

Puls, Thomas

**Research Report**

## Verkehrslärm in der Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen des Lärmschutzes in Deutschland

IW-Analysen, No. 31

**Provided in Cooperation with:**

German Economic Institute (IW), Cologne

*Suggested Citation:* Puls, Thomas (2007) : Verkehrslärm in der Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen des Lärmschutzes in Deutschland, IW-Analysen, No. 31, ISBN 978-3-602-14767-0, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Köln

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/181792>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

Thomas Puls

# Verkehrslärm in der Diskussion

Möglichkeiten und Grenzen  
des Lärmschutzes in Deutschland

Thomas Puls

# Verkehrslärm in der Diskussion

Möglichkeiten und Grenzen  
des Lärmschutzes in Deutschland

**Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-602-14767-0

**Der Autor**

**Thomas Puls**, Dipl.-Volkswirt, geboren 1974 in Preetz in Holstein; von 1995 bis 2002 Studium der Volkswirtschaftslehre in Kiel und Stockholm; seit März 2002 im Institut der deutschen Wirtschaft Köln – Forschungsstelle Ökonomie/Ökologie; Referent im Arbeitsbereich Verkehr und Umwelt innerhalb des Wissenschaftsbereichs Wirtschaftspolitik und Sozialpolitik.

Herausgegeben vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln

© 2007 Deutscher Instituts-Verlag GmbH  
Gustav-Heinemann-Ufer 84–88, 50968 Köln  
Postfach 51 06 70, 50942 Köln  
Telefon 0221 4981-452  
Fax 0221 4981-445  
[div@iwkoeln.de](mailto:div@iwkoeln.de)  
[www.divkoeln.de](http://www.divkoeln.de)

Druck: Hundt Druck GmbH, Köln

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	4
<b>2</b>	<b>Grundbegriffe der Akustik</b>	8
2.1	Lärm: Was ist das?	10
2.2	Maßeinheiten und Indizes	12
2.3	Auswirkungen auf den Menschen	18
<b>3</b>	<b>Volkswirtschaftliche Kosten des Lärms</b>	25
3.1	Der Zahlungsbereitschaftsansatz	32
3.2	Der Wirkungspfadansatz	38
3.3	Kostenschätzungen	40
<b>4</b>	<b>Die Rechtslage in Deutschland</b>	41
4.1	Rechtslage beim Straßenlärm	45
4.2	Rechtslage beim Schienenlärm	48
4.3	Rechtslage beim Fluglärm	50
4.4	EU-Umgebungslärmrichtlinie	54
<b>5</b>	<b>Bestandsaufnahme des Umgebungslärms</b>	57
5.1	Lärmbelastungslage	57
5.2	Status quo Straßenlärm	58
5.3	Status quo Schienenlärm	65
5.4	Status quo Fluglärm	68
<b>6</b>	<b>Lärmvermeidungspotenziale</b>	70
6.1	Lärmvermeidung im Straßenverkehr	71
6.2	Lärmvermeidung im Schienenverkehr	78
6.3	Lärmvermeidung im Luftverkehr	80
6.4	Lärmschutz durch Planung	82
6.5	Baulicher Lärmschutz	86
6.6	Ökonomische Instrumente	88
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	90
	<b>Literatur</b>	92
	<b>Kurzdarstellung / Abstract</b>	96

# 1

## Einleitung

In der Geschichte der Menschheit hat Lärm schon immer eine beachtliche Rolle gespielt. Diese allgegenwärtige und zumeist unerwünschte Begleiterscheinung des Zusammenlebens hat die Menschen schon in den frühesten Tagen der Zivilisation bewegt. Lärm greift tief in unser Leben ein, er beeinflusst Schlaf, Erholung und Kommunikation. Den Geräuschpegel empfanden offensichtlich bereits die ersten Stadtbewohner als ziemliche Belästigung. Wie sehr der Lärm die Menschen schon vor Jahrtausenden beschäftigt hat, belegt eine der ältesten literarischen Dichtungen der Menschheit. Das altbabylonische Gilgamesch-Epos<sup>1</sup> berichtet von drastischen Folgen des Lärms. Dort heißt es:

„Die Welt brüllte wie ein Stier. Der Gott wurde durch den Lärm gestört. Enil hörte das Getöse und sagte im Rat der Götter: ‚Der Tumult der Menschen ist unerträglich, es ist nicht möglich zu schlafen.‘ Und so schickten die Götter die (Sint-)Flut.“

Die ersten Städter machten also quasi Lärm für den Weltuntergang verantwortlich. Etwas weniger radikal, aber nicht weniger entschlossen als die babylonischen Götter, versuchte auch so mancher große Denker gegen den Lärm vorzugehen. So schrieb der Philosoph Immanuel Kant einen Protestbrief an den Königsberger Bürgermeister, da er sich von den alltäglichen Andachtsgesängen aus einer Gefängniskapelle gestört fühlte (Kant, 1970, 114). Der Philosoph Theodor Lessing gründete 1908 sogar einen Antilärmverein. Auch von Arthur Schopenhauer ist bekannt, dass er den allgegenwärtigen Lärm verabscheute. Schopenhauer bezeichnete den Lärm gar als „Gedankenmörder“ (Schopenhauer, 1851). Mit dieser Einstellung stand der Philosoph zu seiner Zeit aber eher alleine da, denn auch die Einstellung der Menschen zum Lärm hat eine Art Evolution durchlaufen – und gerade vor 150 Jahren war Lärm eher positiv besetzt. Er stand für Fortschritt und Kraft, als die industrielle Revolution begann.

Heute kann Lärm getrost als das größte Umweltproblem in urbaner Umgebung betrachtet werden. Laut Befragungen fühlen sich in Deutschland rund zwei Drittel der Bevölkerung durch Lärm in ihrem Umfeld belästigt. Damit ist Lärm die unbestrittene Nummer eins unter den wahrgenommenen Umweltbelastungen. Hier ist das Wort „wahrgenommen“ von großer Bedeutung, denn Lärm ist im

---

<sup>1</sup> Das Epos selbst soll Überlieferungen zufolge aus dem 12. Jahrhundert vor Christus stammen und erzählt die Geschichte des ersten Königs von Uruk, der nach den babylonischen Königslisten um das Jahr 2650 vor Christus gelebt hat.

Gegensatz zu den meisten relevanten Schadstoffen ohne Messinstrumente wahrnehmbar und heutzutage eigentlich omnipräsent. Gerade diese weite Verbreitung macht den Lärm so störend, denn das menschliche Ohr schaltet nie ab. Es ist vielmehr 24 Stunden am Tag in Alarmbereitschaft und wertet Geräusche aus. Dieser Vorgang läuft auch im Schlaf permanent weiter. Daher werden Geräusche im Wohnumfeld als besonders störend empfunden. Aus diesem Grund ist der weitverbreitete Verkehrslärm ein besonderes Problem. Dieser ist zwar in der Regel deutlich leiser als der Gewerbelärm, wird aber dennoch von sehr vielen Menschen als die Lärmquelle mit dem größten Belästigungspotenzial empfunden. Der Verkehr ist die Hauptquelle des Umgebungslärms.

Der Lärm, der uns umgibt, ist also nicht nur ein sehr altes Problem der Menschheit, sondern wird auch als besonders belastend empfunden. Dass er dennoch bislang nur wenig Beachtung fand, liegt daran, dass Lärm gegenüber anderen Umweltproblemen über viele Besonderheiten verfügt. Diese Eigenarten machen ihn zu einem ganz schwer zu behandelnden Problem. Die Problematik beginnt bereits damit, dass Lärm eine streng lokale Emission ist, die zudem von diversen Emittenten erzeugt wird. Es handelt sich also beim Umgebungslärm um ein multikausales Problem. Aus der strengen Lokalität folgt zudem, dass praktisch alle Lärmopfer zugleich auch Lärmverursacher sind. Hierin liegt ein großer Unterschied zum Gewerbelärm am Arbeitsplatz. Dieser folgt zwar den gleichen naturwissenschaftlichen Prinzipien, speist sich aber normalerweise aus einer eher überschaubaren Zahl von Quellen, die zudem in der Regel alle demselben Besitzer gehören. Von daher ist Gewerbelärm auch viel leichter zu erfassen und zu bekämpfen.

Ein Erfolg im Kampf gegen Umgebungslärm hängt demgegenüber auch davon ab, das eigene Verhalten zu ändern. Erfahrungen zeigen jedoch, dass die Bereitschaft hierzu häufig gering ist. Ein weiterer großer Unterschied zu den eher traditionellen Umweltschadstoffen ist die Motivation der Verursacher. Niemand will Abgase produzieren. Sie sind aus Sicht der Verursacher nur ein toleriertes Abfallprodukt ihrer Handlungen. Bei „Sound“ sieht das schon ganz anders aus. Ein nicht unwesentlicher Teil des Lärms in unserer Umgebung, wie etwa laute Musik, wird gezielt erzeugt. Doch die besonderen Probleme der Lärmbekämpfung beschränken sich keineswegs auf diese soziale Komponente. So muss man sich zudem darüber im Klaren sein, dass sich Lärm von allen anderen Umweltbelastungen naturwissenschaftlich gesehen elementar unterscheidet (vgl. Kapitel 2). Dies führt nicht nur dazu, dass die bisherigen Erfahrungen in der Emissionsbekämpfung für das Problemfeld Lärm weitgehend wertlos sind, sondern auch dazu, dass Lärm und seine Folgen kaum wissenschaftlich korrekt erfassbar sind.

Demzufolge sind auch die Risiken des Lärms schwer abzuschätzen, sodass es kaum möglich ist, die volkswirtschaftlichen Kosten des Lärms zu bestimmen. Dies wäre jedoch notwendig, um eine ökonomisch effiziente Lärmschutzpolitik betreiben zu können (Reinhold, 1998, 251).

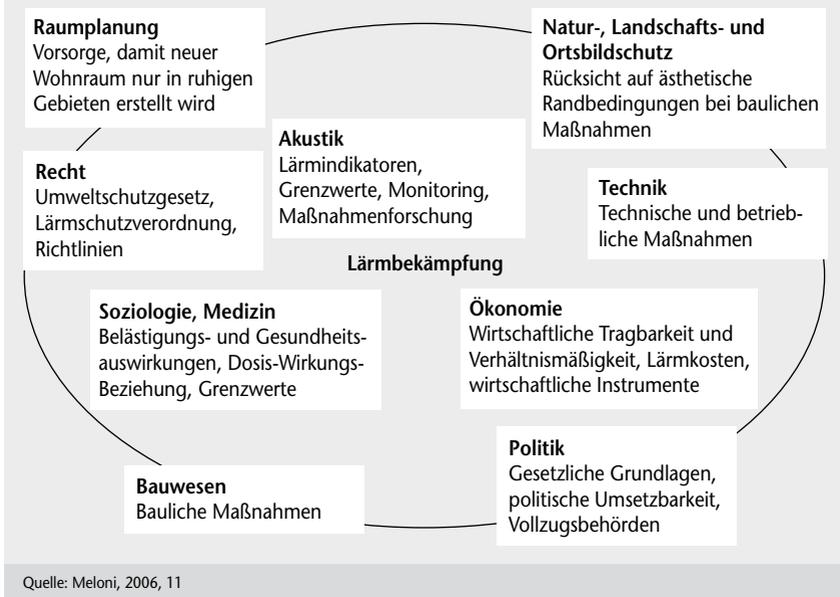
All diese Probleme haben dazu geführt, dass der Gesetzgeber im Problemfeld Umgebungslärm bislang wenig aktiv geworden ist. Zwar haben Lärmschutzverordnungen eine deutlich längere Tradition als andere Umweltvorschriften. Dennoch haben sie viel geringere Effekte erzielt, als dies in anderen Umweltbereichen der Fall war. Gerade in der jüngeren Zeit wurde das Thema Lärm ziemlich vernachlässigt. Es gab stets einen Bereich der Umweltpolitik, der gerade wichtiger erschien. In den achtziger Jahren war es der Gewässerschutz, in den neunziger Jahren die Luftreinhaltung. Man könnte sagen, dass es ums Thema Lärm ziemlich still geworden war. Das änderte sich im Jahr 2002, als die EU ihre Lärmschutzpolitik umstellte und eine EU-Umgebungslärmrichtlinie (siehe Abschnitt 4.4) verabschiedete. Die erste Phase der Umsetzung dieser Richtlinie soll nun im Sommer 2007 abgeschlossen sein. Damit wird eine politische Neubewertung der Lärmproblematik in Europa auf der Agenda stehen.

Der in Abbildung 1 dargestellte Problemkreis Lärmbekämpfung ist ein interdisziplinäres Feld. Ohne eine sinnvolle Verknüpfung der Erkenntnisse und Möglichkeiten verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen ist der Lärmschutz zum Scheitern verurteilt. Im Zentrum des Problemkreises steht die Entwicklung eines fundierten Konzepts zur akustischen Erfassung des Lärms. Anschließend liegt es vor allem an der medizinischen Forschung festzustellen, wie schädlich Lärm überhaupt ist (Abschnitt 2.3).

Diese beiden Bereiche – die Lärmerfassung und die Erforschung der Schädlichkeit – sind die größten Problemfelder auf dem Weg zur Lärmbekämpfung. Sind diese Aufgaben gelöst, ist es Aufgabe der Ökonomen, die volkswirtschaftlichen Kosten des Lärms zu ermitteln und damit auch einen finanziellen Rahmen für Lärmschutzausgaben abzustecken. Ohne diesen Rahmen besteht die Gefahr, dass es zu massiven Fehlinvestitionen in den Lärmschutz kommt, welche die soziale Wohlfahrt verringern würden. Auf Basis der im Zentrum des Problemkreises definierten Grundlagen können konkrete Lärmschutzansätze entwickelt werden, die in verschiedenen Bereichen ansetzen. Es ist aber zu beachten, dass die konkrete Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen in der Regel Auswirkungen hat, die über den Problemkreis Lärmschutz hinausreichen. Egal ob die Ansätze technologischer Natur sind oder auf ordnungsrechtlichen Vorgaben basieren: Fast immer kommt es zu Interaktionen mit anderen Problemfeldern, die entsprechend zu berücksichtigen sind.

# Problemkreis Lärmbekämpfung

Abbildung 1



Vieles spricht dafür, dass der Verkehrsbereich im Fokus der künftigen Lärmbekämpfung stehen wird. Denn immerhin sind die verschiedenen Verkehrsträger (Straße, Schiene, Flugzeug) die Hauptlärmquellen im Wohnumfeld. Gerade die Lärmbekämpfung im Verkehrsbereich sollte einer scharfen Effizienzbetrachtung unterzogen werden, da der Verkehr ja nicht nur laut ist, sondern auch großen Nutzen stiftet. Er ist die Grundlage der modernen Gesellschaft. Ohne leistungsfähige Verkehrssysteme wären weder arbeitsteiliges Wirtschaften noch unser derzeitiges soziales Zusammenleben möglich. Das Ziel der Lärmpolitik muss es daher sein, die Mobilität verträglicher zu gestalten, nicht sie zu verhindern. Ohne die prinzipielle Anerkennung der Mobilitätsbedürfnisse der Menschen kann eine praktikable und effiziente Lärmbekämpfung nicht erfolgen. Wie bei so vielen Umweltfragen gilt auch hier, dass der optimale (Lärm-)Schutz vermutlich der größte Feind des machbaren (Lärm-)Schutzes sein dürfte. Allein schon die besonderen physikalischen Eigenschaften des Verkehrs werden verhindern, dass es so etwas wie *die* entscheidende Maßnahme zur Lärmbekämpfung geben wird. Maximalforderungen in Bezug auf Grenzwerte oder bestimmte Lärminderungsmaßnahmen, die nicht umsetzbar sind, werden das Problem nicht lösen, sondern vermutlich nur die sinnvolleren kleinen Schritte auf lokaler Ebene behindern.

Dieser Beitrag soll die Möglichkeiten der Lärmbekämpfung im Verkehr näher beleuchten. Hierzu werden zunächst in Kapitel 2 die physikalischen Eigenarten des Lärms dargestellt, um ein Grundverständnis für die besondere Problematik zu schaffen. Zudem soll die Frage geklärt werden, was Lärm überhaupt ist und wie schädlich er für den Menschen ist. Danach folgt ein Überblick über die ökonomischen Auswirkungen von Lärm und die Instrumente zu deren Abschätzung (Kapitel 3). Anschließend rücken die Rechtslage (Kapitel 4), die derzeitige Lärmbelastungslage sowie die verschiedenen Lärmquellen im Verkehrsbereich in den Fokus (Kapitel 5). Abschließend wird herausgearbeitet, welche konkreten Möglichkeiten zur Lärmreduktion in der Praxis vorhanden sind und welche Vermeidungspotenziale sich damit tatsächlich realisieren lassen.

## 2

## Grundbegriffe der Akustik

Es ist zunächst notwendig, einige Begriffe zu klären und sich die Eigenheiten von Schall und Schallmessung zu verdeutlichen. Ohne diese Grundlagen kann eine sinnvolle Einschätzung der im Folgenden diskutierten Belastungsangaben und Vermeidungspotenziale nicht erfolgen.

Der erste wichtige Punkt besteht darin, dass mit Lärmschutz in der Regel Schallschutz gemeint ist (BMU, 1986, 8). Zwischen beidem liegt ein beträchtlicher Unterschied, denn Schallschutz erfasst nur den physikalischen Teil des Lärms, klammert aber wesentliche Aspekte der Schallwahrnehmung durch den Menschen aus. Schallmessung ist somit eine notwendige Voraussetzung für die Erfassung des Lärms, kann das Phänomen Lärm aber nicht hinreichend erklären (siehe Abschnitt 2.1).

Die Lehre vom Schall ist die Akustik. Sie befasst sich mit übertragenen Schwingungen, beziehungsweise mit der Ausbreitung von Longitudinalwellen in einem elastischen Medium. Genau darum handelt es sich bei Schall: um wellenförmige Druckveränderungen im umgebenden Medium, im Normalfall also in der Luft.<sup>2</sup> Diese Druckveränderungen sind mit den entsprechenden Geräten messbar. Auch das menschliche Ohr ist genau genommen ein hochsensibler Drucksensor. Physikalisch gesehen ist daher der Schallwechseldruck die entscheidende Größe für die Schallempfindung.

---

<sup>2</sup> Eine einzelne Schallwelle wird als Ton wahrgenommen, mehrere sich überlagernde ergeben ein Geräusch.

Was das menschliche Ohr tatsächlich wahrnimmt und als Information an das Gehirn weiterleitet, hängt stark von der Lautstärke und der Tonhöhe eines Schallereignisses ab. Die Lautstärke entspricht dem Schalldruck, die Tonhöhe wird von der Anzahl der Druckschwankungen pro Zeiteinheit (Frequenz) bestimmt. Ein Ton wird als umso höher empfunden, je größer die Frequenz ist. Sowohl der Schalldruck als auch die Zahl der Druckschwankungen, die unser Ohr wahrnehmen kann, sind begrenzt. Schalldruck kann ab einer Intensität (Leistung<sup>3</sup> pro Flächeneinheit) von etwa  $1 \cdot 10^{-13}$  Watt/m<sup>2</sup> wahrgenommen werden. Dieser Wert wird auch als Hörschwelle bezeichnet. Er entspricht einem gemessenen Schalldruck von  $2 \cdot 10^{-5}$  Pascal (Pa)<sup>4</sup>. Der maximale Schalldruck, den das Ohr verarbeiten kann, entspricht etwa 1 Watt/m<sup>2</sup>. Dieser Wert stellt die Schmerzschwelle dar und entspricht einem gemessenen Schalldruck von 20 Pa. Ab dieser Größe sind traumatische Gehörschäden sehr wahrscheinlich. Es ist jedoch bereits an diesen Werten zu sehen, dass die Wahrnehmungsspanne des Ohrs sehr breit ist. Ähnlich ausgeprägt ist auch die Wahrnehmungsfähigkeit in Bezug auf die Frequenzen. Ein gesunder Jugendlicher kann Töne hören, die aus 16 bis 20.000 Druckschwankungen pro Sekunde (Hertz<sup>5</sup>) bestehen. Im Alter schränkt sich dieser Wahrnehmungsbereich etwas ein. Das menschliche Ohr ist aber nicht für alle Tonhöhen gleich gut geeignet. Seine maximale Empfindlichkeit liegt etwa im Bereich zwischen 1.000 und 4.000 Hertz.

Im Prinzip steht dem Menschen also eine sehr breite akustische Wahrnehmungsspanne zur Verfügung. Die konkrete Wahrnehmung dieser Schallereignisse im Gehirn hängt neben den rein physikalischen Faktoren von vielen weiteren Einflüssen ab. Das gleiche Schallereignis kann – je nach Umständen – sogar von ein und derselben Person ganz unterschiedlich wahrgenommen werden. Die vom eigentlichen Geräusch völlig unabhängigen Umstände haben somit einen erheblichen Einfluss darauf, ob ein Geräusch als Lärm eingeschätzt wird. Es muss ferner beachtet werden, dass auch Schallereignisse, die wir nicht bewusst wahrnehmen, durchaus zu unterbewussten körperlichen Reaktionen führen können. Auch Infra- und Ultraschallereignisse sollten bei der Beurteilung einer akustischen Situation nicht außer Acht gelassen werden (Hoffmann et al., 2003, 46).

---

<sup>3</sup> Die physikalische Leistung (Formelzeichen P) ist der Quotient aus der Arbeit (Formelzeichen W) und der Zeit. Die physikalische Arbeit wiederum beschreibt eine Energiemenge, die von einem System auf ein anderes übertragen wird.

<sup>4</sup> Ein Pascal entspricht dem Druck, den eine Kraft von einem Newton auf eine Fläche von einem Quadratmeter ausübt. Es gilt:  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2) = 1 \text{ N}/\text{m}^2$ .

<sup>5</sup> Die Einheit Hertz gibt die Anzahl von beliebigen sich wiederholenden Vorgängen pro Sekunde an. Dabei ist ihre Verwendung auf regelmäßig wiederkehrende Vorgänge – normalerweise Schwingungen – beschränkt.

## 2.1 Lärm: Was ist das?

Auf den ersten Blick scheint diese Frage sinnlos. Jedem Leser und jeder Leserin ist völlig klar, was Lärm ist – nämlich Geräusche, die von ihm oder ihr als störend empfunden werden. Anders ausgedrückt: Lärm ist eine negativ bewertete Schallimmission. Doch diese zunächst so eindeutig erscheinende Definition von Lärm wird in der praktischen Anwendung sehr schnell zum Problem. Es zeigt sich nämlich, dass jeder Mensch ganz unterschiedliche Geräusche als störend empfindet. Lärm ist also eine rein subjektive Einschätzung von objektiv wahrnehmbaren Geräuschen. Der Schriftsteller Kurt Tucholsky brachte dieses Phänomen recht kurz und prägnant auf den Punkt: „Der eigene Hund macht keinen Lärm – er bellt nur.“

Damit aus Schall Lärm wird, ist also eine subjektive Bewertung des wahrgenommenen Schallereignisses erforderlich. Das erschwert eine exakte Definition von Lärm und macht seine messtechnische Erfassung eigentlich unmöglich (BMU, 1986, 9). Damit steht der Gesetzgeber vor erheblichen Problemen. Denn für eine gerichtsfeste Lärmgesetzgebung benötigt man sowohl eine exakte Lärmdefinition als auch eine Möglichkeit, ihn objektiv zu erfassen. Die offizielle Definition von Lärm ist daher auch eher eine Umschreibung des Begriffs, die viele Interpretationen offenlässt. So definiert die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) den Begriff wie folgt: „Lärm ist Schall (Geräusch), der Nachbarn und Dritte stören (gefährden, erheblich benachteiligen oder erheblich belästigen) kann oder stören würde.“

Offensichtlich kann nach dieser Definition praktisch jedes Geräusch Lärm sein, denn belastbare, objektive Kriterien für die Einordnung eines Geräuschs als Lärm fehlen. Die Einordnung bleibt einer subjektiven Empfindung überlassen. Hier dürfte auch eine Erklärung für die gesetzgeberische Ruhe im Bereich der Lärmschutzpolitik liegen: Der Vollzug eines Gesetzes, das auf subjektiven Eindrücken beruht, ist mit den Prinzipien eines Rechtsstaats nur schwer vereinbar.

Noch komplizierter werden allgemeingültige Lärmschutzregelungen dadurch, dass es relativ wenige akustische Regelmäßigkeiten gibt, nach denen die Menschen Geräusche als Lärm einordnen. Neben den akustischen Kriterien existieren aber auch noch einige psychologische Faktoren, die für die Lärmempfindung wesentlich sind. Besonders wichtig scheint in diesem Zusammenhang die Grundeinstellung des Individuums zu dem Geräusch zu sein, wobei hier teilweise sehr fein zu differenzieren ist. So liegen bereits die Einschätzungen verschiedener Musikarten himmelweit auseinander. Die Ansichten darüber, was Lärm und was Musik ist, dürften beispielsweise bei Freunden der klassischen Musik und Heavy-Metal-Fans recht unterschiedlich sein. Der Dichter Wilhelm Busch drückte dies folgender-

maßen aus: „Musik wird als störend oft empfunden, derweil sie mit Geräusch verbunden.“ Was für den einen über Stunden ein Genuss, hält der andere keine Minute lang aus.

Weitere wichtige Einflussfaktoren sind offenbar die Selbsteinschätzung des Individuums und seine Interaktion mit dem Geräuschverursacher. Der Glaube, lärmsensibel zu sein, aber auch die Annahme, dass der Verursacher das Geräusch vermeiden könnte, verstärken anscheinend die Tendenz, ein Geräusch für Lärm zu halten, ganz erheblich (Deutscher Bundestag, 1999, 164). Wichtig ist hierbei wohl auch die Einsicht in die Notwendigkeit eines Geräuschs. Die Einordnung eines Geräuschs als Lärm ist also nicht nur individuell verschieden, sondern kann auch intra-individuell – also bei ein und derselben Person – sehr unterschiedlich ausfallen.

Dennoch gibt es zumindest einige grundsätzliche Beobachtungen darüber, wann ein Geräusch allgemein als Lärm empfunden wird. An ihnen könnte sich eine Gesetzgebung unter Umständen orientieren. Zunächst einmal ist zu beobachten, dass ein Geräusch mit steigender Lautstärke immer einheitlicher als Lärm empfunden wird (Sommer et al., 1998, 3). Zu nennen wäre in diesem Zusammenhang auch der Anteil hoher Frequenzen in einem Geräusch. Ein hoher, kreischender Ton wird von sehr vielen Menschen als besonders lästig empfunden. Ein Beispiel hierfür ist das Geräusch, das sich mithilfe von Kreide an einer Schultafel erzeugen lässt. Ein weiteres akustisches Kriterium scheint der zeitliche Verlauf eines Geräuschs zu sein. Vermehrte Schwankungen in Tonlage und Frequenz werden in der Regel als belästigungssteigernd empfunden. Auch die Uhrzeit spielt bei der Wahrnehmung eine sehr wichtige Rolle (Thießen/Schnorr, 2005, 8). So sind das Vogelzwitschern am Vormittag und der tropfende Wasserhahn in der Nacht zwar ähnlich laut, dennoch empfinden viele Menschen einen großen Unterschied.

Diese zeitabhängige Empfindungsschwankung lässt sich recht gut messen. Tabelle 1 gibt das Ergebnis einer solchen Messung wieder. Der Anteil der Personen, die sich stark gestört fühlen, ist bei gleichen Pegeln in der Nacht erheblich größer als am Tag. Aus den Zahlenwerten geht hervor, dass sich in der Nacht bei einer um 10 dB(A) niedrigeren Lärmbelastung eine ungefähr gleich hohe Zahl von Personen stark gestört fühlt wie am Tag. In Ruhezeiten besteht also die Tendenz, deutlich mehr Geräusche als Lärm wahrzunehmen, weshalb ein besonderer Schutz dieser Zeiten sinnvoll ist. Anhand dieser Grundlagen kann versucht werden, einen naturwissenschaftlich nachvollziehbaren Schallschutz aufzubauen. Beim Lärmschutz dürfte das – wegen der genannten Mess- und Bewertungsprobleme – hingegen kaum möglich sein.

## Lärm und davon stark gestörte Personen

Tabelle 1

Lärmimmission ( $L_{eq}$ ) in dB(A)	Vom Lärm stark gestörte Personen in Prozent	
	Tags	Nachts
< 50	2	6
50 bis 55	3	20
56 bis 60	7	24
61 bis 65	19	41
66 bis 70	28	44
71 bis 75	44	52
76 bis 80	48	–

$L_{eq}$ : Energieäquivalenter Mittelungspegel über einen bestimmten Zeitraum.

Quelle: Sommer et al., 1998, 57

Belästigung ist ein individuelles Empfinden und damit auch nicht objektiv messbar. Dennoch ist es in der politischen und planerischen Praxis notwendig, einen Indikator für den Grad der Belästigung der Bevölkerung zu besitzen, um einen Überblick über die Belästigungslage zu erhalten. Anhand eines solchen Indikators können die Verwaltungen entscheiden, ob in den belasteten Gebieten Lärmschutzmaßnahmen geplant werden sollten. Ein häufig genutzter Indikator ist die Zahl der hochgradig belästigten Personen. Eine Person gilt als hochgradig

belästigt, wenn sie in einer Befragung die eigene Lärmbelastung auf einer Skala von eins bis hundert mindestens mit 72 angibt. Dieser Indikator wird häufig in Verbindung mit der „20-Prozent-Regel“ verwendet. Diese sagt aus, dass Gebiete, in denen der Anteil der hochgradig belästigten Personen an der Gesamtbevölkerung über 20 Prozent liegt, als hoch belastet gelten und damit bei Lärmschutzinvestitionen prioritär zu behandeln sind.

## 2.2 Maßeinheiten und Indizes

Im Gegensatz zum Lärm ist Schall ein physikalisches Ereignis, das messtechnisch erfassbar und daher im Weiteren auch operationalisierbar ist. Zudem können die Auswirkungen von Schall auf den menschlichen Organismus weit über das mit dem Lärm verbundene Belästigungsempfinden hinausgehen. Schall kann Gehörschäden und unterbewusste Reaktionen des Körpers auslösen – und diese Folgen eines akustischen Ereignisses hängen keineswegs von der persönlichen Einstellung zu diesem Geräusch ab.

Doch auch die Messung und die Erfassung von Schall – Grundvoraussetzungen für einen effizienten Schallschutz – sind nicht unproblematisch. Die Darstellung der Probleme erfordert zunächst eine Klärung der verwendeten Maßeinheiten und Indizes, da im Folgenden sonst leicht Missverständnisse entstehen könnten. Allein schon in der landläufig bekannten und gebräuchlichen Maßeinheit dB(A) stecken zahlreiche Informationen und Annahmen, die kaum bekannt, aber für die Bewertung von Schallschutzmaßnahmen von hoher Relevanz sind. Daher wird nun zumindest ein Teil dieser physikalischen Hintergründe erläutert.

Wie bereits angemerkt, verfügt das menschliche Ohr über eine breit gefächerte Wahrnehmungsfähigkeit. Die Schallintensität der Hörschwelle beträgt nur ein 10-Billionstel Watt pro Quadratmeter, die der Schmerzgrenze ein Watt pro Quadratmeter. Bei der Beschreibung von Schallereignissen, die für den Menschen hörbar sind, müssten also Zahlen verwendet werden, die bis zu 13 Nullen aufweisen. Um nicht mit solch großen Zahlen arbeiten zu müssen, wurde die logarithmische Dezibelskala<sup>6</sup> entwickelt. Die Werte der Dezibelskala berechnen sich nach folgender Formel:

$$(1) L_p = 10 \cdot \lg \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{dB}$$

mit  $p$  = gemessener Schalldruck,

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pascal (Schalldruck der Hörschwelle).

Die Einheit Dezibel gibt also das Verhältnis des quadrierten gemessenen Schalldrucks zum quadrierten Schalldruck der Hörschwelle an. Setzt man die Schalldruckpegel von Hör- ( $2 \cdot 10^{-5}$  Pascal) und Schmerzschwelle (20 Pascal) in diese Formel ein, so ergibt sich für die Hörschwelle ein Wert von 0 Dezibel (dB) und für die Schmerzschwelle, die ja eigentlich einer 10-billionenfach höheren Schallintensität entspricht, beträgt der Wert 130 dB. Damit werden die Angaben deutlich besser handhabbar. Abbildung 2 stellt die Dezibelskala grafisch dar und gibt für die verschiedenen Schallpegel Beispiele an. Die Abbildung zeigt zudem deutlich, dass für die Einheit Dezibel (dB) auch besondere Rechenregeln gelten müssen, da eine logarithmische Skala zugrunde liegt. Die Erhöhung eines Schallpegels um 10 dB steht immer für eine Verzehnfachung der messbaren Schallintensität, eine Steigerung um 20 dB hingegen bedeutet stets eine Zunahme um das Hundertfache gegenüber dem Ausgangswert. Das bedeutet auch, dass beispielsweise eine Senkung der Schallintensität von 120 dB auf 110 dB eine völlig andere Größenordnung besitzt als eine Reduktion von 50 dB auf 40 dB.

Eine weitere Folge der Verwendung einer logarithmischen Skala besteht darin, dass bei der Addition von Schallpegeln folgende Rechenregel gilt:

$$(2) L_{\text{Add}} = 10 \cdot \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{dB.}$$

Entsprechend verhält es sich auch bei der Subtraktion von Pegeln. Aus dieser Rechenregel folgen einige Eigenheiten, die es im Weiteren zu beachten gilt. Besonders wichtig für die Praxis ist, dass bei der Addition zweier sehr unterschiedlicher Pegel, zum Beispiel bei Pegeldifferenzen über 10 dB, der kleinere Pegel kaum mehr einen Einfluss auf den Gesamtpegel hat. Um die Relevanz zu verdeutlichen, ein Beispiel: Stellt man neben eine Maschine, die einen Schallpegel

<sup>6</sup> Benannt nach dem Erfinder des Telefons, Graham Bell (1847–1922).

## Schallereignisse und Schallintensität

Abbildung 2

	Verhältniszahl	Schallpegel in dB(A)	Schallquelle (Entfernung)
Schmerzschwelle	$10.000.000.000.000 = 10^{13}$	130	Düsenjäger (7 m)
	$1.000.000.000.000 = 10^{12}$	120	Verkehrsflugzeug (7 m)
Schädigungs- bereich	$100.000.000.000 = 10^{11}$	110	Propellerflugzeug (7 m)
	$10.000.000.000 = 10^{10}$	100	Kreissäge, Diskothek (7 m)
	$1.000.000.000 = 10^9$	90	Presslufthammer (7 m)
Belästigungs- bereich	$100.000.000 = 10^8$	80	Staubsauger (7 m)
	$10.000.000 = 10^7$	70	Rasenmäher (7 m)
	$1.000.000 = 10^6$	60	Normales Gespräch (1 m)
Üblicher Tagesspiegel im Wohnbereich	$100.000 = 10^5$	50	Leise Radiomusik (1 m)
	$10.000 = 10^4$	40	Kühlschrank (1 m)
	$1.000 = 10^3$	30	Flüstern (1 m)
Leiser Bereich	$100 = 10^2$	20	Leichter Wind
	$10 = 10^1$	10	Schneefall
Hörschwelle	$1 = 10^0$	0	

Quelle: UVP-Geschäftsstelle/Umweltamt Köln, 2003, 1

von 90 dB emittiert, eine weitere Maschine, die zusätzlich 80 dB emittiert, so würde der Gesamtpegel gerade einmal auf 90,41 dB ansteigen. Der Unterschied wäre für Menschen nicht wahrnehmbar. Merkwert ist auch, dass die Addition zweier gleich hoher Pegel immer eine Steigerung des Gesamtpegels um 3 dB zur Folge hat, egal wie hoch die zu addierenden Pegel sind. Diese Berechnung bewirkt auch, dass der in dB ausgedrückte Gesamtpegel nicht linear mit der Anzahl gleicher Lärmquellen, wie beispielsweise Pkw, steigt. Dies wird noch einmal in Tabelle 2 dokumentiert.

