit“ die Anzahl der beeinträchtigten Personen. Sofern entsprechende quantifizierte Expositions-Wirkungsbeziehungen darüber hinaus für Risiken von umgebungslärmrelevanten „Leiterkrankungen“ bereit stehen, können daraus die PAF und schließlich die Zahl der zusätzlich durch Lärm erkrankten Personen im Untersuchungsgebiet (PAR) ermittelt werden. Das PAR wird als Anteil von insgesamt durch die betreffende Krankheit erkrankten Personen im Untersuchungsgebiet berechnet. Sofern keine Gesundheitsdaten aus dem Untersuchungsgebiet vorliegen, kann näherungsweise die allgemeine Prävalenz der betreffenden Erkrankung – etwa aus der bundesdeutschen Gesundheitsberichterstattung des Robert-Koch-Instituts – herangezogen werden.

Liegen Quellenartunterschiede bzgl. der Wirkung von Umgebungslärm auf Erkrankungsrisiken vor, die eine Substitution erforderlich machen, können renommierte Ersatzpegel berechnet werden. Wie bei Schlafstörungen und der Lärmbelästigung sollten sich diese dann auf den Straßenverkehrslärm beziehen. Andernfalls kann eine aktuelle Expositions-Wirkungsfunktion für die Referenzquellenart Straßenverkehrslärm verwendet werden. Im aktuellen systematischen WHO-

Review zu kardiovaskulären und metabolischen Erkrankungsrisiken durch Umgebungslärm (van Kempen et al., 2017, 2018) wird eine Expositions-Wirkungsfunktion zu ischämischen Herzerkrankungsrisiken für Straßenverkehrslärm vorgestellt, da hierzu die Evidenz am robustesten ist. Das relative Risiko (RR) pro 10 dB im L_{DEN} beziffern die Autoren dabei mit $RR = 1,08$ (1,01 – 1,15). Wie oben dargestellt, liegen die relativen Risiken für die anderen Verkehrslärmarten im vergleichbaren Bereich, so dass zur Vereinfachung die ischämischen Herzerkrankungen als Leiterkrankungen verwendet werden können und dabei die als robust erachtete Expositions-Wirkungsbeziehung zum Straßenverkehrslärm zur Berechnung der Zahl der Erkrankungsfälle verwendet werden kann. Bei Verwendung der Expositions-Wirkungsbeziehung für straßenverkehrslärmbedingte ischämische Herzerkrankungen ist zu beachten, dass eine Überlagerung der Verkehrslärmarten nicht thematisiert wird. Dies gilt auch, wenn man die weniger robusten Expositions-Wirkungsbeziehungen zu anderen Umgebungslärmarten aus dem WHO-Review hinzunimmt. Die Frage der Wirkung der Überlagerung der Verkehrslärmarten wird dagegen im Ansatz der epidemiologischen Risikomultiplikation, dargestellt im Abschnitt 2.5, behandelt.

Vorschlag eine für Methodik zur wirkungsbezogenen Bewertung von Gesamtlärm

Für bestimmte lärmpolitische Zielsetzungen kann es sinnvoll sein, die Belästigungs- und Schlafstörungswirkung von Umgebungslärm zusammen mit umgebungslärmbedingten Erkrankungsrisiken zu einem Gesamtindex zur Bewertung der Gesamtlärmwirkung im Rahmen der VDI 3722-2 zusammenzufassen. Hierzu wird in diesem Abschnitt eine Methodik vorgestellt. Zu beachten ist dabei, dass dieser Gesamtlärmwirkungsindex nur für die Verkehrslärmarten Flug-, Schienen- und Straßenverkehr berechnet werden kann, da für übrige Umgebungslärmquellenarten (z.B. Industrie/Gewerbe) nicht zu allen Wirkungsbereichen Expositions-Wirkungsfunktionen vorliegen. Sollen andere Geräuschquellenarten einbezogen werden, wird empfohlen, solange noch keine entsprechenden Forschungsergebnisse vorliegen, zur Berechnung eines Gesamtlärmwirkungsindex für diese weiteren Lärmquellenarten die Expositions-Wirkungsfunktionen für Straßenverkehrslärm zu verwenden.

Die vorgeschlagene Methodik zur Einbindung der Gesundheitsbewertung in die VDI 3722-2 ist dabei unabhängig von der Höhe des anzusetzenden Erkrankungsrisikos und der konkreten Expositions-Wirkungsfunktion. Es können sowohl die Funktionen zu ischämischen Herzerkrankungen durch Straßenverkehrslärm aus dem WHO-Review von van Kempen et al. (2017, 2018) als auch die im Abschnitt 2.5.3 vorgestellten und sonstige Funktionen verwendet werden. Wie dargestellt, geht allerdings das Verfahren der epidemiologischen Multiplikation der Erkrankungsrisiken durch einzelne Verkehrslärmquellenarten über das Konzept der VDI 3722-2 hinaus. Es bildet die Grundlage für weitere Forschung, insbesondere zum Einbezug weiterer Erkrankungsrisiken bzw. Lärmwirkungsbereiche oder Quellenarten des Umgebungslärms in die gesundheitsbezogene Gesamtlärbewertung. Sofern die Beibehaltung der VDI 3722-2 und Erweiterung um die Gesundheitsbewertung nach dem Konzept der Risikomultiplikation vorgesehen ist, wird die Normierung dieses Ansatzes vor Einbindung in die VDI 3722-2 empfohlen.

Grundsätzlich wird für alle Wirkungsbereiche die Verwendung der nach Stand der Lärmwirkungsforschung neuesten, generalisierten Expositions-Wirkungsfunktionen empfohlen.

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung sind dies (vgl. Abschnitt 2.3.6):

- ▶ Für die Lärmbelästigung: Expositions-Wirkungsfunktionen zum %*HA*-Anteil aus dem WHO-Review von Guski et al. (2017);
- ▶ für die berichteten Schlafstörungen: Expositions-Wirkungsfunktionen zum %*HSD*-Anteil aus dem WHO-Review von Basner & McGuire (2018) – hier die Funktionen der kombinierten

%HSD-Abschätzungen anhand von Fragen mit Lärmbezug (Gleichungen 12-14 in Basner & McGuire, 2018, S. 22);

- ▶ für Erkrankungsrisiken: Risikoschätzer zu ischämischen Herzerkrankungen durch Straßenverkehrslärm aus dem WHO-Review von van Kempen et al. (2017, 2018) oder Expositions-Wirkungsfunktionen nach dem Ansatz der epidemiologischen Risikomultiplikation für Herz-Kreislaufkrankungen und depressive Erkrankungen, dargestellt im Abschnitt 2.5.3.

Derzeit wird hierfür der Rückgriff auf die Evidenzreviews zu den im Oktober 2018 erschienenen WHO Noise Guidelines (WHO 2018) empfohlen.

Das Vorgehen für eine Gesamtlärbewertung mittels eines summarischen Indikators wird dabei wie folgt beschrieben

1. Berechnung des Beurteilungspegels für Tag-Abend-Nacht $L_{r,TAN}$ für %HA anhand der jeweils aktuellen verfügbaren Expositions-Wirkungsfunktion (vgl. Abschnitt 2.3.6).
2. Berechnung des Beurteilungspegels für die Nacht $L_{r,N}$ für %HSD anhand der jeweils aktuellen verfügbaren Expositions-Wirkungsfunktion (vgl. Abschnitt 2.3.6).
3. Berechnung der Anzahl der hoch belästigten Personen im Untersuchungsgebiet mit der Funktion aus Schritt 1 für Straßenverkehrslärm multipliziert mit der Einwohnerzahl.
4. Berechnung der Anzahl der hoch schlafgestörten Personen im Untersuchungsgebiet mit der Funktion aus Schritt 2 für Straßenverkehrslärm multipliziert mit der Einwohnerzahl.
5. Berechnung der Anzahl der zusätzlich durch Gesamtlärm erkrankten Personen für ausgewählte Leiterkrankungen (Berechnung populationsattributabler Risiken) auf Basis aktueller robuster relativen Risikoschätzungen für Gesamtlärm bezogen auf den L_{DEN} und Angaben zur Prävalenz der betreffenden Erkrankung im Untersuchungsgebiet oder ersatzweise Prävalenzangaben aus der amtlichen Statistik (regionale, landes- oder bundesweite Gesundheitsberichterstattung). Wie im Abschnitt 2.3.3.1 dargestellt sind noch vertiefende Analysen erforderlich, bevor der im Abschnitt 2.5 dargestellte Ansatz der Risikomultiplikation innerhalb des Verfahrens der VDI 3722-2 angewandt werden kann.
6. Jeweils die Anzahl der hoch Belästigten, Schlafgestörten und zusätzlich Erkrankten werden mit ihrem jeweiligen Beeinträchtigungsgewicht multipliziert und die gewichteten Werte auf ganze Fälle gerundet.
7. Bei Berücksichtigung von mehreren Erkrankungen Auswahl derer mit dem höchsten DW-gewichteten PAR.
8. Summierung zu einem Gesamtindex (alternativ):
 - a. Addition der gewichteten (gerundeten) Anzahlen von Belästigungs-, Schlafstörungen- und (ausgewählten) Erkrankungsfälle zu einem Index der Zahl der durch Gesamtlärm hervorgerufenen Beeinträchtigungsfälle.
 - b. Unter Hinzunahme von Eingangsdaten zu Alter, Lebenserwartung, Dauer der Erkrankung aus der amtlichen Statistik: Berechnung des verlorenen beschwerdefreien Lebens (DALYs).

Grundsätzlich wird empfohlen, in jedem Fall die Beeinträchtigungsfälle pro Umgebungslärmart auszuweisen. Eine gewichtete Aufsummierung (Schritte 6- 8) kann ergänzend erfolgen, wenn es das Ziel ist, zur Komplexitätsreduzierung einen Einzahlwert zur Beschreibung der gesundheitlichen Wirkung von Gesamtlärm zu verwenden. Allerdings birgt die Zusammenfassung von sehr unterschiedlichen Lärmwirkungen methodische Unsicherheiten, die im Abschnitt 2.6.3 näher erläutert werden. Es wird deshalb empfohlen die Beeinträchtigungszahlen (Schritt 8a) bzw. DALYs, d.h. die verlorenen gesunden Lebensjahre (Schritt 8b) weiterhin gesondert pro Wirkungsbereich auszuweisen, damit die einzelnen Beiträge der unterschiedlichen Lärmwirkungen zur Gesamtwirkung transparent werden.

Bei diesem Vorschlag handelt es sich um ein methodisches Gerüst, welches an neue Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung angepasst werden kann und soll. Das im Kapitel 2.5 dieses Gutachtens dargestellte Verfahren der epidemiologischen Risikomultiplikation zur Beschreibung der gesundheitlichen Wirkung von Gesamtlärm kann anstelle der vorläufig vorgeschlagenen Berechnung vom PAR für ischämische Herzerkrankungen anhand von Risikoschätzungen aus dem WHO-Review von van Kempen et al. (2017, 2018) angewandt werden bzw. das Gerüst unterfüttern. Die Zusammenführung der einzelnen Wirkungsgrößen zur Zahl der durch Gesamtlärm hervorgerufenen Beeinträchtigungsfälle, bleibt gleich.

2.3.4 Beurteilung möglicher Interaktionen zwischen den Tages- und den Nachtwirkungen bei verschiedenen Quellenartenkombinationen

Bei Tages- und Nachtwirkungen verschiedener Geräuschquellenarten ist zu beachten,

1. dass sich je betrachteter Wirkungskenngröße unterschiedliche Reihenfolgen in der Beeinträchtigungsstärke ergeben können und
2. dass die Belastungen durch verschiedene Quellenarten zu unterschiedlichen Tageszeiten unterschiedlich intensiv auftreten können, was bei Berechnung eines Gesamtpegels für 24 Stunden ($L_{r,TAN}$) nicht erkennbar wird.

Die dem Substitutionsverfahren gemäß VDI 3722-2 derzeit zugrunde liegenden Expositions-Wirkungskurven zeigen eine Reihung der Beeinträchtigung (Belästigung, Schlafstörung) in der Weise, dass der Fluglärm stärker beeinträchtigt als der Straßenverkehrslärm und der wiederum stärker als der Schienenverkehrslärm. Dies bezieht sich auf in Befragungen berichtete Wirkungen. Untersuchungen, die durch verkehrslärmbedingte Schlafstörungen physiologisch erheben und z.B. zusätzlich durch Lärm induzierte Aufwachreaktionen ermitteln sowie diese auf den Maximalpegel der einzelnen Geräuschereignisse (Überflüge, Vorbeifahrten) beziehen, gelangen zu einem anderen Ergebnis (Griefahn, 2007, Basner et al., 2011, Müller et al., 2010). Danach lösen Schienenverkehrsgeräusche, insbesondere von Güterzügen, stärkere Aufwachreaktionen als Flug- oder Straßenverkehrsgeräusche aus. Zudem konnte in einer Laborstudie des BMBF/BMWI-geförderten Forschungsverbunds „Leiser Verkehr – Lärmwirkungen“ zur Lärmwirkung während des Nachtschlafs (Griefahn, 2007) festgestellt werden, dass die Veränderung der Schlafstruktur bei Einwirkung von Schienenverkehrslärm während des Nachtschlafs am ausgeprägtesten ist: Die Gesamtdauer des Tiefschlafs sowie die Schlaffeffizienz (Verhältnis von Schlafdauer zur Bettzeit) war reduziert und die Gesamtdauer im Leichtschlaf erhöht. Bei den genannten Studien zu lärminduzierten, physiologischen Aufwachreaktionen handelt es sich um experimentelle Labor- und Feldstudien. Aufwandsbedingt wurden diese an kleinen Stichproben und darüber hinaus zur sorgfältigen Kontrolle der Untersuchungssituation und Sicherung der internen Validität (Gültigkeit der Schlussfolgerungen) an schlafgesunden, erwachsenen Personen durchgeführt. Damit verbunden ist der Nachteil dieser Methodik, dass die bevölkerungsweite Generalisierbarkeit (externe Validität) ein-

geschränkt ist. Dennoch kann festgehalten werden, dass die Wahl des Indikators für „Schlafstörungen“ Auswirkungen auf die unterschiedliche Reihung der Beeinträchtigungswirkung der Geräuschquellenarten hat.

Im WHO-Evidenzreview zu den Auswirkungen des Umgebungslärms auf den nächtlichen Schlaf (Basner & McGuire, 2018) werden verschiedene, in Meta-Analysen ermittelte, Expositions-Wirkungsfunktionen vorgestellt:

- ▶ zu polysomnographisch⁴ gemessenen lärminduzierten Aufwachreaktionen durch Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm
- ▶ zu berichteten, lärmbedingten Schlafstörungen
- ▶ zur berichteten Schlafqualität bzw. Schlafstörungen ohne expliziten Lärmbezug.

Je nach Indikator ergeben sich auch in diesem Review unterschiedliche Reihungen in der Beeinträchtigungswirkung der Geräuschquellenarten. Zudem ist das %HSD-Risiko pro 10 dB-Anstieg im L_{night} mal statistisch signifikant, mal nicht, je nachdem, ob die Frageformulierung einen Lärmbezug enthält oder nicht bzw. welche Schlafphase (Einschlaf-, Durchschlaf-, Ausschlafphase) betrachtet wird. Für eine Gesamtlärbewertung kommt noch hinzu, dass polysomnographisch gemessene Schlafstörungen auf den ereignisbezogenen Maximalpegel und nicht auf den L_{night} eines ganzen Nachtzeitraums bezogen werden. Außerdem war es bisher in Feldstudien noch nicht möglich, den Effekt des Zusammenwirkens von Geräuschereignissen verschiedener Geräuschquellenarten mit ihren jeweiligen Maximalpegeln auf den Schlaf zu untersuchen. Hierzu liegen lediglich Laborstudienresultate vor (Basner, 2008).

Die Autoren Basner & McGuire (2018) haben allerdings anhand von Studien mit (verschiedenen) Fragen zu lärmbedingten Schlafstörungen kombinierte Abschätzungen des %HSD-Anteils für die Verkehrslärmarten Luft-, Schienen- und Straßenverkehr vorgenommen. Diese können als „Nachfolge“ oder „Update“ der %HSD-Kurven von Miedema & Vos (2007), die ebenfalls zusammenfassende Abschätzungen anhand unterschiedlicher Fragen zu lärmbedingten Schlafstörungen darstellen, verstanden werden.

Innerhalb der Verfahrensweise der VDI 3722-2 wird also die Verwendung der kombinierten %HSD-Funktionen von Basner und McGuire vorgeschlagen (Formeln 12 bis 14 in Basner & McGuire, 2018, S. 22).

Ein weiterer Aspekt der Interaktionen zwischen Tages- und Nachtwirkungen ist, dass der quellenpezifische $L_{r,TAN}$ aus Kombinationen der Komponenten $L_{r,T}$, $L_{r,A}$ und $L_{r,N}$ bestehen kann, die quellenartentypisch sehr unterschiedlich ausfallen können. Das heißt, während z. B. üblicherweise beim Straßenverkehrslärm der Nachtpegel $L_{r,N}$ gegenüber dem Tagespegel $L_{r,T}$ deutlich geringer ist, fallen die Differenzen zwischen $L_{r,T}$ und $L_{r,N}$ beim Schienenverkehrslärm niedriger aus. So kann z. T. der $L_{r,N}$ beim Schienenverkehrslärm aufgrund nächtlichen Güterzugverkehrs höher als der Tagespegel $L_{r,T}$ sein. Das heißt, es kann die Situation eintreten, dass bei einer Gesamtlärbetrachtung die Hauptbelastung durch Einzelquellenarten in unterschiedlichen Tageszeiten auftritt. Demzufolge wären unter Umständen unterschiedliche Kenngrößen bzw. Bezugszeiten zu wählen, um eine effektbezogene Bewertung des Gesamtlärms vorzunehmen.

⁴ Polysomnographische Messungen bilden ein Verfahren mit dem physiologische Körperfunktionen während des Schlafs untersucht werden. Dazu zählen die Messungen von Hirnströmen mittels EEG (Elektroenzephalografie), Herzrhythmus mittel EKG (Elektrokardiographie), Muskelspannung mittels Elektromyographie (EMG), Augenbewegungen mittels EOG (Elektrookulographie), Atemfluss (Mund, Nase), Sauerstoffgehalt im Blut mittels Pulsoxymetrie und Körperlage/-bewegung mittels Aktimetrie. Aus den Messergebnissen werden nach einem festgelegten Kategoriensystem Schlafstadien und darüber Aufwachreaktionen (Wechsel von Tiefschlafphasen (S3-/S4-Schlafphasen) in den leichtesten Leichtschlaf (sog. S1-Schlaf) oder den Wachzustand).

Empfehlungen zu Interaktionen zwischen den Tages- und den Nachtwirkungen

Der nächtliche Dauerschallpegel allein, kann die akustische Exposition, die eine Wirkung des Lärms auf den nächtlichen Schlaf ausübt, nicht adäquat beschreiben. Es wird daher empfohlen, langfristig für eine Gesamtlärbewertung der Nachtzeit unter der Prämisse, dass eine gute, physiologische Schlafqualität das Hauptschutzziel für diesen Zeitabschnitt ist, Maximalpegelkriterien und hierauf bezogene physiologische Aufwachreaktionen als Kenngrößen in die VDI 3722-2 aufzunehmen. Dazu müssten aber Expositions-Wirkungsfunktionen für zusätzliche, lärmbedingte Aufwachreaktionen aus Feldstudien, in denen die Schlafqualität physiologisch (mittels Polysomnographie) gemessen wurde, für alle einbezogenen Geräuschquellenarten sowie für verschiedene weitere Bevölkerungsgruppen (z.B. Kinder, Personen mit schlafrelevanten Erkrankungen) vorliegen. Außerdem sollte dann definiert sein, welche Kenngröße für den Maximalpegel (z.B. der Schallexpositionspegel SEL) festzulegen und rechnerisch zu ermitteln wäre. Die Gesamtlärbewertung erfolgt hierbei nicht über die Zahl von hoch schlafgestörten oder belästigten Personen, sondern über die Zahl der zusätzlichen, (gesamt-)lärmbedingten Aufwachreaktionen. Dies wurde zum Beispiel in einer Studie zur Einführung eines Maximalpegelkriteriums zur Beurteilung des nächtlichen Schienenverkehrslärms vorgeschlagen (Möhler et al. 2017). Damit werden nur die rein physiologischen Wirkungen nächtlichen Lärms auf den Schlaf erfasst. Weder werden andere physiologische Körperreaktionen, z.B. Veränderungen der Blutgefäße (Schmidt et al., 2015) oder vegetativ-motorische Reaktionen (Müller et al., 2015), die nicht unbedingt mit einem Aufwachen verbunden sind, erfasst, noch die psychischen Wirkungen⁵ (Basner, 2008). Deshalb wird zusätzlich die Beibehaltung des nächtlichen Dauerschallpegels und die hierauf bezogene Ermittlung der Zahl hoch schlafgestörter Personen für die Nachtzeit empfohlen. Die Beibehaltung des nächtlichen Dauerschallpegels wird insbesondere auch empfohlen, solange Expositions-Wirkungskurven für physiologische Aufwachreaktionen nicht für alle in der VDI 3722-2 betrachteten Geräuschquellenarten vorliegen. Bezogen auf den Nacht-Dauerschallpegel wird zudem eine Aktualisierung der in der VDI-Richtlinie enthaltenen Expositions-Wirkungskurven zum %HSD-Anteil durch die Funktionen der kombinierten %HSD-Abschätzungen aus dem WHO-Review von Basner & McGuire empfohlen (s. Abschnitt 2.3.6). Die %SD-Kurve sollte entfallen, da hierzu keine Aktualisierung vorliegt.

Es wird empfohlen, Kenngrößen sowohl auf der Wirkungs- und auch der Expositions-Seite nach den anvisierten Effektzeiten der vorgesehenen Lärminderungsmaßnahmen zu wählen. Maßnahmen, die auf einen Schutz für 24 Stunden eines Tages abzielen bzw. über 24 Stunden wirken, können auch dann in ihren Gesamtlärm-Auswirkungen mit einem Substitutionsverfahren unter Einbezug des $L_{r,TAN}$ und z.B. der Lärmbelästigung als Wirkungsgröße (%A, %HA) bewertet werden, wenn die verschiedenen in die Berechnungen einfließenden Geräuschquellenarten zu verschiedenen Tageszeiten wirken. Maßnahmen, die dagegen auf einen Nachtschutz abzielen (z.B. tageszeitlich begrenzte Betriebsbeschränkungen), werden wiederum mit Expositions-Wirkungsfunktionen für die Nachtzeit bewertet.

2.3.5 Mögliche Einbeziehung des Industrie- und Gewerbelärms in die VDI 3722-2

Die VDI 3722-2 beinhaltet ein Substitutionsverfahren, mit dem der Gesamtlärm aus dem Lärm der drei Quellenarten Luft-, Schienen- und Straßenverkehr wirkungsbezogen bewertet wird. Andere Quellenarten des Umgebungslärms sind bislang VDI 3722-2 unberücksichtigt geblieben. „Umgebungslärm“ bezeichnet hierbei nach der Europäischen Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Richtlinie 2002/49/EG) „unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich

⁵ Bewusstes Erleben nächtlicher lärmbedingter Störungen oder der wahrgenommenen möglichen Folgen von Schlafstörungen wie erhöhte Müdigkeit, Konzentrationsprobleme am Folgetag.

des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Geländen für industrielle Tätigkeiten [...] ausgeht.“ (Artikel 3, Richtlinie 2002/49/EG). Daraus ergibt sich – will man die VDI 3722-2 zur „Wirkung von Verkehrsgeräuschen, Kenngrößen bei Einwirken mehrerer Quellen“ weiterhin für die Gesamtlärbewertung verwenden und zu einer Norm zur „Wirkung von Umgebungslärm, ...“ erweitern – dass weitere Quellenarten wie Industrie- und Gewerbelärm einzubeziehen sind.

Die Quellenart Industrie/Gewerbe ist bislang in die Gesamtlärbewertung nach der VDI 3722-2 nicht eingebunden, da keine metaanalytisch gewonnene, generalisierte Expositions-Wirkungsfunktion zum Industrie- und Gewerbelärm vorliegt. Es liegen allerdings einzelne Originalstudien vor (z.B. Miedema & Vos, 2004b; Pierette et al., 2012), in denen Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Belästigung durch Gewerbelärm vorgestellt werden.

Die VDI 3722-2 zitiert den Bericht der European Environment Agency (EEA, 2010) als Referenz für die quellenbezogenen Expositions-Wirkungsfunktionen von Miedema und Kollegen zur Beeinträchtigung (Belästigung und berichtete Schlafstörungen) durch Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm. Neben den quellenartbezogenen Expositions-Wirkungsfunktionen zur Verkehrslärbelästigung und zu verkehrslärmbedingten berichteten Schlafstörungen werden allerdings im Anhang V des Berichts der EEA (2010, S. 35ff.) auch Expositions-Wirkungsfunktionen vorgestellt, die zur Bewertung der Gesamtlärbelästigung herangezogen werden können. Berücksichtigt werden Verkehrs-, Industrie- und Gewerbelärm sowie Lärm von Windkraftanlagen. Die Funktionen basieren auf dem Verfahren zur Gesamtlärbewertung nach dem Belästigungsäquivalenz-Ansatz (annoyance equivalence model), dargestellt in Miedema (2004).

Im Unterschied zur VDI 3722-2 führt Miedema (2004) allerdings für die von ihm betrachteten Geräuschquellenarten zunächst lineare Vereinfachungen der Expositions-Wirkungsbeziehungen ein anstatt die Originalkurven, z.B. aus Miedema & Oudshoorn, 2001, zu verwenden. Er wählte diese Vorgehensweise, um anschließend anhand der Abstände zwischen den Regressionsgeraden zu den quellenartspezifischen Tag-Abend-Nacht-Pegeln belästigungsäquivalente Zu- und Abschläge bezogen auf die Straßenverkehrslärbelästigung als Referenz definieren zu können. Die mit den belästigungsäquivalenten Zu- und Abschlägen versehenen quellenartspezifischen Pegeln werden anschließend energetisch addiert und der %A bzw. %HA-Anteil für den resultierenden Gesamtlärm anhand der entsprechenden Funktionen für Straßenverkehrslärbelästigung aus Miedema und Oudshoorn (2001) abgeschätzt.

Entsprechende Zu- und Abschläge relativ zum L_{DEN} für Straßenverkehr legt Miedema (2004) für Flug- und Schienenverkehrslärm fest. Für Industrielärm bzw. Lärm stationärer Anlagen gibt Miedema ebenfalls eine lineare Expositions-Wirkungsfunktion relativ zum Straßenverkehrslärm an, verweist aber bei Anwendung dieser Funktion auf das Problem der großen Heterogenität der Belästigung durch Anlagengeräusche und empfiehlt für Rangierlärm, Lärm von saisonalen Betrieben und für sonstigen Industrielärm die Verwendung unterschiedlicher Expositions-Wirkungsfunktionen.

Basis für die von Miedema (2004) genannten Expositions-Wirkungsfunktionen zum %A- und %HA-Anteil durch Anlagengeräusche ist die Studie von Miedema & Vos (2004b). Miedema & Vos (2004b) verweisen auf die sehr geringe Zahl damals verfügbarer Studien zur Belästigung durch Industrie-/Gewerbelärm im Vergleich zu Verkehrslärmwirkungsstudien, die es aufgrund mangelnder Vergleichbarkeit kaum erlauben, eine Metaanalyse zur Abschätzung einer generalisierten Expositions-Wirkungsfunktion durchzuführen. Sie präsentieren Ergebnisse einer Feldstudie mit insgesamt 1875 Befragten, durchgeführt in neun Industriegebieten und im Umfeld von zwei Ran-

gierbahnhöfen in den Niederlanden. Die Methodik zur Bestimmung der Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Anlagenlärm entspricht in der Studie von Miedema & Vos (2004b) der in den Metaanalysen zur Verkehrslärmwirkung (Miedema & Vos, 1998; Miedema & Oudshoorn, 2001).

Die Analyse der Expositions-Wirkungsbeziehungen ergab einen Unterschied in der Lästigkeit. Am stärksten belästigte der Lärm von Rangierbahnhöfen, gefolgt von dem Lärm übriger Industrie und schließlich dem Lärm saisonaler Industrie. Insgesamt sprechen die Ergebnisse von Miedema & Vos (2004b) für eine höhere Lästigkeit der verschiedenen Industriequellenarten im Vergleich zur Belästigung durch Verkehrslärm. Dies gilt insbesondere für den Lärm von Rangierbahnhöfen und von übrigen ganzjährig aktiven Industriebetrieben.

Pierrette et al. (2012) untersuchten die Belästigungswirkung der Kombination von Industrie- und Straßenverkehrslärm und überprüften dabei mehrere Modelle zur Gesamtlärmwirkung. Unter anderem zeigte sich eine geringere Lästigkeit des Industrie- und Gewerbelärms im Vergleich zum Straßenverkehrslärm bezogen auf den L_{DEN} . Außerdem erwies sich das Dominanzmodell („strongest component model“), welches besagt, dass die Gesamtlärmbelästigung dem Maximum der Einzelquellenbelästigungen entspricht, als das Modell mit der besten Vorhersagegüte. Dies wird auch durch andere Studien bestätigt (vgl. Miedema, 2004).

Die Untersuchungen von Miedema und Vos (2004b) und von Pierrette et al. (2012) verweisen auf die Heterogenität von Industrie- und Gewerbelärm. Die Autoren beider Studien geben diese als eine der Begründungen dafür an, warum es für diese Geräuschquellenart noch keine einheitliche, generalisierte Expositions-Wirkungsfunktion gibt.

Im EEA-Bericht von 2010 werden nun folgende Funktionen zur schrittweisen Gesamtlärbewertung auf Basis des Ansatzes von Miedema (2004) vorgeschlagen:

1. Berechnung quellenartspezifischer, belästigungsäquivalenter Beurteilungspegel L_r mit Straßenverkehrslärmbelästigung als Referenz:

Road (Straße):

$$L_{r,m} = L_{den,road} \text{ (Referenz)} \quad (3)$$

Rail (Schiene):

$$L_{r,r} = (2.10 \times L_{den,rail} - 3.1) / 2.22 \quad (4)$$

Air (Flug):

$$L_{r,a} = (2.17 \times L_{den,aircraft} + 15.6) / 2.22 \quad (5)$$

(basierend auf der Expositions-Wirkungskurve von Miedema & Oudshoorn, 2001)

alternativ: Air (Flug):

$$L_{r,a} = (2.05 \times L_{den,aircraft} + 61) / 2.22 \quad (6)$$

(basierend auf einer aktuelleren vorläufigen Expositions-Wirkungskurve von Janssen & Vos, 2009)

Industry (Industrie):

$$L_{r,i} = L_{den,industry} + 3 \quad (7)$$

Shunting yard (Rangierbahnhof) =

$$L_{r,y} = (2.49 \times L_{den,shunt} + 21.2)/2.22 \quad (8)$$

Windturbine (Windenergieanlage):

$$L_{r,wt} = (1.65 \times L_{den,wt} + 41)/2.22 \quad (9)$$

2. Berechnung des Gesamtpegels aus den belästigungsäquivalenten Beurteilungspegel L_r der Einzelquellenarten:

$$L_{den,r} = 10 * \lg \left(\sum_{n=1} 10 \exp\left(\frac{L_{r,n}}{10}\right) \right) \quad (10)$$

mit n = Quellenindex

3. Berechnung von %A bzw. %HA für Gesamtlärm:

Verwendung der Expositions-Wirkungskurven für die Belästigung durch Straßenverkehrslärm (%A, %HA) nach Miedema & Oudshoorn (2001):

$$\%A = 1.795 \times 10^{-4}(L_{r,TAN} - 37)^3 + 2.110 \times 10^{-2}(L_{r,TAN} - 37)^2 + 0.5353(L_{r,TAN} - 37) \quad (11)$$

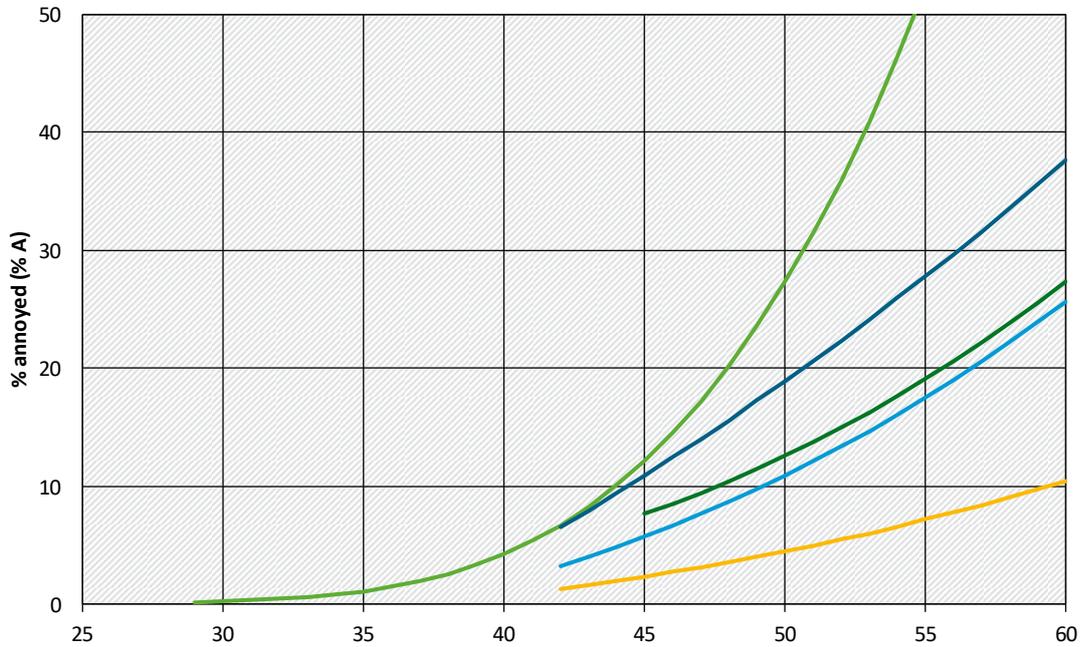
$$\%HA = 9.868 \times 10^{-4}(L_{r,TAN} - 42)^3 - 1.436 \times 10^{-2}(L_{r,TAN} - 42)^2 + 0.5118(L_{r,TAN} - 42) \quad (12)$$

Die belästigungsäquivalenten Zuschläge mit Referenz zur Straßenverkehrslärbelästigung für Flug- und Schienenverkehrslärm basieren auf den Expositions-Wirkungsbeziehungen nach Miedema & Oudshoorn (2001), bzw. beim Fluglärm alternativ auch nach Janssen & Vos (2009). Der Zuschlag beim Industrie- und Rangierlärm beruht auf der Studie von Miedema & Vos (2004b). Woher der Zuschlag beim Windenergieanlagen-Lärm (WEA-Lärm) kommt, geht aus dem EEA-Bericht (2010) nicht hervor. Die Meta-Analyse der Daten von drei WEA-Studien (zwei schwedische Studien, eine niederländische Studie) von Janssen et al. (2011) würde sich als Vergleichsbasis zur Abschätzung eines belästigungsäquivalenten Zuschlags anbieten. Die Funktion im EEA-Bericht und der darin abgebildete Zuschlag gegenüber der Belästigung durch Straßenverkehrslärm zum belästigungsäquivalenten Beurteilungspegel für WEA-Lärm lassen vermuten, dass die Meta-Analyse von Janssen et al. (2011) auch herangezogen wurde (vgl. in Abbildung 4). Darin zeigt sich, dass die %A / HA-Kurven bezogen auf den L_{DEN} (innen) für WEA- Lärm im Vergleich zu anderen

Lärmquellen in niedrigeren Pegelbereichen beginnt und höher ausfallen als z.B. die Kurven für Industrie- und Straßenverkehrslärm.

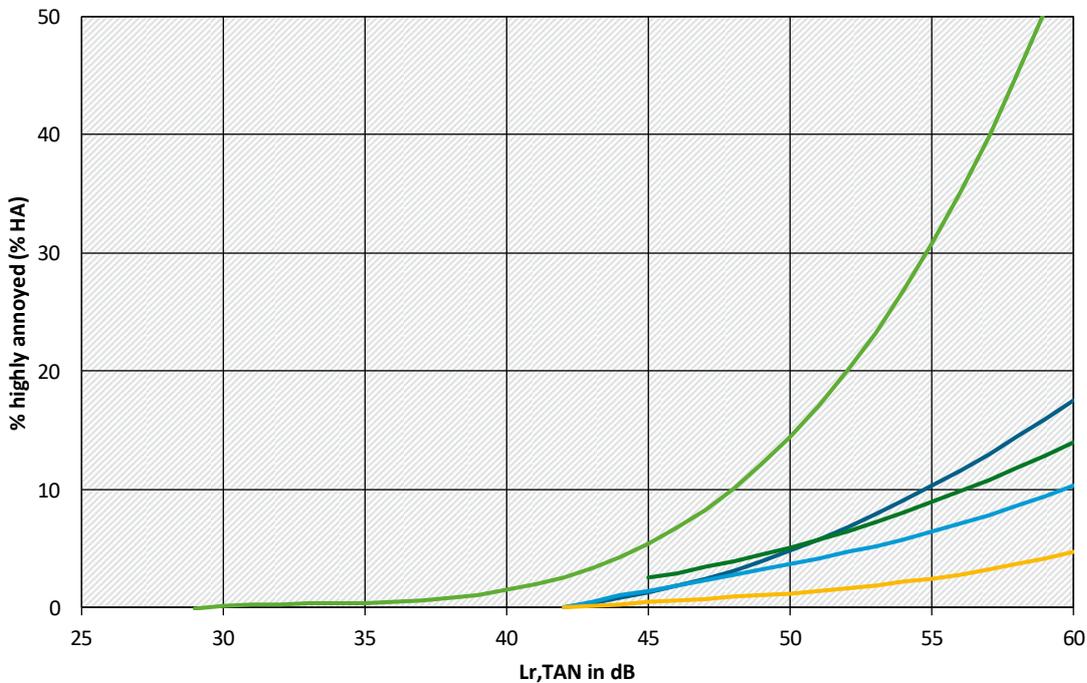
Abbildung 4: Expositions-Wirkungs-Beziehung für den Anteil durch Windenergieanlagen-Lärm belastigter bzw. hoch belastigter Personen

% A durch WEA-Lärm im Vergleich zum Industrie- und Verkehrslärm



Prozentanteil durch WEA-Lärm hoch belastigter Personen (% HA)

% HA durch WEA-Lärm im Vergleich zum Industrie- und Verkehrslärm



— Wind — Luft — Straße — Schiene — Industrie

Quelle: Eigene Darstellung nach Janssen et al. (2011)

Empfehlungen zur Weiterentwicklung der VDI 3722-2 hinsichtlich Industrie- und Gewerbelärms

Für die Weiterentwicklung der VDI 3722-2 wird empfohlen, so lange keine neueren Erkenntnisse vorliegen, die Expositions-Wirkungsfunktionen von Miedema & Vos (2004b) für den %HA-Anteil bezogen auf den Lärm ganzjähriger Industrieanlagen (other industries) zu verwenden. Im aktuellen WHO-Review zur Belästigung durch Umgebungslärm (Guski et al., 2017) werden keine neueren Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Belästigung durch Industrieanlagenlärm vorgestellt; vielmehr wird im Review nach wie vor auf die Studie von Miedema & Vos (2004b) sowie auf die Ergebnisse von Pierrette et al. (2012) verwiesen. Zwar werden von Miedema & Vos (2004b) auch Funktionen für den %A-Anteil vorgestellt, da sich aber die aktuelleren Expositions-Wirkungskurven zur Belästigung durch Verkehrslärmarten (Guski et al., 2017) nur auf den %HA-Anteil beziehen, wird %HA als (alleiniges) Kriterium zur Lärmbelastigung für alle einbezogenen Umgebungslärmarten vorgeschlagen. Die Verwendung der Funktion ist allerdings nur möglich, wenn die Lärmbelastigung allein betrachtet und nicht zusammen mit anderen Wirkungen zu einem Gesamtlärmwirkungsindex zusammengefasst wird. Der Grund ist, dass für die anderen Wirkungen (Schlafstörungen, Erkrankungsrisiken) bislang keine geeigneten Expositions-Wirkungsfunktionen verfügbar sind. Für ein Gesamtlärmwirkungsindex wird ersatzweise empfohlen, für alle Wirkungsbereiche und damit auch sowohl für den %HA-Anteil, als auch %HSD-Anteil die jeweils aktuelle Expositions-Wirkungsfunktion für Straßenverkehrslärm zu verwenden.

Für die Berücksichtigung des Lärms von WEA in der VDI 3722-2 kann die Expositions-Wirkungsfunktion für %HA (innen) aus Janssen & Vos (2011) verwendet werden, sofern nur die Lärmbelastigung betrachtet wird. Im WHO-Review zur Lärmbelastigung (Guski et al., 2016, 2017) werden zum WEA-Lärm keine aktuelleren, generalisierten Expositions-Wirkungskurven zum WEA-Lärm präsentiert. Auch liegen keine entsprechenden aktuellen Expositions-Wirkungsfunktionen für Schlafstörungen vor. Im WHO-Review zur Wirkung von Umgebungslärm auf den Schlaf wird zwar auch der WEA-Lärm behandelt (Basner & McGuire, 2018), allerdings präsentieren die Review-Autoren aufgrund der geringen Anzahl vorliegender Studien und ihrer methodischen Heterogenität keine generalisierte Expositions-Wirkungsfunktion.

Bei einer Gesamtlärmwirkungsindex-Berechnung wird wie beim Industrie- und Gewerbelärm die ersatzweise Verwendung der %HA und %HSD-Funktionen für Straßenverkehrslärm vorgeschlagen.

2.3.6 Aktualisierung der Expositions-Wirkungsfunktionen

Generell gilt die Empfehlung, entsprechend VDI 3722-2, Anlage A1, S. 15, die darin enthaltenen Expositions-Wirkungsbeziehungen periodisch auf Aktualität zu überprüfen. Die für das Update der WHO Noise Guidelines angefertigten systematischen Evidenzreviews zu verschiedenen Lärmwirkungen liegen inzwischen teilweise vor (Lärmbelastigung, Schlafstörungen, kardiovaskuläre metabolische Erkrankungen) oder befinden sich zurzeit im Veröffentlichungsprozess (psychische Beschwerden/Lebensqualität). Diese WHO-Reviews liefern aktuellere Expositions-Wirkungskurven als die etwa für die Lärmbelastigung und Schlafstörungen in der VDI-Richtlinie enthaltenen Miedema-Kurven. Diese aktuellen Funktionen können übernommen werden, zumal auch entsprechende Anpassungen im Anhang III in der EU-Umgebungslärmrichtlinie vorgesehen sind.

Zumindest für Verkehrslärm liegen mit dem aktuellen WHO-Evidenzreview zur Belästigung durch Umgebungslärm (Guski et al., 2017) sowie dem WHO-Review zur Wirkung von Umgebungslärm auf den Schlaf (Basner & McGuire, 2018) aktuelle, meta-analytisch abgeschätzte %HA-Kurven be-

zogen auf den L_{DEN} und %HSD-Kurven bezogen auf den L_{night} für Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm vor. Für ischämische Herzerkrankungen liegen robuste Expositions-Wirkungsbezüge bezogen auf Straßenverkehrslärm vor (van Kempen et al., 2017, 2018).

Für Industrie- und Gewerbelärm kann bei alleiniger Betrachtung des %HA-Anteils die Funktion von Miedema & Vos (2004b) verwendet werden, für Windenergielärm die von Janssen et al. (2011). Bei Berechnung des %HA- und %HSD-Anteils sowie der Erkrankungsrisiken für diese Quellenarten als Teil des Gesamtlärmwirkungsindex sollten ersatzweise die Funktionen für Straßenverkehrslärm verwendet werden (vgl. Abschnitt 2.3.5).

Fluglärm:

$$\%HA = -50.9693 + 1.0168 L_{DEN} + 0.0072 L_{DEN}^2 \quad (13)$$

$$\%HSD = 16.7885 - 0.9293 L_{night} + 0.0198 L_{night}^2 \quad (14)$$

Straßenverkehrslärm:

$$\%HA = 116.4304 - 4.7342 L_{DEN} + 0.0497 L_{DEN}^2 \quad (15)$$

$$\%HSD = 19.4312 - 0.9336 L_{night} + 0.0126 L_{night}^2 \quad (16)$$

$$RR_{\text{ischämische Herzerkrankungen}} = 1.08 \text{ pro } 10 \text{ dB Anstieg im } L_{DEN} \quad (17)$$

mit Startpunkt bei $L_{DEN} = 42 \text{ dB}$

Schienenverkehrslärm:

$$\%HA = 38.1596 - 2.05538 L_{DEN} + 0.0285 L_{DEN}^2 \quad (18)$$

$$\%HSD = 67.5406 - 3.1852 L_{night} + 0.0391 L_{night}^2 \quad (19)$$

**Industrie- und Gewerbelärm
(nur bei alleiniger Berechnung des %HA-Anteils)**

$$\%HA = 36.307 - 1.886 L_{DEN} + 0.02523 L_{DEN}^2 \quad (20)$$

**Windenergieanlagenlärm
(nur bei alleiniger Berechnung des %HA-Anteils)**

$$\%HA_{\text{innen}} = -107.60 + 9.656 L_{DEN} - 0.289 L_{DEN}^2 + 0.002894 L_{DEN}^3 \quad (21)$$

2.4 Weiterentwicklung der VDI 3722-2

Vorbehaltlich einer erforderlichen Diskussion im Normenausschuss werden in der nachfolgenden Tabelle 4 die Änderungsvorschläge für die VDI 3722-2 aufgelistet, die sich aus den vorgenannten Empfehlungen ergeben.

Tabelle 4: Änderungsvorschläge für die VDI 3722-2

ALT	NEU
<p>1 Anwendungsbereich In dieser Richtlinie werden auf der Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen zu einzelnen Quellenarten Verfahren angegeben, die beim Einwirken mehrerer Quellenarten auf die Wohnbevölkerung angewendet werden können. Im Einzelnen werden folgende Verfahren bereitgestellt: ein Verfahren zur Schätzung der Gesamtbelastigung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für die einzelnen Quellenarten, ein Verfahren zur Schätzung der selbst berichteten Gesamtschlafstörungen auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für die einzelnen Quellenarten und ein Hilfsmittel für die schalltechnische Bewertung von Planungsalternativen.</p>	<p>1 Anwendungsbereich In dieser Richtlinie werden auf der Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen zu einzelnen Quellenarten Verfahren angegeben, die beim Einwirken mehrerer Quellenarten auf die Wohnbevölkerung angewendet werden können. Im Einzelnen werden folgende Verfahren bereitgestellt: ein Verfahren zur Schätzung der Gesamtbelastigung auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für die einzelnen Quellenarten, ein Verfahren zur Schätzung der selbst berichteten Gesamtschlafstörungen auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für die einzelnen Quellenarten, ein Verfahren zur Schätzung der zusätzlichen Erkrankungsrisiken durch Gesamtlärm auf Basis wirkungsäquivalenter Mittelungspegel für die einzelnen Quellenarten und ein Hilfsmittel für die schalltechnische Bewertung von Planungsalternativen.</p>
<p>3 Begriffe 3.1 Beeinträchtigung [...] 3.2 Störung [...] 3.3 Belästigung [...] 3.4 Prozent „Belästigte“ (% A) [...] 3.5 Prozent „stark Belästigte“ (% HA) [...] 3.6 Selbst berichtete Schlafstörung [...] 3.7 Prozent „Schlafgestörte“ (% SD) [...] 3.8 Prozent „stark Schlafgestörte“ (% HSD) [...]</p> <p>3.9 Bewertung [...] 3.10 Beurteilung [...] 3.11 Beurteilungsgrößen [...] 3.12 Renormierter Ersatzpegel [...] [...]</p>	<p>3 Begriffe 3.1 Beeinträchtigung [...] 3.2 Störung [...] 3.3 Belästigung [...] 3.4 Prozent „Belästigte“ (% A) [...] 3.5 Prozent „hoch Belästigte“ (% HA) [...] <i>Anmerkung: Seit 2001 gibt es den ICBEN-Standard zur Erfassung der Lärmbelastigung, der u.a. eine 5-stufige Antwortskala mit den Abstufungen (1) „überhaupt nicht...“, (2) „etwas...“, (3) „mittelmäßig...“, (4) „stark...“ und (5) „äußerst gestört oder belästigt“ vorsieht. Bei %HA handelt es sich um den Prozentsatz von Personen, die bei Belästigungsskalen die oberen Antwortstufen angeben (die oberen 28% nach Miedema & Vos, 1998, die oberen 40% nach ICBEN; Fields et al., 2001). Es wird empfohlen in der VDI 3722-2 HA (highly annoyed) mit „hoch belästigt“ zu übersetzen, damit keine Verwechslung zwischen Stufe 4 „stark gestört oder belästigt“ und HA entsteht.</i></p> <p>3.6 Selbst berichtete Schlafstörung [...] 3.7 Prozent „Schlafgestörte“ (% SD) [...] 3.8 Prozent „hoch Schlafgestörte“ (% HSD) [...] <i>Anmerkung: Hier gilt die gleiche Anmerkung wie bei %HA. Um die Bezeichnung „stark schlafgestört“ im Sinne von HSD nicht mit einer Antwortstufe mit der Bezeichnung „stark“ (schlafgestört) zu verwechseln, wird empfohlen „highly“ mit „hoch“ zu übersetzen.</i></p> <p>3.9 Relatives Risiko RR, RR_i Relatives Erkrankungsrisiko, angegeben als RR pro Anstieg im Risikofaktor Gesamtgeräuschbelastung (zumeist pro 10</p>

ALT	NEU
	<p>dB) oder als RR_i = relatives Risiko in der Geräuschbelastungskategorie i im Vergleich zu einer Referenz-Geräuschbelastungskategorie.</p> <p>3.10 Prozent zusätzlich durch Krankheit D_i erkrankter (populationsbezogene attributable Fraktion, PAF) Prozentanteil der Erkrankung in der Bevölkerung, der durch den Risikofaktor Gesamtgeräuschbelastung verursacht wird. Die PAF gibt den Anteil der Krankheitsfälle in der Bevölkerung an, die vermieden werden können, wenn die Exposition des Risikofaktors Gesamtgeräuschbelastung entfällt. Die PAF ergibt sich pro Erkrankungsart D_i aus relativem Risiko pro Geräuschbelastungskategorie und dem Prozentanteil der in der Geräuschbelastungskategorie exponierten Personen. Das Berechnungsverfahren wird im Anhang A beschrieben.</p> <p>3.11 Anzahl von zusätzlich durch Gesamtlärm verursachten Erkrankungsfällen pro Erkrankung D_i (=populationsattributables Risiko, PAR). PAR ist das Produkt von PAF und der im Untersuchungsgebiet insgesamt an Krankheit D_i erkrankten Personen.</p> <p>3.12 Schweregrad der Beeinträchtigung durch Gesamtlärm ('disability'-Gewicht, DW) Gewichtungsfaktor, der den relative Schweregrad der Beeinträchtigung durch Gesamtlärm (Belästigung, Schlafstörung, Erkrankungsrisiko) wiedergibt (WHO, 2011)</p> <p>3.13 Bewertung [...] 3.14 Beurteilung [...] 3.15 Beurteilungsgrößen [...] 3.16 Renormierter Ersatzpegel [...] [...]</p>
<p>3.13 Effektbezogener Substitutionspegel Ergebnis der energetischen Addition der A-bewerteten renormierten Ersatzpegel der Quellenarten: Schienenverkehr und Flugverkehr sowie dem A-bewerteten Pegel des Straßenverkehrs entsprechend</p> $L_{AES} = 10 \lg \left[\sum_j 10^{0,1(L_{x,j}^*)} \right] dB \quad (22)$ <p>Dabei ist $L_{x,j}^*$ A-bewerteter wirkungsbezogener Ersatzpegel des auf Straßenverkehrsgeräusche renormierten Pegels der Quellenart j j Quellenart Straßenverkehr, Schienenverkehr oder Flugverkehr</p> <p>3.14 Geräuschbelastung [...]</p>	<p>3.17 Effektbezogener Substitutionspegel Ergebnis der energetischen Addition der A-bewerteten renormierten Ersatzpegel der Quellenarten: Schienenverkehr, Luftverkehr und Industrie/Gewerbe sowie dem A-bewerteten Pegel des Straßenverkehrs entsprechend</p> $L_{AES} = 10 \lg \left[\sum_j 10^{0,1(L_{x,j}^*)} \right] dB \quad (23)$ <p>Dabei ist $L_{x,j}^*$ A-bewerteter wirkungsbezogener Ersatzpegel des auf Straßenverkehrsgeräusche renormierten Pegels der Quellenart j j Quellenart Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr oder Industrie/Gewerbe</p> <p>3.18 Geräuschbelastung [...] 3.19 Beeinträchtigungsfunktion [...] 3.20 Beeinträchtigungskenngröße [...]</p>

ALT	NEU
<p>3.15 Beeinträchtigungsfunktion [...] 3.16 Beeinträchtigungskenngröße [...] 3.17 Baublock [...] 3.18 Baublockseite [...] 3.19 Bruttogeschossfläche [...] 3.20 Gebäude [...] 3.21 Wohnfläche [...]</p>	<p>3.21 Baublock [...] 3.22 Baublockseite [...] 3.23 Bruttogeschossfläche [...] 3.24 Gebäude [...] 3.25 Wohnfläche [...]</p>
<p>4 Formelzeichen und Abkürzungen [...]</p>	<p>4 Formelzeichen und Abkürzungen [...] PAF = Populationsattributable Fraktion PAR = Populationsattributables Risiko RR = relatives Risiko DW = 'disability'-Gewicht</p>
<p>5.2 Rechenvorschrift Gemäß dem Modell, das die Gesamtbelästigung und die berichtete Gesamtschlafstörung als Resultat der energetisch addierten wirkungsäquivalenten Mittelungspegel der Einzelquellenarten annimmt, werden auf das Straßenverkehrsgeräusch wirkungsäquivalent umgerechnete Pegel addiert. Die Wirkungsäquivalenz wird dadurch ausgedrückt, dass der Prozentsatz der beeinträchtigten Personen (z. B. %HA), bei gegebenem äquivalenten Dauerschallpegel für jede Einzelquelle aus Expositions-Wirkungsbeziehungen geschätzt und auf Ersatzpegel für Straßenverkehrsgeräusche umgerechnet wird. Anschließend werden die Ersatzpegel der Quellenarten energetisch zu einem effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} addiert. Das Verfahren wird in Anhang A erläutert. Bei Vorliegen von neueren Erkenntnissen über Expositions- Wirkungsbeziehungen sollten diese geprüft und können gegebenenfalls entsprechend dem im Anhang A dargestellten Verfahren verwendet werden. Die Beeinträchtigung durch eine Summenbelastung in der Nacht wird wirkungsbezogen anhand der berichteten Schlafstörung vorgenommen. Hierfür liegen Expositions-Wirkungsbeziehungen auf der Basis energieäquivalenter Dauerschallpegel vor (22)</p>	<p>5.2 Rechenvorschrift Gemäß dem Modell, das die Gesamtbelästigung und die berichtete Gesamtschlafstörung als Resultat der energetisch addierten wirkungsäquivalenten Mittelungspegel der Einzelquellenarten annimmt, werden auf das Straßenverkehrsgeräusch wirkungsäquivalent umgerechnete Pegel addiert. Die Wirkungsäquivalenz wird dadurch ausgedrückt, dass der Prozentsatz der beeinträchtigten Personen (z. B. %HA), bei gegebenem äquivalenten Dauerschallpegel für jede Einzelquelle aus Expositions- Wirkungsbeziehungen geschätzt und auf Ersatzpegel für Straßenverkehrsgeräusche umgerechnet wird. Anschließend werden die Ersatzpegel der Quellenarten energetisch zu einem effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} addiert. Das Verfahren wird in Anhang A erläutert. Bei Vorliegen von neueren Erkenntnissen über Expositions- Wirkungsbeziehungen sollten diese geprüft und können gegebenenfalls entsprechend dem im Anhang A dargestellten Verfahren verwendet werden. Die Beeinträchtigung durch eine Summenbelastung in der Nacht wird wirkungsbezogen anhand der berichteten Schlafstörung vorgenommen. Hierfür liegen Expositions-Wirkungsbeziehungen auf der Basis energieäquivalenter Dauerschallpegel vor.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Berechnung des Beurteilungspegels für Tag-Abend-Nacht $L_{r,TAN}$ für %HA anhand der jeweils aktuellen verfügbaren Expositions-Wirkungsfunktion. 2. Berechnung des Beurteilungspegels für die Nacht $L_{r,N}$ mittels %HSD anhand der jeweils aktuellen verfügbaren Expositions-Wirkungsfunktion. 3. Berechnung der Anzahl der hoch belästigten Personen im Untersuchungsgebiet mit der Funktion aus 1 für Straßenverkehrslärm multipliziert mit der Einwohnerzahl. 4. Berechnung der Anzahl der hoch schlafgestörten Personen im Untersuchungsgebiet mit der Funktion aus 2

ALT	NEU
	<p>für Straßenverkehrslärm multipliziert mit der Einwohnerzahl.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Berechnung der Anzahl der zusätzlich durch Gesamtlärm erkrankten Personen für ... [ausgewählte 'Leiterkrankungen'⁶... (Berechnung populationsattributabler Risiken) auf Basis aktueller robuster relativen Risikoschätzungen für Gesamtlärm bezogen auf den L_{DEN} und Angaben zur Prävalenz der betreffenden Erkrankung im Untersuchungsgebiet oder ersatzweise Prävalenzangaben aus der amtlichen Statistik (regionale, landes- oder bundesweite Gesundheitsberichterstattung). 6. Jeweils die Anzahl der (hoch) Belästigten, Schlafgestörten und zusätzlich Erkrankten werden mit ihrem jeweiligen Beeinträchtigungsgewicht multipliziert und die gewichteten Werte auf ganze Fälle gerundet. 7. Bei Berücksichtigung von mehreren Erkrankungen Auswahl derer mit dem höchsten DW-gewichteten PAR. 8. Summierung zu einem Gesamtindex (alternativ): <ol style="list-style-type: none"> a. Addition der gewichteten (gerundeten) Anzahlen von Belästigungs-, Schlafstörungs- und (ausgewählten) Erkrankungsfällen zu einem Index der Zahl der durch Gesamtlärm hervorgerufenen Beeinträchtigungsfälle. b. Unter Hinzunahme von Eingangsdaten zu Alter, Lebenserwartung, Dauer der Erkrankung aus der amtlichen Statistik: Berechnung des verlorenen beschwerdefreien Lebens (DALYs). <p>Grundsätzlich wird empfohlen, in jedem Fall die Beeinträchtigungsfälle pro Umgebungslärmart auszuweisen. Eine gewichtete Aufsummierung (Schritte 6- 8) kann ergänzend erfolgen, wenn es das Ziel ist, zur Komplexitätsreduzierung einen Einzahlwert zur Beschreibung der gesundheitlichen Wirkung von Gesamtlärm zu verwenden. Daneben sollten aber die Beeinträchtigungszahlen pro Wirkungsbereich gesondert ausgewiesen werden, damit die einzelnen Beiträge der unterschiedlichen Lärmwirkungen zur Gesamtwirkung transparent werden.</p>
<p>Anhang A2.1.1 Nach EC/WG1 (2004) kann der Prozentsatz durch eine Geräuschquelle belästigter (% A) und stark be-</p>	<p>Anhang A2.1.1 Nach Guski et al. (2018)¹ kann der Prozentsatz stark belästigter Personen (%HA) im Bereich von 45 dB $\leq L_{r,TAN} \leq 80$ dB für Straßenverkehrsgeräusche, 40 dB $\leq L_{r,TAN} \leq 80$ dB für</p>

⁶ Als Leiterkrankungen können entweder ischämische Herzerkrankungen mit dem Risikoschätzer für Straßenverkehrslärm aus van Kempen (2017, 2018) angewandt auf den Substitutionspegel zur Ermittlung der populationsattributablen Risiken verwendet werden oder – nach Prüfung durch den Normausschuss – die Herzkreislauf- und depressiven Erkrankungen mit den Funktionen nach dem Ansatz der Risikomultiplikation aus Abschnitt 2.5 angewandt auf die Geräuschpegel der Einzelquellenarten.

