

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Sondergutachten

des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen

Umwelt und Gesundheit

Risiken richtig einschätzen

3.5 Umweltbedingte Lärmwirkungen..... 158

3.5 Umweltbedingte Lärmwirkungen

3.5.1 Schall und Lärm

387. Mit den allgemein gebräuchlichen Ausdrücken *Lärm*, *Lärmwirkungen*, *Lärmwirkungsforschung* sind objektiv meßbare *Schall*belastungen gemeint sowie deren Wirkungen und die Erforschung dieser Wirkungen. Schall, der als lästig erlebt wird oder zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt, wird als Lärm bezeichnet. Lärm selbst kann nicht gemessen werden, sondern nur die physikalischen Bestandteile des Schalles können exakt definiert und die im menschlichen Organismus durch diesen Schall ausgelösten Wirkungen beschrieben werden.

Tabelle 3.5-1

Pegelbereiche für Lärm in der Umwelt

dB(A)	Beispiele
0	Definierte Hörschwelle
10	Blätterrauschen im Wald
20	Tropfender Wasserhahn
30	Flüstern
40	Brummen eines Kühlschranks; leise Radiomusik
50	Leise Radiomusik; übliche Tagespegel im Wohnbereich
60	Umgangssprache; Pkw in 15 m Abstand
70	Rasenmäher; Schreibmaschine in 1 m Abstand
80	Pkw mit 50 km/h in 1 m Abstand; max. Sprechlautstärke
90	Lkw-Motor in 5 m Abstand; Pkw mit 100 km/h in 1 m Abstand
100	Kreissäge; Lärm in einem Kraftwerk; Posaunenorchester
110	Propellerflugzeug in 7 m Abstand; Bohrmaschine; laute Diskothek
120	Verkehrsflugzeug in 7 m Abstand; Beginn der Schmerzgrenze
130	Düsenjäger in 7 m Abstand; Walkman Maximalbelastung; Schmerzgrenze
160	Gewehrscuß in Mündungsnähe

Quelle: SEIDEL, 1998; GRIEFAHN, 1988; modifiziert und erweitert

Physikalisch handelt es sich bei Schall um mechanische Wellen, die sich im Raum ausbreiten. Der Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) gemessen und nach einer sogenannten Bewertungskurve A bewertet. Die A-Bewertung berücksichtigt die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs. Meßergebnisse für Lärmpegel werden üblicherweise in dB(A) angegeben (siehe Kasten „Lärmmessung“). Die Hörfähigkeit des Menschen umfaßt die Frequenzen von 16 Hz bis 16 000–20 000 Hz und die Schallpegel von 0 bis etwa 120 dB(A). Für die Altersschwerhörigkeit ist ein eingeschränktes Hörvermögen im Bereich der oberen Frequenzen typisch. In Tabelle 3.5-1 sind einige für unsere Umwelt typische Pegelbereiche angegeben.

Schall wirkt unmittelbar auf das Ohr, indem das Innenohr durch die Schallenergie belastet wird. Durch übermäßige Belastung kann das Innenohr so geschädigt werden, daß eine Lärmschwerhörigkeit auftritt. Neben diesen – auf das Ohr bezogenen – *auralen* Wirkungen gibt es *extraaurale*, d.h. jenseits des Hörorgans bewirkte Funktionsänderungen im physiologischen, psychologischen und sozialen Bereich.

388. Die Lärmbelastung ist in Deutschland wie in anderen europäischen Ländern sehr hoch. So sind schätzungsweise 20 % der Bevölkerung der Europäischen Union (das sind circa 80 Millionen Menschen) tagsüber ständig verkehrsbedingten Lärmpegeln über 65 dB(A) ausgesetzt. Dominierende Lärmquelle ist der Straßenverkehr. In Deutschland ist die Geräuschbelastung durch Straßenverkehr trotz technischer und planerischer Lärminderungsmaßnahmen auf einem hohen Niveau in etwa gleich geblieben (Tab. 3.5-2). Etwa 15,6 % der Bevölkerung der alten Bundesländer sind tags mit Mittelungspegeln von über 65 dB(A) belastet, etwa 30 % sind auch nachts Pegeln über 50 dB(A) ausgesetzt. Die gesundheitliche Relevanz derartiger Lärmbelastungen wird derzeit intensiv erforscht und kontrovers diskutiert. Die Diskussion über mögliche extraaurale Effekte des Lärms konzentriert sich auf kardiovaskuläre Reaktionen und die Frage, ob Umweltlärm in der Pathogenese des Bluthochdrucks eine Rolle spielen kann. Unbestritten ist, daß die Belästigung durch Lärm die am häufigsten wahrgenommene Form der Umweltbelastung ist. So fühlen sich etwa 70 % der Deutschen durch Straßenverkehrslärm und etwa 50 % durch Luftverkehrslärm belästigt (Tab. 3.5-3).

Tabelle 3.5-2

Geräuschbelastung der Bevölkerung in Prozent (Straßenverkehr alte Bundesländer)

		Mittelungspegel in dB(A)						
		>45 bis 50	>50 bis 55	>55 bis 60	>60 bis 65	>65 bis 70	>70 bis 75	>75
Tag	1992	16,5	15,8	17,9	15,6	9,1	5,2	1,5
	1997	16,4	15,8	18,0	15,3	9,0	5,1	1,5
Nacht	1992	17,7	14,7	9,8	4,3	2,9	0,2	0,0
	1997	17,6	14,3	9,3	4,2	2,9	0,2	–

Quelle: UBA, 1999

Lärmmessung

- Der **Schall(druck)pegel L** ist eine objektiv meßbare Größe, die in **Dezibel (dB)** angegeben wird. Der hörbare Bereich umfaßt die Schalldruckpegel von 10^{-5} bis 10^2 Pa; dies entspricht auf der Dezibel-Skala 0 bis 130 dB.
- Die Schallwahrnehmung hängt nicht nur vom Schalldruck, sondern auch von der Tonhöhe, d.h. von der **Schwingungsfrequenz der Schallwellen** ab. Wahrnehmbar sind Frequenzen von 16 bis 20 000 Hz.
- Die Hörempfindlichkeit geht nicht in allen Frequenzbereichen mit dem physikalisch meßbaren Schallpegel parallel. Um eine hörgerechte Schallmessung zu erreichen, wird das physikalische Meßergebnis korrigiert, meistens nach der Bewertungskurve A. Der **A-bewertete Schallpegel L(A)** mit der Maßeinheit **dB(A)** stellt eine ausreichende Annäherung an die menschliche Lautstärkeempfindung dar. Eine Zu- bzw. Abnahme um 10 dB(A) wird als Verdoppelung bzw. Halbierung der Lautstärke wahrgenommen.
- Zur Beurteilung längerfristiger, im Schallpegel schwankender Geräusche, wird bei einer kontinuierlichen Pegelmessung der mittlere Verlauf als **Mittelungspegel L_m** oder als **energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{eq3}** (international L_{Aeq}) berechnet. Beide Kennwerte sind in Deutschland identisch definiert – mit Ausnahme von Messungen nach dem Fluglärngesetz. Unter Verwendung des Halbierungsparameters $q = 3$ entspricht eine Erhöhung des energieäquivalenten Dauerschallpegels um 3 dB einer Halbierung der Einwirkzeit.
- Bei **Beurteilungspegeln L_r**, bezieht sich die Mittelung auf bestimmte Zeiträume, z.B. 16 Stunden am Tag oder 8 Stunden in der Nacht. Durch Hinzufügen von Zuschlägen kann aus L_{eq} ein Beurteilungspegel gebildet werden, der den Störgrad verschiedener Lärmarten berücksichtigt, z.B. ein Impulzzuschlag von 2 bis 4 dB(A) zur Berücksichtigung schneller Pegeländerungen.
- Für bestimmte Fragestellungen empfiehlt sich die zusätzliche Berücksichtigung des **Maximalpegels L_{max}** oder des **Spitzenpegels L₁**, der nur in 1 % der Meßdauer erreicht oder überschritten wird.
- Zeitkonstanten der Meßgeräte (Fast, Slow, Impulse) kennzeichnen die gerätetechnische Anstiegszeit. Mit „Fast“ und „Impulse“ werden schnelle Pegeländerungen besser erfaßt als mit „Slow“.

3.5.2 Grundlagen der medizinischen Wirkungen von Lärm

Die medizinische Wirkung von Schall und Lärm erstreckt sich auf zwei getrennt zu betrachtende Bereiche: den auralen und den extraauralen Bereich. In beiden Bereichen der Lärmwirkung ist zwischen akuten (meist

reversiblen) und chronischen (meist irreversiblen) somatischen Wirkungen zu unterscheiden. Extraaurale Wirkungen haben zudem eine starke psychische Komponente, die über psychosomatische Reaktionen die physiologischen Lärmwirkungen beeinflusst.

3.5.2.1 Aurale Lärmwirkungen und Lärmschwerhörigkeitsrisiken

389. Im auralen Bereich kann eine sehr starke Schallbelastung (z.B. 90 dB(A)) zu einer Hörermüdung führen, die subjektiv als „Vertäubung“ erlebt wird, die jedoch nach einer ausreichend bemessenen Ruhezeit wieder verschwindet. Bei extrem hohen Schalldruckpegeln (Knalle, Explosionen) können irreparable Gehörschäden schon durch Einzelschallereignisse verursacht werden. Bei lärmbelasteten Industriearbeitern reicht in der Regel eine 16- bis 18-stündige Freizeit nach der Schicht aus, um das Gehör wieder voll funktionsfähig zu machen. Wenn dagegen Vertäubungen über Jahre und Jahrzehnte regelmäßig immer wieder auftreten, ermüdet das Hörorgan so stark, daß die Zeit zwischen den Lärmbelastungsperioden nicht ausreicht, um die Vertäubung vollständig aufzuheben. Der Betroffene geht mit einer Restvertäubung in die neue Schicht, bis es schließlich zu einer permanenten Vertäubung, d.h. zu einer Lärmschwerhörigkeit kommt. Bei einem Lärmpegel von 90 dB(A) entwickeln etwa 5 % der exponierten Personen eine Lärmschwerhörigkeit. Für ständige (24-stündige) Lärmbelastung gelten 70 bis 75 dB(A) als Schwelle für Schwerhörigkeit.

In der Arbeitsstättenverordnung ist ein Mittelungspegel von 85 dB(A) als Beginn eines Lärmschwerhörigkeitsrisikos angegeben. Wenn diese Lärmbelastung über einen Zeitraum von 10 Jahren und täglich 8 Stunden auf das Ohr einwirkt, verursacht sie bei 1 % der Arbeitnehmer eine Lärmschwerhörigkeit. Aber selbst bei sehr hohen Mittelungspegeln (z.B. 100 dB(A)) kommt es nicht bei allen, sondern nur bei einem bestimmten Prozentsatz der Betroffenen zur Lärmschwerhörigkeit, und bei den Lärmschwerhörigen sind bei gleicher Belastung unterschiedliche Ausprägungen der Schädigungen festzustellen. Bisher ist nur die Lärmschwerhörigkeit als durch Lärm verursachte Krankheit anerkannt. Sie ist mit etwa 30 % aller Anzeigen die am häufigsten entschädigte Berufskrankheit in Deutschland.

390. Einige Situationen im Freizeitbereich sind ebenfalls mit auralen Risiken behaftet. Sie sind dem Bereich der Selbstschädigung zuzuordnen. Besonders alarmierend ist die Situation bei Vorrichtungen zur Knallerzeugung, wie Schreckschußwaffen, Spielzeugpistolen oder Feuerwerkskörpern. Hier liegen die Spitzenpegel z.T. weit über der Schädigungsschwelle für Einzelereignisse. Schon ein einziger Knall mit dem effektiven Schalldruckpegel von 190 dB(A) kann das ungeschützte Innenohr irreparabel schädigen.

Auch häufige Belastungen durch Musik, die durch Lautsprecher verstärkt wird, führen – in Abhängigkeit von den Schallpegeln und von der Häufigkeit des Besuchs solcher Veranstaltungen – zu auralen Wirkungen. Bisherige Messungen von Pegelverläufen in Diskotheken oder

bei Pop-Konzerten ergaben äquivalente Dauerschallpegel, die fast immer über dem Gefährdungskriterium 85 dB(A) liegen, nicht selten aber 93 bis 96 dB(A) betragen. Das bedeutet, daß die in diesen Geräuschen auftretenden Einzelpegel bis an 116 dB(A) oder an die Schmerzschwelle heranreichen. Höruntersuchungen im Rahmen der Musterung zum Militärdienst ergaben bei 24 % der Untersuchten auffällige Hörbefunde. Männer, die mehr als einmal in der Woche eine Diskothek besuchten, wiesen eine 1,3-fach häufigere Hörschädigung auf als solche, die seltener dorthin gingen. Die Berechnung des attributiven Risikos ergab, daß bei den Diskothekenbesuchern mit auffälligem Hörverlust insgesamt 23 % der Fälle dem Einfluß des Diskothekenlärms zuzuschreiben waren (STRUWE et al., 1995).

Ein weiteres gesundheitliches Problem stellt das häufige Tragen von ohrnahen Schallquellen (z.B. Walkman) dar. Das Risiko einer Gehörschädigung ist bei denjenigen, die über Kopfhörer mehr als 500 Stunden pro Jahr laute Musik (über 85 dB(A)) gehört haben, auf das 1,8-fache gegenüber der weniger häufig hörenden Kontrollgruppe erhöht. 44 % der Fälle von Hörschäden können dem lauten Walkman-Hören zugeschrieben werden (STRUWE et al., 1996).

391. Im Umweltbereich können extreme Einzelpegel bei Tiefflügen auftreten. Üblicherweise liegen die Schallbelastungen aber unter 85 dB(A); die Lärmschwerhörigkeit als Folge der Exposition spielt daher keine Rolle. Im Bereich der Umweltmedizin sind statt dessen die extraauralen Wirkungen Gegenstand experimenteller und epidemiologischer Forschung. Inzwischen gibt es Anhaltspunkte, die auf einen Zusammenhang zwischen chronischer Verkehrslärmbelastung und der Entwicklung von Herz-Kreislauf-Krankheiten hinweisen. In der Arbeitsmedizin werden extraaurale Beeinträchtigungen zwar auch zur Kenntnis genommen (z.B. Bluthochdruckentwicklung), die Maßnahmen beschränken sich jedoch fast vollständig auf die Einhaltung des Grenzwertes von 85 dB(A) und auf die Prophylaxe der Lärmschwerhörigkeit.

3.5.2.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Akute physiologische Lärmwirkungen

392. Lärm und Schall generell wirken nicht nur auf den Gehörsinn, sondern beeinflussen über zentralnervöse Impulse den Gesamtorganismus. Das autonome (vegetative) Nervensystem wird direkt oder indirekt über zentralnervöse Strukturen erregt und beeinflusst dann eine Reihe von vegetativen Funktionen, z.B.

- Freisetzung von ACTH (adrenocorticotropes Hormon), Cortisol und Katecholaminen (Adrenalin und Noradrenalin),
- Steigerungen von Herzfrequenz, Blutdruck, Atmungsfrequenz, Schweißsekretion, Magensaftproduktion,
- Vergrößerung der Pupillenfläche,
- Erhöhung der Muskelspannung,
- Verringerungen von peripherer Durchblutung und Hautwiderstand.

Diese physiologischen vegetativen Reaktionen sind nicht als krankhafte Veränderungen des menschlichen Organismus aufzufassen. Sie zeigen vielmehr an, daß der Organismus auf ein erhöhtes Aktivitätsniveau angehoben wird. Sie werden als ergotrope bzw. sympathikotone Reaktionen bezeichnet und sind in der Regel vorübergehender Natur.

393. Die schallbedingten Änderungen physiologischer Funktionen (periphere Gefäßverengung, Pupillenerweiterung u.ä.) fallen je nach Höhe der Schalldruckpegel unterschiedlich stark aus. Für gewohnte, bedeutungsarme oder bedeutungsarm gewordene Geräusche liegt der Schwellenwert (Beginn der Reaktionen) im Wachzustand bei Maximalpegeln oder kurzfristigen Einwirkungen zwischen 60 und 65 dB(A). In der Nacht liegt – entsprechend der größeren Empfindlichkeit des vegetativen Nervensystems und damit der Regulation der Durchblutung – der Schwellenwert für Vasokonstriktionen im Bereich zwischen 50 und 55 dB(A).

394. Anhand der Pupillenerweiterung bei zunehmender Schallbelastung konnte JANSEN (1967) als Schwellenwert für eine gesunde Reizverarbeitung den Wert von 99 dB(A) ermitteln. Im Bereich von 65 bis 99 dB(A) läßt sich, wie bei körperlicher oder mentaler Arbeit, eine Gewöhnung feststellen; die Reaktionen in der Peripherie fallen nach einiger Zeit nicht mehr so stark aus, obwohl der Lärm anhält. Gewöhnung ist bis in den Bereich von 85 dB(A) immer zu beobachten, ist aber zwischen 85 und 99 dB(A) zunehmend schwächer ausgeprägt. Ab 100 dB(A) treten nur noch Defensivreaktionen auf, hier ist also eine Gewöhnung nicht mehr möglich. Die Reaktionen sind als übersteuert und damit als potentiell pathogen zu bezeichnen. Als Schwellenwert zwischen normaler Verarbeitung von Schallreizen und Beginn der vegetativen Übersteuerung wurde der Maximalpegel von 99 dB(A) ermittelt.

395. Nach der Bestimmung des Schwellenwertes für die physiologische Verarbeitung wurden in zusätzlichen Untersuchungen mit überkritischen (105 dB(A) betragenden) Pegeln Kreislaufmessungen bei gesunden und erkrankten Personen durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse bestätigten die Auffassung, daß bei häufigen Überschreitungen des Schwellenwertes von 99 dB(A) mit pathologischen Reaktionen gerechnet werden muß. Auch epidemiologische Nachuntersuchungen zeigten, daß häufige überkritische Maximalpegelbelastungen zu einer erhöhten Erkrankungsrate im Herz-Kreislauf- sowie im neurovegetativen Bereich führen (JANSEN, 1983 und 1967). Bei *seltener* Belastungen ist eine Gesundheitsbeeinträchtigung jedoch nicht zu erwarten.

396. Ähnlich wie langzeitige Überlastungen durch körperliche Arbeit eine Gefährdung der Gesundheit bewirken, können übermäßig hohe und lang einwirkende Schallbelastungen zu Gesundheitsbeeinträchtigungen im extraauralen Bereich führen. Bei fortgesetzter oder zu intensiver Reizung kommt es zu einem Überwiegen der oben beschriebenen ergotropen (leistungssteigernden) Reaktionen zu Lasten der notwendigen, ausgleichenden Phasen. Aus dieser Verschiebung des Gleichgewichts resultiert eine verstärkte Beanspruchung des Organismus mit erhöhtem Energieumsatz und erhöhtem Verschleiß.

Folglich ist auf dem extraauralen Sektor nicht mit einer spezifischen Lärmkrankheit zu rechnen, sondern Lärm wirkt als Streßfaktor und kann als solcher Erkrankungen begünstigen, die durch Streß mitverursacht werden. Dies sind hauptsächlich Herz-Kreislauf-Krankheiten.

Lärm als Streßfaktor

397. Streß ist eine reizunspezifische Reaktion auf Anforderungen und Belastungen. Auslösende Ursachen für die Streßreaktion können Infektionen, Verletzungen, Kälte- oder Hitzebelastungen, starke Schallreize sowie alle Reize mit emotionaler Beteiligung sein. Die Streßreaktion dient der Sicherung der Leistungsfähigkeit und liefert Energie für körperliche und mentale Belastungen. Charakteristisch für die Streßreaktion ist eine gesteigerte Sympathikusaktivität und eine verstärkte Ausschüttung von Streßhormonen.

Mäßige Belastungen stellen für den Menschen eine Herausforderung dar, die für die Entwicklung und die Stärkung der körperlichen Verfassung des menschlichen Organismus eine hohe Bedeutung haben – in diesen Fällen spricht man von Eustreß. Eustreß ist immer zeitweilig, d.h. der Aktivierung folgt eine entsprechende Phase der Entspannung und Erholung. Bei permanenter Aktivierung oder Überaktivierung entsteht Distreß. Distreß kann pathologische Prozesse auslösen, da infolge langfristiger Beanspruchung bzw. wiederholter Überbeanspruchung Funktionssysteme geschädigt werden können. Von dieser Dysregulation sind in erster Linie das Herz-Kreislauf-System, der Verdauungstrakt und das Immunsystem betroffen.