Bislang ging es um die physikalische Dimension des Schalls. Aber die Wahrnehmungsleistungen des menschlichen Ohrs fügen dieser Dimension noch weitere Aspekte hinzu. So nimmt das Ohr eine Steigerung des Schallpegels um 10 dB keineswegs physikalisch korrekt als eine Verzehnfachung wahr. Stattdessen wird eine solche Erhöhung näherungsweise als Verdoppelung der Lautstärke wahrgenommen. Diese Wahrnehmung ist weitgehend unabhängig davon, ob man sich im oberen oder unteren Teil der Dezibelskala bewegt (Hoffmann et al., 2003, 61). Eine Steigerung um 3 dB, also eine tatsächliche Verdoppelung des Schalldrucks, wird in der Literatur als „gut wahrnehmbar“ bezeichnet. Geringere Pegelschwankungen werden von Teilen der Bevölkerung schon nicht mehr registriert. Die

absolute Wahrnehmungsgrenze liegt ungefähr bei einem Unterschied von 1 dB. Diesen Wahrnehmungsunterschied von Messgerät und menschlichem Ohr gilt es vor allem dann zu beachten, wenn die Wirksamkeit bestimmter Schallschutzmaßnahmen eingeschätzt werden soll.

Doch das ist nicht die einzige Verzerrung, die das menschliche Gehör gegenüber den physikalischen Messungen in unsere Wahrnehmung einbaut. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass auch die Tonhöhe (Frequenz) einen deutlichen Einfluss auf die Wahrnehmung von Schall hat. Die maximale Empfindlichkeit des

menschlichen Gehörs liegt im Frequenzbereich zwischen 1.000 und 4.000 Hertz. Geräusche, die in diesem Frequenzbereich liegen, nehmen wir lauter wahr, als sie gemäß ihrem Schalldruckpegel eigentlich sind. Hoch- und vor allem tieffrequente Geräusche werden hingegen bei gleichem Schalldruck als teilweise deutlich leiser wahrgenommen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Beschreibung eines Schallereignisses anhand der Dezibelskala die tatsächliche Empfindungsweise eines Geräuschs durch den Menschen nur unzureichend abbildet. Damit die Einheit zur Grundlage einer Schallschutzregelung werden kann, muss sie so modifiziert werden, dass sie der menschlichen Wahrnehmung besser entspricht. Die Angabe einer Lautstärke in dB muss also mit weiteren Informationen angereichert werden. Zu diesem Zweck wurden bereits in den dreißiger Jahren mehrere Bewertungsfiler entwickelt, die Korrekturwerte für hoch- und tieffrequente Geräusche gleicher Lautstärke zusammenfassen. Diese in Abbildung 3 dargestellten Frequenzbewertungskurven geben also an, um wie viel ein gemessener Schalldruck (Lautstärke) zu modifizieren ist, um die physikalische Lautstärke in die tatsächlich wahrgenommene Lautstärke umzuwandeln. Es ist ersichtlich, dass gerade im tieffrequenten Bereich erhebliche Korrekturen vorgenommen werden. Der Abschlag von 50 dB, den die A-Kurve für eine Frequenz von 20 Hertz vorsieht, entspricht einer Lautstärkereduktion um den Faktor 100.000 gegenüber dem gemessenen Schalldruck. Abbildung 3 zeigt die drei heute in internationalen Normen festgelegten A-, B- und C-Bewertungsfiler. Da sich die Anwendung von unterschiedlichen Filtern als wenig praktikabel erwies, wurde im Jahr 1967 ver-

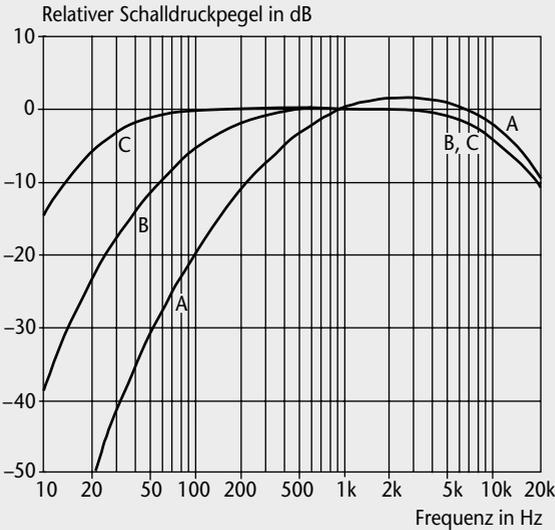
## Pegelzunahme bei einer Vervielfachung der Schallquellen Tabelle 2

Anzahl n gleicher Schallquellen	Zunahme des Schallleistungspegels gegenüber einer Schallquelle
1	0 dB
2	+ 3 dB
4	+ 6 dB
10	+ 10 dB
100	+ 20 dB
1.000	+ 30 dB

Quelle: Hoffmann et al., 2003, 71

## Frequenzbewertungskurven nach EN ISO 60651

Abbildung 3



Quelle: Hoffmann et al., 2003, 104

einbart, generell die A-Kurve zu verwenden. In der heutigen Messpraxis spielt zwar auch die C-Kurve noch eine gewisse Rolle, ihre Anwendung ist jedoch auf wenige Spezialfälle beschränkt. Ein Schallmessergebnis, das mit einem bestimmten Frequenzbewertungsfilter korrigiert wurde, wird hier beispielsweise als „A-bewerteter Schalldruckpegel“ bezeichnet. Und die zugehörige Einheit wird in aller Regel mit dB(A) abgekürzt. Durch die Ver-

wendung eines Bewertungsfilters wird zwar zugunsten der Praktikabilität die messtechnische Präzision eingeschränkt, aber das Verfahren hat sich im Einsatz bewährt. Die Aussagekraft von Angaben in dB(A) wird daher nicht in Zweifel gezogen, auch wenn sie teilweise massiv von den gemessenen Schalldruckwerten in dB abweichen.

Hiermit wäre die erforderliche Grundlage zur Erfassung von Schallemissionen gegeben. Um die aus Sicht der vom Umgebungslärm betroffenen Menschen viel interessanteren Immissionen zu erfassen, sind die bisher vorgestellten Überlegungen noch nicht ausreichend. Dazu sind weitere Faktoren zu berücksichtigen. Ein wesentlicher Punkt bei der Immissionsbetrachtung ist der Faktor Zeit. Auch ein in dB(A) ausgedrückter Messwert bildet nur den vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Schall zu einem bestimmten Zeitpunkt ab. In der Praxis unterliegen die zu beurteilenden Geräusche zeitlichen Schwankungen. Daher wird ein sogenannter Mittelungspegel benötigt, der den durchschnittlichen Schalldruck in einem bestimmten Zeitraum darstellt. Es muss also eine energetische Mittelung der Schallereignisse vorgenommen werden. Ein solcher Mittelungspegel kann ebenfalls in dB(A) angegeben werden. Es muss jedoch im Folgenden klar sein, dass ein Mittelungspegel keine Informationen über Zeitstruktur und Ereignis-

häufigkeit enthält. Ein einzelnes, extrem lautes Geräusch kann den gleichen Mittelungspegel erzeugen wie eine Vielzahl leiserer Schallereignisse. Gemäß den vorher erwähnten Rechenregeln errechnet sich ein A-bewerteter energie-äquivalenter Dauerschallpegel ( $L_{Aeq}$ ) durch die Integration von Einzelpegeln über die Zeit:

$$(3) \quad L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 \cdot L(t)} \cdot dt \right) \text{dB(A)}$$

mit  $T$  = Messdauer,

$L(t)$  = Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ .

In der Praxis wird ein  $L_{Aeq}$  abhängig vom Anwendungsfall mit Zuschlägen versehen, um die verschiedenen Geräuscharten und unterschiedlichen Einwirkungsbedingungen noch einmal besonders zu berücksichtigen. Die deutschen Vorschriften zur Ermittlung von Mittelungspegeln (DIN 45 645-1 und -2) unterscheiden dabei Impulzzuschläge, Tonzuschläge, Zuschläge für Ruhezeiten und Zuschläge für besondere Geräusche und Situationen (Hoffmann et al., 2003, 117 ff.).

Eine letzte Besonderheit von Schall soll noch erwähnt werden, nämlich die Möglichkeit, Schall zu reflektieren. In der Theorie breitet sich Schall kugelförmig um die Schallquelle herum aus, wobei man sich die Schallwellen als lineare Vektoren vorstellen kann, die von der Schallquelle aus in alle Richtungen weglaufen. In der Realität hingegen werden diese linearen Vektoren vielfach reflektiert und gebrochen, sodass sich das Bild erheblich verkompliziert. Die meisten nicht-elastischen Materialien absorbieren einen Teil der Schallenergie und reflektieren den Rest. Hierdurch kann hinter dem Reflektor ein Schallschatten entstehen, der unter Umständen als Ruhezone genutzt werden kann. Allerdings bedeutet die Präsenz eines Reflektors auch, dass sich im Raum vor diesem Reflektor Pegelsteigerungen von bis zu 3 dB(A) ergeben können. Gibt es entlang einer Schallquelle mehrere Reflektoren, kann der Schall auch mehrfach in den Zwischenraum zurückgeworfen werden. In solchen Extremfällen ist es möglich, dass der Schallpegel um bis zu 7 dB(A) ansteigt. Die Positionierung von Reflektoren ist somit für die Verteilung von Schall ebenfalls von großer Bedeutung, da sich Schall durch die Reflektoren in einem gewissen Maße lenken lässt. Eine solche Lenkung ist aber nicht unproblematisch und es sind viele Faktoren zu beachten. Ein Beispiel hierfür liefern die Vorgänge an der Oberkante einer Lärmschutzwand. Während der Schall von der Wand reflektiert wird, läuft ein Teil der Schallvektoren darüber hinweg. Nach Passieren des Hindernisses kann sich die Schallenergie wieder in alle Richtungen ausbreiten, ein Teil davon in Richtung Erdboden. Die Schallwellen werden sozusagen gebeugt und dehnen sich in den Schallschatten hinter dem

Hindernis aus. Aus eben diesem Grund ist es auch hinter Lärmschutzwänden nicht vollkommen ruhig. Aber auch Bodenstruktur, Bewuchs sowie die lokale Meteorologie haben einen signifikanten Einfluss auf die Schallimmissionen. So können Pflanzen einen Teil der Schallenergie absorbieren. Gleiches gilt für die Luftmoleküle, wobei die Stärke dieses Absorptionseffekts beispielsweise von der Luftfeuchtigkeit abhängt. All diese Faktoren müssen daher in eine Schallminderungsplanung einbezogen werden.

### 2.3 Auswirkungen auf den Menschen

Es stellt sich nun die Frage, ob Schall oder Lärm in der Lage sind, die menschliche Gesundheit negativ zu beeinflussen. Falls dies der Fall ist, sollte geklärt werden, ab welchen Pegelstärken mit negativen Effekten zu rechnen ist.

Da Lärm unmittelbar erfahrbar ist, konnten sich die Menschen schon früh ein Urteil über seine Folgen bilden. Gerade der Verkehrslärm wird schon im alten Rom für Krankheiten und Todesfälle verantwortlich gemacht, wie folgendes Zitat von Juvenal (etwa 60 bis 130/140 n. Chr.) belegt: „Hauptursache des Übels: Wagen biegen in scharfer Wendung um die Straßenecken, die Treiber schimpfen laut, wenn ihre Herde nicht weiterkann – all das würde einem Drusus den Schlaf nehmen. Hier sterben viele, weil Schlaflosigkeit sie krank gemacht hat, denn in welcher Mietwohnung kann man schlafen? Sehr reich muss man sein, um in Rom schlafen zu können.“<sup>7</sup>

Nach der medizinischen Literatur können Lärmwirkungen in verschiedenen Bereichen auftreten. Die erste Kategorie besteht aus Gehörschäden, die durch unmittelbare Lärmexpositionen entstehen. Darüber hinaus können noch weitere physiologische Funktionen durch Lärm beeinträchtigt werden, beispielsweise das Herz-Kreislauf-System oder der Hormonhaushalt. Eine weitere Komponente besteht in Störungen des Wohlbefindens, die zu psychischen Reaktionen führen können. Auch soziale Auswirkungen von Lärm sind denkbar. So ist nicht auszuschließen, dass eine hohe Lärmbelastung in einem Wohngebiet eine soziale Selektion der Bewohner bewirkt. Wenn zum Beispiel die einkommensstärkeren Personen das Gebiet verlassen und nur die einkommensschwachen zurückbleiben, könnten sich in der Folge soziale Brennpunkte in Form von sogenannten Lärmgettos bilden.

Es deutet vieles darauf hin, dass auch Umgebungslärm eine gesundheitlich relevante Größe darstellt, obwohl ein Kausalzusammenhang mit klinisch mani-

---

<sup>7</sup> In Rom hatte der Senat verfügt, dass die Lastkarren aus dem Umland nur in der Nacht durch die Stadt fahren durften. Damit wurde das Verkehrschaos am Tag zwar gemindert, aber die Lärmbelastung muss enorm gewesen sein.

festierten Erkrankungen kaum nachweisbar ist. Der Nachweis lärmbedingter Erkrankungen ist vor allem deshalb so schwierig, weil es mit Ausnahme von Gehörschäden keine lärmspezifischen Krankheitsbilder gibt. Lärm ist eher als ein einzelner Risikofaktor in multikausalen Krankheitsbildern anzusehen. Diese Konstellation macht die Messung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Lärmimmissionen und bestimmten Krankheiten schwer bis unmöglich. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die Abwesenheit eines wissenschaftlich nachweisbaren Zusammenhangs keineswegs bedeutet, dass kein negativer Effekt vorliegt. Vielmehr lässt sich eine statistisch signifikante Verbindung lediglich nicht beweisen. Dies kann jedoch viele Gründe haben, wie etwa das Vorliegen multikausaler Krankheitsbilder oder aber auch die Methodik der bisherigen Untersuchungen. Gerade der Aufbau von repräsentativen Probandengruppen für medizinische Feldstudien zum Thema Umgebungslärm hat sich in der Vergangenheit als schwierig erwiesen. Ein Problem bestand beispielsweise darin, in den besonders hoch belasteten Gebieten ausreichend Probanden zu finden, da diese Gebiete eher klein sind. Dieser Mangel erschwert es, statistisch signifikante Ergebnisse für die hoch belasteten Gebiete zu erzielen (Reinhold, 1997, 13).

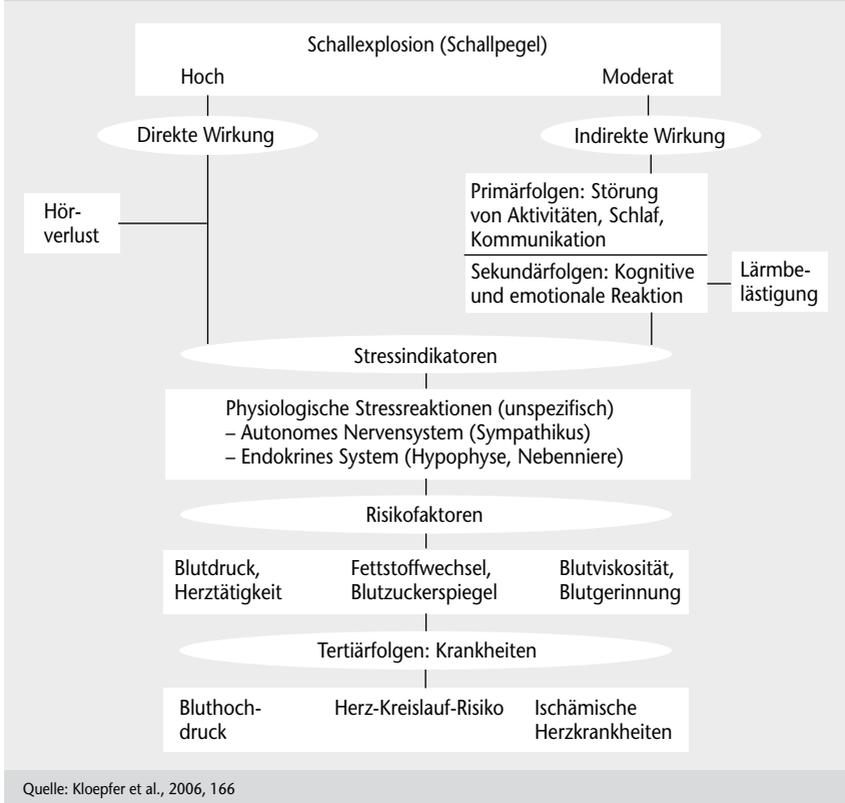
Viele Reaktionen des menschlichen Körpers auf Schall oder Lärm sind der Tatsache geschuldet, dass sich das Gehör im Laufe der Evolution zur Alarmanlage des Körpers entwickelt hat. Daher löst wahrgenommener Schall nicht nur eine Informationsverarbeitung im Gehirn aus, sondern eben auch unterbewusste Nebenwirkungen, die sich am ehesten als ein Bereitmachen zur Flucht beschreiben lassen. Während Lärm als unmittelbare Ursache von psychischen Erkrankungen in der medizinischen Literatur weitgehend ausgeschlossen wird, deutet vieles darauf hin, dass er auf physiologischer Ebene ein gewisses Schädigungspotenzial besitzt. Diese Nebenwirkungen lassen sich zeitlich in drei Kategorien einteilen: unmittelbare Primärreaktionen des Körpers; Sekundärwirkungen, die eine direkte Folge der Primärreaktionen darstellen; langfristige Tertiäreffekte, die sich in Form von klinisch relevanten Langzeitfolgen manifestieren können. Diese Effekte stehen in einem kausalen Zusammenhang, der in Abbildung 4 dargestellt wird.

In diesem Schema treten die oben genannten Kategorien als indirekte Lärmfolgen auf. Es ist zu sehen, dass die gesundheitlich besonders bedenklichen Tertiärfolgen eben keine direkte Folge von Lärmimmissionen mehr darstellen, sondern dass weitere Indikationen notwendig sind, um eine konkrete Erkrankung auszulösen. Dagegen sind die Primär- und Sekundärfolgen dem Lärm deutlich leichter zuzurechnen.

# Lärmaktionschema

Abbildung 4

Modell einer kausalen Beziehung zwischen der chronischen Einwirkung von Lärm und der Manifestation von Herz-Kreislauf-Erkrankungen



## Primäre Reaktionen auf Lärm

In diese Kategorie fallen alle Reaktionen, die zeitlich unmittelbar auf ein Schallereignis folgen. Hierzu zählen sowohl direkte als auch indirekte Effekte der Schallimmission.

Direkte Folgen sind beispielsweise Gehörschäden. Diese können sowohl akut als auch chronisch auftreten. Akute beziehungsweise traumatische Gehörschäden können ab einem Pegel von etwa 120 dB auftreten. Sie sind häufig behandelbar. Chronische Gehörschäden sind hingegen auf langfristige Belastungen mit Pegeln von mindestens 85 dB zurückzuführen. Diese Schädigungen sind meistens irreversibel. Für die Bewertung von Verkehrslärm sind Gehörschäden aber weitgehend irrelevant, da die genannten Pegel im Verkehrsbereich nicht erreicht werden.

Damit bleiben die indirekten Reaktionen als mögliche primäre Folge von Verkehrslärm übrig. Allerdings ist auch hier festzustellen, dass viele dieser Reaktionen nicht als krankhaft gelten können, sondern vor allem auf ein erhöhtes Aktivitätsniveau des Körpers hindeuten. Primäre Lärmreaktionen entstehen vor allem durch plötzliche und starke Änderungen der Umgebungsschallpegel. Diese lösen im Körper eine Art Alarmzustand aus. Entscheidend ist hierbei das vegetative Nervensystem, das unter anderem den Hormonhaushalt im Körper steuert. Hier erfolgt auf eine Schallwahrnehmung eine unterbewusste Reaktion, die auch im Schlafzustand eintritt. Es werden Stresshormone wie beispielsweise Adrenalin ausgeschüttet. Diese sorgen wiederum für eine Erhöhung der Herzfrequenz und des Blutdrucks. Gesundheitlich bedenklich ist diese Reaktion per se nicht. Sie ist vielmehr ein Schutzmechanismus, der auch ohne aktive Wahrnehmung Fluchtvorbereitungen einleitet. Ob und inwieweit die ständige Wiederholung eines solchen Vorgangs zu Gesundheitsstörungen beiträgt, ist aber nach wie vor weitgehend offen (Kloepfer et al., 2006, 132).

Eine weitere primäre Lärmfolge, die in der Literatur häufig genannt wird, ist die Störung der Kommunikation. In Umfragen zeigt sich häufig, dass sich die Anwohner von Schienenwegen und Einflugschneisen gerade dann besonders gestört fühlen, wenn ein Schallereignis ihre Kommunikation unterbricht. Von einem Zug oder Flugzeug unterbrochen worden zu sein, löst bei vielen Menschen zunächst einmal Verärgerung und das Gefühl starker Belästigung aus. Tritt dieses Problem langfristig auf, kann es auch zu Anpassungen im Kommunikationsverhalten der Betroffenen kommen. Dies äußert sich beispielsweise in der höheren Sprechlautstärke, einer geringeren körperlichen Distanz zum Gesprächspartner oder einem Hang zu abgehackten Sätzen. Das sind allesamt Angewohnheiten, die von den meisten Kommunikationspartnern als unangenehm empfunden werden. Sie gelten daher als negative Lärmfolgen.

Ebenfalls zu beachten sind mögliche Schlafstörungen infolge von Schaller eignissen, also wenn der Betroffene aufwacht oder sich das Einschlafen verzögert. Dies sind erhebliche Eingriffe in die Erholungswirkung des Schlafs, denn Schlaf ist kein Zustand, sondern ein dynamischer Prozess, mit signifikanten Veränderungen von Bewusstseinslage und Körperfunktionen. Wird der Schlaf unterbrochen, kann der Organismus nicht einfach dort weitermachen, wo er geweckt wurde. Daher hat eine Schlafunterbrechung bei vielen Menschen am nächsten Tag schlimme Folgen. Dies gilt vor allem für Unterbrechungen in späteren Schlafphasen. Allerdings zeigen sich auch deutliche Gewöhnungsprozesse. Bis zu einem Dauerschallpegel von etwa 85 dB sind viele Menschen in der Lage, sich anzupassen. Zudem scheint die Aufwachwahrscheinlichkeit stark von der Situation

abzuhängen. Jedenfalls ergaben bei steigenden Pegeln Laborstudien erheblich größere Aufwachwahrscheinlichkeiten als Feldversuche, die im Wohnumfeld der Probanden durchgeführt wurden, wobei sich allerdings nur ein Teil der schlafenden Testgruppen als lärmempfindlich herausstellte. Die meisten Probanden zeigten auch bei Pegeln von 70 dB keine Aufwachreaktionen. Lärmempfindliche Personen begannen dagegen bereits bei einem Immissionspegel von knapp 33 dB zu reagieren (Basner et al., 2004).

### **Sekundäre Reaktionen auf Lärm**

In diese Kategorie fallen Reaktionen, die sofort oder leicht zeitverzögert auf die primären Reaktionen folgen. Die wohl wichtigste Sekundärfolge von Lärm ist das Entstehen eines Belästigungsgefühls, dessen Eigenarten in Abschnitt 2.1 bereits beschrieben wurden.

Neben dem reinen Belästigungsgefühl, das eher individuellen Empfindlichkeiten als bestimmten Pegeln zuzuordnen ist, fallen die weiteren Sekundärreaktionen deutlich weniger ins Gewicht. Zu nennen sind vor allem sekundäre Schlafstörungen sowie Leistungsbeeinträchtigungen.

Als sekundäre Schlafstörung ist die Empfindung einer schlechten Schlafqualität einzuordnen, wobei die subjektive Schlafqualität fundamental von der Zahl der erinnerten Wachphasen abhängt. Hier zeigen sich deutlich geringere Gewöhnungseffekte als bei den primären Schlafstörungen. Tests belegten einen Zusammenhang von steigenden Schallpegeln und verlangsamten Reaktionszeiten.

Eine weitere Sekundärfolge langfristiger Lärmexposition können Leistungsbeeinträchtigungen sein. Bereits in den fünfziger Jahren vermutete man einen Zusammenhang zwischen Lärm und kognitiven Funktionen wie etwa der Aufmerksamkeit oder der Problemlösungsfähigkeit. Später zeigte sich, dass das Ausmaß kognitiver Störungen vor allem vom individuellen Entwicklungsstand abhängt. Kinder erwiesen sich als anfälliger als Erwachsene. Eine Ableitung von Belastungsgrenzwerten war aber bislang nicht möglich.

### **Tertiäre Reaktionen auf Lärm**

Tertiärreaktionen treten infolge von chronischer Lärmbelastung oder langfristigen Wiederholungen der primären und sekundären Lärmwirkungen auf. In diese Kategorie fallen vor allem klinisch relevante Gesundheitsschäden und anhaltende Verhaltensänderungen.

Da es sich bei den potenziellen Lärmfolgen durchweg um multikausale Krankheitsbilder handelt, die zudem mit großer zeitlicher Verzögerung auftreten, ist der Nachweis eines kausalen Zusammenhangs mit Lärmimmissionen schwierig.

In der medizinischen Literatur finden sich jedoch relativ viele Studien, die zumindest zwischen der Lärmbelastung einer Person und der Wahrscheinlichkeit einer Herz-Kreislauf-Erkrankung einen positiven Zusammenhang feststellen.

Nicht beweisbar ist hingegen eine Korrelation zwischen häufigen Schlafstörungen und multikausalen Erkrankungen, auch wenn die Annahme sehr plausibel erscheint (Kloepfer et al., 2006, 146 f.). Gleiches gilt für Bluthochdruck und biochemische Effekte im Körper. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Lärmbelastung der Probanden ließ sich in den bisherigen Studien nicht nachweisen (Babisch, 2006, 48).

Herz-Kreislauf-Erkrankungen nehmen in der heutigen Mortalitätsstatistik den Spitzenplatz ein. Zudem sind die bisher nachgewiesenen Lärmreaktionsmuster dazu geeignet, das Entstehen einer solchen Erkrankung zu fördern, denn die primären und sekundären Lärmreaktionen zeigen, dass Lärm Stress auslösen kann. Von daher ist es folgerichtig, dass Herz-Kreislauf-Erkrankungen im Mittelpunkt der meisten Untersuchungen zu den medizinischen Auswirkungen von Lärm stehen. Diese Studien stoßen aber immer wieder auf das Problem, keine statistische Signifikanz zu erreichen. Neben den bereits genannten Problemen erschwert vor allem die weite Verbreitung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in der Gesamtbevölkerung den Nachweis lärmbedingter Fälle. Weiterhin ist zu beachten, dass insbesondere bei der Untersuchung des Umgebungslärms zahllose Störfaktoren in die Studienergebnisse einfließen können. In der Folge sind die bisherigen Untersuchungsergebnisse im Bereich Umgebungslärm recht widersprüchlich, während die Studien zum Gewerbelärm belastbarere Zusammenhänge ergeben. Alles in allem ist wohl nur die Aussage möglich, dass Lärm die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen begünstigt, wenn bestimmte individuelle und situative Voraussetzungen gegeben sind.

Die wohl neueste Untersuchung zu den tertiären Folgen des Verkehrslärms ist die Metastudie von Babisch aus dem Jahr 2006. Die Auswertung von 61 Einzelstudien ergab eine gewisse Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Lärmbelastung durch Straßenverkehr und der Wahrscheinlichkeit eines Herzinfarkts. Gemäß Babisch (2006, 61 f.) konnte unter einer Belastung von 60 dB(A) am Tag (6 Uhr bis 22 Uhr) kein Zusammenhang mit dem Herzinfarktrisiko ermittelt werden. Zwischen 61 und 80 dB(A) stieg das Risiko, einen Herzinfarkt zu erleiden, von 1,1 auf 1,5. Damit ermittelte diese Metastudie eine deutlich höhere Gefährdung als beispielsweise die umfangreiche NaRoMi-Studie (Noise and Risk of Myocardial Infarction) des Umweltbundesamts (Babisch, 2004). Diese konnte nur für Männer, die seit mindestens zehn Jahren nicht umgezogen waren, einen signifikanten Zusammenhang zwischen Dauerbelastung durch Straßenlärm von mehr als

65 dB(A) und dem Herzinfarktrisiko nachweisen. Frauen schienen hingegen eher auf Fluglärm empfindlich zu reagieren, was wiederum für den Einfluss individueller Faktoren auf die Lärmreaktion spricht. Andere Untersuchungen ergaben noch höhere Dauerpegel als Untergrenze, ab der infolge von Lärm negative Gesundheitseffekte auftraten. So sehen de Kluizenaar und Passchier-Vermeer (2001) erst ab 70 dB(A) ein erhöhtes Infarktrisiko. Die epidemiologische Beweislage für eine Zunahme der Herz-Kreislauf-Erkrankungen durch die Belastung mit Verkehrslärm bleibt weiterhin schwach. Dennoch ist der Zusammenhang plausibel und wahrscheinlich. In präventiver Absicht wird daher häufig gefordert, dass die Tagesbelastung einen Wert von 65 dB(A) nicht dauerhaft überschreiten sollte (Babisch, 2000). Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hält diesen Wert noch nicht für ausreichend und plädiert dafür, die in Tabelle 3 aufgeführten Werte durchzusetzen. Diese Pegel sollten nach Ansicht der WHO geeignet sein, keine gesundheitsschädlichen Effekte mehr zu verursachen. Allerdings ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die WHO Gesundheit als Zustand des völligen physischen, psychischen und sozialen Wohlbefindens definiert. Die WHO-Forderung nach Außenpegeln von höchstens 55 dB(A) am Tag und 45 dB(A) in der Nacht ist vor dem Hintergrund dieser sehr engen Definition zu bewerten.

Neben den Gesundheitsfolgen von Umgebungslärm wird immer wieder die Frage diskutiert, ob er nicht auch negative soziale Folgen mit sich bringt. In diesem Zusammenhang werden häufig ein Rückgang der Hilfsbereitschaft und

### **Straßen- und Schienenverkehrslärm: Handlungs- und Umweltqualitätsziele des Umweltbundesamts und der Weltgesundheitsorganisation (WHO)**

Tabelle 3

<b>Schutzziele</b>	<b>Tageszeit</b>	<b>L<sub>AM</sub> in dB(A)</b>	<b>Zeitliche Perspektive</b>
Verringerung des Herzinfarktrisikos	tags (6–22 Uhr) nachts (22–6 Uhr)	≤ 65 (Außenpegel) ≤ 55 (Außenpegel)	kurzfristig
Vermeidung von erheblicher Belästigung	tags	≤ 55 (Außenpegel)	mittelfristig (WHO)
Vermeidung von (erheblichen) Schlafstörungen	nachts	≤ 45 (Außenpegel)	mittelfristig (WHO)
Vermeidung von (mäßiger) Belästigung	tags	≤ 50 (Außenpegel) ≤ 35 (Innenpegel)	langfristig (WHO)
Vermeidung von Schlafstörungen	nachts	≤ 40 (Außenpegel) ≤ 25 (Innenpegel)	langfristig

Außenpegel = vor dem Fenster.  
Quelle: VCD, 2003, 5

die Bildung von Lärmgettos in Großstädten diskutiert. Während sich Ersteres wohl kaum wissenschaftlich überprüfen lässt, gibt es zum Thema Lärmgettos einige wenige Studien. So wurde beispielsweise in Birmingham untersucht, ob sich ein Zusammenhang zwischen Lärmbelastungen und ethnischer Bevölkerungszusammensetzung herstellen ließe (Barinard et al., 2003). Frühere Untersuchungen in Birmingham hatten bezüglich der Luftverschmutzung einen solchen Zusammenhang ergeben. Für die Lärmbelastung hingegen konnte keine signifikante Korrelation ermittelt werden. Offensichtlich wird die Lärmbelastung zwar negativ wahrgenommen und sie senkt auch tendenziell die Immobilienwerte. Es scheint aber so, als ob andere Faktoren – wie beispielsweise die häufig gute Erreichbarkeit der verkehrslärmbelasteten Straßenzüge – diese Effekte zumindest teilweise kompensieren konnten. Ähnliche Beobachtungen wurden auch in Berlin gemacht (Reinhold, 1997). Von daher werden soziale Effekte im Folgenden nicht mehr behandelt.

### 3

## Volkswirtschaftliche Kosten des Lärms

Basierend auf den vorangegangenen Ausführungen stellt sich nun aus ökonomischer Perspektive die Frage nach den volkswirtschaftlichen Kosten, die der Gesellschaft durch Lärm entstehen. In den Wirtschaftswissenschaften gilt Lärm als eines der Phänomene, die unter dem Begriff Externalitäten zusammengefasst werden. Er ist die Folge einer menschlichen Aktivität und kann eine andere Person schädigen und damit potenzielle Wohlfahrtsverluste auslösen. Da sehr häufig kein Marktmechanismus existiert, der diese Schäden kompensiert, werden Lärmkosten in der Regel zu den externen Kosten gezählt.<sup>8</sup> Zudem ist Lärm eine Verkehrsfolge, die sich nicht vollständig vermeiden lässt und die aus Sicherheits-erwägungen wohl auch nicht vollständig vermieden werden sollte.

Um die Auswirkungen der externen Lärmkosten auf die volkswirtschaftliche Wohlfahrt abbilden zu können, müssen diese in Geldwerten quantifiziert bezie-

---

<sup>8</sup> Wohlfahrtsverluste durch Lärm können auch internalisiert sein. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn jemand bewusst ein Haus an einem sehr lauten Ort kauft und dafür einen Preis bezahlt, der deutlich unter dem einer äquivalenten Immobilie an einem ruhigen Ort liegt. Die Preisminderung wäre in diesem Fall als Internalisierung von Lärmkosten zu interpretieren.

ungsweise als Kosten ausgedrückt werden. Seit den sechziger Jahren versuchen Ökonomen, Lärm zu monetarisieren. Allerdings beschränkten sich die Untersuchungen lange auf Fluglärm, während Studien zu den volkswirtschaftlichen Kosten von Straßen- und Schienenlärm zumeist neueren Datums sind (Schipper et al., 2002). Die weitgehende Beschränkung auf den regional verhältnismäßig gut abgrenzbaren Fluglärm führte dazu, dass lange Zeit ein großes Erkenntnisdefizit bezüglich der volkswirtschaftlichen Lärmkosten bestand. Doch auch heute ist die Erfassung von Lärmkosten ein verhältnismäßig schlecht erforschter Bereich der externen Kosten.

Entgegen einem weitverbreiteten Verständnis stehen externe Kosten nicht für eine Forderung gegenüber dem Verursacher der Externalität. Die Ermittlung von externen Kosten hat keineswegs in erster Linie den Sinn, einen Kompensationsbetrag zu ermitteln, der anschließend von den Verursachern der Externalitäten an die Geschädigten transferiert werden sollte. Der Hintergedanke besteht vielmehr darin, eine optimale Allokation der volkswirtschaftlichen Ressourcen zu ermöglichen, denn die fehlende Berücksichtigung der externen Kosten führt zu einer verzerrten Produktions-, Konsum- und Infrastruktur in einer Volkswirtschaft, was sich wohlfahrtsmindernd auswirkt. Auch im Zustand optimaler Ressourcenallokation existieren jedoch weiterhin Externalitäten. Allerdings würde ihre Beseitigung der Volkswirtschaft Nutzenverluste bescheren, die größer sind als die Nutzenverluste, die von den Externalitäten verursacht werden. Auf den Lärm bezogen heißt dies, dass die neoklassische Wohlfahrtstheorie nach dem nutzenoptimalen Emissionsniveau sucht, nicht nach dem minimalen (Bickel, 2005, 31). Das volkswirtschaftlich optimale Emissionsniveau ist in der Theorie dann erreicht, wenn die Grenzschäden den Grenzvermeidungskosten entsprechen. Mit anderen Worten: Die in Geld ausgedrückten Nutzenverluste, die eine zusätzliche Einheit Lärm verursacht, entsprechen im volkswirtschaftlichen Optimum dem Betrag, der zu ihrer Vermeidung ausgegeben werden müsste. Leider zeigt sich, dass diese Grenzkosten stark orts- und situationsabhängig sind, weshalb eine allgemeine Berechnung extrem erschwert wird. Um ein nutzenoptimales Niveau zu bestimmen, werden daher umfangreiche Informationen benötigt. So sind – neben den vom Lärm verursachten externen Kosten – vor allem auch Lärmvermeidungskosten gefragt, die ebenfalls stark orts- und situationsabhängig anfallen. Ferner gilt es, auch den Nutzen der lärm erzeugenden Aktivitäten zu berücksichtigen, wenn das nutzenoptimale Emissionsniveau berechnet werden soll. Im Prinzip geht es also darum, in der derzeitigen Situation zu prüfen, ob die Kosten zusätzlicher Investitionen in den Lärmschutz durch die verminderten Lärmfolgen zu rechtfertigen sind.

