

Modellierung und Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Ansätze für die risiko- und qualitätsorientierte Lärminderung in der
Stadtplanung

vom Fachbereich Architektur / Raum- und Umweltplanung / Bauingenieurwesen der
Technischen Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation von

Diplom-Ingenieur Martin Rumberg

Mündliche Prüfung am 22.08.2006

Dekanin und Vorsitzende der Prüfungskommission:

Prof. Dr. rer. nat. habil. Gabi Troeger-Weiß

Betreuer und Berichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Steinebach

Prof. Dr. rer. nat. Hans Hagen

Technische Universität Kaiserslautern

D 386

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	vii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Stand der Forschung	5
1.2.1 Fachliche Differenzierung	5
1.2.2 Relevanter Stand der Forschung und Technik	6
1.2.2.1 Akustische Immissionsprognose	6
1.2.2.2 Lärmwirkungsforschung	8
1.2.2.3 Stadtplanung und raumbezogener Immissionsschutz	10
1.2.3 Offene Forschungsfragen	12
1.3 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit	13
1.4 Methodik und Aufbau	13
2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand	17
2.1 Begriffsbestimmung und -eingrenzung	18
2.2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand	19
2.2.1 DPSIR und AEEER als Modellierungskonzepte für raumbezogene Umweltbelastungen	19
2.3 DPSIR- und AEEER-Modellierung für den Umgebungslärm	21
2.3.1 Rahmenmodell	21
2.3.2 Teilmodelle, Indikatoren und Schnittstellen	24
2.4 Modellierung in der Raum- und Stadtplanung	27
2.4.1 Grundfragen der planerischen Modellierung	27
2.4.2 Modellierung von Raumnutzungsansprüchen und -konflikten	30
2.4.3 Raumbezug der Umgebungslärmbelastung	32
2.5 Grundprämissen der integrierten Umgebungslärmmodellierung	33
2.5.1 Akzeptor-, Raum- und Nutzungsbezug	33
2.5.2 Risikoorientierung	36
2.5.3 Quellenübergreifender Ansatz	38
2.6 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit	41

3	Modellkonzepte des Lärmschutzrechts	43
3.1	Grundlinien des Lärmschutzrechts in Deutschland	43
3.1.1	Struktur	43
3.1.2	Bedeutung und Herleitung von Begrenzungswerten	45
3.2	Modellkonzepte im Lärmschutzrecht	46
3.2.1	Produktbezogene Regelungen	46
3.2.2	Anlagenbezogene Regelungen	47
3.2.2.1	Straßen- und Schienenverkehr	47
3.2.2.2	Gewerbe- und Industrieanlagen	49
3.2.2.3	Sport- und Freizeitanlagen	51
3.2.2.4	Luftverkehr	51
3.2.3	Raumbezogene Regelungen	52
3.2.4	Weitere Regelungen auf Bundes- und Landesebene	55
3.3	Umgebungsärm in der Praxis der Stadtplanung	55
3.4	Die Richtlinie 2002/49/EG (Umgebungsärmrichtlinie)	58
3.4.1	Einbindung in die Immissionsschutzpolitik der Europäischen Union	58
3.4.2	Struktur und wesentliche Inhalte	58
3.4.3	Verbindliche Vorgaben zur Geräuschkartierung und -bewertung	60
3.5	Schlussfolgerungen und Zwischenfazit	62
4	Immissionsprognose und Lärmkartierung	65
4.1	Parameter der Geräuschbelastung	65
4.1.1	Logarithmierung, Frequenz- und Zeitbewertung	65
4.1.1.1	Logarithmierung	66
4.1.1.2	Frequenzbewertung	67
4.1.1.3	Zeitbewertung	68
4.1.2	Beschreibung veränderlicher Geräuschverläufe	69
4.1.3	Geräuschpegel	70
4.1.3.1	Mittelungspegel	70
4.1.3.2	Maximalpegel	71
4.1.3.3	Perzentilpegel	72
4.1.3.4	Pegelhäufigkeiten (Störsummen, NAT-Kriterien)	72
4.1.4	Beurteilungspegel mit subjektiven Korrekturfaktoren	73
4.1.5	Zusammenschau und Bewertung	74
4.2	Emissionsmodellierung	76
4.2.1	Rahmenbedingungen der Emissionsmodellierung für Umgebungsärmquellen	76
4.2.2	Straßenverkehr	78

4.2.2.1	Primäremissionen	78
4.2.2.2	Räumliche Determinanten und Management des Straßen- verkehrslärms	79
4.2.3	Schieneverkehr	86
4.2.3.1	Primäremission	86
4.2.3.2	Räumliche Determinanten und Management des Schie- nenverkehrslärms	87
4.2.4	Luftverkehr	88
4.2.4.1	Primäremission	88
4.2.4.2	Räumliche Determinanten und Management von Flug- lärmbelastungen	89
4.2.5	Gewerbe, Sport- und Freizeitanlagen	91
4.2.5.1	Primäremission	91
4.2.5.2	Räumliche Determinanten und Management von Gewerbe- , Sport- und Freizeitlärm	91
4.3	Transmissionsmodellierung	92
4.3.1	Grundlegende Zusammenhänge und wesentliche Einflussfaktoren .	92
4.3.2	Räumliche Transmissionsfaktoren	94
4.3.2.1	Geometrische Ausbreitungsdämpfung	94
4.3.2.2	Absorption und Reflexion	96
4.3.2.3	Abschirmung und Beugung	97
4.3.2.4	Luftabsorption	99
4.3.2.5	Dämpfung durch Boden und Bewuchs	99
4.3.2.6	Meteorologische Verhältnisse	99
4.4	Emissions- und Transmissionsmodellierung durch Berechnungsverfahren .	101
4.5	Immissionen und Betroffenheiten im Raum- und Akzeptorbezug	106
4.5.1	Besondere Immissionsbedingungen	111
4.5.1.1	'Ruhige' Fassaden und Grundstücksteile	111
4.5.1.2	Außenschalldämmung von Gebäuden	114
4.5.1.3	Baulich-räumlicher Charakter der Umgebung	116
4.6	Schlussfolgerungen und Zwischenfazit	117
5	Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug	123
5.1	Grundlegende Zusammenhänge und Differenzierungen	123
5.1.1	Begriff der Lärmwirkung	123
5.1.2	Übersicht und Systematik der Lärmwirkungen	124
5.2	Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen	126
5.2.1	Anforderungen und Methodenübersicht	126

Inhaltsverzeichnis

5.2.2	Methoden der Lärmwirkungsforschung	129
5.2.2.1	Systematische Bevölkerungsbefragungen	129
5.2.2.2	Epidemiologische Studien	130
5.2.2.3	Experimentelle Probandenstudien	132
5.2.2.4	Interdisziplinäre und wirkungsübergreifende Forschungsansätze	134
5.2.2.5	Akustische Forschung	134
5.2.3	Maßzahlen und Bewertungsgrößen für Lärmwirkungen	135
5.2.3.1	Ausgangslage	135
5.2.3.2	Korrelationsstatistische Funktionen	139
5.2.3.3	Epidemiologische Maßzahlen	140
5.3	Operationalisierung von Lärmwirkungen	142
5.3.1	Belästigung	142
5.3.1.1	Inhalte und Wirkungsendpunkte	142
5.3.1.2	Dosis-Wirkungs-Relationen	145
5.3.1.3	Berücksichtigung von örtlichen Verhältnissen (insbesondere dem 'Zugang zur Ruhe')	150
5.3.2	Störung	152
5.3.2.1	Störungsbasierte Ansätze zur Bestimmung der Belästigungswirkung	155
5.3.3	Schlafbeeinträchtigungen	156
5.3.4	Gesundheitsschäden	159
5.3.4.1	Aurale Gesundheitsschäden	159
5.3.4.2	Extra-Aurale Gesundheitsschäden	160
5.4	Synergien und Wechselwirkungen zwischen Einzelwirkungen	163
5.5	Modellkategorien	164
5.6	Schwellen- und Grenzwertsetzung	166
5.7	Schlussfolgerungen und Zwischenfazit	168
6	Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen	171
6.1	Ausgangslage und Kombinationsebenen	171
6.1.1	Kombinationseffekte bei der Bildung anlagenbezogener Emissionspegel	172
6.1.2	Kombination mehrerer gleichartiger Anlagen	173
6.1.3	Kombinierte Immissionen verschiedenartiger Quellen	174
6.2	Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen	177
6.2.1	Strukturierung	177
6.2.2	Modelle für Primärwirkungen (Kommunikations- und Schlafstörung)	178

6.2.3	Modelle für die Sekundärwirkung Belästigung	180
6.2.3.1	Grundstruktur	180
6.2.3.2	Modelle ohne Summenpegel	182
6.2.3.3	Modelle mit physikalischem Summenpegel	183
6.2.3.4	Modelle mit explikativer Wirkungskorrektur	184
6.2.3.5	Modelle mit wirkungsstatistischen Korrekturtermen	184
6.2.3.6	Gesamtschau und Bewertung	186
6.2.4	Modelle für Tertiärwirkungen	188
6.3	Anwendungsorientierte Beurteilungskonzepte	188
6.3.1	Zielrichtungen und Grundkonzepte	188
6.3.2	Wirkungsorientierte Konzepte	189
6.3.2.1	Niederländisches Modell	189
6.3.2.2	URBIS (Niederlande)	190
6.3.2.3	Richtlinienentwurf VDI 3722, Blatt 2 (Deutschland)	191
6.3.2.4	SPI-Modell (Norwegen)	193
6.3.2.5	TÜV-Gesamtlärmstudie	195
6.3.3	Qualitative Ansätze zur Erfassung und Bewältigung kombinierter Umgebungslärmimmissionen	196
6.4	Schlussfolgerungen und Zwischenfazit	199
7	Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen	203
7.1	Fachliche Rahmenbedingungen und Anforderungen	203
7.1.1	Anforderungen an den Modelleinsatz	203
7.1.2	Zielfunktionen, Handlungsprioritäten und Umsetzungsebenen	205
7.2	Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'	207
7.2.1	Parameter und Modellfunktionen des Abschätzungsmodells für die Belästigung	207
7.2.2	Anwendungskonstellationen und -funktionen	210
7.2.2.1	Gesamtbelastung von Stadtquartieren und Grundstücken	210
7.2.2.2	Analyse von Belastungsbeiträgen, -ursachen und Minde- rungspotentialen	212
7.2.2.3	Analyse von Zusatzbelastungen und Lärminderungs- maßnahmen	214
7.2.2.4	Analysen zur räumlichen Zuordnung von Nutzungen	216
7.2.3	Übertragung des Modellansatzes auf andere Lärmwirkungen	217
7.2.4	Anwendungsbereich des Modellansatzes in der räumlichen Planung	218
7.3	Modellebene 'Ruhezonierung'	220
7.3.1	Grundüberlegungen	220

Inhaltsverzeichnis

7.3.2	Konzeption und Management ruhiger Fassaden durch die Stadtplanung	222
7.4	Modellebene 'Lokale akustische Qualität'	224
7.4.1	Grundüberlegungen	224
7.4.2	Qualitäts- und Beeinträchtigungskriterien	226
7.4.2.1	Kriterium 'Minimierung von Schlafstörungen'	226
7.4.2.2	Kriterium 'Kommunikation im Innenraum'	226
7.4.2.3	Kriterium 'Wohnungsnahe Erholungsmöglichkeiten'	227
7.4.3	Identifikation von Minderungsmöglichkeiten	227
7.5	Immissionswerte für kombinierte Umgebungslärmimmissionen	228
7.5.1	Grundüberlegungen	228
7.5.2	Differenzierung von Begrenzungswerten und Voraussetzungen	229
7.5.3	Lärmartenübergreifende Immissionswerte?	231
8	Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf	235
8.1	Zentrale Erkenntnisse	235
8.1.1	Umgebungslärm - eine vernetzte Modellierungsaufgabe	235
8.1.2	Umgebungslärm in der raumbezogenen Planung und im Umweltrecht: Neue Perspektiven durch die Umgebungslärmrichtlinie	235
8.1.3	Emission und Transmission: Modellgrundlagen für die Lärmkartierung	237
8.1.4	Lärmwirkungen	240
8.1.5	Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen	242
8.1.6	Integration des Umgebungslärms in planerische Entscheidungsprozesse: Erste Modellanwendungen	245
8.2	Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen: Empfehlungen	246
8.2.1	Gestuftes Modellkonzept	246
8.2.2	Optimierung der Lärmkartierung und Aktionsplanung	248
8.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	252
	Abbildungsverzeichnis	255
	Tabellenverzeichnis	257
	Legende und Hinweise zu den enthaltenen Isophondarstellungen	259
	Abkürzungsverzeichnis	261
	Literaturverzeichnis	265
	Lebenslauf	273

Kurzfassung

Die Begrenzung und Minimierung der Belastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm ist ein wichtiges Handlungsfeld der Raumplanung und insbesondere der Stadtplanung als koordinierender Gesamtplanung auf örtlicher Ebene. Obwohl für die Immissionsituation empfindlicher Gebiete in vielen Fällen nicht nur eine Anlage, sondern die Kombination mehrerer, z. T. unterschiedlicher Emittenten maßgeblich ist, fehlt bisher ein fachlich abgesichertes und in der Planungspraxis anwendbares Konzept zur Modellierung und zum Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen. Die unter dem Stichwort 'Gesamtlärm' geführte fachliche und rechtliche Diskussion hat sich in diesem Zusammenhang bislang sehr stark auf Summationsregeln für Immissionspegel und daraus abgeleitete Belastungsgrenzwerte reduziert.

Zielsetzung der Arbeit ist es, eine strukturierte Modellierung als Basis für ein Managementkonzept zu erarbeiten, das die Erfassung und Interpretation kombinierter Umgebungslärmbelastungen ermöglicht. Maßgeblich für die Modellierungsparadigmen ist der Anspruch, die Anforderungen und Handlungsspielräume der Stadtplanung zu berücksichtigen, sich also an praktisch verfügbaren und planerisch steuerbaren Daten und Erkenntnissen zu orientieren, mit Unschärfen transparent umzugehen und auch die im internationalen Umfeld schon praktisch angewandten Konzepte auf Übertragbarkeit zu untersuchen. Der dafür gewählte Modellierungsansatz basiert auf der Charakterisierung des Umgebungslärms als Interaktion zwischen emittierenden und empfindlichen Raumnutzungen und damit als Raumnutzungskonflikt, der sich zum Einen als räumliches Risiko (z. B. für die menschliche Gesundheit) und zum Anderen als Ressourcenkonflikt um die Ruhe als Qualitätsmerkmal von Standorten darstellen lässt. Durch die Vielzahl der in die Modellierung einzubeziehenden Elemente und Parameter in den Bereichen Emission, Transmission, räumliche Immission, Exposition und Lärmwirkung ergibt sich die Notwendigkeit, neben fachlichen Vereinfachungen auch räumliche Abschichtungen vorzunehmen.

Im Ergebnis wird ein dreistufiges Modellkonzept vorgeschlagen, das auf der ersten Stufe - Raumbezogenes Belästigungsrisiko - Optimierungskriterien für Gesamträume mit dem Ziel der Risikominimierung auf Basis vorliegender, stark generalisierender Belästigungskenngrößen herleitet und sich vor allem für räumlich übergeordnete Planungsaufgaben wie die Flächennutzungs- und die Gesamtverkehrsplanung eignet. Als räumliche

Kurzfassung

Konkretisierung wird für die Bearbeitung quartiersbezogener Planungsaufgaben eine Modellebene 'Ruhezonierung' vorgeschlagen, die sich vom Risikoansatz löst und Maßstäbe für die qualitätsorientierte Optimierung kleinräumiger Immissionssituationen enthält. Die letzte, in der Arbeit nur skizzierte Modellebene - Lokale akustische Qualität - enthält gebäudebezogene Ansätze zur Qualitätssteigerung. Damit entsteht ein durchgängiges Managementkonzept zur Anwendung in der örtlichen Gesamtplanung, das versucht, die vorhandenen Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung unter Beachtung der Datenqualität und des erforderlichen Detaillierungsgrads in schlüssiger und anwendbarer Weise für die räumlichen Handlungsebenen der Stadtplanung nutzbar zu machen.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Nach Modellrechnungen des Umweltbundesamtes zur Geräuschbelastung sind durch den Straßenverkehr ca. 7 % der Bevölkerung tags und nachts durch langfristige Mittelungspegel oberhalb von 70 dB(A) am Tag und 60 dB(A) in der Nacht betroffen. Rund 16 % der Bevölkerung der alten Bundesländer sind Geräuschimmissionen aus dem Straßenverkehr ausgesetzt, deren langfristiger Mittelungspegel am Tag 65 dB(A) überschreiten. In der Nacht sind 17 % der Bevölkerung langfristigen Mittelungspegeln von 55 dB(A) und mehr ausgesetzt.¹ Die gemittelte Geräuschbelastung durch Straßenverkehrslärm ist in den letzten Jahren nahezu konstant, wobei durch technische Weiterentwicklungen erreichte geringere Geräuschemissionen der Einzelfahrzeuge durch steigende Fahrleistungen, größere Schwerverkehrsanteile und die Ausdehnung des Straßennetzes kompensiert wurden. Die Belastung der Bevölkerung durch Schienenverkehrsgeräusche ist gegenüber der Belastung in Bezug auf die Anzahl der Betroffenen geringer. Dies ist in erster Linie auf den deutlich geringeren Umfang des Schienennetzes zurückzuführen. Dennoch sind durch Schienenverkehrsgeräusche tags mehr als 3 % der Bevölkerung langfristigen Mittelungspegeln von über 65 dB(A) ausgesetzt. Nachts sind 1,5 % der Bevölkerung langfristigen Mittelungspegeln von über 65 dB(A) und rund 10 Prozent solchen von über 55 dB(A) ausgesetzt. Fluglärmbelastungen treten in erster Linie in der Umgebung von Flughäfen und Flugplätzen auf und sind dort mit starker räumlicher Konzentration besonders intensiv.

Die genannten Zahlenwerte sind gängige und oft herangezogene Größen, mit denen die Relevanz des Faktors 'Lärm' im Kontext der Umweltbelastungen des Menschen begründet wird. Jedoch sind sie isoliert betrachtet kaum interpretierbar. Sie geben nur Belastungsschwellen an, erlauben also keine quantitative Betrachtung der tatsächlichen, sehr differenzierten Belastungsverteilung, und implizieren bereits Bewertungen. Sie reduzieren die 'Verkehrslärmbelastung der Bevölkerung' auf drei Zahlenpaare, deren wirkungsbezogener Aussagegehalt (Welche Wirkungen treten auf? Wie intensiv sind sie? Wer wird davon betroffen?) ebenso wenig deutlich wird wie ihre wechselseitige Verknüpfung (Wie

¹UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt 2000. Berlin: UBA, 2000, S. 45.

1 Einleitung

korrelieren Tag- und Nachtbelastung? Wie korrelieren Belastungen aus unterschiedlichen Quellen?).

Eine grundsätzlich andere Herangehensweise stellt die quantitative Darstellung von Lärmwirkungen dar. Als wichtiger Leitindikator gilt dabei u. a. die 'Belästigung'. Befragungsbasierte repräsentative Bilanzierungen zeigen für Deutschland ungefähr folgendes Bild:

Tabelle 1.1: Lärmbelästigte Anteile der Gesamtbevölkerung ²

Geräuschquelle	Stark belästigt	Nicht so stark belästigt
Straßenverkehr	15,4	42,9
Schienenverkehr	2,5	12,2
Industrie und Gewerbe	1,7	14,6
Flugverkehr	3,2	19,3
Nachbarn	3,7	28,5

Auch diese Darstellung vermag kein zusammenhängendes Bild der Lärmbelastung zu liefern. Zwar ist es damit möglich, das Auftreten bestimmter Wirkungen des Lärms auf den Menschen in großen Kollektiven darzustellen, diese Betrachtungen erlauben aber keine quantitativen Rückschlüsse auf die Ursachen des Wirkungseintritts und die dafür kennzeichnenden Mechanismen. Die hier vorgenommene Zuordnung der berichteten Wirkungsintensitäten zu Geräuscharten erlaubt zwar erste grobe Rückschlüsse auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen - so korreliert der hohe straßenverkehrsbedingte Belästigtenanteil offensichtlich mit den dort ebenfalls hohen akustischen Belastungen -, es bleiben aber wesentliche Fragen offen. Unter anderem ist zu fragen, ob es angesichts des hohen Belästigungsumfanges beim Straßenverkehr überhaupt Betroffene z. B. des Schienenverkehrs- oder Fluglärms gibt, die nicht zugleich auch von Straßenverkehrslärm betroffen sind. ³ Zur Beantwortung dieser Frage existieren wiederum belastungsseitige und wirkungsseitige Untersuchungen. Im Zuge der Neudefinition ihrer Immissionsschutzpolitik hat die Europäische Union im Jahre 1993 eine Abschätzung der Geräuschbelastung für ihre damalige Fläche durchführen lassen. Dabei wurde sowohl die Belastung von Wohnstandorten (repräsentiert durch jeweils einen Punkt an der Gebäudefassade)

²Aus: UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt 2000. Berlin: UBA, 2000.

³So auch GUSKI, Rainer: Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6, S. 224. Guski geht davon aus, dass 'es kaum eine Flug- oder Schienenlärmsituation [gibt], in der nicht auch Straßenlärm vorkommt.'

durch einzelne Geräuscharten als auch - mit einer einfachen, energetischen Summation - die kumulierte Gesamtbelastung durch alle betrachteten Geräuscharten dargestellt:

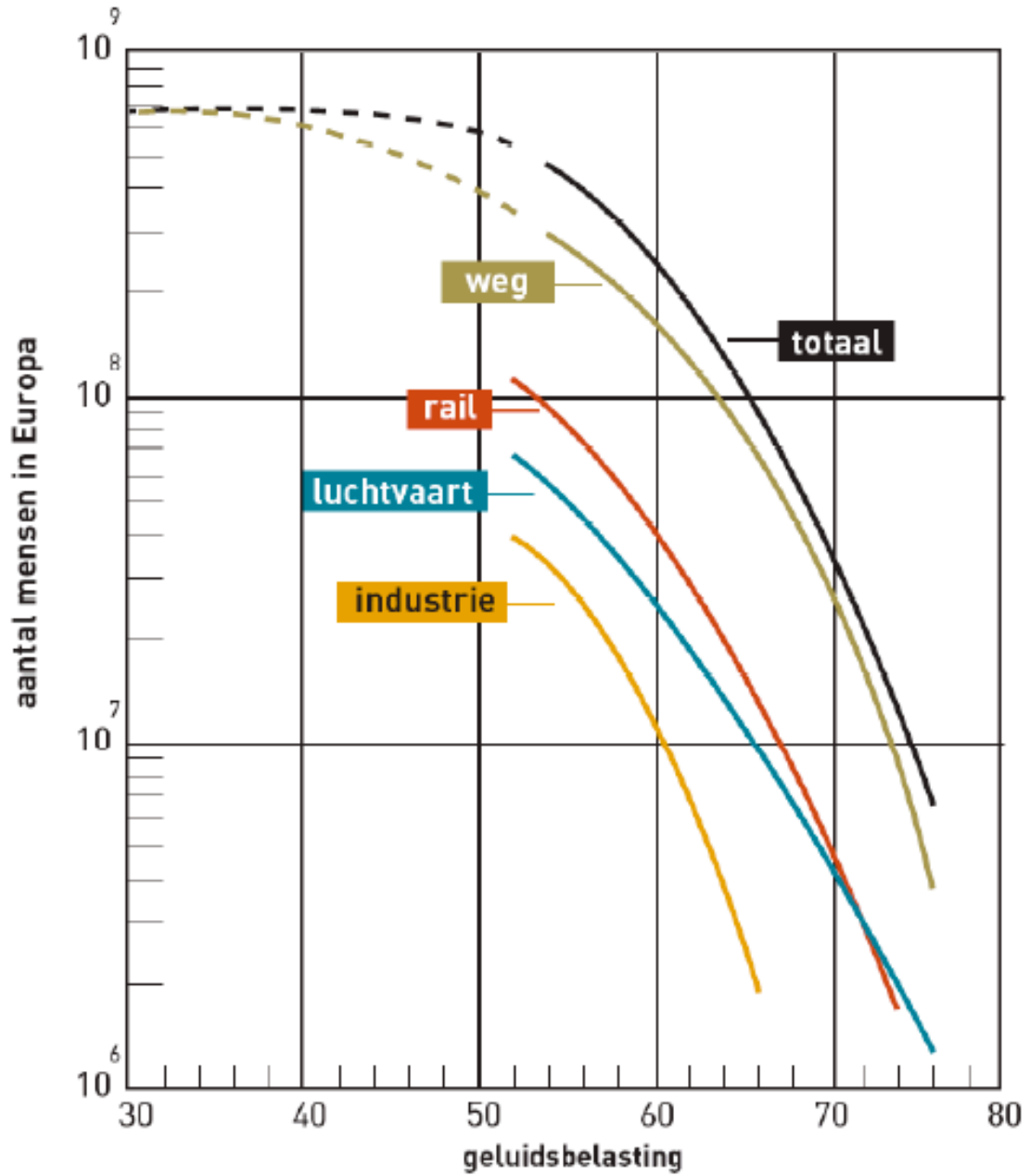


Abbildung 1.1: Belastungsabschätzung für Europa⁴

⁴M+P RAADGEVENDE INGENIEURS B.V. (Hrsg.): European Environment 1993: Noise Pollution (Final Report). Brüssel: Europäische Kommission, Generaldirektion Umwelt, 1993

1 Einleitung

Ein Vergleich der dargestellten Belastungskurven für die betrachteten Quellensektoren (Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr, Industrie) zeigt, dass kombinierte Belastungen aus mehreren Geräuscharten eher die Regel als die Ausnahme sind. Ausgehend von der - erwartbaren - recht hohen Grundbelastung durch den Straßenverkehr führen die Belastungen durch die übrigen Quellen nicht etwa zu einer linearen Erhöhung der Betroffenenzahlen, sondern führen zu einer deutlich flacheren Summenkurve, die nur durch die logarithmisch erfolgende Addition von Schallpegeln unterschiedlicher Quellen am selben Immissionsort zurückgeführt werden können. Wirkungsbezogene Befragungen bestätigen diese These. Für Deutschland ergibt die repräsentative Betrachtung von Belästigungen durch kombinierte Geräuscheinwirkung etwa die folgenden Ergebnisse:⁵

Tabelle 1.2: Belästigung durch kombinierte Einwirkung

Lärmquellen	Belästigte
Straße	47 Mio.
davon:	Angaben zur Belästigung durch zwei Lärmquellen
Straße und Flug	13 Mio.
Straße und Industrie	12 Mio.
Straße und Schiene	11 Mio.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass häufig auf einen Immissionsort nicht nur eine, sondern mehrere Geräuscharten akustisch und wirkungsbezogen relevant einwirken. Demgegenüber wird die fachliche und rechtliche Beurteilung von Geräuschimmissionen durch Verordnungen und technische Regelwerke durchgeführt, die anlagenbezogen entwickelt wurden und sich jeweils nur auf eine Geräuschart, teilweise sogar nur auf eine Einzelanlage, beziehen. Sie stellen in der Regel zwar ein handhabbares Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren zur Verfügung, die nach diesen Regelwerken ermittelten Beurteilungspegel sind jedoch nur mit Immissionswerten (Immissionsgrenz-, Richt- bzw. Orientierungswerten) zu vergleichen, die für die jeweils betrachtete Geräuschart gelten. Ein Regelwerk, das zur Ermittlung und Beurteilung aller auf einen Immissionsort einwirkenden Geräuschimmissionen verschiedener Lärmarten herangezogen werden kann, existiert nicht.

Dies ist auch aus Sicht der räumlichen Planung und insbesondere der Stadtplanung ein fachliches Defizit, denn 'Lärm' als Gesamtheit der einwirkenden (unerwünschten)

⁵ORTSCHEID, Jens und WENDE, Heidemarie: Lärmwirkungen und Lärmsummation. In Tagungsband Lärmkongress 2000. Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg, 2000

Geräusche mit negativen Folge auf die Umweltqualität von Wohn-, Arbeits- und Erholungsstandorten ist ein bedeutender Abwägungsfaktor, insbesondere bei der physischen Zuordnung von Schallquellen und empfindlichen Gebieten im Raum (gesamträumliche Ebene) und bei der konkreten städtebaulichen Ausformung von Siedlungsstrukturen (gebietsbezogene Ebene).

Mit der schrittweisen Umsetzung der umfangreichen Lärmkartierungspflichten der Richtlinie 2002/49/EG der Europäischen Kommission, im Weiteren als 'Umgebungslärmrichtlinie' bezeichnet, werden sich die verfügbaren Informationen über die - im Weiteren als Umgebungslärmbelastung bezeichneten - Geräuschimmissionen aus dem Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie gewerblichen Quellen entscheidend erweitern. Erstmals wird es möglich sein, in großem Umfang auf aktuelle und nach einheitlichen Verfahren ermittelte raumbezogene Informationen über die Umgebungslärmbelastung zuzugreifen. Dies ist auch für die raumbezogene Planung und besonders die Stadtplanung als Chance zu verstehen, diese Informationen künftig systematisch in Planungs- und Entscheidungsprozesse einzubinden und damit - anders als bisher - die Umgebungslärmbelastung der Bevölkerung quantitativ und mit strategischem (Minderungs-)Ansatz in die Siedlungs- und Infrastrukturplanung einzubeziehen.

Dies dient auch der Umsetzung des in der Europäischen Charta 'Umwelt und Gesundheit'⁶ formulierten Anspruch jedes Menschen auf eine Umwelt, die ein höchstmögliches Maß an Gesundheit und Wohlbefinden ermöglicht, auf Information und Anhörung über die Lage der Umwelt sowie über Pläne, Entscheidungen und Maßnahmen, die voraussichtlich Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit haben, und auf Teilnahme am Prozess der Entscheidungsfindung. Dazu bedarf es allerdings eines bisher nicht vorhandenen operablen methodischen Konzepts zur systematischen Interpretation von flächenhaft in Rasterform vorliegenden Geräuschimmissionsdaten und ihrer Umsetzung in aussagefähige und optimierungsgerechte Indikatoren.

1.2 Stand der Forschung

1.2.1 Fachliche Differenzierung

Die Modellierung von Geräuschbelastungen im Siedlungsraum und ihre wirkungsbezogene Auswertung erfordert eine vernetzte Querschnittsbetrachtung über mehrere Disziplinen hinweg. Zu nennen sind insbesondere

⁶Diese wurde im Rahmen der 1. Europakonferenz 'Umwelt und Gesundheit' in Frankfurt a. M. 1989 formuliert.

1 Einleitung

- die technische Akustik als Wissenschaft mit der Kernkompetenz im Bereich der Geräuschenstehung und -ausbreitung,
- die Lärmwirkungsforschung, die im Wesentlichen von (Umwelt-)Medizin, Psychologie und Soziologie getragen wird und die vielfältigen Effekte des Phänomens Lärm auf Menschen untersucht und Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge abzuleiten versucht, und
- die Stadtplanung als konzeptionelle Ebene der Gestaltung des Siedlungsraums und seiner Inanspruchnahme und (Umwelt-)Qualität, eng verbunden mit dem raumbezogenen Immissionsschutz und dem Umweltrecht mit wichtigen Regulierungsansätzen für die Zulässigkeit von Emissionen und Immissionen.

Obwohl vielfältige Wechselwirkungen zwischen den genannten Disziplinen und Aufgabenfeldern bestehen, so existieren doch jeweils weitgehend eigenständige Forschungsgegenstände und -methoden. Es ist festzustellen, dass in der Vergangenheit viele Forschungsaktivitäten sowohl auf der akustischen als auch auf der wirkungsbezogenen Seite planungswissenschaftliche Anforderungen ebenso unzureichend beachtet haben wie die Planungswissenschaft oftmals zu wenig auf akustische und wirkungsbezogene Forschungsergebnisse eingegangen ist. Vor der Diskussion des Forschungsstands ist daher eine Abgrenzung und Definition wesentlicher Schnittstellen vorzunehmen. Der Forschungsstand wird daher fachlich differenziert dargestellt.

1.2.2 Relevanter Stand der Forschung und Technik

1.2.2.1 Akustische Immissionsprognose

Im raumbezogenen Schallschutz wird fast durchgängig auf Berechnungsmodelle zurückgegriffen, die bei definierter Emission und bekannten Geländeeigenschaften, Hindernissen und Ausbreitungsverhältnissen ortsbezogene Immissionsprognosen (meist Mittelungs- und Maximalpegel) liefern. Damit kann z. B. bei einer bestimmten Verkehrssituation auf einer Straße einem Punkt in der Umgebung ein Immissionspegel zugeordnet werden, der – bei Kenntnis und zutreffender Anwendung des Modells – nachvollzogen und reproduziert werden kann. Dadurch ist eine Gleichbehandlung von Verursachern und Betroffenen sowie eine praktikable Bewertung von Geräuschsituationen sichergestellt. Die Anwendung mathematisch-physikalischer bzw. empirischer Berechnungsmodelle für die Schallentstehung und –ausbreitung ist im Kontext raumbezogener Bewertungs- und Entscheidungsprozesse aber nur dann statthaft, wenn diese valide sind, d. h. für alle relevan-

ten Immissionspunkte im Einflussbereich einer Schallquelle Immissionsdaten liefern, die denen einer Langzeitmessung mit hinreichender Genauigkeit entsprechen.

Für die Fragestellungen dieser Arbeit ist die Immissionsprognose in zwei Teilmodelle zu differenzieren. Einerseits interessiert die Emissionsmodellierung, d. h. die Frage, wie aus den Einzelgeräuschen von Emittenten bei z. T. komplexen und durch stochastische Prozesse gekennzeichneten Betriebsverhältnissen kurz-, mittel- und langfristige Emissionsprognosen gestellt werden können. Ebenso bedeutsam ist die Transmissionsmodellierung, mit der die vielfältigen Einflüssen unterworfenen Energieverluste von Schallwellen zwischen Emissions- und Immissionsorten prognostiziert werden.

Der Forschungsstand zur Emissionsmodellierung für Umgebungslärmquellen ist heterogen. Einerseits zeigen sich in den letzten Jahren große Fortschritte im Bereich der Modellierung momentaner Emissionen von Geräuschen, die durch Verbesserungen der Messtechnik, neuartige Analysemöglichkeiten (z. B. die acoustic camera zur Echtzeit-Visualisierung von Geräuschen) und simulative Ansätze (z.B. im Bereich des sog. sound design) gekennzeichnet sind. Dem gegenüber sind die für den raumbezogenen Immissionschutz bedeutsameren betriebsbedingten Langzeitemissionen und ihre zeitliche Differenzierung deutlich schwerer erfassbar, da dies insbesondere bei Straßen die Einbeziehung komplexer makro- und mikroskaliger Verkehrsmodelle erfordert,⁷ die allgemein geringere Genauigkeiten erreichen. In diesem Bereich basieren die Modelle i. d. R. auf langfristigen Versuchsmessungen an vergleichbaren Schallquellen, durch die die wesentlichen Einflussfaktoren der Emission – unabhängig von der Ausbreitungssituation – identifiziert und quantifiziert werden - allerdings mit sehr unterschiedlicher Qualität und nicht immer übertragbar. Im Ergebnis werden dann den emittierenden Anlagen für definierte Betriebsbedingungen jeweils Schalleistungspegel oder verwandte Emissionskenngrößen zugeordnet.

Die Transmissionsmodellierung entwickelt sich in den vergangenen Jahren - bedingt nicht zuletzt durch die Konzeption und Einführung neuer Methoden im Zuge der Einführung der EU-Umgebungslärmrichtlinie - zügig weiter. Unterschieden werden sog. mathematisch-physikalische Referenzmodelle, die die Immissionsprognose durch numerische Lösung der Wellengleichung vollziehen, und sog. Engineeringmodelle, die die Schallausbreitungsprozesse empirisch nachbilden, d. h. mit starken Vereinfachungen arbeiten, die die physikalischen Ausbreitungsgegebenheiten in mehr oder minder guter Näherung nachbilden. Referenzmodelle werden fast ausschliesslich in der Forschung und der Raumakustik eingesetzt, während die für den Umgebungslärm besonders relevan-

⁷EU NOISE EXPERT NETWORK (Hrsg.): Review of the suitability of traffic models for noise modelling. Leuven (digital): EU, Europäische Kommission, 2005.

1 Einleitung

ten Engineeringmodelle nach Jahren der Stagnation⁸ mit dem sukzessiven Abschluss der EU-Entwicklungsprojekte Harmonoise und IMAGINE, aber auch mit dem bereits eingeführten Schweizer Immissionsprognosemodell SonRoad, deutliche Fortentwicklungen erfahren. Generell ist dabei festzustellen, dass die neueren Engineeringmodelle realitätsnähere Ergebnisse liefern, gegenüber ihren Vorgängern aber auch die Einbeziehung von deutlich mehr und erheblich detaillierten Eingabevariablen ermöglichen und auch fordern. Noch nicht abschließend erforscht, aber in der Fachdiskussion erkannt ist das Problem eines angemessenen Verhältnisses von Modellqualität und Datenbedarf bis hin zu der Frage, ob die heute rechentechnisch realisierbaren komplexen Transmissionsprognosen überhaupt mit angemessen genauen Hindernis-, Oberflächen- und Meteorologiedaten versorgt werden können. Diese Frage wird, bezogen auf ein neueres Engineeringmodell für den Straßenverkehr, z. B. in⁹ eingehend diskutiert.

1.2.2.2 Lärmwirkungsforschung

Eine eindeutige und einheitliche Definition des Begriffs 'Lärm' existiert nicht. Die Ansätze bewegen sich im einem weiten Bereich von 'irregulären bzw. auffälligen Geräuschen' über 'unerwünschtem Schall' bis hin zu 'Geräuschen mit beeinträchtigender Wirkung auf den Menschen', wobei der letzte Begriff der besonders immissionsschutzrechtlich relevant ist.¹⁰ Eine Objektivierung und Operationalisierung des Begriffs kann durch Bezugnahme auf die objektive akustische Belastung (also das Geräusch) ebenso erfolgen wie durch Betrachtung von subjektiven Wirkungen. Insofern ist auch eine einheitliche Nomenklatur und Theorie der Lärmwirkungsforschung nicht vorhanden. Die letzte verfügbare, noch hinreichend aktuelle Übersicht über die vielfältigen unter dem Begriff der Lärmwirkungsforschung subsumierten Aktivitäten, wesentliche Quellen und vorliegende Erkenntnisse ist 2002 von Guski zusammengestellt worden.¹¹ Es wird der Status der Erkenntnisse über die differenzierbaren Einzelwirkungen Belästigung durch Lärm, Störung der Kommunikation durch Lärm, Störungen der Erholung durch Lärm, Störungen der Konzentration und Leistung durch Lärm, Störungen des Schlafs durch Lärm und zur Frage lärmindu-

⁸ Die in Deutschland auch immissionsschutzrechtlich eingeführten Modelle für den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr entsprechen dem Stand der Technik nicht und müssen als veraltet gelten (Modellbasis aus den frühen 1980er Jahren (Straße, Schiene) bzw. den frühen 1970er Jahren (Luftverkehr)).

⁹ SCHADE, Lars: Genauigkeit und Eindeutigkeit: Ein Vergleich des französischen Berechnungsverfahrens für Geräuschimmissionen durch Straßenverkehr mit seinem deutschen Pendant. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 51 März 2004, Nr. 2.

¹⁰ Zum Divergenzen im Lärmbegriff im zeitlichen Verlauf vgl. auch GUSKI, Rainer: Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6, S. 219

¹¹ Ebenda

zierter Gesundheitsstörungen bzw. Krankheiten dargestellt. Guski setzt sich weiter mit dem Vergleich verschiedener Lärmarten und den sog. Überschussreaktionen bei Belastungsänderungen auseinander. Aus dem Blickwinkel dieser Arbeit interessant ist vor allem die Aussage, dass die Bestimmung von Grenzwerten der Lärmbelastung über die in der Lärmwirkungsforschung ermittelten statistischen Zusammenhänge nicht möglich ist, da zum einen die beobachteten Dosis-Wirkungs-Relationen die dafür erforderlichen Knicke, Sprünge oder Wendepunkte nicht aufweisen und überdies die Grenzwertfindung ein Prozess ist, der weit mehr Faktoren einzubeziehen hat als nur Wirkungskomponenten.¹² Als neuere Tendenzen in der Lärmwirkungsforschung werden mit Bezug zu dieser Arbeit u. a. nicht-akustische Einflussfaktoren (Visuelle Einflüsse, Soundscapes), räumliche Belastungsdifferenzierungen (Phänomen der leisen Fassade), die Quellenkombination und die Anwendbarkeit wirkungsbezogener akustischer Belastungsvariablen genannt. Der Forschungsstand in diesen Bereichen kann hier nicht in vollem Umfang erfasst und dargestellt werden. Er wird im Kontext der Auseinandersetzung mit Lärmwirkungen im Rahmen dieser Arbeit im erforderlichen Umfang wieder aufgegriffen.

Forschungsaktivitäten zur Frage der kombinierten Einwirkung verschiedenartiger Geräusche sind seit den 1970er Jahren zu beobachten. Die vielfältigen, sich methodisch und in den Ergebnissen stark unterscheidenden Ansätze und Modelle sind erstmals 1982 im Übersichtswerk 'A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources'¹³ für die Belästigungswirkung dokumentiert worden.

Bereits 1996 wurde an der Universität Oldenburg eine Gesamtübersicht und Analyse der damals existierenden Modelle zur Beurteilung kombinierter Geräuscheinwirkungen erarbeitet.¹⁴ Eine verbindliche bzw. eindeutig vorherrschende Meinung der Wissenschaft, welche Deskriptoren und Funktionen für die Quantifizierung der Wirkungen kombinierter Geräuscheinwirkungen am besten geeignet sind, wurde auch dort nicht gegeben, vielmehr wurde wiederum deutlich, wie weit die Modelle gedanklich, methodisch und praktisch voneinander entfernt sind. Während die überwiegende Mehrzahl der vorliegenden Modelle in der Fachdiskussion keine Rolle mehr spielt, hat sich insbesondere das in den Niederlanden publizierte Annoyance-equivalent-Modell, umfassend dargestellt und begründet durch *Miedema*,¹⁵ in der Europäischen Union als zwar umstrittenes, aber füh-

¹²GUSKI, Rainer: Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6, S. 226.

¹³TAYLOR, S. M.: A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources. Journal for Sound and Vibration, 81 1982, Nr. 1.

¹⁴SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte, RONNEBAUM, Thorsten und WEBER, Reinhard: Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung. Magdeburg: Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 1996.

¹⁵MIEDEMA, Henk M. E.: Quantification of annoyance caused by environmental noise (and odour). Nijmegen: Katholieke Universiteit Nijmegen, 1996.

1 Einleitung

rendes Modell etabliert. Dies ist neben den umfangreichen Forschungs- und Publikationsaktivitäten der Arbeitsgruppen um Miedema, Vos und Passchier-Vermeer auch darauf zurückzuführen, dass es vom Niederländischen Gesundheitsrat aufgegriffen und als Baustein der in den Niederlanden eingeführten Umweltqualitätsbeurteilung für Siedlungsräume als sog. 'Niederländisches Modell' aufgegriffen wurde. Es handelt sich dabei um ein probabilistisches Modell, das die rein empirisch erfassten Lästigkeitsdifferenzen zwischen den Geräuscharten als Basis für eine Pegelrenormierung und Addition heranzieht. Das annoyance-equivalent-Modell ist insofern auch das einzige der angesprochenen Modelle, das in ein operables Anwendungssystem implementiert wurde und bereits praktisch angewandt wird.

1.2.2.3 Stadtplanung und raumbezogener Immissionsschutz

Der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen ist in der Stadtplanung sowohl normativ - ausgehend vom Begriff der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse und vom Leitmotiv der Nachhaltigen Siedlungsentwicklung - als auch praktisch von hoher Bedeutung. Umso mehr verwundert es, dass aus der Planungswissenschaft bislang kaum erkennbare Versuche unternommen worden sind, durch raum- und akzeptorbezogene Modellierungen zu handhabbaren quantitativen Methoden zu kommen, mit denen in Planungs- und Entscheidungsprozessen die Umweltsituation in Bezug auf den Menschen aussagefähig, praktikabel und zuverlässig modelliert und bilanziert werden kann. Dies gilt nicht nur für den Lärm, sondern gleichermaßen - allerdings mit anderen Fachinhalten - auch für andere humanökologisch bedeutsame Faktoren wie Luftschadstoffe, Geruchsbelastungen, Überwärmung und technische Störfallrisiken. So orientiert sich die Stadtplanung hinsichtlich der Lärmbelastung von Menschen häufig an Orientierungs-, Richt- oder Grenzwerten, die jedoch kaum Möglichkeiten für differenzierte Betrachtungen und Bilanzierungen ermöglichen, und zudem unterschiedlichste - oft für den Planungskontext nicht einschlägige - Hintergründe und Anwendungsbereiche haben.¹⁶

Im raumbezogenen Immissionsschutz existieren im europäischen Raum daher nur wenige anwendungsbezogene Bewertungsverfahren für kombinierte Geräuscheinwirkungen. Zu nennen sind hier das sog. SPI-Konzept¹⁷ aus Norwegen, die TÜV-Gesamtlärmstudie¹⁸

¹⁶ Grundlegend hierzu STEINEBACH, Gerhard: Lärm- und Luftgrenzwerte: Entstehung, Aussagewert, Bedeutung für Bebauungspläne. Düsseldorf: Werner-Verlag, 1987.

¹⁷ GJESTLAND, Trulls, TREMOEN, S. und KIELLAND, J.B: SPI - An indicator for assessing total noise impact. In Proceedings Forum Acusticum 2002. Sevilla: European Acoustics Association, 2002.

¹⁸ TEGEDER, Klaus et al.: Beurteilung und Bewertung von Gesamtlärm (Gesamtlärmstudie). Köln: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme, 2000.

als bisher einziges Konzept aus Deutschland und das niederländische URBIS-Konzept,¹⁹ das ein ganzheitliches Bewertungssystem für die Lebens- und Umweltqualität von Städten implementiert und weitere Module, z. B. zur Geruchs- und Luftschadstoffsituation, enthält und miteinander verknüpft. Im Entwurfsstand befindet sich derzeit außerdem in Deutschland der Richtlinienentwurf E/VDI3722-2, der die Grundzüge eines an Dosis-Wirkungs-Kurven orientierten Bewertungssystems für kombinierte Geräuscheinwirkungen enthält. Es ist jedoch festzustellen, dass die Stadtplanung bisher auf derartige Systeme und Modelle nicht systematisch zurückgegriffen hat - insbesondere nicht in Deutschland.

In diesem Zusammenhang erwähnenswert sind die zur Operationalisierung des Nachhaltigkeitsbegriffs konzipierten und erprobten Indikatorsysteme, zum Beispiel im Forschungsfeld 'Zukunft der Städte' des Programms 'Experimenteller Wohnungs- und Städtebau' (ExWoSt).²⁰ In den breit angelegten Indikatorsets finden sich - je nach inhaltlicher Konzeption in der Säule 'Ökologie' oder der Säule 'Soziales' - in aller Regel auch Indikatoren zur städtischen Umweltqualität. Es fällt jedoch auf, dass die Umgebungslärmbelastung, die angesichts der oben angesprochenen hohen betroffenen Bevölkerungsanteile eine Art Leitindikator für belästigende anthropogene Umweltbeeinträchtigungen darstellen könnte und sollte, selten als Indikator herangezogen wird. Unter den im Projekt 'Zukunft der Städte'²¹ abgeleiteten 24 Indikatoren findet sie sich z. B. nicht. Dies kann dem Grunde nach nicht darauf zurückgeführt werden, dass die Lärmbelastung als Nachhaltigkeitsindikator irrelevant wäre; wohl aber darauf, dass eine operationalisierte Ermittlungs- und Bewertungsmethode fehlt bzw. die dafür erforderlichen Daten nicht beschafft werden können. - Der einzige hier bekannte für Deutschland erhobene Indikator mit Bezug zu kombiniert einwirkendem Umgebungslärm findet sich im Umweltindikatorensetz des Bayerischen Landesamts für Umwelt²². Der dort eingeführte Indikator 'Gesamtlärmbelastung im Wohnbereich' beschränkt sich allerdings auf die Prozentangabe der in Deutschland nach der bereits eingangs erwähnten Modellrechnung des Umweltbundesamts²³ tagsüber mit mehr als 55 dB(A) bzw. 65 dB(A) Mittelungspegel am Wohnort belasteten Menschen. Insofern kann festgestellt werden, dass Forschungsergebnisse und Anwen-

¹⁹BORST, Jeroen: The role of Urbis' noise and noise effects maps in local policy. In *Internoise 2001 Proceedings*. Den Haag: Internoise, 2001.

²⁰BBR, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): *Städte der Zukunft - Kompass für den Weg zur Stadt der Zukunft*. Bonn: Selbstverlag des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung, 2004.

²¹Ebenda

²²BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.): *Umweltindikatoren 2004*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004.

²³UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.): *Daten zur Umwelt 2000*. Berlin: UBA, 2000.

1 Einleitung

derungserfahrungen zur indikatorbasierten Erfassung der Lärmbelastung in Deutschland praktisch nicht vorliegen.

1.2.3 Offene Forschungsfragen

Als aus Sicht der Stadtplanung offenes Forschungsthema kann angesichts des zuvor abgeleiteten Standes von Forschung und Technik zunächst die Analyse und Diskussion des Stellenwerts und potentieller Anwendungsbereiche einer quantitativen Betrachtung kombinierter Umgebungslärmbelastungen abgeleitet werden. Dies steht vor dem Hintergrund einer bislang nicht erfolgten systematischen Einbeziehung dieser Themen in Planungs- und Entscheidungsprozesse. Dazu bedarf es der Ableitung und Operationalisierung geeigneter Indikatoren für die Erfassung, das Monitoring und die Interpretation dieser Belastungen im Zusammenhang der nachhaltigen Siedlungsentwicklung, die methodisch deutlich über die aus der Lärmwirkungsforschung bekannten Indikatoren hinausgehen. Vor allem ist die Frage zu klären, welche Lärmwirkungen zur Ermittlung und quantitativen Auswertung in Planungs- und Entscheidungsprozessen der Stadtplanung herangezogen werden sollten. Dies setzt auch die Modellierung geeigneter Erhebungs- und Bilanzierungsmechanismen für Bestands-, Planungs- und Interventionssituationen voraus.

Als weitgehend offen können auch die mit der Konzeption der fachlichen Basis für die Immissionsprognose verbundenen Fragestellungen nach geeigneten Emissions- und Transmissionsmodellen identifiziert werden. Zwar existieren aktuelle physikalische und Engineeringmodelle von hoher Qualität sowohl für die Emission als auch die Transmission, die systematische Betrachtung der dafür erforderlichen Datenbasis, vor allem hinsichtlich der mittel- und langfristigen Prognostizierbarkeit dieser Daten im Akzeptor-, Raum- und Umweltbezug, fehlt jedoch weiterhin. Insofern ist es auch kaum möglich, die mit Immissionsprognosen erreichbare quantitative Annäherung an die raumbezogene Gesamtbelastung durch Umgebungslärm zuverlässig abzuschätzen.

Hinsichtlich der Immissionsprognose bestehen Lücken in der Systematik der Immissionsbeschreibung, vor allem der Analyse räumlich differenzierter Immissionssituationen, z. B. starker Belastungsdifferenzen an Gebäuden und Grundstücken. Zwischen der im wesentlichen auf die Bezugseinheit 'Grundstücke' fixierten planungs- und genehmigungsrechtlichen Situation und der dem gegenüber auf die individuelle Lärmexposition ausgerichteten Ansätze der Lärmwirkungsforschung ist eine Lücke erkennbar, die durch differenzierte Immissionsbeschreibungen zumindest teilweise geschlossen werden kann.

1.3 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, auf Basis des aus den beteiligten Teildisziplinen vorliegenden Standes der Forschung und Technik ein System zur Erfassung und Interpretation kombinierter Umgebungslärmbelastungen zur praktischen Anwendung in der Stadtplanung zu modellieren, mit dem eine Quantifizierung und Bilanzierung ausgewählter, für die planerische Praxis besonders wichtiger bzw. repräsentativer Wirkungen des Umgebungslärms möglich ist. Es muss insbesondere folgenden Anforderungen gerecht werden:

- Berücksichtigung der Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung,
- Nutzung valider und modellierbarer akustischer Immissionsdaten,,
- Prognosefähigkeit und Anwendbarkeit auf Planungssituationen,
- Handlungs- und Erfolgsorientierung aus Sicht der Stadtplanung (Steuerbare Variablen und Indikatoren).

Die Arbeit bewegt sich damit in einem interdisziplinären Spannungsfeld zwischen der Stadtplanung als Kerndisziplin des Verfassers, der durch Medizin, Psychologie und Soziologie geprägten Lärmwirkungsforschung und der physikalisch-technisch orientierten Immissionsmodellierung. Eingrenzend ist daher festzulegen, dass die Arbeit nicht der Innovation in den Bereichen der physikalisch-technischen Modellierung und der Lärmwirkungsforschung dient, wohl aber wesentliche Schnittstellen zur Stadtplanung erfassen, mögliche Defizite des fachdisziplinären Forschungsstands aufdecken und Hinweise zum Forschungs- und Präzisionsbedarf geben soll. Zentrum der wissenschaftlichen Befassung ist die Diskussion der Ermittlung und Prognose der konkret beurteilungsrelevanten akustischen Situation im Siedlungsraum unter zielgerichteter Berücksichtigung einer wirkungsorientierten Auswertung im Raum- und Akzeptorbezug. Darin liegt ein eigenständiger planerischer Modellierungsansatz, der möglicherweise (und sogar wahrscheinlich) nicht allen in den einzelnen Fachdisziplinen relevanten Anforderungen an Differenzierungsgrad und Präzision entsprechen kann. Es sind insofern wesentliche Eingrenzungen und Beschränkungen erforderlich, die im Kapitel 2 vorgenommen werden.

1.4 Methodik und Aufbau

Das für die Arbeit relevante und dargestellte Zielspektrum soll mit folgendem grundlegenden Ansatz bearbeitet werden:

1 Einleitung

- In einem ersten Schritt sollen das Zielspektrum und grundsätzliche Anforderungen der Stadtplanung an Modellierungsvorgänge im Kontext der integrierten Umgebungslärmbelastungen aufgearbeitet werden.
- Anhand des damit erarbeiteten 'Zielrasters' wird der Stand der Forschung für die relevanten Modellierungsebenen Emission und Transmission, Lärmkartierung und Immissionsdeskription, Lärmwirkungen und kombinierte Lärmeinwirkungen jeweils gezielt erhoben und aus Sicht der Stadtplanung bewertet.
- Auf dieser Basis werden Potentiale und Alternativen für ein in der Stadtplanung anwendbares Modellierungskonzept erarbeitet.

In der Umsetzung dessen diskutiert die Arbeit zunächst (Kapitel 2) ausführlich die potentiellen Anwendungsfelder, die fachlichen Anforderungen und die methodischen Voraussetzungen, die aus der fachlichen Sicht der Stadtplanung für die quellenübergreifende Behandlung von Umgebungslärmimmissionen abgrenzbar sind. Diese Auseinandersetzung ist eine notwendige Grundlage, weil in den beteiligten Fachdisziplinen divergierende Begriffs- und Zielvorstellungen für derartige Betrachtungen bestehen. So stehen aus Sicht des Immissionsschutzrechts Zulässigkeits- und Zumutbarkeitsfragestellungen und damit eine möglichst einfache und praktikable Grenzwertregelung im Vordergrund - weitere Anwendungsfelder werden praktisch nicht gesehen.²⁴ Die Lärmwirkungsforschung scheint dem gegenüber vor allem an einem Erklärungsmodell zu den Kausalitäten und Mechanismen der Lärmwirkungen auf das Individuum interessiert zu sein, was tendenziell zur Diskussion zahlreicher medizinischer und psychologischer Parameter ohne explizite Berücksichtigung der Modellierbarkeit und Beeinflussbarkeit von Immissionsituationen im Siedlungsraum führt. Der spezifisch stadtplanerische Ansatz kommt in diesen Überlegungen zu kurz. Er muss - ausgehend von den planerischen Handlungsmöglichkeiten auf informeller und formeller Ebene - zwangsläufig vom Raumbezug der Immissionen ausgehen und die Modellierung der Wirkungsgefüge in strenger Ableitung an den im Siedlungsraum zuverlässig und flächendeckend verfügbaren und auch prognosefähigen Immissionsdaten orientieren. Dabei kann nicht jedes Individuum betrachtet werden, sondern es müssen generalisierende Qualitätsaussagen für menschliche Habitate abgeleitet werden, die auch die tatsächlichen planerischen Steuerungsmöglichkeiten im Siedlungsraum berücksichtigen. Geschieht dies nicht, besteht das Risiko, dass Wirkungserkenntnisse nicht in konkrete Handlungsstrategien umgesetzt werden können. Diese in der fachlichen und rechtlichen Diskussion um den Umgebungslärm bislang wenig diskutierten Anforderun-

²⁴DOLDE, Klaus-Peter: Rechtliche Aspekte einer Gesamtlärbetrachtung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 48 Mai 2001, Nr. 5.

gen sollen ausführlich aufgearbeitet und in konkrete Anwendungsszenarien aus Sicht der Stadtplanung umgesetzt werden.

Ebenfalls der vertieften Grundlagenarbeit dient das Kapitel 3. Es befasst sich mit dem rechtlichen und methodischen Hintergrund des deutschen Systems des anlagen- und raumbezogenen Immissionsschutzes sowie den Inhalten der EU-Umgebungslärmrichtlinie und stellt deren Einbindung und Umsetzung dar. Soweit dies bereits möglich ist, werden die Neuregelung des § 47a-f BImSchG und die Lärmkartierungsverordnung dargestellt und ausgewertet. Dabei ist neben den fachlichen Vorgaben zu den Erhebungs- und Berechnungsmethoden vor allem in den Blick zu nehmen, für welche Umgebungslärmquellen Kartierungspflichten bestehen, welche Relevanzgrenzen dafür gelten und wie 'vollständig' vor diesem Hintergrund die Lärmkartierung nach § 47b BImSchG in den Stufen 2007 und 2012 ist. Eine relevante Fragestellung in diesem Zusammenhang ist außerdem, ob und in welchem Maße die Umgebungslärmrichtlinie bzw. die erfolgte Umsetzung in das deutsche Immissionsschutzrecht den Umgang mit kombinierten Umgebungslärmbelastungen bereits impliziert oder zumindest verankert. Dies liegt nahe, wird aber verschiedentlich abgelehnt.²⁵

In den Folgekapiteln werden die für die Arbeit relevanten Modellierungsebenen bearbeitet. Die Aspekte Emissions-, Transmissions- und Immissionsmodellierung sind Inhalt des Kapitels 4. In diesem Bereich ist vor Allem das Spannungsfeld zwischen stetig steigender Modellqualität und Rechenkapazität einerseits und sinnvollem Umfang aus planerischer Sicht andererseits zu untersuchen. Von besonderer Bedeutung ist dabei einerseits der Datenbedarf der Emissions- und Transmissionsmodelle mit der Leitfrage 'Können die benötigten Daten (in Bestandssituationen) mit angemessener Qualität gewonnen und (in Planungssituationen) hinreichend genau prognostiziert werden?'. Andererseits ist auch die Modellierbarkeit von Emissions- und Immissionssituationen durch die Modelle mit der Leitfrage 'Können die für die Umgebungslärberechnung relevanten Emissions- und Transmissionsfaktoren durch die Modelle zutreffend erfasst werden?'. In diesem Grundlagenbereich greift die Arbeit unter Bezugnahme auf die Projektdokumentation²⁶ teilweise auf Ergebnisse zurück, die unter wissenschaftlicher Assistenz des Verfassers im Projekt 'Umgebungslärm. Risikobeurteilung und Regulation am Beispiel des Verkehrsbereiches' der Europäischen Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler erarbeitet wurden. - Ausgehend von den normierten Lärmkarten als üblicher Darstellungsform wird untersucht, wie Im-

²⁵So folgert z. B. *Irmer* aus der in der Umgebungslärmrichtlinie geforderten getrennten Berechnung und Kartendarstellung für die einzelnen Umgebungslärmarten, die Richtlinie beschäftige sich nicht mit der Gesamtbelastung durch alle einwirkenden Quellenarten, vgl. IRMER, Volker K. P.: Die EG-Richtlinie zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 2002, Nr. 5.

²⁶KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006.

1 Einleitung

missionen zutreffend und anschaulich räumlich erfasst und visualisiert werden können. Hier erfolgt auch eine Diskussion der potentiellen Auswertungsindikatoren, von akustischen Parametern über Wirkungsparameter, flächenbezogene Darstellungen bis hin zu kombinierten Indikatoren.

Kapitel 5 befasst sich zunächst allgemein mit den Inhalten der Lärmwirkungsforschung und den dort relevanten Modellen, Kapitel 6 diskutiert darauf aufbauend die theoretischen Ansätze und weiteren Optionen zur Erfassung und Interpretation kombinierter Umgebungslärmbelastungen und bereits bestehende Modellansätze. In Kapitel 7 wird daraus ein Konzept zur fachlichen Bearbeitung kombinierter Umgebungslärmbelastungen in raumbezogenen Planungsprozessen synthetisiert und den Planungsebenen und -aufgaben zugeordnet. Die Arbeit schließt mit einem Fazit, das wesentliche Erkenntnisse und Empfehlungen der Arbeit zusammenführt, und einem Ausblick auf weitere Forschungsbedarfe (Kapitel 8).

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

Im diesem Kapitel erfolgt zunächst eine Begriffsklärung und -festlegung hinsichtlich der zu analysierenden und durchzuführenden Modellierungsschritte. Um die unterschiedlichen Bezugsebenen und fachlichen Ansprüche strukturiert behandeln zu können, wird im Weiteren ein grundlegendes Rahmenmodell für den Umgebungslärm konzipiert, das sich eng am sog. DPSIR-Modell (Driving Forces – Pressure – State – Impact – Response) der Europäischen Umweltagentur (EEA) orientiert. Auf dieser Basis werden Modellspezifikationen differenziert. Die grundlegenden Anforderungen an die Umgebungslärmmodellierung werden aufgearbeitet und in konkrete Anwendungsszenarien aus Sicht der Stadtplanung umgesetzt. Nach grundlegenden Überlegungen zur Modellanwendung in der Stadtplanung erfolgt eine Darstellung der fachlichen Ausgangslage, die von sektoraler, unzusammenhängender Bearbeitung der Umgebungslärmsituation und damit einem fachlichen Defizit gekennzeichnet ist.

Davon ausgehend werden wesentliche fachliche Anforderungen und die methodischen Grundprämissen, die aus der fachlichen Sicht der Stadtplanung für die Modellierung des Umgebungslärms abgrenzbar sind, abgeleitet. Diese Auseinandersetzung ist eine erforderliche Grundlage der Arbeit, weil in den beteiligten Fachdisziplinen divergierende Begriffs- und Zielvorstellungen für derartige Betrachtungen bestehen. So stehen aus Sicht des Immissionsschutzrechts Zulässigkeits- und Zumutbarkeitsfragestellungen und damit eine möglichst einfache und praktikable Grenzwertregelung im Vordergrund. Die Lärmwirkungsforschung scheint dem gegenüber vor allem an einem Erklärungsmodell zu den Kausalitäten und Mechanismen der Lärmwirkungen auf das Individuum interessiert zu sein, was tendenziell zur Diskussion zahlreicher akustischer, medizinischer und psychoakustischer Parameter führt. Der spezifisch stadtplanerische Ansatz kommt in diesen Überlegungen zu kurz, denn das immissionsschutzrechtlich geprägte Modell ist erkennbar zu eindimensional, das der Lärmwirkungsforschung weist tendenziell eine Datenkomplexität auf, die nicht handhabbar ist.¹ In der Stadtplanung besteht das Hauptinteresse an

¹So weist die im Rahmen des Ausbauverfahrens für den Flughafen Frankfurt erarbeitete sog. Fluglärm-synopse (GRIEFAHN, Barbara et al.: Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept (Gutachten G12.1 zum Planfeststellungsverfahren Ausbau Flughafen Frankfurt Main). Dortmund, Düsseldorf, Dresden, Erlangen, 2004) mehr als 40 Schutzkriterien auf, die zudem weitgehend auf Expositions- und nicht auf Immissionsdaten basieren.

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

der lösungs- und handlungsorientierten Betrachtung des Umgebungslärms im Raumbezug, was Elemente der vorgenannten Modellansätze (Grenzwerte und Wirkungsansatz) ebenso beinhaltet wie die systematische Einbeziehung raumbezogener, d. h. immissionsortspezifischer Komponenten. Monitoring und Management von Umgebungslärmimmissionen sind dabei wichtige Ansätze für den Umgang mit Umgebungslärmkonflikten.

2.1 Begriffsbestimmung und -eingrenzung

Für das kombinierte Einwirken von (verschiedenartigen) Geräuschen auf den Menschen bzw. den Raum existiert keine einheitliche Nomenklatur. Vielfach wird jedoch der Begriff 'Gesamtlärm' oder - meist synonym - 'Gesamtgeräusch' verwendet. Diese Terminologie suggeriert die Einbeziehung aller in irgendeiner Form auf einen Ort bzw. Menschen einwirkenden Geräusche. Dieser Anspruch ist für die stadtplanerische Anwendung weder praktisch umsetzbar noch fachlich sinnvoll. Im Vorfeld der Untersuchung ist es daher von besonderer Bedeutung, die systematisch einzubeziehenden Geräuschquellen einzugrenzen und auch die Begriffsbildung darauf auszurichten. Die wesentlichste der notwendigen Einschränkungen besteht in der Auswahl der betrachteten Geräuschquellen. Dies sind die Quellengruppen Verkehrsmittel (Straßenverkehr, Schienenverkehr, (ziviler) Luftverkehr), Gewerbe/Industrie und ortsgebundene Freizeit- und Sporteinrichtungen. Die Gesamtheit der von diesen Quellen ausgehenden unerwünschten oder gesundheitsschädlichen, d.h. 'adversen' Geräusche wird in Anlehnung an Art. 3a der Umgebungslärmrichtlinie der Europäischen Union als 'Umgebungslärm' bezeichnet und bildet den Gegenstand der Arbeit. Die in der Umgebungslärmrichtlinie enthaltenen, administrativ begründeten Einschränkungen, insbesondere die Nichtberücksichtigung des militärischen Fluglärms, werden der Arbeit allerdings nicht zugrunde gelegt. Mit dieser Begriffsbestimmung ist gleichzeitig festgelegt, dass Geräusche nur in Form der 'Externalität', d. h. als nicht intendierte Belastung Dritter, betrachtet werden.

Andere - durchaus relevante - Quellen, insbesondere der sog. Nachbarschaftslärm, der Lärm am Arbeitsplatz und in Verkehrsmitteln, bleiben beim Umgebungslärm unberücksichtigt. Dies ist aus Sicht des Arbeitsziels einer möglichst wirkungsbezogenen Modellierung kritisch, denn diese würde grundsätzlich eine völlig quellenunabhängige und damit akzeptorbezogene Herangehensweise erfordern. Es ist auch eindeutig, dass die Beschränkung auf den Umgebungslärm zu systemimmanenten Unschärfen besonders bei der im Wesentlichen empirisch erfassten Wirkung 'Belästigung' führt. Dennoch ist die Eingrenzung notwendig und sinnvoll. Sie ermöglicht letztlich erst die Behandlung des Lärms als Untersuchungsgegenstand der Disziplin Raumplanung. Jede der einbezoge-

2.2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

nen Geräuschquellen ist raumgebunden, raumbedeutsam und unterliegt der koordinierenden räumlichen Gesamtplanung auf überörtlicher und örtlicher Ebene, teils auch der sektoralen, aber an die Raumordnung gebundenen Fachplanung. Bei den übrigen genannten Lärmarten ist dies nicht gegeben. Sie unterliegen anderen Regelungsregimes (Nachbarschaftslärm, Arbeitslärm) bzw. sind nicht raumgebunden (Verkehrsmittel).

Der räumlichen Gesamtplanung ist ein integrierender Blickwinkel auf raumbezogene Problemstellung eigen, der in den fachplanerischen und auch umweltfachplanerischen Disziplinen oftmals fehlt. Insofern soll hier eine integrierte Betrachtung der Umgebungslärmsituation stattfinden, die sich insofern auch von derjenigen nach Umgebungslärmrichtlinie vorgegebenen Betrachtung unterscheidet. Der Integrationsansatz bezieht sich im Wesentlichen auf zwei Aspekte: Zum Einen soll keine sektorale Betrachtung der einzelnen Quellen erfolgen, sondern die akzeptor- und raumbezogene Belastung durch alle relevant einwirkenden Quellen integriert in den Blick genommen werden. Zum Anderen soll die Untersuchung nicht auf die physikalisch orientierten Berechnung von Beurteilungspegeln beschränkt sein, sondern die Wirkungsdimension integrativ einbeziehen und darstellen. Der Begriff 'Modellierung' wird in diesem Zusammenhang gewählt, um zu verdeutlichen, dass das Phänomen 'Umgebungslärm' in seiner Gesamtheit sehr vielschichtig und bei weitem nicht in allen Bereichen hinreichend fachwissenschaftlich untersucht oder gar 'erklärt' ist. Die in den Folgekapiteln dargestellten und entwickelten Modelle und Verfahren sind daher bewusst als komplexitätsreduzierende, entscheidungsvorbereitende Modellbildungen zu verstehen, die weder den Anspruch auf vollständige Durchdringung noch auf Endgültigkeit erheben können.

2.2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

2.2.1 DPSIR und AEEER als Modellierungskonzepte für raumbezogene Umweltbelastungen

Raumbezogene Umweltbelastungen – der Umgebungslärm ist darin eingeschlossen – sind allgemein durch vielschichtige und multifaktorielle Wirkungsgefüge gekennzeichnet. Insofern besteht zunächst Bedarf für breit angelegte explikative Modelle, mit denen sich die grundlegenden Strukturen und Prozesse erfassen lassen. Um eine möglichst einheitliche Erfassung und Bewertung unterschiedlicher Umweltbelastungen zu ermöglichen, ist es zudem sinnvoll, mit einer top-down-Methodik im ersten Schritt ein einheitliches, explikatives Rahmenmodell zur Systemanalyse aufzubauen, mit dem sich Einzelthemen wie der Umgebungslärm grundlegend strukturieren und parametrisieren lassen.

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

Die europäische Umweltagentur (EEA) hat zu diesem Zweck und zur Harmonisierung der fachlichen Grundlagen ihrer Umweltpolitik im Jahr 1999 das Modell 'Driving Forces - Pressure - State - Impact - Response' (DPSIR) konzipiert.² Es erweitert das PSR-Modell der OECD bzw. das DSR-Modell der UN-Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD)³ und stellt ein konzeptionelles Rahmenmodell zur Strukturierung und Systematisierung anthropogener Umweltbelastungen zur Verfügung, auf dessen Basis vertiefte Modellierungen und die Ableitung von Umweltindikatoren möglich ist. Der DPSIR-Wirkungszusammenhang wird in die fünf Statusgruppen Driving force (Umweltrelevante Aktivitäten), Pressure (Emissionen), State (Umweltzustand), Impact (akzeptorbezogene Wirkungen) und Response (Gegenmaßnahmen) differenziert. Er beschreibt eine Umweltbelastung als kausale (oder assoziative) Kette von Einflussgrößen und erfasst damit Zusammenhänge im Systemverhalten. Er kann damit auch als Schnittstelle zwischen Modellierung und Bewertung dienen.

Methodisch ähnlich, aber im Wirkungsbereich differenzierter, ist das in einigen Veröffentlichungen verwendete, enger an der Terminologie des Immissionsschutzes orientierte Modell AEEER (Activities - Emissions - Environmental Quality - Exposure - Risk) verwendet.⁴ Hier wird die Ebene 'Impact' in die Aspekte 'Exposure' (Belastung / Exposition) und 'Risk' (individuelles und gruppenbezogenes Risiko) differenziert. Dieses Modell ist für den Umweltfaktor Umgebungslärm insofern interessant, als nicht direkt vom Umweltzustand auf Wirkungen geschlossen wird, sondern zunächst (hier: Ebene Environmental Quality) eine Darstellung der Umweltqualität erfolgt und dann mit der Ebene 'Exposure' zusätzlich der Aspekt der akzeptorbezogenen Belastung integriert wird. Dies erfasst die bereits in Grundzügen erörterte Schwierigkeit, aus ortsbezogenen Immissionsdaten auf wirkungsrelevante Expositionen zu schließen. Die Ebene 'Risk' schließlich übernimmt die Aufgabe einer systematischen Schnittstelle zwischen dem Wirkungsmodell und der (im Akronym AEEER nicht erfassten) Handlungsebene. Der Begriff des Risikos schließt dabei die auch im DPSIR-Modell enthaltene Wirkung ein, erweitert sie aber um die Komponenten Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere im Sinne von risikoorientierten Wirkungsstandards.

²HERZOG, Christof: Das Methodenpaket leMAX mit dem Fuzzy-Simulationsmodell FLUCS - Entwicklung und Anwendung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die integrative Raumplanung (Diss.). Kiel: Christian-Albrechts-Universität Kiel, 2002, S. 40.

³MOROSINI, Marco et al.: Umweltindikatoren: Grundlagen, Methodik, Relevanz. Band 1, Stuttgart: TA-Akademie, 2002, S. 56.

⁴MIEDEMA, Henk M. E. et al.: Urbis: Instrument for Local Environmental Surveys (Executive Summary). Band TNO report TNO/VGZ/99.064, Leiden: TNO, 1999, S. 7.

2.3 DPSIR- und AEEER-Modellierung für den Umgebungslärm

2.3.1 Rahmenmodell

Das DPSIR-Schema wird - beginnend 1999/2000 - zur strukturierenden Modellierung im Umweltbereich eingesetzt. Entsprechende Ansätze existieren auch für den Umgebungslärm, z. B. im Umweltthemenkatalog des Umweltbundesamtes,⁵ der allerdings nur eine grobe Kategorisierung und Einordnung relevanter Wirkfaktoren des Umgebungslärms in die DPSIR-Systematik vornimmt. Im Einzelnen werden dort und auch in Publikationen der Weltgesundheitsorganisation⁶ folgende Zuordnungen vorgenommen:

- Driving Force (D): Geräuschverursachende Aktivitäten (Bsp.: Motorisierter Straßenverkehr, Flugbewegungen an den Flugplätzen, aber auch indirekt wirksame Aspekte wie Bevölkerungsentwicklung und -dichte).
- Pressure (P): Geräuschemissionen der unter (D) erfassten Aktivitäten (Bsp.: Emissionen von LKW und PKW)
- State (S): Geräuschimmissionen, die aus den unter (P) erfassten Emissionen resultieren (Bsp.: Geräuschbelastung durch Straßen- und Schienenverkehr).
- Impact (I): Schutzgutbezogene, negative Wirkungen der unter (S) erfassten Immissionsituation (Bsp.: Aurale Lärmwirkungen auf den Menschen).
- Response (R): Unterschiedlichste Regelungen und Maßnahmen, die in den Bereichen (D), (P) und/oder (S) ansetzen und geeignet sind, die negativen Wirkungen (I) zu mindern bzw. ein weiteres Anwachsen zu verhindern oder zumindest zu begrenzen (Bsp.: Emissions- und Immissionsgrenzwerte, Lärmsanierungsmaßnahmen).

Für das AEEER-Modell können die ersten drei Ebenen Driving Force, Pressure und State übernommen werden. Für die weiteren Ebenen wird hier folgende Zuordnung erarbeitet:

- Exposure (E): Konkrete oder typisierte akzeptorbezogene Belastungen mit Wirkungsrelevanz.

⁵UMWELTBUNDESAMT: Umweltthemenkatalog. (URL: www.umweltbundesamt.de/umweltthemen/kapitel21/E-21-1.htm).

⁶ U. a. BEAUMONT, Jacques und PETITJEAN, Emmanuelle: Driving Force, Pressure and State Indicators. In Technical Meeting on Noise Indicators. Bonn, 2003, S. 13

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

- Risk (R): Schutzgutbezogene, negative Wirkungen der unter (E) erfassten akzeptorbezogenen Belastung mit Abschätzung der kollektiven und / oder individuellen Eintrittswahrscheinlichkeit oder -häufigkeit bei unterschiedlichen Wirkungsintensitäten.

Damit ist ein Rahmenmodell definiert, mit dem sich der Wirkungskreis des Umgebungslärms nachvollziehbar und widerspruchsfrei darstellen lässt. Grundlegende Parameter und Schnittstellen sind in der folgenden Darstellung zusammengefasst.

2.3 DPSIR- und AEEER-Modellierung für den Umgebungslärm

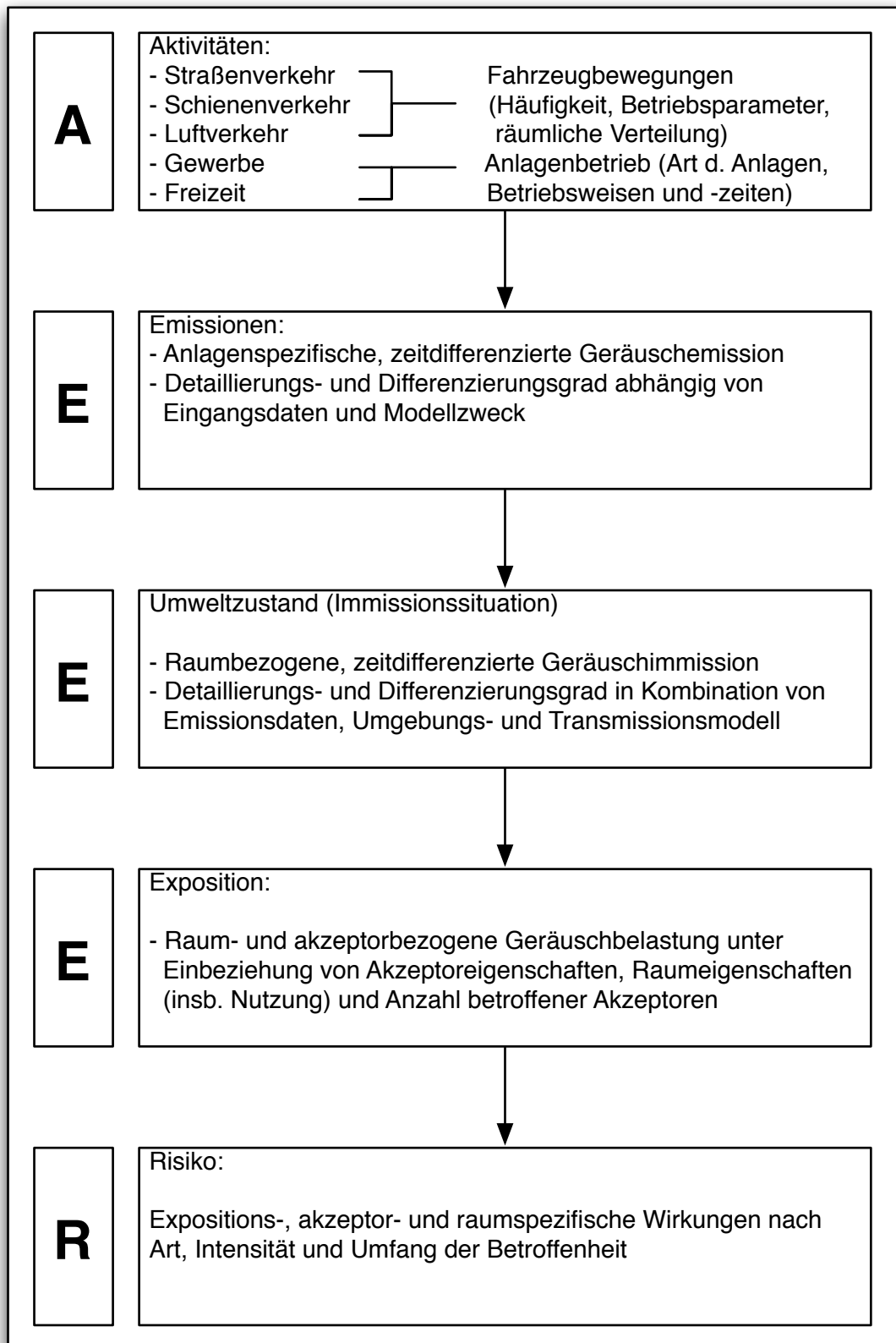


Abbildung 2.1: Grundparameter im AEEER-Modell

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

2.3.2 Teilmodelle, Indikatoren und Schnittstellen

Es ist unverkennbar, dass das allgemeine Umgebungslärmmodell ein derart weites Spektrum potentieller Inhalte und quantitativer wie qualitativer Wirkungszusammenhänge erfasst, dass sich ohne tiefgreifende Differenzierung und Operationalisierung kaum konkrete Erkenntnisse gewinnen lassen. Dieser Spezifikationsbedarf zeigt sich auf allen Ebenen des AEEER-Modells und berührt auch die Frage, mit welchen Parametern und Funktionen die Modellebenen miteinander verknüpft werden. Außerdem kann erst nach einer Spezifikation bestimmt werden, in welchem Umfang und in welchen Bereichen Teilmodelle für Einzelfragen zur Anwendung kommen müssen.

Da durch akustische Messungen nur momentane Ereignisse an bereits bestehenden Anlagen erfasst werden können, die sich in maßgebenden Parametern (für Straßen z. B. Verkehrsmenge, LKW-Anteile, Geschwindigkeit, Verkehrsfluss, meteorologische Bedingungen, bewegliche Hindernisse, Überlagerung durch Fremdgeräusche etc.) laufend ändern und auch Sondereffekten unterworfen sein können, fordern – mit wenigen Ausnahmen – alle raumrelevanten Regelwerke des Immissionsschutzes statt der Messung die Berechnung von Pegeln und verweisen auf oder beinhalten die durchgängige Anwendung mathematisch-physikalischer Berechnungsmodelle, die bei definierter Emission und bekannten Lagegeometrien und Ausbreitungsverhältnissen ortsbezogene Immissionspegel (meist Mittelungs- und Maximalpegel) liefern. Insofern gilt der Geräuschimmissionsschutz als vollständig berechnungsbasiert.⁷

Betrachtet man das abgeleitete AEEER-Umgebungslärmmodell über alle Ebenen, so ergibt sich allerdings ein sehr differenziertes Bild. Zumindest für Bestandssituationen ist - theoretisch, wenn auch mit unverhältnismäßig hohem Aufwand - eine vollständige messdatenbasierte Erfassung möglich. Gleichermäßen theoretisch ist eine vollständig berechnungsbasierte Erfassung, die bereits die der Schallemission zugrunde liegenden Aktivitäten modelliert. Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass die Gesamtmodellierung hybride Vorgehensweisen erfordert, bei denen gemessene Daten mit Berechnungen kombiniert werden. Für die Emissions- und die Transmissionsberechnung, vor allem aber auf der Wirkungsebene kommen außerdem nicht selten empirische Modelle zur Anwendung, die allein oder in wesentlichen Teilen auf typisierenden Messungen basieren, deren Ergebnisse durch die Modellanwendung verallgemeinert werden. Dadurch entsteht beim Gesamtvorgang der Modellierung ein vielschichtiges Zusammenwirken unterschiedlichster Teilmodelle und Messdaten, das ein breites fachliches Spektrum von der Model-

⁷STEINEBACH, GERHARD; RUMBERG, Martin: Planerische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006.

2.3 DPSIR- und AEEER-Modellierung für den Umgebungslärm

lierung geräuschverursachender Aktivitäten (Beispiel: Verkehrserzeugung) über die physische Umwelt (Bebauungs- und Freiraumstruktur) und die Schallphysik (insbesondere Schallemission und -transmission) bis hin zur Modellierung von Lärmwirkungen (soziale, psychologische und medizinische Modelle) umfasst.

Allgemein lässt sich ableiten, dass die fünf Einflussebenen nur im Zusammenhang aussagefähig modellierbar sind. Das bedeutet auch, dass sich Datenstrukturen und -bedarfe wechselseitig beeinflussen. Wird beispielsweise auf der Wirkungsebene ein Kurzzeitindikator der Lärmwirkung (z. B. die Kommunikationsstörung) operationalisiert, so werden dafür Emissions- und Umweltqualitätsdaten mit mikroskopischer zeitlicher und akustischer Auflösung benötigt. Stehen hingegen langfristige Wirkungen (z. B. die Manifestation von Krankheiten) im Fokus der Modellierung, so müssen langfristig gültige Umweltqualitätsdaten zur Verfügung stehen, die allerdings nur deutlich geringeren Detaillierungsanforderungen genügen können. - Ähnliche Abhängigkeiten lassen sich von der Maßnahmenebene ausgehend aufzeigen. So erfordert die Ableitung gesamtträumlich und allgemein wirkender Maßnahmen, z. B. Richt- und Grenzwertformulierungen, grundlegend andere Impact-Modellierungen als die Maßnahmenformulierung für konkrete Gebiete und Grundstücke.

In der folgenden Darstellung sind am Beispiel des Straßenverkehrs die Messungs- und Berechnungsansätze gegenübergestellt, wobei bei der Berechnung eine Differenzierung zwischen explikativen und empirischen Modellen erfolgt. Die Pfeildarstellung zeigt einen dem Stand der Technik entsprechenden typischen Modellierungsablauf für die Erfassung und Bewertung bestehender Situationen, z. B. in der Lärminderungsplanung: Auf Basis gemessener Verkehrsdaten erfolgt eine auf Straßenabschnitte bezogene Emissionsberechnung mit einem empirischen Algorithmus (z. B. nach der Richtlinie RLS-90), die Umsetzung in raumbezogene Immissionspegel erfolgt über einen gemischten Algorithmus, der sowohl physikalische als auch empirische Elemente enthält (z. B. der Ausbreitungsalgorithmus der RLS-90). Die Expositions- und Wirkungserfassung erfolgt dann berechnungsbasiert auf Basis einfacher, empirisch basierter bzw. normativer Modelle. In Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung können sich auch andere Konstellationen und Kombinationen von Messdaten und Modellen ergeben.

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

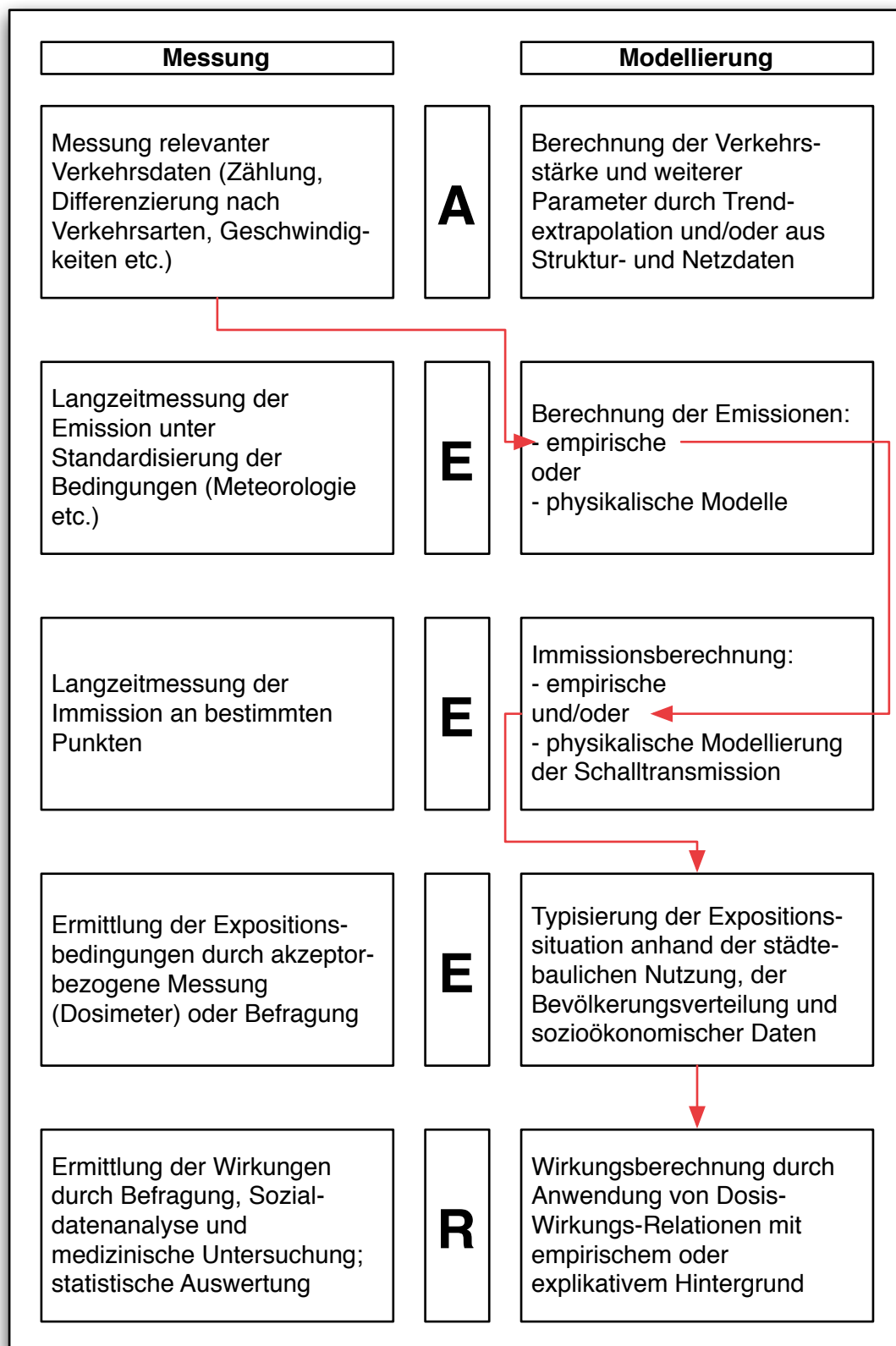


Abbildung 2.2: Messungs- und Berechnungsansätze im AEEER-Modell am Beispiel des Straßenverkehrs

2.4 Modellierung in der Raum- und Stadtplanung

2.4.1 Grundfragen der planerischen Modellierung

Die Konzeption und Verwendung von Modellen unterschiedlicher Art ist nach herrschender Meinung als wesentliches methodisches Element der raumbezogenen Planung anerkannt.⁸ Ausgehend von der Grundanforderung, die jeweilige Planungsaufgabe zu beschreiben, die beeinflussbaren Raumparameter zu identifizieren und mögliche zukünftige Entwicklungen des Raums prognostisch zu erfassen, erscheint es unerlässlich, die komplexen räumlichen Wirkungsgefüge durch Modelle im Sinne vereinfachter, mit einer endlichen Anzahl an Parametern und Wirkungszusammenhängen beschriebenen Repräsentationen der Realität handhabbar zu machen. Die Planung muss dabei - wie andere Disziplinen auch - damit umgehen, dass durch Modelle die Realität nie vollständig beschrieben, sondern nur vereinfacht und näherungsweise erfasst werden kann.

Der Modellbegriff in der raumbezogenen Planung ist sehr unscharf.⁹ Im Zusammenhang dieser Arbeit interessieren insbesondere die sog. formalisierten bzw. quantitativen Modelle, d. h. mathematisch formulierte Systeme von Definitionen, Hypothesen und erkannten Zusammenhängen zur vereinfachten Abbildung der Realität. Die unter dem Begriff 'Modell' subsumierten maßstäblichen baulich-räumlichen Darstellungen können ebenso wie die ebenfalls als Modell bezeichneten Vorbild- und Zielkonzepte hier außerhalb der Betrachtung bleiben.

Quantitative Modelle haben zunächst zum Ziel, bestehende (räumliche) Situationen möglichst präzise abzubilden (deskriptive Modellkomponenten) und zu analysieren (analytische Modellkomponenten).¹⁰ Eine Erweiterung dieser Modelle stellen die Extrapolation in die Zukunft (simulative Modellkomponenten) und die durch Zielfunktionen gesteuerte Untersuchung von Entwicklungsalternativen (Optimierungskomponenten) dar. Dabei dienen Simulationsmodelle vor allem der Prognose des Zustands von relevanten Modellvariablen innerhalb komplexer Wirkungszusammenhänge, während Optimierungsmodelle zwingend mit der Definition von (quantitativen) Parametern einhergehen, anhand derer

⁸ WINKELMANN, Ulrike: Modelle als Instrument der räumlichen Planung. In Methoden und Instrumente räumlicher Planung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1998; BECKMANN, Klaus J.: Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 2005.

⁹ BECKMANN, Klaus J.: Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 2005, S. 657.

¹⁰ WINKELMANN, Ulrike: Modelle als Instrument der räumlichen Planung. In Methoden und Instrumente räumlicher Planung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1998, S. 53.

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

der 'Erfolg' einer Entwicklung gemessen wird. Die Anwendung von Modellen in diesem Sinne sind nach *Beckmann* für die raumbezogene Planung aus folgenden Gründen vorteilhaft:¹¹

- Sie erlauben eine Vereinfachung der Realität durch bewusste, zweckspezifische Vernachlässigung (Präteration) bestimmter Attribute und Wirkungszusammenhänge.
- Sie ermöglichen dem Anwender ein besseres Verständnis und die Möglichkeit zur Erklärung von Funktions- und Wirkungsweisen der Realität, gewähren also Einsichten und erlauben Interpretationen, die in der Realität nicht erschließbar sind. Modelle haben gegenüber der Realität insofern auch zusätzliche (abundante) Funktionen.
- Wenn Simulations- und Optimierungsfunktionen bestehen, können Versuche zum Zweck der Abschätzung potenzieller Wirkungen durchgeführt und deren Erkenntnisse auf reale Zusammenhänge übertragen werden.

Zur Klassifizierung der Grundtypen von Modellen für die raumbezogene Planung existieren verschiedene Konzepte. Dabei werden Modelle unter anderem nach ihrer Genauigkeit oder ihrer zur Beschreibung der Realität benutzten Darstellungs- und Ausgabeoptionen unterschieden. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist der Anwendungszweck. *Beckmann* differenziert in

- deskriptive Modelle mit phänomenologischem sowie struktur- bzw. prozessbeschreibendem Charakter,
- explikative Modelle mit strukturerkennendem sowie struktur- und/oder prozesserklärendem Charakter,
- prospektive Modelle mit vorwiegend prozessbeschreibendem und -erklärendem Charakter zur Abschätzung der Wirkungen von Eingriffen und
- auf Optimierung und Entscheidungshilfe ausgerichtete Modelle, die Ziele und/oder Zielfunktionen beinhalten. Diese setzen in aller Regel das Vorhandensein explikativer, prospektiver und/oder deskriptiver Modelle voraus, die alleine oder in Kombination als Grundlage ausgewertet werden.

¹¹BECKMANN, Klaus J.: Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 2005, S. 657.

2.4 Modellierung in der Raum- und Stadtplanung

Bei allen genannten Modelltypen kann eine Differenzierung zwischen statischen Modellen auf der einen und dynamischen Modellen auf der anderen Seite vorgenommen werden. Statische Modelle beinhalten eine Beschreibung des Bestands und der Verflechtungen zwischen ausgewählten Variablen zu einem definierten Zeitpunkt oder für einen bestimmten Zeitraum.¹² Demnach zeigen und erklären sie lediglich Zustände oder Zustandsveränderungen, ohne hierbei explizit zeitliche Abläufe darzustellen. Die einzelnen Variablen statischer Modelle sind also nicht zeitabhängig. Die Entwicklung alternativer Zustände in der Zukunft kann in Form von Simulationen berechnet werden. Eine statische Simulation erlaubt jedoch keine Aussagen über die Entwicklung selbst, die zwischen der Ausgangssituation und den simulierten Zukunftsalternativen liegt. Dem gegenüber stehen in dynamischen Modellen die endogenen Variablen in einer zeitlichen Beziehung zueinander oder zu bestimmten exogenen Variablen.¹³ Dies bedeutet, dass auf der Basis eines solchen Modells interpretationsfähige Aussagen über Veränderungsprozesse in einer zeitlichen Dimension zwischen verschiedenen, diskreten Zuständen möglich sind.¹⁴

Ein wesentlicher Nutzen der Anwendung von formalisierten (Simulations-)Modellen liegt in der Möglichkeit, mit bestimmten Modellobjekten, die ein Abbild der Realität sind, zu experimentieren. Solche Experimente können gerade im Bereich der Stadtplanung in der Regel nicht am Originalobjekt durchgeführt werden.¹⁵ Im Wesentlichen werden demzufolge mit der Anwendung formalisierter Modelle die folgenden Zielsetzungen verfolgt:

- Vorausschätzung zukünftiger Werte von (endogenen) Variablen,
- Simulation unterschiedlicher Alternativen der zukünftigen Entwicklung,
- Optimierung der Werte bestimmter, planerisch oder politisch interessanter Variablen, ausgehend von einer vorgegebenen Zielfunktion.