Beim Lärm ist im physiologischen Bereich die Übersteuerungsgrenze von 99 dB(A) ein Indiz für Distreß. Auf psychologischer Ebene führen schon Lärmbelastungen, bei denen Erheblichkeit vorliegt, zu Distreß. Es ist davon auszugehen, daß schon erhebliche Belästigungen auch Rückwirkungen auf die psychosomatische Gesundheit haben. Im medizinischen Sinne ist der Streßfaktor „Lärm“ jedoch nur einer von vielen Risikofaktoren für die menschliche Gesundheit.

398. Vereinfacht lassen sich in der Streßforschung zwei Situationen unterscheiden:

- die Kampf-/Fluchtreaktion mit erhöhter Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin;
- die Niederlagereaktion mit erhöhter Freisetzung von Cortisol.

Entsprechend führen unterschiedlich starke, beziehungsweise ungewohnte oder gewohnte Lärmbelastungen bei wachen Personen zu verschiedenen Typen von Streßreaktionen (ISING et al., 1998):

- Bei hoher ungewohnter Lärmbelastung mit Schallpegeln über 90 dB(A) kommt es zu einer erhöhten Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark mit Wirkung auf Effektororgane, z.B. Blutgefäße.
- Bei gewohnter Lärmbelastung mit Pegeln über 90 dB(A) (z.B. Arbeitslärm) wird Noradrenalin aus den Nervenendigungen des sympathischen Nervensystems freigesetzt.

- Bei extremer Lärmbelastung mit Schallpegeln über 120 dB(A) (z.B. Tieffluglärm) erfolgt eine erhöhte Freisetzung von Cortisol aus der Nebennierenrinde mit Störung der allgemeinen Stoffwechsellage.

Bei Kombination von Lärm mit synergistisch wirkenden Belastungen (Kälte, Magnesiummangel, Störung von Konzentration und Kommunikation) führen bereits deutlich geringere Lärmbelastungen zu erhöhter Stresshormonausschüttung. So erhöhte Straßenverkehrslärm mit einem Mittelungspegel von 60 dB(A) die Noradrenalin-freisetzung bei erwachsenen Personen. Lärmbedingte Stressreaktionen laufen auch im Schlaf ab, da das Gehör als Warnsystem ständig auf Empfang geschaltet ist (ISING et al., 1998).

Adaption und Gewöhnung

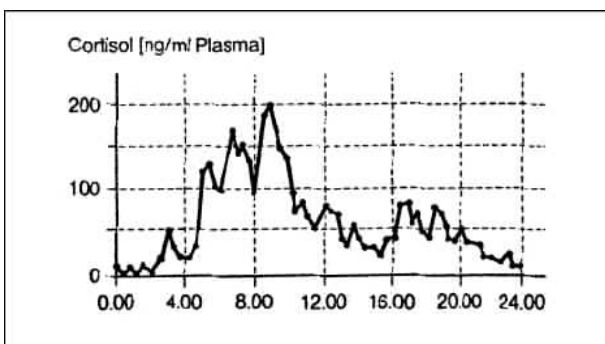
399. Bei langdauernden oder wiederholten Einwirkungen des gleichen Stressfaktors nimmt die Stärke der Stressreaktion mehr und mehr ab und es tritt eine physiologische Adaption ein. Ein solcher Anpassungsprozeß, der sich im Zeitraum von einigen Tagen bis zu mehreren Monaten vollzieht, ist streng stressorspezifisch (z.B. Anstieg der Erythrocytenzahl bei Sauerstoffmangel). Die unspezifischen Stressreaktionen (z.B. die Erhöhung der Stresshormone) nehmen mit wiederholten Belastungen ebenfalls ab. Dieser Anpassungsprozeß, der sich in kürzeren Zeiten vollzieht, wird als Gewöhnung (Habituation) bezeichnet und auch bei Lärm beobachtet (THEWS und VAUPEL, 1990).

Lärmwirkungen im Tag/Nacht-Verlauf

400. Zahlreiche biologische Funktionen (z.B. endokrine Regelkreise) bzw. ihre Parameter (z.B. Blutdruck, Herzfrequenz, Cortisolausschüttung) unterliegen einem Tag/Nacht-Verlauf (circadianer Rhythmus). So erreicht die Cortisolkonzentration zwischen 7 Uhr und 12 Uhr vormittags einen ausgeprägten Gipfel und sinkt dann langsam ab, um etwa gegen Mitternacht ein Minimum zu erreichen (Abb. 3.5-1). Die Ausschüttung der Katecholamine folgt demselben circadianen Rhythmus, der als leistungsbeeinflussend gilt. Die Circadianrhythmik weist ein Maximum und ein Minimum auf. Durch den

Abbildung 3.5-1

Sekretionsprofil von Cortisol über 24 Stunden bei einem gesunden Probanden



Quelle: JANSEN et al., 1999

Wechsel von Arbeit und Pause, verbunden mit Nahrungsaufnahme, wird diese „Eingipfeligkeit“ jedoch überformt. Es entsteht eine zweigipfelige Kurve der *Leistungsbereitschaft* mit einem Leistungshoch am Vormittag und einem zweiten, weniger ausgeprägten am Nachmittag. Der Tiefpunkt liegt in der Nacht. Dieser Verlauf kann durch andersartige Arbeitszeiten oder Verhaltensmuster jederzeit durchbrochen werden, weil der menschliche Organismus die Fähigkeit zur Anpassung besitzt.

401. Im Verlauf des circadianen Rhythmus sind zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Lärmempfindlichkeiten hinsichtlich Reaktivität bzw. Aktivierung nachzuweisen. Zwischen Minima und Maxima der tagesrhythmischen Empfindlichkeit sind Wirkungsdifferenzen im Verhältnis 1:10 zu verzeichnen. Bei einem einzigen Immissionsgrenzwert für den 16 h-Tag sind insbesondere die Abendstunden kritisch. Aus präventivmedizinischer Sicht wird daher vorgeschlagen, den 24 h-Tag in kleinere Zeitbereiche einzuteilen. Insbesondere der Bereich zwischen 19 Uhr und 22 Uhr wird als labile Phase mit herabgesetztem Aktivierungsniveau betrachtet (MASCHKE und HARDER, 1998).

Nach JANSEN et al. (1999) ist eine weitergehende Unterteilung der vorgegebenen 16 Tages- und 8 Nachtstunden in „Zeitscheiben“ aus physiologischer Sicht nicht zwingend. Wenn in einigen Regelwerken unterschiedliche Beurteilungen etwa der Abend- oder Morgenstunden vorgenommen werden, so könne dies medizinisch nicht begründet werden. Aus verhaltenssoziologischen Gründen mag eine Dreiteilung der Wachzeiten hingegen sinnvoll sein. So wird in einer Studie des TÜV Rheinland (1999) vorgeschlagen, von der einfachen Tag/Nacht-Unterscheidung zur Teilung des 24 h-Tages in Arbeitstag, morgendliche und abendliche Übergangszeiten (Freizeit, Geselligkeit) und nächtliche Kernzeit überzugehen (Abschn. 3.5.8 und 3.5.9).

Beeinflussung der Lärmwirkung durch nichtakustische Faktoren

402. Ein Schallreiz ruft in einer betroffenen Person grundsätzlich eine Reaktion hervor, aber beeinflussende (moderierende) Faktoren, die selbst nicht vom Ausmaß der akustischen Belastungen abhängen, steuern die Reaktion in Richtung einer Verstärkung oder Abschwächung. Bei der Beurteilung und Prävention von gesundheitlichen Lärmwirkungen müssen gleichzeitig auch die moderierenden Variablen miteinfaßt werden. Im wesentlichen handelt es sich hierbei um individuelle oder auch gesellschaftlich vorherrschende Einstellungen und Werturteile (siehe auch Abschn. 3.5.3). Auch stoffliche Belastungen und Mangelzustände sowie psychische Situationen wie z.B. Zeitdruck sind als Einflußfaktoren bekannt. Von besonderer Bedeutung für die Lärmwirkung ist die Beeinflussung durch biologische Rhythmen. Schon im Umweltgutachten 1987 hat der Umweltrat auf diese Zusammenhänge hingewiesen (SRU, 1988, Tz. 1445 ff.).

403. In jüngster Zeit wird ein Zusammenwirken von Lärmbelastung und Mangel an Serum-Magnesium bei der Entstehung einer Hypertonie diskutiert. So konnten

ALTURA et al. (1993) in Tierversuchen zeigen, daß eine magnesiumarme Diät einen lärmbedingten Bluthochdruck verstärken kann. Nach Meinung der Autoren könne eine Magnesiumunterversorgung einen bedeutenden Risikofaktor bei der Ätiologie von lärmbedingtem wie wahrscheinlich auch essentiellen Bluthochdruck darstellen. Ebenfalls in Tierversuchen (an Ratten) konnte gezeigt werden, daß Magnesiummangel und Lärm synergistisch die Noradrenalinausscheidung erhöhen. Langzeitfolgen der Kombinationsbelastung waren eine beschleunigte Alterung des Herzmuskels – gemessen als Anstieg des Calcium-Magnesium-Quotienten im Herzmuskel – und eine Verkürzung der Lebensdauer. Beide Parameter wurden in der Magnesiummangel-Gruppe signifikant verstärkt (ISING, 1998). Für die Zusammenhänge zwischen Magnesium-Bilanz und fluglärmbedingter Störfhormonausscheidung liegen auch Human- daten vor (s. Abschn. 3.5.4.1).

3.5.3 Belästigung durch Lärm

404. Wie bereits in der Definition von „Lärm“ deutlich wurde, spielt die subjektiv erlebte Belästigung eine zen-

trale Rolle in der menschlichen Schallwahrnehmung. Belästigung durch Lärm kann bereits bei mittleren Schallpegeln auftreten und ist daher die häufigste Wirkung von Umweltschall. In Deutschland fühlen sich etwa zwei Drittel der Bevölkerung durch Straßenverkehrslärm belästigt. Die zweitwichtigste Quelle für Lärmbelästigung ist der Flugverkehr, gefolgt von Schienenverkehr, Industrie und Gewerbe sowie von lauter Nachbarschaft (Tab. 3.5-3).

405. Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz zählen zu den schädlichen Umwelteinwirkungen neben „Gefahren“ auch „erhebliche Belästigungen“. Dieser Begriff wird je nach Vorbelastung, Gebietsqualität und anderen raumbedeutsamen Faktoren, insbesondere der wirtschaftlichen Bedeutung der emittierenden Anlage, differenziert ausgelegt. Als erhebliche Belästigung im medizinischen Sinne wird im allgemeinen derjenige äquivalente Dauerschallpegel angesehen, bei dem sich 25 % der Befragten stark belästigt fühlen. Die Schwellenwerte für Belästigungsreaktionen liegen bei 50 bis 55 dB(A); für erhebliche Belästigungen liegen sie um 10 dB(A) höher. Die erhebliche Belästigung im medizinischen Sinne ist daher zu unterscheiden von dem Begriff der erheblichen Belä-

Tabelle 3.5-3

Anteil lärmbelästigter Personen in Deutschland von 1984 bis 1994
(Angaben in %)

Anteil Belästigter durch		1984	1986	1987	1989	1991	1992	1993	1994
Straßenverkehr	D						70	75	69
	AL/NL	61/–	65/–	54/–	69/–	69/85	66/84	72/85	66/79
davon stark belästigt	D						24	24	22
	AL/NL	21/–	25/–	19/–	23/–	21/35	20/40	21/36	18/37
Flugverkehr	D						48	50	42
	AL/NL	37/–	48/–	37/–	53/–	58/37	54/31	54/34	46/27
davon stark belästigt	D						14	12	9
	AL/NL	11/–	17/–	14/–	20/–	2	3	4	3
Schienenverkehr	D						21	24	21
	AL/NL	17/–	19/–	14/–	20/–	24/24	20/26	23/29	20/24
davon stark belästigt	D						3	4	3
	AL/NL	3/–	4/–	3/–	3/–	4/4	3/5	3/6	3/3
Industrie	D						19	22	21
	AL/NL	23/–	21/–	14/–	23/–	21/23	18/23	22/26	21/23
davon stark belästigt	D						3	4	3
	AL/NL	4/–	4/–	2/–	3/–	3/3	3/4	4/3	3/3
Nachbarn	D						23	22	22
	AL/NL	27/–	30/–	–/–	31/–	23/23	23/25	21/25	19/27
davon stark belästigt	D						5	5	6
	AL/NL	4/–	4/–	–/–	4/–	4/6	4/7	4/7	5/7
Sportanlagen	D						8	7	7
	AL/NL	10/–	13/–	8/–	13/–	11/4	8/8	7/7	8/6
davon stark belästigt	D						1	1	1
	AL/NL	1/–	1/–	1/–	2/–	1/–	1/1	1/–	1/1

AL/NL: alte/neue Bundesländer; Minuszeichen (–): keine Angaben

Quelle: UBA, 1998

stigung in den maßgeblichen Umweltgesetzen, bei denen es nicht allein auf die Reaktion der Betroffenen, sondern auch auf wirtschaftliche und soziale Faktoren ankommt.

In der juristischen Eingrenzung auf „erhebliche Belästigung“ hat dieser Begriff einen herausragenden Stellenwert für die Beurteilung unzumutbarer Schallimmissionen gewonnen und stellt die Lärmwirkungsforschung vor die Aufgabe, diese Erheblichkeitsgrenze inhaltlich zu präzisieren. Bei näherer Betrachtung ist die „Belästigung“ jedoch vielschichtig (vgl. GUSKI et al., 1998; LERCHER, 1998; SCHICK, 1997). Sie kann folgende Komponenten umfassen:

- die *Lästigkeit* eines Schallreizes, wie sie in psychophysiologischen Laborexperimenten untersucht wird. Zwar sind Einflüsse der Situation und der Person an solchen Lästigkeitsurteilen beteiligt, aber es lassen sich auch Zusammenhänge zwischen wahrgenommener Lästigkeit und akustischen Charakteristika des Schallereignisses wie Schärfe, Schwankungsbreite usw. ermitteln (vgl. ZWICKER, 1991);
- die *Emotion*, d.h. das Gefühl von Verärgerung, Belästigung oder Störung des persönlichen Wohlbefindens;
- die *Störung* oder Unterbrechung von alltäglichen Aktivitäten, insbesondere Störungen der Kommunikation und der Entspannung;
- psychosomatische *Symptome* wie Reizbarkeit, Ge- spanntheit, Kopfschmerzen u.ä.

In der englischsprachigen Literatur werden die drei letztgenannten Komponenten unter „annoyance“ zusammengefaßt (CLARK, 1984), während im deutschsprachigen Raum häufiger ausdrücklich „Störungen“ untersucht werden. Diese unterschiedlichen Definitionen werfen erhebliche Probleme beim Vergleich von Forschungsergebnissen auf. Daher ist es als wichtiger Fortschritt zu begrüßen, daß es in jüngster Zeit auf internationaler Ebene Ansätze zur Standardisierung von Fragebögen zur Lärmbelästigung gibt (FELSCHER-SUHR et al., 1998; FIELDS et al., 1998; FIELDS, 1996).

406. Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Lärmpegel und Belästigung werden häufig anhand der Prozentzahlen erheblich Belästigter angegeben (z.B. SCHULTZ, 1978 in seinem Vorschlag einer allgemeingültigen Lärmbelastigungskurve). Während sich die erfragte Belästigung als Erlebensqualität in vielen Studien als guter Indikator einer Schallbelastung erwiesen hat und bei unterschiedlichen Schallmaßen in der Regel einen klaren linearen Anstieg mit zunehmender Belastung zeigt, ist der Schnittpunkt, an dem eine *erhebliche Belästigung* beginnt, nach wie vor eher eine pragmatisch-politische Entscheidung als eine fundierte wissenschaftliche Aussage. Zudem birgt die häufig praktizierte Einschränkung auf den Prozentsatz erheblich Belästigter die Gefahr in sich, daß die tatsächlich in einer Bevölkerung vorhandene Gesamtheit an Belästigungen verzerrt dargestellt wird (vgl. BERGLUND und JOB, 1996; GUSKI, 1987). Dies ist ein äußerst wichtiger Kritikpunkt angesichts des in Westeuropa zu beobachtenden Trends, daß die Zahl stark belästigter Bürger sinkt, der Anteil von weniger stark belästigten jedoch steigt.

407. Auch wenn die erfaßten psychologischen Lärmwirkungen in der Regel deutlicher mit den physikalischen Kennwerten zusammenhängen als die medizinischen Wirkungen (GUSKI, 1987), wird die Streuung z.B. des Lästigkeitsurteils in einer Stichprobe in der Regel nur zu etwa einem Drittel durch akustische Faktoren geklärt. In den unter Tz. 405 aufgeführten Komponenten der „Belästigung durch Lärm“ sind situative und persönliche Einflüsse bereits impliziert, ganz deutlich in der Störung von Tätigkeiten, aber auch in den emotionalen und psychosomatischen Reaktionen. Mit dem Konzept der *Moderatorvariablen* (ROHRMANN, 1984), d.h. der Berücksichtigung von Faktoren, die den Zusammenhang von akustischer Belastung und Wirkungsparametern beeinflussen, kann die individuelle Streuung des Lästigkeitsurteils weiter aufgeklärt werden. Im wesentlichen werden in der Literatur folgende Einflußfaktoren genannt (LERCHER, 1998; SCHICK, 1997; GUSKI, 1987):

- *Faktoren der Geräuschquelle:* Informationsgehalt von Geräuschen, Kontrollierbarkeit und Vorhersehbarkeit des Geräusches, Einstellung des Betroffenen zur Geräuschquelle und zum Verursacher, Informationsstand über die Geräuschquelle, Einschätzung der Wichtigkeit oder Vermeidbarkeit des Geräusches, auch Sichtbarkeit der Geräuschquelle;
- *aktuelle Situation des Betroffenen:* vor allem Störungen von Konzentration und Arbeit, Schlaf oder Freizeitaktivitäten, situativ passender Kontext eines Geräusches;
- *sozialer Kontext und sonstige Umweltbedingungen:* Wohndauer, Zufriedenheit mit der eigenen Wohnsituation und dem Wohnumfeld, Rückzugsmöglichkeiten innerhalb der Wohnung, sonstige Umweltaspekte;
- *individuelle Faktoren der betroffenen Person:* gesundheitliche Befürchtungen oder Angstgefühle, allgemeine Lärmempfindlichkeit, Fähigkeit zur Lärmbewältigung, generelle Einstellung zu Lärm und Umweltproblemen, generelle subjektive Alltagsbelastung.

Diese Zusammenstellung häufig untersuchter Moderatorvariablen wird in einer transkulturellen Meta-Analyse von 282 Studien (FIELDS, 1992) bestätigt, in der für die folgenden Variablen in mehr als 50 % der Studien eine beeinflussende Wirkung auf die wahrgenommenen Belästigungen nachgewiesen wurden (Verstärkung (+) der Wirkung/Verminderung (-) der Wirkung):

- Selbsteinschätzung als allgemein lärmempfindlich (+)
- Überzeugung, daß der Verursacher den Lärm vermeiden könnte (+)
- mit dem Lärm assoziierte Angst vor Schädigungen (+)
- zusätzliche Belästigung durch nicht-akustische Faktoren, z.B. Befürchtungen um Luftverschmutzung, Gefahr von Flugzeugabstürzen, Wertverfall des Grundstücks u.ä. (+)
- Einschätzung der Lärmquelle als bedeutsam oder wichtig (-)
- Möglichkeiten des Schallschutzes (-).

408. In vielen Untersuchungen ist nachgewiesen worden, daß unterschiedliche Schallquellen bei gleicher akustischer Intensität deutlich in den wahrgenommenen Belästigungen differieren (vgl. LERCHER, 1998). Zusammenfassend läßt sich festhalten:

- Mehrere Studien belegen eine deutlichere Belästigung durch Fluglärm, vor allem hinsichtlich Störungen der Kommunikation und der Erholung. Die Anzahl der Flugbewegungen scheint eine wichtige Determinante für das Ausmaß der Belästigung zu sein.
- Autobahnlärm wird im Vergleich mit anderem Straßenverkehr als belästigender erlebt.
- Schienenverkehr erweist sich in den meisten Untersuchungen im Vergleich mit Straßenverkehr als Lärmquelle mit insgesamt geringerer Belästigungswirkung – allerdings in Abhängigkeit von Tageszeit, Pegelstärke und Zugfrequenz. Der pauschale Schienenbonus von 5 dB(A) bringt die Unterschiede in der wahrgenommenen Belästigung nicht zum Ausdruck. Feldstudien zur Frage, ob der Schienenbonus noch gerechtfertigt ist, sind in Arbeit (vgl. SCHÜMER-KOHRs et al., 1998).
- Industrie- und Gewerbelärm werden als besonders belästigend erlebt, insbesondere durch die Impulshaltigkeit und andere unangenehme Eigenschaften der Geräusche. Der übliche Zuschlag von 5 dB(A) für Impulshaltigkeit erscheint in vielen Fällen nicht ausreichend, um die Belästigung adäquat wiederzugeben.