Doch bereits die Monetarisierung von externen Effekten ist generell äußerst schwierig. Denn Externalitäten zeichnen sich gerade dadurch aus, dass sie über keinen ansetzbaren Marktpreis verfügen. Man ist also häufig gezwungen, die Kosten aus Proxy-Variablen abzuleiten. Ein immer wiederkehrendes Bewertungsproblem stellen dabei die menschliche Gesundheit und mögliche Todesfälle dar. Die monetäre Bewertung der volkswirtschaftlichen Verluste aufgrund von vorzeitigen Todesfällen<sup>9</sup> ist zwar nicht befriedigend durchführbar, aber dennoch nicht zu umgehen.

Wenn es gelungen ist, Preise für die Externalitäten herzuleiten, kann unter Berücksichtigung von Schadensumfang und Zahl der Betroffenen ein Wert für die externen Kosten berechnet werden. Die großen Probleme bei der Monetarisierung und Quantifizierung externer Effekte führen dazu, dass die Analyse externer Kosten stets mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist. Aus diesem Grund können Untersuchungen zu externen Kosten bestenfalls als Hilfe genutzt werden, um politische Entscheidungen vorzubereiten oder um diese ex post zu kontrollieren. Eine monetäre Bewertung von Umweltschäden wird aber nie als Ersatz einer politischen Grundsatzentscheidung dienen können.

Gerade bei der Berechnung von Lärmkosten treten noch zusätzliche Probleme auf. Wie in Kapitel 2 dargestellt, sind die Folgen einer Lärmbelastung höchst individuell. Ein Großteil der Lärmfolgen besteht aus einem individuellen Belästigungsgefühl, wirklich verlässliche Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Lärm und Gesundheitsschäden fehlen nach wie vor. Die Monetarisierung der Lärmexternalitäten erfordert also im Prinzip eine objektive Bewertung von subjektiv empfundenen Schäden auf einer Kardinalskala. Bei einer solchen Konstellation sind Probleme praktisch programmiert. Aus Gründen der Praktikabilität weicht die Rechtsprechung deshalb in ihrer Bewertung von Lärmsituationen meistens auf eine Ordinalskala aus. Besonders hinderlich ist zudem, dass es bislang nicht möglich war, einen Schallpegel zu definieren, bei dessen Unterschreitung negative Effekte auf den Menschen ausgeschlossen werden können. Ein solcher Schwellenwert hat aber gerade im Bereich Lärm elementare Bedeutung für die volkswirtschaftlichen Kosten. Der Grund liegt darin, dass bereits eine Senkung des Unbedenklichkeitspegels um 5 dB(A) die Zahl der Lärmbetroffenen vervielfachen kann. Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen, sind in Tabelle 4 die Ergebnisse einer Geräuschbelastungsberechnung für die alten Bundesländer abgebildet. Sie zeigen deutlich den Unterschied in der Zahl der Betroffenen, der entsteht, wenn man etwa den aus präventivmedizinischer Sicht

---

<sup>9</sup> Für eine umfassende Diskussion dieser Problematik siehe beispielsweise ARE (2004, 96 ff.)

## Berechnete Geräuschbelastung der Bevölkerung durch Straßen- und Schienenverkehr

Tabelle 4

Westdeutschland, in Prozent der Gesamtbevölkerung

Intervall, in dB(A)	Straßenverkehr, im Jahr 1999		Schienenverkehr, im Jahr 1997	
	Tags	Nachts	Tags	Nachts
> 45–50	16,4	17,6	12,4	15,5
> 50–55	15,8	14,3	14,9	10,8
> 55–60	18,0	9,3	10,4	6,2
> 60–65	15,3	4,2	6,2	2,7
> 65–70	9,0	2,9	2,3	0,9
> 70–75	5,1	0,2	0,7	0,4
> 75	1,5	0	0,1	0,1

Quelle: Schmidt, 2005, 165

gesetzten Wert von 65 dB(A) am Tag durch den zuletzt vom Umweltbundesamt favorisierten Pegel von 60 dB(A) ersetzt. Die Zahl der Lärmgeschädigten würde sich annähernd verdoppeln, mit entsprechenden Folgen für die Lärmkosten.

Sollte trotz dieser grundsätzlichen Probleme ein belastbarer Satz an externen Kosten ermittelt werden, stellt sich die Frage nach deren Internalisierung. Im Prinzip geht es bei der Internalisierung von Verkehrslärm darum, die privaten Grenzkosten des Verkehrs

an die sozialen Grenzkosten so weit anzunähern, dass das nutzenoptimale Emissionsniveau zustande kommt. In der Regel bedeutet dies, die privaten Grenzkosten durch Steuern oder Gebühren so weit zu erhöhen, bis sie den sozialen Grenzkosten entsprechen. Durch diese Kostensteigerung geht dann entsprechend die Verkehrsmenge zurück und die Emissionsmenge verschiebt sich in Richtung des nutzenoptimalen Niveaus. Wenn die Politik nun die Verkehrsmenge so dosieren will, dass ein nutzenoptimales Emissionsniveau erreicht wird, müssen wiederum die besonderen Eigenschaften des Schalls beachtet werden. In Kapitel 2 wurde beschrieben, dass der Schallpegel deutlich unterproportional zur Verkehrsmenge wächst. In der menschlichen Wahrnehmung führt eine Verdoppelung der Verkehrsmenge nur zu einer gut hörbaren Pegelsteigerung von 3 dB(A). Zur Verdoppelung des wahrgenommenen Schallpegels müsste sich die Verkehrsmenge verzehnfachen. Diese Gesetzmäßigkeit gilt an jedem Punkt der Dezibelskala. Mit anderen Worten ausgedrückt: Wenn auf einer Straße, auf der bislang 50 baugleiche Autos pro Tag fahren, weitere 450 hinzukommen, so hat sich die wahrgenommene Lärmbelastung verdoppelt und die Anwohner werden die Verkehrszunahme ganz sicher als starke Zusatzbelastung empfinden. Wenn auf der Straße aber vorher bereits 10.000 baugleiche Fahrzeuge fuhrten, so würden sie den Zuwachs akustisch überhaupt nicht bemerken. Die Grenzkosten des Lärms wären in diesem Fall praktisch gleich null. Das hat zur Folge, dass die durch Lärm entstehenden Grenzkosten mit der Verkehrsmenge fallen. Vernachlässigt man andere Externalitäten, würden also bei großen Verkehrsmengen die privaten

Grenzkosten nahezu den sozialen Grenzkosten entsprechen. Aus wohlfahrtsökonomischer Sicht bestünde in diesem Fall kein Grund, die Verkehrsmenge zu reduzieren, auch wenn weiterhin die vollen Lärmexternalitäten bestehen. Vielmehr würde in dieser Situation ein Eingriff, der die Grenzkosten einer Fahrt erhöht, zu einem gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsverlust führen, da sich die Lärmkosten nicht verringern und eine Fahrt verhindert würde, deren Grenznutzen größer wäre als ihre Grenzkosten. In diesem Fall wären, um die Externalität zu reduzieren, andere Konzepte eindeutig vorzuziehen.

Dieses Dilemma hat Auswirkungen, die in der Praxis Probleme bereiten werden. Da der Grenzscha-den bei ohnehin größeren Verkehrsmengen praktisch null ist, während er bei geringen Verkehrsmengen sehr hoch ausfällt, wäre es aufgrund von wohlfahrtstheoretischen Erwägungen sinnvoll, den Verkehr möglichst stark zu bündeln. Es käme zu einer unmerklichen Mehrbelastung an den Hauptachsen und einer spürbaren Entlastung an den Nebenstraßen. Am einfachsten wäre dies für den Lkw-Verkehr umzusetzen, da Lkw deutlich lauter sind als Pkw und sich der Lkw-Verkehr besser bündeln lässt. Allerdings geht der Trend in der Verkehrsplanung derzeit genau in die andere Richtung. Hauptverkehrsachsen werden für den Lkw-Verkehr gesperrt, weil dort zu hohe Feinstaubbelastungen gemessen wurden. Der laute Verkehr wird also in der Fläche verteilt – das ist lärmpolitisch genau der falsche Weg. Dadurch steigen die Kosten des Lärms. Dieses Beispiel zeigt noch einmal ganz deutlich, dass Lärmschutzbemühungen aufgrund der besonderen Eigenschaften des Schalls fundamental mit anderen Schutzzielen kollidieren können.

Neben diesem Grundsatzproblem schafft auch die vergleichsweise schlechte Erkenntnislage über die Kosten des Lärms handfeste Probleme für die Verkehrs- und Raumplanung. Die Planer müssen häufig mit wenig fundierten Wertansätzen für Lärmfolgekosten arbeiten, denn die Planungsgesetze fordern in vielen westlichen Ländern, dass Lärmkosten bei Planungsvorgängen berücksichtigt werden. In Deutschland haben geschätzte Lärmkosten beispielsweise den Weg in die Bewertungssystematik des Bundesverkehrswegeplans gefunden. Das Fehlen von fundierten Kostenschätzungen kann daher aus volkswirtschaftlicher Sicht beachtliche Fehlinvestitionen auslösen. So ergab beispielsweise eine große Verkehrslärmstudie in Dänemark, dass die von den Behörden in ihren Planungen angenommenen Wohlfahrtsgewinne durch Lärmreduktion je nach Situation um den Faktor 13 bis 134 zu hoch angesetzt waren (Bue Bjørner/Lundhede, 2003). Die Folge einer solchen Fehleinschätzung ist eine Überinvestition in Lärmschutz.

Alles in allem lässt sich feststellen: In der Literatur fehlt eine systematische Erfassung der Lärmkosten. Die verschiedenen Berechnungsversuche liefern

extrem unterschiedliche Ergebnisse. In der Diskussion stehen vor allem Folgekosten im Gesundheitswesen, Arbeitsausfälle und Lärmschutzausgaben. Gerade der letztgenannte Kostenfaktor ist jedoch sehr umstritten, da viele Schallschutzmaßnahmen bereits im Zuge des Wegebaus vorgeschrieben und daher zu den Wegekosten zu rechnen sind. Viele Ökonomen sind der Ansicht, dass nur freiwillige Schallschutzausgaben teilweise als externe Lärmkosten angerechnet werden können (Sommer et al., 1998, 38).

Abbildung 5 versucht, ein breiteres Bild möglicher Lärmkosten wiederzugeben. Dort sind zahlreiche Bereiche abgebildet, in denen durch Lärmimmissionen Kosten entstehen können. Allerdings zeigt sich bei genauerer Betrachtung, dass viele Kostenkomponenten empirisch kaum zu erfassen sind – einige dieser Probleme werden in der Abbildung ebenfalls angesprochen. Aus diesem Grund wird in der Regel nur ein Teil der Kostenkomponenten in empirischen Untersuchungen analysiert. Meist beschränken sich Untersuchungen darauf, die aus Lärm resultierenden Wohlfahrtsverluste in Form von relativ gut zu ermittelnden Mietausfällen oder Teilen der Gesundheitskosten auszudrücken. Daher sind die Kostensätze, die in den betreffenden Studien ermittelt wurden, in der Regel als Untergrenzen zu verstehen.

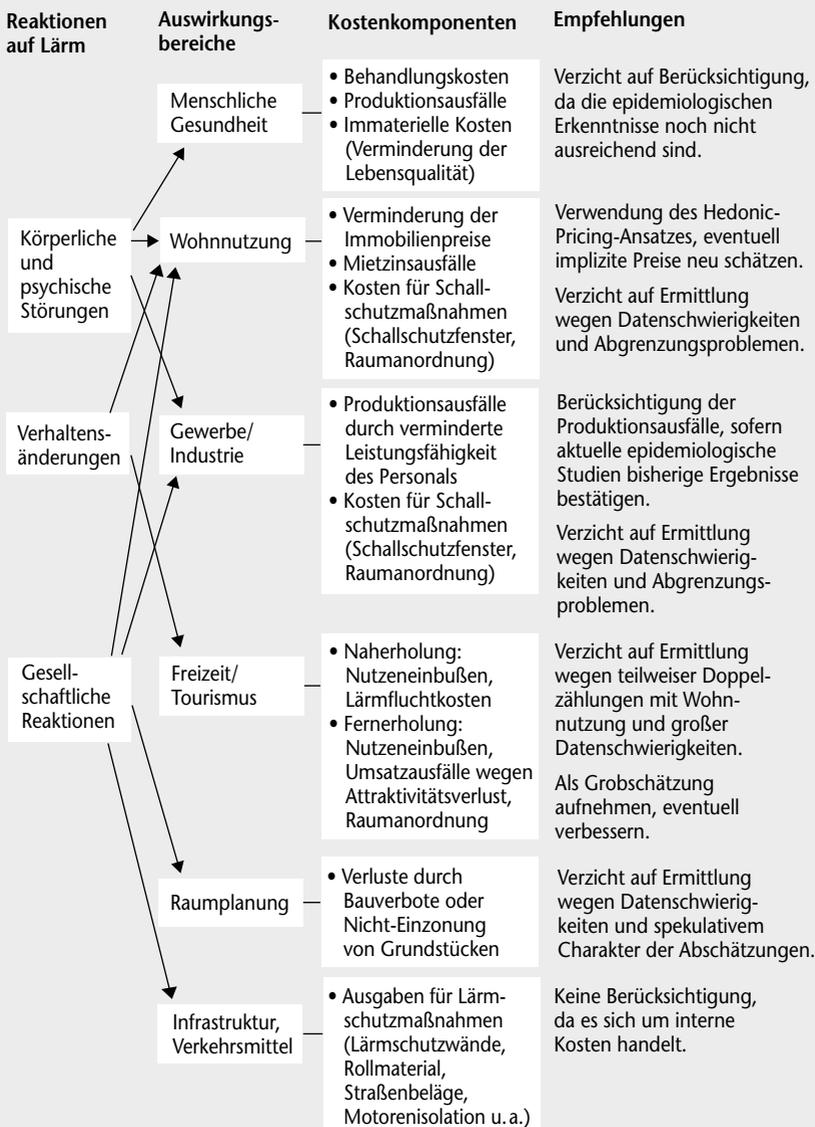
Angesichts der vielfältigen Erfassungsprobleme kann nicht überraschen, dass es keine anerkannte Methode zur Monetarisierung von Lärmschäden gibt. Für die in Abbildung 5 aufgeführten möglichen Kostenkomponenten werden häufig verschiedene Schätzmethode verwendet, wenn man sich denn entschließt, sie anzuwenden. Es hat sich gezeigt, dass die Masse der Lärmkosten wohl in Form von Mietverlusten und geringeren Immobilienpreisen auftritt. So ermittelte das Schweizer Bundesamt für Raumordnung in seiner auf Mietausfälle und Gesundheitskosten beschränkten Untersuchung einen Mietkostenanteil von 88 Prozent an den gesamten Lärmkosten, während die Gesundheitskosten lediglich 12 Prozent ausmachten (ARE, 2004, Z6). Ferner hat sich herausgestellt, dass die immateriellen Gesundheitskosten, die das Belästigungsgefühl widerspiegeln sollen, für den Hauptanteil der Gesundheitskosten sorgen. In der oben genannten Studie waren das 95 Prozent der gesamten Gesundheitskosten.

Die meistverwendete Methode zur Erhebung der Schadenskosten versucht zu ermitteln, wie hoch die Zahlungsbereitschaft der Menschen für Ruhe und Gesundheit ist. Sie werden entweder anhand von beobachtbaren Ausweichbewegungen geschätzt oder in direkten Befragungen ermittelt. Bei der Erfassung der Kosten des Lärms sind beide Methoden gebräuchlich. So wird in der Regel eine Marktdivergenzanalyse für die Ermittlung der Mietausfälle eingesetzt, während die Gesundheitskosten per Befragung ermittelt werden.

# Erfassung von Lärmkosten in der Schweiz

Abbildung 5

Ergebnisse und Empfehlungen für ein Wertgerüst



Quelle: Eigene Zusammenstellung in Anlehnung an ARE, 2004, 4

Da diese Angaben naturgemäß ziemlich allgemein gehalten sind, wird in neueren Untersuchungen versucht, neben der monetären Bewertung auch die Quantität der Folgereaktionen zu ermitteln (siehe zum Beispiel Schmid, 2005). Im Fall des Lärms wird also beispielsweise die Zahl der Schlafunterbrechungen je vorbeifahrenden Pkw gezählt – oder ermittelt, wie stark die Zahl der Personen zunimmt, die sich belästigt fühlen, wenn der Pegel um 1 dB(A) steigt. Hierfür ist es nötig, einen realen Wirkungspfad zu modellieren, der eine Kausalkette bildet, die mit der Emission und der nachfolgenden Immission beginnt und bis zu den Lärmfolgereaktionen reicht. Diese können dann monetär bewertet werden. Wenn es gelingt, ein belastbares Modell aufzubauen, erlaubt der Wirkungspfadansatz eine räumlich und zeitlich differenzierte Berechnung von externen Kosten. Dies ist – gerade im stark orts- und situationsbezogenen Lärmbereich – eine erhebliche Verbesserung des Quantifizierungsproblems. Aufgrund der bereits beschriebenen Schwierigkeiten bei der Kausalitätsermittlung für Lärmfolgen ist es aber zugleich ein sehr ambitionierter Ansatz.

### 3.1 Der Zahlungsbereitschaftsansatz

In der Wohlfahrtsökonomie wird davon ausgegangen, dass die Zahlungsbereitschaft einer Person für ein bestimmtes Gut von ihrer individuellen Präferenzordnung abhängt. Aus diesem Grund kann sie auch als Ausdruck der Wertschätzung für das Gut betrachtet werden. Wenn man die Zahlungsbereitschaft für ein bislang preisloses Gut – beispielsweise für das Gut Ruhe – ermitteln kann, so kann sie als Ersatz für einen Marktpreis dienen und damit einen Wertansatz bei der Berechnung externer Kosten liefern. Da zudem davon ausgegangen wird, dass jeder Mensch selbst am besten einschätzen kann, welchen Nutzenverlust er aufgrund von Externalitäten wie dem Lärm erleidet, sind auf der Basis von Zahlungsbereitschaften ermittelte Preise gegenüber autoritären Bewertungsmethoden zu bevorzugen.

Die Zahlungsbereitschaft kann auf verschiedene Art und Weise ermittelt werden. Zu nennen wären hier vor allem die Marktdivergenzmethode (Hedonic Pricing), die Befragungsmethode (Contingent Valuation) und der Vermeidungskostenansatz. Alle Ansätze zur Erfassung von Zahlungsbereitschaften sind jedoch mit einigen grundlegenden Problemen behaftet, welche die Aussagekraft der ermittelten Werte teilweise massiv einschränken können. Die Hauptprobleme liegen in der

- **Information:** Gerade die Bewertung von Umweltschäden hängt stark vom individuellen Wissen ab. Wenn eine Person nicht weiß, dass ihr durch eine Externalität Schaden zugefügt wird, kann sie diesen auch nicht in ihren Handlungen

berücksichtigen. Eine umfassende Ex-ante-Information des untersuchten Personenkreises ist eigentlich unverzichtbar.

- **Repräsentanz:** In diesem Punkt ist relevant, ob auch wirklich alle von der Externalität betroffenen Personen berücksichtigt wurden. Das klassische Beispiel für das Repräsentanzproblem ist die Frage, ob auch die Interessen künftiger Generationen bei den heutigen Entscheidungen berücksichtigt werden. Im Bereich Lärm ist das jedoch kein Problem.
- **Akzeptanz:** Die bestehende Einkommensverteilung hat großen Einfluss auf die Zahlungsbereitschaften. Da höhere Einkommen in der Regel auch höhere Zahlungsbereitschaften aufweisen, um Externalitäten zu vermeiden, wird implizit ein höheres Gewicht dieser Personengruppe akzeptiert.

Diese Faktoren sind in der Lage, die Ergebnisse von Zahlungsbereitschaftsuntersuchungen massiv zu beeinflussen. Das zeigen Beispiele früherer Analysen. So wurden für den Bereich Lärm vor allem Marktdivergenzanalysen im Nahbereich von Flughäfen durchgeführt. Bereits in den sechziger Jahren stand eine große Zahl von Untersuchungsergebnissen zur Verfügung. Doch die Ergebnisse blieben stets wenig aussagekräftig, die Vergleichbarkeit war selten gegeben. Diese frühe Phase der Zahlungsbereitschaftsanalysen hat Pearce (1978, 113)

## Zahlungsbereitschaft für die Reduktion des Straßenverkehrslärms

Tabelle 5

Ort	Jahr	Szenario <sup>1</sup>	Zahlungsbereitschaft pro dB, Haushalt und Jahr in Euro <sup>2</sup>
Basel, Schweiz	1988	50%-Reduktion	99
Neuchâtel, Schweiz	1994	50%-Reduktion	60–71
Oslo, Norwegen	1993	50%-Reduktion	47–97
Schweden, insgesamt	1995	Beseitigung	28
Helsinki, Finnland	1993	Beseitigung	6–9
Oslo, Norwegen	1994	50%-Reduktion	19
Norwegen, insgesamt	1997	Beseitigung	2
Oslo, Norwegen	2000	Beseitigung <sup>3</sup>	23–32
Lissabon, Portugal	1999	Vermeidung einer Verdoppelung	50
Pamplona, Spanien	1999	Beseitigung	2–3
Rhone-Alpes-Region	2000	Beseitigung	7

<sup>1</sup> 50%-Reduktion der Lärmbelästigung = Reduktion um etwa 8 dB, Beseitigung der Lärmbelästigung = Reduktion um etwa 10 dB, Verdoppelung der Lärmbelästigung = Zunahme um 10 dB; <sup>2</sup> In Preisen von 2001; <sup>3</sup> Nur Haushalte mit einer Belastung von über 55 dB.

Quelle: Kloepfer et al., 2006, 320

wie folgt beschrieben. „In the meantime we have a fairly extensive literature which is inconclusive and which has certainly no political relevance yet.“

Inzwischen hat sich die Erkenntnislage deutlich verbessert. Die Bandbreite der Ergebnisse konnte reduziert werden. Es fällt aber immer noch auf, dass bereits die Wahl der Erfassungsmethode großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Die durch Befragungen ermittelten Zahlungsbereitschaften liegen bis zu 15-mal höher als die Ergebnisse der Marktdivergenzanalysen (Delucchi/Hsu, 1998, 12). Wie die Metastudie von Navrud (2002) gezeigt hat, sorgen bereits Methodik und lokale Unterschiede dafür, dass die Zahlungsbereitschaften für Lärmreduktion sehr unterschiedlich ausfallen können. Ein Auszug aus dieser Studie ist in Tabelle 5 dargestellt. Es zeigt sich, dass es offenbar an manchen Orten eine erhebliche Zahlungsbereitschaft für Lärmreduktion gibt. Allerdings scheinen diese Zahlungsbereitschaften zu schwanken – je nach Ort und Zeit der Studie. Besonders an den ermittelten Werten für Oslo wird das deutlich.

Nachfolgend werden die wesentlichen Verfahren vorgestellt, mit denen die Zahlungsbereitschaften ermittelt werden können.

### **Marktdivergenzanalyse**

Bei der Marktdivergenzanalyse wird auf real existierende Marktpreise zurückgegriffen, um die Wertschätzung der Menschen für die Umweltqualität abzuleiten. Hierzu werden die Preise für Güter beobachtet, deren Wert mit der Umweltqualität zusammenhängt. Aus der Entwicklung dieser Preise bei verschiedenen Belastungen wird dann auf die Wertschätzung der Marktteilnehmer für die Umweltqualität geschlossen.

Dieses Vorgehen ist aber nur dann Erfolg versprechend, wenn der beobachtete Markt einige Grundanforderungen erfüllt. So muss er funktionieren und ausreichend groß sein, damit die beobachteten Preise aussagekräftig sind. Eine weitere Voraussetzung ist, dass die Marktteilnehmer auch zwischen verschiedenen Umweltqualitätsniveaus wählen können. Zudem muss bei ihnen ein Problembewusstsein vorhanden sein, damit sie die verschiedenen Umweltqualitäten auch in ihre Entscheidungen einbeziehen können (Informationsproblem). Ferner sollten die Transaktionskosten möglichst gering sein, sodass die Marktteilnehmer auf Veränderungen der Umweltqualität auch ohne große Verzögerung reagieren können. Es ist zu betonen, dass die Marktdivergenzanalyse Wohlfahrtsverluste durch verschlechterte Umweltqualität tendenziell unterschätzt, da sie Umweltauswirkungen, die den beobachteten Markt nicht betreffen, ignoriert.

Gängigste Form der Marktdivergenzanalyse ist eine Miet- und Immobilienpreisanalyse. Hierbei werden Daten über die Eigenschaften von Wohnungen und

deren Preise erfasst und statistisch ausgewertet, um den Effekt der Umweltqualität zu bestimmen. Gerade für die Untersuchung der Folgen von Verkehrslärm wird gerne auf diese Indikatoren zurückgegriffen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen wird meist in Form des prozentualen Mietabschlags je zusätzliches dB(A) Umgebungslärmniveau angegeben. Die oben genannten Voraussetzungen für die Marktdivergenzanalyse sind im Fall der Untersuchung von Miet- und Immobilienpreisen in Abhängigkeit vom Lärmpegel weitgehend erfüllt. Der Markt für Wohnraum ist ausreichend groß und Lärm ist ein strikt lokales Phänomen, dem die Marktteilnehmer ausweichen können. Zudem ist von einem weitverbreiteten Problembewusstsein auszugehen. Kritisch sind hingegen die relativ hohen Transaktionskosten, die ein Wohnungswechsel mit sich bringt. Auch Wohnraumknappheit und staatliche Eingriffe in den Wohnungsmarkt sind geeignet, um die Ergebnisse zu verzerren. Es ist zudem zu beachten, dass eine Analyse des Miet- und Immobilienmarktes zunächst einmal nur Lärmbelastungen am Wohnort erfasst und beispielsweise die Folgen von Verkehrslärm am Arbeitsplatz ausschließt. Trotz dieser Schwächen hat diese Analyseform den unbestreitbaren Vorteil, dass ihre Ergebnisse auf realen Entscheidungssituationen beruhen.

An dieser Stelle ist auf eine Widersprüchlichkeit hinzuweisen. Viele Studien nehmen in ihren Modellen einen linearen Zusammenhang zwischen Umgebungsschallpegel und Mietpreisen an. Diese Annahme wird nach Aussage der Autoren auch von ihren Datensätzen gestützt (Pearce, 1978, 33), was aber eigentlich aufgrund der Konstruktion der Maßeinheit dB(A) nicht sein dürfte. Immerhin handelt es sich um ein logarithmisches Maß, und eine Zunahme um 1 dB(A) ist daher an jedem Punkt der Dezibelskala etwas anderes. Eine der wenigen Studien, die von einem nicht-linearen Zusammenhang zwischen Umgebungsschallpegel und Mietpreisen ausgehen, wurde von Theebe (2004) für die westlichen Niederlande erstellt. Sie ergab, dass die Mietabschläge entlang der Dezibelskala deutlich variieren. Die größten Effekte zeigten sich zwischen Pegeln von 65 bis 75 dB(A). Geringere Pegel schienen keinen Einfluss zu haben, mittlere Pegel dagegen schon, während der Abschlag für die besonders hoch belasteten Gebiete wieder geringer wurde (Theebe, 2004, 224). Gerade in den am schwersten belasteten Gebieten scheint Lärm also eine weniger große Bedeutung für Mieten und Immobilienpreise zu haben. Es liegt nahe, dass für die Bewohner dieser Gebiete andere Einflussfaktoren wichtiger sind, beispielsweise die gute Verkehrsanbindung oder die Innenstadtlage. Da die meisten Marktdivergenzanalysen einen *Ceteris-paribus*-Ansatz verfolgen, ist es aber kaum möglich, diese Effekte zu beziffern. Zudem besteht durch diese Annahme eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass auch die Abschläge dem Lärm zugerechnet werden, die eigentlich durch andere Umweltqualitätsvariablen ver-

ursacht wurden. Diese Annahme wird beispielsweise durch eine Untersuchung von Bateman et al. (2002) gedeckt. Dort reduzierte sich der ermittelte Mietpreisabschlag von 0,87 Prozent auf 0,2 Prozent, als in der Regressionsgleichung weitere Umweltvariablen berücksichtigt wurden.

Die meisten lärmbezogenen Marktdivergenzanalysen stammen aus dem angelsächsischen Raum. Ihre Datensätze sind meistens sehr alt. Die Ergebnisse dieser Studien weichen teilweise erheblich von denen aus Europa ab. Eine häufig zitierte europäische Studie (Pommerehne, 1986) errechnet eine Mietminderung von -1,3 Prozent je dB(A) über ihrem Basiswert. Die amerikanischen Untersuchungen kommen meist auf deutlich geringere Abschläge. Jedoch ist auch diese Studie inzwischen als veraltet anzusehen – der heutige Wohnungsmarkt ist nicht mehr mit dem der achtziger Jahre zu vergleichen. Insbesondere die Knappheitsrelationen haben sich deutlich verschoben. Ein weiterer Aspekt ist die veränderte Lärmbelastungslage. Die Pegel sind in der Fläche gestiegen, doch die Belastungsspitzen sind seltener geworden. Daher sind aktuelle Studien mit alten nur begrenzt vergleichbar.

Einige neuere Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Sie weisen darauf hin, dass die Mietabschläge in der jüngeren Zeit tendenziell zurückgegangen sind. Ein Eindruck, der auch von mehreren Metastudien gestützt wird. So ermittelte das Umweltbundesamt einen durchschnittlichen Abschlag von 0,87 Prozent je dB(A), jedoch bei einer erheblichen Varianz. Andere Metastudien ergaben in diesem Zusammenhang Abzüge zwischen 0,29 Prozent und 2,3 Prozent (Navrud, 2002) beziehungsweise einen Durchschnittswert von -0,6 Prozent je dB(A) (Orszag/Orszag, 2000). Es gibt zudem Hinweise darauf, dass die Wert-

## Mietpreisminderung bei einer Zunahme des Lärms um 1 dB(A)

Tabelle 6

in Prozent

Autor	Ort und Jahr	Anzahl der Beobachtungen	Mietpreisminderung pro dB
Pommerehne, 1986	Stadt Basel (1983–1984)	200 Mietwohnungen	1,26
Iten/Maibach, 1992	Stadt Zürich (1986)	200 Mietwohnungen	0,80
Soguel, 1994	Stadt Neuenburg (1989)	390 Mietwohnungen	0,91
Ecoplan, 2001	Kanton Zürich (1995–1999)	380 Einfamilienhäuser/ Eigentumswohnungen	0,66
Delucchi/Hsu, 1998	USA (1990)		0,85
Durchschnitt aus 57 Studien in Nordamerika, Europa und Australien			0,55

Quelle: ARE, 2004, 56

schätzung von Ruhe regional sehr unterschiedlich ausfallen kann. So lässt sich beispielsweise feststellen, dass die errechneten Mietabschläge je dB(A) Umgebungslärmpegel in den Großstädten geringer sind als in der Provinz (Thießen/Schnorr, 2005, 26). Dies ist vermutlich die Folge einer geringeren Erwartungshaltung der Betroffenen. Zudem zeigt die Literatur, dass Studien an Orten mit einem allgemein höheren Immobilienpreisniveau auch höhere Wertabschläge je dB(A) Umgebungslärmzunahme ergeben. Eine Verallgemeinerung der einzelnen empirischen Ergebnisse ist somit relativ problematisch, da die Wohnungsmärkte sehr unterschiedlich reagieren.

### **Zahlungsbereitschaftsbefragungen**

Wie der Name schon sagt, wird in diesem Verfahren eine möglichst repräsentative Stichprobe von Personen nach ihrer Zahlungsbereitschaft für bestimmte Güter befragt. Es wird also ein hypothetischer Markt unterstellt, für den die Befragten angeben sollen, welche Preise sie für die angenommenen Güter zu zahlen bereit wären. Der große Vorteil dieser Methode besteht darin, dass auch Güter untersucht werden können, die sich ansonsten einer Beurteilung entziehen würden. Aus diesem Grund werden Befragungen häufig eingesetzt, wenn immaterielle Güter wie beispielsweise Trauer oder eben ein Belästigungsgefühl bewertet werden sollen.

Bei diesem Verfahren hat das Befragungsdesign zentralen Einfluss auf die Ergebnisqualität. So ist es entscheidend, den Befragten den nachgefragten Sachverhalt so genau zu vermitteln, dass sie in der Lage sind, die Entscheidungssituation komplett zu erfassen – damit sie auch realistische Antworten geben können. Ein sehr großes Problem des Befragungsansatzes besteht darin, dass die Befragten strategisches Verhalten an den Tag legen und bewusst falsch antworten können. Da sie ja davon ausgehen können, die angegebenen Preise nie zahlen zu müssen, sind derlei Manipulationen in der Tat sehr häufig zu beobachten. Ein Motiv dafür kann beispielsweise aus Mitleid mit anderen entstehen. So kommt es durchaus vor, dass Personen hohe Zahlungsbereitschaften vorgeben, weil sie glauben, damit den tatsächlich Belasteten einen Gefallen zu tun, da diese dann eher auf Schutzmaßnahmen hoffen können (Reinhold, 1997, 161). Doch die Motive für strategisches Verhalten können auch weniger edel sein, zum Beispiel wenn es um die Begründung von Maßnahmen geht, die von Dritten zu finanzieren wären. Grundsätzlich liefern Befragungen somit eher zu hohe Ergebnisse. Dies gilt auch für Zahlungsbereitschaftsbefragungen. Sie überschätzen die Kosten von Externalitäten meistens und führen deshalb zu deutlich höheren Ergebnissen als die anderen Methoden.

Um die geschilderten Probleme zu kompensieren, wird die traditionelle Befragung immer mehr in Richtung von Marktsimulationen weiterentwickelt. Bei diesen müssen die Probanden ein vorgegebenes Budget auf verschiedene Güter verteilen, von denen das untersuchte Umweltgut nur eines ist.

### **Vermeidungskostenansatz**

Diese Bezeichnung ist ein wenig irreführend. Beim Vermeidungskostenansatz geht es nicht um die Frage, welche Kosten entstehen, um Lärm zu vermeiden, beispielsweise um einen Grenzwert einzuhalten. Dies würde die Bereitschaft der Betroffenen voraussetzen, diese Beträge aufzubringen (Gabler, 1997, 4085). Im Fall des Verkehrslärms ginge es vielmehr darum, aus den tatsächlich getätigten Ausgaben der Betroffenen ihre Zahlungsbereitschaft für Pegelreduktionen abzuleiten. Vermeidungskosten sind stark technologie- und situationsabhängig. Überdies ist fraglich, ob die Zahlungsbereitschaft der derzeit Betroffenen ausreichend repräsentativ ist. Daher wird im Regelfall kein Vermeidungskostenansatz verfolgt.