Die entscheidende Prämisse für die erfolgreiche Anwendung formalisierter Modelle ist das Vorhandensein ausreichend detaillierter und stabiler (zuverlässiger) Daten. Diese erlauben erst die Definition eines Messprozesses und eine hinreichende Sicherheit in Bezug auf die Vorausschätzung des Verhaltens der exogenen Variablen, welche wiederum die Entwicklung der endogenen Parameter und damit auch die Interpretationsfähigkeit der

¹²PAELINCK, JEAN UND TREUNER, P.: Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1994, S. 652 f..

¹³Ebenda, S. 652f..

¹⁴Ebenda, S. 653.

¹⁵WINKELMANN, Ulrike: Modelle als Instrument der räumlichen Planung. In Methoden und Instrumente räumlicher Planung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1998, S. 53.

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

im Modell gewonnenen Informationen beeinflussen.¹⁶ Neben modellimmanenten Unsicherheiten sind es daher vor Allem defizitäre (d. h. fehlende, veraltete oder nicht hinreichend detaillierte) Eingangsdaten, die die Aussagekraft formalisierter Modelle einschränken. Dies gilt für die Stadtplanung mit ihren vielschichtigen, heterogenen Datenstrukturen in besonderer Weise. Viele Informationen werden nicht systematisch erhoben oder liegen wegen Datenschutz- und Geheimhaltungsanforderungen auf einem (zu) hohen Aggregationsniveau vor. Die Praxis der stadtplanerischen Modellierung ist daher immer wieder mit der Aufgabe konfrontiert, Daten nachzuerheben oder zu rekonstruieren.

2.4.2 Modellierung von Raumnutzungsansprüchen und -konflikten

Ein wesentlicher Gegenstand der Raum- und Umweltplanung ist die fachlich-konzeptionelle Vorbereitung von Raumnutzungsentscheidungen. Dabei stellt die Identifikation der Ansprüche einer Raumnutzung an die natürlichen Lebensgrundlagen und anthropogenen räumlichen Rahmenbedingungen ebenso eine Hauptaufgabe dar wie die Koordination divergierender, sich teilweise auch widersprechender Nutzungsansprüche an den Raum. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, die einerseits zwischen Raumnutzungen und Raum sowie andererseits zwischen benachbarten oder überlagerten Raumnutzungen bestehenden offensichtlichen und latenten Konflikte systematisch zu erfassen und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Eine einfache explikative Modellierung für diesen Zusammenhang führt zu einem Wirkungsgefüge mit den Bestandteilen 'Raum' und 'Raumnutzungen'. Zentraler Parameter sind die Ressourcen, die raumbezogen in endlichem Umfang zur Verfügung stehen und von Raumnutzungen in Anspruch genommen werden. Die auftretenden Konfliktkonstellationen sind regelmäßig von einer Vielzahl multidisziplinärer Einflussfaktoren, hoher Komplexität und mehr oder weniger großen Unsicherheiten gekennzeichnet, so dass zunächst eine grobe Strukturierung sinnvoll erscheint. Raumnutzungskonflikte entstehen zunächst dann, wenn Raumnutzungen direkt um verfügbare Ressourcen konkurrieren. Der offensichtlichste Konflikt dieser Art ist die Flächenkonkurrenz, die dann entsteht, wenn sich Bodennutzungen gegenseitig unmittelbar ausschließen, z. B. Landwirtschaft und bauliche Nutzung. Weitere räumliche Ressourcenkonkurrenzen entstehen um natürliche Ressourcen, z. B. Wasser, ebenso wie um anthropogene räumliche Ressourcen, z. B. Infrastrukturen mit begrenzter Kapazität. - Der zweite wichtige Typus von Raumnutzungskonflikten entsteht durch externe Effekte einzelner Raumnutzungen, also Folgen oder Auswirkun-

¹⁶PAELINCK, JEAN UND TREUNER, P.: Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1994, S. 656.

2.4 Modellierung in der Raum- und Stadtplanung

gen der Nutzungsausübung wie Wasser- und Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Unfallrisiken und anderes. Diese wirken sich dann negativ auf andere Raumnutzungen auswirken, wenn sie deren Raumansprüchen zuwiderlaufen, die Nutzung also stören. Auch dieser Typus lässt sich als Ressourcenkonflikt modellieren, indem die Freiheit eines Raums von Externalitäten anthropogener Nutzungen als begrenzt verfügbare räumliche Ressource definiert wird.

Übertragen auf den Problembereich des Umgebungslärms bedeutet dies, dass die Abwesenheit unerwünschter anthropogener Geräusche als Idealzustand eines Raums gekennzeichnet werden kann, in dem die Ressource - hier: die Ruhe - in vollem Umfang verfügbar ist. Diese Verfügbarkeit wird durch Emissionen von Raumnutzungen, die durch Transmission raumrelevant werden (nämlich als Immissionen), in unterschiedlichem Maße beschränkt. Aus Sicht der räumlichen Planung, deren Aufgabe die Begrenzung und Minimierung der sich daraus ergebenden Konflikte ist, ergeben sich vier fachliche Grundfragestellungen, die methodisch erfasst werden müssen:

1. Zur Sicherung einer geordneten Raumentwicklung, auch zur Sicherung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie der Sicherheit der Bevölkerung i. S. d. § 1 (6) BauGB, müssen in Abhängigkeit von der Raumnutzung Mindestressourcen gesichert werden. Im Lärmschutz wird dies im Allgemeinen durch Vorgabe von Begrenzungswerten (Grenz- und Richtwerten) umgesetzt. Die Genese und Bedeutung solcher Begrenzungswerte ist allerdings sehr heterogen, da in den wenigsten Fällen eine 'objektive' Belastungsgrenze angegeben werden kann, sondern regelmäßig Wertentscheidungen erforderlich sind. Es ist also zunächst zu fragen, welche Belastungsgrenzen gelten sollen und wie diese fundiert werden können.
2. Unterhalb der Begrenzungswerte, die für die räumliche Planung einen grundsätzlich restriktiven Charakter haben, eröffnet sich ein Bereich von Raumnutzungskonflikten, die der Abwägung und Optimierung offenstehen. Zur Eingrenzung dieses Konfliktbereichs nach unten ist es erforderlich, Wirkungs- bzw. Irrelevanzschwellen festzulegen. Auch hier zeigen sich Einschränkungen in der Objektivierbarkeit.
3. Bei Belastungen zwischen Irrelevanzschwelle und Begrenzungswert - also im Konflikt- und Abwägungsraum - ist zu entscheiden, welches Belastungsausmaß emittierenden Raumnutzungen - z. B. gewerblichen Anlagen oder dem Straßenverkehr - zugestanden und damit empfindlichen Raumnutzungen zugemutet wird. Dies setzt eine Auseinandersetzung mit dem Verhältnis aus dem Nutzen der emittierenden Nutzung und dem Schutzanspruch der belasteten Nutzungen voraus und

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

muss auch die Dimension der Anzahl und Ausdehnung betroffener Menschen und Räume einbeziehen.

4. Eine davon abzugrenzende Fragestellung ist diejenige nach der Verteilung von Belastungen im Raum, bei der im wesentlichen Gerechtigkeitsgesichtspunkte zu betrachten sind. Gerade im raumbezogenen Lärmschutz stehen sich dabei die Strategien 'Bündelung' (mit der Auswirkung einer minimierten Betroffenenzahl und starker Polarisierung der Belastung) und 'Verteilung' (mit der Auswirkung einer hohen Betroffenenzahl mit jeweils mäßiger Belastung und geringer Polarisierung) gegenüber.

Diese Grundfragestellungen können nur abgeschichtet beantwortet werden und setzen eine differenzierte Herangehensweise voraus. Vor allem muss stets deutlich gemacht werden, welche Fragestellung jeweils beantwortet werden soll, da die fachlichen Methoden und auch die erforderlichen Wertentscheidungen sehr unterschiedliche Anforderungen stellen. Bezogen auf den Schutz vor Umgebungslärm ist festzustellen, dass diese methodisch notwendige Differenzierung und auch Trennung der Fragestellungen bisher nur sehr eingeschränkt gelingt. Dies mag auch darauf zurückzuführen sein, dass durch das Immissionsschutzrecht praktisch nur die erste Fragestellung (Begrenzungswerte unter Zumutbarkeitsgesichtspunkten) aufgegriffen wird, während die übrigen Fragestellungen nicht oder nur fragmentarisch betrachtet und dabei auch vermischt werden.

2.4.3 Raumbezug der Umgebungslärmbelastung

Alle in diese Arbeit einbezogenen Emittenten unterliegen - teilweise begrenzt - der Steuerung durch die raumbezogene Gesamt- und Fachplanung. Der Umgebungslärm ist damit planungssystematisch als direkte Folge der i. d. R. durch Planungs- und Genehmigungsverfahren legitimierten Bodennutzungen zu identifizieren. In der raumbezogenen Planung sind Umgebungsgeräusche damit als Auswirkungen bestimmter Nutzungen auf andere Flächen und Bodennutzungen darstellbar. Für die geräuschrelevanten Bodennutzungen sind charakteristische Funktionen erkennbar, die die Geräuschemission bestimmen. So sind beispielsweise für Straßen deren verkehrliche Aufgaben im Siedlungsraum, die nach Art und Geschwindigkeit zulässigen Verkehre und die vom Erschließungs- und Verbindungsgrad abhängige Inanspruchnahme durch die Verkehrsteilnehmer emissionsbestimmend. Ähnliches lässt sich auch für die übrigen Emittenten von Umgebungsgeräuschen darstellen.

Geräuschemissionen sind insoweit Gegenstand räumlicher Planungen, als mit einer als zulässig geplanten emittierenden Bodennutzung Geräuschauswirkungen auf das Um-

2.5 Grundprämissen der integrierten Umgebungslärmmodellierung

feld im Sinne der Beeinträchtigung dort bestehender oder ebenfalls geplanter Bodennutzungen entstehen können - subsummiert mit dem Begriff 'Umgebungslärm'. Damit kann aus der Nutzungskonkurrenz das Nutzungspotential benachbarter Flächen eingeschränkt werden. Die planerische Konfliktbewältigung erfordert es, die mit einer Bodennutzung verbundene Geräuschemission zu erfassen und zu regulieren. Unabhängig davon, ob und wie sich dies in späteren anlagenbezogenen Genehmigungen oder Widmungen niederschlägt oder niederschlagen kann, wird dem Grunde nach bei allen raumbezogenen Konzepten mit Geräuschkonflikten eine Kontingentierung der Nutzungsintensität nach diesen charakteristischen Funktionen vorgenommen. Dabei erfolgt entweder eine Bewegungsbegrenzung der Anlage oder eine Verteilung der Nutzungsintensität des Bodens im Raum. Bei Industrie- und Gewerbegebieten sind verbindliche Kontingentierungen in der Bauleitplanung möglich, im Luftverkehr Bewegungskontingentierungen auf der Basis der luftverkehrsrechtlichen Genehmigungen. Im Straßen- und Schienenverkehr basiert die 'planerische Kontingentierung' auf Prognosen der Verkehrsbelastung, die zwar nicht verbindlich sind, aber mittel- und langfristig die von der Anlage tatsächlich zu erwartenden Belastungen wiedergeben sollen und die Basis für die Bemessung von Abständen und die Dimensionierung von Schutzmaßnahmen sind. Nicht prognostizierte deutliche Überschreitungen deuten auf Prognose- oder Planungsfehler bzw. nicht vorhersehbare Entwicklungen hin.

2.5 Grundprämissen der integrierten Umgebungslärmmodellierung

2.5.1 Akzeptor-, Raum- und Nutzungsbezug

Die Systematik der vom Bundes-Immissionsschutzgesetz erfassten negativen Wirkungen von Immissionen ist vollständig 'auf den Menschen' gerichtet. Daraus wird fast übereinstimmend der 'akzeptorbezogene Ansatz' des BImSchG geschlussfolgert.¹⁷ Die Umsetzung dieses Akzeptorbezugs gestaltet sich jedoch schwierig, da das Immissionsschutzrecht hauptsächlich anlagenbezogene Regelungen trifft. Darüber hinaus ist der Akzeptorbezug des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zwar abstrakt erkennbar, aber nicht explizit mit fachlichen Vorgaben versehen. So bleibt unbestimmt, von welchen Akzeptoreigenschaften ausgegangen werden muss, ob und inwieweit z. B. die besondere Vulnera-

¹⁷DOLDE, Klaus-Peter: Rechtliche Aspekte einer Gesamtlärbetrachtung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 48 Mai 2001, Nr. 5; STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003 u. v. a..

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

bilität von Individuen und Gruppen vom BImSchG mit erfasst ist. Der durch Gutachten und Rechtsprechung geprägte Begriff des 'durchschnittlichen, repräsentativ verständigen Menschen'¹⁸ ist in diesem Zusammenhang nur sehr eingeschränkt tragfähig, weil auch ihm klar erfassbare Kriterien fehlen.

Für die risikobezogene Betrachtung wesentlich bedeutender ist die mit dem Akzeptorbezug grundsätzlich verbundene Orientierung an personenbezogenen Immissionen. Eine im engeren Sinne akzeptorbezogene Bewertung von Immissionen und ihren Wirkungen setzt die Kenntnis der in Gesamtheit auf den Akzeptor einwirkenden Immissionen - darstellbar als Dosis - voraus. Gerade im Hinblick auf die räumlich und zeitlich sehr stark differenzierte Geräuschbelastung ist dies nicht umsetzbar. Menschen sind in hohem Umfang mobil, sowohl kurzfristig (d. h. im Tages- und Wochenverlauf) als auch langfristig (z. B. durch Wohnortwechsel). Sie verhalten sich darüber hinaus hochgradig adaptiv, d. h. sie passen ihr konkretes Verhalten vielfältig und soweit möglich den Umweltgegebenheiten an. Die Geräuschbelastung dürfte hier keine Ausnahme darstellen. So ist beispielsweise festzustellen, dass an Hauptverkehrsstraßen ein großer Teil der Anwohner, denen die Möglichkeit dazu gegeben ist, ihr Schlafzimmer an der lärmabgewandten Seite einrichten. Es ist insofern außerordentlich schwierig und letztlich unmöglich, Immissionen tatsächlich akzeptorbezogen zu bestimmen. Es muss daher regelmäßig auf den Raum- und Nutzungsbezug zurückgegriffen werden, der maßgeblichen Bezugsebene für die Berechnung und Prognose physikalischer Geräuschimmissionen. Damit verbundene Unschärfen der Modellbildung sind eindeutig, aber systemimmanent und nicht vermeidbar.

Um raumbezogene Immissionsdaten sinnvoll für die Abschätzung von Wirkungen nutzen zu können, muss ein Akzeptorbezug indirekt durch Verknüpfung von Akzeptor und einem Raum, z. B. dem Wohnort des Akzeptors, hergestellt werden. Damit entsteht eine - aus der Ökologie bekannte - Habitatbetrachtung, d. h. raumbezogene Immissionen werden als Qualitätsminderungen bzw. -veränderungen des menschlichen Lebensraums interpretiert. Die Übertragung auf den Akzeptor erfordert in jedem Fall eine antizipierende und weitgehend standardisierte Betrachtung des Nutzungsverhaltens und der daraus resultierenden Nutzungsansprüche, besonders an die Umweltqualität. Dass eine derart strukturierte Betrachtung nicht allen Akzeptoren gerecht werden kann, leuchtet unmittelbar ein. Es ist vielmehr erforderlich, für Gebiete und ihre Nutzung typisierende Vorgaben zu machen, anhand derer Qualitätsbeurteilungen vorgenommen werden können.

Im Zentrum des raumbezogenen Lärmschutzes steht die Wohnnutzung als hervorgehobene und besonders empfindliche Raumnutzung. Ganz offensichtlich ist das die Emp-

¹⁸ JANSEN, Gerd und KLOSTERKÖTTER, W.: Lärm und Lärmwirkungen - Ein Beitrag zur Klärung von Begriffen. Bonn: Bundesministerium des Innern, 1980.

2.5 Grundprämissen der integrierten Umgebungslärmmodellierung

findlichkeit des Gebiets prägende Spektrum der Nutzungsansprüche, die an Wohngebiete gestellt werden, außerordentlich groß. Außerdem unterliegt es zeitlichen Veränderungen, insbesondere im Tages- (Tag - Nacht) und im Wochenrhythmus (Werktage - Feiertage), aber auch im Zyklus der Jahreszeiten. Methodisch kann damit auf unterschiedliche Weise umgegangen werden. Entweder es werden normativ-wertende Setzungen vorgenommen, oder es wird versucht, die Nutzungsansprüche und ihre zeitliche Struktur empirisch zu erfassen und auszuwerten. Ein repräsentatives Beispiel für die dabei entstehenden Schwierigkeiten ist die Festlegung des Nachtzeitraums. Dieser wird für Wohngebiete nutzungs- und wirkungsseitig mit der Tätigkeit 'Schlafen' belegt, so dass sich Beurteilungs- und Schutzkonzepte daran orientieren müssen, dass ein erholsamer und gesunder Schlaf möglich ist. Im deutschen Regelwerk wird allgemein von einem schlafrelevanten Nachtzeitraum vom 22-6 Uhr ausgegangen. Es ist jedoch einleuchtend, dass damit allenfalls die Mehrzahl, nie aber alle Akzeptoren erfasst sein können - der tags schlafende Schichtarbeiter bleibt bei der Betrachtung ebenso außen vor wie das Kleinkind. Noch schwieriger wird die Beurteilung der Empfindlichkeit am Tage. Hier sind sowohl Personengruppen mit Ruhe-, Erholungs- und Konzentrationsbedürfnis festzustellen als auch Personen, die sich im Tageszeitraum nicht oder nur kurzzeitig an ihrem Wohnort aufhalten und entsprechend geringe Schutzbedürftigkeit haben.

Es entsteht aus der Frage 'Wie reagiert ein Mensch auf eine bestimmte Belastung am Wohnort?' also zunächst das Erfordernis, zwischen individuellen und kollektiven Gegebenheiten zu differenzieren. Die individuelle Reaktion ist auf Grund der vielen unwägbareren Abhängigkeiten und Kasualismen kein geeignetes Kriterium für die Bearbeitung in der räumlichen Planung. Vielmehr wird es erforderlich, einen allgemeineren Bezug zu suchen, der in der Regel durch Orientierung an einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe gesehen wird. So ergibt sich als modifizierte Fragestellung: 'Welche Reaktionen auf eine Lärmbelastung am Wohnort lassen sich besonders häufig beobachten und verallgemeinern?' Mit dieser Herangehensweise werden die Individualitäten aus der Betrachtung herausgenommen, wodurch Rückschlüsse auf das Individuum und Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge nicht mehr möglich sind. Aus dem Regelwerk des Immissionschutzes ist die Differenzierung der Empfindlichkeit von Immissionsorten lange bekannt. Herausgehobenes Beispiel dafür ist die u. a. in der TA Lärm, der 16. und 18. BImSchV und der DIN 18005 enthaltene sog. 'Immissionsschutzstufe', unter der eine Abstufung ortsbezogener Immissionsricht- und grenzwerte in Abhängigkeit von der bauplanungsrechtlich definierten Gebietsnutzung (5 dB(A)-Schritte) verstanden wird. Derartige Konzepte können bei der wirkungsorientierten Modellierung nicht undifferenziert übernommen werden, weil ihnen kein nachvollziehbarer Wirkungsstandard zugrunde liegt und ihnen die wissenschaftliche bzw. empirische Begründung fehlt. Bei der Modellierung des Umgebungslärms

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

stellt sich dennoch die Frage, ob ortstypische Merkmale das Auftreten von Lärmwirkungen beeinflussen und wie dies zielführend modelliert werden kann. So könnte sich bei wirkungsseitiger Betrachtung zeigen, dass die Ortsüblichkeit eine große moderierende Wirkung hat oder davon ausgegangen werden kann, dass sich z. B. in Kerngebieten weniger lärmempfindliche Menschen ansiedeln als in reinen Wohngebieten. Man mag beiden Aussagen eine gewisse Plausibilität zusprechen, denen aber zunächst der empirische Beleg fehlt.

Aus den Darlegungen zum Raum- und Akzeptorbezug ist jedenfalls zu schlussfolgern, dass es bei den vorzunehmenden Immissionsbeurteilungen im Ergebnis nicht allein auf die Erfassung akustischer Bedingungen - dargestellt durch Beurteilungspegel - ankommt, sondern um die mit ihnen verbundenen Wirkungen auf den Menschen. Es ist daher auch nicht problemadäquat, die Frage der Beurteilung von Umgebungslärmimmissionen auf die Suche nach stabilen Summationsalgorithmen für verschiedenartige Geräuschpegel zu fokussieren oder gar zu beschränken. Vielmehr ist in Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Wirkung zu diskutieren, ob und mit welchem systematischen Zusammenhang sich im Zusammenwirken verschiedenartiger Geräusche spezifische Effekte ergeben. Daraus kann sich beispielsweise bei der Wirkung 'Schlafstörung' eine gänzlich andere Funktion ergeben als bei der Wirkung 'Belästigung'. Auch ist zu berücksichtigen, dass bestimmte Wirkungen möglicherweise nicht mit den für andere Wirkungen gängigen Geräuschdeskriptoren, z. B. Mittelungspegeln, beurteilt werden können, sondern speziellerer Deskriptoren bedürfen.

2.5.2 Risikoorientierung

Anders als in einigen europäischen Nachbarländern ist der Immissionsschutz in Deutschland wesentlich von deterministischen Betrachtungsweisen und Methoden geprägt, bei denen eindeutige und 'scharfe' Ursache-Wirkungs-Schwellen zur Basis von Beurteilungen gemacht werden. Eine Basis der Anwendung dieses Konzepts auf Lärm ist die Hypothese, die Reaktionen eines 'durchschnittlichen, repräsentativ verständigen Menschen'¹⁹ (s.o.) auf definierte Lärmsituationen seien berechenbar und gleich oder zumindest ähnlich. Dies ist letztlich der Grundmechanismus der meisten immissionsschutzrechtlichen Regelungen in Deutschland, die ein gebietsbezogenes Nutzungsprofil und daraus typische Reaktionen auf Lärm definieren. Diese sind dann Basis für Immissionsbegrenzungen.

¹⁹ JANSEN, Gerd und KLOSTERKÖTTER, W.: Lärm und Lärmwirkungen - Ein Beitrag zur Klärung von Begriffen. Bonn: Bundesministerium des Innern, 1980.

2.5 Grundprämissen der integrierten Umgebungslärmmodellierung

Ausgehend von dieser Situation ergeben sich in Planungs- und Zulassungsverfahren sowie nachgelagerten gerichtlichen Auseinandersetzungen immer wieder Diskussionen um Grenzwertfestlegungen für bestimmte Wirkungen. Eine häufige Frage lautet: 'Bei welchem Pegelwert liegt die Grenze zur Gesundheitsgefahr?'. Diese Frage verkennt die Vielschichtigkeit und Varianz der zu beobachtenden Reaktionen auf nominell gleich intensive raumbezogene Umgebungslärmimmissionen im Bevölkerungskollektiv. Dies ist zum einen das Ergebnis der auch bei gleicher raumbezogener Geräuschimmission sehr unterschiedlichen akzeptorbezogenen Belastung, die bereits dargelegt wurde. Grundlegende Differenzen können schon aus der Wohnort-Arbeitsort-Kombination resultieren und durch örtliche Gegebenheiten, z. B. die Bau- und Freiraumstruktur der Grundstücke, noch verstärkt werden. Es ist aber auch von erheblichen individuellen Unterschieden auszugehen. Die ad hoc-Kommission 'Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland' stellt beispielsweise fest, dass beim Lärm, vergleichbar zu Gerüchen, neben einer mit toxischen Wirkungen vergleichbaren Adversität, eine individuelle qualitative Adversität hinzukommt, da Lärm sensorisch wahrgenommen werden kann und Informationen enthält, die positiv oder negativ von den Exponierten bewertet werden.²⁰ Mit Ausnahme von Gehörschädigungen, die offensichtlich mit einer klaren (vom Umgebungslärm in aller Regel aber nicht erreichten) Expositions-Wirkungs-Schwelle belegt werden können, sind vor allem systemische Wirkungen durch Stress in Folge lärminduzierter Kommunikations-, Konzentrations- und Schlafstörungen oder Belästigung zu beobachten. Der Stress - so die Risikokommission - hängt nicht nur von der Lärmintensität, sondern auch von einer qualitativen Beurteilung des Lärms durch die belastete Person ab. So ist es erklärbar, dass - auch bei 'repräsentativ verständigen Durchschnittsmenschen' - sehr unterschiedliche adverse Folgewirkungen zu beobachten sind.

Für die Modellierung des Wirkungskreises Umgebungslärm bedeutet dieser Befund eine wesentliche Herausforderung. Es ist für die meisten Wirkungen nicht möglich, einer Lärmimmission einen allgemein gültigen Wirkungs-Endpunkt (beispielhaft: 'Ein Mittelungspegel von 60 dB(A) tags entspricht einer starken Belästigung der durchschnittlichen Wohnbevölkerung.')

Vielmehr ist als zusätzliche Dimension die Eintrittswahrscheinlichkeit der betrachteten Wirkung in der Bevölkerung einzubeziehen, was sich in eher unscharfen Relativaussagen wie 'Ein Mittelungspegel von 60 dB(A) tags führt gegenüber 50 dB(A) zu einem signifikanten Anstieg der Anzahl der stark belästigten Personen in der Wohnbevölkerung.' Es ist in dieser Situation besonders bedeutsam, Instrumente und Expositionsmaße zu entwickeln und zu definieren, die eine möglichst 'objektive' Beurtei-

²⁰ RISIKOKOMMISSION: Abschlussbericht der Risikokommission. Salzgitter: ad hoc-Kommission Neuordnung der Verfahren und Strukturen im Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland", 2003, S. 27 f..

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

lung unter Berücksichtigung des subjektiven Wahrnehmungsspektrums ermöglichen. Für unterschiedliche Lärmqualitäten bedarf es dann möglicherweise unterschiedlicher Risikoabschätzungen und eines mehrdimensionalen Bewertungssystems.²¹ So werden auch die räumliche Planung und das Umweltrecht zunehmend mit dem Anspruch des risiko-adäquaten Umgangs mit Umweltbelastungen anstelle einer starren Anwendung fixierter Standards konfrontiert.

2.5.3 Quellenübergreifender Ansatz

Der akzeptor- bzw. raum- und nutzungsbezogene Ansatz erfordert gegenüber der im Immissionsschutzrecht verfestigten anlagenbezogenen Betrachtung eine Sichtumkehr hin zu einer quellenübergreifenden, immissions- und wirkungsorientierten Betrachtung. Diese fordert die Einbeziehung aller zum Umgebungslärm zählenden Immissionen, die auf einen Ort einwirken und relevante Wirkungen auf den Menschen auslösen bzw. zu solchen beitragen können.

In der Fachdiskussion wird dies oftmals als notwendige Abkehr von Einzelquellenbetrachtungen bezeichnet. Diese Sichtweise verkennt, dass Minderungsmaßnahmen vornehmlich an den Einzelquellen ansetzen müssen, dass also immer auch eine analytische Komponente zu den Einzelquellen vorhanden sein muss. Auch wenn dies nicht unmittelbar plausibel erscheint, eröffnet sich erst bei einer systematischen Gesamtbetrachtung aller relevant auf einen empfindlichen Immissionsort einwirkenden Geräusche die Möglichkeit, den Einfluss einer Einzelquelle auf die Belastungssituation dieses Immissionsorts zu erfassen. Geräuschbelastungen mehrerer Quellen sind in keinem Fall linear addierbar, sondern folgen (bei Betrachtung von Dezibel-Pegeln) logarithmischen bzw. (bei wirkungsbezogener Betrachtung) deutlich komplexeren quantitativen Zusammenhängen. Im Ergebnis dessen ist es in der Regel nicht ausreichend, geräuschrelevante Maßnahmen - seien sie ent- oder belastend - isoliert zu bewerten. So sind in der Praxis der Verkehrswegeplanung, die ausgehend von der 16. Bundes-Immissionsschutzverordnung besonders in der anlagenbezogenen Betrachtung verhaftet zu sein scheint, immer wieder verzerrte (deutlich zu optimistische) Einschätzungen der Lärm-Entlastungswirkungen z. B. von Umgehungsstraßen festzustellen. Diese sind - neben nicht eintretenden Verkehrsverlagerungen - auch darauf zurückzuführen, dass andere auf die zu entlastenden Immissionsorte einwirkende Geräusche aus anderen Straßen, aber auch Schienenwe-

²¹ RISIKOKOMMISSION: Abschlussbericht der Risikokommission. Salzgitter: ad hoc-Kommission Neuordnung der Verfahren und Strukturen im Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland", 2003, S. 27 f..

2.5 Grundprämissen der integrierten Umgebungslärmmodellierung

gen, Luftverkehr und Gewerbe, nicht in die Betrachtung einbezogen werden. So kann es zu unvollständigen oder ganz ausbleibenden Entlastungen kommen.

Zur methodischen Lösung dieses Problems ist ein quantitatives Verfahren erforderlich, das es ermöglicht, ausgehend von der Gesamtgeräuschbelastung in einem Untersuchungsgebiet den Beitrag jeder Einzelquelle zu dieser Belastung wirkungsbezogen zu erfassen und über Differenzmodellierungen (Was-wäre-wenn-Betrachtungen) die belastungsbezogene Wirksamkeit von Veränderungen an diesen Einzelquellen zu quantifizieren und darzustellen. Ein solches Verfahren kann - ausgehend von den ermittelten Belastungsbeiträgen - perspektivisch auch für die Kostenzuordnung bei Minderungsmaßnahmen in komplexen Belastungssituationen fortentwickelt werden. Die verursacherbezogene Belastungszuordnung steht in engem Zusammenhang mit der Beurteilung der Effizienz von Minderungsmaßnahmen. Die quellenübergreifende Betrachtung ist also nicht mit einer quellenneutralen Betrachtung gleichzusetzen, vielmehr muss für jede Einzelquelle eine nachvollziehbare Überprüfung erfolgen. Besonders kritisch ist dabei die Festlegung von Irrelevanzschwellen. Zunächst liegt es nahe, die Existenz solcher Grenzen zu bestreiten. Bei näherer Betrachtung wird aber deutlich, dass es schon aus Gründen der Praktikabilität erforderlich ist, Irrelevanzschwellen zu definieren, zumal (siehe hierzu auch die Darstellungen in Kap. 4) die Prognose der Geräuschemissionen 'sehr kleiner' Quellen, z. B. sporadisch genutzter Erschließungsstraßen oder privater Einzelstellplätze auf Privatgrundstücken, schwierig und großen Unsicherheiten unterworfen ist. Zur Operationalisierung des Vollständigkeitsbegriffs sind vor Allem folgende Kriterien zu erwägen:

- Wirkungsmerkmale der verursachten Geräuschemissionen: Bei ergebnisorientierter Betrachtung ist es naheliegend, für die Abgrenzung allein Wirkungsmerkmale heranzuziehen. Dazu ist es aber erforderlich, im Vorhinein abzuschätzen, ob eine Quelle relevant zu einer untersuchten Lärmwirkung beitragen kann oder nicht. Die Abschätzung setzt voraus, dass die zur späteren Beurteilung herangezogenen Dosis-Wirkungs-Funktionen bereits bekannt sind. Es handelt sich also um einen Prozess mit strenger 'Einheitlichkeit von Ermittlungs- und Bewertungsverfahren'. Sollen mehrere Wirkungen beurteilt werden, muss die Auswahl der einbezogenen Quellen abdeckend sein, d. h. die Vereinigungsmenge der für die Einzelwirkungen relevanten Quellen darstellen.
- Akustische Merkmale der Quelle bzw. der durch sie verursachten Geräuschemissionen: Als akustische Merkmale der Quelle können insbesondere Emissions- oder Immissionspegel herangezogen werden. Da kein unmittelbarer Wirkungsbezug hergestellt werden kann, kommt die Anwendung akustischer Merkmale nur für gering

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

emittierende Quellen in Frage, die sicher unterhalb relevanter Wirkungsschwellenwerte liegen.

- Raumbezogene Merkmale: Zentraler Aspekt raumbezogener Relevanzbeurteilungen ist die Vorbelastung durch gleichartige Quellen. So leuchtet es sofort ein, dass es nicht ergebnisrelevant sein kann, einen unmittelbar autobahnparallel verlaufenden Feldweg in die Modellierung des Straßenverkehrslärms einzubeziehen. Ausgehend von diesem Extrembeispiel ergeben sich aber durchaus problematische Einzelfälle, und zwar vor allem dann, wenn die Relevanz von Quellen in komplexen Ausbreitungsgeometrien vorgenommen wird und viele Immissionsorte, ggf. mehrere je Grundstück, betrachtet werden sollen.
- Immissionsschutzrechtlich geprägte Kriterien: Der Erheblichkeitsbegriff des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist für die Abgrenzung dabei nicht weiterführend, weil er - da eher normativ-wertend zu verstehen - im Kontext quantitativer Betrachtungen kaum operationalisierbar ist. Außerdem birgt er das systematische Risiko von Fehlschlüssen, da ein wesentliches Merkmal 'erheblicher' Gesamtbelastungen gerade in der Kumulation 'nicht-erheblicher' Einzelbelastungen liegen kann. Auch das der 16. BImSchV zu entlehrende sog. 3 dB(A)-Kriterium ist nicht heranzuziehen.
- Anlagenmerkmale: Eine Abgrenzung über Anlagenmerkmale - also formale Kriterien oder Betriebsparameter - ist im praktischen Vollzug besonders einfach, da nicht auf akustische Merkmale und Umgebungsparameter abgestellt werden muss, sondern die Einbeziehung sich unabhängig von externen Einflüssen allein über die Anlage bestimmen lässt. So ist es beispielsweise für den Straßenverkehr sehr einfach, Kriterien wie den durchschnittlichen Tages- oder Jahresverkehr, die zulässige Höchstgeschwindigkeit oder die straßenrechtliche Widmung als Kriterium für die Einbeziehung in eine Gesamtlärbetrachtung zu definieren. Allerdings kann ein solches Vorgehen fachlich nur dann tragen, wenn die vorgenannten Kriterien mit erwo-gen werden, dass also der Abgrenzung Überlegungen über die damit verbundenen wirkungsbezogenen und akustischen Konsequenzen vorausgehen. Bezogen auf die Zielsetzungen der Umgebungslärmmodellierung ist die Abgrenzung über Anlagenmerkmale zweifelsfrei die fehleranfälligste und am wenigsten plausible Methode. Sie bezieht nicht ein, welche gravierenden Unterschiede sowohl der Emission als vor allem auch der Immission z. B. bei gleichem durchschnittlichem Tagesverkehr entstehen können.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch den quellenübergreifende Ansatz differenzierte Abgrenzungs- und Zuordnungsaufgaben entstehen, für die sich keine eindeutige

Lösung aufdrängt. Es ist somit Aufgabe und Bestandteil des Modellierungsprozesses, die Auswahl von Quellen bzw. die Kriterien für ihre Einbeziehung im Wirkungszusammenhang zu spezifizieren.

2.6 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Die Modellierung des Umgebungslärms und seiner Wirkungen erfordert ein Rahmenmodell, das die wesentlichen Einflussfaktoren systematisch erfasst und strukturiert. Einen wichtigen Anhaltspunkt liefert das von der europäischen Umweltagentur für die Analyse vielfältiger Umweltbelastungen entwickelte Modell 'Driving Forces - Pressure - State - Impact - Response' (DPSIR). Dieses wird in einer für Immissionsfragen weiterentwickelten Form (AEEER (Activities - Emissions - Environmental Quality - Exposure - Risk)) aufgegriffen und auf den Umgebungslärm spezifiziert. Die nähere Betrachtung zeigt, dass die Modellierung des Wirkungskreises Umgebungslärm die Einbeziehung einer Vielzahl heterogener Teilmodelle erfordert, die weitgehend eigenen Paradigmen und Anforderungen folgen. Allerdings bestehen enge Wechselwirkungen zwischen den Modellparametern, so dass die Gesamtmodellierung eine Abstimmung der einzelnen Modellbestandteile aufeinander erfordert und die Qualität und Aussagekraft von Modellen für den Umgebungslärm nur im Zusammenhang aller einbezogenen Teilmodelle von geräuschverursachenden Aktivitäten über die Emission und Transmission bis hin zur Wirkung beurteilt werden kann.

Das erarbeitete Rahmenmodell für den Umgebungslärm ist nicht auf raumbezogene Fragestellungen spezialisiert, sondern umfasst zunächst alle Ebenen der Auseinandersetzung mit dem Umgebungslärm, so auch nicht raumgebundene Gegebenheiten wie die Emissionseigenschaften von Fahrzeugen und technischen Anlagen. Um die für die Disziplin Stadtplanung relevanten Modellierungsaspekte herausarbeiten zu können, ist es daher erforderlich, den Raumbezug des Umgebungslärms näher zu untersuchen. Dies geschieht durch Spezifizierung des Begriffs der Geräuschquellen auf raumgebundene, raumbedeutsame und der koordinierenden räumlichen Gesamtplanung auf überörtlicher und örtlicher Ebene unterliegenden Anlagen sowie durch die Modellierung von Beeinträchtigungen durch den Umgebungslärm als Raumnutzungskonflikte. Die integrierte Betrachtung der Umgebungslärmsituation, die sich von der im Immissionsschutz üblichen sektoralen Betrachtung unterscheidet, löst fachliche Anforderungen aus, die mit dem Akzeptor-, Raum- und Nutzungsbezug beschrieben werden können. Die integrierte Betrachtung erfordert weiterhin einen risikoorientierten und quellenübergreifenden methodischen Ansatz, der vielfältige Fragestellungen auslöst, die sowohl unter geräuschbezogenen Gesichtspunkten als auch im Wirkungskontext betrachtet werden müssen.

2 Umgebungslärm als Modellierungsgegenstand

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

Das folgende Kapitel analysiert die im deutschen und europäischen Lärmschutzrecht angewandten Modelle zur Bestimmung und Regulierung der Umgebungslärmbelastung. Dazu erfolgt zunächst ein strukturierender Überblick über die in Deutschland auf mehrere Rechtsbereiche verteilten Regelungen, darauf aufbauend werden die relevanten Normen betrachtet. Dabei wird weder auf rechtstheoretische noch auf anwendungspraktische Aspekte eingegangen, sondern die Betrachtung beschränkt sich auf die Zuordnung der Regelungen zu den unter Kapitel 2 abgegrenzten Modellebenen und ihren Verflechtungen. Breiteren Raum nimmt die Befassung mit dem rechtlichen und methodischen Hintergrund sowie den Inhalten der Umgebungslärmrichtlinie ein, deren Einbindung und Umsetzung in das deutsche System des anlagen- und raumbezogenen Immissionsschutzes dargestellt wird. Soweit dies bereits möglich ist, wird die Neuregelung des § 47a-f BImSchG und die Lärmkartierungsverordnung aufgenommen und im Hinblick auf die Umgebungslärm ausgewertet. Dabei ist neben den fachlichen Vorgaben zu den Erhebungs- und Berechnungsmethoden vor allem in den Blick zu nehmen, für welche Umgebungslärmquellen Kartierungspflichten bestehen, welche Relevanzgrenzen dafür gelten und wie vollständig vor diesem Hintergrund die Lärmkartierung nach § 47b BImSchG in den Stufen 2007 und 2012 ist. Eine relevante Fragestellung in diesem Zusammenhang ist außerdem, ob und in welchem Maße die Umgebungslärmrichtlinie bzw. die erfolgte Umsetzung in das deutsche Immissionsschutzrecht unter Modellierungsgesichtspunkten zu bewerten ist.

3.1 Grundlinien des Lärmschutzrechts in Deutschland

3.1.1 Struktur

Das deutsche Lärmschutzrecht ist wie das Immissionsschutzrecht im Allgemeinen grundsätzlich als Abwehrrecht angelegt und hat sich aus dem Gewerbepolizeirecht entwickelt. Es dient im Wesentlichen dem Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen (hier durch Geräusche) und orientiert sich am Verursacherprinzip. Die akzeptor- und gebietsbezogene, integrierte Sicherung der Umweltqualität – hier der Ruheschutz – kommt erst jetzt allmählich ins Blickfeld der rechtlichen Regulierung. Ausgehend von der

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

Grundfunktion 'Abwehr schädlicher Einwirkungen' hat sich im Laufe der Jahrzehnte eine sektorale Betrachtung nach Anlagen und Lärmarten entwickelt. Bereits seit über 100 Jahren existieren Regelungen im Bereich des Gewerbe- und Industrielärms. Andere Geräuscharten sind in späterer Zeit mit jeweils eigenen, am damaligen Stand der Technik und Forschung sowie den Umsetzungsgegebenheiten orientierten, individuellen Regelwerken nach und nach hinzugekommen. Eine Regelung der raum- und akzeptorbezogenen Gesamtbelastung durch Geräusche fehlt bislang vollständig.¹ Durch die insgesamt heterogene Struktur lärmschutzbezogener rechtlicher Regelungen ist es erforderlich, die Betrachtung inhaltlich zu differenzieren. Sinnvoll erscheint eine Unterscheidung in:

- Produktbezogene Regelungen, die ohne konkreten Raum- und Betriebsbezug Anforderungen an geräuschemittierende Produkte, insbesondere Fahrzeuge und Maschinen, definieren.
- Verhaltensbezogene Regelungen, die den Gebrauch von Produkten und das Verhalten regulieren, z. B. durch zeitliche und räumliche Einschränkungen oder Vorgaben zu zulässigen Betriebsweisen.
- Anlagenbezogene Regelungen, die Anforderungen an raumwirksame Anlagen (z. B. Verkehrswege und Betriebsbereiche) formulieren, welche raumabhängig sein können.
- Raumbezogene Regelungen, die sich unabhängig von den einwirkenden Geräuschquellen auf die Immissionssituation an einem Ort beziehen.
- Akzeptorbezogene Regelungen, die Grenzen für die Belastung von Individuen formulieren.

Anders als beispielsweise in der Schweiz, wo durch den Erlass einer einheitlichen Lärmschutzverordnung alle relevanten Vorschriften aus diesen Bereichen in einer gemeinsamen, methodisch weitgehend konsistenten Regelung vereint sind,² verteilen sich die Regelungen in Deutschland über mehrere Rechtsbereiche, die kaum miteinander verzahnt sind.

¹STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003.

²THOMANN, Georg: Lärmbekämpfung in der Schweiz: Grundzüge und Bilanz. Dübendorf (CH): Referat anlässlich der 202. Plenarsitzung des ÖAL, 1999.

3.1.2 Bedeutung und Herleitung von Begrenzungswerten

In vielen Fällen hat sich die Notwendigkeit ergeben, die allgemeinen, oft unbestimmten rechtlichen Anforderungen an den Lärmschutz durch Zahlenwerte zu konkretisieren, d. h. für bestimmte Konstellationen und Gebiete Richt- oder Grenzwerte für die Geräuschbelastung (oder einen Ausschnitt davon) einzuführen.³ Die Schwellenwertsetzung ist, wenn - wie beim Lärmschutz - eindeutige Dosis-Wirkungs-Grenzen fehlen, eine legislative Aufgabe. Da die deutsche Legislative dem nur lückenhaft nachgekommen ist und ihr insbesondere die Kraft für eine einheitliche Regelung über alle Geräuscharten bislang fehlte, existiert im Lärmschutz eine fast unübersehbare Vielfalt an Berechnungs- und Ermittlungsvorschriften, Schwellenwerten unterschiedlicher fachlicher Qualität und rechtlicher Verbindlichkeit, die durch technische Normen und nicht zuletzt durch umfangreiche Rechtsprechung ergänzt werden. Das deutsche Lärmschutzrecht wird daher verschiedentlich als unübersichtlich und ineffektiv kritisiert.⁴

Damit im Zusammenhang steht, dass der Schallschutz wie der Immissionsschutz im Allgemeinen nicht ganzheitlich entwickelt worden ist. Er hat seine Wurzeln im Gewerberecht und zielte dort auf die unmittelbare Gefahrenabwehr im Umfeld von Industrieanlagen. Erst deutlich später gelangte der Verkehr als bedeutende Schallquelle in das Blickfeld des Umweltschutzes. Die schalltechnische Relevanz von Sport- und Freizeitanlagen ist eine Erkenntnis noch späterer Zeit. Jeweils mit zunehmender Bedeutung einzelner Geräuscharten hat der Normgeber mit Vorschriften für gewerbliche Anlagen, für Straßen- und Schienenverkehr sowie für Sport- und Freizeitanlagen reagiert. Diese in Gesetzen, Verordnungen und technischen Anleitungen enthaltenen Regelungen wurden anlagenbezogen entwickelt und beziehen sich jeweils nur auf die betrachtete Quelle und damit auf eine Geräuschart. Sie beinhalten Mess- und/oder Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Beurteilungspegeln, die über den Vergleich mit Schwellenwerten Aussagen im Sinne einer technischen Konkretisierung unbestimmter Rechtsbegriffe – wie erhebliche Belästigungen – ermöglichen. Dadurch wird eine praktikable und jeweils an der Norm orientierte Handhabung gewährleistet. Allerdings weichen die in den verschiedenen Vorschriften enthaltenen Richt- und Grenzwerte erheblich, z. B. bei den Quellenarten Straßenverkehr und

³STEINEBACH, Gerhard: Lärm- und Luftgrenzwerte: Entstehung, Aussagewert, Bedeutung für Bebauungspläne. Düsseldorf: Werner-Verlag, 1987.

⁴Es ist allerdings festzustellen, dass dies keine durchgängige Auffassung ist. So ist klar zwischen der fachlichen und der rechtlichen Sicht zu differenzieren. Während aus rechtlicher Sicht das anlagenbezogene Regelwerk grundsätzlich gut handhabbar ist und auch effektiv erscheint, ist aus fachlicher Sicht festzustellen, dass es bisher nicht gelungen ist, Effekte im Sinne einer durchgreifenden Belastungsverringerung für die Bevölkerung zu erzielen. Dies unterscheidet den Lärmschutz z. B. von der Luftreinhaltung.

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

Gewerbe um bis zu 14 dB(A),⁵ voneinander ab. Hinzu kommt, dass sich neben den Richt- und Grenzwerten auch die zum maßgeblichen Beurteilungspegel führenden Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren (hinsichtlich Beurteilungszeiten, Pegelkriterien etc.) so deutlich unterscheiden, dass eine Vergleichbarkeit im Grunde nicht gegeben ist.⁶

3.2 Modellkonzepte im Lärmschutzrecht

3.2.1 Produktbezogene Regelungen

Produktbezogene Regelungen für Fahrzeuge, Geräte und Maschinen basieren aufgrund der Marktvereinheitlichung durch die Europäische Union in weiten Teilen auf europarechtlichen Regelungen. Die erste relevante Regelung dieser Art mit direkten Auswirkungen auf den Umgebungslärm ist 1970 mit der Richtlinie zur Angleichung der der Rechtsvorschriften über den Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen⁷ erlassen worden. Diese Richtlinie ist in mittlerweile zehn Schritten angepasst und dabei stets verschärft worden, zuletzt 1999, und hat dabei die Geräuschemissionsgrenzwerte für neue PKW, LKW und Busse seit 1972 um mehr als 10 dB(A) reduziert. Ähnliches, wenn auch mit weniger großen Emissionsminderungen, gilt für andere Fahrzeuge, Geräte und Maschinen wie Strahlflugzeuge, Motorräder, land- und forstwirtschaftliche Zugfahrzeuge und im Freien genutzte Maschinen wie Baumaschinen und motorbetriebene Garten- und Reinigungsgeräte.

Für den Straßenverkehr existieren EU-weit genormte Zulassungspegel für PKW, LKW und Motorräder, die die Emission neu zugelassener Fahrzeuge begrenzen. Der Betrieb von Fahrzeugen ist nach der Straßenverkehrsordnung an den Erforderlichkeitsgrundsatz, die Einhaltung der Verkehrsregeln sowie die möglichst weitgehende Vermeidung von Störungen gebunden. Hier existieren jedoch erhebliche Vollzugsdefizite. Zulassungspegel für Schienenfahrzeuge existieren (noch) nicht. Der Betrieb ist i.d.R. fahrplangebunden; rechtliche Vorgaben für eine geräuschoptimierte Fahrplangestaltung sind nicht vorhanden.

⁵Eine derart hohe Differenz tritt (singulär) bei der Beurteilung von Geräuschimmissionen auf reine Wohngebiete zwischen den Regelwerken 16. BImSchV (Straßenverkehr, Grenzwert beim Beurteilungspegel von 49 dB(A)) und TA Lärm (Gewerbe und Industrie, Richtwert beim Beurteilungspegel von 35 dB(A)) auf. Da das Beurteilungsverfahren der TA Lärm deutlich konservativer ist als das der 16. BImSchV, ist die tatsächlich entstehende Immissionsdifferenz noch größer.

⁶STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003.

⁷Richtlinie 70/157/EWG des Rates der EWG vom 6. Februar 1970, ABl. L 42 vom 23.2.1970, S. 16.

Die Regelungen zum Emissionsverhalten von Produkten sind im AEEER-Konzept den Modellebenen Activities (A) und eingeschränkt Emissions (E) zuzuordnen. Sie beeinflussen die Geräuschemissionen indirekt und mit großem Zeitversatz, da jeweils nur neue Produkte erfasst werden und sich Fahrzeugflotten und Geräteparks nur sukzessive über mehrere Jahre erneuern. Eine systematische Verknüpfung von produktbezogenen Emissionsgrenzwerten und Zielen der raum- und akzeptorbezogenen Lärminderung ist nicht erkennbar, da die Regelungen räumlich unspezifisch gelten und in einem Spannungsfeld zwischen technischer Machbarkeit und wirtschaftlichen Auswirkungen ausgehandelt werden.

3.2.2 Anlagenbezogene Regelungen

3.2.2.1 Straßen- und Schienenverkehr

§ 41 BImSchG fordert i. V. m. § 50 BImSchG die verträgliche Zuordnung von Straßen und Schienenwegen zu empfindlichen Nutzungen. Die anlagenbezogene Regulierung von Straßen- und Schienenverkehrswegen ist nach Bestandsstrecken und Aus- bzw. Neubau von Strecken zu differenzieren. Während für Bestandsstrecken keine explizite Regelung existiert, sind für den Aus- und Neubau Grenzwerte eingeführt.

Die 16. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (sog. Verkehrslärmschutzverordnung) gilt nur für den Neubau und die wesentliche Änderung von Fernverkehrswegen des Bundes (zusätzliche durchgehende Fahrstreifen/Gleise, andere erhebliche bauliche Eingriffe mit Anstieg des Beurteilungspegels um mindestens 3 dB(A) oder kleinerem Anstieg des Beurteilungspegels bei Werten von mind. 70 dB(A) (Tag) bzw. 60 dB(A) (Nacht). Sie hat sich als Beurteilungsgrundlage auch für andere Verkehrswege (Landes- und Gemeindestraßen) weitgehend durchgesetzt. Die 16. BImSchV soll mit ihren Grenzwerten die Obergrenze der Akzeptabilität von Geräuschen durch neue Verkehrswege definieren; die Werte sind also – wenn möglich – zu unterschreiten. Andererseits gibt die 16. BImSchV ausdrücklich die Möglichkeit, bei technischer bzw. finanzieller Unverhältnismäßigkeit die Werte sogar zu überschreiten und dies technisch bzw. finanziell zu kompensieren. Für technische Maßnahmen an Gebäuden gilt dann die 24. BImSchV. Bei Beurteilungen auf Grundlage der 16. BImSchV wird die Geräuschsituation stets auf Grundlage einer prognostizierten Verkehrsstärke berechnet.

Dabei werden die Beurteilungspegel an Straßen mittels der in den Anlagen zur Verordnung normierten Rechenverfahren (RLS-90 – Richtlinien für Lärmschutz an Straßen) ermittelt, denen ein vereinfachtes Rechenmodell zugrunde liegt. Es berücksichtigt die stünd-

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

liche Verkehrsstärke (durchschnittliche Spitzenstunde Tag und Nacht, Tagesgang differenziert nach Straßenkategorien), den LKW-Anteil, die zulässige Höchstgeschwindigkeit, die Art der Straßenoberfläche, Steigungen und Gefälle, den Abstand zwischen Schallquellen und Immissionsort, die Boden- und Meteorologiedämpfung und topographische Gegebenheiten. Für die rechnerische Modellierung kommen jeweils generalisierende empirische Algorithmen zum Einsatz. - Das Berechnungs- und Beurteilungsverfahren für den Schienenverkehr (Richtlinie Schall 03 der ehemaligen Deutschen Bundesbahn) berücksichtigt die Fahrzeugarten (insbesondere Art der Bremsen (Klotz- oder Scheibenbremsen)), die Zuggattungen und -geschwindigkeiten, die Zuglängen sowie die Art und den Zustand des Fahrwegs (z. B. Beton- oder Holzschwellen, Gleisüberwachung). Der einzige durch das Verfahren beschriebene Geräuschdeskriptor ist der A-bewertete Langzeit-Mittelungspegel, wobei sowohl das Emissions- als auch das Ausbreitungsmodell erhebliche Vereinfachungen beinhalten. Ein Pegelzuschlag (5 dB(A)) ist für Knotenpunkte an Straßen, ein pauschaler Pegelabschlag (5 dB(A)) für die meisten Schienenwege definiert. Der sich so ergebende Beurteilungspegel wird über den Verkehrsdurchschnitt eines Jahres jeweils für den Tag (6-22 Uhr) und die Nacht (22-6 Uhr) ermittelt. Die Immissionsgrenzwerte gelten für Gebäude und für Außenwohnbereiche. Für Gebäude ist nach RLS-90 die Geschossdecke (0,2 m über Fensteroberkante) der zu schützenden Räume anzunehmen. Bei Außenwohnbereichen liegt der maßgebliche Immissionsort 2 m über der Mitte der genutzten Fläche. Es ergeben sich im Einzelfall erhebliche Abgrenzungsschwierigkeiten.

Die Verkehrslärmschutzverordnung definiert gebietsbezogene Immissionsgrenzwerte (IGW) für Nutzungsgebiete, die sich am deutschen Planungsrecht (BauNVO) orientieren. Diese IGW berücksichtigen jeweils nur die zu beurteilende Anlagen – eine Summenbetrachtung über mehrere Straßen und/oder Schienenwege erfolgt nicht. Damit sichern die IGW auch kein festliegendes Schutzniveau gegen Verkehrslärm, sondern begrenzen nur die Immissionen, die durch neu gebaute bzw. wesentlich geänderte Verkehrswege an einem Immissionsort zur Vorbelastung hinzukommen. Die 16. BImSchV leistet damit nur einen eingeschränkten Beitrag zum Lärmschutz an Landverkehrswegen, zusammenfassend vor allem aus folgenden Gründen:

- Der Anwendungsbereich ist auf die Neuanlage und die wesentliche Änderung von Anlagen beschränkt – eine umfassende Normierung auch für Bestandsstrecken fehlt in Deutschland völlig.
- Selbst bei Neuplanungen oder wesentlichen Änderungen in hochbelasteten Lagen sieht die 16. BImSchV keine Summenbildung vor, d. h. ihre Grenzwerte gelten iso-

liert. Dadurch kann im Einzelfall eine deutlich höhere Gesamtbelastung durch Verkehrsgeräusche entstehen.

- Der Geräuschdeskriptor (prognostizierte langfristige Mittelungspegel an zwei Immissionsorten je Grundstück) ist undifferenziert und liefert insbesondere an Schienenwegen und im Nahbereich verhältnismäßig gering belasteter Straßen ein nur eingeschränkt aussagefähiges Bild der tatsächlichen Geräuschbelastung.
- Die Beschränkung auf rechnerische Prognosen im Vorfeld von Baumaßnahmen und die fehlende Rückkopplung mit dem späteren Betrieb der Anlagen und damit der tatsächlichen Geräuschsituation erschwert die Durchsetzung bei Abweichungen der tatsächlichen Geräuschsituation von der prognostizierten Größenordnung.

Da die Lärmsanierung an Straßen und Schienenwegen rechtlich nicht normiert ist und etliche Fernverkehrswege historisch bedingt im Siedlungskörper verlaufen, sind deutliche Überschreitungen der IGW für an Straßen und Schienenwege häufig zu beobachten. Unmittelbare Minderungspflichten sind rechtlich nicht gegeben. Gleichwohl sind die Baulastträger dem Grunde nach verpflichtet, Verkehrswege so zu betreiben, dass für Anlieger keine erheblichen Gesundheitsgefahren entstehen. Hier kommt es in Einzelfällen zu erfolgreichen Klagen gegen Schienen- und Straßenbaulastträger. Insbesondere der Bund als Träger der meistbefahrenen Strecken ist daher bestrebt, bestehende Defizite durch Lärmsanierung abzubauen. Hierfür werden Prioritätenlisten geführt. Nach der VLärmSchR 97 kommen für die Lärmsanierung insbesondere Abschnitte in Betracht, die mindestens mit Immissionswerten von 70/60 dB(A) (empfindliche Gebiete und Wohngebiete), 72/62 dB(A) (Kern-, Dorf- und Mischgebiete) bzw. 75/65 dB(A) (Gewerbegebiete) belastet sind.

3.2.2.2 Gewerbe- und Industrieanlagen

Die Situation des Schutzes gegen Gewerbelärm ist eine grundsätzlich andere als bei den Straßen und Schienenwegen. Zu regulieren sind keine öffentlichen Infrastrukturen, sondern private Betriebsbereiche. Der Lärmschutz kann damit unproblematisch dem Betreiber als Pflicht im Rahmen des ordnungsgemäßen Anlagenbetriebs zugeordnet werden (sog. Betreiberpflicht). Die besonders beim Straßenverkehr problematische Differenzierung der Adressaten und Verantwortlichkeiten (Baulastträger und Nutzer) tritt hier nicht auf. Der im BImSchG verankerte Lärmschutz im Gewerbebereich wird traditionell in einer Verwaltungsvorschrift, der sog. Technischen Anleitung Lärm, konkretisiert geregelt. Diese gilt sowohl für den Bau als auch den Betrieb gewerblicher Anlagen und erfasst allgemein

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

den gesamten Betriebsbereich einschließlich Nebenanlagen wie Park- und Verladeplätzen.

Die Geräuschsituation wird für Neuanlagen auf Grundlage der Anlagenparameter und einer Betriebsprognose berechnet. Die Berechnungsvorschriften sind in der TA Lärm definiert, wofür Modelle auf Basis internationaler Normen (insbesondere ISO 9613-2 für die Schallausbreitung) herangezogen werden, die deutlich präziser sind als die für den Verkehrssektor nach 16. BImSchV vorgeschriebenen Verfahren. Für die Betriebsüberwachung werden Messungen durchgeführt. Bei Überschreitung der zulässigen Geräuschemission werden im Wege der Gewerbeaufsicht ggf. Minderungsmaßnahmen angeordnet. Die Geräuschdeskriptoren der TA Lärm basieren zwar ebenfalls auf dem Mittelungspegel, sind aber deutlich differenzierter aufgebaut. Der Mittelungspegel, der im Unterschied zur Regelung der 16. BImSchV nicht nur im Jahresmittel, sondern an jedem einzelnen Tag einzuhalten ist, wird ergänzt durch ein Spitzenpegelkriterium und eine Kontingentregelung für besondere Betriebszustände (sog. seltene Ereignisse, < 10 Tage / Jahr). Eine Besonderheit des Beurteilungspegels der TA Lärm sind die Abweichungen von der energieäquivalenten Mittelung in Ruhe- und Nachtzeiten sowie differenzierte Pegelzuschläge für besonders lästige Geräuschcharakteristika, nämlich Zuschläge für Ton- und Informationshaltigkeit (0 bis 6 dB(A)), Zuschläge für Impulshaltigkeit (Taktmaxima; 0 bis 6 dB(A)), Zuschläge für Ruhezeiten (Wohn- und empfindliche Gebiete) (Mo bis Fr 6-7 und 20-22 Uhr + 6 dB(A), Sonn- und Feiertage 6-9, 13-15 und 20-22 Uhr + 6 dB(A)) und ein Zeitblockkriterium für die Nacht, in der der Beurteilungspegel durch die lauteste Stunde (60-Minuten-Intervall zwischen 22 und 6 Uhr) bestimmt wird.

Die Grundanforderung bildet eine nutzungsabhängige Richtwertskala für den oben beschriebenen Beurteilungspegel. Zusätzlich gilt ein Spitzenpegelkriterium: Die Richtwerte dürfen durch Geräuschspitzen um nicht mehr als 30 dB(A) tags und 20 dB(A) nachts überschritten werden. Die Immissionsrichtwerte gelten für Gebäude (Fassaden außen) und für Außenwohnbereiche. Die maßgeblichen Immissionsorte weichen von denen der RLS-90 geringfügig ab (Gebäude: außen 0,5 m vor der Mitte des geöffneten Fensters des am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes). Ein wesentlicher Unterschied zur 16. BImSchV liegt darin, dass der Immissionsrichtwert (IRW) nicht anlagenbezogen, sondern raumbezogen greift. Das bedeutet, dass der IRW für die Summe aller Betriebe gilt, von denen Geräusche auf einen Immissionsort einwirken. Dieser Mechanismus, der bei Neugenehmigungen bestehende Vorbelastungen voll berücksichtigt, bewirkt in Deutschland ein von der Art der baulichen Nutzung des Immissionsorts abhängiges garantiertes Schutzniveau gegenüber Gewerbegeräuschen und zwingt die Planungs- und Genehmigungspraxis zur raumbezogenen Kontingentierung von Gewerbegeräuschen.

3.2.2.3 Sport- und Freizeitanlagen

Zum Schutz vor Geräuschen aus Sportanlagen ist die 18. BImSchV erlassen worden. Sie beinhaltet eine der TA Lärm sehr ähnliche Regelung, die jedoch explizite Richtwerte für die Ruhezeiten (jeweils 5 dB(A) weniger als am Tag) enthält. Dadurch wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Sportanlagen schwerpunktmäßig in diesen Ruhezeiten genutzt werden, im Tageszeitraum aber häufig leerstehen. Damit liefe die Zuschlagssystematik der TA Lärm für Ruhezeiten ins Leere (Pegelzuschläge für Ruhezeiten könnten problemlos im Tageszeitraum kompensiert werden). Ähnlich wie bei der TA Lärm zählen zur Sportanlage und ihrer Nutzung Einrichtungen, die mit der sportlichen Anlage in einem engen räumlichen und betrieblichen Zusammenhang stehen (also insbesondere auch Stellplätze). Zur Nutzungsdauer der Sportanlage gehören auch die Zeiten des Zu- und Abgangsverkehrs (also explizit auch dieser Verkehr einschließlich Sondereffekte (Türenschlagen etc. auf den Parkplätzen). Auch die 18. BImSchV beinhaltet die Summenregelung, d. h. auch sie garantiert in Bezug auf Sportanlagen ein auf den Immissionsort bezogenes Schutzniveau. Sie führt in der praktischen Anwendung zu weitgehenden Zulässigkeitsproblemen für Sportanlagen in Wohngebietsnähe.

3.2.2.4 Luftverkehr

Zum Schutz der Allgemeinheit vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen durch Fluglärm in der Umgebung von Flughäfen wurde bereits 1971 das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (Fluglärmschutzgesetz) erlassen. Die Regelung des Fluglärms ist explizit aus dem Geltungsbereich des BImSchG ausgeschlossen. Das Fluglärmschutzgesetz verfolgt eine grundsätzlich andere Regelungsstrategie als das BImSchG. Während es dort darum geht, durch (abstrakte oder zahlenmäßig konkretisierte) Emissions- bzw. Immissionsbegrenzung und verträgliche räumliche Zuordnung schädliche Geräuscheinwirkungen zu vermeiden bzw. Konfliktsituationen zu regulieren, beschränkt sich das Fluglärmschutzgesetz auf die Beschränkung bestimmter Siedlungsentwicklungen im Umfeld des Flughafens in Abhängigkeit von der dort rechnerisch ermittelten Fluglärmbelastung.

Praktisch vollzieht sich diese Regelung durch Festlegung von Lärmschutzbereichen, die entlang der Isophonlinien 67 dB(A) und 75 dB(A) abgegrenzt werden. Die Isophonlinien werden dabei nicht durch energieäquivalente Mittelungspegel, sondern durch rechnerisch aufwendigere Konstrukte (Halbierungsparameter $q=4, 6$ verkehrsreichste Monate des Jahres, Aggregation von Tag- und Nachtflügen nach eigener Zuschlagssystematik) beschrieben und sind damit kaum mit den Beurteilungspegeln für andere Umgebungs-

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

lärmarten vergleichbar. Die Festlegung der Lärmschutzbereiche erfolgt durch Rechtsverordnung (derzeit existieren solche Verordnungen in Deutschland für 43 Flughäfen). Für Zone 1 (> 75 dB(A)) gilt: Wohnungen und besonders schutzbedürftige Einrichtungen (Krankenhäuser, Schulen etc.) dürfen nicht errichtet werden, es sei denn, sie waren vor Einrichtung des Lärmschutzbereichs nach den §§ 30 oder 34 BauGB zulässig (Bestandsschutz). In Zone 2 (> 67 dB(A)) gilt das Bauverbot nur für die schutzbedürftigen Einrichtungen, für neue Wohngebäude sind passive Schallschutzmaßnahmen zu verwirklichen. Lärmschutzbereiche an Flughäfen werden spätestens nach 10 Jahren überprüft und ggf. neu festgelegt. Die Flughafenbetreiber sind in diesem Zusammenhang zu kontinuierlichen Messungen verpflichtet. Die Neufestlegung (auch durch Ausweitung) von Lärmschutzbereichen führt zu entschädigungspflichtigen Schallschutzerfordernissen insbesondere an Wohngebäuden, die von den Flughafenbetreibern zu zahlen sind und über Landegebühren refinanziert werden.

Die Regelungen des FluglSchG gelten als deutlich veraltet und gewährleisten bei Erweiterung und Neuanlage von Flughäfen einen Schutzstandard weit unterhalb dessen bei Straßen, Schienen oder gar Gewerbebetrieben. Als Interimslösung hat die Regionalplanung an einigen Flughäfen ergänzende Siedlungsbeschränkungsbereiche als Ziele der Raumordnung festgelegt, die sich im Regelfall an einer 62-dB(A)-Isophone orientieren. In diesen Bereichen dürfen keine Bauleitpläne für Wohnbebauung und andere empfindliche Nutzungen mehr aufgestellt werden; die Gemeinden sind an dieses Ziel der Raumordnung strikt gebunden. Mit der Novellierung des Fluglärmschutzgesetzes soll eine Anpassung sowohl der Berechnungsverfahren als auch der Immissionswerte erfolgen. Das Grundkonzept wird jedoch voraussichtlich unverändert bleiben.

3.2.3 Raumbezogene Regelungen

Mit dem inzwischen novellierten § 47a BImSchG (Lärminderungsplanung) wurde für die partielle Bewältigung der Problematik kombinierter Geräuscheinwirkungen hohen Ausmaßes bereits 1990 eine Rechtsgrundlage geschaffen. Danach hatten die Gemeinden oder die nach Landesrecht zuständigen Behörden in Gebieten, 'in denen schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche hervorgerufen werden oder zu erwarten sind, die Belastung durch die einwirkenden Geräuschquellen zu erfassen und ihre Auswirkungen auf die Umwelt festzustellen' (Monitoring).

Lärminderungspläne waren in der Folge dann aufzustellen, 'wenn die Beseitigung oder die Verminderung der schädlichen Umwelteinwirkungen ein abgestimmtes Vorgehen gegen verschiedenartige Lärmquellen erfordert.' Als Mindestinhalt eines Lärmmin-

derungsplans forderte § 47a BImSchG a. F. Angaben über die festgestellten bzw. zu erwartenden Lärmbelastungen, die verursachenden Quellen und die vorgesehenen Maßnahmen zur Lärminderung oder zur Verhinderung des weiteren Anstieges der Lärmbelastung. Zur Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen verwies § 47a BImSchG a. F. auf die analoge Vorschrift zum Luftreinhalteplan. Danach enthält der Lärminderungsplan kein eigenes Umsetzungsinstrumentarium, sondern stützt sich auf Planungen und Maßnahmen anderer Träger öffentlicher Verwaltungen nach verschiedenen Rechtsgrundlagen. Er entfaltet damit keine eigene Rechtswirkung, sondern bindet grundsätzlich nur die öffentliche Verwaltung im Sinne eines Verwaltungsprogramms (ähnlich dem Flächennutzungsplan).

§ 47a BImSchG a. F. enthielt eine knappe Regelung mit zahlreichen unbestimmten Rechtsbegriffen. Da keine konkretisierende Verordnung existiert, ist die Praxis der Lärminderungsplanung nicht normiert. Zu einer gewissen Vereinheitlichung haben eine Muster-Verwaltungsvorschrift des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), verschiedene Modellprojekte und ein Leitfaden des Umweltbundesamts beigetragen. Diese können jedoch grundlegende methodische und umsetzungsbezogene Defizite der gesetzlichen Regelung kaum ausgleichen. Diese liegen insbesondere in folgenden Bereichen:

- Unklare Bedingungen für das Monitoring und das Aufstellungserfordernis: Die Pflicht zur Aufstellung von Lärminderungsplänen war nicht konkretisiert. Einen fachlichen Anhaltspunkt bot zwar die Musterverwaltungsvorschrift des LAI zur Durchführung des § 47a BImSchG a. F., nach der Lärminderungspläne regelmäßig in Gebieten aufgestellt werden sollen, in denen bei mindestens zwei Schallquellengruppen die gültigen Immissionsgrenz- bzw. -richtwerte ganz oder beinahe ausgeschöpft werden (Überschreitung von höchstens 3 dB(A) bzw. Überschreitung). Dies war erkennbar eine Verlegenheitslösung und führte vor dem Hintergrund der heterogenen Regelungssituation in Deutschland methodisch kaum weiter.
- Fehlende Methodik für die Belastungsermittlung: Den Gemeinden (oder zuständigen anderen Stellen) wurde vom Bundesgesetzgeber aufgetragen, komplexe Immissionsschutzkonflikte systematisch aufzuarbeiten und koordiniert zu lösen. Dafür wurde aber keine funktionsfähige bzw. allgemein anerkannte Methodik bereitgestellt. Dies führte praktisch dazu, dass Konflikte nach Geräuscharten getrennt entsprechend den jeweiligen, teilweise nicht einschlägigen Regelwerken zu ermitteln und anschließend verbal-argumentativ eine Gesamtbelastung darzustellen.

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

- Fehlende Wirkungsmaßstäbe für Maßnahmen: Wesentliche Aufgabe der Lärminderungsplanung war es, geeignete, d. h. wirksame Maßnahmen zu benennen und dabei auch Prioritäten abzuleiten, z. B. auf Grundlage der Zahl entlasteter Personen. Dafür sind unterschiedliche Methoden denkbar, die zu ebenfalls unterschiedlichen Prioritäten und Maßnahmenempfehlungen führen können. Auch hier fehlte jegliche Regelung. Hinderlich wirkte sich außerdem der Aspekt aus, dass die bestehenden, auf Neuanlagen gerichteten Berechnungsmodelle einige in belasteten Bestandsgebieten wirksamen Maßnahmen nicht abbilden können. Zu nennen sind insbesondere Maßnahmen im Straßenverkehr, die zur Verstärkung des Verkehrsflusses führen (können). Ein derartiges Kriterium ist in der RLS-90 nicht modelliert.
- Fehlende Umsetzungsregelungen: Ein Grundproblem der gesetzlichen Konstruktion des Lärminderungsplans als „frei schwebendes Verwaltungsprogramm“ war die fehlende Bindungswirkung nach außen, die dazu führte, dass viele Maßnahmen nicht oder nur unzureichend durchgeführt bzw. sogar konterkariert wurden.

Lärminderungspläne sind in der Aufstellung kostenintensiv, besonders die Erarbeitung der Schallimmissionspläne (SIP) erfordert hohen Aufwand (digitales Stadtmodell, flächendeckende Quelldaten). Dem stehen die methodischen Defizite und die weitgehende Wirkungslosigkeit in Bezug auf die Maßnahmenumsetzung entgegen. Aus diesem Grund haben nur wenige Gemeinde die Aufstellung eines Lärminderungsplans (Schätzungen sprechen von ungefähr 300 deutschlandweit) in Angriff genommen. Zwar bestand grundsätzlich die Pflicht zur Aufstellung in bestimmten Situationen, allerdings war die Regelung so unklar, dass Gemeinden die Aufstellung ohne weiteres vermeiden konnten. Von dieser ohnehin geringen Zahl haben nach Schätzung des Umweltbundesamtes mindestens die Hälfte die Lärminderungsplanung vor Erarbeiten des Maßnahmenplans wieder abgebrochen, meist weil keine (rechnerisch) wirksamen Maßnahmen gefunden werden konnten, keine Umsetzungsperspektive erkennbar war oder nicht einmal ein konsensfähiges Modell zur Maßnahmenbewertung erarbeitet werden konnte. Diese Gemeinden standen dadurch vor dem Problem, ihre Bürgerinnen und Bürger für Lärmfragen sensibilisiert und über die Situation umfassend unterrichtet zu haben, allerdings keine politische Perspektiven aufzeigen zu können.

Durch die Umgebungslärmrichtlinie und ihre Umsetzung in deutsches Recht hat sich eine neue Lage ergeben, die in Kap. 3.4, Seite 58ff. näher untersucht wird.

3.2.4 Weitere Regelungen auf Bundes- und Landesebene

Der Immissionsschutz kennt sowohl auf bundes- als auch auf landesrechtliche Ebene eine Vielzahl weiterer nicht oder nur bedingt gebietsbezogener Vorschriften, die die Emissionskennndaten von Maschinen und ein rücksichtsvolles Verhalten der Menschen regeln sollen. Beispiele für verhaltensbezogenen Vorschriften sind z. B. einzelne Regelungen der Straßenverkehrsordnung oder solche zur Nacht- und Feiertagsruhe. Eine sowohl maschinen- als auch verhaltensbezogene Regelung enthält die 32. BImSchV (sog. Maschinenlärmverordnung), die zum einen Emissionsbegrenzungen für etliche im Freien betriebene Maschinen, zum anderen aber auch detaillierte und differenzierte Beschränkungen der Betriebszeiten (z. B. Mittagsruhe) enthält. Für die räumliche Planung sind diese Vorschriften, die das Immissionsniveau allgemein senken sollen, nur von untergeordneter Bedeutung.

3.3 Umgebungslärm in der Praxis der Stadtplanung

Die räumliche Gesamtplanung ist durch ein inhaltlich und räumlich differenziertes System unterschiedlicher Planungsebenen gekennzeichnet. Die geplante Nutzung und die dabei differenzierte räumliche Struktur eines Planungsgebiets ergibt sich planungstheoretisch aus einer – auch zeitlichen – Abfolge von Planungsprozessen (europäische Raumordnung, Bundesraumordnung, Landesplanung, Regionalplanung, Flächennutzungsplanung / Stadtentwicklungsplanung, Bebauungsplanung) in denen jeweils Teilfragen 'gelöst' und an die nächstfolgende Planungsebene als Vorgabe (z. T. mit förmlicher 'Anpassungspflicht') abgegeben werden. Im sog. 'Gegenstromprinzip' werden die Ergebnisse rückgekoppelt. Insofern kommt den obersten Stufen der Raumordnung insbesondere die Funktion zu, abstrakte und allgemein gültige Grundsatzentscheidungen zu treffen, die dann im Wege der Abschichtung folgenden Planungsebenen, insbesondere der regionalen Raumordnungsplanung, der kommunalen Bauleitplanung und der Fachplanung, zur räumlichen Konkretisierung und Umsetzung überlassen werden.⁸

Diese deduktive Arbeitsweise vom Allgemeinen zum Besonderen und vom Großen zum Kleinen ist geübte methodische Praxis der räumlichen Planung und wird durch das eher induktive Gegenstromprinzip ergänzt. Dadurch gilt im Grundsatz: Je kleinräumiger die Planungsebene ist, desto geringer ist der Anteil an 'Variablen' und desto stärker orientiert sich die Planung an konkreten baulichen und sonstigen Gegebenheiten. Beispielsweise werden auf der Ebene der Bebauungsplanung und der Fachplanungen grundlegende Fra-

⁸STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Konfliktbewältigung durch Landesplanung? UPR Umwelt- und Planungsrecht, 2005, Nr. 9.

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

gen der regionalen Funktions- und Flächenzuweisungen sowie bestimmte Bedarfsfragen planungssystematisch i. d. R. von der übergeordneten Planungsebene übernommen und auf der örtlichen bzw. vorhabensspezifischen Stufe verfeinert.⁹

Derzeit erfolgt in Planungs- und Zulassungsverfahren – auch in systematischen Umweltprüfungen – die fachlich gebotene und auch rechtlich, insbesondere durch § 2 Abs. 2 S. 1 UVPg, geforderte systematische Trennung der drei elementaren Teilschritte Ermittlung, Beschreibung und Bewertung hinsichtlich des Umgebungslärms regelmäßig nicht. Als Stand der Technik kann seit vielen Jahren unverändert folgendes Bearbeitungsschema gelten:

1. Ermittlung rechtlich normierter ortsbezogener Beurteilungspegel,
2. Soll-Ist-Vergleich der Beurteilungspegel mit normierten Schwellenwerten (Grenz-, Richt- oder Orientierungswerte) mit regelmäßig rechtlichem Bezug (Beispiel: Schwelle 'Erhebliche Belästigung'),
3. Darstellung von Schwellen-Überschreitungen (flächen- und ggf. bevölkerungsbezogen) als 'Konflikte'.

Diese Vorgehensweise, die ähnlich lautend auch den Durchführungserlassen für die Lärminderungsplanung nach altem Recht zu entnehmen ist, ist immissionsschutzrechtlich geprägt. Sie führt dazu, dass tatsächliche, wissenschaftlich ermittelbare und beschreibbare Lärmwirkungen nicht dargestellt werden, sondern unmittelbar ein bereits normativ geprägtes Bewertungsergebnis ausgewiesen wird. Der Beschreibungs- und Bewertungsprozess wird damit zulasten der objektiven Beschreibung der Wirkung in einem Schritt zusammengefasst. Erschwerend wirkt sich aus, dass in der Richt- und Grenzwertsetzung nicht auf Wirkungen abgestellt wird, sondern auf Immissionswerte, deren fachliche Herleitung in den meisten Fällen nicht nachvollziehbar oder fragwürdig ist. Dies mag der Vereinfachung des Vollzugs dienen, verundeutlicht aber den Bezug zum Schutzgegenstand. Während hier aber zumindest ein Bezug zu Wirkungsparametern aufgezeigt wird, bleibt dieser bei den rechtlich normierten Grenz- und Richtwerten vollständig verborgen. Verlauf, Verteilung und Intensität tatsächlicher Lärmwirkungen bleiben jeweils unberücksichtigt, geprüft wird effektiv nur die Einhaltung eines normativ geprägten, immissionsseitig beschriebenen Zielwerts. Es handelt sich dabei im Sinne der Systematik der Umweltprüfung eindeutig um einen Bewertungsvorgang.

⁹STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003.

3.3 Umgebungslärm in der Praxis der Stadtplanung

Es ist also festzustellen, dass das für die Umweltprüfung anzuwendende Grundkonzept für die Erfassung und systematische Bewältigung von Umgebungslärmkonflikten bislang nur sehr unzureichend umgesetzt ist. Dies gilt sowohl in vertikaler Richtung, d.h. bei der systematischen Weitergabe von Ergebnissen der großräumigen zu kleinräumigen Planungsebenen, als auch horizontal, d.h. der bei der Vernetzung und integrierten Betrachtung verschiedenartiger Umgebungslärmkonflikte auf den jeweiligen Planungsebenen. Ursächlich dafür dürfte vor Allem das Fehlen allgemein anerkannter übergreifender Beurteilungsgrundlagen, damit zusammenhängende Zurechnungsprobleme und umsetzungspraktische Hemmnisse sein. Diese Situation ist nicht nur fachlich, sondern auch rechtlich problematisch, weil die Schutzziele des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Gefahrenabwehr und Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen) damit nicht vollständig in konkrete Handlungsziele umgesetzt werden können. Die Diskrepanzen sind nur zu einem geringen Teil auf die spezifischen physikalischen und medizinischen Eigenschaften der Geräuscharten zurückzuführen, wesentlichen Einfluss haben auch die jeweiligen Entstehungszeiträume (veränderter Stand der Technik) und hinsichtlich des Schutzziels sachfremde, z. B. umsetzungsbezogene und ökonomische Überlegungen.¹⁰

Eine Vorschrift oder ein technisches Regelwerk zur Harmonisierung dieser unterschiedlichen Anforderungen existiert nicht, ebenso wenig eine allgemein anerkannte sachverständige Grundlage zur Betrachtung von auf einen Immissionsort einwirkenden Schallquellen unterschiedlicher Art, z. B. von Kraftfahrzeugen und Industriebetrieben. Die bestehenden Vorschriften sind insofern nicht zur Bewertung von Situationen geeignet, in denen mehr als eine Quellenart relevante Immissionsbeiträge verursacht. Dadurch ist insbesondere in Gebieten, in denen sich die Konflikte durch eindimensionale Regelwerkanwendung nicht lösen lassen, ein fachliches Defizit festzustellen. Dies sind Räume, in denen eine Mehrfach-Konfliktsituation bereits besteht, im Wesentlichen Bestandsgebiete, für die nach 'altem' Recht - abstrakt - Lärminderungspläne aufzustellen waren. Ein besonders kritischer Punkt sind Gebiete, in denen sich Konflikte dynamisch entwickeln, sei es durch Belastungssteigerungen an bestehenden Verkehrswegen, durch ungesteuert wachsende Freizeitnutzungen oder Ähnliches. Schließlich entstehen Defizite auch in Situationen, in denen künftige Mehrfach-Konflikte durch Realisierung eines (Groß-)Vorhabens zumindest nicht auszuschließen sind.

¹⁰STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003.

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

3.4 Die Richtlinie 2002/49/EG (Umgebungslärmrichtlinie)

3.4.1 Einbindung in die Immissionsschutzpolitik der Europäischen Union

Ein Ziel der Europäischen Gemeinschaft ist es, eine erhebliche Verringerung der Anzahl der Personen, die langfristig andauernden mittleren Lärmpegeln – insbesondere Verkehrslärm – ausgesetzt sind, die gemäß wissenschaftlichen Studien eine gesundheitsschädigende Wirkung haben, zu erreichen. Die Regelungen der Europäischen Union zum Lärmschutz haben sich viele Jahre lang auf produktbezogene Standardisierung beschränkt. Hierzu sind etliche Richtlinien ergangen, zuletzt die sog. Outdoor-Richtlinie, die Emissionsstandards für Maschinen und Geräte definiert und eine Kennzeichnungspflicht einführt. Mit dem Grünbuch 1996¹¹ hat die EU-Kommission einen Paradigmenwechsel hin zu gebietsbezogenen Regelungen eingeleitet. Im Jahr 2002 wurde dann mit der Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Umgebungslärmrichtlinie) der Grundstein für ein EU-weit einheitliches Monitoring von Geräuschbelastungen und eine darauf aufbauende Aktionsplanung zur Lärminderung gelegt. Mit dieser Richtlinie wird erstmals im europäischen Lärmschutzrecht ein umfassendes Konzept entwickelt, das vor allem die Lärmimmissionen berücksichtigt und eine umfassende Lärmerfassung und –verringerung anstrebt.

3.4.2 Struktur und wesentliche Inhalte

Die Umgebungslärmrichtlinie setzt das seit 1996 schrittweise entwickelte europäische Konzept zur Lärminderung teilweise um. Unter der Zielsetzung, schädliche Auswirkungen des Umgebungslärms zu verhindern, ihnen vorzubeugen bzw. sie zu vermindern, fordert sie von den Mitgliedsstaaten unter Fristsetzung folgende Aktivitäten:

- Ermittlung der Belastung durch Umgebungslärm anhand sogenannter strategischer Lärmkarten nach einheitlichen Bewertungsmethoden,
- (Quantitative) Information der Öffentlichkeit über Umgebungslärm und seine Auswirkungen,
- Annahme von Aktionsplänen durch die Mitgliedstaaten mit dem Ziel, den Umgebungslärm so weit erforderlich zu verhindern und zu mindern, und die Umweltqualität in den Fällen zu erhalten, in denen sie zufriedenstellend ist.

¹¹EU, Europäische Kommission (Hrsg.): Künftige Lärmschutzpolitik - Grünbuch der Europäischen Kommission. Brüssel: Europäische Union, 1996.

3.4 Die Richtlinie 2002/49/EG (Umgebungslärmrichtlinie)

Ziel der Umgebungslärmrichtlinie ist damit zunächst eine umfassende und transparente Information der Öffentlichkeit über die Geräuschbelastung nach europaweit einheitlichen Kriterien. Die Art. 1- 3 definieren Ziele, Anwendungsbereich und Begriffe der Umgebungslärmrichtlinie. Art. 4 – 6 listen die Lärmbewertungsmethoden, ihre Anwendung sowie die Zuständigkeiten auf. Die materiell-rechtlichen Kernvorschriften befinden sich in den Art. 7 – 9 . Art. 10 – 16 enthalten Zeitvorgaben, Überprüfungs- und Mitteilungspflichten und Verfahrensregelungen.

Eine wichtige Funktion der Umgebungslärmrichtlinie ist es gem. § 1 Abs. 2 sinngemäß, weitergehenden Maßnahmen zur Lärminderung eine tragfähige quantitative Basis zu geben. So können bzw. sollen künftig die in der Kompetenz der Europäischen Union liegenden Regelungen, z. B. zur zulässigen Emission von Straßen- und Schienenfahrzeugen, Flugzeugen und Maschinen und anderem, an den durch Lärmkartierung und Aktionsplanung identifizierten prioritären Problemstellungen ausgerichtet werden. Voraussetzung dafür ist die durch die Umgebungslärmrichtlinie im Einzelnen geregelte quantitative Erfassung der raumbezogenen Belastung durch Umgebungslärm und eine wirkungsbezogene Auswertung. Dafür ist ein zweistufiges Vorgehen der Mitgliedstaaten vorgeschrieben. Diese haben bis Mitte 2007 (bzw. bis Mitte 2012) sog. strategische Lärmkarten für Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und Großflughäfen sowie für Ballungsräume aufzustellen. Diese strategischen Lärmkarten sind in Anhang IV der Umgebungslärmrichtlinie normiert, wobei nur Mindestanforderungen formuliert sind, die Mitgliedsstaaten also durchaus berechtigt sind, die Inhalte auf der normierten Basis zu erweitern. Ziel der strategischen Lärmkartierung ist es, umfassende und standardisierte Daten über die Umgebungslärmbelastung zu gewinnen und der Öffentlichkeit wie Entscheidungsträgern als Informationsbasis zur Verfügung zu stellen. Dafür schreibt die Umgebungslärmrichtlinie eine Beteiligung der Öffentlichkeit vor, die umfassend durch die Verbreitung und Veröffentlichung von Lärmkarten (und Aktionsplänen) zu informieren ist.

Die zweite in der Umgebungslärmrichtlinie definierte Stufe ist die Erarbeitung von Aktionsplänen, die die Minderung festgestellter Belastungen zum Ziel haben. Im Gegensatz zur Lärmkartierung wird die Aktionsplanung durch die Umgebungslärmrichtlinie zwar (mit um ein Jahr versetzten Fristen (2008/2013)) gefordert; mit Ausnahme der Zielsetzung 'Regelung von Lärmproblemen und Lärmauswirkungen, erforderlichenfalls einschließlich der Lärminderung' erfolgt aber keine Normierung oder Standardisierung der Aktionspläne, so dass die Inhalte, sowie die Verbindlichkeit und Umsetzung der darin enthaltenen Maßnahmen zur Lärminderung durch die Mitgliedsstaaten zu konkretisieren sind. Detaillierter sind die Vorgaben zur Öffentlichkeitsbeteiligung, die im Sinne des Art. 8 Umgebungslärmrichtlinie 'rechtzeitig' und 'effektiv' sein muss.

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

3.4.3 Verbindliche Vorgaben zur Geräuschkartierung und -bewertung

Ein Kerninhalt der Umgebungslärmrichtlinie sind verbindliche Regelungen zu den anzuwendenden Geräuschdeskriptoren,¹² zu den Bewertungsmethoden, der Ausarbeitung der strategischen Lärmkarten und der Aktionspläne. Wesentliche Grundprämisse der Umgebungslärmrichtlinie ist es, durch Gemeinschaftsmaßnahmen ein europaweit einheitliches Verständnis der Lärmproblematik herzustellen. Zentraler Bestandteil der Richtlinie ist daher die Vorgabe, Lärmbelastungsdaten nach einheitlichen Deskriptoren (Pegelkriterien) und für definierte räumliche Situationen in den vorne erwähnten 'strategischen Lärmkarten' vollständig zu erfassen, zusammenzustellen und an die EU-Kommission sowie die Öffentlichkeit zu melden. Um dies durchführbar zu machen, trifft die Richtlinie umfangreiche Grunddefinitionen zu den relevanten Quellen und den zu betrachtenden Auswirkungsbereichen, enthält gemeinsame Pegelkriterien (sog. Lärmindizes) und vorläufige gemeinsame Bewertungsmethoden sowie die Vorgabe, dass zur Bestimmung der Lärmauswirkungen Dosis-Wirkungs-Relationen heranzuziehen sind. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Spezifikation der Berichtspflichten, die ein starkes Gewicht auf die Betroffenenzahlen und die Qualität der jeweiligen Betroffenheit legt und dabei z. T. sehr detaillierte Angaben fordert, z. B. die Differenzierung nach Einwohnern in Gebäuden, die mindestens eine 'ruhige Fassade' haben und solche, die von allen Seiten beschallt werden.

Besonders zu erwähnen ist das neue, über drei Tageszeiträume gewichtete Pegelkriterium (Lärmindex) Lden (gebildet aus den Mittelungspegeln in den Zeitphasen Tag, Abend und Nacht mit Höhergewichtung der Abend- und Nachtwerte) und die Harmonisierung der Berechnungsverfahren. Diese verzichten auf die in Deutschland beschrittenen 'Sonderwege' bei der Bewertung einzelner Lärmarten, welche bisher einen Vergleich berechneter Pegel unterschiedlicher Lärmarten stark erschweren. Die Lärmindizes dienen der Erstellung der Lärmkarten nach europaweit und schallquellenübergreifend gleichen Maßstäben. Das führt dazu, dass die nach Umgebungslärmrichtlinie ermittelten Lärmindizes untereinander dem Grunde nach vergleichbar werden, sich aber von den nach den eingeführten deutschen Berechnungsvorschriften ermittelten Werten z. T. recht deutlich unterscheiden. Das liegt daran, dass in Deutschland bisher für die einzelnen Lärmarten jeweils unterschiedliche Indikatoren sowie unterschiedliche Immissionswerte festgelegt sind. Diese Vereinheitlichung der Geräuschermittlung und -beurteilung ist durchaus als Kernelement der Umgebungslärmrichtlinie zu erachten.

¹²Der in der Richtlinie verwendete Begriff 'Lärmindizes' ist als unglücklich oder gar als Fehlübersetzung zu bezeichnen.

3.4 Die Richtlinie 2002/49/EG (Umgebungslärmrichtlinie)

Die Umgebungslärmrichtlinie zielt immissionsschutzfachlich auf ein dynamisches Verfahren zur Ermittlung der schädlichen Auswirkungen von Umgebungslärm auf den Menschen. Sie fokussiert die Betrachtung auf kollektive, nach den Kriterien 'Belästigung' und 'Schlafstörung' differenzierte Dosis-Wirkungs-Relationen und Betroffenenzahlen. Dahinter steht die Erkenntnis, dass sich Schwellenwerte für die Lärmbelastung fachwissenschaftlich nur schwer fundieren lassen, da die Reaktionen der Menschen auf Lärm sehr unterschiedlich sind und sich - unterhalb einer gehörschädigenden Belastung - bislang nur in großen Gruppen statistisch abgesichert erfassen lassen. Die dabei auftretenden Standardabweichungen sind allerdings sehr hoch. Es ist durchaus folgerichtig, Dosis-Wirkungs-Relationen auf Kollektivebene anzuwenden und damit ein deutlich flexibleres und fachlich aussagefähigeres Beurteilungsverfahren zu normieren als ein starres Richt- oder Grenzwertsystem, bei dem bestimmten, z. T. räumlich differenzierten, Pegelkriterien standardisierte Wirkungen zugeordnet werden. In einigen europäischen Ländern, insbesondere in den Niederlanden, werden die beschriebenen Betroffenheitsermittlungen mit Dosis-Wirkungs-Relationen schon seit einigen Jahren angewandt. Bezogen auf die in Deutschland eingeführten Beurteilungsvorschriften stellen sie jedoch einen Paradigmenwechsel und weitgehendes Neuland dar und werden kontrovers diskutiert. Zwar wurde auch in Deutschland, vor allem in der Lärminderungsplanung und bei vergleichenden Betrachtungen in Raumordnungsverfahren, immer wieder versucht, Betroffenenzahlen einzubeziehen. Dies erfolgte allerdings ohne gesicherte fachliche und rechtliche Grundlagen und nach stark differierenden, oftmals an Richt- oder Grenzwerten orientierten Methoden.

Eine Analyse der für die Ermittlungsverfahren maßgeblichen Anhänge der Umgebungslärmrichtlinie zeigt allerdings, dass mit Ausnahme der durch Rechenvorschriften abschließend definierten Lärmindizes L_{den} und L_{night} wesentliche Bewertungsgrundlagen noch fehlen oder noch nicht in endgültiger Form vorliegen. So ist die als Kernbestandteil der Umgebungslärmrichtlinie angekündigte Harmonisierung der Berechnungsverfahren für die einzelnen Geräuscharten noch nicht erfolgt. Auch die für die Betroffenheitsermittlung notwendigen Dosis-Wirkungs-Relationen liegen noch nicht vor. Zu beiden Bereichen sind mehrere Arbeitsgruppen der Kommission noch aktiv. Es ist nicht erkennbar, wann sie zum endgültigen Abschluss kommen werden.

Für die Berechnungsverfahren gelten derzeit Interimsregelungen, für die durch die Kommission orientierende Leitlinien herausgegeben wurden. Die dort empfohlenen Berechnungsverfahren weichen von den in Deutschland eingeführten ab. Es ist auch nicht zu erwarten, dass die endgültigen Berechnungsverfahren dem deutschen Regelwerk folgen werden. Zu den Dosis-Wirkungs-Relationen wurde durch die Arbeitsgruppe der Kommis-

3 Modellkonzepte des Lärmschutzrechts

sion bereits im Februar 2002 ein erstes Positionspapier vorgelegt. Dessen Ergebnisse sind jedoch (noch) nicht Bestandteil der Richtlinie geworden. Vielmehr weist die Umgebungslärmrichtlinie hier eine Fehlstelle auf, die erst durch eine spätere, zeitlich nicht spezifizierte Änderung geschlossen werden soll. Dadurch ist die Umgebungslärmrichtlinie auch zwei Jahre nach ihrem Inkrafttreten und nach Verstreichen der Umsetzungsfrist für die nationalen Gesetzgeber noch fachlich unvollständig. In der Konsequenz können die in erheblicher Zahl bis zum 30. Juni 2007 vorzulegenden strategischen Lärmkarten bislang nur unvollständig, nämlich auf Basis vorläufiger Berechnungsmethoden und ohne Quantifizierung von Betroffenenzahlen, erarbeitet werden.¹³

3.5 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Die vielfältigen Regelungen des deutschen Lärmschutzrechts spiegeln die in Kap. 2 abgeleiteten Modellierungsgrundsätze nicht bzw. nur in Ansätzen wieder. Es kommen unterschiedliche Verfahren und Methoden zum Einsatz, eine einheitliche methodische und konzeptionelle Ausgestaltung des Rechts ist nicht erkennbar. Insgesamt ist ein Standardisierungsdefizit festzustellen, das sich über alle Modellierungsebenen erstreckt und ein inkonsistentes Gesamtsystem erzeugt. Inhaltliche Gründe dafür sind nicht erkennbar. Insbesondere resultiert die in den sektoralen Ausführungsbestimmungen höchst unterschiedliche praktische Herangehensweise an Beurteilungsaufgaben (z. B. die Verwendung unterschiedlicher Ausbreitungsmodelle und die heterogene fachliche Herleitung und praktische Ausgestaltung von Begrenzungswerten) nicht aus fachlichen Zwängen oder wirkungsbezogenen Überlegungen, sondern letztlich aus der Verteilung der Rechtsgrundlagen auf unterschiedliche Vorschriften und der nicht erfolgten begrifflichen und modellsystematischen Vereinheitlichung.