Zu den genannten Umweltlärmquellen hat MIEDEMA (1993) in einer Metaanalyse einiger großer Feldstudien sehr detaillierte Zahlenangaben vorgelegt, bei welchen Schallpegeln welche Grade an Belästigungen zu erwarten sind.

409. Die *Schwellenwerte* für Belästigungen in der Bevölkerung liegen bei Mittelungspegeln von 50 bis 55 dB(A); für erhebliche Belästigung sind sie um 10 dB(A) höher. Als besonders belästigend wird bei Umfragen anhand von Belästigungsskalen die Störung der Kommunikation angegeben. Wie schon im Umweltgutachten 1987 ausführlich dargestellt, ist die Schwelle für eine entspannte und differenzierte Konversation in Wohnräumen bei einem Innenpegel von 40 dB(A) anzusetzen. Entsprechend den geringeren Erwartungen im Außenwohnbereich ist eine ausreichende Sprachverständlichkeit gegeben, wenn die Geräuschpegel 50 dB(A) nicht überschreiten (SRU 1988, Tz. 1433 bis 1435).

410. Eine wichtige Frage ist die *langfristige Entwicklung von Belästigungsreaktionen*, also eine eventuelle Gewöhnung an die Schallbelastung. Die wenigen Studien, in denen die Erfassung der Lärmbelastung nach einem bestimmten Zeitraum wiederholt wurde, haben ein gleichbleibendes Niveau oder einen Anstieg der erfragten Belästigung ergeben (LERCHER, 1998). In der jüngsten derartigen Studie, einer Felduntersuchung an 275 Schülern in der Umgebung des Flughafens London Heathrow mit Anschlußstudie nach einem Jahr, gaben die hochbelasteten Kinder zu beiden Befragungsterminen eine höhere Lärmbelastung an als die Kontrollgruppe; die Daten gaben keinen Hinweis auf eine Gewöhnung an die Belastungsquelle (HAINES et al., 1998).

Bleibt eine hohe Belästigung über längere Zeit bestehen, ist diese Beanspruchung als Disstress einzustufen.

411. Insgesamt ist festzuhalten, daß die erfragte Lärm-belästigung einen verlässlichen Indikator für die Betroffenheit einer Bevölkerungsgruppe durch Lärmquellen darstellt und die physikalischen Lärmmaße relativ gut abbildet. Ein wesentlicher Anteil der intra- und interindividuellen Streuung läßt sich durch eine Reihe nicht-akustischer Einflußfaktoren erklären. Dies sind vor allem Störungen von Kommunikation, Konzentration, Arbeit und Erholung.

3.5.4 Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch umweltbedingten Lärm

412. Die psychischen Lärmwirkungen sind im allgemeinen von körperlichen Reaktionen, insbesondere von Stressreaktionen begleitet. Bedingt durch Stressreaktionen können langandauernde Lärmbelastungen auch unterhalb der Schwelle für Gehörschäden gesundheitliche Beeinträchtigungen zur Folge haben. Wie in Abschnitt 3.5.2.2 ausgeführt, stehen am Beginn der Stressreaktion hormonelle Reaktionen, u.a. die Ausschüttung von Katecholaminen (Adrenalin und Noradrenalin) und von Cortisol. Diese Hormone haben vielfältige und komplexe Wirkungen und beeinflussen z.B. das Herz-Kreislauf-System, den Stoffwechsel und die Blutfette. So wirkt Adrenalin vor allem auf das Herz, während Noradrenalin vor allem den peripheren Gefäßwiderstand steigert und so den arteriellen Blutdruck erhöht. Cortisol hat in der Leber substanzaufbauende (anabole) Wirkung, in anderen Organen substanzabbauende (katabole) Wirkung. Die Folgen langfristiger Cortisolwerte oberhalb des Normwerts sind u.a. Cholesterinerhöhungen, Arteriosklerose und Beeinträchtigungen des Immunsystems. Der Nachweis einer durch Lärm bedingten Stressreaktion sollte primär durch Bestimmung der Stresshormone erfolgen. Sekundäre Parameter für Stressreaktionen sind Blutdruckerhöhung, erhöhte Blutfette und verändertes Schlafverhalten. Bei der Betrachtung der genannten Parameter ist zu beachten, daß die Stressreaktion selbst eine reizunspezifische Reaktion ist. Da Stressreaktionen durch zahlreiche Reize ausgelöst werden, ist die Beziehung zwischen Reiz (= Lärm) und Reaktion (= Lärmstressreaktion) häufig nicht eindeutig belegbar.

3.5.4.1 Hormonelle und biochemische Reaktionen

413. Die lärmbedingte Änderung von Stoffwechselreaktionen wurde in zahlreichen Arbeiten untersucht. Berichtet werden u.a. Veränderungen der Werte von Glukose, Enzymen und Stresshormonen in Blut und Urin. Nachgewiesen wurde auch eine lärmbedingte Zunahme der Permeabilität der Zellmembran. In einem Feldversuch wurde bei stark lärmexponierten Arbeitern eine Magnesium-Abnahme im Blut registriert. Insgesamt sind die Ergebnisse uneinheitlich und liefern noch kein schlüssiges Bild über die Lärmwirkungen auf biochemischer und endokriner Ebene (JANSEN und NOTBOHM, 1994).

Stressreaktionen bei nächtlicher Lärmbelastung (Berliner Lärmstudien)

414. In einer Laborstudie (MASCHKE, 1992) und in zwei Feldstudien (MASCHKE et al. 1995a und b) führte

Tabelle 3.5-4

Experimentelle Studien zur nächtlichen renalen Streßhormonausscheidung

Studie	Ruhebedingung	Lärmbedingung	Adrenalin	Noradrenalin	Cortisol
Laborstudie MASCHKE, 1992	$L_{eq} < 30$ dB(A)	L_{max} = 55, 65, 75 dB(A); 16, 32, 64 Überflüge	Um 60 % erhöht ($p < 0,05$)	Um 17 % erhöht ($p < 0,05$)	Nicht bestimmt
Feldstudie MASCHKE et al., 1995a	Nicht kontrolliert	L_{max} = 55, 65 dB(A); 16, 64 Überflüge	Um 17 % erhöht ($p < 0,01$)	Nicht unterschiedlich	Um 19 % erhöht ($p < 0,01$)
Feldstudie MASCHKE et al., 1995b	Pegeldifferenz 9–18 dB(A); Straßenverkehrslärm,	L_{eq} (außen) = 52,8 – 68,5 dB(A)	Nicht unterschiedlich	Um 6 % erhöht ($p > 0,05$)	Um 35 % erhöht Signifikant

$p < 0,05$: vermutlich signifikant; $p < 0,01$: signifikant
Quelle: ISING, 1998; MASCHKE, 1995a und b

nächtlicher Lärm zu erhöhten Adrenalin- bzw. Cortisolwerten im nächtlichen und morgendlichen Sammelurin (Tab. 3.5-4).

In der Felduntersuchung von Anwohnern des Flughafens Tegel in Berlin (MASCHKE et al., 1995a) führte Simulation von Nachtfluglärm in den ersten zwei Versuchsnächten zu einer erhöhten Adrenalinausscheidung. In der dritten und vierten Versuchsnacht war dagegen Cortisol erhöht. Bereits 16 Überflugereignisse mit Maximalpegeln von 55 dB(A) bewirkten eine signifikante Erhöhung der Streßhormonausscheidungen. Bei dieser Untersuchung blieb die Frage der Gewöhnung an Nachtfluglärm offen. Die Unterschiede in den Ergebnissen der Laborstudie und der Feldstudie lassen sich teilweise durch die unterschiedlichen Versuchskollektive erklären: Im Gegensatz zu den jungen Teilnehmern der Laborstudie (18 bis 35 Jahre) waren die Teilnehmer der Feldstudie mit 35 bis 65 Jahren wesentlich älter, so daß hier auch schwächere vegetative Reaktionen zu erwarten sind. In keiner der Studien konnte ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der nächtlichen Flüge und der Hormonausscheidung gesichert nachgewiesen werden.

Deshalb wurde im Rahmen der Studie „Verkehr und Gesundheit“ des Berliner Senats die Gewöhnung an Lärm von Personen in lauten und leisen Wohngebieten mittels der Katecholaminausscheidung verglichen. Beim Vergleich von Personengruppen mit Schlafzimmerfenstern an leisen bzw. lauten Straßen konnte eine um 9 % erhöhte Noradrenalinfreisetzung nachgewiesen werden. Personen, die angaben, oft oder immer durch Straßenverkehr geweckt zu werden, hatten eine um 24 % erhöhte Noradrenalinausscheidung im Vergleich zu ungestört schlafenden Personen. Es kann daher nicht von einer vollständigen Gewöhnung an die Streßreaktion ausgegangen werden (FROMME und BEYER, 1996).

In einem weiteren Teil dieser Studie wurde die Streßhormonausscheidung von Probanden bei Schallpegelerhöhung durch Öffnen von Schlafzimmerfenstern an lauten Straßen untersucht (MASCHKE et al., 1995b). Unter der akuten Pegelerhöhung wurde eine mittlere Erhöhung

der Cortisolausscheidung um ein Drittel nachgewiesen. Der nachträgliche Vergleich mit einer ruhig wohnenden Kontrollgruppe zeigte, daß die Noradrenalin- und Cortisolausscheidung der Verkehrslärm-belasteten auch bei geschlossenen Fenstern signifikant erhöht war. Da die Lärmgruppe normalerweise bei geschlossenen Fenstern schlief, liegen hier langfristige Streßhormonerhöhungen bei chronischer Nachtlärmbelastung vor (ISING, 1998; MASCHKE et al., 1997).

Nachtlärmbedingte Cortisolerhöhung und Magnesium-Bilanz

415. Wegen der gesundheitlichen Bedeutung nachtlärmbedingter Cortisolerhöhungen (gemessen als Cortisol im Urin) wurden 16 Versuchspersonen 40 Nächte lang untersucht. Nach drei Versuchsnächten ohne Lärm wurden in den Schlafzimmern über Lautsprecher pro Nacht 32 Fluglärmereignisse mit L_{max} 65 dB(A) simuliert. Zudem wurden die Probanden in je eine Gruppe mit ausgeglichener Magnesium-Bilanz und mit Magnesium-Verlusten eingeteilt. Die Gruppe mit ausgeglichener Magnesium-Bilanz zeigte eine normale Habituation nach einer deutlichen Anfangsreaktion: die Normbereichsüberschreitungen von Cortisol stiegen zunächst auf das Vierfache an und normalisierten sich danach. Bei der Gruppe mit Magnesium-Verlusten war bereits der Ausgangswert erhöht. Bei Nachtlärm stiegen die Normüberschreitungen auf mehr als 30 % an, fielen dann zunächst ab, um in den letzten 10 Lärmnächten erneut anzusteigen. Die Autoren folgern aus diesem Versuch, daß langfristige Nachtlärmexposition bei streßempfindlichen Menschen (hier die Gruppe mit negativer Magnesium-Bilanz) zu chronisch über den Normbereich erhöhten Cortisolwerten führen kann (ISING, 1998).

Streßreaktion und erhebliche Belästigung (Düsseldorfer Fluglärmstudie)

416. Am Flughafen Düsseldorf wurde fünf Monate nach Inbetriebnahme der neuen Startbahn eine Querschnittsstudie an 112 etwa fünfzigjährigen Anwohnern durchgeführt.

Dadurch kann zwischen den chronischen Auswirkungen der langjährigen Belastung (Überfluggebiet Südbahn) und der aktuellen Belastung (Überfluggebiet Nordbahn) unterschieden werden. Die durchschnittliche Anzahl der Überflüge betrug 304 Bewegungen pro Tag, die mittleren Maximalpegel lagen für die vier untersuchten Belastungsgebiete zwischen 64,1 und 68,6 dB(A). Das Kontrollgebiet war nicht durch Überflüge oder anderen Umweltlärm belastet. Testgröße für die Streßreaktion waren die auf Kreatinin bezogenen Cortisol-Tageswerte im Urin; zusätzlich wurde die momentane Belästigungsreaktion auf einzelne Fluglärmereignisse registriert. Insgesamt wurden keine signifikanten Cortisol erhöhungen gefunden. Die Mittelwerte lagen bei den Kontrollpersonen bei 19,7 µg/g Kreatinin und bei den Gruppen aus den vier Belastungsgebieten zwischen 21,2 und 25,8 µg/g Kreatinin. Die Belästigungsreaktionen bildeten die individuell unterschiedliche Belastung durch Fluglärm gut ab, ein Zusammenhang zwischen Belästigung und Cortisolausscheidung wurde nicht gefunden (KASTKA et al., 1998).

Streßreaktionen bei Schulkindern (Münchner Fluglärmstudien)

417. Im Zusammenhang mit dem Umzug des Münchner Flughafens im Mai 1992 wurden vor und nach dem Umzug insgesamt vier Gruppen von Familien mit Kindern im Alter von neun bis zwölf Jahren untersucht, die im alten und dem neuen Fluglärmgebiet leben, sowie zwei entsprechende städtische bzw. ländliche Kontrollgruppen. Die Parameter waren unter anderem Blutdruck, Streßhormone, Stimmung und Befindlichkeit, Konzentrations- und Gedächtnisleistung. Im folgenden sollen die Ergebnisse bezüglich der physiologischen Parameter dargestellt werden, auf die Veränderungen im psychischen Befinden wird in Abschnitt 3.5.4.5 eingegangen. In der ersten Untersuchung (Herbst/Winter 1991/92) waren die Untersuchungsgebiete ein vom Flugverkehr betroffenes Stadtgebiet, in dem ein L_{eq} (24 h) von 68 dB(A) und ein L_{max} von 80 dB(A) gemessen wurde, und ein vom Flugverkehr nicht betroffenes Stadtgebiet mit einem L_{eq} (24 h) von 59 dB(A) und einem L_{max} von 69 dB(A). Bei 135 normalhörenden zehnjährigen Kindern wurden in einer Nacht (20–8 Uhr) die Streßhormone im Urin bestimmt. Kinder, die seit mindestens zwei Jahren in der Nähe des Flughafens wohnten, wiesen eine im Mittel um 43 % ($p < 0,01$) erhöhte Adrenalinausscheidung und eine um 45 % ($p < 0,001$) erhöhte Noradrenalinausscheidung auf. In der Cortisolausscheidung war kein signifikanter Unterschied festzustellen (EVANS et al., 1995).

In der zweiten Studie im Gebiet des neuen Flughafens wurden insgesamt 217 Kinder untersucht, die einer Ausgangslärmbelastung L_{eq} (24 h) von 53 dB(A) ausgesetzt waren. Nach Inbetriebnahme des Flughafens stieg der Lärmpegel in den Kontrollgebieten auf L_{eq} 55 dB(A), im Bereich der Flugschneisen (= Belastungsgebiet) auf L_{eq} 62 dB(A) mit Spitzenwerten von 73 dB(A). Sechs Monate und 18 Monate nach Beginn des Flugbetriebes wiesen die belasteten Kinder signifikante ($p < 0,001$) Erhöhungen der nächtlichen Adrenalin- und Noradrenalinausscheidungen auf sowie nicht signifikante Anstiege der Cortisolwerte (Tabelle 3.5-5). In Übereinstimmung mit

Tabelle 3.5-5

Renale Ausscheidung von Streßhormonen unter Fluglärmbelastung

Parameter und Kollektiv	Vor Beginn des Flugbetriebs	6 Monate Flugbetrieb	18 Monate Flugbetrieb
Adrenalin, ng/h			
Belastungsgruppe	229,2 (153,4)	328,1 (130,4)	341,9 (168,1)
Kontrollgruppe	251,8 (57)	280,9 (64,6)	246,2 (83,7)
Noradrenalin, ng/h			
Belastungsgruppe	610,7 (338,6)	1 228,5 (659,7)	1 556,3 (703,6)
Kontrollgruppe	660,0 (509,9)	879,7 (457,7)	950,7 (525,5)

Angegeben sind Mittelwerte mit Standardabweichung in Klammern.

Quelle: EVANS et al., 1998

der Erhöhung der Katecholamine war bei den lärmbelasteten Kindern auch eine geringgradige, aber signifikante Erhöhung des Blutdrucks festzustellen. Die Kontrollgruppe zeigte deutlich geringere, statistisch nicht abgesicherte Anstiege der Streßhormone (EVANS et al., 1998).

Die Ausscheidung von Streßhormonen als Parameter extraauraler Lärmwirkung

418. Die vorgestellten Studien sind insgesamt uneinheitlich, belegen aber dennoch, daß Fluglärm zu erhöhten Ausscheidungen von Streßhormonen führen kann. Unklar ist, welche Parameter (Katecholamine oder Cortisol) in Abhängigkeit von Expositionsart (kurzzeitig oder chronisch) und Untersuchungsgruppe (Erwachsene, Kinder) zur Beschreibung der Streßreaktionen geeignet sind. Vor allem die erste Phase der Streßreaktion, die Alarm- oder Defensivreaktion, ist durch die Zunahme der Konzentration von Adrenalin und Noradrenalin im Blut und Urin (neben dem adrenocorticotropen Hormon ACTH und den Corticosteroiden) gekennzeichnet. Quantitative Bestimmungen von Katecholaminen oder deren Stoffwechselprodukten wie Metanephrin oder Vanillinmandelsäure werden daher in der Sportmedizin und in der Streßforschung genutzt. In arbeitsmedizinischen Studien wurde die Messung des Katecholamingehaltes im Blutplasma und im Urin zur Quantifizierung von Belastungen vorgenommen, wie sie z.B. bei Schichtarbeit oder unter Akkordtätigkeit auftreten (SIEGMANN et al., 1999). In den prospektiven epidemiologischen Studien von EVANS et al. (1998 und 1995) führte Fluglärm zu deutlichen Erhöhungen der Katecholamine, während die Veränderungen im Cortisolspiegel nicht signifikant waren. Nach EVANS et al. und nach anderen Autoren (zit. in EVANS et al., 1998) kann eine erhöhte Katecholaminausscheidung als verlässlicher Parameter für chronische Exposition gegenüber Stressoren angesehen werden, wohingegen die Cortisolkonzentrationen im Urin sich bisher als weniger aussagekräftig erwiesen haben.

Positive Befunde zur Erhöhung der Cortisolausscheidung liegen aus experimentellen Untersuchungen vor (MASCHKE et al., 1997; ISING et al., 1995). Aus der Sicht der Autoren dieser Untersuchungen lassen die Ergebnisse einen Anstieg der individuellen Streßhormonausscheidung unter nächtlichem Lärm erkennen. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der schlafmedizinischen Untersuchungen (siehe Abschn. 3.5.4.4) wird Nachtfluglärm als Disstreß bewertet, der das interne Milieu nachweislich verändert. Allerdings wurden die Normwerte der Adrenalin- und Noradrenalinausscheidungen nicht überschritten; auch die Cortisolausscheidung lag offensichtlich im Rahmen der physiologischen Bandbreite. Die Konzentration von Cortisol kann beim gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Forschung noch nicht als entscheidendes Kriterium für die Festlegung einer Gesundheitsgefährdung durch Lärm herangezogen werden. Die geschilderten individuellen Schwankungen der Cortisolwerte belegen die Flexibilität der Cortisolproduktion in Abhängigkeit von psychischen, körperlichen und altersabhängigen Aktivitäten und Belastungen. Zusätzlich muß überprüft werden, welche Bedeutung anderen Störparametern, z.B. Rauchen, Medikamenteneinnahme usw. bei der Veränderung der Cortisolausschüttung zukommt (JANSEN et al., 1999). Auch die in den Münchner Fluglärmstudien festgestellte Erhöhung der Katecholamine ist aus der Sicht der Autoren medizinisch nur wenig bedeutsam (BULLINGER, 1998 und 1999). Die politisch entscheidende Frage, welche Auswirkungen die festgestellten Erhöhungen der Streßhormonausscheidung auf die Gesundheit haben, läßt sich aus den bisherigen Untersuchungen nicht beantworten.