## **3.2 Der Wirkungspfadansatz**

Der Wirkungspfadansatz ist eine Ergänzung der Zahlungsbereitschaftsanalysen. Auch er benutzt Zahlungsbereitschaften, um Preise für Externalitäten wie den Lärm zu bilden. Die Neuerung durch den Wirkungspfadansatz besteht nun darin, dass er sich nicht damit begnügt, einen ermittelten Kostensatz mit der landesweiten Zahl der Betroffenen zu multiplizieren, wie dies zum Beispiel bei Marktdivergenzanalysen oft geschieht. Stattdessen wird versucht, die Ergebnisse der Zahlungsbereitschaftsanalysen in einen deutlich breiteren Modellrahmen einzubetten. Das eigentliche Ziel dieses Vorgehens ist es, eine Grenzkostenbetrachtung zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, muss eine ganze Kette von Modellen aufgebaut werden, die anschließend mit standortspezifischen Daten zu füttern ist. Die standortspezifischen Daten sollen dann durch die Anwendung von wissenschaftlich fundierten Dosis-Wirkungs-Beziehungen in Externalitäten umgewandelt werden. Diese können dann mithilfe von Zahlungsbereitschaften in Kosten umgerechnet werden. Auf diese Weise könnte sich theoretisch ein standortspezifischer Zusammenhang zwischen Emissions- und Schadensänderung konstruieren lassen.

Leider stellt es sich heraus, dass dieses Vorgehen sehr komplexe Modelle hervorbringt, die zudem einen enormen Dateninput benötigen. Aufgrund des extremen Aufwands wurde der Wirkungspfadansatz für die Untersuchung des Lärms bislang kaum verwendet.

Ein Beispiel für ein noch relativ einfach gehaltenes Modell zur Berechnung von externen Kosten des Straßenverkehrslärms findet sich beispielsweise bei Delucchi/Hsu (1998, 3). Um das Informationsproblem zu verdeutlichen, wird im Folgenden der notwendige Ablauf zusammengefasst. Im Fall des Verkehrslärms wären zunächst einmal ortsspezifische Verkehrsmodelle zu erstellen, um die Zusammensetzung der Verkehrsströme abzubilden und um die Schallemissionen zu berechnen. Der nächste Schritt besteht darin, die standortspezifische Schallausbreitung zu modellieren. Hierzu müssen exakte, dreidimensionale Modelle der untersuchten Orte angefertigt werden. Sie beinhalten nicht nur alle Daten zum Gebäudebestand, sondern auch Bepflanzungen, Bodenbeschaffenheiten, vorherrschende Windrichtungen und Ähnliches. Hieraus kann ein lokales Immissionsprofil gebildet werden. Genau solche Modelle werden derzeit europaweit erstellt, um den Lärmkartierungsanforderungen der EU-Umgebungslärmrichtlinie (Abschnitt 4.4) zu genügen.<sup>10</sup> Zumindest für die wichtigsten Ballungszentren und Verkehrsstrecken werden die Daten aufgrund dieser Richtlinie in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen. Dies wird Wirkungspfadanalysen erheblich erleichtern, denn bislang waren solche Daten praktisch nicht verfügbar.

Wenn die Immissionssituation berechnet ist, benötigt man ein Kausalmodell, das die relevanten externen Folgen dieser Immissionen ermittelt. Hierzu ist es eigentlich erforderlich, die Immissionssituation für mehrere Tageszeiten zu berechnen, da das Lärmempfinden – wie in Kapitel 2 beschrieben – stark zeitabhängig ist. Zudem schwankt auch die Zahl der Lärmbetroffenen im Tagesverlauf sehr stark, sodass auch diese Komponente eines Kausalmodells zeitlich variabel sein müsste. Wie bereits erwähnt und in Abbildung 4 veranschaulicht, ist die Erstellung eines Kausalmodells bislang für Lärm praktisch nicht möglich, da es für einen Großteil der zu erwartenden Externalitäten keine befriedigende Erfassungsmöglichkeit gibt. Zwar sind die Auswirkungen auf den Miet- und Immobilienpreis einigermaßen gut erfassbar. Aber die Ergebnisse sind stets mit Unsicherheiten behaftet. Noch schlechter ist die Erkenntnislage zu den Gesundheitsfolgen von Lärm. Es fehlt an eindeutigen Krankheitsbildern, die dem Verkehrslärm zugeschrieben werden können, außerdem ist der Beitrag der Lärmbelastung zu multikausalen Krankheitsbildern bislang nicht quantifizierbar (Abschnitt 2.3). Die einzige Ausnahme hiervon stellt der Gehörschaden dar – er ist die einzige nachweisbare lärmspezifische Erkrankung. Allerdings spielen Gehörschäden für die Bewertung von Verkehrslärm keine Rolle, weil die im Verkehr erreichten

---

<sup>10</sup> Bei der Lärmkartierung wird typischerweise mit einem Geländeraaster von 10x10 Metern gearbeitet. Es wird also für jeweils 100 Quadratmeter ein Immissionspegel berechnet. An Gebäudefassaden sind die Raster noch deutlich kleiner.

Schallpegel in aller Regel zu niedrig sind, um Gehörschäden auszulösen.<sup>11</sup> Im Prinzip scheidet der Wirkungspfadansatz im Bereich Verkehrslärm spätestens an diesem Punkt. Da sich zudem gezeigt hat, dass die meisten Lärmkosten wohl dem individuellen Belästigungsempfinden zuzuschreiben sind, wird der Wirkungspfadansatz fast nie zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs eingesetzt. Auch Arbeiten wie die von Bickel (2005), die den Wirkungspfadansatz zur Berechnung von externen Kosten des Verkehrs anwenden, nutzen für den Lärm den Zahlungsbereitschaftsansatz, da der Erfassungsaufwand in keinem Verhältnis zum Erkenntnisgewinn stünde.

### 3.3 Kostenschätzungen

Angaben zur Höhe von externen Kosten in einem Land sind generell mit Skepsis zu betrachten. Solche Angaben beruhen immer auf einer Vielzahl von Annahmen und Vereinfachungen. Denn die Schadenswirkung vieler Externalitäten ist erstens unzureichend erforscht, zweitens sind die verwendeten Preise in der Regel ebenfalls nur grob geschätzt. Die Folge sind gewaltige Spannen bei den Kostenschätzungen, ohne dass man den Autoren sachliche Fehler vorwerfen könnte. Die extreme Ungenauigkeit ist hier systemimmanent.

Wie bereits dargestellt, tritt dieses Problem bei Lärm noch stärker auf als bei anderen Externalitäten. Dementsprechend unterschiedlich sind die Angaben zur Höhe der externen Kosten des Lärms. Für die USA ermittelten Delucchi/Hsu (1998, 2) externe Lärmkosten zwischen 100 Millionen und 40 Milliarden Dollar, wobei die Autoren einen Wert von 3 bis 5 Milliarden Dollar für realistisch halten. Rothengatter et al. (2004, Internal Annex 8) errechneten für Deutschland einen Betrag von knapp 11 Milliarden Euro. Diese Unterschiede zeigen noch einmal deutlich, welch großen Einfluss das Annahmengerüst hat. Vor allem wegen der Unsicherheit bezüglich eines Unbedenklichkeitspegels und aufgrund des sehr hohen Anteils, den das individuelle Belästigungsgefühl an den Gesamtschäden hat, ist eine wirklich fundierte Angabe über die Höhe der externen Lärmkosten nicht möglich.

---

<sup>11</sup> Eine absolute Ausnahme könnte bei sehr schnell fahrenden Motorradfahrern auftreten. Unter dem Helm kann Untersuchungen zufolge ein gehörschädigender Pegel zustande kommen. Da sich diese Personen den Schaden allerdings selbst zufügen, gilt dieser Sonderfall nicht als Externalität.

Im Gegensatz zur Gewerbelärmregulierung gibt es in der Verkehrslärmregulierung viele Defizite. Manche Juristen betrachten diesen Bereich sogar als eine Art rechtliche Chaos-Zone. Die Defizite einiger Regelungen sind bereits seit Jahrzehnten bekannt, abgestellt wurden sie dennoch nicht (Hendlmeier, 2003, 73). Das gesamte deutsche Verkehrslärmrecht gilt als reformbedürftig. Im Folgenden ist zu beachten, dass im deutschen Lärmschutzrecht normalerweise keine Gesamtlärmpegel benutzt werden. Stattdessen basiert es grundsätzlich auf der Einzelerfassung von Geräuschquellen. Es kann somit die Situation entstehen, dass das Umgebungslärmniveau unerträgliche Werte erreicht, obwohl alle einzeln berechneten Grenzwerte eingehalten werden.<sup>12</sup> Die Einzelberechnung wird angewandt, weil eine energetisch korrekte Addition der einzelnen Schallquellen nicht die unterschiedlichen Belästigungswirkungen der verschiedenen Geräusche abbilden würde. Die Verschiedenartigkeit der Schallemissionen der Verkehrsträger ist in der Tat nicht von der Hand zu weisen. So geht von viel befahrenen Straßen in der Regel eine kontinuierliche Lärmkulisse aus. Dagegen zeichnen sich Bahn und Flugzeug eher durch recht laute, aber klar unterscheidbare Einzelereignisse aus. Diese unterschiedlichen Verläufe mögen energetisch äquivalent sein, wirken aber ganz unterschiedlich stark belästigend.

Das Grundgesetz (GG) schützt Lärmbetroffene, aber auch Lärmverursacher – beziehungsweise deren Möglichkeit, erlaubte Tätigkeiten auszuführen, die mit Schallemissionen verbunden sind. Darin spiegelt sich die Annahme wider, dass Lärm eigentlich immer nur ein Abfallprodukt einer nutzenstiftenden Handlung ist. Die mutwillige Erzeugung von Lärm fällt nicht unter den Schutz des Grundgesetzes. Die eigentliche Aufgabe des Gesetzgebers und der Verwaltungen besteht nun darin, einen fairen Ausgleich zwischen den Interessen von Verursachern und Betroffenen zu schaffen. Im Wesentlichen stehen hierzu mit der Emissions- und der Immissionsregulierung zwei Ansätze zur Verfügung.

Der Grundgedanke aller produktbezogenen Emissionsvorschriften ist, dass vermeidbare Emissionen verhindert und unvermeidbare auf ein Minimum begrenzt werden. Um dies umzusetzen, sind Emissionsgrenzwerte zu erlassen, die sich am Stand der Technik orientieren (VCD, 2003, 6). Die Festsetzung von Emissions-

---

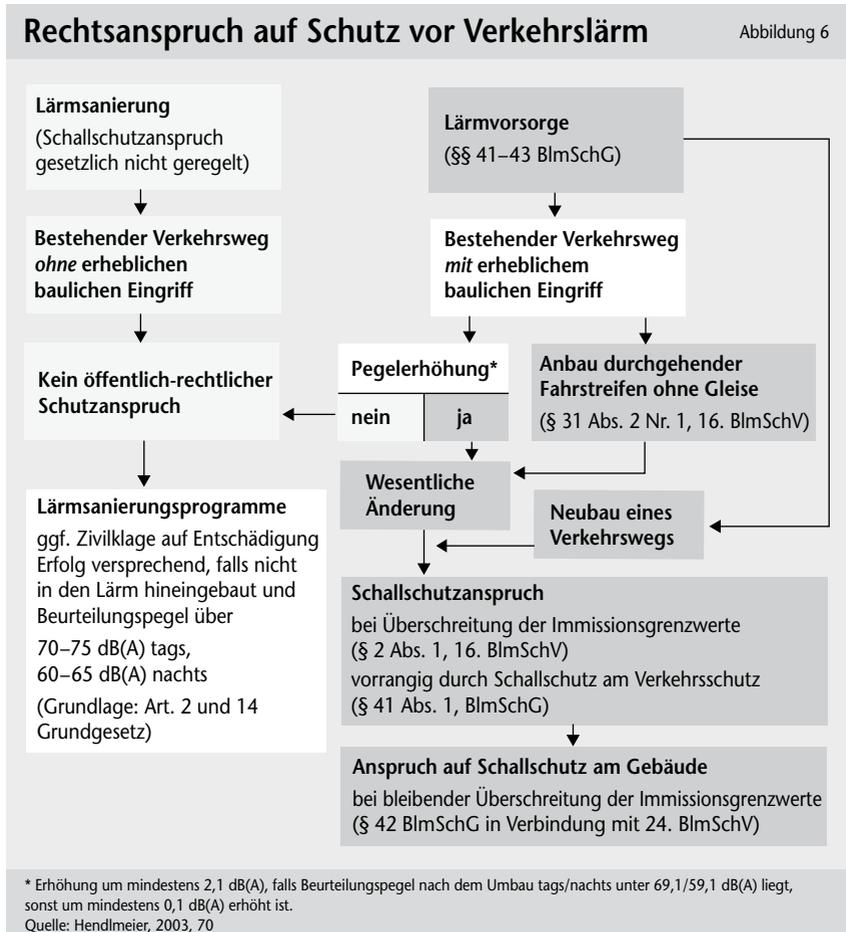
<sup>12</sup> Mit Ausnahme der Regelwerke, die auf produktbezogenen Emissionsgrenzwerten basieren, fordern fast alle Vorschriften eine Berechnung von Schallpegeln. Diese werden mit komplexen akustischen Modellen gebildet, da eine korrekte messtechnische Erfassung zu aufwendig und zu langwierig wäre (Kloepfer et al., 2006, 241).

grenzwerten erfolgt je nach Verkehrsträger auf verschiedenen politischen Ebenen. Für die Kraftfahrzeuge ist die EU zuständig. Für Flugzeuge gibt es weltweite Regelungen, die von der International Civil Aviation Organization (ICAO) festgelegt werden. Für neue Schienenfahrzeuge gelten seit Mitte des Jahres 2006 EU-Grenzwerte. Vorher gab es in Deutschland keinerlei Emissionsgrenzwerte im Bereich der konventionellen Schienenfahrzeuge. Hersteller und Betreiber hatten sich lediglich am oben genannten Grundgedanken der Emissionsgesetzgebung zu orientieren. Auf die Emissionsgrenzwerte der einzelnen Verkehrssysteme wird in den Abschnitten 4.1 bis 4.3 noch einmal gesondert eingegangen.

Auf der Immissionsseite ist die Lage etwas verworren. Eine generelle Regelung von Verkehrslärmimmissionen gibt es derzeit nicht. Allerdings versucht die EU mit der Umgebungslärmrichtlinie (Abschnitt 4.4), hier eine harmonisierte neue Gesetzeslage zu initiieren. Bislang ist die Rechtslage in Deutschland durch das Fehlen von rechtsverbindlichen Lärmimmissionsgrenzwerten gekennzeichnet. Stattdessen werden zumeist eher unverbindliche Richt- und Orientierungswerte gesetzt. Die für den Schutz vor Verkehrslärm an Straßen und Schienenwegen wichtigsten Regeln sind im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und seinen Durchführungsverordnungen (BImSchV) niedergelegt. Um die Bevölkerung vor Fluglärm zu schützen, gibt es ein gesondertes Fluglärmgesetz (vgl. Abschnitt 4.3). Im BImSchG ist unter anderem der Grundsatz festgeschrieben, dass aktiver Schallschutz vor passiven Schallschutz geht. Es soll also – wenn möglich – bereits eine Schallemission verhindert werden. Nur bei „unverhältnismäßigem Aufwand“ sollen stattdessen passive Maßnahmen ergriffen werden, die eine Schallimmission reduzieren.

Der derzeit geltende Rechtsrahmen des BImSchG ist in Abbildung 6 zusammengefasst. Dort fällt schnell eine Besonderheit auf, nämlich eine massive Ungleichbehandlung von bestehenden und neu gebauten Verkehrswegen. An bestehenden Straßen und Schienenwegen existiert im Regelfall kein gesetzlicher Anspruch auf Schallschutzmaßnahmen oder eine akustische Sanierung der Verkehrswege. Immissionsgrenzwerte bestehen ebenfalls nicht. Dieser „Bestandschutz“ kann jedoch aufgehoben werden, wenn am Verkehrsweg eine „wesentliche Änderung“ eintritt oder eine Beeinträchtigung der körperlichen Unversehrtheit nach Artikel 2 GG geltend gemacht werden kann. Die derzeitige Rechtsprechung der Verwaltungsgerichte sieht die Grenze der Gesundheitsgefährdung bei Dauerschallpegeln in reinen Wohngebieten von 70 dB(A) am Tag und 60 dB(A) in der Nacht, was nach Ansicht des Umweltbundesamts um 5 bis 10 dB(A) zu hoch angesetzt ist. Unter einer wesentlichen Änderung versteht der Gesetzgeber vor allem eine deutliche bauliche Änderung, wie etwa den Bau

einer weiteren Fahrbahn oder eine erhebliche Steigerung der Schallemissionen infolge eines baulichen Eingriffs. Eine reine Verkehrszunahme fällt nicht unter diese Regelung. Als erhebliche Steigerung betrachtet der Gesetzgeber dabei im Regelfall eine Zunahme des Dauerschallpegels  $L_{Aeq}$  um 3 dB(A), was etwa einer Verdoppelung der Verkehrsmenge gleichkommt. Die Änderungen müssen also schon sehr wesentlich sein, damit ein Anspruch der Betroffenen auf Schallschutz entstehen kann.



Aus ökonomischer Sicht ist diese Regelung durchaus nachvollziehbar. Die Wohlfahrtsverluste durch ein langfristig bestehendes Lärmniveau können als internalisiert angesehen werden, wenn davon ausgegangen wird, dass die Lärm-

situation den Menschen bekannt war, als sie ihren Wohnort in einer lauten Gegend wählten. Die Wohlfahrtsverluste, die durch eine von Baumaßnahmen induzierte Lärmsteigerung verursacht wurden, sind hingegen eindeutig extern und daher vom Verursacher zu mildern. Das Aussparen einer reinen Verkehrszunahme ist so gesehen inkonsistent, allerdings dürfte sich die Ermittlung der Verursacher dieser Wohlfahrtsverluste in der Praxis als schwierig erweisen. Aus Gründen der Vereinfachung ist diese Regelung daher nachvollziehbar. Nebenbei spart sie dem Staat als Infrastrukturbetreiber zweifellos auch eine Menge Geld.

## Immissionsgrenzwerte nach der 16. BImSchV

Tabelle 7

Gebietsdefinition	Immissionsgrenzwerte in dB(A)	
	Tags (6–22 Uhr)	Nachts (22–6 Uhr)
An Krankenhäusern, Schulen, Kurheimen und Altenheimen	57	47
In reinen und allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	59	49
In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	64	54
In Gewerbegebieten	69	59

Quelle: Hoffmann et al., 2003, 38

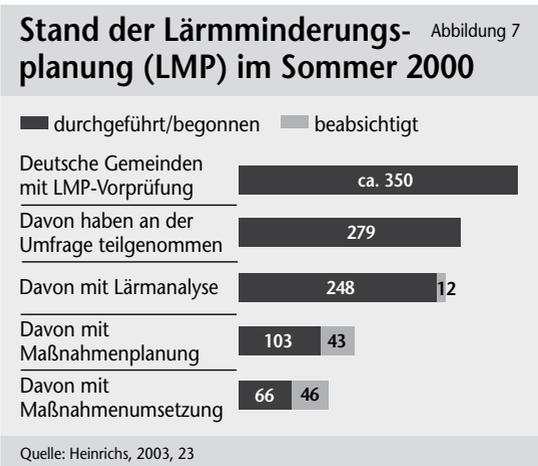
An den Neubaustrecken sieht die Lage anders aus. In der 16. BImSchV sind für diese die in Tabelle 7 aufgeführten Geräuschimmissionsgrenzwerte festgelegt. Werden sie überschritten, besteht für die Anwohner des betreffenden Verkehrswegs ein Anspruch auf Schallschutzmaßnahmen, wobei diese vorrangig am Verkehrsweg durchzuführen

sind. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die Grenzwerte in Tabelle 7 um 4 bis 14 dB(A) höher ausfallen als die entsprechenden Immissionsrichtwerte für Gewerbelärm (Hoffmann et al., 2003, 39).

Auf Basis dieser Regelungen ist Schallschutz kaum einklagbar. Ihre Schutzwirkung gilt daher als fraglich. Gleiches kann von einer weiteren Regel des BImSchG behauptet werden. Bereits seit 1990 legt § 47 BImSchG fest, dass die Kommunen in Gebieten, in denen schädliche Wirkungen durch Geräusche zu erwarten sind, ein Lärmmonitoring durchführen müssen. Ergibt das Monitoring nun, dass die „Beseitigung oder die Verminderung der schädlichen Umwelteinwirkungen ein abgestimmtes Vorgehen gegen verschiedenartige Lärmquellen erfordert“, so ist ein Lärmminderungsplan zu erstellen. Im Prinzip versucht diese Regelung also, die Kommunen zu einer Gesamtlärbetrachtung zu verpflichten. Für einen Lärmminderungsplan sind im BImSchG einige Mindestanforderungen formuliert, doch ein Umsetzungsinstrumentarium fehlt beispielsweise. Die Folge: Zehn Jahre nach Einführung dieser Regel ergab eine Untersuchung, dass sich von 14.000 Gemeinden in Deutschland nur rund 350 überhaupt

mit der im BImSchG vorgeschriebenen Lärmminde-  
 rungsplanung befasst haben  
 (Heinrichs, 2003, 23). Wie  
 Abbildung 7 zeigt, hat von  
 dieser kleinen Gruppe nur  
 ein Bruchteil dann auch  
 tatsächlich Maßnahmen  
 umgesetzt. In einem Drittel  
 der Fälle stand die Realisie-  
 rung der Maßnahme schon  
 vor Beginn des Lärmmoni-  
 torings fest.

Die Probleme der Lärm-  
 schutzgesetzgebung scheinen vor allem auf mangelnden politischen Willen zu-  
 rückzuführen zu sein. Denn wie die Fußballweltmeisterschaft im Jahr 2006 gezeigt  
 hat, ist es keineswegs unmöglich, die Lärmgesetzgebung an aktuelle Bedürfnisse  
 anzupassen. Im Zuge dieses Großereignisses konnten binnen Monatsfrist Verord-  
 nungen geändert werden, die seit Jahrzehnten jedem Reformversuch getrotzt  
 hatten.

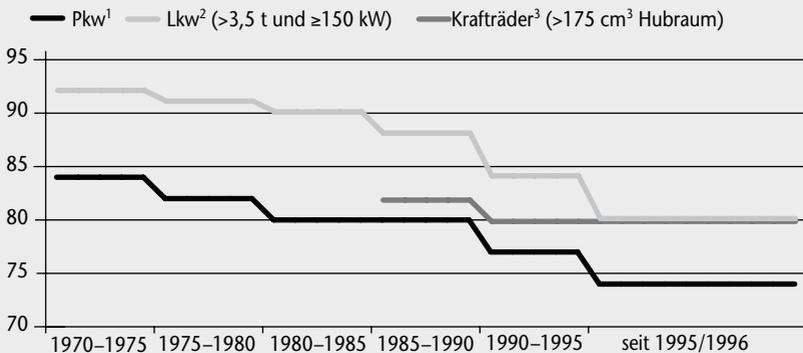


## 4.1 Rechtslage beim Straßenlärm

Der Lärm von Kraftfahrzeugen ist schon seit langer Zeit ein Thema. In Deutschland wurden die ersten Grenzwerte für Schallemissionen von Straßenfahrzeugen bereits im Jahr 1937 erlassen. Lärm war damit die erste Emission des Straßenverkehrs, die gesetzlich limitiert wurde. Neue Grenzwerte werden inzwischen im Rahmen der EU festgelegt und anschließend in die Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) übernommen. Die Emissionen eines Kfz werden bei der Typzulassung nach einem standardisierten Testverfahren ermittelt. Die Entwicklung der Emissionsgrenzwerte seit 1970 ist in Abbildung 8 dargestellt. Hier zeigt sich, dass die Grenzwerte in den vergangenen 30 Jahren durchaus kräftig gesenkt wurden – allerdings nicht mehr in den letzten zehn Jahren. Besonders stark sind die Reduktionen bei schweren Nutzfahrzeugen mit mehr als 200 PS (150 kW) und bei Pkw über 70 PS (53 kW). In diesen Kategorien wurde der Grenzwert seit 1970 um über 10 dB(A), also um mehr als 90 Prozent reduziert. Beachtenswert ist, dass ein Motorrad mit einem Hubraum von mehr als 175 cm<sup>3</sup> genauso laut sein darf wie ein schwerer Lkw. Demgegenüber sind Pkw als besonders leise anzusehen. Der allgemeine Trend zu mehr Komfort hat gerade im Pkw-Bereich

## Grenzwerte für Fahrgeräusche von Kraftfahrzeugen Abbildung 8

Zulässige Höchstwerte in dB(A)



<sup>1</sup> 1970-1975: 80 dB(A) für Pkw <53 kW; <sup>2</sup> 1980-1985: 90 dB(A) seit 1982; <sup>3</sup> 1985-1990: 82 dB(A) seit 1988; 1990-1995: 80 dB(A) seit 1993.

Quelle: Eigene Darstellung nach Deutscher Bundestag, 1999, 186

die Entwicklung leiserer Fahrzeuge begünstigt. Die Schallemissionen vieler Neuwagen liegen sogar deutlich unter den aktuellen Grenzwerten.

Obwohl die Grenzwerte in den vergangenen 30 Jahren erheblich verschärft wurden, ist das Umgebungslärmniveau kaum gesunken. Dies ist auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen, beispielsweise auf die Zunahme des Lkw-Verkehrs, die Fahrweise der Autobesitzer oder auch das Alter des Fahrzeugbestands. Es gibt jedoch auch zwei Aspekte, die primär in der Gesetzgebung zu suchen sind und daher hier Beachtung verdienen: das Geräusch-Messverfahren und die Emissionsgrenzwerte für Reifen.

Das Geräusch-Messverfahren wird bei der Typprüfung verwendet. Das derzeit noch geltende Konzept der „beschleunigten Vorbeifahrt“ ist veraltet. Es sieht vor, dass die Kfz bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h mit hoher Motordrehzahl sehr stark beschleunigt werden. Pkw werden dabei im zweiten und dritten Gang gefahren. Dieser Fahrzustand kommt jedoch in der täglichen Praxis kaum vor. Er bildet eher das Fahrverhalten der sechziger Jahre ab als die heutigen Betriebszustände. Die Konstruktion des Messverfahrens bewirkt, dass in der Typprüfung die Motorengeräusche dominieren, während in der täglichen Praxis das Reifen-Fahrbahngeräusch die wichtigste Komponente des Gesamtpegels darstellt (siehe Abschnitt 5.2).

Das Messverfahren lenkt die Bemühungen der Hersteller zur akustischen Optimierung ihrer Produkte somit in eine falsche Richtung. Allerdings ist im Fall des Messverfahrens Abhilfe in Sicht. Im Jahr 2007 will die EU mit der

Einführung eines neuen Messverfahrens beginnen, das auf einen Vorschlag des Verbandes der europäischen Automobilindustrie (ACEA) zurückgeht. Gemäß diesem ACEA-Konzept werden im Rahmen der Typprüfung insgesamt vier Vorbeifahrten mit etwa 50 km/h durchgeführt. Die einzelnen Messergebnisse werden gemäß Formel (3) energetisch gemittelt.

## Geräuschpegel eines typischen Pkw bei einer Geräuschtypprüfung Tabelle 8

Vergleich verschiedener Messverfahren, in dB(A)

	Heute vorgeschriebene beschleunigte Vorbeifahrt	Vorbeifahrt entsprechend ACEA-Vorschlag
Reifen	70,0	69,0 bis 70,0
Motor	66,0	63,0 bis 65,0
Ansaug- und Abgasanlage	65,5	59,5 bis 62,5
Pkw	72,4	70,3 bis 71,7

Quelle: Spessert, 2003, 60

Zwei der Vorbeifahrten finden zwar bei Volllast statt, aber mit einer geringeren Beschleunigung, als es beim derzeitigen Verfahren der Fall ist. Dies hat zur Folge, dass der Motor im Test im dritten oder vierten Gang gefahren wird und so auch mit deutlich geringeren Drehzahlen läuft. Die beiden anderen Vorbeifahrten finden bei konstanter Geschwindigkeit statt. Durch diese Verfahrensänderung wird das Typzulassungsverfahren realistischer. Es werden sich aber auch die Messergebnisse – wie exemplarisch in Tabelle 8 dargestellt – verändern. Mit der Einführung des neuen Messverfahrens werden daher wohl auch neue Grenzwerte wahrscheinlicher. Beginnend mit Juli 2007 wird für maximal zwei Jahre bei neuen Typpenehmigungen die Messung der Geräuschemissionen sowohl nach dem alten wie auch nach dem neuen Messverfahren durchgeführt.

Wie bereits erwähnt, ist das Reifen-Fahrbahngeräusch in der Praxis von großer Bedeutung. Deshalb lohnt sich auch ein Blick auf die Emissionsrichtlinien für Reifen, die in Tabelle 9 wiedergegeben werden. Die dortigen Grenzwerte

## Emissionsgrenzwerte für Fahrzeugreifen Tabelle 9

in dB(A)

Pkw-Reifen	Breite in mm	≤ 145	155–165	175–185	195–215	≥ 225
		72	73	74	75	76
Leicht-Lkw-Reifen <sup>1</sup>	Typ	Normal	M+G	Special		
		75	77	78		
Lkw-Reifen <sup>2</sup>	Typ	Normal	M+G	Special		
		76	78	79		

<sup>1</sup> Lastindex ≤121; <sup>2</sup> Lastindex ≥122.

Quelle: Gauterin, 2003, 8

weisen auf einen weiteren Faktor hin, der die tendenzielle Zunahme des Umgebungslärms begünstigt hat: Die Lärmemissionen der Reifen steigen mit ihrer Größe. Aufgrund der gewachsenen Ansprüche an die Reifen sind diese im Durchschnitt breiter geworden. Es sollte allerdings erwähnt werden, dass die Grenzwerte in Tabelle 9 von fast allen erhältlichen Reifen deutlich unterboten werden. Der Reifenmarkt hat also im Prinzip alle Grenzwertverschärfungen, die bis 2009 geplant sind, längst vorweggenommen.

Anders als bei Fahrzeugen und Reifen existieren für die Fahrbahnbeläge bislang keinerlei gesetzliche Regeln, die als Ausdruck von Lärmgesetzgebung oder gar als Grenzwerte interpretiert werden könnten.

## 4.2 Rechtslage beim Schienenlärm

Bis 2006 hat es keine Emissionsregeln für Außengeräusche von konventionellen Schienenfahrzeugen gegeben. Seit dem 23. Juni 2006 gelten im konventionellen Eisenbahnnetz europaweite Grenzwerte, die im Zuge der Technischen Spezifikation Interoperabilität (TSI) eingeführt wurden. Eine ähnliche Regelung für den Hochgeschwindigkeitsverkehr ist seit 2002 in Kraft. Die TSI Lärm enthält eine große Zahl von Emissionsgrenzwerten für Fahrgeräusche, Standgeräusche, Anfahrgeräusche und Innengeräusche in Führerständen. Zudem wird nach den verschiedenen Lok- und Waggonarten differenziert. Für die besonders lauten Güterwaggons wurden mehrere Unterklassen gebildet, die sich aus dem Koeffizienten aus der Anzahl der Radstände und der Waggonlänge in Metern ergeben (APL). Exemplarisch sind die Fahrgeräuschemissionsgrenzwerte der TSI Lärm in Tabelle 10 aufgeführt. Diese bewegen sich zwischen 80 und 85 dB(A) unter Testbedingungen. Zu beachten ist jedoch, dass die TSI-Grenzwerte nicht für den heutigen Fahrzeugbestand gelten. Sie erfassen zunächst einmal nur Schienenfahrzeuge, die nach dem 23. Juni 2006 angeschafft wurden. Ältere Fahrzeuge können im Fall eines Umbaus oder einer Erneuerung ebenfalls unter die TSI fallen, allerdings liegen die Grenzwerte in diesem Fall pauschal um 2 dB(A) höher. In Anbetracht der Tatsache, dass ein Güterwaggon im Durchschnitt 40 Jahre im Einsatz ist, hat diese Stichtagsregelung eine hohe Relevanz für die Wirksamkeit der TSI Lärm. Eine Sonderregelung schreibt vor, dass vorhandene Güterwaggons die TSI Lärm pauschal erfüllen, wenn sie eine Verbundstoffbremse (K-Sohle) besitzen (EU, 2006, 10). In Deutschland werden jedes Jahr rund 3.000 der insgesamt 90.000 eingesetzten Güterwaggons mit einer solchen Bremse ausgestattet.

Noch immer unregelt ist hingegen der Geräuschwert des Fahrwegs, der im Schienenverkehr etwa zwei Drittel aller Gesamtemissionen verursacht. Im

Schienenverkehr kommen auf der Immissionsseite die Regeln der 16. BImSchV zum Tragen. Schallschutzansprüche entstehen also eigentlich nur beim Neubau von Gleisen, was heutzutage relativ selten ist, oder bei einer wesentlichen Änderung an der Schienenstrecke. Ein wesentlicher Eingriff ist dann gegeben, wenn ein zusätzlicher Fahrweg gebaut wird. Ferner fallen Baumaßnahmen unter diese Regelung, wenn in ihrer Folge der Beurteilungspegel um mindestens 3 dB(A) steigt oder die Mittelungspegel mindestens 70 dB(A) am Tag beziehungsweise 60 dB(A)

in der Nacht erreichen (Kaltenegger, 2003, 12). In diesem Kontext ist auch eine nationale Besonderheit bei der Ermittlung von Immissionswerten an Schienenwegen zu erwähnen – der sogenannte Schienenbonus. Die 16. BImSchV sieht für Straße und Schiene zwar prinzipiell dieselben Immissionsgrenzwerte vor (Tabelle 7). Für den Schienenverkehr wurde jedoch eine deutliche Erleichterung in das Verordnungswerk aufgenommen, nämlich ein pauschaler Abschlag von 5 dB(A) auf die errechneten Mittelungspegel.<sup>13</sup>

Diese massive Begünstigung der Schiene ist seit 1980 Teil der deutschen Lärmgesetzgebung. Sie entlastet Schienenbetreiber von Lärmsanierungsverpflichtungen in beachtlicher finanzieller Höhe, denn immerhin entsprechen die „erlassenen“ 5 dB(A) gut zwei Dritteln des gesamten messbaren Schalldrucks. Der Schienenbonus wird damit begründet, dass Schienenlärm im Vergleich mit dem Straßenverkehr von der Bevölkerung als weniger belastend empfunden wird. Die Sonderbehandlung ist also vor allem sozialwissenschaftlich begründet. Die Grundlage lieferten mehrere Studien aus den achtziger Jahren, die im Auftrag der DB AG im Jahr 2002 erneuert wurden (Jäger, 2003, 41). Der Schienenbonus ist ziemlich umstritten, da es medizinisch und physikalisch gesehen eigentlich keinen Unterschied zwischen Schienen- und Straßenlärm gibt, der feststellbar wäre (AG Qualität, 2002). In der Rechtsprechung findet der Schienenbonus trotz

## Schienenfahrzeuge: Grenzwerte für Lärm während der Fahrt

Tabelle 10

in dB(A), bei einer Messentfernung von 7,5 m und einer Geschwindigkeit von 80 km/h auf dem Referenzgleis

Fahrzeug	Grenzwert
E-Lok	≤ 85
V-Lok	≤ 85
Elektrotriebzug	≤ 81
Dieselttriebzug	≤ 82
Reisezugwagen	≤ 80
Güterwagen (APL ≤ 0,15)	≤ 82
Güterwagen (APL > 0,15 und ≤ 0,275)	≤ 83
Güterwagen (APL > 0,275)	≤ 85

APL: Radsatzzahl pro Längeneinheit.

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach EU, 2006

<sup>13</sup> Für eine umfassende Erklärung der Berechnungsvorschriften im Schienenverkehr siehe Schmid (2005, 53 ff.).

dieser Zweifel uneingeschränkt Verwendung. So urteilte das Bundesverwaltungsgericht, dass der Bonus den politischen Willen des Gesetzgebers widerspiegelt. Hinter dem im Gesetz artikulierten Willen hätten die naturwissenschaftlichen Zweifel zurückzustehen. Doch die Zeit dieses Schienenprivilegs scheint dem Ende entgegenzugehen: Auf europäischer Ebene findet diese Regelung, die außer in Deutschland nur noch in der Schweiz angewendet wird, keine Berücksichtigung. Durch die europäische Harmonisierung der Rechtslage im Zuge der EU-Umgebungslärmrichtlinie wird der Schienenbonus hierzulande teils außer Kraft gesetzt werden. Dies könnte nach Schätzungen der DB AG zu Mehrkosten für Lärmsanierungsmaßnahmen in Höhe von etwa 2 Milliarden Euro gegenüber dem Status quo führen, was eine ganz erhebliche Steigerung des derzeitigen Mitteleinsatzes bedeuten würde (Geßner, 2003, 70). Es ist allerdings der erklärte Wille der Bundesregierung, den Schienenbonus auch weiterhin im Immissionsschutzrecht zu berücksichtigen.