Auch aus diesen Rahmenbedingungen - und weniger aus wirkungsbezogenen Unterschieden – resultiert die im Immissionsschutzrecht apodiktische 'Einheit von Ermittlungs- und Bewertungsverfahren', die nicht unwesentlich auf die fehlende Vergleichbarkeit zwischen den nach den sektoralen Beurteilungsvorschriften ermittelten Beurteilungspegeln zurückzuführen ist. Der differenzierten und an nationalen wie internationalen Fachnormen orientierten Beurteilungspraxis beim Gewerbelärm stehen 'Insellösungen' bei den übrigen Umgebungslärmarten gegenüber. Die heterogene fachrechtliche Basis schlägt auf die Rechtsanwendung in der Praxis der Siedlungs- und Infrastrukturplanung und auch

¹³STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003.

auf die Lärminderungsplanung durch. Dort stellt sich verstärkt das Problem kombinierter Umgebungslärmimmissionen aus gleich- und verschiedenartigen Anlagen. Da einheitliche Beurteilungsgrundlagen fehlen, werden insbesondere in der Bauleitplanung häufig sektorale Beurteilungsvorschriften und Begrenzungswerte antizipiert angewendet, was zu erheblichen fachlichen Inkonsistenzen führen kann.

Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht erfolgversprechend, aus den vorliegenden anlagenbezogenen Regelungen des deutschen Immissionsschutzrechts evolutionär ein Modell zur Gesamtbewertung kombinierter Immissionen zu entwickeln. Daher werden in den weiteren Schritten dieser Arbeit immissionsschutzrechtliche Zusammenhänge nicht berücksichtigt.

Mit der Umgebungslärmrichtlinie der Europäischen Union ist ein methodisches Konzept zur einheitlichen Ermittlung von Beurteilungspegeln (sog. Lärmindizes) und Betroffenheitsbeschreibung (über Dosis-Wirkungs-Relationen für bestimmte Leitwirkungen) für alle Umgebungslärmarten verbindlich eingeführt worden. Dieses Konzept bezieht sich zunächst nur auf das systematische Monitoring und die Vorbereitung von Aktionsplänen und ist außerdem aus fachlicher Sicht (noch) unvollständig. Allein durch die vorgenommene Standardisierung grundlegender Modellkomponenten und Verfahren eröffnet die Umgebungslärmrichtlinie allerdings große Potentiale sowohl für die fachliche Modellierung und das Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen als auch für eine (spätere) methodische Vereinheitlichung der raum- und anlagenbezogenen, bisher sektoriell angelegten Regelungen im deutschen Lärmschutzrecht. Aus diesem Grund wird in den weiteren Schritten der Arbeit jeweils ein fachlicher Bezug zu den Regelungen der Umgebungslärmrichtlinie hergestellt, um deren fachliche Potentiale, aber auch Schwächen sowie Konkretisierungserfordernisse einschätzen zu können.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Die Lärmkartierung und deren zyklische Fortschreibung ist mit Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie für Ballungsräume und den Auswirkungsbereich der sog. Hauptlärmquellen zur Pflichtaufgabe geworden. Hierzu kommt eine Vielzahl von Modellen zur Abschätzung und Prognose der örtlichen Emissions- und Transmissionsgegebenheiten zum Einsatz. Im folgenden Kapitel 4 soll ein Überblick über die wesentlichen Anforderungen und Potentiale der Lärmkartierung gegeben werden. In diesem Bereich ist vor Allem das Spannungsfeld zwischen stetig steigender Modellqualität und Rechenkapazität einerseits und sinnvollem Umfang und Detaillierungsgrad der Modellierung aus planerischer Sicht andererseits zu untersuchen. Von besonderer Bedeutung ist dabei einerseits der Datenbedarf der Emissions- und Transmissionsmodelle mit der Leitfrage 'Können die benötigten Daten (in Bestandssituationen) mit angemessener Qualität gewonnen und (in Planungssituationen) hinreichend genau prognostiziert werden?'. Andererseits ist auch die Modellierbarkeit von Emissions- und Immissionssituationen durch die Modelle mit der Leitfrage 'Können die für die Umgebungslärberechnung relevanten Emissions- und Transmissionsfaktoren durch die Modelle zutreffend erfasst werden?' maßgeblich.

Ausgehend von den durch Emissions- und Transmissionsmodellierung erarbeiteten Lärmkarten wird untersucht, wie Immissionen zutreffend, anschaulich und unter Einbeziehung von Betroffenenzahlen dargestellt werden können. Hier erfolgt auch eine Diskussion der potentiellen Auswertungsindikatoren, von akustischen Parametern über Wirkungsparemeter, flächenbezogene Darstellungen bis hin zu kombinierten Indikatoren über unterschiedliche Dimensionen.

4.1 Parameter der Geräuschbelastung

4.1.1 Logarithmierung, Frequenz- und Zeitbewertung

Die im raumbezogenen Schallschutz maßgeblichen Parameter der Geräuschbelastung basieren auf drei wesentlichen Konventionen, nämlich der Logarithmierung der messbaren Schalldrücke bzw. -intensitäten, der Frequenzbewertung und der Zeitbewertung.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

4.1.1.1 Logarithmierung

Im Schallschutz ist der Umgang mit Druck- und Intensitätsmaßen nicht zielführend. Dies vor allem darauf zurückzuführen, dass der menschliche Hörbereich zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze einen sehr großen Bereich von 13 Zehnerpotenzen abdeckt und die Wahrnehmung des menschlichen Gehörs in diesem Bereich nicht linear zur absoluten Schallintensität verläuft. Das menschliche Gehör nimmt Änderungen der Schallintensität nicht als absolute, sondern relative Änderungen wahr – gleiche Änderungsverhältnisse werden gleich wahrgenommen, nicht äquidistante Änderungen. So werden Änderungen der Schallintensität am Ohr von 0,1 auf 0,2 W/qm als deutliche Änderung wahrgenommen, während Änderungen von 9,9 auf 10 W/qm nicht wahrnehmbar sind. Als allgemeine Wahrnehmungsschwelle für die Unterscheidung von Schallintensitäten wird in der Literatur ein Wert von rund 10 % angegeben. Das führt z. B. dazu, dass eine Schallintensität im mittleren Bereich der hörbaren Schallintensitäten nicht als mäßig laut wahrgenommen wird, sondern knapp unterhalb der Schmerzgrenze liegt. Derartige Relationen lassen sich durch Logarithmen in Äquidistanzen umwandeln. Ein Logarithmus zur Basis 10 (\lg) erhöht sich zum Beispiel um 1 je Verzehnfachung des Ausgangswerts. Damit ist – bezogen auf die Schallwahrnehmung – ein wichtiges Ziel erreichbar, nämlich die ungefähre Äquidistanz von Änderungswahrnehmungen. Logarithmiert man nicht die absolute Schallintensität, sondern dividiert sie durch die Intensität der Hörschwelle (Bezugsschallintensität $I_0 = 10^{-12} \text{ W/qm}$), erreicht man damit für die Hörschwelle den $\lg 0$. Die Logarithmen-Skala ist damit auf die menschliche Hörschwelle kalibriert. Der so beschriebene Logarithmus wird gem. Norm DIN 1320 als Schalldruckpegel oder Schallintensitätspegel L (auch Momentanschallpegel) definiert.

$$L = \lg(I/I_0) \text{ Bel [B]}$$

Setzt man die Intensitätswerte ein, liegt die Hörschwelle bei 0 und die Schmerzgrenze bei 13 Bel. Menschen mit intaktem Gehör können Änderungen des Momentanschallpegels bereits ab ca. 0,1 Bel wahrnehmen, deutliche Änderungen werden ab 0,3 Bel wahrgenommen. Daher ist eine Verzehnfachung der Einheit zweckmäßig.

$$L = 10 \lg(I/I_0) \text{ Dezibel [dB]}$$

Damit gilt bezogen auf ein 'Norm-Gehör' bei 1.000 Hz:

- Hörschwelle: 0 dB

- Minimal wahrgenommene Änderung: 1 dB
- Deutlich wahrgenommene Änderung: 3 dB
- Wahrgenommene Verdoppelung: 10 dB
- Schmerzgrenze: ca. 130 dB

4.1.1.2 Frequenzbewertung

Das menschliche Gehör ist nicht in allen Frequenzbereichen gleich empfindlich. Die größte Empfindlichkeit erreicht es in einem Frequenzbereich von 1.000 bis 4.000 Hz. Darüber und darunter nimmt die Empfindlichkeit mit der Folge ab, dass Schallereignisse mit identischer Schallintensität unterschiedlich stark wahrgenommen werden und unterschiedlich wirken. Dieser Umstand führte zu der Folgerung, dass neben dem energetisch bestimmten Schallintensitätspegel ein wahrgenommener Lautstärkepegel benötigt wird, der im wesentlichen frequenzabhängig ist. Um dieser Anforderung zu entsprechen, wird der (physikalische) Schallintensitätspegel korrigiert. Da das menschliche Gehör bei unterschiedlichen Größenordnungen der Schallintensität abweichende Frequenzwahrnehmungen zeigt, werden über mehrere international genormte Bewertungskurven (A bis D nach Normen DIN IEC 651 bzw. DIN 45633) die jeweiligen Schallintensitäten durch Pegelzu- und -abschläge verändert. Für Geräusche, die unregelmäßig aus mehreren Frequenzen zusammengesetzt sind, setzt die Frequenzbewertung eine Zerlegung in Frequenzanteile durch elektronische Filter (bei Messgeräten) bzw. durch mathematische Zerlegung (bei Berechnungsmodellen) voraus. Für Umgebungsgeräusche wird inzwischen stets die Bewertungskurve A herangezogen. Da diese auf 30 dB normiert ist, ist das Bewertungsverfahren bei sehr niedrigen bzw. hohen Pegeln nicht präzise. Für die im Bereich von 20 bis 70 dB liegenden Umgebungsgeräusche gilt die Abweichung jedoch als vertretbar gering. Die A-Kurve führt für ausgewählte Frequenzen zu folgenden Zu- und Abschlägen:

In der Fachdiskussion wird in den letzten Jahren die Aussagekraft der bereits über 100 Jahre alten Frequenzbewertungskurven für die Lästigkeitsbeurteilung von Geräuschen verstärkt angezweifelt. Alternative Beurteilungsgrößen für die Lautheit von Geräuschen wie das in DIN 45631 eingeführte 'sone' sollen besser geeignet sein, die Auffälligkeit bzw. Lästigkeit von Geräuschen zu beschreiben.¹ Auch weitere, neben der Intensität und Frequenzzusammensetzung bestehende Eigenschaften des Geräusches, z. B. Rauigkeit,

¹Vgl. ZWICKER, E. und FASTL, H.: Psychoacoustics - Facts and Models. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Tabelle 4.1: Frequenzbewertung A

Hz A-Bewertung in dB 31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1.000	0
2.000	+1,2
4.000	+1,0
8.000	-1,1
16.000	-6,6

Impulshaltigkeit und Tonhaltigkeit, bedürfen der Berücksichtigung. Konsensfähige und eingeführte Modelle hierzu existieren jedoch noch nicht, so dass auch mittelfristig von einer Beibehaltung der eingeführten Bewertungsmaße auszugehen ist. Mit der Frequenzbewertung A ist zumindest eine an den 'Grundtatsachen der Ohrempfindlichkeit' sichergestellt.²

4.1.1.3 Zeitbewertung

Veränderliche Geräusche können vom menschlichen Gehör nur eingeschränkt zeitlich aufgelöst werden. Besonderheiten ergeben sich z. B. in der Wahrnehmung impulshaltiger Geräusche. Um diese Eigenschaften in der Mess- und Rechentechnik einbeziehen zu können, werden der Zeitverlauf des Momentanschallpegels mit einer sog. Zeitkonstante gefiltert, die das Trägheitsverhalten nachbildet. Die DIN EN 60651 normiert drei Zeitbewertungen, nämlich die Zeitkonstante slow (1 s), Fast (125 ms) und Impuls (Anstieg 35 ms, Abfall 1,5s). Hinzu kommt die Zeitbewertung für Pegelspitzen (Peak). Bei identischem Momentanpegelverlauf ergibt die Anwendung der Zeitbewertung Slow einen stark gedämpften Pegelverlauf, die Zeitbewertung Fast einen deutlich spontaneren Verlauf, während die Bewertungen Impuls und Peak Spitzenereignisse herausarbeiten. Für den Umgebungslärm wird fast ausschließlich die Zeitbewertung Fast verwendet.

²MÖSER, Michael und CREMER, Lothar: Technische Akustik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, S. 11.

4.1.2 Beschreibung veränderlicher Geräuschverläufe

Der Umgebungslärm ist grundsätzlich von stark zeitveränderlichen Geräuschverläufen geprägt, wobei die einzelnen Geräuscharten recht unterschiedliche Verlaufscharakteristika aufweisen. Die wesentliche Herausforderung bei der mittel- und langfristige Beschreibung des Umweltlärms ist es, Deskriptoren abzuleiten, die diese unterschiedlichen Pegel-Zeit-Verläufe aussagefähig, hinreichend differenziert und dennoch handhabbar abbilden können.

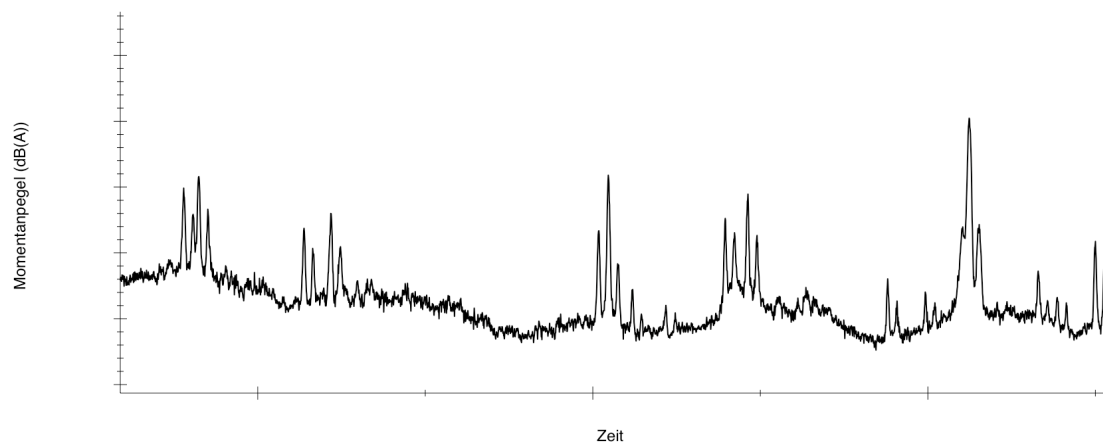


Abbildung 4.1: Angenommener Geräuschverlauf (Straßen- und Luftverkehr) an einem Immissionspunkt

Dabei muss grundsätzlich zwischen physikalisch objektiven und wirkungsbezogen angepassten Deskriptoren unterschieden werden. Während die erste Gruppe ausschließlich objektiv messbare Eigenschaften des Geräuschs einbezieht und dadurch letztlich auf die statistische Beschreibung des Pegel-Zeit-Verlaufs reduziert ist, erfolgt bei der zweiten Gruppe – nach der internationalen Norm ISO 1996-2 als Beurteilungspegel bezeichnet – eine Korrektur der objektiven Geräuschpegel durch Zu- und Abschläge bzw. Gewichtungen, die bestimmte subjektive (wahrnehmungsbezogene) Geräusch- und Verlaufseigenschaften berücksichtigen. Diese Pegelkorrektur kann jeweils nur mit Bezug zu konkreten Wirkungserkenntnissen und für spezifizierte Beurteilungsaufgaben durchgeführt werden.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

4.1.3 Geräuschpegel

4.1.3.1 Mittelungspegel

Der Mittelungs- oder Dauerschallpegel ist der meistverwendete Deskriptor für schwankende Geräusche. Durch ihn wird eine Durchschnittsbildung vorgenommen und eine schwankende Geräuschsituation über eine definierte Zeitperiode mit einer einzigen Zahl gekennzeichnet. Da Geräusche kurzfristige Wellenereignisse sind und nicht über die Zeit akkumulieren, ist die Bildung eines zeitbezogenen Mittelwerts ein Beurteilungsvorgang, bei dem auch Überlegungen zur Zweckmäßigkeit der Bildungsregel einfließen müssen. Diese Bildungsregel wird vom Halbierungsparameter q bestimmt. Weitgehend durchgesetzt hat sich die energieäquivalente Mittelung, weil sie schalldosisorientiert ist und im Rechenansatz die Intensität mit der Zeit verknüpft. Durch das Energieäquivalenzprinzip ist allein die im Zeitraum abgegebene Schallenergie, nicht aber ihre zeitliche Verteilung maßgeblich. Die Verdoppelung bzw. Halbierung der Einwirkzeit eines Geräusches wird wie die Erhöhung bzw. Verringerung seines Schallpegels um 3 dB bewertet ($q=3$). Das Ergebnis wird als 'energieäquivalenter Dauerschallpegel' (DIN 45641) bezeichnet und für den Umgebungslärm in der Regel mit der Frequenzbewertung A korrigiert. Nach internationaler Standardisierung in ISO 1996-2 wird als Formelzeichen

$$L_{Aeq}$$

verwendet. Diese Mittelungsmethode führt dazu, dass laute Einzelgeräusche wegen ihres hohen Energieniveaus besonders stark auf das Gesamtergebnis wirken. Ein einstündiges Dauergeräusch von 50 dB(A) ist beim energieäquivalenten Mittelungskonzept ungefähr einem 15 Sekunden langen Einzelgeräusch von 75 dB(A) gleichgesetzt. Dem gemäß bewegt sich der energieäquivalente Dauerschallpegel eines schwankenden Geräusches tendenziell im oberen Drittel der während des Mittelungszeitraums auftretenden Momentanpegel. Auch wenn energieäquivalente Dauerschallpegel das gängigste Beurteilungskriterium für Umgebungslärm darstellen, bestehen doch erhebliche Zweifel an seiner Aussagefähigkeit für alle Bereiche der Verkehrsgeräusche. Relativ unproblematisch ist seine Anwendung bei eher gleichmäßigen Pegelverläufen, z. B. an großen Fernstraßen.

Je unstabiler jedoch der Geräuschverlauf wird, desto unzutreffender scheint der energetisch gemittelte Pegel das menschliche Empfinden wiederzugeben: Bei Schallquellen, die durch wenige Spitzen und dazwischen liegende längere Ruhephasen gekennzeichnet sind (v. a. Eisenbahnstrecken), ergeben sich im Vergleich zu eher stetigen Geräuschquellen (z. B. Fernstraßen) sehr hohe energieäquivalente Mittelungspegel. In solchen

Fällen wird z. T. mit abweichenden Mittelungskonzepten wie dem fachlich umstrittenen 'Schienenbonus' der 16. BImSchV gearbeitet. In den Mittelungspegel gehen Intensität und Dauer jedes in die Pegelbildung einbezogenen Geräuschs innerhalb des beurteilten Zeitraums ein. Um tatsächlich ein realitätsnahes Bild über die langfristige Geräuschsituation zu erhalten, müssen längere Zeiträume betrachtet werden – bei Straßen z. B. wird ein Mittelwert über alle Tage des Jahres berechnet. Abhängig vom Zweck der Pegelmittelung kann es sinnvoll sein, den Wochen- und/oder Tagesgang eines Geräuschverlaufs einzu-beziehen. Hierfür gibt es unterschiedliche Konzepte. Z. B. wird bei Straßen unabhängig vom Wochentag in Tag (6-22 Uhr) und Nacht (22-6 Uhr) unterschieden. Bei Sportanlagen wird feiner differenziert: Dort gehen auch Ruhezeiten und –tage ein.

4.1.3.2 Maximalpegel

Der Maximalpegel beschreibt die im Beurteilungszeitraum auftretende wahrnehmbare Belastungsspitze als Effektivwert, dem gemäß unter Einbeziehung der Zeitbewertung. Ein typisches für den Umgebungslärm zu ermittelndes Pegelkriterium ist der A-bewertete Maximalpegel mit Zeitbewertung 'fast'.

$$L_{AFmax}$$

Die Kenntnis des Maximalpegels ist bei ungleichmäßigen Pegelverläufen wichtig, insbesondere dann, wenn unmittelbar eintretende Lärmwirkungen (wie Kommunikationsstörung, Aufwachen) beurteilt werden sollen. Im gewerblich-industriellen Bereich (Bundes-Immissionsschutzgesetz, TA Lärm) gehen Vorgaben zum Maximalpegel in die Anlagen-genehmigung ein.

Grundsätzlich ist die rechnerische Prognose von Maximalpegeln bei bekannten Anlagenparametern, Ausbreitungsbedingungen und unter Setzung meteorologischer Bedingungen einfach möglich. Vor allem im Straßenverkehr tritt aber das Problem auf, dass die tatsächlich zu beobachtenden Maximalpegel oft aus nicht bestimmungsgemäßer Nutzung von Straßen (überhöhte Geschwindigkeit, rücksichtslose (besonders hochtourige) Fahrweise, Instandhaltungsmängel von Fahrzeugen) resultieren. Die Modellierung von Maximalpegeln im Kontext des Umgebungslärms ist insofern von der Schwierigkeit geprägt, das für die Anlage jeweils maßgebliche Schallereignis zu definieren. Wird hier nur von zulässigen und regelmäßigen Ereignissen ausgegangen, kann daraus eine prognostische Unterschätzung des Maximalpegels resultieren. Wird bei der Abschätzung zu konservativ vorgegangen, kann sich ein unrealistisch hoher Pegel ergeben.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

4.1.3.3 Perzentilpegel

Perzentilpegel stellen eine statistische Auswertung des Geräuschverlaufs nach Zeitanteilen dar, wobei der in $N\%$ der Bezugszeit überschrittene Geräuschpegel angegeben wird. Basis sind in der Regel zeit- und frequenzbewertete Geräuschpegel. Aus Perzentilpegeln lassen sich in Kombination mit Mittelungspegeln Rückschlüsse auf die zeitliche Struktur, insbesondere den in großen Teilen der Bezugszeit überschrittenen und nur selten überschrittenen Pegel ziehen. Typische Perzentilpegel sind der als Hintergrundschallpegel oder auch Basispegel bezeichnete, in 95% der Bezugszeit überschrittene

$$L_{AF95}$$

und der als mittlerer Spitzenpegel bezeichnete, in 1% der Bezugszeit überschrittene

$$L_{AF1}$$

In der Komplementärbetrachtung erlaubt die Kenntnis von Perzentilpegeln auch den Rückschluss auf die 'Ruheanteile' im Geräuschverlauf. So kennzeichnet der L_{AFn} jeweils auch den in $(100-n)\%$ der Bezugszeit unterschrittenen Geräuschpegel, der L_{AF1} gibt also zugleich Aufschluss über die in 99% der Bezugszeit nicht erreichte Geräuschintensität.

Die Modellierbarkeit von Perzentilpegeln hängt stark von der Kenntnis anlagenspezifischer Betriebsparameter und deren Zeitverteilung ab. Grundsätzlich können Perzentilpegel für den stochastischen Einflüssen unterworfenen Geräuschverlauf an Straßen nur annähernd und auf Basis empirischer Erkenntnisse abgeschätzt werden, während die stärker durch kontrollierte Einzelereignisse gekennzeichneten Emittenten eine genauere grundsätzlich eine genauere Ermittlung erlauben.

4.1.3.4 Pegelhäufigkeiten (Störsummen, NAT-Kriterien)

Mit dem Kriterium NAT (number above threshold) wird die Zahl von Einzelereignissen oberhalb definierter Schwellen in einem Bezugszeitraum beschrieben. Ein typisches für den Fluglärm herangezogenes Kriterium ist die Anzahl von Ereignissen über der Maximalpegelschwelle 70 dB(A) , beschrieben als

$$NAT_{70}$$

Die Modellierung von NAT-Kriterien erfordert präzise Kenntnisse der Maximalpegelverteilung im Bezugszeitraum. Da die Zählung über eine exakte Schwelle erfolgt, ist der NAT ein sehr sensibler Wert, auf den sich auch kleine Veränderungen des Geräuschverlaufs erheblich auswirken können.

4.1.4 Beurteilungspegel mit subjektiven Korrekturfaktoren

Der Beurteilungspegel unterscheidet sich von den oben dargestellten Geräuschpegeln und pegelstatistischen Auswertungen dadurch, dass in ihn systematisch Korrekturen für die Lästigkeit von Geräuschen einbezogen werden. Beurteilungspegel sind damit keine akustischen Maße, sondern Wirkungsindikatoren. Die grundlegende fachliche Normierung des Beurteilungspegels L_r (rating level) erfolgt in der internationalen Norm ISO 1996 bzw. durch die DIN 45645-1. Dort ist als grundlegender Parameter der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} definiert, der um Korrekturfaktoren für Impulshaltigkeit, Töne, Informationsgehalt, Tageszeiten sowie bestimmte Schallquellen und Situationen (Sonderfaktoren, Zu- oder Abschläge) ergänzt wird:

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_R + K_S.$$

Nach ISO 1996 soll der Beurteilungspegel über Bezugszeitintervalle ermittelt werden, die von der Charakteristik der Schallquelle(n) und Immissionspunkte abhängen. Typische Intervalle sind der Tag- und der Nachtzeitraum für die Beurteilung von Wohngebieten. Der damit in seinen Grundkomponenten bestimmte Beurteilungspegel wird in Abhängigkeit von der jeweiligen Beurteilungsaufgabe – z. B. in den Vorschriften des Immissionsschutzrechts – sehr unterschiedlich ausgeformt. Entscheidend dabei ist die Einbeziehung und Ausgestaltung der Korrekturfaktoren, die aus objektiven Geräuscheigenschaften, empirischen wirkungsbezogenen Erkenntnissen oder auch durch vereinfachende Setzung bestimmt werden können.

Beurteilungspegel werden schwerpunktmäßig für immissionsschutzrechtliche Beurteilungsaufgaben, z. B. die Operationalisierung von Richt- und Grenzwertsystemen, eingesetzt. Diese basieren fast ausschließlich auf äquivalenten Dauerschallpegeln und beziehen weitere Pegelkriterien, z. B. den Maximalpegel, nicht oder nur ergänzend ein.³ Durch die Anwendung von Korrekturfaktoren werden mutmaßlich lästigkeitsrelevante Geräuscheigenschaften, die vom äquivalenten Dauerschallpegel nicht erfasst werden, ei-

³TEGEDER, Klaus et al.: Beurteilung und Bewertung von Gesamtlärm (Gesamtlärmstudie). Köln: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme, 2000, S. 17.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

ner Erhöhung der Schallenergie und damit des äquivalenten Dauerschallpegels gleichgesetzt. Damit kann die im Vollzug des Immissionsschutzrechts angestrebte Beschränkung auf eine möglichst geringe Zahl von Beurteilungsparametern umgesetzt werden. Klar ist jedoch, dass die so gebildeten Beurteilungspegel jeweils nur aus dem Beurteilungsverfahren heraus interpretierbar und verständlich sind, dass also die Einheit von Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren streng zu beachten ist. Dies ist besonders deshalb von Bedeutung, als auch die nach deutschem Immissionsschutzrecht vorgegebenen Beurteilungspegel in zahlreichen Parametern nicht übereinstimmen, z. B. werden differenzierte Äquivalenzparameter, Zeitbewertungen, Beurteilungszeiträume und Korrekturfaktoren normiert.⁴

Die für Beurteilungspegel international normierte und im deutschen Immissionsschutzrecht in unterschiedlicher Form angewandte Korrektursystematik ist für diese Arbeit insofern von hoher Bedeutung, als sie einen eigenständigen methodischen Ansatz zur normierten Bewertung heterogener und kombinierter Geräuschimmissionen darstellt.

4.1.5 Zusammenschau und Bewertung

Geräuschverläufe können mit vielfältige Kriterien statistisch beschrieben werden, insbesondere durch Mittelung, Feststellung von Extrema und von Zeitanteilen sowie durch Auswertung von Einzelereignissen. Bezieht man akustische und nichtakustische Struktureigenschaften des Momentangeräuschs wie Ton- und Informationshaltigkeit ein, ergeben sich weitere Optionen für die Kennzeichnung von Geräuschverläufen und -strukturen. In der Zusammenschau der Parameter lässt sich eine umfassende Beschreibung einer Geräuschsituation über einen bestimmten Bezugszeitraum formulieren:

- Mittleres Geräuschniveau als Basisparameter, beschrieben z. B. durch den L_{Aeq} ,
- Zeitlich differenziertes Geräuschniveau, z. B. nach Zeitblöcken Tag, Abend und Nacht,
- Hintergrundbelastung als Parameter für das nur selten unterschrittene Geräuschniveau, beschrieben z. B. durch den L_{AF95} ,
- Mittlere Spitzenpegel als Parameter für das nur selten überschrittene Geräuschniveau, beschrieben z. B. durch den L_{AF1} (oder den L_{AF5} als Spiegelgröße zum L_{AF95} ,

⁴TEGEDER, Klaus et al.: Beurteilung und Bewertung von Gesamtlärm (Gesamtlärmstudie). Köln: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme, 2000, S. 18.

- Häufigkeit und Intensität von Einzelereignissen, beschrieben durch Maximalpegelstatistiken (z. B. NAT-Kriterien),
- Akustische Auffälligkeiten der Geräusche, z. B. Impuls- und Tonhaltigkeit (qualitativ/quantitativ),
- Nichtakustische Auffälligkeiten der Geräusche, z. B. Informationshaltigkeit (qualitativ).

Unter Vernachlässigung der durch die grundlegenden Bewertungen (Logarithmierung, Frequenz- und Zeitbewertung) entstehenden Unschärfen lässt sich damit die Geräuschbelastung differenziert abbilden und flexibel auswerten, z. B. im Hinblick auf Korrelationen mit einzelnen Wirkungen. Dabei gilt grundsätzlich, dass dies umso besser möglich ist, je feiner die Belastungsdaten zeitlich aufgelöst sind (Bezugszeitraum).

In der Praxis der Lärmkartierung wird mit deutlich weniger differenzierten Belastungsdaten gearbeitet, in der Regel mit Beurteilungspegeln auf Basis des L_{Aeq} , die über einen sehr langen Bezugszeitraum (i. d. R. ein Jahr) erfasst werden. Die Auswahl der in der Lärmkartierung modellierten Pegelkriterien setzt eine mehrdimensionale Bewertung voraus, die nur im Gesamtkontext der Modellierung des Umgebungslärms und seiner Wirkungen sinnvoll zu diskutieren ist. Als wichtige Entscheidungskriterien können vor allem drei Faktoren identifiziert werden:

1. Modellierbarkeit und Prognostizierbarkeit,
2. adäquate Abbildung von Wirkungszusammenhängen,
3. Handhabbarkeit und Handlungsorientierung.

Die Modellierbarkeit und Prognostizierbarkeit eines Pegelkriteriums ist Voraussetzung für seine Verwendung in der berechnungsgestützten Lärmkartierung und Immissionsprognose. Einige detaillierte und sensitive Pegelkriterien lassen sich besonders für den von stochastischen Einflüssen besonders geprägten Straßenverkehr nicht sinnvoll modellieren, sondern nur ex-post aus Messungen rekonstruieren. Dies verhindert ihre Einbeziehung in die Lärmkartierung zum Einen aus Gründen des Erhebungsaufwands und zum anderen deswegen, weil künftige Entwicklungen nicht prognostizierbar sind. In Abhängigkeit von der Geräuschart, dem Pegelkriterium und dem Zeithorizont der Betrachtung ergeben sich sehr unterschiedliche erreichbare Genauigkeiten. Auch dies ist bei der Auswahl der Pegelkriterien für die Lärmkartierung zu berücksichtigen.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Die Pegelkriterien müssen außerdem geeignet sein, eine oder mehrere der relevanten Lärmwirkungen zumindest ansatzweise adäquat abzubilden. Hier ist ein Abgleich mit den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung, insbesondere den vorliegenden Dosis-Wirkungs-Beziehungen notwendig, um abschätzen zu können, für welche Pegelkriterien bzw. Kriterienkombinationen derartige Beziehungen fundiert sind und in welcher Qualität, Detaillierung und Genauigkeit daraus Lärmwirkungen modelliert und prognostiziert werden können.

Aus Sicht der raumbezogenen Planung und des praktischen Immissionsschutzes ist es außerdem notwendig, bei der Auswahl von Pegelkriterien die Handhabbarkeit und die Handlungsorientierung einzubeziehen. Die Handhabbarkeit wird vor allen Dingen durch die Anzahl der Pegelkriterien und der zu betrachtenden Kombinationen bestimmt. Die klare Priorität liegt hier auf der Minimierung der Kriterienanzahl (möglichst auf einen Einzahlwert), um transparente und vermittelbare Bewertungs- und Optimierungsfunktionen darstellen zu können. Gleichzeitig besteht ein nachvollziehbares Interesse an der Beschränkung auf Pegelkriterien, die durch rechtliche, administrative und planerische Maßnahmen wirksam, zügig und nachhaltig beeinflussbar sind, also möglichst in direktem Wirkungszusammenhang mit steuerbaren Raum- und Anlagenparametern stehen.

Die hier im Überblick zusammengefassten fachlichen Ansprüche an Pegelkriterien für die Lärmkartierung konfliktieren in mehreren Bereichen. Die entscheidenden Spannungsfelder entstehen zwischen dem Bedarf nach möglichst präzisen und differenzierten Geräuschbeschreibungen für die Wirkungsprognose einerseits und begrenzter Modellierbarkeit aus physikalisch-technischer Sicht sowie dem Wunsch nach Reduzierung der Parameterzahl aus Steuerungsgesichtspunkten andererseits. Es ist daher im Folgenden zunächst zu untersuchen, welche Pegelkriterien für den Umgebungslärm modellierbar und prognostizierbar sind und welche Genauigkeiten dabei erreicht werden können. Diese Erkenntnisse bilden die Basis für die weitere Betrachtung im Folgekapitel, das die Zusammenhänge der Lärmwirkungen näher untersucht.

4.2 Emissionsmodellierung

4.2.1 Rahmenbedingungen der Emissionsmodellierung für Umgebungslärmquellen

Ziel der Emissionsmodellierung als Bestandteil der Immissionsprognose ist die Ableitung des Schalleistungspegels raumbezogener Anlagen als Grundlage für die Modellierung

der Schallausbreitung und der Immissionen. Der Schallleistungspegel L_W ergibt sich durch Logarithmierung des Verhältnisses der Schallleistung zur Hörschwelle P_0 .

$$L_W = 10 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Der Schallleistungspegel bildet als Emissionspegel die entfernungsunabhängige rechnerische Basis für die Bestimmung von Schallpegeln in bestimmten Abständen zur Schallquelle. Die Schallleistung kann als Eigenschaft der Schallquelle bei bestimmten Betriebsbedingungen charakterisiert werden. Bei der Bestimmung der Schallleistung raumbezogener Anlagen ist zu berücksichtigen, dass zwar aus systematischen Gründen die raumbezogenen Anlagen als Modellierungsbasis herangezogen werden, diese aber im physikalischen Sinne keine Schallquellen darstellen, sondern nur als räumliche Träger tatsächlicher Schallquellen fungieren und diese zusammenfassen. Die Modellierung von Schallleistungspegeln ist damit ein mehrstufiger Prozess, der zunächst die schallphysikalischen Eigenschaften der tatsächlichen Schallquellen, z. B. von Kraftfahrzeugen, erfasst und dann eine Aggregation in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen auf der Anlage, z. B. eines Straßenabschnitts, vornimmt. In Abhängigkeit vom zu prognostizierenden Pegelkriterium ergeben sich dadurch unterschiedliche Anforderungen an die Emissionsprognose.

Ein grundlegendes Problem der Emissionsprognose ist dabei, dass die als Umgebungslärmquellen einzubeziehenden Anlagen ganz oder teilweise offene Systeme darstellen. Damit ist gemeint, dass die konkrete Nutzung von Anlagen nicht umfassend reglementiert und kontrollierbar ist. Dies ist besonders bei Straßen gegeben. Für diese gilt in aller Regel das Prinzip des restriktions- und diskriminierungsfreien Zugangs im Rahmen der vorhandenen Kapazitäten, soweit die Fahrzeuge den Zulassungsanforderungen entsprechen und die Verkehrsregeln eingehalten werden. Dies führt dazu, dass das tatsächliche Verkehrsgeschehen häufig, aber nicht zwingend, starken Schwankungen unterliegt, sich weitgehend selbst regelt und letztlich nur stochastisch (und höchst unvollständig) beschrieben oder gar prognostiziert werden kann. Bei anderen Umgebungslärmquellen sind deutlich geringere Freiheitsgrade zu beobachten, wodurch sich die Emissionsmodellierung deutlich vereinfacht. So stehen Schienenwege und Flughäfen zwar grundsätzlich auch zur (diskriminierungsfreien) Nutzung offen, dort muss aber technisch bedingt jede Einzelbewegung eines Fahr- oder Flugzeugs angemeldet, in Fahrplantrassen oder Slots koordiniert und überwacht werden. Gewerbe- und Industrieanlagen sind näherungsweise als geschlossene Systeme zu verstehen, bei denen Fläche, Anlagen und Anlagenbetrieb in einheitlicher Trägerschaft liegen und unkontrollierte Vorgänge praktisch nicht stattfinden. Die für die Lärmkartierung bedeutende Frage der Modellierbarkeit und Beein-

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

flussbarkeit von Emissionseigenschaften muss daher getrennt nach Umgebungslärmarten betrachtet werden.

4.2.2 Straßenverkehr

4.2.2.1 Primäremissionen

Die momentane Geräuschemission eines Straßenabschnitts ergibt sich aus den summierten Emissionen der dort verkehrenden Fahrzeuge. Die Fahrzeugemission setzt sich aus Antriebs- und Rollgeräuschen zusammen.⁵ Im (gleichmäßig laufenden) Stadtverkehr sind die Anteile etwa gleichgewichtig.⁶ Moderne PKW gelten – nicht zuletzt infolge strenger Zulassungswerte – als schalltechnisch weitgehend optimiert. Weitere Minderungen sind mit hohem Aufwand (Kapselung) bzw. einem Wechsel der Antriebstechnik (Brennstoffzellen, Elektromotoren) erzielbar. Weitergehendes Optimierungspotential wird bei den Reifen gesehen, allerdings treten hier konfligierende Zielsetzungen auf (Sicherheit, Kraftstoffersparung, Geräuschreduktion), deren fachliche Relevanz allerdings umstritten ist.⁷

Bei hochtouriger Fahrweise und (zwangsläufig unregelmäßigen und hochtourigen) Beschleunigungsvorgängen steigt das Motorengeräusch bei Verbrennungsmotoren deutlich an. Die Geräuschemission eines einzelnen PKW im Stadtverkehr ist daher maßgeblich von der Betriebsweise und dem Verkehrsfluss abhängig. Bezogen auf die Drehzahl zeigt sich im Durchschnitt moderner PKW eine Emissionsäquivalenz von 32 mit 2.000 Umdrehungen betriebenen Fahrzeugen und einem Fahrzeug mit 4.000 Touren. Das Rollgeräusch steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit an, zwischen 30 und 50 km/h besteht eine Differenz von rund 7 dB(A). Bei Geschwindigkeiten oberhalb von 60 km/h spielt das Motorengeräusch kaum mehr eine maßgebliche Rolle, da die Roll- und Windgeräusche exponentiell mit der Geschwindigkeit ansteigen und hochtourige Fahrweisen nur noch selten vorkommen. Ab ungefähr 160 km/h sind Windgeräusche der allein dominierende Geräuschfaktor. Lastkraftwagen unterscheiden sich in ihrer Geräuschemission sehr deutlich von PKW. Im Schnitt sind bei gleichen Geschwindigkeiten Pegeldifferenzen um 10 dB(A) messbar. Bezogen auf den Mittelungspegel entspricht eine LKW-Fahrt damit ungefähr 10

⁵STEVEN, Heinz: Entstehung und Perspektive von Straßenverkehrsgeräuschen. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): *Leben mit Lärm?* Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 181.

⁶EGLI, Walther: *Kleinlaute Karren*. In CERCLE BRUIT SCHWEIZ (Hrsg.): *Lärm*. Luzern: Cercle Bruit Schweiz, 1998.

⁷STEVEN, Heinz: Entstehung und Perspektive von Straßenverkehrsgeräuschen. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): *Leben mit Lärm?* Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 203.

PKW-Fahrten. LKW-Maximalpegel können auch durch mehrere gleichzeitig verkehrende PKW nicht erreicht werden.

Erzeugt werden diese Differenzen zum Einen durch die höheren Abroll- und Windgeräusche. Die Abrollgeräusche sind wesentlich vom Fahrzeuggewicht abhängig, die Windgeräusche von der großen Höhe und ungünstigen Aerodynamik. Zum Anderen entstehen insbesondere bei beladenen LKW, die oftmals an der Leistungsgrenze mit hohen Drehzahlen und häufigen Schaltvorgängen, operieren, deutlich stärkere Motorengeräusche als bei PKW. Hilfsaggregate, Kühlanlagen, freiliegende Auspuffanlagen etc. verstärken die Emission. Außerdem liegen gerade diese Emittenten i. d. R. deutlich exponierter und höher als bei den PKW, bei denen die maßgeblichen Emissionen in Bodennähe auftreten. Verschärft wird diese Situation durch weitere Schwingungserzeugungen durch LKW, insbesondere Erschütterungen infolge des hohen Fahrzeuggewichts und Infraschallanteile im Motorengeräusch.

Neben den Fahrzeugeigenschaften hat der Fahrbahnbelag maßgeblichen Einfluss auf die Primäremission und die Reflexionsverhältnisse bei der Ausbreitung von Fahrzeuggeräuschen. Bei unebenen Pflasterbelägen – vor allem unregelmäßigen Natursteinformen mit großen Fugen – treten die höchsten Rollgeräusche auf, da die Reifen auf diesen Belägen nicht gleichmäßig abrollen, sondern auf die Pflastersteine auftreffen und bei jedem Auftreffen einen Geräuschimpuls erzeugen. Bei ebenen Belägen, die i. d. R. großflächig gegossen werden, sind die Geräuschverhältnisse vom Reflexionsverhalten der Oberflächen abhängig. Grundsätzlich gilt, dass feinporige bzw. geschlossene Oberflächen (Beton, Asphaltbeton) geringere Reflexionsverluste erzeugen und damit 'lauter' sind als offenporige Oberflächen (Splitt- und Drainasphalt), bei denen größere Geräuschanteile durch Streuung im Straßenkörper absorbiert werden. Die Streubereiche im Geräuschverhalten sind recht groß. Das hängt zum Einen mit Konstruktionsunterschieden (z. B. Fugen bei Betonbelägen, Pflasterrichtungen, Unterkonstruktion etc.) zusammen. Zum Anderen ist der Einfluss der Fahrbahndecke auf die Geräuschentwicklung geschwindigkeitsabhängig, d. h. bei niedrigen Geschwindigkeiten mit geringem Rollgeräuschanteil tendenziell geringer als bei hohen Geschwindigkeiten.

4.2.2.2 Räumliche Determinanten und Management des Straßenverkehrslärms

Straßen nehmen unterschiedliche Verkehrsfunktionen wahr. Grundsätzlich unterscheidbar sind raumverbindende und flächenerschließende Straßen. Schnittmengen zwischen beiden Funktionen sind häufig und für städtische Hauptverkehrsstraßen sogar charakteristisch. Fernverkehrsstraßen mit Verbindungsfunktion sind durch hohes Verkehrsauf-

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

kommen (DTV > 10.000 Kfz), hohen Schwerverkehrsanteil (> 10 %) und hohe Fahrgeschwindigkeiten (> 50 km/h) gekennzeichnet. Sie sind meist anbaufrei, d. h. haben keine funktionale verkehrliche Verknüpfung zu den benachbarten Grundstücken und nur wenige Anschlüsse an das nachgeordnete Verkehrsnetz, sind also weitgehend unabhängig von ihrer direkten Umgebung. Aus diesem Grund bestehen für sie relativ große Trassierungsspielräume und vielfältige Möglichkeiten der anlagennahen Abschirmung von Geräuschen durch Wände und Wälle, Überdeckung und Tieferlegung.

Bei Neuplanungen und wesentlichen Änderungen von Fernverkehrsstraßen greift die 16. BImSchV und stellt mit ihren Grenzwerten ein Mindestniveau an Lärmschutz weitgehend sicher. Allerdings ist dies erst seit ihrem Inkrafttreten im Juni 1990 der Fall. Der weit überwiegende Teil der Fernstraßen ist bereits vor Inkrafttreten der Verordnung entstanden. Besonders in den 1970er und frühen 1980er Jahre gab es einen besonders starken Zuwachs an Fernstraßen. Städtische Hauptverkehrsstraßen und Ortsdurchfahrten klassifizierter Fernstraßen mit überlagerter Verbindungs- und Erschließungsfunktion bilden einen Schwerpunkt straßenverkehrsbedingter Lärmkonflikte, weil bei ihnen die räumliche Zuordnung zu Siedlungsflächen grundsätzlich nicht sinnvoll optimierbar ist: Die Verbindungsfunktion lässt eine von Siedlungsflächen abgerückte Linienführung angeraten erscheinen, die aufgrund der Erschließungsfunktion ausgeschlossen ist – diese Straßen sind städtebaulich integriert. In den 1960er Jahren ist unter dem städtebaulichen Leitbild der Autogerechten Stadt der Versuch unternommen worden, die Verkehrsfunktionen auch im städtischen Raum möglichst weitgehend voneinander zu trennen, d. h. Stadtautobahnen ohne Erschließungsaufgaben (anbau- und kreuzungsfrei) zu realisieren und die Funktion der übrigen Stadtstraßen auf die Quartierserschließung zu begrenzen. Seit dem Scheitern dieses nur in Ansätzen verwirklichten Konzepts in den 1970er Jahren muss davon ausgegangen werden, dass auch mittel- und langfristig in großem Umfang funktionsgemischte Straßen mit erhöhter Belastung von Wohn- und Arbeitsstandorten durch Durchgangsverkehr bestehen werden. Im Bereich der Ortsdurchfahrten werden bis heute durch sukzessive Realisierung von Ortsumgehungen Entlastungen umgesetzt; in den größeren Städten ist dies nur begrenzt möglich, da erhebliche Verkehrsmengen gerade die Innenstädte zum Ziel haben. In derartigen Situationen sind die Handlungsmöglichkeiten begrenzt: Transmissionsmindernde Maßnahmen fallen bei angebauten Straßen praktisch aus, und geräuschkindernde Fahrbahnkonstruktionen werden wegen der relativ geringen Geschwindigkeiten kaum wirksam. Das Maßnahmenpektrum ist daher im Wesentlichen auf Verkehrslenkung und auf Maßnahmen an den Immissionsorten selbst begrenzt.⁸

⁸STEINEBACH, GERHARD; RUMBERG, Martin: Planerische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 287ff..

Reine Erschließungsstraßen nehmen nur sog. gebietseigenen Verkehr auf. Lärmkonflikte sind eher selten und deuten auf Defizite in der Netz- oder Straßenraumplanung hin (Fehlnutzung von Straßen, unerkannte Verbindungsfunktion, unangepasste Geschwindigkeiten etc.). Gleichwohl lässt sich an den Erschließungsstraßen gut aufzeigen, dass in der Siedlungsstruktur heutiger Ausprägung ein gewisser Umfang an Verkehrsgeräuschen systembedingt nicht vermeidbar ist.

Fahrzeuge

Bereits seit 1970 reguliert die EG/EU den Geräuschpegel von KFZ-Motoren und Auspuffvorrichtungen. Die ursprüngliche Richtlinie⁹ ist in mittlerweile zehn Schritten angepasst (und dabei stets verschärft) worden, zuletzt durch Richtlinie 1999/101/EG der Kommission.¹⁰ Dabei wurden die Geräuschemissionsgrenzwerte für neue PKW, LKW und Busse seit 1972 um mehr als 10 dB(A) und damit wahrnehmungsbezogen auf die Hälfte reduziert. Die Optimierungspotentiale der Fahrzeugtechnik sind in der räumlichen Planung nicht relevant. Auch die Geräuscheminderungspotentiale einer optimierten Fahrweise (niedertourig, gleichmäßig), die gegenüber ungünstiger Fahrweise 3-4 dB(A) (bei mutwillig lauter Fahrweise deutlich mehr) ausmachen können, sind für die räumliche Planung nur indirekt erschließbar.

Technische Gegebenheiten und Straßenzustand Die Geräuschenstehung des einzelnen Fahrzeugs im Straßenverkehr hängt wesentlich vom Motoren- und vom Rollgeräusch, bei höheren Geschwindigkeiten auch vom Windgeräusch ab. Das Motorengeräusch spielt bei höheren Geschwindigkeiten kaum mehr eine Rolle – die Bedeutung der Fahrwegbeschaffenheit steigt daher erheblich an. Geräuschemindernde Straßenbeläge wirken besonders auf schnell befahrenen Straßen – hier können erhebliche Effekte erzielt werden, deren erzielbarer Umfang noch Gegenstand der Forschung und technischen Optimierung sind. Im Stadtverkehr spielen Fahrbahngegebenheiten keine bedeutende Rolle, sofern es sich nicht um einen unregelmäßigen Pflasterbelag mit weiten Fugen (z. B. Kopfsteinpflaster) handelt. Das größte Lärminderungspotential (bis zu 10 dB(A)) ergibt sich beim Einsatz Flüsterasphalt auf Autobahnen.¹¹ Erheblichen Einfluss hat der Straßenzustand. Defekte Dehnfugen, Schlaglöcher und Bodenunebenheiten erhöhen die Geräuschemission (ähnlich wie bei Pflaster) und tragen allgemein zur Unstetigkeit der Geschwindigkeiten bei.

⁹70/157/EWG des Rates der EWG vom 6. Februar 1970 (ABl. L 42 vom 23.2.1970, S. 16)

¹⁰ABl. L 334 vom 28.12.1999, S. 41

¹¹STEVEN, Heinz: Entstehung und Perspektive von Straßenverkehrsgeräuschen. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 204.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Fahrgeschwindigkeiten Die Effekte von Geschwindigkeitsbeschränkungen sind differenziert zu betrachten. Im Siedlungsraum werden ihre Effekte oft durch suboptimales Fahrverhalten (hohtourig, unregelmäßig) kompensiert. Wenn aber im Zusammenwirken der Geschwindigkeitsbegrenzung mit Maßnahmen im Straßenraum und an der Verkehrsführung eine Verstetigung des Verkehrsflusses erreicht werden kann, sind Potentiale erschließbar. Ob eine flächenhafte Absenkung des Geschwindigkeitsniveaus in Städten, z. B. auf 30 km/h, signifikante Geräuschwirkungen haben könnte, ist empirisch nicht belegbar. Gleichwohl spricht vieles dafür, dass dadurch nach einer Adaptionsphase im Vergleich zur heute gültigen Höchstgeschwindigkeit etliche die Stetigkeit des Verkehrsflusses behindernde Interaktionen (Kraftfahrzeuge mit anderen Kraftfahrzeugen, Radfahrern, Fußgängern etc.) besser und gleichmäßiger abgewickelt werden und insofern zumindest Verbesserungen der Geräuschqualität eintreten könnten. Bei Fernverkehrswegen sind Geräuscheffekte von Geschwindigkeitsbeschränkungen einfacher einzuschätzen: Jenseits von 70 km/h führen sie nicht zu Unstetigkeiten, zusätzlichen Schaltvorgängen etc., sondern verringern die Geräuschemission direkt. Bei PKW liegt die nach RLS-90 berechnete Pegeldifferenz beispielsweise zwischen 130 und 100 km/h bei rund 3,2 dB(A). Die schalltechnische Wirksamkeit von Geschwindigkeitsbegrenzungen im Fernstraßennetz hängt allerdings wesentlich von der Akzeptanz der Regelung durch die Fahrer und vom Schwerverkehrsanteil auf der Straße ab. So sind z. B. nächtliche Geschwindigkeitsbegrenzungen an Autobahnen mit hohem nächtlichen Schwerverkehrsanteil (in der Praxis treten bis zu 50 % LKW auf) faktisch wirkungslos.

Verkehrslenkung und Netzplanung Da Straßen zum Gemeingebrauch gewidmet sind, kann eine direkte Geräuschkontingentierung im Sinne der Beschränkung von Fahrten, wie sie beispielsweise bei der Bewegungskontingentierung im Luftverkehr (siehe dort) angewandt wird, nicht erfolgen. Eine gezielte Verkehrslenkung im Siedlungsraum, ggf. in Verbindung mit Netzmaßnahmen, kann sich aber im Einzelfall deutlich positiv auf die Geräuschimmissionssituation auswirken. Durch angepasste Hierarchisierung der Verkehrswege insbesondere des städtischen Straßennetzes kann Verkehr entsprechend den erschlossenen und angrenzenden Nutzungen so geführt werden, dass Durchgangsverkehr auf konfliktarmen Trassen gebündelt sind und empfindlichere Bereiche nicht berühren (z. B. durch Direktanbindung von Gewerbegebieten an das Fernstraßennetz ohne Berührung von Wohngebieten). Durch die Bündelung der Verkehrsströme auf wenigen Haupttrassen kann das Netz der Wohn- und Erschließungsstraßen deutlich von Verkehrslärmwirkungen entlastet werden. Voraussetzung für die Bewältigung von Lärmkonflikten an belasteten Straßenabschnitten durch Verkehrslenkung ist allerdings, dass zur Bündelung von Verkehrsströmen verkehrlich geeignete Entlastungsachsen mit Reservekapazität zur Verfügung stehen, an der Entlastungsachse keine zusätzlichen Lärmkonflikte

entstehen, große Verkehrsanteile der zu entlastenden Straßenabschnitte verlagert werden können (mindestens 50 %, um überhaupt einen deutlich spürbaren Effekt („3-dB(A)-Schwelle“ zu erzielen), der Anteil des Schwerverkehr möglichst weit reduziert werden kann, Schleichverkehre und das Nachrücken bislang von der zu entlastenden Achse verdrängten Verkehre unterbunden werden können. Bei Verkehrslenkungen ist – besonders wenn dafür Straßenneu- oder -ausbau vorgesehen ist – eine differenzierte Untersuchung der Wirksamkeit und möglicher Nebenfolgen notwendig. Gleiches gilt für die als „betriebliche Maßnahmen“ geltenden verkehrsrechtlichen Eingriffe wie Lichtsignalsteuerung, Betriebszeitbegrenzungen, Parkraumbewirtschaftung und Sperrung von Straßen für bestimmte Verkehrsarten. Für die Netzplanung ist eine detaillierte Untersuchung der Quell- und Zielverkehre sowie der Durchgangsverkehre erforderlich. Die Netzplanung steht oft in Kombination mit verkehrslenkenden Maßnahmen. Bei der Bündelung des Verkehrs auf Hauptverkehrsstraßen sind auch die Belange des Schallschutzes zu beachten. Günstig sind Trassen, die nicht durch Wohngebiete führen oder durch weniger lärmempfindliche Puffernutzungen von der Wohnbebauung getrennt sind.¹²

Ein Sonderfall der Netzplanung und Verkehrslenkung sind Entlastungsstraßen und Ortsumgehungen. Auch diese Maßnahmen müssen den oben dargestellten Anforderungen genügen. In der Praxis sind die Entlastungswirkungen oft unzureichend, weil Verlagerungseffekte überschätzt werden, zwar Pegelminderungen entstehen, diese aber die bestehenden Nutzungskonflikte nicht lösen, die entlasteten Achsen Neuverkehre anziehen, entlang der Entlastungsachsen neue Belastungen entstehen (Gesamtbetroffenheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung u. U. höher als vor der Maßnahme), neue Entwicklungsbarrieren entstehen, die mittelfristig selbst Konflikte erzeugen, ruhige Erholungsfreiräume verlärmert werden und Schwerverkehre auf der Ortsdurchfahrt verbleiben (Ziel- und Quellverkehr bestehender Gewerbe-, Sonder- und Kerngebiete).

Räumliche Zuordnung von Straßen und Siedlungsflächen § 41 BImSchG fordert i. V. m. § 50 BImSchG die verträgliche Zuordnung von Verkehrswegen zu empfindlichen Nutzungen. Die 16. BImSchV soll mit ihren Grenzwerten die Obergrenze der Akzeptabilität von Geräuschen durch neue Verkehrswege definieren; die Werte sind also – wenn möglich – zu unterschreiten. Andererseits gibt die 16. BImSchV ausdrücklich die Möglichkeit, bei „Unverhältnismäßigkeit“ die Werte sogar zu überschreiten und dies technisch bzw. finanziell zu kompensieren. Die verträgliche räumliche Zuordnung neuer Anlagen ist insofern rechtlich nicht abschließend verbindlich gesichert. Der stark eingeschränkte Geltungsbereich der 16. BImSchV führt insgesamt dazu, dass die verträgliche Zuordnung von

¹²STEINEBACH, GERHARD; RUMBERG, Martin: Planerische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): *Leben mit Lärm?* Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 289.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Landverkehrswegen rechtlich nur eingeschränkt wirksam wird. Maßgeblich dafür ist, dass selbst in hochbelasteten Lagen keine Summenbildung der Geräusche aller einwirkenden Straßenverkehrsanlagen vorgesehen ist, d. h. die Grenzwerte gelten isoliert für die neue Anlage. Dadurch kann im Einzelfall eine deutlich höhere Gesamtbelastung durch Verkehrsgeräusche entstehen und die verträgliche räumliche Zuordnung wirkungsseitig aushebeln.

Aus fachlicher Sicht ist die verträgliche räumliche Zuordnung insbesondere von Straßen (weniger von Schienenwegen) zu empfindlichen Nutzungen ein ebenso wichtiges wie problembehaftetes Prinzip. Einfache Modellrechnungen zeigen, dass eine nach den Grenzwerten der 16. BImSchV verträgliche Nachbarschaft zwischen einer durchschnittlich genutzten Autobahn und einem Allgemeinen Wohngebiet ohne weitere Schutzmaßnahmen einen Abstand von rund 700 m erfordert. Es ist einleuchtend, dass ein derart großer Abstand in der Siedlungsstruktur in Deutschland, ebenso in vielen Teilen Europas, nicht flächendeckend erzielbar ist. Die Problematik verschärft sich dadurch, dass der Verkehrswegebau aus Bedarfsgesichtspunkten gerade in den dichter besiedelten Regionen forciert wird und dass das weite Abrücken von Verkehrsachsen in den unbesiedelten Raum andere, ebenfalls relevante Umweltkonflikte wie die Zerschneidung von Landschaftsräumen und damit die Beeinträchtigung hochwertiger Biotop u. v. m. hervorrufen kann. In solchen Fällen stehen humanökologische Ansprüche in direktem Zielkonflikt mit anderen ökologischen Belangen. Ohnehin kommt ein räumlicher Abstand zur Lösung von Lärmkonflikten nur bei Fernverkehrsstraßen mit reiner Verbindungsfunktion in Frage. Bei Straßen, die zugleich oder ausschließlich Erschließungsfunktionen erfüllen und insofern nah an die Grundstücke mit – auch empfindlichen – Bodennutzungen herangeführt werden müssen, sind konfliktlösende Abstände aus der Natur der Sache heraus bei weitem nicht erreichbar.

Straßenraum

Aus Sicht des Lärmschutzes ist eine Straßenraumgestaltung zu bevorzugen, die zu moderaten, gleichmäßigen und möglichst niedrigen Geschwindigkeiten der motorisierten Fahrzeuge führt. Dadurch sind neben mäßigen Reduktionen im Bereich der Mittelungsspiegel vor allem Verbesserungen des Geräuschverlaufs im Straßenumfeld erzielbar (weniger Geräuschspitzen und abrupte Pegelverläufe). Die geräuschorientierte Festlegung einer Straßenraumgestaltung steht dabei in einer teils schwierigen Wechselbeziehung zu anderen Ansprüchen an den Straßenraum, z. B. der Verkehrsfunktion, der Durchlässigkeit für Fußgänger, Gestaltungsanforderungen und dem ruhenden Verkehr.

Die Geräuschminderungspotentiale optimierter Fahrweise (niedertourig, gleichmäßig), die gegenüber ungünstiger Fahrweise messbare 3-4 dB(A) (bei mutwillig lauter Fahrweise auch deutlich mehr) ausmachen können, sind für die räumliche Planung nur durch eine Straßenraum- und Knotenpunktgestaltung erschließbar, die derartige Fahrweisen ermöglicht und fördert. Auch die Akzeptanz von Geschwindigkeitsbegrenzungen ist von den Straßenraumgegebenheiten abhängig. Aus Sicht des Lärmschutzes ist dabei in allen Situationen eine Straßenraumgestaltung zu bevorzugen, die zu moderaten und gleichmäßigen Geschwindigkeiten der motorisierten Fahrzeuge führt. Dadurch sind gegenüber un stetigen Fahrten neben mäßigen Reduktionen im Bereich der Mittelungspegel vor allem Verbesserungen des 'Geräuschkomforts' im Straßenumfeld erzielbar (weniger Geräuschspitzen und abrupte Pegelverläufe). Die geräuschorientierte Optimierung des Straßenraums steht dabei besonders im hochverdichteten Bereich in einer teils schwierigen Wechselbeziehung zu anderen Ansprüchen der Öffentlichkeit, z. B. hinsichtlich der Verkehrsfunktion, der Durchlässigkeit für Fußgänger, von Gestaltungsanforderungen und des ruhenden Verkehrs. Denkbare Maßnahmen sind Kreisverkehre statt Lichtsignalanlagen, Verengen von Fahrstreifen; Abrücken der Fahrstreifen von der Straßengrenze, Entflechten der Verkehre (MIV, Fahrrad, Fußgänger) zur Verstetigung des Verkehrsflusses, Vermeiden von Störungen des Verkehrsflusses (z. B. durch optimierte Zuordnung des Stellplatzangebots und durch Ordnung des straßenquerenden fußläufigen Verkehrs), Verringern der Sichtweiten im Straßenraum und optische Verengung (z. B. durch Alleebäume und Einbauten).¹³

In der Diskussion dieser Maßnahmen erweist es sich immer wieder als problematisch, dass der rechnerische Nachweis der akustischen Wirksamkeit solcher Maßnahmen mit der in Deutschland eingeführten Rechenvorschrift (RLS-90) nicht gelingt. Das ist nicht darauf zurückzuführen, dass keine positiven Effekte entstehen, sondern zunächst darauf, dass der Parameter Verkehrsfluss im Berechnungsverfahren nicht implementiert ist und eine zuverlässige Bestimmung der Effekte nur ex-post und am konkreten Fall, nämlich messtechnisch und durch Befragung der Betroffenen, durchführbar ist.

Verkehrsvermeidung und –verlagerung auf emissionsarme Verkehrsträger Fester Bestandteil der Lärminderungsdiskussion ist die allgemeine Forderung nach Verkehrsvermeidung und Verlagerung motorisierter Individualverkehre auf den öffentlichen Personenverkehr und den nicht-motorisierten Bereich. Diese Forderung ist vor dem Hintergrund der vielfältigen durch den motorisierten Individualverkehr ausgelösten Belastungen (Treibhausgase, Unfallrisiken, Luftverunreinigungen, Flächenverbrauch...) plausibel. Der quanti-

¹³STEINEBACH, GERHARD; RUMBERG, Martin: Planerische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): *Leben mit Lärm?* Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 291f..

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

tative Effekt der Entlastung im Siedlungsraum ist in Bezug auf die Geräuschimmissions-situation allerdings eher gering. Wegen der Gesetzmäßigkeiten der Geräuschsummation sind sehr große anteilige Verlagerungen notwendig (> 50 % der Verkehrsstärke), um überhaupt signifikante Geräuschminderungen feststellen zu können. Wesentliche Effekte (> 3 dB(A)) sind insofern ohne radikale Einschnitte durch gesetzliche Regelungen (z. B. Fahrverbote, Teilsperren) mit sog. 'push-pull'-Maßnahmen nicht erzielbar, insbesondere nicht im oftmals regelbestimmenden Schwerverkehr.

Zusammenschau Die Abschätzung und Realisierung von Geräuschminderungspotentialen im Straßenverkehr erweist sich als schwierige und vielschichtige Aufgabe. Zu berücksichtigen sind technische Aspekte am Fahrzeug (Antrieb, Reifen, Aerodynamik) und am Fahrweg (Fahrbahnoberfläche, Abschirmungseinrichtungen) sowie planerische Aspekte, die insbesondere die räumliche Nutzung von Straßen, die Netz- und Straßenraumkonzepte sowie die Möglichkeiten der Verkehrsverlagerung und -minderung betreffen. Hierbei gilt, dass viele Einzelmaßnahmen nur lokal oder in bestimmten Verkehrssituation wirksam werden und außerdem die Verknüpfung mehrerer Maßnahmen erforderlich ist, um die Effekte voll ausschöpfen zu können. Ein Beispiel hierfür ist die Minderung der Fahrzeuggeräusche im Stadtverkehr, die sich durch ein annäherndes Gleichgewicht aus Roll- und Antriebsgeräuschen zusammensetzen. Aus technischer Sicht kann die Prioritätenfolge mit der prioritären Maßnahme Minderung der Reifen-Fahrbahngeräusche, gefolgt von Antriebsgeräuschen bei schweren und leichten Nutzfahrzeugen bis zu den Antriebsgeräuschen des Pkw abgeleitet werden.¹⁴ Planerische Maßnahmen sind lokal abzuwägen.

4.2.3 Schienenverkehr

4.2.3.1 Primäremission

Im Schienenverkehr wird die Geräuschemission wie im Straßenverkehr durch fahrzeugtechnische, bauliche (anlagenbezogene) und betriebliche Einflussfaktoren bestimmt.¹⁵ Die fahrzeugtechnischen Einflüsse lassen sich im Wesentlichen an der Antriebs- und Bremsstechnik festmachen. Die traditionellen Grauguss-Klotzbremsen verursachen starke und unangenehme Bremsgeräusche und rauhen außerdem die Radoberflächen auf. Dadurch entsteht zusätzlich ein deutlich höheres Rollgeräusch als bei modernen, mit Scheiben-

¹⁴STEVEN, Heinz: Ermittlung des weiteren Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen (Forschungsvorhaben 205 05 809). Berlin: Umweltbundesamt, 2003.

¹⁵HECHT, Markus: Entstehung und Perspektive von Schienenverkehrsgeräuschen. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 209ff..

oder Trommelbremsen ausgerüsteten Fahrzeugen. Die Unterschiede im Fahrgeräusch betragen bis zu 15 dB(A). Klotzbremsen finden sich heute vor allem im Güterverkehr und bei älteren Nahverkehrsfahrzeugen; der Fernverkehr und neuere Nahverkehrsfahrzeuge fahren mit Scheibenbremsen. ICE-Fahrzeuge fahren mit Radabsorbern, die das Rollgeräusch direkt an der Quelle weiter reduzieren. Die Verbreitung von Scheibenbremsen im Nahverkehr nimmt ständig zu und wird in wenigen Jahren nahezu 100 % erreichen. Im Güterverkehr scheidet sie bisher vor allem an den Kosten, außerdem fahren im Güterverkehr oft ausländische Fahrzeuge mit sehr unterschiedlichem Standard und Zustand. Da in Deutschland keine verbindlichen Ziel- oder Grenzwerte gelten, besteht für die Eisenbahnunternehmen wenig Anreiz, ihre Fahrzeuge lärmindernd auszurüsten. Allerdings laufen seit einiger Zeit Versuche mit Kunststoff-Bremsklötzen, die deutlich günstigere akustische Eigenschaften aufweisen als die traditionellen Graugussprodukte.

Die Einflüsse des Fahrwegs sind ähnlich einzuschätzen wie bei Fernverkehrsstraßen. Wie beim Straßenverkehr hat auch beim Schienenverkehr die Beschaffenheit der Fahrbahn eine erhebliche Bedeutung. Zum Einen unterscheidet sich der Vorbeifahrtpegel bei gut gewarteten Schienenwegen mit gleichmäßiger Gleislage und –zustand um bis zu 3 dB(A) von Gleisen schlechten Zustands, zum Anderen ist auch der Gleisbau selbst für die Geräuschemission des Schienenwegs (Reflexionsverhältnisse und Körperschallübertragung) entscheidend. Problematisch dabei ist, dass gerade die modernen Gleisbaukonstruktionen (Feste Fahrbahn, Betonschwellen) gegenüber der traditionellen Bauweise (Holzschwellen) deutlich nachteiligere Geräuscheigenschaften aufweisen.

4.2.3.2 Räumliche Determinanten und Management des Schienenverkehrslärms

Während die räumliche Verteilung von Geräuschemissionen des Straßenverkehrs von einer fast unüberschaubaren Vielfalt von Einflussfaktoren gekennzeichnet ist, die durch die Offenheit des Systems und seinen großen räumlichen Umgriff bei starker funktionaler und baulicher Differenzierung bedingt wird, sind die Zusammenhänge beim Schienenverkehrslärm von einer eng begrenzten Anzahl an Determinanten abhängig. Angesichts des im Vergleich zum Straßenverkehr sehr weitmaschigen Netzes von Schienenstrecken sind mit wenigen Ausnahmen nur klar begrenzte Korridore betroffen. Hier determiniert die Lage des Schienenwegs die räumliche Ausprägung der Immissionen. Da der Schienenverkehr fahrplanreguliert ist, entfallen die beim Straßenverkehr prägenden stochastischen Effekte in der zeitlichen Verteilung. Es eröffnen sich betriebliche Potentiale der Lärminderung, vor allem durch Bündelung geräuschintensiver Fahrten (Güterzüge) auf 'unempfindliche' Zeiten, d. h. insbesondere die Vormittags- und Nachmittagsstunden und die Verlagerung

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

auf unempfindliche Routen. Begrenzungen entstehen zum Einen durch Fahrplankonflikte (Personenverkehr – Güterverkehr) und wekehrlichen Zielen ('Nachtsprungverkehre'), zum anderen durch das sehr grobmaschige deutsche Netz von Eisenbahnstrecken, die technisch und geographisch geeignet sind, Güter- und Personenfernverkehr aufzunehmen.

4.2.4 Luftverkehr

4.2.4.1 Primäremission

Fluggeräusche sind im wesentlichen auf zwei Komponenten zurückzuführen, nämlich die durch den Antrieb verursachten und die aerodynamischen Geräusche. Aerodynamische Geräusche entstehen, wenn Luft über den Flugzeugkörper und die Tragflächen streicht und an den Reibungsflächen verwirbelt. Diese Geräusche sind nicht vermeidbar, da Flugzeuge die Luftreibung insbesondere an den Tragflächen, den Steuerrudern sowie den Start- und Landeklappen benötigen, um Auftrieb zu gewinnen und steuerbar zu sein. Insofern ist die aerodynamische Geräuschemission von Flugzeugen durch die verstärkten Luftturbulenzen bei ausgefahrenen Fahrwerken und Klappen beim Start und besonders der Landung deutlich höher als im Streckenflug. Ein Sonderfall aerodynamischer Geräusche ist der sog. Überschallknall, der entsteht, wenn Flugzeuge die Schwelle zur Schallgeschwindigkeit überschreiten. Das Geräusch von Propellerflugzeugen ist ein Verbrennungsmotorengeräusch. Es bewegt sich regelmäßig in moderaten Frequenzbereichen. Wie bei LKW und Diesellokomotiven bestehen erhebliche Unterschiede insbesondere in der Laufruhe und der Motorkapselung. Bei Düsenmaschinen entstehen Geräusche im wesentlichen durch drei Prozesse am Triebwerk und in Triebwerksnähe:

- Verbrennungsgeräusche im Inneren des Triebwerks,
- Motor- und Verwirbelungsgeräusche an den rotierenden Turbinen am Lufteinlass der Triebwerke (Fan),
- Atmosphärische Geräusche, die entstehen, wenn der heiße Vortriebsstrahl mit hoher Geschwindigkeit auf die deutlich kältere Umgebungsluft trifft.¹⁶

Die Geräusche von Düsenmaschinen sind wegen ihrer extremen Frequenzzusammensetzung deutlich lästiger als die von Propellermaschinen, außerdem sind die Schallleistungen wesentlich höher. Besonders bei Start und Landung muss hoher Schub (bzw.

¹⁶WEYER, Heinrich: Entstehung und Perspektive des Luftverkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 223ff..

Umkehrschub) entwickelt werden. Daher sind in den Flugphasen besonders intensive Triebwerksgeräusche festzustellen, während die Maschinen im Reiseflug nur mit Teillast arbeiten bzw. ohne Antrieb gleiten. Maschinen auf Reisehöhe (typischer Wert: 11 km) sind daher am Boden kaum bemerkbar (große Entfernung, geringes Triebwerksgeräusch, geringes aerodynamisches Geräusch.) Die Geräuschsituation an Verkehrs- und Militärflugzeugen wird seit deren breiter Einführung in den 1950er/60er Jahren ganz wesentlich von düsengetriebenen Flugzeugen bestimmt. Insbesondere beim Antriebsgeräusch dieser Maschinen sind in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt worden. Der 'Lärmteppich' oder 'Footprint' eines Flugzeugs – er bezeichnet die projizierte Fläche, auf der bei Start bzw. Landung ein bestimmter Maximalpegel am Boden erreicht wird – hat sich dadurch deutlich verkleinert. Gegenüber den ersten Düsenjets der 1950er Jahre emittieren moderne Maschinen bei gleicher Leistung etwa 30 dB(A) weniger; das entspricht einer flächenmäßigen Reduktion der 70 dB(A)-Footprints um rund 90 %. Für das nächste Jahrzehnt schätzen Fachleute das technisch erreichbare Minderungspotential in der Größenordnung von nochmals rund 10 dB(A) ein. Die maschinenseitigen Pegelreduktionen sind in den letzten Jahrzehnten durch das steigende Durchschnittsgewicht der Flugzeuge (und damit einhergehende stärkere Motorisierung) teilweise kompensiert worden.

Neben den eigentlichen Fluggeräuschen tritt an Flughäfen in erheblichem Umfang sog. Bodenlärm auf, der im Wesentlichen aus Bewegungen der Flugzeuge am Boden, Triebwerkstestläufen, Flugzeugwartung sowie Be- und Entladungsvorgängen resultiert. Insbesondere die Flugzeugbewegungen am Boden sind stark angestiegen, seit die Maschinen sich (aus Zeit- und Kostengründen) aus eigener Kraft, d. h. mit ihren Düsentriebwerken, fortbewegen und nicht mehr geschleppt werden. Anders als Fluggeräusche bleiben Bodengeräusche auf die nahe Flughafenumgebung beschränkt.

4.2.4.2 Räumliche Determinanten und Management von Fluglärmbelastungen

Die räumliche Ausprägung von Geräuschemissionen aus dem Luftverkehr ist im Wesentlichen durch die Lage der Start- und Landebahnen sowie der Flugrouten determiniert. Die Bahnsysteme sind regelmäßig in beiden Richtungen nutzbar, so dass sich je Bahn zwei mögliche Betriebsrichtungen ergeben. Wenn ein Flughafen über mehrere nicht-konvergierende Bahnen verfügt (z. B. Frankfurt, Köln-Bonn, Hamburg), erhöht sich die Zahl der möglichen Betriebsrichtungen. Die Wahl der Betriebsrichtung hängt vor allem von den aktuellen meteorologischen Bedingungen ab. Start- und Landevorgänge sollen möglichst bei Gegenwind stattfinden und sind bei Rückenwind nur möglich, wenn dieser sehr gering ist. Die Betriebsrichtung von Start- und Landebahnen wird aus diesem Grund

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

operativ von der zuständigen Flugsicherung festgelegt und abhängig von den Windbedingungen kurzfristig gewechselt. Wie oft dies geschieht, hängt allein von der Meteorologie ab: Bei stabilen Wetterlagen kann die Betriebsrichtung mehrere Wochen unverändert bleiben, ebenso gut ist es aber möglich, dass sie im Laufe eines Tages oder gar einer Nacht mehrfach gewechselt werden muss.

In Zusammenhang mit der Bahnkonfiguration und den Betriebsrichtungen steht die große Vielzahl an Flugrouten, die an Verkehrsflughäfen für An- und Abflug festgelegt werden. Über An- und Abflugrouten werden Flughäfen an die großräumigen Flugkorridore angebunden. Wegen der oben beschriebenen Wetterabhängigkeit der Betriebsrichtung müssen mindestens so viele Flugrouten festgelegt werden, dass Flugzeuge aus allen möglichen Abflugrichtungen jeden Korridor erreichen und umgekehrt (d. h. im Extremfall müssen Flugzeuge in Richtung Süden bei Abflug nach Norden über eine geeignete Abflugroute geschwenkt und auf einen Korridor nach Süden geführt werden). In der Praxis werden noch deutlich mehr Flugrouten festgelegt, um betriebliche Flexibilität zu erlangen und die Kapazität zu steigern. Die Belegung der Flugrouten erfolgt – ausgehend von der Betriebsrichtung – kurzfristig durch operative Entscheidung der Flugsicherung, die insbesondere betriebliche Kriterien einbezieht (Ziel des aktuellen und nachfolgender Flüge).

Die Regulierung von Fluglärmbelastungen bewegt sich in einem praktisch unlösbaren Spannungsfeld unzureichender rechtlicher Rahmensetzung, geringen praktischen Handlungsmöglichkeiten und unzureichender Verfahrensgestaltung. Aus fachlicher Sicht sind die folgenden Möglichkeiten zur Minderung bzw. 'gerechteren Verteilung' von Fluglärm denkbar:

- Emissionsreduktion durch Einsatz lärmarmere Flugzeuge bzw. begrenzender Kontingentierung (ggf. auch zeitlicher Begrenzung) der Flugbewegungen,
- Optimierung der Belastungsverteilung und –intensität im Raum durch gezielte Führung und Belegung von Flugrouten,
- Regelung der baulichen Nutzung in Belastungsgebieten,
- Passiver Schallschutz in Belastungsgebieten.

Im Rahmen der Bewegungskontingentierung wird versucht, besonders laute Flugzeuge von deutschen (europäischen) Flughäfen zu verdrängen und den Einsatz leiser Ma-

schinen zu fördern. Nach einer internationalen Klassifizierung der ICAO (Internation Civil Aviation Organization) werden Flugzeuge nach ihren Emissionseigenschaften bewertet.¹⁷

Von entscheidender Bedeutung für die Fluglärmbelastung von Immissionsorten ist die Festlegung der An- und Abflugrouten. Das Ziel, nur unbesiedelte Gebiete zu überfliegen, ist an den meisten deutschen Verkehrsflughäfen nicht umsetzbar. Grundlage für jede Optimierung ist die möglichst genaue Einhaltung der Sollkurse durch die einzelnen Luftfahrzeuge. Große Streubreiten führen zu entsprechend großen Flugerwartungsgebieten und Zufälligkeiten in der Geräuschverteilung. Aus diesem Grund sind an einigen Flughäfen automatisierte Navigationsverfahren installiert worden, die die Abweichungen von der Ideallinie reduzieren sollen. Ist dies sichergestellt, kann über lärmoptimierte Flugrouten diskutiert werden. Praktisch ist das eine Aufgabe der Lärmschutzkommissionen, die in zum Teil kontroversen und langwierigen Abstimmungsverfahren versuchen, einvernehmliche Flugrouten zu definieren, die jeweils von der Flugsicherung auf ihre technische Machbarkeit überprüft werden müssen.¹⁸

4.2.5 Gewerbe, Sport- und Freizeitanlagen

4.2.5.1 Primäremission

Im Gegensatz zu den Verkehrslärmquellen sind bei den Gewerbe, Sport- und Freizeitanlagen stationäre Anlagen bzw. Aktivitäten für die Primäremission maßgeblich. Hier sind sehr vielfältige Einflüsse festzustellen, die stark vom Charakter der Betriebsbereiche und den konkret betriebenen Anlagen abhängen. Generalisierende Aussagen sind kaum möglich, gemeinsam ist den Emissionen aber ihr konkreter Flächenbezug. Insofern werden die auftretenden Emissionen häufig zu flächenbezogenen Schalleistungen zusammengefasst.

4.2.5.2 Räumliche Determinanten und Management von Gewerbe-, Sport- und Freizeitlärm

Die räumliche Verteilung und Ausprägung von Gewerbelärmemissionen wird durch die Lage und Größe der Standorte und die Emissionsträchtigkeit der Anlagen bestimmt. Zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Gewerbezogerauslässe legen die Tech-

¹⁷Näheres hierzu vgl. STEINEBACH, GERHARD; RUMBERG, Martin: Planerische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 297.

¹⁸Ebenda, S. 296.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

nische Anleitung (TA) Lärm (für das Gewerbe) bzw. die 18. BImSchV (für Sport- und Freizeitanlagen) Schallimmissionsrichtwerte fest. Diese Richtwerte sollen von allen auf einen Immissionsort einwirkenden Schallquellen zusammen nicht überschritten werden. Durch diese Regelungsmethodik ist ein Schutz vor Geräuschen sichergestellt, der über denjenigen beim Verkehrslärm weit hinausgeht. Es ergeben sich daraus aber Probleme für bereits bestehende Betriebe und Anlagen, die sich dynamisch veränderlichen Anforderungen ausgesetzt sehen (d. h. Entwicklungen in der Nachbarschaft verändern das eigene Geräuschkontingent), und für die räumliche Planung.

Die Bewältigung dieser Anforderung ist zunächst Aufgabe der immissionsschutzrechtlich zuständigen Genehmigungsbehörden. Da es sich aber auch um flächenbezogene Nutzungsregelungen auf Ebene von Bauflächen und –gebieten handelt, ist es Aufgabe der Bauleitplanung, vor allem der Bebauungsplanung, die geordnete Entwicklung in diesem Bereich sicherzustellen. Allerdings hat der Gesetzgeber hierzu bisher keine Spezialregelungen erlassen, sondern belässt es bei der allgemeinen Planungsleitlinie 'gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse' (§ 1 Abs. 5 S. 2 BauGB) und dem Gebot verträglicher räumlicher Zuordnung (§ 50 BImSchG). Der damit implizit angesprochene raumbezogene Schallschutz gegenüber Gewerbe- und Industriequellen erfolgt zunächst durch die systematische räumliche Verteilung der Bodennutzung (Flächennutzungsplanung) unter dem Grundsatz der größtmöglichen Vermeidung von Immissionskonflikten, weiterhin durch die Festlegung differenzierterer Nutzungen und flächenbezogener, baulicher und technischer Vorkehrungen, z. B. Abstandsflächen ohne Bebauung und Schallschutzwände. Allerdings kann das Regelungskonzept der TA Lärm (Gesamtbelastungsgrenze für Gewerbegeräusche mit anspruchsvollen Richtwerten) durch diese Darstellungs- und Festsetzungsformen nicht vollständig umgesetzt werden, sondern es sind weitere Überlegungen und Regelungen zum Geräuschverhalten von Gewerbebetrieben - auch im Verhältnis zueinander und über mehrere Flächen - notwendig.

4.3 Transmissionsmodellierung

4.3.1 Grundlegende Zusammenhänge und wesentliche Einflussfaktoren

Ist eine Schallquelle aktiv, d. h. gibt sie eine Schallleistung ab, ist innerhalb ihrer akustischen 'Reichweite' ein Schall hör- bzw. messbar. Das Verhältnis zwischen der emittierten Schallleistung und der Intensität des daraus resultierenden Schallereignisses an einem Immissionsort, d. h. einem Punkt in der Umgebung der Schallquelle, ist von etlichen Ein-

flussfaktoren abhängig, die die Schallausbreitung zu einem sehr komplexen Phänomen machen.

Ein die wesentlichen Faktoren berücksichtigendes Modell für die Schallausbreitung führt zu folgendem Zielterm für die Bestimmung des Schallpegels an einem Immissionsort:

$$L_S = L_w - DS - DL - DB - DM - DE + DR$$

mit

- L_S = Resultierender Schallpegel am Immissionsort
- L_w = Aktiver Schalleistungspegel der Schallquelle
- DS = Geometrische Ausbreitungsdämpfung (Energiedichteverlust)
- DL = Luftabsorptionsdämpfung
- DB = Boden- und Bewuchsdämpfung
- DM = Meteorologiedämpfung
- DE = Einfügungsdämpfung von Schallschirmen (Abschirmung)
- DR = Erhöhung durch Reflexionen

Die genannten Einflussfaktoren lassen sich wie folgt kategorisieren:

- DS ist eine feste physikalische Größe (Energieerhaltung).
- DE und DR sind (sofern bewegliche Gegenstände ausgeblendet werden) stabile Größen, so lange die Umgebung der Schallquelle nicht baulich verändert wird.
- DB verändert sich im jahreszeitlichen Verlauf mehrfach.
- DM und DL verändern sich kurzfristig, d. h. zeigen einen dynamischen Verlauf. Das gilt auch für DE und DR , soweit bewegliche Gegenstände wie Fahrzeuge einbezogen werden.

Die rechnerische Erfassung von Schallausbreitungsvorgängen erfordert es, die genannten maßgeblichen Dämpfungsfaktoren möglichst vollständig einzubeziehen. Das ist

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

zwar grundsätzlich denkbar, führt aber ohne wesentliche Vereinfachungen zu einem sehr hohen Aufwand. Versucht man nämlich, den Schallpegel an einem Immissionsort (bei bekannter Schalleistung) für einen bestimmten Zeitpunkt präzise zu erfassen, steht man vor dem (unlösbaren) Problem, die Dämpfungsfaktoren vollständig zu ermitteln und dabei insbesondere den Zustand der dynamisch veränderlichen Faktoren (wie die Meteorologiedämpfung) zum Prognosezeitpunkt zu prognostizieren.

4.3.2 Räumliche Transmissionsfaktoren

4.3.2.1 Geometrische Ausbreitungsdämpfung

Ohne Hindernisse und Dämpfungen breitet sich der Schall einer Punktschallquelle kugelförmig (von innen nach außen) aus. Die Intensität der Schallwelle nimmt mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle ab, da sich die durchströmte Fläche erhöht. Maßgeblich für die verbleibende Schallintensität an einem Punkt in der Entfernung r von der Schallquelle ist die Fläche, die die Schallwelle in dieser Entfernung durchströmt. Bei der kugelförmigen Ausbreitung erhöht sich die maßgebliche durchströmte Fläche entfernungsabhängig in dem Maße, in dem sich die Oberfläche der abgedeckten Kugel vergrößert.¹⁹

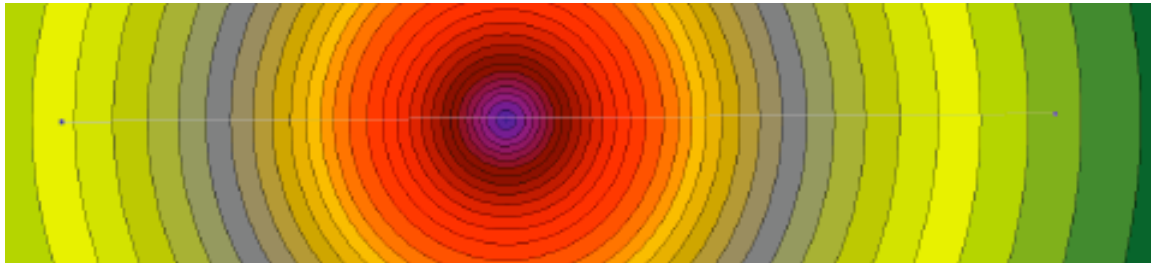


Abbildung 4.2: Geometrische Ausbreitungsdämpfung bei einer Punktschallquelle

Eingesetzt in das Formelwerk zur Definition des Schallintensitätspegels ergibt sich für jede Abstandsverdopplung ein Dämpfungsverlust von rund 6 dB bzw. dB(A). Um den Schallintensitätspegel L_I an einem Ort mit dem Abstand r von der Schallquelle aus deren Schalleistungspegel zu errechnen, muss die Bezugsentfernung $r_0 = 1m$ einbezogen werden:

$$L_I = L_W - 20lg(r) - 11dB.$$

¹⁹MÖSER, Michael und CREMER, Lothar: Technische Akustik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, S. 44.

In einem Meter Entfernung ist damit der Schallpegel einer Punktschallquelle um 11 dB geringer als ihr Schalleistungspegel. Diese Umrechnung ist nur funktionsfähig, wenn die Ausdehnung der Schallquelle im Vergleich zur betrachteten Entfernung wirklich auf einen 'Punkt' reduziert werden kann. In der Praxis führt dies zu Problemen; etwa dann, wenn der von einem Auto verursachte Schalldruckpegel in geringer Entfernung (< 5m) aus seinem Schalleistungspegel errechnet werden soll. Dann ist die Ausdehnung der Quelle größer als die Entfernung, kann also nicht auf einen Punkt reduziert werden. In solchen Fällen müsste die aggregierte Schallquelle 'Auto' in ihre emittierenden Einzelbestandteile zerlegt werden. Linienschallquellen sind addierte bewegliche Punktschallquellen auf Linien im Raum (z. B. Straßen, Schienen, Flugrouten). Der Schallpegel an einem Immissionsort ergibt sich damit als Summe der einwirkenden Einzelpegel, die jeweils von unterschiedlich weit gealterten Schallwellen verursacht werden. Aggregiert man diese Einzelpegel rechnerisch, zeigt sich keine kugelförmige Ausbreitung mehr, sondern eine zylindrische Ausbreitung senkrecht zur Linienachse.²⁰ Die Oberfläche eines Zylinders wird nach der Formel

$$A = (2\pi r l)$$

berechnet. Bei Linienschallquellen beträgt der Verlust in der Ausbreitung nur die Hälfte des Werts für Punktschallquellen, also rund 3 dB je Entfernungsverdopplung. Dieser Ausbreitungsterm ist nur für lange gerade Linien funktionsfähig. Sind Linien nicht gerade, müssen sie rechnerisch in ungefähr gerade Abschnitte zerlegt werden.

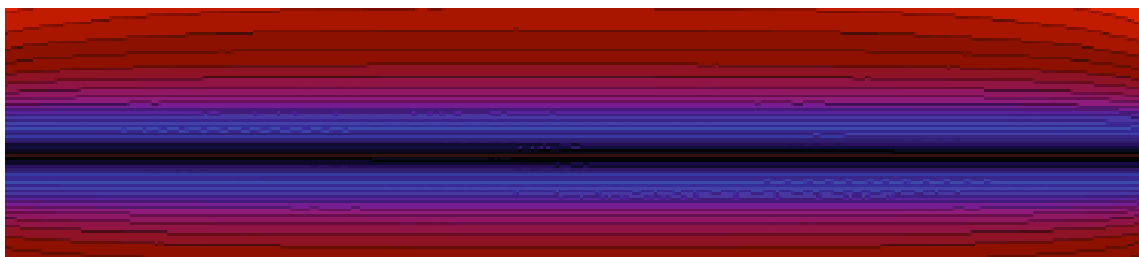


Abbildung 4.3: Geometrische Ausbreitungsdämpfung bei einer Linienschallquelle

²⁰MÖSER, Michael und CREMER, Lothar: Technische Akustik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, S. 45.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

4.3.2.2 Absorption und Reflexion

Trifft eine Schallwelle auf ein Hindernis, wird sie absorbiert oder reflektiert. Der resultierende Effekt hängt davon ab, ob das Hindernis „schallhart“ (d. h. reflektierend) oder absorbierend ist. Die meisten Materialien sind teilabsorbierend, d. h. ein bestimmter Anteil der Schallwelle wird reflektiert, ein Teil wird absorbiert. Die Absorption einer Schallwelle verändert die Schallintensität im Ausbreitungsraum zwischen Schallquelle und Hindernis nicht, sondern wirkt sich nur hinter dem Hindernis als verminderte Schallintensität aus. Bei der Reflexion an schallharten Körpern erhöht sich die Schallintensität zwischen Schallquelle und Hindernis (Reflektor). Rechnerisch lassen sich Reflexionen durch die Konstruktion von sog. Spiegelschallquellen modellieren.

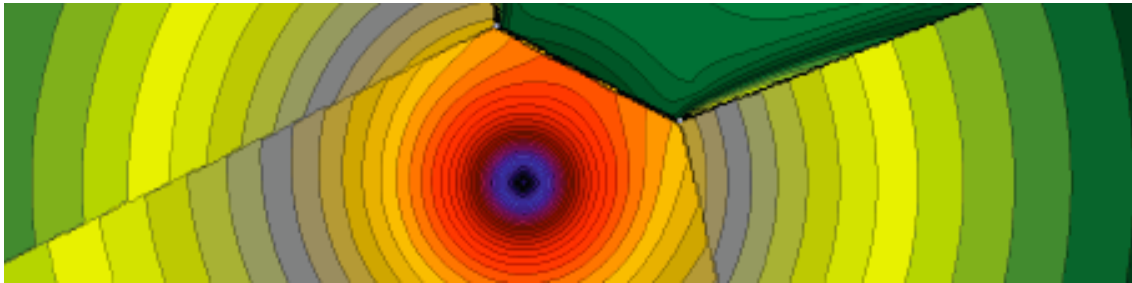


Abbildung 4.4: Reflexion an einer schallharten Wand (Spiegelschallquelle)

Dabei wird die primäre Schallquelle am Hindernis gespiegelt; die durch die Sekundärquelle ergebende Schallintensität wird zur primären Schallintensität hinzuaddiert. Dadurch ergibt sich bei vollständiger Reflexion ein um 3 dB (=doppelte Intensität) erhöhter Schallpegel unmittelbar vor dem Hindernis. Bei teilabsorbierenden Hindernissen reduziert sich die Schallintensität der Spiegelquelle entsprechend.

Die Modellierung von Reflexionsvorgängen erfordert erhebliche Vereinfachungen, vor allen Dingen in drei Punkten:

1. *Komplexität der Reflektoren*: Die in der (natürlichen und gebauten) Umwelt auftretenden Reflektoren zeichnen sich regelmäßig durch eine hohe geometrische Komplexität und differenzierte Reflexionseigenschaften aus (z. B. eine einfache Hausfassade aus Mauerwerk, Putz und Glas mit Rücksprünge an Türen und Fenstern und Vorsprung am Dachüberstand; Dachziegel). Auch ist meist eine Vielzahl „kleiner“ Reflektoren im Raum vorhanden (Verkehrsschilder, Haltestellenhäuschen, ...).
2. *Mehrfachreflexionen*: Schallausbreitungen in der Umwelt treffen regelmäßig nicht nur auf einen, sondern auf mehrere Reflektoren. Liegen diese eng beieinander (z.

B. in einer Straßenschlucht oder gar einem Tunnel), treten Mehrfachreflexionen auf, d. h. es entsteht eine Art Domino-Effekt, bei der eine bereits reflektierte Schallwelle auf das nächste Hindernis trifft, wieder auf das erste Hindernis geworfen wird usw.. Obwohl sich die Energiedichte durch die geometrische Ausbreitungs-dämpfung laufend reduziert, können Mehrfachreflexionen an eng bebauten Straßen bis ins zehnte Glied messbar sein.