ALT	NEU
<p>lästiger Personen (% HA) im Bereich von 37 dB oder 42 dB $\leq L_{r,NT} \leq 75$ dB¹⁾ durch folgende Gleichungen bestimmt werden: Belästigter Personen (A) Straßenverkehrsgeräusche:</p> $\%A = 1.795 \times 10^{-4}(L_{r,TAN} - 37)^3 + 2.110 \times 10^{-2}(L_{r,TAN} - 37)^2 + 0.5353(L_{r,TAN} - 37) \quad (24)$	<p>Fluggeräusche - und 40 dB $\leq L_{r,TAN} \leq 85$ dB für Schienenverkehrsgeräusche durch folgende Gleichungen bestimmt werden:</p>
<p>Schienenverkehrsgeräusche:</p> $\%A = 4.538 \times 10^{-4}(L_{r,TAN} - 37)^3 + 9.482 \times 10^{-3}(L_{r,TAN} - 37)^2 + 0.2129(L_{r,TAN} - 37) \quad (25)$	<p>Stark belästigter Personen (HA) Straßenverkehrsgeräusche:</p> $\%HA = 116.4304 - 4.7342 L_{r,TAN} + 0.0497 L_{r,TAN}^2 \quad (32)$
<p>Fluggeräusche:</p> $\%A = 8.588 \times 10^{-6}(L_{r,TAN} - 37)^3 + 1.777 \times 10^{-2}(L_{r,TAN} - 37)^2 + 1.221(L_{r,TAN} - 37) \quad (26)$	<p>Schienenverkehrsgeräusche:</p> $\%HA = 38.1596 - 2.05538 L_{r,TAN} + 0.0285 L_{r,TAN}^2 \quad (33)$
<p>Stark belästigter Personen (HA) Straßenverkehrsgeräusche:</p> $\%HA = 9.868 \times 10^{-4}(L_{r,TAN} - 42)^3 + 1.436 \times 10^{-2}(L_{r,TAN} - 42)^2 + 0.5118(L_{r,TAN} - 42) \quad (27)$	<p>Fluggeräusche:</p> $\%HA = -50.9693 + 1.0168 L_{r,TAN} + 0.0072 L_{r,TAN}^2 \quad (34)$
<p>Schienenverkehrsgeräusche:</p> $\%HA = 7.239 \times 10^{-4}(L_{r,TAN} - 42)^3 + 7.851 \times 10^{-3}(L_{r,TAN} - 42)^2 + 0.1695(L_{r,TAN} - 42) \quad (28)$	<p>Zusätzlich kann – sofern ausschließlich die Gesamtlärmwirkung auf die Lärmbelästigung betrachtet wird - der Prozentsatz stark belästigter Personen (%HA) durch folgende Gleichungen bestimmt werden:</p>
<p>Fluggeräusche:</p> $\%HA = 9.199 \times 10^{-5}(L_{r,TAN} - 42)^3 + 3.932 \times 10^{-2}(L_{r,TAN} - 42)^2 + 0.2939(L_{r,TAN} - 42) \quad (29)$	<p>für Industrie- und Gewerbegeräusche (Miedema & Vos, 2004b):</p> $\%HA = 36.307 - 1.886 L_{r,TAN} + 0.02523 L_{r,TAN}^2 \quad (35)$ <p>im Wertebereich von 42 dB $< L_{r,TAN} < 75$ dB</p>
<p>Für die Bestimmung des auf Straßenverkehrsgeräusche korrigierten $L_{r,TAN}^*$ gilt:</p> $L_{r,TAN}^* = 37 + 0.0003(\%A)^3 - 0.0313(\%A)^2 + 1.4981(\%A) \quad (30)$	<p>Windenergieanlagenlärm (Janssen et al. 2011):</p> $\%HA_{innen} = -107.60 + 9.656 L_{r,TAN} - 0.289 L_{r,TAN}^2 + 0.002894 L_{r,TAN}^3 \quad (36)$ <p>im Wertebereich von 29 dB $< L_{r,TAN} < 50$ dB</p>
$L_{r,TAN}^* = 42 + 0.001(\%HA)^3 - 0.0769(\%HA)^2 + 2.4324(\%HA) \quad (31)$	<p>Für die Bestimmung des auf Straßenverkehrsgeräusche korrigierten $L_{r,TAN}^*$ gilt: $L_{r,TAN}^* = 37 + 0,0003(\%A)^3 - 0,0313(\%A)^2 + 1,4981(\%A)$ $L_{r,TAN}^* = 42 + 0,001(\%HA)^3 - 0,0769(\%HA)^2 + 2,4324(\%HA)$ Für Pegelwerte oberhalb der Wertebereiche der Expositions-Wirkungsfunktionen %HA wird wie folgt linear auch über einen rechnerischen 100%-Anteil hinaus verlängert:</p>
<p>¹⁾ Bei Fluggeräuschen ≤ 65 dB</p>	<p>Straßenverkehrsgeräusche mit $L_{r,TAN} > 80$ dB:</p> $\%HA = 3.019 L_{r,TAN} - 185.845 \quad (37)$
	<p>Schienenverkehrsgeräusche mit $L_{r,TAN} > 85$ dB</p> $\%HA = 2.676 L_{r,TAN} - 158.120 \quad (38)$
	<p>Fluggeräusche mit $L_{r,TAN} > 80$ dB:</p>

ALT	NEU
<p>[6] <i>European Environment Agency: Good practice guide on noise exposure and potenzial health effects</i>. Copenhagen: 2010 (EEA Technical report No 11/2010)</p>	<p>$\%HA = 2.140 L_{r,TAN} - 94.760 \quad (39)$</p> <p>Industrie- und Gewerbegeräusche mit $L_{r,TAN} > 75$ dB:</p> <p>$\%HA = 1.798 L_{r,TAN} - 98.093 \quad (40)$</p> <p>Die Funktionen für die lineare Verlängerung sind von der Wahl der Expositions-Wirkungsfunktion abhängig. Wird eine Expositions-Wirkungsfunktion aktualisiert, ist die zugehörige Verlängerungsfunktion entsprechend anzupassen.</p> <p>Für Pegelwerte unterhalb der unteren Grenze des gültigen Wertebereichs von $L_{r,TAN}$ gilt, dass sie auf den Wert der unteren Grenze von $L_{r,TAN}$ gesetzt werden, wenn die untere Grenze den Nullpunkt von $\%HA$ kennzeichnet. Wird der Nullwert von $\%HA$ nicht erreicht, ist ausgehend vom $L_{r,TAN}$-Wert, bei dem $\%HA$ ein Minimum erreicht, die Expositions-Wirkungsbeziehung bis zum Nullwert von $\%HA$ linear zu verlängern. Der somit erreichte $L_{r,TAN}$-Wert stellt die neue untere Grenze des Wertebereichs von $L_{r,TAN}$ dar. $L_{r,TAN}$-Werte unterhalb dieser neuen Wertebereichsgrenze sind auf den Wert der neuen unteren Grenze von $L_{r,TAN}$ zu setzen.</p> <hr/> <p><i>Guski, R., Schreckenberg, D., Schuemer, R.: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14(12), 1539; doi:10.3390/ijerph14121539.</i></p>
<p>A2.1.2 [...] Für die Bestimmung des auf Straßenverkehrsgeräusche korrigierten $L_{r,N}^*$ gilt:</p> <p>$L_{r,N}^* = 22.086(\%SD)^{0,3211} \quad (41)$</p> <p>$L_{r,N}^* = 31.9(\%HSD)^{0,2615} \quad (42)$</p>	<p>A2.1.2 [Vorgeschlagen wird der Ersatz der bisherigen Funktionen aus Miedema, H.M.E. & Vos H. (2007) durch die Funktionen aus dem WHO-Review von Basner & McGuire (2018)] [...] Für die Bestimmung des auf Straßenverkehrsgeräusche korrigierten $L_{r,N}^*$ gilt im Bereich von 40 dB $\leq L_{r,N} \leq 65$ dB:</p> <p>$L_{r,N}^* = 22,086 (\%SD)^{0,3211}$ $L_{r,N}^* = 31,9 (\%HSD)^{0,2615}$</p> <p>Für Straßenverkehrsgeräusche:</p> <p>$\%HSD = 19.4312 - 0.9336 L_{night} + 0.0126 L_{night}^2 \quad (43)$</p> <p>Für Schienenverkehrsgeräusche:</p> <p>$\%HSD = 67.5406 - 3.1852 L_{night} + 0.0391 L_{night}^2 \quad (44)$</p> <p>Für Fluggeräusche:</p> <p>$\%HSD = 16.7885 - 0.9293 L_{night} + 0.0198 L_{night}^2 \quad (45)$</p>

ALT	NEU
	<p>Für Pegelwerte oberhalb der Wertebereiche der Expositions-Wirkungsfunktionen für %HSD wird wie folgt linear auch über einen rechnerischen 100%-Anteil hinaus verlängert:</p> <p>Wenn $L_{r,N} > 65$ dB:</p> <p>Für Straßenverkehrsgeräusche: $\% HSD = 0,654 L_{r,N} - 30,553$ (46)</p> <p>Für Schienenverkehrsgeräusche: $\% HSD = 1,741 L_{r,N} - 87,569$ (47)</p> <p>Für Fluggeräusche: $\% HSD = 1,565 L_{r,N} - 61,758$ (48)</p> <p>Industrie- und Gewerbegeräusche: Für Industrie und Gewerbegeräusche liegt keine eigene Expositions-Wirkungsfunktion für %HSD vor. Vorläufig wird daher für Industrie- und Gewerbegeräusche die Expositions-Wirkungsfunktion für %HSD durch Straßenverkehrsgeräusche verwendet.</p> <p>Für Pegelwerte unterhalb der unteren Grenze des gültigen Wertebereichs von $L_{r,N}$ gilt, dass sie auf den Wert der unteren Grenze von $L_{r,N}$ gesetzt werden, wenn die untere Grenze den Nullpunkt von %HSD kennzeichnet. Wird der Nullwert von %HSD nicht erreicht, ist ausgehend vom $L_{r,N}$-Wert, bei dem %HSD ein Minimum erreicht, die Expositions-Wirkungsbeziehung bis zum Nullwert von %HSD linear zu verlängern. Der somit erreichte $L_{r,N}$-Wert stellt die neue untere Grenze des Wertebereichs von $L_{r,N}$ dar. $L_{r,N}$-Werte unterhalb dieser neuen Wertebereichsgrenze sind auf den Wert der neuen unteren Grenze von $L_{r,N}$ zu setzen.</p>
<p>A2.1.3 Zusätzlich durch Gesamtlärm erkrankte <i>[bisher nicht enthalten]</i></p>	<p>A2.1.3 Zusätzlich durch Gesamtlärm erkrankte <i>bisher nicht enthalten</i></p> <p><i>[An dieser Stelle sind bei Vorliegen von robusten Expositions-Wirkungsfunktionen zu relativen Erkrankungsrisiken und populationsattributablen Risiken entsprechende Funktionen anzugeben.]</i></p>
<p>A3 Berechnungsbeispiele</p>	<p>A3 Berechnungsbeispiele <i>[Die Berechnungsbeispiele sind entsprechend der neu eingesetzten Expositions-Wirkungsfunktionen anzupassen]</i></p>
<p>Anhang B Beispiele für die Ermittlung von Kenngrößen bei einer Mehrfachbelastung</p>	<p>Anhang B Beispiele für die Ermittlung von Kenngrößen bei einer Mehrfachbelastung <i>[Die Berechnungsbeispiele sind entsprechend der neu eingesetzten Expositions-Wirkungsfunktionen anzupassen]</i></p>

2.5 Ermittlung der Gesamtwirkung von Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm in Bezug auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und psychische Erkrankungen

2.5.1 Einleitung

Die Gesamtlärbewertung durch die VDI 3722-2 berücksichtigt Belästigungen und Schlafstörungen, aber bisher keine verkehrslärmbedingten Erkrankungen. Das vorliegende Pilotprojekt soll einen ersten Vorschlag zu einem Konzept liefern, das Aspekten des Gesundheitsschutzes Rechnung trägt. In dieses Konzept gehen die Diskussionsergebnisse des Gesamtlärmworkshops beim Umweltbundesamt am 03.05.2016 ein. Zunächst werden diesem Konzept vereinfachende Annahmen zum Verlauf der Expositions-Wirkungskurven zwischen Verkehrslärm und Erkrankungsrisiken und zur Interaktion der einzelnen Verkehrslärmarten zugrunde gelegt. Diese Annahmen können in einem größeren Anschlussprojekt gezielt verfeinert werden.

In den gesetzlichen Vorschriften zur Regulierung des Umgebungslärms werden bislang alle Umgebungslärmarten lediglich einzeln betrachtet. Es fehlen sowohl Vorschriften als auch Methoden, wie der Einfluss mehrerer Geräuschquellenarten auf die menschliche Gesundheit adäquat zu erfassen wäre und wie und von welchem Geräuschpegel an gegebenenfalls Schutzvorschriften wirken könnten.

In der VDI-Richtlinie 3722, Blatt 2 werden in einem Beispiel lediglich Schlafstörungen infolge einer Kombination von Straßenverkehrslärm und Schienenverkehrslärm dargestellt. Diesem Beispiel liegt eine nicht näher erläuterte Studie an 289 Personen zugrunde. Angaben über Alter, Geschlecht oder sonstige Merkmale bzw. Art der Rekrutierung der Personen für die dargestellte Studie fehlen. Selbst wenn es sich bei diesen Personen um eine Stichprobe aus der Allgemeinbevölkerung handeln sollte, wäre der Umfang der Studie unzureichend für verallgemeinernde Schlussfolgerungen.

Die Vermeidung von Krankheiten dient – im Unterschied zur Vermeidung allein von Schlafstörungen – unmittelbar der Verwirklichung des grundgesetzlich festgelegten Rechtes auf „körperliche Unversehrtheit“. Es ist daher angezeigt, in die Gesamtlärbewertung (z.B. mittels VDI-Richtlinie) die Risiken für wichtige Erkrankungen einzubeziehen. In den vergangenen Jahren hat eine Vielzahl von epidemiologischen Studien gezeigt, dass häufig vorkommende Krankheiten durch Umgebungslärm induziert werden können. Dazu zählen neben Herz- und Kreislauferkrankungen insbesondere Depressionen. Auch daneben finden sich Hinweise darauf, dass Verkehrslärm zur Entstehung von Demenzerkrankungen, chronischer Niereninsuffizienz, Diabetes mellitus sowie von einigen bösartigen Neubildungen (maligne Lymphome, Leukämien, Brustkrebs der Frau) beitragen kann.

Im Rahmen einer Aktualisierung der VDI 3722-2 ist deswegen eine Berücksichtigung der Erkrankungsrisiken erforderlich, die infolge der Einwirkung von Verkehrslärm auftreten können. Dabei sollte insbesondere auch den Wirkungen nächtlichen Verkehrslärm Rechnung getragen werden.

2.5.1.1 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen dieses Projektes werden die gesundheitlichen Auswirkungen des Zusammentreffens von mehr als einer Geräuschart zunächst auf der Grundlage der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken für das Rhein-Main-Gebiet (Seidler et al. 2016) untersucht. Vergleichbare Untersuchungen werden aktuell auf der Grundlage der Köln-Bonner Studie für die Umgebung des Köln-Bonner Flughafens (Greiser & Greiser 2010) durchgeführt; eine Veröffentlichung der Ergebnisse der Köln-Bonner Studie erfolgt an anderer Stelle.

Tabelle 5 weist die wesentlichen Design-Parameter für die NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main aus.

Tabelle 5: Relevante Design-Parameter der Studie im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main (u.a. Seidler et al. 2016)

Parameter	Region Rhein-Main
Studienpopulation	1.026.658 Versicherte von drei großen gesetzlichen Krankenkassen
Altersgruppen	Männer und Frauen, ab 40 Jahre
Lärmparameter	24 Stunden-Dauerschallpegel
Quellen für Krankheitsparameter	Entlassungsdiagnosen nach stationärer Krankenhausbehandlung, zusätzlich ambulant gestellte Diagnosen
Diagnosen	1. Herzinfarkt, koronare Herzkrankheit, Herzinsuffizienz/hypertensive Herzkrankheit, Schlaganfall 2. Depressionen

Es wird ein Verfahren entwickelt, das unter Berücksichtigung der kombinierten Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen eine Abschätzung der zusätzlich zu erwartenden Erkrankungsfälle (der absoluten Exzess-Risiken) für definierte Verkehrslärmszenarien erlaubt. Damit kann für konkrete Expositionsszenarien vergleichend ermittelt werden, welches Szenario zu der niedrigsten Zahl von Erkrankungsfällen führt.

Generell wird mit „Best Estimates“ aus der einbezogenen Primärstudie gerechnet; die statistische Signifikanz von Einzelergebnissen findet keine Berücksichtigung. Dieses Vorgehen rechtfertigt sich daraus, dass es bei der Abschätzung der Fälle nicht um die Etablierung von Kausalzusammenhängen geht, denn diese wurden bereits ausführlich untersucht und in vielen Publikationen diskutiert. Vielmehr geht es um die bestmögliche Abschätzung der zusätzlich zu erwartenden Erkrankungsfälle („absolute Risiken“), die sich unmittelbar aus den besten Schätzern („Best Estimates“) der relativen Risiken ergeben. Unabhängig von der statistischen Signifikanz stellen die im Rahmen der Regressionsverfahren ermittelten relativen Risikoschätzer immer die „beste“ (wahrscheinlichste) Annäherung an die „tatsächlichen“ Risiken dar.

2.5.2 Fallkontrollstudie im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main

2.5.2.1 Methodik

Folgende vereinfachende Annahmen gehen in die Entwicklung des Verfahrens ein:

Annahme 1: Die Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen den einzelnen Verkehrslärmarten und dem Erkrankungsrisiko an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung bzw. einer Depression lässt sich adäquat mit einem linearen Modell beschreiben.

Begründung: Internationale systematische Reviews mit Metaanalyse (für Straßenverkehrsgeräusche Babisch 2014, für Luft- und Straßenverkehrsgeräusche Vienneau et al. 2015) betrachten ein lineares Modell als adäquat. Dies steht weitgehend im Einklang mit den bisherigen Auswertungen der Köln-Bonner Studie (Greiser & Greiser 2010) wie der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken (Seidler et al. 2016). Lediglich für die depressiven Erkrankungen findet sich in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken beim Luftverkehr und beim Schienenverkehrsgeräusch eine umgekehrte „U-Kurve“. Als Erklärung erscheint ein differenzielles Umzugsverhalten von Lärmbelästigten und nicht Lärmbelästigten vorstellbar; ein derartiger Selektionseffekt sollte allerdings nicht in die Ermittlung der absoluten Exzess-Risiken eingehen. Das bedeutet, dass auch bei den (wenigen) Ausnahmen von einer linearen Expositions-Wirkungsbeziehung die Zugrundelegung eines linearen Modells vertretbar ist.

Annahme 2: Die Interaktion zwischen den einzelnen Verkehrslärmarten hinsichtlich der Entstehung einer Herz-Kreislauf-Erkrankung bzw. einer Depression lässt sich eher mit einem multiplikativen als mit einem additiven Modell beschreiben.

Begründung: Die bisher durchgeführten Interaktionsanalysen im Rahmen der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken ergeben überwiegend keinen statistisch signifikanten Interaktionsterm, also keinen Anhalt für eine Abweichung vom multiplikativen Interaktionsmodell. Bei wenigen Analysen zeigen sich – im Einklang mit der „Bremer Studie“ (Greiser & Greiser 2015) – sogar Hinweise auf eine mehr als multiplikative („übermultiplikative“) Interaktion. Insgesamt erscheint es beim aktuellen Erkenntnisstand also vertretbar, der konventionellen „energetischen Summation“ unterschiedlicher Verkehrslärmquellen das multiplikative Zusammenwirken der einzelnen Verkehrsgeräuscharten im Hinblick auf die beiden untersuchten Erkrankungsgruppen anzunehmen.

Annahme 3: Die Verkehrslärmwirkungen unterscheiden sich nicht relevant zwischen Männern und Frauen bzw. zwischen Älteren und Jüngeren.

Begründung: Eine Effektmodifikation durch das Geschlecht oder durch das Alter ist bisher nicht eindeutig nachgewiesen. Zwar finden sich in der Köln-Bonner Studie (Greiser & Greiser 2010) deutlich höhere Risiken für Jüngere, allerdings zeigt sich im systematischen Review von Vienneau et al. (2015) ein tendenziell höheres Risiko für Ältere. Die bisherigen Auswertungen der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken finden keine einheitlichen Risikounterschiede zwischen Männern und Frauen bzw. zwischen Älteren und Jüngeren. Insgesamt erscheint es also vertretbar, ein gemeinsames Wirkungsmodell für Männer und Frauen zu entwickeln, das nicht nach dem Alter differenziert.

Zur Frage der „Gewichtung“ der einzelnen Verkehrslärmarten

Die bisherigen Studien erlauben keine eindeutige „Gewichtung“ der Verkehrsgeräuscharten hinsichtlich der Höhe der verkehrslärmspezifischen Krankheitsrisiken. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass bisher nur wenige Studien mit gleicher Methodik die Krankheitsrisiken der verschiedenen Verkehrsgeräuscharten untersuchen. In der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken zeigen sich tendenziell höhere Herz-Kreislauf-Risiken für den Schienenverkehrslärm als für den Straßenverkehrslärm und den Fluglärm. In Abhängigkeit von den Modellannahmen (bei Vernachlässigung der Maximalpegel) sind die Fluglärmrisiken überdies tendenziell niedriger als die straßenverkehrsgeräuschbezogenen Risiken. Zu berücksichtigen sind allerdings erheblich niedrigere Expositionsprävalenzen von höheren Fluglärmpegeln im Vergleich zu den Straßenverkehrspegeln und auch zu den Schienenverkehrspegeln. Außerdem findet sich im systematischen Review von Vienneau et al. (2015) eine 4%ige Risikoerhöhung pro 10 dB Straßenverkehrslärm und eine 6%ige Risikoerhöhung pro 10 dB Fluglärm (jeweils auf der Grundlage des L_{DEN}). Im kürzlich veröffentlichten WHO-Review zu ischämischen Herzkrankheiten (van Kempen et al. 2018) wird auf der

Grundlage der Sichtung relevanter Studien bis zum August 2015 ausgehend von methodisch hochwertigen Inzidenzstudien eine 8%ige Risikosteigerung pro 10 dB Straßenverkehrsgeräusch festgestellt. Für Luftverkehr und Schienenverkehr ist die Evidenzlage wesentlich schwächer (siehe van Kempen et al. 2018, Tab. 3). Auch auf der Grundlage des WHO-Reviews lässt sich somit keine eindeutige „Gewichtung“ der Gesundheitsgefährdung durch die einzelnen Verkehrslärmarten ableiten.

In der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken finden sich tendenziell höhere Depressionsrisiken für Fluglärm als für Straßenverkehrslärm und Schienenverkehrslärm (Seidler et al. 2017). Diesbezüglich liegen bisher erst relativ wenige Studien vor, so dass derzeit auch noch keine belastbare Aussage zu verkehrslärmbezogenen Unterschieden der Depressionsrisiken möglich ist.

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Heterogenitäten in den bisherigen Studienergebnissen werden im vorliegenden Pilotprojekt zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt:

In einem ersten Ansatz werden die tatsächlich ermittelten Risiken für die einzelnen Verkehrslärmarten in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken zugrunde gelegt.

In einem zweiten Ansatz wird von gleichen Erkrankungsrisiken für die verschiedenen Verkehrslärmarten ausgegangen. Es wird untersucht, inwieweit die Ergebnisse dieses grob vereinfachten zweiten Ansatzes mit den Ergebnissen des ersten Ansatzes vereinbar sind.

2.5.2.2 Ergebnisse

Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Für die Auswertungen zu den Herz-Kreislauf-Erkrankungen wurden alle Versicherten als Fälle definiert ($n=130.945$), die in den Jahren 2006 bis 2010 eine neue Diagnose einer der folgenden Erkrankungen aufwiesen:

- ▶ Herzinfarkt,
- ▶ Schlaganfall,
- ▶ Herzinsuffizienz und/oder
- ▶ hypertensive Herzkrankheit.

Als Kontrollpersonen wurden alle Versicherten definiert ($n=636.162$), bei denen in den Jahren 2005 bis 2010 keine der vorgenannten Herz-Kreislauf-Erkrankungen diagnostiziert wurde.

In Tabelle 6 sind die Risikoschätzer (Odds Ratios mit 95%-Konfidenzintervallen) für die vorgenannten Erkrankungen bei Exposition gegenüber lediglich einer Verkehrslärmquelle sowie bei kombinierter Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen angegeben. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Form der Darstellung naturgemäß eine sehr grobe ist: Um eine allzu große Zahl an Expositions-kategorien zu vermeiden, wurde lediglich zwischen ≥ 50 dB und < 50 dB Verkehrslärmexposition unterschieden (auf der Grundlage der 24 Stunden-Dauerschallpegel). In einer zusätzlichen Sensitivitätsanalyse wurde ein Cutpoint von 55 dB gewählt (keine Abbildung).

Es finden sich die höchsten Risikoschätzer in Kombinationskategorien (9%ige Risikoerhöhung bei gleichzeitiger Exposition gegenüber ≥ 50 dB Fluglärm und ≥ 50 dB Schienenverkehrslärm bzw. 8%ige Risikoerhöhung bei gleichzeitiger Exposition gegenüber ≥ 50 dB Straßenverkehrslärm und ≥ 50 dB Schienenverkehrslärm). Bei gleichzeitiger Exposition ≥ 50 dB gegenüber allen drei Verkehrslärmarten findet sich (lediglich) eine statistisch nicht signifikante 4%ige Risikoerhöhung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Allerdings ist hier auf die geringe Expositionsprävalenz von 1,7%

unter den Kontrollpersonen hinzuweisen. Wird ein Cutpoint von 55 dB anstelle von 50 dB gewählt (keine Abbildung), dann findet sich bei gleichzeitiger Exposition (≥ 55 dB) gegenüber allen drei Verkehrslärmarten die höchste – allerdings statistisch nicht signifikante – Risikoerhöhung von 33%.

Die Berechnung der Attributivrisiken auf der Grundlage der kategorisierten Lärmpegel (Tabelle 6, rechte Seite) schätzt zunächst den Anteil aller Herz-Kreislauf-Fälle ab, die durch Verkehrslärm bedingt sind. In einem zweiten Schritt werden die durch Verkehrslärm bedingten zusätzlichen Neuerkrankungen in der Rhein-Main-Region an Herzinfarkt, Schlaganfall oder Herzinsuffizienz pro Jahr berechnet, ausgehend von insgesamt 5.580 Neuerkrankungen pro 1 Mill. Einwohner/innen an einer dieser drei Erkrankungen pro Jahr. Die Abschätzung basiert auf einer Herzinfarkt-Inzidenz von 166/100.000 (Mittelwert aus 253/100.000 für Männer und 79/100.000 bei Frauen gemäß RKI 2015), einer Schlaganfall-Inzidenz von 122/100.000 (Mittelwert aus 127/100.000 für Männer und 117/100.000 bei Frauen gemäß RKI 2015) und einer Herzinsuffizienz-Inzidenz von 270/100.000 pro Jahr gemäß Ohlmeier et al. (2015). Damit wird vereinfachend von einem gleich hohen Anteil von Männern und Frauen in der Bevölkerung ausgegangen. Die Inzidenzen werden unter Vernachlässigung von gleichzeitigen Neuerkrankungen an mehreren dieser drei Krankheiten addiert. Schließlich wird das zusätzliche Lebenszeitrisko einer Erkrankung an einer (tödlichen) Kreislauferkrankung abgeschätzt, ausgehend davon, dass 39,7% aller Todesursachen auf eine Kreislauferkrankung zurückzuführen sind (Robert-Koch-Institut 2015, S. 21).

Die Abschätzung der Attributivrisiken ergibt, dass sich 3,8% der Herz-Kreislauf-Erkrankungsfälle auf Verkehrslärm zurückführen lassen: 3,0% auf die Exposition gegenüber genau einer Verkehrslärmquelle und 0,8% auf die gleichzeitige Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen. Obwohl in der untersuchten Population nur etwa 13% der Menschen gegenüber einer Kombination mehrerer Verkehrslärmquellen exponiert sind, ist gut ein Fünftel (21%) der Herz-Kreislauf-Erkrankungsfälle auf die Kombination mehrerer Verkehrslärmquellen zurückzuführen.

Die abgeschätzte Zahl der zusätzlichen Herz-Kreislauf-Erkrankungsfälle pro 1 Million Einwohner und Einwohnerinnen des Rhein-Main-Gebiets pro Jahr beträgt 218; davon werden 168 zusätzliche Krankheitsfälle auf die Exposition gegenüber genau einer Verkehrslärmquelle zurückgeführt, 50 auf die Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen gleichzeitig.

Das zusätzliche Risiko für den Tod an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung („Lebenszeitrisko“) beträgt auf der Grundlage dieser Abschätzung 14,5/1.000 Personen in der Rhein-Main-Region: 11,5/1.000 zusätzliche Todesfälle werden durch die Exposition gegenüber genau einer Verkehrslärmquelle bedingt, 3,0/1.000 auf die Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen gleichzeitig.

Tabelle 6: Kombinierte Exposition gegenüber verschiedenen Verkehrslärmarten und Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen⁷

Expositionskategorie (24 Stunden-Dauerschallpegel)	Fälle	%	Kontroll- perso- nen	%	OR ⁸	95%-CI	Attribu- ta- bles Risiko	Zusätzliche Herz-Kreis-lauf- Erkran- kungen pro 1 Mill. Ein- woh- ner/Jahr ⁹	Zusätzliches Le- benszeitrisiko ¹⁰ ei- ner tödlichen Kreis- lauferkrank- ung bei 1.000 Menschen
<40dB Verkehrslärm und nächtliche Maximalpegel. Flug- lärm <50dB	7.682	5,9%	35.057	5,5%	1,00	-			
≥40dB mindestens eine Verkehrslärmquelle und/oder nächtlicher Maximalpegel Fluglärm ≥50dB	51.897	39,6%	243.301	38,2%	1,03	1,00-1,06	1,2%		
≥50 dB Fluglärm, anderer Verkehrslärm <50 dB	3.203	2,4%	15,428	2,7%	0,95	0,90-1,00	-0,1%		
≥50 dB Straßenverkehrslärm, anderer Verkehrslärm <50 dB	41.544	31,7%	185,502	32,6%	1,05	1,02-1,08	1,5%		
≥50 dB Schienenverkehrslärm, anderer Verkehrslärm <50 dB	10.288	7,9%	44,365	7,5%	1,05	1,01-1,09	0,4%		
≥50 dB Fluglärm und ≥50 dB Straßenverkehrslärm	3.365	2,6%	15,772	2,8%	1,02	0,97-1,07	0,1%		
≥50 dB Fluglärm und ≥50 dB Schienenverkehrslärm	1.626	1,2%	6,280	1,3%	1,09	1,02-1,16	0,1%		

⁷ Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzinsuffizienz/hypertensive Herzkrankheit

⁸ OR: Odds Ratio; adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung und Berufsgruppe (sofern verfügbar), regionaler Anteil der Personen mit Leistungsbezug nach SGB II; 95%-CI: 95%-Konfidenzintervalle

⁹ Abgeschätzt werden die zusätzlich durch verkehrslärmbedingten Neuerkrankungen in der Rhein-Main-Region an Herzinfarkt, Schlaganfall oder Herzinsuffizienz pro Jahr, ausgehend von insgesamt 5.580 Neuerkrankungen pro 1 Mill. Einwohner/innen an einer dieser drei Erkrankungen pro Jahr. Die Abschätzung basiert auf einer Herzinfarkt-Inzidenz von 166/100.000 (Mittelwert aus 253/100.000 für Männer und 79/100.000 bei Frauen gemäß RKI 2015), einer Schlaganfall-Inzidenz von 122/100.000 (Mittelwert aus 127/100.000 für Männer und 117/100.000 bei Frauen gemäß RKI 2015) und einer Herzinsuffizienz-Inzidenz von 270/100.000 pro Jahr gemäß Ohlmeier et al. (2015). Damit wird vereinfachend von einem gleich hohen Anteil von Männern und Frauen in der Bevölkerung ausgegangen. Die Inzidenzen werden unter Vernachlässigung von gleichzeitigen Neuerkrankungen an mehreren dieser drei Krankheiten addiert.

¹⁰ Ausgegangen wird von einem absoluten „Grund-Lebenszeitrisiko“ (ohne verkehrslärmbedingte Herz-Kreislauf-Erkrankungen) von 382 pro 1.000 Menschen

Expositionskategorie (24 Stunden-Dauerschallpegel)	Fälle	%	Kontroll- perso- nen	%	OR ⁸	95%-CI	Attribu- tables Risiko	Zusätzliche Herz-Kreis-lauf- Erkran-kungen pro 1 Mill. Ein- woh-ner/Jahr ⁹	Zusätzliches Le- benszeitrisiko ¹⁰ ei- ner tödlichen Kreis- lauferkrank-ung bei 1.000 Menschen
≥50 dB Straßenverkehrslärm und ≥50 dB Schienenver- kehrslärm	9.555	7,3%	42,371	7,6%	1,08	1,04-1,12	0,5%		
≥50 dB Fluglärm und ≥50 dB Straßenverkehrslärm und ≥50 dB Schienenverkehrslärm	1.785	1,4%	8,544	1,7%	1,04	0,98-1,11	0,1%		
Insgesamt							3,8%	212	14,5/1.000
durch einzelne Verkehrslärmarten bedingt							3,0%	167	11,5/1.000
durch kombinierten Verkehrslärm bedingt							0,8%	45	3,0/1.000

Auf der Grundlage der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken ergibt sich für Fluglärm eine 1,0%ige Erhöhung der Herz-Kreislauf-Risiken pro 10 dB Fluglärm; die entsprechende Risikoerhöhung beträgt für den Straßenverkehrslärm 2,4% pro 10 dB und für den Schienenverkehrslärm 3,6% pro 10 dB (Tabelle 7).

Tabelle 7: Risikoerhöhung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen¹¹ pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)

Verkehrslärmart	Exposition	Risikosteigerung (OR) pro 10 dB	95% CI
Fluglärm	$L_{Aeq,24h}$	1,0%	-0,8 – 2,8%
Straßenverkehrslärm	$L_{Aeq,24h}$	2,4%	1,6 – 3,3%
Schienenverkehrslärm	$L_{Aeq,24h}$	3,6%	2,4 – 4,7%

Die energetische Summation von Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm¹² ergibt bei der gemeinsamen (Gleich-)Betrachtung der drei Verkehrslärmarten eine Risikosteigerung von 2,9% pro 10 dB Verkehrslärm (Tabelle 8, 1. Auswertung). Das vorgenannte Modell dient im Folgenden als „Grundmodell“. Es wird untersucht, ob andere Modelle (insbesondere die „epidemiologische Risikomultiplikation“) eine deutlich bessere Modellanpassung („Modellgüte“) aufweisen.

Da sich in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken im Vergleich mit dem Straßenverkehrslärm geringere Herz-Kreislauf-bezogene Risikosteigerungen für den Fluglärm und höhere Risikosteigerungen für den Schienenverkehrslärm finden, werden in weiteren Analysen „Boni“ für den Fluglärm und „Mali“ für den Schienenverkehrslärm¹³ vergeben (Tabelle 8, 2. und 3. Auswertung). Bei Vergabe von „Boni“ und „Mali“ verbessert sich die Modellanpassung um etwa 7 AIC-Punkte.¹⁴

Die „epidemiologische Risikomultiplikation“ wird wie folgt umgesetzt: Zunächst werden die Risikoschätzer der drei Verkehrslärmarten für alle in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken vorkommenden Pegelkombinationen multipliziert. In einem ersten Ansatz wird von einem gleichen Risiko für alle drei Verkehrslärmarten ausgegangen. Für die Herz-Kreislauf-Erkrankungen wird das „mittlere“ Risiko des Straßenverkehrslärms¹⁵ (2,4% Risikoanstieg pro 10 dB) als Ausgangsrisiko gewählt. In einem zweiten Ansatz werden die „echten“ Risiken aus den separaten Model-

¹¹ Die Zusammenfassung der einzelnen Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu einer Gesamtgruppe und die Berechnung der linearen Risikosteigerungen mit einem Startpunkt von 40 DB wurde eigens für die vorliegende Pilotstudie neu durchgeführt

¹² Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (Gesamtlärmpegels) bei energetischer Summation mit Gleichbehandlung der drei Verkehrslärmarten (1. Auswertung) lautet wie folgt: $Gesamtlärmpegel = 10 \times \lg(10^{Fluglärm/10} + 10^{Straßenverkehrslärm/10} + 10^{Schienenverkehrslärm/10})$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

¹³ Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (Gesamtlärmpegels) bei energetischer Summation mit Vergabe eines Abschlags für Fluglärm und eines Aufschlags für Schienenverkehrslärm (2. und 3. Auswertung) lautet wie folgt: $Gesamtlärmpegel = 10 \times \lg(10^{Fluglärm-Abschlag/10} + 10^{Straßenverkehrslärm/10} + 10^{Schienenverkehrslärm/10 + Aufschlag/10})$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

¹⁴ Das AIC (Akaike's information criterion) stellt ein Maß dar, mit dem sich die Gültigkeit eines statistischen Modells (die Anpassungsgüte) für einen gegebenen Datensatz untersuchen lässt. Je kleiner der Wert des AIC ist, desto besser passt das Modell auf die Daten. Dabei lässt sich die Höhe der Punktwerte nicht unmittelbar interpretieren. Weiterführende Literatur: Burnham KP, Anderson DR. Model Selection and Multimodel Inference. 2. Aufl., Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg 2002

¹⁵ Das Vorgehen der epidemiologischen Risikomultiplikation bei den Depressionen (siehe nächstes Kapitel) ist entsprechend; allerdings wird hier von dem „mittleren“ Risiko des Schienenverkehrslärms (5,8% Risikoanstieg pro 10 dB) ausgegangen, und auch der „risikoäquivalente“ Gesamtlärmpegel ist hier auf den Schienenverkehrslärm bezogen.

len mit Einbezug von nur jeweils einer Verkehrslärmquelle (1,0% Risikoanstieg pro 10 dB Fluglärm, 2,4% pro 10 dB Straßenverkehrslärm, 3,6% pro 10 dB Schienenverkehrslärm) multipliziert. Im nächsten Schritt wird für jede Pegelkombination derjenige Pegelwert berechnet, der bei Multiplikation der Risiken durch die drei Verkehrslärmquellen dem Risiko bei ausschließlicher Exposition gegenüber Straßenverkehrslärm entsprechen würde¹⁶. Dieses „Pegeläquivalent“ wird im Folgenden auch als „risikoäquivalenter“ Straßenverkehrslärmpegel bezeichnet. Für alle Fälle und Kontrollpersonen werden diese Pegeläquivalente in das logistische Regressionsmodell einbezogen, und es wird der Risikoanstieg pro 10 dB berechnet. In der nachfolgenden Ergebnistabelle 8¹⁷ wird beispielhaft das höchste in der NORAH-Fallkontrollstudie erreichte Pegeläquivalent angegeben; weiterhin wird angegeben, welcher (höchste) Risikoanstieg sich für diesen höchsten Pegeläquivalent-Wert ergibt.

Im Vergleich mit der energetischen Summation der Lärmpegel finden sich für die epidemiologische Risikomultiplikation deutlich bessere Modellanpassungen (Tabelle 8, gelb schraffierte AIC-Werte): Beim Vergleich mit dem Grundmodell führt die epidemiologische Risikomultiplikation¹⁸ bei Gleichbehandlung der Verkehrslärmarten (ausgehend von einem 2,1%igen Risikoanstieg pro 10 dB Verkehrslärm; Tabelle 8, 4. Auswertung) zu einer Verbesserung der Modellanpassung um etwa 12 AIC-Punkte. Beim Vergleich mit den nach Verkehrslärmart differenzierenden Modellen führt die epidemiologische Multiplikation der „tatsächlich“ beobachteten verkehrslärmspezifischen Risiken¹⁹ (ausgehend von einem 2,1%igen Risikoanstieg pro 10 dB Verkehrslärm; Tabelle 8, 5. Auswertung) zu einer Verbesserung der Modellanpassung um etwa 22 AIC-Punkte. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Höhe des Risikoanstiegs nicht unmittelbar zwischen „energetischem Summationsmodell“ und „epidemiologischem Risikomultiplikationsmodell“ zu vergleichen ist. Denn es ergeben sich bei epidemiologischer Risikomultiplikation teilweise deutlich höhere Pegeläquivalentwerte. Daher kann bei Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmarten die errechnete Risikosteigerung bei epidemiologischer Risikomultiplikation deutlich über der errechneten Risikosteigerung bei energetischer Summation des Geräuschpegels liegen. So beträgt im energetischen Summationsmodell die höchste errechnete Risikosteigerung 15%²⁰. Im epidemiologischen Risikomultiplikationsmodell beträgt die höchste errechnete Risikosteigerung 22%²¹. In der Tendenz finden sich also bei gemeinsamer Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmarten bei epidemiologischer Risikomultiplikation höhere Risiken als bei energetischer Summation. Dabei sind die attributiven Risiken vergleichbar: Etwa 3,6 bis 3,9% aller Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind den vorgenannten Berechnungen zufolge auf Verkehrslärm zurückzuführen, unabhängig davon, ob ein energetisches Summationsmodell oder ein epidemiologisches Risikomultiplikationsmodell angewendet wird (Tabelle 8, rechte Spalte).

¹⁶ Bei den Depressionen wird entsprechend der Gesamtpegelwert auf eine „risikoäquivalente“ alleinige Schienenverkehrslärmexposition bezogen.

¹⁷ Bzw. entsprechend für die Depressionen in der Tabelle 11

¹⁸ Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (bezogen auf das äquivalente Straßenverkehrslärmrisiko) bei epidemiologischer Risikomultiplikation mit Gleichbehandlung der drei Verkehrslärmarten (4. Auswertung) lautet wie folgt: Pegeläquivalent = $10 \times ((\lg_{10}(1,024^{\text{Fluglärm}/10^{-4}} \times 1,024^{\text{Straßenverkehrslärm}/10^{-4}} \times 1,024^{\text{Schienenverkehrslärm}/10^{-4}}) / \lg_{10}(1,024)) + 4)$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

¹⁹ Die Formel zur Berechnung des „Pegeläquivalents“ (bezogen auf das äquivalente Straßenverkehrslärmrisiko) bei epidemiologischer Risikomultiplikation mit Risikodifferenzierung zwischen den drei Verkehrslärmarten (5. Auswertung) lautet wie folgt: Pegeläquivalent = $10 \times ((\lg_{10}(1,010^{\text{Fluglärm}/10^{-4}} \times 1,024^{\text{Straßenverkehrslärm}/10^{-4}} \times 1,036^{\text{Schienenverkehrslärm}/10^{-4}}) / \lg_{10}(1,024)) + 4)$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

²⁰ bei einer Kombination von 44,9 dB Fluglärm, und 50,5 dB Straßenverkehrslärm und 83,9 dB Schienenverkehrslärm unter Berücksichtigung eines 10 dB-Abschlags für Fluglärm und eines 10 dB-Aufschlags für Schienenverkehrslärm; Tabelle 8, 2. Spalte von rechts

²¹ bei einer Kombination von 47,0 dB Fluglärm, und 71,2 dB Straßenverkehrslärm und 80,7 dB Schienenverkehrslärm ausgehend von einer 1,0%igen Risikosteigerung pro 10 dB für Fluglärm, einer 2,4%igen Risikosteigerung pro 10 dB für Straßenverkehrslärm und einer 3,6%igen Risikosteigerung für Schienenverkehrslärm; bei Einbezug des „risikoäquivalenten“ Straßenverkehrslärmpegels in das logistische Regressionsmodell

Tabelle 8: Risikoerhöhung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)

Verkehrslärm ($L_{Aeq,24h}$)	Anpassung der Geräuschpegel	Höchstes errechnetes „Pegeläquivalent“	Risikosteigerung pro 10 dB Pegel (-äquivalent) (95% CI)	Errechneter Risikoanstieg beim höchsten Pegeläquivalent	AIC-Differenz zum „Grundmodell“	Errechnetes attributables Risiko
--------------------------------	-----------------------------	--	---	---	---------------------------------	----------------------------------

Energetische Summation von Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärm

„Grundmodell“	Nein	85,7 dB	2,9% (2,0% - 3,8%)	14%	-	3,6%
	Fluglärm 5 dB Abschlag, Schienenverkehrslärm 5 dB Aufschlag	88,9 dB	2,9% (2,1% - 3,7%)	15%	-7,0	3,7%
	Fluglärm 10 dB Abschlag, Schienenverkehrslärm 10 dB Aufschlag	93,9 dB	2,7% (1,9% - 3,4%)	15%	-7,7	3,9%

Risikobezogene Multiplikation

	Gleichbehandlung der Verkehrslärmarten, ausgehend von 2,4% Risikoanstieg	119,2 dB ²²	2,1% (1,6% - 2,7%)	19%	-12,0	3,5%
	„Echte“ Risiken aus den separaten Modellen: 1,0% Risikoanstieg Fluglärm, 2,4% Straße und 3,6% Schiene); Risikosteigerung bezogen auf Straßenverkehrslärm	134,8 dB ²³	2,1% (1,6% - 2,6%)	22%	-22,1	3,6%

Depressive Erkrankungen

Für die Auswertungen zu den depressiven Erkrankungen wurden alle Versicherten als Fälle definiert ($n=77.295$), die in den Jahren 2006 bis 2010 eine neue Diagnose einer der folgenden Erkrankungen aufwiesen:

- ▶ Depressive Episode (ICD-10 F32.-),
- ▶ Rezidivierende depressive Störung (ICD-10 F33.-),

²² Umgerechnet auf die „Lärmwirkung“ von Straßenverkehrslärm: der höchste errechnete Pegeläquivalentwert gibt denjenigen Straßenverkehrslärmpegel an, der bei alleiniger Straßenverkehrslärmexposition mit dem errechneten höchsten Risikoanstieg bei kombinierter Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen verbunden wäre.

²³ Umgerechnet auf die „Lärmwirkung“ von Straßenverkehrslärm: der höchste errechnete Pegeläquivalentwert gibt denjenigen Straßenverkehrslärmpegel an, der bei alleiniger Straßenverkehrslärmexposition mit dem errechneten höchsten Risikoanstieg bei kombinierter Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen verbunden wäre.

- ▶ Dysthymia (ICD-10 F34.1),
- ▶ Angst und depressive Störung, gemischt (ICD-10 F41.2).

Als Kontrollpersonen wurden alle Versicherten definiert (n=578.246), bei denen in den Jahren 2005 bis 2010 keine depressive Erkrankung diagnostiziert wurde.

In Tabelle 9 sind (entsprechend der Darstellung bei den Herz-Kreislauf-Erkrankungen) die Risikoschätzer für eine depressive Erkrankung für die Exposition gegenüber lediglich einer Verkehrslärmquelle sowie für die kombinierte Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen angegeben. Es finden sich die höchsten Risikoschätzer bei gleichzeitiger Exposition gegenüber allen drei Verkehrslärmarten (42%ige Risikosteigerung) und bei gleichzeitiger Exposition gegenüber ≥ 50 dB Fluglärm und ≥ 50 dB Schienenverkehrslärm (28%ige Risikosteigerung) sowie gegenüber ≥ 50 dB Straßenverkehrslärm und ≥ 50 dB Schienenverkehrslärm (21%ige Risikosteigerung).

Die Berechnung der Attributivrisiken schätzt wiederum zunächst den Anteil aller depressiven Erkrankungen ab, die durch Verkehrslärm bedingt sind. In einem zweiten Schritt werden die verkehrslärmbedingten jährlichen depressiven Erkrankungen (12-Monats-Prävalenz) in der Rhein-Main-Region berechnet, ausgehend von insgesamt 60.000 Erkrankungen pro 1 Mill. Einwohner/innen pro Jahr gemäß Robert-Koch-Institut (2010). Es ist darauf hinzuweisen, dass in der Gesundheitsberichterstattung des Bundes aus dem Jahr 2015 (Robert-Koch-Institut 2015) von einer höheren 12-Monats-Prävalenz ausgegangen wird; diesbezüglich sind die vorliegenden Ergebnisse als eine eher konservative Abschätzung anzusehen. Weiterhin wird von einem Lebenszeitrisiko für eine Depression von 13% ausgegangen (Robert-Koch-Institut 2010).

Die Abschätzung der Attributivrisiken ergibt, dass sich etwa 10% der depressiven Erkrankungen auf Verkehrslärm zurückführen lassen: 7,6% auf die Exposition gegenüber einer Verkehrslärmquelle und 2,5% auf die gleichzeitige Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen. Obwohl in der untersuchten Population nur etwa 13% der Menschen gegenüber einer Kombination mehrerer Verkehrslärmquellen exponiert sind, ist etwa ein Viertel (25%) der depressiven Erkrankungen auf die Kombination mehrerer Verkehrslärmquellen zurückzuführen.

Die abgeschätzte Zahl der jährlichen zusätzlichen depressiven Erkrankungen pro 1 Million Einwohner/innen des Rhein-Main-Gebiets beträgt 6.060; davon werden 4.560 zusätzliche Krankheitsfälle auf die Exposition gegenüber (genau) einer Verkehrslärmquelle zurückgeführt, 1.500 auf die Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen gleichzeitig.

Das zusätzliche Lebenszeitrisiko für eine Depression beträgt auf der Grundlage dieser Abschätzung 11,8/1.000 Personen in der Rhein-Main-Region: 8,9/1.000 zusätzliche Depressionen werden durch die Exposition gegenüber (genau) einer Verkehrslärmquelle bedingt, 2,9/1.000 auf die Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen gleichzeitig.

Tabelle 9: Kombinierte Exposition gegenüber verschiedenen Verkehrslärmarten und Depressionsrisiko

Expositionskategorie (24 Stunden-Dauerschallpegel)	Fälle	%	Kontrollpersonen	%	OR ²⁴	95%-CI	Attributables Risiko	Zusätzliche Depressionen pro 1 Mill. Einwohner/Jahr ²⁵	Zusätzliches Lebenszeitrisiko ²⁶ bei 1.000 Menschen
<40dB Verkehrslärm und nächtliche Maximalpegel . Fluglärm<50dB	3,994	5,2%	33,632	5,8%	1,00	-			
≥40dB mindestens eine Verkehrslärmquelle und/oder nächtl. Maximalpegel Fluglärm ≥50dB	29,408	38,0%	225,394	39,0%	1,09	1,05-1,13	3,1%		
≥50 dB Fluglärm, anderer Verkehrslärm <50 dB	2,092	2,7%	15,428	2,7%	1,15	1,08-1,22	0,4%		
≥50 dB Straßenverkehrslärm, anderer Verkehrslärm <50 dB	25,227	32,6%	185,502	32,1%	1,12	1,08-1,16	3,5%		
≥50 dB Schienenverkehrslärm, anderer Verkehrslärm <50 dB	5,737	7,5%	44,365	7,7%	1,08	1,04-1,13	0,6%		
≥50 dB Fluglärm und ≥50 dB Straßenverkehrslärm	2,073	2,7%	15,772	2,7%	1,12	1,06-1,19	0,3%		
≥50 dB Fluglärm und ≥50 dB Schienenverkehrslärm	1,076	1,4%	6,280	1,3%	1,28	1,19-1,38	0,3%		
≥50 dB Straßenverkehrslärm und ≥50 dB Schienenverkehrslärm	6,280	8,1%	42,371	7,3%	1,21	1,16-1,26	1,4%		
≥50 dB Fluglärm und ≥50 dB Straßenverkehrslärm und ≥50 dB Schienenverkehrslärm	1,408	1,8%	8,544	1,5%	1,42	1,33-1,52	0,5%		

²⁴ OR: Odds Ratio; adjustiert für Alter, Geschlecht, städtische Wohnumgebung, Bildung und Berufsgruppe (sofern verfügbar), regionaler Anteil der Personen mit Leistungsbezug nach SGB II; 95%-CI: 95%-Konfidenzintervalle

²⁵ Abgeschätzt werden die jährlich zusätzlich durch Verkehrslärm bedingten Erkrankungen an einer Depression in der Rhein-Main-Region (12-Monats-Prävalenz), ausgehend von insgesamt 60.000 Erkrankungen pro 1 Mill. Einwohner/innen pro Jahrgemäß RKI (2010). Weiterhin wird von einem Lebenszeitrisiko für eine Depression von 13% ausgegangen (RKI 2010).

²⁶ Ausgegangen wird von einem absoluten „Grund-Lebenszeitrisiko“ (ohne verkehrslärmbedingte Depressionen) von 117 pro 1.000 Menschen.

Expositionskategorie (24 Stunden-Dauerschallpegel)	Fälle	%	Kontroll- perso- nen	%	OR ²⁴	95%-CI	Attribu- tables Risiko	Zusätzliche De- pressionen pro 1 Mill. Einwoh- ner/Jahr ²⁵	Zusätzliches Lebens- zeitrisiko ²⁶ bei 1.000 Menschen
Insgesamt							10,1%	6.060	11,8/1.000
durch einzelne Verkehrslärmarten bedingt							7,6%	4.560	8,9/1.000
durch kombinierten Verkehrslärm bedingt							2,5%	1.500	2,9/1.000

Auf der Grundlage der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken ergibt sich für Fluglärm eine 13,0%ige Erhöhung der Depressionsrisiken pro 10 dB Fluglärm (ausgehend von der vereinfachten Annahme eines linearen Risikoverlaufs); die entsprechende Risikoerhöhung beträgt für den Straßenverkehrslärm 4,1% pro 10 dB und für den Schienenverkehrslärm 5,8% pro 10 dB (Tabelle 10).

Tabelle 10: Risikoerhöhung pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)

Verkehrslärmart	Exposition	Risikosteigerung (OR) pro 10 dB	95% CI
Fluglärm	$L_{Aeq,24h}$	13,0%	10,7 – 15,4%
Straßenverkehrslärm	$L_{Aeq,24h}$	4,1%	3,1 – 5,0%
Schienenverkehrslärm	$L_{Aeq,24h}$	5,8%	4,5 – 7,1%

Die energetische Summation von Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm ergibt bei der gemeinsamen (Gleich-)Betrachtung der drei Verkehrslärmarten²⁷ eine Risikosteigerung von 4,8% pro 10 dB Verkehrslärm (Tabelle 11, 1. Auswertung). Das vorgenannte Modell dient im Folgenden wiederum als „Grundmodell“. Es wird untersucht, ob andere Modelle (insbesondere die „epidemiologische Risikomultiplikation“) eine deutlich bessere Modellanpassung („Modellgüte“) aufweisen.

Da sich in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken im Vergleich mit dem Straßenverkehrs- und dem Schienenverkehrslärm höhere depressionsbezogene Risikosteigerungen für den Fluglärm finden, werden in weiteren Analysen „Abschläge“ für den Fluglärm vergeben (Tabelle 11, 2. und 3. Auswertung). Bei Vergabe eines „Abschlags“ von 10 dB für den Fluglärm²⁸ verbessert sich die Modellanpassung um etwa 9 AIC-Punkte.

Im Vergleich mit der energetischen Summation der Lärmpegel finden sich auch für die Depressionsrisiken deutlich bessere Modellanpassungen für die epidemiologische Risikomultiplikation: Beim Vergleich mit dem Grundmodell führt die epidemiologische Risikomultiplikation bei Gleichbehandlung der Verkehrslärmarten²⁹ (ausgehend von einem 4,7%igen Risikoanstieg pro 10 dB Verkehrslärm; Tabelle 11, 4. Auswertung) zu einer erheblichen Verbesserung der Modellanpassung um über 100 AIC-Punkte. Beim Vergleich mit den nach Verkehrslärmart differenzie-

²⁷ Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (Gesamtlärmpegels) bei energetischer Summation mit Gleichbehandlung der drei Verkehrslärmarten (1. Auswertung) lautet wie folgt: Gesamtlärmpegel = $10 \times \lg_{10}(10^{\text{Fluglärm}/10} + 10^{\text{Straßenverkehrslärm}/10} + 10^{\text{Schienenverkehrslärm}/10})$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

²⁸ Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (Gesamtlärmpegels) bei energetischer Summation mit Vergabe eines Aufschlags für Fluglärm (2. und 3. Auswertung) lautet wie folgt: Gesamtlärmpegel = $10 \times \lg_{10}(10^{\text{Fluglärm}/10 + \text{Aufschlag}/10} + 10^{\text{Straßenverkehrslärm}/10} + 10^{\text{Schienenverkehrslärm}/10})$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

²⁹ Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (bezogen auf das äquivalente Schienenverkehrslärmrisiko) bei epidemiologischer Risikomultiplikation mit Gleichbehandlung der drei Verkehrslärmarten (4. Auswertung) lautet wie folgt: Pegeläquivalent = $10 \times ((\lg_{10}(1,058^{\text{Fluglärm}/10 - 4} \times 1,058^{\text{Straßenverkehrslärm}/10 - 4} \times 1,058^{\text{Schienenverkehrslärm}/10 - 4}) / \lg_{10}(1,058)) + 4)$; dabei werden Lärmpegel < 40 dB auf 40 dB gesetzt.

renden Modellen führt die epidemiologische Multiplikation der „tatsächlich“ beobachteten verkehrslärmspezifischen Risiken^{30 31} zu einer Verbesserung der Modellanpassung um deutlich über 100 AIC-Punkte. Es ist auch an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Höhe des Risikoanstiegs nicht unmittelbar zwischen „energetischem Summationsmodell“ und „epidemiologischem Risikomultiplikationsmodell“ zu vergleichen ist. Es ergeben sich bei epidemiologischer Risikomultiplikation teilweise deutlich höhere Pegeläquivalentwerte. Daher kann bei Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmarten die errechnete Risikosteigerung bei epidemiologischer Risikomultiplikation deutlich über der errechneten Risikosteigerung bei energetischer Lärmpegelsummutation liegen. So beträgt im energetischen Summationsmodell die höchste errechnete Risikosteigerung für Depressionen 37%³², im epidemiologischen Risikomultiplikationsmodell 47%³³. In der Tendenz finden sich also bei gemeinsamer Exposition gegenüber mehreren Verkehrslärmarten bei epidemiologischer Risikomultiplikation wiederum höhere Risiken als bei energetischer Risikosummutation. Dabei sind die attributiven Risiken von der Größenordnung her vergleichbar (Tabelle 11, rechte Spalte).

³⁰ Die Formel zur Berechnung des Pegeläquivalents (bezogen auf das äquivalente Schienenverkehrslärmrisiko) bei epidemiologischer Risikomultiplikation mit Risikodifferenzierung zwischen den drei Verkehrslärmarten (5. Auswertung) lautet wie folgt: Pegeläquivalent = $10 \times ((\lg_{10}(1,130^{\text{Fluglärm}/10 - 4} \times 1,041^{\text{Straßenverkehrslärm}/10 - 4} \times 1,058^{\text{Schienenverkehrslärm}/10 - 4}) / \lg_{10}(1,058)) + 4)$; dabei werden Lärmpegel <40 dB auf 40 dB gesetzt.

³¹ ausgehend von einem mittels logistischer Regressionsanalyse errechneten 4,6%igen Risikoanstieg pro 10 dB Verkehrslärm; Tabelle 11, 5. Auswertung

³² bei einer Kombination von <40 dB Fluglärm und 85,7 dB Straßenverkehrslärm und <40 dB Schienenverkehrslärm unter Berücksichtigung eines 10 dB-Aufschlags für Fluglärm; Tabelle 11, 2. Spalte von rechts

³³ bei einer Kombination von 61,3 dB Fluglärm und 53,4 dB Straßenverkehrslärm und 70,7 dB Schienenverkehrslärm ausgehend von einer 13,0%igen Risikosteigerung pro 10 dB für Fluglärm, einer 4,1%igen Risikosteigerung pro 10 dB für Straßenverkehrslärm und einer 5,8%igen Risikosteigerung für Schienenverkehrslärm; bei Einbezug des „risikoäquivalenten“ Schienenverkehrslärmpegels in das logistische Regressionsmodell

Tabelle 11: Risikoerhöhung bei Depressionen pro 10 dB Verkehrslärm (Startpunkt: 40 dB)

Verkehrslärm (L _{Aeq,24h})	Anpassung der Lärmpegel	Höchstes errechnetes Pegeläquivalent	Risikosteigerung pro 10 dB Gesamtlärmpegel (95% CI)	Errechneter Risikoanstieg beim höchsten Pegel bzw. Pegeläquivalent	AIC-Differenz zum „Grundmodell“	Errechnetes attributables Risiko
--------------------------------------	-------------------------	--------------------------------------	---	--	---------------------------------	----------------------------------

Energetische Summation von Flug-, Straßenverkehrs-, Schienenverkehrslärm

„Grundmodell“	Nein	85,7 dB	4,8% (3,7% - 5,8%)	24%	-	5,9%
	Fluglärm 5 dB Aufschlag	85,7 dB	5,7% (4,5% - 6,9%)	29%	+0,2	7,9%
	Fluglärm 10 dB Aufschlag	85,7 dB	7,2% (5,7% - 8,7%)	37%	-9,1	11,3%

Risikobezogene Multiplikation

	Gleichbehandlung der Verkehrslärmarten, ausgehend von 5,8% Risikoanstieg	119,2 dB ³⁴	4,7% (4,0% - 5,3%)	44%	-108,6	7,8%
	„Echte“ Risiken aus den separaten Modellen: 13,0% Risikoanstieg Fluglärm, 4,1% Straße und 5,8% Schiene); Risikosteigerung bezogen auf Schienenverkehrslärm	126,3 dB ³⁵	4,6% (4,0% - 5,2%)	47%	-138,3	7,9%

2.5.3 Entwicklung eines Algorithmus zur Abschätzung absoluter Exzess-Risiken bei gegebenen Mittelungspegeln gegenüber Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm

Auf der Grundlage der Ergebnisse der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken für das Rhein-Main-Gebiet (Seidler et al. 2016) lässt sich erkennen, dass die „energetische Summation“ von Lärmpegeln sowohl die Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken wie auch die Depressionsrisiken teilweise deutlich unterschätzt. Die „epidemiologische Risikomultiplikation“ wird in der vorgenannten Studie den Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken wie auch den Depressionsrisiken besser gerecht.

Auf der Grundlage der vorliegenden Auswertung lässt sich ableiten: Aus den besonders hohen Risiken bei Kombinationsbelastung gegenüber mehreren Verkehrslärmträgern resultiert ein be-

³⁴ Umgerechnet auf die „Lärmwirkung“ von Schienenverkehrslärm: der höchste errechnete Pegeläquivalentwert gibt denjenigen Schienenverkehrslärmpegel an, der bei alleiniger Schienenlärmmexposition mit dem errechneten höchsten Risikoanstieg bei kombinierter Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen verbunden wäre

³⁵ Umgerechnet auf die „Lärmwirkung“ von Schienenverkehrslärm: der höchste errechnete Pegeläquivalentwert gibt denjenigen Schienenverkehrslärmpegel an, der bei alleiniger Schienenlärmmexposition mit dem errechneten höchsten Risikoanstieg bei kombinierter Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen verbunden wäre

sonderer Präventionsbedarf. Verkehrsplanerische Maßnahmen sollten die besonders hohen Risiken bei gleichzeitiger Exposition der Wohnbevölkerung gegenüber mehreren Verkehrslärmquellen berücksichtigen.