Es sollte abschließend erwähnt werden, dass die Lärmgesetzgebung nur einen Teil der Schallschutzsituation an den Schienenwegen determiniert. In der Tat ist es so, dass es Lärmsanierungsprogramme der Schienenverkehrsunternehmen und der Netzbetreiber gibt, die über die gesetzlichen Vorgaben hinausgehen. Auch wurden beispielsweise mit dem freiwilligen Lärmsanierungsprogramm der Bundesregierung von 1999 bis 2005 jedes Jahr rund 50 Millionen Euro in den Schallschutz an besonders belasteten Trassen investiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Schutzwänden und Schallschutzfenstern. Die Mittel für dieses Programm sollen in Zukunft aufgestockt werden.

### 4.3 Rechtslage beim Fluglärm

In der Luftfahrt werden die Emissionsregeln global festgelegt, während die Immissionsgesetzgebung in den Händen der Nationalstaaten liegt. Es ist zu beachten, dass im Luftverkehr häufig eine spezielle Einheit verwendet wird, um Schallereignisse zu erfassen. Statt der sonst gebräuchlichen Einheit dB(A) findet speziell für die Lärmzulassung großer Flugzeuge der sogenannte Lärmstörpegel (Effective Perceived Noise Level) mit der Einheit EPNdB Verwendung. Der Lärmstörpegel berücksichtigt den zeitlichen Verlauf des Geräuschs sowie die Intensität besonders hervortretender Frequenzen. Für den Vergleich von dB(A) und EPNdB kann vereinfacht  $EPNdB = dB(A) + 13$  gerechnet werden.

Die produktbezogene Emissionsregulierung war bislang durchaus erfolgreich. Das lauteste Großflugzeug, das noch geflogen wird, ist der Bomber B-52. Dieses in den frühen fünfziger Jahren entwickelte Flugzeug verursacht beim Start bis zu 120 EPNdB. Auch andere frühe Düsenflugzeuge, zum Beispiel die Comet oder

die Boeing 707-100, erreichten hohe Werte, nämlich rund 115 EPNdB. Moderne Flugzeuge mit gleicher Triebwerksleistung verursachen dagegen nur noch einen Bruchteil dieser Schallemissionen. Bereits die in den frühen neunziger Jahren entwickelten Typen verursachen beim Start einen um knapp 25 EPNdB geringeren Pegel, was einem Rückgang der gemessenen Schallleistung auf knapp 3 Promille entspricht (Kloepfer et al., 2006, 233). Bei den neueren Typen wurden die Emissionspegel noch einmal deutlich gesenkt. Die für eine Betriebszulassung notwendigen Startlärmgrenzwerte sind in Abbildung 9 dargestellt. Der Grundwert beträgt für alle Strahlflugzeuge 89 EPNdB und steigt linear über die Startmasse des Flugzeugs. Der Grenzwert differenziert zudem nach Anzahl der Triebwerke.<sup>14</sup> Das Bild zeigt, dass die meisten neueren Konstruktionen recht deutlich unter den Grenzwerten liegen. Die zulässigen Flugzeuge werden von der ICAO nach ihren Emissionseigenschaften in sogenannten Chapters klassifiziert. Anhand der Klassifizierungen können Flughafensbetreiber generelle oder zeitlich gestaffelte Zugangsbeschränkungen für laute Flugzeuge einführen. In der EU sind vor allem die prinzipiell noch erlaubten Chapter-2-Flugzeuge von solchen Zulassungsbeschränkungen betroffen. Darunter fallen Flugzeuge, deren Musterzulassung vor 1977 erfolgte, beispielsweise die Boeing 727 und die 747-200. Auf EU-internen Flügen dürfen diese alten Maschinen seit 2002 generell nicht mehr eingesetzt werden. Zudem dürfen Chapter-2-Flugzeuge in der EU nicht mehr landen, wenn sie älter als 25 Jahre sind. Die neuesten Flugzeuge mit einer Musterzulassung ab dem 1. Januar 2006 müssen die Chapter-4-Klassifizierung erfüllen.<sup>15</sup>

Auf der Immissionsseite gelten derzeit noch die Regeln des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm. Dieses Gesetz ist seit 1971 in Kraft, seine Regelungen sind seitdem praktisch unverändert geblieben. Als Maßeinheit wird der energieäquivalente Dauerpegel  $L_{Aeq}$  verwendet, nicht jedoch die Einheit EPNdB. Das Fluglärmgesetz sieht zwei Lärmschutzzonen an allen Verkehrsflughäfen mit Linienflugverkehr und an allen Militärflughäfen mit Strahlflugzeugverkehr vor. Schutzzone 1 umfasst alle Gebiete mit einem Dauerschallpegel von mehr als 75 dB(A). Eigentümer von betroffenen Wohnhäusern sowie Krankenhäuser und Schulen haben Anspruch darauf, dass bauliche Schallschutzmaßnahmen auf Kosten des Flughafensbetreibers durchgeführt werden. Wohnungsneubauten sind generell untersagt. Gebiete mit einem Dauerschallpegel von mehr als 67 dB(A) gehören zur Schutzzone 2. Hier ist der Bau von lärmsensiblen Einrichtungen

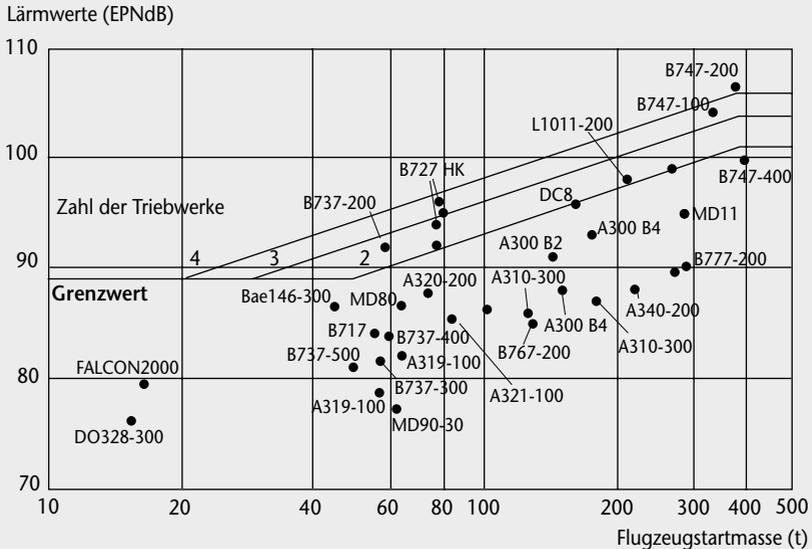
---

<sup>14</sup>Die Grenzwerte werden von der ICAO im Annex 16 zur Übereinkunft über den internationalen zivilen Luftverkehr veröffentlicht.

<sup>15</sup>Genauere Informationen zu der Klassifizierung finden sich unter [www.icao.org](http://www.icao.org).

# Startlärmwerte von Strahlflugzeugen

Abbildung 9



Quelle: Klopfer et al., 2006, 231

nicht gestattet und auch Wohngebäude dürfen nur gebaut werden, wenn ein entsprechender Schallschutz eingeplant ist. Diese Regelungen unterscheiden sich somit recht stark von denen des BImSchG, denn ein Überschreiten der Richtwerte löst ausschließlich Maßnahmen des passiven Schallschutzes auf Kosten des Flughafenbetreibers aus. Es handelt sich somit prinzipiell eher um ein Entschädigungsgesetz, denn die Kompensation wird über den Schutzgedanken gestellt.

Es kommt erschwerend hinzu, dass die Regeln des Fluglärmsgesetzes seit Langem veraltet sind. Daher sind sie aus Sicht des Schutzes der Anwohner vor Lärm auch weitgehend wirkungslos. Hierzu ein Beispiel: Beim Neubau des Flughafens München erfolgte die Betriebszulassung nach dem Fluglärmsgesetz. Die Schutzzone 1 erreicht in München nicht einmal das Terminalgebäude und auch Schutzzone 2 reicht nicht allzu weit über den Zaun des Flughafengeländes hinaus (Lahl, 2006, 5). Diese Situation würde auch auf anderen Flughäfen eintreten, wenn die Lärmschutzbereiche nach diesem Gesetz neu ausgewiesen würden. In der Praxis verbietet das Fluglärmsgesetz also vor allem den Neubau von Wohngebäuden auf dem Flughafengelände. Eine Steuerung der Siedlungsentwicklung und einen angemessenen Schallschutz der Anwohner gewährleistet es nicht. Daher waren die Kosten des Gesetzes überschaubar. Alles in allem löste

das Fluglärngesetz innerhalb von 35 Jahren Schallschutzausgaben von rund 400 Millionen Euro aus (BMU, 2006, 4). Die Defizite sind seit Langem bekannt. Es ist unbestritten, dass großer Handlungsbedarf besteht. Dennoch sind bislang alle Anläufe zur Novelle des Fluglärngesetzes gescheitert. Aus diesem Grund ist die Justiz inzwischen dazu übergegangen, eigene Normen zu setzen und nicht mehr auf die Bundesgesetzgebung zu warten. Dies geschah beispielsweise bei der Verhandlung über den neuen Flughafen Berlin-Brandenburg.

Ein erneuter Versuch, das Fluglärngesetz zu novellieren, ist derzeit in der parlamentarischen Abstimmung und pasierte am 14. Dezember 2006 den Bundestag. Im Kern sollen demnach die Regeln des alten Fluglärngesetzes weiterhin bestehen. Es bleibt im Prinzip ein Entschädigungsgesetz, dass auf passive Lärmsanierung setzt. Auch die Verpflichtungen von Flughafenbetreibern und Bauämtern gegenüber Bewohnern der Schutz-zonen verändern sich nach dieser Vorlage nicht. Die wesentlichsten Änderungen betreffen die Auslösewerte für Schallschutzmaßnahmen, die in Tabelle 11 zusammengefasst sind. Neu ist hierbei vor allem die Einführung von Tag- und Nacht-schutz-zonen, was der erhöhten Lärmempfindlichkeit in Ruhezeiten Rechnung trägt (vgl. Tabelle 1). Zudem werden die Auslösewerte deutlich gesenkt, was wiederum der Entwicklung im Flugzeugbau (siehe oben) entsprechen soll. Vor allem für neue und wesentlich veränderte Flughäfen werden die Regeln deutlich strenger gefasst. Als wesentliche Änderung gilt in diesem Kontext der Neubau einer Start- oder Landebahn oder eine Ausweitung des Lärmschutzbereichs in-folge einer Ausbaumaßnahme um 25 Prozent. Neben diesem räumlichen Krite-rium gibt es auch noch akustische Kriterien für eine wesentliche Änderung. Eine Erhöhung des Schallpegels an der Grenze der Tag-Schutzzone 1 oder an der Grenze der Nacht-Schutzzone um 3 dB(A) gilt auch als wesentliche Änderung im Sinne des Fluglärngesetzes.

## Fluglärngesetz-Novelle: Grenzwerte für zivile Flugplätze

Tabelle 11

### Neubau und wesentliche bauliche Erweiterung

Tag-Schutzzone <sup>1</sup>	L <sub>Aeq</sub> Tag	60 dB(A)
Tag-Schutzzone <sup>2</sup>	L <sub>Aeq</sub> Tag	55 dB(A)
Nacht-Schutzzone <sup>1</sup>	L <sub>Aeq</sub> Nacht	53 dB(A)
	L <sub>Amax</sub>	6 mal 57 dB(A) innen
Nacht-Schutzzone <sup>2</sup>	L <sub>Aeq</sub> Nacht	50 dB(A)
	L <sub>Amax</sub>	6 mal 53 dB(A) innen

### Bestehende Flugplätze

Tag-Schutzzone <sup>1</sup>	L <sub>Aeq</sub> Tag	65 dB(A)
Tag-Schutzzone <sup>2</sup>	L <sub>Aeq</sub> Tag	60 dB(A)
Nacht-Schutzzone	L <sub>Aeq</sub> Nacht	55 dB(A)
	L <sub>Amax</sub>	6 mal 57 dB(A) innen

<sup>1</sup> Bis 31. Dezember 2010; <sup>2</sup> Ab 1. Januar 2011.  
Quelle: BMU, 2006, 6 f.

Allerdings sind bei der Novelle noch zwei Aspekte zu betonen. Zum einen werden die Auslösewerte in zwei Stufen verschärft. Der endgültige Auslösewert für die Nacht-Schutzzone gilt erst ab 2011. Zum anderen gelten diese Regeln nur an zivilen Flughäfen. An den in Bundesbesitz befindlichen Fliegerhorsten liegen die Auslösewerte pauschal um 3 dB(A) höher.

#### 4.4 EU-Umgebungslärmrichtlinie

Die EU hat sich im Rahmen des sechsten Umweltaktionsprogramms das Ziel gesetzt, die Anzahl der von mittleren bis hohen Dauerschallpegeln belasteten Menschen erheblich zu verringern. Vorher hatte sich die EU im Schallschutz vor allem bei produktbezogenen Emissionsvorschriften engagiert. Erste Neujustierungen hin zu gebietsbezogenen Regelungen finden sich im Grünbuch von 1996 „Zukünftige Lärmschutzpolitik“. Das Ergebnis des damit angestoßenen Konsultationsprozesses war die neue Richtlinie 2002/49/EG zur Bekämpfung von Umgebungslärm. Hiermit wurde erstmals auf europäischer Ebene der Versuch unternommen, eine harmonisierte Schallimmissionsregelung zu vereinbaren. Auf diese Weise sollten nun weitere emissionsmindernde Gemeinschaftsmaßnahmen an Infrastruktur und Verkehrsmitteln befördert werden. Vorgesehen war, dass die Kommission bis zum 18. Juli 2006 dem Parlament geeignete Vorschläge vorlegt.

Genauer genommen ist der Umgebungs- oder Freiluftlärm Gegenstand der Richtlinie. Der Schallpegel innerhalb von Verkehrsmitteln ist damit ebenso ausgeschlossen wie die Berücksichtigung von Schall, der durch Tätigkeiten in Wohnungen entsteht (EU, 2002, 1). Zudem ist zu beachten, dass Verkehrs- und Gewerbelärm in den Geltungsbereich der EU-Umgebungslärmrichtlinie fallen, der Nachbarschaftslärm aber nicht.

Die Richtlinie legt ein in Schritte gegliedertes Grundkonzept fest, um den Umgebungslärm in Europa zu vermindern. Folgende Teilschritte sind dabei vorgesehen:

- Lärmkartierung von belasteten Gebieten mithilfe von harmonisierten Bewertungsmethoden. Dies soll ein objektives Bild der Umgebungslärmbelastung in Europa ergeben.<sup>16</sup>
- Information der Öffentlichkeit über den Stand der Belastung und deren Auswirkungen.
- Aufstellung von Aktionsplänen zur Lärmbelastung. Dieser Schritt soll in Kooperation mit den Betroffenen und nur dann erfolgen, wenn von den einzelnen Mitgliedstaaten aufgestellte Kriterien erfüllt werden.

---

<sup>16</sup> Einige Beispiele für Lärmkarten deutscher Städte finden sich unter <http://www.laermkarten.de>.

Es darf jedoch nicht verkannt werden, dass es sich bei der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie um eine Rahmenrichtlinie handelt. Sie legt lediglich Mindestanforderungen für die Lärmkartierung und für die Aufstellung von Lärmminde-rungsplänen fest. Diese Anforderungen sind im Anhang der Richtlinie festgehal-ten. Die konkrete Ausgestaltung bleibt den Mitgliedstaaten überlassen. Dies betrifft unter anderem die Bestimmung von Grenzwerten, aber auch die anzu-wendenden Instrumente. So gesehen ist die Richtlinie selbst ein Instrument der Lärmminde-rungsplanung und eben kein Lärmbekämpfungsgesetz (Kloepfer et al., 2006, 520). Im Gegensatz zu der weitgehend wirkungslosen Lärmminde-rungsplanung nach deutschem Recht definiert die EU-Umgebungslärmrichtlinie klare Bedingungen und Aufstellungsfristen. Bei Kartierung und Lärmminde-rungsplanung gemäß der EU-Umgebungslärmrichtlinie ist allerdings zu beachten, dass auch hier die Lärmerfassung der Verkehrsträger getrennt erfolgt. Ebenso werden die Lärmkarten von verschiedenen Institutionen erstellt. In Deutschland sind es die Landesumweltämter für den Straßen- und Luftverkehr sowie das Eisenbahnbundesamt für die Schienenwege. Ein Gesamtpegel ist im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie nicht vorgesehen. Für die von der Richtlinie betroffenen Gebiete besteht eine eindeutige Planungspflicht. Die Umgebungs-lärmrichtlinie definiert dabei zwei Gruppen von Gebieten, in denen die Richtlinie bis zu ganz bestimmten Stichtagen umzusetzen ist. Die Auswahlkriterien für diese Gebiete sind in Tabelle 12 wiedergegeben. Der erste Stichtag ist der

## EU-Umgebungslärmrichtlinie: Fristen zur Aufstellung von Lärmkarten und Aktionsplänen

Tabelle 12

Untersuchungsbereich	Lärmkarten bis ...	Aktionspläne bis ...
Ballungsräume: > 250.000 Einwohner; Hauptverkehrsstraßen: > 6 Millionen Fahrzeuge/Jahr; Haupteisenbahnstrecken: > 60.000 Züge/Jahr; Großflughäfen: > 50.000 Bewegungen/Jahr	30. Juni 2007	18. Juli 2008
Ballungsräume: > 100.000 Einwohner; Hauptverkehrsstraßen: > 3 Millionen Fahrzeuge/Jahr; Haupteisenbahnstrecken: > 30.000 Züge/Jahr	30. Juni 2012	18. Juli 2013

Quelle: VCD, 2003, 16

30. Juni 2007. Dann soll die Lärmkartierung in den wichtigsten Ballungsräumen und an den Hauptverkehrsachsen abgeschlossen sein. Dies betrifft europaweit in etwa 170 Ballungsräume, 90 Flughäfen, 16.000 km Schienenwege und etwa 82.000 km Straßen. In diesen Gebieten haben die Verwaltungen sodann fünf Jahre Zeit, um auf Basis der Lärmkarten geeignete Lärminderungspläne zu entwickeln, die den in der Richtlinie definierten Mindestanforderungen genügen. Die zweite Gruppe von Gebieten erhält in beiden Phasen fünf Jahre mehr Zeit.

Ein wichtiger Aspekt der EU-Umgebungslärmrichtlinie ist auch die europaweite Harmonisierung der Berechnungsvorschriften für den Umgebungslärm. Bislang waren diese sehr unterschiedlich. Im Wesentlichen werden zwei neue Indizes mit den Bezeichnungen  $L_{den}$  und  $L_{night}$  als Maß für Dauerschallpegel eingeführt. An ihnen haben sich Lärmkartierung und Lärminderungsplanung europaweit zu orientieren. Von Bedeutung ist vor allem  $L_{den}$ , das dem normalen energieäquivalenten Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  (3) eine aus Belästigungsstudien abgeleitete Gewichtung hinzufügt.  $L_{den}$  steht für einen Tag-Abend-Nacht-Pegel und wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$(4) \quad L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \text{dB(A)}.$$

Die verwendeten Einzelindizes wiederum entsprechen den A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegeln der jeweiligen Tageszeiten, wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt. Die zeitliche Definition von Tag, Abend und Nacht ist den einzelnen Mitgliedstaaten freigestellt (EU, 2002, Anhang 5). In Deutschland gilt die folgende Abgrenzung:

Tag: 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr,

Abend: 18:00 Uhr bis 22:00 Uhr,

Nacht: 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr.

Die Berechnungsvorschrift zeigt deutlich, dass die ortsüblichen Ruhezeiten im  $L_{den}$  übergewichtet werden sollen, um das erhöhte Belästigungspotenzial von Schallereignissen in diesen sensiblen Zeiten abzubilden (siehe Abschnitt 2.1). Von daher kann die neue Berechnungsvorschrift für Menschen, die durch Umgebungsschall belastet werden, eine Verbesserung mit sich bringen. Die konkrete Wirkung hängt allerdings ganz wesentlich von der nationalen Ausgestaltung der Richtlinie ab. Nur wenn auch angemessene Grenzwerte gesetzt und realistische Lärminderungspläne aufgestellt werden, kann die EU-Umgebungslärmrichtlinie die Erwartungen auch erfüllen.

# 5

## Bestandsaufnahme des Umgebungslärms

Um die in Kapitel 4 beschriebenen Missstände in der Lärmschutzgesetzgebung effizient aufzulösen, muss die Lärmbelastungslage in Deutschland eingeschätzt und zudem die Frage geklärt werden, welche Folgen der eigentliche Schall für den Menschen hat.

Dass Schall in Westeuropa fast omnipräsent ist, kann als Fakt angenommen werden. Nach Angaben der EU-Kommission leben knapp 20 Prozent der Bevölkerung in der EU-15 mit einem Dauerschallpegel ( $L_{Aeq}$ ) von mehr als 65 dB(A). Es gilt nun zu klären, wie genau der Schall von den verschiedenen Verkehrsträgern verursacht wird und welche Folgen der Schall konkret beim Menschen auslöst. Diese Informationen bieten dann einen Ansatzpunkt für eine effiziente Minderungspolitik.

### 5.1 Lärmbelastungslage

Obwohl Schall belastend sein kann, setzen sich viele Menschen freiwillig erheblichen Schallimmissionen aus, beispielsweise in Diskotheken. Diesen Schall empfinden sie offensichtlich nicht als Lärm. In Abschnitt 2.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass zumindest das Belästigungsgefühl, das von Schall ausgelöst werden kann, zu großen Teilen eine Frage der individuellen Einstellung zu einem Schallereignis ist. Da Schall erst durch eine individuelle Beurteilung zu Lärm wird, lässt sich die Belästigung infolge von Lärm nicht mit naturwissenschaftlichen Methoden messen. Somit kann der Grad der Belästigung durch Lärm in Deutschland nur über Umfragen ermittelt werden. Solche Umfragen führt das Umweltbundesamt seit einiger Zeit regelmäßig durch. Sie liefern einen Eindruck von der gefühlten Lärmbelastung in Deutschland. Auch wenn sie in der Regel nicht repräsentativ sind, da sie auf offenen Onlinebefragungen beruhen (Ortscheid, 2002, 2), sind dennoch einige Trends klar erkennbar.

Abbildung 10 stellt die Hierarchie der Lärmquellen nach Belästigungswirkungen grafisch dar. Als besonders belastend wird anscheinend der Verkehrslärm im Wohnumfeld empfunden. Es kann nicht überraschen, dass unter den Verkehrsträgern vor allem der Straßenverkehr als Belastungsquelle dominiert. Immerhin ist die Anzahl der Menschen, die an Straßen wohnen – und diese nutzen –, deutlich größer als die Vergleichszahlen der Schienen- und Flughafenanwohner. Ein wenig überraschend ist das relativ gute Abschneiden des Schienenverkehrs – schließlich werden in Deutschland die höchsten Schallpegel an Schienenwegen gemessen.

## Anteil der Lärmbelästigten an der Bevölkerung

Abbildung 10

Verschiedene Lärmquellen, in Prozent

■ Starke/äußerste Belästigung  
 ■ Mittelmäßige Belästigung

Straße	20	10
Nachbarn	11	6
Luftfahrt	8	4
Schiene	5	3
Gewerbe und Industrie	5	2

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schreckenberg, 2006, 9

Durch leisere Kraftfahrzeuge und Flugzeuge haben sich die Belastungsspitzen deutlich verringert. Dagegen sind die Dauerschallpegel aufgrund der stark gewachsenen Verkehrsbewegungen eher noch gestiegen. So ergaben Untersuchungen in Bayern, dass der nächtliche Umgebungslärmpegel pro Jahrzehnt um 3 dB(A) zugenommen hat (Kühne, 2003, 13). Auch andere Entwicklungen deuten auf einen langfristigen Anstieg der Umgebungsschallpegel hin. Die Polizei setzt heute Sirenen mit einer Lautstärke von 120 dB(A) ein, um die Aufmerksamkeit der Verkehrs-

teilnehmer zu wecken. Im Jahr 1912 reichten noch 88 dB(A). Natürlich ist dieser Anstieg auch zu einem großen Teil auf die verbesserte Schallisolierung der Fahrzeuge zurückzuführen, aber er verdeutlicht dennoch den Trend.

Auch wenn die Dauerpegel gestiegen sind, blieb die fahrzeugseitige Emissionsreduktion keineswegs folgenlos. In ganz Westeuropa ist der Trend zu beobachten, dass die Zahl der stark Belästigten zurückgeht, während die Zahl der Belästigten steigt (Deutscher Bundestag, 1999, 164). Die Zahl der besonders lauten Gebiete sinkt also, während der flächendeckende Pegel eher zunimmt. Allerdings ist es auch hier schwierig, aus den Belästigungserhebungen eine allgemeine Entwicklung abzuleiten, da die Belästigungsempfindung der Menschen so unterschiedlich ausfällt. Selbst Dauerschallpegel von über 70 dB(A) werden von einem beachtlichen Teil der Bevölkerung nicht als Belästigung empfunden (Kloepfer et al., 2006, 265). Andererseits müssen 10 bis 15 Prozent der Bevölkerung als lärmempfindlich eingeschätzt werden. Zu dieser Gruppe zählen viele ältere Menschen. Die Zahl der Lärmempfindlichen wird also allein aufgrund der demografischen Entwicklung tendenziell zunehmen. Unter diesem Vorbehalt sollten daher auch die folgenden Ausführungen betrachtet werden.

## 5.2 Status quo Straßenlärm

Der Straßenverkehr ist die bedeutendste Quelle von Umgebungslärm in Deutschland. In den letzten 15 bis 20 Jahren ist die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr tendenziell gewachsen, wobei die Pegelzuwächse je nach Straßentyp unterschiedlich stark ausgefallen sind. Am stärksten sind die Pegel an

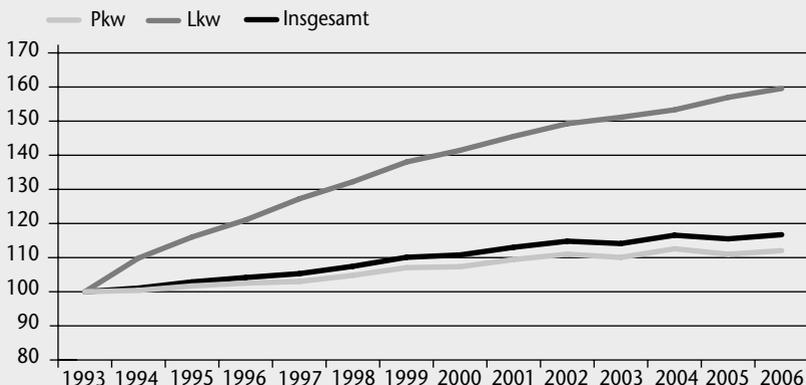
den innerörtlichen Hauptverkehrsachsen gestiegen, hier wurden Zunahmen von 3 dB(A) gemessen. An den Bundesautobahnen stiegen sie um etwa 2,5 dB(A), während die Lautstärke an Land- und Kreisstraßen mit rund 1,5 dB(A) verhältnismäßig gering zugelegt hat (Bickel, 2005, 119). Flächendeckende Belastungswerte waren bislang jedoch kaum verfügbar. Gleiches gilt für eine Gesamtlärbilanz für Siedlungsräume. Es ist allerdings zu erwarten, dass die Lärmkartierung im Zuge der EU-Umgebungslärmrichtlinie den Informationsbestand deutlich verbessern wird. Tendenziell gilt, dass die besonders starken Belastungen in manchen Regionen trotz der angesprochenen Pegelzunahmen eher selten auf Straßenverkehr zurückzuführen sind. Dieser sorgt zwar für die Masse der Belastungen, doch die absoluten Belastungsspitzen in Deutschland werden nicht vom Straßenverkehr verursacht.

Die Bedeutung des Straßenverkehrs für die Schallimmissionen ist eher der Menge als der Lautstärke der Fahrzeuge geschuldet. Wie bereits beschrieben, sind die Fahrzeuge schon deutlich leiser geworden. Für Lkw sank der Emissionsgrenzwert seit 1970 sogar um bis zu 12 dB(A). Es ist zu einem sehr großen Teil auf die intensivere Straßennutzung zurückzuführen, dass die Pegel dennoch steigen. Die Entwicklung der Fahrleistungen ist in Abbildung 11 abgetragen. Im Vergleich zu 1993 wuchs die Zahl der von Pkw gefahrenen Kilometer um knapp 12 Prozent. Deutlich stärker legte die Fahrleistung im Güterverkehr zu – um mehr als 60 Prozent. Im selben Zeitraum wuchs der Kraftfahrzeugbestand in Deutschland um rund zwölf Millionen Fahrzeuge. Allerdings betrifft diese rasante Zunahme vor allem den Pkw-Bereich. Diese Fahrzeuge gehören mit wenigen Ausnahmen zu den leisesten Kraftfahrzeugen, da der allgemeine Markttrend zu komfortableren Fahrzeugen die Verbreitung leiser Fahrzeuge begünstigt hat. Dass die Umgebungsschallpegel in Straßennähe dennoch gestiegen sind, ist dem Fahrleistungsanstieg geschuldet. Dieser hat den technischen Fortschritt in der Fahrzeugkonstruktion überkompensiert. Zudem ist zu beachten, dass sich neue, leise Fahrzeuge nur relativ langsam im gesamten Fahrzeugbestand ausbreiten. Das Durchschnittsalter des deutschen Pkw-Bestands beträgt knapp acht Jahre. Das deutsche Durchschnittsauto wurde also bereits 1998 gebaut. Es gibt zudem einen hohen Sockel an sehr alten Fahrzeugen. Gut ein Drittel des Fahrzeugbestands ist älter als 15 Jahre und repräsentiert damit den technischen Stand der späten achtziger Jahre. Für diese Fahrzeuge waren bei der Erstzulassung auch deutlich höhere Schallemissionen zulässig. Da aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Schalls bereits relativ wenige laute Fahrzeuge ausreichen, um einen hohen Gesamtpegel zu erzielen, behindert die Alterung des Bestands nachhaltig die fahrzeugseitigen Bemühungen, den Umgebungsschallpegel zu vermindern.

## Entwicklung der Fahrleistungen in Deutschland

Abbildung 11

1993 = 100



Quelle: ifeu, TREMOD 4.0

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Entwicklung der Umgebungsschallpegel ist die erhebliche Zunahme der Lkw-Fahrleistung. Denn ein Lkw verursacht bei Vorbeifahrt in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ein Vielfaches der Schallimmissionen eines Pkw. Tabelle 13 gibt diesen Zusammenhang wieder. In dem Test, welcher dieser Tabelle zugrunde liegt, erzeugte ein schwerer Sattelzug bei besonders langsamem Tempo so viel Lärm wie etwa 40 Pkw. Allerdings dürfte dieser extreme Betriebszustand relativ selten auftreten, da die schweren Nutzfahrzeuge typischerweise eher wenig in Städten mit ihrem langsamen Verkehrsfluss fahren. Für den innerstädtischen Lärm scheinen die Angaben von leichten Nutzfahrzeugen bedeutender zu sein. Aber auch sie emittieren gegenüber Pkw ein Mehrfaches an Schall. Bei wachsendem Tempo gehen die Geräuschunterschiede zurück. Das liegt daran, dass sich die dominanten Geräuschquellen an den Fahrzeugen ändern.<sup>17</sup> Bis etwa 40 km/h dominieren die Motorengeräusche die Gesamtschallemission eines Pkw. Danach spielen die Roll- und Fahrbahngeräusche die wichtigste Rolle bei der Bildung des Gesamtemissionspegels. Erst ab etwa 130 km/h werden die Fahrbahngeräusche von den Lauten der Aerodynamik verdrängt. Bei Lkw ist das prinzipiell ähnlich. Bedingt durch die gänzlich andere Konstruktion des Antriebsstrangs liegen die Sprungpunkte aber anders. So dominieren bei den Lkw die Antriebsgeräusche bis etwa 60 km/h, da die Motoren deutlich stärker konzipiert sind.

<sup>17</sup> Hier gilt es zu beachten, dass die Emissionen einer schwächeren Schallquelle bei großen Pegelunterschieden für den Gesamtpegel relativ unbedeutend sind.

## Vorbeifahrtpegel verschiedener Fahrzeugtypen im Verhältnis zu Pkw

Tabelle 13

	20 km/h	50 km/h	100 km/h	20 km/h	50 km/h	100 km/h
	Pegeldifferenz ( $\Delta$ dB) zu Pkw, in dB(A)			Daraus abgeleitete Pkw-Einheiten* je Fahrzeug		
Pkw	0	0	0	1	1	1
Bus	11,3	7,6	4,9	13,5	5,8	3,1
Lkw <7,5 t	12,4	8,6	5,8	17,4	7,2	3,8
Sattelzug	16,0	11,4	8,2	39,8	13,8	6,6
Motorrad	10,3	6,8	4,3	10,7	4,8	2,7

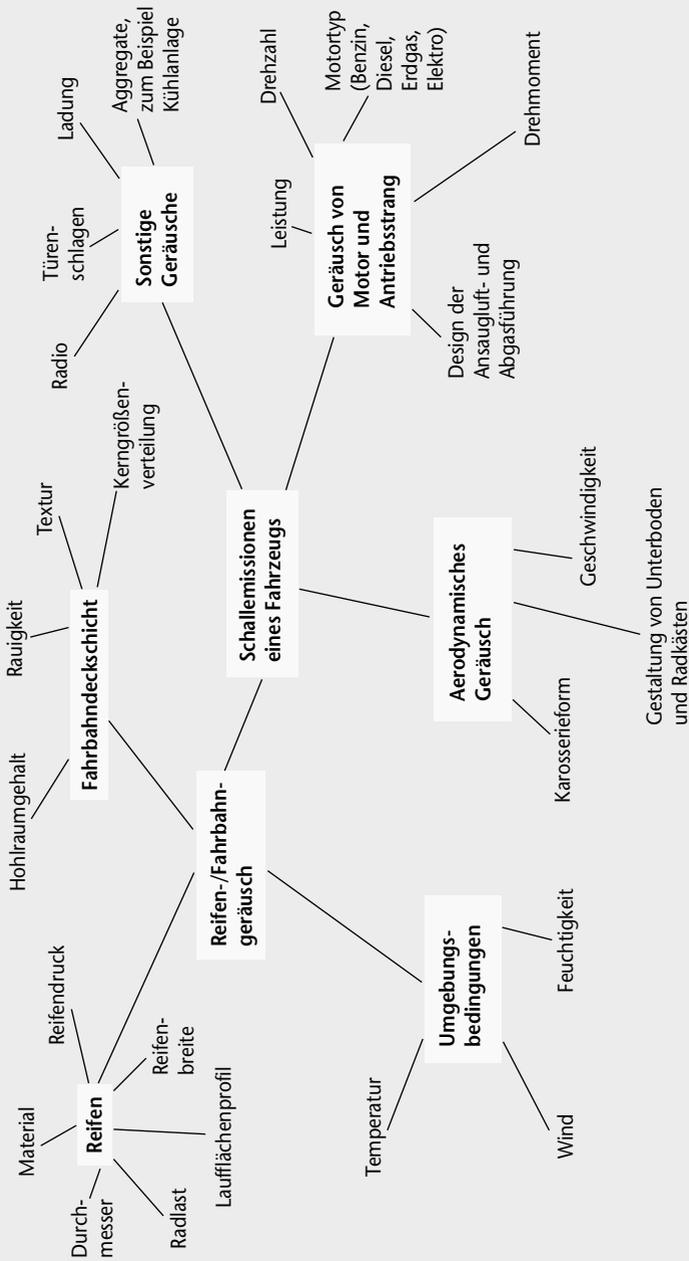
\* Anzahl an Pkw, die einem vorbeifahrenden Fahrzeug der betrachteten Kategorie entspricht (berechnet als  $10^{\Delta\text{dB}/10}$ ).  
Quelle: Bickel, 2005, 130

Die Entwicklung von Fahrleistung und Flottenwachstum ist eine wichtige Determinante für die Schallsituation an den deutschen Straßen. Einen weiteren wesentlichen Einblick liefern die Schallquellen an einem einzelnen Kfz. Jedes Straßenfahrzeug gleicht – akustisch gesehen – einem wenig harmonischen Orchester. Es besitzt eine Vielzahl von Schallelementen, die sich je nach Konstruktion, Tempo, Umgebung und Fahrerverhalten verschieden stark an den Gesamtemissionen des Fahrzeugs beteiligen. In Abbildung 12 sind diese vielen Emissionsquellen am einzelnen Kfz dargestellt. Die im Fahrbetrieb wichtigsten Geräuschquellen sind Motor und Antriebsstrang, das Reifen-Fahrbahngeräusch und die aerodynamischen Geräusche. Vor allem das Reifen-Fahrbahngeräusch ist dabei stark von externen Faktoren abhängig. Zu nennen sind hier vor allem die Beschaffenheiten von Reifen und Fahrbahnoberfläche. Aber auch das Wetter hat einen großen Einfluss. So ist beispielsweise eine regennasse Fahrbahn lauter als eine trockene – und zwar um 5 bis 10 dB(A).