3. *Temporäre Hindernisse*: Absorption und Reflexion finden auch an Hindernissen statt, die nur temporär an einem Ort vorhanden sind bzw. sich sogar im Raum bewegen. Eine hohe Bedeutung haben dabei Fahrzeuge (Beispiele: KFZ auf straßenbegleitenden Parkstreifen, Stehende Züge auf Abstell- oder Überholgleisen)

Wollte man dies alles berücksichtigen, wäre ein kaum beherrschbarer Modellierungs- und Rechenaufwand die Folge, der in keinem Verhältnis zum Aussagewert der Ergebnisse stünde, besonders unter Einbeziehung der dynamisch veränderlichen Komponenten. Deswegen enthalten alle Regelwerke zur Berechnung und Beurteilung von Geräuschen Komplexitätsreduktionen und damit präzisionsreduzierende Einschränkungen (Stopp-Bedingungen) bei der Berücksichtigung von Reflexionen. Problematisch daran ist, dass diese Stopp-Bedingungen weder eindeutig ableitbar noch als herrschende Meinung fachliche Konvention sind und sich zudem ihrer Natur nach nie vollständig in Algorithmen überführen lassen. Das betrifft insbesondere die Generalisierung der Hindernisgeometrien und die Berücksichtigung von Mehrfachreflexionen.

4.3.2.3 Abschirmung und Beugung

Hindernisse führen durch Absorption und/oder Reflexion dazu, dass hinter ihnen einen Schallschatten entsteht (Abschirmung). Der Schallschatten ist mit dem geometrisch klar abgegrenzten Lichtschatten nicht vergleichbar, sondern durch komplexe Druckströmungsvorgänge (Beugung) gekennzeichnet, die seine Berechnung erschweren. Durch eine Beugungskante wird die Oberflächenspannung der Wellenfront (Kugel / Zylinder) aufgebrochen. Dadurch erhöht sich die Bewegungsfreiheit der schwingenden Luftmoleküle an der Beugungskante. Folge ist die Entstehung von Sekundärwellen und Turbulenzen.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

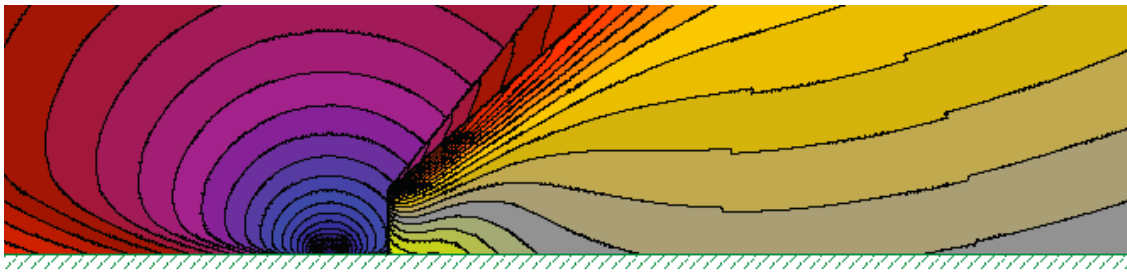


Abbildung 4.5: Abschirmung und Beugung an einer Lärmschutzwand (Schnitt)

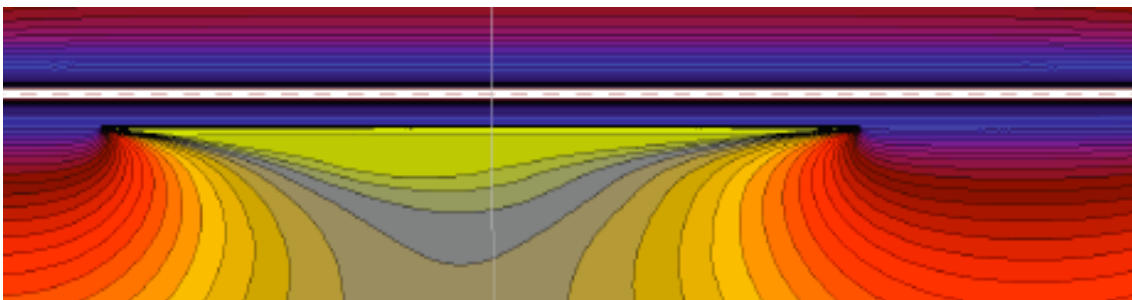


Abbildung 4.6: Abschirmung und Beugung an einer Lärmschutzwand (Aufsicht)

Insbesondere die Frequenz(zusammensetzung) der gebrochenen Schallwellen ist für die konkreten Beugungsverhältnisse an einem Hindernis maßgeblich. Auch die meteorologischen Verhältnisse (Luftbewegung) wirken ein. Bei konstanten Frequenz- und Meteorologieverhältnissen ist die Schallpegelminderung hinter dem Hindernis von dessen Schirmwert z abhängig. Dieser Schirmwert bezeichnet die Wegdifferenz zwischen der direkten Verbindung von Emissions- und Immissionsort sowie dem durch das Hindernis bedingten Umweg zwischen beiden Orten. Der Schirmwert z ist geometrisch ermittelbar. Weil der geometrische Umweg (Schirmwert z) meist relativ gering ist, reicht es nicht aus, ihn abzuschätzen; Schirmwerte sind immer zu berechnen. Zu Schallschutzzwecken werden häufig sehr 'dünne' Schallschirme (Lärmschutzwände) eingesetzt. Bei diesen Schallschirmen findet im Gegensatz zu Schallschirmen größerer Tiefe nur eine Beugung statt. Zur Berechnung des spezifischen Abschirmmaßes eines Hindernisses existieren auf Grundlage der Beugungstheorie unterschiedliche Berechnungsansätze, die jeweils den Schirmwert z , die Frequenzeigenschaften und die meteorologischen Verhältnisse berücksichtigen.²¹ Um die konkrete Schirmwirkung eines Hindernisses, d. h. die Pegelreduktion, an einem Punkt zu berechnen, müssen dessen Höhen- und Abstands-

²¹MÖSER, Michael und CREMER, Lothar: Technische Akustik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, S. 253ff..

verhältnisse bekannt sein. Es ist zu berücksichtigen, dass sich nahe der Sichtlinie Emissionsort – Beugungskante - Immissionsort (z ungefähr = 0) eine turbulente Zone ausbildet, für die andere Beugungsbedingungen gelten als für den eigentlichen Schallschatten.

4.3.2.4 Luftabsorption

Bei der Ausbreitung von Schallwellen wird ein Anteil der Schallenergie durch Reibung in Wärmeenergie umgewandelt (Luftabsorption) und geht damit der Schallwelle „verloren“. Hohe Frequenzen sind stärker von der Luftabsorption betroffen als niedrige, weil sie auf gleichen Ausbreitungswegen eine größere Anzahl von Schwingungsbewegungen durchführen. Der Grad der Luftabsorption ist außerdem von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig. Der Einfluss der Luftabsorption ist erst bei Ausbreitungswegen über 200 m hörbar und insgesamt verhältnismäßig gering. Die Regelwerke zur Berechnung und Beurteilung von Geräuschen vernachlässigen teilweise die Luftabsorption, teilweise arbeiten sie mit Korrektur-Koeffizienten in unterschiedlicher Höhe.

4.3.2.5 Dämpfung durch Boden und Bewuchs

Die Bodeneigenschaften (insbesondere die Rauigkeit der Oberfläche) und der Bewuchs haben Einfluss die Schallausbreitung. Bei sehr schallharten Bodenoberflächen (z. B. Beton) wirkt der Boden als Reflektor, bei dichtem Bewuchs (z. B. Gras) fast vollständig absorbierend.

Bei Pflanzen kumulieren Durchlässigkeit, Absorption und diffuse Reflexion (Streuung) zu einem höchst uneinheitlichen und veränderlichen Einfluss auf die Schallausbreitung. Bei der Modellierung von Schallausbreitungsvorgängen müssen diese Faktoren berücksichtigt werden. Eine detaillierte Ein-beziehung scheidet von vornherein aus; die Regelwerke enthalten daher im Regelfall Korrektur-Koeffizienten mit erheblichen Vereinfachungs- und Generalisierungsansätzen (z. B. pauschale Zu- und Abschläge).

4.3.2.6 Meteorologische Verhältnisse

Hohen, aber nur kurzfristigen Einfluss auf die Schallausbreitung haben meteorologische Einflüsse, die zu Luftbewegungen führen. Die zuvor beschriebene Ausbreitungsrechnung geht davon aus, dass die durch Energieeinsatz erzeugte Schallwelle die einzige Bewegung des Trägermediums Luft darstellt, die Luft sich also ansonsten statisch verhält. Dies

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

ist in der Umwelt praktisch nie gegeben, sondern die Luft bewegt sich sowohl vertikal als auch horizontal. Dadurch verdriften die der Luft überlagerten Schallwellen, und die Schallintensität ist an manchen Stellen höher als nach der Ausbreitungsrechnung zu vermuten, an anderen Stellen niedriger.

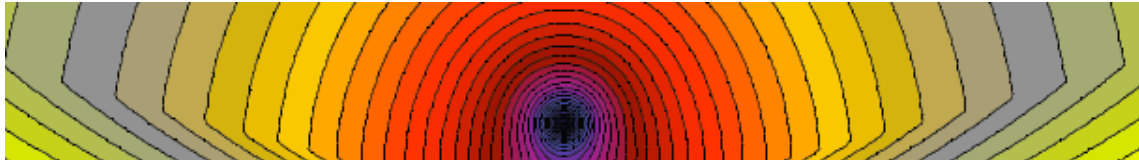


Abbildung 4.7: Schallausbreitung einer Punktquelle bei Aufwindbedingungen (Schnitt)

Die größten meteorologisch bedingten Schallschatten ergeben sich durch starken Gegenwind, der zu Pegelabnahmen bis zu 10 dB(A) führen kann. Andererseits verursachen Mitwindverhältnisse Schallpegelveränderungen bis zu 3 dB(A) Zunahme.

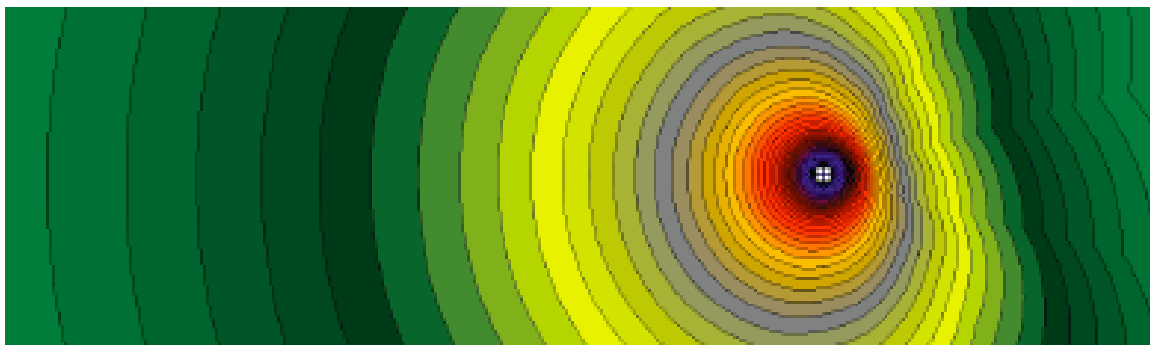


Abbildung 4.8: Schallausbreitung einer Punktquelle mit starkem Windeinfluss

Die praktische Relevanz meteorologischer Einflüsse ist hoch. Aus diesem Grund wird bei einigen Verfahren zur Langzeitmittelung von Geräuschen die Windrichtungs- und -stärkenverteilung einbezogen. Basis dafür sind die langfristigen Mittel der Windrichtungen und -geschwindigkeiten im Ausbreitungsraum. Ob sich durch eine derartige Berücksichtigung meteorologischer Faktoren der errechnete Mittelungspegel den tatsächlich messbaren Verhältnissen wirklich annähert, ist zu bezweifeln, da besonders im Siedlungsraum nicht von stabilen Windrichtungen, sondern von komplexen und kleinräumig differenzierten Strömungsverhältnissen ausgegangen werden muss. Für diese Strömungen existieren zwar mathematisch-physikalische Modelle, ihre Verknüpfung mit Schallausbreitungsmodellen ist jedoch forschungsbezogen ein weitgehend unerschlossenes Feld.

4.4 Emissions- und Transmissionsmodellierung durch Berechnungsverfahren

Da durch Messungen nur momentane Ereignisse an bereits bestehenden Anlagen erfasst werden können, die sich in maßgebenden Parametern (für Straßen z. B. Verkehrsmenge, LKW-Anteile, Geschwindigkeit, Verkehrsfluss, meteorologische Bedingungen, bewegliche Hindernisse, Überlagerung durch Fremdgeräusche etc.) laufend ändern und auch Sondereffekten unterworfen sein können, fordern – mit wenigen Ausnahmen – alle raumrelevanten Regelwerke des Immissionsschutzes statt der Messung die Berechnung von Pegeln und verweisen auf oder beinhalten die durchgängige Anwendung mathematisch-physikalischer Berechnungsmodelle, die bei definierter Emission und bekannten Lagegeometrien und Ausbreitungsverhältnissen ortsbezogene Immissionspegel (meist Mittelungs- und Maximalpegel) liefern. Damit kann z. B. bei einer bestimmten Verkehrssituation auf einer Straße einem Punkt in der Umgebung ein Immissionspegel zugeordnet werden, der – bei Kenntnis und zutreffender Anwendung des Modells – jederzeit nachvollzogen und reproduziert werden kann. Auch die flächenhafte Lärmkartierung muss auf Berechnungsverfahren basieren, da Messungen einen unverhältnismäßig hohen Aufwand zur Erfassung aller lokalen Pegeldifferenzen mit sich bringen würden bzw. praktisch nicht bewältigbar wären.

Die Berechnungsverfahren für die Immissionsprognose beinhalten grundsätzlich zwei Teilmodelle, nämlich das Emission- oder Quellenmodell und das Transmissions- oder Ausbreitungsmodell.²² Beide Ebenen benötigen Eingabedaten, mit denen die - wie in den vorhergehenden Teilkapiteln beschrieben - für die Einflussgrößen der Emission maßgeblichen örtlichen Bedingungen an die Modelle übergeben werden. Daraus errechnet zunächst das Quellenmodell anlagenbezogene Emissionspegel, die dann durch das Ausbreitungsmodell für jeden Immissionspunkt in einem Immissionspegel umgesetzt werden.

²²HEUTSCHI, Kurt: Son Road - Berechnungsmodell für Strassenlärm. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2004, Schriftenreihe Umwelt 366, S.14.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

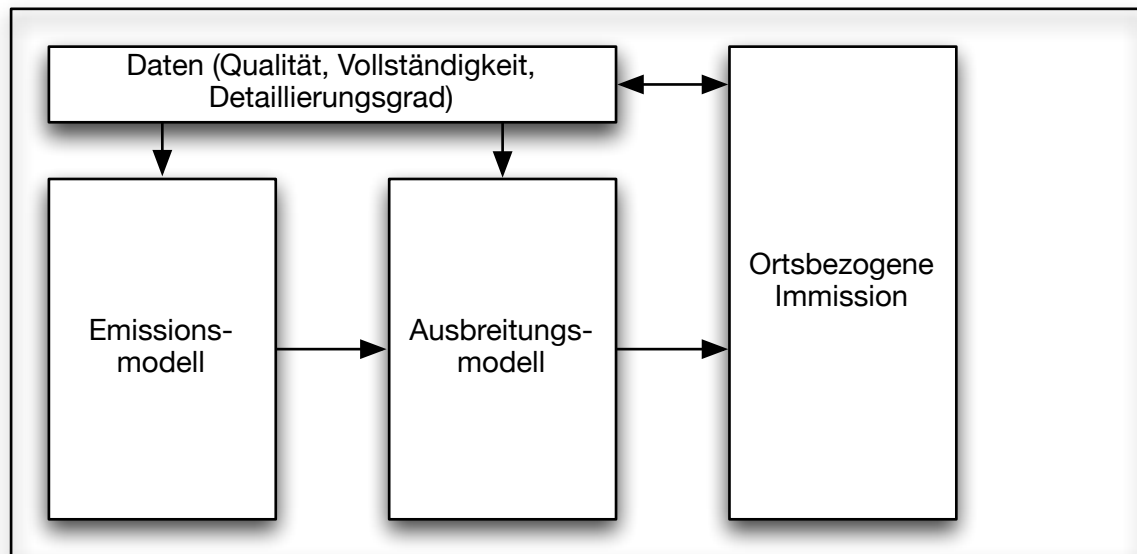


Abbildung 4.9: Allgemeines Grundmodell der Immissionsprognose

Besonders die Transmissionsmodellierung entwickelt sich in den vergangenen Jahren - bedingt nicht zuletzt durch die Konzeption und Einführung neuer Methoden im Zuge der Einführung der Umgebungslärmrichtlinie - zügig weiter. Maßgebliche Einflussfaktoren sind zum Einen sich verbessernde Kenntnisse um die physikalischen Vorgänge und Zusammenhänge und zum Anderen die in den letzten Jahren stark angestiegene Rechenleistung der für die Berechnung eingesetzten Computer, die die Einbeziehung immer feinerer und aufwendigerer Modelle bei gleichbleibender Rechenzeit ermöglicht.

Sowohl die Quellen- als auch die Ausbreitungsmodelle können auf empirischer oder auf physikalischer Grundlage entwickelt werden, wobei in der Praxis Mischformen, sog. semiempirische Modellbestandteile, häufig sind.²³ Es werden allgemein physikalisch aufgebaute Referenzmodelle und semiempirische bzw. empirische Engineeringmodelle unterschieden.²⁴

Grundsätzlich ist festzustellen, dass ältere Berechnungsmodelle, z. B. die RLS-90, fast ausschließlich auf empirisch ermittelten Zusammenhängen aufgebaut sind, d. h. auf langfristigen Versuchsmessungen an vergleichbaren Schallquellen, durch die die wesentlichen Einflussfaktoren der Emission und Transmission identifiziert, ungefähr quantifiziert

²³DE MUER, Tom: Beleidsondersteunende instrumenten voor geluidshinder in steden (Policy Supporting Tools for Urban Noise Assessment) (Diss.). Gent: Universiteit Gent, 2005, S. 200.

²⁴HEUTSCHI, Kurt: Son Road - Berechnungsmodell für Strassenlärm. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2004, Schriftenreihe Umwelt 366, S. 14.

4.4 Emissions- und Transmissionsmodellierung durch Berechnungsverfahren

und in handhabbare Näherungsfunktionen umgesetzt werden. Dem gegenüber steigt bei neueren Verfahren der Anteil physikalischer Modellbestandteile an.

Noch weitgehend empirisch basiert sind die Quellenmodelle für den Straßenverkehr, die den emittierenden Anlagen für definierte Betriebsbedingungen jeweils Schallleistungspegel oder verwandte Emissionskenngrößen zuordnen. Dem gegenüber sind für den Schienen- Luftverkehrs- und Gewerbelärm Verfahren im Einsatz, die die Emission der Gesamtanlage als Summe der Emissionen tatsächlicher Einzelschallereignisse (Zugfahrten, Flugbewegungen, Maschinenlaufzeiten etc.) zusammenfassen. Im Straßenverkehr stößt dieses Konzept auf Schwierigkeiten und auch Grenzen, weil es die Echtzeiterfassung bzw. Mikrosimulation des Verkehrsgeschehens mit hoher zeitlicher Auflösung (i. d. R. eine Sekunde) erfordert.²⁵ Bei der Mikrosimulation wird dann jede einzelne Fahrbewegung nachgebildet und aus der Summe die anlagenbezogene Emission abgeleitet.

Für die ortsbezogene Berechnung der Immissionsverhältnisse ist zusätzlich die Erfassung der Ausbreitungsverhältnisse erforderlich. Hier arbeiten die Berechnungsverfahren stets mit generalisierenden Modellen, um die Vielzahl relevanter Einflussfaktoren ziel führend einbeziehen zu können. Unterschieden werden wiederum sog. mathematisch-physikalische Referenzmodelle, die die Immissionsprognose durch numerische Lösung der Wellengleichung vollziehen, und sog. Engineeringmodelle, die die Schallausbreitungsprozesse empirisch nachbilden, d. h. mit starken Vereinfachungen arbeiten, die die physikalischen Ausbreitungsgegebenheiten in mehr oder minder guter Näherung nachbilden. Referenzmodelle werden fast ausschliesslich in der Forschung und der Raumakustik eingesetzt, während die für den Umgebungslärm besonders relevanten Engineeringmodelle nach Jahren der Stagnation mit dem sukzessiven Abschluss der EU-Entwicklungsprojekte Harmonoise und IMAGINE, aber auch mit dem bereits eingeführten Schweizer Immissionsprognosemodell SonRoad,²⁶ deutliche Fortentwicklungen erfahren. Generell ist dabei festzustellen, dass die neueren Engineeringmodelle realitätsnähere Ergebnisse liefern, gegenüber ihren Vorgängern aber auch die Einbeziehung von deutlich mehr und erheblich detaillierten Eingabevariablen ermöglichen und auch fordern.

Dies führt zu der Frage der Validität und der Unsicherheiten der verwendeten Emissions- und Transmissionsmodelle. Aus Sicht der raumbezogenen Planung ist besonders das Problem eines angemessenen Verhältnisses von Modellqualität und Datenbedarf bis hin zu der Frage maßgeblich, ob die heute rechentechnisch realisierbaren komplexen

²⁵ DE MUER, Tom: Beleidsondersteunende instrumenten voor geluidshinder in steden (Policy Supporting Tools for Urban Noise Assessment) (Diss.). Gent: Universiteit Gent, 2005, S. 8.

²⁶ HEUTSCHI, Kurt: Son Road - Berechnungsmodell für Strassenlärm. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2004, Schriftenreihe Umwelt 366.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Emissions- und Transmissionsprognosen überhaupt mit angemessen genauen Aktivitäts-, Hindernis-, Oberflächen- und Meteorologiedaten versorgt werden können. Diese Frage ist besonders für die Transmissionsmodelle allgemein und für die Emissionsmodelle im Straßenverkehr relevant.²⁷ Hier besteht zunehmend die Gefahr, dass die zunehmende Präzision der Prognoseverfahren auf Emissions- und Transmissionsebene nur zu Scheingenauigkeiten führt, weil (im Straßenverkehr) bereits eine Vielzahl stochastisch geprägter und faktisch nicht steuerbarer und nur unzureichend ermittelbarer Variablen in die Emissionsberechnung einbezogen wird und auch die Transmissionsberechnung Daten - z. B. zur Geländeoberfläche und zu den meteorologischen Verhältnissen - erfordert, die praktisch nur generalisierend abgeschätzt werden können.

Für die wirkungsbezogene Auswertung in der räumlichen Planung ist die Geräuschimmission die bedeutende Größe. Allerdings kann diese nur in Zusammenhang mit den vorgelagerten Umwelt-, Emissions- und Transmissionsmodellen interpretiert werden. Es handelt sich bei dem Vorgang der Immissionsmodellierung um eine Verkettung jeweils eigenständig zu betrachtender Teilmodelle, die in ihrer Detaillierung und Genauigkeit aufeinander abgestimmt werden müssen. Dabei gilt letztlich, dass die Qualität des am wenigsten genau bestimmbaren Modellbestandteils die Qualität des Gesamtmodells bestimmt.

Die dafür maßgeblichen Qualitäts- und Genauigkeitsanforderungen sind von der Zielsetzung der Modellierung abhängig. Grundsätzlich mag zwar gelten, dass immer 'best estimate'-Verfahren, also möglichst genaue Abschätzungen zur Anwendung kommen sollen. In der praktischen Anwendung ergeben sich aber deutliche Unterschiede im Umgang mit Ungenauigkeiten und Unsicherheiten. So ist es bei der im Immissionsschutz häufigen Anwendung von Immissionswerten (Richt- und Grenzwerte) gängige Praxis, den Unsicherheiten und Lücken im Prognoseverfahren mit der systematischen Verwendung konservativer bzw. leicht überschätzender Verfahren zu begegnen, d. h. also den notwendigen Vergleich von Soll- und Istwert auf der für den Betroffenen 'sicheren Seite' vorzunehmen. Ein Beispiel dafür ist die Annahme dauerhafter Mitwindbedingungen bei der Schallausbreitung. Im Ergebnis werden dadurch auch diejenigen Betroffenen in den durch die Immissionswerte vermittelten Schutz einbezogen, deren Betroffenheit (im Sinne der Überschreitung der Immissionswerte) vom Prognosemodell nicht sicher vorhergesagt werden kann.

Dieses für den beschriebenen Anwendungsfall zweckmäßige Vorgehen kann nicht problemlos auf andere Modellierungsfragen übertragen werden. In Fällen, in denen nicht al-

²⁷SCHADE, Lars: Genauigkeit und Eindeutigkeit: Ein Vergleich des französischen Berechnungsverfahrens für Geräuschimmissionen durch Straßenverkehr mit seinem deutschen Pendant. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 51 März 2004, Nr. 2.

4.4 Emissions- und Transmissionsmodellierung durch Berechnungsverfahren

lein die Einhaltung von Immissionswerten überprüft wird, sondern die gesamte Breite von Geräuschimmissionen und deren Wirkungen erfasst und ggf. in Szenarien verglichen und optimiert werden soll, kann die pauschale Anwendung konservativer Verfahren zu systematischen Fehleinschätzungen führen. Im Rahmen der Entwicklung harmonisierter europäischer Immissionsprognoseverfahren sind daher Genauigkeitsanforderungen für das Gesamtverfahren der Lärmkartierung zur Ermittlung von Mittelungspegeln festgelegt worden, die Unter- und Überschätzung gleichermaßen auf 1 dB(A) begrenzen sollen.²⁸ Am Beispiel des Straßenverkehrs lässt sich ableiten, dass diese Genauigkeit beispielsweise maximale Abweichungen von 25% in der Gesamtverkehrsstärke, 5% im Schwerverkehrsanteil und 10 km/h in der Durchschnittsgeschwindigkeit vorgibt, wodurch die 1 dB(A)-Abweichung jeweils bereits vollständig ausgeschöpft wird.²⁹ Diese Anforderungen sind noch auszuweiten, wenn weitere Parameter einbezogen werden, z. B. die Straßenoberfläche oder der Verkehrsfluss. Andere Pegelkriterien als Mittelungspegel erlauben noch deutlich geringere Toleranzen.

Die durch Emissions- und Transmissionsmodellierung erreichbare Genauigkeit und die mit der Modellierung verbundenen Unsicherheiten, Unschärfen und Fehler sind allerdings eine bislang im raumbezogenen Immissionsschutz nur am Rande diskutierte Frage, denn dort ist bislang vor Allem der Vergleich von Soll- und Istwert (Einhaltung von Immissionswerten durch tatsächliche oder prognostizierte Immissionen) maßgeblich - die flächendeckende Modellpräzision ist dafür nicht maßgeblich, weil Unsicherheiten und Lücken im Prognoseverfahren mit der systematischen Verwendung konservativer bzw. leicht überschätzender Verfahren begegnet werden kann. Dieses Vorgehen kann auf wirkungsorientierte Modelle, die die gesamte Breite von Geräuschimmissionen und deren Wirkungen erfassen müssen, nicht übertragen werden. Dort ist es erforderlich, die Zuverlässigkeit der Modelle und die Größenordnung möglicher Abweichungen zu kennen.

Dies ist schwierig, weil Unsicherheiten sowohl in den Eingangsdaten (z. B. Verkehrszahlen) wie auch in allen Teilmodellen auftreten. Generalisierend lässt sich feststellen, dass die Unsicherheiten von Immissionsberechnungen mit der Anzahl der genutzten Teilmodelle (und damit in Abhängigkeit von der Anzahl der Quellen, der Komplexität der Ausbreitungsbedingungen und der Entfernung zwischen Quellen und Immissionsort) ansteigen und sich daher besonders in geometrisch komplexen Ausbreitungsbedingungen räumlich sehr heterogen verteilen. Dies macht es bei der Wirkungsprognose dem Grunde nach notwendig, zusätzlich zum ortsbezogenen Immissionspegel auch dessen Unsicherheitsbereich mit einzubeziehen. Zur Abschätzung der Unsicherheiten existieren Fuzzy-

²⁸EU NOISE EXPERT NETWORK (Hrsg.): Review of the suitability of traffic models for noise modelling. Leuven (digital): EU, Europäische Kommission, 2005.

²⁹Ebenda, S. 12, Tabelle 1.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

logic-Modelle, die jedoch in der Praxis noch nicht zur Anwendung kommen.³⁰ Ziel dieser Modelle ist die systematische Erfassung und Fortrechnung von Unsicherheiten und Unschärfen über alle Modellierungsebenen und Teilmodelle hinweg. Im Ergebnis stehen sog. 'Fuzzy Noise Maps',³¹ in denen zusätzlich zum Immissionspegel an einem Ort noch Aussagen zur Zuverlässigkeit und zu möglichen Abweichungen gegeben werden können.

4.5 Immissionen und Betroffenheiten im Raum- und Akzeptorbezug

Im Einleitungsteil der Arbeit wurden - auch zur Begründung der Relevanz des Themas 'Lärm' in der Raumentwicklung - Daten aus Modellrechnungen des Umweltbundesamts³² zur Geräuschbelastung der Bevölkerung dargestellt. So hieß es dort u. a., dass ca. 7 Prozent der Bevölkerung tags und nachts mit straßenverkehrsbedingten Lärmpegeln belastet seien, die oberhalb der von 70 dB(A) am Tag und 60 dB(A) in der Nacht liegen. Vergleichbare Aussagen finden sich immer wieder in Fachpublikationen und im politischen Raum. Betrachtet man sie unter dem Gesichtspunkt der Belastungsmodellierung, so wird ihre Unvollständigkeit sofort deutlich. Zwar ist noch ohne Weiteres antizipierbar, dass jeweils Beurteilungspegel nach der 16. BImSchV oder ungefähr vergleichbare Deskriptoren gemeint müssen. Auch ist klar, dass es sich um die Belastung 'am Wohnort' handelt. Die Konventionen zur Herleitung der orts- und bevölkerungsbezogenen Belastung am Wohnort sind jedoch sehr heterogen. Gerade dieser Aspekt eröffnet aus Sicht der Stadtplanung – und hier insbesondere der Siedlungsplanung – umfangreichen Diskussionsbedarf.

Flächenhafte Lärmkarten, deren Erarbeitung auch durch die Umgebungslärmrichtlinie bzw. §§ 47 a-f BImSchG gefordert wird, stellen die gebräuchlichste raumbezogene Darstellung von Beurteilungspegeln dar. Ihnen liegt ein horizontales Raster zugrunde, für das - regelmäßig in einem festen Abstand über Boden, nach der Umgebungslärmrichtlinie in einer Höhe von 4 m - unter Anwendung des Emissions- und des Ausbreitungsmodells Beurteilungspegel berechnet werden. Diese werden interpoliert und farbig, in der Regel durch Flächen gleichen Pegelbereichs, dargestellt.

³⁰DE MUER, Tom: Beleidsondersteunende instrumenten voor geluidshinder in steden (Policy Supporting Tools for Urban Noise Assessment) (Diss.). Gent: Universiteit Gent, 2005, S. 112f..

³¹Ebenda

³²UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt 2000. Berlin: UBA, 2000.

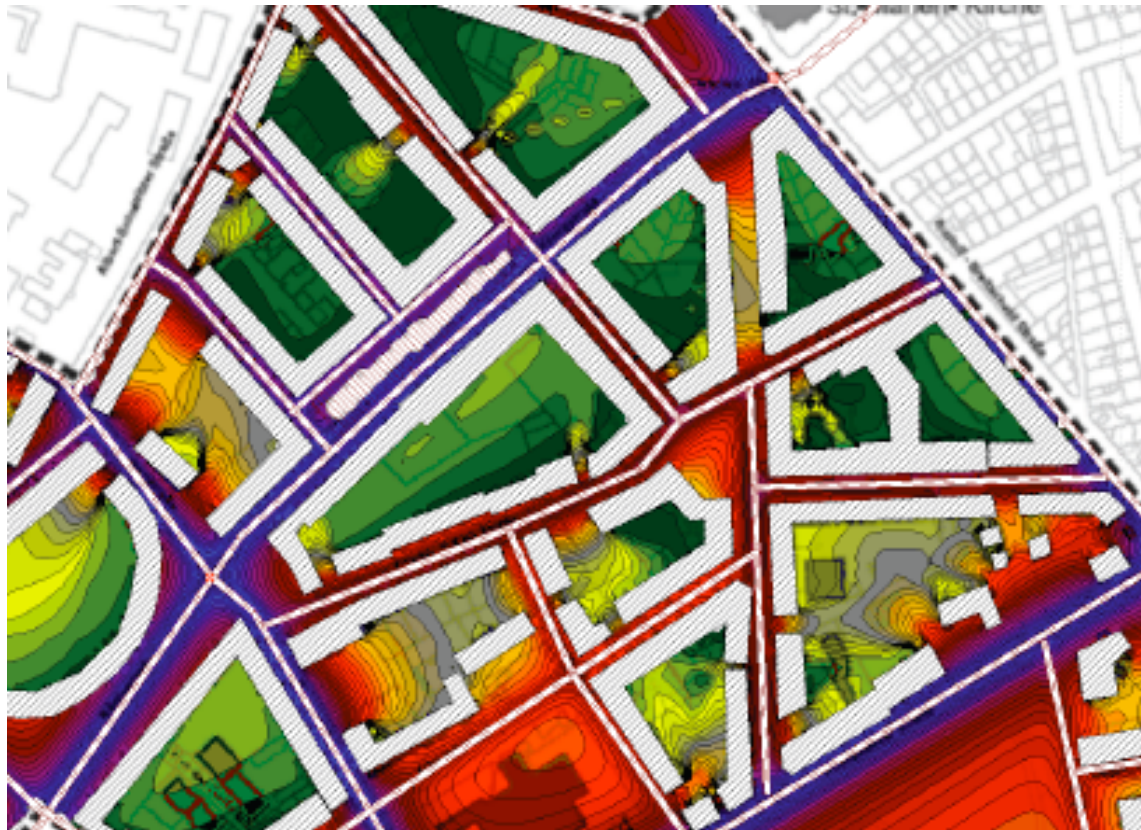


Abbildung 4.10: Ausschnitt aus einer Lärmkarte

Da Lärmkarten mit normierten Farbskalen ausgeführt werden und damit annähernd intuitiv lesbar sind, gelten sie als besonders geeignete Vermittlungsinstrumente. Es ist allerdings festzustellen, dass durch die undifferenzierte, flächenhafte Darstellung der Akzeptorbezug weitgehend fehlt – Lärmkarten berücksichtigen den räumlichen Bewertungskontext nicht. Zwar lassen sich aus ihnen für jeden Punkt im Untersuchungsgebiet die Beurteilungspegel - allerdings nur für die definierte Höhe - ungefähr entnehmen, es ergibt sich daraus aber fast zwangsläufig das Problem der fehlenden Zuordnung zwischen ablesbarem Pegel und wirkungsbezogener Bewertungskenngröße.

So kann beispielsweise für ein einzelnes Grundstück, quantitativ abhängig von der Weite des Berechnungsrasters, eine Vielzahl von Pegelwerten abgelesen werden, ohne dass daraus zuverlässig weitergehende Schlussfolgerungen, z. B. Wahrscheinlichkeit und Intensität des Auftretens bestimmter Wirkungen, zur Wohnqualität oder auch zur Einhaltung rechtlicher normierter Schwellenwerte gezogen werden könnten. Wirkungsorientierte Beurteilungsverfahren wie auch rechtliche Schwellenwertregelungen beziehen sich regelmäßig nicht auf Flächenraster, sondern auf definierte Immissionspunkte bzw. Punktkom-

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

inationen. Diese Punkte, die lage- und höhendifferenziert sein können, zeichnen sich durch spezifische räumliche und nutzungsbezogene Attribute aus, durch die sie besonders bewertungsrelevant oder repräsentativ sind. All dies kann flächenhaften und auch dreidimensionalen Lärmkarten nicht oder nur indirekt schlussfolgernd entnommen werden. Der Wert von Lärmkarten liegt daher weniger in der fachbezogenen Auswertung als in der intuitiven und plakativen Vermittlung der Ausbreitungsgegebenheiten. Außerdem dienen sie der visuellen Qualitätskontrolle der schalltechnischen Berechnungen, insbesondere in geometrisch komplexen Ausbreitungssituationen.

Für die akzeptor- und raumbezogene Immissionsmodellierung ist es notwendig, die aus der Lärmkartierung vorliegenden flächenhaften Immissionsdaten so zu reduzieren und zu strukturieren, dass eine wirkungsbezogene Auswertung möglich wird. Dabei ist vor Allem die Frage maßgeblich, wie die durch Transmissionsprozesse, insbesondere geometrische Ausbreitungsdämpfung, Reflexion, Beugung etc. kleinräumig stark divergierende Immissionssituation auf handhabbare Datensätze reduziert wird und wie der räumliche Kontext von Immissionen so beschrieben werden kann, dass möglichst alle maßgeblichen Lärmwirkungen repräsentativ erfasst werden. Für ein Wohngrundstück können aus der flächenhaften bzw. dreidimensionalen Lärmkarte beispielsweise die folgenden charakteristischen Immissionspunkte herausgegriffen werden:

- Immissionspegel vor der Fassade (horizontal und vertikal differenziert),
- Immissionspegel im Außenwohnbereich (z. B. in repräsentativer Höhe von 2m),
- Immissionspegel am Gebäudeeingang

Am Beispiel einer Fassade mit zahlreichen Fenstern lässt sich die Vielzahl der entstehenden Immissionspunkte aufzeigen:

4.5 Immissionen und Betroffenheiten im Raum- und Akzeptorbezog

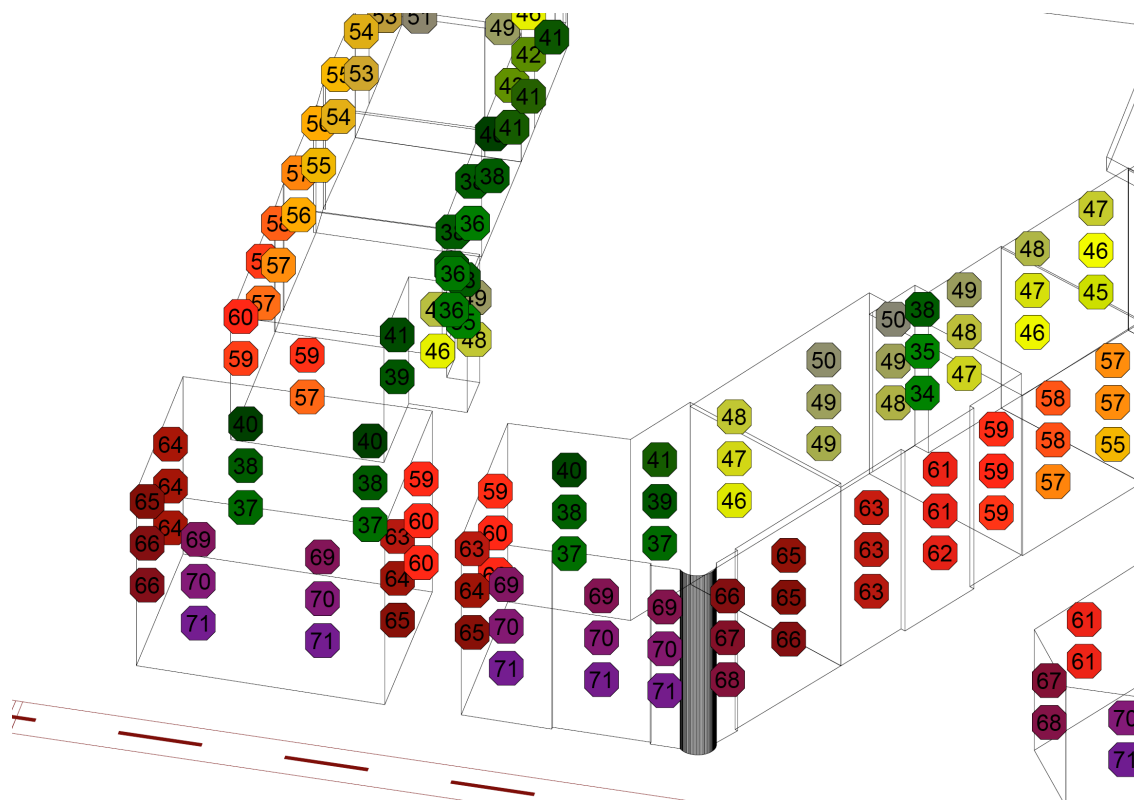


Abbildung 4.11: Immissionspunkte an einer Fassade (Bezug: Fensteröffnungen)

Zur Beschreibung der Immissionssituation ist die funktionale Bedeutung des Immissionspunkts - seine 'Semantik' - mit einzubeziehen. Für das Beispiel eines Wohngrundstücks ist zum Beispiel nach Wohngebäuden, Nebenanlagen und wohnungsbezogenem Freiraum zu differenzieren. Als lärmempfindlich sind insbesondere Wohnräume (Wohnen, Schlafen, Arbeiten, Küchen mit Wohnanteil) und Außenwohnbereiche für die Erholung einzuschätzen. Dem gegenüber sind andere Räume eher lärmunempfindlich, bei Wohnungen vor allem Küchen ohne Wohnanteil, Sanitärräume, Abstellräume und Erschließungsflächen (Treppenhäuser, Flure). Abhängig von der Organisation des Grundstücks und der baulichen Anlagen ergeben sich gute Möglichkeiten der geräuschorientierten Nutzungszonierung.

Nach der rechtlichen Systematik des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, die Lärmkonflikte grundsätzlich als Wechselwirkung von emittierenden Anlagen und empfindlichen Grundstücken nach dem Verursacherprinzip abarbeitet, wird diese Differenzierung zunächst nicht vorgenommen. Dort werden zwar alle maßgeblichen Punkte betrachtet, der rechtlichen Beurteilung wird aber jeweils nur die Höchstbelastung zugrunde gelegt - be-

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

trachtet werden unabhängig von der Anzahl nur die Punkte, bei denen ein definierter Immissionswert überschritten ist. Dies führt bei der Einzelbeurteilung von Quellen regelmäßig zur Beschränkung der Beurteilung auf einen Punkt.

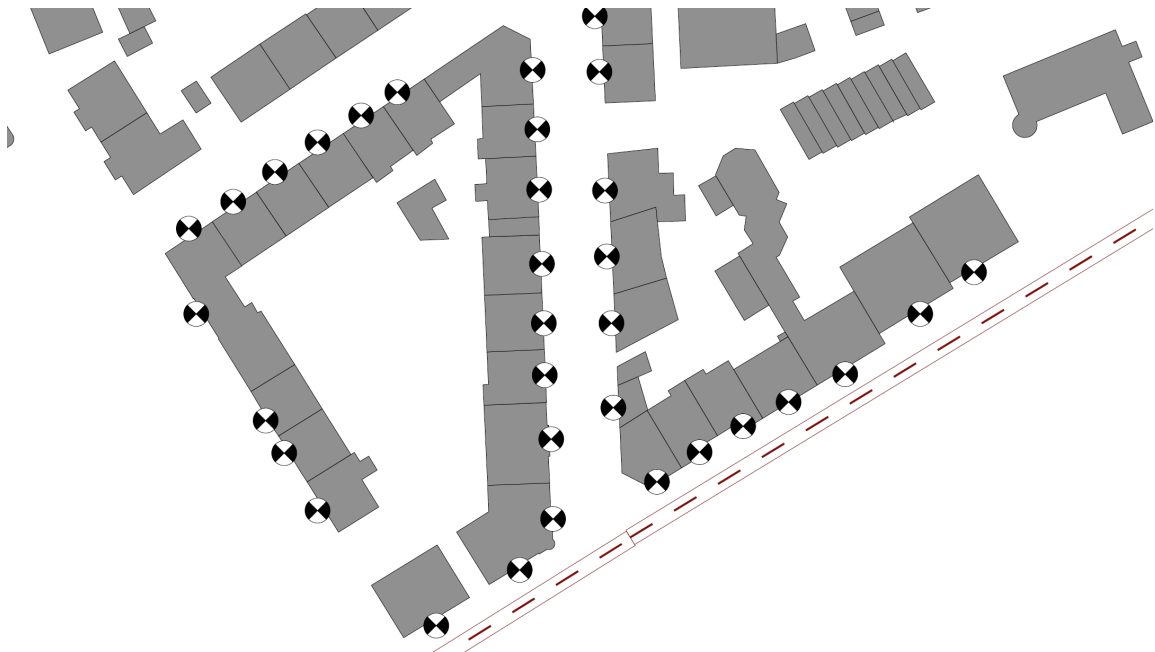


Abbildung 4.12: Repräsentative Immissionspunkte an einer Straße

Dies ist in Folge des Verursacherprinzips geboten und auch sinnvoll, da damit ein klares, an der intensivsten Einwirkung ansetzendes Schutzkonzept formuliert wird. Diese an der Höchstbelastung orientierte Vereinfachung ist auch Basis der genannten globalen Belastungsabschätzungen des Umweltbundesamts, das jeweils den höchstbelasteten maßgeblichen Immissionspunkt eines Grundstücks stellvertretend für die Immissionsbelastung des gesamten Grundstücks heranzieht.

Es ist gleichwohl eindeutig, dass dieses stark vereinfachende Konzept offensichtlichen Limitierungen unterliegt und daher nicht undifferenziert auf die Modellierung von Lärmwirkungen übertragen werden kann. Pegeldifferenzen auf dem Grundstück können nicht erfasst werden, so dass in bestimmten Situationen, insbesondere beim Einwirken mehrerer Quellen aus verschiedenen Richtungen, auch Inkonsistenzen entstehen. Es ergibt sich daher eine ähnliche Situation wie bei der Modellierung von Geräuschverläufen:³³ Einer Vielzahl grundsätzlich modellierbarer Einzelwerte steht das Erfordernis gegenüber, sowohl den Datenbedarf als auch die Anzahl der im Wirkungskontext auszuwertenden Krite-

³³Vgl. Kap. 4.1.5, S. 74

4.5 Immissionen und Betroffenheiten im Raum- und Akzeptorbezog

rien zu begrenzen. In der praktischen Anwendung werden daher Vereinfachungen vorgenommen, die zwar die Handhabbarkeit erhöhen, den Aussagegehalt aber einschränken. Damit reduziert sich gleichzeitig die Möglichkeit, örtliche Besonderheiten und Differenzierungen zu erfassen. Daher ist es zumindest erforderlich, häufig auftretende und aus Modellierungsgesichtspunkten interessante besondere Immissionsbedingungen zu definieren und zusätzlich zum 'Leitwert' der Höchstbelastung zu modellieren. Dies wird im folgenden Unterkapitel vorgenommen.

4.5.1 Besondere Immissionsbedingungen

4.5.1.1 'Ruhige' Fassaden und Grundstücksteile

Das seit vielen Jahren bekannte und angewandte Konzept der Schallschutzgrundrisse basiert auf der zunächst rein qualitativen Erkenntnis, dass sich bei ausgeprägten, durch Eigen- oder Fremdabschirmung hervorgerufenen Differenzen der Umgebungslärmbelastung auf dem Grundstück spürbare Verbesserungen der Wohnqualität durch zielgerichtete Anordnung der Wohnräume erreichen lassen. Wichtige Voraussetzungen dafür ist z. B. die Anordnung der Treppenhäuser und Funktionsräume an der geräuschbelasteten Seite. Die geschlossene Bebauung gilt dabei als besonders schalloptimierte Bauweise, da bei ihr die Eigenabschirmungseffekte naturgemäß besonders hoch sind. Das Konzept ist nur dann nutzbar, wenn die Umgebungsgeräusche ganz oder zu sehr großen Teilen aus einer Richtung – typischerweise von einer Verkehrsachse – stammen. Dann lässt sich durch geschlossene Bebauungen eine Situation mit einer 'lauten' und einer 'ruhigen' Fassade erzeugen, wobei der Pegelunterschied an mehrstöckig bebauten Hauptverkehrsstraßen wegen der großen Abschirmwirkung der Baukörper durchaus > 20 dB(A) betragen kann.

Das deutsche Bau- und Immissionsschutzrecht geht auf derartige Differenzen praktisch nicht ein, denn dort sind die Beurteilungen auf den jeweils lautesten Immissionsort gerichtet – das Auftreten gering belasteter Bereiche wird bei der Beurteilung nicht oder nur qualitativ berücksichtigt.³⁴

Da sowohl in der Lärmwirkungsforschung als auch lärmschutzpolitisch in den letzten Jahren verstärkt über die Effekte von Belastungsdifferenzen auf dem Grundstück und die

³⁴Ein Beispiel für die qualitative Berücksichtigung von Belastungsdifferenzen findet sich in der Bayerischen Bauordnung, die in Art. 46 Abs. 3 S. 5 fordert: 'An verkehrsreichen Straßen sollen die Aufenthaltsräume einer Wohnung überwiegend auf der vom Verkehrslärm abgewandten Seite des Gebäudes liegen.'

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Bedeutung des damit realisierbaren 'Zugangs zur Ruhe' diskutiert wird³⁵ und auch die Umgebungslärmrichtlinie die Identifikation sog. ruhiger Fassaden fordert,³⁶ ist ein neues Aufgabenfeld der Lärmkartierung entstanden, bei dem vier spezifische Modellierungsprobleme zu beobachten sind:

1. *Begriffsdefinition 'ruhige Fassade'*: Es existiert noch kein einheitliches Verständnis vom Begriff der ruhigen Fassade. Eindeutig ist, dass es sich um ganze Gebäudefronten oder größere Teile davon handeln muss, deren fassadenbezogenen Immissionspegeln ein besonderes Attribut ('ruhig') zugeordnet wird. Für die Operationalisierung dieses Attributs sind zumindest zwei sich grundlegend unterscheidende Konzepte erkennbar: Während die Forschergruppe um *Kihlman* und *Gjestland* ihre wirkungsbezogenen Untersuchungen auf einer fixen Obergrenze ($L_{Aeq,24h} < 45dB(A)$) aufgebaut hat, bestimmt die Umgebungslärmrichtlinie das Vorhandensein einer ruhigen Fassade aus der Pegeldifferenz (Kriterium: Differenz mind. 20 dB(A)) zwischen höchstbelasteter und geringstbelasteter Fassade.³⁷ Diese Modellierungsansätze unterscheiden sich sehr grundsätzlich: *Kihlman et al.* interpretieren die 'Ruhe' vor der Fassade als qualitätsbestimmende Ressource und legen bereits Wirkungserkenntnisse zu Grunde, während das Konzept der EU einen dynamischen, belastungsabhängigen Ansatz verfolgt. Das bedeutet auch, dass nach der EU-Definition ruhige Fassaden auch (und sogar allein) durch Belastungssteigerungen an der höchstbelasteten Fassade entstehen können, während dies nach dem Ressourcenkonzept undenkbar ist. Im *Good Practice Guide* der EU zur Lärmkartierung wird diesem Umstand durch ergänzende Einführung einer fixen Obergrenze von $L_{den} = 55dB(A)$ Rechnung getragen, wodurch sich ein kombiniertes Kriterium ergibt.³⁸ - Aus Sicht der Lärmkartierung ist einstweilen festzustellen, dass kein sich unmittelbar aufdrängendes Modell zur Ermittlung ruhiger Fassaden existiert, sondern unterschiedliche Ansätze verfolgt werden, die letztlich nur im Zusammenhang mit den Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung interpretierbar sind, z. B. durch

³⁵GJESTLAND, Trulls und STÖFRINGSDAL, B.: The influence of a quiet facade on road traffic annoyance. In Proceedings InterNoise. Den Haag, 2001; GUSKI, Rainer: Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6; KIHLMAN, Tor: Possible and impossible goals for soundscapes in cities. In STADT WIEN, MAGISTRATSABTEILUNG 22 (UMWELT) (Hrsg.): International SYLVIE conference. Wien, 2002; KIHLMAN, Tor, ÖHRSTRÖM, E. und SKANBERG, A.: Adverse health effects of noise and the value of access to quietness in residential areas. In Proceedings InterNoise. Dearborn, 2002.

³⁶Anhang VI Punkt 1.5 der Umgebungslärmrichtlinie.

³⁷Anhang VI Punkt 1.5 der Umgebungslärmrichtlinie.

³⁸EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON ASSESMENT OF EXPOSURE TO NOISE: Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (Position Paper). Brüssel: Europäische Kommission, 2006, S. 42.

4.5 Immissionen und Betroffenheiten im Raum- und Akzeptorbezog

Ableitung der Korrelation bestimmter Wirkungen (z. B. Belästigung und Schlafstörung) mit Pegelkombinationen zwischen höchst- und geringstbelasteter Fassade.

2. *Erforderlichkeit und Umsetzung der Quellenkombination*: Es ist eindeutig, dass die Identifikation ruhiger Fassaden die Einbeziehung aller relevant einwirkenden Geräusche erfordert, weil in kombinierten Immissionssituationen die – bezogen auf eine einzelne Lärmquelle – ruhige Fassade durch Quellen belastet sein kann, die aus einer anderen Richtung einwirken und die ruhige Fassade damit aufheben. Wird die ruhige Fassade über einen festen Begrenzungswert definiert, können auch aus gleicher Richtung einwirkende Quellen zur Aufhebung der ruhigen Fassade führen. Es ist also ein quellenübergreifende Summation oder zumindest eine Zusammenhangsbetrachtung der auf die einzelnen Fassaden einwirkenden Immissionen erforderlich. Die Umgebungslärmrichtlinie enthält dafür keine Lösung, da sie die Lärmkartierung nach Geräuscharten differenziert und kein methodisches Konzept für die Summation einführt. Damit ist festzustellen, dass das Konzept der Umgebungslärmrichtlinie nur dann zu sinnvollen Ergebnissen führt, wenn eine eindeutig dominante Lärmquelle vorhanden ist. In kombinierten Situationen sind auch unsinnige Ergebnisse nicht auszuschließen. - *Kihlman, Gjestland et al.* leiten die ruhige Fassade aus gemittelten Langzeitmessungen ab, was einer energieäquivalenten Summation entspricht. Differenziertere Konzepte sind nicht bekannt.
3. *Unsicherheiten der Ausbreitungsrechnung*: Die Geräuschdifferenzen zwischen hochbelasteten und ruhigen Fassaden waren in den letzten Jahren verschiedentlich Gegenstand von Messreihen, die die durch die Eigenabschirmung zu erwartenden Effekte im Grundsatz bestätigt haben.³⁹ Allerdings wird übereinstimmend festgestellt, dass sich die gemessenen Differenzen von den gängigen Prognosemodellen nur mit erheblichen Qualitäts- und Genauigkeitsdefiziten nachbilden lassen. Dies ist auf die komplexen Ausbreitungsbedingungen an ruhigen Fassaden zurückzuführen, die in den meisten Fällen keine Sichtverbindung zu den relevanten Umgebungslärmquellen haben. In diesen Fällen ist die Immission vor der Fassade das Ergebnis von Beugungseffekten und (Mehrfach-)Reflexionen, die durch die bestehenden Ausbreitungsmodelle sehr unterschiedlich und insgesamt mit relativ hohen Unsicherheiten modelliert werden.⁴⁰ Zu berücksichtigen ist auch der Einfluss von Hauptlärmquellen

³⁹KIHLMAN, Tor, ÖGREN, M. und KROPP, W.: Prediction of urban traffic noise in shielded courtyards. In Proceedings InterNoise. Dearborn, 2002; SONNTAG, Heinz: Minderung des Verkehrslärms durch Eigenabschirmung von Gebäuden und gebäudenahe Schallschirme. In Jahresbericht 2003 des LfU Bayern. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004.

⁴⁰SCHADE, Lars: Genauigkeit und Eindeutigkeit: Ein Vergleich des französischen Berechnungsverfahrens für Geräuschimmissionen durch Straßenverkehr mit seinem deutschen Pendant. Zeitschrift für Lärmbekämp-

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

in größerer Entfernung, die wegen des insgesamt geringen Geräuschniveaus und der ungünstigeren Abschirmungsverhältnisse deutlich relevanter sind als in Gebieten, die im direkten und nahen Einwirkungsbereich von Lärmquellen liegen.⁴¹

4. *Einbeziehung lokaler Geräuschverhältnisse*: Einen ebenfalls kritischen Punkt für die Modellierung ruhiger Fassaden stellen lokale Besonderheiten dar, z. B. kleine Betriebe, private Parkplätze und Ähnliches, die wegen ihrer eng begrenzten Auswirkungen in flächenhaften Lärmkartierungen vernachlässigt werden. Da auch kein rechtliches Instrumentarium den Schutz besonders ruhiger Grundstücksflächen sicherstellt, besteht im Einzelfall die Gefahr von kleinräumigen, durch die Lärmkartierung nicht erfassten Immissionen. Insofern können die Ergebnisse der Lärmkartierung nicht undifferenziert übernommen werden, sondern bedürfen in besonderem Maße der konkreten Überprüfung auf Plausibilität und Vollständigkeit.

4.5.1.2 Außenschalldämmung von Gebäuden

Da für einen Teil der zu untersuchenden Lärmwirkungen schwerpunktmäßig der Schallpegel in Gebäudeinnenräumen relevant ist, kommt der rechnerischen Umsetzung der durch Immissionsprognose abschätzbaren Immissionspegel vor den Gebäudefassaden in Innenpegel zentrale Bedeutung zu. Dazu wird regelmäßig der Freifeldpegel vor dem Fenster des untersuchten Innenraums (d. h. der Immissionspegel ohne Berücksichtigung der letzten Reflexion an der Fassade) um eine pauschale Dämpfung reduziert und als Immissionspegel für den Innenraum angesetzt.

$$L_i = L_a - D_{ai}$$

Durch diese pragmatische Vereinfachung wird die durch vielfältige kleinräumige Transmissionseinflüsse bestimmte tatsächliche Geräuschsituation in Innenräumen auf eine handhabbare Größe reduziert. Die Höhe der anzusetzenden Pegelminderung durch die Gebäudehülle ist maßgeblich von den schallechnischen Eigenschaften der Fenster und vor allem deren Öffnungszustand abhängig. Ein typischer Ansatz ist die Annahme einer pauschalen Dämmung von 15 dB(A) durch ein gekipptes Fenster bei von außen immitie-

fung (ZfL), 51 März 2004, Nr. 2; DE MUER, Tom: Beleidsondersteunende instrumenten voor geluidshinder in steden (Policy Supporting Tools for Urban Noise Assessment) (Diss.). Gent: Universiteit Gent, 2005.

⁴¹KIHLMAN, Tor: Possible and impossible goals for soundscapes in cities. In STADT WIEN, MAGISTRATSABTEILUNG 22 (UMWELT) (Hrsg.): International SYLVIE conference. Wien, 2002, S. 4.

4.5 Immissionen und Betroffenheiten im Raum- und Akzeptorbezug

rendem Verkehrslärm.⁴² Bei vollständig geöffneten Fenstern reduziert sich die Pegeldifferenz zwischen Innen und Außen weiter, wobei eine Abhängigkeit zur Größe der Fensterflächen besteht. Bei gekippten oder geöffneten Fenstern ist die Schalldämmung der Bauteile der Gebäudehülle ohne relevanten Einfluss auf den Innenpegel, bei geschlossenem Fenster ist sie bestimmend. Typisch sind Pegeldifferenzen von 20-30 dB(A), durch Sonderkonstruktionen (Schallschutzfenster und ggf. Isolierung weiterer Außenbauteile) sind Differenzen über 40 dB(A) erzielbar.

Die Bandbreite der durch Außenschalldämmung erreichbaren Pegeldifferenzen von mindestens 15 dB(A) bereits ohne Schallschutzfenster ist außerordentlich hoch. Daher ist es nachvollziehbar, dass hier ein sehr wesentlicher Unsicherheitsfaktor für die Bestimmung der tatsächlichen Exposition der Betroffenen (die sich über große Teile des Tages innerhalb von Gebäuden aufhalten) und die Modellierung von Lärmwirkungen im Gebäudeinneren, z. B. Schlafbeeinträchtigungen und Kommunikationsstörungen, entsteht. Die besondere Schwierigkeit bei der Erfassung dieser Unsicherheit besteht darin, dass der Öffnungszustand der Fenster von den Betroffenen praktisch jederzeit geändert werden kann. Damit können Betroffene z. B. durch Schließen des Fensters ein als störend empfundenem Außengeräusch dämpfen, allerdings mit der Folge praktisch ausfallender Luftzirkulation, ungünstigerer Luftqualität, fehlendem Feuchtigkeitsausgleich und akustischer Verinselung ihres Wohnraums. Eine weitere relevante Nebenfolge ist, dass in derart abgeschotteten Räumen die sozial ohnehin sensiblen Nachbarschaftsgeräusche wie Musik, Sprache, Heimwerken etc. die einzigen (wahrnehmbaren) externen Geräusche sind. Dadurch treten sie besonders intensiv hervor und prägen die Wahrnehmung der Raumnutzer. - Aus diesem Grund wird das Schließen der Fenster vielfach bereits als negative Lärmwirkung gedeutet. Insofern wird häufig die Annahme eines gekippten Fenster als Regelzustand in Wohnungen gefordert, weil dies der geübten Praxis und dem Wunsch der Wohnungsnutzer sowie dem Belüftungserfordernis Rechnung trägt.

Einem Teil der negativen Nebenfolgen kann durch systematischen baulichen Schallschutz begegnet werden. Dabei sind Gebäude so auszurüsten, dass zum Einen der Luftaustausch durch automatische Lüftungsanlagen erfolgt und dass zum Anderen auch eine erhöhte interne Schalldämmung sicherstellt, dass keine Substitution von Umgebungslärmbelastung durch hervortretenden Nachbarschaftslärm entsteht. Das Problem der akustischen Entkopplung der Gebäudeinnenräume von ihrer Umgebung, die dazu führt, dass im Innenraum auch die positiven Aspekte der Geräuschlandschaft (Vögelzwitschern, Kinderspielen, Gespräche ...) und die Ortstypik nicht mehr wahrnehmbar sind,

⁴²KÖTZ, Wolf-Dietrich: Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 51 2004, Nr. 1.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

kann damit jedoch nicht gelöst werden. Im Ergebnis sind die Innenräume systematisch schallgedämmter Gebäude fast immer deutlich leiser als in konventionellen Gebäuden, selbst wenn diese sich in ruhiger Umgebung befinden.

Im Ergebnis ist es sehr umstritten, ob passiver Schallschutz an Gebäuden dazu geeignet ist, zur Lösung von Umgebungslärmkonflikten beizutragen. Gleichwohl muss davon ausgegangen werden, dass bestimmte Lärmwirkungen, insbesondere die unmittelbar mit dem Geräuschpegel am Ohr verknüpften Schlaf- und Kommunikationsstörungen, durch passiven Schallschutz deutlich reduziert werden. Möglicherweise werden dadurch aber andere Wirkungen - wie die Belästigung - verstärkt. Aus Modellierungssicht ergibt sich daraus das Problem, dass eine sehr differenzierte Betrachtung über alle Lärmwirkungen hinweg erforderlich wird, die die Existenz fundierter Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die entstehenden Konstellationen voraussetzt. Gegen die Einbeziehung baulicher Schalldämmung spricht außerdem der vollständig fehlende Raumbezug: Passiver Schallschutz ist bei jeder Umgebungslärmbelastung einsetzbar; Belastungsminderungen werden nicht sichtbar. Schon aus diesem Grund erscheint es gerechtfertigt, die bauliche Schalldämmung aus der raumbezogenen Modellierung auszunehmen und als 'ultima ratio' für bereits bewohnte Gebiete mit nicht minderbarer Umgebungslärmbelastung zu betrachten.

4.5.1.3 Baulich-räumlicher Charakter der Umgebung

Für die Betroffenheitsermittlung ist die Fragen erheblich, ob und in welcher Form die Flächennutzung als Kriterium für die Geräuschempfindlichkeit einzubeziehen ist. Die in Deutschland eingeführten bzw. rechtsverbindlichen Regelungen zur raumbezogenen Beurteilung von Geräuschbelastungen basieren mit wenigen Ausnahmen auf der sog. 'Störgradsystematik' und gehen damit von differenzierten Zumutbarkeitsschwellen zwischen den Nutzungsarten nach Baunutzungsverordnung aus. So ergibt sich beispielsweise nach der Technischen Anleitung Lärm eine Richtwertdifferenz zwischen Kerngebiet und reinem Wohngebiet von 5 dB(A). Um im Kontext von räumlicher Planung bzw. Konfliktbewältigung Lärmbelastungen zielführend betrachten zu können, muss sich dies auch in der Betroffenheitsermittlung niederschlagen. Das führt zu der Aufgabe, Flächennutzungen und ihre Empfindlichkeit einzubeziehen. Im Wege der technischen Normung sind bereits Standards zur Datenerfassung der Flächennutzung formuliert worden (Norm ISO 1996-2), die allerdings nicht in allen Fällen mit der bauleitplanerischen Flächenzuweisung übereinstimmen. Eindeutig zu differenzieren ist jedoch zwischen Gebieten, die zum Wohnen bestimmt sind, und solchen, in denen die Wohnnutzung unzulässig bzw. an Ausnahme-

tatbestände gebunden ist. Dies ist schon erforderlich, um die im Untersuchungsgebiet relevanten Schutzkriterien (z. B. Schlaf) bestimmen zu können.

Nach der Umgebungslärmrichtlinie sind die Betroffenheitsermittlungen unabhängig von der Art der baulichen Nutzung eines Gebiets auf Bewohner der Gebiets auszurichten. Dabei bleibt außer Acht, ob sich die Wohnung im reinen Wohngebiet oder im Kerngebiet befindet. Bei rein pegelabhängigen Wirkungszusammenhängen ergibt sich somit regelmäßig in gemischt genutzten und stärker verdichteten Gebieten eine erhöhte Betroffenheit. Zu klären ist, ob dies fachlich gerechtfertigt ist oder ob der städtebauliche Charakter eines Gebiets ('großstädtisch' bis 'ländlich'), die Bauweise, bauliche Dichte und weitere Faktoren bei einzelnen oder allen zu betrachtenden Lärmwirkungen einen systematisch erfassbaren Moderator darstellen, d.h. ob Lärmwirkungen von der Gebietscharakteristik abhängen. Insbesondere beim Wirkfaktor Belästigung weisen Forschungsergebnisse durchaus in diese Richtung.

4.6 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Im Immissionsschutz werden zur akustischen Beschreibung des kurz- und langfristigen Emissionsverhaltens von Schallquellen und der Zeitstruktur der Emission zahlreiche Deskriptoren verwendet. Diesen liegen in aller Regel logarithmische Dezibel-Geräuschpegel mit Frequenz- und Zeitbewertung zu Grunde. Obwohl die Aussagefähigkeit dieser vom physikalisch messbaren Schalldruck abgelösten, an das menschliche Gehörempfinden näherungsweise angepassten Größen nicht unumstritten ist und in Teilen über andere Verfahren - z. B. zur Bewertung der Frequenzzusammensetzung von Geräuschen - diskutiert wird, sind insbesondere die mit der normierten Frequenzbewertung 'A' nach DIN 45633 und der Zeitbewertung 'F' (fast) nach DIN EN 60651 ermittelten Dezibelwerte so breit eingeführt, dass eine Ablösung davon nicht sinnvoll erscheint.

Die Nutzbarkeit der daraus abgeleiteten vielfältigen Pegelkriterien für die integrierte Umgebungslärmmodellierung ist differenziert zu betrachten. Zwar wäre es wünschenswert, im Sinne einer möglichst vollständig abdeckenden und flexible Auswertungen ermöglichenden Betrachtung die Geräuschsituation sehr detailliert zu erfassen. Allerdings zeigt die Untersuchung, dass die Anlagen- und Betriebsbedingungen der zu betrachtenden Umgebungslärmquellen so differenziert sind, dass in Abhängigkeit von der betrachteten Quellenart ein großer Teil der Pegelkriterien nur aus Messungen und damit ex-post ermittelt werden kann. Jeweils nur ein Ausschnitt der Pegelkriterien kann hinreichend stabil berechnet bzw. prognostiziert werden. Sucht man durch Überlagerung der modellierbaren Emissionsdeskriptoren nach einer für alle Umgebungslärmquellen gleichermaßen

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

verwendbaren Kenngröße, so steht im Ergebnis nur der langfristige äquivalente Dauerschallpegel i. S. d. DIN 45641, der - mit Unschärfen in den Randzeiten - nach Tag- und Nachtzeitraum differenziert werden kann. Hinreichend zuverlässig abschätzbar erscheint außerdem der Maximalpegel im Sinne regelmäßig erwartbarer Ereignisse, wobei Sonderfälle nicht erfasst werden können.

Die antizipierende Berechnung und ex-ante-Prognose differenzierterer Pegelkriterien ist besonders bei den Straßenverkehrsquellen nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit möglich. Dies betrifft insbesondere die äußerst berechnungsinstabilen NAT-Kriterien, aber auch weitere differenzierte Kriterien wie die Perzentilpegel. Auch die mit dem Tag-Abend-Nacht-Pegel implizierte präzisere Einbeziehung der Zeitstruktur von Belastungen führt hier eher zu 'Scheingenauigkeiten' als zu einem vertieftem Verständnis, da verallgemeinerbare und hinreichend präzise Tagesganglinien nicht bekannt sind. In gewissen Grenzen und wiederum mit Unschärfen möglich ist die Einbeziehung der z. B. in DIN 45645-1 normierten Zuschlagskriterien für Impulshaltigkeit und Tonhaltigkeit. Um die Emissionsbedingungen nicht zu verdecken, sollten diese jedoch nicht in einen Beurteilungspegel umgerechnet werden, sondern als zusätzliche Information angegeben werden.

Für die integrierte Umgebungslärmmodellierung ergibt sich aus diesen Bedingungen eine durchaus problematische Ausgangssituation. Dem aus Wirkungssicht nachvollziehbaren Interesse an möglichst differenzierten Daten (Zeitstrukturen, akustische Komponenten) zur Geräuschsituation kann bestenfalls ex-post und wegen des hohen Messaufwands nur räumlich punktuell entsprochen werden. Im größeren Raum- und Zeitbezug und vor allem in den besonders interessierenden Prognose- und Planungssituationen wird immer der Rückgriff auf prognostische Berechnungen erforderlich sein. Dadurch reduzieren sich die verfügbaren Geräuschdeskriptoren und damit die 'Genauigkeit' der akustischen Daten drastisch. Es ist nicht erkennbar, dass sich dies kurz- oder mittelfristig ändern ließe. An diesem 'Dilemma' kann eine wirkungsgerechte Beurteilung des Umgebungslärms durchaus scheitern, wenn es nämlich nicht gelingt, Wirkungsindikatoren zu identifizieren, die sich hinreichend zuverlässig auf verhältnismäßig einfache akustische Zusammenhänge zurückführen lassen.

Neben der Zeitstruktur und ihrer Erfassung ist das Emissionsniveau der Quellen, d. h. ihre Geräuschemission bei definierten Randbedingungen, von großer Bedeutung für die zutreffende Lärmkartierung. Auch hier ergibt sich aus Sicht der integrierten Umgebungslärmmodellierung ein schwieriges Spannungsfeld aus Genauigkeitsanforderungen und praktischer Handhabbarkeit. Grundlegender Anspruch ist hier, mit vertretbarem Erhebungsaufwand möglichst genaue Emissionsdaten der Quellen zu erhalten.

Die Anzahl der dafür einzubeziehenden Parameter ist abhängig von der Quellenart sehr unterschiedlich. Ein sinnvolles Konzept moderner Emissionsmodelle ist die Modularisierung von Einflussfaktoren, die mit der Möglichkeit verbunden ist, bestimmte Parameter differenziert in die Emissionsberechnung einzubeziehen oder - mit entsprechend reduzierter Genauigkeit - Durchschnittswerte zu verwenden. In diesem Sinne sind die in Deutschland für den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr im Rechtsvollzug angewandten Modelle, die zahlreiche Parametrisierungen und Generalisierungen im Rechenkern 'verstecken', nicht mehr zeitgemäß. In der praktischen Anwendung für die integrierte Umgebungslärmmodellierung ist zunächst die Genauigkeit der Datenbasis entscheidend. Werden Generalisierungen vorgenommen, so ist dies bei der Wirkungsbetrachtung mit entsprechenden Sicherheiten zu berücksichtigen. Ein wichtiger Aspekt bei der Entscheidung, welche Faktoren in die Betrachtung einzubeziehen sind, ist deren Relevanz im Minderungskontext. Es sollten jedenfalls alle Faktoren einbezogen werden, die potentiell für Lärminderungsmaßnahmen relevant werden können, z. B. sollten bei Straßenverkehrsquellen soweit möglich nicht nur die 'klassischen' Parameter der RLS-90, sondern darüber hinaus Straßenzustands- und Verkehrsflusskomponenten ebenso einbezogen werden wie die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit.

Für die zur Bestimmung der raumbezogenen Immissionen bedeutsamen Transmissionsmodelle gilt Ähnliches. Die ISO-Norm 9613-2 stellt ein den Stand der Technik repräsentierendes, vollständiges Engineering-Modell zur Schallausbreitungsberechnung zur Verfügung, mit dem sich die Immission an einem Punkt unter ausbreitungsbegünstigenden meteorologischen Bedingungen erfassen lassen. Die wesentlichen Komponenten geometrische Pegelabnahme, Luftabsorption, Bodeneffekt, Beugung und Abschirmung, Schalldurchgang durch Vegetation und Reflexionen an Oberflächen sind implementiert. Ausgehend von - hier nicht zu bewertenden - Defiziten des Modells werden seitens der technischen Akustik weitere Verbesserungen umgesetzt, die die verglichen mit anderen Modellbestandteilen ohnehin hohe Genauigkeit der Transmissionsprognose weiter erhöhen. Aus Sicht der räumlichen Planung sind in diesem Bereich keine Defizite erkennbar.

Der limitierende Faktor ist hier klar in der Erhebung der ausbreitungsrelevanten Daten zu sehen. Dabei ist zum Einen der hohe Bestandsaufnahmeaufwand einzubeziehen, zum Anderen ist zu betrachten, dass bestimmte Ausbreitungsfaktoren, insbesondere die Bodeneigenschaften (Vegetation, Befestigung) und kleinere Hindernisse, einem fortlaufenden, baurechtlich weitgehend unkontrollierten Wandel unterliegen und daher generalisierend erfasst werden müssen. Ein ähnliches, systematisch auftretendes Problem ergibt sich in Planungssituationen, die mit Änderungen der Ausbreitungsbedingungen einhergehen.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

Mit der Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie in das deutsche Immissionsschutzrecht ist eine Pflicht zur systematischen und einheitlichen Lärmkartierung bestimmter Bereiche entstanden. Diese stellt grundsätzlich eine leistungsfähige Basis für die Integration des Umgebungslärms in stadtplanerische Entscheidungsprozesse dar, insbesondere deswegen, weil durch sie zumindest in den normierten Ballungsräumen wesentliche Teile der erforderlichen umweltbezogenen und akustischen Daten zur Verfügung gestellt und - im Sinne eines Monitoringprozesses - periodisch bzw. 'im Falle einer bedeutsamen Entwicklung' aktualisiert werden. Dies stellt die für eine quellenübergreifende Betrachtung unerlässliche Konsistenz aller Daten sicher und entlastet die Planungsträger. Dennoch ist festzustellen, dass sowohl die Ursprungsregelung der Umgebungslärmrichtlinie als auch - noch verstärkt - die Umsetzung in das deutsche Immissionsschutzrecht fachliche Defizite und Fehlstellen aufweisen, die ihren Erfolg zumindest partiell in Frage stellen.

Dies betrifft zunächst die Lärmkartierung außerhalb der Ballungsräume. Dort sind nur sog. Hauptlärmquellen in die Kartierung einbezogen, die nicht akustisch oder wirkungsbezogen, sondern anhand von Formalkriterien bestimmt werden. Dadurch ist zu befürchten, dass in erheblichem Umfang Hauptlärmquellen mit geringem Wirkungspotential in die Kartierung einbezogen werden, während sonstige Lärmquellen mit höherem Wirkungspotential unberücksichtigt bleiben. Im Sinne der abgeleiteten Anforderungen an die Modellkonsistenz wird hierzu vorgeschlagen, die Festlegung der außerhalb der Ballungsräume einzubeziehenden Lärmquellen anhand eines einfachen konfliktorientierten Schätzverfahrens vorzunehmen, z. B. alle Lärmquellen einzubeziehen, die an Wohngebäuden einen L_{DEN} von 55 dB(A) überschreiten.

Da nach der Lärmkartierungsverordnung außerhalb der Ballungsräume die übrigen im Auswirkungsbereich der Hauptlärmquellen (z. B. überörtliche Straßen) liegenden sonstigen Lärmquellen (z. B. örtliche Straßen) nicht in die Lärmkartierung einbezogen werden, sind die Lärmkarten für Ballungsräume mit denen für Hauptlärmquellen außerhalb der Ballungsräume prinzipiell nicht vergleichbar (abweichende Modellierungsbasis). Dadurch führte die Anwendung einheitlicher Dosis-Wirkungs-Relationen außerhalb der Ballungsräume zu einer systematischen Unterschätzung der Betroffenheiten und Überschätzung der Minderungspotentiale, da die von sonstigen Lärmquellen hervorgerufene Grundbelastung der kartierten Gebiete vernachlässigt wird. Es wird daher empfohlen, außerhalb der Ballungsräume zunächst die Auswirkungsbereiche der Hauptlärmquellen zu bestimmen und die Kartierung in diesen Auswirkungsbereichen auf die sonstigen Lärmquellen auszudehnen. Nur so lässt sich eine methodisch einheitliche Modellierungsbasis für die Anwendung von Dosis-Wirkungs-Relationen schaffen. Der dadurch entstehende Zusatzaufwand wird als sehr gering eingeschätzt, da die Gelände- und Hindernisdaten der

4.6 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Auswirkungsbereiche schon für die isolierte Kartierung der Hauptlärmquellen vollständig erfasst werden müssen und daher nur noch die akustischen Daten der sonstigen Lärmquellen in das Modell zu integrieren sind.

4 Immissionsprognose und Lärmkartierung

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

Im Folgenden soll ein Überblick über die methodischen Konzepte der Lärmwirkungsfor- schung gegeben werden. Ziel ist es herauszuarbeiten, auf welche Lärmwirkungen und Fragestellungen die verschiedenen Methoden angewendet werden und welche systema- tischen Erkenntnisse aus ihrer Anwendung im raumbezogenen Kontext gewonnen werden können. Darauf aufbauend wird jeweils die Relevanz und Anwendbarkeit in der raumbe- zogenen Planung diskutiert.

5.1 Grundlegende Zusammenhänge und Differenzierungen

5.1.1 Begriff der Lärmwirkung

Lärm ist, anders als Schall, kein physikalisch messbares Phänomen, sondern das Er- gebnis von Verarbeitungsprozessen im menschlichen Gehör bzw. Gehirn. Schall kann bei Menschen in bestimmten Situationen zu gesundheitlichen Schäden, vegetativen Be- lastungsreaktionen bzw. zur Verringerung des Wohlbefindens führen. Die beobachtbaren und in der Literatur beschriebenen Lärmwirkungen sind sehr vielfältig und oftmals nicht scharf voneinander abgrenzbar. Unter Lärmwirkungen werden zunächst Wirkungen auf den Menschen ebenso subsummiert wie wirtschaftliche und raumstrukturelle Wirkungen. Es treten sowohl kurz- als auch langfristige Wirkungen auf, die unmittelbar durch Lärm hervorgerufen oder nur indirekt mit Lärm assoziiert sein können. Lärmwirkungen treten auch bei ähnlicher akustischer Belastung nicht gleichermaßen bei allen Betroffenen auf, sondern es bestehen Abhängigkeiten verschiedener Einflussfaktoren. Dem Lärm - hier insbesondere dem Umgebungslärm - werden vielfältige Wirkungen zugeschrieben, die die menschliche Gesundheit in engerem und weiterem Sinne ebenso erfassen wie auch weitere ökologische, soziale und ökonomische Aspekte. Eine zusammenhängende Syste- matik der Lärmwirkungen besteht nicht. Aus diesem Grund ist es erforderlich, im Sinne von Definitionen einige grundlegende Differenzierungen vorzunehmen, die die folgende Abhandlung strukturieren.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

5.1.2 Übersicht und Systematik der Lärmwirkungen

Die wohl grundlegendste Differenzierung ist diejenige zwischen direkt auf den Menschen bezogenen (direkte) Lärmwirkungen und Folgewirkungen im sozialen, ökonomischen und rechtlichen Kontext, z. B. Leistungsminderungen, veränderte Sozialstrukturen und reduzierte Immobilienwerte in lärmbelasteten Gebieten.

In den 'Guidelines for Community Noise' der Weltgesundheitsorganisation unterscheiden *Berglund et al.* folgende gesundheitsrelevante Lärmwirkungen auf den Menschen ¹

- Gehörschädigungen durch Lärm (noise-induced hearing impairment),
- Beeinträchtigung der Sprachkommunikation (interference with speech communication),
- Erholungs- und Schlafstörungen (disturbance of rest and sleep),
- Physiologische Effekte, psychische Krankheiten und Leistungsbeeinträchtigungen (psychophysiological, mental-health and performance effects),
- Auswirkungen auf das Wohnverhalten und Belästigung (effects on residential behaviour and annoyance),
- Beeinträchtigung beabsichtigter Tätigkeiten (interference with intended activities).

Diese Darstellung ist rein summativ. Systematisierungsansätze für diese direkt auf den Menschen bezogenen Lärmwirkungen können sich an unterschiedlichen Wirkungskategorien orientieren. Eine gebräuchliche Kategorisierung wird nach Art und zeitlichen Skala der Lärmwirkungen vorgenommen. Zu unterscheiden sind Wirkungen, die spontan auftreten, d. h. unmittelbar mit einem Momentengeräusch assoziiert sind, und solche, die erst bei längerfristiger Einwirkung auftreten und nicht mehr direkt auf Einzelschallereignisse, sondern auf eine Vielzahl von auf einen Akzeptor einwirkenden Ereignissen zurückzuführen sind. Gebräuchlich ist ein dreigliedertes Schema²:

- Primärreaktionen = Akute Reaktionen in unmittelbarem zeitlichen Zusammenhang mit der Exposition,

¹Vgl. BERGLUND, Birgitta, LINDVALL, Thomas und SCHWELA, Dietrich: Guidelines for Community Noise. Genf: Weltgesundheitsorganisation (WHO) Regionalbüro Europa, 1999, S. VIII, englische Originalfassung in Klammern

²GRIEFAHN, Barbara: Medizinische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 105.

5.1 Grundlegende Zusammenhänge und Differenzierungen

- Sekundärreaktionen = Verzögert bzw. nur bei wiederholter Einwirkung einsetzende Reaktionen,
- Tertiärreaktionen = Klinisch relevante Gesundheitsschäden oder Verhaltensänderungen in Folge chronischer Geräuschbelastungen.

Beim Umgebungslärm sind alle dieser Wirkungskategorien von Bedeutung. Spontane Lärmwirkungen - z. B. Störung, Ablenkung und Kommunikationsunterbrechung - stellen die Nutzbarkeit der betroffenen Gebiete für konkrete Tätigkeiten unmittelbar in Frage, soweit sie nicht nur sehr selten auftreten. Mittel- und langfristige manifestierende Wirkungen - insbesondere die Belästigung, Schlafstörungen und weitere extra-aurale Gesundheitsbeeinträchtigungen - beeinträchtigen die Nutzungsqualität ebenfalls nachhaltig.

Ein weiterer Systematisierungsansatz liegt in der geräuschbezogenen Kategorisierung von Lärmwirkungen. Bei den direkt auf den Menschen bezogenen Lärmwirkungen wird dabei grundsätzlich nach dem hauptsächlich von der Schallintensität abhängigen Wirkungs-Endpunkt differenziert. Unterschieden werden können Lärmwirkungen mit hohen momentanen Schallintensitäten (oberhalb von 80 dB(A)), die zu auralen Wirkungen, also temporären oder dauerhaften Gehörschädigungen führen können. Davon grundsätzlich unterschieden werden extra-aurale Wirkungen, deren Endpunkt außerhalb des Gehörs liegt. Da im Kontext des Umgebungslärms gehörgefährdende Geräusche nur in seltenen Ausnahmefällen auftreten können, bedürfen die auralen Wirkungen hier keiner eingehenden Untersuchung. Sie werden vornehmlich im Arbeitsschutz berücksichtigt und dort auch quellenunabhängig zu einem ortsbezogenen Beurteilungspegel als Gesamt-Dosis summiert. Dieses Vorgehen ist gerechtfertigt, da bei gehörschädigendem Lärm schwerpunktmäßig die physikalischen Geräuscheigenschaften (Dauerbelastungen, Schallspitzen, Frequenzspektrum) relevant sind und die Quellendifferenzierung praktisch keine Rolle spielt.

Mit dem Begriff der Lärmwirkungen ist grundsätzlich auch die Legaldefinition des Bundes-Immissionsschutzgesetzes assoziiert, die unter dem Oberbegriff 'schädliche Umweltauswirkungen' Gesundheitsschäden, erhebliche Belästigungen und Nachteile subsummiert [BImSchG, § 1]. Es handelt sich dabei um normativ-wertende, nämlich als schädlich, gefährlich oder nachteilig klassifizierte Wirkungskategorien. Die damit rechtlich-abstrakt vorgenommene Systematisierung, die die rechtlich relevanten Wirkungen des Lärms auf den Menschen in zwei Bereiche - Gesundheitsschaden und erhebliche Belästigung – teilt und darüber hinaus weitere Nachteile - zu nennen sind insbesondere Funktions- und Wertverluste von Grundstücken – ist von hoher normativer Bedeutung, allerdings ist sie fachlich nicht durchgehend akzeptiert und auch erkennbar unvollständig.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

Vor allem die Differenzierung zwischen Gesundheitsschäden und erheblicher Belästigung begegnet Widerständen, weil sie zum Einen mögliche systematische Zusammenhänge zwischen langfristiger Belästigung und Gesundheitsschaden außer Acht lässt und außerdem grundsätzlich von einem engen Gesundheitsbegriff ('Gesundheit als Gegenpol zur Krankheit') ausgeht, der nicht im Sinne der Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist. So heisst es in der Präambel der Verfassung der WHO von 1946: 'Gesundheit ist der Zustand vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur das Freisein von Krankheit oder Gebrechen.' Danach fallen Belästigungen als Beeinträchtigungen des Wohlbefindens eindeutig und selbständig unter den Begriff der Gesundheitsschäden. Die Diskussion um diese Frage wird schon lange geführt, allerdings ohne erkennbares Ergebnis. Die Divergenzen im Gesundheitsbegriff treffen auch in aktuellen Publikationen und Begutachtungen unvermittelt aufeinander, wie beispielsweise im Gutachten zur Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept am Flughafen Frankfurt³ deutlich wird.

Allerdings ist zu fragen, ob diese Diskussion überhaupt weiterführend ist. So stellt *Steinebach* in einer vereinfachten Definition bereits 1987 heraus, dass auch bei einer verengten Gesundheitsdefinition ('Gesundheit = Freisein von Krankheit in physiologischer, biologischer oder chemischer Hinsicht') Belästigungen gesundheitsrelevant sein können ('Belästigungen = erhebliche Störung des Wohlbefindens mit der möglichen Folge von Krankheit oder krankheitsähnlichen Symptomen').⁴ Die in Deutschland auf Grund der rechtlich stark akzentuierten Position der 'Gesundheit' im Bundes-Immissionsschutzgesetz mit hoher Intensität geführte Diskussion um die Abgrenzung zwischen 'Belästigung' und 'Gesundheitsschädigung' findet sich in der internationalen Diskussion praktisch nicht wieder, was mutmaßlich auch auf das Fehlen entsprechender rechtlicher Differenzierungskriterien zurückzuführen ist.

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

5.2.1 Anforderungen und Methodenübersicht

Besonders mittel- und langfristige Lärmwirkungen auf den Menschen können nicht direkt erfragt oder gemessen, sondern nur indirekt erschlossen werden können. Ein wich-

³GRIEFAHN, Barbara et al.: Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept (Gutachten G12.1 zum Planfeststellungsverfahren Ausbau Flughafen Frankfurt Main). Dortmund, Düsseldorf, Dresden, Erlangen, 2004, S. 3f..

⁴STEINEBACH, Gerhard: Lärm- und Luftgrenzwerte: Entstehung, Aussagewert, Bedeutung für Bebauungspläne. Düsseldorf: Werner-Verlag, 1987, RN 223.

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

tiger Grund dafür ist schon die Schwierigkeit, die Geräuschsituation angemessen genau zu erfassen. Die Umgebungslärmbelastung der meisten Menschen ist stark schwankend und differenziert. Sie kann - wie bereits dargelegt - mit vielen unterschiedlichen Pegelkriterien beschrieben werden. Die Lärmwirkungsforschung muss geeignete und aussagefähige Kriterien auswählen, wobei Anzahl, Beschreibung und Komplexität dieser akustischen Kriterien nicht nur dem Forschungsinteresse Rechnung tragen, sondern auch die in der Realität eingeschränkte Erfassbarkeit und - für die Wirkungsprognose im Planungskontext - die Prognostizierbarkeit berücksichtigen müssen. Von erheblicher Bedeutung ist auch die Frage, inwieweit überhaupt von ortsbezogenen Immissionswerten auf die für die Wirkungsforschung eigentlich benötigte individuelle (personenbezogene) Geräuschexposition geschlossen werden kann. Wegen der komplexen Ausbreitungs- und Abschirmungsbedingungen unterscheiden sich diese Werte kleinräumig sehr stark, und sind auch von veränderlichen Zuständen abhängig. Dadurch ergibt sich unvermeidbar die Schwierigkeit, repräsentative Immissionspunkte, z. B. ein Punkt 'vor der lautesten Fassade des Wohngebäudes'⁵ als wichtige Standardgröße, auszuwählen. Pegeldifferenzen am Standort bleiben damit ebenso unberücksichtigt wie der Gebäudegrundriss und ggf. vorhandene konstruktive Schalldämmungen. Der Mensch verändert - abhängig von seinem individuellen Aktivitätsprofil - außerdem laufend seinen Standort und damit auch seine Geräuschbelastung, was durch Modellierung praktisch nicht erfassbar ist. Ortsbezogene Immissionsdaten sind damit immer eine unscharfe Kenngröße zur Ermittlung individueller Exposition.

Ein weiteres hier bereits anzusprechendes Grundproblem der Lärmwirkungsforschung liegt darin begründet, dass mit Ausnahme der Gehörschädigung und den akuten Störungen praktisch alle zu untersuchenden Effekte ein breites Ursachenspektrum und zahlreiche Einflussfaktoren und Moderatoren aufweisen, also keine spezifischen Wirkungen des Lärms sind. So können sowohl die Belästigung als auch die relevanten Erkrankungen nicht nur durch Lärm, sondern auch durch andere physiologische Gegebenheiten (z. B. Ernährung) und Stressfaktoren (Stress im familiären, sozialen und beruflichen Umfeld etc.) ausgelöst bzw. begünstigt werden. Die Lärmwirkungsforschung ist also nicht nur mit der Aufgabe konfrontiert, Wirkungsspezifika des Lärms zu bestimmen, sondern auch und vor allem damit, den qualitativen und quantitativen Beitrag des Lärms beim Zustandekommen unspezifischer Wirkungen unter einer großen Vielzahl von Faktoren – die für die Lärmwirkungsforschung als verzerrende Größen (Confounder) gelten müssen – 'herauszupräparieren'. Sie wird damit zur Querschnittsdisziplin, die auch Erkenntnisse aus anderen Forschungsbereichen in ihr Kalkül einbeziehen muss.

⁵Dies ist die gängigste Definition des Immissionsorts bei empirischen Dosis-Wirkungs-Modellen für die globale Belästigung.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

Mit Lärmwirkungen befassen sich unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen. Guski differenziert grundlegend zwischen medizinischer, psychologischer und sozial-ökonomischer Lärmwirkungsforschung.⁶ Zu ergänzen ist diese Aufzählung um die akustisch orientierte Lärmwirkungsforschung, die gerade bei akuten Lärmwirkungen wie der Kommunikationsunterbrechung durch Maskierung wertvolle Aufschlüsse geben kann. So unterschiedlich wie die dargestellten Lärmwirkungen sind auch die Konzepte, mit denen diese Wirkungen erfasst, beschrieben und modelliert werden. Eng abhängig vom Modellierungskonzept sind auch die Rückschlüsse, die aus den Ergebnissen von Lärmwirkungen gezogen werden können. Vor diesem Hintergrund ist bereits die Definition von Wirkungs-Endpunkten nicht eindeutig vorzunehmen. So ist die 'Belästigung' aus Sicht der psychologischen Lärmwirkungsforschung ein zentraler (wenn nicht der zentrale) Endpunkt, für die Lärmmediziner stellt sich die vielschichtiger dar: Folgen sie der weitgefassten Gesundheitsdefinition der WHO, so stellt die 'Belästigung' einen eigenständigen Wirkungs-Endpunkt dar. Andererseits ist sie aber auch ein potentieller Risikofaktor für die Entstehung vielfältiger Krankheiten. Es kann nicht verwundern, dass die Anforderungen an die Erfassung und Bewertung auch davon abhängig sind, ob eine Wirkung als Endpunkt oder aber als 'Zwischenprodukt' betrachtet wird, deutlich differieren können. Hinzu kommt, dass die genannten Fachdisziplinen jeweils mit eigenem Methodenspektrum arbeiten. Dieses Methodenspektrum ist auch innerhalb der Disziplinen sehr weit und kaum standardisiert. Als zentral für die Lärmwirkungsforschung können in (ergänzter) Anlehnung an *Guski* folgende Methoden abgegrenzt werden:⁷

1. systematische Bevölkerungsbefragungen,
2. epidemiologische Studien,
3. empirisch-medizinische Studien,
4. interdisziplinäre und wirkungsübergreifende Forschungsansätze,
5. akustische Forschung.

Diese Ansätze unterscheiden sich im konzeptionellen Ansatz, im akustischen und wirkungsbezogenen Untersuchungsdesign sowie in den ergebnisbezogenen Inhalten sehr grundlegend. So ist ein Teil der Methoden (1, 2) auf retrospektive Untersuchungen in größeren Kollektiven gerichtet und versucht dabei, statistische Assoziationen zwischen glo-

⁶GUSKI, Rainer: Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In SCHUEMER, Rudolf, SCHRECKENBERG, Dirk und FELSCHER-SUHR, Ute (Hrsg.): Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Bochum: Zeus GmbH, 2003, S. 1.

⁷Ebenda

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

bal ermittelter (raumbezogener) Geräuschimmission und langfristigen Lärmwirkungen zu fundieren (deduktiver Ansatz). Andere Ansätze (insbesondere 3) ermitteln auf Basis von Feld- und Laborstudien mit niedrigen Probandenzahlen Kausalbeziehungen zwischen exakt bekannten, akzeptorbezogen ermittelter Geräuschexposition und messbaren physiologischen Reaktionen der Probanden, für die dann das Risiko der Manifestation langfristiger Lärmwirkungen abgeschätzt wird (induktiver Ansatz). Die Methoden unterscheiden sich insofern auch darin, dass nur teilweise nach funktionalen Kausalbeziehungen zwischen Geräuschexposition und Lärmwirkungen im Sinne es tieferen Ursachenverständnisses gesucht wird, in anderen Untersuchungen demgegenüber aber Wert auf die Ermittlung verallgemeinerbarer quantitativer Zusammenhänge gelegt wird, ohne die Verarbeitungsprozesse des einzelnen Menschen in den Blick zu nehmen. Durchaus problematisch wirkt sich aus Sicht der Stadtplanung als 'erkenntnisnutzender' Disziplin aus, dass für etliche Lärmwirkungen, z. B. die Schlafstörung, Untersuchungen nach mehreren der aufgezählten methodischen Konzepte vorliegen, die wegen der dargestellten Differenzen im Grundansatz kaum miteinander verglichen bzw. in Beziehung zueinander gesetzt und interpretiert werden können.