3.5.4.2 Lärm als Risikofaktor für die Entstehung einer Hypertonie

419. Unter Hypertonie versteht man die dauerhafte Erhöhung des arteriellen Blutdrucks auf Werte von systolisch über 140 mm Hg und diastolisch über 90 mm Hg (nach WHO-Definition; Personen bis 60 Jahre). Der diastolische Blutdruck wird dabei als der empfindlichere Indikator für eine Hypertonie angesehen. Die Ursachen der Hypertonie sind nach wie vor nur zum Teil aufgeklärt. Auf jeden Fall handelt es sich um ein komplexes multifaktorielles Geschehen. Die genetische Belastung ist ein wichtiger Faktor, aber selbst da sind wohl verschiedene genetische Defekte mit jeweils eigener phänotypischer Ausprägung anzunehmen. Als weitere bedeutsame Risikofaktoren wurden Alter, Rasse, Geschlecht, Adipositas, Sozialstatus, Alkoholkonsum und körperliche Bewegung ermittelt. Der Verlauf der essentiellen Hypertonie hängt darüber hinaus mit Rauchen und Serumcholesterin zusammen.

Berufliche Lärmbelastung und Hypertonie

420. In einer Reihe von epidemiologischen Studien wurde der Zusammenhang zwischen beruflicher Lärmbelastung und Bluthochdruck untersucht (s. Tab. 3.5-6 und 3.5-7). Diese Studien gelten als aussagekräftiger als vergleichbare Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Bluthochdruck und Lärmbelastung der Allge-

meinbevölkerung, weil Lärm am Arbeitsplatz meist mit deutlich höheren Pegeln als Umweltlärm verbunden ist. Einschränkung muß hier angemerkt werden, daß die Exposition am Arbeitsplatz zeitlich begrenzt ist und die Betroffenen (ein ruhiges Wohnumfeld vorausgesetzt) sich jeweils vom Lärmstreß erholen können.

421. Die Studien führen zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. In vier Studien läßt sich kein Lärmefekt nachweisen, in den übrigen Studien zeigen sich Lärmefekte meist für mindestens eine Untergruppe, wenn auch unterschiedlicher Art. Die Zahl der kontrollierten Variablen sowie die angewendete statistische Methode zur Kontrolle der Verzerrungsfaktoren sind ebenfalls verschieden.

Die stärkste Evidenz zeigt sich bei hohen Belastungen. Vor allem bei sehr hohen Schallpegeln (um 100 dB(A); ZHAO et al., 1991; IDZIOR-WALUS, 1987), nach sehr langen Expositionszeiten (10 Jahre und länger; LANG et al., 1992; IDZIOR-WALUS, 1987; VERBEEK et al., 1987) und bei nicht vorhandenem bzw. mangelhaftem Gebrauch von Gehörschutz zeigen die Parameter einer Hypertonie konsistente Werte.

Nimmt man die Gruppenmittelwerte von systolischem und diastolischem Blutdruck als Effektivvariable, so zeigen sich nicht unerhebliche lärmassoziierte Blutdruckanhebungen (Tabelle 3.5-7). Allerdings verringert sich mit der Zahl der kontrollierten Verzerrungsfaktoren die Höhe des Effektes in starkem Maße. Die höchsten lärmassoziierten Steigerungen konnten VERBEEK et al. (1987) nach Expositionszeiten von rund 20 Jahren aufzeigen, wobei in dieser Studie lediglich hinsichtlich des Alters kontrolliert wurde. Wenn Körpergewicht, familiäre Belastung, Alkoholkonsum oder auch andere Arbeitsbelastungen mitberücksichtigt wurden, waren die Beziehungen zum Blutdruck erheblich geringer bzw. nicht mehr nachweisbar.

Verkehrslärm und Hypertonie

422. Der Nachweis, Umweltlärm begünstige das Hypertonie-Risiko, konnte bisher nicht schlüssig geführt werden. Zu dieser Einschätzung kommt auch BABISCH (1998), der in seiner neuen Analyse zu Verkehrslärmwirkungen feststellt, daß die epidemiologische Evidenz für verkehrslärmbedingte Blutdruckerhöhungen sehr gering ist. Erst bei sehr hohen Schallbelastungen, wie sie in der Umwelt nicht auftreten und wie sie heutzutage auch an Arbeitsplätzen fast nicht mehr vorkommen, scheint der Organismus mit einer dauerhaften Blutdruckerhöhung zu reagieren.

423. Die Ergebnisse einiger epidemiologischer Untersuchungen sollen im folgenden kurz besprochen werden.

– *Verkehrslärmstudien in Bonn:* In der ursprünglichen Studie befanden sich in lauten Wohngebieten mehr Personen (28 %) wegen hohen Blutdrucks in Behandlung als in den leiseren (14,6 %). Alter und Geschlecht waren kontrolliert, Unterschiede bestanden jedoch hinsichtlich sozialem Hintergrund und Rauchgewohnheiten. In einer Folge-Studie wurden 36 blutdrucknormale Personen der ursprünglichen Bonner Studie (davon 14 Personen aus einem lärm-

Tabelle 3.5-6

Berufliche Lärmbelastung und Hypertonie

Studie	Lärmbelastung L _{eq} (dBA)	Expo-Dauer (Jahre)	Hypertonie (PVR/OR)	kontrollierte Variablen und Besonderheiten
BRINI et al., 1983	> 80 > 90 Impuls	–	0,9 1,9	Alter
BELLI et al., 1984	86–108	–	1,3	Alter, Rauchen, Triglyceride, Glucose
VERBEEK et al., 1987	> 80	<10 vs >19	3,1	Alter
WU et al., 1987	< 80 vs >85	7,3	2,4	Alter, BMI, Expositionszeit
IDZIOR-WALUS, 1987	105 – 116	15,1	3,7	Alter, keine Gruppenunterschiede für Sozialstatus, erbl. Belastung, Rauchen, Hypercholesterinämie, (BMI, Triglyceride in Expo-Gruppe geringer)
VERMEL et al., 1988	85 – 105	mindestens 4,2–4,9	3,0	keine; zahlreiche Risikofaktoren vorhanden (ca. 4,5 J. Follow-up)
TALIJANCIC und MUSTAC, 1989	90 – 102	–	höher	vergleichbare anthropometrische Faktoren
KONTOSIC et al., 1990	64–72 vs 103	–	kein Lärmereffekt	kein Gruppenunterschied für Alter, Körperfett, Cholesterin, Triglyceride, Alkohol, Rauchen, Berufsjahre, seel. Spannung; unterschiedl. BMI
TOMEI et al., 1991	92	20,5	2,7	keine; keine Gruppenunterschiede für Rauchen, Cholesterin, BMI, erbliche Belastung, Blutzucker
ZHAO et al., 1991 und 1993	75–104	16,2 ± 9,6	1,2 pro 5dB 1,8 bei 95dB	Alter, erbliche Belastung, Salzkonsum, Arbeitsjahre
LANG et al., 1992	85–100	25 +	2,6 (p = 0,06) (Expo > 25J)	Alter, BMI, Alkohol [Gruppendiff. für Fließbandarbeit, Sozialstatus, Schicht, Zeitdruck]
HIRAI et al., 1991	85–115	10 +	kein Lärmereffekt	Keine
GARCIA und GARCIA, 1992	hoch	–	kein Lärmereffekt	keine; keine Stress-Symptome, geringer Alkoholkonsum, vergleichbar hinsichtlich Fettsucht
FOGARI et al., 1994	<80 vs >80	–	1,7 (1,9)	Alter, BMI (in Klammern: gematchte Unterstichprobe)
HESEL und SLU- IS-CREMER, 1994	Individ. Meßwerte	–	kein Lärmereffekt	Alter, BMI (Querschnitt + Follow-up)
ZHAO et al., 1998	< 75–97 dBA	9,5 ± 6,7	1,2 pro 5 dB	Alter, Geschlecht, Kohlenmonoxid

PVR: Prävalenzrate; OR: Odds Ratio; BMI: body mass index; vs.: versus

Quelle: JANSEN et al., 1999

Tabelle 3.5-7

Berufliche Lärmbelastung und mittlere Differenz von systolischem oder diastolischem Blutdruck

Studie	Lärmbelastung L _{eq} dB(A)	syst. Blutdruck (mm Hg) mittl. Differenz*)	diast. Blutdruck (mm Hg) mittl. Differenz*)	Kontrollierte Variablen und Besonderheiten
SINGH et al., 1982	88–107 (10–15 J.)	5,1	6,6	Keine
ARO, 1984	64,8–76,4 (mindestens 2 J.)	kein Lärmeffekt	kein Lärmeffekt	BMI, Alkohol, Rauchen, körperl. Aktivität, psych. Druck, (5 J. Follow-up)
FOURIAUD et al., 1984	> 85	2,3	1,1	Alter, BMI, Alkohol
TALBOTT et al., 1985	< 81 vs > 89	–3,0 (55–59 J) 3,4 (60–63 J)	–0,6 (55–59 J) –2,2 (60–63 J)	Alter, BMI, Alkohol, erbliche Belastung
v. DIJK et al., 1987a	85,5 vs 98	–0,3	0,8	Alter, BMI, Expositions-Zeit (Alkohol, Rauchen, Medikamente, andere Arbeits- belastungen)
v. DIJK et al., 1987b	< 86 vs > 95	kein Lärmeffekt	kein Lärmeffekt	Alter, BMI, andere Arbeitsbelastungen
VERBEEK et al., 1987	> 80 10 vs 20 J.	16,0	7,0	Alter
LERCHER et al., 1993	Subj. Lärm- belästigung	2,1 (–3,0/ 7,3) 7,5 (0,0/15,0) 5,0 (–2,4/12,4)	3,5 (0,3/ 7,4) 6,3 (0,6/12,4) 8,1 (2,5/13,7)	Nur Lärm Lärm + Arbeitsunzufriedenheit Lärm + Nachtschicht
FOGARI et al., 1994	< 80 vs > 80	1,5 (2,7)	0,2 (1,9)	Alter, BMI (in Klammern: Unterstichprobe)
HESEL und SLUIS-CREMER, 1994	Individuelle Meßwerte	kein Lärmeffekt	kein Lärmeffekt	Alter, BMI (Querschnitt + Follow-up)
KRISTAL-BONEH et al., 1995	<80 vs >80	kein Lärmeffekt	kein Lärmeffekt	Alter, Geschlecht, körperl. Belastung, BMI, Rauchen, Alkohol, Kaffee, Umge- bungstemperatur

*) Blutdruckwerte ohne Vorzeichen = Erhöhung, mit Minuszeichen = Erniedrigung; BMI: body mass index

Quelle: JANSEN et al., 1999, verändert

belasteten und 22 aus einem Kontrollgebiet) über zwei Jahre hinweg weiter beobachtet. Die lärmbelasteten Personen zeigten gegenüber den Kontrollpersonen einen um 10,7 mm Hg größeren Anstieg des diastolischen Blutdrucks. In einer größeren prospektiven Folge-Studie wurden bei gesunden Personen Herz- und Kreislaufparameter, Gesundheitsverhalten, Lärmempfindlichkeit und andere Parameter erhoben. Die mittlere Lärmbelastung lag im Lärmgebiet oberhalb 63 dB(A), im Kontrollgebiet unterhalb 55 dB(A). Die mittleren Blutdruckwerte unterschieden sich nach drei Jahren in der lärmbelasteten Gruppe nicht von denen der Kontrollgruppe. Die Studie verdeutlicht die Schwierigkeiten bei der Durchführung von Longitudinalstudien zum Straßenverkehrslärm, denn nach 4 Jahren waren 75 % der ursprünglich 192 Probanden weggezogen. Der Wohnungswechsel korrelierte je-

weils mit der Lärmempfindlichkeit (OTTEN et al., 1988; NEUS et al., 1983).

- *Niederländische Studie:* An 830 gesunden 20- bis 55-jährigen Personen konnte – nach Kontrolle vielfältiger störender Variablen – kein signifikanter Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm und Blutdruckverhalten gefunden werden. Nach weiterer Auswertung der Daten stellten die Autoren die Hypothese auf, daß Lärm als unerwünscht, bedrohend oder belästigend empfunden werden müsse, um nachteilige Folgen für die Gesundheit zu haben. Die Daten machen deutlich, daß Bewertungen dieser Art sehr komplex sind und wahrscheinlich mit individuellen Bewältigungsstrategien und einem Gefühl des Kontrollverlustes in Zusammenhang stehen (PULLES et al., 1990).

Als Ergebnis läßt sich festhalten, daß der allgemeine Effekt einer chronischen Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Schallpegeln, die unterhalb der Gehörschädigungsgrenze liegen, offenbar von geringerer Bedeutung ist als ursprünglich vermutet. Gerade beim Stressor Lärm führt nach EIFF (1993) die Habituation üblicherweise zu schwächer werdenden Kreislaufreaktionen. Dies trifft aber nicht auf Personen zu, die erblich belastet sind oder die emotional die Lärmbelastung nicht tolerieren können und so verstärkte Kreislaufreaktionen haben. Nicht geklärt ist bisher, wie es sich mit den Menschen verhält, die aufgrund ihrer Veranlagung in höherem Maße gefährdet sind, eine gesundheitliche Schädigung durch Lärm zu erleiden.

3.5.4.3 Lärm als Risikofaktor für die Entstehung von ischämischen Herzkrankheiten

424. Die dominierende Vorbedingung für die Entstehung einer koronaren Herzkrankheit ist das Vorliegen einer Koronararteriosklerose. Diese ist ihrerseits meist nur eine der möglichen Lokalisationen der allgemeinen Arteriosklerose, die sich auch bzw. gleichzeitig an Gefäßen anderer Organe oder Körperteile manifestieren kann (z.B. Bauchaorta, Beinarterien, Hirnarterien). Eine koronare Herzkrankung kann sich als Angina pectoris, als Myocardinfarkt oder als ischämiebedingte (d.h. durch Sauerstoffmangel verursachte) EKG-Veränderung äußern. Die wichtigsten Risikofaktoren für die Arteriosklerose und damit auch für die Entwicklung einer koronaren Herzkrankheit sind Rauchen, arterieller Bluthochdruck, Hyperlipidämie, Diabetes mellitus, Sozialstatus, Bewegungsmangel, Alkoholabusus. Nach einer Übersicht von OMURA et al. (1996) sind mittlerweile rund 170 Risikofaktoren identifiziert worden, denen eine mitverursachende Rolle bei der Genese von kardiovaskulären Erkrankungen zugeschrieben wird. Neuerdings wird auch eine infektiöse (Mit-)Verursachung durch bestimmte Bakterien (Chlamydien) vermutet.

425. Die Hypertonie ist ein wichtiger Indikator für ischämische Herzkrankungen. In neueren Publikationen (z.B. MELAMED et al., 1997; BABISCH et al., 1993a) wird der Stellenwert der lärmbedingten Blutdruckerhöhung als Mitverursacher einer koronaren Herzkrankheit jedoch relativiert. Statt dessen wird postuliert, daß die Lärmwirkung auf das Myocard über sekundäre Beeinflussungen von Fettstoffwechsel, Fibrinogenspiegel, Plasmapviskosität und Glukosehaushalt zustandekommt.

Berufliche Lärmbelastung und ischämische Herzkrankung

426. Die Zahl der zu ischämischen Herzkrankheiten vorgelegten Studien ist im Vergleich zu den Studien über Blutdruckwirkungen relativ gering. In Tabelle 3.5-8 sind vier Studien aufgeführt, die sich mit dem Zusammenhang zwischen beruflicher Lärmbelastung und ischämischer Herzkrankheit beschäftigen. In der Studie von THÉRIAULT et al. (1988) wurden Überlebende und Tote mit Herzinfarkt bzw. Angina pectoris erfaßt. Die Lärmbelastung wurde anhand eines betriebseigenen

Katasters relativ genau ermittelt. Gleichzeitig wurde die Dauer der Exposition berücksichtigt. In der Publikation von ENDERLEIN et al. (1996) werden zwei verschiedene Studien vorgestellt. Die zuerst aufgeführte stellt eine Fall-Kontrollstudie mit Herzinfarktfällen dar. Die Lärmbelastung am Arbeitsplatz wurde durch Arbeitshygieniker bewertet bzw. es wurden Meßwerte verwendet. Für die zweite Studie von ENDERLEIN et al. (1996) wurde für die Kontrollpersonen der Datenbestand arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen verwendet, so daß auch hier für die Belastungsseite zuverlässige Werte herangezogen werden konnten. In der Studie von ISING et al. (1995) wurde die Lärmbelastung subjektiv anhand von verbalen Geräuschvergleichen, die nachträglich einer Pegelkategorie zugeordnet wurden, eingeschätzt. Die Risikomaße der kontrollierten Störvariablen wie Rauchen, Bluthochdruck, Cholesterin usw. liegen in der Studie von THÉRIAULT et al. (1988) in den bekannten Größenordnungen.

427. Die Ergebnisse der Studien stehen zueinander in Widerspruch: In den Studien von THÉRIAULT et al. (1988) und von ENDERLEIN et al. (1996) wurde kein Zusammenhang zwischen Lärm am Arbeitsplatz und ischämischer Herzkrankheit festgestellt, bei ISING et al. (1995) fand sich dagegen ein positiver Zusammenhang, der sich als Dosis-Wirkungs-Beziehung ausdrücken läßt. Die berechneten Risikomaße sind unerwartet hoch und signifikant; schon bei Pegeln um 76 dB(A) beträgt das Odds Ratio 1,4 (prozentuales attributives Risiko 29 %), bei rund 100 dB(A) ist das Odds Ratio 3,8 (prozentuales attributives Risiko 74 %). Da die Lärmbelastung in der Studie von ISING et al. (1995) subjektiv aus der Erinnerung eingeschätzt wurde, ist eine Überbewertung der Lärmbelastung in der Patientengruppe allerdings nicht auszuschließen.

428. Da das Ergebnis von ISING et al. (1995) erhebliche Konsequenzen für die Arbeitswelt impliziert, wurde ein neues Forschungsprojekt initiiert. Zur Zeit wird eine neue Fall-Kontroll-Studie mit vergleichbarer Zielsetzung (Arbeitslärm und Herzinfarkt) in Berlin durchgeführt, bei der jedoch eine präzisere Absicherung der Expositionsdaten vorgenommen wird (TRAUTNER et al., 1998). Für eine abschließende Beurteilung der Bedeutung einer beruflichen Lärmbelastung als Risiko einer ischämischen Herzkrankheit ist der derzeitige Kenntnisstand noch zu gering.

Verkehrslärm und ischämische Herzkrankungen

429. Die Zahl der epidemiologischen Studien, die sich mit koronarer Herzkrankheit und Straßenverkehrslärm beschäftigen, ist begrenzt. Wegen des aktuellen Interesses werden vor allem die hierzu in jüngster Zeit fertiggestellten Studien vorgestellt (Tab. 3.5-9).

Die Caerphilly-Speedwell-Studien

430. In Großbritannien wurde an zwei repräsentativen Kohorten von 2 512 (Caerphilly) und 2 348 Männern (Speedwell) im Alter von 45 bis 59 Jahren der Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel vor der Wohnung und der Prävalenz und Inzidenz ischämischer Herz-

Tabelle 3.5-8

Berufliche Lärmbelastung und ischämische Herzkrankheiten

Studie	Lärmbelastung	ischämische Herzkrankheit OR[CI _{95%}]	Einflußvariablen	Design
THÉRIAULT et al., 1988	4 Kategorien betriebseigenes Lärmkataster Expo-Zeit + Schallpegel	0,93 [0,56/1,54]	Alter, Rauchen (OR 3,2), Hochdruck (OR 2,3), Cholesterin (OR 1,5), Übergewicht (OR 1,4), Hyperglykämie (OR 1,6), berufl. Status (OR 2,1), Reduktionsbereich (OR 1,7; bei Expo-Zeit 1–4 J OR 2,2), CO, SO ₂ , Lösemittel, Hitze, Staub, Fluoride, mentale/ körperl. Belastung)	Aluminiumproduktion 306 Fälle (Überlebende und Tote nach Herz- infarkt, Angina pectoris) 575 Kontrollen
ISING et al., 1995	4 Kategorien Selbstein- schätzung	ca. 76 dB(A): 1,4 [1,0/2,0] ca. 88 dB(A): 2,0 [1,5/2,7] ca. 100 dB(A): 3,8 [2,7/5,4]	Alter, Rauchen, Sozial- status, Gewicht, Schicht- arbeit, Familienstand, Wohngegend	Krankenhausstudie 395 Fälle (Überlebende nach Herzinfarkt) 2 148 Kontrollen
ENDERLEIN et al., 1996	> 85 vs. < 85 dB(A) (Meßwerte)	0,7	Alter, Rauchen	252 Herzinfarktfälle 252 Kontrollen
ENDERLEIN et al., 1996	4 Schallpegel- klassen Expositions- Dauer (<5/5-9/≥10 J)	Lärm allein: 1,0 [0,7/1,5] Lärm+Nachtschicht: 1,4 [0,8/2,1] früherer Lärm: 0,9 [0,7/1,2]	Alter, Sozialstatus, BMI, Rauchen	4 140 Fälle mit ischäm. Herzkrankheit 890 359 Kontrollen

OR: Odds Ratio; CI: Konfidenzintervall; BMI: body mass index; vs.: versus

Quelle: JANSEN et al., 1999

erkrankungen untersucht. Das Design beider Kohortenstudien enthält sowohl Querschnitts- als auch Langzeitkomponenten (10-Jahres-Follow-up). Bei den beiden Studien handelt es sich um umfangreiche prospektive Untersuchungen, in denen eine Serie von Hypothesen getestet wurde. Diese betreffen vor allem die Relation zwischen der Inzidenz von ischämischen Herzerkrankungen und möglichen Risikofaktoren. Die Belastung durch Straßenverkehrslärm ist nur einer der untersuchten Faktoren. Die zu Beginn durchgeführte Querschnittsuntersuchung erbrachte diesbezüglich widersprüchliche und eher marginale Resultate. In den ersten Nachuntersuchungen deutete sich eine leichte Erhöhung verschiedener messbarer Risikofaktoren (Blutfette und Plasma-Viskosität) für die höchste Lärmkategorie an. Bei einer Straßenverkehrslärmbelastung mit mittleren Pegeln (außen, 6 bis 22 Uhr) von 66 bis 70 dB(A) gegenüber 51 bis 55 dB(A) wurde eine statistisch nicht abgesicherte Risi-

koerhöhung für Herzinfarkt um 10 % gefunden. Bei schrittweiser Berücksichtigung der Raumorientierung (Fenster zu lauten Straßen) und des Fensteröffnungsverhaltens stieg die Risikoerhöhung auf 20 % und 30 %, ohne statistisch signifikant zu sein (BABISCH et al., 1998; BABISCH et al., 1993a und b).