Ganz wesentlich sind auch Fahrsituation und Geschwindigkeit. Als Faustformel kann angenommen werden, dass kontinuierlich fließender Verkehr als weniger belastend wahrgenommen wird. Brems- und Anfahrvorgänge – vor allem wenn mit hoher Drehzahl gefahren wird – werden als besonders unangenehm empfunden, da sie eine sprunghafte Pegelveränderung bewirken. Extrem fällt dies an Ampelanlagen auf, weil zu Beginn einer Grünphase der Pegel schlagartig um bis zu 20 dB(A) steigt. Deshalb enthalten die derzeitigen Schallimmissionsberechnungsvorschriften für Ampelanlagen einen pauschalen Zuschlag von 3 dB(A). Auch die Geschwindigkeit hat großen Einfluss auf die Geräuschemissionen eines Kraftfahrzeugs. Am leisesten ist ein Pkw bei einer Geschwin-

# Schallquellen am Kraftfahrzeug

Abbildung 12



Quelle: ADAC, 2006, 18

digkeit von 40 bis 50 km/h, für einen Lkw liegt dieser Idealpunkt etwas niedriger (ADAC, 2006, 28). Auch geringere Geschwindigkeiten können also zu höheren Schallemissionen führen: Wenn nämlich der Fahrer herunterschaltet und der Motor dementsprechend hochtourig läuft. Betrachtet man für einen Pkw den Geschwindigkeitsbereich, in dem das Rollgeräusch dominiert (etwa 40 bis 130 km/h), so kann als Faustformel angenommen werden, dass eine Verdoppelung der Geschwindigkeit die Schallemissionen um knapp 10 dB(A) erhöht. Dies gilt aber nur für Pkw. Mit Lkw-Reifen würde ein solcher Test gänzlich andere Ergebnisse bringen (Kloepfer et al., 2006, 187).

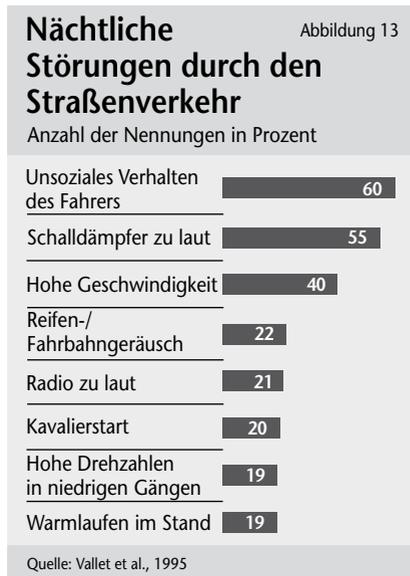
Bei geringen Geschwindigkeiten dominiert das Motorengeräusch die Gesamtemissionen eines Kfz. Dieses entsteht durch die Explosionen im Motor, durch mechanische Geräusche aus dem Antriebsstrang und durch die Luftströmung im Ansaug- und Abgastrakt. Diese Geräusche können durch gezielte Änderungen in der Fahrzeugkonstruktion reduziert werden (Abschnitt 6.1).

Neben den Motorengeräuschen sind für die Immissionsituation vor allem die Reifen-Fahrbahngeräusche von Bedeutung. Diese Rollgeräusche werden durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, wie die Abbildung 12 gezeigt hat. Die wesentlichen Faktoren sind dabei die Beschaffenheit von Reifen und Fahrbahn, auf deren schallerzeugende Aspekte im Folgenden eingegangen wird.

Ein Reifen ist eigentlich bereits ein Orchester für sich. Er verfügt über knapp zehn eigenständige Geräuschquellen. Hierunter lassen sich zwei Hauptgruppen identifizieren. Die erste umfasst die verschiedenen Vibrationen des Reifens. In diese Gruppe fallen die Schwingungen von Lauffläche und Flanke des Reifens sowie die Vibration der Profilblöcke beim Aufschlag auf die Fahrbahn und beim Lösen von dieser. Auch die Geräusche, die bei der Kraftübertragung vom Reifen auf die Fahrbahn entstehen, gehören in diese Gruppe. Bei Fahrbahnebenheiten steigen diese Geräusche sehr stark an. Die zweite Gruppe der Reifengeräusche entsteht durch Luftbewegung, vor allem durch das sogenannte „Air-Pumping“. Dieser Begriff beschreibt zwei Vorgänge während einer Reifenbewegung. Zunächst wird die Luft bei Kontakt mit der Fahrbahnoberfläche aus den Profilirillen herausgepresst, was ein pfeifendes Geräusch verursacht. Wenn der Kontakt mit der Auflagefläche beendet wird, weiten sich die Profilirillen wieder und Luft wird geräuschvoll angesaugt. Verschärft werden die Reifenemissionen durch den sogenannten „Horn-Effekt“. Dieser entsteht dadurch, dass Reifenlauffläche und Fahrbahnoberfläche einen schallverstärkenden Trichter bilden, der den vom Reifen emittierten Schall je nach Reifen- und Fahrbahnkonstruktion um bis zu 20 dB(A) verstärkt. Das „Air-Pumping“ ist umso stärker, je glatter die Fahrbahnoberfläche ist und je dichter die Profilirillen des Reifens sind. Andererseits bewirken raue

Fahrbahnoberflächen stärkere Resonanzeffekte an den Reifen (Kloepfer et al., 2006, 186 f.). Besonders laut fallen die Geräusche aus, wenn auch die Fahrbahn in Schwingung versetzt wird, was beispielsweise bei Schachtabdeckungen oder auf Brücken der Fall sein kann. Neben der Wahl der Reifen hat also auch die Textur der Fahrbahnoberfläche Einfluss auf das Rollgeräusch. Auf die Möglichkeiten der Emissionsminderung, die sich aus der Reifen- und Fahrbahnkonstruktion ergeben, wird in Abschnitt 6.1 eingegangen.

Doch auch diese Faktoren erklären nur einen Teil der Schallbelastung an den Straßen. Es zeigt sich immer wieder, dass ein beachtlicher Teil der Schallemissionen im Straßenverkehr durch Unachtsamkeit oder Mutwilligkeit der Fahrer erzeugt wird. Einen Hinweis auf die hohe Bedeutung dieser individuellen Verhaltensweisen haben Befragungen geliefert. In Abbildung 13 ist exemplarisch das Ergebnis einer solchen Befragung aus dem Jahr 1995 wiedergegeben, welche die Gründe für Störungen durch den Straßenverkehr in der als lärmsensibel geltenden Nacht ermittelte. An erster Stelle steht hier das Verhalten von Fahrern, aber auch Radiolautstärken oder Kavaliertarts werden häufig genannt. Technische Geräuschquellen wie etwa Motoren werden hingegen eher selten genannt. Diese Reihenfolge deckt sich mit der Aussage, dass Geräusche als besonders störend empfunden werden, wenn sie für vermeidbar gehalten werden. Die als störend empfundenen Verhaltensmuster werden dadurch begünstigt, dass es ein massives Vollzugsdefizit im Bereich der Lärmgesetzgebung gibt. Dies ist erneut den Eigenschaften von Schall geschuldet. Eine mutwillige Schallerzeugung, beispielsweise durch Kavaliertart oder laute Musik, ist kaum zu dokumentieren und damit auch im Nachhinein kaum beweisbar. Doch auch der Nachweis von illegalen lärmsteigernden Modifikationen an Kraftfahrzeugen ist zeit- und kostenintensiv. So müsste die Polizei ein auffälliges Fahrzeug beschlagnahmen, in einen geeigneten Teststand schaffen und einem gesetzkonformen Emissionstest unterziehen, was mehrere Tage in Anspruch nehmen kann. Aus diesen Gründen gehen Behörden selten gegen verhaltensabhängigen Schall vor (VCD, 2003, 19).



Alles in allem kann angenommen werden, dass eine Senkung der Schallemissionen eines Kfz auf 70 dB(A) zwar technisch möglich, aber auch sehr aufwendig wäre. Es ist fraglich, ob die Kunden derzeit bereit sind, die Zusatzkosten für eine solche Lärmreduktion zu bezahlen. Von daher sollte dieser Wert nicht als anzustrebender Grenzwert angesehen werden, sondern eher als Orientierungswert für das technisch Mögliche. Allerdings würde ein derart leiser Pkw zu ganz neuen Fragen führen. So sollte die Signal- beziehungsweise Alarmwirkung von Schall nicht unterschätzt werden. Gerade im Verkehrsbereich ist es wichtig, dass einzelne Schallereignisse nicht zu leise werden. So wäre ein Kfz, das nur um die 60 dB(A) emittiert, im allgemeinen Umgebungslärmniveau unter Umständen gar nicht mehr akustisch wahrnehmbar – ein solches Emissionsniveau könnte mit lärmoptimalen Reifen und Fahrbahnen wohl zumindest in der Theorie erreicht werden. Ein so leises Fahrzeug wäre aufgrund seiner geringeren Wahrnehmbarkeit für Fußgänger und Radfahrer durchaus mit einem Verlust an Verkehrssicherheit verbunden. Im Prinzip müsste es wie ein Fahrrad mit einer Klingel ausgerüstet werden (Ehinger, 2003, 50). Das Beispiel zeigt, dass das Problem Lärminderung nicht losgelöst von weiteren Umwelt- und Sicherheitsaspekten angegangen werden darf, da zwischen ihnen ein beachtliches Konfliktpotenzial besteht. So wären dünne Reifen ein Weg zur Lärmreduktion, vermindern aber die Haftung, was bei höheren Geschwindigkeiten die Fahrsicherheit beeinträchtigt.

### **5.3 Status quo Schienenlärm**

Die Lärmlage im Schienenverkehr unterscheidet sich stark von der im Straßenverkehr. Vor allem die zeitliche Struktur der Lärmbelastung und die Lautstärke der Einzelereignisse sorgen für eine ganz anders gelagerte Belastungssituation.

Insgesamt ist Schienenlärm deutlich weniger verbreitet als der Straßenverkehrslärm. Nach Angaben des Umweltbundesamts sind etwa 1,4 Prozent der deutschen Bevölkerung einem Schienenlärmpegel von mehr als 65 dB(A) ausgesetzt. Die Zahl der Betroffenen ist also im Vergleich zum Straßenverkehr überschaubar, was auch auf die Anwendung des Schienenbonus zurückzuführen sein dürfte. Doch diese Zahl gibt nur einen kleinen Teil der Lage wieder, denn unter diesen 1,4 Prozent befinden sich die wohl am stärksten von Lärm belasteten Personen in Deutschland. Am schlimmsten ist die Lage entlang der Rheinschiene, einer relativ alten, vor allem vom Schienengüterverkehr genutzten Strecke im engen Rheintal, die viele Orte durchquert (Geßner, 2003, 66). An solchen Belastungsschwerpunkten werden Mittelungspegel von deutlich mehr als 80 dB(A) erreicht. Dieser Dauerschallpegel ist an sich bereits enorm. Zum Vergleich: In einem Gewerbebetrieb müssen ab 85 dB(A) Gehörschutzmittel bereitgestellt

werden. Doch es gibt noch ein verschärfendes Element, nämlich die zeitliche Struktur der Belastungen. Im Schienenverkehr dominieren laute Einzelereignisse, die betriebsbedingt von längeren Ruhephasen eingerahmt werden. Die lautesten Schallereignisse stammen von Güterzügen. Deren Schallemissionen erreichen in einem Abstand von 25 Metern zum Gleis bis zu 95 dB(A) (Deutscher Bundestag, 1999, 190). Da der Güterverkehr zu einem großen Teil nachts abgewickelt wird, um das Schienennetz in den Hauptverkehrszeiten für den Personenverkehr zu nutzen, fallen die Belastungsspitzen häufig in die lärmsensiblen Ruhezeiten der Anwohner. Wie auch bei der Straße ist der Anteil des Güterverkehrs am Gesamtverkehr ein wichtiger Faktor für den Lärmpegel. Eine weitere Parallele zum Straßenverkehr liegt im Problem des alten Fahrzeugbestands. Auch für Schienenfahrzeuge gilt, dass neue Fahrzeuge in der Regel leiser sind als ihre Vorgängermodelle, aber eben auch, dass sich neue, lärmarme Fahrzeuge nur langsam im Bestand durchsetzen – im Schienenverkehr sogar noch deutlich langsamer als im Straßenverkehr, da zum Beispiel Waggons bis zu 40 Jahre lang im Einsatz sind. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften von Schall wirkt die Dominanz der alten Fahrzeuge extrem hemmend auf die Möglichkeiten des fahrzeugseitigen Lärmschutzes. Leise Güterwaggons würde man nämlich erst dann wahrnehmen können, wenn 80 bis 85 Prozent eines Zuges aus solchen Waggons bestehen. Abbildung 16 (Seite 80) verdeutlicht diesen ganz enormen Verzögerungseffekt. Unter den Annahmen, dass leise Neufahrzeuge im Vergleich mit den derzeitigen Modellen um 10 dB(A) geringere Schallemissionen aufweisen und der Fahrzeugbestand linear ersetzt wird, würden etwa 20 Jahre vergehen, bis sich der Mittelungspegel wahrnehmbar verringert. Die vollen 10 dB(A) werden erst nach Ablauf der durchschnittlichen Lebenserwartung der Waggons wirksam – also nach 40 Jahren.

Nach Angaben aus dem Bahn-Umwelt-Zentrum gibt es in Deutschland etwa 3.400 Streckenkilometer mit Lärmsanierungsbedarf (Stand 2003).<sup>18</sup> Das entspricht etwas weniger als 10 Prozent des Betriebsnetzes. Zur Sanierung, auf die – wie in Abschnitt 4.2 ausgeführt – keinerlei Rechtsanspruch besteht, werden im Zuge eines freiwilligen Sanierungsprogramms pro Jahr knapp 50 Millionen Euro bereitgestellt. Bei diesem Einsatz wären die knapp über 3.000 Sanierungsabschnitte ungefähr im Jahr 2040 abgearbeitet (Geßner, 2003, 65). Da bis 2003 erst 10 Prozent der als besonders sanierungsbedürftig geltenden Gleisstrecken saniert werden konnten, soll dieses Programm ausgebaut werden. In Zukunft will der Verkehrsminister pro Jahr 100 Millionen Euro für das Schienenwegelärmsanie-

---

<sup>18</sup> Unter der Annahme, dass Sanierungsbedarf bei einer Belastung von 70 dB(A) am Tag und 60 dB(A) in der Nacht besteht.

rungsprogramm bereitstellen. Diese Beschleunigung des Programms scheint dringend geboten. Immerhin fallen in Deutschland 1.300 Kilometer Schienenstrecke in die erste Bearbeitungsphase der EU-Umgebungslärmrichtlinie, während in der zweiten Phase sogar knapp 4.000 Kilometer zu untersuchen sein werden.

Betrachtet man einzelne Fahrzeuge, sind die Lärmprobleme an Straßen und Schienen schon eher vergleichbar. Auch im Schienenbereich bestimmen bei geringen Geschwindigkeiten hauptsächlich die Motorengeräusche die Schallemissionen. Ab etwa 60 km/h dominiert das Rollgeräusch und erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten überwiegen die aerodynamischen Geräusche. Stellt man die je nach Geschwindigkeit gemessenen Schallemissionen eines Zuges grafisch dar, so besitzen die durch die dominante Schallquelle abgegrenzten drei Teilabschnitte jeweils eine charakteristische Steigung. Es fällt auf, dass diese über die Geschwindigkeit deutlich wächst. In einem Test mit einem Hochgeschwindigkeitszug ergab sich für den Achsenabschnitt der Antriebsgeräusche eine Emissionssteigerung von 3 dB(A) bei einer Verdoppelung der Geschwindigkeit. In dem Bereich, wo Rollgeräusche dominieren, lag der Zuwachs bereits bei 9 dB(A) (Kloepfer et al., 2006, 208).

Lokomotiven besitzen ebenso wie Kfz zahlreiche Lärmquellen: Motoren, Lüfter, Transformatoren und so weiter. Auch die Vibrationen des Fahrzeugkörpers spielen im Schienenverkehr eine sehr wichtige Rolle. Wird erst einmal der ganze Zug zum Vibrieren gebracht, wird es sehr laut. Alles in allem ist jedoch die Annahme realistisch, dass die Rollgeräusche die wichtigste Quelle für Schienenlärm sind. Daher soll im Folgenden das Augenmerk speziell auf diesen Bereich gerichtet werden.

Rollgeräusche im Schienenverkehr sind sehr von der Wartung abhängig. Die wohl wichtigste Quelle für Schienenlärm sind Unebenheiten auf Schienen und Radreifen. Kleine Riffeln auf der Schiene bewirken, dass sowohl der Zug als auch die Schiene zu Schwingungen angeregt werden, die jeweils mit erheblichem Lärm verbunden sind. In Tests wurden durch Riffeln von gerade einmal 0,4 Millimetern Tiefe und vier bis sieben Zentimetern Länge Emissionssteigerungen von 23 dB(A) gemessen – also eine Zunahme um das 200-Fache. Verriffelte Radflächen können bis zu 10 dB(A) höhere Schallemissionen verursachen. Eine wesentliche Ursache für das Entstehen von Riffeln ist der Einsatz von Graugussklotzbremsen an Wagons. Diese fräsen geradezu die Riffeln in die Räder. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das sogenannte Kurvenkreischen. Dieser Begriff beschreibt folgenden Vorgang: In einer Kurve besteht für das innere Rad keine Zwangsführung mehr. Es rutscht quasi in einer Querbewegung über die Schiene, wobei ein extrem lautes und vom Frequenzbereich her sehr unangenehmes Geräusch entsteht. Dieses

Geräusch hängt vom Kurvenradius und der Geschwindigkeit ab. In schweren Fällen erhöht das Kurvenkreischen die Rollgeräusche um 20 bis 30 dB(A). In einem Messabstand von 7,5 Metern zu S-Bahnkurven wurden bereits Pegel von 110 dB(A) gemessen.<sup>19</sup> Bei der Berechnung von Schallemissionen wird daher für Schienenwegskurven mit einem Radius von 25 Metern pauschal ein Aufschlag von 8 dB(A) eingerechnet.

Ein weiterer bestimmender Faktor für das Rollgeräusch von Schienenfahrzeugen ist das Gleisbett. Wie im Straßenverkehr hat die Textur der Oberfläche einen großen Einfluss auf die Schallemissionen, da sie entweder einen Teil der Emissionen von Fahrzeugen und Schienenwegen absorbiert oder die gesamten Schallwellen reflektiert. Je glatter und kompakter das Gleisbett, desto größer ist der reflektierte Anteil. Besonders laut sind deshalb die Betongleisbetten von Hochgeschwindigkeitsstrecken und der häufig asphaltierte Unterbau von Straßenbahnen. Schotterbetten oder Grünflächen haben sich hingegen als schallmindernd erwiesen. Das Gleisbettproblem kann durchaus in Zukunft noch größer werden: Denn neue Schienenstrecken entstehen fast nur noch in den Bereichen Hochgeschwindigkeit und S-Bahn – also ausgerechnet in den lautesten Schienenkategorien.

## 5.4 Status quo Fluglärm

Der Luftverkehr ist enorm gewachsen. Seit 1970 betrug das jährliche Wachstum im weltweiten Luftverkehr knapp 5 Prozent. Auch in Deutschland stieg die Zahl der Flugbewegungen erheblich. Am wichtigsten deutschen Flughafen in Frankfurt/Main betrug der Zuwachs zwischen 1989 und 2001 rund 50 Prozent (Haag, 2003, 40). Im gleichen Zeitraum blieben die gemessenen Dauerschallpegel aber gleich oder gingen sogar leicht zurück. Der Trend geht somit zu mehr, aber dafür leiseren Schallereignissen im Flughafenumfeld. Es ist also durchaus gelungen, die Zahl der Flugbewegungen und die Lärmbelastung zu entkoppeln. Allerdings bleibt das Belastungsniveau im Flughafenumland dennoch hoch, vor allem bei Nachtflügen.

Wie die anderen Verkehrsträger leidet auch die Lärminderung im Luftverkehr unter dem Alter der eingesetzten Maschinen. Ein Flugzeug hat eine Nutzungsdauer von 25 bis 30 Jahren. Allerdings ist der Flugzeugbestand in den Industrieländern deutlich jünger. So ist die Flotte der Lufthansa im Durchschnitt knapp acht Jahre alt. Für die wirklich alten Flugzeuge gelten hierzulande außerdem Landeverbote. Sie sind also für die Situation in Deutschland unbedeutend. Es ist

---

<sup>19</sup> Für eine umfassende Erklärung von Rollgeräuschen und Kurvenkreischen siehe Kloepfer et al. (2006, 211 ff.).

aber darauf hinzuweisen, dass Verkehrsflugzeuge aufgrund der enormen Entwicklungskosten einen sehr langen Modellzyklus haben: Bei einer Neuanschaffung ist es daher nicht unwahrscheinlich, dass es sich um ein nur punktuell überarbeitetes Modell handelt. Ambitionierte Neuregelungen der Emissionsgrenzwerte können daher nicht so schnell in neue Modelle umgesetzt und im Praxisbetrieb wirksam werden.

Fluglärm weist gegenüber den anderen Verkehrsarten einige Besonderheiten auf. Eine Eigenheit der Lärmemissionen im Luftverkehr besteht darin, dass nur ein Bruchteil der gesamten Flugzeit für die Lärmbetrachtung relevant ist. Lediglich die Start- und Landevorgänge sind hier von Interesse, denn über den Wolken ist der Raum, in dem sich der Schall ausbreiten kann, in der Tat grenzenlos. Anders ausgedrückt: Wo niemand ist, der Lärm wahrnehmen kann, ist auch die Schallemission vollkommen egal. Allerdings sind Start und Landung gerade die Teile des Flugs, die mit den meisten Schallemissionen verbunden sind. Sie treten zudem hoch konzentriert auf und können somit auch für erhebliche punktuelle Belastungen sorgen.

Bei Start und Landung gibt es mehrere dominante Geräuschquellen. Während des Startvorgangs arbeiten die Triebwerke unter Volllast. Dementsprechend dominieren sie auch die Schallemissionen. Wie bereits erwähnt, konnten die Startlärmmwerte in der Vergangenheit massiv reduziert werden (Abbildung 9). Seit den fünfziger Jahren sind die gemessenen Pegel um 25 EPNdB(A) zurückgegangen. Das hat sich in der Größe der von Startvorgängen beschallten Gebiete bemerkbar gemacht. Hierzu ein Beispiel: Beim Start einer älteren Version der Boeing 737, nämlich der 737-200, wurde noch eine Fläche von 9,1 km<sup>2</sup> mit 85 dB beschallt. Bei der etwa zehn Jahre jüngeren Version 737-600 waren nur noch 1,3 km<sup>2</sup> von dieser hohen Schallemission betroffen. Diese Fläche entspricht im Wesentlichen der Startbahn.

Beim Landevorgang ist das Triebwerksgeräusch hingegen beinahe zu vernachlässigen. In dieser Flugphase dominieren die Luft-

### Konfigurationsabhängige Änderung der Schallemission von Flugzeugen

Abbildung 14

Angaben in dB

Vorflügel	5
Klappen 20°	4
Klappen 35°	7
Klappen 45°	9,8
Fahrwerk draußen, Luken zu	6,8
Fahrwerk draußen, Luken auf	9,8
Klappen 45°, Vorflügel und Fahrwerk draußen, Luken zu	10,8

Quelle: Kloepfer et al., 2006, 227

strömungsgeräusche. Sie entstehen vor allem dadurch, dass zur Landung der Luftwiderstand erhöht wird, um das Flugzeug abzubremsen und Auftriebshilfen an den Flügeln zu erzeugen. Auch das Ausfahren des Fahrwerks hat großen Einfluss, da es den Luftwiderstand signifikant erhöht. Abbildung 14 stellt dar, wie sich die einzelnen Vorgänge des Landeanflugs auf die durchschnittlichen Schallemissionen auswirken. Es wird deutlich, dass der Zeitpunkt, an dem die Landekonfiguration eingenommen wird, einen wichtigen Einfluss auf die Lärmbelastung in der Flughafenumgebung hat. Immerhin bewirkt das Einnehmen der endgültigen Landekonfiguration Mehremissionen von knapp 11 dB. Allein das Ausfahren des Fahrwerks sorgt bereits für eine Steigerung um 5 dB. Daraus folgt, dass sich der beschallte Bereich deutlich verringern lässt, wenn die Landekonfiguration möglichst spät hergestellt wird. Erwähnenswert ist übrigens, dass die meisten Schallemissionen des Landevorgangs im niederfrequenten Bereich bei etwa 200 Hz liegen, in dem das menschliche Ohr wenig empfindlich ist. Von daher ist der Start aus Sicht der Anwohner wohl der belastendere Vorgang.

## 6

## Lärmvermeidungspotenziale

Die Präsenz von Lärm in der unmittelbaren Umgebung des Menschen ist nicht zu verhindern, da Schall beziehungsweise Lärm untrennbar mit unserem sozialen Zusammenleben verbunden sind. Dennoch kann und muss das Ziel verfolgt werden, die derzeitige Umgebungslärmbelastung der Bevölkerung zu verringern. Da der Verkehr als die wichtigste Quelle von Lärm im Wohnumfeld identifiziert wurde, sind die verschiedenen Stakeholder im Verkehrsbereich besonders gefordert, Mittel und Wege zur Reduktion des Umgebungslärmpegels zu finden.

Im Prinzip kann Lärmschutz an allen Punkten der Kausalkette Emission-Transmission-Immission ansetzen. Die nachhaltigste Methode ist dabei eine Senkung der Lärmemissionen, also der aktive Lärmschutz. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen.

So können technische Innovationen genutzt werden. Es ist möglich, leisere Autos, Bahnen und Flugzeuge zu entwickeln. Der allgemeine Trend zu leiseren Verkehrsmitteln hat schon zu erheblichen Fortschritten geführt. Auf diese Weise konnten die Auswirkungen der steigenden Fahrleistungen teilweise kompensiert

werden. Weitere Fortschritte sind im technischen Bereich zwar durchaus noch möglich, doch sind die Potenziale bereits zu einem erheblichen Teil ausgeschöpft. Technische Fortschritte an den Neufahrzeugen können die Lärmbelastungslage ohnehin nur sehr langfristig entspannen, da sich die leiseren Fahr- und Flugzeuge nur langsam im Bestand verbreiten und der Gesamtpegel vor allem von den lautesten Schallquellen bestimmt wird.

Im Straßen- und Schienenverkehr hat neben den technischen Eigenschaften des Fahrzeugs auch die Beschaffenheit des Fahrwegs großen Einfluss auf den Umgebungslärmpegel. Denn ein Eingriff am Fahrweg bedeutet, dass die Emissionsminderungen unmittelbar nach Abschluss der Baumaßnahmen wirksam werden.

Eine dritte Möglichkeit besteht darin, die Verkehrsströme neu zu organisieren und gegebenenfalls umzulenken. Raum- und Verkehrsplanung können auf diese Weise einen fühlbaren Beitrag leisten, den Umgebungslärmpegel zu reduzieren. Dies ist gerade im Luftverkehr eine interessante Option, da die Flugrouten verhältnismäßig leicht zu verändern sind.

Wenn diese Ansätze zur Emissionsminderung nicht den gewünschten Erfolg bringen, besteht immer noch die Option, die Schallausbreitung im Raum (Transmission) oder die Immission von Lärm zu behindern. Dies kann vor allem durch bauliche Maßnahmen geschehen.

Die Lärmemissionen der einzelnen Verkehrsträger unterscheiden sich recht stark (Kapitel 5). Daher sind die Lärminderungspotenziale bei den verschiedenen Verkehrsträgern nicht gleich groß, sondern fallen unterschiedlich aus. Gleiches gilt für die Kosten der Lärminderung. Vor allem die Straße als Träger des Individualverkehrs ist von Besonderheiten gekennzeichnet, die es zu beachten gilt, wenn die bestehenden Lärminderungspotenziale erschlossen werden sollen. Im Folgenden sollen daher die technischen Möglichkeiten verkehrsträger-spezifisch aufgezeigt werden. Nach einem Überblick über die zu erwartenden Kosten wird zum Abschluss noch einmal auf die Lärminderungspotenziale von Raumplanung und von baulichem Lärmschutz eingegangen.

## **6.1 Lärmvermeidung im Straßenverkehr**

Die Lärmbelastung an Straßen setzt sich aus den Schallemissionen von vielen unterschiedlichen Quellen zusammen. Dementsprechend gibt es auch viele verschiedene Möglichkeiten, die Schallemissionen zu verringern.

Allerdings ist zu betonen, dass die Wirksamkeit der im Folgenden diskutierten Lärmierungsmaßnahmen von vielen situativen Faktoren abhängt. Neben lokalen Besonderheiten wie etwa der Bebauung wäre beispielsweise der Straßentyp zu nennen. Ansätze, die an Autobahnen Erfolg versprechend sind, können an

städtischen Straßen praktisch wirkungslos sein. Ein weiterer Punkt ist die Verkehrsmischung. Die Konstruktionsunterschiede von Lkw und Pkw bewirken, dass Lärminderungsmaßnahmen an Straßen mit hohem Lkw-Anteil anders strukturiert werden müssen als an Straßen mit überwiegendem Pkw-Verkehr. Auch der Anteil von Motorrädern ist zu beachten – sie sind meist die lautesten Fahrzeuge auf den Straßen und konzentrieren sich häufig auf bestimmte Strecken. Da zwischen den Emissionen eines leisen Pkw und eines lauten Motorrads Pegelunterschiede von mehr als 30 dB(A) bestehen können, wird eine hohe Motorradquote den Immissionspegel erheblich nach oben treiben.

Abgesehen von diesen lokalen Einflüssen gibt es im Wesentlichen drei technische Ansatzpunkte zur Bekämpfung von Lärmemissionen im Straßenverkehr: den Antriebsstrang, die Reifen und die Fahrbahnen. Neben diesen technischen Faktoren ist auch das Verhalten der Fahrer zu beachten. Hierin unterscheidet sich die vom Individualverkehr geprägte Straße sehr stark von den Massenverkehrsträgern Eisenbahn und Flugzeug, wo nur „Profis“ am Steuer sitzen.

Am meisten ist bislang bei der Lärmdämmung von Motor und Antriebsstrang geschehen. Bei einem Pkw gelten inzwischen alle Teile des Antriebsstrangs als akustische Komponenten und werden dementsprechend in der Fahrzeugentwicklung behandelt. Einen wesentlichen Anteil an den bisherigen Erfolgen in der fahrzeugseitigen Lärminderung hatte die Kapselung von Motor und Getriebe. Diese lauten Komponenten sind also in eine schallabsorbierende Ummantelung gesteckt worden. Dieses Vorgehen hat allerdings den Nachteil, dass eine umfangreiche Kapselung viel Platz im Fahrzeug in Anspruch nimmt und einiges an Zusatzgewicht verursacht. Derartige Schritte haben die Emissionen erheblich gesenkt, weshalb Minderungspotenziale am Fahrzeug als weitgehend ausgeschöpft gelten (Kalivoda, 1999, 55). Doch auch wenn das weitere Reduktionspotenzial recht überschaubar bleibt, gibt es noch einige Möglichkeiten, mit denen Fahrzeughersteller die Emissionen ihrer Produkte senken können. So könnte das Motor- und Getriebegeräusch beispielsweise durch den Einsatz von stufenlos verstellbaren Getrieben (CVT-Getriebe) reduziert werden. Auch eine Versteifung der kraftübertragenden Strukturen oder die akustische Optimierung des Verbrennungsprozesses bieten noch Lärminderungspotenziale (Spessert, 2003, 64). Dazu werden aber recht erhebliche konstruktive Änderungen im Fahrzeug nötig, die nicht kurzfristig umsetzbar sind. Mittel- bis langfristig sehen Ingenieure aber ein Minderungspotenzial von 4 bis 5 dB(A) durch technische Änderungen am Fahrzeug. Daneben könnten auch einige technische Eingriffe vorgenommen werden, die primär darauf abzielen, das Verhalten der Fahrer zu beeinflussen. So könnte beispielsweise ein Pegelbegrenzer für Stereoanlagen manche Belastungsspitze verhindern – sofern

er nicht mit Leichtigkeit zu entfernen ist (DAL, 2003, 9). Für Fahrzeughersteller sind solche Eingriffe in die Handlungsfreiheit der Fahrer aber ein kritischer Bereich. Eine Einsicht der Fahrer wäre in jedem Fall besser.

Während Motor und Antriebsstrang in den letzten 30 Jahren deutlich leiser wurden, entwickelten sich die Schallemissionen der Reifen in die entgegengesetzte Richtung – sie wurden spürbar lauter (Kühne, 2003, 14). Jedoch sind auch die Anforderungen an die Reifen in dieser Zeit erheblich angestiegen. Um das Jahr 1970 wurden die Autos noch mit sehr schmalen Reifen ausgestattet (Fürst, 2003, 9). Aus heutiger Sicht wären die damaligen Reifen allerdings ein Sicherheitsrisiko – ihre Bremseigenschaften lassen gegenüber modernen Reifen zu wünschen übrig. Gerade auf die Bremswirkung hat sich die Reifenentwicklung seitdem konzentriert. Bei modernen Reifen lässt sich allerdings nach Angaben des Umweltbundesamts und des TÜV kein signifikanter Zusammenhang von Abrollgeräuschen und Gebrauchseigenschaften mehr feststellen (Stenschke, 2003, 33). Auch die Breite der Lauffläche hat inzwischen nur noch einen beschränkten Einfluss auf die Geräuschemissionen des Reifens. Stattdessen haben Tests gezeigt, dass es innerhalb der verschiedenen Reifenklassen extrem unterschiedliche Rollgeräuschpegel gibt. Ein lärmender Reifen kann bis zu 7 dB(A) lauter sein als ein besonders leises Produkt aus derselben Kategorie. Auch im Vergleich zu einem Durchschnittsprodukt verursachen laute Reifen knapp 3 dB(A) höhere Emissionen. Der Grund für diese extremen Unterschiede dürfte darin liegen, dass die Geräuschreduktion bislang einen eher geringen Stellenwert bei der Entwicklung neuer Reifen hatte. Auch die wenig anspruchsvollen Grenzwerte für die Schallemissionen von Reifen (Tabelle 9) dürften hier eine Rolle gespielt haben. Die für 2009 geplanten Grenzwerte werden bereits heute von den meisten am Markt erhältlichen Reifen eingehalten. Weil die Kunden über die Geräuscheigenschaften von Reifen häufig nicht ausreichend informiert sind, können auch die sehr lauten Produkte weiterhin am Markt bestehen.<sup>20</sup> Somit spricht vieles dafür, diese Grenzwerte zu verschärfen.