Im Folgenden wird ein Algorithmus vorgeschlagen, der ausgehend von den Ergebnissen der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken bei gegebenen Mittelungspegeln gegenüber Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm eine Berechnung der absoluten Exzess-Risiken, also der zu erwartenden zusätzlichen Fälle von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Depressionen ermöglicht. Als wesentliche Voraussetzung für die Anwendung dieses Algorithmus müssen für alle Adressen der jeweils zugrunde gelegten Population die adressgenauen Fluglärm-, Straßenverkehrslärm- und Schienenverkehrslärmpegel bekannt sein.

Die Abschätzungen konkreter verkehrslärmbedingter Fallzahlen unterliegen beim jetzigen Forschungsstand noch hohen Unsicherheiten. Insofern kann der nachfolgende Algorithmus lediglich beispielhaft das Vorgehen illustrieren. Einen wesentlichen Nutzen kann der Algorithmus darin haben, die resultierenden Verursachungswahrscheinlichkeiten bei unterschiedlichen Verkehrslärmszenarien miteinander vergleichen zu können. Unter der Voraussetzung eines epidemiologisch multiplikativen Zusammenwirkens der einzelnen Verkehrslärmarten kann dem Vergleich der Verursachungswahrscheinlichkeiten – mit dem Ziel der Minimierung der Verursachungswahrscheinlichkeit – damit verkehrsplannerische Bedeutung zukommen. Es soll aber deutlich darauf hingewiesen werden, dass zur Absicherung insbesondere der Berechnung konkreter verkehrslärmbedingter Fallzahlen noch weitere große epidemiologische Untersuchungen sowie systematische Reviews mit Metaanalysen vorliegender Studien erforderlich sind. Es ist durchaus zu erwarten, dass der Algorithmus zur Berechnung konkreter verkehrslärmbedingter Fallzahlen auf der Grundlage künftiger epidemiologischer Untersuchungen noch modifiziert werden muss. In zukünftigen verfeinerten Analysen sollten insbesondere in Regionen mit einer hohen Nachtlärmexposition spezifische Nachtlärmrisiken Berücksichtigung finden.

2.5.3.1 Algorithmus zur Abschätzung der verkehrslärmbedingten Zahl von Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Der nachfolgende Algorithmus basiert zunächst auf „gleichen“ Risiken für die drei einbezogenen Verkehrslärmquellen. Tatsächlich erlaubt die bisherige Erkenntnislage nicht, den einzelnen Verkehrslärmarten unterschiedliche Risikoschätzer zuzuordnen. Während in der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken die Risikoschätzer für Schienenverkehrslärm am höchsten sind, kommt beispielsweise in der Köln-Bonner Studie dem Straßenverkehrslärm das höchste Risiko zu. Im Folgenden wird einheitlich von einer 2,4%igen Risikosteigerung pro 10 dB Verkehrslärm (ohne Differenzierung zwischen den einzelnen Verkehrslärmarten) ausgegangen.

Gegeben sei eine definierte Region mit n Einwohnerinnen und Einwohnern.

Für jede Einwohnerin und jeden Einwohner wird zunächst der Gesamtlärmpegel wie folgt berechnet:

Gesamtlärmpegel =

$$10 \times \left(\frac{\lg_{10} \left(1,024^{\frac{\text{Fluglärm}}{10} \cdot 4} \times 1,024^{\frac{\text{Straßenverkehrslärm}}{10} \cdot 4} \times 1,024^{\frac{\text{Schienenverkehrslärm}}{10} \cdot 4} \right)}{\lg_{10}(1,024)} + 4 \right)$$

(49)

dabei werden Lärmpegel <40 dB auf 40 dB gesetzt.³⁶

Im nächsten Schritt wird für jeden Einwohner und jede Einwohnerin die theoretische „**Verursachungswahrscheinlichkeit**“ **PC** wie folgt berechnet:

$$PC = \left(1,021^{\frac{\text{Gesamtlärmpegel}}{10}-4} - 1\right) / \left(1,021^{\frac{\text{Gesamtlärmpegel}}{10}-4}\right) \quad (50)$$

dabei gibt die 1,021 die Risikosteigerung pro 10 dB Gesamtlärmpegel an

Die Summe aus den PC-Werten aller Einwohner und Einwohnerinnen wird durch n geteilt. Es ergibt sich das **verkehrslärmbezogene Attributivrisiko**, also der Anteil aller Herz-Kreislauf-Erkrankungen, der auf Verkehrslärm zurückgeführt werden kann. Wenn verschiedene Verkehrsszenarien mit einander in Bezug auf die geringste gesundheitliche Belastung verglichen werden, gilt es, das Attributivrisiko zu minimieren.

Entsprechend dem oben dargestellten Verfahren lässt sich bei **bekanntem Krankheitsinzidenzen in der entsprechenden Region durch Multiplikation mit dem Attributivrisiko** die Zahl der Herz-Kreislauf-Erkrankungen abschätzen³⁷, die auf Verkehrslärm zurückgeführt werden kann.

2.5.3.2 Algorithmus zur Abschätzung der verkehrslärmbedingten Zahl von Depressionen

Auch zur Berechnung der absoluten Depressionsrisiken wird zunächst von „gleichen“ Risiken für die drei einbezogenen Verkehrslärmquellen ausgegangen. Einheitlich wird eine 5,8%ige Risikosteigerung pro 10 dB Verkehrslärm (ohne Differenzierung zwischen den einzelnen Verkehrslärmarten) angenommen

Gegeben sei eine definierte Region mit n Einwohnerinnen und Einwohnern

Für jeden Einwohner und jede Einwohnerin wird zunächst der Gesamtlärmpegel wie folgt berechnet:

Gesamtlärmpegel =

$$10 \times \left(\frac{\lg_{10} \left(1,058^{\frac{\text{Fluglärm}}{10}-4} \times 1,058^{\frac{\text{Straßenverkehrslärm}}{10}-4} \times 1,058^{\frac{\text{Schienenverkehrslärm}}{10}-4} \right)}{\lg_{10}(1,058)} + 4 \right) \quad (51)$$

dabei werden Lärmpegel <40 dB auf 40 dB gesetzt.³⁸

Im nächsten Schritt wird für jeden Einwohner und jede Einwohnerin die theoretische „**Verursachungswahrscheinlichkeit**“ **PC** wie folgt berechnet:

³⁶ Es ist darauf hinzuweisen, dass die Wahl des „Nulleffektes“ die Abschätzung der Attributivrisiken beeinflusst. Insofern gilt der vorgeschlagene Algorithmus streng genommen nur unter der Voraussetzung, dass eine echte „Schwelle“ bei 40 dB liegt (dass also unterhalb dieser Schwelle keine verkehrslärmbedingten Herz-Kreislauf-Erkrankungen auftreten).

³⁷ Als grundsätzliche Einschränkung ist darauf hinzuweisen, dass die tatsächlichen Effekte einer Exposition (hier also des Verkehrslärms) aufgrund multivariater Interdependenzen zwischen verschiedenen (nicht lärmbezogenen) Einflussfaktoren geringer ausfallen können.

³⁸ Es ist darauf hinzuweisen, dass die Wahl des „Nulleffektes“ die Abschätzung der Attributivrisiken beeinflusst. Insofern gilt der vorgeschlagene Algorithmus streng genommen nur unter der Voraussetzung, dass eine echte „Schwelle“ bei 40 dB liegt (dass also unterhalb dieser Schwelle keine verkehrslärmbedingten Depressionen auftreten).

$$PC = \left(1,047^{\frac{\text{Gesamtlärmpegel}}{10}-4} - 1\right) / \left(1,047^{\frac{\text{Gesamtlärmpegel}}{10}-4}\right) \quad (52)$$

dabei gibt die 1,047 die Risikosteigerung pro 10 dB Gesamtlärmpegel an

Die Summe aus den PC-Werten aller Einwohnerinnen und Einwohner wird durch n geteilt. Es ergibt sich das **verkehrslärmbezogene Attributivrisiko**, also der Anteil aller Depressionen, der auf Verkehrslärm zurückgeführt werden kann. Wenn verschiedene Verkehrsszenarien mit einander in Bezug auf die geringste gesundheitliche Belastung verglichen werden, gilt es wiederum, das Attributivrisiko zu minimieren.

Entsprechend dem oben dargestellten Verfahren lässt sich bei **bekanntem Krankheitsinzidenzen in der entsprechenden Region bzw. bei bekannten Lebenszeitriskiken durch Multiplikation mit dem Attributivrisiko** die Zahl der Depressionen abschätzen³⁹, die auf Verkehrslärm zurückgeführt werden kann.

2.6 Diskussion offener Punkte

2.6.1 Vorbemerkung

Die normative Anpassung der VDI 3722-2 erfordert einen hinreichend gesicherten Erkenntnisstand über die bisher darin nicht behandelten Aspekte der Berücksichtigung des Industrie- und Gewerbelärms sowie der Gesundheitsbewertung. Im Folgenden sollen die offenen Punkte aufgezeigt werden und ein möglicher Lösungsweg aufgezeigt werden. Dabei steht im Vordergrund, dass möglichst einfache und nachvollziehbare Algorithmen festgelegt werden, die die Anwenderfreundlichkeit der VDI 3722-2 weiter verbessern sollen.

2.6.2 Industrie- und Gewerbelärm

Die in Abschnitt 2.3.5 zusammengestellten Analysen zeigen, dass aufgrund der Heterogenität von Gewerbelärmquellen nur sehr vereinfachende Annahmen für ganzjährige Industrieanlagen und Windenergieanlagen aus den Jahren 2004 bzw. 2011 vorliegen. Für diese Schallquellen wiederum liegen auf der Wirkungsseite nur Aussagen zur Belästigung (%A, %HA) vor; Aussagen zu Schlafstörungen oder zur gesundheitlichen Beeinträchtigung sind nicht vorhanden.

In der Anwendung der VDI 3722-2, z.B. in der Lärminderungsplanung oder bei Trassenauswahlverfahren für Straßen und Eisenbahnen, spielen Industrieanlagen oder Windenergieanlagen nur eine untergeordnete Rolle; hier sind Gewerbegebiete in Ortsrandlagen von Bedeutung. Für diesen Gewerbelärmtypus liegen keine Erkenntnisse vor. Eine ersatzweise Zuordnung von Gewerbelärmquellen zu Straßenverkehr erscheint nur bedingt geeignet, da u. a. die Geräuschcharakteristik (z.B. Straßenverkehr als Linienschallquelle, Gewerbelärm als Flächenschallquelle) sich grundsätzlich unterscheidet.

Es wird daher vorgeschlagen, in einer vertieften Untersuchung zum Gewerbelärm eine Typisierung von Gewerbegebieten vorzunehmen, die eine angemessene Berücksichtigung der Gebiete im Anwendungsbereich der VDI 3722-2 ermöglicht; zusätzlich ist die Einbeziehung von besonderen Geräuschquellen wie Luftwärmepumpen und Windenergieanlagen zu prüfen. In einem weiteren Schritt sind Erhebungen und Auswertungen zur Belästigungswirkung von typischem

³⁹ Als grundsätzliche Einschränkung ist darauf hinzuweisen, dass die tatsächlichen Effekte einer Exposition (hier also des Verkehrslärms) aufgrund multivariater Interdependenzen zwischen verschiedenen (nicht lärmbezogenen) Einflussfaktoren geringer ausfallen können.

Gewerbelärm durchzuführen, wobei insbesondere der begrenzte Einwirkungsbereich von Gewerbegebieten aufgrund der strengen Vorschriftenlage (TA Lärm) zu beachten ist. Weiterhin ist zu prüfen, ob die Auswirkungen von Sport- und Freizeitanlagen einbezogen werden sollen. Nach Vorliegen der neuen Erkenntnisse sollte vom Normenausschuss grundsätzlich entschieden werden, ob, in welchem Umfang und in welcher Differenzierung Gewerbe- und Industrielärm und ggfs. Freizeitlärm in der VDI 3722-2 aufgenommen werden sollte.

Nach derzeitigem Erkenntnisstand erscheint ohne eine solche vertiefende Untersuchung eine Aufnahme von Gewerbe- und Industrielärm in die VDI 3722-2 nicht zielführend, die ersatzweise Gleichsetzung mit dem Straßenverkehr wurde daher im Abschnitt 2.4 nur konditional vorgeschlagen.

2.6.3 Gesundheitliche Bewertung

Die derzeit vorliegende VDI 3722-2 berücksichtigt die erfragte Belästigung und erfragte Schlafstörungen auf der Grundlage der Untersuchungen von Miedema und Kollegen (Miedema & Oudshoorn 2001). In Abschnitt 2.4 wurden mögliche Ergänzungen und Aktualisierungen vorgestellt und diskutiert; in Abschnitt 2.5 sind die Ergebnisse der epidemiologischen Studien zusammengestellt. Ein Vergleich dieser Untersuchungen mit der derzeit vorliegenden VDI 3722-2 kommt zusammenfassend zu folgenden Ergebnissen:

- ▶ Zur erfragten *Belästigung durch Umgebungslärm* wurden bezogen auf Fluglärm, Straßenverkehrslärm und Schienenverkehrslärm aktualisierte %HA Kurven bezogen auf den L_{DEN} veröffentlicht; diese Kurven unterscheiden sich von den bestehenden Kurven der VDI 3722-2. Eine Aktualisierung der Kurven ist daher erforderlich. Die im WHO-Review von Guski et al. (2018) veröffentlichten %HA-Kurven verlaufen im Bereich zwischen 40 und 80 dB L_{DEN} beim Straßen- und Schienenverkehrslärm ähnlich, bezieht man die Berechnungsunsicherheiten, die den %HA-Kurven zugrunde liegen, mit ein. Möglicherweise kann hier auf eine Differenzierung der Verlaufsformen und damit auch auf ein – von der aktuellen VDI 3722-2 vorgesehenes – Substitutionsverfahren verzichtet werden. Darüber kann anhand der Prüfung der Auswirkungen der Aktualisierung der Kurven auf die Anwendung in der Praxis anhand von Fallbeispielen entschieden werden.
- ▶ Die aktuellen Untersuchungen zu *erfragten Schlafstörungen* zeigen deutliche Unterschiede zu den bestehenden Kurven in der VDI 3722-2. Der Prozentsatz der stark Schlafgestörten liegt nach der aktuellen Metaanalyse von Basner et al. (2018) gegenüber den Verläufen der VDI 3722-2 höher; außerdem liegt der Prozentsatz der Schlafgestörten durch Schienenverkehrslärm über den Schlafstörungen durch Straßenverkehrslärm. Basner et al. (2018) fassen die Ergebnisse aus Originalstudien zu lärmbedingten Schlafstörungen bezogen auf verschiedene Aspekte des Schlafs (Einschlafen, Durchschlafen, Ausschlafen) zu kombinierten Expositions-Wirkungsfunktionen zum %HSD durch Flug-, Schienen-, und Straßenverkehrslärm zusammen. Diese können methodisch als „Nachfolge“ der veralteten Miedema-Kurven zum %HSD betrachtet werden; so dass innerhalb der Verfahrenslogik der VDI 3722-2 eine Aktualisierung durch diese Kurven möglich ist. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass sich dem WHO-Review von Basner et al. (2018) zufolge überwiegend keine signifikanten Zusammenhänge zeigen, wenn Studien betrachtet werden, die allgemein nach Schlafstörungen und nicht nach Schlafstörungen durch Lärm gefragt haben.

- ▶ *Physiologisch gemessene Aufwachreaktionen* durch Straßenverkehrs-, Schienenverkehrs- und Fluglärm wurden ebenfalls durch Basner et al. (2018) ausgewertet. Die Aufwachwahrscheinlichkeiten wurden in Bezug zum Maximalpegel innerhalb von Schlafräumen gesetzt. Um die Ergebnisse dieses Untersuchungsteils in die VDI 3722-2 einzuführen, sind die Ergebnisse auf Außenpegel und auf Mittelungspegel umzurechnen bzw. ist in der VDI 3722-2 auch ein Maximalpegelkriterium einzuführen. Auch in Bezug auf die Aufwachreaktionen bestehen noch hohe Unsicherheiten: So weisen Basner et al. (2018) im WHO-Report darauf hin, dass weitere Feldforschungen klären müssten, ob die drei Verkehrslärmarten unterschiedliche Effekte auf Aufwachreaktionen haben. Für die Zukunft wäre demnach zu prüfen, welche Art der Operationalisierung lärmbedingter Schlafstörungen vorzuziehen ist. Denkbar wäre die Etablierung eines internationalen Standards, etwa durch die IC BEN (International Commission on Biological Effects of Noise), wie er bereits zur Erfassung der Lärmbelästigung existiert. Entsprechende Standardisierungsbemühungen hat sich die IC BEN auf der 12. IC BEN-Konferenz in Zürich im Jahr 2017 für die kommenden Jahre als Ziel gesetzt. Ein solcher Standard könnte dann auch für die Bewertung des nächtlichen Gesamtlärms aufgegriffen werden.

- ▶ Belastbare Abschätzungen von lärmbezogenen Krankheitsrisiken liegen insbesondere für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, mit Einschränkungen auch für depressive Erkrankungen vor. Für die Mittelungspegel ist auf der Grundlage des WHO-Reviews von van Kempen et al. (2018) ebenso wie auf der Grundlage aktueller Ergebnisse der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken noch nicht eindeutig zu sagen, welche Verkehrslärmart die stärksten und welche die vergleichsweise schwächsten Krankheitsrisiken beinhaltet. Im epidemiologischen Untersuchungsteil (Abschnitt 2.5) wird daher u.a. auch von gleich hohen Krankheitsrisiken der verschiedenen Verkehrslärmarten ausgegangen. Ebenso wie bei der Belästigung und den Schlafstörungen bestehen allerdings auch bei den Krankheitsrisiken noch Unsicherheiten in Bezug auf die Expositions-Risiko-Verläufe. Sofern eine Zusammenfassung der Gesundheitsbeeinträchtigungen angestrebt wird, wird das DALY - Verfahren zur Abschätzung der verlorenen gesunden Lebensjahre oder die Berechnung der Anzahl von Beeinträchtigungsfällen vorgeschlagen. In dieses Verfahren können auch die Krankheitsrisiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie ggf. Depressionen einbezogen werden. Allerdings birgt die Zusammenfassung von sehr unterschiedlichen Wirkungen methodische Unsicherheiten bezüglich der Gewichtung der verschiedenen Wirkungen, die situationsspezifisch und je nach lärmpolitischer Zielsetzung unterschiedlich ausfallen kann. Hinzu kommt, dass die Interaktionen zwischen Wirkungen nicht berücksichtigt werden, das heißt, bei der Zahl der Beeinträchtigungsfälle (Schritt 8a im Abschnitt 2.4) sowie bei der Anzahl verlorener gesunder Lebensjahre (8b im Abschnitt 2.4) Mehrfachzählungen von Personen bzw. Lebensjahren auftreten können. Ferner bleiben auch andere gesundheitliche Wirkungen, die von den Geräuschquellenarten ausgehen können (z.B. durch die Luftschadstoffbelastung durch Straßenverkehr) in einer nur auf Lärm bezogenen Berechnung eines Gesamtindex zur Gesundheitsbeeinträchtigung unberücksichtigt. Die Folge ist, dass es dann zu einer Fehleinschätzung bei der Quantifizierung der Gesundheitsbeeinträchtigung durch die jeweilige Lärmquellenart kommen kann. Deshalb wird vorgeschlagen Beeinträchtigungszahlen bzw. DALYs, d.h. die verlorenen gesunden

Lebensjahre immer auch gesondert pro Wirkungsbereich auszuweisen, um die einzelnen Beiträge der unterschiedlichen Geräuschwirkungen transparent zu machen.

2.6.4 Zusammenwirken von verschiedenen Verkehrslärmarten

Auf der Grundlage der verkehrslärmbezogenen Risiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Depressionen wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit das Zusammenwirken von Flug-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrslärm untersucht. Diese Untersuchungen gründen sich auf die von Seidler und Kollegen sowie Kolleginnen durchgeführte Studie im Rhein-Main-Gebiet (NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken) (vgl. Abschnitt 2.5). Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die energetische Summation dem Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen nicht gerecht wird; tatsächlich ergeben sich bei der gleichzeitigen Einwirkung mehrerer Verkehrslärmarten teilweise deutlich höhere Krankheitsrisiken, als es bei der energetischen Summation zu erwarten wäre. Eine bessere Anpassung an die Krankheitsrisiken ergibt sich auf der Grundlage einer Multiplikation der Krankheitsrisiken; ein entsprechender Algorithmus wird getrennt für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Depressionen vorgeschlagen.

Im Vergleich zu Untersuchungen über die Einwirkung von nur einer Quelle auf die Belästigung und auf Schlafstörungen durch Verkehrslärm liegen zum diesbezüglichen Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmträger nur wenige Studien vor. Die von einigen Studien gezeigte Eignung des Dominanzmodells zur Abbildung der Belästigungswirkung (vgl. Pierrette et al., 2012; Wothge et al., 2017) macht deutlich, dass auch bei der Belästigung und den Schlafstörungen noch Zweifel an der Eignung der energetischen Summation und damit auch an der Eignung des in der bisherigen VDI 3722-2 vorgesehenen Substitutionsverfahrens angebracht sind. Hier sind weitere vertiefende Untersuchungen erforderlich. Eine anschließende Überführung der Ergebnisse dieser Untersuchungen unter Berücksichtigung von verkehrslärmbedingter Belästigung, Schlafstörungen und Krankheiten in die Systematik der VDI 3722-2 ist grundsätzlich möglich.

2.6.5 Weiterer Forschungsbedarf

Aus dem Arbeitspaket 1 „Weiterentwicklung eines Konzeptes zur Gesamtlärbewertung auf Grundlage der VDI 3722-2“ lässt sich aus den vorliegenden Untersuchungen und Auswertungen zusammenfassend folgender Untersuchungsbedarf ableiten:

1. Gewerbe- und Industriegebiete
 - Klassifizierung von Gewerbegebieten
 - Zusätzliche Berücksichtigung Windenergieanlagen, Sport- und Freizeitanlagen
 - Durchführung von Studien zu Expositions-Wirkungsbeziehungen beim Gewerbe- und Industrielärm
2. Kennzeichnungsgrößen
 - Prüfung Einführung Maximalpegel und Aufwachreaktionen und Unsicherheitsbetrachtungen
3. Gesundheitsbeeinträchtigung
 - Epidemiologische Klärung der Lärmwirkungen (Belästigung, Schlafstörung, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Depressionen) im Vergleich verschiedener Verkehrslärmarten
 - Zusammenfassung von erfragten Schlafstörungen und physiologischen Messungen des Nachtschlafes

4. Epidemiologische Analyse des Zusammenwirkens verschiedener Verkehrslärmarten auf die Entstehung von Belästigung, Schlafstörungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Depressionen. Integration des Modus des Zusammenwirkens (z.B. Risikomultiplikation bzw. Dominanzmodell anstelle der energetischen Summation) in die Systematik VDI 3722 Gewichtung und Zusammenfassung von Gesundheitsbeeinträchtigungen (DALY)
5. Angesichts einer Vielzahl von epidemiologischen Studien, die über spezifische Herz- und Kreislauf-Krankheiten und Depressionen hinaus eine Erhöhung des Erkrankungsrisikos gezeigt haben⁴⁰ ist es dringend erforderlich, diese Erkrankungen im Hinblick auf Kombinationseffekte verschiedener Lärmarten zu analysieren und für eine adäquate Übernahme in die VDI 3722-2 Sorge zu tragen. Im Gegensatz zu Aufwachreaktionen ist bei diesen Erkrankungen eine erhebliche Beeinträchtigung der Gesundheit und der Lebenserwartung nachgewiesen.

Vor Umsetzung in einen überarbeiteten Normentwurf der VDI 3722-2 ist durch Fallbeispiele darzustellen, welche Auswirkungen die vorgeschlagenen Algorithmen auf die Bewertung von Gesamtlärmsituationen aufweisen; insbesondere sind die Unterschiede der vorgeschlagenen Verfahren gegenüber den Ergebnissen basierend auf der energetischen Summation darzustellen. Durch die Fallbeispiele sollte auch überprüft werden, ob das Verfahren der VDI 3722-2 für die Anwendung in der Praxis geeignet ist.

Insgesamt erscheint eine Umsetzung der Ergebnisse des Arbeitspaketes 1 in die VDI 3722-2 zum derzeitigen Zeitpunkt nur eingeschränkt möglich, da hinreichend gesicherte Erkenntnisse zum Zusammenwirken verschiedener Geräuschquellenarten weder für Belästigungen, Schlafstörungen noch für Krankheitsrisiken vorliegen. Die aktuellen Ergebnisse zu erfragten und physiologisch gemessenen Schlafstörungen erfordern vor der Umsetzung noch weitere Untersuchungen und Auswertungen.

⁴⁰ Psychosen, psychiatrische Erkrankungen insgesamt, Demenz, chronische Niereninsuffizienz, Leukämien und maligne Lymphome, Diabetes mellitus, Adipositas

3 Finanzierungsmodell für Maßnahmen bei einer Gesamtlärbetrachtung

3.1 Anforderungen

Die Finanzierung von Lärminderungsmaßnahmen in Sanierungsbereichen ist eine Aufgabe, die in der Praxis von den jeweiligen Kommunen geleistet wird. Sollen die Kosten auf den oder die Verursacher der Gesamtlärmbelastung umgelegt werden, muss dies möglichst diskriminierungsfrei und nachvollziehbar erfolgen, da andernfalls keine Akzeptanz bei den Planungsbeteiligten und Betroffenen erwartet werden kann. Dabei sind unterschiedlichste Aspekte zu beachten, die bei der schrittweisen Sanierung von Gebieten für die Anteile an der Gesamtlärmbelastung des Gebiets und damit die beabsichtigte Verteilung der Kosten maßgeblich sind:

- ▶ Beachtung des Verursacherprinzips (Kostengerechtigkeit): Die Kosten sollen dem Baulastträger zugewiesen werden, der im Sinne der Reduzierung der Verlärmungsschuld, von der Maßnahme profitieren.
- ▶ Kommutativität (Vertauschbarkeit): Die Kostenverteilung darf nicht von der Reihenfolge der Maßnahmen abhängen.
- ▶ Stichtagsunabhängigkeit: Die Kosten dürfen nicht von einem willkürlichen Stichtag abhängen.
- ▶ Gebietsunabhängigkeit: Die genaue Wahl der Grenzen des Sanierungsgebiets darf keinen Einfluss auf die Kostenverteilung haben.
- ▶ Praxistauglichkeit und einfache Umsetzbarkeit des Finanzierungsmodells.

3.2 Vorhandene Finanzierungsmodelle

3.2.1 Erschließungsbeitragssatzungen

Kostenumlegungen für Lärmschutzmaßnahmen werden nicht nur bei Sanierungen bestehender schutzbedürftiger Gebiete, sondern auch im Fall von städtebaulichen Planungen erforderlich. Die Fragestellung, z.B. in der Bauleitplanung, ist dabei jedoch nicht, welcher Verursacher zu welchem Anteil an einer gesamtheitlich betrachteten Lärmbelastung beteiligt ist, sondern welche der geplanten Nutzungen am meisten von den Lärminderungsmaßnahmen profitieren. Im Falle der Planung von neuen Wohngebieten werden die Kosten für Lärmschutzmaßnahmen häufig auf die planungsbegünstigte Wohnbebauung oder Grundstückseigentümer als Erschließungskosten verteilt.

In diesem Fall werden die Kosten anhand der individuellen Wirksamkeit (d.h. der Pegelminderung am Grundstück durch Lärmschutzmaßnahmen) aufgeteilt. Üblich ist dabei eine Kategorisierung der Pegelminderung wie sie z.B. in folgender Form (vgl. Steenbock 2003) gewählt wird:

- ▶ Schallpegelminderungen von mindestens 3 bis 6 dB
- ▶ Schallpegelminderungen von mindestens 6 bis 9 dB
- ▶ Schallpegelminderungen von mehr als 9 dB

Für die Bestimmung des Kostenanteils des Grundstückes wird aus den o. g. Kategorien ein Gewichtungsfaktor festgelegt. In der Praxis werden die Kosten im Rahmen von Erschließungsbeitragsatzungen geregelt. Erschließungsbeitragsatzungen beziehen sich ausschließlich auf die *immissionsseitige Pegelminderung*. Die absolute Höhe des Geräuschpegels geht in erster Näherung nicht in die Betrachtung der Kostenverteilung ein. Die Satzung begrenzt jedoch den betrachteten Umgriff für die Kostenverteilung, da Grundstücke außerhalb des Erschließungsbereichs nicht berücksichtigt werden. Dabei ist es unerheblich, ob sich die Pegelminderung nur auf eine oder mehrere Geräuschquellen bezieht. Insofern ist auch nicht relevant, ob eine Geräuschquelle in der Gesamtlärbetrachtung dominiert, während andere Quellen in der Gesamtlärbetrachtung keinen relevanten Beitrag leisten.

Die sinngemäße Anwendung des quellenbezogenen Ansatzes erfordert eine Umkehrung der Betrachtungsweise. Anstelle der Betrachtung der Pegelminderung an dem jeweiligen Immissionsort für die Kostenaufteilung erfolgt eine Betrachtung der Anteile einzelner Geräuschquellen an der Gesamtlärbelastung bzw. des Anteils an der Gesamtlärminderung eines Gebiets.

3.2.2 Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“

In „Lärmschutz in der Verkehrs- und Stadtplanung“ (Popp et al 2016) ist die Vorgehensweise beschrieben, die im Modellprojekt „Leise(r) ist das Ziel“ in der Region Eislingen-Salach-Süßen anhand der fiktiven Stadt „Noislingen“ zur Verteilung der Kosten vorgeschlagen wurde. Der mathematische Zusammenhang zur Beschreibung dieses energetischen Ansatzes lautet wie folgt:

$$\frac{10^{0,1 \times A}}{(10^{0,1 \times A} + 10^{0,1 \times B})} \times 100 = \text{Anteil A in \%} \quad (53)$$

mit:

- A: Geräuschpegel der Quelle A
- B: Geräuschpegel der Quelle B

Der methodische Ansatz dieser energetischen Betrachtung bewertet den energetischen Anteil einer Geräuschquelle an der Gesamtlärbelastung an einem Berechnungspunkt oder in einem Gebiet *vor Umsetzung* der Lärmschutzmaßnahme(n). Die Kosten werden anhand des energetischen prozentualen Anteils einer Geräuschquelle am Gesamtlärm verteilt. Die Pegelminderung durch eine Schallschutzmaßnahme geht nicht in die Betrachtung ein. Die Erweiterung der Formel (51) auf mehr als zwei Quellen ist mathematisch ohne weiteres umsetzbar.

Das Ergebnis der für eine Einzelpunktberechnung anwendbaren Formel muss in einem zu untersuchenden Gebiet über die Rechenpunkte gemittelt werden. Insofern ist eine Eingrenzung des betrachteten Sanierungsgebiets vor Ermittlung des Kostenanteils Voraussetzung zur Umsetzung des energetischen Ansatzes. Ebenso ist bei mehreren Maßnahmen die Wahl des Zeitpunktes, zu dem der Kostenanteil bestimmt wird, ergebnisrelevant.

Eine Gewichtung der Lärmbelastungen nach wirkungsbezogenen Aspekten, insbesondere entsprechend der VDI 3722-2, oder nach Zahl der Betroffenen, ist möglich.

3.2.3 Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“

Im Rahmen einer Veranstaltung des Arbeitsrings Lärm der DEGA (ALD) zum Thema „Gesamtlärm“ am 22.09.2014 hat das Umweltbundesamt ein Finanzierungsmodell vorgeschlagen

(Schade 2014). Dieses Modell zielt im Wesentlichen auf das Verhältnis der Minderung eines wirkungsbezogenen Belastungsindex einer Quelle zur Minderung dieses Index bezogen auf den Gesamtlärm ab.

Das Modell sieht mehrere Schritte vor, die der Kostenverteilung vorangehen. Nach der Eingrenzung des Sanierungsgebiets und der Planung möglicher Lärmschutzmaßnahmen werden folgende Schritte auf Grundlage des Belastungsindex durchgeführt:

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

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

$$WEBI = \sum_{i=1}^I N_i \times 10^{0,1 L_{AES,i}} \quad (54)$$

mit:

$L_{AES,i}$: Effektbezogener Substitutionspegel nach VDI 3722-2 für %HA am Berechnungspunkt i

N_i : Zahl der Betroffenen am Berechnungspunkt i

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

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

$$NKI = \frac{WEBI_{vorher} - WEBI_{nachher}}{Kosten} \quad (55)$$

Anschließend werden die Kostenanteile der Lärmquellen j anhand des Verhältnisses der Minderung der Indizes der Quelle j am Gesamtindex ermittelt:

$$Kosten_j = Kosten_{ges} \times \frac{WEBI_{j,vorher} - WEBI_{j,nachher}}{WEBI_{vorher} - WEBI_{nachher}} \quad (56)$$

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

3.3 Vorschläge für weitere Finanzierungsmodelle

3.3.1 Übersicht

Neben den bestehenden Vorschlägen für ein Finanzierungsmodell sind weitere Methoden zur Verteilung von Kosten für Lärmschutzmaßnahmen auf die Emittenten denkbar. Grundsätzliche Kriterien oder Ansätze für die Verteilung der Kosten können sein:

- ▶ Wie stark trägt eine Geräuschquelle zur Gesamtlärbelastung bei?
- ▶ Wie stark wird eine Geräuschquelle im Vergleich zu den anderen Geräuschquellen gemindert?

- Wie hoch ist der Anteil der Lärminderung einer Quelle an der Gesamtlärminderung?

Ausgehend von diesen Überlegungen werden im Folgenden weitere Finanzierungsmodelle dargestellt.

3.3.2 Finanzierungsmodell „Anteil Lärmpegelminderung“

Finanzierungsmodelle von Lärminderungsmaßnahmen können sich entweder am Anteil einer Geräuschquelle an der Gesamtlärmbelastung oder am Anteil einer Quelle an der Gesamtlärminderung orientieren. Die hier vorgestellte Methode orientiert sich an dem Verhältnis der Lärminderung einer Quelle zu der Summe der Lärminderungen der beteiligten Quellen.

Für die Ermittlung der jeweiligen Anteile einer Geräuschquelle wird für jeden Immissionsort zunächst für alle Geräuschquellen die Differenz ΔL aus dem Beurteilungspegel der jeweiligen Quelle im Bestand zum Maßnahmenfall ermittelt. Diese Differenz ΔL wird anschließend delogarithmiert und über alle Immissionsorte aufsummiert. Daraus lässt sich der prozentuale Anteil (in der folgenden Formel für zwei Quellen A und B dargestellt) ermitteln:

$$Kosten_A = \frac{\sum_i 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})}}{\sum_i 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})} + \sum_i 10^{0,1 \times (L_{B,i,vorher} - L_{B,i,nachher})}} \times Kosten_{Ges} \quad (57)$$

Im Gegensatz zum Modell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ wird somit die Lärminderung einer Quelle nicht auf Minderung des Gesamtlärms, sondern auf die Summe der einzelnen Lärminderungen bezogen. Die Höhe der Lärmbelastung einer Geräuschquelle wird in dem Modell „Anteil Lärmpegelminderung“ somit nicht berücksichtigt.

3.3.3 Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

Das in Abschnitt 3.3.2 beschriebene Finanzierungsmodell „Anteil Lärmpegelminderung“ berücksichtigt nicht, welchen Anteil eine Quelle zum Gesamtlärm beiträgt. Um diese Information einfließen zu lassen, wird zusätzlich zum obigen Vorgehen eine Gewichtung anhand des Anteils einer Quelle an der Gesamtlärmbelastung ergänzt.

Für diese Gewichtung wird die nachfolgende lineare Funktion verwendet:

$$g = -\frac{1}{10} * \Delta L_{vorher} + 1 \quad \text{für } \Delta L \leq 10 \quad (58)$$

$$g = 0 \quad \text{für } \Delta L > 10$$

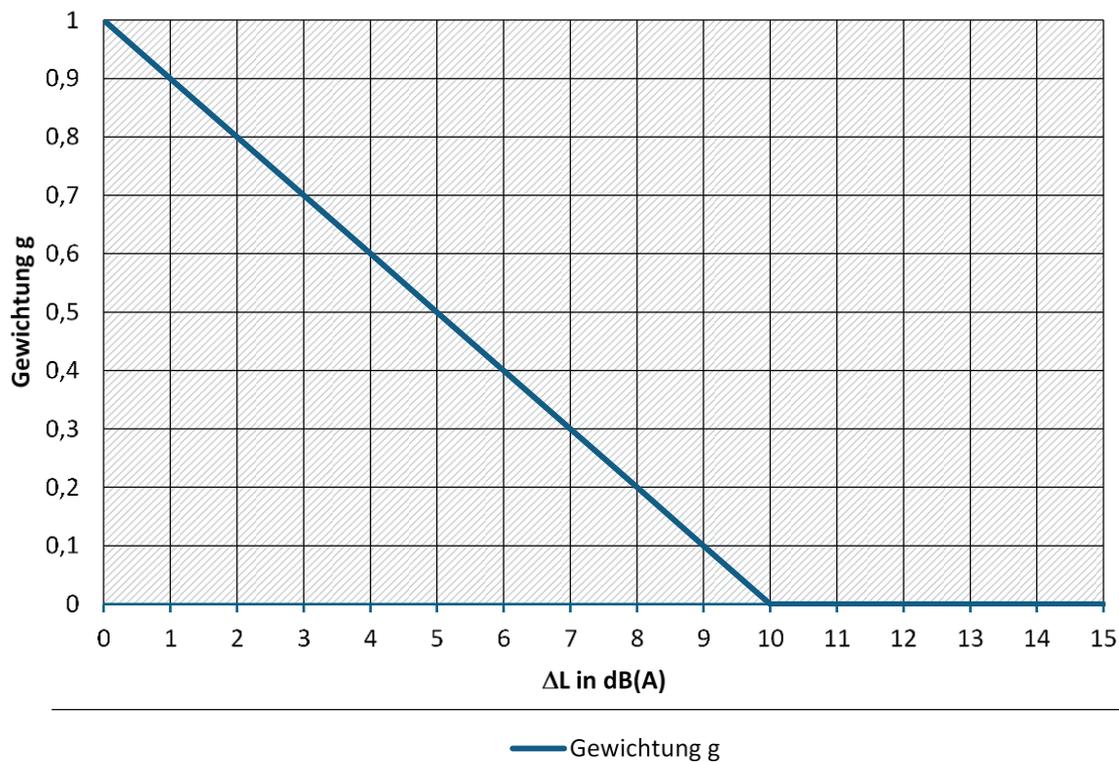
mit

g : Gewichtung

ΔL_{vorher} : Differenz aus dem Beurteilungspegel der Gesamtlärmbelastung und dem Beurteilungspegel der betrachteten Verkehrslärmquelle vor Umsetzung von Schallschutzmaßnahmen

Abbildung 5 stellt die obige Gleichung grafisch dar:

Abbildung 5: Darstellung der Gewichtungsfunktion g beim Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“



Quelle: Eigene Darstellung

Die Gewichtungsfunktion wurde anhand folgender Überlegungen gewählt:

- ▶ Eine Geräuschquelle, deren Beurteilungspegel mit dem Gesamtlärmpegel identisch ist und somit diesen dominiert, geht mit voller Gewichtung in die Kostenverteilung ein
- ▶ Eine Geräuschquelle, deren Beurteilungspegel mindestens 10 dB(A) unterhalb des Gesamtlärmpegels liegt und somit nicht zum Gesamtlärm beiträgt, wird nicht berücksichtigt (vgl. Einwirkungsbereich der TA Lärm, Absatz 2.2)
- ▶ Im Bereich zwischen diesen beiden Extremfällen wird der Gewichtungsfaktor linear interpoliert

Die Berechnungsformel erfolgt dann nach der folgenden Gleichung (im Fall von zwei Quellen A und B):

$$Kosten_A = \frac{\sum_i g_{Ai} \times 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})}}{\sum_i g_{Ai} \times 10^{0,1 \times (L_{A,i,vorher} - L_{A,i,nachher})} + \sum_i g_{Bi} \times 10^{0,1 \times (L_{B,i,vorher} - L_{B,i,nachher})}} \times Kosten_{Ges} \quad (59)$$

In diesen Methodenvorschlag gehen somit sowohl die Lärmreduzierung einer Quelle als auch der Anteil dieser Quelle am Gesamtlärm in Form eines Gewichtungsfaktors ein.

3.4 Bewertung der betrachteten Finanzierungsmodelle

Die betrachteten Finanzierungsmodelle unterscheiden sich im Wesentlichen darin, welche quellen-spezifische Pegelgröße (d.h. die Minderung oder die Absoluthöhe) in Bezug zur Pegelgröße des Gesamtlärms gesetzt wird. Bei den verschiedenen Methoden sollten für eine fundierte und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage über die Kostenverteilungen die in Abschnitt 3.1 genannten Kriterien erfüllt werden:

- ▶ Ein zu untersuchender Bereich muss vor Durchführung der Untersuchungen zu potenziellen Lärmschutzmaßnahmen örtlich eingegrenzt werden. Die Wahl der örtlichen Eingrenzung darf die Verteilung der Kosten nicht beeinflussen (Gebietsunabhängigkeit).
- ▶ Der Untersuchungszeitraum muss eingegrenzt werden; bei einer schrittweisen (sequenziellen) Umsetzung mehrerer Lärmschutzmaßnahmen sind Effekte der Reihenfolge auf die Kostenverteilung auszuschließen (Kommutativität).
- ▶ Bestehende Lärmschutzeinrichtungen sollen rückwirkend in das Finanzierungsmodell eingebracht werden können; die Einbeziehung bestehender Maßnahmen darf keinen Einfluss auf die Kostenverteilungen bei weiteren Minderungsschritten haben (Stichtagsunabhängigkeit).
- ▶ Die Kosten einer Maßnahme sollen den Verursachern zugewiesen werden, dessen Beitrag an der Gesamtlärmbelastung am stärksten durch die Maßnahme reduziert wird (Kostengerechtigkeit).

Die Auswahl der umzusetzenden Lärmschutzmaßnahmen erfolgt vor der Kostenumlegung. Die Methoden der Abwägung zur Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen (wie z.B. aus der Lärmsanierung des Bundes oder bei der Lärmvorsorge) können dabei unabhängig von der Wahl der Methode zur Kostenumlegung beibehalten werden. Dabei sollte die Verhältnismäßigkeit von Lärmschutzmaßnahmen anhand der Gesamtlärmpegel und deren Minderung geprüft werden.

Hinsichtlich der Summenbildung bei der Gesamtlärbetrachtung kommen zwei Vorgehensweisen in Frage:

- ▶ die energetische Summenbildung und
- ▶ die Verwendung von wirkungsbezogenen Korrekturen der quellen-spezifischen Pegel in Form von renormierten Ersatzpegeln bzw. effektbezogenen Substitutionspegeln der VDI 3722 Blatt 2

Grundsätzlich können vom methodischen Ansatz bei den vier betrachteten Finanzierungsmodellen sowohl der energetische als auch der wirkungsbezogene Ansatz gewählt werden. Diese Modelle werden im Folgenden anhand der genannten Kriterien bewertet. Zur Verdeutlichung werden fiktive Fallkonstellationen anhand von Einzelpunkten aufgeführt. Die praxisnahe Umsetzung des schließlich vorgeschlagenen Finanzierungsmodells wird in Abschnitt 6 anhand der Modellstadt erläutert.

3.4.1 Finanzierungsmodell „Lärmanteil Bestand“

Das Verfahren des Modellprojekts „Noislingen“ beruht auf dem Prinzip, dass die dominierende Geräuschquelle den größten Teil der Kosten trägt. Dabei werden die Kosten für Lärmschutzmaßnahmen anhand des Anteils der Quellen am Gesamtlärm in der Situation vor Errichtung der Schallschutzmaßnahme verteilt. Dieser Anteil bezieht sich auf das gesamte Untersuchungsgebiet und muss daher über die berechneten Gebäude bzw. Betroffenen über das im Untersuchungsgebiet gemittelt werden. Als Ergebnis resultiert eine Angabe in Prozentwerten, um die Kosten entsprechend dieser Werte zuzuteilen.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist die Einfachheit und Transparenz. Die Lärmbelastung vor Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen ist im Rahmen von zum Beispiel Lärmaktionsplanungen in Form von Immissionsrastern zu veröffentlichen. Der Hauptverursacher der Lärmbelastung in einem Gebiet würde dementsprechend am stärksten an den Kosten für die Lärmsanierung eines Gebiets beteiligt.

Kommutativität/Stichtagsunabhängigkeit

Damit kein Reihenfolgeeffekt auftritt (Abhängigkeit der Kostenverteilung von der Realisierungsreihenfolge von Maßnahmen), muss als Stichtag für die Ermittlung der Kostenverteilung ein Termin vor Umsetzung aller Maßnahmen gewählt werden. Zwischenzustände werden dann bei den weiteren Kostenverteilungen nicht mehr berücksichtigt. Auch eine nachträgliche Berücksichtigung früherer Maßnahmen ist damit nicht mehr möglich.

Kostengerechtigkeit

Ein wesentlicher Nachteil der Methode ist, dass die Kosten für Lärmschutzmaßnahmen in einem Sanierungsgebiet unabhängig davon verteilt werden, welche Geräuschquelle von der jeweiligen Schallschutzmaßnahme reduziert wird (Minderung der Verlärmungsschuld). Die Zuordnung einer Schallschutzmaßnahme zu einer Geräuschquelle ist in diesem Finanzierungsmodell nicht implizit enthalten. Lärmschutzmaßnahmen sind jedoch häufig auf eine Geräuschquelle begrenzt. Diese tatsächlich vorhandene Zuordnung bleibt unberücksichtigt. Dies wird anhand einer fiktiven Fallkonstellation in Tabelle 12 verdeutlicht.

Tabelle 12: Beispiel für die unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Lärmanteil Bestand“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	75,5 dB(A)	61,7 dB(A)	44,0 dB(A)	75,7 dB(A)
Kostenanteil (anhand des Pegels vorher ermittelt)	79 %	21 %	0 %	

In diesem Beispiel wird zwar die relevante Quelle B um ca. 8 dB gemindert, während die dominante Quelle A nahezu unverändert bleibt. Die Kosten werden dennoch größtenteils der dominierenden Quelle A zugeordnet. Die in Bezug zum Gesamtlärm vernachlässigbare Quelle C wird zwar leicht reduziert, es werden ihr jedoch keine Kosten zugeteilt.

Gebietsunabhängigkeit

Die fehlende Zuordnung der Maßnahmenkosten zur Minderung der Quellen hat einen weiteren Nachteil zur Folge. Die Wahl des Sanierungsbereichs hat einen wesentlichen Einfluss auf die Kostenverteilung für Lärmschutzmaßnahmen (Gebietsabhängigkeit). So hat die Entscheidung, ob das Untersuchungsgebiet den Wirkungsbereich einer Quelle umschließt oder nicht, ggfs. zur Folge, dass eine Verkehrslärmquelle an den Kosten für Lärmschutzmaßnahmen anteilig beteiligt wird oder nicht, auch wenn an der entsprechenden Quelle kein Schallschutz vorgesehen ist.

3.4.2 Finanzierungsmodell „Anteil Lärmpegelminderung“

Um eine Zuordnung der Wirksamkeit einer Lärmschutzmaßnahme zu einer Geräuschquelle zu berücksichtigen, kann sich ein Finanzierungsmodell auch an der Lärminderung einer Quelle orientieren.

Soll ein Baulastträger an den Kosten von Lärmschutzmaßnahmen beteiligt werden, wird in dem Verfahren „Anteil Lärmpegelminderung“ bestimmt, inwieweit der Lärm der jeweiligen Quelle im Vergleich zu den anderen Quellen gemindert wird. Bei diesem Finanzierungsmodell trägt diejenige Geräuschquelle den höchsten Anteil an den Kosten einer Schallschutzmaßnahme, deren Pegel im Verhältnis zu den anderen Quellen am stärksten reduziert wird.

Gebietsunabhängigkeit

Einflüsse der Abgrenzung des Sanierungsgebiets werden eliminiert, wenn Lärmschutzmaßnahmen lokal begrenzte Wirksamkeit aufweisen und das Untersuchungsgebiet zumindest den Einflussbereich der Maßnahme umfasst.

Kommutativität/Stichtagsunabhängigkeit

Die Realisierungsabfolge von Lärmschutzmaßnahmen ist bei dieser Methode unabhängig von der Kostenverteilung, da die absolute Höhe der quellenbezogenen Lärmbelastung nicht in das Finanzierungsmodell eingeht.

Kostengerechtigkeit

Was die quellspezifische Pegelminderung betrifft, wäre dieses Modell kostengerecht. Jedoch ist es möglich, dass die Kosten einer Quelle zugeordnet werden, die in Bezug auf den Gesamtlärm nur einen geringen Beitrag liefert. Eine alleinige Betrachtung der Lärminderung, ohne den absoluten Beitrag der jeweiligen Geräuschquelle an dem Gesamtlärm zu berücksichtigen, ist jedoch in bestimmten Fällen problematisch. Schließlich besteht die Möglichkeit, dass durch eine Lärminderungsmaßnahme eine nicht dominante Geräuschquelle stark reduziert wird, deren Anteil am Gesamtlärm an sich nachrangig wäre.

Dies verdeutlicht das folgende fiktive Beispiel in Tabelle 13:

Tabelle 13: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Anteil Lärmpegelminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	75,4 dB(A)	69,7 dB(A)	39,0 dB(A)	76,4 dB(A)
Kostenanteil	17 %	16 %	67 %	

In diesem Beispiel wird im Gegensatz zu Tabelle 12 nur die in Bezug auf die Gesamtlärmbelastung irrelevante Quelle C gemindert. Dementsprechend wird dieser Quelle der Großteil der Kosten zugeordnet. Der Beitrag der Quelle C ist bezogen auf den Gesamtlärm jedoch vernachlässigbar.

3.4.3 Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

Die beiden vorhergehend dargestellten Modelle bewerten entweder den Anteil einer Quelle am Gesamtlärm oder die Pegelminderungen der verschiedenen Quellen durch eine Maßnahme. Beide Modelle haben Vorteile, die jedoch mit erheblichen Nachteilen einhergehen. Ein Modell, das die Vorteile beider Modelle kombiniert, muss daher sowohl die Lärminderung der jeweiligen Quelle bewerten als auch deren Anteil am Gesamtlärm bewerten. Deshalb wurde in dem Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“ die in Abschnitt 3.3.3 dargestellte Gewichtung eingeführt.

Anhand fiktiver Beispiele mit drei Geräuschquellen an einem Immissionsort sollen die Vorteile des Modells mit Gewichtung dargestellt werden.

Kostengerechtigkeit

Im Beispiel in Tabelle 14 wird Tabelle 13 dahingehend verändert, dass nun sowohl die irrelevante Quelle C als auch die dominante Quelle A reduziert werden. Bei diesem Finanzierungsmodell trägt die dominante Geräuschquelle A den Hauptanteil der Kosten für die Lärmschutzmaßnahmen, während der weniger dominanten Quelle B nur ein Bruchteil der Kosten zugewiesen wird. Die Quelle C wird zwar am stärksten gemindert, ist aber bezüglich des Gesamtlärms als irrelevant einzustufen, somit entstehen für deren Baulasträger keine Kosten.

Tabelle 14: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	72,0 dB(A)	69,7 dB(A)	39,0 dB(A)	74,0 dB(A)
Kostenanteil	86 %	14 %	0 %	

Anhand eines weiteren Beispiels in Tabelle 15 zeigt sich der Vorteil der Gewichtung in Bezug auf die Kostengerechtigkeit. Hier wird nun vor allem für Quelle B eine deutliche Pegelminderung angenommen. Daher wird deren Kostenanteil im Vergleich zu obigem Beispiel erhöht. Trotz der höheren Lärminderung bei Quelle B verbleibt der Hauptanteil der Kosten jedoch bei Quelle A, da diese den größten Beitrag zum Gesamtlärm liefert.

Tabelle 15: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	72,0 dB(A)	64,0 dB(A)	39,0 dB(A)	72,6 dB(A)
Kostenanteil	63 %	37 %	0 %	

Bei der Fallkonstellation, dass die dominante Quelle A kaum gemindert wird, zeigt sich in Tabelle 16 auch der Effekt der Gewichtung. Bei dem Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“ trägt im Gegensatz zur gleichen Konstellation in Abschnitt 3.4.1 die Quelle mit der größten Lärminderung (B) am stärksten an den Kosten, während Quelle A aufgrund der starken Dominanz weiterhin beteiligt ist:

Tabelle 16: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	75,5 dB(A)	61,7 dB(A)	44,0 dB(A)	75,7 dB(A)
Kostenanteil	31 %	69 %	0 %	

Die Konstellation aus Tabelle 13 führt durch die Gewichtung zu der in Tabelle 17 dargestellten Kostenverteilung. Obwohl nur die irrelevante Quelle C relevant reduziert wird, werden nun nur die Quellen A und B an den Kosten beteiligt, da nur deren Anteile die Höhe des Gesamtlärms beeinflussen. Die geringe Minderung des Gesamtlärms ist in diesem Beispiel auf die Reduzierung der Quellen A und B zurückzuführen.

Tabelle 17: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Lärmquellen – Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	75,4 dB(A)	69,7 dB(A)	39,0 dB(A)	76,4 dB(A)
Kostenanteil	74 %	26 %	0 %	

Das Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“ kann also die Minderung der am Gesamtpegel am stärksten beteiligten Quellen zutreffend den Kostenanteilen zuweisen. Das Modell hat durch die Gewichtung daher einen Vorteil, der die Relevanz einer Quelle im Bezug zum Gesamtlärm bewertet.

Gebietsunabhängigkeit

Ebenso wie bei der Methode ohne Gewichtung werden Einflüsse der Abgrenzung des Sanierungsgebiets dann eliminiert, wenn Lärmschutzmaßnahmen lokal begrenzte Wirksamkeit aufweisen und das Untersuchungsgebiet zumindest den Einflussbereich der Maßnahme umfasst.

Kommutativität/Stichtagsunabhängigkeit

Durch die Gewichtungsfunktion ist bei diesem Finanzierungsmodell ein Bezug zum Gesamtlärmanteil gegeben. Dadurch wird das Modell wiederum abhängig von der Situation bzw. dem Zeitpunkt zur Bestimmung des Gesamtlärmanteils. Beispielhaft sind in Tabelle 18 die Auswirkungen unterschiedlicher Realisierungsreihenfolgen von Lärmschutzmaßnahmen bei diesem Modell dargestellt.

Tabelle 18: Beispiel für unterschiedliche Realisierungsreihenfolgen für das Finanzierungsmodell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Reihenfolge I -> II				
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nach Maßnahme I	75,5 dB(A)	61,7 dB(A)	41,0 dB(A)	75,7 dB(A)
Anteil Kosten	31 %	69 %	0 %	
Nach Maßnahme II	70,3 dB(A)	61,6 dB(A)	40,8 dB(A)	70,9 dB(A)
Anteil Kosten	100 %	0 %	0 %	
Anteil an Gesamtkosten bei angenommenen gleichen Kosten beider Maßnahmen	65 %	35 %	0 %	
Reihenfolge II -> I				
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nach Maßnahme I	70,5 dB(A)	69,7 dB(A)	44,8 dB(A)	73,1 dB(A)
Anteil Kosten	90 %	10 %	0 %	
Nach Maßnahme II	70,3 dB(A)	61,6 dB(A)	40,8 dB(A)	70,9 dB(A)
Anteil Kosten	15 %	85 %	0 %	
Anteil an Gesamtkosten bei angenommenen gleichen Kosten beider Maßnahmen	53 %	47 %	0 %	

Die Kostenverteilung ist entsprechend des Beispiels abhängig von der Reihenfolge der Maßnahmen und somit auch vom gewählten Stichpunkt der Ermittlung der Kostenverteilung.

3.4.4 Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“

Das Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ (Schade 2014) basiert auf der Überlegung, in welchem Verhältnis die energetische Minderung einer Quelle j zur energetischen Minderung des Gesamtlärms steht. Im Unterschied zum Modell „Anteil Lärmpegelminderung“ wird nicht auf die Summe der quellspezifischen Minderungen, sondern auf die Gesamtlärminderung Bezug genommen.

Kostengerechtigkeit

Im folgenden Beispiel (Tabelle 19) wird die dominante Geräuschquelle A deutlich reduziert und trägt damit den Hauptanteil der Kosten für die Lärmschutzmaßnahmen, während der weniger dominanten Quelle B nur ein geringer Bruchteil der Kosten zugewiesen wird. Im Vergleich zum

Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“ wird der dominierenden Geräuschquelle ein deutlich höherer Anteil der Kosten zugeordnet. Die Quelle C wird am stärksten gemindert, der Anteil an der Gesamtlärminderung ist jedoch gering, somit entstehen für deren Baulasträger keine Kosten.

Tabelle 19: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Anteil energetischer Belastungsminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	72,0 dB(A)	69,7 dB(A)	39,0 dB(A)	74,0 dB(A)
Kostenanteil	99 %	1 %	0 %	

Wird wie in Tabelle 20 die relevante aber nicht dominierende Quelle B deutlich gemindert, wird der Quelle A trotz der im Vergleich zu Quelle B etwas geringeren Lärminderung den höchste Kostenanteil zugeordnet, da diese Quelle den Gesamtlärm dominiert.

Tabelle 20: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell „Anteil energetischer Belastungsminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	72,0 dB(A)	64,0 dB(A)	39,0 dB(A)	72,6 dB(A)
Kostenanteil	74 %	26 %	0 %	

Für den im Vergleich zur Tabelle 19 umgekehrten Fall, dass die Quelle mit dem höchsten Pegel und damit Anteil am Gesamtlärm gering reduziert und vor allem die Quelle B mit dem niedrigeren Beitrag gemindert wird, ergibt sich die folgende Kostenverteilung. Hier trägt die Quelle mit der größten Lärminderung (B) am stärksten an den Kosten, während Quelle A aufgrund der starken Dominanz weiterhin beteiligt ist und die irrelevante Quelle C nicht beteiligt wird. Die Kostenverteilung zeigt jedoch gegenüber dem Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“ eine stärkere Beteiligung der Quelle B.

Tabelle 21: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell Anteil „Anteil energetischer Belastungsminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	75,5 dB(A)	61,7 dB(A)	41,0 dB(A)	75,7 dB(A)
Kostenanteil	9 %	90 %	0 %	

Der Fall, dass nur die eigentlich irrelevante Quelle C reduziert wird, tritt beim Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ (Schade 2014) eigentlich nicht auf, da in einem ersten Schritt das Verhältnis Kosten zu Nutzen anhand des Nutzens im Bezug zur Gesamtlärminderung ermittelt wird und somit ein geringer Nutzen resultieren würde. Unabhängig davon

würden bei dieser Methode ebenfalls fast nur die Quellen A und B an den Kosten beteiligt, da nur deren Anteile die Höhe des Gesamtlärms beeinflussen (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Beispiel für unterschiedliche akustische Relevanz verschiedener Geräuschquellen – Modell Anteil „Anteil energetischer Belastungsminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nachher	75,4 dB(A)	69,7 dB(A)	39,0 dB(A)	76,4 dB(A)
Kostenanteil	87 %	12 %	1 %	

Kommutativität/Stichtagsunabhängigkeit

Bei diesem Modell ist ebenfalls wie in dem Modell „Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“ ein Bezug auf den Gesamtlärmanteil enthalten. Allerdings wirkt sich dies bei unterschiedlichen Reihenfolgen und damit der Wahl des Stichtags nicht so stark aus, wie in Abschnitt 3.4.3 beschrieben. Beispielhaft sind im Folgenden die Auswirkungen der Fallkonstellation aus Tabelle 18 bei diesem Finanzierungsmodell dargestellt.

Tabelle 23: Beispiel für unterschiedliche Realisierungsreihenfolgen für das Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Reihenfolge I -> II				
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nach Maßnahme I	75,4 dB(A)	61,7 dB(A)	41,0 dB(A)	75,6 dB(A)
Anteil Kosten	17 %	83 %	0 %	
Nach Maßnahme II	70,3 dB(A)	61,6 dB(A)	40,8 dB(A)	70,9 dB(A)
Anteil Kosten	100 %	0 %	0 %	
Anteil an Gesamtkosten bei angenommenen gleichen Kosten beider Maßnahmen	58 %	42 %	0 %	
Reihenfolge II -> I				
Vorher	75,6 dB(A)	69,8 dB(A)	45,3 dB(A)	76,6 dB(A)
Nach Maßnahme I	70,5 dB(A)	69,7 dB(A)	44,8 dB(A)	73,1 dB(A)
Anteil Kosten	99%	1 %	0 %	
Nach Maßnahme II	70,3 dB(A)	61,6 dB(A)	40,8 dB(A)	70,9 dB(A)
Anteil Kosten	6 %	94 %	0 %	

	Quelle A	Quelle B	Quelle C	Gesamt
Anteil an Gesamtkosten bei angenommenen gleichen Kosten beider Maßnahmen	53 %	47 %	0 %	

Während sich die Reihenfolge der Lärmschutzmaßnahmen im Abschnitt 3.4.3 mit mehr als 10 % Unterschied bei den Kosten auswirkte, ergeben sich hier Abweichungen bei unterschiedlichen Reihenfolgen von etwa 5%. Dennoch ist eine Abhängigkeit gegeben.