5.2.2 Methoden der Lärmwirkungsforschung

5.2.2.1 Systematische Bevölkerungsbefragungen

Ansatz Die systematische Bevölkerungsbefragung ist eine eingeführte Methode der quantitativen empirischen Sozialforschung, die nicht nur für die Lärmwirkungsforschung, sondern auch für zahlreiche andere Fragestellungen eingesetzt wird. Dabei werden mit standardisierten Fragebögen bzw. Interviews ausgewählte Bevölkerungsgruppen - z. B. die Anwohner(innen) eines Stadtquartiers - systematisch zu vorher festgelegten Aspekten befragt, wobei auch die Antwort-Items bereits vorgegeben sind, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen. Die systematische Bevölkerungsbefragung setzt also voraus, dass die zu beantwortenden Fragen wie auch die möglichen und sinnvollen Antworten im Vorhinein festgelegt werden. Daraus ergeben sich wesentliche Einschränkungen der und Kritikpunkte an der Methode: Zum Einen besteht die Gefahr, dass die Fragen und Antwort-Items zwar standardisiert sind, von den Befragten aber nicht in gleicher Form verstanden werden. Zum Anderen müssen sich die Befragten mit ihrer Antwort in das vorgegebene Schema einfügen, auch wenn sie nicht oder nur eingeschränkt damit übereinstimmen. Ein weiteres Grundproblem ist die Selektivität des Verfahrens, die sich bereits aus der Frage-Antwort-Struktur ergibt. Diesen systematischen Einschränkungen steht als Vorteil gegenüber, dass nur derart typisierte Antworten eine standardisierte quantitative Auswertung er-

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

möglichen. Das Primärergebnis systematischer Bevölkerungsbefragungen sind Antworthäufigkeiten, die die subjektive Einschätzung von Betroffenen näherungsweise wiedergeben.⁸ Um diese Befragungsergebnisse in der Lärmwirkungsforschung sinnvoll auswerten und nutzen zu können, sind sie mit akustischen Belastungsdaten und - abhängig von der bearbeiteten Fragestellung - mit weiteren personenbezogenen bzw. situativen Daten zu kombinieren und korrelieren. Hierzu werden Hypothesen formuliert, deren Validität und Signifikanz mit üblichen statistischen Testverfahren ermittelt werden kann. *Anwendungsbereiche und wesentliche Erkenntnisse* Die Methode der Bevölkerungsbefragung hat in der Lärmwirkungsforschung systembedingt einen eingeschränkten Anwendungsbereich. Sie kann sich zunächst nur auf Lärmwirkungen beziehen, die von Betroffenen ohne spezielle Fachkenntnisse erlebt, beobachtet und verbalisiert bzw. quantifiziert werden können. Das schließt die Anwendung auf komplexe Gesundheitsbeeinträchtigungen praktisch aus, weil die dafür erforderlichen Daten von Betroffenen nicht erhoben werden können. Andere Wirkungen wie die Schlafbeeinträchtigung können mit dieser Methode nur vage - als persönliche Selbst-Einschätzung - gewonnen werden. Eine weitere Einschränkung ist, dass Lärmwirkungen mit systematischen Bevölkerungsbefragungen nur retrospektiv, d. h. aus der Erinnerung heraus, erfasst werden können. Spontane Lärmwirkungen, insbesondere die Störung intendierter Tätigkeiten (Kommunikationsunterbrechung, Aufwachen etc.), sind nicht erfassbar, weil die Betroffenen zum Zeitpunkt der Befragung aus ihrem gewöhnlichen Tagesablauf herausgelöst sind. Angesichts dieser systematischen Beschränkungen ist es nachvollziehbar, dass der Anwendungsbereich auf wenige Lärmwirkungen begrenzt bleibt, wobei der klare Schwerpunkt der aus Bevölkerungsbefragungen vorliegenden Erkenntnisse den Wirkungsbereich 'globale/langfristige Belästigung' erfasst - in einigen Fällen findet hier auch der Begriff 'Störung' synonyme Verwendung. Seltener wird die Wirkung 'Schlafstörung' untersucht, gelegentlich werden außerdem Korrelationen zwischen allgemeinen Fragen zur Wohn- und Wohnumfeldqualität mit Geräuschimmissionsdaten durchgeführt.

5.2.2.2 Epidemiologische Studien

Ansatz Eine grundlegende Hypothese der Epidemiologie ist, dass Krankheiten grundsätzlich keine zufälligen Prozesse sind, sondern ihr Auftreten durch personenspezifische und exogene Faktoren, z. B. Umweltgegebenheiten, begünstigt oder behindert wird. Daraus wird der methodische Ansatz abgeleitet, diese Faktoren durch systematische medizini-

⁸GUSKI, Rainer: Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In SCHUEMER, Rudolf, SCHRECKENBERG, Dirk und FELSCHER-SUHR, Ute (Hrsg.): Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Bochum: Zeus GmbH, 2003, S. 7.

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

sche Beobachtung von Menschen und die statistische Auswertung der Ergebnisse zu identifizieren und ihre Bedeutung - einzeln und im Zusammenwirken mit anderen Faktoren - zu quantifizieren. Dies geschieht durch die Ermittlung und Beschreibung von Häufigkeit und Verteilung von Krankheiten in Bevölkerungskollektiven (= Gesundheitszustand von Bevölkerungen) und die Korrelation dieser Werte mit potentiellen Determinanten. Ziel ist neben der Bestimmung krankheitsfördernder oder -hemmender Faktoren auch die Erforschung der Wirksamkeit von Interventionen. Unterschieden werden ökologische Studien, Querschnitt-Studien, Kohorten-Studien, Fall-Kontroll-Studien und Interventionsstudien. Auf eine differenzierte Betrachtung dieser Studientypen wird hier verzichtet, weil sie für die Fragestellung der Arbeit ohne Bedeutung ist.

Ein Schlüsselbegriff der Epidemiologie ist die Häufigkeit, mit der eine Wirkung auf die menschliche Gesundheit in einem Zeitraum eintritt, und daraus abgeleitet die Eintrittswahrscheinlichkeit unter bestimmten Bedingungen. Typische Häufigkeitsmaße sind die Prävalenz (Verhältnis der Personen mit bestimmter Krankheit zur betrachteten Bevölkerung), die Inzidenz (Verhältnis der Neuerkrankungen in einem Zeitraum zur Bevölkerung ohne diese Krankheit zu Beginn des Betrachtungszeitraums), die Mortalität (Verhältnis der Anzahl der Todesfälle zur durchschnittlichen Bevölkerungsgröße im Betrachtungszeitraum) und die Letalität (Verhältnis der Anzahl der Todesfälle an einer bestimmten Krankheit zur Zahl der Personen mit dieser Krankheit im Betrachtungszeitraum). Zur Analyse beeinflussender Faktoren werden Vergleiche zwischen exponierten und nicht-exponierten Personengruppen durchgeführt. Bei entsprechender statistischer Signifikanz (Stärke des Zusammenhangs, schlüssige zeitliche Dosis-Wirkungs-Beziehung), biologischer Plausibilität und ausreichender Studienanzahl kann ein kausaler Zusammenhang zwischen Exposition und erhöhter Eintretenswahrscheinlichkeit angenommen werden. Erst dann ist es auch wissenschaftlich zulässig, ein sog. attributables Risiko zu formulieren, nämlich den statistisch bestimmten Anteil am Gesamtrisiko einem Risikofaktor zuzuschreiben, d. h. zu bestimmen, welcher Anteil von Krankheitsfällen durch Eliminierung oder Minderung eines Einflussfaktors potentiell verhindert werden kann. Rückschlüsse auf individuelle Ereignisse und funktionale Kausalitäten sind allerdings nicht möglich.

Anwendungsbereiche und wesentliche Erkenntnisse Die auch als Sekundäranalysen bezeichneten epidemiologischen Studien zeichnen sich, noch stärker als die systematischen Bevölkerungsbefragungen, durch Schwierigkeiten in der Abschätzung der Geräuschbelastung aus. Dies ist auf die Anonymisierung medizinischer Daten und die Langfristigkeit der Betrachtungszeiträume zurückzuführen, so dass die mit den epidemiologischen Daten korrelierten Geräuschbelastungen in der Regel nur als Schätzgröße vor-

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

liegen.⁹ Kritisiert wird auch, dass der Ursache-Wirkungs-Zusammenhang von Lärmbelastung zu Krankheiten wie Bluthochdruck und ischämischer Herzerkrankungen wegen der großen Häufigkeit der untersuchten Erkrankungen, die langen Manifestationszeiträume und der multifaktoriellen Genese der Erkrankungen mit einer hohen Anzahl potentieller Confounder (weitere Umweltfaktoren) kaum zu quantifizieren sei.¹⁰ Diese offenkundige Einschränkung der Aussagekraft ist bei der Interpretation und Anwendung epidemiologischer Studienergebnisse zu berücksichtigen und schränkt den Anwendungsbereich ein. Allerdings ist aus Sicht der räumlichen Planung festzustellen, dass mittel- und langfristig prognostizierbare Geräuschbelastungen ähnlichen Genauigkeitseinschränkungen unterliegen, d. h. ebenfalls nur als Schätzgröße (ungefährer Mittelungspegel) angegeben werden können. Insofern ist die Anwendung abgesicherter, insbesondere um wesentliche Confounder bereinigter epidemiologischer Daten bei der prognostischen Abschätzung der potentiellen Wirkung von Präventions- und Minderungsmaßnahmen wie auch Zusatzbelastungen in Planungssituationen durchaus sinnvoll und aussagefähig, soweit sie nicht auf die Gewinnung 'exakter', kurzfristiger und kleinräumiger Prognosen gerichtet ist, sondern auf langfristige und großräumige Tendenzabschätzungen zielt.

5.2.2.3 Experimentelle Probandenstudien

Ansatz Experimentelle Studien, die unter lärmmedizinischen oder psychologischen Fragestellungen durchgeführt werden können, verfolgen zur Erforschung von Lärmwirkungen einen der Epidemiologie entgegengesetzten Ansatz. Während dort mit einem top-down-Ansatz durch Systematisierung großer, unstrukturierter Datenmengen auf Risiken geschlossen wird, wird bei experimentellen Studien ein bottom-up-Ansatz verfolgt. Dabei wird eine begrenzte Anzahl von Probanden in Feld- oder Laborsituationen Geräuschen ausgesetzt, und die Reaktionen auf diese Geräusche werden gemessen oder abgefragt. Das methodische Spektrum von Probandenstudien ist groß und bezieht die Auswertung medizinisch-physiologischer Indikatoren (Hormonausschüttung, Blutwerte, somnographische Aufzeichnungen etc.) ebenso ein wie Tests (z. B. zum Reaktions- und Lernvermögen) und Befragungen.¹¹ Ein deutlicher Unterschied zu den bereits genannten Methoden

⁹GUSKI, Rainer: Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In SCHUEMER, Rudolf, SCHRECKENBERG, Dirk und FELSCHER-SUHR, Ute (Hrsg.): Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Bochum: Zeus GmbH, 2003, S. 14.

¹⁰GRIEFAHN, Barbara: Medizinische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 165.

¹¹Vgl. GUSKI, Rainer: Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In SCHUEMER, Rudolf, SCHRECKENBERG, Dirk und FELSCHER-SUHR, Ute (Hrsg.): Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Bochum: Zeus GmbH, 2003, S. 14; GRIEFAHN, Barbara: Medizinische Aspekte des Verkehrs-

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

der Lärmwirkungsforschung besteht in der bei experimentellen Studien vorhandenen exakten Kenntnis der auf die Probanden ('am Ohr') einwirkenden Geräusche, die im Studienverlauf regelmäßig gemessen und aufgezeichnet bzw. (bei Laborstudien) sogar vom Band eingespielt werden und daher vollständig kontrolliert sind. Diese exakte akustische Kalibrierung wird als wesentlicher Vorteil und Alleinstellungsmerkmal experimenteller Studien gegenüber anderen Methoden genannt. *Anwendungsbereiche und wesentliche Erkenntnisse* Systematisch, nämlich durch die Zeitabläufe und die Auswertungsmöglichkeiten bedingt, können experimentelle Studien nur zu primären Lärmwirkungen originäre Forschungsergebnisse liefern. So liegt ein klarer Schwerpunkt der zahlreichen durchgeführten Studien auf der Erforschung von Störungen (insbesondere des Schlafes und der Kommunikation) und geräuschbedingter Einschränkungen der Leistungs- und Reaktionsfähigkeit. Aus planerischer Sicht sind die Ergebnisse experimenteller Studien daher nicht direkt verwertbar: Es fehlt die notwendige verallgemeinerbare Langfristperspektive und die Orientierung an Wirkungsendpunkten, die für planerische Entscheidungen relevant sind (z. B. die Belästigung oder das Krankheitsrisiko). Ein wesentliches Problem bei der Interpretation der Studienergebnisse besteht zunächst darin, die für die untersuchten Probanden ermittelten Reaktionen auf die Gesamtbevölkerung oder repräsentative Bevölkerungsgruppen zu übertragen; dies ist insbesondere dann schwierig, wenn Studien mit nur geringen Probandenzahlen oder einer Probandenauswahl arbeiten, die keinen repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt darstellt. Ein häufig angeführtes Beispiel ist das sog. Jansen-Kriterium zur Überstuerung¹², das an ein Studie mit nur zwei Probanden beruht. Die zweite Herausforderung besteht in der Extrapolation der Studienergebnisse auf langfristige Lärmwirkungen: Zwar lassen sich kurzfristige vegetative, kognitive und emotionale Reaktionen auf Geräusche sehr präzise erfassen, eine Aussage über deren langfristige Wirkungen ist aber systematisch nicht möglich; dazu wäre es erforderlich, die Probanden unter kontrollierten akustischen Bedingungen über einen längeren Zeitraum hinweg zu beobachten und dabei auch sekundäre und tertiäre Lärmwirkungen zu erfassen. Die Übertragung von Studienergebnissen in die Praxis ist auch bei Bewältigung der genannten Probleme kaum möglich, weil die in den Studien realisierte und erforderliche akustische Präzision in praktischen Anwendungsfällen durch Immissionsprognose und Lärmkartierung bei weitem nicht erreicht werden kann. Aus diesen Gründen ordnet auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen die experimentellen Studien der Grundlagenforschung zu.¹³

lärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): *Leben mit Lärm?* Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006, S. 139ff..

¹² JANSEN, Gerd: *Zur nervösen Belastung durch Lärm.* Darmstadt: Steinkopf, 1967.

¹³ SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: *Umweltgutachten 2004 - Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern.* Berlin: Deutscher Bundestag, 2004, Bundestagsdrucksache 15/3600.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

5.2.2.4 Interdisziplinäre und wirkungsübergreifende Forschungsansätze

Es wird vielfach davon ausgegangen, dass unter den (noch) nicht hinreichend identifizierten Einflussfaktoren der Lärmbelästigung neben individuellen Kriterien auch externe Moderatoren auftreten, die raum- oder gruppenbezogen sind, d. h. mit dem räumlichen Kontext verknüpft sind, in dem Lärmbelästigung wahrgenommen wird. Denkbare moderierende Faktoren sind z. B. Erschütterungen und Luftverunreinigungen, Sicherheits- und Schutzaspekte, der Urbanisierungsgrad der Umgebung, die visuelle Qualität und Ausstattung der Wohnumgebung sowie individuelle Faktoren wie die soziale Stellung und der allgemeine Gesundheitszustand der betroffenen Menschen.

Zur Erforschung dieser Zusammenhänge haben sich interdisziplinäre Ansätze herausgebildet, die davon ausgehen, dass eine sektorielle Betrachtung des Umgebungslärms als Belastungsfaktor nicht sinnvoll ist, sondern der Umweltkontext des Menschen integrativ mit vielfältigen Wechselwirkungen (u. a. akustische, sensorische, ästhetische, geographische und soziale Komponenten) betrachtet werden muss. Die Lärmbelastung ist in diesem Ansatz ein Faktor unter vielen, der anteilig den Grad der Zufriedenheit eines Menschen mit seiner Wohnung und seinem Wohnumfeld bestimmt. Daraus lässt sich - mit Einschränkungen - die Hypothese ableiten, dass es möglicherweise ein System von positiven und negativen Einflussfaktoren gibt, die eine 'Gesamtbelästigung' bzw. 'Gesamtzufriedenheit' eines Menschen mit seiner Lebensumwelt moderieren. Ziel ist es, Erklärungsansätze für die starken und bislang weitgehend ungeklärten Differenzen in der individuellen Lärmbewertung zu finden und dabei die maßgeblichen subjektiven und sozialen Variablen aufzuklären.¹⁴ Es ist bisher allerdings nicht gelungen, handhabbare Modelle zu entwickeln, mit denen sich die in Feldversuchen durchaus abzeichnenden synergistischen Zusammenhänge (z. B. eine verringerte Lärmbelästigung bei optisch ansprechendem Wohnumfeld) nachvollziehbar abbilden lassen.

5.2.2.5 Akustische Forschung

Für die Erfassung einiger Lärmwirkungen ist es ausreichend, die akustischen Bedingungen und Zusammenhänge zu ermitteln. Dies betrifft vor allem Störungen der akustischen Kommunikation, die durch Maskierung hervorgerufen werden. Ausgehend von den notwendigen Pegelabständen zwischen Kommunikation und Störgeräusch lässt sich gut abschätzen, ob und in welcher Qualität akustische Kommunikation möglich ist. Allerdings

¹⁴NITSCH, Wolfgang et al.: Geräuscheinwirkungen in Stadtvierteln - eine sozio- und psychoakustische Feld- und Laborstudie. In LOEBER-PAUTSCH, Uta et al. (Hrsg.): Quer zu den Disziplinen - Beiträge aus der Sozial-, Umwelt- und Wissenschaftsforschung. Hannover: Offizin-Verlag, 1999, S. 224.

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

ergeben sich aus diesen Erkenntnissen keine unmittelbar für die raumbezogene Planung nutzbaren Dosis-Wirkungs-Relationen, denn sie beziehen sich auf konkrete Störungen und werden insofern von Momentanpegeln abgeleitet. Aus Langfristpegeln kann nur sehr unzureichend auf Art und Umfang von Störungen geschlossen werden, da zusätzliche Abhängigkeiten (Häufigkeit und Dauer von Störungen im Zeitverlauf) entstehen.

5.2.3 Maßzahlen und Bewertungsgrößen für Lärmwirkungen

5.2.3.1 Ausgangslage

Für die Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug ist die Frage von Bedeutung, in welcher Form und mit welchen Algorithmen Lärmwirkungen ermittelt, beschrieben und bewertet werden können. In diesem Zusammenhang ist es zunächst erforderlich, unabhängig von der Bewertung einer Wirkung als advers die erfassbaren Ursache-Wirkungs-Relationen und Wirkmechanismen zu erforschen und darzustellen. Dabei ergeben sich fast zwangsläufig auch Ergebnisse, die sich nicht oder nicht unmittelbar in die Systematik der räumlichen Planung oder des Immissionsschutzrechts einfügen, obwohl ggf. ähnliche oder identische Begriffe verwendet werden. Betrachtet man die Ermittlung und Beschreibung von Lärmwirkungen als quantitativen Modellierungsvorgang, so sind zunächst bestimmte Grundbedingungen zu erfüllen, die hier wie folgt zusammengestellt werden und den Umgang mit den gewonnenen Erkenntnissen im Anwendungskontext, z. B. in der Stadtplanung, prägen:

1. Die Bezeichnung einer Lärmwirkung als globale, indifferente Begrifflichkeit (z. B. Belästigung oder Gesundheitsschädigung) ist keine ausreichende Modellierungsbasis. Vielmehr muss eine Operationalisierung über definierte Wirkungsendpunkte erfolgen, die den zu betrachtenden Effekt konkret und quantifizierbar beschreiben. Diese Endpunkte sollen jeweils problemrelevant sein, und es sollte ausgehend von bestehenden Erkenntnissen und Expertenurteilen eine Kausalbeziehung zwischen Geräuschexposition und Wirkung zumindest angenommen werden können. Es ist davon auszugehen, dass für die meisten Lärmwirkungen kein einheitlicher und eindeutiger Wirkungsendpunkt definiert werden kann, sondern dass eine Wirkung über mehrere, sich ergänzende oder alternativ zu betrachtende Endpunkte operationalisiert werden muss. - Diese Grundbedingung wirft das Problem auf, dass für die Verwertbarkeit der Daten im Anwendungskontext zunächst Konsens über den für die Beurteilung einer Lärmwirkung heranzuziehenden Endpunkt hergestellt werden muss. Dies ist besonders dann schwierig, wenn sich die Endpunkte nicht in der Art

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

der Wirkung, sondern in ihrer Intensität, Dauer und Schwere unterscheiden. Gerade bei den eher indifferenten sekundären und tertiären Lärmwirkungen wie der Belästigung, aber auch bei primären Wirkungen wie der Schlafstörung ist diese Schwierigkeit häufig gegeben. So besteht weder eine einheitliche Festlegung zur Skalierung von Belästigungsniveaus noch eine eindeutige Definition der Schlafstörungen. Für eine nachvollziehbare Risikobeurteilung ist es daher sinnvoll, den Wirkungsendpunkten einheitliche Kriterien zugrunde zu legen¹⁵ oder sie zumindest methodisch einheitlich herzuleiten.

2. Eine wesentliche Anforderung ist die Eingrenzung der betrachteten Akzeptoren. Lärmwirkungsuntersuchungen können sich sowohl auf Einzelpersonen als auch auf definierte Probandengruppen, einen repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt oder einen Ausschnitt (z. B. sog. vulnerable Gruppen wie kranke Menschen und Kinder) daraus beziehen. Im raumbezogenen Anwendungskontext konzentriert sich das fachliche Interesse eindeutig auf den repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt ('die Allgemeinheit') und – bei besonderen Schutzziele – auf besonders vulnerable Gruppen. Wirkungsmechanismen für Einzelpersonen und Kleingruppen sind hingegen kaum relevant. Da sich insbesondere medizinische Studien aber fast ausschließlich auf diese Akzeptorentypen beziehen, wird häufig eine Extrapolation von Probanden auf die Allgemeinheit vorgenommen, die das Risiko erheblicher Verzerrungen und Fehlklassifikationen birgt.
3. Die Zeitperspektive von Lärmwirkungen ist sehr unterschiedlich, und zwar sowohl hinsichtlich der Expositionszeitraums als auch des Eintrittszeitpunkts der Wirkung und ihrer Dauer. Es muss daher bei Wirkungsuntersuchungen definiert werden, welche Zeiträume betrachtet werden. Für den planerischen Anwendungskontext sind vor allem mittel- und langfristige Wirkungen von Interesse, aus Sicht der Lärmwirkungsforschung sind dagegen kurzfristige Wirkungen am einfachsten und plausibelsten abschätzbar.
4. Für eine quantitative Ermittlung und Bewertung der Belastung müssen geeignete Erfassungsmethoden (Kombination von Messungen und Modellen) bestehen oder konzipiert werden. Es sind Dosis-Wirkungs- oder Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zu identifizieren, die Kausalitäten, Koinzidenzen und Assoziationen erfassen. Durch Überlagerung von akustischen, demographischen und Wirkungsdaten sind sinnvolle Maßzahlen für die Wirkungsintensität darzustellen.

¹⁵KNOL, Anne: Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980-2020. Bilthoven (NL): RIVM, 2005, S. 19.

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

Da in der quantitativen Lärmwirkungsforschung die kausalen bzw. assoziativen Abhängigkeiten zwischen Geräuschexposition und Wirkung auf Akzeptoren im Sinne von Dosis-Wirkungs-Relationen untersucht werden, ergeben sich drei wesentliche Dimensionen, die in die Bildung von Maßzahlen einzubeziehen sind, nämlich die Geräusche (nach Intensität, Zeitverlauf, Orts- und Akzeptorbezug), die Akzeptoren (Individuen bzw. Gruppen von Menschen) und die Wirkungen (nach Art und Intensität). Eine quantitative Modellierung ist möglich, wenn und soweit sich Beziehungen zwischen diesen drei Dimensionen wissenschaftlich nachweisen bzw. plausibel machen lassen. Dabei ist zunächst nicht festgelegt, welcher Art diese Beziehungen sind; es sind 'harte' Kausalzusammenhänge ebenso denkbar wie mathematische Funktionen und auch unscharfe Relationen und statistische Assoziationen. Indikatoren können jeweils für eine dieser Größen abgeleitet werden, während die übrigen als Variablen dienen. Geräuschindikatoren beschreiben damit einen Pegelwert, bei dem eine zu definierende Art und Intensität einer Wirkung auf eine Akzeptorgruppe beobachtet wird. Akzeptorindikatoren stellen (absolut oder relativ) dar, welche Akzeptoren bzw. Gruppen bei bestimmten Geräuschwerten von definierten Wirkungen betroffen sind. Wirkungsindikatoren erfassen die Kombination aus Akzeptorgruppen und Geräuschbelastung. Einige Forschungsergebnisse, z. B. aus der Soundscapeforschung, legen die Forderung nahe, eine vierte Dimension hinzuzufügen, nämlich nichtakustische Einflussfaktoren, denen zumindest für einige der zu untersuchenden Lärmwirkungen Moderatorfunktion zugeschrieben werden kann. Solche potentiellen Moderatoren sind insbesondere

- die Geräuschart, verbunden mit der Bedeutung des Geräusches für die Betroffenen und ihrer Einstellung zur Geräuschquelle,
- der Zeitpunkt und der Ort des Auftretens eines Geräusches (Ortsüblichkeit, 'Erwartungswert'),
- visuelle Einflüsse, z. B. die städtebaulich-architektonische Qualität des Immissionsorts,
- die individuelle Empfindlichkeit der Betroffenen und
- weitere moderierende Komponenten (statisch und situativ).

Diese Faktoren können jedoch - soweit sie überhaupt ermittelbar sind - jeweils als spezifische Randbedingungen in den drei Wirkungsdimensionen berücksichtigt werden, so dass eine Erweiterung entbehrlich erscheint. Es ergibt sich folgendes Grundmodell:

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

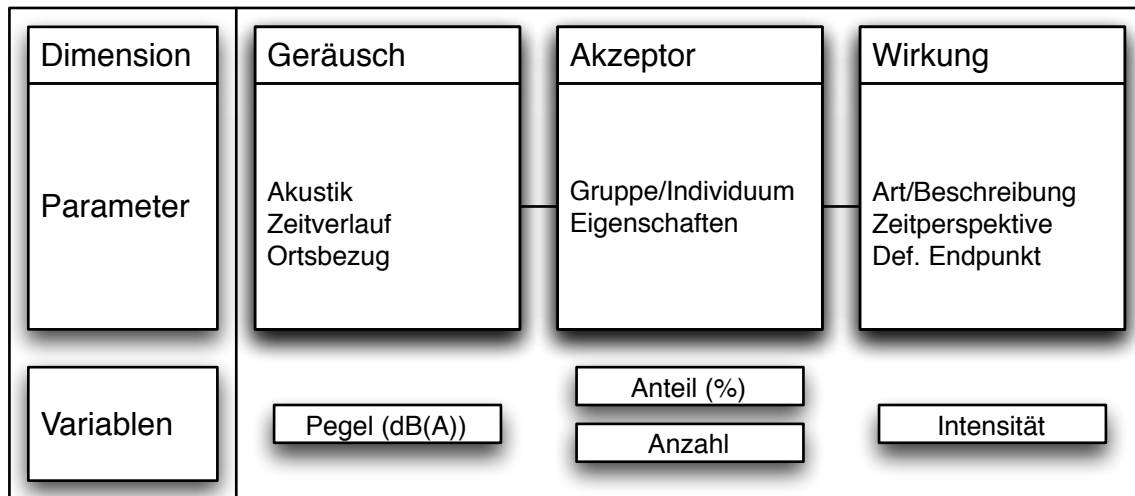


Abbildung 5.1: Variablen der Lärmwirkung

Am Beispiel der Wirkung 'Lärmbelästigung' kann das Ineinandergreifen der drei Wirkungsdimensionen besonders gut dargestellt werden. Das Auftreten dieser Wirkung streut in allen drei Dimensionen sehr breit. Bereits bei verhältnismäßig geringer Geräuschmission berichtet ein geringer Teil der Betroffenen von Belästigungswirkungen unterschiedlicher Intensität. Kombiniert man die Wirkungsdimensionen zu Relationen, ergeben sich jeweils näherungsweise streng monoton steigende Funktionen. Bei tertiären Lärmwirkungen tritt zusätzlich das Problem der Ursachenindifferenz auf. Im Gegensatz zu primären und sekundären Wirkungen ist das Ursachenspektrum der meisten als tertiäre Lärmwirkungen identifizierten Krankheiten sehr breit, insbesondere die Erkrankungen Herz-Kreislauf-Systems sind multifaktoriell, wobei sowohl persönliche also auch vielfältige Umwelteinflüsse risikomoderierend wirken. Gleichzeitig ist ein zeitlicher und sachlicher Zusammenhang zwischen konkreter Geräuschexposition und Krankheitsentstehung praktisch nicht rekonstruierbar. So erscheint es nicht sinnvoll, solche Wirkungen analog zur Lärmbelästigung oder Störung mit Häufigkeiten zu erfassen, denn dies würde das komplexe Ursachenspektrum ignorieren und zu nicht belastbaren Ergebnissen führen. Insofern kommen für tertiäre (Krankheits-)Wirkungen vornehmlich relative, risikobasierte Indikatoren zur Anwendung. Dabei wird versucht, unter der Vielzahl möglicher Ursachen die Bedeutung des Faktors Lärm - das attributable Risiko für die Manifestation einer Krankheit - zu ermitteln und darzustellen.

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

Bei allen Wirkungen ist eine zeitliche Einordnung erforderlich. Zu differenzieren sind Wirkungen, die zu einem Zeitpunkt erfasst werden können und sich bei stabilen Geräusch- und Umgebungsverhältnissen nur wenig verändern (z. B. die Belästigung), und solche, deren Erfassung die Einbeziehung von Zeiträumen (Perioden) erfordert, in denen die Wirkung entsteht oder besteht (z. B. Herz-Kreislauf-Krankheiten). Hieraus entstehen Anforderungen bzw. Einschränkungen für die in der stadtplanerischen Anwendung besonders interessante Differenzbetrachtung, also die Abschätzung der Wirkungen von Belastungsveränderungen. Bei zeitpunktbezogen erfassbaren Wirkungen lässt sich, ggf. unter Berücksichtigung der sog. Überschusseffekte (kurzfristige Überreaktionen des Menschen bei abrupter Belastungsveränderung im positiven wie negativen Sinne), eine Vorher-Nachher-Betrachtung durch einfache Differenzbildung durchführen. Bei periodisch erfassten Wirkungen ist dies allenfalls sehr langfristig möglich. Im kurz- und mittelfristigen Zeithorizont ergeben sich komplexe Zusammenhänge durch zeitverzögert eintretende Wirkungen und lang andauernde Wirkungsverläufe.

5.2.3.2 Korrelationsstatistische Funktionen

Die Struktur der über systematische Bevölkerungsbefragungen empirisch erhobenen Daten ist von den zugrunde liegenden Fragebögen, insbesondere den Fragen und den standardisierten Antwortmöglichkeiten abhängig. Zu unterscheiden ist insbesondere zwischen Schemata, die nur ja/nein-Antworten ermöglichen, und solchen, die verbal oder ordinal skalierte Antworten vorsehen. Im Regelfall kommen in der Lärmwirkungsforschung, die vor allem die sekundären Wirkungen Störung/Belästigung und Schlafstörung über Befragungen erfasst, Antwortskalen zum Einsatz. Die Auswertung der Befragungen erfolgt mit statistischen Methoden. Gebräuchlich ist die Auswertung der durchschnittlich angegebenen Wirkungsintensität als Belastungsindikator für die befragte Population, und die Auswertung von Prozentanteilen für bestimmte Skalenwerte, z. B. der oberen 20 % zur Erfassung des Anteils besonders stark belasteter Populationsanteile. Abhängig von der Datenlage sind Differenzierungen nach Populationsmerkmalen, z. B. nach Altersgruppen, Geschlecht oder sozioökonomischen Merkmalen möglich.

Für die quantitative Auswertung in der Lärmwirkungsforschung ist es erforderlich, die Befragungsergebnisse mit Daten der Lärmbelastung zu korrelieren. Dabei wird jeder Antwort die zugehörige Lärmbelastung zugeordnet. Wiederum durch statistische Auswertung lassen sich dann Rückschlüsse auf die Stärke der Korrelation zwischen Lärmbelastung und Wirkungsintensität bzw. Intensitätsverteilung ziehen, die bei signifikanter Korrelation in die Aufstellung funktionaler Dosis-Wirkungs-Relationen münden können, die z. B.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

den Anteil hochbelasteter Personen innerhalb der Population oder die durchschnittliche Wirkungsausprägung als Funktion der Lärmbelastung darstellen.

Neben den durch die Befragungstechnik systematisch entstehenden Unschärfen und Schwierigkeiten ist die Beschreibung der Geräuschbelastung ein zentrales Problem bei der Ableitung korrelationsstatischer Maßzahlen und Dosis-Wirkungs-Relationen. Um handhabbare Zusammenhänge zu erhalten, wird in aller Regel die Geräuschbelastung auf einen Einzahlenwert reduziert, was weitgehende Generalisierungen sowohl in der akustischen als auch in der zeitlichen und räumlichen Beschreibung impliziert. Ein in diesem Zusammenhang häufig durchgeführtes Verfahren ist die Verknüpfung skalierten Antworten zur allgemeinen Lärmbelastung mit berechneten A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegeln an der höchstbelasteten Fassade. Es ist ohne weiteres erkennbar, dass durch eine derart allgemeine Geräuschdeskription eine große Bandbreite tatsächlicher Beeinträchtigungen abgedeckt wird. Die Validität und der Detaillierungsgrad der akustischen und weiteren Daten sind insgesamt maßgeblich für die Qualität und Verwendbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse. Bei entsprechender Datenlage können vertiefte Rückschlüsse auf mögliche Einflussfaktoren der Lärmwahrnehmung, insbesondere akustische Parameter, aber auch Daten wie Alter, Geschlecht und soziale Stellung, siedlungsstrukturelle Faktoren und anderes, gezogen werden. Bei der Verallgemeinerung der Ergebnisse und ihrer Anwendung für die Wirkungsprognose, die ja der eigentliche Zweck der Ableitung von Dosis-Wirkungs-Relationen ist, muss immer die Qualität, Detaillierung und Spezifizierung der Datenbasis mit allen Unsicherheiten berücksichtigt werden.

5.2.3.3 Epidemiologische Maßzahlen

Die Modellierung des Auftretens und der Konsequenzen von Krankheiten (Gesundheitsschäden) in der Bevölkerung erfordert differenzierte Indikatoren und Maßzahlen, die insbesondere die Auftretenswahrscheinlichkeit von Krankheiten, die Verkürzung des Lebens durch Krankheiten und die Dauer von Krankheiten als Zeiträume stark eingeschränkter Lebensqualität quantitativ erfassen und handhabbar abbilden. Das Auftreten bzw. die Auftretenswahrscheinlichkeit (Erkrankungsrisiko) wird ausgehend von Prävalenzdaten beschrieben. Als Prävalenz wird dabei die absolute Zahl der Erkrankten, als Prävalenzrate der Anteil der Erkrankten in der untersuchten Population bezeichnet. Prävalenzen und Prävalenzraten werden in der Zeitkomponente in Punkt- und Periodengrößen differenziert. Punktprävalenzen geben dabei die Anzahl der Erkrankten zu einem definierten Zeitpunkt an, während Periodenprävalenzen durch Zeiträume bestimmt werden. Für die Lärmwirkungsforschung relevant sind dabei vor allem Periodenprävalenzen (z. B. Erkranken-

5.2 Ermittlungs- und Modellierungsmethoden für Lärmwirkungen

kungsfälle pro Jahr), aus denen sich ein gruppenspezifisches Erkrankungsrisiko ableiten lässt. Bezieht man zusätzlich zum Erkrankungsrisiko die zu erwartende Krankheitsdauer ein, so lassen sich Abschätzungen über erwartbare Krankheitszeiten vornehmen, die beispielsweise durch die Maßzahl 'verlorene gesunde Lebensjahre' ausgedrückt werden können.

Mortalitätsraten beschreiben die auf die betrachtete Population bezogene Anzahl von Todesfällen in einem Zeitraum. Sie können, wie die Prävalenzdaten auch, nach spezifischen Merkmalen differenziert werden. Typische Spezifizierungen sind die Todesursache und das Todesalter, wodurch sich statistische Kenngrößen wie zeit- und ursachenbezogene Todesfallrisiken für spezielle Gruppen ableiten lassen. Durch statistisch basierte Prognose ist zudem die spezifische Lebenserwartung (in Jahren) der betrachteten Gruppen abschätzbar.¹⁶

Diese medizinstatistischen Basisgrößen sind für die Lärmwirkungsforschung nur nutzbar, wenn sie mit Expositionsdaten kombiniert werden. Im Vergleich der Daten unterschiedlich exponierter Gruppen lassen sich Rückschlüsse auf den Einfluss der Exposition gewinnen. Eine für die Lärmwirkungsforschung bedeutsame, aus Prävalenzen abgeleitete Verhältniszahl ist das 'odds ratio (OR)', das das Verhältnis der Auftretenswahrscheinlichkeit einer Krankheit (oder allgemeiner: einer pathologischen Erscheinung) in einer exponierten Gruppe zu dem in einer nicht-exponierten Gruppe darstellt.¹⁷ Ein OR von 1 bedeutet gleiche Wahrscheinlichkeit in beiden Gruppen, ein OR größer 1 eine erhöhte Wahrscheinlichkeit in der exponierten Gruppe und ein OR kleiner 1 eine erhöhte Wahrscheinlichkeit in der nicht-exponierten Gruppe. Prävalenzgrößen und Odd-ratios können für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen ermittelt werden. Typische Abgrenzungsmerkmale sind Geschlecht, Alter, Zugehörigkeit zu bestimmten soziodemographischen Gruppen, der Wohnort und auch Expositionsmerkmale, z. B. die Lärmbelastung am Wohnort.

Ebenfalls über den Vergleich unterschiedlich exponierter Gruppen lassen sich belastungsspezifische Kennzahlen zur Lebenserwartung bzw. zu gesunden Lebensjahren gewinnen, die für die langfristige Risikobeurteilung besonders relevant sind. Zentrale Bedeutung hat hier der von der *Weltgesundheitsorganisation (WHO)* verwendete Kenngröße HALY (Health adjusted life years), die Krankheiten, Gesundheitsbeeinträchtigungen und

¹⁶KNOL, Anne: Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980-2020. Bilthoven (NL): RIVM, 2005, S. 20ff..

¹⁷GUSKI, Rainer: Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In SCHUEMER, Rudolf, SCHRECKENBERG, Dirk und FELSCHER-SUHR, Ute (Hrsg.): Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Bochum: Zeus GmbH, 2003, S. 13.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

vorzeitige Todesfälle in Lebensjahr-Äquivalente transformieren.¹⁸ Basisindikatoren sind der DALY (Disability Adjusted Life Years), der die Summe der durch vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre und der mit einem Schweregrad gewichteten Lebensjahre mit Gesundheitsbeeinträchtigung darstellt, und der QALY (Quality Adjusted Life Years), der die tatsächliche Gesundheit über die Lebenszeit integriert und somit annähernd ein Komplementärwert zum Indikator DALY ist.

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

5.3.1 Belästigung

5.3.1.1 Inhalte und Wirkungsendpunkte

Unter dem Überbegriff Belästigung werden negative subjektive Reaktionen auf Lärm zusammengefasst, die sich durch Unzufriedenheit, Missfallen oder Ärger äußern. Sie umfasst damit letztlich die Gesamtheit der latenten und offensichtlichen Störungen, negativ wahrnehmbare Veränderungen des Wohn- und Sozialverhaltens und weitere indifferente und unterschwellige Beurteilungsfaktoren, die Geräusche für den Betroffenen 'lästig' machen. Die Belästigung im Sinn der Lärmwirkungsforschung ist eine mittel- und langfristige (Sekundär-)Wirkung, die nicht einem konkreten Geräusch zuzuordnen ist, sondern sich im Laufe der Zeit insbesondere dann manifestiert, wenn aktuelle oder intendierte Aktivitäten, Gedankengänge oder Gefühle über einen längeren – aber nicht abschließend definierbaren – Zeitraum wiederholt gestört werden.¹⁹ Die Vielfalt der unter dem Begriff 'Belästigung' subsumierten Einzelaspekte führt dazu, dass die Belästigung als empfundene Einschränkung der Lebensqualität systematisch ein eher indifferentes, offenes Konzept bleiben muss. Sie ist nicht geschlossen definierbar, sondern bestimmt zusammenfassend die personenbezogene 'Aversion' des Betroffenen gegen seine Exposition. Insofern wird in der Fachdiskussion der Begriff 'Belästigung' durchaus kritisch gesehen. Es wird alternativ der Terminus 'Globalreaktion' oder (engl.) 'community reactions' vorgeschlagen. Damit wird allgemein auf negative Reaktionen auf Lärm wie Unzufriedenheit

¹⁸MÜLLER-WENK, Ruedi und HOFSTETTER, Patrick: Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Band Umwelt-Materialien Nr. 166, Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2003, S. 36.

¹⁹GEZONDHEIDSRaad: Public health impacts of large Airports. Den Haag: Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands), 1999.

oder wahrgenommene Beeinträchtigungen, abgestellt, um unscharfe Differenzierungen und eine zu weit reichende begriffliche Spezifizierung zu vermeiden.²⁰

Bei einem eher vagen Konzept wie dem der Belästigung ist es besonders schwierig, geeignete Wirkungsendpunkte zu definieren. So muss zumindest eine weiter gehende Differenzierung nach ihrer Intensität vorgenommen werden, die neben dem Auftreten von Belästigungsreaktionen auch deren Bedeutung für die Betroffenen sichtbar macht. Dieses Intensitätskriterium kann sehr unterschiedlich operationalisiert werden; gebräuchlich waren in der Vergangenheit insbesondere numerische Skalenwerte (Beispiel: 'Lärmbelästigung auf einer Skala von 0 bis 10') oder verbalisierte Intensitätsstufen. Erst Ende der 1990er Jahre ist durch die *International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN)* eine Standardisierung in Form einer fünfstufigen, verbalisierten Skala vorgeschlagen worden,²¹ nach der die Belästigungsreaktionen den Intensitätsstufen

- überhaupt nicht gestört oder belästigt,
- etwas gestört oder belästigt,
- mittelmäßig gestört oder belästigt,
- stark gestört oder belästigt und
- äußerst gestört oder belästigt

zugeordnet werden.²² Diese Intensitätsstufen können grundsätzlich in eine äquidistante Skala (annoyance score) mit den Extremen 0 (entspricht 'überhaupt nicht belästigt') und 10 (entspricht 'äußerst belästigt') und der Mittellage 5 (entspricht 'moderat belästigt') umgesetzt werden.²³ Die Belästigung wird zusammenfassend wie folgt skaliert:

Diese Skala wird seit 2000 auch vom Umweltbundesamt verwendet, erstmals in der Untersuchung Fluglärm 2000. Die 'erhebliche Belästigung' im rechtlichen Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist mit dieser Systematik nicht erfassbar, da sie (s.o.) einen

²⁰JOB, R. F. S. et al.: General scales of community reaction to noise (dissatisfaction and perceived affectedness) are more reliable than scales of annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110 August 2001, Nr. 2.

²¹FIELDS, J. M. et al.: Recommendation for shared annoyance questions in noise annoyance surveys. In *Noise effects '98*. Sydney: Noise effects 1998 Pty., 1998.

²²Augenscheinlich bestehen enge begriffliche Verwandtschaften zur Terminologie der Bundes-Immissionsschutzgesetzes, die in der Begriffsdefinition auf die 'erhebliche Belästigung' abstellt. Da nachvollziehbare Belege fehlen, kann jedoch nicht geschlussfolgert werden, dass der Bundes-Immissionsschutzgesetz seine fachliche Basis aus einer wirkungsbezogenen Skalierung ableitet, sondern einen abstrakten, normativ-wertenden Erheblichkeitsbegriff zugrunde legt.

²³Ebenda

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

Tabelle 5.1: Belästigung, ICBEN-Skalierung

Intensität (verbal)	Intensität (Skala)
überhaupt nicht gestört oder belästigt	0 - 2
etwas gestört oder belästigt	2 - 4
mittelmäßig gestört oder belästigt	4 - 6
stark gestört oder belästigt	6 - 8
äußerst gestört oder belästigt	8 - 10

normativ-wertenden Charakter hat. Auch und vor allem beim Belästigungskriterium zeigen sich in den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung große individuelle Unterschiede in der Immissionsbetroffenheit und darüber hinaus auch große Abgrenzungsschwierigkeiten zwischen den Belastungskriterien. Die unpräzise zeitliche Perspektive und die wirkungsbezogene Multidimensionalität der Belästigung erschwert die zielgerichtete Zuordnung zutreffender Geräuschdeskriptoren. Grundsätzlich erforderlich ist ein Deskriptorensatz, der die personenbezogene Langzeitbelastung in ihrer zeitlichen und räumlichen Differenzierung darstellt, also im engeren Sinne akzeptorbezogen ist. Im Hinblick auf die räumlich und zeitlich sehr stark divergierende Geräuschbelastung bei gleichzeitiger Mobilität des Menschen (z. B. zwischen Wohn- und Arbeitsort) wäre dies allenfalls durch Dosimeter-Messung umsetzbar. Aus diesem Grund wird regelmäßig auf ortsbezogene Mittelungspegel, in der Regel langfristige Pegel an einem als repräsentativ erachteten Punkt am Wohnort, zurückgegriffen. Mit diesem Deskriptor kann allerdings die tatsächliche Geräuschbelastung des Akzeptors nur überschlägig und mit erheblichen Fehlklassifizierungsrisiken dargestellt werden. Aus diesem Grund wird verschiedentlich versucht, die Modellierung in diesem Bereich zu optimieren, z. B. personenbezogen zusätzlich zum Wohnort noch die Belastung am Arbeitsplatz einzubeziehen oder aber die gewöhnlich nur an einem ausgewählten Punkt beschriebene Geräuschbelastung am Wohnort räumlich weiter zu differenzieren. Diesen Vertiefungen sind allerdings dort klare Grenzen gesetzt, wo die Belastungsbeschreibung überkomplex oder spekulativ zu werden droht. Im Ergebnis ist festzustellen, dass bereits bei der Primärerhebung und begrifflichen Klassifizierung der Belästigung systemimmanente Probleme auftreten, die eine präzise quantitative Bestimmung unmöglich machen. Auch die für die Beschreibung oder Erklärung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu ermittelnde Geräuschbelastung kann bei weitem nicht vollständig quantifiziert werden. Insofern weist die Operationalisierung der Lärmwirkung Belästigung (oder Globalreaktion) systematisch bedingte und - soweit übersehbar

- grundsätzlich unüberwindliche Unschärfen auf, die vor allem bei der Interpretation entsprechender Untersuchungsergebnisse beachtet werden müssen.

5.3.1.2 Dosis-Wirkungs-Relationen

Die für die Belästigung bzw. 'community reaction' praktisch ausschließlich verwendete Erfassungsmethode ist die systematische Bevölkerungsbefragung im Feld.²⁴ Die Belästigungswirkung erfüllt zum Einen die wesentlichen Grundbedingungen für diese Methode (Erlebbarkeit, subjektive Bewertbarkeit, retrospektive Betrachtung), zum Anderen ist sie mit den übrigen Methoden der Lärmwirkungsforschung kaum zu erfassen. Wegen der vergleichsweise einfachen Durchführbarkeit liegen Ergebnisse solcher Lärmwirkungsstudien in großer Zahl vor. Allerdings sind die erzeugten Ergebnisse in vielen Fällen nicht qualifiziert miteinander vergleichbar, weil wesentliche Komponenten, insbesondere die Auswahl der Untersuchungsgebiete und Befragten, die verwendeten Fragen und Antwortskalen sowie die zur quantitativen Analyse herangezogenen akustischen Parameter nicht miteinander harmonisieren.

Die vorliegenden Dosis-Wirkungs-Relationen für die Belästigungsreaktion (eingeschränkt auch die selbstberichtete Schlafstörung), die auf Basis der sog. Schultz-Kurve²⁵ in den letzten Jahren zu Funktionen des (gewichteten) Mittelungspegels entwickelt wurden und inzwischen differenziert nach normierten Wirkungsintensitäten und verursachenden Geräuscharten vorliegen, sind ein zentrales Ergebnis der Lärmwirkungsforschung.

Es handelt – der statistischen Methodik entsprechend – um Näherungsfunktionen, die mit statistischen Best-fit-Verfahren aus den Befragungsergebnisse synthetisiert wurden, die ursprünglich als Punktwolken (Wertepaare Geräuschbelastung – berichtete Belästigungsintensität) vorliegen. Insofern sind die Funktionen unscharf, und es ist erforderlich, Konfidenzintervalle anzugeben. In Orientierung an der ICBEN-Normierung werden Dosis-Wirkungs-Relationen nach den verbalisierten Intensitätsstufen (z. B. 'stark belästigt') differenziert und jeweils nach dem Anteil belasteter Personen innerhalb der untersuchten Population angegeben (z. B. mit der Kenngröße % HA für den Anteil stark belästigter (highly annoyed) Personen). Ebenfalls möglich ist die pegelabhängige Mittelwertbildung

²⁴BRINK, M. et al.: Lärmstudie 2000 - Zusammenfassung. Teil 1: Die Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Flughafens Zürich (Bevölkerungsbefragung der Jahre 2001 und 2003). Zürich: ETH Zürich, Zentrum für Organisation und Arbeitswissenschaften, 2005; LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Lärmbelästigung in Baden-Württemberg. Stuttgart: Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2004.

²⁵SCHULTZ, T. H. J.: The synthesis of social surveys on noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 64 1978, Nr. 3.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

über alle Belästigungsintensitäten hinweg, die sich aus dem mit der ICBEN-Skalierung gewichteten Durchschnitt der beobachteten Intensität ergibt und als 'annoyance score' oder 'expected annoyance (EA)' angegeben wird.

Die derzeit aktuellsten verfügbaren Relationen für die Belästigungswirkung von *Miedema*²⁶ basieren auf einer breiten, internationalen Datenbasis, die weder hinsichtlich der Akzeptoren noch räumlich (z. B. nach Staat, Klimazone oder Stadtstruktur) differenziert ist und sich aus der Sekundärauswertung einer Vielzahl von Belästigungsstudien ergibt. Sie sind nach Geräuscharten und Belästigungsintensitäten differenziert. Auch die Berechnung der 'expected annoyance' ist möglich.

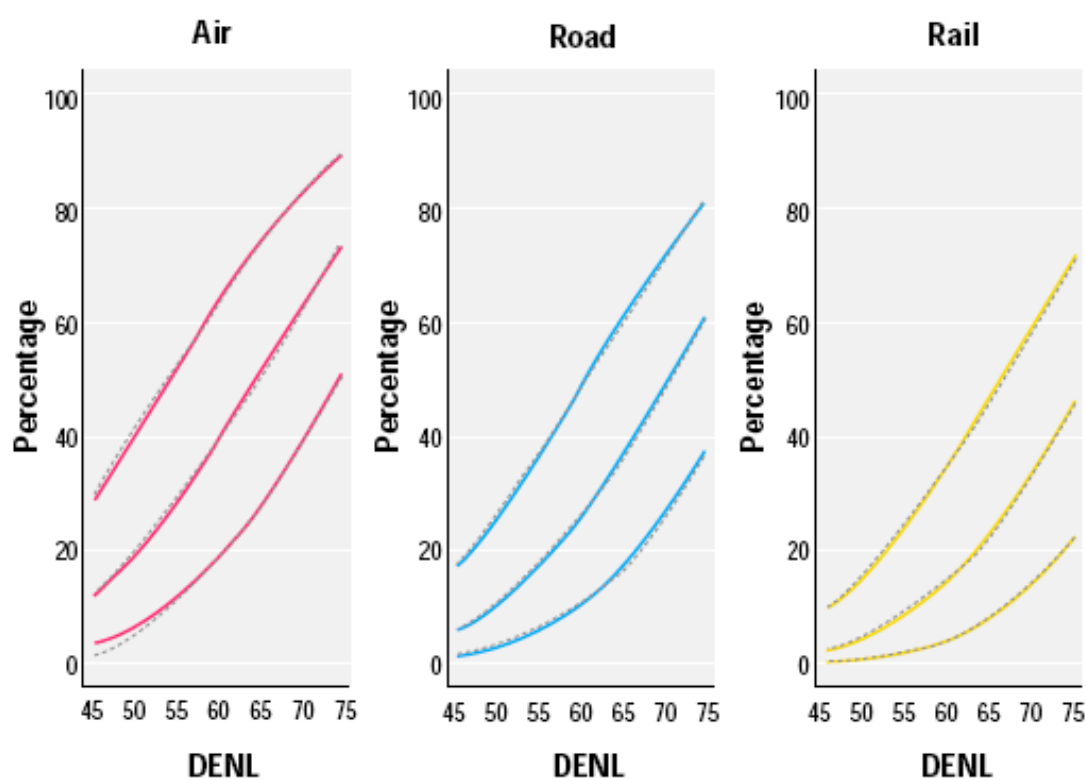


Abbildung 5.2: Dosis-Wirkungs-Relationen (Belästigung) für unterschiedliche Umgebungslärmarten²⁷

²⁶MIEDEMA, Henk M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2.

²⁷MIEDEMA, Henk M. E. und OUDSHOORN, Catharina G. M.: Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals. Environmental Health Perspectives, 109 2001, Nr. 4.

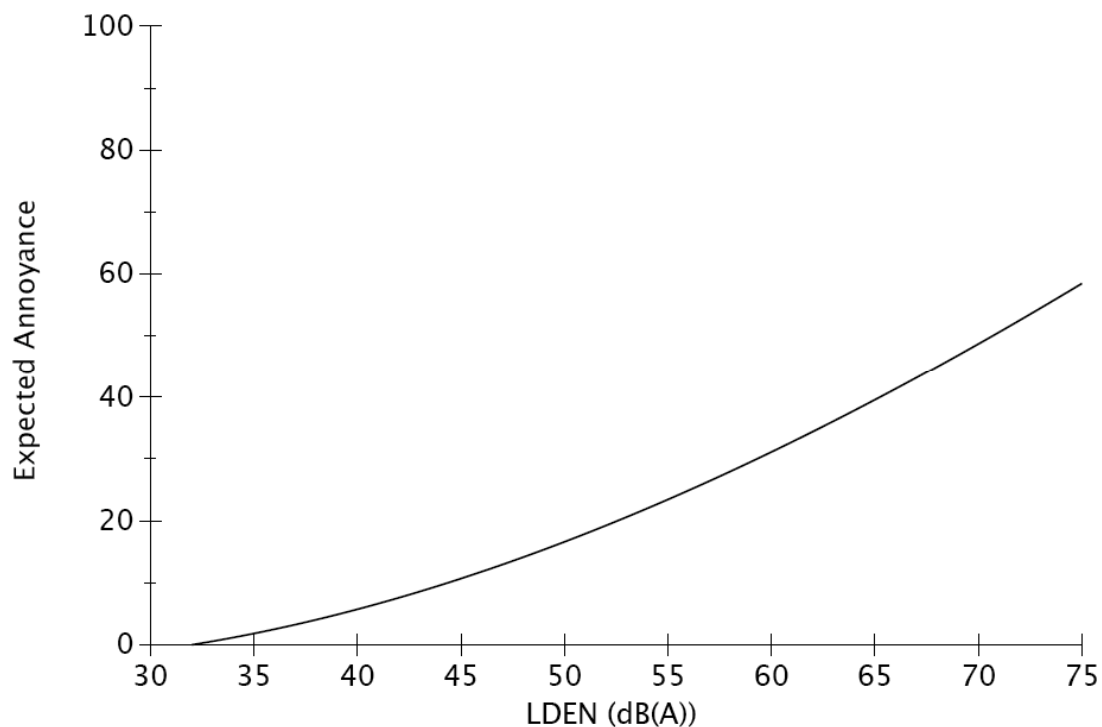


Abbildung 5.3: Dosis-Wirkungs-Relationen (Durchschnittliche Belästigung / Expected Annoyance)²⁸

Charakteristisch für diese Dosis-Wirkungs-Relationen ist die Reduktion des akustischen Deskriptors auf einen gewichteten Mittelungspegel Tag-Abend-Nacht (L_{DEN}) ohne Berücksichtigung akustischer Besonderheiten. Damit sind die Anforderungen an den Differenzierungsgrad der Emissionsmodellierung auf ein Minimum reduziert. Da die vorliegenden Dosis-Wirkungs-Relationen dieser Kategorie ausschließlich auf Basis der Belastung der lautesten Fassade ermittelt werden, bestehen außerdem nur geringe Anforderungen an die Präzision der Hindernismodells und der Transmissionsberechnung. Der Schallquelle abgewandte, besonders berechnungskritische Immissionspunkte brauchen nur in Ausnahmefällen (z. B. bei Bebauungen in zweiter Reihe) ausgewertet zu werden, so dass insgesamt auch dann von einer sehr robusten und mit geringen Unsicherheiten behafteten Immissionsberechnung ausgegangen werden kann, wenn die vorhandene bzw. geplante Bebauung nicht in allen Einzelheiten bekannt ist.

Der verhältnismäßig geringe und auch für große Gebiete handhabbare Datenbedarf des Wirkungsmodells korrespondiert mit erheblichen systemimmanenten Unschärfen in der Ergebnisaussage. Zunächst ist das Modell nur für Personen am Wohnstandort an-

²⁸MIEDEMA, Henk M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

wendbar, also rein habitatorientiert. Das Modellierungsergebnis besteht aus undifferenzierten, zeitlich statischen Wahrscheinlichkeitsprognosen für das Vorhandensein der betrachteten Wirkung (z. B. 'starke Belästigung') unter Normalbedingungen. Diese Normalbedingungen sind nicht definiert, sondern ergeben sich allein aus der großen Zahl an Eingangsdaten, die der Synthetisierung der Dosis-Wirkungs-Relation zugrunde lag. Insofern wird sowohl hinsichtlich individueller Perzeptionsunterschiede als auch der kleinräumigen Belastungssituation (z. B. das Vorhandensein 'ruhiger' Fassaden) sowie belästigungsrelevanter nicht-akustischer Einflüsse (z. B. der Gestaltung des Wohnumfelds) von einer Normalisierung im Sinne des Ausgleichs von Besonderheiten über die große Zahl ausgegangen. Die Modellierung der Belästigungswirkung des Lärms über globale Dosis-Wirkungs-Relationen ist also durch eine Vielzahl systemimmanenter Unschärfen und Einschränkungen gekennzeichnet. Diese führen dazu, dass diese Methode wirkungsseitig ausschließlich zur generalisierenden Abschätzung, nicht aber zur Prognose individueller Beeinträchtigungen geeignet ist. Emissions- und immissionsseitig gelten ähnliche Einschränkungen. Auch hier wird nur ein Ausschnitt der potentiell maßgeblichen Einflussfaktoren einbezogen und damit ein unscharfes Ergebnis erzielt. Bei Anwendung derartiger Relation ist zu berücksichtigen, dass sich im Vergleich von Modellanwendung und realer Situation größere Abweichungen ergeben können, die nur durch Ableitung differenzierter Dosis-Wirkungs-Relationen verringert werden könnten.

Das Wirkungsmodell ist damit rein deskriptiv ohne explikative Elemente, die einen Rückschluss auf Wirkungszusammenhänge oder die Entstehung von Wirkungen bei Einzelpersonen erlauben. Damit ist es auch für die Einzelbewertung von Grundstücken und Gebäuden sowie die Belästigungsprognose für Personen aus systematischen Gründen nicht anwendbar. Auch die Anwendung auf Gebiete, in denen bereits systematisch und in größerem Umfang grundstücksbezogene Maßnahmen zur Lärminderung wie Baulückenschließung, Grundrissorientierung und passiver Lärmschutz durchgeführt wurden, muss auf erhebliche Bedenken stoßen. Ein sinnvoller Anwendungsbereich liegt allerdings in der analytisch-deskriptiven Untersuchung von Gebieten – z. B. Stadtquartieren – und die gesamtäumliche Auswirkungsanalyse raumbedeutsamer Vorhaben, auch im Alternativen- und Variantenvergleich. Das Modell liefert dafür einen Überblick über die ungefähr erwartbaren, globalen Belastungsverhältnisse in einem Untersuchungsgebiet, ohne eine zu tiefe Differenzierung vorzunehmen. Außerdem ist hervorzuheben, dass die über die Modellanwendung gewonnenen Daten (Betroffenenperzentile auf Gebäudeebene und durch Verschneidung mit den demographischen Daten auch geschätzte Betroffenzahlen) unmittelbar, d. h. ohne weitere fachliche Beurteilung, ausgewertet und verglichen werden können. Damit werden auch klare und transparente Optimierungsfunktionen möglich, die sowohl in die Breite (Optimierung = Minimierung der Betroffenzahlen) als

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

auch in die Tiefe (Optimierung = Zielgerichteter Abbau von Höchstbelastungen, repräsentiert durch die Gebäude mit dem höchsten Betroffenenperzentilen) ausgelegt werden können. Insbesondere nach Multiplikation der Erwartungswerte mit Betroffenenanzahlen ergeben sich vielfältige statistische Auswertungsmöglichkeiten.

Aus planerischer Sicht ist zu berücksichtigen, dass über globale Dosis-Wirkungs-Relationen nur ein geringer Teil der akustischen Gegebenheiten in die Modellierung einbezogen wird. Ausgehend von der Struktur der Eingangsdaten des Modells werden ausschließlich Geräusche erfasst, die sich auf den an der lautesten Fassade eines Gebäudes anliegenden Mittelungspegel auswirken. Aspekte wie die akustischen Besonderheiten des Geräuschverlaufs bleiben ebenso unberücksichtigt wie die Geräuschsituation an anderen Immissionspunkten (z. B. an einer leiseren Fassade oder im Freiraum) und die Beschaffenheit der Wohngebäude. Berücksichtigt werden also letztlich nur die langfristig gemittelten Geräuschemissionen der einbezogenen Umgebungslärmquellen und Transmissionshindernisse wie Lärmschutzwände in ihrer näheren Umgebung. Eine weitere Begrenzung der Aussagefähigkeit der Dosis-Wirkungs-Relationen ist auf den statischen Charakter des Modells zurückzuführen, das die Veränderungsdynamik von Geräuschbelastungen nicht berücksichtigt, sondern auf gleichbleibende Geräuschbedingungen (steady-state) ausgelegt ist. Da nach herrschender Meinung besonders bei der Belästigungswirkung signifikante Belastungsänderungen zunächst zu deutlichen Überschuss-effekten führen, die nach einiger Zeit wieder abklingen, sind die Relationen nicht geeignet, die Belästigungseffekte im unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit Belastungsänderungen abzuschätzen.

Diese Befunde führen zu der Einschätzung, dass die existierenden globalen Dosis-Wirkungs-Relationen nur zur mittel- und langfristig abschätzenden, stark generalisierenden Beurteilung von Belästigungen großer Gruppen herangezogen werden können. Zur Prognose individueller Lärmbelästigung sind sie ungeeignet. Das gilt auch, wenn in bestimmten Bereichen weitere Präzisierungen erfolgen. Zur Prognose individueller Lärmbelästigung sind deutlich differenziertere Ansätze notwendig. Die Belästigungseinschätzung beim Individuum steigt zwar nach dem vorliegenden Forschungsstand mit gewissen Abstrichen ungefähr proportional zum Beurteilungspegel, allerdings mit großen individuellen Unterschieden sowohl im Ausgangswert als auch im Proportionalitätsfaktor (Steigung der Dosis-Wirkungskurve). Manche Personen, die beispielsweise ab einem Beurteilungspegel von 55 dB(A) bereits stark belästigt sind, fühlen sich bei 60 dB(A) nur unwesentlich stärker belästigt. Bei anderen Individuen setzt die das Belästigungsempfinden an einem anderen Punkt ein und verändert sich bei steigenden Belastungen schneller. Es liegt letztlich ein 'black-box'-Prozess vor, bei dem eine Ursache (Schallpegel) kein ein-

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

deutiges Ergebnis hervorbringt und bei dem die maßgeblichen Einflüsse nicht oder nur unzureichend geklärt sind. Dies ist allerdings kein Hindernis für die Anwendung globaler Dosis-Wirkungs-Kurven, wenn und soweit ihre systematischen Einschränkungen beachtet werden.

5.3.1.3 Berücksichtigung von örtlichen Verhältnissen (insbesondere dem 'Zugang zur Ruhe')

Da die starke Verallgemeinerung und Verundeutlichung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen durch Beschränkung auf die Korrelation zum Immissionsniveau der höchstbelasteten Fassade einen wesentlicher Kritikpunkt am oben diskutierten Prognosemodell nach *Miedema* darstellt, sind Spezifizierungen und Vertiefungen dieses Modells wünschenswert, mit denen eine präzisere und im Einzelfall auch plausiblere Prognose von Belästigungswirkungen möglich wird. Zum Beispiel ist es denkbar, die Dosis-Wirkungs-Relationen zu differenzieren. Diese Differenzierung kann sich sowohl auf Personengruppen (z. B. besonders vulnerable Gruppen) wie auch auf örtliche Gegebenheiten beziehen; z. B. ist die Ableitung von Dosis-Wirkungs-Relationen für unterschiedliche Siedlungstypen vom hochverdichteten Stadtquartier bis zum ländlichen Dorf denkbar, um ggf. unterschiedliche Ortsüblichkeiten und ihre Auswirkungen auf die Belästigungsintensität zu erfassen. Allerdings erfordert dies eine entsprechend umfangreiche und differenzierte Datenbasis, die derzeit nicht vorliegt.

Von großer praktischer Bedeutung ist die Erhöhung des Detaillierungsgrads der Geräuschbelastung in ihrer räumlichen Differenzierung. Bereits unter Kapitel 4.5.1.1 (S. 111 f.) wurde das Konzept der 'ruhigen Fassade' unter Gesichtspunkten der Lärmkartierung diskutiert. Da ein erheblicher Einfluss der dort vorhandenen grundstücksinternen Pegeldifferenzen auf die Belästigungsintensität der dort Wohnenden vermutet werden kann (und auch psychoakustisch besonders plausibel ist,²⁹) ist eine systematische Betrachtung sinnvoll. Sie erfordert zusätzlich zum Ausgangsindikator 'Immissionspegel an der höchstbelasteten Fassade' zusätzlich die Einbeziehung der Information, ob eine ruhige Fassade entsprechend der jeweiligen Definition vorhanden ist. Die Modellierung vollzieht sich davon abgesehen wie beim globalen Belästigungsmodell (Korrelation von akustischer Belastung und selbstberichteter, durch systematische Bevölkerungsbefragung ermittelter Belästigungswirkung). Quantitative Erkenntnisse hierzu liegen aus dem norwegischen Soundscape-Forschungsprojekt vor. Dort wird ein erheblicher Einfluss des Vor-

²⁹GJESTLAND, Trulls und STÖFRINGSDAL, B.: The influence of a quiet facade on road traffic annoyance. In Proceedings InterNoise. Den Haag, 2001.

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

handenseins einer ruhigen Fassaden auf das Belästigungsurteil festgestellt.³⁰ Als Ergebnis der in Schweden durchgeführten Messreihen werden folgende Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge dargestellt:

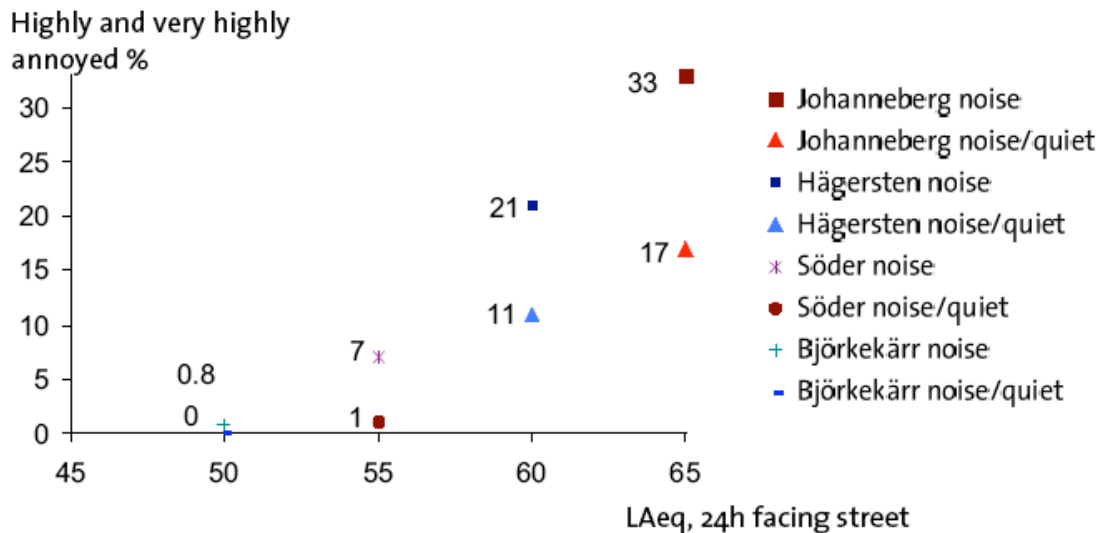


Abbildung 5.4: Effekte ruhiger Fassaden auf die Belästigungswirkung³¹

Wegen der verhältnismäßig geringen Datenbasis ist eine Ableitung funktionaler Dosis-Wirkungs-Relationen (noch) nicht möglich. Auch ist die Frage zu stellen, ob und in welchem Umfang weitere Variablen, insbesondere die Grundrissgestaltung der Wohnung (tatsächliche Nutzung an der ruhigen Fassade) und die visuelle Gestaltung und Nutzbarkeit der ruhigen Bereiche als Störvariablen berücksichtigt werden müssen. Die Forschungsergebnisse von *Kihlman et al.* lassen nämlich die Frage offen, ob allein die Existenz einer ruhigen Fassade die Belästigungswirkung absenkt oder ob dazu auch ein ruhiger Außenwohnbereich erforderlich ist. Es ist also festzustellen, dass hinsichtlich der ruhigen Fassaden ebenfalls noch Konkretisierungs- und Spezifizierungsbedarf besteht. Gleichwohl ist der beobachtete Effekt besonders bei hohen Belastungen der lauten Fassade und damit großer Pegeldifferenz so eindeutig, dass er für die praktische Anwendung

³⁰GJESTLAND, Truls und STÖFRINGSDAL, B.: The influence of a quiet facade on road traffic annoyance. In Proceedings InterNoise. Den Haag, 2001; KIHLMAN, Tor, ÖHRSTRÖM, E. und SKANBERG, A.: Adverse health effects of noise and the value of access to quietness in residential areas. In Proceedings InterNoise. Dearborn, 2002.

³¹KIHLMAN, Tor: Possible and impossible goals for soundscapes in cities. In STADT WIEN, MAGISTRATSABTEILUNG 22 (UMWELT) (Hrsg.): International SYLVIE conference. Wien, 2002; KIHLMAN, Tor, ÖHRSTRÖM, E. und SKANBERG, A.: Adverse health effects of noise and the value of access to quietness in residential areas. In Proceedings InterNoise. Dearborn, 2002.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

herangezogen werden kann. Dies gilt zumindest dann, wenn (wie bei den Untersuchungen von *Kihlman et al.*) anspruchsvolle Vorgaben an das Ruheniveau der ruhigen Fassaden formuliert werden.

Die von der Europäischen Union verfolgte Modellierung ruhiger Fassaden in Abhängigkeit vom Immissionsniveau der höchstbelasteten Fassade findet keine Entsprechung in Lärmwirkungsstudien und führt daher derzeit nicht zu einem wirkungsbezogenen Modellierungsansatz. Gleiches gilt bislang für die ebenfalls im Rahmen der Umgebungslärmrichtlinie erfassten 'ruhigen Gebiete': Ein Einfluss des Zugangs zu einem ruhigen Gebiet im Wohnumfeld auf die Belästigungswirkung ist zwar zu vermuten, korrelationsstatistische oder andere Belege dafür liefert die Lärmwirkungsforschung aber derzeit nicht.

5.3.2 Störung

Die Wirkung 'Störung' ist – wie auch die ins Deutsche übersetzte ICBEN-Skala (siehe oben, S. 143) zeigt – begrifflich von der Belästigung zunächst nicht scharf abgrenzbar. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden beide Begriffe teils sogar synonym verwendet. Für die Verwendung als Kategorie der Lärmwirkungsforschung ist daher eine engere, von der Belästigung klar abgegrenzte Definition notwendig. Ansatzpunkte zur Abgrenzung beider Wirkungen bieten insbesondere die Spezifik der Beeinträchtigung und der zeitliche Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung. Die Störung wird damit definiert als spezifische Beeinträchtigung, die nicht (wie die Belästigung) global wahrgenommen wird, sondern sich auf eine konkrete Aktivität bezieht. In der zeitlichen Dimension wird die Störung in unmittelbarem Zusammenhang mit der Geräuschimmission wirksam, ist also eine akute Reaktion auf ein konkretes Geräuschereignis und damit eine Primärwirkung. Damit ist die Störung verhältnismäßig einfach zu definieren. Sie ist dann gegeben, wenn aktuelle oder intendierte Handlungen des Menschen negativ beeinflusst werden, d. h. durch ein intermittierendes Geräusch nicht mehr möglich sind, erschwert oder in ihrer Qualität gemindert werden.

Das Spektrum der durch Lärm gestörten Handlungen und Abläufe ist vielfältig. Relevant sind Aktivitäten, die entweder eine akustische Kommunikation erfordern oder – allgemein – ruhebedürftig sind. Lärm ist in diesem Zusammenhang als intermittierendes Störsignal zu operationalisieren, das den akustischen Anforderungen der Aktivität zuwiderläuft. Für die Modellierung von Störwirkungen existiert, anders als für die Belästigung, keine standardisierte Methodik. Allgemein umfasst sie die Teilschritte

1. Bestimmung der Aktivität und ihrer akustischen Anforderungen,

2. Bestimmung möglicher Störsignale und -reaktionen,
3. Ermittlung der Geräuschimmission,
4. Klassifizierung und Bewertung der von der Geräuschimmission ausgehenden Störwirkungen nach Art und Intensität.

Die im Kontext des Umgebungslärms besonders störeffindlichen Aktivitäten sind die (uni- und bidirektionale) Kommunikation, die Erbringung komplexer mentaler Leistungen (Konzentrations-, Kreativ- und Lernprozesse) und der Schlaf, die grundlegenden Störwirkungen sind Maskierung, Ablenkung, Erschrecken und Aufwecken. Die Kommunikation nimmt eine herausgehobene Position ein, weil bei ihr eine unmittelbar akustisch modellierbare Beeinträchtigung vorliegt, nämlich die Maskierung von Schallsignalen durch Lärm. Als untere Schwelle für die Maskierung kann der Schallpegel angegeben werden, der neben dem gewünschten Signal 'gerade noch' hörbar ist, was ungefähr einem Abstand von 10 dB (im gleichen Frequenzbereich) entspricht. Voll ausgeprägt ist die Maskierung dann, wenn das gewünschte Signal infolge des Störsignals nicht mehr hörbar ist, d. h. wiederum bei einem Abstand von 10 dB(A). Dieses Modell ist nur für einfache Kommunikationssituationen aussagefähig genug, z. B. für die Beurteilung der Frage, ob Sirenen und andere Warnsignale bei einem bestimmten Störschallpegel wahrnehmbar sind oder nicht. Die Modellierung von Störungen der Sprachkommunikation ist deutlich komplexer, weil hier neben dem Aspekt der akustischen Qualität auch das inhaltliche Verstehen und die Kommunikationssituation (uni- oder bidirektional, Abstand zwischen Sprecher und Hörer bei bidirektionaler Kommunikation, Lautstärke) zu berücksichtigen sind. Gleichwohl wird für ein gutes bis sehr gutes Sprachverständnis grundsätzlich von einem Abstand von 10 dB(A) ausgegangen. Modellverfeinerungen beziehen sowohl die Sprechweise als auch den Sprecher-Hörer-Abstand ein und formulieren differenzierte Qualitätsniveaus für die Sprachkommunikation. Ein umfassendes Modell für die Kommunikation normalhörender Menschen liefert *Lazarus* mit einer im Originaltext auf Arbeitsplätze bezogenen, aber problemlos verallgemeinerbaren Matrix, die die drei Dimensionen Sprechweise (ausgedrückt als 'vokale Anstrengung', operationalisiert durch den Sprach-Schallpegel), Sprecher-Hörer-Abstand (klassifiziert in die typischen Abstände 1, 2 und 4 m) und Qualität (klassifiziert in vier Stufen von 'perfekt' bis 'ausreichend', operationalisiert durch den Differenzpegel zwischen Sprache und Störgeräusch (Sprach-Geräusch-Abstand)) modelliert und in der Kombination dieser Dimensionen sog. 'zulässige Störschallpegel' ableitet.³²

³²LAZARUS, H.: Noise and communication: Present state. In CARTER, N. und JOB, R. (Hrsg.): Noise effects '98. Sydney: Noise effects 1998 Pty., 1998, S. 161.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

Auffällig ist, dass für die höchste Qualitätsstufe, die 'perfekte' Sprachverständlichkeit, von einem deutlich höheren Abstand als 10 dB(A) ausgeht, dass also neben der Maskierung weitere Aspekte einbezogen sind, z. B. potentielle Ablenkungen durch leise Geräusche in Sprechpausen. Die Ablenkung ist zugleich der zentrale Einflussfaktor für die Beeinträchtigung weiterer mentaler Leistungen, z. B. schulisches Lernen und konzentriertes Arbeiten. Die Operationalisierung ist deutlich schwieriger, weil bei der Ablenkung neben der akustisch bestimmaren Intensität des Störgeräuschs vor allem dessen Informationsgehalt im Vordergrund steht. So können bereits sehr leise Geräusche (z. B. ein tropfender Wasserhahn) in Ruhesituationen Ablenkungsreaktionen hervorrufen. Bezogen auf den Umgebungslärm sind es besonders auffällige Einzelereignisse, die ablenken, während unauffällige Hintergrundgeräusche diese Wirkung nicht hervorrufen. - Eine gesondert zu behandelnde Form der Störung ist die akute Schlafbeeinträchtigung. Sie ist wegen der überaus komplexen Struktur des Schlafs und der erheblichen Kenntnis- und Forschungsdefizite nur schwer operationalisierbar. Ein häufig herangezogener Indikator ist das durch Einzelgeräusche hervorgerufene nächtliche Erwachen. Eine nähere Auseinandersetzung mit Schlafbeeinträchtigungen erfolgt in Kapitel 5.3.3.

Bei allen beschriebenen Störungen durch Lärm ist als Geräuschdeskriptor der Momentanpegel maßgeblich. Dies ist ein wesentliches Charakteristikum von Primärwirkungen, bei der ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Geräusch und Wirkung besteht. Eine raum- und akzeptorbezogene Umgebungslärmmodellierung ist mit dieser Größe nur sehr eingeschränkt bzw. indirekt möglich, weil die zeitliche Projektion fehlt. Direkt ableitbar sind lediglich untere Schwellenwerte, die sich aus ortsbezogenen Maximalpegeln ableiten lassen: Unterschreitet der für einen Ort prognostizierte Maximalpegel den für eine Aktivität zulässigen Störschallpegel, ist mit dem Auftreten der Wirkung nicht zu rechnen und sie kann vernachlässigt werden. Für die Kommunikationsstörung lässt sich nach dem *Lazarus*-Modell beispielsweise ableiten, dass zur allzeitigen Gewährleistung 'perfekter' Kommunikationsbedingungen bei entspannter Sprechweise mit 4m Sprecher-Hörer-Abstand Maximalpegel von 30 dB(A) nicht überschritten werden sollen. In diesem (in der Umwelt höchst seltenen) Fall ist die Wirkung praktisch auszuschließen. Legt man geringere Anforderungen an, z. B. 'gute' Kommunikationsbedingungen, normale Sprechweise und 2 m Abstand, erhöht sich der zulässige Störschallpegel auf maximal 46 dB(A).

Die zeitliche Dimension von Störungen lässt sich im Wesentlichen mit den Indikatoren 'Häufigkeit' und/oder 'Dauer' modellieren. Dazu werden Geräuschdeskriptoren benötigt, mit denen sich die Überschreitung der unteren Schwellen für die ausgewählte Wirkung darstellen lässt. Dies sind die NAT (number above threshold)-Kriterien und die Perzentilpegel. Bezogen auf das oben eingeführte Beispiel lässt sich mit einem NAT46-Wert die

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

Häufigkeit der zur Beeinträchtigung 'guter' Kommunikationsbedingungen Geräuschereignisse an einem Ort je Zeiteinheit bestimmen. Mit Perzentilpegeln lässt sich der zeitliche Umfang der Beeinträchtigung eingrenzen.

Es ist offensichtlich, dass sich mit Störungskriterien konkrete und primäre Beeinträchtigungen des Menschen durch Lärm sehr plausibel und – verglichen mit der Belästigung bzw. Globalreaktion – zuverlässig bestimmen lassen. Insofern kann im Wege der Modellierung zuverlässig ermittelt werden, ob, wann und in welchem Umfang lärmbedingte Aktivitätenstörungen an einem Ort zu erwarten sind. Störungskriterien können daher grundsätzlich gut auf nutzungsbestimmte Außen- und Innenräume angewendet werden. Es ist dafür zu definieren, welche Aktivitäten dort in welchem Zeitraum möglich sein sollen und schutzwürdig sind (Zweckbestimmung). Dann werden die durch Lärmkartierung ermittelten ortsbezogenen Geräuschmissionen mit den jeweils zulässigen Störschallpegeln verglichen (Soll-Ist-Vergleich).

Die aus Sicht der raum- und akzeptorbezogenen Modellierung auftretende Schwierigkeit besteht jedoch darin, dass aus den so modellierten Daten keine wissenschaftlichen Rückschlüsse auf die dauerhafte Beeinträchtigung der Qualität von Gebieten bzw. die Beanspruchung von Menschen abgeleitet werden können, ohne in erheblichem Umfang und in mehreren Dimensionen Setzungen vorzunehmen. Dies unterscheidet die Störung wiederum von der Belästigung, bei der die Modellierung einen zwar vagen, aber direkt verwendbaren, langfristigen Beeinträchtigungswert liefert. Bei der Störung hingegen muss zunächst gebietsbezogen gesetzt werden, welche Aktivitäten störungsrelevant sind, welches Qualitätsniveau für diese Aktivität zugrundegelegt wird, wie oft bzw. lang Beeinträchtigungen dieses Qualitätsniveaus akzeptiert werden und welcher Langzeit-Geräuschdeskriptor herangezogen wird. Die als Beispiel eingeführte Kommunikationsstörung zeigt dies deutlich auf. Die Extremwerte der zulässigen Störschallpegel differieren bei normal hörenden Menschen um 40 dB(A) und decken mit einem Bereich von 30 dB(A) bis 70 dB(A) praktisch die gesamte Bandbreite üblicher Umgebungslärmniveaus ab. Versucht man einen Langzeitindikator abzuleiten, also Kommunikationsstörungen zeitlich zu differenzieren, erhöht sich die Bandbreite möglicher Begrenzungswerte noch weiter. Unter diesen Voraussetzungen liefern störungsbasierte Modelle eine tragfähige Basis zur Bestimmung der Nutzungsqualität von Gebieten, aber keine abschließende Beurteilung.

5.3.2.1 Störungsbasierte Ansätze zur Bestimmung der Belästigungswirkung

Eine nachvollziehbare (explikative) Hypothese zur Entstehung von Belästigungswirkungen geht davon aus, dass Geräusche wahrgenommen werden müssen, bevor sie belä-

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

stigid werden können.³³ Aus diesem einfachen Ansatz hat *De Muer* ein mikrosimulatives, auf fuzzy-Regeln basierendes Verfahren konzipiert, mit dem aus den in zeitlicher Mikrostruktur vorliegenden Geräuschimmissionen sog. 'notice-events' abgeleitet werden können, die neben den akustischen Eigenschaften wie den Abstand vom Hintergrundgeräusch auch die Aktivität und Empfindlichkeit der Betroffenen berücksichtigen. Die Variablen werden in fuzzy-sets erfasst, die Belästigungsabschätzung erfolgt dann durch kombinierte dynamische Simulation von Geräuschverläufen und menschlichen Aktivitäten (agentenbasierte Simulation), die anschließend zusammengefasst werden. Das Verfahren, das vom Verfasser Validitätstests mit realen Datensätzen unterzogen wurde,³⁴ ist wegen seines fachlichen Ansatzes interessant und unterscheidet sich von den eingeführten Methoden der Emissions- und Wirkungsmodellierung insofern, als nicht von Mittelungsspeglern ausgegangen wird, sondern aus simulierten Abläufen 'Störsummen' gebildet werden, deren Korrelation mit dem empirisch ermittelbaren Belästigungsurteil geprüft wird. Eine plausible Kalibrierung des Immissions-, Raum- und Aktivitätenmodells vorausgesetzt, schließt die agentenbasierte Simulation die in den konventionellen Verfahren festzustellende Lücke zwischen raumbezogener Immission und personenbezogener Exposition in der Ermittlung der Stör- und Belästigungswirkung. Folgt man *De Muer*, der seine Hypothese von der Schlüsselwirkung der Störung für die Belästigung bestätigt sieht, so ergibt sich daraus ein weiterer Anhaltspunkt für die Bedeutung des oben ausgeführten Zugangs zur Ruhe (Kap. 5.3.1.3, S. 150ff.) im Wohnbereich.

5.3.3 Schlafbeeinträchtigungen

Beeinträchtigungen des Schlafs durch Umgebungslärm werden zugleich als belästigend und gesundheitskritisch eingeschätzt. Die Gewährleistung ruhiger, ungestörter Schlafverhältnisse ist daher eine Kernanforderung an Gebiete, die zum Wohnen bestimmt sind - in diesem Falle ist nicht auf die enge bauleitplanerische Definition von reinen und allgemeinen Wohngebieten, sondern allgemein auf Gebiete abzustellen, in denen gewohnt wird. Lässt die Umgebungslärmbelastung vermuten, dass ein ungestörter Schlaf in den dafür bestimmten Räumen nicht möglich ist, stehen die 'gesunden Wohnbedingungen' i. S. d. § 1 BauGB unmittelbar in Frage. Ausgehend von dieser apodiktischen Anforderung ist zu fragen, wie diese quantitativ operationalisiert werden kann. Hierzu existiert eine Vielzahl von Modellierungsansätzen, die insofern schwierig zu interpretieren sind, als ein einheitliches und umfassendes Verständnis des Schlafes in der Lärmmedizin nicht existiert, dass

³³DE MUER, Tom: Beleidsondersteunende instrumenten voor geluidshinder in steden (Policy Supporting Tools for Urban Noise Assessment) (Diss.). Gent: Universiteit Gent, 2005, S. 141.

³⁴Ebenda, S. 204ff..

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

also der Schlaf zumindest teilweise ein 'black-box'-Prozess ist, dessen Mechanismen bei weitem nicht vollständig erforscht sind. Die Lärmwirkungsforschung steht also zunächst vor dem Problem, geeignete Deskriptoren für die Schlafbeeinträchtigung zu definieren. Die Ansätze dafür sind sehr unterschiedlich, als wesentliche Anhaltspunkte sind zu nennen:

- Die offensichtlichste und weitreichendste akute Schlafbeeinträchtigung ist das erinnerbare Aufwachen durch Geräuschereignisse.
- Unterhalb dieser Schwelle sind weitere akute Veränderungen des Schlafgeschehens durch Geräuschereignisse zu beobachten, z. B. Körperbewegungen und kurzzeitiges, nicht erinnerbares Aufwachen.
- Insbesondere in Laborexperimenten wird über diese direkt beobachtbaren Wirkungen hinaus eine Vielzahl physiologischer Variablen (z. B. Blutdruck, Cortisolspiegel) gemessen und mit Geräuschereignissen korreliert. Hieraus lassen sich akute physiologische Reaktionen auf Geräusche ableiten.
- In der langfristigen Zeitperspektive kann durch – insbesondere durch Befragung, ggf. aber auch im Rückschluss aus Medikamentenverschreibungen bzw. aus epidemiologischen Daten – ermittelt werden, welcher Anteil einer Population unter Schlafstörungen leidet. Durch Korrelation mit Geräuschbelastungsdaten lassen sich daraus Dosis-Wirkungs-Relationen approximieren, die strukturell denen für die Belästigungswirkung ähnlich sind.

Eine Präferenz für einen der möglichen Deskriptoren kann nicht abgeleitet werden, da festzustellen ist, dass bislang sowohl Expositions- als auch epidemiologische Daten fehlen, um eindeutige Aussagen zu den relevanten Wirkungszusammenhängen machen zu können.³⁵ Die zum gegenwärtigen Zeitpunkt als belastbar einzuschätzenden Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind im Positionspapier der Europäischen Union zu Nachtlärmbelastungen zusammengestellt worden.³⁶ Danach werden folgende Relationen zur Anwendung im Rahmen der Umgebungslärmrichtlinie empfohlen:

³⁵EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS: Position paper on dose-effect relationships for night time noise. Brüssel: Europäische Kommission, 2004; BERGLUND, Birgitta, LINDVALL, Thomas und SCHWELA, Dietrich: Guidelines for Community Noise. Genf: Weltgesundheitsorganisation (WHO) Regionalbüro Europa, 1999; WHO, Regionalbüro Europa (Hrsg.): Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health (Bonn 19.-21. September 2002), Meeting report. Bonn: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Regionalbüro Europa, 2003.

³⁶EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS: Position paper on dose-effect relationships for night time noise. Brüssel: Europäische Kommission, 2004, S. 23.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

1. Anzahl der nächtlichen Aufwachreaktionen in Abhängigkeit vom SEL ,
2. Maximale Anzahl der Aufwachreaktionen in Abhängigkeit vom L_{night} (für Fluglärm),
3. Zunahme der Motilität in Abhängigkeit vom L_{night} (für Fluglärm)
4. Anteil der durch nächtlichen Lärm gestörten Personen in Abhängigkeit vom L_{night} (für Flug-, Straßenverkehrs- und Eisenbahnlärm)

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt die *Weltgesundheitsorganisation*.³⁷ Diese Dosis-Wirkungs-Relationen, die um einige weitere, z. B. zur Abhängigkeit nächtlicher Aufwachreaktionen in Abhängigkeit von der Maximalpegelhäufigkeit ergänzt werden können, zeigen ein außerordentlich heterogenes und lückenhaftes Bild. Auffällig ist das Überwiegen von Untersuchungen zum nächtlichen Fluglärm, das durch die besondere Konflikträchtigkeit dieser durch starke Geräuschspitzen gekennzeichneten Lärmart im Nachtzeitraum erklärbar ist. Eine Vergleichbarkeit der genannten Relationen untereinander ist praktisch nicht gegeben, weil sie sich auf allen Modellierungsebenen unterscheiden. So modellieren die Relationen 1-3 primäre Lärmwirkungen mit einem Pegelkriterium 'am Ohr des Schlafers', wogegen sich Relation 4 methodisch bedingt auf eine räumlich generalisierte Belastung (höchstbelastete Fassade) bezieht und eine sekundäre Lärmwirkung modelliert. Auch die benötigten akustischen Deskriptoren sind unterschiedlich. Zu unterscheiden sind ereignisbasierte Modelle (Relation 1), die konkreten Geräuschereignissen Wirkungen zuordnen und dazu Anzahl und Intensität dieser Ereignisse nachbilden müssen, und stärker generalisierende Modelle, die einen Mittelungspegel zugrunde legen.

Ähnlich wie bei den Dosis-Wirkungs-Relationen zur Belästigung ist auch hier grundsätzlich festzustellen, dass statische Relationen vorliegen, d. h. die kurzfristigen Effekte nach einer Belastungsänderung nicht modellierbar sind. Auch hier liegen globale Relationen vor, die sich auf eine nicht näher spezifizierbare durchschnittliche Population beziehen und damit keine Auswertung für besondere Bevölkerungsgruppen erlauben.

Beeinträchtigungen des Schlafes sind - anders als viele Beeinträchtigungen durch Umgebungslärm am Tage - klar ortsgebunden, da generalisierend von langfristig festen Schlafplätzen im Innenraum von Gebäuden ausgegangen werden kann, so dass weder Außenraumbetrachtungen noch Ortsveränderungen in das Kalkül einbezogen werden müssen. So ist zunächst naheliegend, als Immissionsort einen repräsentativen Punkt im

³⁷WHO, Regionalbüro Europa (Hrsg.): Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health (Bonn 19.-21. September 2002), Meeting report. Bonn: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Regionalbüro Europa, 2003.

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

Schlafraum selbst heranzuziehen. Diese Forderung ist mit Blick auf die aus der Lärmkartierung verfügbaren Informationen nicht unmittelbar umsetzbar. Zunächst ist die Lage der Schlafräume zu betrachten. Für die in Berlin durchgeführte NaRoMi-Studie gibt *Babisch* an, dass bei den dortigen Probanden mit Wohnungen an Hauptverkehrsstraßen nur 34 % der Schlafräume zu den Straßen ausgerichtet waren.³⁸ Auch wenn diese Daten nicht repräsentativ sind, lässt sich daraus wie aus anderen ähnlich lautenden Erkenntnissen doch der durchaus plausible Trend ableiten, dass bei einer polarisierten Immissionssituation der Wohnung die Bewohner mit der Nutzung der Räume so reagieren, dass besonders lärmempfindliche Nutzungen in geringer exponierten Räumen angeordnet werden. Dies wird besonders im Nachtzeitraum besonders wirksam. Weil, wie bereits gezeigt wurde, zwischen den höchst- und geringstbelasteten Fassaden nicht selten erhebliche Differenzen im Beurteilungspegel auftreten, entsteht bei unzutreffender Zuordnung das Risiko großer Ungenauigkeiten und sogar deutlicher Fehlklassifikationen, besonders wenn, wie im EU-Positionspapier zu nächtlichen Umgebungslärmeinwirkungen vorgeschlagen,³⁹ eine Beurteilung an der höchstbelasteten Fassade durchgeführt wird.

5.3.4 Gesundheitsschäden

5.3.4.1 Aurale Gesundheitsschäden

Aurale, d. h. das Gehör betreffende Gesundheitsschäden sind unmittelbare Folgen übermäßiger Geräuschexposition. Die Kurzzeitexposition mit sehr hohen Schallpegeln (ab ca. 120 dB(A)) führt zu akuten auralen Schäden beim Menschen, z. B dem akuten Schalltrauma (Knalltrauma, Explosionstrauma), Schädigungen der Sinneszellen im Innenohr oder gar das Platzen bzw. Zerreißen der Trommelfelle. Diese Schäden sind i. d. R. irreversibel.⁴⁰

Eine dauerhafte bzw. häufige Lärmexposition mit hohen Schallpegeln (ab ca. 80 dB(A)) kann Schäden im Ohr, Tinnitus und teilweise Hörverluste hervorrufen (Degeneration der Sinneszellen – allmählich einsetzende Schwerhörigkeit), die in der Regel irreversibel ist, wogegen bei kurzfristiger Belastung mit hohen Schallpegeln auch reversible Schäden wie

³⁸BABISCH, Wolfgang: Die NaRoMi-Studie. Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm. Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt, Ergebnisse der NaRoMi-Studie (WaBoLu-Hefte), 2004, Nr. 2, S. I-13.

³⁹EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS: Position paper on dose-effect relationships for night time noise. Brüssel: Europäische Kommission, 2004, S. 8f..

⁴⁰GRIEFAHN, Barbara: Medizinische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

kurzzeitige Ohrgeräusche auftreten können. Die auralen Gesundheitsschädigungen können als medizinisch sehr gut erforscht gelten, da diese Schädigungen u.a. häufige Berufskrankheiten sind und daher im Bereich des Arbeitsschutzes sehr umfangreiche Studien dazu erarbeitet wurden.⁴¹ Die genannten Schwellenwerte sind insofern medizinisch abgesichert, eine unmittelbare Kausalität zwischen Geräuschexposition und Wirkung ist gegeben. In Bezug auf die Umgebungslärmmodellierung sind aurale Gesundheitsschäden von nachrangiger Bedeutung, da die unteren Schwellenwerte in der Umwelt praktisch nicht erreicht werden.