Neben den Eigenschaften der Reifen bestimmt die Fahrbahnbeschaffenheit das Ausmaß der Rollgeräusche. Wie bereits in Abschnitt 5.2 angedeutet wurde, ist die Oberflächentextur einer der wichtigsten Faktoren für die Lärmwirksamkeit von Fahrbahnbelägen. Insbesondere im Pkw-Verkehr ist die Textur entscheidend für das Zusammenspiel von Reifen und Fahrbahn, während Lkw-Reifen in der Regel weniger empfindlich auf den Straßenbelag reagieren (ADAC, 2006, 26). Unter den Oberbegriff Textur fallen hier sämtliche Unebenheiten der Fahrbahn-

---

<sup>20</sup> Listen mit leisen Reifen sind beim Umweltbundesamt, dem VCD und dem ADAC erhältlich.

oberfläche, von großen Unebenheiten bis hin zur Kornrauigkeit der verwendeten Materialien. Je nach Zustand kann die Oberflächentextur lärmsteigernd wirken, da sie den Reifen oder sogar das ganze Fahrzeug in Schwingungen versetzt, oder sie kann Teile der Schallemissionen abfangen. Der erste Fall ist beispielsweise bei Kopfsteinpflaster gegeben, während der lärmmindernde Zustand vor allem mit offenporigem Asphalt (OPA) erzielt wird, der auch als Drain- oder Flüsterasphalt bekannt ist.

OPA besitzt in der oberen Deckschicht einen relativ großen Anteil an groben Gesteinskörnern, die im Fahrbahnbelag zusammenhängende Hohlräume bilden – was dem Ganzen eine schwammartige Grundstruktur gibt. Darunter befindet sich eine wasserdichte Schicht aus Bitumen, die verhindern soll, dass Wasser in den Straßenunterbau läuft. Der Hauptvorteil von OPA liegt darin, dass er das Air-Pumping und den Horneffekt deutlich reduziert. Dies wird dadurch erreicht, dass sowohl Luft als auch Schallwellen über die Hohlräume in den Boden eindringen können und dort teilweise absorbiert werden. Der schallverstärkende Trichter zwischen Lauffläche und Fahrbahn wird damit zum großen Teil aufgelöst. Ein erfreulicher Nebeneffekt besteht darin, dass es vor allem die als besonders unangenehm zu klassifizierenden hohen Töne mit einer hohen Frequenz sind, die vom OPA geschluckt werden.

Diese Eigenschaften machen OPA-Fahrbahnen für Straßen interessant, an denen das Reifen-Fahrbahngeräusch die dominante Komponente der Gesamtemissionen darstellt. Dies ist an Straßen der Fall, auf denen der Verkehr mit Geschwindigkeiten zwischen 40 und 130 km/h fließt. Im innerstädtischen Raum dagegen mit seinen tendenziell geringeren Fahrgeschwindigkeiten – und insbesondere in Tempo-30-Zonen – ist der Einsatz von OPA hingegen eher sinnlos und bislang auch nicht zulässig. In einigen Nachbarländern wird OPA inzwischen im großen Maßstab verbaut. Auch in Deutschland wurden bereits einige Tests mit OPA-Belägen durchgeführt, die teilweise erhebliche Schallemissionsreduktionen ergaben. Ein Vergleichstest des TÜV Nord brachte beispielsweise eine Senkung des Vorbeifahrpegels von Pkw von 8,5 dB(A) bei der Verwendung eines OPA-Belags. Für Lkw betrug der Rückgang immerhin noch 6,5 dB(A) im Vergleich mit einem gebräuchlichen Splittmastixbelag (Steven, 2005, 92). Ähnliche Ergebnisse erbrachten auch Tests der HeidelbergCement AG, die Schallemissionsminderungen von 6 bis 7 dB(A) ermittelte (Felsch, 2003, 26). Allerdings hängen die erreichbaren Pegelminderungen im erheblichen Umfang von der angesetzten Fahrgeschwindigkeit ab. So fallen die Reduktionspotenziale im Pkw-Bereich beispielsweise bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h deutlich geringer aus als bei 70 km/h.

Wesentliche Vor- und Nachteile des Einsatzes von OPA sind in Übersicht 1 zusammengefasst. Für den OPA spricht neben der insgesamt erzielbaren Lärm-minderung vor allem, dass sie sofort nach dem Einbau wirksam wird und den Pegel jedes Fahrzeugs senkt. Allerdings ist die Einschränkung zu machen, dass die Pegelminderung je nach verwendetem Reifentyp unterschiedlich groß ausfällt. Neben den guten akustischen Eigenschaften erhöht OPA auch die Verkehrs-sicherheit bei Regen, da das Wasser in ihm versickern kann. Dies verhindert nachhaltig die Gefahr von Aquaplaning.

Doch der Einsatz von OPA ist auch mit einigen Nachteilen verbunden. So sind die Kosten für Bau und Unterhalt einer OPA-Strecke deutlich höher als der Ein-satz einer konventionellen Fahrbahndecke. Für die Baukosten ist ein Vergleich in

## Vor- und Nachteile offenporiger Fahrbahnbeläge (OPA)

Übersicht 1

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pegelminderung für Pkw-Reifen gegenüber dichten Fahrbelägen beträgt anfangs bis zu 10 dB(A), für Lkw-Reifen bis zu 8 dB(A).</li> <li>• Pegelminderung wirkt auf dem gesamten Straßenraum; bei beidseitiger Bebauung ist der OPA-Einbau besonders effektiv, auch höher liegende Stockwerke können geschützt werden.</li> <li>• Zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen können reduziert werden oder entfallen.</li> <li>• Zweischichtige offenporige Asphaltdeck-schichten (ZOPA) mindern das Reifenabroll-geräusch bereits bei Geschwindigkeiten ab 40 km/h.</li> <li>• Weniger aggressives Lärmbild durch Wegfall der hohen Frequenzen.</li> <li>• Hoher Fahrkomfort; angenehmeres Fahrzeuginnengeräusch.</li> <li>• Pegelminderung auch bei nasser Fahrbahn, keine Pegelerhöhung und Frequenzver-schiebung („Zischen“).</li> <li>• Verkehrssicherheit: bei Nässe kein Aqua-planing, kaum Sprühfahnenbildung, reduzierter Bremsweg und kaum Blend-wirkung bei Dunkelheit.</li> <li>• Bei Regen kein Anspritzen der Fußgänger und Radfahrer.</li> <li>• Hohe Verformbeständigkeit, geringe Spurrinnenbildung, hohe Griffigkeit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Kosten; hohe Anforderungen an die Bauindustrie im gesamten Herstellungs- und Einbauprozess.</li> <li>• Bei Innerortsstraßen besondere Entwässerungseinbauten erforderlich.</li> <li>• Besondere Anforderungen an den Winterdienst.</li> <li>• Nachlassen der akustischen Minderungswirkung bei fehlerhaftem Einbau oder unsachgemäßem Betrieb.</li> <li>• Bei Innerortsstraßen porentiefe Reinigungen erforderlich, ebenso Reinigung der Entwässerungsrinnen.</li> <li>• Der offenporige Asphalt ist anfällig gegen Schub- und Scherkräfte; er ist zudem weniger geeignet: im Bereich von kurvigen Straßenabschnitten, bei einem Längsgefälle größer 5 Prozent, für Kreuzungen, Ampeln, Kreisverkehre, Abbiegestreifen mit Schwerverkehr, Parkbuchten, Bushaltestellen, Straßen mit landwirtschaftlichem Verkehr, Ein- und Ausfahrten zu und von gewerblichen Anlagen, Alleen (wegen starken Laubansfalls), Straßen mit Schneekettenpflicht im Winter, Einmündungen mit hohem Schmutzeintrag.</li> </ul>

Quelle: Stadt Ingolstadt, 2006

Tabelle 14 gezogen. Das Beispiel beschreibt ein Bauprojekt in Ingolstadt, bei dem eine Schallschutzwand errichtet und durch den Einsatz von OPA ergänzt werden sollte. Die reinen Einbaukosten des OPA lagen mit knapp 350.000 Euro rund fünfmal so hoch wie die Kosten konventionellen Splittmastixbelags (SMA), der in diesem Fall nur rund 70.000 Euro gekostet hätte. Dass sich die Stadt dennoch für den OPA entschied, lag daran, dass die Schallschutzwand sehr viel kleiner und damit auch billiger ausfallen konnte. Dieser Effekt war so groß, dass im dargestellten Fall insgesamt gut 1,1 Millionen Euro eingespart werden konnten.

## Kosten des Einsatzes von OPA

Tabelle 14

Ausgeführte Maßnahme	Einheitspreis, in Euro	Fläche/laufendem Meter	Kosten, in Euro
Spartenumlegung			23.400
ZOPA-Belag (inkl. Sami-Schicht)	21,00/m <sup>2</sup>	ca. 9.500 m <sup>2</sup>	199.500
Entwässerung (einseitig)	108,00/m <sup>2</sup>	ca. 970 m	105.000
Auslegung der Deckschicht			11.000
Schallschutzwand 2 bis 3 m		2.176 m <sup>2</sup>	775.000
Insgesamt			1.113.900
<b>Vergleichswert: konventioneller Asphalt</b>			
SMA-Belag	5,50/m <sup>2</sup>	ca. 9.500 m <sup>2</sup>	52.300
Gussasphalt-Rinne	13,50/m <sup>2</sup>	ca. 970 m	13.100
Straßensinkkästen	350,00/Stück	ca. 30 Stück	10.500
Schallschutzwand mit erforderlicher Erhöhung und erhöhtem Gründungsaufwand	356,00/m <sup>2</sup>	2.176 m <sup>2</sup> + 2.460 m <sup>2</sup> + Zuschlag	775.000 + 876.100 + ca. 500.000
Insgesamt			2.227.000

Quelle: Beckenbauer, 2006, 18

Dieses Beispiel zeigt, dass sich der Einsatz von OPA vor allem an Belastungsschwerpunkten anbietet. Neben den höheren Baukosten müssen auch die hohen Unterhaltskosten von OPA als Nachteil gelten. Diese entstehen vor allem dadurch, dass OPA schneller altert als SMA und darüber auch seine akustischen Vorteile kleiner werden. Insgesamt hat OPA eine Lebenserwartung von acht bis zehn Jahren. In dieser Zeit müssen die Poren des OPA zudem mehrfach gereinigt werden, da sonst Schmutz die Hohlräume verschließt und die schallschluckenden Eigenschaften vermindert (Beckenbauer, 2006, 9). Doch auch eine jährliche

Reinigung kann nicht verhindern, dass die Schallabsorptionsfähigkeit nachlässt. Seine volle Wirksamkeit entfaltet OPA nur etwa ein halbes Jahr lang (ADAC, 2006, 34). Um die Nachteile des OPA zu verringern, wird er derzeit beispielsweise zum zweilagigen offenporigen Asphalt (2OPA oder ZWOPA) weiterentwickelt. Dieser verfügt über zwei Schichten mit offenporigem Belag, wobei die obere Schicht kleine Hohlräume besitzt. Mit 2OPA wurden bei ersten Tests ähnliche Pegelminderungen erreicht wie mit einfachem OPA. Bei Tempo 70 konnte für Pkw eine Reduktion von 7 dB(A) gegenüber SMA nachgewiesen werden (Wende et al., 2004, 1). Zudem ist die Verschmutzungsneigung geringer, weshalb die Wirkungsverluste und die Unterhaltskosten gegenüber OPA viel niedriger ausfallen.

Neben dem möglichen Einsatz von OPA-Varianten gibt es aber noch eine wesentlich einfachere Möglichkeit, die Lärmemissionen mit Maßnahmen an der Fahrbahn zu reduzieren – nämlich die Sanierung beschädigter Fahrbahnen. Fugen und Rillen verursachen Lärm. Solange viele Fahrbahnoberflächen in den Städten wie ein Flickenteppich aussehen, verspricht dieser Ansatz erhebliche Reduktionen. Zudem sind Sanierungen nicht auf wenige Einsatzgebiete beschränkt, sondern können den Lärm überall verringern.

Wenn von Lärmreduktionspotenzialen gesprochen wird, kann das Verhalten der Autofahrer nicht ausgeklammert werden. Hierin liegt ein größeres Reduktionspotenzial als in der Fahrzeugtechnik. Immerhin verursacht eine akustisch ungünstige Fahrweise bereits Emissionszunahmen von 3 bis 4 dB(A). Bei einer mutwillig lauten Fahrweise liegt die zu erwartende Pegelzunahme noch deutlich höher (Kloepfer et al., 2006, 291). Vor allem die nächtlichen Belastungsspitzen sind im Straßenverkehr eher die Folge von individuellem Fehlverhalten als von Verkehrsmenge oder eingesetzter Technologie.<sup>21</sup> Da Lärmwahrnehmung auch davon abhängt, ob man das Schallereignis für vermeidbar hält (Abschnitt 2.1), sind die Folgen rücksichtslosen Verhaltens im Straßenverkehr auch besonders belästigend (vgl. Abbildung 13). Einige dieser Verhaltensweisen könnten durch Aufklärung bekämpft werden. Immerhin spart der Verzicht auf Kavaliertests und hoctouriges Fahren auch Kraftstoff und damit das Geld der Autofahrer. Eine Aufnahme von Regeln für niedertouriges Fahren in die generelle Fahrausbildung könnte sich als hilfreich erweisen. Weitere verhaltensabhängige Lärmreduktionspotenziale können dagegen wohl nur durch einen besseren Vollzug der Lärmschutzgesetze erschlossen werden. Dafür ist die gründlichere Verfolgung von

---

<sup>21</sup> Diese Aussage gilt natürlich nur in normalen städtischen Gebieten. An Autobahnen oder Bundesstraßen im Stadtgebiet dürfte die nächtliche Verkehrsmenge für die Belastungslage wichtiger sein.

Motorradfahrern mit manipulierten Luftfiltern oder Schalldämpfern ein gutes Beispiel. Alles in allem liegen im Fahrerverhalten die effizientesten Lärmmindeungspotenziale im Straßenverkehr. Die Potenziale lassen sich aber nur dann effizient realisieren, wenn sich Fahrer freiwillig zu lärmminderndem Verhalten entschließen. Zwangsmaßnahmen scheinen hingegen wenig Erfolg versprechend, weil Lärmvergehen sich nur schwer nachweisen lassen. Hier ist viel Überzeugungsarbeit gefragt.

## 6.2 Lärmvermeidung im Schienenverkehr

Bei gleicher Transportmenge ist ein Güterzug lauter als der Straßentransport per Lkw. Lärm ist das größte Umweltproblem des Schienenverkehrs. Im Bereich des Lärmschutzes hinkt die Schiene um bis zu 20 Jahre hinter dem Straßenverkehr her (vgl. Geßner, 2003, 65). Diese Situation ist wohl zum großen Teil darauf zurückzuführen, dass sich der Staat als quasi alleiniger Besitzer der Schienenverkehrsunternehmen – und damit auch als einziger Verursacher von Schienenlärm – bislang nie dazu berufen fühlte, den Schienenlärm zu bekämpfen. Mit Sicherheit hat das völlige Fehlen von Emissionsgrenzwerten die Entwicklung von leisen Schienenfahrzeugen behindert. Betrachtet man die Belastungslage im Schienenverkehr, so ist offensichtlich, dass es hier im Gegensatz zum Straßenverkehr zunächst darum gehen muss, die absoluten Belastungsspitzen zu reduzieren. Der Fokus sollte somit auf dem Schienengüterverkehr liegen.

Die Möglichkeiten der Bekämpfung von Schienenlärm wurden unter anderem auf europäischer Ebene in der „Workgroup Railway Noise“ diskutiert. Dieses Expertengremium hat seine Prioritäten für die Schienenverkehrslärmbekämpfung im Jahr 2003 veröffentlicht. Das Ergebnis war eine Rangfolge von 29 Instrumenten, von denen die wichtigsten in Abbildung 15 aufgeführt sind. Diese Liste basiert auf einer Punktevergabe durch die Mitglieder der Arbeitsgruppe – auf eine einheitliche Rangfolge konnten sie sich nicht einigen. Positiv ist zu vermerken, dass die Maßnahme mit der höchsten Priorität inzwischen umgesetzt wurde. Mit der TSI Lärm wurden erstmals Emissionsgrenzwerte für Schienenneufahrzeuge eingeführt.

Unter den aufgeführten Maßnahmen sind im Prinzip nur zwei technologisch basierte Ansätze. Der wichtigere von beiden ist das Umrüsten des bestehenden Fahrzeugbestands. Diese Maßnahme steht in der abgebildeten Hierarchie nur an achter Stelle, da sich die angegebene Bewertung auf alle Schienenfahrzeuge bezieht. Für den Schienengüterverkehr allein hätte dieses Instrument die zweithöchste Priorität bekommen (Jäcker-Cüppers, 2003, 29). Unter der Umrüstung des Fahrzeugbestands ist vor allem der Ersatz von Graugussbremsen zu verstehen. Der Einsatz von K-Sohlen (Kunststoffbremsen) würde einen Emissionsrückgang

## Prioritäre Instrumente zur Reduktion des Schienenverkehrslärms

Abbildung 15

Maximale Punktzahl = 168

Grenzwerte für Neufahrzeuge im grenzüberschreitenden Verkehr	122
Wartungsprogramme (Schienenschleifen)	109
Forschungsförderung durch EU und Mitgliedstaaten	105
Nationale Immissionsgrenzwerte an bestehenden Schienenwegen	102
Öffentliche Förderung von Lärmbekämpfungsprogrammen	96
Anreize zur Anschaffung leiserer Fahrzeuge	96
Grenzwerte für Neufahrzeuge im nicht grenzüberschreitenden Verkehr	95
Lärmsanierung des bestehenden rollenden Materials	95

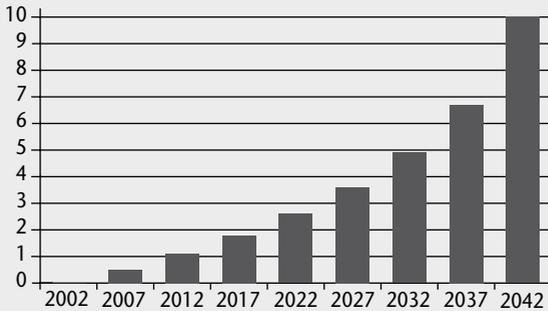
Quelle: Jäcker-Cüppers, 2003, 29

von etwa 10 dB(A) bewirken, also eine 90-prozentige Reduktion des Schalldrucks. Würden statt K-Sohlen Scheibenbremsen eingesetzt, könnte man weitere 3 bis 4 dB(A) einsparen, da diese Bremsen keine Abnutzungserscheinungen auf den Radlauflächen auslösen und damit das Problem der Riffelung noch einmal deutlich reduzieren. Weil Scheibenbremsen aber viel teurer sind als K-Sohlen, wären die verfügbaren Mittel in den K-Sohlen besser angelegt: Denn so ist damit zu rechnen, dass die lärmenden Bremssysteme schneller ausgetauscht werden. Dies ist für die Effektivität der Umrüstung von entscheidender Bedeutung. Schließlich wird ein Effekt erst bei einem flächendeckenden Einsatz lärmindernder Technik spürbar (Abschnitt 5.1). Beim bisherigen Umrüstungstempo wird es in Deutschland noch gut 30 Jahre dauern, bis alle Güterwaggons umgerüstet sind. Hörbare Entlastungen durch den Einsatz lärmarmer Bremsen wird es daher in frühestens 20 Jahren geben (Abbildung 16). Eine Beschleunigung dieses Prozesses verspräche mittelfristig vor allem für die am schwersten Belasteten erhebliche Entlastungen: Immerhin verursacht der Schienengüterverkehr die größten Belastungsspitzen in Deutschland – und das auch noch in Ruhezeiten. Deshalb ist der Plan konsequent, die Mittel für diese Sanierung des Fahrzeugbestands deutlich aufzustocken. In diesem Jahr sollen die Ausgaben für Lärmsanierungsmaßnahmen auf 150 Millionen Euro ansteigen, womit sich die Umrüstungszeit deutlich verringern würde.

Schon früher ist eine deutliche Reduktion des Schienenlärms möglich, wenn am Fahrweg angesetzt wird. Eine wesentliche Option besteht darin, die Schienen zu schleifen. Dies reduziert die Verriffelung der Schienen und kann den Pegel

## Auswirkungen von Grenzwerten Abbildung 16 für Neufahrzeuge im Schienenverkehr

Reduktion des  $L_{eq}$  in dB



Quelle: Jäcker-Cüppers, 2003, 25

wohl um gut und gerne 15 dB(A) an bislang besonders lauten Schienenwegen senken. Wie alle Wartungsarbeiten muss das Schleifen regelmäßig durchgeführt werden, um dauerhaft wirksam zu sein. Dies sollte inzwischen kein allzu großes organisatorisches Problem mehr darstellen. Immerhin kann ein moderner Schleifzug mit 80 km/h

fahren und dabei seiner Aufgabe nachgehen. Im Gegensatz zu früher ist keine Sperrung der Strecke mehr erforderlich. Das sollte die akustische Wartung an den am schwersten belasteten Schienenwegen künftig erleichtern (Jäger, 2003, 41). Neben den in Abbildung 15 dargestellten Optionen gibt es noch einen weiteren Hoffnungsträger für die Lärmreduktion im Schienengüterverkehr. Dabei handelt es sich um ein lärmoptimiertes Drehgestell, sozusagen um ein neues Fahrwerk für Güterwaggons. In Tests verminderten solche Drehgestelle die Lärmemissionen um 15 bis 18 dB(A). Diese Zahlen verdeutlichen bereits, dass im Schienengüterverkehr erhebliche Emissionsreduktionen möglich sind. Die Minderungspotenziale werden vom Forschungsverbund Leiser Verkehr auf etwa 20 dB(A) geschätzt, wovon bis zu 10 dB(A) auch relativ kurzfristig erreichbar wären (Forschungsverbund Leiser Verkehr, 2006, 4).

### 6.3 Lärmvermeidung im Luftverkehr

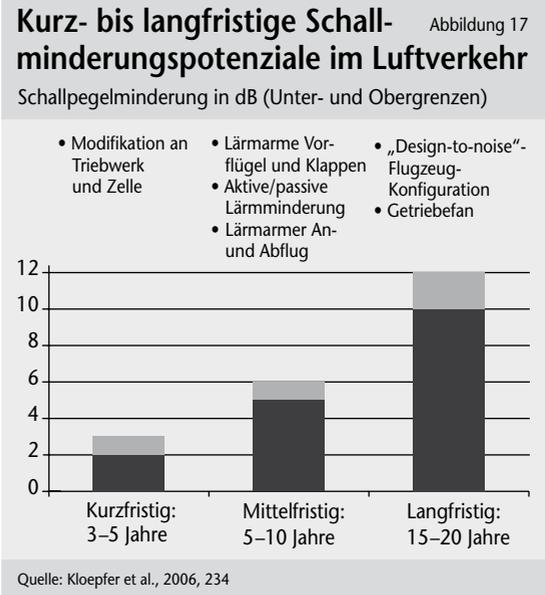
In den Industriestaaten laufen inzwischen umfangreiche Forschungsprojekte, um die technischen Lärmreduktionspotenziale im Luftverkehr auszuschöpfen. Fachleute halten langfristig ein Reduktionspotenzial von 10 bis 12 dB gegenüber den heute als leise geltenden Flugzeugen für möglich. Das wäre eine Senkung der Schallemissionen um nochmals knapp 90 Prozent. Um diese Pegelminde-rungen zu erreichen, werden aber weitreichende Neukonstruktionen von Flugzeugzelle und Triebwerken notwendig sein. Sie werden daher erst mit der Einführung einer völlig neuen Flugzeuggeneration realisiert werden können. Der Zeitrahmen dafür liegt bei 15 bis 20 Jahren.

Es gibt aber auch technische Maßnahmen, die in kürzeren Zeiträumen wirksam werden können. Beispiele dafür sind in Abbildung 17 dargestellt. Allerdings versprechen diese Maßnahmen gegenüber Neukonstruktionen nur deutlich geringere Pegelminderungen. Kurzfristig sind nur kleinere Modifikationen an bestehenden Flugzeugen möglich. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz sogenannter Chevron-Düsen, die abhängig vom Triebwerk eine Emissions-

senkung von 1 bis 3 dB ermöglichen. Hierbei handelt es sich im Prinzip nur um einen gezackten Blechkranz, der an der Auslassöffnung eines Strahltriebwerks angebracht wird. Je nach Anordnung der Zacken können entweder die Lärmemissionen oder der Treibstoffverbrauch mit der Chevron-Düse reduziert werden. Sie stellt somit eine sehr einfache und effiziente Möglichkeit zur Emissionsminderung dar.

An diesem Beispiel zeigt sich aber auch, dass im Luftverkehr selbst einfache Maßnahmen eine lange Umsetzungszeit benötigen. Der Grund liegt schlicht darin, dass auch einfache Modifikationen als sicherheitsrelevant anzusehen sind. Daher müssen sie erst umfassend getestet werden, bevor die Genehmigung zur Modifikation von bestehenden Flugzeugen erteilt wird. Aus diesem Grund scheint für den flächendeckenden Einsatz von Chevron-Düsen im Flugzeugbestand ein Zeitraum von drei bis fünf Jahren realistisch zu sein. In der kommenden Flugzeuggeneration, zu der beispielsweise die Boeing 787 gehört, wird die Chevron-Düse dagegen bereits ab Werk eingebaut sein.

Mittelfristig werden im Zuge der Überarbeitung von bestehenden Flugzeugmodellen auch weitergehende Änderungen möglich sein, wenn die Konstruktion einiger Flugzeugteile überarbeitet wird. Die aero-akustische Umgestaltung von Fahrwerk, Landeklappen und Vorderflügel verspricht mittelfristig noch einmal Minderungspotenziale von 5 bis 6 dB.



Auf diese Weise lassen sich zumindest die Schallemissionen eines einzelnen Start- oder Landevorgangs noch einmal nachhaltig senken. Allerdings besteht gerade auch im Luftverkehr der Vorbehalt, dass nur eine umfassende Verbreitung dieser technischen Verbesserungen auch zu einem hörbaren Effekt im Dauerschallpegel führen kann.

## 6.4 Lärmschutz durch Planung

Neben dem technischen Fortschritt bieten auch organisatorische Eingriffe in Verkehrsströme und Siedlungsstruktur Chancen, die Lärmbelastung der Bevölkerung zu verringern. Die tatsächlichen Potenziale solcher Eingriffe sind jedoch nicht global quantifizierbar, da sie nahezu vollständig von lokalen Gegebenheiten determiniert werden. Planerische Eingriffe in die Verkehrsströme sind prinzipiell bei allen Verkehrsträgern möglich, werden aber vor allem für die Straße und in geringerem Maße auch für den Luftverkehr diskutiert.

Vermeiden, Verlagern, Verlangsamen: Diese auch als die „drei großen V“ bekannten Konzepte sind nach Ansicht von einigen Beteiligten die Antwort auf alle Probleme des Straßenverkehrs. Diese Ansicht ist jedoch gerade bei der Untersuchung von Straßenverkehrslärm schnell zu widerlegen.

Vor allem das Konzept der Verkehrsvermeidung ist in Bezug auf die Belastung mit Umgebungslärm praktisch wirkungslos. Um einen hörbaren Effekt von  $-3$  dB(A) zu erzielen, müsste die Verkehrsmenge bereits um 50 Prozent reduziert werden. Damit sich die wahrgenommene Belastung halbiert [ $-10$  dB(A)], müssten 90 Prozent der Verkehrsmenge auf den belasteten Straßen eingespart werden. Dies ist in aller Regel schlicht nicht umsetzbar. Erfolg versprechender ist da schon die Reduktion des Lkw-Anteils im innerstädtischen Verkehr durch Konzepte der City-Logistik. Aber auch hier gilt, dass sich die Menge der in die Stadt transportierten Waren nicht beliebig verringern lässt. Daher sind die Möglichkeiten der Lärmemissionsminderung durch Verkehrsvermeidung äußerst begrenzt.

Unter Verkehrsverlagerung wird im Regelfall die Verlagerung von der Straße auf die Schiene verstanden. Hieraus kann ebenfalls kein Beitrag zur Lärminderung erwartet werden. Dies ist vor allem auf die systembedingten Eigenschaften des Schienenverkehrs zurückzuführen. Lärmbelastung durch Straßenverkehr ist zum Großteil die Folge von innerstädtischem Erschließungsverkehr. Die Schiene hat nur sehr begrenzte Möglichkeiten, diesen Verkehr in ausreichender Menge ( $>50$  Prozent) aufzunehmen. Die Schienenkapazitäten, die notwendig sind, um durch Verkehrsverlagerung einen hörbaren Lärminderungseffekt zu erzielen, sind praktisch nirgendwo vorhanden. Eine solche Lärminderungspolitik würde zudem dadurch erschwert, dass der Schienenverkehr keineswegs leiser ist als der

Straßenverkehr. Gerade die im innerstädtischen Verkehr relevante S-Bahn gehört erfahrungsgemäß zu den lautesten Verkehrsmitteln.

Es bliebe auch die Möglichkeit, Verkehrsströme räumlich zu verlagern. Aus lärmpolitischer Sicht kann das nur eins bedeuten: den Verkehr auf Hauptverkehrsachsen zu bündeln. Die besonderen Eigenschaften von Schall führen dazu, dass die Bündelung von Verkehr eine spürbare Entlastung in der Fläche bewirkt, während die Zusatzbelastung an den Hauptverkehrsachsen unterhalb der Wahrnehmungsgrenze bleibt. Vor allem die Bündelung von innerstädtischem Schwerlastverkehr bietet hier Potenzial, beispielsweise wenn der Zulieferverkehr zu einem im Stadtgebiet gelegenen Großmarkt durch Verkehrsleitung auf wenigen Hauptstraßen zusammengefasst wird. Zur Verdeutlichung ist in Tabelle 15 ein Beispiel für eine aus lärmpolitischer Sicht erfolgreiche Verkehrslenkung wiedergegeben. Die Pegelreduktion an der Nebenachse rechtfertigt hier die Mehrbelastung an der Hauptachse ohne Weiteres. Es muss aber betont werden, dass der Verkehrsbündelung in der Praxis enge Grenzen gesetzt sind. Der Grund: Sie steigert die Konzentration von Luftschadstoffen an der Hauptachse. Gerade in den letzten Jahren wurde wegen der Feinstaubbelastung an manchen innerstädtischen Hauptachsen versucht, die Bündelung zurückzuführen. In diesem Fall kollidiert Lärmschutz fundamental mit anderen Schutzziele. Doch auch aus lärmpolitischer Sicht können sich Versuche der räumlichen Verkehrsverlagerung auch als kontraproduktiv erweisen. Denn die Verlagerungsmaßnahmen müssen auf die dominante Art des Straßenverkehrs abgestimmt sein. Fernverkehr kann man beispielsweise mithilfe von Umgehungsstraßen um die Städte herumleiten, den innerstädtischen Erschließungsverkehr hingegen nicht. Dies wurde in der Vergangenheit bei der Planung von Umgehungsstraßen häufig nicht ausreichend berücksichtigt. Die Folge war, dass bis dato ruhige Gebiete im städtischen Umfeld belastet wurden, ohne signifikante Entlastungen im innerstädtischen Bereich zu erzielen (Kühne, 2003, 13). Die Lenkung des innerstädtischen Verkehrs kann sich also als zweischneidiges Schwert erweisen. Ein gangbarer Weg bestünde in diesem Zusammenhang darin, den Verkehr durch Einbahnstraßen aus den Wohngebieten auf die Hauptachsen zu leiten. Auf diese Weise würden „Schleichwege“ geschlossen und der Verkehr weitgehend auf Anwohner beschränkt. Allerdings darf die Erreichbarkeit nicht zu sehr unter einer solchen Maßnahme leiden.

Damit bliebe von den drei Standardforderungen die nach einer Verlangsamung des Verkehrs übrig. Da die Schallemissionen eines Fahrzeugs tendenziell mit der Geschwindigkeit steigen, sind flächendeckende Tempolimits zumindest auf den ersten Blick eine Erfolg versprechende Maßnahme zur Lärmreduktion. Zudem wäre dies für den Staat eine relativ kostengünstige Maßnahme. Die am häufigsten

## Beispielrechnung für eine erfolgreiche Verkehrslenkung<sup>1</sup>

Tabelle 15

### Ausgangssituation

Hauptachse	DTV <sup>2</sup>	30.000	Lkw-Anteil: 25 Prozent
Nebenachse	DTV	9.000	Lkw-Anteil: 25 Prozent

### Nach Lenkungsmaßnahme

### Effekt

Hauptachse	DTV	36.000	Lkw-Anteil: 28 Prozent	+ 1 dB(A)
Nebenachse	DTV	3.000	Lkw-Anteil: 10 Prozent	- 8 dB(A)

<sup>1</sup> Prämissen: Hauptachse ist aufnahmefähig (Verkehrsfluss bleibt erhalten; Immissionsituation ist unkritisch), Gesamtverkehr bleibt gleich, Lkw-Anteil auf der Nebenachse kann deutlich reduziert werden; <sup>2</sup> DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge.

Quelle: Klopfer et al., 2006, 289

genannten Möglichkeiten zur Lärmreduktion durch Tempolimits sind hier die flächendeckende Einführung von Tempo 30 in Wohngebieten und die Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen. Bei genauer Betrachtung zeigt sich aber, dass ein solches Vorgehen weitgehend ohne Auswirkungen auf

die Lärmbelastungslage bleiben würde. Besonders auf Fernstraßen würde ein Tempolimit weitgehend effektiv verpuffen. Gerade auf diesen Hauptverkehrsachsen wird der Schallpegel sehr stark vom Anteil der Lkw bestimmt – und für die gilt bereits Tempo 80. Unter der Annahme, dass der Anteil der schweren Lkw bei 15 Prozent liegt, würde die Einführung von Tempo 120 für Pkw eine Pegelreduktion von 0,5 dB(A) bewirken. Das ist weit unterhalb der Grenze der Wahrnehmbarkeit. Selbst ein radikales Tempolimit von 80 km/h für alle Fahrzeuge würde den Lärmpegel an dieser Autobahn nur um 2 dB(A) reduzieren. Ein Tempolimit an Autobahnen ist somit kaum durch Lärmschutz zu rechtfertigen. Damit stellt sich die Frage, ob denn zumindest Tempo 30 in Wohngebieten eine wahrnehmbare Pegelreduktion nach sich ziehen würde. Diese Frage ist jedoch schwer zu beantworten, da hier viele verschiedene Einflussfaktoren zu beachten sind. Empirisch belegbar ist eine signifikante Pegelreduktion durch flächendeckende Tempo-30-Zonen bislang jedenfalls nicht. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Reduktion der Höchstgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h die Lärmemissionen von Nutzfahrzeugen um knapp 1,5 dB(A) senkt. Für Pkw fällt die Reduktion tendenziell größer aus und liegt bei rund 2,5 dB(A) (Spessert, 2003, 53). Da der Lkw-Anteil in diesen Gegenden relativ gering ist, dürfte die erreichbare Pegelreduktion näher am Reduktionswert der Pkw liegen. Allerdings kann der Effekt auch ganz anders ausfallen, da Tempo 30 akustisch gegensätzliche Effekte auslösen kann – je nach der Fahrweise der Autofahrer. Wenn viele von ihnen zum hoctourigen Fahren neigen, kann Tempo 30 sogar eine Pegelsteigerung nach sich ziehen. Diese Fahrer würden bei Tempo 30 tendenziell in den zweiten Gang herunterschalten. Dies kann die Lärmemissionen um bis zu 5 dB(A) erhöhen. Andererseits spricht vieles dafür, dass Tempo 30 die Interaktionen mit anderen

Autos, Radfahrern und Fußgängern vereinfachen würde. Dies verbessert mittelbar den Verkehrsfluss und wirkt damit pegelsenkend.