Gebietsunabhängigkeit

Ebenso wie bei der Methode „Anteil Lärmpegelminderung“ werden Einflüsse der Abgrenzung des Sanierungsgebiets dann eliminiert, wenn Lärmschutzmaßnahmen lokal begrenzte Wirksamkeit aufweisen und das Untersuchungsgebiet zumindest den Einflussbereich der Maßnahme umfasst.

3.5 Empfehlungen für ein Finanzierungsmodell

Die Ergebnisse der vorstehend durchgeführten Analyse der betrachteten Finanzierungsmodelle sind in Tabelle 24 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 24: Bewertung der unterschiedlichen Finanzierungsmodelle

Finanzierungsmodell/ Kriterium	„Lärmanteil Bestand“	„Anteil Lärmpegelminderung“	„Gewichteter Anteil Lärmpegelminderung“	„Anteil energetischer Belastungsminde- rung“
Kostengerechtigkeit	Nein, im Sinne der Reduzierung der Verlärmungsschuld	Nein	Ja	Ja
Kommutativität	Nein, außer wenn Ausgangssituation für alle Lärmschutzmaßnahmen gleich gewählt wird	Ja	Nein, außer wenn Ausgangssituation für alle Lärmschutzmaßnahmen gleich gewählt wird	Geringere Einschränkung Der Unabhängigkeit, wenn Ausgangssituation für alle Lärmschutzmaßnahmen gleich gewählt wird
Stichtagsunabhängig	Nein, da der Zeitpunkt der Ausgangssituation die Kostenverteilung bestimmt	Ja	Eingeschränkt, da der Zeitpunkt der Ausgangssituation die Kostenverteilung beeinflusst	Eingeschränkt
Gebietsunabhängig	Nein	Ja	Ja	Ja

Tabelle 24 zeigt, dass von den betrachteten Finanzierungsmodellen nur das Modell „Anteil Lärmpegelminderung“ die Kriterien der Kommutativität, der Stichtags- und Gebietsunabhängigkeit erfüllt. Nur die Kostengerechtigkeit in Bezug auf die Minderung des Gesamtlärms ist bei dieser Methode nicht gegeben.

Bei dem Finanzierungsmodell für eine Lärmschutzmaßnahme sollte nach den vorangegangenen Überlegungen aus unserer Sicht sowohl Bezug auf die Gesamtlärminderung als auch auf die Lärminderung der Maßnahme genommen werden. Es wird daher das Modell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ als Vorzugsmethode vorgeschlagen. Wesentliches Entscheidungskriterium hierfür ist die Kostengerechtigkeit und die Gebietsunabhängigkeit. In den allermeisten Fällen einer kommunalen Planung von Lärmschutzmaßnahmen, bei der mehrere Maßnahmen z.B. in einem Aktionsplan beschlossen werden, sind diese Kriterien wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz der Kostenverteilung durch die Beteiligten Baulastträger.

3.6 Weiterentwicklung des Finanzierungsmodells auf Grundlage eines summarischen Indikators für die Gesamtlärmbelastung

Auf Grundlage der vorhandenen wirkungsbezogenen Ersatzpegel nach VDI 3722-2 hat sich im Hinblick auf die vier Bewertungskriterien das Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ als vorteilhaft erwiesen. Der in diesem Modell verwendete WEBI-Index repräsentiert einen delogarithmierten, mit der Zahl der Betroffenen gewichteten und über Immissionsorte aufsummiertem Pegelwert.

Um diesen Wert leichter berechnen zu können, wird ausschließlich die Wirkungskenngröße Belästigung als %HA als Grundlage verwendet.

Die denkbare Verwendung eines integrativen, mehrere Wirkungskenngrößen einbeziehenden, wirkungsbezogenen Gesamtschallpegels würde die Berechnung eines Substitutionspegels erfordern, der für alle betrachteten Geräuschquellenarten die notwendigen Wirkungsgrößen (zumindest Belästigung, Schlafstörung, Erkrankungsrisiko) umfasst. Die Berechnung eines derartigen Substitutionspegels ist unverhältnismäßig aufwändig und derzeit auch nicht für alle Wirkungsgrößen, auf die sich die VDI 3722-2 beziehen soll, realisierbar.

Die VDI 3722-2 sieht als Ergebnis einer Untersuchung die Beeinträchtigungskenngröße N_B , die die Zahl der Betroffenen durch eine Beeinträchtigung repräsentiert, vor. Diese Größe kann dann als Grundlage für die Entscheidung für oder gegen Planungsvarianten sein. Im gleichen Sinne könnte eine Beeinträchtigungskenngröße die Grundlage für die Verteilung der Kosten für Lärmschutzmaßnahmen darstellen. Das in Abschnitt 2.3.3.2 vorgestellte Vorgehen zur Ermittlung eines summarischen Indikators liefert als Ergebnis die Beeinträchtigungskenngröße PAR, das die durch Gesamtlärm beeinträchtigten Personen repräsentiert. Diese Kenngröße kann sowohl für den Gesamtlärmpegel berechnet werden als auch getrennt für jede Geräuschquellenart (derzeit: zumindest für alle Verkehrslärmarten) berechnet werden.

Die Umsetzung des Finanzierungsmodells „Anteil energetischer Belastungsminderung“ könnte analog als Kostenverteilung aufgrund des Anteils der quellenspezifischen Minderung der integrativen Beeinträchtigungsgröße an der Gesamtminderung der Beeinträchtigungskenngröße umgesetzt werden. Als Berechnungsformel würde sich ergeben:

$$Kosten_j = Kosten_{ges} \times \frac{PAR_{j,vorher} - PAR_{j,nachher}}{PAR_{vorher} - PAR_{nachher}} \quad (60)$$

wobei

PAR_j : populationsbezogenes attributables Risiko durch die Quelle j; vorher: vor Umsetzung einer Maßnahme; nachher: nach Umsetzung einer Lärmschutzmaßnahme

PAR_j : populationsbezogenes attributables Risiko durch die Gesamtlärbetrachtung; vorher: vor Umsetzung einer Lärmschutzmaßnahme; nachher: nach Umsetzung einer Lärmschutzmaßnahme

In der Praxis sollte dieser Ansatz gegenüber dem Ansatz mit WEBI-Index unter Aufwand/Nutzenaspekten abgewogen werden.

4 Rechtsgutachten zur Einbindung der VDI 3722-2 und des Finanzierungsmodells in das Immissionsschutzrecht

4.1 Aufgabenstellung

4.1.1 Hintergrund

Eine Gesamtlärbewertung, die unabhängig von Art und Zahl der Geräuschquellen, die insgesamt auf einen Immissionsort einwirken, erfolgt, ist ein Desiderat. Eine *angemessene akzeptorbezogene Betrachtungsweise*, so der frühere Vorsitzende des 9. Senats des Bundesverwaltungsgerichts *Storost* (UPR 2015, S. 121, 126), müsse sowohl bestehende Straßen und Schienenwege als auch sonstige Geräuschquellen wie Flugverkehr und Anlagen einbeziehen.⁴¹

Eine Gesamtlärbewertung muss zunächst das fachliche Problem lösen, auf denselben Immissionsort einwirkenden Lärm aus verschiedenen Quellenarten zu einem Wert zusammenzufassen. Da ein solcher „Gesamtlärmwert“ Grundlage staatlicher Entscheidungen, auch belastender Verwaltungsakte in Gestalt von Lärmschutzanordnungen gegenüber Trägern und Betreibern von Geräuschquellen sein soll, muss er die Wirkung des Lärms v. a. auf den Menschen adäquat abbilden (Wirkungsadäquanz). Für die Bildung eines wirkungsadäquaten „Gesamtlärmpegels“ gibt es bislang kein allgemein anerkanntes Ermittlungsverfahren. Selbstredend existieren auch keine Richt- oder Grenzwerte, die die Bewertung eines solchen „Gesamtlärmwertes“ erlauben.

Mit der Richtlinie VDI 3722-2 (Mai 2013) machte der Verein Deutscher Ingenieure unter dem Titel „*Wirkung von Verkehrsgeräuschen – Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten*“ einen begründeten Vorschlag für die Bildung eines Kennwerts, der die kombinierte Beaufschlagung eines Immissionsortes durch Lärm mehrerer Quellenarten beschreibt. Zu beachten ist, dass die Richtlinie VDI 3722-2 klare *sachliche Grenzen* hat. Sie behandelt allein den Straßen-, Schienen- und Fluglärm. Der Anlagenlärm (Lärm aus gewerblichen Anlagen, Sportanlagen, Freizeitanlagen) ist nicht erfasst. Bei der Bildung des die drei genannten Verkehrslärmarten vereinheitlichenden Kennwertes, den die Richtlinie als „*effektbezogenen Substitutionspegel*“ definiert (Nr. 3.13 der VDI-Richtlinie 3722-2), werden für den Tag Dosis-Wirkungsbeziehungen für die Belästigung und für die Nacht Dosis-Wirkungsbeziehungen für selbstberichtete Schlafstörungen herangezogen. Wirkungen des erfassten Verkehrslärms auf Leben und Gesundheit von Menschen werden von der aktuellen VDI 3722-2 nicht berücksichtigt.

Das Arbeitspaket 1 des Forschungsvorhabens „*Modell zur Gesamtlärbewertung*“ gilt der Weiterentwicklung eines Konzepts zur Gesamtlärbewertung auf der Grundlage der VDI 3722-2. In diesem Arbeitspaket werden – u. a. – die oben genannten sachlichen Grenzen der VDI 3722-2 bearbeitet. Insbesondere geht es um die Einbeziehung des Industrie- und Gewerbelärms in den Anwendungsbereich der VDI 3722-2 und um die Erweiterung der dieser Richtlinie zugrunde liegenden Methodik der Geräuschbewertung unter Aspekten des Gesundheitsschutzes.

Werden kostenauslösende Lärmschutzmaßnahmen auf eine Gesamtlärbewertung gestützt, stellt sich sogleich die Frage, wie diese Kosten auf die Träger der beteiligten Geräuschquellen verteilt werden sollen. Im Arbeitspaket (AP) 2 des Forschungsvorhabens werden Methoden zur

⁴¹ Andere Bundesverwaltungsrichter a. D. schließen sich dieser Forderung an. *Berkemann* (ZuR 2016, S. 515, 522) erklärt, die sektorale Zuordnung des Lärms lasse Fragen der Kumulation ungelöst. Das sei verfassungsrechtlich bedenklich. In der Tendenz ebenso *Halama, Stier* (NVwZ 2003, S. 137, 143). Auch der Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD vom 07.02.2018 (Z. 5657 – 5660) greift das Thema einer Gesamtlärbetrachtung, allerdings beschränkt auf den Verkehrsbereich, auf: „Lärm ist in unserem dichtbevölkerten Land ein großes Problem. Den durch Mobilität verursachten Lärm wollen wir deutlich reduzieren. Wir werden die Bürger frühzeitig bei Verkehrsprojekten beteiligen und eine Gesamtlärbetrachtung einführen. Wir werden ein verkehrsträgerübergreifendes Lärmkonzept erstellen.“

Aufschlüsselung dieser Kosten entwickelt und anhand von Modellen vorgestellt und durchgerechnet.

4.1.2 Aufgabenstellung des Rechtsgutachtens

Teil des Arbeitspakets 2 ist die Anfertigung eines Rechtsgutachtens, das *im ersten Schritt*

- ▶ Möglichkeiten zur Einbindung der VDI 3722-2 nach AP 1 in nationales und europäisches Immissionsschutzrecht prüfen und konkrete Lösungsvorschläge machen soll.

Im zweiten Schritt soll das Rechtsgutachten

- ▶ Vorschläge für die rechtliche Umsetzung des im AP 2 entwickelten Finanzierungsmodells unterbreiten.

4.2 Möglichkeiten zur Einbindung der VDI 3722-2 in das geltende nationale und europäische Immissionsschutzrecht

Die Richtlinie VDI 3722-2 ist keine Rechtsnorm. Sie wurde erarbeitet und veröffentlicht vom VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.⁴², ist also ein technisches Regelwerk nichtstaatlicher, privater Provenienz. Sie hat Empfehlungscharakter.⁴³ Rechtliche Bedeutung erhält sie als Erkenntnisquelle, für die die tatsächliche, widerlegbare Vermutung gilt, dass sie einer objektiven Kontrolle standhält.⁴⁴ VDI-Richtlinien können – wie auch die Normen, Richtlinien, Merkblätter etc. anderer privater Normungsorganisationen⁴⁵ – zur Konkretisierung der allgemein anerkannten Regeln der Technik⁴⁶ herangezogen werden. Doch haben sie nicht schon kraft ihrer Existenz die Qualität von anerkannten Regeln der Technik. Sie können auch dahinter zurückbleiben.⁴⁷

Die Richtlinie VDI 3722-2 – auch in einer im AP 1 untersuchten, erweiterten Fassung – ist damit ein Erkenntnisinstrument zur Durchführung einer quellenartübergreifenden Gesamtlärbewertung. Zu untersuchen ist daher zunächst, wo das geltende deutsche und europäische Immissionsschutzrecht eine solche Gesamtlärbewertung zulässt oder verlangt. Denn nur dort kann die VDI 3722-2 zum Einsatz kommen.

⁴² Der VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf) beschreibt sich auf seiner Homepage mit folgenden Worten: „Der VDI ist mit 150.000 Mitgliedern der größten technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Als anerkannter Sprecher der Ingenieure und der Technik generieren und bündeln wir mit unseren über 10.000 Experten ein einzigartiges Wissen: Die VDI-Richtlinien. Auf dieser Basis stellen wir unverzichtbare und richtungsweisende Grundlagen für Praxis, Wissenschaft und Gesetzgebung zur Verfügung. Mit den in freiwilliger Selbstverantwortung erarbeiteten VDI-Richtlinien beschreibt der VDI den Stand der Technik. ...“

⁴³ So ausdrücklich BGH, Urteil vom 14.05.1998, VII ZR 184/97, NJW 1998, S. 2814 (Ls. 3)/2815.

⁴⁴ BVerwG, Beschluss vom 30.09.1996, 4 B 175/97, NVwZ-RR 1997, S. 214/215.

⁴⁵ In Deutschland befassen sich nicht nur der VDI und der DIN Deutsche Institut für Normung e.V. mit der Aufstellung und Verbreitung technischer Normen. Es gibt rund 150 rein privatrechtliche Normungsorganisationen in Deutschland. Bekannt sind neben DIN und VDI v.a. VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker e.V.), VDGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.), vgl. *Seibel*, NJW 2013, S. 3000/3001; *Müggenborg*, NVwZ 1990, S. 909/911.

⁴⁶ Zweifelhaft ist, ob VDI-Richtlinien und vergleichbare private Regelwerke den – im Vergleich zu den allgemein anerkannten Regeln der Technik anspruchsvolleren (vgl. nur *Jarass*, BImSchG) - Stand der Technik konkretisieren können, wie der VDI in seiner oben genannten Selbstbeschreibung erklärt, vgl. dazu *Seibel*, NJW 2013, S. 3000/3001.

⁴⁷ BGH, Urteil vom 14.06.2007, VII ZR 45/06 (NJW 2007, S. 2983/2985, Rn. 32); Urteil vom 14.05.1998, VII ZR 184/97 (NJW 1998, S. 2814 (Ls. 3)/2815); BVerwG, Beschluss vom 30.09.1996, 4 B 175/97 (NVwZ-RR 1997, S. 214/215).

4.2.1 Segmentierung der Geräuschquellen als prägendes Strukturelement des deutschen Lärmschutzrechts

Nach § 3 Abs. 1 und 2 BImSchG sind schädliche Umwelteinwirkungen – unter anderem – auf den Menschen einwirkende Geräusche, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Lärmbelastigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. § 3 Abs. 2 BImSchG wird nach allgemeiner Auffassung dahingehend verstanden, „dass es hierzu nicht darauf ankommt, „aus wie vielen Quellen welcher Art die zu beurteilende Immission stammt.“ (Storost, UPR 2015, S. 121) Maßgebend ist der Zustand. Der Begriff der Immission im Sinn des Bundes-Immissionsschutzgesetzes kennt keinerlei Zuordnung zu irgendeiner Anlage.⁴⁸ Nach den Grundbegriffen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist die Situation des Rezipienten am Einwirkungsort maßgebend. Das Immissionsschutzgesetz verfolgt damit einen „akzeptorbezogenen“ Ansatz, der grundsätzlich eine summative Betrachtungsweise der Gesamtbelastung eines Einwirkungsortes durch Lärmimmissionen verlangt.

Obwohl das BImSchG damit an sich eine Gesamtlärbewertung verlangt, ist das deutsche Lärmschutzrecht auf untergesetzlicher Ebene zersplittert. Prägendes Strukturelement ist die Segmentierung der Geräuschquellen. Die einzelnen Rechtsvorschriften (16. BImSchV – Verkehrslärmschutzverordnung, Fluglärmschutzgesetz mit Fluglärmschutzverordnungen, TA Lärm, 18. BImSchV – Sportanlagenlärmschutzverordnung etc.) gelten jeweils isoliert für einzelne Lärmarten und Geräuschquellen. Dies ist zum einen dem Umstand geschuldet, dass die verschiedenen Arten von Lärm sich physikalisch sowie in ihrer Auswirkung auf den Menschen unterscheiden und dass sie nach verschiedenen Verfahren gemessen, berechnet und bewertet werden. Für die Kumulation sehr verschiedenartiger Geräusche bestanden bisher in weiten Bereichen noch keine geeigneten fachlichen Grundlagen.⁴⁹ Die gesonderte Betrachtung der Geräuschquellenarten wird zum anderen damit begründet, dass die Betroffenen den verschiedenen Arten von Schallquellen mit unterschiedlichen Einstellungen begegnen (DIN 18005-1, Beiblatt 1, Nr. 1.2 Abs. 3). Die Segmentierung der Geräuschquellen im geltenden, untergesetzlichen Lärmschutzrecht bietet zudem praktische Vorteile im Verwaltungsverfahren. Die zum Vollzug der jeweiligen Regelung berufene Behörde ist i. d. R. eindeutig zu bestimmen, und dieser Behörde steht ebenfalls regelmäßig ein einziger Adressat gegenüber, der für die Geräuschquelle verantwortlich ist („Baulastträger-Denken“; Hornfischer u. a., Lärmbekämpfung 2014, S. 217). Die Konzentration des segmentierten Lärmschutzrechts auf den Lärm aus bestimmten Quellen vereinfacht und verkürzt die Genehmigungs- und Überwachungsverfahren, denn die Beurteilung von Gesamtmissionen ist häufig mit erheblichem Aufwand verbunden.⁵⁰

Dem quellenbezogenen und -separierenden untergesetzlichen Lärmschutzrecht ist eine Gesamtlärbewertung daher zwar im Grundsatz fremd, doch haben verfassungsrechtliche Erwägungen mit Blick auf die aus Art. 2 Abs. 2 Satz 1, 14 Abs. 1 Satz 1 GG resultierende Schutzpflicht des Staates und die Kritik an der ausschließlich quellenbezogenen Lärmbewertung (vgl. Nachweise in Abschnitt 4.2.2.1) in der Rechtsprechung und im Regelwerk Spuren hinterlassen. So existieren bereits nach dem geltenden Recht in bestimmten Fallgruppen Gesamtlärbewertungen. Die jeweiligen Gesamtlärbewertungen unterscheiden sich allerdings nach Umfang und Struktur erheblich voneinander. Nachfolgend werden diese Fallgruppen beschrieben, und es wird jeweils

⁴⁸ BVerwG, Urteil vom 12.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 31; Urteil vom 21.02.2013, 7 C 22/11, NVwZ-RR 2013, S. 593/594, Rn 27; OVG Münster, Beschluss vom 21.11.2017, 8 B 935/17, ZuR 2018, S. 163/164; Jarass, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 3 Rn 55 f.; Dolde, in: ders. (Hrsg.), Umweltrecht im Wandel, 2001, S. 551, 552; Schink, NVwZ 2017, S. 337, 340; Storost, UPR 2015, S. 121; Michler, VBIBW 2004, S. 361. – Koch (NVwZ 200, S. 490, 493) formuliert plastisch: „Diese summative Betrachtungsweise hat für das deutsche Immissionsschutzrecht geradezu paradigmatischen Charakter. Denn nur eine summative Betrachtungsweise ist überhaupt geeignet, den Schutzauftrag des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zu erfüllen.“

⁴⁹ Amtliche Begründung der TA Lärm, BR-Drs. 254/98 vom 19.03.1998, S. 48.

⁵⁰ Amtliche Begründung der TA Lärm, BR-Drs. 254/98 vom 19.03.1998, S. 48.

geprüft, ob sie einer in Anwendungsbereich und Methodik nach dem AP 1 erweiterten Richtlinie VDI 3722-2 einen Anwendungsraum bieten.

4.2.2 Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertungen im geltenden deutschen Immissionsschutzrecht

4.2.2.1 Verfassungsrechtlich gebotene, quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung bei Gesundheitsgefahr und Eingriff in die Substanz des Eigentums (Art. 2 Abs. 2 Satz 1, 14 Abs. 1 Satz 1 GG)

Verkehrswege: Urteil des BVerwG vom 21.03.1996 (4 C 9/95 – Eschenrieder Spange)

Die 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV⁵¹) gilt für den Bau oder die wesentliche Änderung von öffentlichen Straßen sowie von Schienenwegen der Eisenbahnen und Straßenbahnen (Straßen und Schienenwege, § 1 Abs. 1 der 16. BImSchV).

In seinem grundlegenden Urteil vom 21.03.1996 (4 C 9/95 – Eschenrieder Spange) hat das Bundesverwaltungsgericht festgestellt, dass die 16. BImSchV jedenfalls für den Regelfall kein Verfahren „für die Ermittlung eines wie auch immer gearteten Summenpegels“ bereitstellt.⁵² Die Immissionsgrenzwerte des § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV gelten danach ausschließlich für die Beurteilung jenes Lärms, den die zu bauende oder wesentlich zu ändernde Verkehrsanlage verursacht. Der Lärm bereits vorhandener Verkehrswege wird nicht berücksichtigt. Nach Auffassung des Bundesverwaltungsgerichts ist die Bildung eines „Summenpegels“ im Anwendungsbereich der 16. BImSchV grundsätzlich ausgeschlossen.⁵³ Die Folgen dieser Handhabung der 16. BImSchV stehen dem Bundesverwaltungsgericht klar vor Augen. Es erkennt, dass der Ordnungsgeber die Nachbarschaft für den Bereich des Verkehrslärms nicht durch einheitliche, alle Vorbelastungen erfassende Grenzwerte geschützt habe. Hätte der Ordnungsgeber in der 16. BImSchV die Möglichkeit eröffnen wollen, bei der Ermittlung der maßgeblichen Beurteilungspegel auch den Lärm bereits vorhandener Verkehrswege einzubeziehen, hätte er den Regelungsbereich der Lärmsanierung betreten. Der Gesetzgeber aber, so das BVerwG, habe bewusst keine Regelung zur Lärmsanierung des Gesamtbestandes von Straßen und Schienenwegen getroffen.⁵⁴

Das Bundesverwaltungsgericht entnimmt der 16. BImSchV also für den Regelfall ein Verbot, Summenpegel zu bilden. Dieses Verbot findet nach der Auffassung des Gerichts aber in jenen Fällen eine Grenze, in denen der neue oder zu ändernde Verkehrsweg im Zusammenwirken mit vorhandenen Vorbelastungen anderer Verkehrswege insgesamt zu einer Lärmbelastung führt, die mit Gesundheitsgefahren oder einem Eingriff in die Substanz des Eigentums verbunden ist. Dann, so das Bundesverwaltungsgericht,⁵⁵ könne eine Berechnung der Lärmbeeinträchtigung nach Maßgabe eines Summenpegels geboten sein. Denn der Staat dürfe durch seine Entscheidungen keine verkehrlichen Maßnahmen zulassen, die im Ergebnis einen nicht zu rechtfertigenden Eingriff in Leben, Gesundheit oder Eigentum auslösten. Dies geböten die in Art. 2 Abs. 2 Satz 1 oder Art. 14 Abs. 1 Satz 1 GG enthaltenen Gewährleistungen. Der zum Schutz verpflichtete

⁵¹ Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12.06.1990 (BGBl. I S. 1036), zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 18.12.2014 (BGBl. I S. 2269).

⁵² BVerwG, Urteil vom 21.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 23.

⁵³ BVerwG, Urteil vom 21.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 25.

⁵⁴ BVerwG, Urteil vom 21.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 34.

⁵⁵ BVerwG, Urteil vom 21.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 35. Ebenso BVerwG, Urteil vom 29.06.2017, 3 A 1.16, BeckRS 2017, 134358, Rn. 85; Beschluss vom 25.06.2013, 4 BN 21/13, juris Rn. 3; Urteil vom 09.11.2006, 4 A 2001/06, juris Rn. 122; Beschluss vom 24.11.2010, 4 BN 28.10, ZfBR 2011, S. 165; BayVGh, Urteil vom 15.03.2017, 2 N 15.619, juris Rn. 59; VGh BW, Urteil vom 19.10.2011, 3 S 942/10, juris Rn. 52.

Staat dürfe sich dieser Verpflichtung auch nicht dadurch entziehen, dass er summierte Immissionen bereits konzeptionell unbeachtet lasse. Das Gericht schreibt der öffentlichen Hand mit aller Klarheit ins Stammbuch, sie könne sich auch nicht ohne Weiteres mit vorhandenen Erkenntnisdefiziten „entschuldigen“. Denn die Gesundheitsschädlichkeit müsse nicht erst bewiesen werden, um eine Regelungspflicht des Staates auszulösen. Auch Gesundheitsgefährdungen verpflichteten zum Handeln. Auch hier möchten vielfache Erkenntnisdefizite bestehen. Der Staat müsse ihnen – etwa bei der Festsetzung von Grenzwerten – durch Sicherheitsmargen zu begegnen suchen.⁵⁶

Verallgemeinerung: quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung zur Vermeidung verfassungsrechtlich unzumutbarer Zustände

Das Bundesverwaltungsgericht hat in dem zitierten Urteil vom 21.03.1996 seine Aussagen zur Notwendigkeit einer Gesamtlärbewertung darauf beschränkt, dass ein neuer oder zu ändernder Verkehrsweg gemeinsam mit vorhandenen Vorbelastungen *anderer Verkehrswege* zu Gesundheitsgefahren oder zu einem Eingriff in die Substanz des Eigentums führt. Der Fall, über den das Gericht zu entscheiden hatte, betraf ein Straßenbauvorhaben und damit den Anwendungsbereich der 16. BImSchV, der allein Straßen und Schienenwege erfasst (§ 1 Abs. 1 16.BImSchV). Das Gericht hatte daher in seiner Entscheidung vom 21.03.1996 keinen Anlass, den Lärm aus weiteren Quellen in seine Erwägungen einzubeziehen.

In der Literatur (*Storost*, UPR 2015, S. 121/126; *Michler*, VBIBW 2004, S. 361, 366; *Dolde*, in: ders. [Hrsg.], *Umweltrecht im Wandel*, 2001, S. 451/456; *Jarass*, in: Czajka u. a. [Hrsg.], *Festschrift für Feldhaus*, 1999, S. 235/242f.; *Karkaj*, *Die Gesamtlärbewertung im Immissionsschutzrecht*, 2007, S. 50) wurde zu Recht darauf hingewiesen, dass der Staat Gesundheitsgefahren (Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG) oder Eingriffe in die Substanz des Eigentums (Art. 14 Abs. 1 S. 1 GG)⁵⁷ durch Lärm insgesamt nicht zulassen darf und deshalb in die aus verfassungsrechtlichen Gründen gebotene Gesamtlärbewertung nicht nur der Lärm aus Straßen und Schienenwegen, sondern auch der Lärm sonstiger Geräuschquellen (Luftverkehr, gewerbliche Anlagen, Sportanlagen, Freizeitanlagen) einzubeziehen ist.

Der Bayerische Verwaltungsgerichtshof scheint der Literatur zu folgen. In seinem Urteil vom 04.08.2017⁵⁸ stellt der BayVGH fest, dass eine Gesamtlärbetrachtung geboten ist, „wenn insgesamt (durch Verkehr und Gewerbe) eine Lärmbelastung zu erwarten ist, die mit Gesundheitsgefahren oder einem Eingriff in die Substanz des Eigentums verbunden ist.“ In seinem Beschluss vom 28.08.2017⁵⁹ bezieht der BayVGH auch die Sport- und Freizeitanlagen ein: „Entgegen dem Zulassungsvorbringen war eine Gesamtlärbetrachtung unter Einbeziehung der vorhandenen Sport- und Freizeitanlagen nicht geboten. Dies kann nach Maßgabe eines Summenpegels ausnahmsweise nur dann der Fall sein, wenn es um eine Gesamtlärbetrachtung geht, die die verfassungsrechtliche Schwelle zur Gesundheitsgefahr oder zu Eingriffen in die Substanz des Eigentums überschreitet, und sei es auch nur durch Erhöhung einer „bereits insofern kritischen“ Gesamtvorbelastung (vgl. *BayVGH U. v. 15.03.2017 – 2 N 15.619 – juris Rn. 59 m. w. N.*)“

⁵⁶ BVerwG, Urteil vom 21.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 36.

⁵⁷ Als Anknüpfungspunkte einer staatlichen Schutzpflicht vor Gesamtlärm werden neben Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG und Art. 14 Abs. 1 S. 1 GG auch Art. 1 Abs. 1 S. 2, Art. 2 Abs. 1 GG diskutiert, ebenso eine Verstärkung dieser Schutzpflicht durch die Staatszielbestimmung des Art. 20a GG, vgl. *Karkaj*, *Die Gesamtlärbewertung im Immissionsschutzrecht*, 2007, S. 53 ff., 62 ff.

⁵⁸ BayVGH, Urteil vom 04.08.2017, 9 N 15.378, juris Rn. 91. Unentschieden dagegen VGH BW, Urteil vom 19.10.2011, 3 S 942/10, juris Rn. 52: „Ob darüber hinaus auch eine Summierung von Verkehrs- und Gewerbelärm geboten ist, wenn Anhaltspunkte für eine gesundheitsgefährdende Gesamtbelastung bestehen, ist vom Senat erwogen, aber noch nicht tragend entschieden worden (vgl. Urteil vom 09.02.2010 – 3 S 3064.07 -, NuR 2010, 736 ff.). Einer solchen Entscheidung bedarf es auch vorliegend nicht. ...“

⁵⁹ BayVGH, Beschluss vom 28.08.2017, 9 ZB 14.1283, BeckRS 2017, 123011, Rn. 19.

Eine solche Verallgemeinerung seiner Grundsätze zur Gesamtlärbewertung zur Meidung verfassungsrechtlich unzumutbarer Zustände scheint auch das Bundesverwaltungsgericht nicht mehr auszuschließen, das in seinem Beschluss vom 25.06.2013⁶⁰ erklärt:

„Das Bundesverwaltungsgericht akzeptiert es, wenn Regelwerke – wie die hier einschlägige 16. BImSchV – keine summierende Gesamtbetrachtung aller Lärmquellen vorsehen (Urteil vom 21. März 1996 – BVerwG 4 C 9.95 – BVerwGE 101, 1 <7>), und hält eine Ermittlung der Lärmbelastung nach Maßgabe eines Summenpegels allenfalls dann für geboten („könnte“ geboten sein), wenn wegen der in Rede stehenden Planung insgesamt eine Lärmbelastung zu erwarten ist, die mit Gesundheitsgefahren oder einem Eingriff in die Substanz des Eigentums verbunden ist [...].“

Anwendung der VDI-Richtlinie 3722-2

Die grundrechtliche Zumutbarkeitsschwelle wird vom Bundesverwaltungsgericht für Wohngebiete noch immer grundsätzlich ab einem äquivalenten Dauerschallpegel von 70 dB(A) tags und 60 dB(A) nachts angenommen.⁶¹ An diesen Werten jedoch, so der VGH Baden-Württemberg in seinem Urteil vom 08.10.2012 (5 S. 203/11, juris, Rn. 99, 100) noch zum Entwurf der VDI 3722-2, kann ein Beurteilungspegel, der nach der Methode der VDI-Richtlinie 3722-2 als effektbezogener Substitutionspegel gebildet wird, nicht gemessen werden. Denn die VDI-Richtlinie 3722-2 orientiert sich ausschließlich an dem Belästigungsurteil der Betroffenen oder an selbstberichteten Schlafstörungen, nicht aber an der Wirkung der erfassten Lärmarten auf die Gesundheit.

Der Auffassung des VGH Baden-Württemberg ist zuzustimmen. Die Studien der Lärmwirkungsforschung fassen – soweit ersichtlich – stets eine Wirkungsgröße (z.B. Belästigung, Schlafstörung, Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, Depression usw.) ins Auge und versuchen, eine Korrelation zur Lärmexposition zu finden. Tragfähige Studien, die Wirkungsgrößen untereinander korrelieren – z.B. Belästigung mit Herzinfarkt oder einem anderen gesundheitsbezogenen Wirkungsendpunkt – scheint es bislang nicht zu geben. Es ist zwar biologisch plausibel, dass Belästigung und Schlafstörung zu Gesundheitsschäden führen. Es ist bisher aber nicht möglich, diesen Zusammenhang zu quantifizieren und aus einer lärmbedingten Quote belästigter (%A) oder hoch belästigter (%HA) Personen eine Quote zusätzlicher Herzinfarkte oder verlorene Lebensjahre oder Ähnliches zu berechnen. Ein *belästigungseffektbezogener* Gesamtpegel kann nach dem jetzigen Stand der Kenntnis nicht in einen *gesundheitseffektbezogenen* Gesamtpegel umgerechnet werden. Aus diesem Grund kann ein belästigungseffektbezogener Gesamtpegel nicht an einem Grenzwert gemessen werden, der auf die Gesundheit bezogen ist. Gleiches gilt für Pegel, die sich auf selbstberichtete Schlafstörungen stützen.

Für die *geltende Richtlinie VDI 3722-2* bietet die zur Abwehr grundrechtlich relevanter Gesundheits- und Eigentumsgefahren gebotene quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung deshalb keinen Anwendungsbereich. Gelänge es aber, einen effektbezogenen Substitutionspegel unter Verwendung von (tragfähigen) Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Lärm und Leben und Gesundheit von Menschen herzustellen, wäre ein taugliches Mittel geboren, um die dargestellten Maßgaben des Bundesverwaltungsgerichts aus dem Urteil vom 21.03.1996 mit Leben zu erfüllen. Dabei wäre ein solcher *gesundheitseffektbezogener Substitutionspegel* umso nützlicher, je mehr Geräuschquellenarten er erfasste.

⁶⁰ BVerwG, Beschluss vom 25.03.2013, 4 BN 21/13, juris Rn. 3.

⁶¹ BVerwG, Urteil vom 29.06.2017, 3 A 1.16, BeckRS 2017, 134358, Rn. 71; Urteil vom 17.11.2016, 3 C 5/15, juris Rn. 31; Urteil vom 21.11.2013, 7 A 28.12, BeckRS 2014, 47369, Rn. 45; Urteil vom 10.10.2012, 9 A 20/11, NVwZ 2013, S. 645/647 (Rn. 28); Urteil vom 15.12.2011, 7 A 11/10, juris Rn. 30; Urteil vom 07.03.2007, 9 C 2/06, juris Rn. 29.

4.2.2.2 Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertungen in der TA Lärm

Beschränkte Lärmsummation in der Regelfallprüfung (Nr. 3.2.1 Abs. 1 i. V. m. Nr. 2.4 Abs. 3 TA Lärm)

In Nr. 2.4 definiert die TA Lärm⁶² die für die Anwendung der TA Lärm zentralen Belastungsgrößen. Vorbelastung ist nach Nr. 2.4 Abs. 1 die Belastung eines Ortes mit Geräuschimmissionen *von allen Anlagen, für die diese technische Anleitung gilt*, ohne den Immissionsbeitrag der zu beurteilenden Anlage. Unter der Zusatzbelastung versteht die TA Lärm den Immissionsbeitrag, der an einem Immissionsort durch die zu beurteilende Anlage voraussichtlich (bei geplanten Anlagen) oder tatsächlich (bei bestehenden Anlagen) hervorgerufen wird (Nr. 2.4 Abs. 2 TA Lärm). Als *Gesamtbelastung im Sinne der TA Lärm* definiert Nr. 2.4 Abs. 3 der TA Lärm die Belastung eines Immissionsortes, die von allen Anlagen hervorgerufen wird, *für die die TA Lärm gilt*.

Nach Nr. 3.2.1 der TA Lärm (Prüfung der Einhaltung der Schutzpflicht im Regelfall für genehmigungsbedürftige Anlagen) ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche (§ 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG) grundsätzlich sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung am maßgeblichen Immissionsort die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 TA Lärm nicht überschreitet.⁶³ Nr.

3.2.1 Abs. 1 der TA Lärm stellt ausdrücklich auf die Gesamtbelastung ab, so dass die Immissionsrichtwerte der Nr. 6 TA Lärm anlagenübergreifende Geltung besitzen (LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm).

Mit den Regelungen in Nr. 2.4 Abs. 3 und Nr. 3.2.1 Abs. 1 öffnet sich die TA Lärm dem Gedanken einer Gesamtlärbewertung, jedoch in einer limitierten und zurückhaltenden Weise. Denn in der Gesamtlärbetrachtung nach Nr. 2.4 Abs. 3 TA Lärm sind nur die Immissionsbeiträge von Anlagen zu berücksichtigen, für die die TA Lärm gilt. Ihren sachlichen Anwendungsbereich bestimmt die TA Lärm in Nr. 1 Abs. 2. Danach gilt sie zwar nicht nur für Anlagen, die nach dem BImSchG genehmigungsbedürftig sind, sondern auch für Anlagen, die der Genehmigung nach dem BImSchG nicht bedürfen. Der größere Teil der Nr. 1 Abs. 2 TA Lärm gilt jedoch der Aufzählung jener Anlagen, für die die TA Lärm nicht gilt. Ausgenommen vom Anwendungsbereich der TA Lärm sind danach Sportanlagen, die der Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV) unterliegen, sonstige nicht genehmigungsbedürftige Freizeitanlagen und Freiluftgaststätten, nicht genehmigungsbedürftige landwirtschaftliche Anlagen, Schießplätze, auf denen mit Waffen ab Kaliber 20 mm geschossen wird, Torgebaue, Baustellen⁶⁴, Seehafenumschlagsanlagen und Anlagen für soziale Zwecke⁶⁵. Nach Nr. 1 Abs. 2 gilt die TA Lärm zudem nur für Anlagen, die den Anforderungen des zweiten Teils des BImSchG über die Errichtung und den Betrieb von Anlagen unterliegen. Damit ist der gesamte Verkehrsbereich von der TA Lärm nicht erfasst. Die TA Lärm

⁶² Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26.08.1998 (GMBI Nr. 26/1998, S. 503), zuletzt geändert durch Bekanntmachung des BMUB vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5).

⁶³ Nach der TA Lärm 1968 kam es sowohl im Genehmigungsverfahren als auch vor dem Erlass nachträglicher Anordnungen nur auf die von der jeweiligen Anlage hervorgerufenen Geräuschimmissionen an. Alle anderen Geräusche, die auf einen Immissionsort einwirkten, waren – unabhängig von ihrer Quelle – als Fremdgeräusche bei der Prüfung, ob die Immissionsrichtwerte überschritten werden, nicht zu berücksichtigen, vgl. *Feldhaus/Tegeeder*, TA Lärm, 2014, Nr. 2.4 Rn 36.

⁶⁴ Für Baustellen gelten die §§ 22 Abs. 1, 3 Abs. 1 BImSchG i.V.m. der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – AVV Baulärm – vom 19.08.1970 (Beilage zum BAnz. Nr. 160). Die AVV Baulärm ist nach Auffassung des BVerwG [Urteil vom 10.07.2012, 7 A 11/11, NVwZ 2012, S. 1393/1394 (Rn. 28)] nicht überholt.

⁶⁵ Wie *Kutscheidt* (NVwZ 1999, S. 577 f.) berichtet, war ursprünglich vorgesehen, lediglich die Sportanlagen und die Baustellen vom Anwendungsbereich der novellierten TA Lärm auszunehmen. Im Lauf der Beratungen sei die Liste der ausgenommenen Anlagen immer länger geworden. *Kutscheidt* übt Kritik an der langen Liste der „privilegierten“ Anlagen in Nr. 1 Abs. 2 TA Lärm. Die Rechtssicherheit leide darunter, weil unklar sei, nach welchen Kriterien der Lärm der ausgenommenen Anlagen bewertet werden soll.

gilt nicht für öffentliche Straßen, Eisenbahnen und Straßenbahnen, Flugplätze, Magnetschwebebahnen sowie für Verkehrsfahrzeuge.⁶⁶

Der Beurteilungspegel der Gesamtbelastung L_G , die nach der Inbetriebnahme einer genehmigungsbedürftigen Anlage zu erwarten ist, wird durch energetische Addition aus der nach Nr. A.3 TA Lärm ermittelten Vorbelastung L_V und der nach Nr. A.2 TA Lärm ermittelten Zusatzbelastung L_Z bestimmt (Nr. A.1.2 TA Lärm; (vgl. *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 2.4 Rn 53).

Die akzeptorbezogene Betrachtungsweise der TA Lärm 1998, die grundsätzlich auf die Gesamtbelastung als Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung abstellt, hat auch Folgen für die Wahl der maßgeblichen Immissionsorte, für die die Geräuschbeurteilung nach der TA Lärm vorgenommen wird. Maßgeblich ist der Immissionsort, an dem die Gesamtbelastung die Immissionsrichtwerte am ehesten überschreitet. *Feldhaus* und *Tege* (TA Lärm 2014, Nr. 2.3 Rn 28) weisen zu Recht darauf hin, dass sich diese Anordnung bereits aus Nr. 2.3 Abs. 1 TA Lärm ergibt. Denn der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche ist grundsätzlich nur dann sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung die Immissionsrichtwerte nicht überschreitet. Nr. 2.3 Abs. 2 TA Lärm stellt dennoch klar, dass ein sog. *zusätzlicher maßgeblicher Immissionsort* festzulegen ist, wenn zu erwarten ist, dass im Einwirkungsbereich der Anlage die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 TA Lärm aufgrund der Vorbelastung durch die Zusatzbelastung überschritten werden. Als zusätzlicher maßgeblicher Immissionsort ist dann jener Ort zu wählen, an dem die Gesamtbelastung den maßgeblichen Immissionsrichtwert nach Nr. 6 TA Lärm am höchsten übersteigt.⁶⁷

Da die Definitionen der Vorbelastung und der Gesamtbelastung in Nr. 2.4 Abs. 1, 3 TA Lärm ausdrücklich auf die Belastungen durch Anlagen beschränkt sind, für die die TA Lärm gilt, gehen Geräuschimmissionen aus anderen Quellen weder in die Vorbelastung noch in die Gesamtbelastung ein (*Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm Nr. 2 Rn 28, 35). Bei Licht besehen, handelt es sich bei der Gesamtbelastung im Sinn der TA Lärm damit um eine beschränkte Zusammenschau anlagenbedingter Immissionen.⁶⁸

Der Regelfall der Gesamtlärbewertung nach Nr. 2.4 Abs. 3, Nr. 3.2.1 Abs. 1 TA Lärm verlangt den Einsatz des Mechanismus der Richtlinie VDI 3722-2 nicht, denn die von dieser Regelung erfassten Immissionsbeiträge – sowohl jene, die die Vorbelastung konstituieren, als auch der Immissionsbeitrag der Zusatzbelastung durch die zu beurteilende Anlage – werden nach denselben Regeln ermittelt. Sie können deshalb in der Regel energetisch addiert werden. Der resultierende Beurteilungspegel der Gesamtbelastung ist anhand der Immissionsrichtwerte der Nr. 6 TA Lärm

⁶⁶ *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, Nr. 1, Rn. 23; *Feldhaus*, UPR 1999, S. 1 f.; *Hansmann*, in Landmann/Rohmer, TA Lärm Nr. 1 Rn.7. Hinsichtlich des Verkehrslärms ist allerdings auf Nr. 7.4 Abs. 1 TA Lärm hinzuweisen, wonach Fahrzeuggeräusche auf dem Betriebsgrundstück sowie bei der Ein- und Ausfahrt, die im Zusammenhang mit dem Betrieb der Anlage entstehen, der zu beurteilenden Anlage zuzurechnen sind. Nach Nr. 7.4 Abs. 1 Satz 3, Abs. 2-4 TA Lärm erfahren auch die Geräusche des An- und Abfahrtsverkehrs auf öffentlichen Verkehrsflächen eine gewisse Berücksichtigung.

⁶⁷ Die Geräuschbeurteilung für den *zusätzlichen maßgeblichen Immissionsort* nach Nr. 2.3 Abs. 2 TA Lärm ist zwingend erforderlich, wenn die Voraussetzungen dieser Vorschrift gegeben sind. Fehlt dieser Immissionsort in einem Schallgutachten, obwohl die Voraussetzungen der Nr. 2.3 Abs. 2 TA Lärm vorliegen, ist das Gutachten nicht verwertbar, vgl. VG Koblenz, Urteil vom 23.11.2017, 4 K 10/17.KO, juris, Rn 41, 42.

⁶⁸ *Koch* (NVwZ 2000, S. 490, 501) geht mit dieser Begriffsbildung hart ins Gericht: „Diese drastische und gesetzwidrige Eingrenzung der gebotenen akzeptorzogenen Betrachtungsweise versucht die ganz überwiegend kritische Literatur dadurch zu überwinden, dass sie gegebenenfalls eine Sonderfallprüfung gemäß Nr. 3.2.2 TA Lärm für geboten hält.“

zu beurteilen, denn diese Immissionsrichtwerte wurden gerade zur Beurteilung der Gesamtbelastung im Sinn der TA Lärm geschaffen.⁶⁹

Anwendung der VDI-Richtlinie 3722-2 in der Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm

Die TA Lärm erfasst im Sinne eines „Gesamtkonzepts Gewerbelärm“ die genehmigungsbedürftigen und die nichtgenehmigungsbedürftigen Anlagen im Sinn des Bundes-Immissionschutzgesetzes. Sie will den erforderlichen Schutz der Nachbarschaft und der Allgemeinheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Anlagengeräusche sicherstellen, aber auch zu Rechts- und Investitionssicherheit sowie zur Verfahrensbeschleunigung beitragen.⁷⁰ Mit der Regelfallprüfung will sie einen verlässlichen Maßstab für die Beurteilung der *in der Praxis auftretenden Standard-situationen* bereitstellen. Dies, so die amtliche Begründung der TA Lärm, sei das Hauptanliegen der Neuregelung. Es werde jedoch stets einen Restbestand an Situationen geben, für die die letztlich entscheidende Beurteilung vom Ergebnis der standardisierten Betrachtung abweicht, weil im Einzelfall wesentliche, in der Regelfallprüfung nicht berücksichtigte Faktoren hinzutreten. Für diese Situationen gebe die TA Lärm den Vollzugsbehörden durch die Regelung zur ergänzenden Prüfung im Sonderfall Aufgreif- und Entscheidungskriterien an die Hand, die den Prüfungsprozess strukturierten. Das Ergebnis selbst könne jedoch nur einzelfallbezogen ermittelt werden (Amtliche Begründung der TA Lärm, BR-Drs. 254/98 vom 19.03.1998, S. 45, 46).

Mit diesen Worten begründete die Bundesregierung die Regelung in Nr. 3.2.2 TA Lärm, „Ergänzende Prüfung im Sonderfall“. In Nr. 3.2.2 Satz 1 schreibt die TA Lärm Folgendes vor:

„Liegen im Einzelfall besondere Umstände vor, die bei der Regelfallprüfung keine Berücksichtigung finden, nach Art und Gewicht jedoch wesentlichen Einfluss auf die Beurteilung haben können, ob die Anlage zum Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen relevant beiträgt, so ist ergänzend zu prüfen, ob sich unter Berücksichtigung dieser Umstände des Einzelfalls eine vom Ergebnis der Regelfallprüfung abweichende Beurteilung ergibt.“

In Satz 2 bringt Nr. 3.2.2 TA Lärm Beispiele für Umstände, die eine Sonderfallprüfung erforderlich machen können. Dabei handelt es sich um Regelbeispiele. Die in Nr. 3.2.2 Satz 2 TA Lärm aufgezählten Umstände, die eine Sonderfallprüfung erforderlich machen können, ist nicht abschließend („insbesondere“; LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm i. d. F. des Beschlusses der 133. LAI-Sitzung am 22. und 23.03.2017, Nr. 3, S. 8; *Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm, Nr. 3 Rn 43; *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 3.2.2 Rn 55). Die in dieser Regelbeispielsliste genannten Umstände wirken in der Regel begünstigend für die zu genehmigende Anlage. Die Regelung ist jedoch ergebnisoffen. Die ergänzende Prüfung im Sonderfall nach Nr. 3.2.2 TA Lärm kann damit auch zu erhöhten Anforderungen gegenüber der Regelfallprüfung nach Nr. 3.2.1 TA Lärm führen. Es kommt allein darauf an, dass die besonderen Umstände in der standardisierten Regelfallprüfung nicht berücksichtigt worden sind, obwohl sie im konkreten Fall wesentlichen Einfluss auf die Beurteilung haben können, ob die Anlage zum Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen relevant beiträgt (*Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm, Nr. 3 Rn 43; *Feldhaus*, UPR 1999, S. 1, 5; LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm i. d. F. des Beschlusses der 133. LAI-Sitzung am 22. und 23.03.2017, Nr. 3, S. 8 f.)

⁶⁹ Die TA Lärm hat allerdings erkannt, dass auch die von ihr erfassten Anlagen sehr unterschiedliche Geräusche emittieren können. Besonders unterschiedliche Geräuschcharakteristiken verschiedener gemeinsam einwirkender Anlagen, die eine Summenpegelbildung zur Ermittlung der Gesamtbelastung nicht sinnvoll erscheinen lassen, werden denn auch explizit in Nr. 3.2.2 Satz 2 lit. a) TA Lärm beispielhaft als Umstände genannt, die eine Sonderfallprüfung auslösen können.

⁷⁰ Amtliche Begründung der TA Lärm, BR-Drs. 254/98 vom 19.03.1998, S. 42, 43.

Nach herrschender Meinung (*Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, TA Lärm, Nr. 3 Rn 44 ff.; *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 3.2.2 Rn 73; *Jarass*, in: Festschrift für Feldhaus, 1999, S. 235/244; *Kutscheidt*, NVwZ 1999, S. 577, 582; *Feldhaus*, UPR 1999, S. 1, 5 f.; im Ergebnis ebenso *Koch*, in: Festschrift für Feldhaus, 1999, S. 215/232) kann eine Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm auch dann geboten sein, wenn der maßgebliche Immissionsort durch Geräuschimmissionen aus Quellen belastet ist, für die die TA Lärm nicht gilt, und wenn die zu beurteilende Anlage nur im Zusammenwirken mit dieser Belastung relevant zu schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche beitragen kann.

Weitgehend unproblematisch ist der Fall, dass der maßgebliche Immissionsort durch Geräusche belastet wird, die zwar von Anlagen außerhalb des Anwendungsbereichs der TA Lärm verursacht werden, die sich aber nach ihrer Art nicht von den nach der TA Lärm zu beurteilenden Geräuschimmissionen unterscheiden. Dieser Fall lässt sich unter Heranziehung von Bestimmungen über die Regelfallprüfung lösen. Mit *Hansmann* (in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm, Nr. 3 Rn 45) ist davon auszugehen, dass eine Einbeziehung der betreffenden Immissionsbeiträge der ausgenommen Anlagen in die Vorbelastung ausreicht, wenn keine weiteren besonderen Umstände vorliegen.

Schwierig dagegen ist die Sonderfallprüfung, wenn der maßgebliche Immissionsort in erheblicher Weise durch Geräusche beaufschlagt ist, die sich nach ihrer Charakteristik von dem „Standardlärm“ der Anlagen aus dem Anwendungsbereich der TA Lärm unterscheiden. Im Vordergrund stehen dabei die Verkehrsgeräusche, also der Straßen-, Schienen- und Fluglärm⁷¹. In dieser Fallgruppe verlangt die Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm eine quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung, für die derzeit kein wissenschaftlich und fachlich begründetes Instrumentarium zur Verfügung steht. Eine auf den Industrie- und Gewerbelärm erstreckte Richtlinie VDI 3722-2 fände hier einen fruchtbaren Anwendungsbereich.⁷²

Anwendung der VDI-Richtlinie 3722-2 bei der Entscheidung über nachträgliche Maßnahmen nach Nr. 5 TA Lärm

Nr. 5 TA Lärm enthält Regelungen zur Steuerung des Ermessens bei Entscheidungen über nachträgliche Maßnahmen zur Lärminderung, die die Immissionsschutzbehörden nach § 17 BImSchG bei genehmigungsbedürftigen Anlagen und nach § 24 BImSchG bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen anordnen können, wenn ein Verstoß gegen die jeweiligen immissionsschutzrechtlichen Pflichten vorliegt.⁷³

Die Maßgaben, die Nr. 5.1 TA Lärm für nachträgliche Anordnungen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen enthält, errichten hohe Hürden. Nr. 5.1 Abs. 1 TA Lärm weist auf die im Rahmen der Verhältnismäßigkeit zu prüfende Erforderlichkeit der nachträglichen Anordnung hin und verpflichtet die Immissionsschutzbehörde auf eine umfassende Ermittlung und Bewertung der

⁷¹ Vgl. OVG Münster, Beschluss vom 21.11.2017, 8 B 935/17 (ZuR 2018, S. 163), das erklärt, Gründe für eine Sonderfallprüfung könnten „gerade beim Zusammentreffen von Verkehrsgeräuschen, die nicht durch den Anlagenbetrieb hervorgerufen werden, mit den Geräuschimmissionen der zu beurteilenden Anlage vorliegen.“ Ebenso VG Düsseldorf, Urteil vom 07.06.2018, 28 K 867/17, BeckRS 2018, 13709, Rn. 38.

⁷² Die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV liegen erheblich über den strengeren Immissionsrichtwerten der TA Lärm, so dass die Geräusche der nach der TA Lärm zu beurteilenden Anlagen in aller Regel nicht relevant zur faktischen Gesamtbelastung beitragen. Die Zahl der Fälle, in denen die Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm wegen einer Vorbelastung maßgeblicher Immissionsorte durch Verkehrslärm durchzuführen ist, dürfte sich deshalb in überschaubaren Grenzen halten. Darauf weisen *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 2.4 Rn 43 und Fußnote 91, zu Recht hin.

⁷³ Anders, als es die Überschrift der Nr. 5 TA Lärm („Anforderungen an bestehende Anlagen“) nahelegt, enthält Nr. 5 TA Lärm weder materielle Anforderungen an bestehende Anlagen noch Konkretisierungen der gesetzlichen Schutzpflichten, sondern ausschließlich Vorgaben für die Ausübung des Ermessens, das §§ 17, 24 BImSchG den zuständigen Behörden einräumten, vgl. *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 5 Rn 8; *Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm, Nr. 5 Rn 1, 3, 29; *Karkaj*, Die Gesamtlärbewertung im Immissionsschutzrecht, 2007, S. 143.

durch die Maßnahme oder durch ihr Unterlassen betroffenen Belange. Nach Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm darf eine nachträgliche Anordnung nicht getroffen werden, wenn sich eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 TA Lärm aus einer Erhöhung (z. B. durch Ansiedlung neuer Anlagen) oder erstmaligen Berücksichtigung der Vorbelastung (nach Inkrafttreten der TA Lärm 1998) ergibt, die Zusatzbelastung weniger als 3 dB(A) beträgt und die Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 5 dB(A) überschritten sind.⁷⁴

Nr. 5.1 Abs. 2 TA Lärm nennt beispielhaft („insbesondere“) 12 Gesichtspunkte, die bei der Ermessensausübung nach § 17 Abs. 1 BImSchG zur berücksichtigen sind. Zu den berücksichtigungsfähigen Belangen zählen nach Spiegelstrich 2 in Nr. 5 Abs. 2 TA Lärm auch die vorhandenen Fremdgeräusche. Fremdgeräusche sind nach Nr. 2.4 Abs. 4 TA Lärm alle Geräusche, die nicht von der zu beurteilenden Anlage ausgehen. Dazu zählen alle von Dritten verursachte Geräusche ohne Rücksicht darauf, ob die Geräuschquelle der TA Lärm unterfällt oder nicht (*Feldhaus/Tege-der*, TA Lärm, 2014, Nr. 2.4 Rn 54). Allerdings werden Geräusche von Fremdanlagen, die der TA Lärm unterliegen, bereits durch Spiegelstrich 4 des Absatzes 2 in Nr. 5.1 TA Lärm als Teil der Gesamtbelastung erfasst. Nach Nr. 5.1 Abs. 2 Spiegelstrich 2 TA Lärm dürften daher auch jene Fremdgeräusche bei der Entscheidung über nachträgliche Anordnungen nach § 17 Abs. 1 BImSchG zu berücksichtigen sein, deren Quelle nicht in den Anwendungsbereich der TA Lärm fällt, insbesondere der Verkehrslärm. Dabei können diese Fremdgeräusche einschließlich des Verkehrslärms sowohl für als auch gegen den Erlass einer nachträglichen Anordnung sprechen. Handelt es sich um ständig vorherrschende Fremdgeräusche i. S. v. Nr. 3.2.1 Abs. 5 TA Lärm, gehen von der betreffenden Anlage keine zusätzlichen schädlichen Umwelteinwirkungen aus. Der Erlass einer nachträglichen Anordnung scheidet dann aus. Soweit die vorhandenen Fremdgeräusche, insbesondere der Verkehrslärm, aber bei der Neuanlage zu einer Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm führen würden, können sie auch Anlass für eine Anordnung gegenüber einer bestehenden Anlage sein (*Feldhaus/Tege-der*, TA Lärm, 2014, Nr. 5.1 Abs. 2 Rn 19; Hansmann, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm, Nr. 5 Rn 8, 9; Feldhaus, UPR 1999, S. 1/7). Eine auf den Industrie- und Gewerbelärm erstreckte Richtlinie VDI 3722-2 wäre ein nützliches Instrument, um festzustellen, ob der Immissionsbeitrag des Verkehrs eine schädlich Umwelteinwirkung mitverursacht und eine nachträgliche Anordnung rechtfertigen kann.

4.2.2.3 18. BImSchV (Sportanlagenlärmschutzverordnung)

Beschränkte Lärmsummation (§ 2 Abs. 1 der 18. BImSchV)

Mit der Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV⁷⁵) regelt der Verordnungsgeber Immissionsrichtwerte mit den zugehörigen Mess- und Berechnungsmethoden für die von Sportanlagen verursachten Geräuschimmissionen.

⁷⁴ Nach Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm werden damit an die Sanierung bereits bestehender genehmigungsbedürftiger Anlagen deutlich geringere Anforderungen gestellt als an die erstmalige Zulassung: Eine Lärmsanierungsanordnung nach § 17 Abs. 1 BImSchG ist danach erst möglich, wenn die Gesamtbelastung den für den maßgeblichen Immissionsort geltenden Immissionsrichtwert um mehr als 5 dB(A) überschreitet und wenn die betreffende Anlage innerhalb der Gesamtbelastung dominant ist (Kutscheid, NVwZ 1999, S. 577/582; Feldhaus, UPR 1999, S. 1/7). Damit dient diese Regelung dem Bestandsschutz bestehender Anlagen (Amtl. Begründung der TA Lärm 1998, BR-Drs. 254/98 vom 19.03.1998, S. 48, 49). Sie hat zwar wesentlich zur Akzeptanz der TA Lärm 1998 beigetragen (Hansmann, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, TA Lärm, Nr. 5 Rn 19), wurde aber auch scharf kritisiert, etwa von Koch (NVwZ 2000, S. 490/501): „Diese Regelung besagt im Ergebnis, dass das, was durch eine vorsichtig summative Betrachtung an Gesetzesnähe gewonnen worden ist, sofort im großen Stil den Betreibern von „Altanlagen“ als Bestandsschutz geopfert wird. ... Nr. 5.1 III TA Lärm ist bei strikter Anwendung gesetzeswidrig und kommt daher nur als ermessenslenkender Gesichtspunkt in Härtefällen in Betracht.“

⁷⁵ Achtzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV) vom 18.07.1991 (BGBl. I S. 1588, 1790), zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 01.06.2017 (BGBl. I S. 1468).

Nach § 2 Abs. 1 der 18. BImSchV sind Sportanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass die in den Abs. 2-4 des § 2 genannten Immissionsrichtwerte *unter Einrechnung der Geräuschimmissionen anderer Sportanlagen* nicht überschritten werden.

Damit sieht die 18. BImSchV eine beschränkte Summenpegelbildung vor. In die derart beschränkte Gesamtlärbewertung gehen nur Geräuschimmissionen anderer Sportanlagen ein, nicht jedoch Geräuschimmissionen von Anlagen, die nach anderen Regelwerken (z. B. 16. BImSchV, TA Lärm) zu beurteilen sind. Der Wortlaut der Verordnung lässt eine darüber hinaus gehende Beurteilung von Gesamtgeräuschen nicht zu (*Reidt/Schiller*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, 18. BImSchV, § 2 Rn 10; *Dolde*, in: ders. [Hrsg.], Umweltrecht im Wandel, 2001, S. 451, 455).