5.3.4.2 Extra-Aurale Gesundheitsschäden

Bei der Diskussion lärmbedingter extra-auraler Gesundheitsschäden steht neben den zweifelsfrei durch Störung und Belästigung verursachten psychischen Beeinträchtigungen, z. B. Nervosität und Minderung des Lernvermögens, die Frage im Vordergrund, in welchem Umfang durch Lärmeinwirkungen das Entstehen von Krankheiten verursacht, begünstigt oder verstärkt wird. Dabei stehen Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems im Vordergrund. Die Bedeutung des Schalls liegt hier nicht primär in seiner Wirkung auf das Gehör, sondern in seiner Funktion als Stressor, d. h. als stressauslösender Reiz, der zu komplexen Verarbeitungsprozessen im Gehirn und zu Hormonausschüttungen führt.

Der Lärmwirkungsforschung gelingt es bis heute nur sehr eingeschränkt, stabile Zusammenhänge zwischen Umweltärmexposition und extra-auralen Wirkungen nachzuweisen. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass sie an mehreren Stellen mit Indifferenzproblemen konfrontiert ist, die den statistischen Umgang mit Lärm und Lärmwirkungen stark erschweren. Ein wesentliches dieser Probleme ist, dass die relevanten extra-auralen Gesundheitsschäden, insbesondere Herz-Kreislauf-Krankheiten, Bluthochdruck, Schlafstörungen und psychosomatische Beschwerden, zwar durch mittel- und langfristige Lärmexposition begünstigt oder verstärkt werden, das Ursachenspektrum dieser Erkrankungen aber multifaktoriell ist. So ist ein direkter Kausalzusammenhang kaum herzustellen, ohne wesentliche krankheitsbegünstigte Faktoren außerhalb des Lärms, z. B. Stress am Arbeitsplatz und in der Familie, Rauchen, Luftverunreinigungen etc. in die Betrachtung mit einzubeziehen. Nach Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wird die mittel- und langfristige Lärmexposition im Wohn- und Arbeitsumfeld dann auch als ein gesundheitliches Risiko dargestellt, das mutmaßlich zur Entwicklung und Manifestation unspezifischer chronischer Erkrankungen beiträgt.

⁴¹GRIEFAHN, Barbara: Medizinische Aspekte des Verkehrslärms. In KLOEPFER, Michael (Hrsg.): Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006.

5.3 Operationalisierung von Lärmwirkungen

Für die Modellierung extra-auraler Gesundheitsschäden kommen zwei methodische Ansätze in Frage, nämlich die Epidemiologie, die aufgetretene Krankheitsfälle mit den Risikofaktoren korreliert, und medizinische Feld- und Laborstudien, die versuchen, aus exakt beobachteten Primärreaktionen Langzeitfolgen zu extrapolieren. Die Epidemiologie kann hier durchaus als prädestiniert für die Untersuchung langfristiger gesundheitlicher Lärmwirkungen bezeichnet werden. In der Praxis erweist sich ihre Anwendung in der Lärmwirkungsforschung aber als problematisch. Zunächst unterliegt sie in der Bestimmung der Geräuschexposition den selben Einschränkungen wie systematische Bevölkerungsbefragungen. Insbesondere muss die Exposition in aller Regel retrospektiv aus berechneten, zumeist kaum differenzierten Langfrist-Immissionspegeln geschlossen werden, ohne dass die tatsächlichen individuellen Expositionsbedingungen bekannt sind. Dies kann zum sog. 'ökologischen Trugschluss' führen (Betroffene waren nur scheinbar der Exposition ausgesetzt) und unterscheidet die epidemiologische Untersuchung des Risikos der Lärmexposition zum Beispiel von derjenigen des Rauchens, bei der die Untersuchten in aller Regel recht genaue und objektive Angaben über ihre aktuelle und historische Exposition machen können.

Die erforderliche Differenzierung zwischen Exponierten und Nicht-Exponierten gestaltet sich auch deswegen schwierig, weil es beim Faktor Lärm praktisch keine 'null-exponierte' Bevölkerung gibt, die als Referenzgruppe herangezogen werden könnte. Die - beim Faktor Rauchen durchaus mögliche - griffige Betrachtung von Odds-ratios klarer Gegensatzpaare (Raucher und Nichtraucher) verbietet sich daher bei der Lärmbelastung. Durchführbar ist nur der OR-Vergleich für Bevölkerungsgruppen unterschiedlicher Belastungsintensitäten und -zeitdauern. Dadurch ist die Interpretation dieser Daten ein komplexer, mehrdimensionaler Vorgang. In den vergangenen Jahren sind in mehreren epidemiologischen Studien unter anderem lärmbedingte extra-aurale Gesundheitsschäden untersucht worden. Zu nennen sind insbesondere die LARES-Studie der Weltgesundheitsorganisation⁴², die NaRoMi-Studie des Umweltbundesamts⁴³ sowie der vom Robert-Koch-Institut seit 1982 durchgeführte Spandauer Gesundheits-Survey. Die Ansätze sind dabei unterschiedlich.

Die LARES-Studie als sehr breit angelegte Untersuchung betrachtet zahlreiche Krankheitsrisiken und ist dabei nicht explizit auf die Umweltbelastung 'Lärm' ausgerichtet. Aus-

⁴²KLEIN, Günter: Wohngesundheit - Erste Ergebnisse einer Studie der WHO. umwelt-medizin-gesellschaft, 17 2004, Nr. 3; NIEMANN, Hildegard und MASCHKE, Christian: WHO Lares - Final report: Noise effects and morbidity. Berlin: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Regionalbüro Europa, 2004.

⁴³BABISCH, Wolfgang: Die NaRoMi-Studie. Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm. Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt, Ergebnisse der NaRoMi-Studie (WaBoLu-Hefte), 2004, Nr. 2.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

gewertet wurden ärztliche Behandlungen in den letzten zwölf Monaten. Weil die Krankheitsrisiken nicht nur lärmbedingt sind, sondern auch von vielen weiteren Einflüssen beeinflusst werden, wurden diese Einflussgrößen als 16 Kontrollvariablen, z. B. Alter, Geschlecht und Alkoholkonsum, in die Auswertung einbezogen. Hinzu kamen sechs Wohn- und Wohnumfeldfaktoren, mit denen eine umfassende statistische Kontrolle der Lärmeffekte hinsichtlich Wohn- und Wohnumfeldfaktoren wie Wohnungstemperatur im Winter, Luftqualität, Tageslicht und Feuchtigkeit in der Wohnung (Schimmel), Grünflächen im Wohnumfeld und Zufriedenheit mit dem Wohnumfeld möglich war.⁴⁴

Die Assoziation zwischen Lärm und Krankheit wurde über die Schlafstörung und die Belästigungswirkung hergestellt, indem nicht die Umgebungslärmbelastung, sondern die durch Befragung ermittelte subjektive Betroffenheit mit dem Odds-ratio korreliert wurde. Signifikante Zusammenhänge zeigen sich bei einigen schweren Krankheiten für die starke Lärmbelästigung.

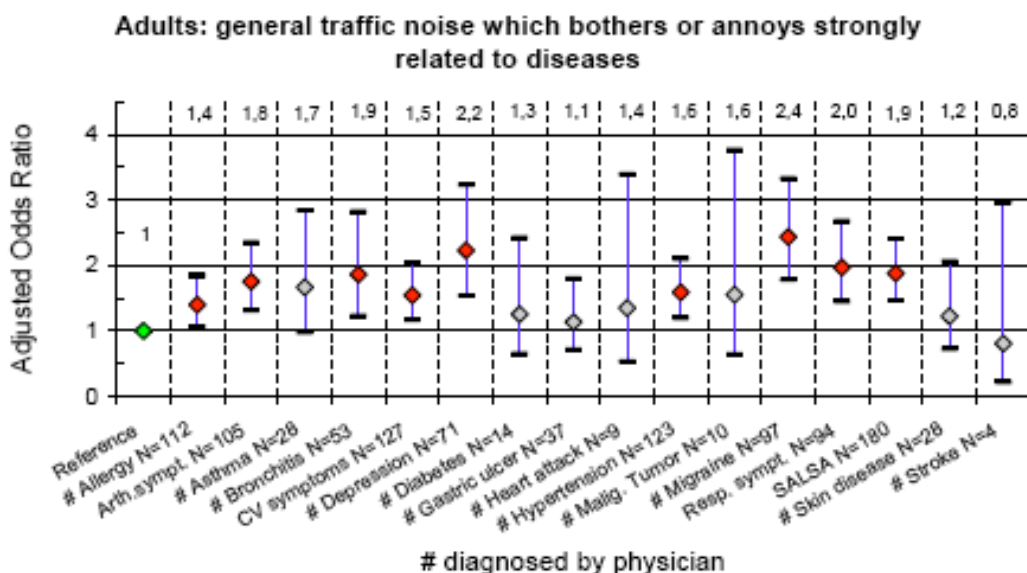


Abbildung 5.5: Odds-ratios für stark lärmbelästigte Erwachsene (LARES)⁴⁵

Systematisch bedingt ist hier keine Ableitung von Dosis-Wirkungs-Relationen möglich, mit denen sich die Auftretenswahrscheinlichkeit von Krankheiten oder gar epidemiologische Maßzahlen wie DALY und QALY in Abhängigkeit von Parametern der Umgebungs-

⁴⁴KLEIN, Günter: Wohngesundheit - Erste Ergebnisse einer Studie der WHO. umwelt-medizin-gesellschaft, 17 2004, Nr. 3.

⁴⁵NIEMANN, Hildegard und MASCHKE, Christian: WHO Lares - Final report: Noise effects and morbidity. Berlin: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Regionalbüro Europa, 2004, S. 7.

5.4 Synergien und Wechselwirkungen zwischen Einzelwirkungen

lärmbelastung darstellen lassen. Eindeutig gerechtfertigt und auch durch andere epidemiologische Untersuchungen bestätigt ist aber die qualitative Aussage, dass ein Zusammenhang zwischen starker Belästigung und Krankheitsrisiko besteht, der eindeutig für die Begrenzung und den Abbau von Spitzenbelastungen im Siedlungsraum spricht.

Die NaRoMi-Studie (Noise and Risk of Myocardial Infarction) war dem gegenüber auf eine spezielle Gesundheitsgefahr, nämlich das Herzinfarktisiko, konzentriert und hat außerdem die Umgebungslärmbelastung der Wohnung mit erfasst. Die Ergebnisse der Studie unterstreichen die Hypothese, dass das Herzinfarktisiko (zumindest für Männer) mit steigender Verkehrslärmbelastung wächst. Dies gilt insbesondere für Tages-Mittelungspegel an der Außenfassade der Wohnung von über 65 dB(A). Abhängigkeiten mit der Wohndauer wurden abgeleitet. Nicht erklärbar war die Beschränkung des signifikanten Effekts auf Männer, was zu der Vermutung führte, dass auch andere, nicht lärmabhängige Belastungsfaktoren eine Rolle gespielt haben müssen.⁴⁶

Zusammenfassend ist abzuleiten, dass epidemiologische Wirkungserkenntnisse Belege für den Einfluss starker Umgebungslärmbelastung liefern. Diese Erkenntnisse eignen sich für Grundsatzbetrachtungen zum umweltbedingten Gesundheitsrisiko auf einer Metaebene und werden auch für die Empfehlung allgemeiner Begrenzungswerte für die (auf Wohnungen einwirkende) Umgebungslärmimmission herangezogen. Für prognostische Aussagen zum spezifischen lärmbedingten Krankheitsrisiko an einem Wohnstandort fehlt jedoch die erforderliche Breite der Datenbasis und die Ableitung funktionaler Zusammenhänge.

5.4 Synergien und Wechselwirkungen zwischen Einzelwirkungen

Vor allem unter dem Blickwinkel der Modellierung und Beurteilung von Lärmwirkungen ist die Frage nach systematischen Zusammenhängen zwischen den beschriebenen Lärmwirkungen von hoher Bedeutung. Gelingt es, stabile Relationen oder Abhängigkeiten zwischen einzelnen Wirkungen nachzuweisen, so kann sich die Modellierung auf den jeweils mit geringstem Aufwand erfassbaren Aspekt beschränken. Interessant ist vor allen Dingen der Zusammenhang zwischen den als Primärreaktionen definierten akuten Wirkungen und mittel- und langfristigen Sekundär- bzw. Tertiärreaktionen. Die Annahme solcher Zusammenhänge ist – bezogen auf die Zeitschiene – durchaus plausibel herleitbar: So lässt sich ohne weiteres eine plausible Kausalkette von konkreter Aktivitätsstörung über die

⁴⁶ BABISCH, Wolfgang: Die NaRoMi-Studie. Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm. Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt, Ergebnisse der NaRoMi-Studie (WaBoLu-Hefte), 2004, Nr. 2, S. I-50f..

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

mittelfristig durch fortwährende Wiederholung dieser Störung entstehende Belästigung bis zur langfristigen Manifestation von Krankheiten argumentativ und qualitativ darstellen.

Probleme entstehen jedoch bei der Quantifizierung der Relationen. Eine wesentliche Ursache hierfür ist die Tatsache, dass Lärm unspezifische Reaktionen verursacht, die auch von zahlreichen anderen Umweltbelastungen hervorgerufen werden. Dennoch ist davon auszugehen, dass die langfristigen Einwirkungen von Lärm zur Entwicklung multifaktorieller chronischer Erkrankungen beitragen.⁴⁷

5.5 Modellkategorien

Die für die Wirkungen des Umgebungslärms auf den Menschen vorliegenden Dosis-Wirkungs-Modelle sind methodisch sehr heterogen. Als grundlegendes Unterscheidungskriterium werden Modelle zur Ermittlung der globalen Betroffenheit von Bevölkerungsanteilen von solchen Modellen abgegrenzt, darauf zielen, Einzelwirkungen induktiv abzuleiten. Dabei basiert die erste, deskriptive Modellkategorie zumeist auf breit angelegten empirischen Befragungen, die mit den für assoziierte Orte (z. B. den Wohnort der Befragten) ermittelten Umgebungslärmbelastungen zu statistischen Relationen verbunden werden. Dabei werden die erfragten Wirkungen global und retrospektiv erfasst, die zugrunde liegenden akustischen Daten sind in aller Regel stark generalisiert, d. h. auf einen stellvertretend für die Umgebungslärmbelastung des Immissionsorts modellierten Einzahlwert bzw. ein Wertepaar (Tag- und Nacht-Mittelungspegel) reduziert. Damit wird eine top-down-Betrachtung vorgenommen. - Die zweite, im Grundsatz explikative Modellkategorie prognostiziert demgegenüber aus klinischen Befunden, Feld- und Laborstudien oder auch akustischen Gegebenheiten die Wirkungen von Einzelereignissen und ihrer Kumulation auf Basis differenzierter akustischer Belastungsdaten und Studienergebnissen im Sinne einer bottom-up-Betrachtung. Für einzelne Wirkungen finden sich grundsätzlich tragfähige Modelle aus beiden Kategorien. Ein Beispiel ist die Beeinträchtigung des Schlafs: In der ersten Modellkategorie wird die über Bevölkerungsbefragungen ermittelte subjektiv erlebte Schlafstörung mit der nächtlichen Umgebungslärmbelastung (Mittelungspegel) korreliert und zu einer Dosis-Wirkungs-Kurve synthetisiert, mit der Prognosen über betroffene Bevölkerungsanteile (nach Wirkungsintensität und betroffenem Bevölkerungsanteil) ermöglicht werden. In der zweiten Modellkategorie wird eine Prognose konkreter Schlafbeeinträchtigungen, z. B. zum Aufwachen oder zur Motilität, getroffen, die notwendigerweise auf Einzelereignissen (Maximalpegel, Pegelhäufigkeiten) basiert.

⁴⁷GEZONDHEIDSRaad: Public health impacts of large Airports. Den Haag: Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands), 1999.

Die Modelle unterscheiden sich damit sowohl in ihrer Herleitung als auch in ihren Ergebnissen sehr grundsätzlich und können daher kaum ‚gemischt‘ verwendet werden. Insofern ist hier zu fragen, welche Modelle für die praktische Anwendung vorzugswürdig sind.

Im Ergebnis wird festgestellt, dass für beide Kategorien sinnvolle, aber deutlich voneinander abzugrenzende Anwendungsmöglichkeiten bestehen, die zu einem modularisierten Gesamtkonzept führen. Es ist erforderlich, zunächst auf pragmatischem Weg die Detaillierungsgrade und Schnittstellen für mögliche Gesamtmodelle zu konzipieren, von denen sich verwertbare Ergebnisse erwarten lassen. Wird beispielsweise auf der Impact-Ebene ein spezifizierter Kurzzeit-Indikator der Lärmwirkung (z. B. die Kommunikationsstörung) operationalisiert, so werden dafür Pressure- und State-Daten mit mikroskopischer zeitlicher und akustischer Auflösung benötigt. Stehen hingegen langfristige Wirkungen (z. B. die Manifestation von Krankheiten) im Fokus der Modellierung, so müssen langfristig gültige State-Daten zur Verfügung stehen, die allerdings deutlich geringeren Detaillierungsanforderungen unterliegen. - Ähnliche Abhängigkeiten lassen sich von der Response-Ebene ausgehend aufzeigen. So erfordert die Ableitung gesamträumlich und allgemein wirkender Maßnahmen, z. B. Richt- und Grenzwertformulierungen, grundlegend andere Impact-Modellierungen als die Maßnahmenformulierung für konkrete Gebiete und Grundstücke.

Aus methodischer Sicht unterscheiden sich die vorliegenden Dosis-Wirkungs-Beziehungen nicht nur in ihrer Herleitung, sondern auch in der Grundstruktur von Eingabedaten und Ergebnisfunktionen. Grundlegend zu unterscheiden sind:

- Kontinuierliche Dosis-Wirkungs-Kurven (Wirkungsintensität oder -verteilung als Funktion der Geräuschbelastung) von Modellen mit nur punktuellen Erkenntnissen oder Vergleichsrelationen (z. B. ‚Wirkung bei $L_{DEN} = 50dB(A)$ ‘ oder ‚Signifikanter Unterschied der Wirkungsausprägung zwischen $L_{DEN} = 50dB(A)$ und $L_{DEN} = 65dB(A)$ ‘)
- Wirkungsmodelle, die untere und / oder obere Schwellenwerte (Beginn und Vollausprägung der Wirkung) und ‚kritische‘ Punkte ableiten, von Modellen, die dies nicht enthalten,
- Modelle, aus denen sich absolute Betroffenenzahlen abschätzen lassen, von Modellen, die nur relative Effekte aufzeigen,
- Modelle, die nur Geräuschbelastungsdaten einbeziehen, von Modellen die nicht-akustische Variablen mit einbeziehen.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

Diese Unterschiede zwischen den Wirkungsmodellen sind für ihre Anwendbarkeit in der raumbezogenen Modellierung bestimmend.

5.6 Schwellen- und Grenzwertsetzung

Bei allen Wirkungsindikatoren stellt sich aus der Anwendungssicht die Frage nach signifikanten Punkten in der Ursache-Wirkungs-Relation, die die fachliche Ableitung von Begrenzungswerten und Qualitätszielen erleichtern. Diese sind in Kombination der Wirkungsdimensionen zunächst nur an der Untergrenze des Wirkungseintritts (geringste Betroffenenzahl bei geringster Wirkungsintensität), dem sogenannten Schwellenwert, zu identifizieren. Für den Verlauf der Dosis-Wirkungs-Beziehungen oberhalb dieser Schwelle sind die Dimensionen 'Intensität der Individualwirkung' und 'Aufretenswahrscheinlichkeit im Bevölkerungskollektiv' maßgeblich. Obere Begrenzungswerte im Sinne von Richt- und Grenzwerten sind daher praktisch nicht ohne normative Setzungen bestimmbar. Sucht man beispielsweise nach der immissionsschutzrechtlich relevanten 'Erheblichkeitsschwelle' für Lärmbelästigungen, so vermag die Lärmwirkungsforschung nur intensitätsdifferenzierte Dosis-Wirkungs-Relationen zu liefern, die ohne signifikante Wendepunkte oder Knickstellen streng monoton steigend verlaufen. Damit lassen sich zwar problemlos quantitative Risikobetrachtungen durchführen, aber keine Grenzen ableiten.

Verschiedene Autoren⁴⁸ diskutieren in Anlehnung an die ICBEN-Normierung, diese Schwelle zur erheblichen Belästigung an dem Pegelwert festzumachen, der bei 25 % der Betroffenen zur Einschätzung führt, 'äußerst' oder 'stark' belästigt bzw. gestört zu sein. Es wird also eine Kombination der drei Dimensionen vorgenommen und in Richtung eines Pegelwerts aufgelöst, der dann auf einer Dosis-Wirkungs-Relation als Kombination aus Akzeptorperzentil und Intensitätsskala berechnet werden kann. Wie der *Sachverständigenrat für Umweltfragen* zutreffend feststellt, werden damit aber Setzungen vorgenommen, die nicht wissenschaftlich begründbar sind und der gesellschaftlichen Legitimierung bedürfen.⁴⁹ Diese betreffen die Kombination von Bezugsintensität (Schwere der Wirkung) und zulässiger Auftretenshäufigkeit in der Bevölkerung. Es ist als Defizit der immissi-

⁴⁸ORTSCHEID, Jens und WENDE, Heidemarie: Lärmwirkungen und Lärmsummation. In Tagungsband Lärmkongress 2000. Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg, 2000; GUSKI, Rainer: Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6; SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2004 - Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Berlin: Deutscher Bundestag, 2004, Bundestagsdrucksache 15/3600.

⁴⁹SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2004 - Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Berlin: Deutscher Bundestag, 2004, Bundestagsdrucksache 15/3600, Ziffer 633, S. 477.

onsschutzrechtlichen Praxis zu bezeichnen, dass bislang keine klare Abgrenzung von wissenschaftlich ermittelbaren Ursache-Wirkungs-Beziehungen und normativ-wertenden Zumutbarkeitsbegrenzungen vorgenommen wird.

Lärmwirkungen sind nur in bestimmten wenigen Fällen monokausal auf den Lärm zurückzuführen, was eine eindeutige Zuordnung von Ursache und Wirkung erschwert. Vielmehr sind Lärmwirkungen eine Reaktion auf die kombinierte Wirkung von Faktoren der Geräuschquelle, der aktuellen Situation des Betroffenen, sozialem Kontext und individuellen in der Person begründeten Faktoren. Das Problem einer exakten Definition von Schwellenwerten besteht vor allem darin, dass selbst bei signifikanten Lärmwirkungen kein eindeutiger Wert zugeordnet werden kann, ab welchem diese Reaktionen einsetzen. Vielmehr können nur Eintrittswahrscheinlichkeiten und kontinuierlich mit steigender Schallbelastung zunehmende Wirkungen gezeigt werden. Daher hat die Lärmwirkungsforschung noch keine einheitlichen Schwellenwerte ermittelt.

Allerdings existieren auf Basis zusammenfassender sachverständiger Einschätzungen seit langem fachliche Empfehlungen für orientierende Begrenzungswerte, die in der Gesamtschau der Wirkungen qualitätvolle Wohnverhältnisse sichern sollen. Bereits 1996 formulierte der *Sachverständigenrat für Umweltfragen* auf Basis von Überlegungen des *Umweltbundesamts* folgende Grundlagen: 'Tagsüber ist bei Pegeln ab 50 bis 55 dB(A) außerhalb der Wohnungen zunehmend mit Beeinträchtigungen des psychischen und sozialen Wohlbefindens zu rechnen. Oberhalb von 60 dB(A) am Tage und 55 dB(A) in der Nacht reichen normale Fenster nicht mehr aus. Bei Pegeln über 65 dB(A) liegen im Außenwohnbereich keine akzeptablen Kommunikationsbedingungen mehr vor; darüber hinaus besteht erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen.'⁵⁰ Auf Basis sehr umfangreicher Datenauswertungen kommt der Sachverständigenrat im Sondergutachten 1999 zu der Empfehlung, dass als Nahziel der Abbau kritischer Belastungen von über 65 dB(A) tagsüber, mittelfristig ein Präventionswert von 62 dB(A) und langfristig ein Zielwert von 55 dB(A) anzustreben seien. Für die Nacht wird ein Nahziel von 55 dB(A) angegeben und zusätzlich die Einführung von Maximalpegelkriterien gefordert.⁵¹ Der *Sachverständigenrat für Umweltfragen* hält auch in seinem letzten Gutachten (2004) an Vorsorgezielwerten von 55 dB(A) am Tage bzw. 45 dB(A) in der Nacht fest.⁵² Zu ähnlichen Empfehlungen kommt

⁵⁰SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 1996 - Zur Umsetzung einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. Bonn: Deutscher Bundestag, 1996, Bundestagsdrucksache 13/4108, S. 193, RN 493.

⁵¹SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig bewerten (Sondergutachten). Bonn: Deutscher Bundestag, 1999, S. 184, RN 465.

⁵²SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2004 - Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Berlin: Deutscher Bundestag, 2004, Bundestagsdrucksache 15/3600.

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

die *Weltgesundheitsorganisation* in ihren 1999 veröffentlichten *Guidelines for Community Noise*.⁵³

5.7 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Die zu untersuchenden Lärmwirkungen sind ebenso vielfältig wie die Methoden der Lärmwirkungsforschung. Dies führt dazu, dass der vorliegende Erkenntnisstand sehr heterogen ist und sich besonders im Hinblick auf die aus Sicht der Stadtplanung daraus zu ziehenden Konsequenzen Probleme ergeben. Die aus planerischer Perspektive besonders interessante Frage nach quantitativen Zusammenhängen zwischen primären, sekundären und tertiären Lärmwirkungen, aus denen sich Rückschlüsse von konkreten, mess- und zählbaren Momentanereignissen auf mittel- und langfristige Reaktionen und die – ggf. in noch längeren Zeiträumen zu betrachtende – Manifestation von Krankheiten lärmbelasteter Menschen ziehen ließen, ist nicht durchgehend beantwortbar. Es bleibt ein qualitativ plausibler 'circulus vitiosus' aus fortwährenden Störungen auf der Primärebene, Belästigung auf der Sekundärebene und Herz-Kreislauf-Krankheiten als tertiärer Wirkung, der sich zumindest tendenziell aus den vorliegenden epidemiologischen Erkenntnissen ablesen lässt.

So stehen derzeit Modelle für primäre, sekundäre und tertiäre Wirkungen weitgehend unverbunden nebeneinander. Die methodische Struktur der dafür abgeleiteten Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge ist heterogen. Auf der primären Ebene sind vor allem Relationen zwischen Momentanpegeln 'am Ohr des Betroffenen' und Reaktion, differenziert nach Intensität und Qualität der induzierten Störung, fundiert worden. Dabei können in der Regel auch untere Schwellen genannt werden, unterhalb derer ein Wirkungseintritt nicht zu erwarten ist. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang vor allem die Kommunikations- und die akute Schlafstörung. Eine Zeitperspektive besteht nicht, lässt sich aber bei Kenntnis der akustischen Situation (Pegolverlauf) ergänzen. Daraus ergeben sich dann Häufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten des Wirkungseintritts je Zeiteinheit.

Auf der sekundären Wirkungsebene sind für die Belästigung und die selbstberichtete Schlafstörung zeitlich dimensionslose, statische Dosis-Wirkungs-Relationen verfügbar, mit denen sich der Anteil der Wirkungsbetroffenen an der exponierten Bevölkerung als Funktion eines langfristigen, wohnortsbezogenen Immissionspegels darstellen lässt. Auch hier sind untere Schwellen (Nulldurchgang der Wirkungsfunktion) erkennbar. Für tertiäre Wirkungen bestehen belastbare epidemiologische Erkenntnisse, die signifikante

⁵³BERGLUND, Birgitta, LINDVALL, Thomas und SCHWELA, Dietrich: *Guidelines for Community Noise*. Genf: Weltgesundheitsorganisation (WHO) Regionalbüro Europa, 1999.

langfristige Risikosteigerungen für Betroffene mit hohen Immissionspegeln am Wohnort gegenüber solchen mit deutlich niedrigeren Immissionspegeln aufzeigen. Allerdings liegen diese Forschungsergebnisse nicht in Form pegelabhängiger Funktionen, sondern nur punktuell (z. B. als Vergleich zwischen Betroffenheiten bei $L_{DEN} > 65dB(A)$ gegenüber $L_{DEN} < 50dB(A)$) vor. Daraus lassen sich zwar Tendenzen und ggf. auch qualitative Handlungsempfehlungen, aber weder pegelabhängige Nutzenfunktionen noch Schwellenwerte ableiten.

Alle genannten Maßgrößen können für Entscheidungsprozesse der Stadtplanung hilfreich sein, die vielfach geforderte Ja-Nein-Entscheidung zum Vorliegen einer Wirkung und klare Schwellen liefern sie jedoch nicht. Sie zeigen Relationen und Vergleiche auf, können zur quantitativen Abschätzung der Auswirkungen von Veränderungen der Immissionssituation herangezogen werden und erlauben es ggf. auch, das Zusammenwirken unterschiedlicher Risikofaktoren im Raum rechnerisch darzustellen. Alle Methoden der Lärmwirkungsforschung sind mit mehr oder weniger großen Schwierigkeiten und Unschärfen konfrontiert, die aus mangelnder akustischer und räumlicher Präzision der Geräuschbelastungsdaten, ungenauen Erfassungsmethoden für die Exposition, systemimmanenten Unsicherheiten von Dosis-Wirkungs-Relationen vor allem für niedrige und mittlere Belastungsintensitäten, limitierte Qualität epidemiologischer Daten und Unschärfen bei der Generalisierung von lokal erhobenen Daten auf die Gesamtbevölkerung und anderen Ursachen resultieren können.⁵⁴

Aus Sicht der in der Stadtplanung geforderten Modellierung von Umgebungslärmbelastungen erweist es sich als kritisch, dass die meisten der verfügbaren Studien und Modelle zur Lärmwirkung auf Datenbasen basieren, die auf die in Planungsprozessen verfügbaren Daten nicht übertragbar sind. Letztlich sind nur die empirisch ermittelten Dosis-Wirkungs-Relationen für die Belästigung, die auf langfristigen, repräsentativ berechneten Immissionswerten beruhen. Nur bei dieser Modellkategorie decken sich zum einen die Datenbedarfe mit der Datenverfügbarkeit und zum anderen die Modellergebnisse mit den Erfordernissen der Planung. Bei den anderen Modellkategorien sind in diesen Punkten jeweils Einschränkungen festzustellen, die entweder die Funktionsfähigkeit (Datenversorgung) der Modelle oder den Aussagekraft ihrer Ergebnisse für die Stadtplanung einschränken.

Weiterhin zeigt sich, dass die Lärmwirkungsforschung keine Zumutbarkeitsgrenzen für die Umgebungslärmbelastung definieren kann, dass aber eine insgesamt große Übereinstimmung besteht, dass Mittelungspegel am Tage von 65 dB(A) und in der Nacht von 55

⁵⁴KNOL, Anne: Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980-2020. Bilthoven (NL): RIVM, 2005, S. 20ff..

5 Lärmwirkungen und ihre Modellierung im Raum- und Akzeptorbezug

dB(A) am Wohnort bereits zu massiven Beeinträchtigungen der Betroffenen führen und dass deutlich geringere Werte anzustreben sind. Ebenfalls ist nicht strittig, dass Belastungen jenseits dieser Grenzen prioritär zu mindern sind. Allerdings ist zu beobachten, dass besonders im Kontext von Genehmigungsverfahren, z. B. für Flughäfen, aber auch im Rahmen von Forschungsvorhaben, immer wieder und mit verschiedenen Ansätzen versucht wird, medizinisch indizierte Belastungsobergrenzen wissenschaftlich zu fundieren. Anlass dafür war in den letzten Jahren meist die fehlende verbindliche Grenzwertregelung für den Luftverkehr und bestehende Straßen und Schienenwege. Die genannten Forschungsergebnisse waren fast vollständig Gegenstand zum Teil erbitterter Kontroversen hinsichtlich ihrer Datengrundlagen, Methoden und Übertragbarkeit. Aus Sicht der Stadt- und Raumplanung ist diese Situation wenig hilfreich, weil die Minderungsprioritäten dem Grunde nach feststehen und die Diskussion um Belastungsgrenzen seit Jahren kaum verwertbare Erkenntnisse liefert.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die methodischen Konzepte und die Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung mit Relevanz für raum- und akzeptorbezogene Fragestellungen ausgewertet und dargestellt wurden, stellt sich in der Folge die Frage des Umgangs mit diesen Ergebnissen im Gesamtkontext der Stadtplanung. Dazu wird zunächst untersucht, welche der Modellkonzepte der Lärmwirkungsforschung für die planerische Anwendung und die Einbindung in integrierte Umgebungslärmmodellierungen grundsätzlich geeignet sind. Darauf aufbauend werden konkrete Konzepte entwickelt. Einen Schwerpunkt stellt dabei die Diskussion und Bewertung der Modelle zur Kombinationswirkung unterschiedlicher auf einen Ort einwirkender Umgebungsgeräusche dar, wobei die Bearbeitung diese Thematik auf die zuvor abgeleiteten grundlegenden Konzepte ausgerichtet und beschränkt wird.

6.1 Ausgangslage und Kombinationsebenen

Während sich die Fachdiskussion im Kontext 'Gesamtlärm' bisher im Wesentlichen auf die Frage des Zusammenwirkens verschiedenartiger Quellen (z. B. Straßen- mit Schienenverkehr) konzentriert,¹ ist unter Modellierungsgesichtspunkten zunächst auch die Frage des Zusammenwirkens gleichartiger Quellen zu betrachten, das von den gängigen Regelwerken zur Beurteilung des Umgebungslärms ebenfalls kaum betrachtet wird. Es ergibt sich eine mehrstufige Aggregation von der tatsächlichen Einzelquelle (z. B. ein Kraftfahrzeug) über die raumbezogene Anlage (z. B. eine Straße), die Gesamtheit der auf einen Ort einwirkenden 'gleichartigen' Anlagen (z. B. ein Straßennetz) bis hin zur Gesamtheit der auf einen Ort einwirkenden verschiedenartigen Umgebungslärmquellen. Jeder dieser Aggregationsschritte führt jeweils zu spezifischen Komplexitätssteigerungen. Die dafür wesentlichen Parameter lassen sich wie folgt zusammenfassen:

¹STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin: Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In SPANNOWSKY, Willy und MITSCHANG, Stephan (Hrsg.): Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003; DOLDE, Klaus-Peter: Rechtliche Aspekte einer Gesamtlärbetrachtung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 48 Mai 2001, Nr. 5.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

- Pegel-Zeit-Verläufe sowohl in der Mikrostruktur als auch im Tagesverlauf (akustische Komponente),
- Einwirkungsrichtungen (räumliche Komponente),
- Parameter Geräuschcharakteristik und psychoakustischer Bedeutungsgehalt von Geräuschen (Wirkungskomponente),
- Unerwartete oder chaotische Effekte des Zusammenwirkens von Geräuschen.

Ausgehend von den allgemein abgeleiteten Modellierungskonzepten für die Wirkung von Umgebungslärmimmissionen ist der Einfluss des Einwirkens verschiedener Quellen auf einen Immissionsort zu diskutieren und abzuleiten, welche spezifischen Modellierungsanforderungen sich daraus ergeben.

6.1.1 Kombinationseffekte bei der Bildung anlagenbezogener Emissionspegel

Die fachlich und rechtlich eingeführten Modelle zur Beurteilung des Umgebungslärms für sog. homogene Quellen folgen fast durchgängig dem Prinzip der energieäquivalenten Summation und Mittelung. Dieses Prinzip liegt bereits der Aggregation der Einzelschallereignisse in den betrachteten Anlagen, hier z. B. Straßen, zu einem anlagenbezogenen Emissionspegel zugrunde und ist insofern die Basis jeder umgebungslärmbezogenen Pegelberechnung. Es macht die für die raumbezogene Planung bedeutsame anlagenbezogene Betrachtung im räumlichen Kontext erst möglich, bei der es eben nicht auf akustische Einzelquellen – hier: Kraftfahrzeuge –, sondern die Gesamtheit der auf der Anlage betriebenen Einzelquellen – hier: der Gesamtverkehr – ankommt.

Die fachliche Validität dieses Vorgehens kann in Frage gestellt werden, weil bereits auf dieser Ebene die Pegel-Zeit-Struktur der Geräusche standardisiert wird. Bei der Betrachtung von Straßenverkehrsquellen, deren Geräuschgeschehen bei geringen Verkehrsbelastungen durch Einzelereignisse (Fahrzeug-Vorbeifahrten), bei höheren Belastungen jedoch durch eine kaum mehr strukturierte Geräuschkulisse gekennzeichnet ist, wird dies augenfällig: Ein identischer Mittelungspegel kann sehr verschiedene Geräuschsituationen beschreiben, z. B. kann eine Autobahn aus der Ferne gleichmäßig oder eine direkt benachbarte Zufahrtsstraße zu einem Industriegebiet mit wenigen, aber geräuschintensiven und unregelmäßigen LKW-Vorbeifahrten einwirken. Straßen mit relevantem Motorradverkehr heben sich davon nochmals ab. Hier ist die Frage zu stellen, ob in Übergangsbereichen die bloße Addition ausreichend ist oder ob nicht zusätzlich noch die sich verändernden Struktureigenschaften berücksichtigt werden müssten.

6.1 Ausgangslage und Kombinationsebenen

Beim Gewerbelärm ist dieses Phänomen noch deutlich intensiver ausgeprägt. Die TA Lärm erfasst alle in Betriebsabläufen auftretenden Geräusche, mithin eine große Bandbreite von Maschinen- und Strömungs- bis hin zu Kommunikations- und Verkehrsgeräuschen, mit einem einheitlichen, vom energieäquivalenten Dauerschallpegel abgeleiteten Beurteilungspegel. Da sich diese Geräusche in ihren Struktureigenschaften und Lästigkeiten stark unterscheiden, kommt ein differenziertes System von Zuschlägen, z. B. für Ton- und Impulshaltigkeit, zur Anwendung, mit denen die Dauerschallpegel annähernd lästigkeitsadäquat korrigiert werden sollen. Nach der Korrektur erfolgt eine einfache energieäquivalente Addition auf anlagen- und anlagenübergreifender Ebene. Letztlich setzt die TA Lärm damit ein fachliches Konzept zur Summation kombinierter, stark heterogener Geräusche über korrigierte Dauerschallpegel um, ohne dass dies unter dem Gesichtspunkt der Wirkungsadäquatheit kontrovers diskutiert wird. Dies ist insofern erstaunlich, als sich die Ableitung von Dosis-Wirkungs-Relationen für die Belästigung durch Gewerbelärm wegen dessen heterogener Struktur als problematischer erwiesen hat als bei anderen Umgebungslärmarten.²

Es ist damit festzustellen, dass ein erheblicher Teil der Komplexitätsfaktoren des Zusammenwirkens von Umgebungslärmquellen bereits auf der ersten Stufe der Aggregation, nämlich der Bildung des anlagenbezogenen Emissionspegels auftritt. Diese in der Diskussion kaum berücksichtigte Tatsache lässt sich in Teilen damit erklären, dass die anlagenbezogene Betrachtung im Immissionsschutz seit vielen Jahrzehnten verfestigt ist und daher mit großer Selbstverständlichkeit angewandt wird.

6.1.2 Kombination mehrerer gleichartiger Anlagen

Das auf Anlagen durchgehend angewandte energieäquivalente Summationsmodell wird auch auf das Einwirken mehrerer gleichartiger Anlagen, z. B. verschiedener Straßen, übertragen. Zu den erwähnten Unterschieden in der Pegel-Zeit-Struktur treten divergierende räumliche Immissionsbedingungen hinzu. Die wirkungsbezogene Aussagefähigkeit einfacher Summationsmodelle ist in Frage zu stellen, weil durch ihre Anwendung der in Kapitel 4.5 beschriebene Einfluss der Einwirkungsrichtungen und der daraus resultierenden Belastungsdifferenzen auf betroffenen Grundstücken nicht erfasst werden kann. Dennoch basieren sowohl die im Rahmen der 'klassischen' Lärminderungsplanung nach § 47a BImSchG (alt) anzufertigenden Schallimmissionspläne als auch die künftig zu erarbeitenden strategischen Lärmkarten für die Umgebungslärmarten allein auf diesem Sum-

²MIEDEMA, Henk M. E. und VOS, Henk: Noise annoyance from stationary sources: Relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. Journal of the Acoustical Society of America, 116 2004, Nr. 1.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

mationskonzept. Auch die TA Lärm wendet für die seit der Novellierung 1998 geforderten ortsbezogene Summation von Gewerbegeräuschen das energetische Summationsprinzip auf die Beurteilungspegel anlagenübergreifend an. Zusammenfassend ist festzustellen, dass vermeintlich homogene Umgebungslärmquellen heterogene Geräuscheigenschaften, insbesondere Pegel-Zeit-Strukturen und Auffälligkeiten, aufweisen. Dieser Aspekt bleibt in den eingeführten Modellen zur Wirkungsprognose ebenso unberücksichtigt wie in immissionsschutzrechtlichen Regelungen. Allein beim Gewerbelärm werden die spezifischen Geräuscheigenschaften der Einzelquellen systematisch erfasst und in die Bildung des Beurteilungspegels einbezogen.

6.1.3 Kombinierte Immissionen verschiedenartiger Quellen

Bei der fachlichen Untersuchung von Kombinationsmodellen für verschiedenartige Anlagen sind die in den Vorkapiteln zusammengefassten Einschränkungen der Modelle für (vermeintlich) gleichartige Quellen zu berücksichtigen. Insbesondere ist es erforderlich herauszuarbeiten, in welchen Bereichen und Anwendungsfällen durch die Kombination fachliche Komplexitätssteigerungen entstehen, die nicht bereits auf den vorgelagerten Ebenen auftreten.

Die Wirkungsmodellierung für kombinierte verschiedenartige Umgebungslärmimmissionen erscheint schon aufgrund der deutlich höheren Anzahl akustischer, zeitlicher, räumlicher und wirkungsbezogener Parameterkombinationen insgesamt komplexer als die Modellierung der Einwirkung von gleichartigen Quellen. Dadurch stoßen auch die eingeführten Forschungsmethoden zur Ermittlung von Lärmwirkungen an ihre Grenzen – kombinierte Immissionssituationen sind offensichtlich zu vielfältig, um in allen Differenzierungen angemessen genau analysiert werden zu können. Dies führt in der fachlichen und rechtlichen Diskussion in Deutschland nicht selten zu dem Schluss, dass eine Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen (noch) nicht möglich sei und vielfältige Forschungsaktivitäten erforderlich erschienen, um – mittel- und langfristig – zu adäquaten und wissenschaftlich fundierten Modellen zu kommen. Dieser Einschätzung scheint die Hypothese zugrunde zu liegen, dass eine Wirkungsbestimmung und vor allem eine zuverlässige Vermeidung schädlicher Wirkungen bei Einzelquellen wissenschaftlich abgesichert möglich ist und erst das Zusammenwirken verschiedenartiger Quellen zur fachlich nicht mehr beherrschbaren Komplexität führt. Diese Position ist grundsätzlich zu hinterfragen, auch vor dem Hintergrund, dass im europäischen Raum bereits zahlreiche Modelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen entwickelt wurden, die durchaus auch prak-

tische Anwendung finden, d. h. zur raumbezogenen Beurteilung und zur Entwicklung von Handlungsstrategien herangezogen werden.

Dass unterschiedlich strukturierte Quellen unterschiedlich intensiv wirken, kann z. B. für die Belästigung als empirisch abgesichert gelten, wie in Kap. 5 gezeigt werden konnte. Daraus ergibt sich auch die Anforderung, abhängig von der betrachteten Wirkung differenzierte Summationsmodelle anzuwenden. So ist z. B. durchaus davon auszugehen, dass eine Summation hinsichtlich der Wirkung 'Belästigung' anderen Mechanismen als eine Summation hinsichtlich der Wirkung 'Schlafstörungen' folgen muss. Auch ist daraus abzuleiten, dass eine flächenbezogene Addition nicht zweckmäßig ist, denn die Wirkungen, für die der Summationsalgorithmus jeweils Gültigkeit haben soll, treten nicht flächenhaft, sondern im dafür maßgeblichen räumlichen Bezugfeld auf. Beispielsweise kann ein Summationsalgorithmus für Schlafstörungen nur für Immissionsorte und Beurteilungszeiten Anwendung finden, die für diese Wirkung relevant sind, hier also Schlafräume und Ruhe- bzw. Nachtzeiten. Denkbar ist auch, dass bestimmte Wirkungen, insbesondere die globale Belästigung, die Einbeziehung von Ortskombinationen und zeitlichen Gewichtungen erfordern.

Dieser Umstand ist u. a. maßgeblich für die hohe Komplexität der Beurteilung kombinierter Immissionssituationen mit verschiedenartigen Geräuschemittenten und führt auch dazu, dass für wirkungsadäquat summierte Geräusche unterschiedlicher Art und Einwirkungsrichtung die für sektoral betrachtete Geräuscharten eingeführte flächenbezogene Rasterdarstellung dem Grunde nach nicht in Frage kommt. Eine weitere Folge ist, dass eine wirkungsadäquat summierte kombinierte Umgebungslärmbelastung mit konventionellen Methoden nicht messbar ist. Vielmehr ist die in der Messpraxis kaum durchführbare Separierung der an einem Immissionsort einwirkenden Geräuscharten - gewissermaßen das 'Herauspräparieren' der einzelnen Geräuschbeiträge zur anschließenden, nicht mehr physikalisch determinierten Summation – eine notwendige Modellierungsvoraussetzung, die nur mehr im Wege der Berechnung realisiert werden kann.

Es erscheint plausibel und zunächst eindeutig, dass eine Belastung durch mehrere Schallquellen negativer zu beurteilen ist als eine Belastung durch nur eine Quelle. Diese stark vereinfachte Sicht ist jedoch bei näherer Untersuchung nicht ohne weiteres haltbar. Zum einen stellt sich die Frage, wie die spezifische Belästigungswirkung der einzelnen Geräuscharten zu berücksichtigen ist. Zum anderen ist zu fragen, ob sich durch die Kombination verschiedenartiger Geräusche kumulative Wirkungen ergeben, die anderen Mechanismen folgen als bei gleichartigen Geräuschen. Diese Fragestellung ist noch nicht beantwortbar. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass - wie auch der *Sachverständigenrat für Umweltfragen* feststellt - die in diesem Bereich durchgeführten Feld- und

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Laborstudien keine eindeutigen Ergebnisse aufweisen und bezüglich der Kombinationswirkung teilweise deutlich unterschiedliche Aussagen treffen.³ So kann nach Studienergebnissen

- die Gesamtbelästigung größer sein als die höchste quellenspezifische Einzelbelästigung,
- die quellenspezifische Einzelbelästigung die Gesamtbelästigung überragen,
- eine quellenspezifische Einzelbelästigung durch Vorhandensein einer zweiten Quelle abgeschwächt werden,
- eine quellenspezifische Einzelbelästigung durch Vorhandensein einer zweiten Quelle verstärkt werden.

Zu einem ähnlichen Resultat kommen *Schulte-Fortkamp et al.*, die in einer Literaturstudie verschiedene Feld- und Laborstudien aus den Jahren 1976 bis 1996 näher untersucht haben. Die Ergebnisse der zugrunde liegenden Studien lassen insgesamt kein einheitliches Muster in den Belästigungsreaktionen beim Zusammenwirken verschiedener Lärmarten erkennen. Dieser Umstand lässt darauf schließen, dass eine Reduzierung auf nur einen Wirkungseffekt nicht sinnvoll erscheint. Vielmehr besteht eine Interaktion verschiedener Wirkungseffekte auf unterschiedlichen Ebenen, die zur Belästigungsreaktion beitragen. Problematisch für eine wissenschaftliche Erfassung der jeweiligen Zusammenhänge ist die große Vielfalt der möglichen Geräuschkombinationen und Beurteilungskontexte. Außerdem ist zu fragen, zu welchem Anteil die Lästigkeitsurteile der Immissionsbetroffenen zum Gesamtgeräusch tatsächlich durch die (mittleren) Schallpegel und die psychoakustischen Besonderheiten der einzelnen Schallquellen bestimmt werden und welche Bedeutung nicht-akustische Einflussfaktoren haben. Kaum berücksichtigt wird in der Diskussion der Ergebnisse bislang der im Rahmen dieser Arbeit ausführlich diskutierte Effekt kleinräumiger Belastungsdifferenzen und divergierender Einwirkungsrichtungen. Tatsächlich gehen zumindest die Laborstudien davon aus, dass heterogene Geräusche gleichzeitig und aus gleicher Richtung einwirken; untersucht wird dann die Wahrnehmung der konkreten Geräuschüberlagerung. In der Realität ist jedoch häufig von einer räumlich, meist nach Fassaden klar differenzierbaren Geräuschüberlagerung auszugehen, bei der es weniger auf das momentane Zusammenwirken sondern stärker auf das Fehlen ruhiger Bereiche ankommt.

³SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2004 - Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Berlin: Deutscher Bundestag, 2004, Bundestagsdrucksache 15/3600, S. 330, RN 649.

6.2 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

6.2.1 Strukturierung

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Modellen und Modellvorschlägen, die versuchen, die Wirkungen kombinierter Immissionsituationen adäquat zu beurteilen. Eine erste Zusammenstellung solcher Modelle findet sich bereits 1982 in einer Studie von Taylor.⁴ Im deutschsprachigen Raum ist eine umfassende Bestandsaufnahme der damals vorliegenden Modelle und ein Modelltest mit einem realen Datensatz 1996 in einer breit angelegten Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung⁵ erarbeitet worden. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale von Summationsmodellen können, ausgehend von einem Grundmodell, anhand folgender Leitfragen erläutert werden:

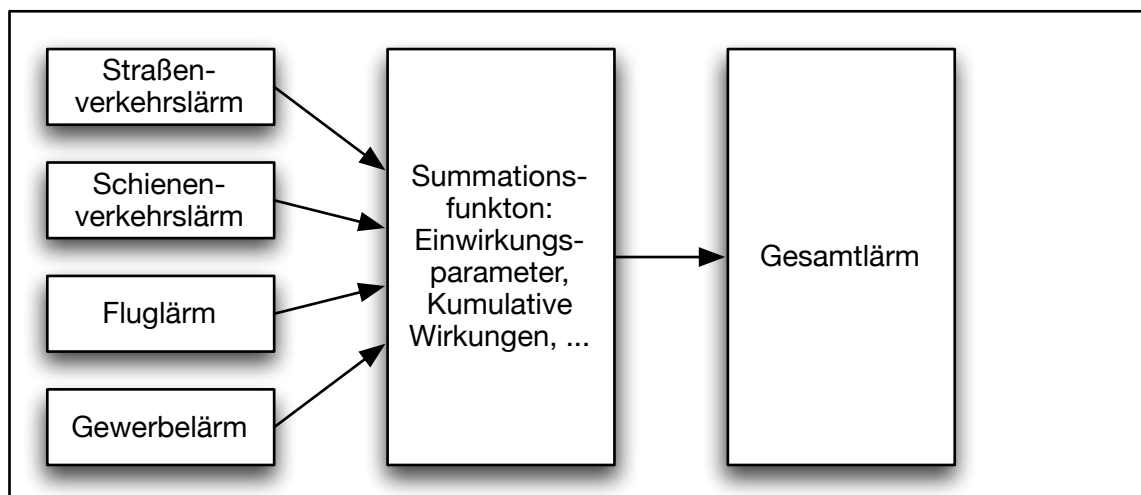


Abbildung 6.1: Allgemeines Grundmodell der Gesamtlärmwirkung

- Welche Wirkungen werden untersucht?
- Welches Konzept zur Erfassung der Wirkung der Einzelbelastungen (separiert nach homogenen Umgebungslärmquellen) liegt dem Modell zugrunde?
- An welcher Stelle des gesamten Modellierungsprozesses erfolgt die Summation? Präzisiert: Findet eine Addition von Geräuschen oder von Wirkungen statt?

⁴TAYLOR, S. M.: A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources. Journal for Sound and Vibration, 81 1982, Nr. 1.

⁵SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte, RONNEBAUM, Thorsten und WEBER, Reinhard: Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung. Magdeburg: Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 1996.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

- Welche Aspekte und Falldifferenzierungen werden in das Modell einbezogen?
- Welche methodische Struktur hat die Ergebnisfunktion?
- Im Ergebnis: Für welche Fragestellungen lässt sich das Modell einsetzen und an welchen Anforderungen ist es zu messen?

6.2.2 Modelle für Primärwirkungen (Kommunikations- und Schlafstörung)

Die Modelle zur Abschätzung von Primärwirkungen sind in der Regel eng am Momentanpegel am Ohr des untersuchten Akzeptors orientiert. Um sinnvolle Ergebnisse zu erbringen, benötigen sie detaillierte Eingangsdaten sowohl zum Ort der Wirkung als auch zum Geräuschverlauf. Verallgemeinerungen sind problematisch und führen zu Ergebnissinkonsistenzen. Die Wirkungsspezifika sind hier im Wesentlichen akustisch, d. h. vom momentan einwirkenden Geräusch geprägt.

Besonders bei der Kommunikationsstörung, aber auch bei der Schlafstörung, steht dabei weniger die Geräuschart im Vordergrund als die konkrete Art, Intensität und Häufigkeit intermittierender Geräusche. Primäre Lärmwirkungen sind insofern als ereignisbasiert zu bezeichnen. Daraus ergeben sich grundsätzlich andere Modellierungsparadigmen und fachliche Herausforderungen als bei sekundären und tertiären Lärmwirkungen. Es ist zum Einen erforderlich, differenziertere akustische Deskriptoren heranzuziehen, mit denen sich einzelne Geräuschereignisse zumindest annähernd abbilden lassen. Zum Anderen ist das Auftreten primärer Lärmwirkungen stark von den kleinräumigen Nutzungs- und Immissionsverhältnissen abhängig. Der Rückgriff auf nur einen repräsentativen Immissionspunkt, der schon bei der Globalwirkung Belästigung zu deutlichen Unschärfen führt, ist bei konkreten Lärmstörungen nicht mehr geeignet, aussagefähige Ergebnisse zu erzeugen. Die Modellierung muss sich vielmehr konkret daran orientieren, wo sich Menschen aufhalten, mit welchen Aktivitäten sie befasst sind und wie Umgebungslärm diese Aktivitäten in ihrer Qualität mindert oder unmöglich macht. Ein Beispiel dafür ist die primäre Schlafbeeinträchtigung mit dem Wirkungsendpunkt 'Aufwachen'. Nach den dem Stand der Wissenschaft entsprechenden Wirkungsmodellen ist dafür die Kenntnis der am Ohr des Schläfers auftretenden Maximalpegel erforderlich, aus denen Aufweckwahrscheinlichkeiten berechnet werden. Ohne Kenntnis der Zeitstruktur der einwirkenden Geräusche, vor allem aber der Lage des Schlafraums und seinen akustischen Eigenschaften (Innen-Außen-Schallpegeldifferenz), lassen sich nur äußerst unscharfe, fast spekulativ zu nennende Aufweckreaktionen prognostizieren. Ähnliches gilt für den Bereich der Kommunikationsstörungen.

6.2 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

Bei den hier betrachteten Störungen wird also grundsätzlich von keinem bzw. einem nur geringen Einfluss der Geräuschart auf die Wirkung ausgegangen, so dass auch keine Differenzierung in dieser Hinsicht vorgenommen werden kann.⁶ Die Umgebungslärmquellen verursachen Störungen letztlich unabhängig voneinander und in Abhängigkeit vom Momentanpegelverlauf. Über einen Zeitraum betrachtet entsteht damit die Kombinationswirkung der Lärmstörungen aus der Summe der durch die einzelnen Umgebungslärmquellen verursachten Störungen; ein explizites Summationsmodell erscheint damit entbehrlich.

Auf diesem Zusammenhang basiert u. a. das in der Entwurfsfassung zur Richtlinie VDI 3722-2 (S. 21ff.) vorgeschlagene Modell zur abschätzenden Prognose der Aufwachreaktionen bei kombinierten Verkehrslärmeinwirkungen. Basis ist eine als Funktion des Maximalpegels dargestellte Dosis-Wirkungs-Kurve für die Aufwachwahrscheinlichkeit. Diese wird zunächst auf die einzelnen Umgebungslärmarten angewendet, deren Maximalpegelstatistik für den zu beurteilenden Nachtzeitraum dafür ausgewertet wird. Ergebnis ist das sog. Aufweckpotential der Lärmart. Im Anschluss werden die Aufweckpotentiale durch einfache Addition zu einem ortsbezogenen Gesamtwert kombiniert. Für die Kommunikationsstörung ist ein methodisch vergleichbares Vorgehen, z. B. zur Ermittlung der Zeiteinheitsanteile für Minderungen der Kommunikationsqualität auf Basis des Lazarus-Modells, möglich: Die aus Maximalpegelstatistiken oder SEL-Werten berechneten Kommunikationsstörungen durch einzelne Anlagen oder Umgebungslärmarten werden zu einem ortsbezogenen Gesamtwert pro Zeiteinheit addiert.

Dieses plausible und methodisch einfache Konzept stößt an systemimmanente Grenzen, wenn in kombinierten Immissionssituationen störende Geräuscheignisse sich zeitlich überlagern und ggf. akustisch maskieren oder in so engem zeitlichen Zusammenhang auftreten, dass einzelne Störereignisse nicht mehr voneinander abgegrenzt werden können. Die Wahrscheinlichkeit solcher Koinzidenzen steigt mit der Häufigkeit der Störereignisse pro Zeiteinheit. Während die Einwirkungskombination bei einer gering befahrenen Schienenstrecke und einer sporadisch genutzten Flugroute nur in seltenen Fällen auftreten wird, ist sie bei stark genutzten Schienen- und Luftverkehrswegen und vor allem bei Straßen regelmäßig zu erwarten, und zwar je häufiger, desto niedriger der ausgewertete Maximalpegel ist. In diesen Überlagerungs- und Maskierungseffekten kann durchaus auch eine plausible Erklärung für den in einigen Studien beobachteten Effekt reduzier-

⁶So z. B. in der Entwurfsfassung der VDI 3722-2 und anderen. Allerdings wird dort auch auf diesbezüglichen Forschungsbedarf hingewiesen. Das Positionspapier der Europäischen Union zu nächtlichen Lärmstörungen (EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS: Position paper on dose-effect relationships for night time noise. Brüssel: Europäische Kommission, 2004) nimmt eine ähnliche Position ein.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

ter Stör- und Belästigungswirkung kombinierter gegenüber sektoraler Umgebungslärmimmission gesehen werden.

Folge dieses bislang in der Modellierung nicht beachteten Effekts ist eine potentielle Überschätzung der Störwirkungen besonders bei hoher, kombinierter Umgebungslärmbelastung und niederschweligen Störungen. Wegen der stochastisch geprägten Struktur der zeitlichen Ereignisverteilungen ist nicht davon auszugehen, dass eine zufriedenstellende Modellierung der Einwirkungskombination denkbar ist; vielmehr wirft bereits die Modellierung von Maximalpegelverteilungen im Raumbezug fachliche Schwierigkeiten auf. Daher unterliegt das Summationskonzept für primäre Wirkungen aus Sicht der Emissions- und Immissionsmodellierung Begrenzungen, die jedoch insgesamt überschaubar erscheinen.

6.2.3 Modelle für die Sekundärwirkung Belästigung

6.2.3.1 Grundstruktur

Es ist auffällig, dass sich die weit überwiegende Mehrzahl der diskutierten Modelle zur Bewertung kombinierter Umgebungslärmimmissionen allein auf die Wirkung 'Belästigung' bezieht und auf dem von Schultz modellierten Konzept der kollektiven, globalen Dosis-Wirkungs-Relationen beruht. Diesen Modellen gemeinsam ist die Bestimmung der raumbezogenen Geräuschbelastung mit einem an der lautesten Fassade des Wohngebäudes abgenommenen Einzahlenwert (i. d. R. ein gewichteter Tag-Nacht-Mittelungspegel oder ein ähnlicher Beurteilungspegel), aus der der Anteil wirkungsbetroffener Personen an der exponierten Gesamtbevölkerung rechnerisch abgeschätzt wird.

Dabei ist interessant, dass *Schultz* in seiner Grundlagenarbeit von 1978 nicht nach Geräuscharten differenziert, sondern einen messtechnisch ermittelten Gesamtpegel zugrunde gelegt hat. Die Schultz-Kurve in ihrer Urform ist demnach bereits auf kombinierte Umgebungslärmimmissionen bezogen, wobei ein einfaches Energiesummationsmodell zur Anwendung kommt, das die Intensitäten der verschiedenen Quellen undifferenziert zu einer Gesamtintensität aufaddiert. Die Gesamtbelastung ist in diesem Modell eine unmittelbar abgeleitete Funktion des energetischen Summenpegels. Es handelt sich damit um ein ausschließlich physikalisches Modell, das einzig die Intensitäten zur Beurteilung der Lästigkeit heranzieht. Der wesentliche Nachteil dieser nicht als spezifisches Modell anzusprechenden Methode liegt darin, dass weder die unterschiedliche Lästigkeitswirkung der verschiedenartigen Geräuschquellen noch räumliche Differenzierungen noch kumulative Wirkungen berücksichtigt werden. Daher ist dieses Modell kaum dazu geeignet, das

6.2 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

Zusammenwirken mehrerer Lärmquellen adäquat zu beschreiben. Dieses offensichtliche Defizit der Schultz-Kurve führte zu zahlreichen Weiterentwicklungen.

Im Folgenden wird aus der Vielzahl der vorliegenden Modelle eine Auswahl verschiedener Ansätze diskutiert, die sich sowohl hinsichtlich des methodischen Konzepts signifikant unterscheiden. Eine in der Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung von *Schulte-Fortkamp et al.* vorgenommene und zweckmäßige systematische Differenzierung dieser Modelle liegt in deren Parameterstruktur.⁷ Unterschieden zwischen sog. 'objektiven' Modellen, die allein von physikalisch beschreibbaren akustischen Gegebenheiten ausgehen, und Modellen mit sog. 'subjektiven' Korrekturtermen, die akzeptorbezogene Variablen wie Lästigkeitsurteile in die Bewertung einbeziehen bzw. allein auf derartigen subjektiven Bewertungsmerkmalen aufbauen. *Ortscheid und Wende* differenzieren dem gegenüber nach den vereinfachten Modelltypen 'Energie-Summationsmodell', 'Additionsmodell', 'Energie-Differenzmodell', 'Reaktions-Summationsmodell' und 'Summations-Inhibitionsmodell'.⁸

Für die hier vorzunehmende Untersuchung wird ein abweichender Differenzierungsansatz gewählt: Untersucht werden Modelle, die ohne Summenpegel arbeiten, Modelle mit physikalischem Summenpegel (entsprechend den 'objektiven' Modellen), Modelle mit explikativer Wirkungskorrektur, d. h. Modelle, die Annahmen zu den Wirkungsmechanismen der Quellenkombination enthalten und Modelle mit wirkungsstatistischen Korrekturtermen, deren Summenpegel sich durch statistische Kombination der Dosis-Wirkungs-Relationen für die einzelnen Umgebungslärmarten ergibt. Dies trägt den Modellierungsaktivitäten Rechnung, die nach 1996 mit einem klaren Schwerpunkt auf die wirkungsstatistische Kombination entwickelt haben. Vor dem Hintergrund der sehr widersprüchlichen Ergebnisse der verschiedenen Studien zu diesem Themenkomplex unterscheiden sich diese Modelle im methodischen Ansatz, in wesentlichen Grundannahmen und auch im praktischen Beurteilungsergebnis so stark, dass keine Synthese möglich erscheint, sondern die Modelle als konkurrierend bezeichnet werden müssen. Die Leistungsfähigkeit der Modelle ist nach der wissenschaftlichen Aussagekraft und der praktischen Anwendbarkeit zu differenzieren.

⁷SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte, RONNEBAUM, Thorsten und WEBER, Reinhard: Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung. Magdeburg: Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 1996.

⁸ORTSCHEID, Jens und WENDE, Heidemarie: Lärmwirkungen und Lärmsummation. In Tagungsband Lärmkongress 2000. Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg, 2000, S. 3.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

6.2.3.2 Modelle ohne Summenpegel

Die einfachsten für die Bestimmung der Gesamtlästigkeit aufgestellten Modelle nehmen keine Summation der kombinierten Umgebungslärmimmissionen vor. Es sind insbesondere zwei grundsätzlich verschiedene Konzepte zu unterscheiden, nämlich das Independent-effect-Modell, detailliert beschrieben in der Übersichtsarbeit von Taylor,⁹ und das Dominant-source-Modell.¹⁰

Das Independent-effect-Modell geht davon aus, dass sich die Gesamtbelästigung aus der Addition der einzelnen Belästigungsbeiträge durch die einwirkenden Umgebungslärmquellen ergibt. Die einzelnen Belästigungsbeiträge sind dabei Funktionen der Pegel der einzelnen Geräuschquellen analog zum Dosis-Wirkungs-Modell nach *Schultz*. Dadurch, dass die Funktionen auf die Geräuschart abgestimmt sind, wird den Lästigkeitsdifferenzen Rechnung getragen. Der Summationsansatz des Independent-effect-Modells ist jedoch insgesamt nicht tragfähig, weil durch die undifferenzierte Addition der Belästigungspotentiale ohne Berücksichtigung der tatsächlichen akustischen Überlagerung auch durch solche Quellen Belästigungsbeiträge einbezogen werden, die faktisch nicht oder kaum hörbar sind. Dadurch können hohe Belästigungswerte entstehen, die die im Feld empirisch beobachtbaren Werte bei weitem überschreiten.

Dem gegenüber basiert das Dominant-source-Modell auf der Hypothese, dass die Gesamtbelästigung gleich der Belästigung der dort am stärksten belästigenden Geräuschquelle ist. Die erste diesem Modell zugrunde liegende Hypothese ist, dass Menschen verschiedenartige Geräusche nicht summativ, sondern separiert wahrnehmen. Die zweite zur Funktionsfähigkeit des Modells notwendige Hypothese besteht darin, dass die Menschen trotz separierter Wahrnehmung gleichermaßen empfindlich oder unempfindlich auf alle Geräuscharten reagieren (oder dass sich Abweichungen statistisch ausgleichen). Das Dominant-source-Modell liefert trotz seiner geringen Komplexität weitgehende Übereinstimmungen mit den empirischen Ergebnissen von Betroffenenbefragungen. Das mag darauf zurückzuführen sein, dass in der Praxis sehr häufig Situationen auftreten, in denen eine Geräuschart stark im Vordergrund steht (z. B. nahe an vielbefahrenen Straßen bei gleichzeitiger Hintergrundbelastung durch eine weiter entfernte Schienenstrecke). In solchen Situationen nähern sich aufgrund der logarithmischen Zusammenhänge bei der Pegelsummation und der faktischen Maskierung der schwächeren Quelle durch die stärkere die Ergebnisse aller Modelle dem Dominant-source-Modell an. Schwächen zeigt

⁹TAYLOR, S. M.: A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources. *Journal for Sound and Vibration*, 81 1982, Nr. 1.

¹⁰BERGLUND, Birgitta, BERGLUND, U. und LINDVALL, Thomas: Loudness (or annoyance) summation of combined community noises. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70 1981, Nr. 6.

6.2 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

dieses Modell, wenn Immissionssituationen mit mehreren Quellen ähnlicher oder gleicher Lästigkeit zu beurteilen sind.

6.2.3.3 Modelle mit physikalischem Summenpegel

Das Energy-difference-model, beschrieben von Taylor¹¹, beruht auf dem Ansatz, dass die Gesamtbelästigung sowohl durch den Gesamtpegel der kombinierten Lärmquellen als auch durch die Pegeldifferenz zwischen den einzelnen Quellen bestimmt wird. Die Gesamtlästigkeit setzt sich zusammen aus einer Funktion des energetischen Summenpegels und Funktionen der Differenzen der Geräuschpegel der Lärmquellen. Der Nachteil dieses Modells liegt vor allem darin, dass die Lästigkeitsdifferenzen keine Berücksichtigung finden.

Das Modell 'Pressure Leq'¹² berechnet die Gesamtlästigkeit analog der Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels. Allerdings wird hier über die Amplituden des Schalldrucks gemittelt (Gewichtungparameter $k = 20$ statt 10) und nicht über Schallintensitäten. Dadurch wird erreicht, dass die Spitzenpegel bei zeitlich schwankenden Geräuschen deutlich schwächer gewichtet werden als beim äquivalenten Dauerschallpegel.

Im Vector model¹³ werden die Lautstärken und Lästigkeiten als Vektoren zusammengefasst. Die Gesamtbelästigung ergibt sich dann durch die Vektoraddition der Einzellautstärken (und -lästigkeiten). Die Interaktion der Einzelquellen wird über den Winkel zwischen den quellenspezifischen Vektoren berücksichtigt. Voraussetzung für die Anwendung dieses Modells ist, dass die quellenspezifischen Einzelbelästigungen bereits bekannt sind. Es schlägt lediglich einen Modus für die Kombination der Einzelgrößen vor. Je näher sich der Winkel an die beiden Extremfälle 0° und 180° annähert, desto weniger spiegelt das Ergebnis die tatsächliche Belästigungssituation wieder. Fraglich ist, ob allgemein für die Berechnung der Lästigkeit für alle Immissionssorte ein Winkel von 90° angenommen werden kann.

¹¹TAYLOR, S. M.: A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources. Journal for Sound and Vibration, 81 1982, Nr. 1.

¹²FLINDELL, I.H.: Pressure LEQ and multiple noise sources: a comparison of exposure-response-relationships for railway noise and traffic noise. Journal for Sound and Vibration, 87 1983, Nr. 2.

¹³BERGLUND, Birgitta, BERGLUND, U. und LINDVALL, Thomas: Loudness (or annoyance) summation of combined community noises. Journal of the Acoustical Society of America, 70 1981, Nr. 6.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

6.2.3.4 Modelle mit explikativer Wirkungskorrektur

Die Modelle entwickelt worden, die in unterschiedlicher Weise akustisch objektive Komponenten (energieäquivalente oder modifizierte Pegelsummation) mit wahrnehmungsbezogenen Korrekturtermen (Dosis-Wirkungs-Kurven, Pegeldifferenzen u.a.) kombinieren.

Das Response-summation-model¹⁴ geht davon aus, dass die Gesamtbelästigung ausgehend vom Summenpegel beschrieben werden kann, dass aber darüber hinaus eine gegenseitige Beeinflussung der quellenspezifischen Belästigungen angenommen werden muss. Dazu wird zuerst die Pegeldifferenz ermittelt, um die sich zwei Dosis-Wirkungs-Relationen bei gleicher Lästigkeit unterscheiden. Danach wird diese Pegeldifferenz für jede Quelle mit dem Intensitätsverhältnis zwischen dem spezifischen Geräuschanteil, mit dem Pegel und dem Gesamtgeräusch mit dem Pegel gewichtet. Diese Summation wird anschließend für alle Quellen durchgeführt und zum Gesamtpegel addiert, mit dem die Gesamtlästigkeit bestimmt wird.

Ebenso wie das Modell von Ollerhead versucht das Summation and inhibition model über die Energiesummation und einen Korrekturterm, der über Dosis- / Wirkungskurven ermittelt wird, die Gesamtlästigkeit zu beschreiben. Zur Bestimmung des Korrekturterms wird zuerst aus den Dosis- / Wirkungskurven die Pegeldifferenz zwischen den beiden Quellen bei gleicher Lästigkeit bestimmt.¹⁵ Anschließend wird die entsprechende Kurve, die der Pegeldifferenz entspricht, anhand einer von Powell vorgeschlagenen Funktion bestimmt. Die Gesamtlästigkeit entspricht einer Funktion des Summenpegels, zu dem der ermittelte Korrekturterm addiert wird.

6.2.3.5 Modelle mit wirkungsstatistischen Korrekturtermen

Vos hat für sein quantitatives Modell in einer Laborstudie die Lästigkeitsunterschiede für Impulsgeräusche (Gewehrschüsse), Straßenverkehr und Flugverkehr näher untersucht und gibt für diese Geräusche detaillierte Verfahren zur Berechnung der Lästigkeit an.¹⁶ Zur Bestimmung der Gesamtlästigkeit werden die Straßenverkehrsgeräusche als Referenz definiert. Dann werden die Pegel der anderen Geräuschquellen durch einen Korrek-

¹⁴OLLERHEAD, J. B.: Predicting public reaction do noise from mixed sources. In Proceedings InterNoise. Band 78, 1978.

¹⁵POWELL, C.A.: A Summation an inhibition model of annoyance response to multiple community noise sources. In Zrvhnlvl Paper 1479. Hampton: NASA Langley Research Center, 1979.

¹⁶VOS, Henk: Annoyance caused by simultaneous impulse, road-traffic, and aircraft sounds. A quantitative model. Journal of the Acoustical Society of America, 1992, Nr. 6.

6.2 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

turfaktor so modifiziert, dass sie der Lästigkeit von Straßenverkehrsgeräuschen entsprechen (Renormierung). Anschließend werden sie zu einem Gesamtpegel summiert.

Vos schlägt dafür die Anwendung der Pegelkorrektur $k=15$ vor, was bewirkt, dass zwei Einzelschallquellen mit gleichem korrigierten Leq Wert zu einem Gesamtbewertungspegel führen, der 4,5 dB über dem der korrigierten Leq Werte liegt. Mit $k=10$ würde eine energetische Addition repräsentiert, $k=20$ entspräche einer Amplitudensummation. Das Modell von Vos ist eines der wenigen Modelle zur Bestimmung der Gesamtgeräuschbelastung, welches eine Summationsvorschrift anwendet, die über rein intensitätsmäßige Addition hinausgeht, da selbst nach Umrechnung auf die Referenzgeräuschquellenart die unterschiedlichen Quellenarten noch Berücksichtigung finden. Allerdings sind die allein durch eine Laborstudie ermittelten Dosis-Wirkungs-Kurven, auf denen das Modell beruht, wohl nicht tragfähig.

Ausgehend von diesen Defiziten hat Miedema das quantitative Modell von Vos zum Annoyance-equivalent-Modell weiterentwickelt.¹⁷ Es nutzt ebenso wie das quantitative Modell eine Referenzquelle, in die es die unterschiedlichen Lärmquellearten transformiert (renormiert) und anschließend addiert. Die Gesamtbelästigung entspricht dann der Belästigung der Referenzquelle beim summierten Pegel. Ein wesentlicher Unterschied zum Berechnungsverfahren des quantitativen Modells von Vos liegt darin, dass für die Summation $k=10$ und nicht $k=15$ gewählt wurde, dass also bei diesem Modell eine quasi-energetische Addition erfolgt. Damit entspricht die Summationsmethode derjenigen bei gleichartigen Geräuschquellen, was eine wesentlich bessere Interpretierbarkeit und Kommunizierbarkeit der Ergebnisse erlaubt. Miedema gibt von Vos abweichende Dosis-Wirkungs-Kurven an, mit denen es möglich ist, den Summenpegel in Belästigungsreaktionen der Referenzquelle umzurechnen. Diese integrieren eine große Datenbasis aus Feld- und Laborstudien und liegen für Straße, Schiene und Fluglärm vor. Sie beziehen sich auf die Pegelheiten DNL und DENL (day-night-level und day-evening-night-level) und sind somit direkt auf die nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie zu berechnenden Pegel anwendbar. Mit den Termen ist es überdies möglich, den Gesamtpegel in den prozentualen Anteil wenig belästigter (LA), belästigter (A) und stark belästigter (HA) Personen zu transferieren. Dem Grunde nach ist dieses Modell eine stark praxisorientierte Weiterentwicklung des quantitativen Modells von Vos für die Lästigkeitsvorhersage bei kombinierten Verkehrsgeräuschen.

¹⁷MIEDEMA, Henk M. E.: Quantification of annoyance caused by environmental noise (and odour). Nijmegen: Katholieke Universiteit Nijmegen, 1996.

6.2.3.6 Gesamtschau und Bewertung

Die fachliche Bewertung der genannten Modelle für die Ermittlung der Belästigung durch kombinierte Umgebungslärmimmissionen ist insofern schwierig, als diese alle grundsätzlich auf dem von Schultz konzipierten Dosis-Wirkungs-Paradigma basieren. Auch der fachliche Detaillierungsgrad ist praktisch einheitlich (ein repräsentativer Immissionspunkt, ein Einzahlenwert für die Geräuschbelastung, ein undifferenzierter Summationsalgorithmus, ein Belästigungsindikator). Dies führt dazu, dass sich alle Inkonsistenzen, Unschärfen und Einschränkungen, die das Schultz-Modell kennzeichnen, auf die Summationsmodelle übertragen. Systematische Unterschiede zeigen sich letztlich nur im eigentlichen Summationsalgorithmus, d. h. in der Funktion, mit der die auf den (einzigen) beurteilungsrelevanten Immissionspunkt eines Wohnstandorts einwirkenden Geräuschbeiträge der verschiedenartigen Umgebungslärmquellen zu einem Gesamtpegel addiert werden. Bereits *Wende und Ortscheid* stellen fest, dass sich teilweise konträre Befunde zeigen und sich insgesamt nicht ableiten lässt, dass eines der Modelle fachlich klar zu präferieren ist.¹⁸

Die einzige Möglichkeit, Qualitätsaussagen zu diesen Summationsfunktionen herzuleiten, liegt in der Auswertung der Korrelationsmaße im Vergleich empirischer Daten mit modellierten Abschätzungsergebnissen, also durch statistischen Hypothesentest. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Modelle sowohl mit globalen Dosis-Wirkungs-Relationen für die sektorale Einwirkung wie auch mit einem globalen Summationsalgorithmus arbeiten, der einheitlich für alle Gebiete und Geräuschkombinationen angewandt wird. Eine tragfähige Qualitätsbewertung der Summationsalgorithmen erfordert somit die Einbeziehung einer möglichst großen empirischen Datenbasis, die verschiedenste Situationen mit einbezieht. Dies betrifft beide großen Modellkomponenten, nämlich die nach Quellenarten differenzierten Dosis-Wirkungs-Relationen und den Summationsalgorithmus. Modelltests mit geringer Datenbasis, z. B. die im Rahmen der Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung 1996¹⁹ durchgeführten Berechnungen mit den Daten eines Stadtquartiers, führen letztlich nicht weiter, weil ortsspezifische Besonderheiten, z. B. charakteristische Quellenkombinationen, besondere Abschirmungsverhältnisse, nicht repräsentative Bevölkerungsstrukturen u. v. m. die Auswertung verzerren können.

Gütetests für Dosis-Wirkungs-Relationen wie Summationsalgorithmen mit großen Datenmengen sind zum jetzigen Zeitpunkt noch immer durch das Fehlen standardisiert er-

¹⁸ORTSCHEID, Jens und WENDE, Heidemarie: Lärmwirkungen und Lärmsummation. In Tagungsband Lärmkongress 2000. Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg, 2000.

¹⁹SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte, RONNEBAUM, Thorsten und WEBER, Reinhard: Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung. Magdeburg: Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 1996.

6.2 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

hobener Geräuschbelastungs- und Belästigungsdaten behindert. Die größte verfügbare Datenbasis wurde durch *Miedema et al.* zusammengestellt und umfasst derzeit ca. 80.000 Datensätze.²⁰ Danach ergibt sich eindeutig die Vorzugswürdigkeit der wirkungsstatistischen Kombination mit dem Annoyance-equivalents-Verfahren z. B. gegenüber dem Dominant-Source-Konzept und anderen Verfahren. In der Fachdiskussion wird die Validität der zugrunde liegenden Datensätze in Frage gestellt, da z. T. sehr alte Befragungen einbezogen sind und insgesamt weder die akustische Datenbasis noch die Befragungsdaten methodisch einheitlich ist. Dies ist auf die bis vor kurzem fehlende Standardisierung der Belästigungsskalen und auf die erst mit der Umgebungslärmrichtlinie für Europa erreichte, aber noch nicht umgesetzte Vereinheitlichung der Geräuschdeskriptoren und Berechnungsverfahren zurückzuführen ist. Insofern mussten *Miedema et al.* die ihnen vorliegenden Daten statistisch auf einheitliche akustische Daten und Belästigungsskalen 'kalibrieren' und dabei auch fehlende Angaben durch Annahmen ersetzen; ein Verfahren, das zwangsläufig zu Zweifelsfragen führt, die auch von *Miedema et al.* nicht in Abrede gestellt werden. Dieses Problem ist nur durch die Verfügbarkeit umfangreicher Datensätze für die Geräuschbelastung und die damit assoziierte Belästigungswirkung lösbar. Die Umsetzung der strategischen Lärmkartierung in Europa, die mit einer vereinheitlichten und zentralisierten Datenhaltung verbunden ist, wird absehbar dazu führen, dass sich die Datenbasis auf der akustischen Seite ab 2008 sprunghaft verbessern wird. Beginnend mit den großen Ballungsräumen werden vereinheitlichte Geräuschbelastungsdaten verfügbar sein, die kurzfristig und kostengünstig durch Belästigungsdaten ergänzbar sind, z. B. im Rahmen von Bevölkerungsbefragungen, in die die standardisierten ICBEN-Fragen eingearbeitet werden.

Hieraus können sich ohne Weiteres Verschiebungen in den Koeffizienten der von *Miedema et al.* ermittelten Dosis-Wirkungs-Kurven und damit auch in den Summationsfunktionen ergeben. Es ist unstrittig, dass die dort herangezogenen Daten z. T. sehr alt sind und außerdem Unschärfen in der Immissionsermittlung auftreten. Schon daraus, aber auch aus möglichen regionalen Differenzierungen können Abweichungen resultieren. Diese stellen aber nicht die Methode als solche in Frage, sondern erfordern lediglich eine Aktualisierung der Zahlenwerte. Es ist auf Basis der vorliegenden Daten zur Belästigung nicht zu erwarten, dass sich daraus massive Trendverschiebungen ergeben könnten; vielmehr ist davon auszugehen, dass auch aktualisierte Dosis-Wirkungs-Kurven streng monoton steigende Funktionen mit nach Geräuscharten differenzierten Steigungsverhältnis-

²⁰MIEDEMA, Henk M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

sen darstellen werden.²¹ Das Anwendungsrisiko ist insofern auch bei Verwendung 'alter' Daten ausgesprochen gering.

6.2.4 Modelle für Tertiärwirkungen

Die Lärmwirkungsforschung ist im Bereich tertiärer Lärmwirkungen, insbesondere der Manifestation von Krankheiten, grundsätzlich von Erkenntnis- und Datendefiziten gekennzeichnet. Die vorliegenden epidemiologischen Daten zeigen klare Trends, die zumindest für bestimmte Bevölkerungsgruppen auf eine signifikante Risikoerhöhung für schwere Krankheiten bei langfristiger hoher Geräuschbelastung am Wohnstandort hinweisen. Differenzierte Untersuchungen für überlagerte Umgebungslärmimmissionen oder gar Kombinationsfunktionen sind nicht bekannt. Die vorliegenden Modelle sind noch nicht so weit spezifiziert, dass Aussagen zu bestimmten Geräuscharten und Kombinationen getroffen werden könnten. Insofern sind die vorliegenden Studienergebnisse nicht zur prognostizierenden Modellierung geeignet, sondern können eher dazu dienen, präventive Belastungsgrenzen zu definieren.

Zu verweisen ist aber auf die in aktuellen Studien, insbesondere der LARES²² und der NaRoMi-Studie²³ sowie dem Spandauer Gesundheits-Survey, festgestellten starken Assoziationen zwischen Belästigung und langfristig erhöhtem Krankheitsrisiko. Vorsichtig übertragen bedeutet dies, dass sich zumindest ein Teil der Gesundheitsrisiken - nämlich die nicht autonomen, sondern belästigungsmoderierten Risikofaktoren - durch Verringerung insbesondere der Anzahl bzw. des Bevölkerungsanteils subjektiv stark belästigter Personen wirksam reduzieren lassen. Ob dies eine abdeckende Betrachtung ist und die Anwendung der für die Belästigung diskutierten Prognosemodelle für kombinierte Umgebungslärmbelastungen und darauf aufbauende Minderungskonzepte auch auf Gesundheitsrisiken erlaubt, kann hier nicht verifiziert werden und muss daher eine qualitative Einschätzung bleiben.

²¹ So auch GUSKI, Rainer: Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6.

²² KLEIN, Günter: Wohngesundheit - Erste Ergebnisse einer Studie der WHO. umwelt-medizin-gesellschaft, 17 2004, Nr. 3, S. 217.

²³ BABISCH, Wolfgang: Die NaRoMi-Studie. Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm. Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt, Ergebnisse der NaRoMi-Studie (WaBoLu-Hefte), 2004, Nr. 2.

6.3 Anwendungsorientierte Beurteilungskonzepte

6.3.1 Zielrichtungen und Grundkonzepte

Die vorliegenden anwendungsorientierten Beurteilungskonzepte für kombinierte Geräuschimmissionen unterscheiden sich deutlich in ihrem Grundansatz. Zu unterscheiden sind Konzepte, die auf Basis der von der Lärmwirkungsforschung vorgeschlagenen Dosis-Wirkungs-Beziehungen handhabbare Vorgehensweisen und Darstellungsformen für die Anwendung auf Siedlungsgebiete entwickeln, und Konzepte, die darauf gerichtet sind, die bestehenden Rechtsvorschriften – insbesondere die auf Einzelquellen gerichteten Richt- und Grenzwertsysteme – zu einem integrierten Gesamtsystem zusammenzufügen und dabei die Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung mehr oder weniger intensiv zu berücksichtigen.

Ebenfalls systematisch zu unterscheiden sind Modelle, die der gebietsbezogenen Wirkungs- und Risikoabschätzung dienen, und solche, die auf die konkrete Beurteilung einzelner Gebäude und Grundstücke gerichtet sind.

6.3.2 Wirkungsorientierte Konzepte

6.3.2.1 Niederländisches Modell

Das niederländische Modell zur Bewertung von Lärmbelastungen im Siedlungsraum²⁴ wurde entwickelt, um die Belästigung und Schlafbeeinträchtigung durch Umgebungslärm in Wohngebieten unabhängig von der Lärmquellenart einheitlich abschätzen und bewerten zu können.

Diese einheitliche Bewertung wird durch eine wirkungsäquivalente Pegelrenormierung erreicht, welche aus quellenspezifischen Dosis-Wirkungs-Relationen gewonnen wird. Methodisch entspricht das Niederländische Modell somit dem Annoyance-Equivalents-Konzept von *Miedema* und *Vos*, die an der Entwicklung beteiligt waren.

Das Niederländische Modell arbeitet mit zwei Geräuschdeskriptoren, nämlich dem Environmental Exposure Level EEL und dem Environmental Night-time Exposure Level ENEL. Diese sind als Beurteilungspegel jeweils vom energieäquivalenten Dauerschallpegel abgeleitet, wobei Korrekturfaktoren für Impulshaltigkeit und für tonale Komponen-

²⁴GEZONDHEIDSRAAD (Hrsg.): Assessing noise exposure for public health purposes. Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands), 1997.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

ten zum Einsatz kommen. Der EEL ist zudem zeitlich gewichtet. Dazu wird der Tag in drei Zeitblöcke (7 bis 19, 19 bis 23 und 23 bis 7 Uhr) unterteilt und die Pegel den unterschiedlichen Empfindlichkeiten für diese Tageszeiten angepasst. Abends wird ein Zuschlag von 5 dB(A) und nachts ein Zuschlag von 10 dB(A) berücksichtigt. Anschließend werden die korrigierten Pegel der Zeitbereiche wieder zu einem 24-Stunden-Pegel addiert und in einem repräsentativen Jahreswert umgerechnet. Beim ENEL entfällt die zeitliche Gewichtung.

Zusätzlich zur zeitlichen Gewichtung und Korrektur von Auffälligkeiten erfolgt die Pegelrenormierung auf die Belästigungswirkung des Straßenverkehrs. Auf Basis der 1997 vorliegenden Dosis-Wirkungs-Relationen konnte dieser Renormierungsschritt für die nächtliche Schlafstörung nicht dargestellt werden, so dass mit dem Niederländischen Modell nur die globale Belästigung in der Gesamtschau aller Umgebungslärmarten modelliert werden kann. Das Environmental Exposure Level errechnet sich dann aus den renormierten Pegeln ($L_{adjusted.den}$) und dem Gewichtungsfaktor, der die unterschiedliche Lästigkeit der Lärmarten berücksichtigt und sich aus spezifischen Dosis-Wirkungs-Relationen errechnet. Die Renormierung und Ergebnisdarstellung bezieht sich auf den Anteil stark belästigter (highly annoyed) Personen.

In den Niederlanden wurde damit auf Basis noch unvollständiger Daten und Erkenntnisse ein Prognosemodell für kombinierte Umgebungslärmimmissionen auf Basis ausgewählter Wirkungsindikatoren (starke Belästigung und Schlafstörung) für die praktische Anwendung entwickelt und umgesetzt. Damit haben die Niederländer im Bereich der Europäischen Union eine Vorreiterrolle eingenommen und einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die europäische Lärmschutzpolitik gewonnen. Vergleicht man die Wirkungs- und Pegelkriterien des niederländischen Modells mit denen der ungefähr fünf Jahre später erlassenen Umgebungslärmrichtlinie, so zeigen sich große Übereinstimmungen. Die EU-Beurteilungspegel L_{DEN} und L_{Night} entsprechen mit Ausnahme der Impuls- und Tonkorrektur dem EEL und dem ENEL, auch deren Zweck (EEL bzw. L_{DEN} zur Bestimmung der globalen Belästigung; ENEL bzw. L_{Night} zur Bestimmung der Schlafbeeinträchtigung) ist identisch. Es ist abzuwarten, ob die Europäische Union im Rahmen der noch ausstehenden verbindlichen Einführung von Dosis-Wirkungs-Relationen auch dem belästigungsäquivalenten Renormierungskonzept folgen wird; die Struktur der Dosis-Wirkungs-Relationen, die auf den europäischen Beurteilungspegel angewendet werden können, ist jedenfalls bereits vorgeprägt, und es ist nicht erkennbar, dass die durch die Umgebungslärmrichtlinie eingeführten Pegelkriterien mit anderen Beurteilungskonzepten harmonisieren könnten.

6.3.2.2 URBIS (Niederlande)

Das seit 1998 von der niederländischen TNO kommerziell angebotene und seither fortentwickelte URBIS²⁵ ist ein integriertes, auf digitalen Stadtmodellen und Geodatenbanken basierendes System zur Erfassung emittierender Raumnutzungen, zur Modellierung raumbezogener Immissionsbelastungen (insbesondere Lärm und Luftverunreinigungen) und zur Wirkungsprognose. Das Umgebungslärm-Modul implementiert eine 1:1-Umsetzung des Annoyance-Equivalent-Modells auf Basis der aktuellen Dosis-Wirkungs-Relationen und Kombinationsfunktionen nach *Miedema et al.*. Auch hier werden als Leitwirkungen die Belästigung und die Schlafstörung betrachtet.

Die Auswertung beschränkt sich auf die rechnerische Ermittlung und Darstellung von überschlägigen Betroffenenzahlen auf Quartiersebene, wobei jeweils auf eine einheitliche Intensität der Belästigung bzw. Schlafstörung abgestellt wird. Obwohl *Miedema et al.* die Nutzbarkeit der Ergebnisse für planungspolitische Entscheidungen hervorheben, ist gerade diese fraglich bzw. eingeschränkt. Durch die Beschränkung auf die genannten Einzelwerte ist es nämlich weder möglich, die Ursachen für die überschlägig berechneten Betroffenheiten zu identifizieren, noch kann eine Aussage über die individuelle Betroffenheitsintensität und ihre Polarität getroffen werden. So reduziert sich der Aussagegehalt dem Grunde nach auf eine grobe Tendenzaussage zur gesamtstädtischen Belastungsverteilung, die durch vertiefte Untersuchungen zu konkreten Ursachen und Betroffenheiten zu ergänzen ist.

6.3.2.3 Richtlinienentwurf VDI 3722, Blatt 2 (Deutschland)

Der Richtlinienentwurf E-VDI 3722-2 schlägt zwei Verfahren zur Bewertung kombinierter Umgebungslärmimmissionen vor, die die repräsentativen Wirkungen Belästigung und Schlafstörung abdecken sollen. Dabei werden nur Verfahren, nicht aber konkrete Dosis-Wirkungs-Relationen vorgeschlagen.

Hinsichtlich der Modellierung der Belästigungswirkung folgt der Richtlinienentwurf grundsätzlich dem Annoyance-Equivalents-Modell, leitet also Betroffenenperzentile auf Basis eines Gesamtimmissionspegels her, der sich aus der energetisch addierten Summe von quellspezifischen Immissionspegeln ergibt, die zu diesem Zweck auf die Lästigkeitwirkung des Straßenverkehrs renormiert werden. Anders als das niederländische URBIS-Konzept, das dem Miedema-Modell entsprechend nur die Gesamtimmissionspe-

²⁵MIEDEMA, Henk M. E. et al.: Urbis: Instrument for Local Environmental Surveys (Executive Summary). Band TNO report TNO/VGZ/99.064, Leiden: TNO, 1999.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

gel der am stärksten belasteten Fassade ausgewertet, wird in der E-VDI 3722-2 ein abweichendes Verfahren gewählt. Dort werden alle Fassaden der zu bewertenden Gebäude mit äquidistanten Immissionspunkten belegt, auf die die Bewohner (fiktiv) gleichmäßig verteilt werden. Die Betroffenheiten (Perzentile bzw. absolute Betroffenenzahlen) werden dann für jeden Immissionspunkt separat berechnet und anschließend summiert. Dadurch werden Belastungsdifferenzen zwischen einzelnen Gebäudeseiten in die Modellierung mit einbezogen. Bei gleicher Belastung der 'lautesten Fassade' reduziert sich der Anteil der Betroffenen je Gebäude bei sinkender Belastung der geringer exponierten Fassade(n). Dies greift in gewissem Umfang die vereinzelt, insbesondere von *Kihlman et al.* und *De Ruitervorliegenden* Forschungsergebnisse zu den Effekten des Vorhandenseins sog. 'leiser Fassaden' an Wohngebäuden auf. Allerdings liegen dafür keine Dosis-Wirkungs-Relationen vor, die denen des Annoyance-Equivalents-Modells entsprechen. Es ist nicht eindeutig zu beantworten, ob das Annoyance-Equivalents-Modell für differenzierte Pegelbetrachtungen methodisch geeignet ist; die Ergebnisse von *Kihlman et al.* betrachten nur Gebäude, bei denen große Belastungsdifferenzen (Zielgröße 20 dB(A)) bestehen, während die E-VDI 3722-2 eine fassadendifferenzierte Herangehensweise auch bei geringen Differenzen mit einer streng monoton steigenden pegelabhängigen Funktion vorsieht. Die E-VDI 3722-2 betritt somit in diesem Punkt methodisches Neuland, ohne dass dies durch wirkungsseitige Erkenntnisse unterlegt werden könnte. Das Fehlen geeigneter Dosis-Wirkungs-Relationen wirkt sich auch in der Form aus, dass das in E-VDI 3722-2 vorgegebene Verfahren praktisch nicht anwendbar ist. Die im informatorischen Anhang beispielhaft durchgeführte Anwendung mit Miedema-Kurven verlässt deren Anwendungsbereich und führt zu Ergebnisfehlern in nicht bestimmbarer Größenordnung.

Für die Bewertung der Schlafbeeinträchtigung wird mit dem maximalpegelinduzierten Aufweckpotential auf eine primäre Lärmwirkung zurückgegriffen, die mit Häufigkeitsverteilungen ereignisbasiert modelliert wird. Damit wird auf die derzeit am besten untersuchte Wirkung im Schlafzeitraum zurückgegriffen, wobei noch unklar ist, ob diese Betrachtung für Schlafbeeinträchtigungen abdeckend ist oder ob sich bei Einbeziehung weiterer Kriterien neben dem Aufwachen andersartige Wirkungszusammenhänge ergeben, die abweichende Modellierungsansätze erfordern.