Die Berliner Verkehrslärmstudie

431. Diese Studie war eine bevölkerungsbezogene Fall-Kontroll-Studie. In die Untersuchung einbezogen wurden 645 männliche Infarktpatienten, die seit mindestens 15 Jahren in Berlin lebten. Das Kontrollkollektiv war eine 1 %-Zufallsstichprobe von West-Berliner Männern. Einschlusskriterium war die Ermittlung der Verkehrslärmexposition der letzten 15 Jahre. Mögliche Störvariablen wurden erfaßt. In Berlin begann der verkehrsbedingte Anstieg der Herzinfarktinzidenz bei mitt-

Tabelle 3.5-9

Lärmbelastung durch Straßenverkehr und ischämische Herzkrankheit

Studie	Straßenverkehrslärm L_{eq} dB(A)	Effektparameter Vergleich zwischen höchster und niedrigster Schallpegelklasse	Risikomaße PVR/OR/RR [CI _{95%}]
Caerphilly Phase I 5 J Foll.-Up 10 J Foll.-Up BABISCH et al., 1993 a und b, 1998	4 Schallpegelklassen $L_{eq,6-22h}$ 51–55 bis 66–70	Angina pectoris Myocardinfarkt Ischämiezeichen (EKG) ischämische Herzkrankheit, inzidente Fälle ischämische Herzkrankheit, inzidente Fälle	PVR 0.5 [0.2–1.4] n. s. PVR 1.2 [0.6–2.3] n. s. PVR 1.2 [0.4–3.5] n. s. RR 0.5 [0.2–1.7] n. s. RR 1.1 [0.6–1.9] n. s.
Speedwell Phase I 3 J Foll.-Up 10 J Foll.-Up BABISCH et al., 1993 a und b, 1998	4 Schallpegelklassen $L_{eq,6-22h}$ 51–55 bis 66–70	Angina Pectoris Myocardinfarkt Ischämiezeichen (EKG) ischämische Herzkrankheiten, inzidente Fälle ischämische Herzkrankheiten, inzidente Fälle	PVR 1.1 [0.7–1.9] n. s. PVR 1.1 [0.6–1.9] n. s. PVR 1.4 [0.7–2.9] n. s. RR 0.7 [0.3–1.8] n. s. RR 0.9 [0.6–1.4] n.s.
Caerphilly/-Speedwell- Pool 6 J Foll.-Up BABISCH et al., 1998	4 Schallpegelklassen $L_{eq,6-22h}$ 51–55 bis 66–70	ischämische Herzkrankheiten, inzidente Fälle	RR 1.1 [0.7–1.7] n. s.
Berlin BABISCH et al., 1994	5 Schallpegelklassen L_{eqday} ≤ 60–80	Myocardinfarkt (klinisch gesicherte Diagnose) Myocardinfarkt (anamnetische Angabe)	OR 1.2 [0.8–1.7] n. s. PVR 1.2 [0.7–2.1] n. s.

PVR: Prävalenzratio; OR: Odds Ratio; RR: relatives Risiko; CI: Konfidenzintervall; n.s.: nicht signifikant

Quelle: JANSSEN et al., 1999, verändert

leren Außenpegeln am Tage von 71 bis 75 dB(A) mit 10 % und erreichte 50 % bei 76 bis 80 dB(A). Diese Ergebnisse waren statistisch nicht signifikant. Bei Betrachtung lediglich der Personen ohne Wohnungswechsel innerhalb der vorangegangenen Jahre ergaben sich Anstiege der Herzinfarktinzidenzen von 20 % bei Lärmpegeln (außen) im Bereich zwischen 71 bis 75 dB(A) und von 70 % im Bereich zwischen 76 bis 80 dB(A). Bei Kombination dieser Lärmkategorien ergab sich für Mittelungspegel über 70 dB(A) ein Anstieg der Inzidenz von 30 %. Dieses Ergebnis war statistisch an der Grenze zur Signifikanz. Auf der Grundlage dieser Daten wurde ab-

geschätzt, daß bei Zutreffen der Verkehrslärmhypothese etwa 1 bis 3 % aller Herzinfarkte (entsprechend 1 000 bis 3 000 Todesfällen jährlich) dem Verkehrslärm zuzuschreiben sind (BABISCH et al., 1994).

432. Von BOIKAT et al. (1998) wurde ausgehend von den Daten der Berliner Studie eine quantitative Risikobetrachtung lärmbedingter Infarkttrisiken im Vergleich zu anderen umweltbedingten Gesundheitsrisiken vorgenommen. Danach käme den lärmbedingten Infarkttrisiken eine ähnliche Bedeutung zu wie Radonbelastungen in Innenräumen und Passivrauchen (Tab. 3.5-10).

Tabelle 3.5-10

Lärmbedingte Infarktrisiken im Vergleich zu anderen umweltbedingten Gesundheitsrisiken

	Wirkung	Lebenszeitrisiko	Häufigkeit bezogen auf Gesamtbevölkerung in %
Lärm > 65 dB(A) am Tag.....	Herzinfarkt	20 : 1000	15,8
Lärm > 75 dB(A) am Tag.....	Herzinfarkt	70 : 1000	1,5
Radon/Innenraum > 50 Bq/m ³	Lungenkrebs	5 : 1000	40
Radon/Innenraum > 250 Bq/m ³	Lungenkrebs	25 : 1000	1,8
Passivrauchen (Lebenspartner).....	Lungenkrebs	1,8 : 1000	22,4
Passivrauchen (Lebenspartner).....	Herzinfarkt	14 : 1000	22,4
Dieselschmutz/Außenluft > 20µg/m ³	Lungenkrebs	1,4 : 1000	Nahbereich Kfz-Verkehr

Quelle: BOIKAT et al., 1998

Lärm und Häufigkeit von gesundheitlichen Beschwerden

433. In einer Kohortenstudie wurden etwa 1 000 Probanden im Abstand von elf Jahren (1974 und 1985) zu Lebensstil, Stressfaktoren, Belastungen am Arbeitsplatz und in der Familie sowie zu gesundheitlichen Beschwerden und Krankheiten befragt. Die Studie berücksichtigte Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Halte- und Bewegungsapparats, des Atmungs-, Verdauungs-, Urogenital- und endokrinen Systems und allergische Beschwerden. Aus dem Spektrum von über 100 verschiedenen Krankheiten und Beschwerden erschien der Wohn- und Arbeitslärm gerade dort als risikoerhöhender Faktor, wo er nach Ergebnissen der Stressforschung zu erwarten war, nämlich bei Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts und des Herz-Kreislauf-Systems (MÜLLER et al., 1994).

Zusätzlich wurde die Wechselwirkung von Wohn- und Arbeitslärm in den folgenden vier Ausprägungen untersucht:

- Lärm 0 = kein Arbeitslärm, kein Wohnlärm
- Lärm 1 = belastender Arbeitslärm, kein Wohnlärm
- Lärm 2 = kein Arbeitslärm, Wohnlärm
- Lärm 3 = belastender Arbeitslärm, Wohnlärm

Die Ergebnisse in Tabelle 3.5-11 zeigen durchgängig erhöhte, aber statistisch nicht abgesicherte Erkrankungsrisiken bei gleichzeitigem Vorhandensein von Wohn- und Arbeitslärm (= Lärm 3).

434. Die epidemiologische Evidenz dafür, daß Straßenverkehrslärm das Risiko von ischämischen Herzkrankheiten erhöht, ist sehr schwach. Den dargestellten Studien mangelt es wegen zu geringer Fallzahlen in den Gruppen mit hoher Lärmexposition an ausreichender Teststärke; die Ergebnisse sind statistisch nicht signifikant (JANSEN et al., 1999). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann daher nicht abschließend dazu Stellung genommen werden, ob Umweltlärm bei der Entstehung von ischämischen Herzkrankheiten eine mitverursachende Rolle

Tabelle 3.5-11

Wohn- und Arbeitslärm als Risikofaktoren für Herz- und Kreislauferkrankungen

	Lärm 0*)	Lärm 1*)	Lärm 2*)	Lärm 3*)
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	1,00	0,66 0,34–1,32	1,03 0,68–1,57	2,81 0,89–8,87
Angina pectoris	1,00	0,47 0,21–1,09	1,09 0,73–1,64	1,22 0,47–3,14
Herzinfarkt	1,00	2,59 0,79–8,45	1,04 0,42–2,53	3,54 0,79–15,54
Herzasthma	1,00	0,99 0,34–2,93	0,78 0,38–1,58	2,38 0,6–9,34
Hypertonie	1,00	0,48 0,2–1,15	0,92 0,6–1,42	1,32 0,42–4,11

(angegeben sind das relative Risiko und das 95 %-Konfidenzintervall)

*) Erklärung siehe Tz. 433

Quelle: MASCHKE et al., 1997

spielt. Gleichwohl ist der Umweltrat der Meinung, daß die Ergebnisse konsistent einen Trend aufzeigen. Als Schwellenwert für mögliche lärmbedingte Infarktrisiken gelten Immionspegel von 65 dB(A) am Tage.

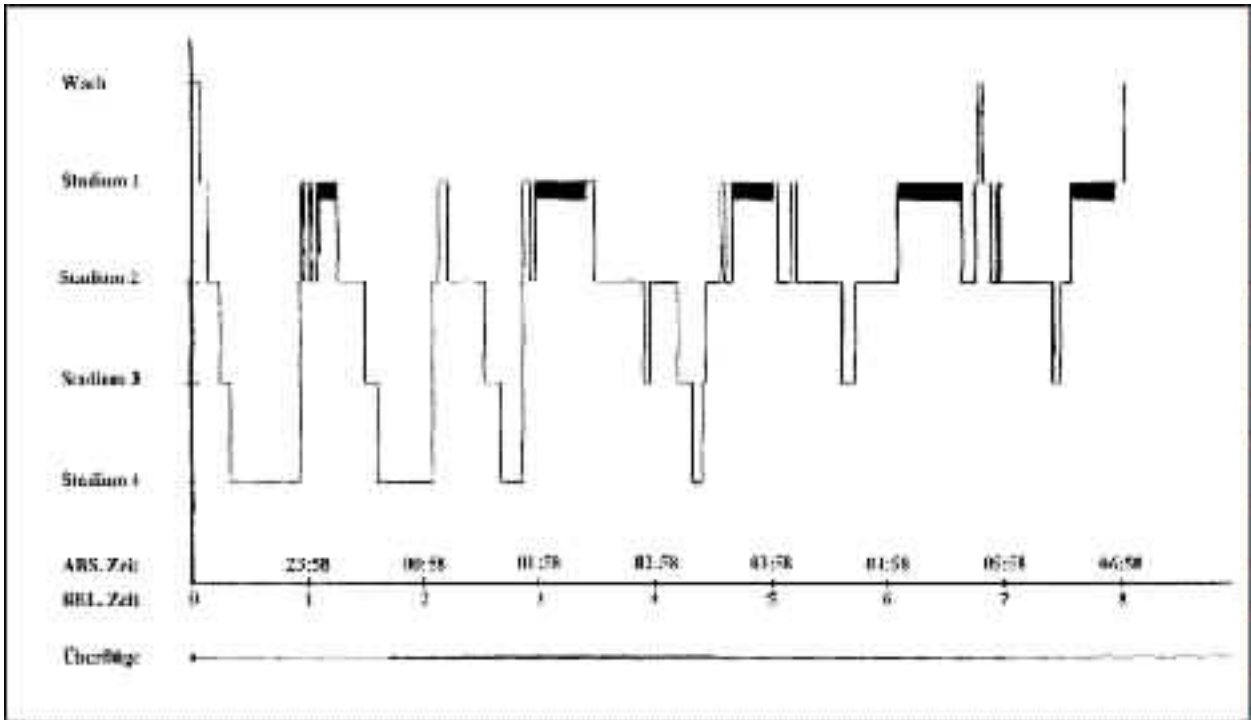
3.5.4.4 Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm

435. Schlafstörungen zählen zu den häufigsten Lärmfolgen. Rund 20 % der Bevölkerung geben an, wegen des Lärms nicht bei geöffneten Fenstern schlafen zu können, knapp 10 % können auch bei geschlossenen Fenstern nicht ruhig schlafen (UBA, 1997). Die dominierende Geräuschquelle ist der Straßenverkehr. Auch nachts sind etwa ein Drittel der Bevölkerung mit Mittelungspegeln von über 50 dB(A) belastet (Tab. 3.5-2).

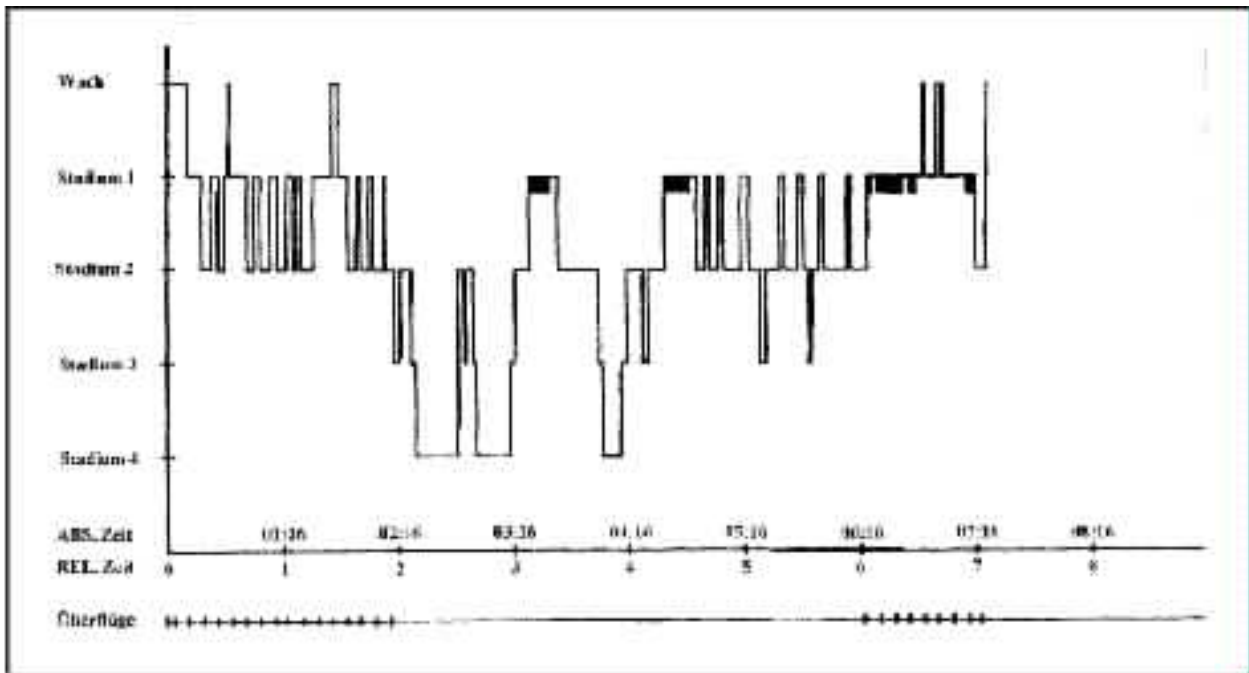
Abbildung 3.5-2a und b

Typische Schlafprofile unter Ruhe und Fluglärm

a) Die Versuchsperson schlief bei einem nächtlichen Mittelungspegel von $L_{eq\text{ innen}} < 30\text{ dB(A)}$ im Schlaflabor



b) Die Versuchsperson schlief bei nominal 32 Überflügen. Das entsprach einem Mittelungspegel von $L_{eq\text{ innen}} = 53\text{ dB(A)}$



Quelle: MASCHKE et al., 1995a, verändert

Zur Physiologie des Schlafes

436. Der Schlaf des Menschen ist kein statischer Zustand, sondern ein dynamischer Erholungsprozeß mit Veränderungen von Bewußtseinslage und Körperfunktionen bei Überwiegen des Parasympathikus. Das Schlafmuster läßt sich mit der Elektroenzephalographie (EEG) erfassen und als Schlafzyklogramm darstellen (Abb. 3.5-2a und b). Der Schlaf beginnt mit dem Übergang vom Wachzustand in das Einschlafstadium (NON-REM 1). Die EEG-Aktivität läßt nach, der Atem wird ruhiger, der Puls langsamer und die Muskeln erschlaffen. Nach wenigen Minuten wird das Leichtschlafstadium erreicht (NONREM 2), in dem die Stoffwechselaktivität abnimmt. Nach kurzer Verweildauer im Stadium 3 (mitteltiefer Schlaf, NONREM 3) wird der Tiefschlaf (NONREM 4) erreicht, die Körperbewegungen hören auf. Mit jeder Schlafvertiefung wird die Weckschwelle erhöht. Das Ende eines Schlafzyklus bildet der Traumschlaf (REM-Schlaf) der im Elektroenzephalogramm dem Einschlaf-Stadium ähnelt, aber durch schnelle Augenbewegungen gekennzeichnet ist. Während einer Nacht wird dieser Zyklus vier bis sechsmal durchlaufen, die Verweildauer in den tiefen Schlafstadien nimmt mit der Schlafzeit ab, die Verweildauer im Traumschlaf nimmt zu.

Der Tiefschlaf dient der physiologischen Erholung, der Traumschlaf der psychischen Erholung, insbesondere der Aufbereitung und Reflexion von Gedächtnisinhalten. Die Qualität des Schlafes wird durch den ausgewogenen und rhythmischen Ablauf dieser beiden Zustände bestimmt. Chronische Störungen des Schlafes beeinträchtigen psychisches Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit, unter anderem die Verkehrssicherheit, und sind zudem Risikofaktoren für psychosomatische Erkrankungen, für Neuronen, Angst und Aggressivität.

Lärmbedingte Schlafstörungen

437. Die Wirkung von Schallreizen auf den Schlaf des Menschen wird in Primär-, Sekundär- und Tertiärreaktionen unterteilt. Primär- und Sekundärreaktionen werden auch als Sofortreaktionen bezeichnet:

- Unter Primärreaktionen werden Veränderungen des Schlafablaufs (Stadienwechsel und Stadienverteilung, Aufwachreaktionen), der Motorik (Körperbewegungen) und vegetativer Funktionen (Änderungen von Atemfrequenz, Blutdruck und peripherer Durchblutung) zusammengefaßt. Sie ereignen sich direkt nach dem Schallreiz oder im Verlauf der lärmgestörten Nacht.
- Sekundärreaktionen sind im Wachzustand nach einer lärmgestörten Nacht zu beobachten. Hierbei kann es sich um eine Beeinträchtigung von Wohlbefinden, Leistung, psychischer Verfassung u.ä. handeln. Diese Reaktionen sind reversibel.
- Tertiärreaktionen sind gesundheitliche Beeinträchtigungen, die infolge langanhaltender Lärmexposition zu beobachten sind. Sie bleiben auch nach Beendigung der Exposition bestehen.