Anwendung der VDI-Richtlinie 3722-2 in der Sonderfallprüfung

Umstritten ist, ob – diesseits der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit – im Verfahren der Zulassung von Errichtung und Betrieb von Sportanlagen im Rahmen einer Sonderfallprüfung Geräuschimmissionen aus anderen Geräuschquellen berücksichtigt werden können, wenn diese zu einer erheblichen Vorbelastung maßgeblicher Immissionsorte führen. Für die Zulässigkeit einer solchen Sonderfallprüfung bei der Zulassung von Sportanlagen plädiert *Jarass* (BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 23 Rn 30, vgl. bereits *Jarass*, in: Festschrift für Feldhaus, 1999, S. 235, 244) unter Hinweis auf § 4 der 18. BImSchV. Danach steht die 18. BImSchV weitergehenden Anforderungen nach anderen Vorschriften nicht entgegen. *Jarass* konzidiert, dass die 18. BImSchV die gesetzlichen Anforderungen im Regelfall zutreffend konkretisiert. In Sonderfällen aber müsse auf § 22 BImSchG zurückgegriffen werden. Dies gelte insbesondere dann, wenn weitere erhebliche Geräuschquellen hinzuträten, da deren Auswirkungen von der 18. BImSchV nicht berücksichtigt würden und das BImSchG eine Gesamtbetrachtung verlange (ebenso *Koch*, in: Festschrift für Feldhaus, 1999, S. 215, 224).

Den Versuchen der Literatur, über eine Sonderfallprüfung auch im Bereich der Sportanlagen eine Gesamtlärbewertung einzuführen, ist das Bundesverwaltungsgericht in seinem Urteil vom 16.05.2001⁷⁶ entschieden entgegengetreten. Die 18. BImSchV, so das BVerwG, sehe nur die Einberechnung des Lärms anderer Sportanlagen vor, nicht jedoch die Summation mit Geräuschimmissionen von Anlagen, die nach anderen Regelwerken zu beurteilen seien. Insoweit weise die 18. BImSchV auch keine Lücke auf, die unter Rückgriff auf die Vorgaben des § 22 Abs. 1 BImSchG zu füllen wäre. Denn ihre Entstehungsgeschichte belege, dass die Aufnahme einer Vorschrift zur Einbeziehung der Geräusche andersartiger Anlagen gerade nicht gewollt gewesen sei, um keine Sondervorschrift zulasten des Sports zu schaffen, die nicht dem Geist der vorgelegten Rechtsverordnung entspreche. Dies bedeute, dass die Geräuschvorbelastung durch andersartige Anlagen nur einberechnet werden dürfe und müsse, wenn die in § 2 Abs. 1 der 18. BImSchV vorgenommene Beschränkung der Summation auf die Geräusche gleichartiger Anlagen im Hinblick auf den „Akzeptorbezug“ des Bundesimmissionsschutzgesetzes gegen höherrangiges Recht verstoße. Einen solchen Verstoß aber vermochte das Gericht nicht zu erkennen. Der Ordnungsgeber habe bei Erlass der 18. BImSchV mit ihren Immissionsrichtwerten sowie den zugehörigen Mess- und Beurteilungsverfahren *die vorhandene Vorbelastung aus andersartigen Anlagen in Rechnung gestellt*, ohne aber diese Vorbelastung differenzierend nach den jeweiligen Umständen zu berücksichtigen. Nach Auffassung des Ordnungsgebers sind die zugelassenen Immissionen aus Sportanlagen in jedem Fall einschließlich einer solchen denkbaren Vorbelastung, die selbstverständlich im Rahmen der für sie geltenden Regelwerke bleiben müsse, *aus Gründen der Sozialadäquanz hinnehmbar*.

⁷⁶ BVerwG, Urteil vom 16.05.2001, 7 C 16/00, NVwZ 2001, S. 1167, 1169. Ebenso OVG Berlin-Brandenburg, Beschluss vom 18.04.2011, 11 S 78/10, NVwZ-RR 2011, S. 644/645.

Obwohl das Bundesverwaltungsgericht damit für den Anwendungsbereich der 18. BImSchV eine quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung ablehnt, vermag es diese Linie schon in dem zitierten Urteil vom 16.05.2001 (7 C 16/00) nicht durchzuhalten. Die Reduzierung der Sachverhaltsermittlung auf Geräuschimmissionen durch Sportanlagen, so schränkt das BVerwG ein,⁷⁷ gelte nicht hinsichtlich der sogenannten seltenen Ereignisse, bei denen Überschreitungen der Immissionsrichtwerte in dem in § 5 Abs. 5 der 18. BImSchV vorgesehenen Rahmen zulässig seien. Als selten gelten solche Ereignisse nach Nr. 1.5 des Anhangs zur 18. BImSchV, wenn sie an höchstens 18 Kalendertagen eines Jahres auftraten. Demgegenüber ließe die Freizeitlärmrichtlinie⁷⁸ 10 solche Ereignisse zu.⁷⁹ Es liege auf der Hand, dass solche Richtwertüberschreitungen, die auf verschiedenartige Anlagen zurückführen seien, nicht ohne weiteres kumulativ zugelassen werden könnten, weil mit der vorausgesetzten Seltenheit solcher Ereignisse auch ihr die Richtwertüberschreitungen rechtfertigender Ausnahmeharakter entfele. Deshalb müsse es der Einschätzung der tatsächlichen Verhältnisse im Einzelfall überlassen bleiben, in welcher Weise bei der Festsetzung der zulässigen Zahl dieser Ereignisse den Belangen der Anwohner unter Berücksichtigung der gebotenen gegenseitigen Rücksichtnahme Rechnung getragen werden müsse.⁸⁰

Die Argumentation des BVerwG überzeugt nicht. Die Auffassung des Gerichts, der Verordnungsgeber habe auf abstrakt-genereller Ebene Vorbelastungen bereits bei der Festlegung der Grenzwerte der 18. BImSchV und der zugehörigen Mess- und Berechnungsverfahren berücksichtigt, ignoriert die Vielgestaltigkeit der Vorbelastungen und die verschiedenartige Schutzwürdigkeit von Immissionsorten. Das zusätzliche Argument des Bundesverwaltungsgerichts, der Verordnungsgeber der 18. BImSchV gehe davon aus, dass der dort geregelte Sportanlagenlärm stets als sozialadäquat hinzunehmen sei, greift ebenfalls nicht durch, sind doch gerade die Gesichtspunkte der Herkömmlichkeit und der sozialen Adäquanz Umstände, die eine Sonderfallprüfung des Einzelfalls nahelegen [vgl. Nr. 3.2.2 Satz 2 lit. d) TA Lärm]. In dieser Betrachtungsweise läuft der Gedanke des Bundesverwaltungsgerichts auf eine „abstrakt-generelle Sonderfallprüfung“ hinaus, die der Verordnungsgeber hinsichtlich der Sozialadäquanz des Sportanlagenlärms vorgenommen haben soll. Dies ist ein Widerspruch in sich, der zudem dazu führt, dass – bei entsprechend hoher Vorbelastung – der Schutz der Gesundheit aus dem Blick gerät

Zuzustimmen ist daher der Auffassung von *Jarass* (BImSchG, 12. Auflage 2017, § 23 Rn. 30, vgl. auch § 3 Rn. 56, § 22 Rn. 29) wonach auch bei der Zulassung und bei der Überwachung von Sportanlagen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen (§ 3 Abs. 1, 2 BImSchG) eine quellenartübergreifende Sonderfallprüfung durchzuführen ist, wenn ein maßgeblicher Immissionsort in erheblichem Maß von Lärm aus anderen Quellen (Verkehr, Gewerbe) beaufschlagt ist.

⁷⁷ BVerwG, Urteil vom 16.05.2001, 7 C 16/00, NVwZ 2001, S. 1167, 1169.

⁷⁸ Das BVerwG zitierte an dieser Stelle die vom LAI in seiner 88. Sitzung vom 02. bis 04.05.1995 empfohlene Musterverwaltungsvorschrift zur Ermittlung, Beurteilung und Verminderung von Geräuschimmissionen (sog. Musterverwaltungsvorschrift Lärm, abgedruckt bei Feldhaus/Tegeger, TA Lärm, 2014, S. 357 ff.). Nach dem Erlass der TA Lärm 1998 hatten nur noch Anhang B dieser Musterverwaltungsvorschrift, der die Freizeitlärm-Richtlinie aus dem Jahr 1987 ersetzte, sowie Nr. 2.3.5 der Musterverwaltungsvorschrift, auf die in Nr. 4.4. des Anhangs B der Musterverwaltungsvorschrift verwiesen wurde, Bedeutung (vgl. Feldhaus/Tegeger, a. a. O., S. 357, Fn. 1; *Berkemann*, ZuR 2016, S. 515/519).

⁷⁹ So das BVerwG in dem zitierten Urteil vom 16.05.2001 zur Freizeitlärmrichtlinie in ihrer damals geltenden Fassung (= Anhang B der Musterverwaltungsvorschrift Lärm 1995, vgl. vorhergehende Fn.) . Zwischenzeitlich wurde die Freizeitlärmrichtlinie novelliert. Nr. 4.4 der LAI-Freizeitlärmrichtlinie in ihrer geltenden Fassung vom 06.03.2015 verwendet andere Begriffe als ihre Vorgängerregelung, die noch an den Begriff des „seltenen Ereignisses“ anknüpfte. Die novellierte Freizeitlärmrichtlinie fordert in Nr. 4.4 eine Sonderfallbeurteilung bei seltenen Veranstaltungen. Dabei schreibt Nr. 4.4.2 lit. d) der Freizeitlärmrichtlinie vor, dass, bezogen auf das jeweilige Kalenderjahr, nicht mehr als 18 seltene Veranstaltungen zugelassen werden sollen, vgl. *Fricke*, Zur Novelle der LAI-Freizeitlärmrichtlinie, KommJur 2017, S. 45 ff.

⁸⁰ BVerwG, Urteil vom 16.05.2001, 7 C 16/00, NVwZ 2001, S. 1167, 1169.

In dieser Sonderfallprüfung könnte der Mechanismus der VDI-Richtlinie 3722-2 ein wertvolles Instrument sein. Voraussetzung ist allerdings, dass die Lärmwirkungsforschung verlässliche Dosis-Wirkungsbeziehungen auch für Sportanlagenlärm zur Verfügung stellt.

4.2.2.4 Quellenartübergreifende Gesamtlärmbewertung in der Lärminderungsplanung (Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG, §§ 47a ff. BImSchG)

Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG vom 25.06.2002)

Die EU hat in ihrem 5. Umweltaktionsprogramm 1992⁸¹ den Lärmschutz zum eigenständigen Ziel der Europäischen Gemeinschaft erhoben. In diesem Programm erkennt die EU den Lärm als eines der gravierendsten Probleme in städtischen Gebieten. Nächtliche Dauerschallpegel von über 65 dB(A), so das 5. Umweltprogramm,⁸² verursachten ernste Gesundheitsrisiken. Niemand solle Lärmpegeln ausgesetzt sein, die die Gesundheit oder Lebensqualität gefährden.⁸³

Im Grünbuch „Künftige Lärmschutzpolitik“ vom 04.11.1996⁸⁴ fasste die Kommission der Europäischen Gemeinschaften bereits „eine Richtlinie zur Harmonisierung der Verfahren zur Erfassung der Lärmbelastung und über den gegenseitigen Informationsaustausch“ ins Auge. Diese Richtlinie, so das Grünbuch, könnte Empfehlungen zur Erstellung von Lärmkarten und die Bereitstellung von Informationen über die Lärmbelastung für die Öffentlichkeit enthalten. Zu einem späteren Zeitpunkt könnten Zielwerte aufgestellt und Maßnahmen vorgeschrieben werden, um diese Zielwerte zu erreichen.

Die Bemühungen der EU-Organe um den Lärmschutz mündeten schließlich in die Richtlinie 2002/49/EG vom 25.06.2002, die sogenannte Umgebungslärmrichtlinie.⁸⁵

Art. 1 Abs. 1 der Umgebungslärmrichtlinie sieht ein Stufenkonzept vor, um schädliche Auswirkungen einschließlich der Belästigung durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern. Dazu sollen schrittweise die folgenden Maßnahmen durchgeführt werden (Art. 1 Abs. 1 Satz 2 Umgebungslärmrichtlinie):

- ▶ Ermittlung der Belastung durch Umgebungslärm anhand von Lärmkarten nach für die Mitgliedstaaten gemeinsamen Bewertungsmethoden;
- ▶ Sicherstellung der Information der Öffentlichkeit über Umgebungslärm und seine Auswirkungen;
- ▶ auf der Grundlage der Ergebnisse von Lärmkarten Annahme von Aktionsplänen durch die Mitgliedstaaten mit dem Ziel, den Umgebungslärm soweit erforderlich und insbesondere in Fällen, in denen das Ausmaß der Belastung gesundheitsschädliche Auswirkungen haben kann, zu verhindern und zu mindern und die Umweltqualität in den Fällen zu erhalten, in denen sie zufriedenstellend ist.

⁸¹ Entschließung des Rates und der im Rat vereinigten Vertreter der Regierungen der Mitgliedsstaaten vom 01.02.1993 über ein Gemeinschaftsprogramm für Umweltpolitik und Maßnahmen im Hinblick auf eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung, ABIEG Nr. C 138 vom 17.05.1993, S. 1 ff.

⁸² ABIEG Nr. C 138 vom 17.05.1993, S. 55.

⁸³ ABIEG Nr. C 138 vom 17.05.1993, Tab. 12, S. 56.

⁸⁴ Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Künftige Lärmschutzpolitik, Grünbuch der Europäischen Kommission vom 04.11.1996, KOM(96) 540 endg., S. 1 c.

⁸⁵ Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25.06.2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, ABIEG Nr. L 198 vom 18.07.2002, S. 12, zuletzt geändert durch Richtlinie 2015/996/EU vom 01.07.2015, ABIEG Nr. L 168 vom 01.07.2015, S. 1.

In Art. 7 verlangt die Umgebungslärmrichtlinie die Ausarbeitung *strategischer Lärmkarten* für Ballungsräume, Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und Großflughäfen. Die Mindestanforderungen, denen die strategischen Lärmkarten genügen müssen, beschreibt Anhang IV der Umgebungslärmrichtlinie (Art. 7 Abs. 3 Umgebungslärmrichtlinie). Auf der Grundlage der Lärmkarten sind nach Art. 8 Umgebungslärmrichtlinie *Aktionspläne* auszuarbeiten, mit denen „Lärmprobleme und Lärmauswirkungen, erforderlichenfalls einschließlich der Lärminderung“ geregelt werden „für Orte in der Nähe der Hauptverkehrsstraßen, der Haupteisenbahnstrecken und der Großflughäfen sowie für Ballungsräume“ (Art. 8 Abs. 1 Unterabs. 1 Umgebungslärmrichtlinie). Die Mindestanforderungen an die Aktionspläne finden sich in Anhang V der Umgebungslärmrichtlinie (Art. 8 Abs. 4 Umgebungslärmrichtlinie).

Der Schwerpunkt der Umgebungslärmrichtlinie liegt auf Verfahrensregelungen. Sie gibt ein Konzept für das gebietsbezogene Management von Lärmproblemen vor (Schulze-Fielitz, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, vor §§ 47 a bis 47 f, Rn 2, 4, 5; Jarass, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 47 a Rn 1; Engel, NVwZ 2010, S. 1191; Schulze-Fielitz, UPR 2008, S. 401, 403 f.). Die Organe der EU haben bisher – im Unterschied zur Luftreinhalteplanung – keine europaweit geltenden Grenzwerte für die Lärmbelastung erlassen. Die EU überlässt es den Mitgliedsstaaten, Grenzwerte für die Lärmbelastung festzusetzen und damit das Ausmaß an Lärm zu bestimmen, das sie ihren Bürgern zumuten möchten (Jarass, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 47d Rn 5; Schulze-Fielitz, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 47d Rn 24; Engel, NVwZ 2010, S. 1190).

Lärminderungsplanung nach §§ 47a ff. BImSchG

Durch Gesetz vom 24.06.2005⁸⁶ wurden die §§ 47a-47f über die Lärminderungsplanung als 6. Teil in das Bundes-Immissionsschutzgesetz zur Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie eingefügt.⁸⁷ Im Jahr 2006 wurde ergänzend die Verordnung über die Lärmkartierung als 34. BImSchV erlassen.⁸⁸

Anwendung der Richtlinie VDI 3722-2 bei der Lärmkartierung nach § 47c BImSchG

Nach § 47c Abs. 1 BImSchG sind Lärmkarten für Ballungsräume, Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und Großflughäfen auszuarbeiten.⁸⁹ § 47c Abs. 2 BImSchG verlangt, dass die Lärmkarten den Mindestanforderungen des Anhangs IV der Umgebungslärmrichtlinie entsprechen. Nach Nr. 1 des in Bezug genommenen Anhangs IV der Umgebungslärmrichtlinie sind auf einer strategischen Lärmkarte Daten zu folgenden Aspekten darzustellen:

- ▶ aktuelle, frühere oder vorhersehbare Lärmsituation, ausgedrückt durch einen Lärmindex,
- ▶ Überschreitung eines Grenzwertes,
- ▶ geschätzte Anzahl an Wohnungen, Schulen und Krankenhäusern in einem bestimmten Gebiet, die bestimmten Werten eines Lärmindex ausgesetzt sind,

⁸⁶ Gesetz zur Umsetzung der EG-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm vom 24.06.2005 (BGBl. I, S. 1794).

⁸⁷ Amtliche Begründung des Entwurfs eines Gesetzes zur Umsetzung der EG-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, BT-Drs. 15/3782 vom 27.09.2004, S. 11. Engel (NVwZ 2010, S. 1191) spricht von einer „abgemagerten 1:1-Umsetzung“ der Richtlinie.

⁸⁸ Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34. BImSchV) vom 06.03.2006 (BGBl. I, S. 516), zuletzt geändert durch Art. 84 der Verordnung vom 31.08.2005 (BGBl. I, S. 1474).

⁸⁹ Nach § 47c Abs. 1 Satz 1 BImSchG waren die Lärmkarten für Ballungsräume mit mehr als 250.000 Einwohnern sowie für Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von über 6 Mio. Kraftfahrzeugen/Jahr, Haupteisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von über 60.000 Zügen/Jahr und Großflughäfen bis zum 30.06.2007 zu erstellen. Für die Ausarbeitung der Lärmkarten für alle übrigen Ballungsräume i. S. v. § 47b Nr. 2 BImSchG sowie für sämtliche Hauptverkehrsstraßen i. S. v. § 47b Nr. 3 BImSchG und sämtliche Haupteisenbahnstrecken i. S. v. § 47b Nr. 4 BImSchG gab § 45c Abs. 1 Satz 2 BImSchG Zeit bis zum 30.06.2012.

- geschätzte Anzahl der Menschen in einem lärmbelasteten Gebiet.

Für Ballungsräume, so Nr. 8 des Anhangs IV der Umgebungslärmrichtlinie, werden verschiedene strategische Lärmkarten jeweils für den Straßenverkehrslärm, Eisenbahnlärm, Fluglärm und Industrie- und Gewerbelärm getrennt erstellt. Zusätzlich können Karten für andere Geräuschquellen erstellt werden. Der zitierten Regelung in Nr. 8 des Anhangs IV der Umgebungslärmrichtlinie folgt § 4 Abs. 2 der 34. BImSchV. Danach hat die Ausarbeitung von Lärmkarten „*getrennt für jede Lärmart (Straßenlärm, Schienenlärm, Fluglärm, Industrie- und Gewerbelärm einschließlich Hafenslärm) auf der Grundlage der Lärmindizes L_{den} und L_{night} zu erfolgen*“.

Nach den Regelungen in § 47c Abs. 2 BImSchG i. V. m. Anhang IV Nr. 8 der Umgebungslärmrichtlinie und § 4 Abs. 2 der 34. BImSchV erfolgt in der Phase der Lärmkartierung eine separate Erfassung nach Lärmarten, nicht aber nach Geräuschquellen. So ist aus den Pegelbeiträgen gleichartiger Geräuschquellen, unabhängig von ihrer Anzahl und ihrem jeweiligen Träger, ein auf die Lärmart beschränkter Gesamtpegel zu bilden, der sodann in die entsprechende thematische Lärmkarte eingetragen wird. Dies ist insbesondere für Lärmkarten für Ballungsräume von Bedeutung, die nach § 4 Abs. 1 der 34. BImSchV nicht nur sämtliche darin gelegenen Hauptlärmquellen, sondern auch sonstige Straßen, sonstige Schienenwege und Straßenbahnen, sonstige Flugplätze für den zivilen Luftverkehr sowie Industrie- oder Gewerbelände erfassen, soweit diese sonstigen Geräuschquellen erheblichen Umgebungslärm hervorrufen. In die Ballungsraumlärmkarten für den Schienenlärm ist daher der Lärm aller Schienenwege einschließlich der Straßenbahnen im Sinne des Personenbeförderungsgesetzes einzutragen. Gleiches gilt für die Ballungsraumlärmkarten, die für den Straßen-, den Flug- und den Industrie- und Gewerbelärm zu erstellen sind. Innerhalb der jeweiligen Lärmart werden die Pegel im Wege energetischer Addition der jeweiligen L_{den} - bzw. L_{night} -Werte gebildet (Blaschke, Lärminderungsplanung 2010, S. 190 f.).

Bei der unionsrechtlich determinierten Lärmkartierung scheint sich auf den ersten Blick die quellenartsegmentierende Regelungstechnik, die für das deutsche untergesetzliche Lärmschutzrecht charakteristisch ist, fortzusetzen. Damit aber wäre der Umgebungslärmrichtlinie nicht Genüge getan, die in Art. 3 lit. r) den Begriff der strategischen Lärmkarte als „*eine Karte zur Gesamtbewertung der auf verschiedene Lärmquellen zurückzuführenden Lärmbelastung in einem bestimmten Gebiet oder für die Gesamtprognose für ein solches Gebiet*“ definiert. Daraus folgert die herrschende Meinung in der Literatur zu Recht, dass zwar gemäß dem Normbefehl in § 4 Abs. 2 der 34. BImSchV Lärmkarten getrennt für Straßenlärm, Schienenlärm, Fluglärm und für Industrie- und Gewerbelärm zu erstellen sind, dass aber in gemeinschaftsrechtskonformer Auslegung der 34. BImSchV bei der Lärmkartierung auch auf die Gesamtlärmbelastung durch ungleichartige Quellen einzugehen ist (Jarass, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 47c Rn 6; Schulze-Fielitz, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 47c Rn 48; Hansmann/Cancik, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, § 47c BImSchG Rn 10; Blaschke, Lärminderungsplanung 2010, S. 191-197; A. A. Wysk, in: Giesberts/Reinhardt, BeckOK, Umweltrecht, 45. Edition, Stand 01.12.2017, § 47c BImSchG, Rn 20).

Gesetzgeber⁹⁰ und Literatur (Schulze-Fielitz, UPR 2008, S. 401/405; Hansmann/Cancik, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, § 47c BImSchG Rn 10; Engel, NVwZ 2010, S. 1191, 1194) stellen allerdings fest und beklagen, dass die empirischen Wissenschaften noch keine verlässliche Methode gefunden haben, die unterschiedlichen Lärmarten zu einem einheitlichen, wirkungsadäquaten Summenpegel zu verrechnen. Sie schlagen deshalb ein pragmatisches Vorgehen vor. Blaschke (Lärminderungsplanung 2010, S. 196) fordert im Wege

⁹⁰ BT-Drs. 15/3782 vom 27.09.2004, S. 27.

einer gemeinschaftsrechtskonformen Auslegung der 34. BImSchV, dass im Rahmen der Lärmkartierung wenigstens auch eine Karte erstellt wird, in der sämtliche relevanten Pegelwerte aller Lärmarten eingetragen sind, um die Überschneidungsbereiche ungleichartiger Lärmeinflüsse deutlich zu machen. Engel (NVwZ 2010, S. 1191, 1194) erkennt, dass mangels harmonisierter Berechnungsverfahren für die verschiedenartigen Geräuschquellen eine einfache Addition der numerischen dB-Werte der Lärmbelastung unter Wirkungsgesichtspunkten zwar nicht ohne Weiteres aussagekräftig ist. Er meint aber, in Ermangelung von Alternativen sei eine vorsichtige Orientierung an der Pegeladdition nicht willkürlich und bei entsprechender verbaler Begründung abwägungsfehlerfrei.

Für die Lärmkartierung nach § 47c BImSchG ist damit festzustellen, dass ein numerisches Verfahren zur wirkungsadäquaten Darstellung der quellenartenübergreifenden Lärmbelastung dringend benötigt wird. Diesen Bedarf könnte eine im AP 1 auf den Industrie- und Gewerbelärm sowie auf Gesundheitsbeeinträchtigungen erweiterte Richtlinie VDI 3722-2 befriedigen.⁹¹

Anwendung der Richtlinie VDI 3722-2 bei der Lärmaktionsplanung nach § 47d BImSchG

§ 47d Abs. 1 BImSchG ordnet an, dass die zuständigen Behörden Lärmaktionspläne aufstellen, „mit denen Lärmprobleme und Lärmauswirkungen geregelt werden“; dies für Orte in der Nähe der Hauptverkehrsstraßen, der Haupteisenbahnstrecken und der Großflughäfen sowie für Ballungsräume.⁹² Die Festlegung von Maßnahmen in den Plänen ist in das Ermessen der zuständigen Behörde gestellt, sollte aber, so will es § 47d Abs. 1 Satz 3 BImSchG „auch unter Berücksichtigung der Belastung durch mehrere Lärmquellen insbesondere auf die Prioritäten eingehen, die sich gegebenenfalls aus der Überschreitung relevanter Grenzwerte oder aufgrund anderer Kriterien ergeben, und insbesondere für die wichtigsten Bereiche gelten, wie sie in den Lärmkarten ausgewiesen werden“.⁹³ Anhang V der Umgebungslärmrichtlinie, der durch § 47d Abs. 2 Satz 1 BImSchG verbindlich gemacht worden ist, enthält die Mindestanforderungen, denen die Aktionspläne folgen müssen, um ihrer Aufgabe gerecht zu werden. Danach müssen die Lärmaktionspläne – unter anderem – „eine Bewertung der geschätzten Anzahl von Personen, die Lärm ausgesetzt sind“ und Angaben „von Problemen und verbesserungsbedürftigen Situationen“ enthalten (Anhang V Nr. 1 Spiegelstrich 6 der Umgebungslärmrichtlinie).

Die herrschende Meinung zieht aus diesem Normbefund den Schluss, dass sowohl bei der Abgrenzung des Plangebietes für einen Lärmaktionsplan als auch bei der Auswahl von Art und Einsatzort der Lärminderungsmaßnahmen auf den gesamten Lärm abzustellen ist (Jarass, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 47d Rn 7; Cancik, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Juli 2017, § 47d BImSchG Rn 13, 25; Schulze-Fielitz, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG 2016, § 47d Rn 32; ders., UPR 2008, S. 401, 405; Engel, NVwZ 2010, S. 1191, 1194; Kupfer, NVwZ 2012, S.

⁹¹ Ebenso Blaschke, Lärminderungsplanung, 2010, S. 194: „Gerade vor diesem Hintergrund wäre ein Inkrafttreten der VDI 3277-BI. 2 ein wertvoller Fortschritt, da diese Kriterien für die Gesamtbewertung verschiedenartiger Verkehrsimmissionen enthalten sind; ...“

⁹² Nach § 47d Abs. 1 Satz 1 waren die Lärmaktionspläne bis zum 18.07.2008 für die Umgebung der Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von über 6 Mio. Kraftfahrzeugen/Jahr, der Haupteisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von über 60.000 Zügen/Jahr und der Großflughäfen sowie für die Ballungsräume mit mehr als 250.000 Einwohnern aufzustellen. Bis zum 18.07.2013 waren die Lärmaktionspläne für die weiteren Ballungsräume i. S. v. § 47b Nr. 2 BImSchG, die weiteren Hauptverkehrsstraßen i. S. v. § 47b Nr. 3 und die weiteren Haupteisenbahnstrecken i. S. v. § 47b Nr. 4 BImSchG aufzustellen.

⁹³ Bei dem ersten in § 47d Abs. 1 S. 3 BImSchG genannten Maßstab für die Prioritätensetzung („Überschreitung relevanter Grenzwerte“) geht es um das Ausmaß der Überschreitung der für die jeweilige Lärmart bestehenden Beurteilungskriterien. Daneben kommt es aber entscheidend auch auf die in § 47d Abs. 1 S. 3 BImSchG genannten „anderen Kriterien“ an. Dazu gehören u. a. die Schutzwürdigkeit von Immissionsorten, die Zahl der betroffenen Personen und der erforderliche finanzielle und zeitliche Aufwand (vgl. Cancik, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, § 47d BImSchG, Rn. 13)

784, 785, 787.). Dabei kann sich die herrschende Meinung auf die amtliche Begründung des Entwurfs des Gesetzes zur Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie stützen. Dort⁹⁴ ist Folgendes zu lesen:

*„Die Relevanz der Lärmprobleme und Lärmauswirkungen soll in der Rechtsverordnung auch unter Berücksichtigung der Belastung durch mehrere Lärmquellen festgelegt werden. Aufgrund der räumlichen Dichte von Verkehrsinfrastruktureinrichtungen sind Belastungen durch Umgebungslärm nicht erst bei hohen Schallpegeln einzelner Hauptlärmquellen von Bedeutung, sondern vielfach auch schon bei einer Gesamtwirkung aufgrund mehrerer Lärmquellen. Würde diese Belastung ausgeblendet, liefe eine wirksame Umsetzung der Richtlinie in deutsches Recht weitgehend leer. **Eine Beurteilung der Gesamtwirkung mehrerer verschiedenartiger Lärmquellen aufgrund numerischer Werte ist für die Berücksichtigung allerdings nicht möglich; diese sind auf einer wissenschaftlich abgesicherten Basis noch nicht verfügbar. Ein pragmatischer Beurteilungsansatz ist daher für die Entscheidung erforderlich, ob im Einzelfall eine Lärminderungsplanung aufgrund der Belastung durch mehrere Lärmquellen erforderlich ist.**“* [Hervorhebung durch den Verfasser]

Das Erfordernis der quellenartenübergreifenden Gesamtlärbewertung tritt auf der Ebene der Lärmaktionsplanung auch im Normenbestand deutlicher ans Tageslicht als es bei der Lärmkartierung der Fall ist. Dies dürfte seine Ursache darin finden, dass Lärmaktionspläne in der Realität häufig gerade dort erforderlich sind, wo unterschiedliche Geräuschquellen zusammenwirken und zu Problemlagen („Hotspots“) führen, die nur ein gebietsbezogenes Lärmschutzkonzept lösen kann.

Selbstverständlich stößt die gebotene quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung auch auf der Ebene der Lärmaktionsplanung auf das Problem, dass die Lärmwirkungsforschung bislang keine Verfahren zur Verfügung stellt, die ungleichartige Lärmimmissionsbeiträge in einem wirkungsadäquaten Wert darzustellen erlauben. Zwar gibt es einen fachlichen Diskussionsprozess zur integrierten Darstellung ungleichartiger Geräusche in einem Wert. Nicht zuletzt ist die Richtlinie VDI 3722-2 (Mai 2013) eine Frucht dieser Bemühungen. Die Autoren der Richtlinie VDI 3722-2 sehen in dem in der Richtlinie gewählten Substitutionsverfahren jedoch „im Wesentlichen nur ein Hilfsmittel“ (VDI 3722-2, Einleitung, Abs. 3) und sie ergänzen an der zitierten Stelle: „Notwendige neue Forschungen zur Ableitung von Expositions-Wirkungsbeziehungen beim Einwirken mehrerer Quellenarten liegen zurzeit nicht vor, sind aber dringend erforderlich. Es wird sich daher erst in Zukunft zeigen, welche Modelle zur Vorhersage einer Gesamtbeeinträchtigung durch mehrere Quellenarten am besten geeignet sind.“ Die von der WHO am 10.10.2018 vorgestellten „Environmental Noise Guidelines for the European Region“ bestätigen den Befund, dass der Forschungsstand zur Beeinträchtigung von Menschen durch Geräusche aus unterschiedlichen Quellen weiterhin ungenügend ist. Sie bringen für die Frage der quellenartübergreifenden Gesamtlärbewertung keinen Fortschritt. Die empfohlenen Werte werden dort (S. 7, 29) ausdrücklich als „source specific“ bezeichnet. Auf S. 99 der Guidelines wird auf den Forschungsbedarf zum Gesamtlärm hingewiesen: „Objective measurement or calculation of transportation noise exposure is required; in particular, from studies of health effects related to combined exposure to different noise sources.“ Diese Schwierigkeiten entbinden jedoch nicht von der Pflicht, bei der Lärmaktionsplanung gemäß § 47d Abs. 1 S. 3 BImSchG eine Gesamtlärbewertung vorzunehmen. Zuzustimmen ist Cancik (in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Juli 2017, § 47d BImSchG Rn 25) in der These, dass die Auswirkungen *aller Geräusche* im Einzelfall anhand allgemeiner Kriterien zur Beurteilung der Gesundheitsschädlichkeit oder der Belästigungseignung bewertet werden können und müssen. Schulze-Fielitz (UPR 2008,

⁹⁴ BT-Drs. 15/3782 vom 27.09.2004, S. 27.

S. 401, 405) regt an, eine verbalisierte Gesamtbewertung der Lärmsituation vorzunehmen, ohne diese in Dezibel zu quantifizieren. Eine solche verbalisierte Gesamtbewertung kann jedoch nur ein Notbehelf sein. Viel zu sehr leidet diese Methode an Unbestimmtheit und mangelnder Reproduzierbarkeit. Vor Gericht dürfte es nicht leicht sein, Maßnahmen, die lediglich durch eine verbalisierte Gesamtbewertung begründet sind, zu verteidigen. Nach *Wysk* (in: BeckOK Umweltrecht, 47. Edition, Stand 01.04.2018, § 47d BImSchG, Rn. 24) kann die erforderliche Feststellung von Mehrfachbelastungen nur mit Hilfe einer integrierenden Betrachtung aller für ein Gebiet erstellten Lärmkarten getroffen werden. Dabei sei, so *Wysk* (ebd.), einstweilen pragmatisch vorzugehen. Solange die Berechnungsverfahren für die verschiedenartigen Geräuschquellen nicht harmonisiert seien, sei nach herrschender ingenieurwissenschaftlicher Auffassung eine einfache Addition der numerischen dB-Werte der Lärmbelastung unter Wirkungsgesichtspunkten zwar nicht ohne weiteres aussagekräftig. In Ermangelung von Alternativen sei eine Pegeladdition aber auch nicht willkürlich. Ausdrücklich erklärt *Wysk* (ebd.), mit der Richtlinie VDI 3722-2 stehe nunmehr ein Bewertungsverfahren für die wirkungsgerechte Summation der Pegel aus verschiedenen Quellen zur Verfügung.

Dem ist schon für die vorliegende, auf Straßen-, Schienen- und Fluglärm beschränkte VDI-Richtlinie 3722-2 zuzustimmen. Eine auf Industrie- und Gewerbelärm erstreckte Richtlinie VDI 3722-2 könnte für die Priorisierung von Maßnahmen in einem Lärmaktionsplan und für ihre Wirkungskontrolle weitere, sehr wertvolle Dienste leisten.

4.2.2.5 Quellenartübergreifende Gesamtlärmbewertung und Anwendung der Richtlinie VDI 3722-2 in der Bauleitplanung

Gemäß § 1 Abs. 7 BauGB sind bei der Aufstellung der Bauleitpläne die öffentlichen und privaten Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen. Dies setzt nach § 2 Abs. 3 BauGB voraus, dass die Belange, die für die Abwägung von Bedeutung sind (Abwägungsmaterial) ermittelt und bewertet werden.

Das Gebot gerechter Abwägung ist danach verletzt, wenn eine Abwägung überhaupt nicht stattgefunden hat, wenn in die Abwägung nicht alles an Belangen eingestellt worden ist, was nach Lage der Dinge hätte eingestellt werden müssen, wenn das Gewicht der betroffenen öffentlichen und privaten Belange verkannt worden oder aber der Ausgleich zwischen den Belangen in einer Weise vorgenommen worden ist, die zur objektiven Bedeutung der Belange außer Verhältnis gestanden hat.⁹⁵ Folgende Fehlerkategorien können danach unterschieden werden:

- ▶ Abwägungsausfall (eine notwendige Abwägung findet nicht statt),
- ▶ Abwägungsdefizit (Belange sind nicht erfasst oder in der Abwägung nicht berücksichtigt),
- ▶ Abwägungsfehlgewichtung (objektives Gewicht der einzelnen Belange wird verkannt) und
- ▶ Abwägungsdisproportionalität (Entscheidung über Vorzugswürdigkeit bestimmter Belange verfehlt erheblich das Gebot angemessenen Ausgleichs).⁹⁶

⁹⁵ St. Rspr. seit Urteil des BVerwG vom 12.12.1969, 4 C 105.66, BVerwGE 34, S. 301.

⁹⁶ Vgl. nur Steinberg/Wickel/Müller, Fachplanung, 4. Auflage 2012, § 3 Rn. 112 (S. 240); Gerhardt, in: Schoch/Schneider/Bier, VwGO, Loseblatt, Stand Juni 2017, § 114 Rn. 37. Stürer/Probstfeld (Die Planfeststellung, 2. Auflage 2016, Rn. 931) fügen den genannten vier „klassischen“ Abwägungsfehlern zwei weitere hinzu: Die subjektive Abwägungssperre (unzulässige Bindungen und einseitige Festlegungen, die ein ordnungsgemäßes Abwägungsverfahren nicht mehr gestatten) und die Abwägungssinkongruenz (rechtserhebliches Abweichen von Planregelung und Abwägung).

Eine Gesamtlärbetrachtung in der Abwägung zur Aufstellung von Bauleitplänen (Verkehr, Industrie und Gewerbe, Freizeitlärm etc.) wird durch das Gebot gerechter Abwägung nicht ausgeschlossen. Etwas anderes ergibt sich insbesondere nicht aus dem Beiblatt 1 zur DIN 18005 (Schallschutz im Städtebau), wonach gemäß Ziff. 1.2 „die Beurteilungspegel der Geräusche verschiedener Arten von Schallquellen (Verkehr, Industrie und Gewerbe, Freizeitlärm) wegen der unterschiedlichen Einstellung der Betroffenen zu verschiedenen Arten von Geräuschquellen jeweils für sich allein mit den Orientierungswerten verglichen und nicht addiert werden sollen.“ Hierzu hatte der Bayerische Verwaltungsgerichtshof entschieden: „Eine Gesamtsummiering von Gewerbelärm und Verkehrslärm ist wegen unterschiedlicher Regelwerke nicht zulässig (vgl. BayVGh, U.v. 4.8.2015 – 15 N 12.2124 – juris Rn. 35; VGh BW, U.v. 19.10.2011 – 3 S 942/10 – juris Rn. 52; vgl. auch DIN 18005-1, Beiblatt 1 Nr. 1.2).“⁹⁷

Damit hat der BayVGh allerdings lediglich eine bloße energetische „Summierung“ der auf der Grundlage unterschiedlicher Regelwerke gewonnener Immissionswerte ausgeschlossen.

Nicht ausgeschlossen dürfte es insoweit allerdings sein, einen auf der Grundlage des sachverständig unteretzten Umrechnungsmodells der VDI-Richtlinie 3722-2 ermittelten Gesamtlärms in die Abwägung einzustellen und entsprechend ihrer Bedeutung zu gewichten. Die VDI-Richtlinie 3722-2 enthält einen auf die Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung gestützten und leicht fassbaren Mechanismus zur Bildung eines wirkungsadäquaten Gesamtlärmpegels. Dabei nutzt die Richtlinie als Ausgangsdaten für die von ihr erfassten Lärmarten die Beurteilungspegel, die nach den bewährten, für die jeweilige Lärmart geltenden Regelwerken ermittelt worden sind. Die Anwendung der VDI-Richtlinie 3722-2 führt damit zu rational begründeten, in Ausgangsdaten und Gedankengang nachprüfbar und reproduzierbaren Ergebnissen. Ein Abwägungsfehler nach Maßgabe der vorskizzierten Abwägungsfehlerlehre wäre insoweit nicht ersichtlich.

4.2.2.6 Zusammenfassung

Im vorangehenden Abschnitt 4.2 hat sich gezeigt, dass eine quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung dem geltenden Recht nicht gänzlich fremd ist. Sie ist *geboten*,

- ▶ wenn Geräuschimmissionen aus ungleichartigen Quellen auf ein Grundstück einwirken und die Gesamtbelastung dort zu einer Gesundheitsgefahr oder zu einem Eingriff in die Substanz des Eigentums führt (verfassungsrechtliche Schutzpflicht aus Art. 2 Abs. 2 Satz 1, 14 Abs. 1 Satz 1 GG bei Erreichen der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeitsschwelle),
- ▶ wenn ein maßgeblicher Immissionsort derart mit andersartigen Geräuschen beaufschlagt ist, dass der Immissionsbeitrag der zu prüfenden Anlage im Anwendungsbereich der TA Lärm oder der Sportanlagenlärmschutzverordnung an diesem Immissionsort relevant zur Entstehung einer schädlichen Umwelteinwirkung beitragen kann (Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm, Sonderfallprüfung im Anwendungsbereich der Sportanlagenlärmschutzverordnung),
- ▶ wenn ungleichartige Immissionsbeiträge aus unterschiedlichen Geräuschquellenarten im Gebiet der Lärmkartierung relevant zur Gesamtbelastung beitragen (§ 47c BImSchG) und im Bereich der Lärmaktionspläne einen relevanten Beitrag zur Entstehung von zu regelnden Lärmproblemen leisten (§ 47d BImSchG).

⁹⁷ BayVGh, Urteil vom 04.08.2017, 9 N 15.378, juris, Rn. 91; Urteil vom 04.08.2015, 15 N 12.2124, juris, Rn. 35.

In der Bauleitplanung ist eine quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung diesseits der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeitsschwelle zur Ermittlung und Bewertung des Abwägungsmaterials zwar nicht geboten, aber *zulässig* (§ 2 Abs. 3, § 1 Abs. 7 BauGB).

Das geschriebene Recht bekennt sich allerdings an keiner Stelle zu der Notwendigkeit einer quellenartübergreifenden Gesamtlärbewertung: Positivrechtliche Vorschriften dazu existieren nicht. Auch Judikate, die das Thema der quellenartübergreifenden Gesamtlärbewertung ansprechen, enthalten – soweit ersichtlich – keine tragfähigen Maßgaben zur Durchführung einer solchen Gesamtlärbewertung.

Angesichts der Tatsache, dass Millionen von Menschen in der Bundesrepublik multiplen Lärmbelastungen aus unterschiedlichen Quellenarten ausgesetzt sind⁹⁸, angesichts der wachsenden Evidenz für die Gesundheitsschädlichkeit von Lärm und angesichts der daraus folgenden Grundrechtsrelevanz der Gesamtlärmproblematik bedarf es der Einführung von Vorschriften über die quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung in das geschriebene Recht.

4.2.3 Quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung im geltenden europäischen Immissionsschutzrecht

Das Lärmschutzrecht der EU dient bisher im Wesentlichen der Beseitigung technischer Handelshemmnisse und der Sicherung des freien Warenverkehrs in der Europäischen Union. Bis zum Erlass der Richtlinie 2002/49/EG vom 25.06.2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Umgebungslärmrichtlinie)⁹⁹ verfolgte die EU auf dem Gebiet des Lärmschutzes einen ausschließlich produktbezogenen Ansatz, der den grenzüberschreitenden Warenverkehr durch Festlegung von Emissionshöchstwerten reguliert (*Scherer/Heselhaus*, in: Dausen/Ludwigs, Handbuch des EU-Wirtschaftsrechts, Losebl., Stand Februar 2018, Kap. O Umweltrecht, Rn. 439, 441; *Calliess*, in: ders./Ruffert, EUV/AEUV, 5. Auflage 2016, Art. 192 AEUV Rn. 7; *Epiney*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Losebl., Stand April 2018, Art. 192 AEUV Rn. 99).

Unter den Gerräuschemissionsnormen der EU seien die folgenden hervorgehoben:

- ▶ Richtlinie 70/157/EWG des Rates vom 06.02.1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen,¹⁰⁰
- ▶ Richtlinie 89/629/EWG des Rates vom 04.12.1989 zur Begrenzung der Schallemission von zivilen unter Strahlflugzeugen,¹⁰¹

⁹⁸ Nach den Erkenntnissen des Umweltbundesamtes sind die Bürgerinnen und Bürger häufig Lärmbelastungen aus mehr als einer Lärmquelle ausgesetzt. Beim Verkehrslärm trifft dies für 23 Prozent der Bevölkerung zu, bei zusätzlicher Berücksichtigung von Nachbarschaftslärm sowie Industrie- und Gewerbelärm sogar für 44 Prozent, vgl. Homepage des Umweltbundesamtes, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung>, zuletzt aufgesucht am 27.02.2018.

⁹⁹ Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25.06.2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, ABIEG Nr. L 198 vom 18.07.2002, S. 12, zuletzt geändert durch Richtlinie 2015/996/EU vom 01.07.2015, ABIEG Nr. L 168 vom 01.07.2015, S. 1.

¹⁰⁰ Richtlinie 70/157/EWG des Rates vom 06.02.1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen, ABIEG Nr. L 42 vom 23.02.1970, S. 16, zuletzt geändert durch Richtlinie 2013/15/EU des Rates vom 13.05.2013, ABIEG Nr. L 158 vom 10.06.2013, S. 172.

¹⁰¹ Richtlinie 89/629/EWG des Rates vom 04.12.1989 zur Begrenzung der Schallemissionen von zivilen Unterschallstrahlflugzeugen, ABIEG Nr. L 367 vom 13.12.1989, S. 27.

- ▶ Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 08.05.2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen (sog. Outdoor-Richtlinie).¹⁰²

Der Mechanismus der VDI 3722-2 erlaubt es, Geräuschimmissionsbeiträge aus verschiedenartigen Quellen, die auf einen Immissionsort einwirken, zu einem Kennwert zusammenzufassen. Diese Richtlinie hat einen Anwendungsbereich nur in einem Lärmschutzsystem, das auf Immissionen abhebt. Soweit das Lärmschutzrecht der EU produktbezogen ist, scheiden eine Gesamtlärbewertung und damit auch eine Anwendung der VDI-Richtlinie 3722-2 systembedingt aus.

Einen immissionsorientierten Ansatz legte die EU erstmals der Richtlinie 2002/49/EG vom 25.06.2002 (Umgebungslärmrichtlinie) zugrunde. In dieser Richtlinie werden keine Werte zur Beurteilung von Geräuschimmissionen festgelegt. Geräuschimmissionsgrenz- oder -richtwerte enthält das Unionsrecht auch an anderer Stelle (noch) nicht.¹⁰³ Mit der Umgebungslärmrichtlinie wurde ein Rahmen geschaffen, um den Lärm zu „bewirtschaften“ (gebietsbezogener Managementansatz). Die Mitgliedstaaten werden verpflichtet, den Umgebungslärm in sogenannte strategische Lärmkarten einzutragen und sodann Aktionspläne aufzustellen, die das Ziel verfolgen, den Umgebungslärm zu verringern.

Durch Gesetz vom 24.06.2005¹⁰⁴ wurden die §§ 47a-47f über die Lärminderungsplanung als 6. Teil in das Bundes-Immissionsschutzgesetz zur Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie eingefügt. Im Jahr 2006 wurde ergänzend die Verordnung über die Lärmkartierung als 34. BImSchV erlassen.¹⁰⁵ Damit wurde das Instrumentarium der Umgebungslärmrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt.

Die VDI-Richtlinie 3722-2 findet einen Anwendungsraum auf der Ebene des EU-Sekundärrechts ausschließlich im Anwendungsbereich der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG. Ebenso wie im deutschen Umsetzungsrecht (§§ 47c, 47d BImSchG, 34. BImSchV) kann die Richtlinie bei der unionsrechtlichen Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung wertvolle Dienste leisten (zu Einzelheiten vgl. Abschnitt 4.2.2.4).

Aus der Definition der strategischen Lärmkarte in Art. 3 lit. r) der Umgebungslärmrichtlinie geht hervor, dass die Richtlinie eine Gesamtbewertung des Umgebungslärms i. S. ihres Art. 3 lit. a) verlangt. Die Richtlinie stellt aber kein Instrumentarium für die Durchführung einer solchen Gesamtlärbewertung zur Verfügung. Nach Art. 288 Abs. 3 AEUV ist die Richtlinie für jeden Mitgliedstaat, an den sie gerichtet wird, hinsichtlich des zu erreichenden Ziels verbindlich, überlässt

¹⁰² Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 08.05.2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen, ABl. L 162 vom 03.07.2000, S. 1, zuletzt geändert durch VO (EG) 219/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.03.2009, ABl. L 87 vom 31.03.2009, S. 109. – Die EU hat für eine Reihe weiterer Produktgruppen Geräuschemissionsnormen erlassen, so etwa für Raumheizgeräte und Kombiheizgeräte die Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission vom 02.08.2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten (ABl. EU vom 06.09.2013, L 239, S. 136) oder für Raumklimageräte und Komfortventilatoren die Verordnung (EU) 206/2012 der Kommission vom 06.03.2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumklimageräten und Kofortventilatoren (ABl. EU vom 10.03.2012, L 72, S. 7).

¹⁰³ Dadurch unterscheidet sich das Lärmschutzrecht der EU signifikant vom EU-Luftqualitätsrecht, das in der Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa (ABIEG Nr. L 152 vom 11.06.2008, S. 1) Grenzwerte für eine Reihe von Luftschadstoffen enthält, vgl. *Scherer/Heselhaus*, in: Dausen/Ludwigs, Handbuch des EU-Wirtschaftsrechts, Losebl., Stand Februar 2018, Kap. O Umweltrecht, Rn. 440; *Krämer/Winter*, in: Schulze u. a. (Hrsg.), Europarecht, 3. Auflage 2014, § 26 Rn. 199 und Fn 228.

¹⁰⁴ Gesetz zur Umsetzung der EG-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm vom 24.06.2005 (BGBl. I, S. 1794).

¹⁰⁵ Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34. BImSchV) vom 06.03.2006 (BGBl. I, S. 516), zuletzt geändert durch Art. 84 der Verordnung vom 31.08.2005 (BGBl. I, S. 1474).

jedoch den innerstaatlichen Stellen die Wahl der Form und der Mittel. Da die Umgebungslärmrichtlinie keine Maßgaben für die Durchführung einer Gesamtlärbewertung enthält, überlässt sie es den Mitgliedstaaten, Methoden dafür zu entwickeln. Daraus folgt, dass jegliche Methode der Gesamtlärbewertung, auch jene der VDI 3722-2, dem Unionsrecht in Gestalt der Umgebungslärmrichtlinie nicht widerspricht.

4.3 Rechtspolitische Vorschläge zur erweiterten Einbindung der VDI 3722-2 nach AP 1 in das nationale Immissionsschutzrecht

4.3.1 Einführung von Regeln zur Ermittlung und Bewertung von quellenartübergreifendem Gesamtlärm sowie zur systematischen Erkennung von Gesamtlärmkonflikten

4.3.1.1 Kodifizierung von Werten für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit und die einfachrechtliche Erheblichkeit von Gesamtlärm

Basis eines rechtlichen Instrumentariums zur Bewältigung der quellenartübergreifenden Gesamtlärmproblematik ist die Festsetzung von Schwellenwerten zur Beurteilung von Gesamtlärm einschließlich des zugehörigen Ermittlungsverfahrens. Denn Schwellenwerte zur Beurteilung von Immissionen erhalten – unabhängig von ihrer Bezeichnung (Grenz-, Richt-, Orientierungswerte etc.) und der ausgelösten Rechtsfolgen – ihre Aussagekraft nur im Zusammenhang mit dem Ermittlungsverfahren, mit dem Existenz und Ausmaß der betreffenden Immissionen festgestellt werden.¹⁰⁶

Grenzwerte für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit

Im Umwelt- und Planungsrecht hat sich die Unterscheidung zwischen der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeitsschwelle und einer darunterliegenden einfachrechtlichen Erheblichkeits- oder Schädlichkeitsschwelle bewährt.¹⁰⁷

In der dicht besiedelten und hochtechnisierten Bundesrepublik Deutschland existieren Quartiere, die einer historisch gewachsenen multiplen Geräuschbelastung aus verschiedenen Geräuschquellenarten ausgesetzt sind, ohne dass das Ausmaß des einwirkenden Gesamtlärms jemals untersucht worden wäre. Zur Abwehr von Gesundheitsgefahren und von Eingriffen in die Substanz des Eigentums sollten deshalb an erster Stelle für den quellenartübergreifenden Gesamtlärm *Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit* eingeführt werden.

Der Lärm in der Nacht stört den Schlaf. Er verursacht Aufwachreaktionen, verändert die Schlafstruktur, reduziert die Gesamtdauer des Tiefschlafs und die Schlaffeffizienz (Verhältnis der Schlafdauer zur Bettzeit; vgl. Kapitel 2.3.4 dieses Berichts m. w. N.). Plausibel sind daher die Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung, die zeigen, dass die gesetzliche Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) von besonderer Relevanz und somit besonders schutzbedürftig ist (so *Schütte u.a.*, in: Umweltbundesamt [Hrsg.], Weiterentwicklung der rechtlichen Regelungen zum Schutz vor Fluglärm, Mai 2018, S. 25 f., 104-106 m. w. N.). Da die Wirkung von Geräuschen zur Tagzeit (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) wesentlich anders ist als in der Nacht, sollten Grenzwerte der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit für den Tag und für die Nacht getrennt festgesetzt werden.

Denkbar wäre auch eine Differenzierung der Grenzwerte für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit nach der Art der baulichen Bodennutzung, soweit sie einen sicheren Rückschluss auf

¹⁰⁶ BVerwG, Urteil vom 16.05.2001, 7 C 16/00, NVwZ 2001, S. 1167, 1169; Urteil vom 10.07.2012, 7 A 11/11, NVwZ 2012, S. 1393, 1397.

¹⁰⁷ Vgl. bereits BVerwG, Urteil vom 30.09.1983, 4 C 18/80, NJW 1984, S. 250; Urteil vom 16.03.2006, 4 A 1075/04, juris, Rn. 251, 252.

die Vulnerabilität der Betroffenen zulässt. So könnten z. B. für Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten und reine und allgemeine Wohngebiete andere Grenzwerte festgesetzt werden als für Kern-, Dorf-, Misch-, Gewerbe- und Industriegebiete¹⁰⁸ sowie die Urbanen Gebiete.¹⁰⁹

Da diese Grenzwerte die Schwelle zur verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit markieren, hätten sie zugleich die Funktion von Sanierungswerten, die für die zuständigen Behörden die grundrechtliche Schutzpflicht auslösen.¹¹⁰

Richtwerte für die einfachgesetzliche Erheblichkeit

Nach dem Vorbild des § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV und der Nr. 6.1 TA Lärm sind auch für den Gesamtlärm Werte zu definieren, die die einfachrechtliche Erheblichkeitsschwelle und damit die Grenze zur schädlichen Umwelteinwirkung im Sinn von § 3 Abs. 1, 2 BImSchG kennzeichnen. Diese Werte liegen unterhalb der äußersten Grenze der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit. Bei ihrer Festsetzung kann der Normgeber verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigen und sich insbesondere an der in der Gebietstypologie der Baunutzungsverordnung BauNVO¹¹¹ zum Ausdruck kommenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit von Baugebieten orientieren.

Die Werte der einfachrechtlichen Erheblichkeit des Gesamtlärms sollten Werte für

- ▶ Industriegebiete
- ▶ Gewerbegebiete
- ▶ urbane Gebiete
- ▶ Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete
- ▶ allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete
- ▶ reine Wohngebiete und
- ▶ Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten

vorsehen. Mit Ausnahme des Industriegebiets sollten diese Werte zwischen Tag (6:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 Uhr bis 6:00 Uhr) unterscheiden.

¹⁰⁸ Eine solche Unterscheidung hat der BT-Ausschuss für Verkehr und für das Post- und Fernmeldewesen für das – schließlich gescheiterte – Verkehrslärmschutzgesetz vorgeschlagen, BT-Drs. 8/3730 vom 28.02.1980, S. 6 (dort § 10 „Lärmsanierung an bestehenden Straßen“).

¹⁰⁹ Der Gebietstyp des Urbanen Gebiets (MU) wurde durch das Gesetz zur Umsetzung der RL 2014/52/EU im Städtebaurecht und zur Stärkung des neuen Zusammenlebens in der Stadt vom 04.05.2017 (BGBl. I, S. 1057) eingeführt, geregelt in § 6a BauNVO. Es handelt sich um eine neue Kategorie gemischter Bauflächen, die dem Wohnen sowie der Unterbringung von Gewerbebetrieben und sozialen, kulturellen und anderen Einrichtungen, die die Wohnnutzung nicht wesentlich stören, dient (§ 6a Abs. 1 BauNVO). Durch Bekanntmachung des BMUB vom 01.06.2017 (BAnz. AT vom 08.06.2017, S. B5) wurden in Nr. 6.1 lit. c) Immissionsrichtwerte [63 dB(A) tags, 45 dB(A) nachts] eingeführt. Sie entsprechen für die Nacht den Werten der TA Lärm für Kern-, Dorf- und Mischgebiete. Für die Nacht liegt der Immissionsrichtwert um 3 dB(A) über dem entsprechenden Wert für Kern-, Dorf- und Mischgebiete [vgl. Nr. 6.1 lit. d) TA Lärm]. Nach seiner Schutzwürdigkeit gehört das Urbane Gebiet (MU) damit in die Reihe der übrigen gemischten (MD - Dorfgebiet, MI - Mischgebiet, MK - Kerngebiet, vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 2 BauNVO) und gewerblichen Bauflächen (GE - Gewerbegebiet, GI - Industriegebiet, vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 3 BauNVO).

¹¹⁰ Wo für einen gesundheitseffektbezogenen Substitutionspegel, der Verkehrs- und Industrie- und Gewerbelärm zusammenfasst, die Grenzwerte der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit liegen, kann erst geklärt werden, wenn die Lärmwirkungsforschung tragfähige Dosis-Wirkungs-Beziehungen auch für den Gewerbelärm zur Verfügung stellt. Der BayVGh geht pragmatisch und unbefangen davon aus, dass die verfassungsrechtlich nicht mehr akzeptable Belastung durch Gewerbe- und Verkehrslärm in allgemeinen Wohngebieten ab etwa bei 70 dB(A) tags und 60 dB(A) nachts anzunehmen ist, vgl. BayVGh, Urteil vom 04.08.2017, 9 N 15.378, juris, Rn 91; Urteil vom 04.08.2015, 15 N 12.2124, juris, Rn 35.

¹¹¹ Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) vom 26.06.1962, neugefasst durch Bekanntmachung vom 21.11.2017, BGBl. I, S. 3786.

Ermittlungsverfahren

Zentral für die Festlegung eines Schwellenwertsystems für den quellenartübergreifenden Gesamtlärm ist das Ermittlungsverfahren für die Beurteilungspegel, die mit den Schwellenwerten verglichen werden.

Am einfachsten wäre es, wenn die Beurteilungspegel der Geräuschquellenarten, die in die Gesamtlärbewertung einbezogen werden, nach einer einheitlichen Berechnungs- oder Messmethode ermittelt würden. Der Gesamtlärmpegel könnte dann durch einfache energetische Addition der Teilpegel gebildet werden. Eine Vereinheitlichung der Beurteilungspegel aus unterschiedlichen Geräuschquellen auf der Ebene der Berechnung oder Messung steht jedoch – soweit ersichtlich – fachlich nicht in Aussicht.

Das Ermittlungsverfahren für die Gesamtlärm-Beurteilungspegel wird daher die nach dem jeweils einschlägigen, quellenartspezifischen Regelwerk ermittelten Teilpegel als Ausgangsdaten heranziehen müssen. An diesen Ausgangspegeln setzt das Verfahren der VDI-Richtlinie 3722-2 an, das es gestattet, über Expositions-Wirkungsbeziehungen wirkungsadäquate Gesamtpegel zu bestimmen. Eine – nach Möglichkeit in Anwendungsbereich und Methode erweiterte – Richtlinie VDI 3722-2 stünde damit im Zentrum des Verfahrens, in dem die Gesamtlärm-Beurteilungspegel ermittelt werden.

In den Verfahrensvorschriften für die Ermittlung des Gesamtlärm-Beurteilungspegels müssten zudem die Geräuschquellenarten, die in die Gesamtlärbewertung einbezogen werden, eindeutig bestimmt werden. Der Kreis der einbezogenen Geräuschquellenarten würde sich nach der Leistungsfähigkeit der jeweils vorhandenen VDI-Richtlinie 3722-2 richten. Wenn es, wie im AP 1 beabsichtigt, gelänge, auch Industrie- und Gewerbelärm in das Verfahren der VDI-Richtlinie 3722-2 einzubeziehen, könnte die Gesamtlärbewertung die drei großen Verkehrslärmarten (Straßenlärm, Schienenlärm, Fluglärm) und den Industrie- und Gewerbelärm erfassen.

Häufig ist ein Immissionsort zwar dem Lärm aus unterschiedlichen Geräuschquellenarten ausgesetzt, doch ist eine Lärmquelle dominant, so dass die weiteren Geräuschquellen zur Belastung nicht beitragen. In einem solchen Fall ist eine Gesamtlärbewertung nicht erforderlich. Es kann bei der sektoralen Bewertung der dominanten Geräuschquelle sein Bewenden haben. Eine Kodifikation von Schwellenwerten für die Gesamtlärbewertung müsste daher Kriterien enthalten, die es erlauben, die Dominanz oder die Unbeachtlichkeit von Immissionsbeiträgen festzustellen (Dominanz- oder Irrelevanzkriterien).