Zur Anwendung des Modells müssen Maximalpegelstatistiken für alle einwirkenden Quellen vorliegen. Dies ist insofern hervorzuheben, als damit ein – mit Ausnahme des Luftverkehrs – bislang kaum gebräuchliches Pegelkriterium benötigt wird, das sich aus der strategischen Lärmkartierung nach der Umgebungslärmrichtlinie nicht oder nur in sehr grober Näherung prognostizieren lässt. Probleme sind vor allem beim Straßenverkehr zu erwarten, bei dem das Maximalpegelgeschehen besonders stark von zufälligen

Einflüssen und örtlichen Besonderheiten abhängt, die durch Berechnungsverfahren kaum erfasst werden können. - Die E-VDI 3722-2 gibt für die Schlafbeeinträchtigung kein Verfahren zur Abschätzung von Betroffenenzahlen an, sondern beschränkt sich auf die Modellierung einer kumulierten ortsbezogenen Aufweckwahrscheinlichkeit. Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage nach dem Anwendungsziel des Verfahrens. Dies stellt ein typisches Problem bei der Modellierung von Primärwirkungen dar, für die keine direkte Korrelation mit langfristigen Wirkungen fundiert werden kann. Ein denkbarer, im Richtlinienentwurf aber nicht formulierter Ansatz ist die Modellierung kumulierter Aufweckereignisse je Gebäude oder Gebiet, aus dem sich eine eindimensionale, lineare Optimierungsfunktion (Reduzieren der Aufweckereignisse) ableiten lässt. Ob diese allerdings mit der Entstehung sekundärer und tertiärer Lärmwirkungen korreliert, ist kaum abzuschätzen. Auch stellt sich dann - im Sinne einer gebietsbezogenen Anforderung - die Frage nach der sachgemäßen Bevölkerungszuordnung zu den Immissionspunkten.

Insgesamt liegt mit der E-VDI 3722-2 ein Richtlinienentwurf vor, der kein einheitliches Modellierungskonzept aufstellt, sondern – entsprechend der Forschungssituation – von heterogenen Ansätzen geprägt ist. Während für die Belästigung ein globaler, für große Gebiete geeigneter Modellierungsansatz aufgenommen und partiell weiterentwickelt wird, wird für die Schlafbeeinträchtigung ein Ansatz gewählt, der sehr detaillierte Kenntnisse erfordert und dem Grunde nach nur kleinräumig angewendet werden kann. Es ist durchaus fraglich, ob sich die vorgeschlagenen Verfahren für die praktische Anwendung eignen. Für das hinsichtlich der Pegeldifferenzierung neuartige Belästigungsmodell fehlen bislang geeignete Dosis-Wirkungs-Relationen, beim Modell für die Schlafstörung dürften sich praktische Probleme bei der Erhebung der Maximalpegelstatistiken ergeben.

6.3.2.4 SPI-Modell (Norwegen)

Die norwegische Regierung hat zur Abschätzung und Beurteilung der durch Umgebungslärm insgesamt hervorgerufenen Beeinträchtigungen mit dem SPI (stoyplageindex) einen Einzahlindikator verbindlich eingeführt. Für die Konzeption dieses Indikators wurden folgende Anforderungen formuliert:²⁶

- Gute Erfassung des Lärmproblems,
- Einbeziehung der Anzahl der in unterschiedlicher Intensität betroffenen Menschen,
- Vereinfachung des Vergleichs verschiedener Geräuscharten,

²⁶GJESTLAND, Trulls, TREMOEN, S. und KIELLAND, J.B: SPI - An indicator for assessing total noise impact. In Proceedings Forum Acusticum 2002. Sevilla: European Acoustics Association, 2002.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

- international akzeptierte fachliche Basis.

Zur Umsetzung dieser Anforderungen wurde ein Modell konzipiert, dessen fachliche Basis die von *Miedema et al.* ermittelten Dosis-Wirkungs-Relationen für die Belästigung durch Umgebungslärm sind. Auch das Annoyance-Equivalents-Konzept zur Pegeltransformation (Renormierung auf den Straßenverkehr) wird übernommen. Für die Modellierung der Gesamtbelästigung wird jedoch ein gegenüber der niederländischen Herangehensweise alternativer Ansatz gewählt, der die gesamte Bandbreite der Wirkungsintensität mit einbezieht. Während im niederländischen URBIS-Konzept eine Auswertung der stark belästigten (highly annoyed) Menschen erfolgt, bezieht das SPI-Modell auch geringere Wirkungsintensitäten ein und nimmt eine Gewichtung vor. Nach der bereits dargestellten ICBEN-Normierung wird die Belästigung in fünf Intensitätsstufen differenziert, die verbalisiert die Bandbreite zwischen 'überhaupt nicht belästigt' bis 'extrem belästigt' abdecken. Diese Intensitätsstufen können grundsätzlich in eine äquidistante Skala (annoyance score) mit den Extremen 0 (entspricht 'überhaupt nicht belästigt') und 1 (entspricht 'extrem belästigt') und der Mittellage 0,5 (entspricht 'moderat belästigt') umgesetzt werden.²⁷ Durch einfache Querschnittsanalyse kann damit für beliebige Geräuschpegel die durchschnittliche annoyance score berechnet werden. Bei der Entwicklung des SPI wurden diese statistischen Analysen durchgeführt und auf Basis der Miedema-Kurven vereinfachte (lineare) Funktionen zur pegelabhängigen Prognose der durchschnittlichen annoyance score, differenziert nach Geräuscharten, gebildet. Dabei weist die Funktion für den Fluglärm die stärkste Steigung auf, gefolgt von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Eine Funktion für Gewerbelärm wurde nicht abgeleitet. Die Gründe dafür sind hier nicht nachvollziehbar: Denkbar ist, dass die Dosis-Wirkungs-Relationen für Gewerbelärm als nicht hinreichend stabil eingeschätzt wurden. Da in Norwegen ähnlich strikte Begrenzungswerte für den Gewerbelärm gelten wie in Deutschland, ist aber auch möglich, dass diese Umgebungslärmart als irrelevant eingeschätzt und bewusst ausgespart worden ist.

Der SPI berechnet sich durch Renormierung der lärmartenspezifischen repräsentativen energieäquivalenten Dauerschallpegel der Wohneinheiten (höchstbelastete Fassade) mit den genannten Näherungsfunktionen, anschließende energieäquivalente Summation und Ermittlung der auf Straßenverkehrslärm kalibrierten annoyance score. Diese annoyance score wird dann mit der Bewohnerzahl der Wohneinheit multipliziert. Der so modellierte SPI kann in (unrealistischen) Extremfällen den Werte 0 (niemand belästigt) bzw. maximal den Wert der Bewohnerzahl (alle äußerst belästigt) annehmen.

²⁷ FIELDS, J. M. et al.: Recommendation for shared annoyance questions in noise annoyance surveys. In Noise effects '98. Sydney: Noise effects 1998 Pty., 1998.

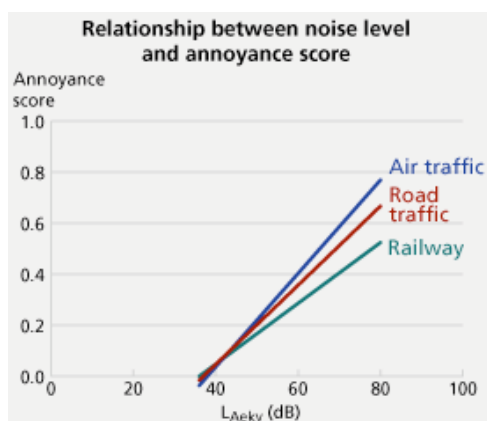


Abbildung 6.2: Näherungsfunktionen für die durchschnittliche Belästigungsintensität

Mit dem SPI wird in Norwegen der am stärksten verallgemeinerte und vereinfachte Indikator für eine Gesamtbelastung durch Umgebungslärm angewandt. Auf Basis nur einer Lärmwirkung, nämlich der Belästigung, erfolgt eine alle Intensitätsstufen übergreifende Aggregation der Wirkungsprognose, die einen vordergründig leicht verständlichen Einzahlenwert ergibt. Durch die Nutzung der annoyance score wird außerdem der Umstand berücksichtigt, dass gerade die Belästigung ein sehr vielgestaltiges Phänomen ist und die in anderen Bewertungssystemen sowie im Immissionsschutzrecht allgemein übliche Modellierung der starken Wirkungsausprägung (z. B. mit dem Indikator '% highly annoyed') nur einen geringen Ausschnitt der Wirkungsskala, nämlich die oberen 20 %, berücksichtigt. Durch die Einbeziehung auch geringer Belästigungsintensitäten in den Indexwert und die daraus resultierende niedrige Irrelevanzschwelle unterhalb von 40 dB(A) verdeckt der SPI gerade bei Betrachtung größerer Gebiete die Belastungsspreizung und erlaubt vor allem keinen Rückschluss auf hohe und extreme Belastungen (hot-spots). Der SPI ist dadurch kaum mehr interpretierbar und erlaubt keine Ableitung von Handlungsprioritäten. Ähnlich wie beim niederländischen URBIS-Konzept liegt hier lediglich ein grob orientierendes Modell zur Abschätzung der globalen Belastungsverteilung im Siedlungsraum vor.

6.3.2.5 TÜV-Gesamtlärmstudie

Die sog. TÜV-Gesamtlärmstudie²⁸ erarbeitet einen anwendungsorientierten Vorschlag zur Implementierung eines auf kombinierte Umgebungslärmimmissionen gesamthaft anzuwendenden Richt- und Grenzwertsystems. Ausgangspunkt sind umfangreiche Überle-

²⁸TEGEDER, Klaus et al.: Beurteilung und Bewertung von Gesamtlärm (Gesamtlärmstudie). Köln: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme, 2000.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

gungen zur Bestimmung der im deutschen Immissionsschutzrecht abstrakt normierten Schwellen zur 'erheblichen Belästigung' und zur 'Gesundheitsgefahr' mit der Schlussfolgerung der Quellenunabhängigkeit und Akzeptororientierung dieser Begriffe. Damit waren für die TÜV-Gesamtlärmstudie zwei wesentliche Prämissen definiert: Zum Einen kam es nicht darauf an, wirkungsspezifische Dosis-Wirkungs-Relationen für eine quantitative raumbezogene Modellierung zu bestimmen, sondern darauf, nachvollziehbare Maßstäbe für einheitliche Schwellenwertsetzungen zu definieren. Zum Anderen war eine möglichst weitgehende Orientierung am Bestand des deutschen Immissionsschutzrechts vorgeprägt.

Neben der Ableitung von Richt- und Grenzwerten, die die TÜV-Gesamtlärmstudie an der Regelung der 16. BimSchV (als Gesamt-Richtwert für Misch- und Wohngebiete) orientiert bzw. als Bandbreite aus der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts antizipiert, wird ein differenzierter Summationsalgorithmus vorgeschlagen. Für die Anwendung auf Richtwerte (Wirkungsstandard 'erhebliche Belästigung') basiert er auf der Korrektur der für jede Umgebungslärmart zu ermittelnden energieäquivalenten Dauerschallpegel mit Impuls- und Tonzuschlägen sowie einem lärmartspezifischen Bonus bzw. Malus. Durch diese Korrektur soll eine für die Belästigung ungefähr wirkungsadäquate Kalibrierung der Mittelungspegel erreicht werden. Die so gebildeten Einzel-Beurteilungspegel werden dann energieäquivalent zum Gesamt-Beurteilungspegel aufsummiert, der bei der Beurteilung mit dem nach Art der baulichen Nutzung differenzierten Gesamt-Richtwert verglichen wird. Für die Grenzwerte (Schwelle zur Gesundheitsgefährdung) wird hingegen ein energieäquivalent summierter Gesamt-Mittelungspegel herangezogen. Eine schlüssige Begründung dafür kann letztlich nicht gegeben werden, weil wirkungsorientierte Aussagen zur Gesundheitsgefährdung fehlen.

6.3.3 Qualitative Ansätze zur Erfassung und Bewältigung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Vor allem in Ballungsräumen und Innenstadtquartieren treten vielfältig überlagerte Umgebungslärmimmissionen auf. Quantitative Regulierungsansätze wie die quellenbezogenen Regelwerke, die vor allem auf die Senkung von Immissionspegeln (i. d. R. Mittelungspegeln) an den nach dem jeweiligen Regelwerk zu betrachtenden Immissionsorten gerichtet sind, scheitern in diesen Gebieten häufig an den weitgehend fehlenden Minderungspotentialen. Bestehende Richt- und Grenzwerte sind hier zur Konfliktlösung wenig hilfreich und vor dem Hintergrund der Problemüberlagerungen auch kaum aussagekräftig. Gleichzeitig ist es ein wichtiges Charakteristikum dichtbesiedelter Gebiete, dass es keine klaren

6.3 Anwendungsorientierte Beurteilungskonzepte

'Täter-Opfer-Relationen' gibt, sondern mehr oder minder alle Anwohner, Beschäftigten und Besucher gleichermaßen als Geräuschverursacher und Lärmbeeinträchtigte gelten müssen. Dabei sind die Belastungsbilder ebenso vielfältig wie die Verursacherstrukturen.

In derartigen Situationen kann es ein vielversprechender Ansatz sein, die schematischen und quantitativen Regularien des 'förmlichen Lärmschutzes' zu verlassen und nach kooperativen Ansätzen der Lärminderung, die nicht unbedingte gleichbedeutend mit einer physikalisch messbaren Geräuschminderung sein müssen, zu suchen. Derartige Ansätze sind mit allen hier diskutierten Modellierungsverfahren nicht erfassbar.

Das größte bislang durchgeführte Projekt zur Lärmsanierung mit qualitativen Maßstäben und Methoden ist das Pilotvorhaben 'Systematische Lärmsanierung innerstädtischer Wohnviertel (SYLVIE)' der Magistratsabteilung 22 der Stadt Wien,²⁹ das als sog. kooperatives Lärmsanierungsverfahren mit Förderung des Umweltaktionsprogramms der Europäischen Union nach partizipativen Grundsätzen der Lokalen Agenda 21 durchgeführt und im Oktober 2002 abgeschlossen wurde. Das Projektgebiet umfasste Teile der mit 245 EW/ha dichtbesiedelten Wiener Gemeindebezirke 5 und 12. In diesen Bereichen liegt die Geräuschbelastung vielfach weit über den für die Nutzungsarten normierten Richt- bzw. Grenzwerten. Bestrebungen zur durchgreifenden Geräuschminderung scheitern an den physikalischen Rahmenbedingungen und der geringen Handlungsbereitschaft vieler Akteure. Gleichzeitig bestehen vielfältige kleinräumige Belastungsdifferenzen und Minderungspotentiale.

Ziel des SYLVIE-Projekts war es, im Lärmsanierungsgebiet über gemischte Strategien eine Lärminderung (Reduzierung der objektiven Geräuschbelastung und/oder der subjektiven Lärmbelastigung) und durch Sensibilisierung der Akteure eine möglichst weitgehende Ausschöpfung bestehender Handlungsspielräume zu erreichen. Dazu wurde erstmals in der Lärmsanierung ein kooperatives Verfahren nach den Grundsätzen der Lokalen Agenda 21 angewandt. Im Zentrum dieses Verfahrens standen persönliche Gespräche, um neben den objektiv-physikalischen auch subjektive, soziale und kulturelle Aspekte einbinden zu können. Lärm wurde dabei weniger als physikalisch determiniertes Problem, sondern als Interaktionsphänomen aufgefasst. Im SYLVIE-Projekt wurden die Geräuschsituation und die Lärmkonflikte also nicht nur (aber auch) nach physikalischen Kriterien analysiert, sondern auch durch umfangreiche Befragungen und Foren ermittelt. Damit einher ging das Erfordernis einer aufwendigen Öffentlichkeits- und Aktivierungsarbeit, in deren Rahmen u. a. das Wiener Lärm-Online-Informationssystem³⁰ geschaffen wurde.

²⁹STADT WIEN, MAGISTRATSABTEILUNG 22 (UMWELT): Systematische Lärmsanierung von innerstädtischen Wohnvierteln - Layman Report. Magistrat der Stadt Wien, 2002.

³⁰<http://www.lois.wien.at>; Abruf 15.03.2006

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Kernstück waren Aktionstage und die flächendeckende Versendung von Faltblättern mit einer Antwortkarte, auf der lärm Betroffene Bürger die von ihnen wahrgenommenen Konflikte notieren und der Projektleitung mitteilen konnten. Im Ergebnis konnten so 200 Konfliktfälle abgegrenzt werden.

Ausgangspunkt der Diskussion über Lärminderungsmaßnahmen waren dann nicht mehr rechnerisch oder messtechnisch festgestellte Schwellenwertüberschreitungen, sondern 'gefühlte Lärmkonflikte' und Beschwerden, die mit Daten zur physikalischen Situation überlagert wurden. Diese Lärmkonflikte wurden typisiert, um die geeignete Methode für das kooperative Verfahren zu finden. Dabei kamen zwei Kriterien zur Anwendung, nämlich zum Einen die Frage, ob die handelnden Personen (Verursacher, Betroffene) an einen Tisch gebracht werden können, und zum Anderen die Frage, ob die berichteten Lärmkonflikte einem konkreten Ort zugeordnet werden können. Daraus ergaben sich folgende Konstellationen:

1. Die Verursacher sind bekannt, es handelt sich um einen komplexen Gruppenkonflikt mit verschiedenen Verursachern und Betroffenen (Beispiel: Biergärten).
2. Die Verursacher sind bekannt, es handelt sich um einen klar abgrenzbaren Konflikt zwischen wenigen Personen (Beispiel: Nachbarschaftskonflikte).
3. Die Verursacher sind anonym, der Konflikt hat einen konkreten Ort. (Beispiel: Straßenverkehrslärm).
4. Die Verursacher sind anonym, der Konflikt hat keinen konkreten Ort, er tritt flächenhaft auf (Beispiel: Fluglärm).

Die Maßnahmenfindung vollzog sich im Rahmen der Mediation zwischen Verursachern, Betroffenen, Politik, Verwaltung und Fachleuten. Dabei wurden die Handlungsspielräume ausgelotet und Lösungsvorschläge – i. d. R. sog. win-win-Lösungen – ausgewählt und kontrolliert umgesetzt. Insgesamt hat das SYLVIE-Projekt nach Darstellung der Projektverantwortlichen in Wien einige gute Erfolge gezeigt. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass damit hoher Aufwand verbunden war, der wahrscheinlich nicht in großem Maßstab betrieben werden kann – das Projekt befasste sich denn auch nur exemplarisch mit einem kleinen Teilgebiet der Stadt Wien und auch dort nur exemplarisch mit einigen wenigen Lärmkonflikten (9) in Auswahl aus einer deutlich größeren Zahl gemeldeter Fälle (200). Auch ist festzustellen, dass der Anwendungsbereich sich in der Regel auf solche Fälle beschränkt, die örtlich begrenzt sind, bei denen kommunikationsbereite Verursacher vorhanden sind und bei denen im Wege der Mediation oder anderweitigen Verhandlung

win-win-Situationen dargestellt werden können, ggf. durch externe Finanzierung. Gerade bei den 'klassischen' Konflikten an Hauptachsen des Straßen- und Schienenverkehrs konnten nur physikalisch wirksame Maßnahmen gefunden werden, die mit hoher Sicherheit auch im Wege der quantitativen Modellierung identifiziert worden wären. Insofern ist der qualitativ-kooperative Ansatz zwar durchaus sinnvoll und weiterführend, ersetzt aber weder die quantitative Modellierung noch schallphysikalisch wirksame Minderungsmaßnahmen an den Hauptverkehrsachsen bzw. an den betroffenen Grundstücken und Gebäuden.

6.4 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Die auf den Umgebungslärm zurückzuführenden Wirkungen auf den Menschen sind so vielschichtig und die Immissionssituationen und Quellenkombinationen so unterschiedlich, dass ein einheitlicher, allgemein gültiger Summations- und Bewertungsalgorithmus für den Umgebungslärm, der alle im Raum- und Akzeptorbezug maßgeblichen Wirkungen erfasst, nicht abzuleiten ist. Es ist auch nicht erkennbar, dass ein solcher kurz- oder mittelfristig erarbeitet werden kann. Die fachliche Beurteilung von kombinierten Geräuscheinwirkungen im Sinne einer integrierten Umgebungslärmmodellierung muss daher nach Wirkungen differenziert werden. Modelle, die explizit das Zusammenwirken verschiedenartiger Umgebungslärmquellen untersuchen, existieren praktisch nur für die globale Belästigung. In anderen Wirkungsbereichen, besonders der Schlaf- und der Kommunikationsstörung, ergibt sich die Möglichkeit, die Wirkungen einzelner Umgebungslärmquellen auf die Quellenkombination zu übertragen. Daher ist es zunächst erforderlich, die Behandlung der nächtlichen, mit dem Schutzziel 'Schlaf' assoziierten Umgebungslärmimmissionen von den am Tage bzw. ganztägig relevanten, auf Störung, Belästigung und extra-aurale Gesundheitsschäden gerichteten Immissionen zu trennen.

Eine weitere notwendige Festlegung ist die Konzentration der integrierten Umgebungslärmmodellierung auf wenige, direkt mit der Lärmsituation verknüpfte Lärmwirkungen auf den Menschen, für die Erkenntnisse in Form von Dosis-Wirkungs-Relationen vorliegen. Dies dient auch der Handhabbarkeit, Transparenz und Verständlichkeit der Ergebnisse, führt aber dazu, dass langfristige, tertiäre Wirkungen der Umgebungslärmexposition, z. B. gesteigerte Myokardinfarktrisiken, nicht einbezogen werden können. Ebenfalls können sozio-ökonomische Folgewirkungen, z. B. die (negative) Beeinflussung der Grundstückswerte durch Umgebungslärm oder soziale Segregationstendenzen in hochbelasteten Bereichen, nicht erfasst und modelliert werden.

6 Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Die für die medizinisch und subjektiv relevanten Wirkungen des Umgebungslärms auf den Menschen vorliegenden Dosis-Wirkungs-Modelle sind methodisch sehr heterogen. Als grundlegendes Unterscheidungskriterium werden Modelle zur Ermittlung der globalen Betroffenheit von Bevölkerungsanteilen von solchen Modellen abgegrenzt, die darauf zielen, Einzelwirkungen induktiv abzuleiten. Dabei basiert die erste, deskriptive Modellkategorie zumeist auf breit angelegten empirischen Befragungen, die mit den für assoziierte Orte (z. B. den Wohnort der Befragten) ermittelten Umgebungslärmbelastungen zu statistischen Relationen verbunden werden. Dabei werden die erfragten Wirkungen global und retrospektiv erfasst, die zugrunde liegenden akustischen Daten sind in aller Regel stark generalisiert, d. h. auf einen stellvertretend für die Umgebungslärmbelastung des Immissionsorts modellierten Einzahlwert bzw. ein Wertepaar (Tag- und Nacht-Mittelungspegel) reduziert. Damit wird eine top-down-Betrachtung vorgenommen. - Die zweite, im Grundsatz explikative Modellkategorie prognostiziert demgegenüber aus klinischen Befunden, Feld- und Laborstudien oder auch akustischen Gegebenheiten die Wirkungen von Einzelereignissen und ihrer Kumulation auf Basis differenzierter akustischer Belastungsdaten und (Feld- oder Labor-)Studienergebnissen im Sinne einer bottom-up-Betrachtung. Für einzelne Wirkungen finden sich grundsätzlich tragfähige Modelle aus beiden Kategorien. Ein Beispiel ist die Beeinträchtigung des Schlafs: In der ersten Modellkategorie wird die über Bevölkerungsbefragungen ermittelte subjektiv erlebte Schlafstörung mit der nächtlichen Umgebungslärmbelastung (Mittelungspegel) korreliert und zu einer Dosis-Wirkungs-Kurve synthetisiert, mit der Prognosen über betroffene Bevölkerungsanteile (nach Wirkungsintensität und betroffenem Prozentanteil) ermöglicht werden. In der zweiten Modellkategorie wird eine Prognose konkreter Schlafbeeinträchtigungen, z. B. zum Aufwachen oder zur Motilität, getroffen, die notwendigerweise auf Einzelereignissen (Maximalpegel, Pegelhäufigkeiten) basiert. Die Modelle unterscheiden sich damit sehr grundsätzlich und können daher kaum ‚gemischt‘ verwendet werden.

Diese bereits bei der Wirkungsmodellierung für ‚homogene‘ Umgebungslärmeinwirkungen auftretenden Probleme setzen sich bei der Modellierung kombinierter Immissionen, die notwendigerweise auf den Modellstrukturen und Ergebnissen der Wirkungsforschung für Einzelquellen aufsetzen muss, fort. Dennoch wurden für die Belästigungswirkung seit Anfang der 1980er Jahre vielfältige Kombinationsmodelle entwickelt, wobei sich das Annoyance-equivalents-Modell als Stand der Technik durchgesetzt hat und bereits praktische Anwendung findet. Dennoch ist festzustellen, dass dieses Modell - wie auch die zugrunde liegenden Dosis-Wirkungs-Relationen für nicht-kombinierte Einwirkungen - zentralen Einschränkungen in der Aussageschärfe unterliegt und der weiteren Ausdifferenzierung bedarf. Eine deutliche Verbreiterung und Qualitätsverbesserung der statisti-

schen Basis ist durch die Umsetzung der Lärmkartierung nach Umgebungslärmrichtlinie zu erwarten.

Gleichwohl ist es denkbar, dass auch ein anderes Summationskonzept, zum Beispiel eine systematische Anwendung und Weiterentwicklung des nach ISO 1996 normierten, auch in der TA Lärm angewandten Systems von Korrekturfaktoren, möglicherweise zu gleichwertigen oder gar besseren Modellierungsergebnissen führt. Allerdings fehlen systematische Untersuchungen zur wirkungsadäquaten Ausgestaltung der normierten Pegelzuschläge ebenso wie Korrelationsuntersuchungen mit Befragungsdaten. Diese sind auch kaum durchführbar, da die notwendigen Daten aus bestehendem Material nicht sinnvoll rekonstruiert werden können und künftig in der EU-weiten Lärmkartierung nicht erhoben werden.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Im folgenden Kapitel werden die zuvor erarbeiteten Modellansätze zu einem ebenenübergreifenden Konzept zur fachlichen Bearbeitung kombinierter Umgebungslärmbelastungen in raumbezogenen Planungsprozessen synthetisiert und den Planungsebenen und -aufgaben zugeordnet.

7.1 Fachliche Rahmenbedingungen und Anforderungen

7.1.1 Anforderungen an den Modelleinsatz

Das Interesse der Raum- und Stadtplanung an der Modellierung kombinierter Umgebungslärmimmissionen und ihrer Wirkungen ist handlungsbezogen: Aus planungswissenschaftlicher Sicht ist das Ziel von Modellbildungen letztlich immer deren Integration in Planungs- und Entscheidungsprozesse. Als wesentliche Einsatzfelder von Modellen in der raumbezogenen Planung wurden bereits die Vorausschätzung zukünftiger Werte relevanter Variablen, die Simulation unterschiedlicher Entwicklungsalternativen und die Optimierung von Variablen auf Basis von Zielfunktionen abgegrenzt.¹ Der gezielte Einsatz von Modellen beeinflusst damit die Qualität sowohl des Planungsprozesses als auch des Ergebnisses. Er erfordert aber strukturierte Vorüberlegungen zu den Zielfunktionen, den zu deren Abbildung zu modellierenden Variablen und zur Zuordnung von Modellen, Variablen und Zielfunktionen zu den Ebenen, Methoden und Instrumenten raumbezogener Planung.

Allgemein lassen sich die Anforderungen an die Integration von Modellen in Planungsmethoden und -verfahren in drei Kriterien zusammenfassen:

1. Die Ergebnisparameter des Modells müssen für die Planungsaufgabe entscheidungsrelevant sein, d. h. der modellierte Parameter muss für die behandelte Fragestellung den Charakter einer Information haben, aus der Schlussfolgerungen für deren Lösung direkt oder indirekt abgeleitet werden können. Dabei sind vor allem

¹Vgl. Kap. 2.4.1, S. 29.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

die mit der Planung verfolgten Zielfunktionen und ihr Konkretisierungsgrad maßgeblich.

2. Die Eingangsparameter des Modells müssen zu dem Zeitpunkt im Verfahrensablauf, an dem das Modell zum Einsatz kommen soll, vollständig verfügbar sein oder (hilfsweise) hinreichend zuverlässig abgeschätzt werden können.
3. Wenn Optimierungsvorgänge modelliert werden sollen, muss mindestens ein ergebnisrelevanter Eingangsparameter durch planerische Entscheidung im jeweiligen Verfahrenskontext beeinflussbar sein. Ist dies nicht der Fall, liefert das Modell nur eine nicht veränderliche Statusinformation.

Die Modellierung von Umgebungslärmimmissionen und ihrer Wirkungen ist eine vernetzte, multidisziplinäre Aufgabe über mehrere Modellierungsebenen hinweg. Ausgehend von den in Kapitel 2.2 (S. 19 ff.) diskutierten Rahmenmodellen (DPSIR bzw. AEEER) können diese Ebenen nicht unabhängig voneinander betrachtet und bearbeitet werden, sondern bedürfen insbesondere an den Schnittstellen der intensiven Abstimmung und Harmonisierung. Jede Ebene benötigt Informationen bzw. Daten von den anderen Ebenen und versorgt diese wiederum mit Informationen und Daten. Dabei sind vielfältige Differenzierungen in der Qualität, im Detaillierungsgrad und im Ergebnisformat zu beachten, die jeweils in enger Wechselwirkung zu den auf den übrigen Ebenen erzielbaren Modellierungsqualitäten und Detaillierungsgraden stehen. Allgemein gilt, dass sich Ungenauigkeiten, Unschärfen und Unsicherheiten der Modellierungsebenen im Gesamtkontext addieren und die Qualität der Gesamtmodellierung nie höher sein kann als diejenige des 'schwächsten' Teilmodells. Eine wesentliche Herausforderung liegt also – zunächst unabhängig von der im Weiteren zu vertiefenden Frage der kombinierten Einwirkung mehrerer Quellen auf einen Immissionsort – in der Definition geeigneter Schnittstellen für die Teilmodelle, mit denen sich insgesamt konsistente Datenflüsse und zielgerechte Ergebnisaussagen darstellen lassen. Es sind für diese Aufgabe mehrere fachliche Ansatz- und Ausgangspunkte denkbar, die wie folgt definiert werden können:

- Ausgangspunkt des *geräuschbezogenen Ansatzes* sind die verfügbaren raumrelevanten Emissions- und Immissionsdaten. Im Zuge der Modellierung werden die wirkungs- und handlungsbezogenen Modelle pragmatisch an die Verfügbarkeit akustischer Daten angepasst.
- Beim *wirkungsbezogenen Ansatz* werden die Datenanforderungen von der Wirkungsforschung bestimmt. Die Aufgabe der Gesamtmodellierung liegt damit in der

7.1 Fachliche Rahmenbedingungen und Anforderungen

Bereitstellung akustischer und akzeptorbezogener Daten in möglichst hoher, an die Anforderungen der Wirkungsforschung angepasster Qualität.

- Der *maßnahmen- und instrumentenbezogene Ansatz* stellt die Handlungsmöglichkeiten zur Lärminderung und deren Differenzierung nach Planungsebenen und -instrumenten in den Vordergrund. Hier muss die Modellierung möglichst einfache und handhabbare Datenschnittstellen definieren und außerdem berücksichtigen, dass nur prognosefähige Daten einbezogen sind. Besondere Anforderungen bestehen an die Wirkungsmodelle, die für Entscheidungs- und Optimierungsvorgänge nutzbare Daten liefern sollen.

7.1.2 Zielfunktionen, Handlungsprioritäten und Umsetzungsebenen

Da, wie bereits ausgeführt wurde², die räumliche Gesamtplanung in Deutschland durch ein inhaltlich und räumlich differenziertes System unterschiedlicher Planungsebenen gekennzeichnet ist, in dem sich die geplante Nutzung eines Planungsgebiets und dessen räumliche Struktur aus einer Abfolge von Planungsprozessen (europäische Raumordnung, Bundesraumordnung, Landesplanung, Regionalplanung, Flächennutzungsplanung bzw. Stadt- und Verkehrsentwicklungsplanung, Bebauungsplanung) ergibt, in denen jeweils Teilaufgaben gelöst und an die nächstfolgende Planungsebene als Vorgabe (z. T. mit förmlicher 'Anpassungspflicht') abgegeben werden, kommt der Zuordnung von Zielfunktionen und beeinflussbaren Parametern zu den Planungsebenen eine hohe Bedeutung zu. Die Lärminderungsplanung nach § 47a BImSchG (alt)³ bzw. §§ 47 a-f BImSchG (neu) wurde 'quer' zum Ebenensystem der Raumplanung konstruiert und prioritär bei den Gemeinden angesiedelt. Dadurch ist es zwar möglich, systemübergreifende und integrierte Vorschläge zur Lärminderung zu erarbeiten, allerdings stehen der Gemeinde selbst dafür nur eingeschränkte eigene Planungs- und Managementinstrumente zur Verfügung. Es ist denkbar, dass der bisher nur geringe Erfolg dieses Planungsinstruments auch auf diesen Umstand zurückzuführen ist.

Aus dem Raumordnungs-, Bauplanungs- und Immissionsschutzrecht lassen sich differenzierte Anforderungen an die Berücksichtigung von Umgebungslärmimmissionen ableiten. Vereinfachend lassen sich als Hauptziele der Abbau und die Vermeidung von umgebungslärmbedingten Gesundheitsrisiken und erheblichen Lärmbelastigungen, die Minimierung der Lärmbelastigung in der Bevölkerung (allgemein), und die Sicherung und Optimierung der Umweltqualität im Wohn- und Lebensumfeld ableiten. Aus diesen rah-

²Vgl. Kap. 3.3, S. 55.

³Vgl. Kap. 3.2.3, S. 52.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

mensetzenden Anforderungen lassen sich konkrete Handlungsziele nur in Zusammenhang mit der räumlichen Maßstabsebene, den dort relevanten Planungsebenen und den ihr zur Verfügung stehenden räumlichen und sachlichen Lösungsspezifika gewinnen. Allgemein lassen sich dabei folgende Handlungsebenen unterscheiden:

- *Risikominimierung auf Ebene von Standorten, Trassen und ihrer räumlichen Zuordnung*: Innerhalb des durch Zumutbarkeitsfestlegungen abgesteckten Rahmens besteht die planerische Herausforderung in der Minimierung der unter rechtlichen Gesichtspunkten zwar zumutbaren, aber dennoch relevanten Lärmwirkungen durch gezielte, an Betroffenenzahlen und Betroffenheitsintensitäten (Risikokriterien) ausgerichtete Optimierung der Zuordnung von emittierenden und empfindlichen Nutzungen.
- In Situationen, in denen keine räumlichen oder technischen Handlungsspielräume zur Vermeidung von Betroffenheitsrisiken bestehen oder diese nicht realisierbar sind, wird es erforderlich, auf Gebietsebene nach Potentialen zur systematischen Optimierung der Bau- und Freiraumstrukturen zu suchen, die zu einer lokalen Risikominderung führen.
- Es verbleiben Bereiche, in denen durch Überschreitung von Immissionswerten und fehlende räumliche Optimierungsmöglichkeiten Nutzungskonflikte und -beeinträchtigungen bestehen. Hierfür ist auf der Maßstabsebene von Grundstück und Gebäude nach partiellen Lösungsmöglichkeiten zu suchen, die die Nutzungsqualität so weit wie möglich sichern.
- *Immissionswerte*: Die fachliche Bearbeitung von Umgebungslärmimmissionen im Raum- und Akzeptorbezug erfordert eine zumindest orientierende Vorgabe von Ziel-, Richt- oder Grenzwerten (allgemein: Immissionswerte) für das unabhängig von konkreten räumlichen Bedingungen gesellschaftlich angestrebte oder geforderte Immissionsniveau. Dadurch wird ein notwendiger Rahmen sowohl für die Optimierung von Immissionssituationen als auch für die Neuplanung formuliert.

Anhand dieser Vorgaben wird im Folgenden ein mehrstufiges Konzept für die Modellierung und das Management kombinierter Umgebungsbelastungen mit den Ebenen 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko', 'Ruhezonierung' und 'Lokale akustische Qualität' entwickelt. Darauf aufbauend werden Anforderungen für die Ausgestaltung von Immissionswerten für die kombinierte Umgebungslärmimmission diskutiert.

7.2 Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'

7.2.1 Parameter und Modellfunktionen des Abschätzungsmodells für die Belästigung

Das im Rahmen dieser Arbeit als derzeit führend identifizierte Konzept für risikoorientierte Analysen der Lärmbelastung auf Basis von Dosis-Wirkungs-Kurven⁴ nutzt energieäquivalente Dauerschallpegel, wobei für die Belästigung Korrelationen für die gewichteten Beurteilungspegel L_{DN} und L_{DEN} abgeleitet wurden.⁵ Vor dem Hintergrund der modellierbaren Immissionspegel und des notwendigen Genauigkeitsniveaus wird grundsätzlich vorgeschlagen, den L_{DN} zu verwenden. Day-Evening-Night-Pegel erfordern stundendifferenzierte Emissionsmodellierungen, die z. B. beim Straßenverkehr den Zeitverlauf des am Abend pegelbestimmenden Feierabendverkehrs für die Straßen nachbilden müssen. Wenn entsprechende Daten nicht vorliegen, sondern geschätzt oder antizipierend berechnet werden müssen, wird letztlich eine Scheingenauigkeit erzeugt, die die tatsächlichen Bedingungen nicht besser abbildet als der L_{DN} . Für eine Orientierung am L_{DEN} spricht allerdings, dass dieser Indikator mit §§ 47a-f BImSchG auf Basis der Umgebungslärmrichtlinie bereits für die Lärmkartierung vorgeschrieben ist und daher die Daten künftig direkt übernommen werden können.

Die Belästigungsabschätzung wird grundsätzlich für administrativ oder funktional abgegrenzte Untersuchungsgebiete

$$UG$$

durchgeführt, in dem sich eine Anzahl von I Immissionsorten

$$IO_i$$

befinden. Diese Immissionsorte repräsentieren nach der Modelldefinition jeweils ein Wohngrundstück WG_i und sind als mittiger Punkt vor der höchstbelasteten Fassade der Wohneinheit definiert. Damit ist der Immissionsort IO_i im Vorhinein nicht geometrisch festlegbar, sondern ergibt sich erst nach der Berechnung der Geräuschbelastung für alle Fassaden des untersuchten Wohngebäudes.

Die Gesamtbevölkerung (Einwohnerzahl) im Untersuchungsgebiet

$$EW_{UG}$$

⁴Vgl. Kap. 6.2.3.6, S. 186.

⁵MIEDEMA, Henk M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

verteilt sich auf die Wohngrundstücke WG_i auf Basis von realen oder geschätzten Einwohnerzahlen EW_i . Damit gilt

$$EW_{UG} = \sum_{i=1}^I EW_i \quad (7.1)$$

Grundlage der Wirkungsprognose ist der auf die Belästigungswirkung des Straßenverkehrs normierte Gesamtlärmpegel L_{adj} . Grundlage dieses Pegels ist der nach Tag, Abend und Nacht gewichtete $L_{adj.den}$, der nach der Umgebungslärmrichtlinie als

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left(\frac{12 \cdot 10^{L_{day}/10} + 4 \cdot 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{night}+10)/10}}{24} \right) \quad (7.2)$$

definiert ist. Dabei sind die Basispegel L_{day} , $L_{evening}$ und L_{night} als energieäquivalente Dauerschallpegel (Jahresmittel) in den Beurteilungszeiten 6-18, 18-22 und 22-6 Uhr definiert. Alle Pegel beziehen sich jeweils auf eine Geräuschart.

Die vorliegenden vom L_{den} abhängigen Dosis-Wirkungs-Relationen für den Anteil belästigter Personen unterscheiden sich in ihrer Steigung und werden zur Bildung des $L_{adj.den}$ nach dem Annoyance-equivalents-Modell auf die Belästigungswirkung des Straßenverkehrs normiert. Dazu wird für die Umgebungslärmarten (außer Straßenverkehr) eine aus den Steigungsunterschieden vereinfacht berechnete Korrekturfunktion wie folgt angegeben.⁶

$$L_{adj.den} = 10 \cdot Lg(10^{0,1 \cdot L_{Road}} + 10^{0,1 \cdot L'_{Air}} + 10^{0,1 \cdot L'_{Rail}} + 10^{0,1 \cdot L'_{Industry}}) \quad (7.3)$$

Dabei gelten für die renormierten Pegel der einzelnen Umgebungslärmarten folgende Umrechnungen:

$$L'_{Air} = \frac{(2,17L_{den,Air} - 91,4) + 107}{2,21} \quad (7.4)$$

$$L'_{Rail} = \frac{(2,10L_{den,Rail} - 110,1) + 107}{2,21} \quad (7.5)$$

$$L'_{Industry} = \frac{(2,49L_{den,Industry} - 126,5) + 107}{2,21} \quad (7.6)$$

⁶MIEDEMA, Henk M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2.

7.2 Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'

Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass die Renormierungsfunktion $L'_{Industry}$ für Gewerbelärm von den Autoren mit einem Warnhinweis versehen ist.⁷ Hintergrund sind die Schwierigkeiten bei der Bestimmung stabiler Dosis-Wirkungs-Relationen für diese Umgebungslärmart, die zum Einen auf die relativ geringe Datenbasis, zum Anderen auf die starke Heterogenität von Gewerbegeräuschen zurückzuführen ist.⁸ So kann die hier eingeführte Funktion 7.6 für Anlagen mit deutlich impuls- und tonhaltigen Geräuschemissionen nicht angewandt werden.⁹ Die Autoren schlagen als Übergangsmethode die Anwendung der entsprechenden akustischen Korrekturfaktoren K_T und K_I vor. Die Kurve wird hier dennoch eingesetzt, weil der Anwendungsbereich des gesamten Modellkonzepts per Definition dieser Arbeit auf großmaßstäbliche Fragestellungen und generell auf Abschätzungen begrenzt bleibt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die praktisch auftretenden Belästigungsbeiträge des Gewerbelärms angesichts der durch die TA Lärm bestehenden, die genannten Korrekturfaktoren berücksichtigenden Regulierung sehr gering sein dürften. Insofern wird die einzuräumende Ungenauigkeit hier als vertretbar eingeschätzt.

Dies vorausgesetzt, lässt sich aus dem Gesamtlärmpegel $L_{adj.den}$ die Gesamtbelästigung der Bewohner eines Wohngrundstücks WG_i zu einem Zeitpunkt T auf Basis der für den Straßenverkehr berechneten Dosis-Wirkungs-Relation im Sinne einer risikoabschätzenden Kenngröße berechnen. Dabei gilt, dass in näherer Vergangenheit keine wesentlichen Änderungen der Geräuschsituation erfolgt und auch keine solchen angekündigt sind (=steady-state-Bedingungen). Die von *Miedema et al.* angegebene Abschätzungsfunktion für den stark belästigten Bevölkerungsanteil lautet:

$$\%HA_T = 9,868 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{adj.den} - 32)^3 + 2,307 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{adj.den} - 32)^2 + 0,537 \cdot (L_{adj.den} - 32) \quad (7.7)$$

Für die Belästigung mit anderen Skalenwerte gelten abweichende Funktionen der gleichen Form, allerdings mit abweichenden Steigungsfaktoren und Korrekturwerten. Zur Ab-

⁷Ebenda, S. 953.

⁸MIEDEMA, Henk M. E. und VOS, Henk: Noise annoyance from stationary sources: Relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. Journal of the Acoustical Society of America, 116 2004, Nr. 1.

⁹Die Einschätzung heterogener Wahrnehmung stationärer Quellen und die Abhängigkeit von konkreten Bedingungen wird u. a. gestützt durch eine für den Lärm von Windkraftanlagen ermittelte, vergleichsweise sehr hohe Belästigungswerte ergebende Dosis-Wirkungs-Kurve, PEDERSEN, Eja und PERSSON WAYE, Kerstin: Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose-response relationship. Journal of the Acoustical Society of America, 116 2004, Nr. 6, S. 3468.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

schätzung der durchschnittlich angegebenen Belästigungsskalierung (expected annoyance) wird in Kombination der intensitätsspezifischen Funktionen durch *Miedema et al.* folgende Funktion des Gesamtlärmpegels angegeben:¹⁰

$$EA = -9,154 \cdot 10^{-5} (L_{adj.den} - 32)^3 + 2,307 \cdot 10^{-2} (L_{adj.den} - 32)^2 + 0,537 (L_{adj.den} - 32) \quad (7.8)$$

Die so ermittelten Kenngrößen werden für auf Basis der Pegelwerte an jedem Immissionsort IO_i für jedes Wohngrundstück WG_i berechnet.

7.2.2 Anwendungskonstellationen und -funktionen

7.2.2.1 Gesamtbelastung von Stadtquartieren und Grundstücken

Das oben dargestellte Prognosemodell liefert relative Belästigtenanteile bzw. durchschnittliche Belästigungsintensitäten auf der Maßstabsebene von Einzelgebäuden. Insofern liegt es zunächst nahe, daraus Indikatoren für die Beurteilung der Umgebungslärmbelastung von Grundstücken zu generieren. Allerdings wurde bereits festgestellt, dass die dem Modell zugrunde liegenden Prognosefunktionen so erheblichen Genauigkeitseinschränkungen unterliegen, dass eine Auswertung auf Grundstücksebene die Aussageschärfe des Modells überschreitet und allenfalls eine Tendenz angegeben werden kann bzw. die Belästigungskenngrößen auf Grundstücksebene nur als externer Risikowert interpretiert werden kann, während die tatsächlich auftretende Belästigung zusätzlich von zahlreichen internen Bedingungen abhängt.

Der eigentliche Aussagewert des Modells liegt daher in der abschätzenden Auswertung der Gesamtbelastung größerer räumlicher Zusammenhänge wie Stadtquartieren oder auch von Wirkungsbereichen großer Umgebungslärmquellen. In diesen Konstellationen sind die systematischen Zusammenhänge zwischen Lage und Emissionsstärke der Hauptlärmquellen wie Hauptverkehrsstraßen, Eisenbahnstrecken und Flugrouten relevant, während die vom Modell nicht abgebildete, für die konkrete Exposition aber mit ausschlaggebende bauliche Situation auf dem Grundstück nicht entscheidend.

Zur Auswertung auf Gebietsebene werden die sich für die einzelnen Wohneinheiten ergebenden Werte auf die Bezugsebene des Untersuchungsgebiets UG aggregiert. Folgende Kenngrößen sind direkt ableitbar:

¹⁰MIEDEMA, Henk M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2.

7.2 Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'

- Absolute Anzahl stark belästigter Personen im Untersuchungsgebiet:

$$N_{HA,UG,T} = \sum_{i=1}^I \%HA_{T,i} \cdot EW_i \quad (7.9)$$

- Belästigungsgewichtete Betroffenenzahlen (entspricht methodisch dem norwegischen Gesamtlärmindikator SPI, für den allerdings vereinfachte Renormierungsfunktionen angewendet werden)

$$N_{EA,UG,T} = \sum_{i=1}^I EA_i \cdot EW_i \quad (7.10)$$

- Relativer Anteil stark belästigter Einwohner im Untersuchungsgebiet:

$$\%HA_{UG,T} = \frac{N_{HA,UG,T}}{EW_{UG}} \quad (7.11)$$

- Erwartungswert für die durchschnittliche Belästigungsintensität aller Einwohner im Untersuchungsgebiet:

$$EA_{UG,T} = \frac{\sum_{i=1}^I EA_i \cdot EW_i}{EW_{UG}} \quad (7.12)$$

Mit den Formeln 7.11 und 7.12 sind zentrale Benchmark-Indikatoren für den Vergleich und die Einordnung der Belästigungssituation in einem Untersuchungsgebiet definiert, die teilweise in ähnlicher Form in den Niederlanden bzw. in Norwegen bereits zur praktischen Anwendung kommen. Sie geben einen überblicksartigen Aufschluss über die insgesamt abgeschätzte Belästigung (Erwartungswert für die durchschnittliche Belästigungsintensität aller Einwohner im Untersuchungsgebiet) und über den Anteil Anteil stark belästigter Einwohner im Untersuchungsgebiet, der erforderlich ist, um die Spreizung der Wirkungsausprägung im Untersuchungsgebiet nachvollziehen und Handlungsprioritäten ableiten zu können. Die ebenfalls ableitbaren absoluten Kenngrößen ermöglichen eine Einschätzung des tatsächlichen Belästigungsumfangs und von Handlungserfordernissen.

Die auf dem methodischen Konzept der belästigungsäquivalenten Pegelsummation basierenden praktischen Abschätzungsmodelle, also das Modell des niederländischen Gesundheitsrats, das URBIS-System, der SPI und das Bewertungsmodell nach E-VDI 3722-2, gehen nicht über die Angabe dieser oder ähnlicher Werte hinaus. Aus der planerischen Sicht sind die daraus abzuleitenden Erkenntnisse jedoch noch viel zu allgemein,

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

um Handlungserfordernisse und -prioritäten ableiten zu können. Zunächst ist es dazu erforderlich, neben dem Akzeptor- auch dem Raumbezug herzustellen, d. h. Indikatoren z. B. über die Fläche, die Bevölkerungsdichte oder die Anzahl betroffener Wohneinheiten zu bilden. Erst dadurch ist eine Abschätzung der Belastungsverteilung und -spreizung im Untersuchungsgebiet möglich.

7.2.2.2 Analyse von Belastungsbeiträgen, -ursachen und Minderungspotentialen

Die dargestellten Indikatoren der Gesamtbelästigung geben einen Überblick über die kombinierte Umgebungslärmbelastung. Zur näheren Analyse erscheint es aber in vielen Fällen sinnvoll, die Struktur der Immissionskombination, den Beitrag einzelner Lärmarten zur Gesamtbelastung und damit auch grundlegende Minderungspotentiale zu erfassen. Durch gezielte Eingriffe in die Parameter der grundlegenden Beurteilungsfunktionen lässt sich eine Vielzahl hypothetischer Szenarien mit hohem analytischen Wert ableiten, ohne dass dafür ergänzende Lärmkartierungen oder sonstige schalltechnische Berechnungen erforderlich sind.

Belästigungsbeitrag und Belästigungspotential einer Lärmart

Eine grundlegende Fragestellung ist, welchen Beitrag die einzelnen Quellengruppen an der Gesamtbelästigung verursachen und welcher Grad der Wirkungsüberlagerung vorliegt. Dies ist durch den Gesamtbelästigungsindikator nicht erkennbar. Hierzu können mehrere ergänzende Indikatoren berechnet werden, indem in der Funktion zur Berechnung des Gesamtpegels (Formel 7.3) einzelne Lärmarten ausgenommen bzw. auf den Pegelwert 0 gesetzt werden.

Der Indikator 'Belästigungsbeitrag' zeigt den durch diese Lärmart im Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung der übrigen einwirkenden Lärmarten zusätzlich verursachten Belästigungsanteil. Hierzu wird in Formel 7.3 die untersuchte Lärmart auf den Pegelwert 0 gesetzt, das gesamte Abschätzungsverfahren durchgeführt und anschließend die Ergebnisse mit den Gesamtbelästigungswerten verglichen.

Das 'Belästigungspotential' einer Lärmart zeigt dem gegenüber an, welche Belästigungswerte ohne Berücksichtigung der übrigen Lärmarten im Gebiet zu erwarten wären. Dazu wird in Formel 7.3 nur die jeweils untersuchte Lärmart mit ihrem Pegelwert eingesetzt (andere Lärmarten mit Pegel 0) und das Abschätzungsverfahren durchlaufen.

Mit diesen Indikatoren lassen sich folgende Analysen durchführen:

7.2 Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'

- Durch Vergleich des Belästigungsbeitrags einer Lärmart mit der Gesamtbelästigung im Untersuchungsgebiet lässt sich die Dominanz von Lärmarten im Untersuchungsgebiet und der durch lärmartenspezifische Minderungsmaßnahmen maximal erreichbare Effekt auf die Belästigung abschätzen.
- Durch Vergleich des Belästigungsbeitrags und des Belästigungspotentials einer Lärmart lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf Kombinationsbelastungen ziehen: Je enger die Werte zusammenliegen, desto geringer sind die auftretenden Kombinationseffekte; je größer die Differenz ist, desto mehr ist die betrachtete Lärmart von anderen Quellen verdeckt.
- Die Relation des Belästigungspotentials einer Lärmart zur Gesamtbelästigung informiert schließlich über die ohne Eingriffe in diese Lärmart insgesamt erzielbaren Minderungspotentiale. Je enger das Belästigungspotential und die Gesamtbelästigung zusammenliegen, desto geringer sind die autonomen Lärminderungspotentiale bei den übrigen Lärmarten.

Auswertungen sind sowohl für den Anteil der stark Belästigten (% HA) als auch für die durchschnittliche Belästigungsstärke (EA) möglich und sinnvoll. Abhängig von der Gebietsstruktur und der räumlichen Verteilung der Umgebungslärmimmissionen können sich zwischen starker und durchschnittlicher Belästigung stark unterschiedliche Merkmalsausprägungen ergeben, z. B. bei punktueller oder randlicher Einwirkung einer stark belästigenden Quelle bei ansonsten moderater Belastung.

Analyse von Hochbelastungen

Ebenfalls durch Eingriffe in die Funktion zur Berechnung des Gesamtpegels (Formel 7.3) lässt sich der Einfluss besonders hoher Geräuschbelastungen analysieren. Hierzu müssen für die Umgebungslärmarten Pegelbegrenzungen definiert werden, die Rechtsnormen, technischen Regelwerken oder fachlichen Empfehlungen entnommen sein können, z. B. die Grenzwerte der 16. BImSchV für den Straßen- und Schienenverkehr oder auch nur Lärmsanierungswerte. Diese müssen auf den Basisindikator L_{den} bezogen und auf die Belästigungswirkung des Straßenverkehrs renormiert werden. Zur Analyse wird die Belästigungsabschätzung mit modifizierten Gesamtlärmpegeln berechnet, bei denen alle Einzelpegel, die die Pegelbegrenzung überschreiten, auf diese Grenze zurückgesetzt werden. Damit wird eine fiktive, quasi punktgenaue Lärmsanierung auf einen Sollwert unterstellt, die nicht realistisch ist, sich aber für den Analysezweck eignet. Durch den Vergleich der modifizierten mit den realen Belästigungsindikatoren wird nämlich der Einfluss von Hochbelastungen im Gebiet sichtbar: Je größer die Differenz zwischen modifizierter und realer Belästigung ist, desto deutlicher ist die Situation im Untersuchungsgebiet von

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Defiziten in der Lärmsanierung geprägt und desto größer sind die durch den Abbau von Spitzenbelastungen unabhängig von einer quellenübergreifenden Konzeption erreichbaren Minderungseffekte.

7.2.2.3 Analyse von Zusatzbelastungen und Lärminderungsmaßnahmen

Eine zentrale Funktion des Modells zur Abschätzung der Gesamtbelästigung ist die Prognose der sich – ohne Berücksichtigung von Überschussreaktionen – durch Veränderungen der Geräuschsituation einstellenden Belästigungsausprägung in Untersuchungsgebieten. Damit ist es möglich, die Wirkungen zusätzlicher Geräuschbelastungen ebenso in die bestehende Gesamtsituation einzuordnen wie Reduzierungen oder Umverlagerungen. Die Vorgehensweise entspricht dem in der Umweltprüfung eingeführten Vergleichschema Istfall – Prognose-Nullfall – Planfall, bei dem für den Prognosezeitpunkt zunächst ein Trendszenario (Prognose-Nullfall) und ein Planszenario abgeleitet werden. Die Differenz der für beide Szenarien berechneten Auswirkungen werden dann als die der Planung zuzuordnenden Wirkungen beschrieben. Dies erfordert als grundlegenden Berechnungsschritte:

1. Berechnung der Wirkungsindikatoren für die Gesamtbelästigung im Untersuchungsgebiet ohne geplante Maßnahme
2. Berechnung der Wirkungsindikatoren für die Gesamtbelästigung im Untersuchungsgebiet mit geplanter Maßnahme
3. Differenzdarstellung nach Wirkungsindikatoren

Aus planungsfachlicher Sicht ist hier zunächst die Frage nach der Abgrenzung des Untersuchungsgebiets zu stellen. Die für die status-quo-Analyse auf Gebietsebene problemlos mögliche Setzung von Untersuchungsgebieten, z. B. durch Übernahme administrativer oder funktionaler Raumeinheiten und Grenzen, führt bei der Analyse von Veränderungen der Geräuschsituation zu Fehleinschätzungen, wenn nicht der gesamte von der Veränderung be- oder entlastete Bereich (das in E-VDI 3722-2 als 'Auswirkungsbereich' bezeichnete Gebiet) erfasst ist. Unproblematisch ist die Abschätzung auf Basis großer, den Auswirkungsbereich zweifelsfrei überschreitender Untersuchungsgebiete; die Aussagefähigkeit der relativen Indikatoren (z. B. Anteil der stark Belästigten im Untersuchungsgebiet) ist allerdings stark begrenzt, wenn das Untersuchungsgebiet deutlich größer ist als der Auswirkungsbereich. Insofern ist es sinnvoll, Analysen auch auf räumlicher Basis des Auswirkungsgebiets durchzuführen. Dabei muss aus Gründen der Konsistenz bei

7.2 Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'

Szenarien-, Alternativen- und Variantenvergleichen immer der selbe Auswirkungsbereich zugrunde gelegt werden, der sich als äußere Umhüllende der einzelnen Auswirkungsbereiche bestimmt. Problematischer ist die Festlegung des Auswirkungsbereichs selbst.

Es ist zunächst naheliegend, den Auswirkungsbereich als die Fläche zu bestimmen, innerhalb derer sich die Gesamtbelästigung zwischen Ausgangs- und veränderter Situation unterscheidet.¹¹ Damit werden auch die Auswirkungen anderer Umgebungslärmquellen zum Maßstab für die Abgrenzung des Untersuchungsgebiets, wodurch sich flächenmäßig inkonsistente Abgrenzungen und räumlich nicht zusammenhängende Auswirkungsbereiche ergeben können. Außerdem wird dadurch die in einem Gebiet vorhandene Lärmbelastung als statische, nicht veränderbare Situation vorgegeben und die Betrachtung auf die Ermittlung des weiter oben abgeleiteten Belästigungsbeitrags der untersuchten Veränderung eingeschränkt. Dies lässt sich nur durch differenziertere Betrachtungen der Wechselwirkungen zwischen Einzel- und Gesamtbelastung, also durch Einbeziehung des oben abgeleiteten Belästigungspotentials überwinden. Dafür muss der betrachtete Auswirkungsbereich aber anhand des isolierten Belästigungspotentials der zu verändernden Quelle, d. h. ohne Berücksichtigung weiterer Umgebungslärmarten und -quellen, erfolgen.

In diesem Zusammenhang wird auch deutlich, dass die vergleichende Betrachtung des Anteils bzw. der Anzahl belästigter Personen, d. h. auf Basis eines Gruppenrisikokriteriums, ohne Einbeziehung von Ziel- oder Grenzwerten für die Belästigung in einzelnen Wohneinheiten (Unterscheidung akzeptabler und nicht-akzeptabler bzw. konflikträchtiger Situationen) nicht sinnvoll durchgeführt werden kann. Das auf kollektive Dosis-Wirkungs-Relationen aufgebaute Modell führt praktisch zu einer undifferenziert positiven Bewertung der Lärmbündelung, besonders in Fällen, in denen hohe und sehr hohe Vorbelastungen bestehen und sich durch das Hinzufügen von Quellen rechnerisch keine oder nur geringe Belästigungszuwächse ergeben. Dies widerspricht zum Einen dem Schutzzgedanken des Immissionsschutz- und Bauplanungsrechts, zum Anderen wird dadurch die Lärmsanierung hochbelasteter Bereiche erschwert und ggf. sogar unmöglich gemacht. Eine Beurteilung dieser Effekte ist aber nur möglich, wenn ein auf die einzelne Wohneinheit bezogener Immissionswert als Randbedingung einbezogen wird. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass durch die quantitative Abschätzung von Belästigungswirkungen im Raum- und Akzeptorbezug planerische Entscheidungen über die Mehr- und Minderbelastung von Gebieten zwar sinnvoll ergänzt werden können und sich auch Optimierungspotentiale modellieren und abbilden lassen, allerdings nur in Kombination mit tragfähigen Begrenzungswerten.

¹¹Der Vorschlag der E-VDI 3722-2 sieht die Abgrenzung in dieser Form vor.

7.2.2.4 Analysen zur räumlichen Zuordnung von Nutzungen

Während das beschriebene Verfahren zur Prognose von Belastungsveränderungen von einem unveränderten Zustand der relevanten Immissionsorte bei sich verändernden, hinzukommenden oder wegfallenden Umgebungslärmquellen ausgeht, erlaubt das Abschätzungsmodell auch die Betrachtung des umgekehrten Falls, also der Veränderung von Immissionsorten. Aus Sicht der räumlichen Planung ist vor Allem das Hinzufügen neuer Wohnstandorte - seien es bislang anderweitig baulich genutzte, brachliegende oder bisher dem Freiraum zugehörige Flächen - in eine bestehende 'Geräuschlandschaft' unter dem Gesichtspunkt der Standortsuche unter Minimierung von Belästigungswirkungen von Bedeutung. Praktisch lässt sich dies durch Einfügen des geplanten Gebiets in das Umgebungsmodell und anschließende Kalkulation der Belästigungsfunktionen realisieren. Im Idealfall ist damit eine Lageoptimierung für Wohngebiete möglich, die z. B. in Flächen-suchverfahren einbezogen werden kann.

Allerdings erfordert das Prognosemodell die Bereitstellung gebäudedetaillierter Geometrien und auch entsprechende Bevölkerungsdaten. Während die Bevölkerungsverteilung durch generalisierende Modelle, z. B. proportional zur Fläche abgeschätzt werden kann, ist die Umgebungsgeometrie wegen der vielfältigen kleinräumigen Ausbreitungseffekte von hoher Bedeutung für das Modellierungsergebnis. Gleichzeitig ist das Modell durch seine Pegelfixierung auf die lauteste Fassade (und damit die externe Spitzenbelastung des Grundstücks) nicht in der Lage, die Auswirkungen unterschiedlicher Gebäudestellungen und anderer kleinräumiger Nutzungszuordnungen auf die Lärmbelastung abzubilden.

Diese bereits diskutierte Diskrepanz zwischen dem hohen Detaillierungsgrad der Eingabedaten bei zugleich geringer Spezifizierung der Modellierungsergebnisse ist ein Grundproblem dieses Modelltypus, der zu praktischen Problemen in der Anwendung führt. Gleichwohl existieren keine Modelle, die vergleichbare Wirkungsabschätzungen mit weniger detaillierten Daten, z. B. bloßen Flächen, ermöglichen. So ist es erforderlich, bei flächenbezogenen Wirkungsprognosen typisierende und generalisierende Erschließungs- und Bebauungsstrukturen (Testentwürfe) zu setzen und auf dieser Basis die Wirkungsberechnung durchzuführen. Im Standortvergleich lassen sich aussagefähige Ergebnisse nur durch den Vergleich von intern ähnlich strukturierten Gebieten erzielen. Es kann auch sinnvoll sein, zur Einschätzung der Berechnungssensitivität mehrere verschiedenartige Baustrukturen alternativ zu berechnen und Bandbreiten zu ermitteln, anhand derer ein von internen Strukturen unabhängiger Alternativenvergleich möglich ist.

7.2.3 Übertragung des Modellansatzes auf andere Lärmwirkungen

Der hier praktisch umgesetzte und weiterentwickelte Modellansatz kann für die Lärmbe­lästigung als international anerkannt gelten. Eine Übertragung auf andere Lärmwirkun­gen ist kaum denkbar, weil die Belästigung als globale und sekundäre Lärmwirkung mit unspezifischer räumlicher und zeitlicher Ausprägung mit den anderen Lärmwirkungen sy­stematisch kaum vergleichbar ist.

Im Rahmen der Operationalisierung und Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie wer­den auf europäischer Ebene Ansätze diskutiert, ein den Schutz-Kurven ähnliches Dosis- Wirkungs-Konzept auch auf die Wirkung 'Schlafstörung' anzuwenden. Dazu wurden Dosis-Wirkungs-Relationen ermittelt, mit denen auf Basis des nächtlichen energieäqui­valenten Dauerschallpegels an der höchstbelasteten Fassade abgeschätzt werden kann, in welchen Bevölkerungsanteilen und Intensitäten die davon Betroffenen selbst über lang­fristige Schlafstörungen berichten.¹² Es ist anzunehmen, dass die Hauptmotivation für die Ableitung dieser Kurven darin liegt, die beiden von der Europäischen Union als Leitwir­kungen charakterisierten Aspekte Belästigung und Schlafstörung mit einem methodisch homogenen und konsistenten Konzept auf Basis von Mittelungspegeln modellieren zu können.

Es steht außer Frage, dass die herrschende Meinung in der Lärmwirkungsforschung davon ausgeht, dass Schlafbeeinträchtigungen eher mit Maximalpegeln sowie deren Häu­figkeit und Verteilung korrelieren als mit Mittelungspegeln. Bei dieser Einschätzung wird aber eindeutig auf die konkrete Geräuschbelastung ‚am Ohr des Schläfers‘ abgestellt. Hier ist festzustellen, dass auf Gebietsebene mit angemessenem Aufwand und stringen­ter Methodik der dafür benötigte Immissionspegel nicht modelliert werden kann, weil da­zu neben präzisen Daten zum Pegel-Zeit-Verlauf aller relevanten Umgebungslärmquel­len sowohl Kenntnisse zur konkreten Lage des Schlafraums als auch zur maßgeblichen Außen-Innen-Pegeldifferenz erforderlich sind. Zwar wäre es denkbar, hierfür antizipieren­de Annahmen zu treffen, erzeugt würde aber letztlich wiederum nur eine scheingenaue Angabe, die angesichts der Berechnungssensitivität von Maximalpegelhäufigkeiten bei­nahe spekulativen Charakter hätte. Wegen der spezifischen Bedingungen des Schlafs (zeitlich-räumliche Fixierung und hoher Einfluss konkret intermittierender Geräusche) ist die Orientierung an der höchstbelasteten Fassade wie auch an Mittelungspegeln über-

¹²MIEDEMA, Henk M.E., PASSCHIER-VERMEER, W. und VOS, H.: Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. Delft: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek, 2002, TNO Inro report Nr. 52.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

haupt sehr fragwürdig,¹³ und führt letztlich nicht zu tragfähigen und handlungsorientierten Ergebnissen. Für eine Übertragung des Annoyance-equivalents-Modells fehlt die statistische Basis. Es wird daher als methodisch konsequenter und auch ehrlicher eingeschätzt, für gebietsweite Betrachtungen eine wirkungsseitig nicht dem Stand der Wissenschaft entsprechende Abschätzung ebenso zu unterlassen wie die Nutzung nicht belastbarer und transparent nachvollziehbarer Immissionsdaten.

Insofern kommt diese Arbeit zum Ergebnis, dass eine sinnvolle Übertragung des Modellansatzes für die Belästigung auf die Schlafstörung nicht möglich ist. Da alle weiteren für die Schlafstörung konzipierten Modelle zeitlich, räumlich und akustisch tiefer differenzierte Eingabedaten benötigen, bedeutet dies gleichzeitig, dass für die abschätzende Prognose von Schlafstörungen auf der durch die Belästigung vorgeprägten Maßstabsebene kein adäquates Modell zur Verfügung steht. Allerdings ist darauf zu verweisen, dass die auf Basis des L_{DEN} bzw. L_{DN} prognostizierte Belästigungswirkung durch die Konstruktion der tageszeitlich gewichteten Beurteilungspegel die nächtliche Geräuschsituation in besonderem Maße berücksichtigt. In die globale Belästigungsreaktion ist die bewusst empfundene Schlafstörung - und genau diese misst der oben genannte Indikator - insofern zumindest indirekt einbezogen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass diese Form der pauschalen Einbeziehung der nächtlichen Belastung strittig ist und insbesondere von Lärmmedizinerinnen aus den im vorigen Absatz ausgeführten Gründen eine getrennte Bewertung von Tag- und Nachtbelastungen gefordert wird.

7.2.4 Anwendungsbereich des Modellansatzes in der räumlichen Planung

Es ist zu berücksichtigen, dass die über die Anwendung des Annoyance-equivalents-Modells auf Basis globaler Dosis-Wirkungs-Kurven gewonnenen Daten – wie beschrieben – verhältnismäßig unscharf sind. Das betrifft sowohl die Beschreibung der Wirkung selbst, die naturgemäß global und eher unspezifisch ist, als auch die zur Modellierung herangezogenen akustischen Daten. Die verfügbaren Dosis-Wirkungs-Kurven stützen sich jeweils auf einen Einzahlwert der akustischen Belastung ab, der nur einen kleinen Teil der modellierbaren Immissionsdaten nutzt und spezifische Besonderheiten kombinierter Umgebungslärmimmissionen wie Pegeldifferenzen an Gebäudefassaden, vielfältige Einwirkungsrichtungen und Belastungsformen im Freiraum und Wohnumfeld ebenso unbe-

¹³So auch die europäische Expertengruppe: EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS: Position paper on dose-effect relationships for night time noise. Brüssel: Europäische Kommission, 2004. Sie kommt jedoch zu dem Ergebnis, dass die Orientierung an der lautesten Fassade zwar wahrscheinlich zu systematischen Überschätzungen führt, dies jedoch vor dem Hintergrund der verfügbaren Daten vertretbar erscheint.

7.2 Modellebene 'Raumbezogenes Belästigungsrisiko'

rücksichtigt lässt wie die 'gehörrichtige' Verarbeitung der akustischen Belastung. Die Anwendung der genannten Dosis-Wirkungs-Kurven führt daher nur zu einem generalisierten Potentialwert, der das Risiko des Wirkungseintritts im Bevölkerungsquerschnitt ungefähr erfasst.

Die für die Operationalisierung der risikoorientierten Modellierung benötigten und vorliegenden Dosis-Wirkungs-Relationen für die Belästigung und die selbstberichtete Schlafstörung basieren auf der Geräuschbelastung der höchstbelasteten Fassade und lassen die Belastungsdifferenzierung auf dem Grundstück unberücksichtigt. Spezifische Eigenschaften der Immissionsorte, z. B. die Pegeldifferenzen an Gebäudefassaden und die Lärmsolierung der Gebäude, werden durch die derzeit vorliegenden Dosis-Wirkungs-Kurven nicht erfasst. Die daraus resultierende Einschränkung der Genauigkeit wird – wie bereits dargelegt – als akzeptabel beurteilt. Gleichzeitig reduziert sich auch das mit diesem Modell darstellbare Spektrum an Minderungsmaßnahmen. Ergebniswirksam werden nur Maßnahmen, die die Emissions- und Transmissionsbedingungen verändern, insbesondere also anlagen- und betriebsbezogene Maßnahmen an den Umgebungslärmquellen (z. B. Betriebsbeschränkungen für Verkehrsanlagen) und die Errichtung oder Beseitigung von Ausbreitungshindernissen (Gebäuden, Lärmschutzwänden etc.).

Im grundstücksübergreifenden (gebiets- und stadtbezogenen) Kontext, in dem von Normalisierungs- und Ausgleichseffekten ausgegangen werden kann und eine Art repräsentativer Belastungsquerschnitt gebildet werden soll, ist die Anwendung der Methode sinnvoll und fachlich angemessen. Der Detaillierungsgrad und die Form der Wirkungsaussage erscheinen für die Flächennutzungs- und Verkehrsentwicklungsplanung und die dort zu bearbeitenden Fragestellungen, vor Allem

- die orientierende und vergleichende Gesamtbetrachtung größerer Gebiete,
- die Identifikation potentieller Konflikt- und Handlungsschwerpunkte für detailliertere Untersuchungen und Planungsschritte,
- die Standort- und Trassenfindung für emittierende Raumnutzungen unter Berücksichtigung und Optimierung der Gesamtbelastung und der Wahrung von Minderungspotentialen und Handlungsspielräumen, sowie
- die Standortfindung für ruhebedürftige Raumnutzungen unter Berücksichtigung der vorhandenen Gesamtbelastung

besonders gut geeignet. Die benötigte Qualität und Detaillierung der Daten harmonisiert gut mit diesen Ansprüchen. Für die Untersuchung von Einzelgrundstücken, Gebäu-

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

den und Wohnungen wird diese Methodik jedoch explizit als ungeeignet eingeschätzt, da dies den ihr angemessenen Detaillierungsgrad weit überschreitet und zu deutlichen Fehlklassifizierungen führen kann.

7.3 Modellebene 'Ruhezonierung'

7.3.1 Grundüberlegungen

Durch die Anwendung globaler Dosis-Wirkungs-Kurven lässt sich der konkrete Grad der Beeinträchtigung von Wohnbereichen durch Umgebungslärmeinwirkungen in angemessener Differenzierung und im Handlungszusammenhang nicht darstellen. Hinzu kommt, dass auf der Maßstabsebene von Grundstücken, Gebäuden und Wohnungen (lokale Ebene) eine quantitative Auswertung in einem übergreifenden, statistisch zu erfassenden Kontext nicht erforderlich ist. Es ist damit weder möglich noch zweckmäßig, die für größere Gebiete sinnvolle risikoorientierte Modellierung durch Modellspezifizierung und -differenzierung herunterzubrechen, sondern es ist ein komplementäres Konzept erforderlich. Dabei können aus der Risikomodellierung für die grundstücksbezogene Betrachtung folgende Informationen übernommen werden:

- Belästigungsgewichteter Gesamtpegel an der lautesten Fassade,
- Dominante Geräuschquelle,
- Größenordnung der lokalen Pegeldifferenzen.

Die Auswertung der vorliegenden Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zeigt, dass mit Ausnahme der diskutierten Ansätze zur Bestimmung der Effekte des Vorhandenseins ruhiger Fassaden auf das Belästigungsempfinden keine Dosis-Wirkungs-Relationen für sekundäre und tertiäre Lärmwirkungen verfügbar sind, die lokale Pegeldifferenzen und die konkrete Verortung von Nutzungen und Aktivitäten auf dem Grundstück einbeziehen. Mit dem Modellkonzept der ruhigen Fassaden lässt sich nach heutigem Stand der Wissenschaft erhärten, dass sich die Belästigungswirkungen der Anwohner bei relativ hoher Geräuschimmission an der höchstbelasteten Gebäudefassade durch eine zuverlässig geringe Immission (hier: $L_{Aeq} < 45 - 50dB(A)$)¹⁴ an einer anderen Fassade partiell kompensieren lassen. Es resultiert ein Belästigungsniveau, das signifikant niedriger ist als

¹⁴KIHLMAN, Tor: Possible and impossible goals for soundscapes in cities. In STADT WIEN, MAGISTRATSABTEILUNG 22 (UMWELT) (Hrsg.): International SYLVIE conference. Wien, 2002. Da der Ausgangspunkt gemessene Mittelungspegel sind und die Anwendung spezieller Summationsmodelle weder wissenschaft-

nach der Belastung der lauten Fassade zu erwarten wäre. Es ist zu berücksichtigen, dass *Kihlman, Gjestland et al.* bei ihren Untersuchungen keine Differenzierung nach Grundrisstypen der Wohnungen und Freiraumstruktur der Wohngrundstücke durchgeführt haben. Damit ist davon auszugehen, dass zumindest partiell auch suboptimale Anordnungen (Wohn- und Schlafräume an der hochbelasteten Fassade, nicht nutzbare ruhige Außenbereiche) erfasst waren.¹⁵ Es ist ohne weiteres davon auszugehen, dass dies zu einer tendenziellen Unterschätzung der Effekte für solche Fälle führt, in denen die ruhige Fassade nicht 'zufällig' entsteht, sondern bewusst und unter konzeptioneller Einbeziehung der Grundrisse und Freiräume geplant wird. Eine nähere Quantifizierung der Effekte und eine zuverlässige Bestimmung der Schwellenwerte für die Immissionsbelastung der ruhigen Fassade (Fragestellung: Bis zu welcher Belastungsschwelle sind positive Effekte einer ruhigen Fassade feststellbar, existiert eine pegelabhängige Funktion?) ist auch aus diesem Grund noch nicht möglich. Die vorliegenden Forschungsergebnisse zeigen auch, dass das Vorhandensein einer ruhigen Fassade nicht zu einer Abkopplung von der globalen Dosis-Wirkungs-Relation für die Belästigung führt, diese aber deutlich flacher verläuft.

Daher ist das Konzept der ruhigen Fassaden auch nicht geeignet, das globale Belästigungsmodell zu ersetzen, sondern die beiden Modellierungskonzepte sind komplementär zu verstehen. Die Optimierung auf der Risikoebene wird nicht obsolet, wenn ruhige Fassaden bestehen, die lediglich für die Kompensation mittlerer bis hoher Gesamtpegel an der lauten Fassade sinnvoll einsetzbar sind. Praktisch ist eine Anwendung für Situationen mit einem L_{den} an der lautesten Fassade unterhalb von 55 dB(A) nicht sinnvoll, weil in diesen Pegelbereichen keine oder nur geringe Effekte erkennbar sind.¹⁶ Oberhalb eines L_{den} an der höchstbelasteten Fassade in der Größenordnung von 70 dB(A) ist das Konzept ebenfalls nicht mehr sinnvoll anwendbar, weil die notwendigen Pegeldifferenzen durch Eigenabschirmung in aller Regel nicht mehr erreichbar sind.

lich belegt ist noch hier erforderlich oder weiterführend erscheint, sollte auch eine aus mehreren Umgebungslärmarten zusammengesetzte Geräuschimmission an der ruhigen Fassade durch energieäquivalente Addition berechnet werden. Angesichts des insgesamt niedrigen für eine ruhige Fassade maßgeblichen Immissionspegels würde aber auch die Anwendung differenzierter Summationskonzepte, insbesondere des Annoyance-equivalents-Konzepts, zu kaum anderen Ergebnissen führen. Dort vergrößern die Lästigkeitsdifferenzen zwischen den Lärmarten proportional zum L_{den} und sind in den hier relevanten Pegelbereichen < 50 dB(A) vernachlässigbar gering.

¹⁵Ebenda

¹⁶Vgl. GJESTLAND, Trulls und STÖFRINGSDAL, B.: The influence of a quiet facade on road traffic annoyance. In Proceedings InterNoise. Den Haag, 2001. *Gjestland et al.* gehen von einem 24-h-Mittelungspegel aus, dessen Tag-Nacht-Differenzen nicht bekannt sind und der hier, um eine einheitliche Nomenklatur zu gewährleisten, mit einem pragmatischen Ansatz (Tag-Nacht-Differenz ca. 10 dB(A), $L_{den} = L_{day} + 1,5dB(A)$) in einen EU-Lärmindex L_{den} umgesetzt wird.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

7.3.2 Konzeption und Management ruhiger Fassaden durch die Stadtplanung

Während das stark an den anlagenbezogenen Emissionen und der räumlichen Zuordnung emittierender zu empfindlichen Nutzungen ausgerichtete risikobezogene Management mit kombinierten Dosis-Wirkungs-Relationen schwerpunktmäßig auf die konzeptionellen, über- und gesamtörtlichen Planungsebenen zielt und die betroffenen Wohngrundstücke letztlich nur als 'Empfänger' einer externen Immissionsbelastung einbezieht, zielt das Konzept der ruhigen Fassaden auf die Bebauungszusammenhänge, Baublöcke und die Wohngrundstücke selbst ab. Diese systematische Trennung ist für das fachliche Management dieses Modellkonzepts und für seine Umsetzung überaus vorteilhaft.

Wird ein schallpegeldifferenziertes städtebauliches Konzept ('laute' und ruhige Fassaden) verfolgt, ist es notwendig, unabhängig von allgemeinen immissionsschutz-, bauplanungs- und bauordnungsrechtlichen Regulierungen sicherzustellen, dass die zur Qualitätssicherung unabdingbare ruhige Seite dies auch dauerhaft bleibt, dass also dort Ruhezone gesichert werden, die kompensatorische Pegel deutlich unterhalb der rechtlich vorgesehen gebietsbezogenen Richt- und Grenzwerte einhalten. Das erfordert zum einen einen weitgehenden Freiraumschutz (Unterbinden von emittierenden Nebengebäuden und -anlagen sowie des ruhenden Verkehrs in rückwärtigen Bereichen) und weitergehende Überlegungen zur Sicherung und Entwicklung von Abschirmungen (in Blockinnenbereichen z. B. an der gegenüberliegenden Blockseite). Die neben einer externen Geräuschbelastung im sinnvollen Anwendungsbereich von 55-70 dB(A) maßgeblichen Faktoren zur Umsetzung bzw. Sicherung ruhiger Fassaden, nämlich

- die kleinräumige Nutzungsverteilung (Art der baulichen Nutzung im 'Feinkorn'),
- die Lage geräuschemittierender Nebenanlagen, z. B. Stellplätze,
- die Bauweise auf den Grundstücken (offen, geschlossen, abweichend),
- die Höhe der baulichen Anlagen,
- die Nutzung und Gestaltung unbebauter Grundstücksflächen und auch
- die systematische Grundrissgestaltung in Wohngebäuden,

sind planungssystematisch vollständig und fast ausschließlich der verbindlichen Bauleitplanung zugeordnet. So ergibt sich auf großer Maßstabsebene ein eigenständiger, von großräumigen Nutzungszuordnungen und Emissionsverteilungen unabhängiger örtlicher

Optimierungsansatz. Dieser ist besonders für die große Zahl von innerstädtischen Bestandsgebieten von Bedeutung, in denen durch übergeordnete Lärminderungsstrategien keine durchgreifenden Verbesserungen - ausgedrückt durch nachhaltige Verminderung von Höchstbelastungen - erzielbar sind. Auch für die Neubebauung von Flächen in vorbelasteten Lagen ist eine systematische Umsetzung belastungsdifferenzierter Konzepte sinnvoll. Konkurrierende Ansprüche sind insbesondere die Grundrissgestaltung und die Belichtung (v. a. Besonnung) von Wohnräumen. So regeln die Landesbauordnungen Mindestanforderungen an die Ausrichtung der Wohnräume, die der Lärminderung zuwiderlaufen können.¹⁷ Nur der Freistaat Bayern regelt ergänzend die Ausrichtung auch unter Lärmgesichtspunkten.¹⁸ Auch auf der Ebene des Immissionsschutzrechts ist das Konzept nicht verankert, weil dort in aller Regel nur zulässige Höchstbelastungen für Grundstücke auf Basis der Art der baulichen Nutzung vorgegeben werden, die nicht weiter differenziert sind.

Eine Rückkopplung systematischer Maßnahmen zur Schaffung ruhiger Fassaden und Außenwohnbereiche in die übergeordnete Modellebene ist mit den bisher vorliegenden Dosis-Wirkungs-Relationen nicht möglich. Dies ist insofern problematisch, als damit Lärminderungserfolge auf örtlicher Ebene nicht abgebildet werden können. Dazu wäre die Ableitung differenzierter Dosis-Wirkungs-Relationen für Wohneinheiten mit ruhiger Fassade erforderlich, die noch nicht erfolgt ist. - Andererseits kann es sogar als Vorteil interpretiert werden, dass eine Verknüpfung nicht erfolgt, denn dadurch bleibt eine systematische Trennung der Modellebenen, die auch unterschiedlichen räumlichen Maßstäben und Planungsebenen zuzuordnen sind, bestehen.

7.4 Modellebene 'Lokale akustische Qualität'

7.4.1 Grundüberlegungen

Mit den beiden Modellebenen *Raumbezogenes Belästigungsrisiko* und *Ruhezonierung* lässt sich eine Vielzahl von Anwendungskonstellationen lärmartenübergreifend und mit breitem Wirkungsbezug bearbeiten. Dennoch ist davon auszugehen, dass Konstellationen verbleiben, die nicht erfasst sind, d. h. bei denen keine fachlichen Potentiale zur Konfliktlösung durch risikoreduzierende Minderungsmaßnahmen an den Lärmquellen bzw.

¹⁷Bsp. LBauO NRW, § 49 Abs. 3 S. 2: 'Reine Nordlage aller Wohn- und Arbeitsräume ist unzulässig.'; LBauO RLP, § 44 Abs. 3 S.2: 'Jede Wohnung mit mehreren Aufenthaltsräumen soll einen besonnten Wohn- oder Schlafräum haben.'

¹⁸BayBO, Art. 46 Abs. 3 S. 5 BayBO: 'An verkehrsreichen Straßen sollen die Aufenthaltsräume einer Wohnung überwiegend auf der vom Verkehrslärm abgewandten Seite des Gebäudes liegen.'

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

die systematische Sicherung und Entwicklung von Ruhezeiten bestehen. Besonders häufig ist dies im näheren Umfeld von An- und Abflugrouten von Flughäfen zu erwarten, wo Ruhezeiten durch von oben einwirkenden Fluglärm systematisch nicht als Lösungsansatz zur Verfügung stehen. In diesen Fällen wird es notwendig, eine genauere und wirkungsdifferenzierte Untersuchung der Betroffenheit im Sinne der Beeinträchtigung der lokalen akustischen Qualität vorzunehmen, um Lösungsansätze im Einzelfall zu suchen. Allerdings können hierzu kaum generalisierende und raumbezogene Aussagen abgeleitet werden – das im Folgenden entwickelte Konzept dient daher auch nicht der Verfeinerung der global ermittelten Belastungskenngrößen im Gegenstromprinzip, sondern der lokalen Qualitätssicherung sowie Konfliktidentifikation und –lösung auf Grundstücksebene und der Ableitung gebietsbezogener Handlungsprioritäten und Hauptbeeinträchtigungen.

Basis der Überlegungen ist, dass auf der Ebene primärer (akuter) Lärmwirkungen vielfältige Erkenntnisse bestehen, die Aufschluss über die tatsächliche Störwirkung von Geräuschereignissen geben können, insbesondere auf die Kommunikation und den Schlaf. Diese Erkenntnisse gelten in wesentlichen Teilen unabhängig von der Geräuschart, so dass die Summation grundsätzlich einfacher und mit eindeutigerem Ergebnis möglich ist als bei der Belästigung und tertiären Wirkungen. Sie erfordert allerdings genauere Kenntnisse sowohl zur Örtlichkeit als auch zu den akustischen Aspekten, als auf gesamträumlicher Ebene sinnvoll implementierbar sind. Ein direkter Bezug zwischen primären Wirkungen und langfristigen sekundären und tertiären Wirkungen ist (noch) nicht quantifizierbar, wenngleich es durchaus plausibel ist, dass eine Abhängigkeit zwischen Anzahl und Intensität der Interaktionen intendierter Tätigkeiten (z. B. Kommunikation) mit Geräuschen und Belästigung bzw. Unzufriedenheit besteht.

Eine vertiefte Analyse der Geräuschbelastung auf lokaler, grundstücksbezogener Maßstabsebene ist dann erfolgversprechend, wenn folgende Grundbedingungen erfüllt sind:

1. Der Gesamtrisikowert bzw. der renormierte Gesamtpegel an der lautesten Fassade überschreiten die z. B. aus den Empfehlungen der WHO abzuleitenden Zielsetzungen für die Wohnnutzung, es besteht also (abstrakter) Handlungsbedarf.
2. Es sind nicht nur marginale lokale Belastungsdifferenzen¹⁹ auf dem Grundstück vorhanden, allerdings ist die Konzeption ruhiger Fassaden nicht möglich. Eine Ausnahme können Situationen darstellen, bei denen der Luftverkehr die dominante Geräuschquelle ist.

¹⁹Der Begriff der Belastungsdifferenzen ist hier nicht auf die Differenz im kombinierten L_{den} zu reduzieren, sondern bezieht sich allgemein auch auf Differenzierungen der Geräuschbelastung, z. B. durch unterschiedliche Geräuscharten aus verschiedenen Richtungen.

Zur Umsetzung dieser Prämissen muss der auf der Risikoebene nur global betrachtete Wohnstandort als räumliche Bezugsgröße weiter ausdifferenziert werden. Dazu ist es erforderlich, die mit dem Wohnen verknüpften Aktivitäten zu erfassen und im nächsten Schritt räumlich und zeitlich einzuordnen, um Störpotentiale zu identifizieren. Als wesentliche die Wohnfunktion kennzeichnende geräuschempfindliche Aktivitäten (Unterfunktionen mit spezifischen Ruheansprüchen) wurden in Kap. 4.5 bereits die Freizeit (Erholung), die Kommunikation, der Schlaf und das Arbeiten zuhause identifiziert. Diesen empfindlichen Unterfunktionen stehen unempfindlichere Aktivitäten gegenüber, die keine Ruhe erfordern bzw. im Tagesverlauf nur kurz ausgeführt werden.

Die Anordnung empfindlicher Aktivitäten in lärmabgewandten bzw. abgeschirmten Grundstücksbereichen wird bereits seit vielen Jahren als qualitative Strategie des Wohnungsbaus in lärmbelasteten Bereichen angewandt. Allerdings fehlt bislang eine differenzierte Betrachtung der Anforderungen an solche Konzepte ebenso wie eine Anwendung auf Bestandssituationen im Sinne der Beschreibung der Qualität eines Wohnumfelds durch den Umsetzungsgrad von Ruheansprüchen. Die räumliche Zuordnung von Ruheansprüchen auf dem Grundstück setzt typisierende Vereinfachungen voraus, mit denen sich nicht alle denkbaren Konstellationen, aber ein großer Teil davon erfassen lassen. Dabei ist zwischen räumlichen Voraussetzungen und tatsächlicher Umsetzung zu differenzieren: Nicht selten sind im baulichen Bestand Situationen vorzufinden, bei denen lärmunempfindliche Aktivitäten in ruhigen Bereichen, empfindliche Aktivitäten hingegen in höher belasteten Bereichen angeordnet sind. Es ist also in einer ersten Stufe zu prüfen, welche räumlich-akustischen Voraussetzungen vorliegen, und in einer zweiten Stufe anhand der baulichen Verhältnisse nachzuvollziehen, ob und in welchem Maß die vorhandenen Potentiale umgesetzt sind.

Dazu werden im folgenden bewusst einfach gehaltene Bewertungswerkzeuge entwickelt, mit denen sich auf Basis der Kenntnis der örtlichen akustischen Bedingungen die tatsächliche, primäre Beeinträchtigung von Wohneinheiten durch Umgebungslärmmissionen in den Bereichen

- Schlafstörung,
- Kommunikation in Innenräumen und
- Wohnungsnahe Erholungsmöglichkeiten

abschätzen lässt. Die Qualitäts- und Beeinträchtigungskriterien werden im Folgenden skizzenhaft dargestellt.

7.4.2 Qualitäts- und Beeinträchtigungskriterien

7.4.2.1 Kriterium 'Minimierung von Schlafstörungen'

Als Qualitätsanspruch kann der ungestörte Schlaf im dafür vorgesehenen Raum bei gekipptem Fenster formuliert werden. Maßgeblich ist der Nachtzeitraum. Aus den in Kap. 5 diskutierten Ansätzen zur Modellierung von Schlafstörungen kommen auf Ebene der konkreten Untersuchung auf Gebäudeebene insbesondere diejenigen in Frage, die auf Basis von *SEL*- oder Maximalpegelhäufigkeiten die Anzahl der Aufweckreaktionen modellieren. Ein auf lokaler Basis und für Bestandssituationen realisierbares Modell wird im Richtlinienentwurf E-VDI 3722-2 vorgeschlagen.²⁰ Durch Auswertung der über alle Umgebungslärmarten summierten Maximalpegelstatistik und Anwendung einer Dosis-Wirkungs-Relation für die Aufwachwahrscheinlichkeit wird ein einfaches Beeinträchtigungskriterium modelliert, nämlich die durchschnittlich zu erwartende primäre Schlafstörung durch Aufwachen. Als einfache, lineare Optimierungsfunktion kann die Reduzierung der modellierten lärminduzierten Aufwachereignisse herangezogen werden.

7.4.2.2 Kriterium 'Kommunikation im Innenraum'

Die ungestörte Kommunikation im Innenraum ist eine weitere Grundanforderung an Wohneinheiten. Der Qualitätsanspruch ist hier die stetige Gewährleistung komfortabler familiärer Kommunikation bei gekipptem Fenster. Maßgeblich ist der Tag- und vor allem der Abendzeitraum. Eine Beeinträchtigungs- und Optimierungsfunktion lässt sich unter Nutzung des Grundgeräuschpegels L_{AF95} aus dem unter Kapitel 5 diskutierten Modell zur akustischen Kommunikationsqualität nach *Lazarus* definieren.

7.4.2.3 Kriterium 'Wohnungsnaher Erholungsmöglichkeiten'

Als drittes Qualitäts- und Beeinträchtigungskriterium wird die Erreichbarkeit wohnungsnaher Erholungsmöglichkeiten mit akzeptabler akustischer Qualität definiert. Auch hier kann zur Operationalisierung die Primärwirkung Kommunikationsstörung dienen. Es ist eine Differenzierung nach Wohnungen erforderlich, die über einen eigenen Freiraum verfügen und solchen, deren Anwohner zur wohnungsnahen Erholung öffentliche Parks und Gärten nutzen. Der Qualitätsanspruch ist auch hier grundsätzlich durch die komfortable familiäre Kommunikation, hier allerdings im Freien.

²⁰E-VDI 3722-2, Punkt 2.

7.4.3 Identifikation von Minderungsmöglichkeiten

Durch Anwendung der hier dargestellten Werkzeuge zur Identifikation konkreter Qualitätsbeeinträchtigungen lässt sich kein vereinheitlichender Beeinträchtigungsindikator ableiten. Dies ist auch nicht erforderlich, um Handlungserfordernisse und -potentiale ableiten zu können. Die Einzelkriterien bieten dafür jeweils eine Kenngröße und eine Optimierungsfunktion, anhand derer sich der Grad der Beeinträchtigung ebenso abschätzen lässt wie das konkrete Handlungspotential. Die Bestimmung von Minderungsmöglichkeiten (Umsetzung des Handlungspotentials) ist möglichst flexibel zu handhaben. Die für die übergeordneten Modellebenen sinnvolle und erforderliche systematische Zuordnung zu Planungsebenen und -verfahren ist nicht mehr sinnvoll, da eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen in Betracht kommt und geprüft werden muss. Dies können einzelne Eingriffe in die Emittenten (z. B. lokale Verkehrsbeschränkungen) und den Ausbreitungsweg (Abschirmungsbauwerke) ebenso sein wie grundstücksbezogene und gebäudeinterne Zuordnungen. Es ist insofern notwendig, auf dieser Ebene möglichst offen und diskursiv angelegte Verfahrensweisen zu nutzen. Das in Kap. 6.3.3 (S. 196) beispielhaft dargestellte qualitative Lärmsanierungsverfahren kann hierfür beispielgebend sein.

7.5 Immissionswerte für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

7.5.1 Grundüberlegungen

Die integrierte Betrachtung von Umgebungslärmimmissionen und ihren Wirkungen wirft die Frage nach dem Stellenwert und potentiellen Weiterentwicklungen des in Deutschland bestehenden, lückenhaften und stark zergliederten Systems von Orientierungs-, Richt- und Grenzwerten (allgemein: Immissionswerten) auf, anhand derer Geräuschimmissionen im Planungs- und Genehmigungskontext beurteilt werden. Dabei ist im Wesentlichen zu diskutieren, auf welcher methodischen Basis derartige Werte grundsätzlich zu Stande kommen können und wie der Integrationsaspekt, d. h. das überlagerte Einwirken verschiedener Geräuschquellen, wirkungsbezogen und umsetzungspraktisch realisiert werden kann. Die Analyse und Kategorisierung der in Deutschland bestehenden Immissionswerte ist insofern schwierig, als sie zum Einen nicht auf einheitlicher methodischer und akustischer Basis beruhen und sich die Werte zum Anderen in ihrem Bedeutungsgehalt ebenso stark unterscheiden wie in ihrer Verbindlichkeit und ihren Anwendungsbereichen. Dies unterscheidet die Regelungen in Deutschland z. B. grundsätzlich von dem durch die Lärmschutzverordnung homogenisierten System der Schweiz.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Immissionswerte können methodisch sehr unterschiedlich abgeleitet werden. Allgemein zu unterscheiden sind z. B. wirkungsorientierte, risikoorientierte und zielorientierte Ansätze. Möglich - und in der Praxis häufig - ist auch die Einbeziehung externer Faktoren wie Kosten-Nutzen-Aspekten und die Bestimmung von Immissionswerten auf dem Verhandlungsweg (sog. Konventionalwerte). Der Beitrag der Lärmwirkungsforschung ist dabei differenziert zu betrachten. Ihr gelingt es für die meisten relevanten Lärmwirkungen, Schwellenwerte zu ermitteln, unterhalb deren das Auftreten der Wirkung ausgeschlossen oder auf bestimmte (besonders vulnerable) Bevölkerungsgruppen eingegrenzt werden kann. Oberhalb dieser Schwellen schließt sich in aller Regel ein breiter Risikobereich an, der nach Lärmwirkungen zu unterscheiden ist: Bei den primären Lärmwirkungen, z. B. der Kommunikationsstörung und der Aufwachreaktion, steigen Häufigkeit und Intensität der Wirkung an - am Beispiel der Kommunikationsstörung aufgezeigt führt eine Zunahme der Anzahl der Einzelgeräuscheereignisse zu häufigeren, eine Zunahme des Pegels dieser Ereignisse zu intensiveren akuten Störungen. Eine wissenschaftliche Ableitung von Obergrenzen dieser Belastungsform ist nicht möglich, sondern setzt die Entwicklung konkreter, nutzungsbezogener Qualitätsmaßstäbe (z. B.: ständig störungsfreie und komfortable Sprachkommunikation) voraus, die letztlich Konventionen sind.