In Bezug auf Tempolimits besteht aber immer der Vorbehalt, dass sie nur dann einen Effekt erzielen, wenn sie akzeptiert werden. Geschwindigkeitsmessungen an Hauptverkehrsstraßen haben ergeben, dass knapp ein Drittel der Fahrer die Geschwindigkeitsbegrenzungen überschreiten, teilweise sogar ganz erheblich. Eine geringe Akzeptanz würde die Lärminderungswirkung zunichte machen – schließlich prägen bekanntermaßen die lautesten Emittenten den Gesamtpegel. In der Addition bleibt der akustische Effekt von Tempo 30 daher unsicher. Die Vorteile von Tempo 30 liegen sicherlich weniger im akustischen Bereich als beispielsweise in einer verbesserten Sicherheitslage. Eine Entscheidung über den Sinn oder Unsinn einer Tempo-30-Zone sollte daher nur mit guter Ortskenntnis getroffen werden. Allgemeine Regeln – wie etwa ein generelles Tempo 30 in Städten – sind dagegen weniger Erfolg versprechend.

Wesentlich seltener wird eine andere Möglichkeit zum planerischen Eingriff in die Verkehrsströme genannt: die Verflüssigung des Straßenverkehrs. Sie ist sinnvoll, weil Beschleunigungs- und Bremsvorgänge die Lärmemissionen von Kraftfahrzeugen erheblich erhöhen. Gerade an Ampeln befinden sich daher Belastungsschwerpunkte. Daher kann der verstärkte Einsatz von Kreisverkehren die Pegel senken. Auch Ampelabschaltungen in verkehrarmen Zeiten können Lärmemissionen reduzieren. Auf den Einsatz von „Roten Wellen“ sollte aus lärmpolitischer Sicht hingegen unbedingt verzichtet werden, während „Grüne Wellen“ den Verkehrsfluss verbessern und damit tendenziell die Lärmbelastungen senken würden. Allerdings hängt auch hier wieder viel vom Verhalten der Fahrer ab. Wenn die Ampelabschaltung dazu genutzt wird, mit stark überhöhter Geschwindigkeit oder langen Beschleunigungsphasen zu fahren, können die Pegel steigen.

Es wäre auch denkbar, mit Methoden der Stadtplanung gegen den Lärmpegel im Wohnumfeld vorzugehen. Eine sehr langfristige Möglichkeit wäre es, eine Stadt der kurzen Wege zu formen. An manchen Orten könnte es auch mittelfristig möglich sein, den Umgebungslärmpegel zu verringern, indem die Bebauung nachträglich verdichtet wird. Dies bedeutet, eine geschlossene Fassadenreihe entlang der belasteten Straßen zu schaffen, sodass zumindest auf einer Fassaden-seite relative Ruhe herrscht. Dafür wären die Gebäude idealerweise so zu konstruieren, dass Wohn- und Schlafräume auf der ruhigen Seite liegen, während Treppenhäuser, Küchen und ähnliche Räume der Straße zugewandt wären.

Die planerischen Möglichkeiten im Schienenverkehr sind relativ gering. So könnte beispielsweise versucht werden, den besonders lärmintensiven Güterverkehr aus lärmsensiblen Nachtzeiten in den Tag zu verlegen. Da das Schienennetz

aber keine unbegrenzten Kapazitäten hat, würde dieses Vorhaben den Personenverkehr auf der Schiene nachhaltig behindern. Ohne ein eigenes Netz für den Güterverkehr wären auf diese Weise nur marginale Entlastungen erzielbar. Eine weitere Möglichkeit wäre die Planung von lärmarmen S-Bahn-Trassen. Darunter wären beispielsweise weite Kurvenradien zu verstehen, aber auch der Einsatz von lärmarmen Gleisbetten wie etwa Rasenflächen käme infrage. Es ist offensichtlich, dass es relativ wenige Orte gibt, wo so etwas möglich sein wird. Die Erweiterung der Kurvenradien würde viel Platz erfordern. Auch ein Austausch des Gleisbetts ist nur dann möglich, wenn die S-Bahn eine eigene Trasse besitzt und nicht den Straßenraum mitnutzt.

Im Luftverkehr sind die Möglichkeiten, mit planerischem Lärmschutz etwas zu erreichen, ausgeprägter. So wäre es möglich, die An- und Abflugwege unter akustischen Gesichtspunkten zu optimieren. Hierunter wäre beispielsweise der Versuch zu verstehen, die Flugzeuge in den lärmrelevanten Flugphasen nach Möglichkeit um ein besiedeltes Gebiet herumzuleiten. Dieser Ansatz kann aber bereits durch ungünstige Wetterbedingungen wirkungslos werden, da sich je nach Wetterlage die räumliche Schallausbreitung erheblich verändert. Beispiele hierfür sind eine ungünstige Windrichtung oder ungewöhnliche Windgeschwindigkeiten. Eine andere Option besteht darin, steilere Anflugwinkel vorzuschreiben. Da Fluglärm erst ab einer gewissen Flughöhe wahrnehmbar wird, würde sich die beschallte Fläche verringern. Auch ein späteres Ausfahren des Fahrgestells oder der Klappen hat diesen Effekt. All diese Vorgaben hätten aber auch höhere mechanische Belastungen der Flugzeuge zur Folge, weshalb vor Erlass solcher Anflugvorschriften umfangreiche Sicherheitsprüfungen nötig werden.

## 6.5 Baulicher Lärmschutz

Wenn es nicht möglich ist, die Entstehung von Lärm zu verhindern, bestehen noch die Optionen, in die Transmission des Schalls einzugreifen oder die Immission von Lärm zu behindern. Für baulichen Lärmschutz gibt es somit zwei unterschiedliche Ansätze. Ein Eingreifen in die Schalltransmission wird dabei normalerweise zum aktiven Schallschutz gezählt, während die Immissionsvermeidung als passiver Schallschutz gilt.

Die erste Option besteht darin, den Schall im Straßenumfeld zu reflektieren und idealerweise weitgehend abzuleiten. Dies ist im Fall des Fluglärms nur selten umsetzbar. Die effektivste Methode, die Transmission von Schall zu verhindern, besteht darin, die Verkehrswege in einen Tunnel zu verlegen. Unglücklicherweise ist dies aber auch die mit Abstand teuerste Methode, weshalb sie nur selten eingesetzt werden kann. Die Kosten für den Bau von Straßentunneln liegen zwischen

10 und 45 Millionen Euro pro Kilometer. Der in Deutschland derzeit wohl ehrgeizigste Versuch, den Verkehr in Tunnel zu verlegen, ist das Projekt Stuttgart 21, mit dem praktisch der gesamte Schienenfernverkehr der Stadt unter die Erde verlegt werden soll.<sup>22</sup> Die Kosten dieses Projekts, das neben den Untertunnelungen noch weitere Elemente enthält, werden zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf knapp 2,6 Milliarden Euro geschätzt.

Ähnlich effektiv kann es sein, die Verkehrswege in eine Troglage abzusenken oder sie „einzuhausen“. Beide Methoden sind aber ebenfalls sehr teuer<sup>23</sup> und aufgrund ihres erheblichen Platzbedarfs im innerstädtischen Bereich kaum einsetzbar. Die gängigste Methode ist dagegen der Bau von Lärmschutzwänden. Diese gibt es in zahlreichen Varianten, wobei Baukosten und Effektivität sehr verschieden ausfallen. Laut der Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen (BMVBW, 2006) sind bepflanzbare Erdwälle die billigste Variante. Hier betragen die Kosten bei einer Wallhöhe von vier Metern 56 Euro pro Quadratmeter Schallabsorptionsfläche. Sie steigen auf 80 Euro bei einer Wallhöhe von sechs Metern. Zwischen 1979 und 2004 wurden an Bundesfernstraßen knapp 300 Millionen Euro in Erdwälle investiert. Sie sind damit deutlich billiger als die verschiedenen Formen von Schutzwänden, deren Kosten pro Quadratmeter Schallabsorptionsfläche im Jahr 2004 zwischen 159 Euro für Stahlwände und 472 Euro für transparente Materialien lagen. Insgesamt wurden zwischen 1974 und 2004 knapp 1,75 Milliarden Euro für Schallschutzwände an Bundesfernstraßen ausgegeben. Aufgrund des hohen Platzbedarfs sowie der potenziellen Trennungseffekte sind Lärmschutzwände in den Städten allerdings kein besonders geeignetes Instrument zur Lärmreduktion.

Die Vermeidung von Lärmimmissionen setzt typischerweise am Wohngebäude an. In diese Kategorie fällt die bereits in Abschnitt 6.4 beschriebene Ausrichtung der Wohnräume in einem Gebäude, vor allem

### Kosten eines Schallschutzfensters

Tabelle 16

Schallschutzklasse	Schalldämm-Maß, in dB	Kosten eines Standardfensters, in Euro
0	≤ 24	191,40
1	25–29	208,80
2	30–34	229,82
3	35–39	254,62
4	40–44	255,72
5	45–49	302,35
6	50	k. A.

Quelle: Kloefer et al., 2006, 308

<sup>22</sup> Siehe <http://www.stuttgart21.de>.

<sup>23</sup> Für ein aktuelles Einhausungsprojekt an der A1 bei Köln-Lövenich werden Baukosten von 106 Millionen Euro für zwei Kilometer überdachte Autobahn veranschlagt.

aber der Einsatz von Schallschutzfenstern. Diese sind besonders wegen der aufwendigen Dichtungen technisch anspruchsvoll. Zudem ist bei ihrem Einsatz zu beachten, dass die so vor Schall geschützten Räume eine zusätzliche Belüftung erhalten müssen: Die Fenster wirken natürlich nur im geschlossenen Zustand. Die Kosten für die Ausstattung eines Gebäudes mit Schallschutzfenstern können sehr hoch sein, wie die in Tabelle 16 aufgeführten Kosten je Fenster zeigen. Je nach gewünschtem Schalldämm-Maß steigen die Kosten pro Standardfenster. Für ein Fenster, das den Innenpegel um mehr als 45 dB(A) gegenüber dem Umgebungsniveau reduziert, betragen die Kosten rund 300 Euro pro Stück. Darin sind die Kosten für die Installation von lärmgedämmten Lüftungsanlagen noch nicht erfasst. Allerdings zeigen die erreichten Lärmdämmwerte auch, dass Schallschutzfenster Störungen in der Raumnutzung effektiv verhindern können.

## 6.6 Ökonomische Instrumente

Lärm ist aufgrund seiner Eigenschaften für Ökonomen nur schwer fassbar. Bereits die Ermittlung von Lärmkosten hat sich als extrem problematisch erwiesen, die aus Zahlungsbereitschaften abgeleiteten Beträge können bestenfalls als grobe Näherung interpretiert werden. Auch die Frage nach einem nutzenoptimalen Lärmniveau lässt sich bislang nicht beantworten (Kapitel 3).

Damit sind viele umweltökonomische Instrumente auf den Lärm kaum anwendbar. Eine allgemeine Pigou-Steuer bietet sich nicht an, da eine aggregierte Grenzkostenfunktion des Lärms praktisch nicht ermittelbar ist. Auch Zertifikate scheiden aus, da die Lärmbelastung in der Regel die Folge von lokalen und individuellen Faktoren ist. Damit ist eine Mengenreglementierung eigentlich ausgeschlossen. Auch Verhandlungsregeln oder die Anwendung des Umweltaftungsgesetzes versprechen keine Lösungen für die Lärmproblematik.

Damit bleiben nur die Versuche, lärmarme Produkte steuerlich zu fördern oder die Verkehrsströme über lärmbezogene Abgaben zu lenken. Die Möglichkeiten dafür sind bei den drei wichtigsten Verkehrsträgern verschieden stark ausgeprägt.

Im Straßenverkehr bestünde prinzipiell die Möglichkeit, die Kfz-Steuer an die Lärmemissionen eines Fahrzeugs zu koppeln, um den Einsatz lärmarmen Fahrzeuge zu fördern. Praktisch ist dieser Ansatz aber wenig Erfolg versprechend, da auch ein lärmarmes Fahrzeug durch unpassende Reifen und falsche Fahrweise sehr laut werden kann. Die Überwachung dürfte ebenfalls schwierig werden. Zudem stellt sich die Frage, ob die Kfz-Steuer nicht besser an andere Fahrzeugemissionen gebunden werden sollte. Insbesondere die CO<sub>2</sub>-Emissionen scheinen eine deutlich bessere Berechnungsgrundlage für die Kraftfahrzeugsteuer zu sein. Eine weitere Option besteht darin, lärmarme Fahrzeuge im Zuge einer Maut-

regelung besserzustellen und Fahrten in lärmsensiblen Zeiten und Regionen höher zu bepreisen. In Anbetracht der extremen Komplexität, die ein solches Mautsystem hätte, scheint auch dies aber kein praktisch gangbarer Weg für die Lärmreduktion zu sein.

Im Vergleich dazu sind im Schienenverkehr die Einsatzmöglichkeiten ökonomischer Instrumente zur Lärmreduktion etwas ausgeprägter. Systembedingt ist der Schienenverkehr deutlich besser zu überwachen und auch seine Steuerung erfolgt auf der zentralen Ebene. Daher ist es möglich, dass Netzbetreiber Lärm-aspekte bei der Bildung von Trassenpreisen berücksichtigen. Allerdings sind vorher die Interessen abzuwägen: Wie stark kann der Schienengüterverkehr aufgrund von Lärmschutzerwägungen verteuert werden, ohne seine Wettbewerbsfähigkeit auf dem Güterverkehrsmarkt zu gefährden? Zudem sind die Kapazitäten, die überhaupt für eine räumliche und zeitliche Verlagerung des Güterverkehrs infrage kommen, extrem gering. Es läuft also auf die Fragestellung hinaus, ob die realisierbaren Trassenverteuerungen ausreichen können, um zumindest Lärmschutzmaßnahmen an den besonders belasteten Gleisen zu finanzieren. Das ist zwar zunächst eher unwahrscheinlich. Dennoch können zumindest bei der Aufstellung von neuen Fahrplänen lärmbezogene Trassenpreise dazu führen, dass die Lärmemission des Schienenverkehrs in der mittelfristigen Planung der Schienenverkehrsströme stärker als bisher berücksichtigt wird.

Am ehesten kann wohl im Luftverkehr gehandelt werden. Das liegt daran, dass die zumeist in öffentlicher Hand befindlichen Flughafenbetreiber in der Lage sind, besonders laute Flugzeuge fernzuhalten. Dies geschieht beispielsweise über lärmbezogene Landegebühren oder schlicht über Landeverbote für die lauten Flieger. Solche Regeln sind im Luftverkehr sehr leicht umsetzbar, da die Fluggesellschaften sie bereits bei ihrer Routenplanung problemlos berücksichtigen können. Auch die Überwachung stellt kein Problem dar. Da in der Luftfahrt ein erheblicher Konkurrenzkampf herrscht, ist es möglich, über lärmbasierte Landegebühren einen erheblichen Anreiz zur Ausmusterung lauter Maschinen zu setzen.

# 7

## Fazit

Der Lärm begleitet die Menschheit seit den ersten Tagen der Zivilisation. Schon in den ersten Metropolen klagten die Einwohner über den Verkehrslärm. Inzwischen wird Lärm als eine der größten Umweltbelastungen in den Städten wahrgenommen. Deshalb ist es an der Zeit, dem Lärmschutz in der Umwelt- und Verkehrspolitik eine höhere Priorität einzuräumen.

Lärmbekämpfung hat sich bislang als sehr problematisch erwiesen. Das ist nicht zuletzt auf die besonderen Eigenschaften von Lärm zurückzuführen. Neben den physikalischen Besonderheiten von Schall stellt vor allem die Subjektivität der Lärmempfindung die Behörden vor Probleme, die mit der Lärmbekämpfung beauftragt sind. Der Begriff Lärm beschreibt eine negativ bewertete Schallimmission, er beinhaltet also eine subjektive Wertung. Aus diesem Grund ist Lärm juristisch so schwer zu fassen. Das hat eine weitgehend unbefriedigende Lärmschutzgesetzgebung nach sich gezogen. Um die Lärmsituation in Deutschland zu verbessern, sollten die Gesetze in jedem Fall weiter modernisiert werden. Das bedeutet – neben der Anpassung von Lärmschutzvorschriften – vor allem auch eine Neugestaltung der Mess- und Berechnungsvorschriften. Durch das Inkrafttreten der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie und die Einführung des von der ACEA vorgeschlagenen Geräuschmessverfahrens bei der Typzulassung von Pkw geht die Entwicklung in die richtige Richtung. Deutlich schlechter sieht es beim Vollzug der Lärmschutzgesetze aus. Dieser Missstand muss beseitigt werden, wenn in Zukunft ein effizienter Lärmschutz in Deutschland angewendet werden soll.

Ein weiteres fundamentales Problem für den Lärmschutz besteht darin, dass die Lärmfolgen bislang nur unzureichend erforscht sind. Es kann zwar angenommen werden, dass Lärm der Gesundheit abträglich ist, aber wie stark die Schädigung des menschlichen Organismus durch Lärm ist, kann derzeit nicht gesagt werden. Multikausale Krankheitsbilder und individuell unterschiedlich hohe Empfindlichkeiten haben bislang verhindert, dass die Dosis-Wirkungs-Beziehungen ermittelt werden konnten. Besonders bedauerlich ist, dass es bislang nicht möglich war, einen Schwellenwert zu definieren, dessen Unterschreitung gesundheitliche Folgen von Lärm ausschließt. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Die wohl wichtigste Quelle für Lärm im Wohnumfeld ist der Verkehr. Da die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen immer weiter gestiegen sind, hat auch die Lärmbelastung zugelegt. Denn Mobilität, Erreichbarkeit und Lärm sind untrennbar miteinander verbunden. Die Masse der Lärmbelastungen entsteht im Straßenverkehr, während die punktuell am höchsten belasteten Gebiete an Schienen-

wegen und Flughäfen liegen. Die herausgearbeiteten Unterschiede in der Art der Lärmbelastung legen nahe, dass die Lärmbekämpfung je nach Verkehrsträger unterschiedliche Maßnahmen erfordern wird. Da die externen Kosten des Lärms für Deutschland auf bis zu 10 Milliarden Euro im Jahr geschätzt werden, kann man von den intensiveren Lärmschutzanstrengungen einige Wohlfahrtsgewinne erwarten.

Viele der traditionellen Antworten auf Umweltprobleme im Verkehrsbereich haben sich als untauglich herausgestellt, wenn es um Lärmbekämpfung geht. Schärfere Emissionsgrenzwerte bieten ein ziemlich überschaubares Potenzial und wirken zudem nur mit einem erheblichen Zeitverzug. Die aktuelle Lärmbelastung kann auf diese Weise kaum bekämpft werden. Eine Ausnahme besteht bei den Emissionsgrenzwerten für Autoreifen. Da die Masse der angebotenen Produkte bereits heute den Grenzwert von 2009 erfüllt, scheinen verschärfte Grenzwerte in diesem Bereich sinnvoll zu sein, um Weiterentwicklungen anzustoßen. Es spricht jedoch vieles dafür, dass sich durch neue Grenzwerte fast nur die langfristige Hintergrundbelastung in der Fläche senken lässt, während dagegen die hoch belasteten Gebiete nur wenig profitieren würden.

Diese Auswahl zeigt noch einmal die relativ unbefriedigende Wirksamkeit von überregionalen Regelungen zum Lärmschutz. Da Lärm ein lokales Phänomen ist, sollte es auch primär auf lokaler Ebene bekämpft werden. Das Hauptziel sollte zunächst sein, die am schwersten belasteten Gebiete akustisch zu sanieren – der Nutzen aus der Entlastung der Brennpunkte wiegt hier schwerer als kleine Fortschritte in der Fläche. Wie Lärmspitzen konkret zu mindern sind, kann nur vor Ort entschieden werden. Erfolgreicher Lärmschutz besteht fast immer aus Beispielen, die kaum auf andere Orte übertragbar sind. Denkbare Mittel wären der Einsatz von offenporigen Asphaltbelägen (OPA) an Einfallstraßen oder das regelmäßige Schleifen von Schienen. Diese Methoden besitzen den Vorteil, dass sie umgehend wirksam werden. Verkehrsvermeidung oder generelle Geschwindigkeitsbegrenzungen erweisen sich dagegen als wenig wirksam.

Letztendlich liegt aber ein wesentlicher Schlüssel zur Lärmbekämpfung in den Händen aller Verkehrsteilnehmer und Anwohner. Wir alle tragen dazu bei, dass unsere Umgebung lauter geworden ist. Dies ist eine Folge von dichter Besiedlung, fortschreitender Technisierung unseres Umfelds und von wachsender Mobilität. Der Beitrag des Einzelnen zur Gesamtbelastung kann dabei sehr unterschiedlich ausfallen. Mehr Rücksicht auf die Ruhebedürfnisse anderer zu nehmen, ist aber ein Beitrag, den jeder leisten kann. Durch gegenseitige Rücksichtnahme wäre bereits viel gewonnen bei dem Versuch, den Lärm zum Verstummen zu bringen.

## Literatur

**ADAC** – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V., 2006, Straßenverkehrslärm, München

**AG Qualität** im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover, 2002, Schienenbonus: Zur Entscheidung über Auswerte-Methoden, Hannover

**ARE** – Bundesamt für Raumentwicklung, 2004, Externe Lärmkosten des Straßen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000, Bern

**Babisch**, Wolfgang, 2000, Traffic noise and cardiovascular disease: Epidemiological review and synthesis, in: Noise & Health, Vol. 8, S. 9–32

**Babisch**, Wolfgang, 2004, Die NaRoMi Studie: Auswertung, Bewertung und vertiefende Analysen zum Verkehrslärm, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2621.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Babisch**, Wolfgang, 2006, Transportation Noise and Cardiovascular Risk, Berlin

**Barinard**, Julii / **Jones**, Andrew / **Bateman**, Ian / **Lovett**, Andrew, 2003, Modelling Environmental Equity: Exposure to Environmental Urban Noise Pollution in Birmingham, UK, URL: [http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/edm/edm\\_2003\\_04.pdf](http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/edm/edm_2003_04.pdf) [Stand: 2007-03-14]

**Basner**, Matthias et al., 2004, Nachtfluglärmwirkungen, Band 1: Zusammenfassung, DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin (Hrsg.), Köln

**Bateman**, Ian et al., 2002, The Effect of Road Traffic on Residential Property Values: A Literature Review and Hedonic Pricing Study, URL: <http://www.scotland.gov.uk/library3/housing/ertpv.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Beckenbauer**, Thomas, 2006, Lärminderung mit Flüsterasphalten, URL: [http://www.accon.de/laermkongress/Laermkongress\\_Vortraege/Beckenbauer\\_Vortrag\\_13072006.pdf](http://www.accon.de/laermkongress/Laermkongress_Vortraege/Beckenbauer_Vortrag_13072006.pdf) [Stand: 2007-03-14]

**Bickel**, Peter, 2005, Externe Grenzkosten verkehrsbedingter Umwelt- und Gesundheitsrisiken: Eine orts- und situationsabhängige Analyse auf Basis des Wirkungspfadanansatzes, Baden-Baden

**BMU** – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1986, Was Sie schon immer über Lärmschutz wissen wollten, Stuttgart

**BMU**, 2006, Entwurf eines Gesetzes zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen, URL: [http://www.bmu.de/files/meeresumweltschutz\\_download\\_nordsee/application/pdf/schutz\\_fluglaerm.pdf](http://www.bmu.de/files/meeresumweltschutz_download_nordsee/application/pdf/schutz_fluglaerm.pdf) [Stand: 2007-03-14]

**BMVBW** – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, 2006, Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2004, URL: <http://fh.hamburg.de/stadt/Aktuell/behoerden/stadtentwicklung-umwelt/umwelt/laerm/zz-stammdaten/download/statistiklaermenschutz.property=source.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Bue Bjørner**, Thomas / **Lundhede**, Thomas, 2003, Prisen på stillhed 25 år senere, in: Nationaløkonomisk Tidsskrift, 141. Jg., Nr. 3, S. 279–299

**DAL** – Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung e. V., 2003, Positionen und Forderungen zum Schutz vor Lärm und zum Schutz der Ruhe, Düsseldorf

**Delucchi, Mark / Hsu, Shi-Ling**, 1998, The External Damage of Noise Emitted from Motor Vehicles, in: Journal of Transportation and Statistics, Vol. 1, No. 3, S. 1–24

**Deutscher Bundestag**, 1999, Unterrichtung durch die Bundesregierung: Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen – Umwelt und Gesundheit richtig einschätzen, URL: <http://dip.bundestag.de/btd/14/023/1402300.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Ehinger, Peter**, 2003, Leise in die Zukunft – Teil II: Automobile, in: VCD – Verkehrsclub Deutschland e. V. (Hrsg.), Leise in die Zukunft: Der Beitrag der Industrie zur Reduktion von Verkehrslärm, Tagungsband, Teil 1, Bonn, S. 45–51, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**EU – Europäische Union**, 2002, Richtlinie 2002/49/EG, URL: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl\\_umgebungslaerm.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl_umgebungslaerm.pdf) [Stand: 2007-03-14]

**EU**, 2006, Entscheidung der Kommission über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem Fahrzeuge – Lärm des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems, Amtsblatt der Europäischen Union, 2006/66/EG, vom 23. Dezember 2005, URL: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2006/l\\_037/l\\_03720060208de00010049.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2006/l_037/l_03720060208de00010049.pdf) [Stand: 2007-03-14]

**Felsch, Klaus**, 2003, Leise Fahrbahnbeläge, in: VCD (Hrsg.), Leise in die Zukunft – Der Beitrag der Industrie zur Reduktion von Verkehrslärm, Tagungsband, Teil 2, Bonn, S. 23–28, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Forschungsverbund Leiser Verkehr**, 2006, Powerpoint-Präsentation, URL: <http://www.fv-leiserverkehr.de/pdf-dokumenten/uebersichtsfolien.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Fürst, Peter**, 2003, Lärmschutz an Straßen: Defizite und Optimierungsmöglichkeiten, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Straßenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 8–12, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Gabler**, 1997, Wirtschaftslexikon, Wiesbaden

**Gauterin, Frank**, 2003, Leise Reifen, in: VCD (Hrsg.), Leise in die Zukunft – Der Beitrag der Industrie zur Reduktion von Verkehrslärm, Tagungsband, Teil 2, Bonn, S. 6–22, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Geßner, Rolf**, 2003, Schall- und Erschütterungsschutz: Schienenfahrzeuge/Schienenverkehr, in: VCD (Hrsg.), Leise in die Zukunft – Der Beitrag der Industrie zur Reduktion von Verkehrslärm, Tagungsband, Teil 2, Bonn, S. 65–71, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Haag, Karlheinz**, 2003, Leise in die Zukunft – Teil 1: Flugzeuge, in: VCD (Hrsg.), Leise in die Zukunft – Der Beitrag der Industrie zur Reduktion von Verkehrslärm, Tagungsband, Teil 1, Bonn, S. 38–44, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Heinrichs, Eckart**, 2003, Kommunale Lärminderungsplanung: Top oder Flop, in: VCD (Hrsg.), Lärmbekämpfung durch Stadt- und Verkehrsplanung, Tagungsband, Bonn, S. 19–29, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Hendlmeier, Wolfgang**, 2003, Besondere Fragen der Schallemission und der Lärmbeurteilung von Straßenbahnen, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Schienenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 63–75, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Hoffmann, Heinz / Lüpke, Arndt von / Maue, Jürgen H.**, 2003, 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel: Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms, Berlin

**Jäcker-Cüppers, Michael**, 2003, Künftige Anforderungen der Europäischen Union an den Schutz vor Schienenlärm, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Schienenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 17–31, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Jäger, Klaus**, 2003, Das Konzept der Deutschen Bahn AG zur Lärmbekämpfung, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Schienenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 38–46, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Kalivoda, Manfred**, 1999, Verkehrslärmschutz in Österreich, Informationen zur Umweltpolitik, Nr. 135, Wien

**Kaltenegger, Herbert**, 2003, Schutz vor Schienenlärm im Immissionsschutzrecht: Defizite und Optimierungsmöglichkeiten, exemplarisch dargestellt an derzeit laufenden Gerichtsverfahren, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Schienenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 11–16, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Kant, Immanuel**, 1970, Briefe, Göttingen

**Kloepfer, Michael et al.**, 2006, Leben mit Lärm? Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich, Wissenschaftsethik und Technologiefolgenbeurteilung, Band 28, Heidelberg

**Kluizenaar, Y. de / Passchier-Vermeer, W.**, 2001, Adverse effects of noise exposure on health: A state of the art summary, Leiden

**Kühne, Rainer**, 2003, Leise Fahrbahnbeläge, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Straßenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 13–17, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]

**Lahl, Uwe**, 2006, Novelle Fluglärngesetz, URL: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/fluglaermgesetz.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Meloni, Thomas**, 2006, Der Schweizer Ansatz: Lärminderungsstrategie in der Schweiz, URL: [http://www.accon.de/laermkongress/Laermkongress\\_Vortraege/Meloni\\_Vortrag\\_12072006.pdf](http://www.accon.de/laermkongress/Laermkongress_Vortraege/Meloni_Vortrag_12072006.pdf) [Stand: 2007-03-14]

**Navrud, Stale**, 2002, The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise, Final Report to European Commission DG Environment, Brüssel

**Orszag, Peter R. / Orszag, Jonathan M.**, 2000, Quantifying the Benefits of more stringent Aircraft Noise Regulations, commissioned by Northwest Airlines, URL: <http://www.sbg.com/Papers/Quantifying%20the%20Benefits%20of%20Proposed%20Aircraft%20Noise%20Regulations.pdf> [Stand: 2007-03-14]

**Ortscheid, Jens**, 2002, Online-Lärmumfrage – Auswertung der Online-Umfrage des Umweltbundesamtes, Berlin

**Pearce, David**, 1978, Noise Nuisance, in: Pearce, David (ed.), The Valuation of Social Cost, London, S. 31–53

**Pommerehne, Werner**, 1986, Der monetäre Wert einer Flug- und Straßenlärmreduktion – Eine empirische Analyse auf der Grundlage individueller Präferenzen, in: Umweltbundesamt (Hrsg.), Kosten der Umweltverschmutzung, UBA-Berichte, Nr. 7/86, Berlin, S. 199–213

- Reinhold**, Tom, 1997, Zur Problematik der Monetarisierung externer Kosten des Verkehrslärms, in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 68. Jg., Nr. 2, S.123–164
- Reinhold**, Tom, 1998, Die Internalisierung externer Kosten des Verkehrslärms, in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 69. Jg., Nr. 4, S. 245–270
- Rothengatter**, Werner et al., 2004, External Costs of Transport – Update Study, Zürich/Karlsruhe
- Schipper**, Youdi / **Nijkamp**, Peter / **Rietveld**, Piet, 2002, Thirty Years of aircraft noise value studies: a meta analysis, in: Florax, Raymond / Nijkamp, Peter / Willis, Kenneth (ed.), Comparative Environmental Economic Assessment, Northampton, S. 235–245
- Schmid**, Stefan, 2005, Externe Kosten des Verkehrs: Grenz- und Gesamtkosten durch Luftschadstoffe und Lärm in Deutschland, Stuttgart
- Schopenhauer**, Arthur, 1851, Parerga und Paralipomena, in: Köhler, Max (Hrsg.), 1986, Arthur Schopenhauers sämtliche Werke, Band 5, Berlin
- Schreckenberg**, Dirk, 2006, Lärmbetroffenheit 2004 in Baden-Württemberg und Deutschland, URL: [http://www.acon.de/laermkongress/Laermkongress\\_Vortraege/Schreckenberg\\_Vortrag\\_12072006.pdf](http://www.acon.de/laermkongress/Laermkongress_Vortraege/Schreckenberg_Vortrag_12072006.pdf) [Stand: 2007-03-14]
- Sommer**, Heini / **Suter**, Stefan / **Höin**, Reto, 1998, Externe Lärmkosten des Verkehrs – Schlußbericht Vorstudie I, Bern
- Spessert**, Bruno, 2003, Möglichkeiten zur Reduktion des Straßenverkehrslärms, in: VCD (Hrsg.), Leise in die Zukunft – Der Beitrag der Industrie zur Reduktion von Verkehrslärm, Tagungsband, Teil 1, Bonn, S. 52–69, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]
- Stadt Ingolstadt**, 2006, Westliche Ringstraße: Pilotprojekt zweischichtiger offenporiger Asphalt (ZOPA), URL: <http://www2.ingolstadt.de> [Stand: 2007-03-14]
- Stenschke**, Reiner, 2003, Leise Reifen, in: VCD (Hrsg.), Bekämpfung von Straßenlärm, Tagungsband, Bonn, S. 21–38, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]
- Steven**, Heinz, 2005, Ermittlung von Geräuschemissionen von Kfz im Straßenverkehr, Würselen
- Theebe**, Marcel, 2004, Planes, Trains and Automobiles: The impact of Traffic Noise on House Prices, in: Journal of Real Estate Finance and Economics, Vol. 28, No. 2/3, S. 209–234
- Thießen**, Friedrich / **Schnorr**, Stephan, 2005, Immobilien und Fluglärm, Chemnitz
- UVP-Geschäftsstelle / Umweltamt Köln**, 2003, UVP-Bewertungshandbuch der Stadt Köln, URL: <http://www.stadt-koeln.de/imperia/md/content/pdfdateien/pdf57/uvp/7.pdf> [Stand: 2007-03-14]
- Vallet**, Michel et al., 1995, Recherche d'un indice acoustique de gene nocturne liée au trafic routier, LEN report No. 9503, Lyon/Bron
- VCD – Verkehrsclub Deutschland e. V.**, 2003, Maßnahmen gegen den Verkehrslärm, Bonn, URL: <http://www.vcd.org/174.html> [Stand: 2007-03-14]
- Wende**, Heidemarie / **Ortscheid**, Jens / **Hintzsche**, Matthias, 2004, Lärmwirkungen von Straßenverkehrsgeräuschen, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3047.pdf> [Stand: 2007-03-14]

## **Kurzdarstellung**

Lärm ist die subjektive Bewertung eines Schallereignisses. Da Lärm von jedem Menschen als anders störend empfunden wird, ist er nicht objektiv messbar. Zudem sind die Lärmfolgen nur unzureichend erforscht. Lärm verursacht keine eindeutigen Krankheitsbilder, scheint aber einige multikausale Erkrankungen zu fördern. All dies führt dazu, dass Lärm für den Ökonomen ein kaum erfassbares Problem darstellt. Auch wenn der Lärm unzweifelhaft externe Kosten verursacht, fehlt es an befriedigenden Möglichkeiten, deren Höhe zu ermitteln. Damit wird es auch schwierig, die wohlfahrtsoptimalen Aufwendungen für zusätzlichen Lärmschutz zu ermitteln. Unter den Lärmarten nimmt der Verkehrslärm eine herausgehobene Stellung ein. Um die Lärmemissionen der Verkehrsträger Straße, Schiene und Luftfahrt zu bekämpfen, wurden zwar verschiedene technische und organisatorische Konzepte entwickelt. Welches Instrument geeignet ist, um eine Lärmbelastungslage zu entschärfen, kann aber immer nur in einer Einzelfallprüfung entschieden werden. Lärm ist ein strikt lokales Phänomen und die Lärmelage wird von zahlreichen lokalen Faktoren wie Bebauung, Bepflanzung und örtlicher Meteorologie entscheidend beeinflusst. Daher sollte die Verantwortung und Kompetenz für Lärmbekämpfung auch auf lokaler Ebene angesiedelt werden.

## **Abstract**

Noise is the subjective evaluation of a 'sound event'. Since every individual feels disturbed by it in a different way, it cannot be measured objectively. Moreover, the effect of noise has not been sufficiently researched. Noise does not cause any specific illness but seems to aggravate certain multi-causal diseases. All of this makes noise almost impossible for economists to deal with. Even though noise indubitably causes external costs, there are no satisfactory methods for calculating them. For this reason, it is also difficult to determine the optimal level of expenditure on additional protection from noise for the general welfare. Of all its different manifestations, noise from traffic is the most salient problem. Whilst various technical and organisational strategies have been developed to combat the noise emissions of road, rail and air transport, the appropriate instrument for reducing noise pollution can only be determined by investigating each individual case. Noise is a strictly local phenomenon and in every situation noise levels are subject to numerous local factors such as how densely built up the area is, the amount of vegetation and the local weather conditions. The responsibility and competence for combating noise should therefore lie at the local level, too.