Regelungsort: TA Gesamtlärm

Nach der gegebenen Systematik des Lärmschutzrechts bietet es sich an, die Schwellenwerte und das zugehörige Ermittlungsverfahren in das Regelungsgefüge des BImSchG einzuordnen. Als Regelungsform kommt die allgemeine Verwaltungsvorschrift nach § 48 BImSchG in Betracht. Die in § 48 Abs. 1 BImSchG genannten Anwendungsbereiche für allgemeine Verwaltungsvorschriften sind nicht abschließend („insbesondere“). Die Vorschrift ermächtigt zum Erlass beliebiger Verwaltungsvorschriften (*Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 48 Rn. 5; *Thiel*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand April 2018, § 48 BImSchG Rn. 29; *Hofmann/Koch*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 48 Rn. 20.).

In Anlehnung an die existierende TA Lärm könnte die hier vorgeschlagene Verwaltungsvorschrift „*Technische Anleitung zum Schutz gegen Gesamtlärm – TA Gesamtlärm*“ heißen.

Der Anwendungsbereich könnte in Nr. 1 einer TA Gesamtlärm folgendermaßen definiert sein:

1. Anwendungsbereich

„¹Diese Technische Anleitung gilt, wenn ein maßgeblicher Immissionsort mit Geräuschimmissionen aus zwei oder mehr Quellen belastet ist, die mindestens zwei der nachfolgenden Geräuschquellenarten angehören:

- (1) Öffentliche Straßen
- (2) Schienenwege der Eisenbahnen und Straßenbahnen
- (3) Flughäfen und Luftverkehr
- (4) Anlagen, für die die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) gilt.

²Diese Technische Anleitung gilt nicht, wenn eine der vorstehenden Geräuschquellenarten dominant ist.“

In einer Nr. 2 einer TA Gesamtlärm könnten die Begriffsbestimmungen enthalten sein. Besonderes Augenmerk wäre auf die Definition des maßgeblichen Immissionsortes zu richten, der in den quellenartspezifischen Regelwerken unterschiedlich bestimmt wird.¹¹²

In Nr. 3 einer TA Gesamtlärm könnten die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und die Richtwerte für die einfachrechtliche Erheblichkeit fixiert werden.

In der Anlage zu einer TA Gesamtlärm wäre das Ermittlungsverfahren für den Gesamtlärm einschließlich der Dominanz- bzw. Irrelevanzkriterien zu regeln. Die VDI 3722-2 in ihrer gemäß dem AP 1erweiterten Fassung wäre der Kern dieses Anhangs.

Den *Fluglärm* könnte die vorgeschlagene TA Gesamtlärm als allgemeine Verwaltungsvorschrift nach § 48 BImSchG allerdings nur dann erfassen, wenn der Fluglärm ebenfalls im BImSchG geregelt wäre. Das ist de lege lata jedoch nicht der Fall. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz erfasst nach seinem § 2 Abs. 2 Satz 1 Alt. 1 nicht die Errichtung und den Betrieb von Flugplätzen. Gerade der durch den Flugbetrieb verursachte Lärm wurde aus dem Anwendungsbereich des BImSchG ausgeschlossen, weil das Luftverkehrsrecht eigene Regelungen für den Fluglärm enthält.¹¹³ Die maßgeblichen Regelungen für den Fluglärm finden sich in dem Fluglärmschutzgesetz¹¹⁴ und in den drei zu diesem Gesetz ergangenen Fluglärmschutzverordnungen.¹¹⁵

Das BImSchG erfasst die Geräusche der nach § 4 BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen, der nach dem BImSchG nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen (§§ 22 ff. BImSchG) und die

¹¹² Beispiel: Der maßgebliche Immissionsort nach Nr. 2.3 i.V.m. Nr. A.1.3 TA Lärm liegt bei bebauten Flächen 0,5m außerhalb vor der Mitte des geöffneten Fensters des vom Geräusch am stärksten betroffenen schutzwürdigen Raumes nach DIN 4109, Ausgabe November 1989. Der maßgebliche Immissionsort für die Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege liegt nach Nr. 2.2.10 der Anlage 2 (zu § 4 der 16. BImSchV – Schall 03) bei Gebäuden in Höhe der Geschossdecke (0,2m über der Fensteroberkante) auf der Fassade der zu schützenden Räume.

¹¹³ BayVGH, Beschluss vom 10.09.2015, 8 ZBV 15.833, Rn. 11; *Dietlein*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Losebl., Stand April 2018, § 2 BImSchG Rn. 22; *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 2 Rn 23.

¹¹⁴ Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärMG), neugefasst durch Bekanntmachung vom 31.10.2007, BGBl. I, 2550.

¹¹⁵ Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen – 1. FlugLSV) vom 27.12.2008 (BGBl. I, S. 2980), zuletzt geändert durch Art. 11 Abs. 9 des Gesetzes vom 18.07.2017 (BGBl. I, S. 2745). – Zweite Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Flugplatz-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 2. FlugLSV) vom 08.09.2009, BGBl. I, S. 2992. – Dritte Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärM-Außenwohnbereichsentschädigungs-Verordnung – 3. FlugLSV) vom 20.08.2013, BGBl. I, S. 3292.

Verkehrsgerausche der Straßen- und Schienenwege (§§ 41 ff. BImSchG). Mit den Flugplätzen ist nach § 2 Abs. 2 S. 1 BImSchG *nur eine* wesentliche Lärmquelle vom Anwendungsbereich des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ausgenommen. Diese Ausnahme ist – wie Jarass (BImSchG, 12. Auflage 2017, § 2 Rn. 25) zu Recht bemerkt – rechtspolitisch unbefriedigend. Angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Geräuscharten, die das BImSchG bereits heute regelt, sind die luftverkehrsrechtlichen Sondervorschriften für den Fluglärm auch systematisch kaum zu rechtfertigen. Den Besonderheiten des Fluglärms könnte das BImSchG ohne weiteres gerecht werden. Dennoch ist die Einbeziehung des Fluglärms in das BImSchG in überschaubarer Zukunft ebenso wenig zu erwarten wie ein dem umfassenden Lärmschutz dienendes Spezialgesetz. Denn die Regelung des Fluglärms außerhalb der allgemeinen Kodifikation des BImSchG oder eines umfassenden Lärmschutzgesetzes wahrt die hergebrachten Privilegien, die der Fluglärm genießt.

In dem gegebenen Gesetzesumfeld könnte die Einführung von Werten zur Beurteilung des auch den Fluglärm umfassenden Gesamtlärms jedoch in Gestalt einer fachlichen Arbeitshilfe durch eine (obere) Fachbehörde¹¹⁶ oder als VDI- oder andere Norm einer privaten Normungsorganisation geschehen. Der fachliche Inhalt dieser Arbeitshilfen bliebe der gleiche wie der einer TA Gesamtlärm, doch wäre die Bindungswirkung geringer. Normkonkretisierende Wirkung kommt den fachlichen Arbeitshilfen nicht zu.

4.3.1.2 Systematische Erkennung von Gesamtlärmkonflikten

In seinem bereits besprochenen grundlegenden Urteil vom 21.03.1996¹¹⁷ hat das Bundesverwaltungsgericht nicht nur jeder irgendwie gearteten Gesamtlärmbetrachtung diesseits der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeitsschwelle beim Bau oder bei der wesentlichen Änderung von Straßen und Schienenwegen eine Absage erteilt. Das Bundesverwaltungsgericht hat dem zum Schutz verpflichteten Gesetzgeber auch ins Stammbuch geschrieben, er habe Art. 2 Abs. 2 Satz 1 GG zu beachten. Er dürfe durch sein Verhalten die Gesundheit des Einzelnen nicht verletzen. Dem Staat obliege darüber hinaus im Schutzbereich des Art. 2 Abs. 2 Satz 1 GG eine grundrechtliche Schutzpflicht. Er verstieße gegen diese verfassungsrechtliche Pflicht, ließe er zu, dass durch den Bau oder die wesentliche Änderung eines öffentlichen Verkehrswegs eine die menschliche Gesundheit gefährdende Verkehrslärmbelastung entstehe, und sei es auch nur durch die Erhöhung einer bereits vorhandenen Vorbelastung. Klar erklärt das Bundesverwaltungsgericht a. a. O.:

„Der zum Schutz verpflichtete Staat darf sich dieser Verpflichtung auch nicht dadurch entziehen, dass er summierte Immissionen bereits konzeptionell unbeachtet lässt.“

Dieser Appell des Bundesverwaltungsgerichts ist bisher ungehört verhallt. Abgesehen von den zaghaften Ansätzen der TA Lärm, artverschiedene Geräuschimmissionen im Rahmen der Fremdgeräuschbeurteilung ausnahmsweise zu berücksichtigen, werden summierte Geräuschimmissionen im vorhandenen untergesetzlichen Regelwerk nicht beachtet. Quellenartübergreifende, summierte Geräuschimmissionen spielen weder in der 16. BImSchV noch in den Straßen- und Wegegesetzen des Bundes und der Länder, im allgemeinen Eisenbahngesetz oder in LuftVG und Fluglärmschutzgesetz eine Rolle. Es bleibt in der Regel betroffenen Bürgern und Kommunen überlassen, im Rahmen von Zulassungsverfahren auf die Gesamtlärmproblematik hinzuweisen.

¹¹⁶ Es gibt zahllose fachliche Arbeitshilfen von oberen Fachbehörde des Bundes und der Länder, die von Behörden und auch vor Gericht zur Konkretisierung unbestimmter Rechtsbegriffe, zur Standardsetzung und zur Vereinheitlichung des Verwaltungshandelns eingesetzt werden. Als Beispiele seien herausgegriffen: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Merkblatt „Beprobung von Boden und Bauschutt“, Stand November 2017; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil1 (2005) und 2 (2007).

¹¹⁷ BVerwG, Urteil vom 21.03.1996, 4 C 9/95, juris, Rn 36.

Da die Gesamtlärmanalyse aufwendig und schwierig ist, können Vorhabensnachbarn ihren Vortrag der Gesamtlärmbelastung nur mit hohem finanziellem Aufwand substantiieren.

Bei der Neuerrichtung oder wesentlichen Änderung von lärmemittierenden Anlagen, Straßen, Schienenwegen und Flughäfen sollte daher eine quellenartübergreifende Gesamtlärmprüfung vorgeschrieben werden, wenn das Vorhaben nach Einschätzung der zuständigen Behörde eine schädliche Umwelteinwirkung durch Gesamtlärm mitverursachen kann. In Anlehnung an das Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung könnte die Pflicht zur Gesamtlärmprüfung im Rahmen einer *Gesamtlärm-Vorprüfung* festgestellt werden.

Die hier erwogene TA Gesamtlärm könnte das Instrumentarium für die eigentliche Gesamtlärmprüfung, also für die Ermittlung und Bewertung der von der Verwaltungsvorschrift erfassten Geräuschimmissionen bereitstellen. Die vorgeschlagene Gesamtlärm-Vorprüfung soll die systematische Erkennung von Gesamtlärmkonflikten gewährleisten.

Im Folgenden ist zu analysieren, welche Veränderungen im geltenden Recht notwendig wären, um aus den Erkenntnissen, die aus der Anwendung dieses Instrumentariums erwachsen, Rechtsfolgen ableiten zu können.

4.3.2 Quellenartübergreifender Gesamtlärm in der Lärminderungsplanung und Bauleitplanung

Das Regelungsgefüge der Lärminderungsplanung in §§ 47a ff. BImSchG könnte die Ergebnisse einer Gesamtlärbewertung nach der vorgeschlagenen TA Gesamtlärm ohne Rechtsänderung rezipieren und sowohl für die Lärmkartierung (§ 47c BImSchG) als auch für Lärmaktionsplanung (§ 47d BImSchG) nutzen.

Gleiches gilt für die Aufbereitung des Abwägungsmaterials nach § 2 Abs. 3 BauGB und die Abwägung nach § 1 Abs. 7 BauGB in der Bauleitplanung. Das Analyseinstrumentarium einer TA Gesamtlärm könnte von der planenden Gemeinde dafür ohne weiteres angewandt werden.

4.3.3 Quellenartübergreifender Gesamtlärm bei Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm, Verkehrswegen und Flughäfen

4.3.3.1 Ausgangspunkt: Die existierenden Regelungen für mehrere Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm, die gemeinsam eine schädliche Umwelteinwirkung durch Geräusche verursachen

Gesamtbelastung (Nr. 2.4 Abs. 3 TA Lärm)

Wird ein Immissionsort ausschließlich von Anlagen belastet, für die die TA Lärm gilt, werden ihre Immissionsbeiträge nach Nr. 2.4 Abs. 3 TA Lärm zu einer Gesamtbelastung addiert. Der resultierende Beurteilungspegel für die Gesamtbelastung ist sowohl bei den nach dem BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen als auch bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen der für die Geräuschbeurteilung maßgebliche Wert.¹¹⁸ Überschreitet der für die Gesamtbelastung ermittelte Wert an einem Immissionsort den einschlägigen Immissionsrichtwert nach Nr. 6 TA

¹¹⁸ Für die genehmigungsbedürftigen Anlagen bestimmt Nr. 3.2.1 Abs. 1 TA Lärm explizit, dass der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sichergestellt ist, wenn die *Gesamtbelastung* am maßgeblichen Immissionsort die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 TA Lärm nicht überschreitet. Da die Grundpflichten in § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1, 2 BImSchG ebenfalls akzeptorbezogen sind, muss die Einhaltung der Immissionsrichtwerte grundsätzlich auch bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen an der Gesamtbelastung gemessen werden, vgl. *Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 4.2 Rn 13; *Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, TA Lärm, Nr. 4, Rn 9. Dass die vereinfachte Regelfallprüfung bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen nach Nr. 4.2 lit. a) TA Lärm zunächst auf die Geräuschimmissionen der zu beurteilenden Anlage abstellt, wird in den meisten Fällen eine zulässige Standardisierung sein. In Sonderfällen muss aber wegen des Vorbehalts des Gesetzes auf das BImSchG zurückgegriffen werden, vgl. *Jarass*, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 22 Rn 29.

Lärm, liegt eine schädliche Umwelteinwirkung durch Lärm vor (*Feldhaus/Tege*, TA Lärm, 2014, Nr. 2.4 Rn 51).

Nach dem BImSchG genehmigungsbedürftige Anlagen

Dynamische Grundpflichten und beschränkte Bestandskraft der Genehmigung nach dem BImSchG

Nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Diese Pflicht gilt – wie auch die übrigen Grundpflichten des § 5 BImSchG – unmittelbar für den Anlagenbetreiber von der Errichtung bis zur endgültigen Stilllegung der Anlage. Der Inhalt der Grundpflichten des § 5 BImSchG verändert sich mit den tatsächlichen und rechtlichen Umständen. Sie haben dynamischen Charakter. Da die Grundpflichten unmittelbar gelten, müssen verschärfte Anforderungen auch nach Erteilung einer Genehmigung grundsätzlich ohne Konkretisierung durch behördliche Verfügungen umgesetzt werden (*Jarass*, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 5 Rn 1, 2; *Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 5 Rn 2, 25).

Die unmittelbar geltenden dynamischen Grundpflichten des § 5 BImSchG beschränken damit die Bestandskraft der Genehmigung, die nach der gesetzlichen Konstruktion stets unter dem Vorbehalt steht, dass die sich mit der Zeit verändernden Grundpflichten durch nachträgliche Anordnungen nach § 17 BImSchG konkretisiert und durchgesetzt werden (*Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 5 Rn 26).

Immissionsschutzrechtliche Kausalität und Irrelevanz

Eine Anlage ruft schädliche Umwelteinwirkungen im Sinn von § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG bereits dann hervor, wenn sie *mitursächlich* ist (*Koch*, in: Festschrift für Feldhaus, 1999, S. 215/220; *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 5 Rn 15; *Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 5 Rn 229). Im Einzelnen ist umstritten, wie die anlagenbezogene Mitverursachung einer schädlichen Umwelteinwirkung zu bestimmen ist und wie klein ein Immissionsbeitrag sein muss, um eine Mitverursachung im Rechtssinne auszuschließen (*Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 5 Rn 16. Zu den Theorien der immissionsschutzrechtlichen Kausalität vgl. insbes. *Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 5 Rn 229-239). Für Geräusche enthält Nr. 3.2.1 Abs. 2 TA Lärm allerdings eine Vorgabe. Danach darf die Genehmigung für die zu beurteilende Anlage auch bei einer Überschreitung der Immissionsrichtwerte aufgrund der Vorbelastung aus Gründen des Lärmschutzes nicht versagt werden, wenn der von der Anlage verursachte Immissionsbeitrag im Hinblick auf den Gesetzeszweck als nicht relevant anzusehen ist. Das ist nach Nr. 3.2.1 Abs. 2 S. 2 TA Lärm in der Regel dann der Fall, wenn die von der zu beurteilenden Anlage ausgehende Zusatzbelastung die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 TA Lärm am maßgeblichen Immissionsort um mindestens 6 dB(A) unterschreitet.¹¹⁹

Tragen mehrere nach dem BImSchG genehmigungsbedürftige Anlagen in diesem Sinn relevant zu einer Gesamtbelastung bei, die den einschlägigen Immissionsrichtwert überschreitet, verletzt jede einzelne von ihnen die Grundpflicht aus § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG, weil sie schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche (mit)hervorrufen.

Nachträgliche Anordnung nach § 17 BImSchG

Diese Situation ist ein Anwendungsfall für die Befugnisnorm des § 17 Abs. 1 S. 2 BImSchG. Danach soll die zuständige Behörde nachträgliche Anordnungen treffen, wenn nach Erteilung der

¹¹⁹ Das Irrelevanzkriterium der Nr. 3.2.1 Abs. 2 S. 2 TA Lärm („6-dB-Kriterium“) ist nicht strikt anzuwenden. Es gilt „in der Regel“. Im Einzelfall können besondere Umstände zu einer anderen Beurteilung führen. Eine Zusatzbelastung kann auch dann, wenn sie um 6 dB(A) oder mehr unter dem maßgebenden Immissionsrichtwert liegt, relevant sein, z.B. wenn es sich um besonders auffällige Geräusche handelt, vgl. *Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, TA Lärm, Nr. 3 Rn 15.

Genehmigung sowie nach einer nach § 15 Abs. 1 BImSchG angezeigten Änderung festgestellt wird, dass die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft nicht ausreichend vor schädlichen Umwelteinwirkungen oder sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen geschützt ist.

§ 17 BImSchG ist ein scharfes Schwert in der Hand der Immissionsschutzbehörden. Denn eine nachträgliche Anordnung nach § 17 BImSchG ist nicht deshalb ausgeschlossen, weil die Geräuschemission der Anlage von der Genehmigung gedeckt ist. Wegen der dynamischen und unmittelbar geltenden Grundpflichten kann sich der Betreiber einer nach dem BImSchG genehmigten Anlage nicht auf die Legalisierungswirkung der Genehmigung berufen (*Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 17 Rn 18). Plastisch formuliert das VG Koblenz in seinem Urteil vom 23.11.2017¹²⁰:

„Im Bereich der Genehmigungen nach §§ 10 bzw. 19 BImSchG gibt es keine Bestandskraft von ‚Verlärmmungsrechten‘ zulasten der Immissionsbetroffenen auf der Grundlage von Immissionsprognosen [vgl. Hansmann/Ohms, a. a. O., § 17 BImSchG Rn. 4ff. m. w. N., Rn. 79 ff.]. Die Schutzpflicht des § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG gilt auch für genehmigte Betriebe, selbst innerhalb der bestandskräftig festgesetzten Emissionswerte; auch in der Verletzung dieser Schutzpflicht liegt eine nach § 17 BImSchG relevante Pflichtverletzung [...].“

Unerheblich ist zudem, welche Ursachen dem Pflichtenverstoß zugrunde liegen. § 17 BImSchG setzt insbesondere kein schuldhaftes oder sonst vorwerfbares Handeln des Anlagenbetreibers voraus. Unerheblich für § 17 BImSchG sind auch zum Pflichtverstoß führende Umstände, die gänzlich außerhalb der Einflussosphäre des Anlagenbetreibers liegen, etwa eine heranrückende Wohnbebauung oder die Ansiedlung weiterer Lärm emittierender Anlagen im Einwirkungsbereich seines Betriebs (*Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 17 Rn 20; *Rofsnagel/Hentschel*, in: *Führ* [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 17 Rn 31, 32).

Auf der Grundlage des § 17 BImSchG kann die zuständige Behörde dem Anlagenbetreiber Weisungen zur Beschaffenheit der Anlage, zur Art und Weise des Anlagenbetriebs und zu sonstigen Handlungen zur Erfüllung immissionsschutzrechtlicher Pflichten erteilen. Insbesondere kann sie den Anlagenbetrieb nachträglich zeitlich oder kapazitiv einschränken, wenn die Anordnung den – sorgfältig zu prüfenden – Anforderungen des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes genügt und den Anlagenbetrieb nicht objektiv unmöglich macht (*Posser*, in: *Giesberts/Reinhardt*, BeckOK Umweltrecht, 46. Edition, Stand 01.04.2018, § 17 BImSchG Rn 32.4; *Jarass*, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 17 Rn 25, 26; *Hansmann/Ohms*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Loseblatt, Dezember 2017, BImSchG, § 17 Rn 176). Führen defekte Teile einer Anlage (z. B. eine schadhafte Lüftungs- oder Abgaseinrichtung, klappernde Toranlagen oder Ähnliches) zur Emission besonders störender Geräusche, kann nach § 17 BImSchG die Anordnung ergehen, die defekten Teile durch neue Anlagenteile zu ersetzen. Möglich ist auch die Anordnung, Schutzvorkehrungen (z. B. Vortsatzschalen an Entlüftungsöffnungen) anzubringen (*Jarass*, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 17 Rn 22, 25).

§ 17 BImSchG räumt der zuständigen Behörde ein – in § 17 Abs. 1 Satz 1 und 2 BImSchG unterschiedlich strukturiertes – Ermessen dahingehend ein, ob eine nachträgliche Anordnung erlassen wird (Entschließungsermessen).¹²¹ Kommen verschiedene Maßnahmen in Betracht, so steht

¹²⁰ VG Koblenz, Urteil vom 23.11.2017, 4 K 10/17.KO, juris Rn 34.

¹²¹ § 17 Abs. 1 S. 1 BImSchG sieht für die zuständige Behörde ein normales Ermessen vor, das sich sowohl auf die Entschließung als auch auf die Mittelauswahl bezieht. Das Entschließungsermessen wird in § 17 Abs. 1 Satz 2 BImSchG eingeschränkt, wenn es um die Abwehr von Gefahren und schädlichen Umwelteinwirkungen geht. In diesem Fall verdichtet sich die behördliche Entschließungsfreiheit zu einer Pflicht, tätig zu werden, sofern nicht eine besondere, atypische Situation vorliegt, vgl. *Posser*, in: *Giesberts/Reinhardt*, BeckOK Umweltrecht, 46. Edition, Stand 01.04.2018, § 17 BImSchG Rn 27c.

der zuständigen Behörde ein Auswahlermessen zu. Das Ermessen ist pflichtgemäß auszuüben (§ 40 VwVfG).

Wichtig ist in unserem Zusammenhang, dass eine nachträgliche Anordnung nach § 17 BImSchG auch dann *keinen Entschädigungsanspruch* des Betreibers auslöst, wenn dadurch der Umfang seines bestandskräftig genehmigten Betriebes reduziert oder er sonst zu Maßnahmen verpflichtet wird, deren Erfüllung Kosten verursacht (*Koch/König*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 17 Rn 47). Abermals zeigt sich hier die Wirkung der unmittelbar und dauerhaft geltenden immissionsschutzrechtlichen Grundpflichten, von deren jederzeitiger Beachtung eine bestandskräftige immissionsschutzrechtliche Genehmigung nicht befreit. Die Erfüllung seiner immissionsschutzrechtlichen Pflichten aber muss ein Anlagenbetreiber selbst bezahlen.

Maßgaben für die Ausübung des Entschließungsermessens und des Ermessens bei der Mittelauswahl in Nr. 5.1 TA Lärm

Inhalt der Nr. 5.1 TA Lärm sind Maßgaben, die die zuständigen Immissionsschutzbehörden bei der der Ausübung des von § 17 BImSchG eingeräumten Ermessens zu beachten haben.¹²²

Dabei errichtet Nr. 5.1 TA Lärm für nachträgliche Anordnungen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen hohe Hürden. Nr. 5.1 Abs. 1 TA Lärm weist insbesondere auf die im Rahmen der Verhältnismäßigkeit zur prüfende Erforderlichkeit der nachträglichen Anordnung hin, die in § 17 Abs. 2 BImSchG nicht explizit genannt ist, und verpflichtet die Immissionsschutzbehörde auf eine umfassende Ermittlung und Bewertung der durch die Maßnahme oder durch ihr Unterlassen betroffenen Belange.

Nr. 5.1 Abs. 2 TA Lärm bringt beispielhaft („*insbesondere*“) 12 Belange, die bei der Entscheidung über eine nachträgliche Anordnung nach § 17 BImSchG zu berücksichtigen sind:

- ▶ Ausmaß der von der Anlage ausgehenden Emissionen und Immissionen,
- ▶ vorhandene Fremdgeräusche,
- ▶ Ausmaß der Überschreitungen der Immissionsrichtwerte durch die zu beurteilende Anlage,
- ▶ Ausmaß der Überschreitungen der Immissionsrichtwerte durch die Gesamtbelastung,
- ▶ Gebot zur gegenseitigen Rücksichtnahme,
- ▶ Anzahl der betroffenen Personen,
- ▶ Auffälligkeit der Geräusche,
- ▶ Stand der Technik zur Lärminderung,
- ▶ Aufwand im Verhältnis zur Verbesserung der Immissionssituation im Einwirkungsbereich der Anlage,
- ▶ Betriebsdauer der Anlage seit der Neu- oder Änderungsgenehmigung der Anlage,

¹²² Anders als es die Überschrift der Nr. 5 TA Lärm („*Anforderungen an bestehende Anlagen*“) nahelegt, enthält Nr. 5 TA Lärm weder materielle Anforderungen an bestehende Anlagen noch Konkretisierungen der gesetzlichen Schutzpflichten, sondern ausschließlich Vorgaben für die Ausübung des Ermessens, das §§ 17, 24 BImSchG den zuständigen Behörden einräumen, vgl. *Feldhaus/Tegeeder*, TA Lärm, 2014, Nr. 5 Rn 8; *Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, TA Lärm, Nr. 5 Rn 1, 3, 29; *Karkaj*, Die Gesamtlärmbewertung im Immissionsschutzrecht, 2007, S. 143.

- ▶ technische Besonderheiten der Anlage,
- ▶ Platzverhältnisse am Standort.

Nach Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm darf eine nachträgliche Anordnung nicht getroffen werden, wenn sich eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 TA Lärm aus einer Erhöhung (z. B. durch Ansiedlung neuer Anlagen) oder erstmaligen Berücksichtigung der Vorbelastung (nach Inkrafttreten der TA Lärm 1998) ergibt, die Zusatzbelastung weniger als 3 dB(A) beträgt und die Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 5 dB(A) überschritten sind. Nach dieser Regelung werden an die Sanierung bereits bestehender genehmigungsbedürftiger Anlagen deutlich geringere Anforderungen gestellt als an die erstmalige Zulassung. Eine Lärmsanierungsanordnung nach § 17 Abs. 1 BImSchG ist danach erst möglich, wenn die Gesamtbelastung den für den maßgeblichen Immissionsort geltenden Immissionsrichtwert um mehr als 5 dB(A) überschreitet und wenn die betreffende Anlage innerhalb der Gesamtbelastung dominant ist (*Kutscheidt*, NVwZ 1999, S. 577/582; *Feldhaus*, UPR 1999, S. 1/7). Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm dient dem Bestandsschutz bestehender Anlagen.¹²³ Sie hat zwar wesentlich zur Akzeptanz der TA Lärm 1998 beigetragen (*Hansmann*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, TA Lärm, Nr. 5 Rn 19), wurde aber auch scharf kritisiert.¹²⁴

Nach dem BImSchG nicht genehmigungsbedürftige Anlagen

Dynamische Grundpflichten und beschränkte Bestandskraft der Baugenehmigung

Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen i. S. v. §§ 22 ff. BImSchG sind alle dem BImSchG unterliegenden Anlagen (§ 2 Abs. 2 BImSchG) i. S. v. § 3 Abs. 5 BImSchG, soweit sie keiner Genehmigung nach § 4 BImSchG bedürfen (*Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 22 Rn. 13).

Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinn des BImSchG können zwar *immissionsschutzrechtlich* ohne präventive behördliche Kontrolle errichtet und betrieben werden. Die von solchen Anlagen ausgehenden Umwelteinwirkungen hielt der Gesetzgeber des BImSchG aber nicht für unbeachtlich, weshalb er materiell-rechtliche Pflichten statuierte, die die Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen zu erfüllen haben. Nach § 22 Abs. 1 Satz 1 BImSchG sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass

1. schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, und
2. nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden¹²⁵.

Für Anlagen, die nicht gewerblichen Zwecken dienen und nicht im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden, enthält § 22 Abs. 1 Satz 3 BImSchG eine Einschränkung der Grundpflichten auf die Verhinderung oder Beschränkung von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche oder von Funkanlagen ausgehende nichtionisierende

¹²³ Amtl. Begründung der TA Lärm 1998, BR-Drs. 254/98 vom 19.03.1998, S. 48, 49.

¹²⁴ *Koch*, NVwZ 2000, S. 490/501: „Diese Regelung besagt im Ergebnis, dass das, was durch eine vorsichtig summative Betrachtung an Gesetzesnähe gewonnen worden ist, sofort im großen Stil den Betreibern von ‚Altanlagen‘ als Bestandsschutz geopfert wird. ... Nr. 5.1 III TA Lärm ist bei strikter Anwendung gesetzeswidrig und kommt daher nur als ermessenslenkender Gesichtspunkt in Härtefällen in Betracht.“ Vernichtender noch äußert sich *Koch* mit seinem Mitautor *König*, in: Führ (Hrsg.), GK-BImSchG, 2016, § 17 Rn 90 ff. a.a.O, Rn. 94. Dort kommen *Koch/König* zu folgendem Urteil: „Daher bleibt es dabei, dass Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm mit Blick auf die Immissionsrichtwerte in Nr. 6 und die gesetzlichen Vorgaben der Soll-Vorschrift des § 17 Abs. 1 S. 2 nichtig ist.“

¹²⁵ § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 3 BImSchG enthält die weitere Grundpflicht, dass die bei Betrieb der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen entstehenden Abfälle ordnungsgemäß beseitigt werden können. Diese Grundpflicht ist im Zusammenhang mit Geräuschimmissionen, die von Anlagen ausgehen, nicht einschlägig.

Strahlen. Daraus ergibt sich, dass die Grundpflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen nach § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1, 2 BImSchG im Hinblick auf die Verhinderung oder Beschränkung von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche unabhängig davon gelten, ob sie im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden oder zu privaten Zwecken betrieben werden. Hinsichtlich der Geräusche sind die Grundpflichten des § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1, 2 BImSchG auch dann zu erfüllen, wenn Anlagen zu privaten Zwecken errichtet und betrieben werden.

Die Vermeidungspflicht nach § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 BImSchG wird durch die Minderungspflicht nach § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 BImSchG ergänzt. Nach herrschender Meinung zwingen die Grundpflichten des § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1, 2 BImSchG die Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen ausschließlich zur *Abwehr* schädlicher Umwelteinwirkungen, nicht aber zur *Vorsorge*. Das BImSchG privilegiert die nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen dadurch, dass es für ihre Betreiber – im Gegensatz zu den Betreibern genehmigungsbedürftiger Anlagen, § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG – keine allgemeine Vorsorgepflicht begründet¹²⁶.

Auch die Grundpflichten des § 22 Abs. 1 BImSchG gelten unmittelbar. Sie sind von den Betreibern nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen ohne Weiteres zu erfüllen. Sie sind für die Betreiber verbindlich, auch wenn sie nicht durch Verwaltungsakt oder Rechtsverordnung konkretisiert werden (*Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 22 Rn. 4; *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 22 Rn. 12.).

Von wesentlicher Bedeutung ist ferner, dass auch die Betreiberpflichten für die nach dem BImSchG nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen dynamischen Charakter besitzen. Ihr Inhalt kann sich mit einer Änderung der Sach- oder Rechtslage ändern. Auch eine Verschärfung der Anforderungen ist bei entsprechender Änderung der tatsächlichen Umstände möglich, ohne dass Bestandsschutzgesichtspunkte dagegen geltend gemacht werden könnten.¹²⁷ In seinem Urteil vom 18.05.1995 (4 C 20/94, juris, Rn. 26), in dem es um eine nicht genehmigungsbedürftige Autolackiererei ging, fasste das Bundesverwaltungsgericht die Bedeutung der Grundpflichten des § 22 Abs. 1 BImSchG mit folgenden Worten zusammen.

„Der dem Betreiber der Autolackiererei aufgrund der Baugenehmigung zukommende Bestandsschutz kann sich nur in den Grenzen entfalten, die ihm das Immissionsschutzrecht lässt. Dieses Recht ist dynamisch angelegt. Die Grundpflichten gemäß § 22 Abs. 1 Satz 1 BImSchG sind nicht nur im Zeitpunkt der Errichtung der Anlage, sondern in der gesamten Betriebsphase zu erfüllen. Sie wirken unmittelbar. Der Betreiber kann sich nicht darauf berufen, dass der Genehmigungsbescheid – wie hier die bestandskräftige Baugenehmigung – keine konkreten Anforderungen an den Schutz der Nachbarschaft stellt [...].“

Nach ihrer Nr. 1 Abs. 2 gilt die TA Lärm auch für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen. Für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind damit die Vorschriften der TA Lärm bei der Prüfung, ob die Anforderungen des § 22 BImSchG eingehalten sind, zu beachten¹²⁸.

¹²⁶ Streitig. Die herrschende Meinung wird vertreten von *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 22 Rn. 22; *Roßnagel/Hentschel*, in: Führ (Hrsg.), GK-BImSchG, 2016, § 22 Rn. 114, 38, jeweils m. w. N.; jetzt auch *Heilshorn/Sparwasser*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Loseblatt, Stand Dezember 2017, BImSchG, § 22 Rn. 38 (mit ausführlichen Hinweisen zur entgegengesetzten Auffassung in Rn. 39); a. A. *Klöpper*, Umweltschutzrecht, 2. Auflage 2011, Rn. 60.

¹²⁷ BVerwG, Urteil vom 29.11.2012, 4 C 8/11, juris, Rn. 27; *Roßnagel/Hentschel*, in: Führ (Hrsg.), GK-BImSchG, 2016, § 22 Rn. 5; *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 22 Rn. 16.

¹²⁸ BVerwG, Urteil vom 29.08.2007, 4 C 2/07, juris, Rn. 14.

Anordnung im Einzelfall nach § 24 BImSchG

Zur Konkretisierung und Durchsetzung der immissionsschutzrechtlichen Pflichten bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen kann die zuständige Behörde nach § 24 BImSchG Anordnungen gegen bestehende Anlagen erlassen.

Auch für den Immissionsbeitrag einer nicht genehmigungsbedürftigen Anlage gelten die oben dargestellten Grundsätze zur immissionsschutzrechtlichen Kausalität und Irrelevanz. Der Betreiber einer nicht genehmigungsbedürftigen Anlage verstößt gegen seine Grundpflichten aus § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1, 2 BImSchG, wenn er durch eine Geräuschemission, die nach dem Stand der Technik entweder vermeidbar (§ 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 BImSchG) oder nach dem Stand der Technik zwar unvermeidbar, aber nicht auf ein Mindestmaß beschränkt ist (§ 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 BImSchG), relevant zu einer Gesambelastung im Sinn von Nr. 2.4 Abs. 3 TA Lärm beiträgt, die den einschlägigen Immissionsrichtwert nach Nr. 6 TA Lärm überschreitet. Auch die nicht genehmigungsbedürftige Anlage darf grundsätzlich keine schädlichen Umwelteinwirkungen mitverursachen (*Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 22 Rn 27; *Roßnagel/Hentschel*, in: Führ [Hrsg.], GK-BImSchG, 2016, § 22 Rn. 94).

Unerheblich ist für die Anordnung im Einzelfall nach § 24 BImSchG, auf welchen Ursachen der Pflichtenverstoß beruht und ob er verschuldet ist. Auch insoweit unterscheidet sich die Befugnisnorm des § 24 BImSchG nicht von § 17 BImSchG, der für die nach dem BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen gilt (*Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 22 Rn. 9).

Maßgaben für die Ausübung des Entschließungsermessens und des Ermessens bei der Mittelauswahl in Nr. 5.2 TA Lärm

Die Entscheidung, ob sie einschreiten und welche Anordnungen sie im Fall des Einschreitens treffen sollen, steht im Ermessen der zuständigen Behörde (Entschließungs- und Auswahlermessen), das auch hier selbstverständlich pflichtgemäß (§ 40 VwVfG) auszuüben ist.¹²⁹

§ 24 BImSchG trägt alle Anordnungen, die geeignet und erforderlich sind, um die Einhaltung der immissionsschutzrechtlichen Pflichten zu gewährleisten. Auch Betriebseinschränkungen (Betriebszeitenbeschränkung, teilweise Betriebsuntersagung) können auf § 24 BImSchG gestützt werden (*Enders*, in: Giesberts/Reinhardt, BeckOK, 46. Edition, Stand 01.04.2018, § 24 Rn 9; *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 22 Rn 10, 11).¹³⁰

Maßgaben für die Ausübung dieses Ermessens enthält Nr. 5.2 TA Lärm, deren Absatz 1 bestimmt, dass die unter Nr. 5.1 TA Lärm für die nachträgliche Anordnung nach § 17 BImSchG genannten Grundsätze unter Beachtung der Unterschiede der maßgeblichen Grundpflichten bei genehmigungsbedürftigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen entsprechend herangezogen werden können. Doch macht Nr. 5.2 Abs. 1 TA Lärm hier eine wesentliche Ausnahme. Ausdrücklich erklärt die Vorschrift, dass die Bestandsschutzregelung der Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm, die die bestehenden genehmigungsbedürftigen Anlagen privilegiert, bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen unanwendbar sein soll.¹³¹

¹²⁹ Streitig ist, ob § 17 Abs. 1 S. 2 BImSchG im Bereich der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen entsprechend anzuwenden ist. Eine vergleichbare Soll-Vorschrift zugunsten eines behördlichen Einschreitens bei Vorliegen schädlicher, von der nicht genehmigungsbedürftigen Anlage mitverursachter Umwelteinwirkungen enthält § 24 BImSchG nicht. Vgl. zum Meinungsstand *Jarass*, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 24 Rn 16.

¹³⁰

¹³¹ *Koch/König* [in: Führ (Hrsg.), GK-BImSchG, 2016, § 17 Rn 95] bezeichnen diese Ungleichbehandlung zu Recht als unverständlich, weil für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen gemäß § 24 BImSchG keine Soll-Ermessensermächtigung mit Eingriffspflicht, sondern eine normale Ermessensbetätigung vorgesehen ist, sodass bei den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen eher auf eine nachträgliche Anordnung verzichtet werden könnte als bei den genehmigungsbedürftigen.

Maßgaben für die Ausübung des Ermessens bei der Adressatenauswahl unter mehreren pflichtigen Anlagenbetreibern in Nr. 5.3 TA Lärm

Wird die Gesamtbelastung, die wegen Überschreitung des einschlägigen Immissionsrichtwerts (Nr. 6 TA Lärm) als schädliche Umwelteinwirkung einzustufen ist, von mehreren Betreibern genehmigungsbedürftiger und nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen mitverursacht, kann jeder von ihnen Adressat einer nachträglichen Anordnung nach § 17 Abs. 1 Satz 2 BImSchG oder einer ebenfalls nachträglichen Anordnung im Einzelfall nach § 24 BImSchG sein. Reicht es zur Herstellung eines gesetzeskonformen Zustandes aus, einen oder einige der gegen § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG oder § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 1, 2 BImSchG verstoßenden Anlagenbetreiber in Anspruch zu nehmen, muss die zuständige Behörde eine Auswahl unter mehreren Verpflichteten treffen. Auch die in diesem Fall zu treffende Wahl des Adressaten einer nachträglichen Maßnahme – im ordnungsrechtlichen Sprachgebrauch als Störerauswahl bezeichnet – steht im Ermessen der Behörde (*Posser*, in: *Giesberts/Reinhardt*, BeckOK Umweltrecht, 46. Edition, Stand 01.04.2018, § 17 BImSchG Rn 9; *Jarass*, BImSchG, 12. Aufl. 2017, § 17 Rn 28, § 24 Rn. 17; *Hansmann/Ohms*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Loseblatt, Dezember 2017, BImSchG, § 17 Rn 227; *Sparwasser/Heilshorn*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Loseblatt, Dezember 2017, BImSchG, § 24 Rn 45).

Auch für die Störerauswahl finden sich Vorgaben in der TA Lärm. Tragen mehrere Anlagen unterschiedlicher Betreiber, so Nr. 5.3 Abs. 1 TA Lärm, relevant zum Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen bei, so hat die Behörde die Entscheidung über die Auswahl der zu ergreifenden Abhilfemaßnahmen und der Adressaten entsprechender Anordnungen nach den Nrn. 5.1 oder 5.2 TA Lärm nach pflichtgemäßem Ermessen unter Beachtung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes zu treffen. Nr. 5.3 Abs. 2 TA Lärm enthält eine kurze, nicht abschließende Liste von Gesichtspunkten, die bei der Störerauswahl zu berücksichtigen sind:

- ▶ Inhalt eines bestehenden oder speziell zur Lösung der Konfliktsituation erstellten Lärmmin-
derungsplans,
- ▶ der für die jeweilige Minderungsmaßnahme notwendige Aufwand,
- ▶ die Höhe der Verursachungsbeiträge,
- ▶ Vorliegen und Grad eines etwaigen Verschuldens.

Die Liste der Auswahlkriterien in Nr. 5.3 Abs. 2 TA Lärm ist höchst unvollständig. Wesentliche Gesichtspunkte fehlen. Bei der Störerauswahl können insbesondere die folgenden weiteren Aspekte von Bedeutung sein (*Kormann*, UPR 1983, S. 281/284; *Schwabe*, UPR 1984, S. 7/8; *Hansmann/Ohms*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Loseblatt, Dezember 2017, BImSchG, § 17 Rn 227; *Jarass*, BImSchG, 12. Auflage 2017, § 17 Rn 28; VG Koblenz, Urteil vom 23.11.2017, 4 K 10/17.KO, juris, Rn. 29-31):

- ▶ Wirksamkeit und Schnelligkeit des Eingreifens,
- ▶ Leistungsfähigkeit des Pflichtigen,
- ▶ Verantwortungsbereich bzw. Risikosphäre,
- ▶ Gleichbehandlungsgrundsatz,
- ▶ Vorgang wettbewerbsschonender Eingriffe,

► zeitliche Priorität.

Die Kompilation von Belangen und Kriterien, die bei der Störerauswahl eine Rolle spielen können, verdeckt die grundlegende Frage, ob die zuständige Immissionsschutzbehörde die Aufgabe hat, bereits bei der Anordnung nachträglicher Lärminderungsmaßnahmen eine **gerechte Lastenverteilung** unter den diversen Störern nach Maßgabe ihrer größeren bzw. geringeren Verantwortlichkeit herzustellen und bereits ihre ordnungsbehördlichen Maßnahmen „pro rata“ zu dosieren.

Diese Frage ist im Grundsatz zu verneinen. Nicht umsonst verlangt § 40 VwVfG, dass die Behörden das ihnen eingeräumte Ermessen entsprechend dem Zweck der jeweiligen Ermessensvorschrift ausüben müssen. Zweck des Bundesimmissionsschutzgesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen (§ 1 Abs. 1 BImSchG). Die Befugnisnormen des § 17 Abs. 1 und 24 BImSchG dienen der Konkretisierung und Durchsetzung immissionsschutzrechtlicher Pflichten, insbesondere der Abwehr schädlicher Umwelteinwirkungen. Sie sind wesentlich ordnungsrechtlicher Natur. Die Behörden dürfen ihre nachträglichen Maßnahmen deshalb grundsätzlich an denjenigen Betreiber richten, der schnell und wirksam Abhilfe verspricht. Es kommt hinzu, dass Maßnahmen zur physisch-realen Minderung der Lärmbelastung eines Immissionsortes sich häufig – im Gegensatz zu der Kostenfolge – nicht quoteln lassen. Dies ist etwa dann der Fall, wenn zwar mehrere Anlagen die schädliche Gesamtbelastung verursachen, die technisch geeignetste und wirtschaftlich günstigste Maßnahme aber nur bei einer der beteiligten Anlagen angewandt werden muss, um die Gesamtbelastung unter den maßgeblichen Immissionsrichtwert zu drücken. Zwar muss die Immissionsschutzbehörde bei der Störerauswahl auch den allgemeinen Gleichheitsgrundsatz, das Ausmaß des Verschuldens und den Anteil an der Verursachung des jeweiligen Betreibers berücksichtigen. Vorrangiges Ziel von Lärmschutzanordnungen nach §§ 17 und 24 BImSchG ist die Abwehr der schädlichen Umwelteinwirkung im Interesse der Allgemeinheit und der Nachbarschaft. Kriterien der Lastengerechtigkeit sind im Konfliktfall nachrangig (so *Korrmann* in seiner noch immer grundlegenden Abhandlung „Lastenverteilung bei Mehrheit von Umweltstörern“, UPR 1993, S. 281/285; zustimmend Schwabe, UPR 1984, S. 7/8).

4.3.3.2 Vorschlag: Erstreckung der Regelungen für Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm auf Verkehrswege (Straßen, Schienenwege) und Flughäfen

Soweit ersichtlich, gibt es bislang keine tragfähigen Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Gewerbelärmexposition und ihren Wirkungen auf Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen.¹³² Eine auf verlässliche Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Gewerbelärm gestützte Erweiterung der VDI-Richtlinie 3722-2 würde erlauben, den Begriff der Gesamtbelastung, den die TA Lärm auf die Geräuschemissionen aus allen Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm beschränkt, auf die Immissionsbeiträge von Verkehrswegen (Straßen, Schienen) und Flughäfen zu erstrecken. Die hier vorgeschlagene TA Gesamtlärm könnte Ermittlungsver-

¹³² Windkraftanlagen gehören zu den gewerblichen Anlagen, die von der TA Lärm erfasst sind. Sie genießen Aufmerksamkeit seit geraumer Zeit. Dennoch gibt es, wie die am 10.10.2018 von der WHO veröffentlichten „Environmental Noise Guidelines for the European Region“ (S. 77 f.) feststellen, keine Studien zur Gesundheitswirkung des Windkraftanlagenlärms. Die wenigen Studien (vier an der Zahl) zur starken Belästigung durch den Lärm von Windkraftanlagen stuft die WHO in den zitierten Richtlinien als gering ein.

fahren sowie Grenzwerte für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit und die einfachrechtliche Erheblichkeit einer solchen Gesamtbelastung enthalten und auf diese Weise für ein hohes Lärmschutzniveau und eine gleichmäßige Gesamtlärbewertung im Vollzug sorgen.¹³³

Das Anlagenrecht des BImSchG, weit mehr aber das Recht, nach dem Straßen, Schienen und Flughäfen zugelassen und überwacht werden, müssten überarbeitet werden, um eine aus Industrie- und Gewerbelärm sowie Verkehrslärm integrierte Gesamtbelastung verarbeiten und Rechtsfolgen daraus ableiten zu können.

4.3.3.2.1 Anlagen im Anwendungsbereich der TA Lärm

Wie in Abschnitt 4.2.2.2 gezeigt, blendet bereits die geltende, mittlerweile rund 20 Jahre alte TA Lärm 1998 die Verkehrsgerausche nicht gänzlich aus. Sie gehören zu den Fremdgeräuschen i. S. v. Nr. 2.4 Abs. 4 TA Lärm. Sie können im Rahmen der Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 TA Lärm im Rahmen der Anlagenzulassung und nach Nr. 5.1 Abs. 2 Spiegelstrich 2, 5.2 Abs. 1 TA Lärm bei nachträglichen Maßnahmen nach §§ 17, 24 BImSchG berücksichtigt werden. Nach der geltenden TA Lärm ist die Berücksichtigung von Verkehrsgerauschen aber auf seltene Ausnahmefälle beschränkt, und es gibt kein geschriebenes Instrumentarium zur Bewertung des Verkehrslärms im Rahmen der Anlagenzulassung und -überwachung.

In einem ersten Schritt wäre die quellenartübergreifenden Gesamtlärbewertung aus ihrem Status der Ausnahmepfung zu befreien. Führt die oben vorgeschlagene, im Rahmen der Anlagenzulassung vorzunehmende Gesamtlärm-Vorprüfung dazu, dass ein Gesamtlärmkonflikt vorliegen kann, so ist er im Rahmen eines akustischen Fachbeitrags, der obligatorischer Bestandteil der Antragsunterlagen ist, zu ermitteln und zu beurteilen. Die Gesamtlärmprüfung, bestehend aus der Gesamtlärm-Vorprüfung und der eigentlichen Gesamtlärmprüfung, sollte *obligatorisch* sein.

Bei der Einführung der um den Verkehrslärm ergänzten Gesamtbelastung stellen sich ähnliche Probleme, wie sie die TA Lärm 1998 bei Einführung der Vorbelastungsanalyse zu lösen hatte. Die Implementierung der um die Verkehrsgerausche erweiterten Gesamtbelastung in das Recht der Anlagenzulassung könnte daher von *Zulassungserleichterungen*, wie sie in Nr. 3.2.1 Abs. 2 bis 5 TA Lärm enthalten sind, flankiert werden. In Anlehnung an die geltende TA Lärm könnte die hier vorgeschlagene TA Gesamtlärm diese Zulassungserleichterungen getrennt nach genehmigungsbedürftigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen zusammenfassen.

Eine TA Gesamtlärm müsste sich auch des Problems der Anforderungen an bestehende Anlagen annehmen und Maßgaben für die Ermessensbetätigung bei nachträglichen Maßnahmen nach §§ 17 und 24 BImSchG enthalten. Eine *Bestandsschutzregelung* wird dabei nicht ganz vermeidbar sein. Denn eine die auf der Grundlage einer immissionsschutzrechtlichen oder baurechtlichen Genehmigung errichtete und in Betrieb genommene Anlage stellt eine von Art. 14 Abs. 1 GG geschützte Rechtsposition dar. Auf der Grundlage der Genehmigung tätigt der Betreiber seine Investitionen in die Anlage. Auf Grund dieser Verknüpfung der verwaltungsrechtlichen Grundlagen des Anlagenbetriebs mit den privatwirtschaftlichen Eigenleistungen des Anlagenbetreibers umfasst der verfassungsrechtliche Eigentumsschutz grundsätzlich auch die durch die Genehmigung vermittelte Rechtsposition.¹³⁴ Hinter dem Bestandsschutzgedanken steht der rechtsstaatliche Grundsatz des Vertrauensschutzes, der in Art. 14 Abs. 1 GG für vermögenswerte Güter eine

¹³³ An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass eine auf § 48 BImSchG gestützte TA Gesamtlärm den Fluglärm nur dann mitregeln kann, wenn der Fluglärm, der bislang in Sondergesetzen (LuftVG, FluglärmSchG, 1. FlugLSV, 2. FlugLSV, 3. FlugLSV) geregelt ist, in das BImSchG einbezogen wird. Dafür wäre eine Änderung des BImSchG erforderlich. Ohne Änderung des parlamentsgesetzlichen Rahmens könnte das Regelwerk zur Gesamtlärbewertung in Gestalt einer fachlichen Arbeitshilfe eingeführt werden.

¹³⁴ BVerfG, Beschluss vom 14.01.2010, 1 BvR 1627/09, NVwZ 2010, S. 771/772 (Rn. 27, 28); *Deppenheuer/Froese*, in: v. Mangoldt/Klein/Starck, GG, 7. Auflage 2018, Art. 14 Rn. 126; *Jarass*, GG, 13. Auflage 2014, Art. 14 Rn. 46; *Böhm*, in: Führ, GK-BImSchG, 2016, § 4 Rn. 6.

eigene Ausprägung erfahren hat (*Kloepfer*, Umweltschutzrecht, 2. Auflage 2011, § 2 Rn. 18 m. w. N.). Bei nachträglichen Änderungen von Genehmigungen, die in der Gegenwart und in der Zukunft Wirkung entfalten, so *Kloepfer* (Umweltschutzrecht, 2. Auflage 2011, § 2 Rn. 18 m. w. N.), liege in der Regel eine unechte Rückwirkung vor, die grundsätzlich zulässig und bei überwiegenden Gründen des Gemeinwohls gerechtfertigt sei. Der eigentumsrechtliche Bestandschutz könne daher in der Regel verschärfte staatliche Umweltschutzmaßnahmen nicht verhindern.

Eine Bestandsschutzregelung in der vorgeschlagenen TA Gesamtlärm sollte daher keineswegs so weit gehen wie die Regelung in Nr. 5.1 Abs. 3 TA Lärm, die – zeitlich unbegrenzt (darauf weist insbesondere *Schulze-Fielitz* [DVBl. 1999, S. 65/71] hin) – den Bestandsanlagen insbesondere erlaubt, die Immissionsrichtwerte um bis zu 5 dB(A) zu überschreiten. Aus verfassungsrechtlichen Gründen ist ein solch weitgehendes Privileg für Bestandsanlagen nicht geboten.¹³⁵

Hervorzuheben ist, dass sowohl die BImSchG-Anlagengenehmigung als auch die Baugenehmigung wegen der dynamischen Grundpflichten der §§ 5 Abs. 1, 22 Abs. 1 BImSchG grundsätzlich nur geringen Bestandsschutz gegen nachträgliche Lärmschutzmaßnahmen, die nach §§ 17 und 24 BImSchG angeordnet werden, bieten. Diese Vorschriften sind – gegebenenfalls nach Gewährung einer angemessenen Übergangsfrist – bereits in ihrer jetzigen Gestalt zur Abwehr von schädlichen Umwelteinwirkungen durch quellenartübergreifenden Gesamtlärm geeignet.

4.3.3.2.2 Verkehrswege (Straßen, Schienenwege) und Flughäfen

Die 16. BImSchV regelt den Bau und die wesentliche Änderung von Straßen und Schienenwegen. Sie erlaubt allein die Bewertung jenes Lärms, der von dem zu ändernden oder neu zu errichtenden Verkehrsweg ausgeht. Sie gestattet unterhalb der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit grundsätzlich nicht einmal die Bildung von Summenpegeln aus dem Immissionsbeitrag des zu ändernden oder neu zu errichtenden Verkehrswegs und den Immissionsbeiträgen bereits vorhandener Verkehrswege. Gänzlich fern liegt ihr die Einbeziehung von Gewerbe- und Industrielärm in das Zulassungsverfahren von Verkehrswegen.

Der gleiche Befund ergibt sich bei der Zulassung von Flughäfen. Der Fluglärm ist dabei gemäß § 8 Abs. 1 Satz 3 LuftVG nach dem Fluglärmschutzgesetz zu ermitteln. Nähere Regelungen finden sich in § 3 Fluglärmschutzgesetz, in der Anlage zu § 3 Fluglärmschutzgesetz und in der 1. Fluglärmschutzverordnung, die wiederum auf die Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb¹³⁶ (§ 2 Abs. 1 1. FlugLSV) und auf die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen¹³⁷ (§ 4 Abs. 2 1. FlugLSV) verweist. Dieses Regelwerk lässt diesseits der verfassungsrechtlichen Unzumutbarkeit ebenfalls nicht zu, weitere Geräuschemissionen, sei sie Straßen- oder Schienenlärm oder Gewerbe- und Industrielärm, einzubeziehen.

Für das Recht der Zulassung von Straßen, Schienen und Flughäfen wäre die Öffnung des Blicks auf schädliche Umwelteinwirkungen durch quellenartenübergreifenden Gesamtlärm gänzlich neu. Entsprechende Öffnungsklauseln müssten in § 41 BImSchG und die 16. BImSchV sowie in das LuftVG und gegebenenfalls in das Fluglärmschutzgesetz und die 1. FlugLSV aufgenommen werden. Auf der Grundlage solcher Öffnungsklauseln könnte sodann der Mechanismus der hier vorgeschlagenen TA Gesamtlärm zum Einsatz kommen.

Die Verkehrsträger genießen nach dem geltenden Recht im Vergleich zu den Betreibern von Gewerbe- und Industrieanlagen im Lärmschutz erhebliche Privilegien. Hintergrund ist das hohe

¹³⁵ Für die immissionsschutzrechtliche Genehmigung hat das BVerfG in seinem Beschluss vom 14.01.2010 [1 BvR 1627/09, NVwZ 2010, S. 771/772 (Rn. 35 ff.)] die Grenzen des Bestandsschutzes mit deutlichen Worten definiert.

¹³⁶ Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) vom 19.11.2008, BAnz. Nr. 195 a) vom 23.12.2008.

¹³⁷ Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19.11.2008, BAnz. Nr. 195 a) vom 23.12.2008

öffentliche Interesse am Verkehr, aber auch der Schutz der überwiegend öffentlichen Baulastträger vor Kostenfolgen. Die Öffnung des Rechts der Zulassung von Straßen, Schienen und Flughäfen für eine quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung würde zunächst eine erhebliche Einbuße für die privilegierte Stellung der Verkehrsträger und damit einen Quantensprung bedeuten. Die hier vorgeschlagene TA Gesamtlärm müsste die hervorgehobene Stellung der Verkehrsträger reflektieren und eigene Regelungen zur Zulassungsfähigkeit der wesentlichen Änderung oder Neuerrichtung von Verkehrswegen bei Vorliegen eines Gesamtlärmkonflikts enthalten.

Noch schwieriger wird die Implementation einer quellenartübergreifenden Gesamtlärmbelastung bei der nachträglichen Lärmsanierungsanordnung gegenüber Trägern von Schienen, Straßen und Flughäfen. Denn dem einschlägigen Recht sind stets zu beachtende Grundpflichten, wie es das BImSchG kennt, fremd. Das positive Recht enthält für die planfestgestellten Verkehrswege in § 75 Abs. 2 Satz 1 VwVfG eine Garantie erhöhter Bestandskraft. Danach sind Ansprüche auf Unterlassung des Vorhabens, auf Beseitigung oder Änderung der Anlagen oder auf Unterlassung ihrer Benutzung ausgeschlossen, wenn der Planfeststellungsbeschluss unanfechtbar geworden ist.¹³⁸ Die logische Folge ist, dass Befugnisnormen wie §§ 17, 24 BImSchG im Planfeststellungsrecht für Verkehrsanlagen nicht existieren.

Wollte man auch die Träger von Straßen, Schienenwegen und Flughäfen zur Bewältigung von Gesamtlärmkonflikten heranziehen, müsste man Grundlagen des Planfeststellungsrechts der Verkehrsinfrastruktur ändern und insbesondere die Bestandskraft entsprechender Planfeststellungsbeschlüsse limitieren.

4.3.3.2.3 Störerauswahl

Würde das hier vorgeschlagene System der quellenartübergreifenden Gesamtlärbewertung in das Anlagenrecht des BImSchG sowie in das Recht der Zulassung und Überwachung von Straßen, Schienen und Flughäfen implementiert, so müsste die zuständige Behörde bei bestehenden Gesamtlärmkonflikten, die von Anlagenbetreibern und Verkehrsträgern gemeinsam verursacht werden, eine sachgerechte Störerauswahl treffen.

Auch dafür müsste die hier vorgeschlagene TA Gesamtlärm Regelungen enthalten, die der privilegierten Stellung der Verkehrsträger Rechnung tragen könnte.

4.3.3.2.4 Zuständigkeit

Für die Zulassung und Überwachung von Anlagen nach dem BImSchG, von Straßen, Schienen und Flughäfen sind in der Regel unterschiedliche Behörden zuständig. Wollte man die quellenartübergreifende Gesamtlärbewertung in die Vollzugspraxis überführen, müssten auch Zuständigkeiten verändert werden.

Dies gilt jedenfalls für die Anordnung nachträglicher Maßnahmen. Die Länder müssten Behörden bestimmen, die befugt sind, aus einem Störerkreis aus Anlagenbetreibern und Verkehrsträgern den oder die Adressaten nachträglicher Maßnahmen festzulegen.

4.4 Rechtspolitische Vorschläge zur Einbindung der VDI 3722-2 nach AP 1 in das europäische Immissionsschutzrecht

Das Lärmschutzrecht der EU beschränkt sich bisher weitgehend auf produktbezogene Regelungen, die Emissionshöchstwerte festsetzen und dem Abbau technischer Handelshemmnisse dienen. Ein immissionsbezogener Ansatz – unabdingbare systematische Voraussetzung für eine Gesamtlärbewertung – liegt bisher allein der Richtlinie 2002/49/EG vom 25.06.2002 über die

¹³⁸ Vgl. dazu HessVGH, Urteil vom 03.06.2004, 12 A 1118/01 u. a., juris, Rn. 118ff., insbesondere Rn. 122.

Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Umgebungslärmrichtlinie) zugrunde. Die Umgebungslärmrichtlinie wurde durch §§ 47a ff. BImSchG und die 34. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt (vgl. Abschnitt 4.2.3).

In Art. 3 lit. r) definiert die Umgebungslärmrichtlinie die strategische Lärmkarte als *„eine Karte zur Gesamtbewertung der auf verschiedene Lärmquellen zurückzuführenden Lärmbelastung in einem bestimmten Gebiet oder für die Gesamtprognose für ein solches Gebiet.“* Die Richtlinie verlangt damit eine Gesamtbewertung des Umgebungslärms i. S. ihres Art. 3 lit. a), ohne aber selbst ein Instrumentarium für die Durchführung einer solchen Gesamtlärbewertung zur Verfügung zu stellen. Wie im deutschen Umsetzungsrecht (vgl. Abschnitt 4.2.2.4) könnte eine gemäß dem AP 1 erweiterte VDI 3722-2 auch auf der Ebene der Umgebungslärmrichtlinie bei der strategischen Lärmkartierung (Art. 7 Umgebungslärmrichtlinie) und bei der Erstellung von Aktionsplänen (Art. 8 Umgebungslärmrichtlinie) verwendet werden.