Für sekundäre Lärmwirkungen, insbesondere die Belästigung (Globalreaktion) und die langfristige Schlafbeeinträchtigung, sind Dosis-Wirkungs-Relationen abgeleitet worden, die oberhalb des unteren Schwellenwerts in aller Regel streng monoton steigende Funktionen des Beurteilungspegels darstellen, und zwar sowohl in der Auftretenswahrscheinlichkeit definierter Wirkungsintensitäten als auch in der durchschnittlichen Intensität. Eine systematische Ableitung von Obergrenzen ist hier möglich, erfordert aber die wissenschaftlich nicht fundierbare Setzung von Risikostandards (zulässiges Produkt aus Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit). - Tertiäre Lärmwirkungen, insbesondere extraaurale Gesundheitsschäden, werden primär mit epidemiologischen Methoden untersucht. Auch hier lassen sich zwar Risikosteigerungen für die Manifestation von Krankheiten bei erhöhter Belastung durch Umgebungslärm feststellen. Allerdings können signifikante Schwellenwerte, die für die Setzung von Immissionswerten herangezogen werden könnten, auch hier nicht fundiert werden, so dass sich eine ähnliche Problematik wie bei den sekundären Lärmwirkungen ergibt: Eine relative Risikobetrachtung ist grundsätzlich möglich, für die absolute Grenzwertsetzung bedarf es aber einer externen Wertung der Akzeptabilität von Risiken in der Bevölkerung.

Insofern lassen sich Begrenzungswerte für zumutbare oder zulässige Geräuschimmissionen aus Wirkungserkenntnissen nicht direkt ableiten. Es ist aber möglich, methodische Grundlinien für die Konstruktion begrenzender Immissionswerte aufzuzeigen. Wenn be-

7.5 Immissionswerte für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

grenzende Immissionswerte allgemein gültig, d. h. für bauplanungsrechtlich homogene Gebietstypen einheitlich festgelegt werden sollen, sind der Differenzierung klare Grenzen gesetzt. Sinnvoll möglich erscheint nur die Orientierung an Dosis-Wirkungs-Relationen auf Basis der Geräuschsituation der höchstbelasteten Fassade, was methodisch ungefähr der Struktur der bestehenden Richt- und Grenzwerte für Gewerbe-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrslärm im deutschen Immissionsschutzrecht entspricht. Wirkungserkenntnisse können hier ebenfalls nur global, d. h. in Form allgemeiner und undifferenzierter Dosis-Wirkungs-Relationen einbezogen werden. Die Berücksichtigung spezifischer Wirkungserkenntnisse und kleinräumiger Immissionsdifferenzen führt hingegen zu praktisch nicht beherrschbarem Regelungsaufwand und ist zudem mit Kenntnislücken konfrontiert. Sie sollte daher der fachlichen Optimierung, z. B. auf Ebene der verbindlichen Bauleitplanung und der Vorhabenplanung, vorbehalten bleiben.

7.5.2 Differenzierung von Begrenzungswerten und Voraussetzungen

Angesichts des breiten Wirkungsbereichs von Umgebungslärmimmissionen bietet sich eine systematisch differenzierte Festlegung von Schwellen- und Begrenzungswerten an. Schon bisher existieren in Deutschland vielfältige Zahlenwerte für die Immissionsbegrenzung mit sehr unterschiedlichem Verbindlichkeitsgrad, denen allerdings eine nachvollziehbare Koordination fehlt. Aus Sicht der im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse erscheint es sinnvoll, Immissionswerte in grundsätzlicher Orientierung an die in der Schweizer Lärmschutzverordnung vorgenommene Differenzierung und die Überlegungen von *Tegeder et al.* in folgende Kategorien einzuteilen:

1. *Ziel- oder Planungswerte* bestimmen das nach Qualitätsgesichtspunkten und zur Risikominimierung angestrebte Immissionsniveau, bei dessen Einhaltung keine Maßnahmen erforderlich sind.
2. *Richt- oder Grenzwerte* definieren das unter Zumutbarkeits- und Risikogesichtspunkten noch verträgliche Immissionsniveau, bei dem Minderungsmaßnahmen bereits angezeigt und erfolgversprechend sind und dass bei Neuplanung nicht überschritten werden sollte.
3. *Alarm- oder Sanierungswerte* markieren die Grenze zum unmittelbaren Sanierungsbedarf in Bestandssituationen.

Differenziert man die Begrenzungswerte in dieser oder ähnlicher Form, lassen sich inhaltliche Zuordnungen relativ leicht treffen: Bei Einhaltung von Zielwerten besteht kein

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

Handlungsbedarf, die Richtwerte sind bei Neuplanungen einzuhalten und in Bestands-situationen zu sichern. Ziel- und Richtwert bilden zugleich die äußeren Grenzen für die räumliche Risikooptimierung. Ab Überschreitung der Zielwerte sind nach Möglichkeit risikominimierende Maßnahmen auf dem Grundstück anzustreben, oberhalb der Richtwerte ist dies verbindlich. Die Alarmwerte stellen die Grenze dar, die nicht überschritten werden darf bzw. bei Überschreitungen zu Minderungsmaßnahmen führen muss.

Die in Deutschland in der Vergangenheit bei sog. 'Gesamtlärmkonflikten' maßgebliche Problematik, die auch ausschlaggebend für die Entwicklung der TÜV-Gesamtlärmstudie war, ist das Fehlen von Grenz- und Alarmwerten für einen Großteil der bestehenden Verkehrsanlagen. Da die Immissionsbelastung durch den Luftverkehr und die vor 1990 errichteten Straßen und Schienenwege rechtlich nicht explizit geregelt ist, sind zum Teil sehr hohe Belastungen durch Einzelanlagen bzw. einzelne Lärmarten vorhanden, für die keine unmittelbare Sanierungsverpflichtung besteht. Bei Veränderungen im Umfeld stellt sich dann die - verwaltungsgerichtlich zu klärende - Frage der Überschreitung rechtlich relevanter Grenzen, insbesondere der immissionsschutzrechtlich abstrakt definierten Grenze zur Gesundheitsgefährdung. Dabei handelt es sich erkennbar nicht um ein Problem, das die Modellierung der Wirkungen kombinierter Umgebungslärmbelastungen erfordert, sondern um ein weitreichendes Regulierungsdefizit im Bereich von Bestandsanlagen. Maßgeblich ist diesen Fällen praktisch nie die Belastungskombination, sondern die fehlende Lärmsanierung an stark belastenden Anlagen, für die bislang in Deutschland nur freiwillige Programme existieren. Insofern ist zunächst die Einführung - und Umsetzung - vollständiger Grenz- oder Alarmwerte und zugehöriger Sanierungsvorschriften auch für Bestandsanlagen erforderlich, die ein rechtlich normiertes Mindestmaß an Schallschutz gewährleistet und damit auch die bestehenden Rechtsunsicherheiten in stark vorbelasteten Lagen behebt. Diese sind im Ergebnis darauf zurückzuführen, dass in großem Umfang rechtlich als gesundheitsgefährdend klassifizierte Immissionsbelastungen im Siedlungsraum geduldet werden.

Zu den Voraussetzungen ist ebenfalls die für die Verkehrslärmarten nicht eingeführte Anwendung von Richt- und Grenzwerten auf die Gesamtheit gleichartiger einwirkender Anlagen, z. B. aller Straßen, zu zählen. Die bei der Summation verschiedenartiger Quellen zu diskutierenden methodischen Probleme und Besonderheiten treten in diesem Fall nicht auf - eine energieäquivalente Addition ist ausreichend. Im Vollzug der Sportanlagen-Lärmschutzverordnung und der Technischen Anleitung Lärm wird diese 'lärmarten-interne' Summation bereits seit mehreren Jahren erfolgreich praktiziert.

7.5.3 Lärmartenübergreifende Immissionswerte?

Die zuvor formulierten Voraussetzungen - Schaffung verbindlicher Alarm- oder Sanierungswerte und Anwendung sektoraler Grenz- und Richtwerte auf alle einwirkenden Anlagen - führen zu der Frage, ob darüber hinaus die Konstruktion von Immissionswerten für kombinierte Einwirkungen erforderlich und zielführend ist.

Derartige Begrenzungswerte müssten auf Basis einer einheitlichen Korrektursystematik zur Berücksichtigung der Lästigkeitsdifferenzen konstruiert werden, wodurch die Beiträge der Lärmarten zum Gesamt-Immissionspegel austauschbar werden. Es bietet sich die Kalibrierung an der Lästigkeit der bei weitem dominierenden Quellenart Straßenverkehr mit dem äquivalenten Dauerschallpegel als Geräuschdeskriptor an. Die Beurteilungspegel der übrigen Umgebungslärmarten können dann durch Renormierung in ein Straßenverkehrsäquivalent umgerechnet werden. Fachliche Basis dafür kann das Annoyance-equivalent-Modell sein, durchaus denkbar ist aber auch eine vereinfachte Konstruktion mit pauschalen Zu- und Abschlägen, Zu- und Abschlagsfunktionen wie in der Schweizer Lärmschutzverordnung oder mit einem System geräuschartenspezifischer Zu- und Abschläge analog ISO 1996. Eine Kombination dieser Korrekturgrößen, wie z. B. von *Tege-der et al.* in Form der Pegelkorrektur durch Zuschläge für Impuls- und Tonhaltigkeit und eine zusätzliche Bonus-Malus-Systematik vorgeschlagen,²¹ ist grundsätzlich denkbar, aber unsystematisch und nicht zu präferieren.²² Eine Differenzierung nach Tageszeiträumen (Tag und Nacht) ist dabei wegen der unterschiedlichen maßgeblichen Wirkungen fachlich geboten.

Ein für kombinierte Einwirkungen geltender Immissionswert muss auf die einzelnen Umgebungslärmquellen sinnvoll verteilt werden. Diese Verteilung kann regelungsmethodisch unterschiedlich vollzogen werden. *Tege-der et al.*, die solche Werte vorschlagen, geben keinen Mechanismus dafür an. Dies führt dazu, dass der Immissionswert für jeden Immissionsort frei verteilt und ggf. durch eine einzelne Umgebungslärmquelle oder -art voll ausgeschöpft werden kann. Andere Quellen bzw. Quellenarten können dann nur noch in einem Umfang emittieren, der nicht zur Erhöhung des Immissionspegels an bereits ausgeschöpften Immissionsorten führt.

Als Lösungsansatz für die Umsetzung von anlagenübergreifenden Gesamtbelastungswerten hat sich im Vollzug der TA Lärm die Bestimmung von Geräuschkontingenten er-

²¹ TEGEDER, Klaus et al.: Beurteilung und Bewertung von Gesamtlärm (Gesamtlärmstudie). Köln: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme, 2000, S. 30.

²² Tege-der et al. begründen z. B. den vorgeschlagenen Malus für den Gewerbelärm mit der bisher bestehenden, sehr scharfen Beurteilung durch die TA Lärm. Der Malus ist daher nicht wirkungsbezogen, sondern bezieht regelungspraktische Erwägungen mit ein. Dem kann hier nicht gefolgt werden.

7 Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen

wiesen. Kontingentierungen können sowohl in Form von Emissions- als auch in Form von Immissionskontingentierungen durchgeführt werden. Bei der Immissionskontingentierung wird festgelegt, welchen Teil-Pegel (=Immissionskontingent) eine Gewerbefläche an einem bestimmten Immissionsort verursachen darf. Die Summe der Teil-Pegel aller auf diesen Immissionsort einwirkenden Gewerbeflächen darf dabei den Gesamt-Richtwert der TA Lärm nicht überschreiten. Regelungstechnisch muss also bei der Immissionskontingentierung einer Gewerbefläche für jeden von ihr maßgeblich beschallten Immissionsort (maßgeblich ist die Beschallung dann, wenn die jeweilige Quelle zur Überschreitung des Richtwerts beitragen kann) ein Immissionskontingent zugeordnet werden. Im Genehmigungsverfahren ist dann die Einhaltung jedes einzelnen Kontingents nachzuweisen. Die Emissionskontingentierung vereinfacht das Konzept der Immissionskontingentierung insofern, als sie für die in die Kontingentierung einbezogenen Gewerbeflächen nicht für jeden Immissionsort ein Immissionskontingent festlegt, sondern nur ein gebietsbezogenes Emissionskontingent, mit dem an allen relevanten Immissionsorten die Richtwerte der TA Lärm eingehalten werden. Als Verteilungsinstrument dient regelmäßig die flächenproportionale Emissionskontingentierung in der Bauleitplanung. Dieses Instrument verteilt die auf einer Fläche mögliche Schalleistung gleichmäßig auf konstante Flächeneinheiten, i. d. R. in 1-Meter-Quadrate. Steht für eine Gesamtfläche von 10.000 qm beispielsweise ein freies Schalleistungskontingent von 100 dB(A) zur Verfügung, wird das gesamte Kontingent von 100 dB(A) energieäquivalent gleichmäßig auf 1-m-Quadrate verteilt, d. h. es entstehen 10.000 Quadrate, denen jeweils ein Schalleistungskontingent von 60 dB(A) zugeordnet wird. Nach Festsetzung derartiger flächenbezogener Kontingente im Rahmen der Bauleitplanung (als Gliederung nach Betriebseigenschaften) dürfen Betriebe proportional zu ihrer Fläche emittieren.²³ Damit sind für die restlichen Flächen Kontingente in der entsprechenden Größenordnung gesichert. Eine direkte Übertragung des flächenbezogenen Kontingentierungsansatzes aus dem Gewerbelärm auf kombinierte Umgebungslärmbelastungen ist nicht möglich, weil dieser nur auf Nutzungen mit ähnlichem Verhältnis von Schalleistung zu Fläche sinnvoll angewandt werden kann. Bei anderen als gewerblichen Nutzungen ist der Zusammenhang von Schalleistung und Fläche weit weniger ausgeprägt; bei den Verkehrsanlagen sind eher funktionale als flächenbezogene Merkmale für die Schalleistung maßgeblich. Zu bedenken ist weiterhin, dass anders als beim Gewerbe bei Quellenkombinationen z. T. sehr große räumliche Zusammenhänge mit einer unüberschaubar hohen Anzahl von Quellen und Immissionsorten und unterschiedlichen Trägerschaften einbezogen werden müssten. Es ist daher zu fragen, ob die lärmartenübergreifende Kontingentierung auf Basis eines gesamthaften Begrenzungswerts handhabbar

²³STEINEBACH, Gerhard: Stadtplanung, Bauleitplanung und Lärmkontingentierung - Lärminderungspotentiale der städtebaulichen Nutzungsmischung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 48 März 2001, Nr. 2.

7.5 Immissionswerte für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

sein kann. Gleichwohl eröffnet die Festlegung gesamthaft geltender Immissionswerte gegenüber festen, auf eine Lärmart bezogenen Werten deutlich größere planerische Handlungsmöglichkeiten insbesondere in Bereichen, in denen zwei oder mehr unterschiedliche Lärmarten einwirken.

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

8.1 Zentrale Erkenntnisse

8.1.1 Umgebungslärm - eine vernetzte Modellierungsaufgabe

Die Modellierung des Umgebungslärms und seiner Wirkungen ist ein vernetzter Prozess, bei dem ausgehend von geräuschemittierenden Aktivitäten zunächst eine zeitliche und akustische Beschreibung der relevanten Geräuschemissionen erarbeitet werden muss, um über Ausbreitungsmodelle das raumbezogene Immissionsniveau beschreiben zu können. Im nächsten Schritt sind die Wirkungen dieses Immissionsniveaus auf Menschen zu modellieren. Dabei sind Wirkungsmodelle ebenso einzubeziehen wie vertiefte räumliche Informationen, insbesondere zur Flächennutzung und baulichen Struktur. Aus Wirkungsinformationen müssen handhabbare Expositions- und Risikoaussagen modelliert werden, mit denen Entscheidungen über emissions- und immissionsverändernde Maßnahmen getroffen werden können. Mit diesen Maßnahmen beginnt der Modellkreislauf von Neuem. Die Modellierung des Wirkungskreises Umgebungslärm erfordert damit die Einbeziehung einer Vielzahl heterogener Teilmodelle, die weitgehend eigenen Paradigmen und Anforderungen folgen. Allerdings bestehen enge Wechselwirkungen zwischen den Modellparametern, so dass die Gesamtmodellierung eine Abstimmung der einzelnen Modellbestandteile aufeinander erfordert und die Qualität und Aussagekraft von Modellen für den Umgebungslärm nur im Zusammenhang aller einbezogenen Teilmodelle von geräuschverursachenden Aktivitäten über die Emission und Transmission bis hin zur Wirkung beurteilt werden kann.

8.1.2 Umgebungslärm in der raumbezogenen Planung und im Umweltrecht: Neue Perspektiven durch die Umgebungslärmrichtlinie

In der raumbezogenen Planung wird der Begriff der Geräuschquelle bzw. Umgebungslärmquelle auf raumgebundene, raumbedeutsame und der koordinierenden räumlichen Gesamtplanung auf überörtlicher und örtlicher Ebene unterliegenden Anlagen spezifi-

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

ziert, was eine spezielle Auslegung der Emissionsmodelle erfordert. Umgebungslärm entsteht nach diesem Verständnis durch die Interaktion emittierender und empfindlicher Raumnutzungen - er ist damit ein Raumnutzungskonflikt mit den Dimensionen Akzeptor-, Raum- und Nutzungsbezug.

Zur Regulierung der Raumnutzungskonflikte beinhaltet das deutsche Umweltrecht eine Vielzahl von Vorschriften unterschiedlicher Anwendungsbereiche und Verbindlichkeit, die durch umfangreiche technische Normen ergänzt werden. Ein einheitliches Konzept zur Modellierung, Bearbeitung und letztlichen Lösung dieser Konflikte ist allerdings nicht erkennbar: Es kommen unterschiedliche Verfahren und Methoden zum Einsatz, eine einheitliche methodische und konzeptionelle Ausgestaltung fehlt bisher. Dabei ist die in den sektoralen, d. h. nach Umgebungslärmarten administrativ getrennten Regelwerken stark heterogene praktische Herangehensweise an Beurteilungsaufgaben (z. B. die Verwendung unterschiedlicher Ausbreitungsmodelle und die heterogene fachliche Herleitung und praktische Ausgestaltung von Begrenzungswerten) nicht auf fachliche Zwänge oder wirkungsbezogene Überlegungen, sondern letztlich auf die historische Entwicklung und die Verteilung der Rechtsgrundlagen auf unterschiedliche Vorschriften zurückzuführen - eine begriffliche und modellsystematische Vereinheitlichung ist hier erforderlich. Auch aus diesen Rahmenbedingungen resultiert die apodiktische 'Einheit von Ermittlungs- und Bewertungsverfahren', die auf die fehlende Vergleichbarkeit zwischen den nach den sektoralen Beurteilungsvorschriften ermittelten Beurteilungspegeln zurückzuführen ist. Messung und Bewertung stehen damit in einem definierten Verhältnis, das nicht ohne weiteres aufgelöst werden kann.

Der differenzierten und an nationalen wie internationalen Fachnormen orientierten Beurteilungspraxis beim Gewerbelärm stehen 'Insellösungen' bei den übrigen Umgebungslärmarten gegenüber. Die heterogene fachrechtliche Basis schlägt auf die Anwendung in der Praxis der Siedlungs- und Infrastrukturplanung und auch auf die Lärminderungsplanung durch. Dort stellt sich verstärkt das Problem kombinierter Umgebungslärmimmissionen aus gleich- und verschiedenartigen Anlagen. Da einheitliche Beurteilungsgrundlagen fehlen, werden insbesondere in der Bauleitplanung häufig sektorale Beurteilungsvorschriften und Begrenzungswerte antizipiert angewendet, was zu erheblichen fachlichen Inkonsistenzen führen kann.

Mit der Umgebungslärmrichtlinie der Europäischen Union ist ein methodisches Konzept zur einheitlichen Ermittlung von Beurteilungspegeln (sog. Lärmindizes) und Betroffenheitsbeschreibung (über Dosis-Wirkungs-Relationen für bestimmte Leitwirkungen) für alle Umgebungslärmarten verbindlich eingeführt worden. In der Folge wird in den nächsten Jahren ein systematisches, berechnungsgestütztes Monitoring der Umgebungslärm-

belastung in Ballungsräumen und im Umfeld sog. Hauptlärmquellen - die strategische Lärmkartierung - aufgebaut werden; die Aufstellung von Lärminderungsplänen (Aktionsplänen) wird sich anschließen.

Die Umgebungslärmrichtlinie verfolgt aus fachlicher Perspektive den Ansatz einer möglichst weit gehenden Standardisierung der Lärmkartierung unter Einbeziehung aller Umgebungslärmarten. Anders als im anlagenbezogenen Recht werden nach der Umgebungslärmrichtlinie die Emissionspegel der Quellen unter einheitlichen Gesichtspunkten ermittelt, die Ausbreitungsmodellierung erfolgt dann für alle Quellen gleich mit einem harmonisierten Berechnungsverfahren innerhalb eines einheitlichen Umgebungsmodells. Ebenfalls für alle Umgebungslärmarten einheitlich werden zwei Beurteilungspegel, sog. Lärmindizes, ermittelt, nämlich der gewichtete 24-Stunden-Mittelungspegel L_{den} und der nächtliche Mittelungspegel L_{night} . Die starke Vereinheitlichung und die Beschränkung auf nur zwei Indikatoren trägt dem Grundgedanken der Europäischen Union Rechnung, die Information der Öffentlichkeit über den Umweltzustand und ihre Beteiligung am Prozess der Entscheidungsfindung über Pläne und Maßnahmen zu verbessern.

Aus fachlicher Sicht eröffnet die Standardisierung Potentiale sowohl für die fachliche Modellierung und das Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen als auch für eine (spätere) methodische Vereinheitlichung der raum- und anlagenbezogenen, bisher sektoral angelegten Regelungen im Immissionsschutzrecht. Dies ist vor Allem darauf zurückzuführen, dass die Beurteilungspegel unterschiedlicher Lärmarten zumindest aus akustisch-technischer Perspektive voll miteinander vergleichbar sind und die beim Vergleich von nach deutschem Recht sektoral ermittelten Beurteilungspegeln auftretenden Komplikationen vollständig entfallen. Gleichwohl ist festzustellen, dass die Standardisierung auch zu einer 'Entfeinerung' der Beurteilung führt, indem differenzierte Betrachtungen durch Generalisierungen ersetzt werden. Dies betrifft vor Allem die beiden Beurteilungspegel, die sehr allgemein definiert sind und akustischen wie auch zeitstrukturellen Besonderheiten des Geräuschverlaufs nicht Rechnung tragen. Durch die Festlegung der Beurteilungspegel ist außerdem bereits determiniert, welche Verfahren zur Wirkungsmodellierung zur Anwendung kommen können: Es sind nur solche Verfahren durchführbar, die auf die zur Verfügung stehenden Beurteilungspegel zurückgreifen; differenziertere Verfahren können nicht angewendet werden.

8.1.3 Emission und Transmission: Modellgrundlagen für die Lärmkartierung

Die von der Europäischen Union vorgenommene Beschränkung der Lärmindizes auf (modifizierte) Mittelungspegel ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die Modellierung

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

der Geräuschemission raumbezogener Anlagen sowohl als Momentanwert als auch im Zeitverlauf eine komplexe Aufgabe darstellt, bei der die Umgebungslärmarten differenziert zu betrachten sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Satz von Beschreibungsparametern (Mittleres Geräuschniveau, zeitlich differenziertes Geräuschniveau, Hintergrundbelastung, mittlere Spitzenpegel, Häufigkeit und Intensität von Einzelereignissen, akustische und nichtakustische Auffälligkeiten im Geräuschverlauf) abgeleitet, mit dem sich Geräuschverläufe näherungsweise vollständig beschreiben lassen. Allerdings zeigt die nähere Untersuchung der Anlagen- und Betriebsbedingungen der zu betrachtenden Umgebungslärmquellen, dass in Abhängigkeit von der betrachteten Quellenart ein großer Teil der Pegelkriterien nur aus Messungen und damit ex-post ermittelt werden kann. Jeweils nur ein Ausschnitt der Pegelkriterien kann hinreichend stabil berechnet bzw. prognostiziert werden.

Der einzige für alle Umgebungslärmarten gleichermaßen in akzeptabler Genauigkeit modellierbare Emissionsdeskriptor ist der langfristige energieäquivalente Dauerschallpegel i. S. d. DIN 45641, der - mit Unschärfen in den Randzeiten - nach Tag- und Nachtzeitraum differenziert werden kann. Hinreichend zuverlässig abschätzbar erscheint außerdem der Maximalpegel im Sinne regelmäßig erwartbarer Ereignisse, wobei Sonderfälle nicht erfasst werden können. Die antizipierende Berechnung und ex-ante-Prognose differenzierterer Pegelkriterien ist besonders bei den Straßenverkehrsquellen nicht zuverlässig möglich. Da in Prognose- und Planungssituationen der Rückgriff auf prognostische Berechnungen erforderlich ist, reduzieren sich die verfügbaren Deskriptoren und damit die 'Genauigkeit' der akustischen Daten drastisch. Es entsteht dadurch das Problem, dass eine wirkungsgerechte Beurteilung des Umgebungslärms durchaus scheitern kann, wenn es nicht gelingt, Wirkungsindikatoren zu identifizieren, die sich hinreichend zuverlässig auf verhältnismäßig einfache akustische Zusammenhänge - nämlich Mittelungspegel - zurückführen lassen.

Die zur Bestimmung der raumbezogenen Immissionen erforderlicher Transmissionsberechnung wird durch Engineering-Modelle, insbesondere die ISO-Norm 9613-2 bewältigt. Mit diesen Modellen zur Schallausbreitungsberechnung lassen sich die Immission an einem Punkt unter ausbreitungsbegünstigenden meteorologischen Bedingungen erfassen. Die wesentlichen Komponenten geometrische Pegelabnahme, Luftabsorption, Bodeneffekt, Beugung und Abschirmung, Schalldurchgang durch Vegetation und Reflexionen an Oberflächen sind implementiert. Ausgehend von - hier nicht zu bewertenden - Defiziten des Modells werden seitens der technischen Akustik weitere Verbesserungen umgesetzt, die die verglichen mit anderen Modellbestandteilen ohnehin hohe Genauigkeit der Transmissionsprognose weiter erhöhen. Aus Sicht der räumlichen Planung sind in die-

sem Bereich keine Defizite erkennbar. Der limitierende Faktor ist hier klar in der Erhebung der ausbreitungsrelevanten Daten zu sehen. Dabei ist zum Einen der hohe Bestandsaufnahmeaufwand einzubeziehen, zum Anderen ist zu betrachten, dass bestimmte Ausbreitungsfaktoren, insbesondere die Bodeneigenschaften (Vegetation, Befestigung) und kleinere Hindernisse, einem fortlaufenden, baurechtlich weitgehend unkontrollierten Wandel unterliegen und daher generalisierend erfasst werden müssen. Ein ähnliches, systematisch auftretendes Problem ergibt sich in Planungssituationen, die mit Änderungen der Ausbreitungsbedingungen einhergehen. Für die Umgebungslärmrichtlinie befindet sich mit dem Harmonoise-Projekt ein neues, harmonisiertes Modell zur Schallausbreitung in Entwicklung, das diesem Umstand insofern Rechnung trägt, als neben differenzierten Berechnungen auch vereinfachte Abschätzungen möglich sein werden.

Der Akzeptorbezug von Lärmwirkungen macht es erforderlich, die sich aus der Lärmkartierung ergebenden flächenhaften Immissionsdaten so zu reduzieren und zu strukturieren, dass qualifizierte Rückschlüsse auf die Exposition von Menschen möglich werden. Dabei ist vor Allem die Frage maßgeblich, wie die durch Transmissionsprozesse, insbesondere geometrische Ausbreitungsdämpfung, Reflexion, Beugung etc. kleinräumig stark divergierende Immissionssituation auf handhabbare Datensätze reduziert und der räumliche Kontext von Immissionen so beschrieben werden kann, dass möglichst alle maßgeblichen Lärmwirkungen repräsentativ erfasst werden. Die praktisch dafür angewandten Konzepte unterscheiden sich stark: Es existieren stark generalisierende Beschreibungen (Reduktion auf einen Punkt, meist ein repräsentativer Immissionspunkt an der höchstbelasteten Fassade der Wohnung des Betroffenen) ebenso wie differenziertere Konzepte, die auch räumliche Immissionsdifferenzen berücksichtigen und in einen Akzeptorbezug bringen (z. B. das Konzept der 'ruhigen Fassade' an Wohngebäuden). Ähnlich wie bei der Differenzierung der Emissionspegel hat die vorliegende Arbeit auch in diesem Punkt den Ansatz verfolgt, die möglichen repräsentativen Immissionspunkte und ihre Kombination zusammenfassend darzustellen und die Frage nach der Generalisierung bzw. dem notwendigen Detaillierungsgrad erst auf Basis der Wirkungsmodelle zu diskutieren.

Die durch Emissions- und Transmissionsmodellierung erreichbare Genauigkeit und die mit der Modellierung verbundenen Unsicherheiten, Unschärfen und Fehler sind eine bislang im raumbezogenen Immissionsschutz nur am Rande diskutierte Frage, denn dort ist bislang vor Allem der Vergleich von Soll- und Istwert (Einhaltung von Immissionswerten durch tatsächliche oder prognostizierte Immissionen) maßgeblich. Die flächendeckende Modellpräzision ist dafür weniger bedeutsam, weil Unsicherheiten und Lücken im Prognoseverfahren mit der systematischen Verwendung konservativer bzw. leicht überschätzen-

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

der Verfahren begegnet werden kann. Dieses Vorgehen kann auf wirkungsorientierte Modelle, die die gesamte Breite von Geräuschimmissionen und deren Wirkungen erfassen müssen, nicht übertragen werden. Dort ist es erforderlich, die Zuverlässigkeit der Modelle und die Größenordnung möglicher Abweichungen zu kennen. Systematische Überschätzungen in unbekannter Größenordnung sind nicht akzeptabel, weil sie zur Ergebnisverzerrung führen.

Die Umsetzung dieser Anforderung ist problematisch, weil Unsicherheiten sowohl in den Eingangsdaten (z. B. Verkehrszahlen) wie auch in allen Teilmodellen auftreten. Generalisierend lässt sich feststellen, dass die Unsicherheiten von Immissionsberechnungen mit der Anzahl der genutzten Teilmodelle (und damit in Abhängigkeit von der Anzahl der Quellen, der Komplexität der Ausbreitungsbedingungen und der Entfernung zwischen Quellen und Immissionsort) ansteigen und sich daher besonders in geometrisch komplexen Ausbreitungsbedingungen räumlich sehr heterogen verteilen. Dies macht es bei der Wirkungsprognose dem Grunde nach notwendig, zusätzlich zum ortsbezogenen Immissionspegel auch dessen Unsicherheitsbereich mit einzubeziehen. Zur Abschätzung der Unsicherheiten existieren Fuzzy-logic-Modelle, die jedoch noch nicht systematisch zur Anwendung kommen. Unabhängig davon ist zu überlegen, ob und wie Unsicherheiten und Unschärfen künftig noch reduziert werden können.

8.1.4 Lärmwirkungen

Lärmwirkungen sind ebenso vielfältig wie die Methoden der Lärmwirkungsforschung. Dies führt dazu, dass der vorliegende Erkenntnisstand sehr heterogen ist und sich besonders im Hinblick auf die aus Sicht der Stadtplanung daraus zu ziehenden Konsequenzen Probleme ergeben. Es ist festzustellen, dass derzeit deskriptive, statistische und explikative Modellkonzepte und -ansätze für primäre, sekundäre und tertiäre Wirkungen weitgehend unverbunden nebeneinander stehen. Die für die Wirkungen des Umgebungslärms auf den Menschen vorliegenden Dosis-Wirkungs-Modelle sind methodisch sehr heterogen. Als grundlegendes Unterscheidungskriterium werden Modelle zur Ermittlung der globalen Betroffenheit von Bevölkerungsanteilen von solchen Modellen abgegrenzt, die darauf zielen, Einzelwirkungen induktiv abzuleiten. Dabei basiert die erste, deskriptive Modellkategorie zumeist auf breit angelegten empirischen Befragungen, die mit den für assoziierte Orte (z. B. den Wohnort der Befragten) ermittelten Umgebungslärmbelastungen zu statistischen Relationen verbunden werden. Dabei werden die erfragten Wirkungen global und retrospektiv erfasst, die zugrunde liegenden akustischen Daten sind in aller Regel stark generalisiert, d. h. auf einen stellvertretend für die Umgebungslärmbelastung des Immis-

sionsorts modellierten Einzahlwert bzw. ein Wertepaar (Tag- und Nacht-Mittelungspegel) reduziert. Damit wird eine top-down-Betrachtung vorgenommen. - Die zweite, im Grundsatz explikative Modellkategorie prognostiziert demgegenüber aus klinischen Befunden, Feld- und Laborstudien oder auch akustischen Gegebenheiten die Wirkungen von Einzeleignissen und ihrer Kumulation auf Basis differenzierter akustischer Belastungsdaten und Studienergebnissen im Sinne einer bottom-up-Betrachtung.

Auf der primären Ebene sind vor allem Relationen zwischen Momentanpegeln 'am Ohr des Betroffenen' und Reaktion, differenziert nach Intensität und Qualität der induzierten Störung, fundiert worden, die auf Erkenntnissen in Feld- und Laborstudien basieren. Dabei können in der Regel auch untere Schwellen genannt werden, unterhalb derer ein Wirkungseintritt nicht zu erwarten ist. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang vor allem die Kommunikations- und die akute Schlafstörung. Eine Zeitperspektive besteht nicht, lässt sich aber bei Kenntnis der akustischen Situation (Pegelverlauf) ergänzen. Daraus ergeben sich dann Häufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten des Wirkungseintritts je Zeiteinheit.

Auf der sekundären Wirkungsebene sind für die Belästigung und - mit eingeschränkter Aussagefähigkeit - die selbstberichtete Schlafstörung zeitlich dimensionslose Dosis-Wirkungs-Relationen verfügbar, mit denen sich der Anteil der Wirkungsbetroffenen an der exponierten Bevölkerung als Funktion eines langfristigen, wohnortsbezogenen Immissionspegels darstellen lässt. Auch hier sind untere Schwellen (Nulldurchgang der Wirkungsfunktion) erkennbar. Diese globalen Dosis-Wirkungs-Relationen sind auf die Auswertung eines gewichteten Mittelungspegels an der höchstbelasteten Fassade eines Wohngebäudes - ohne Berücksichtigung akustischer und räumlicher Besonderheiten - beschränkt. Das Modellierungsergebnis besteht aus undifferenzierten, zeitlich statischen Wahrscheinlichkeitsprognosen für das Vorhandensein der betrachteten Wirkung (z. B. 'starke Belästigung') unter Normalbedingungen. Diese Normalbedingungen sind nicht abschließend definiert. Dies führt dazu, dass diese Modellierung nur zur generalisierenden Abschätzung, nicht aber zur Prognose individueller Beeinträchtigungen geeignet ist. Eine weitere Begrenzung der Aussagefähigkeit der Dosis-Wirkungs-Relationen ist auf den statischen Charakter des Modells zurückzuführen, das die Veränderungsdynamik von Geräuschbelastungen nicht berücksichtigt, sondern auf gleichbleibende Geräuschbedingungen (steady-state) ausgelegt ist. Da nach herrschender Meinung besonders bei der Belästigungswirkung signifikante Belastungsänderungen zunächst zu deutlichen Überschusseffekten führen, die nach einiger Zeit wieder abklingen, sind die Relationen nicht geeignet, die Belästigungseffekte im unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit Belastungsänderungen abzuschätzen.

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Für tertiäre Wirkungen bestehen belastbare epidemiologische Erkenntnisse, die signifikante langfristige Risikosteigerungen für Betroffene mit hohen Immissionspegeln am Wohnort gegenüber solchen mit deutlich niedrigeren Immissionspegeln aufzeigen. Allerdings liegen diese Forschungsergebnisse nicht in Form pegelabhängiger Funktionen, sondern nur punktuell (z. B. als Vergleich zwischen Betroffenen bei $L_{DEN} > 65dB(A)$ gegenüber $L_{DEN} < 50dB(A)$) vor. Daraus lassen sich zwar Tendenzen und ggf. auch qualitative Handlungsempfehlungen, aber weder pegelabhängige Nutzenfunktionen noch Schwellenwerte ableiten. Eine wichtige Erkenntnis der vorliegenden epidemiologischen Studien ist der statistisch signifikante Zusammenhang zwischen starker Belästigung und erhöhtem Krankheitsrisiko. Dies unterstreicht die Schlüsselstellung der Belästigung im Gesamtzusammenhang der Lärmwirkungen: Die Belästigung spiegelt sowohl negativ empfundene Beeinträchtigungen am Tage wie auch wahrgenommene Störungen im Nachtszeitraum wider. Langfristige starke Belästigung scheint bei einem signifikanten Teil der Bevölkerung einen 'circulus vitiosus' mit den Elementen Störung - Belästigung - Stress - Krankheit auszulösen. Insofern ist es nachvollziehbar und zutreffend, dass die Europäische Union die Belästigung neben der Schlafstörung als eine der im Rahmen der Lärmkartierung zu modellierenden Leitwirkungen ausgewählt hat.

8.1.5 Summationsmodelle für kombinierte Umgebungslärmimmissionen

Kombinierte Umgebungslärmimmissionen werden allgemein als gemeinsam (d. h. nicht unbedingt gleichzeitig, aber im Laufe des Betrachtungszeitraums) auf einen Ort einwirkende Immissionen aus verschiedenartigen Umgebungslärmquellen definiert. Unter Modellierungsgesichtspunkten zeigt sich die Kombination als mehrstufige Aggregation von der tatsächlichen Einzelquelle (z. B. ein Kraftfahrzeug) über die raumbezogene Anlage (z. B. eine Straße), die Gesamtheit der auf einen Ort einwirkenden 'gleichartigen' Anlagen (z. B. ein Straßennetz) bis hin zur Gesamtheit der auf einen Ort einwirkenden verschiedenartigen Umgebungslärmquellen. Jeder dieser Aggregationsschritte führt jeweils zu spezifischen Komplexitätssteigerungen, z. B. im Pegel-Zeit-Verlauf, durch verschiedene Einwirkungsrichtungen, durch Unterschiede der Geräuschcharakteristik und des Bedeutungsgehalts von Geräuschen (Wirkungskomponente) und durch möglicherweise durch weitere Effekte.

Ein einheitlicher, allgemein gültiger Summations- und Bewertungsalgorithmus für den Umgebungslärm ist nicht abzuleiten. Dies ist auf die bei den einzelnen Lärmwirkungen stark verschiedenen Wirkungsmechanismen und -abhängigkeiten zurückzuführen. Insofern muss nach wirkungsabhängigen Summationsfunktionen gesucht werden, die sich

unabhängig an den für die jeweiligen Wirkungen vorliegenden Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung orientieren müssen. Eine Folge dieser klaren Wirkungsabhängigkeit der Summation ist, dass es nicht sinnvoll erscheint, die im Rahmen der Lärmkartierung zu erarbeitenden, nach Umgebungslärmarten (Straße, Schiene, Luftverkehr, Industrie) getrennten Lärmkarten zu einer flächenhaften Summenkarte zusammenzuführen. Dies würde letztlich nur bedeuten, eine für eine Wirkung unter bestimmten räumlichen und zeitlichen Bedingungen geltende Summation undifferenziert in die Fläche zu übertragen.

Praktisch alle der vorliegenden Summationsmodelle beziehen sich auf die globale Belästigung. Die bereits bei der Wirkungsmodellierung für 'homogene' Umgebungslärmeinwirkungen auftretenden Probleme setzen sich bei der Modellierung kombinierter Immissionen, die auf den Modellstrukturen und Ergebnissen der Wirkungsforschung für Einzelquellen aufsetzen muss, fort. Dennoch wurden für die Belästigungswirkung seit Anfang der 1980er Jahre vielfältige Kombinationsmodelle entwickelt, wobei sich das Annoyance-equivalents-Modell als Stand der Technik durchgesetzt hat und bereits praktische Anwendung findet.

Die fachliche Bewertung der genannten Modelle für die Ermittlung der Belästigung durch kombinierte Umgebungslärmimmissionen ist insofern schwierig, als diese alle grundsätzlich auf dem von Schultz Ende der 1970er Jahre konzipierten Dosis-Wirkungs-Paradigma basieren. Auch der fachliche Detaillierungsgrad ist praktisch einheitlich (ein repräsentativer Immissionspunkt, ein Einzahlenwert für die Geräuschbelastung, ein undifferenzierter Summationsalgorithmus, ein Belästigungsindikator). Dies führt dazu, dass sich alle Inkonsistenzen, Unschärfen und Einschränkungen, die das Schultz-Modell kennzeichnen, auf die Summationsmodelle übertragen. Systematische Unterschiede zeigen sich letztlich nur im eigentlichen Summationsalgorithmus, d. h. in der Funktion, mit der die auf den (einzigen) beurteilungsrelevanten Immissionspunkt eines Wohnstandorts einwirkenden Geräuschbeiträge der verschiedenartigen Umgebungslärmquellen zu einem Gesamtpegel addiert werden. Die einzige Möglichkeit, Qualitätsaussagen zu diesen Summationsfunktionen herzuleiten, liegt in der Auswertung der Korrelationsmaße im Vergleich empirischer Daten mit modellierten Abschätzungsergebnissen, also durch statistischen Hypothesentest. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Modelle sowohl mit globalen Dosis-Wirkungs-Relationen für die sektorale Einwirkung wie auch mit einem globalen Summationsalgorithmus arbeiten, der einheitlich für alle Gebiete und Geräuschkombinationen angewandt wird. Eine tragfähige Qualitätsbewertung der Summationsalgorithmen erfordert somit die Einbeziehung einer möglichst großen empirischen Datenbasis, die verschiedenste Situationen mit einbezieht. Dies betrifft beide großen Modellkomponenten, nämlich die nach Quellenarten differenzierten Dosis-Wirkungs-Relationen und

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

den Summationsalgorithmus. Gütetests für Dosis-Wirkungs-Relationen wie Summationsalgorithmen mit großen Datenmengen werden durch das Fehlen standardisiert erhobener Geräuschbelastungs- und Belästigungsdaten behindert. Nach *Miedema et al.* ergibt sich dennoch eindeutig die Vorzugswürdigkeit der wirkungsstatistischen Kombination mit dem Annoyance-equivalents-Verfahren z. B. gegenüber dem Dominant-Source-Konzept und anderen Verfahren. In der Fachdiskussion wird die Validität der zugrunde liegenden Datensätze in Frage gestellt, da z. T. sehr alte Befragungen einbezogen sind und insgesamt weder die akustische Datenbasis noch die Befragungsdaten methodisch einheitlich ist. Dies ist auf die bis vor kurzem fehlende Standardisierung der Belästigungsskalen und auf die erst mit der Umgebungslärmrichtlinie für Europa erreichte, aber noch nicht umgesetzte Vereinheitlichung der Geräuschdeskriptoren und Berechnungsverfahren zurückzuführen ist. Die Umsetzung der strategischen Lärmkartierung in Europa, die mit einer vereinheitlichten und zentralisierten Datenhaltung verbunden ist, wird absehbar dazu führen, dass sich die Datenbasis auf der akustischen Seite ab 2008 sprunghaft verbessern wird. Beginnend mit den großen Ballungsräumen werden vereinheitlichte Geräuschbelastungsdaten verfügbar sein, die kurzfristig und kostengünstig durch Belästigungsdaten ergänzbar sind, z. B. im Rahmen von Bevölkerungsbefragungen, in die die standardisierten Fragen zur Belästigungswirkung eingearbeitet werden.

Dabei wird auch der Aspekt der lokalen Belastungsdifferenzen, besonders der Aspekt des Vorhandenseins einer sog. 'ruhigen Fassade' an Wohngebäuden, Eingang finden. Auch wenn bislang kein einheitliches Verständnis von den akustischen und weiteren Parametern der 'ruhigen Fassade' besteht, zeigen vorliegende Forschungsergebnisse eindeutig den Einfluss dieses 'Zugangs zur Ruhe'. Hier zeigt sich, dass die auf nur einem Immissionspunkt je Grundstück beruhenden globalen Dosis-Wirkungs-Relationen in ihrer Aussagekraft begrenzt sind, weil sie besonders bei kombinierten Belastungen den Einfluss unterschiedlicher Einwirkungsrichtungen nicht adäquat abbilden können.

Die Summation kombinierter Umgebungslärmimmissionen bei primären Wirkungen, besonders der Schlaf- und der Kommunikationsstörung, ist dem gegenüber bislang kaum untersucht worden. Dies ist nicht nur auf die herausragende Bedeutung der Belästigung für die Gesamtbeurteilung von Lärmwirkungen zurückzuführen, sondern auch und vor Allem darauf, dass die Summation hier - differenzierte Immissionsdaten vorausgesetzt - deutlich geringere methodische Schwierigkeiten hervorruft. Insbesondere bei intensiven Störungen wie dem nächtlichen Erwachen und der Kommunikationsunterbrechung besteht eine klare Abhängigkeit von konkreten Geräuschereignissen, die mit *SEL* und Maximalpegelstatistiken erfassbar sind. Spezifische Summationsfunktionen sind entbehrlich, weil sich durch kombinierte Immissionen im Grundsatz nur die Anzahl der relevan-

ten Ereignisse erhöht, die Ereignisse selbst sich aber nicht verändern - Ausnahmen sind allenfalls dort zu sehen, wo bei sehr hoher zeitlicher Ereignisdichte sich Einzelereignisse überlagern. Dies vernachlässigend können die primären Wirkungen einzelner Umgebungslärmquellen unabhängig voneinander erhoben und anschließend durch Addition auf die Quellenkombination übertragen werden.

Bei Betrachtung der tertiären Wirkungen, also insbesondere langfristig entstehender extra-auraler Gesundheitsschäden, ist zu berücksichtigen, dass die vorhandene epidemiologische Datenbasis nicht ausreichend ist, um differenzierte Aussagen zur kombinierten Einwirkung zu erlauben. Die für den Straßenverkehrs- und den Fluglärm vorliegenden Erkenntnisse lassen jedoch auf ähnliche Wirkungsmechanismen schließen; insbesondere konsolidiert sich der Zusammenhang zwischen starker Belästigung und tertiären Folgewirkungen im Sinne erhöhter Gesundheitsrisiken. Im Ergebnis erscheint es heute es nicht möglich, für tertiäre Wirkungen einen eigenständigen Modellierungsansatz zu formulieren, der über die für die starke Belästigung bekannten Zusammenhänge hinausgeht.

8.1.6 Integration des Umgebungslärms in planerische Entscheidungsprozesse: Erste Modellanwendungen

Vor dem Hintergrund der systematisch damit verbundenen Unschärfen wird die Anwendung globaler Dosis-Wirkungs-Relationen nicht selten kritisch hinterfragt. Aus planerischer Sicht ist jedoch festzustellen, dass mit diesem Modell ein geschlossenes Konzept besteht, mit dem sich globale Lärmwirkungen überschlägig und näherungsweise für größere Räume bestimmen lassen. Beschränkt man die Anwendung auf übergeordnete räumliche Fragestellungen, insbesondere zur Lage, Schalleistung und Abschirmung raumwirksamer flächen- und linienhafter Emittenten in ihrer Zuordnung zu schutzbedürftigen Gebieten ergeben sich breite Anwendungsfelder. Die Modellierung kann dabei nicht die Aufgabe übernehmen, die Betroffenheit einzelner Grundstücke und Akzeptoren zu erfassen und konkreten Handlungsbedarf abzuleiten, sondern mit standardisierter Methodik einen verallgemeinerbaren Risikoindikator darzustellen. Der eingeschränkte Datenbedarf und die stark generalisierte Wirkungsaussage der vorliegenden Dosis-Wirkungs-Kurven ist dabei sogar von Vorteil.

Auf dieser Basis sind im europäischen Ausland, insbesondere in den Niederlanden und Norwegen, bereits erste praktisch anwendbare Indikatoren und Modellanwendungen entwickelt worden, mit denen kombinierte Umgebungslärmimmissionen erfasst und im Wirkungszusammenhang dargestellt werden. Sowohl beim niederländischen Konzept also auch beim norwegischen SPI-Modell bildet jeweils das Annoyance-equivalents-Konzept

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

die methodische Basis der Indikatorbildung, allerdings mit unterschiedlichem Auswertungsansatz: Während in den Niederlanden die 'starke Belästigung' im Vordergrund steht, wird in Norwegen mit einem Indikator gearbeitet, der die gesamte Breite der Belästigung - also auch niederschwellige Betroffenheiten - berücksichtigt. Managementkonzepte, mit denen die gezielte räumliche Optimierung der Immissionssituation im Sinne der Minimierung von Belästigungswirkungen möglich ist, sind bisher nicht formuliert oder angewandt worden.

8.2 Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen: Empfehlungen

8.2.1 Gestuftes Modellkonzept

Die vorliegende Arbeit entwickelt aus dem zuvor interpretierten Stand der Wissenschaft und Anwendung ein gestuftes Managementkonzept zur integrierten Berücksichtigung kombinierter Umgebungslärmbelastungen in der raumbezogenen Gesamt- und Fachplanung. Dabei werden als wesentliche Handlungsfelder die Risikominimierung auf Ebene von Standorten, Trassen und ihrer räumlichen Zuordnung sowie die Sicherung, Entwicklung und systematische Optimierung der Bau- und Freiraumstrukturen zu suchen zur lokalen Risikominderung abgeleitet. Zusätzlich wird es als erforderlich eingeschätzt, für Bereiche, in denen durch Überschreitung von Immissionswerten und fehlende räumliche Optimierungsmöglichkeiten Nutzungskonflikte und -beeinträchtigungen bestehen, nach partiellen Lösungsmöglichkeiten zu suchen, die die Nutzungsqualität so weit wie möglich sichern. Anhand dieser Vorgaben wird ein mehrstufiges Konzept für die Modellierung und das Management kombinierter Umgebungslärmimmissionen entwickelt.

Kernbestandteil ist ein Konzept zur Ermittlung des globalen Belästigungsrisikos auf Basis des Annoyance-equivalents-Modells. Im deutschen Ebenensystem der raumbezogenen Gesamtplanung ist es vor allem die für die grundlegende Nutzungszuordnung im Gemeindegebiet relevante Ebene der Flächennutzungsplanung (informell ergänzt durch die kommunale Verkehrsentwicklungsplanung), in der die Integration von Belastungsmodellen auf Basis globaler Dosis-Wirkungs-Kurven erfolgversprechend erscheint. Auch in Raumordnungsverfahren für raumwirksame Infrastrukturen und Einzelnutzungen ergeben sich sinnvolle Anwendungsfelder. Für diese Bereiche zeigt sich sowohl für die Datenbasis als auch für den Konkretisierungs- und Detaillierungsgrad sowie die modellierbaren Indikatoren eine gute Übereinstimmung zwischen Umgebungslärmmodell und damit zu beantwortenden Planungsfragestellungen. Die vorliegende Arbeit entwickelt quantitative

8.2 Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen: Empfehlungen

Verfahren zur Abschätzung der Effekte von Minderungsmaßnahmen und Zusatzbelastungen, die für die Lärminderungsplanung ebenso Anwendung finden können wie für die Standort- und Trassenbestimmung im gesamtäumlichen Kontext. Weiterhin werden Verfahren entwickelt, mit denen sich Analysen kombinierter Belastungssituationen hinsichtlich des potentiellen und tatsächlichen Einflusses von Einzelquellen und Umgebungslärmarten im Zusammenhang der Gesamtbelastung durchführen lassen, um Handlungsprioritäten und -möglichkeiten bestimmen zu können.

Diese Modell- und Konzeptbestandteile sind auf stärker konkretisierte Planungsaufgaben, insbesondere die verbindliche Bauleitplanung, kaum zielführend anwendbar, da zum Einen die konkrete räumlich-bauliche und nutzungsstrukturelle Situation nicht abbilden können, und zum Anderen weil auf der Gebietsebene kaum mehr Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die für die Risikosituation maßgeblichen Hauptlärmquellen bestehen.

Die zweite Modellebene 'Ruhezonierung' formuliert daher ein zur Risikomodellierung komplementäres Konzept zur Sicherung, Entwicklung und Optimierung lokaler Ruhezonen, das methodisch auf dem Konzept der 'ruhigen Fassade' aufbaut und es ermöglichen soll, auch bei erhöhter Immissionsbelastung akzeptable Wohnqualitäten zu erzielen. Die Anwendung dieser Modellebene setzt eine systematische Abschichtung voraus: Sie ist nur sinnvoll, wenn auf der Risikoebene erreichbare Minderungspotential systematisch geprüft wurden und auf der Gebietsebene eine mittel- und langfristige Perspektive besteht, auf der lokale Konzepte zur Entwicklung bzw. Sicherung von Ruhezonen abgestützt werden können. Die Entwicklung und Sicherung der Ruhezonen erfordert ein Regelungskonzept auf Ebene der verbindlichen Bauleitplanung, das innerhalb der Ruhezonen ein Geräuschniveau sichert, das deutlich unterhalb der allgemein gültigen Immissionswerte für Wohn- bzw. Mischgebiete liegt.

Die dritte Modellebene - 'Lokale akustische Qualität' - wird in der vorliegenden Arbeit nur skizziert. Dies soll verdeutlichen, dass auch und gerade in Konfliktsituationen Ansatzpunkte zu systematischen kleinräumigen Qualitätsverbesserungen bestehen.

In der folgenden Darstellung sind die Modellebenen mit ihren Verknüpfungen im Sinne eines Workflows für die strukturierte Bearbeitung von Gebieten dargestellt.

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

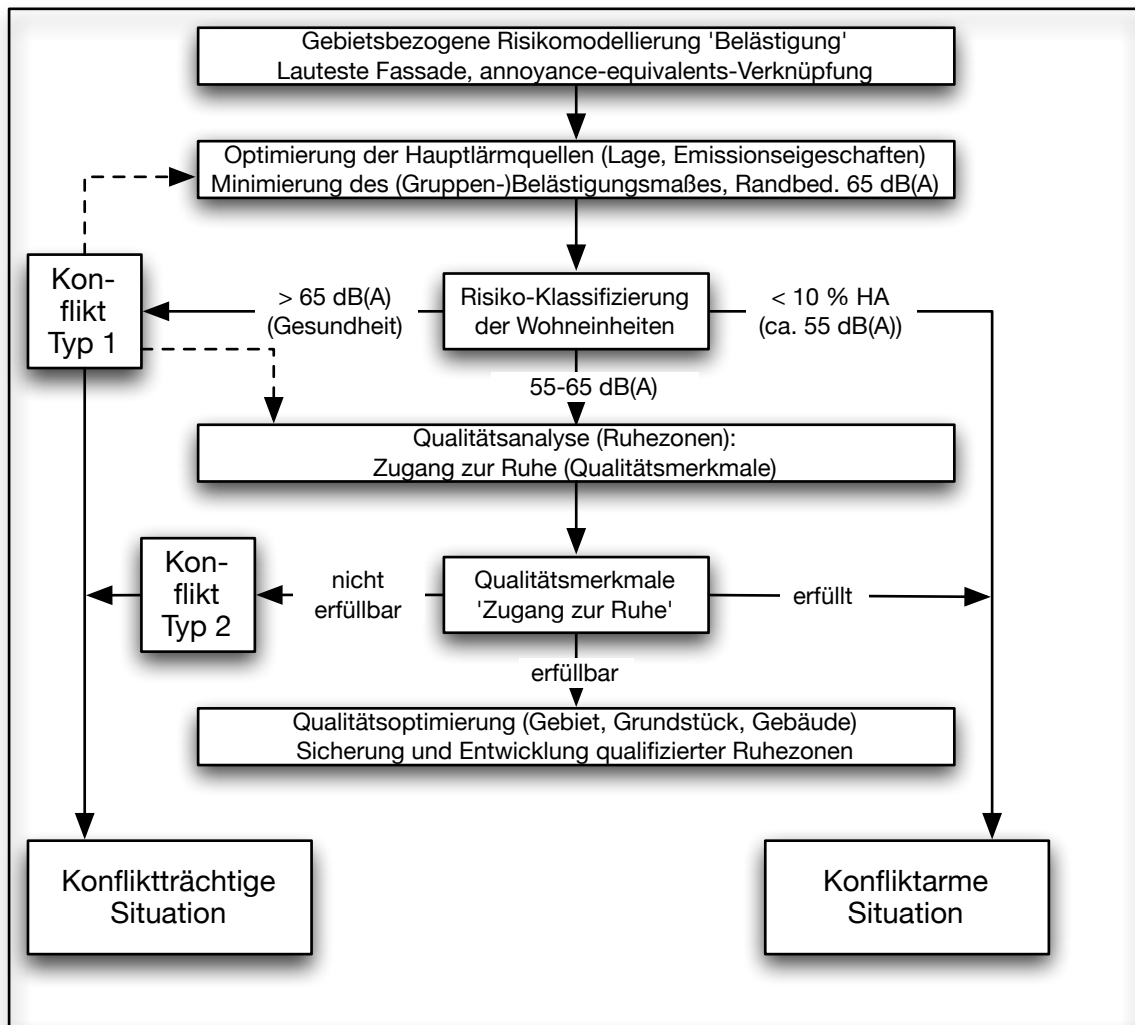


Abbildung 8.1: Vernetzung der Modellebenen

8.2.2 Optimierung der Lärmkartierung und Aktionsplanung

Mit der Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie in das deutsche Immissionsschutzrecht (§§ 47a-f BImSchG) ist eine Pflicht zur systematischen und einheitlichen Lärmkartierung bestimmter Bereiche entstanden. Diese stellt grundsätzlich eine leistungsfähige Basis für die Integration des Umgebungslärms in stadtplanerische Entscheidungsprozesse dar, insbesondere deswegen, weil durch sie zumindest in den normierten Ballungsräumen wesentliche Teile der erforderlichen umweltbezogenen und akustischen Daten zur Verfügung gestellt und - im Sinne eines Monitoringprozesses - periodisch bzw. 'im Falle einer bedeutsamen Entwicklung' aktualisiert werden. Dies stellt die für eine quellenübergreifende

8.2 Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen: Empfehlungen

Betrachtung unerlässliche Konsistenz aller Daten sicher und entlastet die Planungsträger. Dennoch ist festzustellen, dass sowohl die Ursprungsregelung der Umgebungslärmrichtlinie als auch - noch verstärkt - fachliche Defizite und Fehlstellen aufweisen, die ihren Erfolg zumindest partiell in Frage stellen.

Dies betrifft zunächst die Lärmkartierung außerhalb der Ballungsräume. Dort sind nur sog. Hauptlärmquellen in die Kartierung einbezogen, die nicht akustisch oder wirkungsbezogen, sondern anhand von Formalkriterien bestimmt werden. Dadurch ist zu befürchten, dass in erheblichem Umfang Hauptlärmquellen mit geringem Wirkungspotential in die Kartierung einbezogen werden, während sonstige Lärmquellen mit höherem Wirkungspotential unberücksichtigt bleiben. Im Sinne der abgeleiteten Anforderungen an die Modellkonsistenz wird hierzu vorgeschlagen, die Festlegung der außerhalb der Ballungsräume einzubeziehenden Lärmquellen anhand eines einfachen konfliktorientierten Schätzverfahrens vorzunehmen, z. B. alle Lärmquellen einzubeziehen, die an Wohngebäuden einen L_{DEN} von 60 dB(A) überschreiten.

Da nach der Lärmkartierungsverordnung außerhalb der Ballungsräume die übrigen im Auswirkungsbereich der Hauptlärmquellen (z. B. überörtliche Straßen) liegenden sonstigen Lärmquellen (z. B. örtliche Straßen) nicht in die Lärmkartierung einbezogen werden, sind die Lärmkarten für Ballungsräume mit denen für Hauptlärmquellen außerhalb der Ballungsräume prinzipiell nicht vergleichbar (abweichende Modellierungsbasis). Dadurch führte die Anwendung einheitlicher Dosis-Wirkungs-Relationen außerhalb der Ballungsräume zu einer systematischen Unterschätzung der Betroffenheiten und Überschätzung der Minderungspotentiale, da die von sonstigen Lärmquellen hervorgerufene Grundbelastung der kartierten Gebiete vernachlässigt wird. Es wird daher empfohlen, außerhalb der Ballungsräume zunächst die Auswirkungsbereiche der Hauptlärmquellen zu bestimmen und die Kartierung in diesen Auswirkungsbereichen auf die sonstigen Lärmquellen auszudehnen. Nur so lässt sich eine methodisch einheitliche Modellierungsbasis für die Anwendung von Dosis-Wirkungs-Relationen schaffen. Der dadurch entstehende Zusatzaufwand wird als sehr gering eingeschätzt, da die Gelände- und Hindernisdaten der Auswirkungsbereiche schon für die isolierte Kartierung der Hauptlärmquellen vollständig erfasst werden müssen und daher nur noch die akustischen Daten der sonstigen Lärmquellen in das Modell integriert werden müssen.

Die Umgebungslärmrichtlinie gibt ein Beurteilungssystem mit den Leitwirkungen Belästigung und Schlafstörung vor, wobei nach Anhang III der Richtlinie für die Beurteilung der Belästigungswirkung eine Dosis-Wirkungs-Relation auf Basis des Lärmindex L_{DEN} und für die Schlafstörung eine Dosis-Wirkungs-Relation auf Basis des Lärmindex L_{Night} Verwendung finden soll. Da beide genannten Lärmindizes auf A-bewerteten

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

äquivalenten Dauerschallpegeln basieren und nach Anhang VI, 1.5 der Richtlinie jeweils nur die am stärksten lärmbelastete Fassade ausgewertet wird, kommen zur Anwendung nur globale, empirisch ermittelte Dosis-Wirkungs-Relationen in Frage. Damit ist die Dosis-Wirkungs-Modellierung in ihrem Detaillierungsgrad, ihrer fachlichen Aussagefähigkeit und ihrer Handlungsorientierung eng limitiert. Der Umgang der Umgebungslärmrichtlinie mit diesem Aspekt ist unbefriedigend. Zwar wird unter Anhang I, 3, auf zahlreiche ergänzende Lärmindizes hingewiesen und auch auf notwendige Differenzierungen und Spezifizierungen der Dosis-Wirkungs-Relationen wird eingegangen (Anhang III). Es fehlt allerdings ein methodisches Konzept zum Umgang mit den verbindlich vorgeschriebenen Lärmindizes und den daraus abgeleiteten Betroffenenzahlen sowohl in der Bewertung schädlicher Auswirkungen des Umgebungslärms als auch - und vor allem - in der Aktionsplanung. Defizite sind vor allem in der Interpretation kombinierter Umgebungslärmeinwirkungen verschiedenartiger Quellen und der Effekte von Maßnahmen der Aktionsplanung auf die mittels Dosis-Wirkungs-Relationen erfassten Betroffenheitswerte zu erkennen.

Kombinierte Einwirkungen unterschiedlicher Lärmarten werden von der Umgebungslärmrichtlinie nicht mit einem eigenen Lärmindex erfasst. Es wird aber in Anhang I, 3, auf einen zusätzlichen Lärmindex verwiesen, der ggf. zur Anwendung kommen könnte. Hinsichtlich der Dosis-Wirkungs-Relationen ist die Richtlinie nicht eindeutig. Es sind alle Lärmarten aufgeführt, allerdings kommt nicht explizit zum Ausdruck, ob die Dosis-Wirkungs-Relationen für die Lärmarten unabhängig voneinander angewendet oder in Beziehung zueinander gesetzt werden sollen. Die Untersuchungen dieser Arbeit haben gezeigt, dass das 'Fehlen' eines eigenständigen Lärmindex für die kombinierte Einwirkung insofern unproblematisch ist, als alle Summationsmodelle zunächst die Berechnung lärmquellenspezifischer Immissionsdaten erfordern, die im nächsten Schritt, nämlich zur Anwendung von Dosis-Wirkungs-Relationen, miteinander kombiniert werden. Es ist allenfalls denkbar, die als Zwischenschritt entstehenden Renormierungspegel als eigenständige Lärmindizes der Gesamtbelastung zu definieren (hier: $L_{DEN,adjusted}$ und $L_{Night,adjusted}$). Da die dahinter liegenden Summationsfunktionen aber nicht flächendeckend, sondern nur für definierte Orts-Pegel-Kombinationen (hier: Freifeldpegel in 4 m Höhe vor der am stärksten lärmbelasteten Fassade) gelten, ist es ohnehin nicht sinnvoll, flächendeckende Summenlärmkarten darzustellen. Insofern ist ein Summen-Lärmindex nicht erforderlich. Problematisch hingegen ist die fehlende Präzisierung der Dosis-Wirkungs-Relationen. Wenn tatsächlich Betroffenenzahlen getrennt nach Lärmarten erfasst werden, ist ein sinnvoller Überblick über die Gesamtzahl der betroffenen Personen (im Zusammenwirken unterschiedlicher Belastungen) ebenso wenig zu ermitteln wie die Minderungspotentiale, die nicht isoliert betrachtet werden können. Ein koordiniertes Vorgehen gegen den Umgebungslärm erfordert zunächst die Gesamtschau der Belastungen. Besonders augen-

8.2 Management kombinierter Umgebungslärmbelastungen: Empfehlungen

fällig wird der in Teilen widersprüchliche Ansatz der Umgebungslärmrichtlinie dort, wo die nach Lärmarten getrennte Ausweisung von Gebäuden mit 'ruhiger Fassade' gefordert wird (Anhang VI, 1.6). Dieser Indikator ist offensichtlich unsinnig, da ruhige Fassaden ausschließlich durch Abwesenheit von Umgebungslärm aller Arten definiert werden können. Es wird daher empfohlen, auf Ebene der Dosis-Wirkungs-Kurven (nicht der Lärmindizes und Lärmkarten) den in der vorliegenden Untersuchung favorisierten Summationsalgorithmus (Annoyance-equivalents) anzuwenden. Die Untersuchung hat gezeigt, dass dies nicht zu Unschärfen oder Unsicherheiten führt, die über die ohnehin vorgesehene Anwendung globaler Dosis-Wirkungs-Kurven für homogene Umgebungslärmquellen hinausgehen. Auch das Kriterium der 'ruhigen Fassade' sollte über diesen Summationsalgorithmus erfasst werden.

Die vorgeschlagenen Optimierungen und Weiterentwicklungen der Umgebungslärmrichtlinie bzw. der umsetzenden Vorschriften der §§ 47 a-f BImSchG und der Lärmkartierungsverordnung lassen sich mit dem rechtlichen Rahmen dieser Regelungen unproblematisch vereinbaren. Es handelt sich im Wesentlichen um Präzisierungen und um Vorschläge für Regelungen, die in der Umgebungslärmrichtlinie noch unter Konkretisierungsvorbehalt stehen und in der Lärmkartierungsverordnung nicht enthalten sind. Abweichungen von bereits bestehenden Regelungen werden hinsichtlich der Einbeziehung sonstiger Umgebungslärmquellen außerhalb der Ballungsräume vorgeschlagen. Mit diesen Weiterentwicklungen ist die Lärmkartierung nach §§ 47 a-f BImSchG ein leistungsfähiges Erfassungs- und Monitoringinstrument.

Die Aktionsplanung ist im Gegensatz zur strategischen Lärmkartierung in der Umgebungslärmrichtlinie kaum strukturiert und beschrieben. Dies ist insofern problematisch, als im Rahmen der Aktionsplanung eine Vielzahl von Strategien und Maßnahmen zur Begrenzung und Minderung des Umgebungslärms denkbar sind, die sich nur zu einem Teil auf die Lärmindizes und zu einem noch geringeren Teil auf die nur an der höchstbelasteten Fassade ermittelten Betroffenenzahlen auswirken. Dies sind praktisch nur emissionsrelevante Maßnahmen an Hauptlärmquellen (Veränderungen der mittleren Schalleistung und Lageveränderungen) und transmissionsrelevante Maßnahmen in naher räumlicher Zuordnung zu diesen Lärmquellen. Andere Maßnahmen, z. B. zur Verstetigung der Geräuschmission und zur Verbesserung der tatsächlichen Expositionsbedingungen (z. B. Sicherung und Entwicklung ruhiger Flächen und Fassaden) sind mit den definierten Lärmindizes nicht modellierbar. Es wird daher vorgeschlagen, die Aktionsplanung in zwei Ebenen zu gliedern.

Die erste Ebene beschränkt sich systematisch auf die Maßnahmengruppen 'Emissionsminderung und baulicher Lärmschutz an Hauptlärmquellen' und 'Räumliche Zuordnung

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

von Umgebungslärmquellen und empfindlichen Nutzungen (Wohngebiete und Ruhezo-
nen). Auf dieser Ebene, die instrumentell eng mit der Flächennutzungs- und Verkehrsent-
wicklungsplanung verknüpft werden sollte, können Bilanzierungen anhand der Lärmindi-
zes und abgeleiteter Dosis-Wirkungs-Relationen für die Belästigung durchgeführt werden.
Dies entspricht einer Anwendung der im Rahmen dieser Arbeit vorgeschlagenen ersten
Modellebene.

Die vorgeschlagene zweite Ebene der Aktionsplanung übernimmt die Ergebnisse der
ersten Ebene als Eingangswerte. Ausgehend von den konkreten Verhältnissen vor Ort
werden dort Maßnahmen zur Verbesserung des akustischen Komforts sowie zur Siche-
rung und Entwicklung kleinräumiger ruhiger Bereiche und ruhiger Fassaden gebündelt.
Auf dieser Ebene, die instrumentell sinnvoll mit der verbindlichen Bauleitplanung zu ver-
knüpfen ist, kann auch festgestellt werden, in welchen Bereichen trotz Maßnahmen auf
beiden Ebenen keine zufriedenstellende Geräuschsituation hergestellt werden kann und
dauerhaft Defizite verbleiben. Abweichend von den Darlegungen in den Anhängen III und
VI erscheint es für die vorgeschlagene zweite Ebene der Aktionsplanung nicht sinnvoll,
das System der Dosis-Wirkungs-Relationen und der Ermittlung von Betroffenenanzahlen zu
vertiefen und auszuweiten. Zum Einen sind dafür kaum wirkungsbezogene Erkenntnisse
vorhanden, zum Anderen ist das 'Herunterbrechen' von Dosis-Wirkungs-Relationen auf
individuelle Situationen, Grundstücke und Betroffene auch aus systematischen Gründen
nicht sinnvoll. Insofern wird vorgeschlagen, für die zweite Ebene keine risiko-, sondern
eine qualitätsorientierte Bewertung vorzunehmen.

8.3 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Es ist erkennbar, dass die Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie einen aus planungs-
fachlicher Sicht wünschenswerten Paradigmenwechsel des Schallschutzes von einer
hauptsächlich durch Richt- und Grenzwerte gesteuerten Regulierung einzelner Anlagen
hin zu einem raum- und akzeptorbezogenen, risikomindernden und qualitätssichernden
Ansatz unterstützt und forciert. Die vorliegende Arbeit hat zur Umsetzung dieses Ansatz-
es handhabbare fachliche Modellierungs- und Managementansätze entwickelt, soweit
dies der derzeitige Kenntnisstand zulässt.

Es ist aber festzustellen, dass die dazu erforderliche konsistente und vernetzte Model-
lierung von Geräuschemissionen, -immissionen und Wirkungen bislang nur eingeschränkt
möglich ist. Die vorliegende Arbeit hat deswegen durch querschnittsorientierte Analyse
der relevanten Modellierungsebenen, insbesondere der Emissions- und Immissionsmo-
delle und der Lärmwirkungsforschung, versucht, Erkenntnisse zu bündeln und in einen

Handlungskontext einzubetten, dabei aber auch Lücken und Schwachstellen aufzuzeigen.

Defizite und damit Forschungsbedarfe sind insbesondere in der Bestimmung und Analyse von Unsicherheiten im Bereich der Emissions- und Transmissionsmodelle vor allem im Prognosesegment, sowie der Homogenisierung und statistischen Absicherung der vorliegenden Dosis-Wirkungs-Relationen einschließlich der Summationsfunktion festgestellt worden. Spezifizierungen sind kaum möglich, da es sich um Aufgaben der beteiligten Fachdisziplinen handelt. Aus Sicht der raumbezogenen Planung ist festzustellen, dass die bestehenden Unschärfen sich derzeit hemmend auf die Akzeptanz von Modellen im Anwendungskontext auswirken.

Aus Sicht der Stadtplanung ist besonders die weitere Differenzierung von Dosis-Wirkungs-Relationen nach räumlichen Bedingungen wünschenswert. Vor Allem erscheint es sinnvoll, den Effekt kleinräumiger Belastungsdifferenzen (ruhige Fassade) auf die Belästigung systematisch zu quantifizieren, um dieses auf lokaler Ebene gut umsetzbare Instrument systematisch in Risikoabschätzungen einbeziehen zu können. Ebenfalls noch nicht bzw. nur in ersten Ansätzen quantifizierbar ist der Einfluss des Vorhandenseins ruhiger Gebiete bzw. von Umgebungslärmbelastungen auf wohnungsnaher Erholungsgebiete. Dies ist umso problematischer, als ohne Kenntnis dieser Zusammenhänge ein effektiver Schutz ruhiger Gebiete, der in der Umgebungslärmrichtlinie gefordert wird, nicht möglich bzw. nicht durchsetzbar ist.

Über diese Aspekte hinaus besteht noch weitreichender Bedarf zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen der Umgebungslärmproblematik und den weiteren die menschliche Lebensumwelt prägenden Umwelteinflüsse, insbesondere der Luftqualität, der Erschütterungen, Überwärmungseffekten, aber auch Aspekten wie der Freiflächenausstattung und visuellen Gestaltung von Siedlungen und Freiräumen. Letztlich - dies zeigt die große Mehrzahl der Untersuchungen zur Lärmbelästigung - ist die Umgebungslärmproblematik ein - wenn auch wesentlicher - Teilaspekt der die Umweltqualität von Wohn- und Arbeitsstandorten bestimmenden Faktoren und steht mit diesen in enger Wechselwirkung stehen.

8 Zentrale Erkenntnisse, Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Abbildungsverzeichnis













1.1	Belastungsabschätzung für Europa	3
2.1	Grundparameter im AEEER-Modell	23
2.2	Messungs- und Berechnungsansätze im AEEER-Modell am Beispiel des Straßenverkehrs	26
4.1	Angenommener Geräuschverlauf (Straßen- und Luftverkehr) an einem Im- missionspunkt	69
4.2	Geometrische Ausbreitungsdämpfung bei einer Punktschallquelle	94
4.3	Geometrische Ausbreitungsdämpfung bei einer Linienschallquelle	95
4.4	Reflexion an einer schallharten Wand (Spiegelschallquelle)	96
4.5	Abschirmung und Beugung an einer Lärmschutzwand (Schnitt)	98
4.6	Abschirmung und Beugung an einer Lärmschutzwand (Aufsicht)	98
4.7	Schallausbreitung einer Punktquelle bei Aufwindbedingungen (Schnitt) . . .	100
4.8	Schallausbreitung einer Punktquelle mit starkem Windeinfluss	100
4.9	Allgemeines Grundmodell der Immissionsprognose	102
4.10	Ausschnitt aus einer Lärmkarte	107
4.11	Immissionspunkte an einer Fassade (Bezug: Fensteröffnungen)	109
4.12	Repräsentative Immissionspunkte an einer Straße	110
5.1	Variablen der Lärmwirkung	138
5.2	Dosis-Wirkungs-Relationen (Belästigung) für unterschiedliche Umgebungs- lärmarten	146
5.3	Dosis-Wirkungs-Relationen (Durchschnittliche Belästigung / Expected An- noyance)	147
5.4	Effekte ruhiger Fassaden auf die Belästigungswirkung	151
5.5	Odds-ratios für stark lärmbelästigte Erwachsene (LARES)	162
6.1	Allgemeines Grundmodell der Gesamtlärmwirkung	177
6.2	Näherungsfunktionen für die durchschnittliche Belästigungsintensität	195
8.1	Vernetzung der Modellebenen	248

Tabellenverzeichnis

1.1	Lärmbelästigte Anteile der Gesamtbevölkerung	2
1.2	Belästigung durch kombinierte Einwirkung	4
4.1	Frequenzbewertung A	68
5.1	Belästigung, ICBEN-Skalierung	144

Legende und Hinweise zu den enthaltenen Isophondarstellungen

Die in der Arbeit beispielhaft enthaltenen Isophondarstellungen sind im Rahmen einer bestehenden Lizenz für Lehr- und Forschungszwecke mit dem Programm CadnaA der Firma Datakustik GmbH, Greifenberg, unter Nutzung des Ausbreitungsalgorithmus ISO-9613 berechnet. Dargestellt sind 1-dB(A)-Isophonlinien mit folgenden Farbwerten:

	> -99.0 dB
	> 35.0 dB
	> 40.0 dB
	> 45.0 dB
	> 50.0 dB
	> 55.0 dB
	> 60.0 dB
	> 65.0 dB
	> 70.0 dB
	> 75.0 dB
	> 80.0 dB
	> 85.0 dB

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform
a. a. O.	an anderem Ort
Abs.	Absatz
a. F.	alter Fassung
AEER	Activities - Emissions - Environmental Quality - Exposure - Risk
ARL	Akademie für Raumforschung und Landesplanung
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BnatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
bzgl.	bezüglich
d. h.	das heisst
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibel, Frequenzbewertung A
DIN	Deutsches Institut für Normung, Berlin
DIN 1320	Technische Norm 1320 des DIN, Akustik: Begriffe
DIN 18005	Technische Norm 18005 des DIN, Schallschutz im Städtebau
DIN 4109	Technische Norm 4109 des DIN, Schallschutz im Hochbau
DIN 45641	Technische Norm 45641 des DIN, Mittelung von Schallpegeln
DIN 45645	Technische Norm 45645 des DIN, Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschemissionen
DPSIR	Driver - Pressure - State - Impact - Response
et al	et altera (und andere)
EEA	European Environmental Agency (Europäische Umweltagentur)
EW	Einwohner
ff.	fortfolgende
FLSchG	Fluglärmschutzgesetz
FNP	Flächennutzungsplan
ggf.	gegebenenfalls

Abkürzungsverzeichnis

ha	Hektar
Hrsg.	Herausgeber(in)
i. d. R.	in der Regel
IGW	Immissionsgrenzwert
IRW	Immissionsrichtwert
ISO	International Organization for Standardization
ISO 1996-2	Richtlinie der ISO Nr. 1996: Acoustics, Description and measurement of environmental noise, Part 2: Acquisition of data pertinent to land use
ISO 9613-2	Richtlinie der ISO Nr. 9613: Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2: General method of calculation
Jg.	Jahrgang
L	Level (Pegel) Die Koeffizienten ergeben sich jeweils aus dem Sachzusammenhang.
LKW	Lastkraftwagen
o. ä.	oder ähnliches
o. g.	oben genannt(e/r)
PlanzV	Planzeichenverordnung
PKW	Personenkraftwagen
RLS-90	Richtlinie für den Lärmschutz an Fernstraßen des Bundes (1990)
ROG	Raumordnungsgesetz
s. o.	siehe oben
TA	Technische Anleitung (Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz)
TÜV	Technischer Überwachungsverein
u. a.	und anderes
UBA	Umweltbundesamt
ULR	Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG der Europäischen Kommission)
UP	Umweltprüfung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
v. a.	vor allem
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VDI 3722-2	Richtlinien-Entwurf (Stand 05/2006) VDI 3722, Blatt 2: Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten

vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel
ZfL	Zeitschrift für Lärmbekämpfung
16. BimSchV	Verkehrslärmschutzverordnung (16. Verordnung zum BimSchG)
18. BImSchV	Sportanlagen-Lärmschutzverordnung (18. Verordnung zum BImSchG)
24. BimSchV	Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. Verordnung zum BImSchG)
32. BImSchV	Maschinenlärmschutzverordnung (32. Verordnung zum BImSchG)
34. BImSchV	Lärmkartierungsverordnung (34. Verordnung zum BimSchG)

Literaturverzeichnis

- BABISCH, Wolfgang:** Die NaRoMi-Studie. Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm. Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt, Ergebnisse der NaRoMi-Studie (WaBoLu-Hefte), 2004, Nr. 2, I-1 – I-59
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.):** Umweltindikatoren 2004. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004
- BBR, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.):** Städte der Zukunft - Kompass für den Weg zur Stadt der Zukunft. Bonn: Selbstverlag des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung, 2004
- BEAUMONT, Jacques und PETITJEAN, Emmanuelle:** Driving Force, Pressure and State Indicators. In Technical Meeting on Noise Indicators. Bonn, 2003
- BECKMANN, Klaus J.:** Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 2005
- BERGLUND, Birgitta, BERGLUND, U. und LINDVALL, Thomas:** Loudness (or annoyance) summation of combined community noises. Journal of the Acoustical Society of America, 70 1981, Nr. 6, 1628–1633
- BERGLUND, Birgitta, LINDVALL, Thomas und SCHWELA, Dietrich:** Guidelines for Community Noise. Genf: Weltgesundheitsorganisation (WHO) Regionalbüro Europa, 1999
- BORST, Jeroen:** The role of Urbis' noise and noise effects maps in local policy. In Inter-noise 2001 Proceedings. Den Haag: Internoise, 2001
- BRINK, M. et al.:** Lärmstudie 2000 - Zusammenfassung. Teil 1: Die Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Flughafens Zürich (Bevölkerungsbefragung der Jahre 2001 und 2003). Zürich: ETH Zürich, Zentrum für Organisation und Arbeitswissenschaften, 2005
- DE MUER, Tom:** Beleidsondersteunende instrumenten voor geluidshinder in steden (Policy Supporting Tools for Urban Noise Assessment) (Diss.). Gent: Universiteit Gent, 2005

- DOLDE, Klaus-Peter:** Rechtliche Aspekte einer Gesamtlärbetrachtung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 48 Mai 2001, Nr. 5, 100–104
- EGLI, Walther:** Kleinlaute Karren. In **Cercle Bruit Schweiz (Hrsg.):** Lärm. Luzern: Cercle Bruit Schweiz, 1998
- EU, Europäische Kommission (Hrsg.):** Künftige Lärmschutzpolitik - Grünbuch der Europäischen Kommission. Brüssel: Europäische Union, 1996
- EU Noise Expert Network (Hrsg.):** Review of the suitability of traffic models for noise modelling. Leuven (digital): EU, Europäische Kommission, 2005
- EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON ASSESMENT OF EXPOSURE TO NOISE:** Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (Position Paper). Brüssel: Europäische Kommission, 2006
- EU NOISE EXPERT NETWORK, WORKING GROUP ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS:** Position paper on dose-effect relationships for night time noise. Brüssel: Europäische Kommission, 2004
- FIELDS, J. M. et al.:** Recommendation for shared annoyance questions in noise annoyance surveys. In Noise effects '98. Sydney: Noise effects 1998 Pty., 1998
- FLINDELL, I.H.:** Pressure LEQ and multiple noise sources: a comparison of exposure-response-relationships for railway noise and traffic noise. Journal for Sound and Vibration, 87 1983, Nr. 2, 237–330
- Gezondheidsraad (Hrsg.):** Assessing noise exposure for public health purposes. Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands), 1997
- GEZONDHEIDSRAAD:** Public health impacts of large Airports. Den Haag: Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands), 1999
- GJESTLAND, Trulls und STÖFRINGSDAL, B.:** The influence of a quiet facade on road traffic annoyance. In Proceedings InterNoise. Den Haag, 2001
- GJESTLAND, Trulls, TREMOEN, S. und KIELLAND, J.B.:** SPI - An indicator for assessing total noise impact. In Proceedings Forum Acusticum 2002. Sevilla: European Acoustics Association, 2002
- GRIEFAHN, Barbara:** Medizinische Aspekte des Verkehrslärms. In **Kloepfer, Michael (Hrsg.):** Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006

- GRIEFAHN, Barbara et al.:** Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept (Gutachten G12.1 zum Planfeststellungsverfahren Ausbau Flughafen Frankfurt Main). Dortmund, Düsseldorf, Dresden, Erlangen, 2004
- GUSKI, Rainer:** Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 November 2002, Nr. 6, 219–232
- GUSKI, Rainer:** Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In **Schuemer, Rudolf, Schreckenber, Dirk und Felscher-Suhr, Ute (Hrsg.):** Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm. Bochum: Zeus GmbH, 2003, 1–15
- HECHT, Markus:** Entstehung und Perspektive von Schienenverkehrsgeräuschen. In **Kloepfer, Michael (Hrsg.):** Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006
- HERZOG, Christof:** Das Methodenpaket leMAX mit dem Fuzzy-Simulationsmodell FLUCS - Entwicklung und Anwendung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die integrative Raumplanung (Diss.). Kiel: Christian-Albrechts-Universität Kiel, 2002
- HEUTSCHI, Kurt:** Son Road - Berechnungsmodell für Strassenlärm. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2004, Schriftenreihe Umwelt 366
- IRMER, Volker K. P.:** Die EG-Richtlinie zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 2002, Nr. 5, 176–181
- JANSEN, Gerd:** Zur nervösen Belastung durch Lärm. Darmstadt: Steinkopf, 1967
- JANSEN, Gerd und KLOSTERKÖTTER, W.:** Lärm und Lärmwirkungen - Ein Beitrag zur Klärung von Begriffen. Bonn: Bundesministerium des Innern, 1980
- JOB, R. F. S. et al.:** General scales of community reaction to noise (dissatisfaction and perceived affectedness) are more reliable than scales of annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 110 August 2001, Nr. 2, 939–946
- KIHLMAN, Tor:** Possible and impossible goals for soundscapes in cities. In **Stadt Wien, Magistratsabteilung 22 (Umwelt) (Hrsg.):** International SYLVIE conference. Wien, 2002
- KIHLMAN, Tor, ÖGREN, M. und KROPP, W.:** Prediction of urban traffic noise in shielded courtyards. In Proceedings InterNoise. Dearborn, 2002

Literaturverzeichnis

- KIHLMAN, Tor, ÖHRSTRÖM, E. und SKANBERG, A.:** Adverse health effects of noise and the value of access to quietness in residential areas. In Proceedings InterNoise. Dearborn, 2002
- KLEIN, Günter:** Wohngesundheit - Erste Ergebnisse einer Studie der WHO. umweltmedizin-gesellschaft, 17 2004, Nr. 3, 216–219
- Kloepfer, Michael (Hrsg.):** Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006
- KNOL, Anne:** Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980-2020. Bilthoven (NL): RIVM, 2005
- KÖTZ, Wolf-Dietrich:** Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 51 2004, Nr. 1, 21–26
- Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.):** Lärmbelästigung in Baden-Württemberg. Stuttgart: Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2004
- LAZARUS, H.:** Noise and communication: Present state. In **Carter, N. und Job, R. (Hrsg.):** Noise effects '98. Sydney: Noise effects 1998 Pty., 1998, 157–162
- MIEDEMA, Henk M. E.:** Quantification of annoyance caused by environmental noise (and odour). Nijmegen: Katholieke Universiteit Nijmegen, 1996
- MIEDEMA, Henk M. E. et al.:** Urbis: Instrument for Local Environmental Surveys (Executive Summary). Band TNO report TNO/VGZ/99.064, Leiden: TNO, 1999
- MIEDEMA, Henk M. E. und OUDSHOORN, Catharina G. M.:** Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals. Environmental Health Perspectives, 109 2001, Nr. 4, 409–416
- MIEDEMA, Henk M. E. und Vos, Henk:** Noise annoyance from stationary sources: Relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. Journal of the Acoustical Society of America, 116 2004, Nr. 1, 334–343
- MIEDEMA, Henk M.E.:** Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 116 August 2004, Nr. 2, 949–957

- MIEDEMA, Henk M.E., PASSCHIER-VERMEER, W. und Vos, H.:** Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. Delft: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek, 2002, TNO Inro report Nr. 52
- MOROSINI, Marco et al.:** Umweltindikatoren: Grundlagen, Methodik, Relevanz. Band 1, Stuttgart: TA-Akademie, 2002
- MÖSER, Michael und CREMER, Lothar:** Technische Akustik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003
- M+P Raadgevende ingenieurs B.V. (Hrsg.):** European Environment 1993: Noise Pollution (Final Report). Brüssel: Europäische Kommission, Generaldirektion Umwelt, 1993
- MÜLLER-WENK, Ruedi und HOFSTETTER, Patrick:** Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Band Umwelt-Materialien Nr. 166, Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2003
- NIEMANN, Hildegard und MASCHKE, Christian:** WHO Lares - Final report: Noise effects and morbidity. Berlin: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Regionalbüro Europa, 2004
- NITSCH, Wolfgang et al.:** Geräuscheinwirkungen in Stadtvierteln - eine sozio- und psychoakustische Feld- und Laborstudie. In **Loeber-Pautsch, Uta et al. (Hrsg.):** Quer zu den Disziplinen - Beiträge aus der Sozial-, Umwelt- und Wissenschaftsforschung. Hannover: Offizin-Verlag, 1999, 223–269
- OLLERHEAD, J. B.:** Predicting public reaction do noise from mixed sources. In Proceedings InterNoise. Band 78, 1978, 579–584
- ORTSCHEID, Jens und WENDE, Heidemarie:** Lärmwirkungen und Lärmsummation. In Tagungsband Lärmkongress 2000. Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg, 2000
- PAELINCK, JEAN UND TREUNER, P.:** Modelle für die räumliche Planung. In Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1994
- PEDERSEN, Eja und PERSSON WAYE, Kerstin:** Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose-response relationship. Journal of the Acoustical Society of America, 116 2004, Nr. 6, 3460–3470

Literaturverzeichnis

- POWELL, C.A.:** A Summation an inhibition model of annoyance response to multiple community noise sources. In Zrvhnlvl Paper 1479. Hampton: NASA Langley Research Center, 1979
- RISIKOKOMMISSION:** Abschlussbericht der Risikokommission. Salzgitter: ad hoc-Kommission Neuordnung der Verfahren und Strukturen im Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland", 2003
- SCHADE, Lars:** Genauigkeit und Eindeutigkeit: Ein Vergleich des französischen Berechnungsverfahrens für Geräuschmissionen durch Straßenverkehr mit seinem deutschen Pendant. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 51 März 2004, Nr. 2, 39–47
- SCHULTE-FORTKAMP, Brigitte, RONNEBAUM, Thorsten und WEBER, Reinhard:** Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung. Magdeburg: Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 1996
- SCHULTZ, T. H. J.:** The synthesis of social surveys on noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America, 64 1978, Nr. 3, 377–405
- SONNTAG, Heinz:** Minderung des Verkehrslärms durch Eigenabschirmung von Gebäuden und gebäudenaher Schallschirme. In Jahresbericht 2003 des LfU Bayern. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004
- SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen:** Umweltgutachten 1996 - Zur Umsetzung einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. Bonn: Deutscher Bundestag, 1996, Bundestagsdrucksache 13/4108
- SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen:** Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig bewerten (Sondergutachten). Bonn: Deutscher Bundestag, 1999
- SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen:** Umweltgutachten 2004 - Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Berlin: Deutscher Bundestag, 2004, Bundestagsdrucksache 15/3600
- STADT WIEN, MAGISTRATSABTEILUNG 22 (UMWELT):** Systematische Lärmsanierung von innerstädtischen Wohnvierteln - Layman Report. Magistrat der Stadt Wien, 2002
- STEINEBACH, Gerhard:** Lärm- und Luftgrenzwerte: Entstehung, Aussagewert, Bedeutung für Bebauungspläne. Düsseldorf: Werner-Verlag, 1987
- STEINEBACH, Gerhard:** Stadtplanung, Bauleitplanung und Lärmkontingentierung - Lärminderungspotentiale der städtebaulichen Nutzungsmischung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 48 März 2001, Nr. 2, 63–68

- STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin:** Fachliche Anforderungen der Gesamtgeräuschbetrachtung in der Raumentwicklung. In **Spannowsky, Willy und Mitschang, Stephan (Hrsg.):** Lärmschutz in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Vorhaben. Köln: Carl-Heymanns-Verlag, 2003, 185–198
- STEINEBACH, Gerhard und RUMBERG, Martin:** Konfliktbewältigung durch Landesplanung? UPR Umwelt- und Planungsrecht, 2005, Nr. 9, 321–325
- STEINEBACH, GERHARD; RUMBERG, Martin:** Planerische Aspekte des Verkehrslärms. In **Kloepfer, Michael (Hrsg.):** Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006
- STEVEN, Heinz:** Ermittlung des weiteren Lärminderungspotentials bei Kraftfahrzeugen (Forschungsvorhaben 205 05 809). Berlin: Umweltbundesamt, 2003
- STEVEN, Heinz:** Entstehung und Perspektive von Straßenverkehrsgerauschen. In **Kloepfer, Michael (Hrsg.):** Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006
- TAYLOR, S. M.:** A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources. Journal for Sound and Vibration, 81 1982, Nr. 1, 123–138
- TEGEDER, Klaus et al.:** Beurteilung und Bewertung von Gesamtlärm (Gesamtlärmstudie). Köln: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme, 2000
- THOMANN, Georg:** Lärmbekämpfung in der Schweiz: Grundzüge und Bilanz. Dübendorf (CH): Referat anlässlich der 202. Plenarsitzung des ÖAL, 1999
- UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.):** Daten zur Umwelt 2000. Berlin: UBA, 2000
- UMWELTBUNDESAMT:** Umweltthemenkatalog. [〈URL: www.umweltbundesamt.de/umweltthemen/kapitel21/E-21-1.htm〉](http://www.umweltbundesamt.de/umweltthemen/kapitel21/E-21-1.htm)
- VOS, Henk:** Annoyance caused by simultaneous impulse, road-traffic, and aircraft sounds. A quantitative model. Journal of the Acoustical Society of America, 1992, Nr. 6, 3330–3345
- WEYER, Heinrich:** Entstehung und Perspektive des Luftverkehrslärms. In **Kloepfer, Michael (Hrsg.):** Leben mit Lärm? Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2006
- WHO, Regionalbüro Europa (Hrsg.):** Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health (Bonn 19.-21. September 2002), Meeting report. Bonn: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Regionalbüro Europa, 2003

Literaturverzeichnis

WINKELMANN, Ulrike: Modelle als Instrument der räumlichen Planung. In Methoden und Instrumente räumlicher Planung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), 1998

ZWICKER, E. und FASTL, H.: Psychoacoustics - Facts and Models. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999

Lebenslauf

Martin Eckhard Ulrich Rumberg

Diplom-Ingenieur Raum- und Umweltplanung

Geboren am 03. August 1974 in Leverkusen,

ledig, keine Kinder.

Bildungsgang

1994	Allgemeine Hochschulreife (sehr gut (1,2)), Konrad-Adenauer-Gymnasium, Langenfeld (Rheinland)
1994-2000	Studium der Raum- und Umweltplanung an der Universität Kaiserslautern (heute: Technische Universität Kaiserslautern)
2000	Hochschulabschluss als Diplom-Ingenieur Raum- und Umweltplanung (sehr gut (1,5))

Berufstätigkeit

2000-2001	Angestellter Raum- und Umweltplaner, FIRU – Forschungs- und Informations-Gesellschaft für Fach- und Rechtsfragen der Raum- und Umweltplanung mbH in Kaiserslautern und Berlin
Seit 2001	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Stadtplanung der Technischen Universität Kaiserslautern, Fachbereich Architektur / Raum- und Umweltplanung / Bauingenieurwesen