Vergleicht man das Schlafprofil in Abbildung 3.5-2a mit dem Schlafprofil einer durch Fluglärm gestörten Person (Abb. 3.5-2b), so ist eine Reduzierung der Tief- und

REM-Schlafphasen und eine Störung der Schlafzyklen zu verzeichnen. Bei hoher, nächtlicher Lärmbelastung ist – abhängig von der Zeitstruktur der Lärmquelle – eine Minderung der Schlaftiefe und ein fragmentierter Schlafverlauf zu beobachten (MASCHKE und HARDER, 1998). Ein fragmentierter Schlafverlauf bedeutet, daß der Schlafende immer wieder gezwungen wird, einen neuen Schlafzyklus zu beginnen; dies ist ein Vorgang, der als Disstress zu interpretieren ist.

Studien zur Wirkung von Verkehrslärm auf den Schlaf

438. Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden anhand der Literaturstudie „Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm“ die Auswirkungen einer realen Lärmbelastung (Straßenverkehrs-, Flug-, Lkw-Lärm) auf den Nachtschlaf des Menschen überprüft (UBA, 1997; MASCHKE et al., 1996). Einbezogen wurden die Ergebnisse von 35 Studien (19 Labor- und 16 Feldstudien), die zwischen 1980 und 1995 in deutscher oder englischer Sprache veröffentlicht wurden. Die Mehrzahl der Studien wurde mit jungen (weniger als 30 Jahre alten) Probanden durchgeführt, wenige Studien mit Kindern (jünger als 12 Jahre). Personen, die älter als 60 Jahre sind, waren fast nicht vertreten. Die Lärmexposition bestand in zwei Untersuchungen aus Straßenverkehrs- und Fluglärm, in fünf Untersuchungen nur aus Fluglärm und in den restlichen 28 Untersuchungen aus Straßenverkehrslärm, der, sofern es sich um intermittierenden Lärm handelte, meist durch vorbeifahrende Lastkraftwagen verursacht war. Die Versuchsdauer umfaßte meist nur wenige Nächte, so daß Gewöhnungseffekte in den meisten Studien nicht berücksichtigt wurden. Untersuchungsparameter waren *Sofortreaktionen*, die subjektiv angegeben werden oder objektiv meßbar sind. Aus den Studien geht hervor, daß nächtlicher Verkehrslärm zu Veränderungen des physiologischen Schlafmusters führen kann. In der Tabelle 3.5-12 sind die Effektschwellen der einzelnen Sofortreaktionen zusammengestellt. Sie liegen mehrheitlich bei einem äquivalenten Dauerschallpegel (Innenpegel) zwischen 35 und 45 dB(A). Anderes gilt für die Aufwachreaktion, die Dauer der Wachphasen und die Dauer des Leichtschlafes. Für diese Reaktionen liegen die Effektschwellen deutlich höher, nämlich zwischen 60 und 70 dB(A). Zu einer ähnlichen Beurteilung kommt auch eine niederländische Studie (Health Council of The Netherlands, 1996).

439. Einige der in Tabelle 3.5-12 zusammengefaßten Ergebnisse der Literaturlauswertung sollen im folgenden auszugsweise dargestellt werden. Auf die Ergebnisse der Studien zur nächtlichen Streßhormonausscheidung wurde in Abschnitt 3.5.4.1 eingegangen.

- *Gesamtschlafdauer:* Dieser Parameter wurde in 13 Studien erhoben; in 9 Studien war die Gesamtschlafzeit verkürzt, in 2 Studien nicht verändert und in 2 Studien verlängert. Durch kontinuierlichen Straßenverkehrslärm mit einem Dauerschallpegel $L_{eq} = 45$ dB(A) kann die Gesamtschlafzeit bis zu 20 Minuten verkürzt werden, bei $L_{eq} = 75$ dB(A) um 30 bzw. 45 Minuten. Bei intermittierendem Lärm ergeben sich Verkürzungen von etwa 15 Minuten bei $L_{max} = 45$ dB(A) und 50 Lkw-Lärmereignissen. Auch

Kinder reagieren mit einer Verkürzung der Gesamtschlafzeit, die jedoch geringer ist als bei Erwachsenen.

- *Schlafstadienlatenz:* Die Zeit, die vom Schlafbegehren bis zum Erreichen eines bestimmten Schlafstadiums vergeht (Latenz), wurde in 22 Untersuchungen ermittelt. In 7 Studien konnte eine signifikante Verlängerung der Schlafstadienlatenz ermittelt werden, in 5 Studien die Tendenz zu einer Verlängerung und in 10 Studien keine Veränderungen. Als besonders lärmempfindlich gilt die Einschlafzeit, womit die Zeit, die bis zum Erreichen des Stadiums 1 oder auch 2 vergeht, bezeichnet wird. Kontinuierlicher Verkehrslärm kann die Einschlafzeit ab einem $L_{eq} = 45$ dB(A) um etwa 10 Minuten verlängern, während die Tiefschlafzeit schon ab einem $L_{eq} = 36$ dB(A) um 30 Minuten verlängert sein kann. Intermittierender Lärm ($L_{max} = 45$ dB(A) bei 50 Ereignissen pro Nacht, $L_{max} = 55$ dB(A) bei 20 Lärmereignissen pro Nacht) verlängert die Tiefschlafzeit um 20 Minuten, insbesondere zu Beginn der Nacht. Auch bei Kindern bewirkte eine nächtliche Lärmexposition eine Veränderung der Schlafstadienlatenz.
- *Dauer des Tiefschlafes:* In einer Studie konnte bei kontinuierlichem Lärm eine Reduzierung der Tiefschlafdauer bereits bei $L_{eq} = 36$ dB(A) beobachtet werden. Eindeutige Verkürzungen um 10 bis 13 Minuten ergeben sich bei 67 und 76 dB(A). Die Untersuchungsergebnisse lassen Gewöhnungseffekte erkennen, sie zeigen aber auch, daß sich der Tiefschlaf bei jahrelang exponierten Menschen durch zusätzliche Schallschutzmaßnahmen verlängern läßt. Bei intermittierendem Lärm führen bereits 50 Lkw-Lärmereignisse pro Nacht mit einem Maximalpegel von 45 dB(A) bei Erwachsenen zu einer Verkürzung des Tiefschlafes um etwa 15 Minuten. Eine um ca. 40 % verminderte Tiefschlafdauer ist mit etwa 45 Minuten bei $L_{max} = 75$ dB(A) und 64 Fluglärmereignissen zu verzeichnen. Für diesen Maximalpegel zeigt sich eine zunehmende Tiefschlafverkürzung mit der Erhöhung der Ereigniszahl. Kinder reagieren selbst bei Maximalpegeln von 65 dB(A) nicht mit einer Verkürzung der Tiefschlafdauer. Störungen zu Beginn oder in der Mitte der Nacht können in der verbleibenden Schlafdauer kompensiert werden.
- *Dauer des REM-Schlafes:* Die Traumschlafdauer wurde in 18 Studien bestimmt, in 9 Studien wurde eine signifikante Verkürzung nachgewiesen, in 5 Studien eine tendenzielle Verkürzung. Die REM-Schlafdauer kann durch kontinuierlichen Lärm oberhalb eines äquivalenten Dauerschallpegels von 36 dB(A) reduziert werden. Die Verkürzungen liegen bei $L_{eq} = 35-45$ dB(A) zwischen 5 Minuten und 30 Minuten, oberhalb von $L_{eq} = 45$ dB(A) bei etwa 45 Minuten. Intermittierender Lärm bei Maximalpegeln von 55 dB(A) und 50 Ereignissen kann zu einer Verkürzung von bis zu 20 Minuten führen. Eine Abhängigkeit vom Alter der Probanden ebenso wie Gewöhnungseffekte sind nicht zu erkennen. Wird die Lärmexposition zu Anfang oder in der Mitte der Nacht dargeboten, reduziert sich die REM-Schlafdauer deutlich, wohingegen eine Lärmexposition ausschließlich am Ende der Nacht keinen nennenswerten Effekt hat.

Als Einflußfaktoren bei den Schlafuntersuchungen haben sich Persönlichkeitseigenschaften wie Lärmempfindlichkeit und der Zeitpunkt der Lärmexposition erwiesen. So hat der Verkehrslärm auf den Nachtschlaf von Kindern geringere Auswirkungen als auf den Schlaf von Erwachsenen. Ein wesentlicher Einflußfaktor ist der Zeitpunkt der Exposition: Besonders beeinträchtigend wirken sich Lärmexpositionen zu Beginn und in der Mitte der Nacht aus.

440. Schlafstörungen variieren beträchtlich mit den akustischen Charakteristika der Schallreize; informationshaltige Geräusche und starke Pegelschwankungen sind besonders ungünstig, während breitbandige, gleichförmige Geräusche relativ schnell zur Gewöhnung führen. Bisher liegen nur wenige Arbeiten vor, die fundierte Aussagen bezüglich einer Gewöhnung (Habituation) an nächtlichen Lärm ermöglichen. Es wird aber davon ausgegangen, daß keine oder zumindest keine vollständige Gewöhnung an nächtlichen Lärm stattfindet, auch wenn sich nach einer gewissen Zeit ein neues, kompensiertes Schlafverhalten entwickelt (JANSEN et al., 1999).

Schwellenwerte für nächtliche Lärmbelastigung

441. Die Störung des Schlafes durch Lärm setzt bei geringeren Pegeln ein als der Lärmstreß des wachen Menschen. Die größere Empfindlichkeit des vegetativen Nervensystems in der Nacht beträgt etwa 10 bis 15 dB(A). Die in den Regelwerken aufgeführten Immissionswerte für Tag und Nacht tragen dem Rechnung und unterscheiden sich meist um 10 bis 15 dB(A). Nach JANSEN et al. (1999) ist bei Maximalpegeln von 87 dB(A) eine Übersteuerung der vegetativen Funktionen auch im Schlaf zu erwarten. Da ein solcher Wert ohnehin fast immer zum Aufwachen führt, müssen zur Beurteilung von Nachtlärmbelastungen für eine durchschnittliche Bevölkerung andere Kriterien verwendet werden. Maßgebendes Kriterium könne die Aufweckhäufigkeit, d.h. der Anteil der Aufwachenden in Abhängigkeit vom Lärmpegel sein. Nach JANSEN et al. (1999) deutet unphysiologisches Aufwachen darauf hin, daß die für die Nacht typische Stoffwechsellage (trophotrope Phase) nicht weiter aufrecht erhalten werden kann und in eine für den Tag typische Stoffwechsellage mit Überwiegen des Sympathikus übergeht. Zudem wird der normale Schlafzyklus unterbrochen. Der Schwellenwert von 60 dB(A) kann daher als Beginn gesundheitsbeeinträchtigender Belastungen angesehen werden.

442. In der Lärmwirkungsforschung ist die Frage, welche Sofortreaktion bei langanhaltender Exposition eine Gesundheitsbeeinträchtigung hervorruft, umstritten. Da die verschiedenen Sofortreaktionen bei unterschiedlichen Minimalpegeln beobachtet werden können, hat die wissenschaftliche Klärung dieser Frage einen hohen präventivmedizinischen Stellenwert.

Aus der Literaturanalyse „Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm“ (MASCHKE et al., 1996) ziehen die Autoren den Schluß, daß aus präventivmedizinischer Sicht eine Unterschreitung der aufgeführten Pegelbereiche – äquivalenter Dauerschallpegel von 35 bis 45 dB(A) und Maximalpegel von 45 bis 55 dB(A) – anzustreben sei. Diese

Tabelle 3.5-12

Effektschwellen für Sofortreaktionen bei nächtlicher Lärmbelastung

Parameter	Kontinuierlicher Lärm (L_{eq})	Intermittierender Lärm (L_{max})
Gesamtschlafdauer	Ab 45 dB(A) verkürzt	Bei 45 dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Schlafstadienlatenz	Einschlaflatenz ab 45 dB(A) verlängert; Tiefschlaflatenz ab 36 dB(A) verlängert; Tendenz zur Verlängerung der Traumschlaflatenz	Einschlaflatenz keine Daten; Tiefschlaflatenz bei 45 dB(A) (50 Ereignissen) verlängert; Tendenz zur Verkürzung der Traumschlaflatenz
Arousalreaktionen und Stadienwechsel	*)	Ab 45 dB(A) induziert
Aufwachreaktionen	Erhöhung oberhalb 60 dB(A)	Ab 45 dB(A) induziert
Dauer der Wachphasen	Verlängerung oberhalb von 66 dB(A)	Verlängerung ab 65 dB(A) (15 Ereignisse)
Dauer des Leichtschlafs	Verlängerung oberhalb von 66 dB(A)	Verlängert bei 75dB(A) (16 Ereignisse)
Dauer des Tiefschlafs	Verkürzung ab 36 dB(A)	Verkürzung ab 45 dB(A) (50 Ereignisse)
Dauer des REM-Schlafs	Verkürzung oberhalb von 36 dB(A)	Verkürzung bei 55 dB(A) (50 Ereignisse)
Herzrhythmusstörungen	*)	Erhöhung der Häufigkeit durch Ereignisse > 50 dB(A)
Herzfrequenz	*)	Erhöhung ab Modulationstiefe von 7 dB(A)
Körperbewegungen	Oberhalb von 35 dB(A) vermehrt	Bei 45 dB(A) vermehrt und induziert
Stresshormonausscheidung	*)	Erhöhung bei 55 dB(A) (16 Ereignisse)
Subjektive Schlafqualität	Verschlechtert ab 36 dB(A)	Bei 50 dB(A) (64 Ereignisse) bereits um 25% verschlechtert
Erinnerbares Erwachen	Erhöhung oberhalb von 40 dB(A)	Erhöhung ab 45 dB(A), nimmt mit L_{max} und Ereigniszahl zu
Leistung	Verschlechtert oberhalb von 45 dB(A)	Verschlechtert bei 45 dB(A) (16 Ereignisse)

*) Keine (ausreichenden) Daten

Quelle: MASCHKE et al., 1996

Pegelbereiche haben sich für den Großteil der untersuchten Parameter als Effektschwellen erwiesen. Das alleinige Abstellen auf Aufwachreaktionen berücksichtigt nach MASCHKE und HARDER (1998) weder die Zerstörung der Zeitstruktur des Schlafes, noch die Schlafstadienverteilung, noch die nachteiligen Wirkungen einer Kompensation.

443. Schon 1982 stellte der Interdisziplinäre Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt fest, daß Innenpegel von L_{eq} 30 dB(A) und L_{max} 40 dB(A)

geeignet seien, Schlafstörungen weitgehend zu vermeiden. Bei gekippten Fenstern können die Außenpegel um ca. 10 dB(A) höher liegen, bei geschlossenen Fenstern um ca. 25 dB(A). In seinem Gutachten von 1987 hat sich der Umweltrat dieser Auffassung insofern angeschlossen, als hiermit Schwellenwerte für Beeinträchtigungen angegeben werden (SRU, 1988, Tz. 1444). Die genannten Innenwerte finden sich auch in der für die WHO erarbeiteten Dokumentation „Community Noise“ von BERGLUND und LINDVALL (1995). In den Materialien zum 4. Immissionschutzbericht der Deutschen Bundesregie-

rung an den Bundestag wird festgehalten, daß Mittelungspegel von 25 bis 35 dB(A) am Ohr des Schlafers noch im schlafgünstigen Bereich liegen (MASCHKE et al., 1997).

444. Die medizinische Begründung der aufgeführten Innenpegel von L_{eq} 30 dB(A) und L_{max} 40 dB(A) ist umstritten. Insbesondere ist nicht geklärt, ob und in welchem Maße die in der Tabelle 3.5-12 aufgeführten Sofortreaktionen bei langanhaltender Exposition eine Gesundheitsgefährdung hervorrufen. Daher kann nach JANSEN et al. (1999) bis zur Klärung der Zusammenhänge zwischen physiologischen Sofortreaktionen und Gesundheitsgefährdung an den Kriterien von L_{max} 60 dB(A) für die Aufweckschwelle und von sechsmal 60 dB(A) für lärmbedingtes Aufwachen durch informationsarme Geräusche festgehalten werden. Der Wert von 60 dB(A) darf nach JANSEN et al. (1999) bis zu sechsmal pro Nacht überschritten werden. Bei dem Kriterium sechsmal 60 dB(A) handelt es sich um Maximalpegel (innen), die nicht häufig oder dauernd auftreten – z.B. Fluglärmereignisse – und deren Pegel deutlich, d.h. mehr als 20 dB(A), über dem Grundpegel liegen. Treten Schallbelastungen in der Nacht dagegen häufig auf und liegen ihre Pegelspitzen weniger als 20 dB(A) über dem Grundpegel (z.B. Straßenverkehrslärm an vielbefahrenen Straßen), so sind die energieäquivalenten Mittelungspegel zur Beurteilung heranzuziehen.

Aus der Sicht des Umweltrates ist nicht auszuschließen, daß die beobachteten Schlafstörungen langfristig Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen können.

3.5.4.5 Lärmbedingte Leistungsstörungen und psychische Auswirkungen von Lärm

445. Leistungsstörungen gehören zu den erheblichen Lärmwirkungen. Im auditiven Bereich kann die maskierende Wirkung von Störgeräuschen dazu führen, daß akustische Informationen verdeckt werden. Im nicht-auditiven Bereich kann Lärm durch Ablenkung, Belästigung und Überaktivierung kognitive Funktionen beeinträchtigen. Naturgemäß sind kreatives Denken, Konzentrationsfähigkeit u.ä. eher störanfällig als einfache repetitive Leistungen. Die Störung wird dabei durch jede Auffälligkeit des Schallreizes verstärkt, also durch intermittierenden, unvorhersehbaren Lärm, unregelmäßige Pegelschwankungen, hochfrequente Anteile oder besondere Ton- und Informationshaltigkeit.

446. In vielen Belastungssituationen wird die lärmbedingte Leistungseinbuße durch erhöhten Aufwand, z.B. durch zusätzliche Konzentrationsanstrengungen, kompensiert, so daß vorübergehend sogar Leistungssteigerungen auftreten. Zahlreiche Untersuchungen belegen aber eine Nachwirkung des Lärms über den Belastungszeitraum hinaus, die sich in erhöhter Ermüdung oder verringerter Belastbarkeit zeigt.

So erwiesen sich bei Erwachsenen (COHEN et al., 1981) wie bei Schulkindern (COHEN et al., 1986) die in Laborstudien festgestellten Leistungsdefizite über ein Jahr lang als stabil; eine Doppelbelastung der Schulkinder (Wohnung und Schule) hatte einen verstärkenden Effekt,

der auch durch eine erfolgreiche Lärminderung in der Schule binnen eines Jahres nicht reduziert wurde.

In der Düsseldorfer Verkehrsbelastungsstudie wurde im Rahmen einer Explorationsstudie an 38 Kindern Konzentrationsfähigkeit und Aufmerksamkeitsverhalten erfaßt. Die experimentellen Ruhe- und Schallbedingungen waren nach einem Cross-Over-Plan so verteilt, daß jeweils die Hälfte der Kinder aus den beiden Untersuchungsgebieten beim ersten Testtermin die Tests in Ruhe und beim zweiten Termin bei Beschallung durchführte. Bei den übrigen Kindern wurde umgekehrt verfahren. Bei akuter Beschallung erbrachten alle Kinder im Stroop-Diskriminations-Test und Vigilanztest bessere Leistungen als ohne Beschallung. Erhöhte chronische Schallbelastung (Pegel im Wohngebiet der Kinder tagsüber zwischen 57 und 76 dB(A)) beeinträchtigte dagegen die selektive Aufmerksamkeitsleistung (Go/Nogo-Test) und die Erfassung der Detail-Diskrimination (d2-Test). Die Leistungen der Kinder aus ruhigen Gebieten (tagsüber 49 bis 57 dB(A)) waren in dieser Hinsicht besser und ausgeglichener (MÜLLER et al., 1998).

Der Befund, daß bestimmte Leistungen bei zusätzlicher Belastung durch Straßenverkehrsgeräusche besser werden, ist mit der Theorie der reaktiven Anspannungssteigerung vereinbar. Um eine Aufgabe trotz störender Hintergrundgeräusche gut bewältigen zu können, muß man sich mehr anstrengen, konzentrieren und aufmerksamer sein, als es zur Bewältigung derselben Aufgabe in Ruhe nötig ist. Der erhöhte Aufwand kann durch Überkompensation zu einer Verbesserung der Leistung führen. Die „Kosten“ für die bessere Leistung sind jedoch größere Beanspruchung und als Folge schnellere Ermüdung. Die Leistungseffizienz, das ist das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag, ist reduziert. Die einzig wirksame Möglichkeit, die resultierende Ermüdung zu kompensieren, ist ausreichend ergiebiger Schlaf. Vor diesem Hintergrund kann die Beobachtung bedeutsam werden, daß die Konzentrationsleistungen gerade derjenigen Kinder beeinträchtigt sind, die höheren Lärm-Nachtpegeln ausgesetzt sind. Diese Kinder haben möglicherweise geringere Möglichkeiten, sich von dem Aufwand der Anspannungssteigerung zu erholen (MÜLLER et al., 1998).