In Anhang I Abschnitt 3 Spiegelstrich 8 enthält die Umgebungslärmrichtlinie bereits eine erste Basis für die Einführung einer Gesamtlärbewertung. Danach kann ein zusätzlicher Lärmindex – u. a. – für das Zusammenwirken von Lärm aus verschiedenen Quellen in das Regelungsgefüge der Richtlinie eingeführt werden. Unter *„Lärmindex“* versteht die Umgebungslärmrichtlinie *„eine physikalische Größe für die Beschreibung des Umgebungslärms, der mit gesundheitsschädlichen Auswirkungen in Verbindung steht“* [Art. 3 lit. d) Umgebungslärmrichtlinie]. Die renormierten Ersatzpegel (Nr. 3.12 VDI 3722-2) und der effektbezogene Substitutionspegel (Nr. 3.13 VDI 3722-2) werden in dB ausgedrückt und können als Lärmindizes i. S. von Art. 3 lit. d) der Umgebungslärmrichtlinie eingestuft werden.

Nach Art. 6 Abs. 3 der Umgebungslärmrichtlinie können gesundheitsschädliche Auswirkungen mit den Dosis-Wirkungs-Relationen nach Anhang III der Umgebungslärmrichtlinie bewertet werden. Zwar enthält Anhang III der Umgebungslärmrichtlinie noch keine Vorgaben für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen quellenartübergreifendem Gesamtlärm und seinen Auswirkungen auf die Bevölkerung, doch hat die Kommission gemäß Art. 12 der Umgebungslärmrichtlinie die Befugnis, Anhang III, aber auch Anhang I Abschnitt 3 (und Anhang II) der Umgebungslärmrichtlinie nach dem Verfahren des Art. 13 Abs. 2 der Umgebungslärmrichtlinie an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt anzupassen.

Art. 13 Abs. 3 der Umgebungslärmrichtlinie verweist für das Verfahren, in dem die Kommission diese Anpassung vornehmen kann, auf das Regelungsverfahren der Art. 5a Abs. 1 bis 4 und Art. 7 des so genannten Komitologiebeschlusses 1999/468/EG¹³⁹ unter Beachtung von dessen Art. 8. Mit Verordnung Nr. 182/2011¹⁴⁰ wurden die Regeln der abgeleiteten Rechtsetzung durch die Kommission neu gefasst und der Komitologiebeschluss 1999/468/EG aufgehoben. Nach Art. 12 der Verordnung Nr. 181/2011 behält Artikel 5a des Beschlusses 1999/468/EG bei bestehenden Basisrechtsakten, in denen darauf verwiesen wird, weiterhin seine Wirkung. Die Kommission hat für die Änderung der oben genannten Anhänge der Umgebungslärmrichtlinie jetzt das Regelungsverfahren mit Kontrolle gemäß Art. 5a Abs. 1 bis 4 und Art. 7 unter Beachtung von Art. 8 des Beschlusses 1999/468/EG anzuwenden.

Die Kommission kann damit im Wege der abgeleiteten Rechtsetzung Anhang III und Anhang I Abschnitt 3 der Umgebungslärmrichtlinie anpassen und für die Gesamtlärbewertung die wissenschaftlich und technisch fortgeschrittenen Regelungen einer nach dem AP 1 geänderten VDI

¹³⁹ Beschluss des Rates 1999/468/EG vom 28.06.1999 zur Festlegung der Modalitäten für die Ausübung der der Kommission übertragenen Durchführungsbefugnisse (ABIEG Nr. L 184 vom 17.07.1999, S. 23 ff. – „Komitologiebeschluss“).

¹⁴⁰ Verordnung (EU) Nr. 182/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.02.2011 zur Festlegung der allgemeinen Regeln und Grundsätze, nach denen die Mitgliedstaaten die Wahrnehmung der Durchführungsbefugnisse durch die Kommission kontrollieren (ABIEG Nr. L 55 vom 28.02.2011, S. 13 ff.).

3722-2 in die Umgebungslärmrichtlinie einführen. Dazu muss sie einen Vorschlag unterbreiten, und ein Ausschuss, der sich aus Vertretern der Mitgliedstaaten zusammensetzt, muss den Vorschlag prüfen. Die Kommission kann den zu ändernden Rechtsakt erst erlassen, wenn auch das Europäische Parlament und der Rat beteiligt wurden.

4.5 Vorschläge für die rechtliche Umsetzung des im AP 2 entwickelten Finanzierungsmodells

Werden schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche von Gewerbe- und Industrieanlagen sowie Verkehrswegen und Flughäfen gemeinsam mitverursacht, kann eine – von den Bundesländern zu bestimmende – zuständige Behörde auf der Grundlage der hier erwogenen Vorschläge gemäß §§ 17, 24 BImSchG oder neu zu schaffender Eingriffsbefugnisse im Recht der Verkehrswege und Flughäfen nachträgliche Maßnahmen zur Lärminderung anordnen. Wie oben gezeigt, dient die Abwehr schädlicher Umwelteinwirkungen in erster Linie der Allgemeinheit und der Nachbarschaft. Die zuständigen Behörden haben weder die Pflicht noch die Möglichkeit, auf der Ebene der Anordnung von Lärminderungsmaßnahmen (Primärebene) Lastengerechtigkeit herzustellen.

Wer von den beteiligten Störern am Ende welchen Anteil der Kosten zur Bewältigung eines Gesamtlärmkonflikts tragen muss, hängt häufig von einer Vielzahl unterschiedlicher Umstände ab.¹⁴¹ In der Literatur wird vorgeschlagen, im Anschluss an den auf die Beseitigung der Umweltstörung zielenden behördlichen Eingriff einen *Ausgleichsmechanismus zwischen mehreren Störern* zu schaffen, sofern die Behörde nicht alle Störer ordnungsrechtlich in Anspruch genommen hat, d. h. ein Teil der Störer auf der Primärebene frei ausging. Strukturell weist das Verhältnis zwischen zuständiger Immissionsschutzbehörde und einer Mehrheit von Störern große Ähnlichkeiten mit dem bürgerlich-rechtlichen Gesamtschuldverhältnis auf, das in § 426 BGB geregelt ist. Die zuständige Behörde kann grundsätzlich jeden Störer ganz oder teilweise zur Abwendung der schädlichen Umwelteinwirkung heranziehen. Ihr kommt damit im Grundsatz die gleiche „Parscha-Stellung“ wie dem Gläubiger von Gesamtschuldern zu, der jeden Gesamtschuldner auf Teile oder die gesamte Schuld in Anspruch nehmen kann. Nach herrschender Auffassung in der Literatur findet ein Gesamtschuldnerausgleich statt, wenn einer von mehreren Verantwortlichen zur Gefahrenabwehr herangezogen worden ist (*Bydlinski*, in: Münchener Kommentar zum BGB, Bd. 2, 7. Aufl. 2016, § 421 Rn. 77; *Kormann*, UPR 1983, S. 281/285 ff.; *Schwabe*, UPR 1984, S. 7/9 f.; *Haller*, ZUR 1996, S. 21/26; *Hansmann/Ohms*, in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Stand Dezember 2017, § 17 BImSchG Rn 228; *Michler*, VBIBW 2004, S. 361/369 f. Unter Hinweis auf die Literatur in der Tendenz ebenso VG Koblenz, Urteil vom 23.11.2017, 4 K 10/17 KO, juris, Rn 31).

Der BGH allerdings lehnt in ständiger Rechtsprechung einen allgemeinen Ausgleichsanspruch des in Anspruch genommenen Störers entsprechend § 426 BGB gegen andere Pflichtige ab.¹⁴²

Ein finanzieller Ausgleich unter den Störern nach den Regeln des Gesamtschuldnerausgleichs müsste daher, um auch in der Rechtsprechung Gehör zu finden, vom Gesetzgeber festgeschrieben werden.

Ein Muster dafür gibt es z. B. in § 24 Abs. 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG):

„Mehrere Verpflichtete haben unabhängig von ihrer Heranziehung untereinander einen Ausgleichsanspruch. Soweit nichts anderes vereinbart wird, hängt die Verpflichtung zum Ausgleich sowie der

¹⁴¹ *Schwabe* (UPR 1984, S. 7/9) spricht zu Recht von einem „Dickicht privatrechtlicher Beziehungen“, das den Blick auf die schwierig zu erkennende Letztverantwortlichkeit verstelle.

¹⁴² BGH, Urteil vom 10.07.2014, III ZR 441/13, NJW 2014, S. 2730/2731; Urteil vom 11.06.1981, III ZR 39/80, NJW 1981, S. 2457/2458

*Umfang des zu leistenden Ausgleichs davon ab, **inwieweit die Gefahr oder der Schaden vorwiegend von dem einen oder dem anderen Teil verursacht worden ist**; § 426 Abs. 1 Satz 2 des Bürgerlichen Gesetzbuches findet entsprechende Anwendung. Der Ausgleichsanspruch verjährt in drei Jahren; die §§ 438, 548 und 606 des Bürgerlichen Gesetzbuchs sind nicht anzuwenden. Die Verjährung beginnt nach der Beibehaltung der Kosten, wenn eine Behörde Maßnahmen selbst ausführt, im Übrigen nach der Beendigung der Maßnahmen durch den Verpflichteten zu dem Zeitpunkt, zu dem der Verpflichtete von der Person des Ersatzpflichtigen Kenntnis erlangt. Der Ausgleichsanspruch verjährt ohne Rücksicht auf diese Kenntnis 30 Jahre nach der Beendigung der Maßnahmen. Für Streitigkeiten steht der Rechtsweg vor den ordentlichen Gerichten offen.“* [Hervorhebung durch den Verfasser]

Der in dem vorstehenden Gesetzeszitat hervorgehobene Halbsatz des § 24 Abs. 2 BBodSchG verteilt die Kosten allerdings allein nach Verursachungsanteil. Er entspricht damit im Wesentlichen dem Finanzierungsmodell „*Lärmanteil Bestand*“, das die Kosten für Lärmschutzmaßnahmen anhand des Anteils der Quellen am Gesamtlärm in der Situation vor Errichtung einer Schallschutzmaßnahme verteilt (vgl. Abschnitt 3.4.1). Dieses Finanzierungsmodell wird in dem vorliegenden Bericht nicht befürwortet, weil es unter anderem weder stichtags- noch gebietsunabhängig ist.

Der vorliegende Bericht empfiehlt das Finanzierungsmodell „*Anteil energetischer Belastungsminderung*“ (Abschnitt 3.5), bei dem Kosten unter der Mehrheit der beteiligten Anlagenbetreiber danach verteilt werden, in welchem Verhältnis die energetische Minderung einer Quelle zur energetischen Minderung des Gesamtlärms steht (Abschnitt 3.4.4). Dieses Modell der Kostenverteilung könnte durch eine Vorschrift folgenden Wortlauts verbindlich gemacht werden:

*„Mehrere Verpflichtete haben unabhängig von ihrer Heranziehung untereinander einen Ausgleichsanspruch. Soweit nichts anderes vereinbart wird, hängt die Verpflichtung zum Ausgleich sowie der Umfang des zu leistenden Ausgleichs **von dem Verhältnis ab, in welchem die durch eine Lärm-minderungsmaßnahme an der Anlage eines Verpflichteten erzielte energetische Minderung zur Minderung des Gesamtlärms steht**; § 426 Abs. 1 Satz 2 des Bürgerlichen Gesetzbuches findet entsprechende Anwendung. Der Ausgleichsanspruch verjährt in drei Jahren; die §§ 438, 548 und 606 des Bürgerlichen Gesetzbuchs sind nicht anzuwenden. Die Verjährung beginnt nach der Beibehaltung der Kosten, wenn eine Behörde Maßnahmen selbst ausführt, im Übrigen nach der Beendigung der Maßnahmen durch den Verpflichteten zu dem Zeitpunkt, zu dem der Verpflichtete von der Person des Ersatzpflichtigen Kenntnis erlangt. Der Ausgleichsanspruch verjährt ohne Rücksicht auf diese Kenntnis 30 Jahre nach der Beendigung der Maßnahmen. Für Streitigkeiten steht der Rechtsweg vor den ordentlichen Gerichten offen.“*

5 Erweiterung des Datensatzes Musterstadt der DIN 45687

5.1 Vorgehensweise

Mit dem Datensatz Musterstadt QSDO liegt auf der Basis der QSI-Formatspezifikation (1. Dokumentation-QSI-Datenschnittstelle-DIN_45687) ein „realistisches“ Modell zur Durchführung großräumiger Lärmausbreitungsberechnungen in Bezug auf Straßenverkehrslärm vor. Als Testaufgabe dient der Datensatz der Qualitätssicherung für „Akustik-Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien“. In Ringversuchen wurden mit den verschiedenen nach DIN 45687 qualitätsgesicherten Softwareprodukten Berechnungen durchgeführt, Ergebnisse verglichen, Abweichungen analysiert und anschließend statistisch ausgewertet. Anhand dieser Auswertungen wurden gemeinsam Rahmenbedingungen für das Datenmodell festgelegt und die Vorgehensweise bei Interpretationsspielräumen in der Anwendung der Richtlinie gemeinsam abgestimmt. Durch diese Änderungen wurde die Ergebnisspannbreite deutlich verringert. Als Ergebnis dieser Arbeiten wurde 2013 die „4. Dokumentation – Testaufgaben mit der Musterstadt QSDO“ zur DIN 45687 veröffentlicht.

Auf dieser Basis können bisher aber nur vereinfachte Datensätze zwischen verschiedenen Softwareprodukten ausgetauscht werden. Es fehlen Gewerbe- und Schienenverkehrsquellen, Hindernisse, weitere Merkmale in der Objektbeschreibung sowie Parameter zur Beschreibung der Emission nach weiteren Regelwerken. Für die Erweiterung des Datensatzes Musterstadt und die Erprobung des Finanzierungsmodells in Abschnitt 6 wurden deshalb insgesamt drei Workshops durchgeführt. Ziel dieser Workshops war es, die Feinspezifikation für die einzelnen Aufgaben festzulegen, offene Punkte zu besprechen und den aktuellen Stand der Arbeiten gemeinsam mit dem Auftraggeber zu diskutieren.

Der bisherige Datensatz Musterstadt basierte auf dem Datensatz der Stadt Dortmund und aus rechtlichen Gründen aus einem verfremdeten digitalen Geländemodell (DGM). In der Zwischenzeit sind viele Geodaten frei zugänglich und nutzbar. Es wurde deshalb beschlossen, den Datensatz der Stadt Dortmund auf die zugehörigen frei erhältlichen Geländedaten der Stadt Dortmund neu aufzusetzen. Die Musterstadt ist daher nun mit dem realistischen Modell Dortmund von Dortmund identisch.

Hierfür wurde das Geländemodell vom Geodatenserver des Landes Nordrhein-Westfalen (Bezirksregierung Köln 2017) heruntergeladen. Die Höhenpunkte waren auf 97 Dateien aufgeteilt und lagen in einem Rasterabstand von 1 m im ASCII-Format vor. Die Daten wurden durch Ausfiltern zu engmaschiger, redundanter Informationen für die Lärmberechnung optimiert. Dabei wurde gewährleistet, dass eine maximale Höhendifferenz von 0,5 m zu den Originalpunkten nicht überschritten wird. Anschließend wurde für die weitere Verwendung ein digitales Geländemodell gerechnet.

Das Straßen- und Schienennetz wurde für das gesamte Gebiet der Musterstadt neu aufbereitet. Zur Betrachtung des Schienenverkehrslärms wurde der Datensatz Musterstadt um Eisenbahnstrecken ergänzt. Hierbei musste sichergestellt werden, dass bei Brückenbauwerken in den Kreuzungsbereichen zwischen Straßen und Bahntrassen insbesondere auch das Gelände stimmig abgebildet ist. Die in den Geländedaten erkennbaren Trassenverläufe wurden hierfür in den entsprechenden Bereichen geprüft und ggf. korrigiert.

Nach der Fertigstellung des Modells wurde ein neues digitales Geländemodell berechnet. Zudem wurden Gewerbequellen fiktiv, aber praxisnah in den Szenarien der ausgewählten Teilgebiete

der Musterstadt ergänzt. Der so entstandene neue Datensatz enthält für Straße und Schiene zunächst „nur“ gesetzte Emissionspegel, um diese in übliche Softwareprodukte integrieren zu können.

5.2 Straße

Für den überarbeiteten Datensatz QSDO mussten die Straßen um ein Merkmal erweitert werden. Damit ist es möglich, diese zu klassifizieren. So kann der von Straßen verursachte Lärm bei der Erprobung des in Abschnitt 3 vorgeschlagenen Finanzierungsmodells unterschiedlichen Baulastträgern zugeordnet werden. Diese „Gruppenbildung“ nach Stadt-, Kreis-, Landes- sowie Bundesstraßen und Bundesautobahnen, wurde realitätsnah durchgeführt.

Die Emissionsparameter wurden im bestehenden Straßennetz QSDO so ergänzt, dass sie für die Emissionsberechnung nach Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (BUB) bzw. der kommenden Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen (RLS) verwendet werden können. Auf die Berücksichtigung von Brücken als Bauwerke wird bei der Berechnung zunächst verzichtet, da im zuständigen Normenausschuss noch geklärt werden muss, wie diese in der zu verwendenden Berechnungsvorschrift zu behandeln sind.

5.3 Schiene

Das Schienennetz wurde für die Musterstadt nicht vollständig modelliert. In Anlehnung an die EU-Lärmkartierung 2017 wurde der Datensatz um einige Haupteisenbahnstrecken ergänzt. Damit sind, vor allem in den ausgewählten Szenarien, ausreichend Geräuschquellen vorhanden, um den Datensatz für dieses und zukünftige Projekte zu nutzen.

Zur besseren Austauschbarkeit werden die Emissionen zunächst mit fiktiven, aber realitätsnahen gesetzten Pegeln definiert. Für die Austauschbarkeit der Verkehrsdaten nach der Schall 03 wurde im NA 001 BR-02 SO des DIN am 09.05.2018 ein Vorschlag der SoundPLAN GmbH diskutiert, welcher nach Prüfung durch die Möhler + Partner AG in die QSI Formatspezifikation aufgenommen wird. Voraussichtlich in der nächsten Sitzung, wird hierzu ein Beschluss gefasst. Bis dahin werden vereinfachte, aber realitätsnahe Verkehrsdaten so aufbereitet, dass sie zukünftig für die aktuelle Schall 03 wie auch für CNOSSOS-DE/ BUB verwendet werden können. Schienenbrücken werden emissionsseitig berücksichtigt.

5.4 Industriequellen

Im Bereich Dortmund-Mitte wurde ein Rangierbahnhof modelliert und in den finalen Datensatz Musterstadt integriert. Darüber hinaus wurde der Datensatz im Bereich Dortmund-Salingen, Baroper Straße um eine Windenergieanlage ergänzt.

In den für die Gesamtlärbetrachtung benötigten Szenarien wurden Gewerbequellen in den entsprechenden Untersuchungsgebieten der Musterstadt durch Modellbetriebe ergänzt.

5.5 Gebäude

Die im bestehenden Datensatz enthaltenen Gebäude wurden mit dem aktuellen Geländemodell verschnitten. Sie haben alle eine gegebene Gebäudehöhe und Anzahl von Bewohnern sowie Wohnungen.

5.6 Zusätzliche relevante Objekte

Im Zuge dieses Forschungsvorhabens wurde der Datensatz auch um weitere relevante Objekttypen ergänzt. Damit können diese realitätsnahen Modelldaten der Musterstadt auch für zukünftige Testaufgaben verwendet werden.

Folgenden Objekte wurden exemplarisch mit in die Modellstadt aufgenommen:

- ▶ Brücken, können für Schienen emissionsseitig berücksichtigt werden.
- ▶ Tunnelportale werden nicht als eigene Objektart umgesetzt, Straßen und Schienen im Tunnel können ohne Emission modelliert werden
- ▶ Wasserflächen sind im Szenario Dortmund-Phönix umgesetzt
- ▶ Lärmschutzwände sowie Bodeneigenschaften sind in den entsprechenden Szenarien im Datensatz enthalten.

5.7 Erweiterter Datensatz

Der bisherigen Datensatz Musterstadt QSDO, stellte eine erste „realistische“ Testaufgabe zur Qualitätssicherung großräumiger Lärmausbreitungsberechnungen in Bezug auf Straßenverkehrslärm dar. Der Datensatz orientierte sich dabei an der in der DIN 45687 definierten QSI Formatspezifikation und beschrieb die Musterstadt im Modell nur vereinfacht.

Mit dem überarbeiteten Datensatz QSDO steht nun ein Datensatz zur Verfügung der zukünftig als Testaufgabe für Berechnungen in komplexen, realistischen Szenarien einer Großstadt verwendet werden kann. Um den Datensatz für sämtliche „*Akustik-Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien*“ nutzbar zu machen, gibt es Empfehlungen für den zuständigen Normenausschuss zur Änderung bzw. Erweiterung der QSI Formatspezifikation.

Der neue Datensatz wurde nahe an der Realität modelliert. Damit ist es zukünftig einfach möglich den Datensatz durch weitere „echte“ Geometrien zu aktualisieren bzw. zu ergänzen.

Sobald für Straßen und Schienen die Emissionsparameter weiterer Rechenverfahren auch im QSI-Format beschreiben sind, können diese in den neuen Datensatz eingepflegt werden. Für die aktuelle Schall 03 und die kommende RLS ist dies in Vorbereitung.

Für Gewerbequellen ist die Frage der Richtwirkung noch zu diskutieren. Die Diskussion wurde im zuständigen Normenausschuss begonnen, wegen der Komplexität der Sache aber noch keine geeignete Formatspezifikation gefunden.

Anwenderinnen und Anwender von „*Akustik-Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien*“ haben mit diesem Datensatz die Möglichkeit, selbst und ohne großen Aufwand, bspw. Rechenzeiten neuer Richtlinien bzw. die Auswirkung unterschiedlicher Rechenparameter ihrer eingesetzte Softwareprodukte auf Genauigkeit und Rechenzeit in großräumigen realistischen Szenarien zu testen.

6 Erprobung des entwickelten Modells für eine Gesamtlärbewertung

6.1 Vorgehensweise

Das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelte Modell für eine Gesamtlärbewertung wird im Folgenden anhand von drei Praxisbeispielen aus der Musterstadt QSDO erprobt. Hierfür werden die in Arbeitspaket 1 vorgeschlagenen Aktualisierungen der Expositions-Wirkungsfunktionen (vgl. Abschnitt 2.3.6 und 2.4) verwendet. Die Weiterführung des Finanzierungsmodells auf Grundlage eines summarischen Indikators unter Berücksichtigung u.a. der Gesundheitswirkungen (vgl. Abschnitt 3.6) wird hier noch nicht betrachtet, da insbesondere noch Forschungsbedarf bzgl. des Zusammenwirkens mehrerer Geräuschquellen bezüglich der Gesundheitswirkungen (Risikomultiplikation oder energetische Summation) besteht. Daher wird in folgenden Beispielszenarien zunächst die Belästigung als Leitvariable für die Beeinträchtigung der Betroffenen betrachtet.

Für die Praxisbeispiele wurden drei Gebiete aus der Musterstadt für Lärminderungsszenarien ausgewählt:

- ▶ **Dortmund-Wichlinghofen/Bittermark**
In diesem Untersuchungsgebiet wirkt der Lärm von Straßen verschiedener Baulastträger ein. Als Maßnahme wurden Lärmschutzwände entlang der beiden Straßen, die die Bebauung tangieren, modelliert.
- ▶ **Dortmund Phönixsee**
In das Untersuchungsgebiet wirken Straßen- und Schienenverkehrslärm sowie Gewerbelärm ein, wobei der Straßenverkehrslärm zusätzlich von Straßen verschiedener Baulastträger verursacht wird. Eine Lärmschutzwand an der Schiene, die auch die Gewerbequellen gegenüber der Bebauung abschirmt und eine Wand an der der Bebauung nächstgelegenen Straße sind als unabhängige Maßnahmen vorgesehen.
- ▶ **Dortmund-Dorstfeld**
Auch in diesem Untersuchungsgebiet wirken Straßen- und Schienenverkehrslärm sowie Gewerbelärm ein. Als Minderungsmaßnahme wird eine Lärmschutzwand verwendet, die das Gewerbe und eine Gemeindestraße von der angrenzenden Bebauung abschirmt.

Die Emissionspegel der Geräuschquellenarten Straßen- und Schienenverkehr wurden unverändert aus dem Datensatz QSDO übernommen. Für den Gewerbelärm wurden praxisnahe und typische Emittenten (u.a. Mitarbeiterparkplatz eines Betriebs, Abluftanlagen von Produktionsanlagen, Einkaufsmärkte mit Kundenparkplatz und Anlieferbereich) in die Musterstadt integriert.

Bei den Szenarien kommen nur solche Lärmschutzmaßnahmen in Betracht, deren Kosten nicht à priori eindeutig einer Geräuschquelle zuzuordnen sind, wie dies beispielsweise bei Lärmschutzmaßnahmen an der Quelle der Fall ist. Die Verlegung zum Beispiel eines lärmarmen Asphalts wirkt sich nicht auf den Schienenverkehrs- oder Gewerbelärm aus. Lärmschutzmaßnahmen im Ausbreitungsweg wie Schallschutzwände, Schallschutzwälle und ähnliches wirken grundsätzlich unspezifisch und können besonders bei Bündelungen von Verkehrswegen gegen mehrere Quellenarten gleichzeitig wirken. Auch bezüglich der Immissionsorte ist ihre Wirksamkeit nicht auf

einzelne Orte beschränkt. Daher werden in den Szenarien Schallschutzwände als Maßnahmen betrachtet und deren Kostenverteilung untersucht.

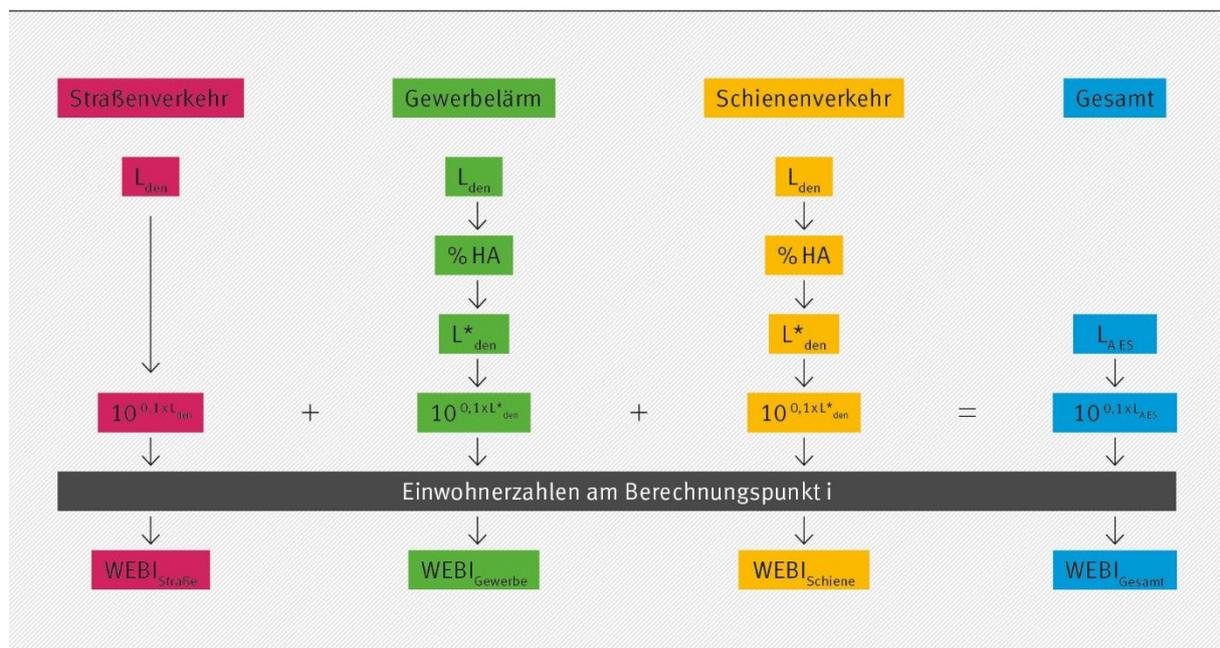
In verschiedenen Berechnungen soll die Wirkung dieser Maßnahmen, getrennt nach den Bausträgern bzw. den einzelnen Geräuschquellenarten, bestimmt und anschließend für den Praxistest des Finanzierungsmodells mit Anwendung der vorgeschlagenen Erweiterungen der VDI 3722-2 herangezogen werden.

Die Gebäude für die Berechnung der Immissionspegel werden so ausgewählt, dass möglichst alle Aspekte hinsichtlich der für jedes Szenario typischen Situation abgedeckt sind. Beispielsweise werden die Abstände von den jeweiligen Geräuschquellen, Sichtverbindung bzw. Abschirmung, unterschiedliche oder ähnliche vermutete Dominanz der Quellen am Gebäude berücksichtigt. Die Immissionsorte werden dann in der Mitte der Gebäudefassaden in 4 m Höhe und mit einem Abstand von 0,1 m vor der Fassade berechnet. Reflexionen der eigenen Fassade werden unterdrückt, um entsprechend der einschlägigen Normen die Immissionssituation bei geöffnetem Fenster abzubilden. Für den Straßenverkehrslärm wurde die RLS-90, für Schienenverkehrslärm die Rechenvorschrift der 16. BImSchV zur Berechnung der Beurteilungspegel für Schienenwege (Schall03) und für den Gewerbelärm entsprechend der TA Lärm das Ausbreitungsmodell der DIN ISO 9613-2 angewandt.

6.2 Darstellung des Verfahrens

In Abschnitt 3.5 wird das Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ (WEBI-Index) empfohlen. Für die Bestimmung des WEBI-Index sind verschiedene Handlungsschritte notwendig, die im nachfolgenden Flussdiagramm dargestellt sind (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Flussdiagramm zur Ermittlung des WEBI-Index



Quelle: eigene Darstellung

Der WEBI-Index stellt folglich den delogarithmierten Beurteilungspegel einer Quellenart dar, der mit der jeweiligen Einwohnerzahl am betrachteten Berechnungspunkt i gewichtet wird. Hierbei ist zu beachten, dass für den Gewerbelärm und den Schienenverkehrslärm jeweils der

renormierte Ersatzpegel herangezogen wird. Der Straßenverkehrslärm wird als Bezug verwendet. Aus diesem Grund ist eine Substitution hier nicht notwendig.

Sofern mehrere Lärmschutzmaßnahmen in einem Paket schrittweise realisiert werden sollen, ist nach der Ermittlung der Kostenumlegung eine Priorisierung der Reihenfolge anhand eines Nutzen-Kosten-Index (NKI) durchzuführen. Hierbei sind die Lärmschutzmaßnahmen mit dem besten Nutzen-Kosten-Verhältnis als erstes durchzuführen. Im Folgenden werden die einzelnen Handlungsschritte anhand des Untersuchungsgebiets „Phönixsee“ exemplarisch dargestellt.

6.3 Ablauf des Verfahrens

6.3.1 Vorbereitung der Datengrundlage

Bevor mit der eigentlichen Auswertung begonnen werden kann, sind noch Handlungsschritte zur Vorbereitung der Datengrundlage notwendig. Als erster Schritt sollte eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden. Hierfür ist insbesondere die Auswirkung der Lärmschutzmaßnahme in Form eines Differenzpegels (Nachher – Vorher) zu betrachten. Grundsätzlich kann es durch Lärmschutzmaßnahmen auch zu Erhöhungen des Beurteilungspegels infolge von Reflexionen kommen. Üblicherweise liegen diese jedoch im Bereich weniger Zehntel dB. Pegelerhöhungen, die deutlich höher ausfallen, sind ein Indiz für ein Plausibilitätsproblem. In diesem Fall wären die betroffenen Berechnungspunkte noch einmal eingehend in der Modellierungssoftware auf Unstimmigkeiten zu prüfen.

Da das Kostenumlegungsverfahren die substituierten, wirkungsbezogenen Pegel betrachtet, empfiehlt es sich hier, diese auch in die Plausibilitätsprüfung mit einzubeziehen. Die entsprechenden Gleichungen für die auf den Straßenverkehrslärm bezogenen renormierten Ersatzpegel L^*_{DEN} lassen sich analytisch anhand der Gleichung für die %HA des Straßenverkehrslärms ermitteln. Die entsprechenden Berechnungen werden im Abschnitt 6.3.4 dargestellt und erläutert.

Nach der Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse ist eine Sortierung notwendig. Das empfohlene Finanzierungsmodell „Anteil energetischer Belastungsminderung“ (WEBI-Index) betrachtet die energetische Minderung in den Untersuchungsgebieten. Da sich allerdings rechnerisch auch Pegelerhöhungen durch Reflexionen ergeben können, sind diese auszusortieren. Dies kann anhand der vorher durchgeführten Differenzpegelbildung erfolgen. Bei mehreren einzeln betrachteten Maßnahmen ist die Differenz zwischen dem jeweils betrachteten Maßnahmenfall und dem Ist-Zustand maßgeblich. Andernfalls besteht die Gefahr, dass Pegel aussortiert werden, für die im speziellen Fall keine Pegelerhöhung vorliegt.

Dieses Aussortieren ist zwingend notwendig, da ein Einbeziehen der Pegelerhöhung in die Ermittlung des WEBI-Index zu teilweise stark abweichenden und falschen Ergebnissen führen kann. Die Anforderungen an die Kostengerechtigkeit, Kommutativität, Stichtagsunabhängigkeit und die Gebietsunabhängigkeit könnten so nicht gewährleistet werden.

Nachdem diese vorbereitenden Schritte durchgeführt worden sind und wenn alle Ergebnisse plausibel erscheinen, kann die schrittweise Ermittlung des WEBI-Index und im Anschluss daran die Priorisierung der Maßnahmen anhand des Nutzen-Kosten-Index (NKI) erfolgen.

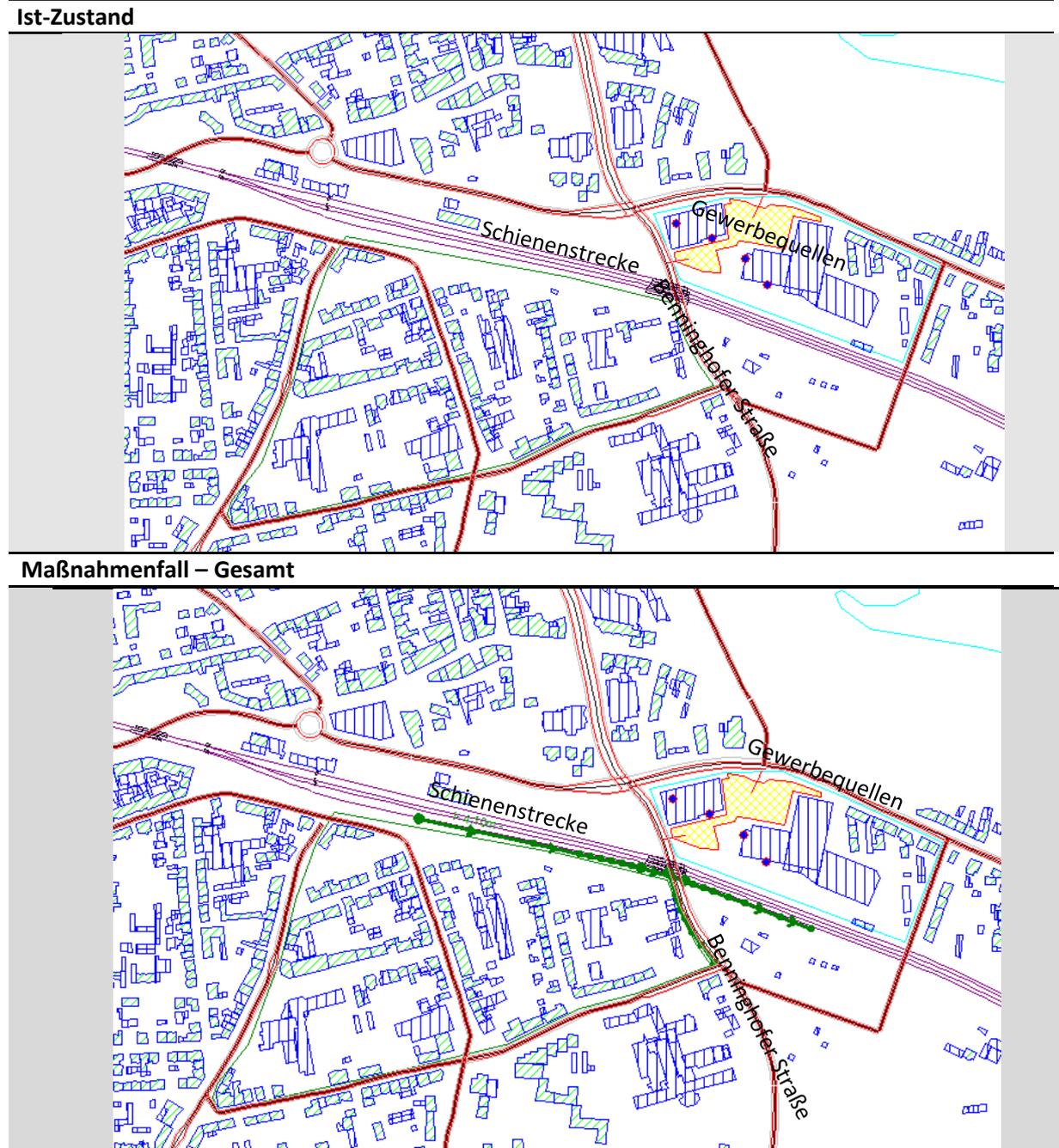
6.3.2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes Dortmund Phönixsee

Als Anwendungsbeispiel wurde das Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee ausgewählt, da hier neben drei Straßenbaulastträgern auch Gewerbe- und Schienenverkehrslärm auf das Untersuchungsgebiet einwirken. Weiterhin liegen die Ergebnisse in mehreren Maßnahmenschritten

vor, so dass auch eine Priorisierung anhand des Nutzen-Kosten-Index (NKI) vorgenommen werden kann.

Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt das ausgewählte Untersuchungsgebiet:

Abbildung 7: Darstellung des Untersuchungsgebiets Dortmund Phönixsee mit den verschiedenen Lärmschutzmaßnahmen



6.3.3 Schritt 1: Ermittlung der %HA

Als erster Schritt sind die %HA für die einzelnen Verkehrslärmarten zu bestimmen. Die entsprechenden Expositionsfunktionen sind dem Abschnitt 2.4 zu entnehmen und ersetzen die Expositionsfunktionen der VDI 3722-2. Weiterhin sind Expositionsfunktionen für den Gewerbelärm aufgeführt.

Die Ermittlung der %HA muss sowohl unterhalb, innerhalb und oberhalb des Substitutionsbereichs erfolgen. Diese sind nachfolgend entsprechend ihres jeweiligen Wertebereichs bzw. der Geräuschquellenart dargestellt:

Straßenverkehrslärm

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

$$\%HA = 4,0 \% \quad (61)$$

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

$$\%HA = 116,4304 - 4,7342 L_{DEN} + 0,0497 L_{DEN}^2 \quad (62)$$

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

$$\%HA = 3,019 L_{DEN} - 185,845 \quad (63)$$

Schienenverkehrslärm

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

$$\%HA = 1,5 \% \quad (64)$$

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

$$\%HA = 38,1596 - 2,05538 L_{DEN} + 0,0285 L_{DEN}^2 \quad (65)$$

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

$$\%HA = 2,676 L_{DEN} - 158,120 \quad (66)$$

Gewerbelärm

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

$$\%HA = 1,6 \% \quad (67)$$

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

$$\%HA = 36,307 - 1,886 L_{DEN} + 0,02523 L_{DEN}^2 \quad (68)$$

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

$$\%HA = 1,798 L_{DEN} - 98,093 \quad (69)$$

6.3.4 Schritt 2: Bestimmung der renormierten Ersatzpegel

Die modifizierte VDI 3722-2 nach Kapitel 2.4 beinhaltet keine Gleichungen zur Bestimmung der renormierten Ersatzpegel. Aus diesem Grund sind diese nun zu ermitteln. Die renormierten Ersatzpegel beziehen sich auf die Beurteilungspegel des Straßenverkehrs L_{DEN} , weswegen die Substitution nur für die Geräuschquellenarten Schiene und Gewerbe vorzunehmen ist.

Der Grundgedanke hierbei ist, dass derselbe prozentuale Anteil $\%HA$ beim Schienenverkehrslärm bzw. beim Gewerbelärm dem Beurteilungspegel des Straßenverkehrs entspricht, durch den derselbe Prozentsatz $\%HA$ errechnet wird. Tabelle 25 stellt dies dar.

Tabelle 25: Beispiel zur Bestimmung der renormierten Ersatzpegel L^*_{DEN} für den Gewerbelärm und den Schienenverkehrslärm

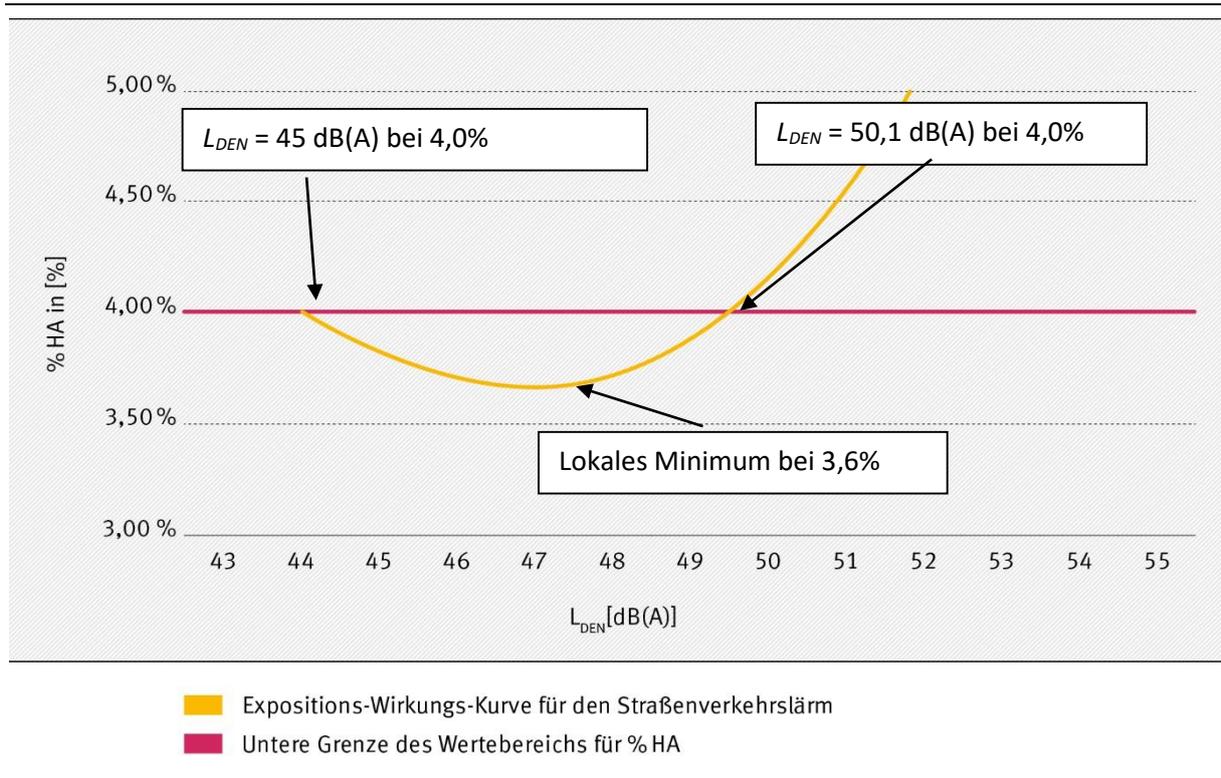
	Beurteilungspegel L_{DEN} [dB(A)]	$\%HA$ [%]	Renormierter Ersatzpegel L^*_{DEN} [dB(A)]
Straße	65,7	20	--
Schiene	61,8	20	65,7
Gewerbe	64,8	20	65,7

Die Ermittlung des renormierten Ersatzpegels kann somit grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen:

Eine Möglichkeit besteht darin, anhand der Expositionsfunktionen für den Straßenverkehr durch ein Auflösen der Gleichung nach L_{DEN} den renormierten Ersatzpegel unter Berücksichtigung des jeweiligen $\%HA$ auszurechnen. Eine andere Lösungsvariante ist der Abgleich der berechneten Beurteilungspegel und $\%HA$ des Straßenverkehrs und der betrachteten Geräuschquelle.

Zwar erscheint das zuletzt genannte Verfahren einfacher, jedoch ergeben sich durch den Verlauf der Expositionscurve des Straßenverkehrs an der Grenze des unteren Pegelbereichs Schwierigkeiten, da sich im Bereich von 48 dB(A) rechnerisch ein lokales Minimum für die $\%HA$ mit 3,6% ergibt. Mit abnehmendem Beurteilungspegel steigen die $\%HA$ jedoch wieder bis auf 4,0% an und sind einem Beurteilungspegel von 45 dB(A) zuzuordnen. Im Bereich von 50,1 dB(A) ergibt sich jedoch ebenfalls ein $\%HA$ von 4,0%. Eine eindeutige Zuweisung der Ergebnisse ist hier nicht gegeben (Abbildung 8).

Abbildung 8: Darstellung der Problematik bei der Zuweisung von %HA zu einem renormierten Ersatzpegel L_{DEN}^* an der Grenze des unteren Wertebereichs



Quelle: eigene Darstellung

Eine eindeutige Zuweisung des renormierten Ersatzpegels in Abhängigkeit zu den %HA scheint somit an der unteren Grenze des Wertebereichs nur mit erhöhtem Aufwand in Form einer Prüfung im Einzelfall möglich. Aus diesem Grund wurde die analytische Ermittlungsmethode gewählt, die ein Umformen der jeweiligen Gleichungen zur Errechnung der %HA des Straßenverkehrs vorsieht. Weiterhin ist eine Begrenzung der jeweiligen Wertebereiche notwendig. Diese werden nun anhand von %HA definiert:

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 (63) ergibt:

$$L_{DEN}^* = \frac{\%HA + 185,845}{3,019} \quad \text{für } \%HA > 55,8\% \quad (70)$$

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 (62) erhält man nachfolgendes Polynom zweiter Ordnung.

$$L_{DEN}^* = \frac{4,7342 + \sqrt{4,7342^2 - 0,1988 * (116,4304 - \%HA)}}{0,0994} \quad \text{für } 4,0\% \leq \%HA \leq 55,8\% \quad (71)$$

Bei der Ermittlung des renormierten Ersatzpegels unterhalb des Wertebereichs kommt erneut die Problematik mit der nicht eindeutigen Zuweisung der Beurteilungspegel zu den %HA beim

Straßenverkehr zum Tragen. Alle Pegel unterhalb der 4,0% pauschal mit der unteren Grenze des Straßenverkehrs (45 dB(A)) zu substituieren, stellt hier demnach keine Lösungsmöglichkeit dar.

Tabelle 26: Beispiele zur Lösungsfindung des renormierten Ersatzpegels an der unteren Grenze des Wertebereichs

	Schiene L_{DEN} [dB(A)]	%HA [%]	Schiene L^*_{DEN} [dB(A)]
Punkt 1	46,1	3,9	45,0
Punkt 2	46,2	4,0	50,3

Prämisse: Alle Beurteilungspegel deren %HA unter 4,0 % liegt werden mit 50,1 dB(A) besetzt

	Schiene L_{DEN} [dB(A)]	%HA [%]	Schiene L^*_{DEN} [dB(A)]
Punkt 1	46,1	3,9	50,1
Punkt 2	46,2	4,0	50,3

Prämisse: Alle Beurteilungspegel, deren %HA unter 4,0 % liegt, werden mit 45 dB(A) besetzt

Aus Tabelle 26 geht hervor, dass eine pauschale Besetzung mit 45 dB(A) dazu führen kann, dass zwischen den Ergebnissen ein Sprung von ca. 5 dB(A) entsteht. Dies ist weder plausibel noch zielführend.

Wenn man allerdings den renormierten Ersatzpegel mit der unteren Grenze von %HA = 4,0 % berechnet, erhält man das zweite mögliche Ergebnis von 50,1 dB(A). Aus dem zweiten Beispiel geht hervor, dass diese Pegeldifferenz nur noch geringfügig ist. Gleiches gilt auch für den Gewerbelärm. Aus diesem Grund wird pauschal ein renormierter Ersatzpegel von 50,1 dB(A) für alle %HA unter 4,0% angenommen.

Mit den in den vorhergehenden Unterabschnitten dargestellten Grundlagen ist nun die Berechnung des WEBI-Index möglich.

6.3.5 Schritt 3: Ermittlung des WEBI-Index und Kostenanteile

Die Berechnung des WEBI-Index erfolgt nach Gleichung (54) als Produkt der Einwohner pro Berechnungspunkt mit dem delogarithmierten und renormierten Beurteilungspegel der betrachteten Quellenart. Hieraus wird im Weiteren anhand Gleichung (56) der individuelle Kostenanteil j einer beliebigen Quellenart ermittelt.

6.3.6 Schritt 4: Festlegung der Priorisierungen der Maßnahmen

Nach der Ermittlung des WEBI-Index erfolgt eine Priorisierung der Maßnahmen nach Gleichung (55). Hierbei wird der Nutzen einer Maßnahme durch die Differenz des WEBI-Index der Gesamtlärmsituation vorher und nachher beschrieben. In Verbindung mit den Kosten der jeweiligen Maßnahme erhält man somit einen Quotienten; den Nutzen-Kosten-Index (NKI).

Tabelle 27: Nutzen – Kosten – Index (NKI) für das Anwendungsbeispiel Dortmund Phönixsee

	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 Fall liegt der NKI bei Maßnahme 1 bei ca. 2623,7, wohingegen der NKI bei Maßnahme 2 lediglich bei ca. 5,7 liegt. In Anbetracht der stärkeren Auswirkungen und der größeren Ausdehnung der Maßnahme 1 erscheint dies plausibel. Die Priorisierungsreihenfolge des Maßnahmenpakets sehe demnach wie folgt aus:

- Priorität 1: Maßnahme 1
- Priorität 2: Maßnahme 2

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

6.4 Erprobung des Finanzierungsmodells an Praxisbeispielen

Die Erprobung des Modells zur Kostenumlegung wird in den folgenden Gebieten durchgeführt:

- ▶ Dortmund-Wichlinghofen/Bittermark
- ▶ Dortmund Phönixsee
- ▶ Dortmund-Dorstfeld

Im Bereich Dortmund-Wichlinghofen werden Schallschutzwände an Straßen verschiedener Baulastträger betrachtet. Daher wird hier die Kostenumlegung auf die einzelnen Baulastträger der verschiedenen Straßenkategorien geprüft.

Im Bereich Dortmund Phönixsee sind zwei Geräuschquellenarten (Straßen- und Schienenverkehr) vorhanden, die durch jeweils eine Lärmschutzwand gemindert werden können. Die Wände wirken jedoch teilweise auch in Bezug auf die jeweils andere Quelle. Dadurch kann in diesem Bereich die Kommutativität und die Stichtagsunabhängigkeit durch unterschiedliche Realisierungsabfolgen der Schallschutzwände untersucht werden.

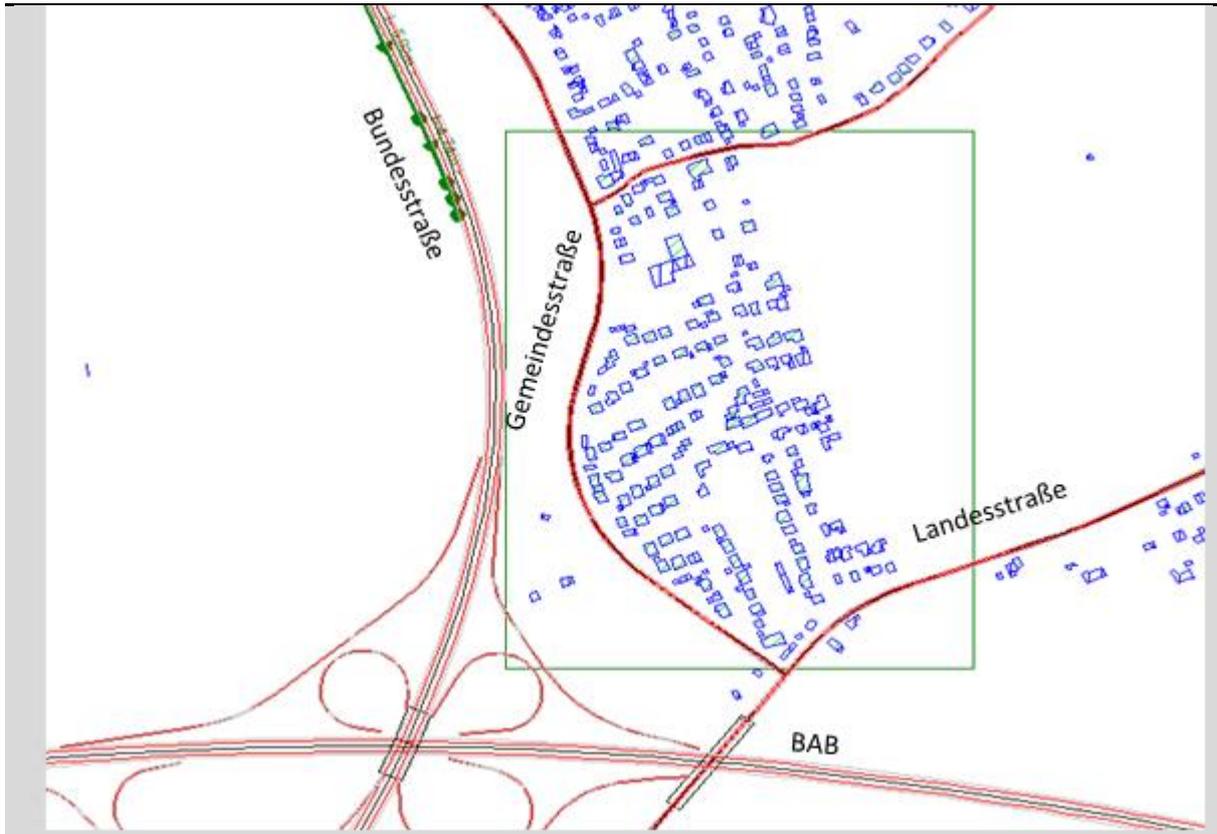
In allen drei Gebieten wurde zusätzlich die Kostengerechtigkeit betrachtet.

6.4.1 Dortmund-Wichlinghofen

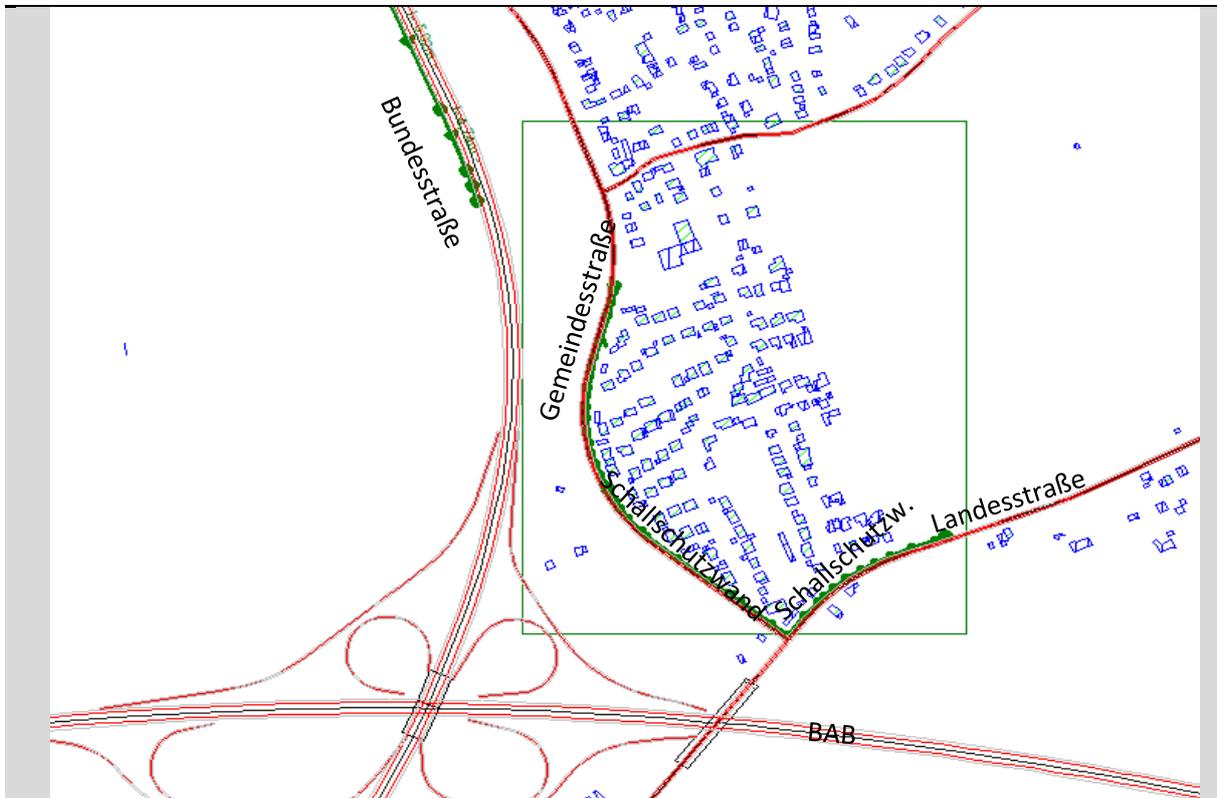
Im Bereich Dortmund-Wichlinghofen befinden sich Straßenverkehrswege mehrerer Straßenbaulastträger. Abbildung 9 zeigt das Untersuchungsgebiet sowohl für den Ist-Zustand als auch im Maßnahmenfall.

Abbildung 9: Darstellung des Untersuchungsgebietes Dortmund-Wichlinghofen

Ist-Zustand



Maßnahmenfall



Quelle: Eigene Darstellung

Südlich des Untersuchungsgebietes befindet sich ein größeres Straßenkreuz. In horizontaler Richtung verläuft die BAB A45,; in vertikaler Richtung die Bundesstraße B 54. Am südlichen Ende des betrachteten Wohngebietes verläuft die Landesstraße L 556 und in größerer Entfernung nordwestlich die Kreisstraße K2. (Aufgrund der Distanz ist die Kreisstraße K2 auf der Darstellung nicht abgebildet). Die restlichen Straßen werden den Gemeindestraßen zugeordnet.

Die Lärmschutzwand verläuft zwischen der westlich des Wohngebietes gelegenen Brandisstraße und dem Wohngebiet selbst und knickt dann im südlichen Bereich nach Osten hin ab und folgt der L 556 weiter bis ca. zum Ende des Wohngebiets.

Tabelle 28: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund-Wichlinghofen

	Bundesautobahn	Bundesstraßen	Landesstraßen	Gemeindestraßen
Anteil	19,4 %	19,0 %	20,3 %	41,3 %
Kosten	345 TSD €	350 TSD €	360 TSD €	735 TSD €

Aus Tabelle 28 wird ersichtlich, dass sich für die Gemeindestraßen und die Landesstraßen, die sich in unmittelbarer Nähe zu den Lärmschutzmaßnahmen befinden, die größten Lärmminde- rungen und somit auch die höchsten Kostenanteile ergeben. Da die Verkehrsdichte auf der BAB A45 und der B54 zwar teils deutlich höher ist, als auf den Gemeinde- und Landesstraßen, diese sich aber in weiterer Entfernung zu der betrachteten Bebauung befinden, erscheint auch ein Kostenanteil von jeweils ca. 19 % realistisch.

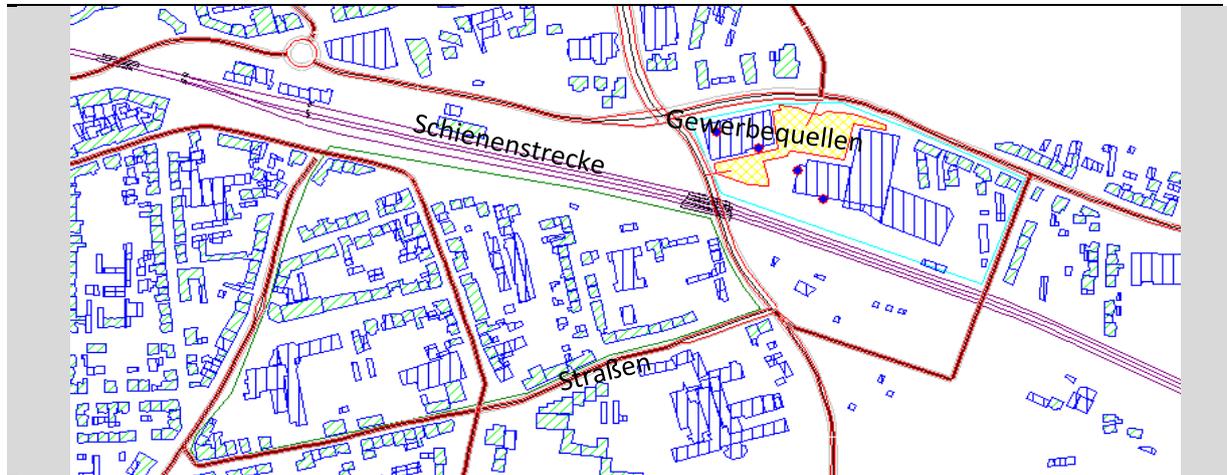
Folglich ist auch für das Untersuchungsgebiet Dortmund-Wichlinghofen das Kriterium der Kostengerechtigkeit bei der alleinigen Betrachtung von unterschiedlichen Straßenbaulastträgern erfüllt.

6.4.2 Dortmund Phönixsee

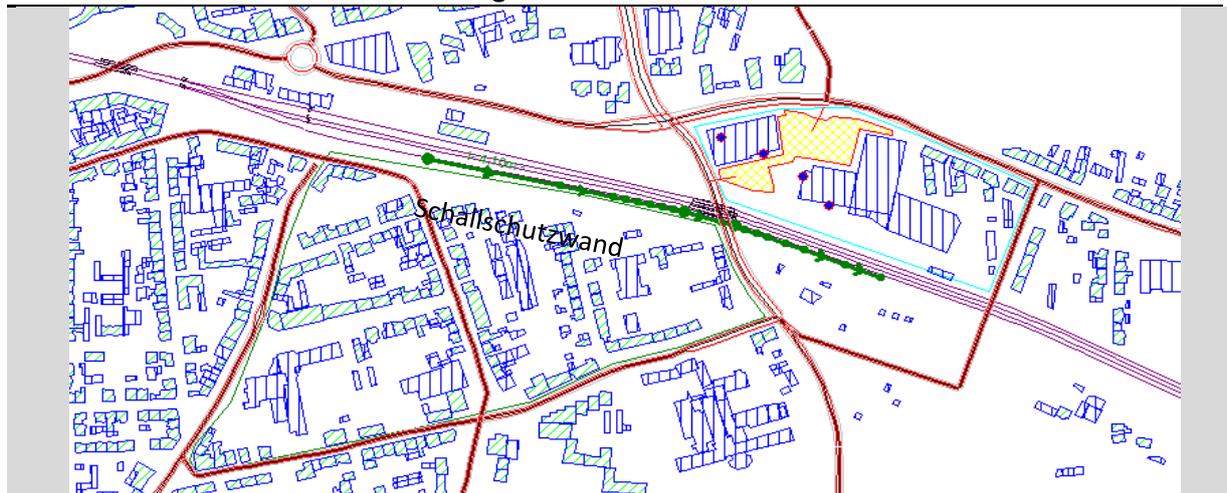
Im Bereich Dortmund Phönixsee wird neben der Kostengerechtigkeit auch die Kommutativität (Reihenfolgeunabhängigkeit) und die Stichtagsunabhängigkeit untersucht. Hierfür liegen zwei unterschiedliche Lärmschutzmaßnahmen für dieses Untersuchungsgebiet vor. Die erste Maßnahme stellt die Errichtung einer Lärmschutzwand entlang der Bahnstrecken dar; die zweite Maßnahme ist eine kürzere Lärmschutzwand entlang der Benninghofer Straße südlich der Gleisanlagen. Zudem liegen wurden Berechnungen für die gesamten Maßnahmen durchgeführt, also die Kombination der Maßnahme 1 und 2. Abbildung 10 veranschaulicht die einzelnen Maßnahmen.

Abbildung 10: Darstellung der einzelnen Lärmschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee

Ist-Zustand vor der Ergreifung von Lärmschutzmaßnahmen



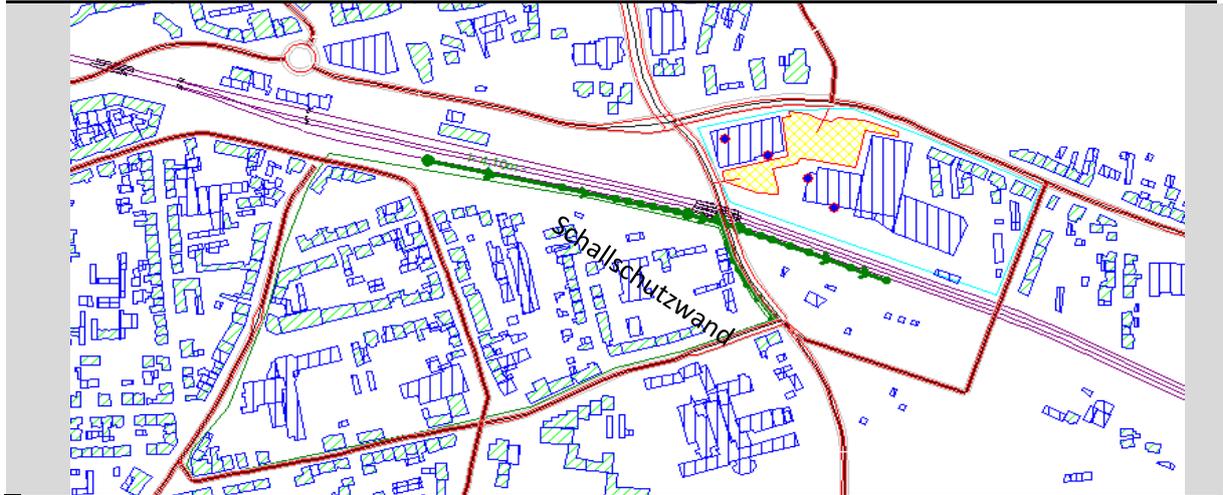
Maßnahme 1: Lärmschutzwand entlang der Schienen



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



Gesamte Maßnahmen: Kombination von Maßnahme 1 und Maßnahme 2



Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 29: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee

		Bundesautobahn	Bundesstraßen	Gemeindestraßen	Gewerbebetriebe	Schieneverkehr
Maßnahme 1	Anteil	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	99,9 %
	Kosten	0,00 €	0,00 €	1 TSD €	0,00 €	945 TSD €
Maßnahme 2	Anteil	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %
	Kosten	0,00 €	0,00€	240 TSD €	0,00 €	0,00 €
Maßnahme Ge- samt	Anteil	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,0 %	99,8 %
	Kosten	0,00 €	0,00 €	241 TSD €	0,00 €	945 TSD €

In Verbindung mit Abbildung 10 kann anhand Tabelle 29 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. Somit werden die substituierbaren Beurteilungspegel automatisch auf die untere Grenze bzw. den entsprechenden Beurteilungspegel angehoben. In der Vorher-Nachher-Betrachtung entsprechend des Finanzierungsmodells „Anteil energetischer Belastungsminderung“ (WEBI-Index) ergibt sich somit eine Differenz von 0 dB vorher/nachher. Dies führt dazu, dass der Beitrag, der die Gewerbebetriebe an der Gesamtlärsituation haben, gegen 0% geht.
- ▶ 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 Geräuschquellenarten erfolgt nicht.
- ▶ Bei der Kombination der beiden Lärmschutzmaßnahmen wird deutlich, dass sowohl der Schienenverkehrslärm, als auch der Lärm durch die Gemeindestraßen bei der Kostenumlegung berücksichtigt werden. Da die Maßnahme 1 in Bezug auf ihre Ausdehnung und der quantitativen sowie auch qualitativen Lärminderung deutlich effektiver ist als die Maßnahme 2, ist es gerechtfertigt, dass der Schienenverkehr den Hauptteil der Kosten trägt.

Demnach kann die Kostengerechtigkeit für das Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee als erfüllt betrachtet werden.

Tabelle 30 stellt die Kostenverteilung bei einer unterschiedlichen Realisierungsreihenfolge der Lärmschutzmaßnahmen dar.

Tabelle 30: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund Phönixsee bei unterschiedlichen Realisierungsreihenfolgen

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

Es wird ersichtlich, dass die Kostenverteilung beim WEBI-Index nahezu unabhängig von der Reihenfolge der Realisierung der Maßnahmen ist.

Weiterhin kann Tabelle 30 entnommen werden, dass die Kostenverteilung nahezu unabhängig vom gewählten Stichtag ist, da z.B. die Kostenverteilung für Maßnahme 1 nahezu identisch ist, unabhängig davon, ob (wie in dem ersten Teil von Tabelle 30) noch keine Maßnahme umgesetzt wurde, oder (wie im zweiten Teil von Tabelle 30) eine bereits vorherig durchgeführte Maßnahme berücksichtigt wird. Die somit rückwirkend eingebrachte Lärmschutzmaßnahme 2 hat demnach keinen Einfluss auf die spätere Kostenverteilung bei der Realisierung der Lärmschutzmaßnahme 1.

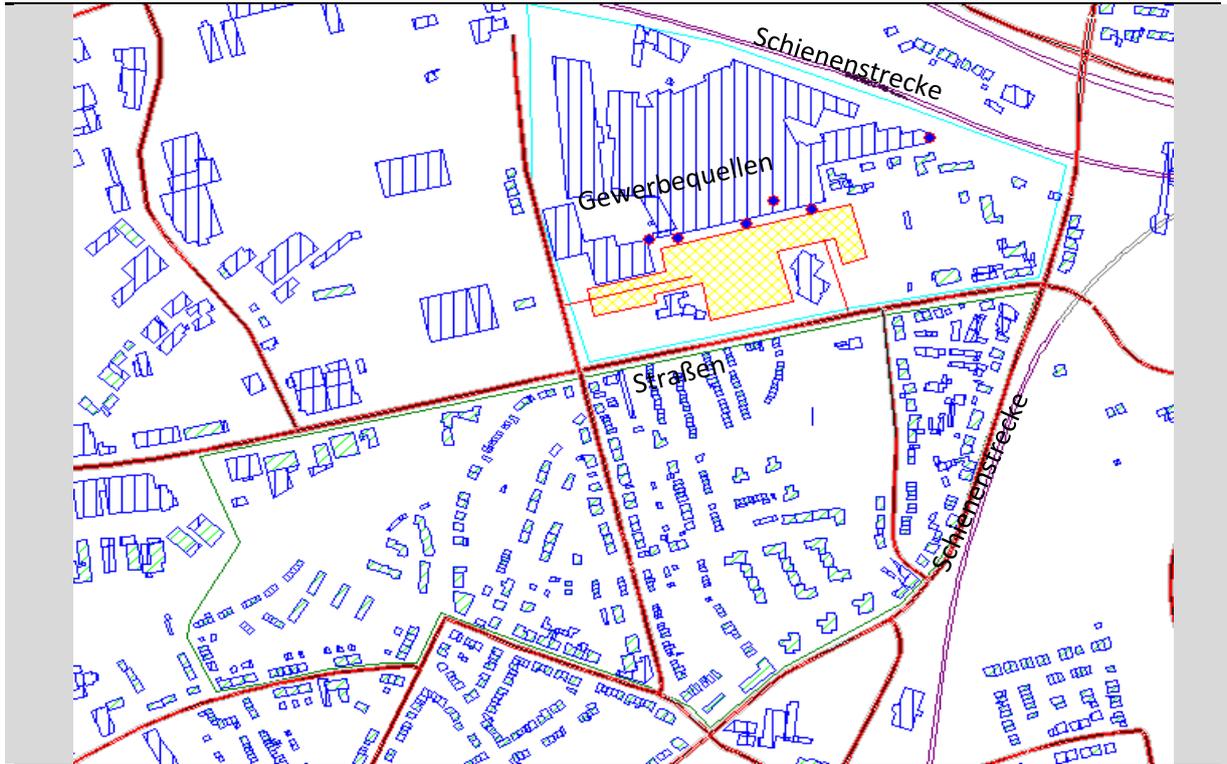
Die noch auftretenden Unterschiede bei der Kostenverteilung von etwa 3 TSD € ergeben sich durch die untere Begrenzung der Expositions-Wirkungs-Beziehung des Straßenverkehrslärms bei $L_{DEN} = 50,1$ dB(A), wodurch Immissionsorte bereits durch eine Maßnahme bei der niedrigsten Stufe der Belästigungsskala angelangt sind und auch durch eine zweite Maßnahme keine Änderung mehr eintritt. Je nach Erreichen dieser Stufe durch eine Maßnahme ergeben sich bei Maßnahmentausch unterschiedliche Wirkungen der Belästigung. Dieser Effekt ist jedoch nicht prinzipiell durch Kostenverteilungsmethode bedingt, sondern von den verwendeten Expositions-Wirkungs-Beziehungen, die jeweils dem aktuellen Wissensstand angepasst werden sollten, abhängig.

6.4.3 Dortmund-Dorstfeld

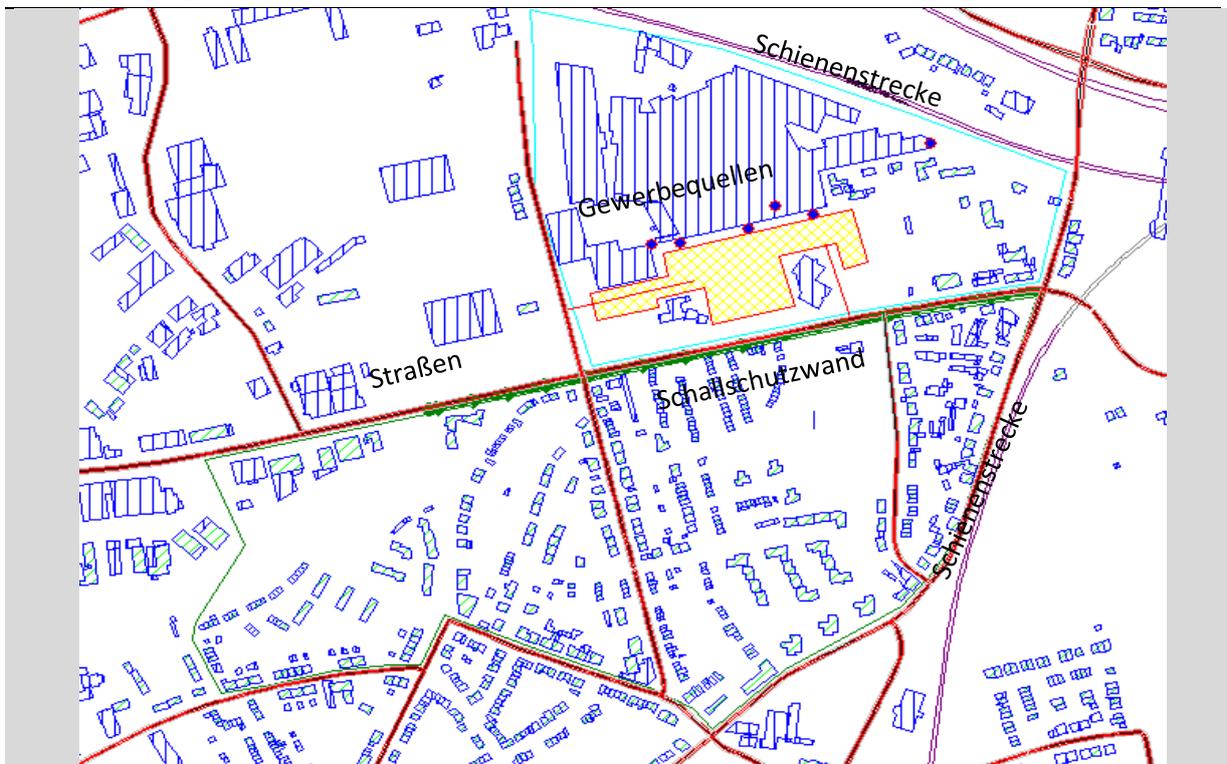
Im Bereich Dortmund-Dorstfeld soll neben der Kostengerechtigkeit auch die Gebietsunabhängigkeit dargestellt werden. Abbildung 11 zeigt das Untersuchungsgebiet sowohl im Ist-Zustand als auch im Maßnahmenfall.

Abbildung 11: Darstellung des Untersuchungsgebiets Dortmund-Dorstfeld

Ist-Zustand



Maßnahmenfall

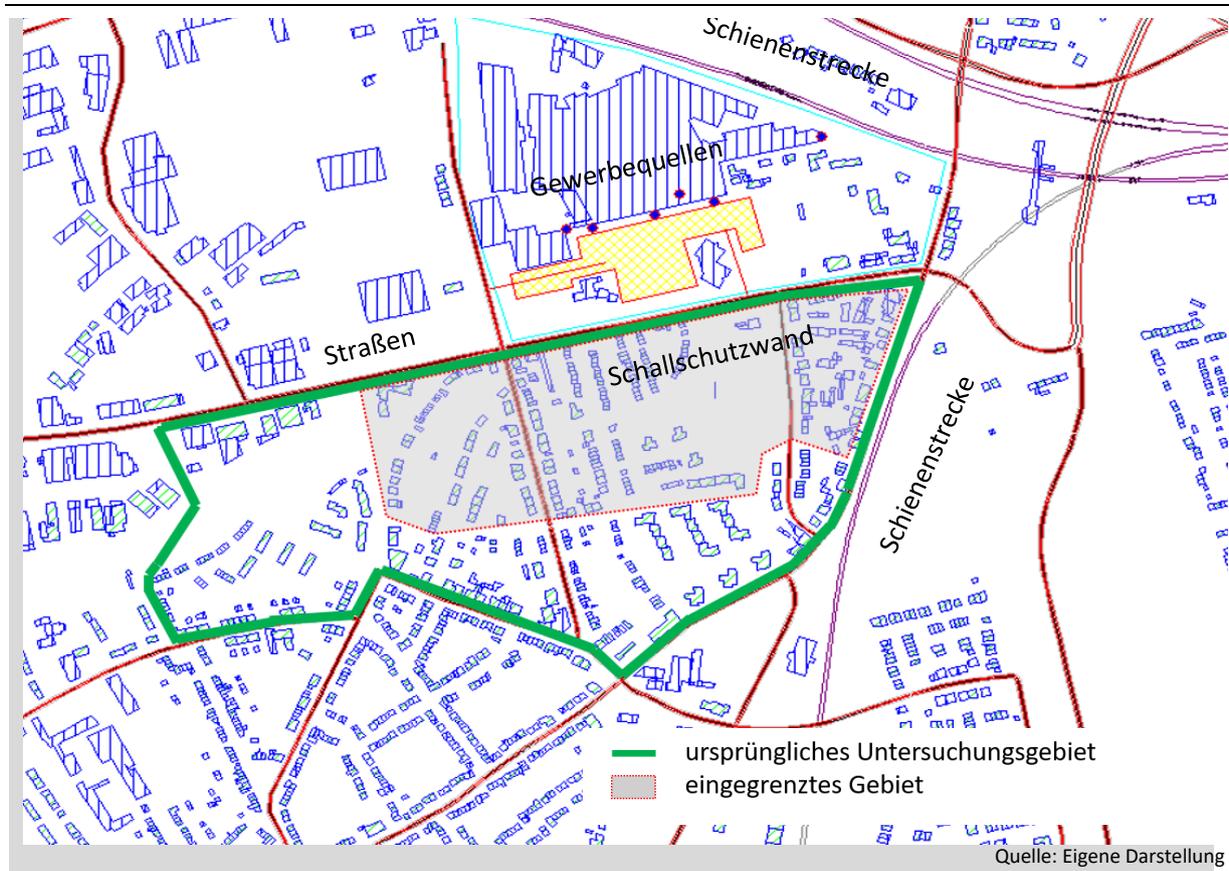


Quelle: Eigene Darstellung

Die Gebietsunabhängigkeit ist dann sichergestellt, wenn die Verteilung der Kosten unabhängig von der Eingrenzung des betrachteten Untersuchungsgebiets erfolgt. Hierfür wurde im Untersuchungsgebiet Dortmund-Dorstfeld das ursprüngliche Untersuchungsgebiet noch mal eingegrenzt (Lage der Maßnahme, Einflussbereich der Maßnahme), um dieses Kriterium prüfen zu

können. Abbildung 13 zeigt den eingegrenzten Bereich in Bezug auf das ursprüngliche Untersuchungsgebiet.

Abbildung 12: Darstellung des eingegrenzten Gebiets in Bezug auf das ursprüngliche Untersuchungsgebiet



Ausgehend hiervon ergibt sich die aus Tabelle 31 die Kostenverteilung für die beiden Untersuchungsvarianten. Es wird ersichtlich, dass auch bei einer deutlichen Begrenzung des Untersuchungsgebietes die Unabhängigkeit der Kostenverteilung gewährleistet werden kann. Auch das Kriterium der Kostengerechtigkeit ist erfüllt, da die größte Lärminderung für den Schienenverkehrslärm der nördlich gelegenen Bahnanlagen erzielt werden kann, wohingegen die Gewerbebetriebe zwar mit einem deutlich geringerem, aber dennoch merklichen Anteil folgen. Für die umgebenden Gemeindestraßen ist keine wesentliche Lärminderung vorhanden. Die in größerer Entfernung befindlichen Bundesstraßen bzw. Autobahnen haben aufgrund der vergleichsweise hohen Verkehrsdichte noch einen erkennbaren Anteil an der Gesamtlärmsituation. Jedoch ist die hierfür erzielte Lärminderung aufgrund des großen Abstands eher nachrangig.

Tabelle 31: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Dortmund-Dorstfeld

		Bundesautobahn	Bundesstraßen	Gemeindestraßen	Gewerbebetriebe	Schieneverkehr
Ursprüngliches Untersuchungsgebiet	Anteil	0,05 %	0,1 %	0,0 %	6,4 %	93,5 %
	Kosten	1 TSD €	1,5 TSD €	0,00 €	99 TSD €	1.450 TSD €
Eingegrenztes Untersuchungsgebiet	Anteil	0,05 %	0,1 %	0,0 %	6,4 %	93,5 %
	Kosten	1 TSD €	1,5 TSD €	0,00 €	99 TSD €	1.450 TSD €

6.4.4 Betrachtung der Gesundheitswirkungen am Praxisbeispiel Dortmund-Wichlinghofen

Neben der Betrachtung der Lärmbelastigung können auch gesundheitliche Aspekte bei der Gesamtlärbewertung Beachtung finden. Wie Abschnitt 2.6.5 dargestellt, ist die Forschungslage hierzu noch nicht ausreichend, um bereits jetzt einen verbindlichen Vorschlag bzw. eine Empfehlung für ein entsprechendes Verfahren festzulegen.

Aus diesem Grund soll an dieser Stelle das Verfahren aus Kapitel 2.3.3 unter gesundheitlichen Aspekten angewendet werden. Die Beeinträchtigungsfunktion für die Lärmbelastigung (Prozent „stark Belästigte“ %HA) wird hierbei durch aktuelle gesundheitsbezogene Forschungsdaten ausgetauscht.

Diese wiederum beziehen sich auf das WHO-Review zu kardiovaskulären und metabolischen Erkrankungsrisiken durch Umgebungslärm von van Kempen et al. (2018). Dort wird eine Expositions-Wirkungsfunktion vorgestellt, die sich auf das zusätzlich Erkrankungsrisiko für ischämische Herzerkrankungen infolge von Straßenverkehrslärm bezieht. Das relative Risiko (RR) pro 10 dB liegt hier bei 1,08 (1,01-1,15). Da sich diese Expositions-Funktion auf den Straßenverkehrslärm bezieht kann das Untersuchungsgebiet Phönixsee nicht für ein Anwendungsbeispiel herangezogen werden, da dort neben dem Schienenverkehrslärm auch der Gewerbelärm untersucht wurde. Für diese Geräuschquellenart liegen keine Daten vor.

Aus diesem Grund wird im Weiteren das Untersuchungsgebiet Wichlinghofen betrachtet, da dort nur die einzelnen Straßenbulasträger Bundesautobahn, Bundesstraße, Landesstraße und Gemeindestraße betrachtet wurden.

Die einzelnen Handlungsschritte sind analog zu Abschnitt 6.4.1 wobei statt den Expositions-Funktionen für die Prozent „stark Belästigte“ %HA die vorangehend dargestellte Expositions-Funktion für die ischämischen Herzerkrankungen angewendet wird. Da im vorliegenden Fall nur der Straßenverkehr untersucht wurde, erübrigt sich zudem die Ermittlung von renormierten Ersatzpegeln. Sofern neuere Forschungsdaten vorliegen, die auch andere Geräuschquellenarten miteinbeziehen kann das Substitutionsverfahren der VDI 3722-2 angewendet werden.

Für die Betrachtung des Untersuchungsgebiets Wichlinghofen unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Aspekte ergeben sich die nachfolgenden Ergebnisse:

Tabelle 32: Kostenverteilung für das Untersuchungsgebiet Wichlinghofen

	Bundesautobahn	Bundesstraße	Landesstraße	Gemeindestraße
Anteil	19,4 %	19,0 %	20,3 %	41,3 %
Kosten	345 TSD €	350 TSD	360 TSD €	735 TSD €

Die Ergebnisse sind unter Berücksichtigung der Gesundheitswirkungen ohne Unterscheidung der unterschiedlicher Geräuschquellenarten mit den Werten unter Berücksichtigung der Lästigkeitswirkung aus Tabelle 28 identisch.

7 Empfehlungen für eine Gesamtlärbewertung

Obwohl nach dem Gesetzeszweck und der Definition der schädlichen Umwelteinwirkung des BImSchG eine Gesamtlärbewertung anzustellen ist, verlangt die Rechtsprechung eine Gesamtlärbewertung aus verfassungsrechtlichen Gründen erst dann, wenn eine Gesundheitsgefahr oder ein Eingriff in die Substanz des Eigentums droht. Unterhalb der verfassungsrechtlichen Zumutbarkeitsschwelle verbleibt es bei der getrennten Ermittlung und Bewertung der Immission aus verschiedenen Arten von Geräuschquellen.

„TA Gesamtlärm“ als Rahmen der Gesamtlärbewertung

Es fehlt ein verbindliches Instrumentarium für die Durchführung einer Gesamtlärbewertung. Zur Schließung dieser Lücke wird im vorliegenden Vorhaben die Einführung einer „TA Gesamtlärm“ auf Basis von § 48 BImSchG vorgeschlagen. Der Anwendungsbereich dieser allgemeinen Verwaltungsvorschrift sollte die Straßenverkehrswege, Schienenverkehrswege, Luftverkehr und Anlagen aus dem Anwendungsbereich der TA Lärm umfassen. Eine Einbeziehung von Sportanlagen aus dem Anwendungsbereich der 18. BImSchV wäre denkbar, jedoch zunächst nicht vorrangig und aufgrund der geringen Datenlage bei der wirkungsbezogenen Gesamtlärbewertung auch nicht sinnvoll. Zur Einbeziehung von Fluglärm in eine Verwaltungsvorschrift TA Gesamtlärm nach § 48 BImSchG müsste allerdings der Fluglärm in den Geltungsbereich des BImSchG überführt werden. Eine solche Änderung der Gesetzeslage steht nicht in Aussicht. Alternativ könnte daher der materielle Regelungsgehalt der vorgeschlagenen TA Gesamtlärm z.B. als Leitfaden einer oberen Fachbehörde oder als Norm einer privaten Normungsorganisation mit geringerer Bindungswirkung eingeführt werden.

Die TA Gesamtlärm müsste vergleichbar der TA Lärm die Regelungen zu Schwellenwerten und im Anhang das zugehörige Ermittlungsverfahren der Werte, die mit dem Schwellenwert zu vergleichen sind, enthalten. Bei den Schwellenwerten wird eine zweistufige Struktur mit Grenzwerten für die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit und Richtwerten für die einfachrechtliche Erheblichkeit, die in Abhängigkeit von den Gebietskategorien der BauNVO gestuft werden, vorgeschlagen.

Die verfassungsrechtliche Unzumutbarkeit wird derzeit gerichtlich zumeist bei 70 dB tags und 60 dB nachts angenommen. In Anbetracht der Lärmsanierungsgrenzwerte, die zwischenzeitlich auf 67/57 dB tags/nachts reduziert wurden, könnten die Unzumutbarkeit auch bereits bei diesen Pegelwerten angenommen werden. Ebenso wäre ein ergänzendes Maximalpegelkriterium im Hinblick auf die Störung des Nachtschlafs zumindest für den Schienenverkehr denkbar.

Vorgeschlagen werden ferner Regelungen für Bestimmung des Adressaten einer Lärmschutzanordnung, wenn der Gesamtlärmkonflikt von den Anlagen einer Mehrheit von Betreibern verursacht wird (sog. Störerauswahl). Sollen auch die Betreiber von planfestgestellten Verkehrsanlagen mögliche Adressaten von Lärmschutzanordnungen zur Lösung von Gesamtlärmkonflikten sein, sind wesentliche Änderungen des Fachplanungsrechts erforderlich, die ebenfalls skizziert werden.

VDI 3722-2 als Basis für das Bewertungsverfahren bei Einwirken mehrerer Quellen

In einem Anhang einer TA Gesamtlärm würde das Ermittlungsverfahren der Pegel der einzelnen Geräuschquellenarten beschrieben werden. Dabei kann so wie in der DIN 18005 auf die verschiedenen bestehenden Verfahren zur Berechnung der Beurteilungspegel der einzelnen Geräuschquellenarten verwiesen werden (z.B. RLS-90, Schall 03, TA Lärm). Erforderlichenfalls müssten Einschränkungen bei der Beurteilung der Einzelquellen getroffen werden, da z.B. die Ruhezeitenzuschläge der TA Lärm keine Eigenschaft des Geräusches beschreiben und bei anderen Quellen nicht vorgesehen sind.

Ergänzend sollte in diesem Anhang bei Einwirken mehrerer Geräuschquellenarten die Bildung eines Summenpegels nach dem Substitutionsverfahren der VDI 3722-2 beschrieben werden. Als Ergebnis resultiert der effektbezogene Substitutionspegel, der mit den Richt- oder Grenzwerten zu vergleichen ist. Für die Ermittlung der renormierten Ersatzpegel wurden in Abschnitt 2.4 Vorschläge für aktuelle Expositions-Wirkungsbeziehungen unterbreitet, die als Grundlage verwendet werden sollten. Für die vorgeschlagenen Grenzwerte der Zumutbarkeit spielen Gesundheitswirkungen eine herausragende Rolle. Hierfür liegen zwar Vorschläge für Expositions-Wirkungsbeziehungen vor, jedoch sollte das Zusammenwirken mehrerer Geräuschquellen weiter untersucht werden, um den Ansatz der epidemiologischen Risikomultiplikation zu validieren.

Informativer Anhang zur Bewertung von Planungsalternativen und Kostenverteilung

Die Verknüpfung der effektbezogenen Substitutionspegel mit den Expositions-Wirkungsbeziehungen und den Bewohnerzahlen dient der Bewertung von Planungsalternativen und sollte im Rahmen einer TA Gesamtlärm als informativer Anhang beigefügt werden. Damit würden in vorbereitenden Planungen bereits dieselben Bewertungsmethoden angewendet, wie sie im späteren Genehmigungsverfahren obligatorisch wären.

Ebenso sollte das Finanzierungsmodell zur Kostenverteilung im Falle von neuen Lärmschutzmaßnahmen als informativer Anhang in die TA Gesamtlärm aufgenommen und eine gesetzliche Regelung zur Verteilung der Kosten einer Lärmschutzmaßnahme unter mehreren Verursachern eines Gesamtlärmkonflikts geschaffen werden. Mit dem Modell auf Basis der energetischen Belastungsminderung (WEBI-Index) liegt ein nachvollziehbares und diskriminierungsfreies Verfahren auf Basis der VDI 3722-2 vor. Dieses Verfahren sollte als einheitliches Verfahren im Anhang beschrieben werden. Sobald gesicherte Erkenntnisse zum Einfluss gleichzeitig einwirkender Geräuschquellen auf die Gesundheit vorliegen, sollte die vorgeschlagene Erweiterung des Finanzierungsmodells auf der Grundlage eines summarischen Indikators (Abschnitt 3.6) eingeführt werden.

8 Quellenverzeichnis

- Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) vom 19.11.2008, BAnz. Nr. 195 a) vom 23.12.2008.
- BABISCH, W., 2008. Road traffic noise and cardiovascular risk. In: *Noise & Health*, 10(38), 27-33
- BABISCH, W., 2014. Updated exposure- response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: a meta-analysis. In: *Noise & Health*, 16, 1-9
- BABISCH, W. und VAN KAMP, I., 2009. Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. In: *Noise and Health*, 11, 161-168. DOI: 10.4103/1463-1741.53363
- BABISCH, W., PERSHAGEN, G., SELANDER, J., HOUTHUIJS, D., BREUGELMANS, O., CADUM, E., VIGNA_TAGLIANTI, F., KATSOUYANNI, K., HARALABIDIS, A.S., DIMAKOPOULOU, K., SOURTZI, P., FLOUD, S. und HANSELL, A.L., 2013. Noise annoyance — A modifier of the association between noise level and cardiovascular health? In: *Science of the Total Environment*, 50-57, 452-453
- BASNER, M., 2008. Nocturnal aircraft noise exposure increases objectively assessed daytime sleepiness. In: *Somnologie*, 12, 110-117
- 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
- BASNER, M., MÜLLER, U. und ELMENHORST, E-M., 2011. Single and Combined Effects of Air, Road, and Rail Traffic Noise on Sleep and Recuperation. In: *SLEEP*, 34(1), 11-23
- BASNER, M., ELMENHORST, E-M., MAASS, H., MÜLLER, U., QUEHL, J. und VEJVODA, M., 2008. Single and combined effects of air, road and rail traffic noise on sleep. In: *9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*, Foxwoods, CT
- BASNER, M., BUSS, H., ELMENHORST, D., GERLICH, A., LUKS, N., MAAß, H., MAWET, H., Müller, E.W., MÜLLER, U., PLATH, G., QUEHL, J., SAMEL, A., SCHULZE, M., VEJVODA, M. und WENZEL, J., 2004. Nachtfluglärmwirkungen (Band 1): Zusammenfassung. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
- BAULAC, M., BOURGOIS, D., MARRY, S., DEFANCE, J. und GOEURY, C., 2010. Elaboration of a methodology for the definition of an indicator of health risk induced by noise in urban areas. In: *Inter-Noise*, 2010, Lissabon (Portugal)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Merkblatt „Beprobung von Boden und Bauschutt“, Augsburg: LfU, 2017, Stand November 2017.
- BERKEMANN, Lärmfragen in den vergangenen 40 Jahren – und die immer noch offenen Fragen, ZuR 2016, S. 515 ff.
- Bezirksregierung Köln. Digitale Höhenmodelle [online]. [Zugriff am: 14.04.2017]. Verfügbar unter: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/hoehenmodelle/index.html
- BLASCHKE, U., 2010. Lärminderungsplanung: Der Schutz vor Umgebungslärm durch Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung. Schriften zum Umweltrecht, Band 168. Berlin: Duncker & Humblot 2010
- BÖHM, in: FÜHR, M. (Hrsg.), 2016. GK-BImSchG - Gemeinschaftskommentar zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Gemeinschaftskommentare zum Umweltrecht. Köln: Carl Heymanns, 2016
- BREUGELMANS, O.R.P., VAN WIECHEN, C.M.A.G., VAN KAMP, I., HEISTERKAMP, S.H. und HOUTHUIJS, D.J.M., 2004. Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002 (in Dutch) [Health and Quality of Life near Amsterdam Schiphol Airport: 2002]. RIVM Report. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven

- BRINK, M., SCHRECKENBERG, D., THOMANN, G. und BASNER, M., 2010. Aircraft noise indexes for effect oriented noise assessment. In: *Acta Acustica united with Acustica*, 2010, 96, 1012-1025
- BYDLINSKI, in: Münchener Kommentar zum BGB, Bd. 2, 7. Aufl., München: Beck, 2016.
- CALLIESS, in: ders. / RUFFERT, EUV / AEUV, 5. Aufl., München: Beck, 2016
- CANCIK, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018
- CLARK, C. und PAUNOVIC, K., 2016. Systematic review of evidence on the effect of environmental noise on quality of life, wellbeing and mental health. In: *Inter-Noise*, Hamburg. 7699-7705. [Zugriff am 09.05.17] Verfügbar unter: <http://pub.dega-akustik.de/IN2016/data/articles/000526.pdf>
- Datensatz der Musterstadt QSDO im QSI-Format in der Fassung vom 15. März 2013, übermittelt am 10. August 2016
- DAUSES / LUDWIGS, Handbuch des EU-Wirtschaftsrechts, München: C. H. Beck Februar 2018
- DB Netz AG, 2017. Auszug aus dem Kostenkennwertkatalog für Schallschutzmaßnahmen
- DEPENHEUER / FROESE, in: v. MANGOLDT / KLEIN / STARCK, GG, 7. Aufl., München: Beck, 2018
- DIETLEIN, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018
- DIN 18005-1, 2002-07. Schallschutz im Städtebau - Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung
- DOLDE, Immissionsschutzrechtliche Probleme der Gesamtlärbewertung, in: ders. (Hrsg.), Umweltrecht im Wandel, 2001, S. 451 ff. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2001
- EBERLE, W., 2016. Gesamtlärmschutz und die Charta von Leipzig. In: *DAGA*, Aachen
- EC/WG1, 2004. Position paper on dose-effect relationships for night time noise. European Commission. [Zugriff am 12.04.17] Verfügbar unter: <http://www.bruitparif.fr/sites/forum-des-acteurs.bruitparif.fr/files/ressources/Commission%20Europ%C3%A9enne%20-%20Position%20paper%20on%20dose-effect%20relationships%20for%20night%20time%20noise%20-%202004.pdf>
- EC/WG2, 2002. Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. European Commission. [Zugriff am 12.04.17] Verfügbar unter: <http://www.bruitparif.fr/sites/forum-des-acteurs.bruitparif.fr/files/ressources/Commission%20Europ%C3%A9enne%20-%20Position%20paper%20on%20dose%20response%20relationships%20between%20transportation%20noise%20and%20annoyance%20-%202002.pdf>
- EGGERS, S., RIEK, O., BACHMEIER, B., BONACKER, M., IBBEKEN, S., LEIV, H. & SCHÄFFER, C., 2017. Bewertung von Flugrouten unter Lärmwirkungsaspekten. Texte 03/2017. Dessau: Umweltbundesamt
- ENDERS, in: GIESBERTS / REINHARDT, BeckOK, 46. Ed., München: Beck, Stand 01.04.2018
- ENGEL, Aktuelle Fragen des Lärmschutzes: Lärmaktionsplanung, NVwZ 2010, S. 1191 ff. München: C. H. Beck 2010
- EPINEY, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018; Art. 192 AEUV
- European Environment Agency, 2010. Good practice guide on noise exposure and potential health effects. Luxembourg: Publications Office. Verfügbar unter: <http://dx.publications.europa.eu/10.2800/54080>
- FELDHAUS, Einführung in die TA Lärm 1998, UPR, München/Heidelberg: Hüthig Jehle Rehm, 1999, S. 1 ff.
- FELDHAUS, G., TEGEDER, K., 2014. TA-Lärm - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm. Heidelberg: Rehm 2014
- FRICKE, Zur Novelle der LAI-Freizeitlärmrichtlinie – Eine Übersicht über die vom Richtliniengeber vorgenommenen Änderungen mit Anmerkungen, KommJur, Baden-Baden: Nomos, 2017, S. 45 ff.

- FÜHR, M. (Hrsg.), 2016. GK-BImSchG - Gemeinschaftskommentar zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Gemeinschaftskommentare zum Umweltrecht. Köln: Carl Heymanns, 2016
- GERHARDT, in: Schoch / Schneider / Bier, VwGO, Loseblatt, München: Beck, 2017, Stand Juni 2017
- GIESBERTS / REINHARDT, 2018. Umweltrecht, BImSchG, KrWG, BBodSchG, WHG, BNatSchG, Kommentar. München: C. H. Beck 2018
- GOLD, M.R., STEVENSON, D. und FRYBACK, D.G., 2002. HALYS and QALYS and DALYS, oh my: Similarities and differences in summary measures of population health. In: *Annu. Rev. Public Health*, 23, 115–134. DOI: 10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140513
- GREISER, C. und GREISER, E., 2010. Risikofaktor nächtlicher Fluglärm: Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Umweltbundesamt
- GREISER, E. und GREISER, C., 2015. Umgebungslärm und Gesundheit am Beispiel Bremen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. [Zugriff am 26.08.2017] Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_105_2015_umgebungslaerm_und_gesundheit_am_beispiel_bremen.pdf
- GRIEFAHN, B., 2007. Forschungsverbund „Leiser Verkehr“, Einzelaufgabe 231 1: Lärmbedingte Schlafstörungen: Verkehrslärmarten, Frequenzspektren, temporäre Verkehrsruhe. Abschlussbericht, Förderkennzeichen BMBF 19U2062A. Hannover: Technische Informationsbibliothek, Universitätsbibliothek Hannover. [Zugriff am 20.03.2015] Verfügbar unter: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb08/572377878.pdf>
- GUSKI, R., SCHRECKENBERG, D. und SCHUMER, R., 2016. The WHO evidence review on noise annoyance 2000-2014. In: *Internoise*, Hamburg
- 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
- HALAMA, STÜER, Lärmschutz in der Planung, NVwZ 2003, S. 137 ff. München: C. H. Beck 2003
- HALLER, Zivilrechtlicher Ausgleich unter öffentlich-rechtlichen Störern, ZUR, München: Beck, 1996, S. 21/26
- Hansestadt Hamburg, 2009. „Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft – Ausbau BAB A7 – Städtebauliche und landschaftsplanerische Optimierung; Deckelergänzung und Deckelnutzung“, Drucksache 19/2471 der Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg vom 03. September 2009
- Hansestadt Hamburg, 2016. „Die A7 der Zukunft – Die Hamburger Deckel“, Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, sowie auch Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt vom April 2016
- HANSMANN, in: LANDMANN / ROHMER, Umweltrecht, Losebl., Stand April 2018, TA Lärm Nr. 1, Rn. 7
- HANSMANN / CANCIK, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018
- HANSMANN / OHMS, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018
- HEILSHORN / SPARWASSER, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018
- HOFMANN / KOCH, in: FÜHR, M. (Hrsg.), 2016. GK-BImSchG - Gemeinschaftskommentar zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Gemeinschaftskommentare zum Umweltrecht. Köln: Carl Heymanns, 2016
- HORNFISCHER, F., KUPFER, D., POPP, C., WEESE, U., 2014. Flächenhafte Lärmsanierung – der energetische Ansatz. In: *Lärmbekämpfung* 4/2014, S. 162 – 165, Düsseldorf: Springer-Verlag
- HOUTHUIJS, D.J.M., 2015. Community noise: a fundamental ingredient of an environmental health performance indicator (CHERIO). In: *Euronoise*, Maastricht

- JANSSEN, S. A., VOS, H., EISSES, A. R. und PEDERSEN, E., 2011. A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*. 130(6), 3746-3753. DOI: 10.1121/1.3653984
- JANSSEN, S.A. und VOS, H., 2009. A comparison of recent surveys to aircraft noise exposure-response relationships. Delft, NL: TNO report, TNO-034-DTM-2009-01799
- JARASS, H. D., 2017. Bundes-Immissionsschutzgesetz: BImSchG, Kommentar unter Berücksichtigung der Bundes-Immissionsschutzverordnungen, der TA Luft sowie der TA Lärm. 12., vollständig überarbeitete Auflage. München: C. H. Beck, 2017
- JARASS, Neues von den Schwierigkeiten des Verkehrsimmissionsschutzes, in: CZAJKA u. a. (Hrsg.), Festschrift für Feldhaus, Heidelberg: Müller, 1999, S. 235 ff.
- JARASS / PIEROTH, GG, 13. Aufl., München: Beck, 2014
- JÄCKER CÜPPERS, M., 2016. Einführung in die Problematik des Gesamtlärms. DAGA. Aachen
- KARKAJ, M., 2008. Die Gesamtlärbewertung im Immissionsschutzrecht. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2008
- KLÖPFER, Umweltschutzrecht, 2., überarbeitete und ergänzte Auflage 2011. München: C. H. Beck 2011
- Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode, 2018. Ein neuer Aufbruch für Europa, Eine neue Dynamik für Deutschland, Ein neuer Zusammenhalt für unser Land Verfügbar unter: https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2018/03/2018-03-14-koalitionsvertrag.pdf;jsessionid=CF15AFC20F106E472E5195C3A0BECF31.s4t2?__blob=publicationFile&v=5
- KOCH, Aktuelle Probleme des Lärmschutzes, NVwZ 2000, S. 490 ff. München: C. H. Beck 2000
- KOCH, Die rechtliche Beurteilung der Lärmsummation nach BImSchG und TA Lärm 1998, in: CZAJKA u. a. (Hrsg.), Festschrift für Feldhaus, 1999, S. 215 ff.
- KOCH / KÖNIG, in: FÜHR, M. (Hrsg.), 2016. GK-BImSchG - Gemeinschaftskommentar zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Gemeinschaftskommentare zum Umweltrecht. Köln: Carl Heymanns, 2016
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Künftige Lärmschutzpolitik, Grünbuch der Europäischen Kommission vom 04.11.1996, KOM(96) 540 endg., S. 1 c.
- KORMANN, Lastenverteilung bei einer Mehrheit von Umweltstörern, UPR 1983, S. 281 ff. München: C. H. Beck 1983
- KRÄMER / WINTER, in: SCHULZE / ZULEEG / KADELBACH (Hrsg.), Europarecht, 3. Aufl., Baden-Baden: Nomos, 2014
- KRÖLLER-SCHÖN, S., BAIBER, A., STEVEN, S., OELZE, M., FRENIS, K., KALINOVIC, S., HEIMANN, A., SCHMIDT, F.P., PINTO, A., KVANDOVA, M., VUJACIC_MIRSKI, K., FILIPPOU, K., DUDEK, M., BOSMANN, M., KLEIN, M., BOPP, T., HAHAD, O., WILD, P.S., FRAUENKNECHT, K., METHNER, A., SCHMIDT, E.R., RAPP, S., MOLLNAU, H. und MÜNZEL, T., 2018. Crucial role for Nox2 and sleep deprivation in aircraft noise-induced vascular and cerebraloxidative stress, inflammation, and gene regulation. /doi/10.1093/eurheartj/ehy333/5037114
- KUTSCHEID, Die Neufassung der TA Lärm, NVwZ 1999, S. 577 ff. München: C. H. Beck 1999
- KUWANO, S., YANO, T., KAGEYAMA, T., SUEOKA, S. und TACHIBANA, H., 2014. Social survey on wind turbine noise in Japan. In: *Noise Control Engineering Journal*, 62(6), 503-520. DOI: 10.3397/1/376246
- LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm, (Fragen und Antworten zur TA Lärm) in der Fassung des Beschlusses zu TOP 9.4 der 133. LAI-Sitzung am 22. und 23. März 2017

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 1 (2005) und 2 (2007), Karlsruhe: LUBW, 2005/7

LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018

LANG, J., 2017. Bachelorarbeit: Vergleich eines energetischen mit einem expositionsbezogenem Gesamtlärmmodells zur Beurteilung der anteiligen Lärmwirkung und deren Auswirkungen auf die Kostenumlegung des aktiven Lärmschutzes, Coburg

MICHLER, Lärmsummationen, VBIBW 2004, S. 361 ff.

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

MIEDEMA, H.M.E. und OUDSHOORN, C.G.M., 2001. Annoyance from transportation noise: relations with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. In: *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 409-416

MIEDEMA, H.M.E. und VOS, H., 1998. Exposure-response relationships for transportation noise. In: *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6), 3432-3445

MIEDEMA, H.M.E. und VOS, H., 2004a. Self-reported sleep disturbance caused by aircraft noise. Delft, NL: TNO Inro report 2004-15

MIEDEMA, H.M.E. und VOS, H., 2004b. Noise annoyance from stationary sources: relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 334-343

MIEDEMA, H.M.E. und VOS, H., 2007. Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalysis of pooled data from 24 studies. In: *Behavioral Sleep Medicine*, 5(1), 1-20

MIEDEMA, H.M.E., PASSCHIER-VERMEER, W. und VOS, H., 2003. Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. TNO Inro. [Zugriff am 11.05.2017] Verfügbar unter: <http://www.ocs.polito.it/biblioteca/mobilita/SleepDisturbance.pdf>

MÖHLER, U., LIEPERT, M., SKOWRONEK, V., SCHRECKENBERG, D., BELKE, C., BENZ, S. und MÜLLER, U., 2017. Gutachten zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums bei der Beurteilung von Schienenverkehrslärm in der Nacht. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. München, Hagen, Köln. [Zugriff am 22.10.17] Verfügbar unter: <https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/schlussbericht.pdf>.

MÜGGENBORG, Formen des Kooperationsprinzips im Umweltrecht der Bundesrepublik Deutschland, NVwZ 1990, S. 909 ff. München: C. H. Beck 1990

MÜLLER, U., AESCHBACH, D., ELMENHORST, E.-M., MENDOLIA, F., QUEHL, J., HOFF, A., RIEGER, I., SCHMITT, S. und LITTEL, W., 2015. Fluglärm und nächtlicher Schlaf. In: Gemeinnützige Umwelthaus GmbH (Hg.), *NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld* (Bd. 4). Kelsterbach: Umwelthaus GmbH. [Zugriff am 27.11.2016] Verfügbar unter: https://www.norah-studie.de//de/publikationen.html?file=files/norah-studie.de/Downloads/NORAH_Bd4_M2_Schlaf_Endbericht.pdf.

MÜLLER, U., ELMENHORST, E.-M., MAASS, H., ROLNY, V., PENNIG, S., QUEHL, J. und BASNER, M., 2010. Verbundprojekt: DEUFRAKO/RAPS - Railway noise (and other modes) annoyance, performance, sleep: wirkungsorientierte Bewertung unterschiedlicher Verkehrslärmarten; Teilvorhaben DLR: Metaanalyse und Feldstudie. Abschlussbericht / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft. [Zugriff am 20.03.2015] Verfügbar unter: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb10/639593747.pdf>

Münchener Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch: BGB. München: C. H. Beck 2018

MYCK, T. und ORTSCHEID, J., 2014. Gesamtlärbewertung. DAGA, Oldenburg

- ORBAN, E., MCDONALD, K., SUTCLIFFE, R., HOFFMANN, B., FUKS, K. B., DRAGANO, N., VIEHMANN, A., ERBEL, R., JÖCKEL, K-H., PUNDT, N. und MOEBUS, S., 2015. Residential Road Traffic Noise and High Depressive Symptoms after Five Years of Follow-up: Results from the Heinz Nixdorf Recall Study. In: *Environmental Health Perspectives*, 124(5), 578-585
- OHLMEIER, C., MIKOLAJCZYK, R., FRICK, J., PRÜTZ, F., HAVERCAMP, W. und GARBE, E., 2015. Incidence, prevalence and 1-year all-cause mortality of heart failure in Germany: a study based on electronic healthcare data of more than six million persons. *Clin Res Cardiol*, 104(8):688-696
- PERSHAGEN, G., 2017. Cardiovascular and metabolic effects of long-term exposure to traffic noise. Vortrag auf dem EU Workshop „Noise in Europe“, 24. 04.2017, Brüssel. [Zugriff am 09.05.2017] Verfügbar unter: <https://webcast.ec.europa.eu/noise-in-europe-jenk#>
- PETZ, M., 2015. Rahmenplan zur Lärmaktionsplanung im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Teilaspekt Fluglärm): Teil 2 Lärminderung - Monitoring – Evaluierung. Endbericht im Auftrag des Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg
- PIERRETTE, M., MARQUIS-FAVRE, C., MOREL, J., RIOUX, L., VALLET, M., VIOLLON, S. und MOCH, A., 2012. Noise annoyance from industrial and road traffic combined noise - A survey and a total annoyance model comparison. In: *Journal of Environmental Psychology*, 32, 178-186
- POPP, C., BAROLOMAEUS, W., BERKA, F., CLAUSSEN-SEGGELE, J., GERLACH, J., HEINRICHS, E., KRÜGER, M., KUPFER, D., ORTSCHIED, J., RIEK, O., RODEHACK, G., 2016. Lärmschutz in der Verkehrs- und Stadtplanung, Kirschbaum Verlag Bonn, ISBN 978-3-7812-1951-9
- POSSER, in: GIESBERTS / REINHARDT, BeckOK Umweltrecht, 46. Ed., München: Beck, 2018, Stand 01.04.2018
- PROBST, W. und GILLÈ, M., 2014. Wirkung von Verkehrsgeräuschen. Erstellung einer Testaufgabe für die Berechnung von Kenngrößen und Kennwerten beim Einwirken mehrerer Quellenarten nach VDI 3722 Blatt 2:2013-05. Bericht im Auftrag des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Backnang: Braunstein + Berndt GmbH
- PROBST, F. und PROBST, W., 2014. Zur Bewertung von Verkehrsgeräuschen nach VDI 3722-2. DAGA, Oldenburg
- PRÜSS-ÜSTÜN, A., MATHERS, C., CORVALÀN, C. und WOODWARD, A., 2003. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Introduction and methods. Geneva: World Health Organization, Protection of the Human Environment
- REICHERT, S., 2014. Betrachtung des Gesamtlärms – eine Hilfe für eine effektive Lärmaktionsplanung? Untersuchung am Beispiel des Ballungsraums Düsseldorf, Gesamtlärbetrachtung von Verkehrsgeräuschen (Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm) nach VDI 3722 Blatt 2 und auf Basis der energetischen Pegeladdition
- REIDT / SCHILLER, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018
- Robert Koch-Institut (Hrsg.). Depressive Erkrankungen (= Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 51). RKI, Berlin 2010. [Zugriff am 26.08.2017] Verfügbar unter: <http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/depression.pdf>
- Robert Koch-Institut (Hrsg.), 2015. Gesundheit in Deutschland. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Gemeinsam getragen von RKI und Destatis. RKI, Berlin 2015.
- ROSSNAGEL / HENTSCHEL, in: FÜHR, M. (Hrsg.), 2016. GK-BImSchG - Gemeinschaftskommentar zum Bundesimmissionsschutzgesetz, Gemeinschaftskommentare zum Umweltrecht. Köln: Carl Heymanns, 2016
- SÄCKER et al., Münchner Kommentar zum BGB, Bd. 2, 7. Aufl. 2016. München: C. H. Beck 2016
- SASSI, F., 2006. Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations. London (UK): Oxford University Press in association with The London School of Hygiene and Tropical Medicine. DOI:10.1093/heapol/czl018. [Zugriff am 09.02.18] Verfügbar unter: <https://academic.oup.com/heapol/article-abstract/21/5/402/578296>

- SCHADE, L., 2014. Gesamtlärm und verursachergerechte Kostenverteilung bei der Lärmsanierung. ALD-Veranstaltung „Gesamtlärm“, 22.09.2014, Berlin
- SCHERER / HESELHAUS, in: DAUSES / LUDWIGS, Handbuch des EU-Wirtschaftsrechts, Losebl., München: Beck, 2018, Stand Februar 2018, Kap. O Umweltrecht
- SCHINK, Vier Jahrzehnte Immissionsschutzrecht, NVwZ 2017, S. 337 ff. München: C. H. Beck 2017
- Schoch / Schneider / Bier, 2018. Verwaltungsgerichtsordnung: VwGO (Loseblatt-Kommentar). München: C. H. Beck 2018
- SCHMIDT, F., KOLLE, K., KREUDER, K., SCHNORBUS, B., WILD, P., HECHTNER, M. und MÜNZEL, T., 2015. Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease. In: *Clinical Research in Cardiology*, 104(1), 23–30
- SCHRECKENBERG, D., WOTHGE, J., MÖHLER, U. und GUSKI, R., 2016. Belästigungswirkung von Fluglärm mit Straßen- oder Schienenverkehrslärm – Eine Untersuchung im Rahmen des NORAH-Forschungsverbundprojekts. DAGA, Aachen
- SCHÜTTE u. a., in: Umweltbundesamt (Hrsg.), Weiterentwicklung der rechtlichen Regelungen zum Schutz vor Fluglärm, Dessau: UBA, Mai 2018
- SCHULZE / ZULEEG / KADELBACH (Hrsg.), Europarecht, 3. Aufl., Baden-Baden: Nomos, 2014
- SCHULZE-FIELITZ, Die neue TA Lärm, DVBl 1999, S. 65 ff. Köln: Carl Heymanns Verlag 1999
- SCHULZE-FIELITZ, Verkehrslärmschutz und Bauleitplanung – unter veränderten umweltrechtlichen Rahmenbedingungen, UPR 2008, S. 401 ff.
- SCHWABE, Lastenverteilung bei einer Mehrheit von Umweltstörern, UPR 1984, S. 7 ff.
- SEIBEL, Abgrenzung der „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ vom „Stand der Technik“, NJW 2013, S. 3000 ff. München: C. H. Beck 2013
- SEIDLER, A. und GREISER, E., 2016. Ermittlung der Gesamtwirkung von Fluglärm, Straßen- und Schienenverkehrslärm in Bezug auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Depressionen. Dresden, Musweiler: Projektskizze vom 31.05.2016.
- SEIDLER, A., WAGNER, M., SCHUBERT, M., DRÖGE, P. und HEGEWALD, J. 2016. Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung. NORAH (Noise-related annoyance, cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Endbericht, Band 6, 2nd edition. Verfügbar unter: http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/NORAH-Fallkontrollstudie_Endbericht_16mai12_Auflage_2.pdf. 2016.
- SEIDLER, A., HEGEWALD, J., SEIDLER, A.L., SCHUBERT, M., WAGNER, M., DRÖGE, P., HAUFE, E., SCHMITT, J., SWART, E. und ZEEB, H., 2017. Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. In: *Environmental Research*, 152:263-227
- SoundPLAN, Version 7.4, 2016. EDV-Programm zur Schallimmissionsprognose, SoundPLAN GmbH
- STANSFELD, S.A., BERGLUND, B., CLARK, C., LOPEZ-BARRIO, I., FISCHER, P., ÖHRSTRÖM, E., HAINES, M.M., HEAD, J., HYGGE, S., VAN HYGGE, I. und BERRY, B.F., 2005. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: A cross-national study. In: *Lancet*, 365, 1942-1949
- STEINBERG, R., WICKEL, M., MÜLLER, H., Fachplanung, 4. Aufl. 2012. Baden-Baden: Nomos Verlag 2012
- STOROST, Rechtliche Aspekte einer Gesamtlärbewertung, UPR 2015, S. 121 ff.
- STÜER, B., PROBSTFELD, W., Planfeststellung, 2. Aufl. 2016. München: C. H. Beck 2016
- TEGEDER, K., 2001. Summation von Schallpegeln verschiedener Geräuscharten. In: *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 48, 72-74

THIEL, in: LANDMANN / ROHMER. Umweltrecht. München: C. H. Beck Stand: April 2018

TOBOLLIK, M., PLASS, D., STECKLING, N., MERTES, H., MYCK, T., ZIESE, T., WINTERMEYER, D., HORNBERG, C., 2018. Umweltbedingte Krankheitslasten in Deutschland. In: Bundesgesundheitsblatt, 61, 747–756

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 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-umgebungslaerm>

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

Umweltbundesamt: Weiterentwicklung der rechtlichen Regelungen zum Schutz vor Fluglärm, [Zugriff am 27.09.2018]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-15_texte_35-2018_rechtliche-regelungen-fluglaerm.pdf

VAN KEMPEN, E.E.M.M. und BABISCH, W., 2012. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis. In: *Journal of Hypertension*, 30, 1075–1086. DOI:10.1097/HJH.0b013e328352ac54

VAN KEMPEN, E.E.M.M., CASAS, M., PERSHAGEN, G. und FORASTER, M., 2017. Cardiovascular and metabolic effects of environmental noise. Systematic evidence review in the framework of the development of the WHO environmental noise guidelines for the European Region. Bilthoven (The Netherlands): RIVM Report 2017-0078, doi: DOI 10.21945/RIVM-2017-0078

VAN KEMPEN, E.E.M.M., CASAS, M., PERSHAGEN, G. & FORASTER, M., 2018. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 379. DOI: doi:10.3390/ijerph15020379

Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien sind richtungsweisend [Zugriff am 18.09.2018]. Verfügbar unter: <https://www.vdi.de/technik/richtlinien/was-sind-vdi-richtlinien/vdi-richtlinien-sind-richtungsweisend/> (zuletzt aufgesucht am 18.09.2018)

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

VIENNEAU, D., SCHINDLER, C., PEREZ, L., PROBST-HENSCH, N. und RÖÖSLI, M., 2015. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis. *Environ Res* 2015, 138: 372-380

v. MANGOLDT / KLEIN / STARCK, GG, 7. Aufl., München: Beck, 2018

VOGELANG, B., 2012. Akustische Bewertungskriterien bei der Festlegung von Flugrouten. DAGA, Darmstadt

VOGELANG, B. und MYCK, T., 2016. Vorschlag zur Kennzeichnung der Beeinträchtigung in der Umgebung von Flugplätzen. DAGA, Aachen

Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm(VBEB) vom 09. Februar 2007

WEESE, U., 2015. Kooperatives Management, Lärmsanierung an Straßen und Schienen. Symposium Akustische Stadtgestaltung des Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 23./24.7.2015, Stuttgart

World Health Organization (WHO), 2010. Burden of disease from environmental noise: Practical guidance. Report on a working group meeting. Bonn: WHO Regional Office for Europe

World Health Organization (WHO), 2011. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe

World Health Organization (WHO), 2012. Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe

World Health Organization (WHO), 2017. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2015. Geneva: WHO Department of Information, Evidence and Research

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

WOTHGE, J., BELKE, C., MÖHLER, U., GUSKI, R. & SCHRECKENBERG, D., 2017. The combined effects of aircraft and road traffic noise and aircraft and railway noise on noise annoyance – an analysis in the context of the joint research initiative NORAH. *Int J Environ Res Public Health* 2017, 14: 871; DOI:10.3390/ijerph14080871.

WYSK, in: BeckOK Umweltrecht, 47. Ed., München: Beck, 2018, Stand 01.04.2018, § 47d BImSchG