447. Durch die Verlegung des Münchner Flughafens im Jahre 1992 ergab sich für die Wissenschaft die seltene Gelegenheit eines quasi „natürlichen Experimentes“, da in der Nachbarschaft sowohl des alten wie des neuen Flughafens lärmbelastete und nicht-belastete Gruppen von Schulkindern gebildet und sowohl vor als auch nach der Verlegung untersucht werden konnten (genauere Angaben s. Tz. 417). Eine Arbeitsgruppe um EVANS, HYGGE und BULLINGER konnte über einen Zeitraum von zwei Jahren nachweisen, daß sich einige kognitive Leistungen der Schulkinder in der Nachbarschaft des neuen Flughafens allmählich verschlechterten und im Einzugsgebiet des alten Flughafens wieder verbesserten. Insgesamt zeigen die Münchner Fluglärmstudien nur leichte, nicht besorgniserregende Beeinträchtigungen in einigen Bereichen (z.B. Konzentrationsfähigkeit und Lesefähigkeit), wohingegen das Wohlbefinden der Kinder, d.h. ihre Lebensqualität, kaum beeinträchtigt wird (BULLINGER, 1999 und 1998; EVANS et al., 1995).

Die kognitiven Wirkungen chronischer Lärmbelastung bei Kindern betreffen vor allem Lesedefizite, Störungen der Sprachwahrnehmung und des Spracherwerbs sowie der Langzeiterinnerung (HYGGE et al., 1998). EVANS et al. (1995) zeigen auch Motivationsdefizite und besondere kognitive Bewältigungsstrategien (z.B. Ausfiltern auditiver Reize) bei langjährig lärmbelasteten Kindern auf, und diskutieren die Frage, inwieweit daraus Nachwirkungen auf die weitere kindliche Entwicklung zu erwarten sind.

448. Lärmbedingte Motivationsänderungen in diesem Sinne beruhen nicht auf der wahrgenommenen Belästigung oder auf lärminduzierten Lernstörungen, sondern sind in erster Linie mit der Wahrnehmung von Unkontrollierbarkeit verbunden (EVANS et al., 1998). Im Sinne des Modells der „gelernten Hilflosigkeit“ kann die Exposition gegenüber aversiven, unkontrollierbaren Umweltreizen dazu führen, daß die aktive Auseinandersetzung mit der Umwelt aufgegeben wird. Als typischer Indikator solcher Motivationsdefizite wird in Labor- oder Feldstudien das frühzeitige Aufgeben bei bestimmten Aufgabenstellungen, z. B. Puzzles, angesehen. EVANS et al. weisen darauf hin, daß lärmbedingte gelernte Hilflosigkeit und deren möglicher Zusammenhang mit der Entwicklung von Depressionen gerade im Hinblick auf besonders gefährdete Personengruppen – z.B. Lärmempfindliche, Depressive, Personen mit geringem Vertrauen in die eigenen Kontrollmöglichkeiten – weiter zu untersuchen sei.

Als Alternativhypothese zur Theorie der „gelernten Hilflosigkeit“ schlagen MÜLLER et al. (1998) vor, daß die Kinder aufgrund jahrelanger Erholungsdefizite „erschöpft“ sind und die zusätzliche Anspannung nicht mehr aufbringen können oder, weil sie gelernt haben, ihre Ressourcen optimal einzusetzen, nicht aufbringen wollen.

449. Im Zusammenhang mit Anpassung an Lärmbelastung und Entwicklung besonderer Bewältigungsstrategien ist auch der Gesichtspunkt der *psychischen Kosten* zu berücksichtigen, der zuerst von GLASS und SINGER (1972) bei Laborexperimenten aufgezeigt wurde. In diesen Experimenten hielten die Versuchspersonen während der Schallexposition zwar ihre Leistung konstant, zeigten jedoch danach Leistungsabfall und Stimmungsänderungen. Auch bei der Bewältigung von Umweltlärm werden solche Kompensationsleistungen der Betroffenen postuliert, entweder auf physiologischer Ebene (vgl. TAFALLA und EVANS, 1997) oder in Form von Änderungen des Verhaltens bzw. der kognitiven Einstellungen. Inwieweit diese Anpassungsleistungen Auswirkungen auf das Sozialverhalten oder die emotionale Stabilität haben, ist schwierig zu untersuchen. LERCHER (1998) faßt folgende Beeinträchtigungen bei langandauernder Lärmbelastung zusammen:

- Leistungsminderung (verminderte Merkfähigkeit und Frustrationstoleranz)
- soziale Insensitivität (geringe Hilfsbereitschaft, Neigung zu Aggressivität)
- Streßinsuffizienz (zunehmende Unfähigkeit, unter Druck zu arbeiten)

- Veränderungen des Gesundheitsverhaltens (häufigeres Rauchen, verstärkte Medikamenteneinnahme usw.)
- physiologische Veränderungen (vegetative Labilität, Blutdruckänderungen usw.)
- psychische Veränderungen (Hoffnungslosigkeit, Passivität, erlernte Hilflosigkeit).

450. Belästigungsäußerungen, körperliche Reaktionen auf Lärm und Lärmbewältigung bilden ein komplexes Beziehungsgefüge. Unbestritten spielt die psychische Wirkungsebene insbesondere bei chronischer Belastung durch Umweltlärm eine zentrale Rolle. Auswirkungen, die sich relativ gut reizbezogen untersuchen und auch in Laborexperimenten näherungsweise simulieren lassen – z.B. Leistungstörungen –, sind dabei verlässlicher nachgewiesen als relativ unspezifische psychische oder verhaltensmäßige Veränderungen, die natürlich immer von vielen zusätzlichen Faktoren beeinflusst werden. Die konkreten Ausprägungen psychischer Lärmwirkungen (siehe Kasten) sollten deshalb auch bei administrativen und rechtlichen Maßnahmen zur Lärmbekämpfung entsprechend berücksichtigt werden.

451. Umgebungslärm, der die Schwelle für erhebliche Belästigung überschreitet, hat nicht nur Auswirkungen auf die betroffenen Individuen, sondern betrifft auch das Zusammenleben der Bevölkerung in den entsprechenden Wohngebieten. Es kommt zu „Vermeideverhalten“ wie Schließen der Fenster und geringe Balkonnutzung. Die spontane Kommunikation auf der Straße und vor den Häusern wird erschwert, die Vereinzelung der Menschen wird gefördert. Im Extremfall sehen sich die betroffenen Personen zu einem Wohnungswechsel veranlaßt. Dies ist wiederum nur von einer Minderheit finanziell tragbar, so daß eine soziale Entmischung die Folge ist (ACKERMANN-LIEBRICH et al., 1999).

Ausprägungen psychischer Lärmwirkungen

- Störungen von Tätigkeiten
- Störung des Schlafs und der Erholung
- Störung der Kommunikation in jeder Form
- Störung von Lernen und Leistung infolge veränderter Aufmerksamkeitshaltung und verringerter Kapazität zur Informationsverarbeitung
- Veränderungen der emotionalen Stimmungslage bis hin zu psychischen Auffälligkeiten und Verhaltensänderungen

Quelle: JANSEN et al., 1999

3.5.5 Lärmempfindliche Personen und besonders gefährdete Personengruppen

452. Die Wirkung von Lärm, insbesondere von Straßenverkehrs- und Fluglärm, auf die Bevölkerung ist differenziert zu betrachten. Die in den allgemeinen technischen und sonstigen Regelwerken festgelegten Immissionswerte geben eine Beurteilungsgrundlage für die

durchschnittliche Bevölkerung ab. Es gibt aber Personengruppen in der Bevölkerung, die bei Lärmbelastungen besonders starke Wirkungen zeigen oder auf Lärmbelastungen besonders sensibel reagieren. Somit stellt sich die Frage, ob bei der Beurteilung von Lärmeinwirkungen das einzelne Individuum, die durchschnittliche Bevölkerung oder bestimmte Personengruppen als Maßstab einer allgemeinen Richtwertfestsetzung oder eines Maßnahmenkataloges herangezogen werden sollen. Schutzwürdige Gruppen sind im Hinblick auf die Lärmbelastung (wie auch in anderen Umweltbereichen) Schwangere, Kinder, alte Menschen, Kranke (hier insbesondere Hypertoniker und blutdrucklabile Patienten) und die Gruppe der besonders lärmempfindlichen Personen.

Lärmwirkung und Lärmempfindlichkeit

453. Etwa 10 bis 15 % der Bevölkerung werden als lärmempfindlich eingeschätzt, dies scheint auch für Kinder zu gelten. So zeigte bei Untersuchungen zur Wirkung von Tieffluglärm auf Kinder ein ähnlich hoher Prozentsatz lärmbedingte Schreckreaktionen (POUSTKA, 1991). Es besteht allgemeine Übereinstimmung darüber, daß eine individuelle Sensitivität gegenüber Lärm existieren muß, wobei allerdings ungeklärt ist, ob diese genetisch determiniert oder als Folge der Lärmbelastung anzusehen ist (GRIEFAHN, 1991). In Untersuchungen zur Quantifizierung der physiologischen Lärmempfindlichkeit wurde ein gefährdetes Kollektiv von 6,25 % der Allgemeinbevölkerung ermittelt (JANSEN et al., 1996). Eine mögliche Erklärung für die Abweichung gegenüber der gängigen Schätzung von 10 bis 15 % geht davon aus, daß JANSEN et al. lediglich auf die physiologische Lärmempfindlichkeit abgestellt haben, während die psychologischen und soziologischen Aspekte nur ansatzweise über die physiologisch-psychologische Anamnese, also nicht umfassend einbezogen wurden.

454. Menschen, die von ihrer Anlage her oder durch besondere Umstände *psychisch und vegetativ labil* sind, empfinden auch Lärmbelastungen wesentlich eher als lästig oder gar als unzumutbar. Epidemiologische Untersuchungen über Lärm und seinen Einfluß auf die Häufigkeit von Medikamenteneinnahmen weisen aber kontroverse Ergebnisse auf und liefern somit keine Beweise für ursächliche Zusammenhänge.

455. Für einen Arzt ist es schwierig, den Lärmeinfluß bei der Entstehung der vegetativen Dystonie abzuschätzen. Psychologische Testverfahren (z.B. Freiburger Persönlichkeitstest nach Fahrenberg) erlauben Aussagen über „Neurotizismus“ oder „vegetative Labilität“. In Untersuchungen mit „Neurotikern“ und „Nichtneurotikern“ wurden bei Schallbelastungen *unterhalb* der hörschädigenden und vegetativ übersteuerten Grenzwerte (z.B. „Weißes Rauschen“ und Industriegerausche) mit $L_{eq,3} = 75$ dB(A) je nach psychischer Ausgangslage unterschiedliche Vasokonstriktionsgrößen ermittelt. Die Neurotiker wiesen bei unterkritischen Belastungsgrößen signifikant stärkere Reaktionen auf. Auch bei der Prüfung anderer physiologischer Parameter ergaben sich teilweise beachtliche Unterschiede zwischen labilen (neurotischen) und stabilen Probanden als Folge persönlicher Dispositionen und Konstitutionen. Wenn dagegen

die Schallreize den kritischen Wert von 100 dB(A) erreichten, traten zwischen den beiden Gruppen *keine* physiologischen Reaktionsunterschiede mehr auf (JANSEN und HOFFMANN, 1971).

Besonders gefährdete Personengruppen

456. Zu den besonders gefährdeten Personengruppen gehören Kinder, Schwangere, kranke Personen (hier besonders Personen mit Herz- und Kreislauf-Erkrankungen) sowie alte Menschen.

Säuglinge und Kleinkinder sind in einigen physiologischen Funktionen noch nicht voll entwickelt, so daß bestimmte Funktionsänderungen durch Lärm, wie die Vasokonstriktion, in Versuchen nicht oder nur andeutungsweise sichtbar werden. So konnten unter Belastungen von 105 dB(A) nur sehr schwache, lärmbedingte Vasokonstriktionen nachgewiesen werden (MATTHIAS, 1961). Sie fallen dagegen besonders prägnant bei Jugendlichen und bei Erwachsenen zwischen 22 und 35 Jahren aus.

Kindergartenkinder und Schulanfänger weisen in bezug auf hormonell-vegetative Reaktionen keine erhöhte Lärmempfindlichkeit auf. Aus experimentellen Studien ist bekannt, daß die kardiovaskulären Parameter von Kindern (z.B. Blutdruck) sehr schnell auf Lärm reagieren, sich aber ebenso schnell zurückbilden. Vor diesem Hintergrund sind lärmbedingte Blutdruckerhöhungen nicht als Gesundheitsgefährdung zu interpretieren (MASCHKE und HARDER, 1998).

Darüber hinaus stellt man fest, daß die meisten Kinder sehr lärmfreudig sind, wie die Beispiele von Kindergärten und Schulhöfen zeigen. Bei Messungen in drei Kindergärten wurden Mittelungspegel von 69 bis 74 dB(A) festgestellt (HOUCHE, 1996). Es liegen nur wenige Studien vor, in denen Schlafstörungen von Kindern untersucht wurden. Eine schwedische Felduntersuchung zeigte, daß Verkehrslärm auf den Nachtschlaf von Kindern deutlich geringere Auswirkungen hat als auf den Nachtschlaf von Erwachsenen. Einzelne Befunde hierfür finden sich auch in den in Abschnitt 3.5.4.4 dargestellten Studien zur Wirkung von Verkehrslärm auf den Schlaf.

Untersuchungen zur Auswirkung von Tieffluglärm auf Kinder ergaben direkte aurale Wirkungen (z.B. häufige Ohrenschmerzen und Hörschwellenverschiebungen; SPRENG, 1987). Die auralen Wirkungen betrafen Kinder verschiedenster Altersgruppen, die in weniger hoch belasteten Tieffluggebieten lebten und weisen auf eine besondere Empfindlichkeit des jugendlichen Gehörs hin (MASCHKE und HARDER, 1998).

457. Im Vordergrund von Lärmwirkungen bei Kindern steht nicht die Belästigung, sondern die *Störung geistiger Tätigkeiten*. So konnte in den Untersuchungen der Arbeitsgruppe von COHEN (Tz. 446) festgestellt werden, daß bei Schulkindern, die in der Nähe eines Flughafens leben, neben Blutdrucksteigerungen vor allem Einbußen in kognitiven Funktionen vorlagen. In Untersuchungen, die in der Nachbarschaft des alten und des neuen Münchner Flughafens durchgeführt wurden (Tz. 447), konnte bestätigt werden, daß fluglärmexponierte Kinder mehr Fehler bei schwierigen Leseaufgaben machen, eine

reduzierte Erinnerungsleistung beim Langzeitgedächtnis und längere Reaktionszeiten aufweisen als Kinder, die ohne Fluglärm leben. Wird der Fluglärm eingestellt, gleichen sich die Leistungen der Kinder wieder an. Setzt der Fluglärm ein, beginnen die negativen Veränderungen und sind nach zwei Jahren deutlich ausgeprägt. In einer vergleichenden Untersuchung über die Wirkungen von Flug-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrslärm auf das Langzeitgedächtnis bei 12- bis 14-jährigen Schülern konnte HYGGE (1993) zeigen, daß Flug- und Straßenverkehr diesen Parameter beeinträchtigten, nicht aber Schienenverkehr.

Insgesamt sind die in der Literatur mitgeteilten Leistungs-differenzen zwischen schallbelasteten Kindern und Kontrollgruppen, obgleich statistisch bedeutsam, meist nicht sehr groß. Einige kognitive Tätigkeiten werden durch Geräusche deutlich, andere gar nicht gestört oder sogar begünstigt. Oft liegen die Leistungen aller Kinder noch im Normbereich der verwendeten Tests, jedoch mit deutlichen Häufungen der Testwerte schallbelasteter Kinder an den oberen oder unteren Grenzen der Normbereiche (MÜLLER et al., 1998).

458. Der Zustand der *Schwangerschaft* ist nach ärztlicher Auffassung kein Krankheitszustand, sondern stellt eine natürliche und gesunde, jedoch eine gegenüber Belastungen sensible und unter Umständen schnell über-

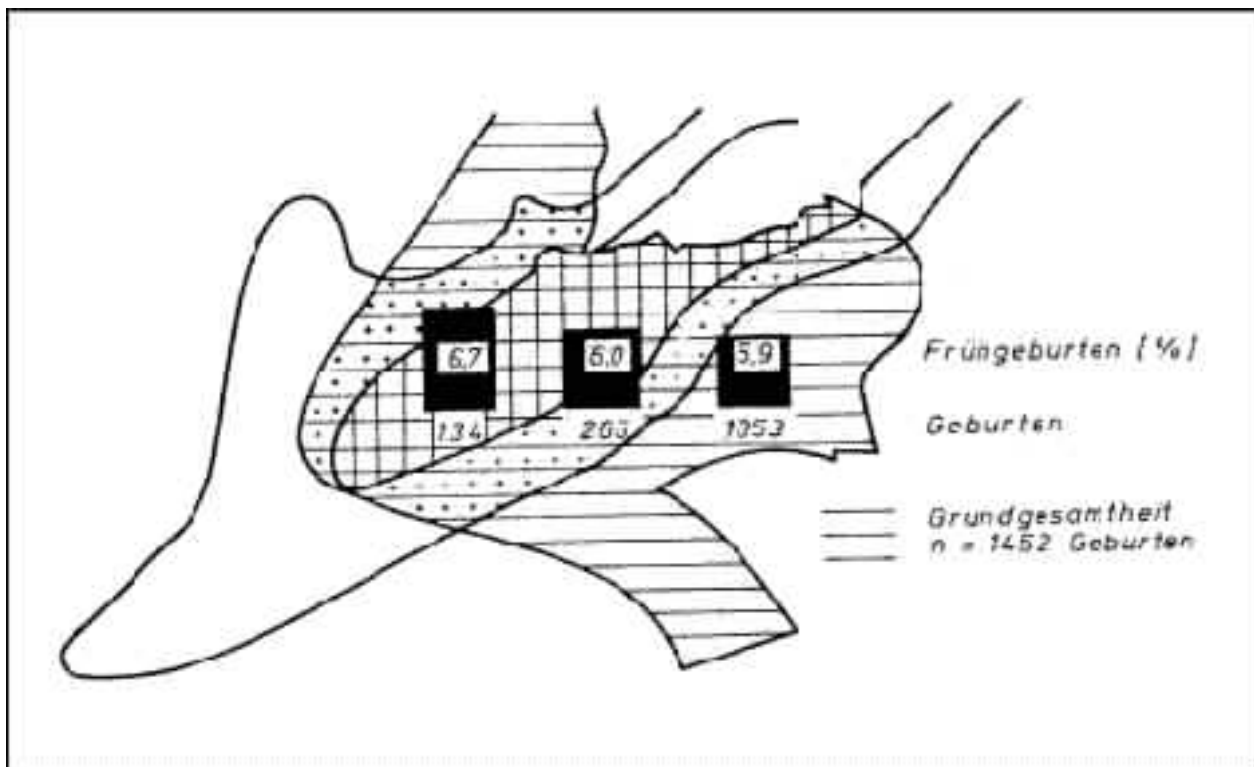
schießende Reaktionslage dar. Vorsorgemaßnahmen für Schwangere zielen darauf ab, höhere Belastungen, die im täglichen, vor allem aber beruflichen Leben auftreten, zu vermeiden. Als Richtwert ist in der Arbeitsstättenverordnung ein mittlerer Maximalpegel von 80 dB(A) für Schwangere festgelegt worden, der wesentlich auf Messungen der Vasokonstriktion der Schwangeren und der foetalen Herzfrequenz beruht (ARENS, 1976).

Belege für eine erhöhte Rate von Geburtsfehlern oder ein reduziertes Geburtsgewicht aufgrund der Lärmbelastung liegen nur vereinzelt vor und lassen allenfalls einen geringen Zusammenhang vermuten (JANSEN und NOTBOHM, 1994). So ermittelten REHM und JANSEN (1978) in der Umgebung des Flughafens Düsseldorf die Frühgeburtenrate aus 4,5 Jahren in drei unterschiedlich fluglärmbelasteten Gebieten (Abb. 3.5-3). Diese lag in allen drei Gebieten bei durchschnittlich 6 % von 1 452 Geburten und damit im Rahmen einer normalen Streubreite in der Bevölkerung.

459. *Patienten mit Hypertonie* reagieren auf Schallpegel im Bereich von 50 bis 90 dB(A) stärker als Gesunde. Signifikante Anstiege des Blutdrucks werden auch bei Probanden mit labilem Bluthochdruck unter Schalleinwirkungen in diesen Größenordnungen gefunden. Bei *Personen mit Erkrankungen des Kreislauf- und Gefäßsystems* (u.a. Patienten mit Schlaganfallbedingten

Abbildung 3.5-3

Frühgeburtenhäufigkeit in Flughafennähe



Halbseitenlähmungen) wurde ein im Vergleich zu gleichaltrigen Gesunden eingeschränktes vegetatives Reaktionsvermögen auf Lärmreize gefunden. Gleichzeitig wiesen die peripheren Gefäßregulationen Verzögerungen in der Rückregulation der Durchblutung auf (JANSEN et al., 1980). Das nervöse Aktivationsniveau ist bei Patienten gegenüber Gesunden erhöht, die zusätzliche Belastung durch Lärm hemmt oder verzögert Regenerationsprozesse und kann so das Krankheitsgeschehen im negativen Sinne beeinflussen. Die psycho-physiologische Lärmempfindlichkeit des Kranken ist höher als die des Gesunden. Allgemein läßt sich aus diesen Ergebnissen folgern, daß der für Gesunde geltende Schwellenwert von 99 dB(A) für die normale vegetative Verarbeitung von Schalleinwirkungen für Erkrankte nicht bestehen bleiben kann, sondern tiefer anzusetzen ist. Der Schwellenwert von 99 dB(A) reduziert sich um 11 dB(A), wenn es sich um leicht Erkrankte handelt, während für schwer und schwerst Erkrankte die Notwendigkeit einer Reduktion um 21 dB(A) beziehungsweise 32 dB(A) ermittelt wurde (GRIEFAHN, 1982).

460. *Altersspezifische* Reaktionen sind im Bereich der nervösen Regulationen nachweisbar. Ebenso weisen die physiologischen Reaktionen altersspezifische Ausprägungen auf. In Untersuchungen mehrerer Autoren konnten zwischen Alter und lärmbedingter Vasokonstriktion sowie zwischen Alter und vegetativer Ausgangsschwankung (Gefäßelastizität und Gefäßdynamik) signifikante Zusammenhänge in der Richtung gefunden werden, daß vegetative Lärmreaktionen mit zunehmendem Alter schwächer werden. Andererseits konnten in Laboruntersuchungen zur Wirkung militärischer Tiefflüge bei 70-jährigen systolische Blutdrucksteigerungen bis zu 45 mm Hg als akute Reaktion auf Tieffluggeräusche festgestellt werden.

3.5.6 Unterschiedliche Lärmquellen und Gesamtlärmbelastung

461. Belastungen durch verschiedene Lärmquellen werden in der öffentlichen Diskussion wenig beachtet, obwohl allein die Zahl der Bundesbürger, die durch Straßenverkehrs- und Fluglärm belästigt werden, auf 31 Millionen geschätzt wird (ORTSCHEID, 1996). Die wissenschaftliche Diskussion um die Frage, ob sich die Belästigung durch mehrere Lärmquellen zu einem Gesamtmaß der Belästigung zusammenfassen läßt, wird kontrovers geführt. Seit dem Vorschlag von SCHULTZ (1978), eine einheitliche Dosis-Wirkungs-Kurve für alle Arten von Verkehrslärm zu verwenden, in der nur ein Nachtzuschlag von 10 dB(A) für erhöhte Lästigkeit vorgesehen ist, wurden verschiedene Korrekturen in der Bewertung der „Gesamtblästigung“ angeregt, um der unterschiedlichen Wirkung der wichtigsten Lärmarten gerecht zu werden. Genannt werden getrennte Kurven für Flug- und Bodenverkehr (FIDELL et al., 1991), Zuschläge in Dezibel-Äquivalenten für bestimmte Lärmquellen (FIELDS, 1990) und pegelabhängige Korrekturen mit Straßenverkehrslärm als Referenzgröße (VOS, 1991). Demgegenüber betont eine grundsätzliche Kritik an der Zusammenfassung verschiedener Belästigungsquellen auf der Grundlage der Schallpegel, daß

unterschiedliche Wirkungen der einzelnen Lärmarten nicht nur vom Schallpegel, sondern von zusätzlichen akustischen Kennwerten abhängen (GUSKI, 1997). Auch wird hervorgehoben, daß die hervorgerufene Belästigung je nach Lärmquelle unterschiedliche Qualität zeigen kann (KRYTER, 1982).

462. Empirische Daten zur kombinierten Wirkung mehrerer Lärmquellen zeigen bisher keine klaren Tendenzen bzgl. der Art des Zusammenwirkens. FIELDS (1993) zieht in einer Literaturlauswertung die Schlußfolgerung, daß die Belästigung durch eine Hauptlärmquelle in den meisten Studien kaum durch eine zusätzliche Lärmquelle beeinflusst wird. OLIVA (1998) zieht in einer umfangreichen Untersuchung zur Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm den Schluß, daß die einzelnen Geräuschquellen nicht zu einer „gesamthaften Geräuschkulisse“ integriert werden, sondern daß sich die Intensität der einzelnen Quellen in den Einzelbewertungen niederschlägt. Nach VOS (1992) trifft dies aber nur zu, wenn eine Lärmquelle beträchtlich stärker ist als die andere. Sind dagegen zwei Lärmquellen ungefähr gleich belästigend, so liegt die Gesamtbelästigung im allgemeinen höher als die Belästigung durch die vorherrschende Quelle. Dies konnte auch experimentell bestätigt werden (Health Council of The Netherlands, 1996; VOS, 1992).

463. Nach JANSEN et al. (1999) ist im Bereich der Belästigungen der Stand der Forschung noch nicht so weit fortgeschritten, daß geeignete Summationsregeln abgeleitet werden können. Die bisherigen Erkenntnisse aus der Lärmwirkungsforschung rechtfertigen noch die bisherige getrennte Betrachtungsweise der einzelnen Lärmarten.

JANSEN et al. halten allerdings hinsichtlich gesundheitlicher Gefährdung eine Gesamtbetrachtung für richtig und notwendig. Es sei zwar wissenschaftlich noch nicht erwiesen, daß solche Gesamtbelastungswerte mit der schädlichen Wirkung korrelieren, dies sei jedoch sehr wahrscheinlich. Die unterschiedliche Behandlung von Gesundheitsgefährdung und erheblicher Belästigung dürfte damit zusammenhängen, daß für die gesundheitlichen Auswirkungen in erster Linie akustische Meßgrößen wie die Schallpegel maßgebend sind, die sich grundsätzlich addieren lassen, wohingegen bei erheblichen Belästigungen andere, insbesondere qualitative Lärmcharakteristika in die Bewertung mit eingehen.

3.5.7 Zumutbarkeitskriterien und Bevölkerungsschutz

464. Das allgemeine Lärmbewußtsein ist erheblich gestiegen, da trotz der Erfolge in der technischen und organisatorischen Lärmbekämpfung die belästigenden und zum Teil gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkungen des Lärms nach wie vor bestehen. Durch die Zunahme der lärmzeugenden Aktivitäten, insbesondere im Verkehrsbereich, wurden die bisherigen Erfolge der Lärminderung überkompensiert. Die Reaktion der Bevölkerung auf Lärm reicht von extremer Empfindlichkeit bis zu Gleichgültigkeit.

Der Beitrag des Umweltfaktors Lärm zum Krankheitsgeschehen kann nur dann richtig eingeschätzt werden, wenn

Klarheit über den Begriff Gesundheit besteht. Wie in Kapitel 1.3 dargestellt wurde, ist der Begriff der Gesundheit differenziert und gestuft zu betrachten. Insbesondere ist zu beachten, daß die Übergänge von gesunden Reaktionen zu krankhaften Veränderungen fließend sind, wobei insbesondere beim Lärm zeitliche Aspekte, d. h. die Dauer der Lärmbelastung, eine entscheidende Rolle spielen.

465. Eine andere Frage ist es, inwieweit durch die geltenden Grenz- und Richtwerte Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Lärm tatsächlich verhindert werden und ein ausreichender Bevölkerungsschutz gewährleistet werden kann. Der Umweltrat hat im Umweltgutachten 1987 eine ausführliche Darstellung der Lärmproblematik vorgelegt (SRU, 1988). In seinen Gutachten 1994 und 1996 sind allgemeine Schlußfolgerungen für Lärmbelastungen gezogen worden mit der Zielsetzung, die zur Zeit für ca. 16 % der Bevölkerung noch starke, d. h. mehr als 65 dB(A) betragende Lärmbelastung mittelfristig abzubauen (SRU, 1996 und 1994). Als Zielgröße gibt der Umweltrat einen Immissionsrichtwert von 55 dB(A) an. Angesichts der beim Verkehrslärm heute noch bestehenden, weit höheren Belastungen im Bereich um Mittelungspegel von 65 dB(A) wird es sicherlich erheblicher Anstrengungen bedürfen, um dieses Ziel zu erreichen.

Ein Nahziel muß es aber sein und bleiben, daß der kritische Wert für erhebliche Belästigung von 65 dB(A) – wie er hier dargestellt worden ist – möglichst nicht mehr überschritten wird. Mittelfristig sollte ein Präventionswert von 62 dB(A) angestrebt werden, der dann längerfristig schrittweise auf einen Zielwert von 55 dB(A) herabgesetzt werden müßte. Eine dauerhafte Absenkung der Lärmbelastung auf Werte von 65 dB(A) oder weniger wird auch im Entwurf eines Umweltpolitischen Schwerpunktprogramms als eines der Ziele innerhalb des Themenschwerpunkts „Schutz der menschlichen Gesundheit“ genannt (BMU, 1998). Das Umweltbundesamt hat bereits im Jahr 1995 einen Wert von 59 dB(A) vorgeschlagen (UBA, 1995).

Aus epidemiologischen Untersuchungen liegen wissenschaftliche Hinweise vor, nach denen Menschen, die an lauten Straßen wohnen, ein erhöhtes Risiko für Herzinfarkte haben. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um diesen Zusammenhang zu quantifizieren. Bei ganz-tägig vorhandenem Verkehrslärm liegt der Schwellenbereich für die Erhöhung kardiovaskulärer Risiken bei Außenpegeln zwischen 65 und 70 dB(A). Der Wert für erhebliche Belästigung von 65 dB(A) (außen, tagsüber) sollte somit auch aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes nicht überschritten werden. Dies entspricht auch den Empfehlungen der WHO, wonach zur Vermeidung möglicher Gesundheitsschäden die Mittelungspegel vor Wohngebäuden am Tage 65 dB(A) nicht überschreiten sollten.

466. Für die nächtliche Belastung sollte unter gesundheitlichen Gesichtspunkten heute schon ein Immissionswert von 55 dB(A) für die kurzfristige Lärmschutzpolitik maßgeblich sein. Die in Deutschland geltenden niedrigen Immissionsgrenzwerte bei Neubau oder wesentlicher Änderung von Straßen- und Schienenwegen von 49 dB(A) für reine Wohngebiete und 54 dB(A) für Mischgebiete können das nächtliche Lärmproblem nur teilweise lösen,

da immerhin 17 % der Bevölkerung nächtlichen Pegeln über 55 dB(A) ausgesetzt sind und diese Werte nicht für bestehende Verkehrswege gelten. Wegen der besonderen Bedeutung von Schlafstörungen genügt es zur Nachtzeit nicht, lediglich Mittelungspegel festzusetzen. Vielmehr müssen, wie dies in einigen Regelwerken bereits geschehen ist und für den Bereich des Fluglärms auch von der Rechtsprechung (BVerwGE 87, 332, 376) gefordert wird, zusätzlich Maximalpegel festgelegt werden. Dabei ist zu überprüfen, ob die gegenwärtig geltenden Maximalpegel (insbesondere in der Nachtzeit) dem Schutzbefürfnis der Bevölkerung ausreichend Rechnung tragen. Nach JANSEN et al. (1999) ist mit kritischen Lärmbelastungen dann zu rechnen, wenn die Weckschwelle von 60 dB(A) sechsmal pro Nacht überschritten wird. Die Maximalpegel an den Immissionsorten (Außenpegel an Gebäuden) werden mit sechsmal 75 dB(A) angegeben, wobei die Lärminderung für teilgeöffnete Fenster mit 15 dB(A) und damit sehr hoch angesetzt ist (s.u.). Am Tage ist nach JANSEN et al. (1999) die Schwelle zur Gefährdung mit mehr als 19 Überflügen mit Maximalpegeln von über 99 dB(A) erreicht. Demgegenüber sieht das Oberlandesgericht Koblenz in einer neueren Entscheidung (Urteil vom 6. Mai 1998 – 1U 1568/93) die enteignungsrechtliche Zumutbarkeitsschwelle bei 17maliger Überschreitung von Spitzenpegeln von über 90 dB(A) am Tage als erreicht an. Neuere Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zeigen, daß körperliche Reaktionen schon bei weit niedrigeren Maximalpegeln auftreten. So bewirkten bereits 16 Überflüge mit Maximalpegeln von 55 dB(A) eine Erhöhung der nächtlichen Strebhormonausscheidung (MASCHKE, 1992; Tz. 414), Beeinträchtigungen der Schlafstruktur beginnen bereits bei Maximalpegeln (innen) von 45 dB(A) (Tz. 414 ff.). Da die gesundheitliche Relevanz dieser und ähnlicher Reaktionen wissenschaftlich noch nicht geklärt ist, werden diese Lärmwirkungen bisher nicht zur rechtlichen Beurteilung von Fluglärmbelastungen herangezogen. Üblicherweise wird daher auf die Aufweckschwelle von 60 dB(A) abgestellt. Anzumerken ist hierzu, daß von manchen Autoren auch deutlich niedrigere Werte angegeben werden (siehe auch Tab. 3.5-12).

Wie dargelegt, können meßbare lärmbedingte Schlafstörungen bereits deutlich unter der Aufwachschwelle von 60 dB(A) festgestellt werden. Sie liegen mehrheitlich bei Mittelungspegeln (innen) zwischen 35 und 45 dB(A) und Maximalpegeln (innen) von 45 bis 55 dB(A). Inwieweit diese Schlafbeeinflussungen als Gesundheitsstörung gewertet werden können, kann derzeit noch nicht beantwortet werden. In dem für die WHO erarbeiteten Dokument „Community Noise“ (BERGLUND und LINDVALL, 1995) werden als Schwellenwerte für Schlafstörungen Mittelungspegel (innen) von 30 dB(A) und Maximalpegel von 45 dB(A) genannt.

Die Schalldifferenz außen/innen liegt bei gekippten bzw. leicht geöffneten Fenstern zwischen 6 und 15 dB(A) und wird meistens mit 10 dB(A) angesetzt (BECKERS, 1999). Bei einem Immissionswert von 55 dB(A) liegen bei gekipptem Fenster die Innenpegel an der Grenze zum schlafgünstigen Bereich. Ein Mittelungspegel von 30 dB(A) wäre erst bei geschlossenem Fenster (Abzug von 25 Dezibel) zu erreichen. Im Hinblick auf die ge-

sundheitliche Bedeutung des Raumklimas sollte der Bevölkerung nicht zugemutet werden, bei geschlossenem Fenster zu schlafen.

467. Für den Erhalt von Gesundheit und Wohlbefinden sind Erholungsphasen notwendig. Die klassischen Ruhezeiten – nach der Arbeit, während der Nacht und an den Wochenenden – sollten verstärkt berücksichtigt werden. Die Erweiterung der (zumindest beim Verkehr) herangezogenen Beurteilungszeiten Tag/Nacht durch die Beurteilungszeit „Abend“ kommt dem Bedürfnis nach Ruhe entgegen und sollte verstärkt bei Lärminderungsmaßnahmen berücksichtigt werden (Tz. 494 ff.).

468. Die bei der Festlegung von „Zumutbarkeit“ auftretenden Konflikte zwischen gesundheitspolitisch Wünschbarem und wirtschaftlich Machbarem sind so zu lösen, daß der Kompromiß eindeutig unter den Schwellenwerten für Gefährdung liegt. Auch sollte der Kennwert für erhebliche Belästigung nicht überschritten werden, wenn die Belästigung (psychisches Wohlbefinden) als entscheidende Belastungsgröße zu beurteilen ist (z.B. Straßenverkehrslärm). Regelsetzende Institutionen sollten Immissionsrichtwerte festlegen, die deutlich unterhalb der Werte für gesicherte Gesundheitsgefährdungen (vegetative Übersteuerung, Aufwachen) liegen. Diese Werte sind in erster Linie auf Wohngebiete zugeschnitten. Für wenige schutzbedürftige Gebiete mit Wohnnutzungen wie Mischgebiete und Kerngebiete ist der Zielwert von 55 dB(A), jedenfalls langfristig, ebenfalls anzustreben. Sicherlich hat hier eine Abwägung zwischen dem gesundheitspolitisch Wünschbarem und den wirtschaftlichen Möglichkeiten zu erfolgen. Bei der Ausgestaltung als Zielwert kann aber sichergestellt werden, daß die wirtschaftlichen Grenzen des Lärmschutzes ausreichend Berücksichtigung finden.

Der besonderen Lärmempfindlichkeit bestimmter Gruppen, insbesondere von Kranken und Kindern, muß angemessen Rechnung getragen werden. Neben einem Schutz der Einschlafzeit von Kindern ist dies praktisch nur gebietsbezogen möglich. Das gebietsbezogene Konzept zum Schutz solcher vulnerabler Gruppen wird von den geltenden Regelwerken (TA Lärm, 16. BImSchV und Fluglärngesetz) im Ansatz bereits berücksichtigt.

469. Wissenschaftlich begründete Hinweise auf gesundheitliche Gefährdungen (z.B. Risikoerhöhung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen) müssen bei Maßnahmen der Vorsorge berücksichtigt werden. Bei zukünftigen Untersuchungen zur erhöhten Ausscheidung von Stresshormonen bei Belastung mit Fluglärm muß geklärt werden, inwieweit bei Pegelbereichen, die bisher „nur“ als belästigend eingestuft werden, physiologische Reaktionen ablaufen, die ihrer Natur nach langfristig als gesundheitsschädlich anzusehen sind.

3.5.8 Technische und umweltpolitische Analyse der Lärmbelastung

470. Im letzten Jahrzehnt sind in allen Lärmsektoren auf der Grundlage von Schallemissionsbegrenzungen für Anlagen und Produkte erhebliche Lärminderungen erreicht worden. Dies gilt insbesondere für genehmigungsbedürftige Anlagen, die den Anforderungen der TA Lärm unterliegen. Aber auch im Verkehrsbereich konnte

durch technische Maßnahmen an Kraftfahrzeugen und Flugzeugen zur Begrenzung der Schallemissionen (aktiver Schallschutz), aber auch mit Hilfe anderer Schallschutzmaßnahmen (z.B. Bau von Lärmschutzwänden, Einbau von Schallschutzfenstern, Einführung von Geschwindigkeitsbegrenzungen, Nachtflugverboten) zumindest in Teilbereichen eine Verringerung der Lärmbelastung der Bevölkerung erreicht werden.

Insgesamt ist aber festzustellen, daß insbesondere im Verkehrsbereich die technischen Erfolge an den Fahrzeugen bzw. Flugzeugen durch den zunehmenden Anstieg der Verkehrsstärke zumindest teilweise wieder kompensiert worden sind. Dies hat zu einer weiterhin starken Verkehrslärmbelastung geführt.

471. Nach Angaben der EU-Kommission sind ca. 20 % der Bevölkerung in der Europäischen Union, d.h. annähernd 80 Millionen Menschen, Lärmpegeln ausgesetzt, die von der Lärmwirkungsforschung als untragbar angesehen werden, von denen sich die meisten Menschen gestört bzw. belästigt fühlen, die zu Schlafstörungen führen und bei denen gesundheitsschädliche Auswirkungen zu befürchten sind. Weitere 170 Millionen Menschen leben in sogenannten „Grauen Zonen“, in denen die Lärmbelastung am Tage zu starken Belästigungen führt. Untersuchungen für die Bundesrepublik Deutschland kommen zu ähnlichen Ergebnissen (IPOS, 1995), obwohl es in Deutschland als Folge der Wiedervereinigung und der politischen Umwälzungen in Mittel- und Osteuropa zu erheblichen Veränderungen der Verkehrsströme gekommen ist und in Zukunft verstärkt kommen wird. Diese Entwicklung hat die heutige Geräuschbelastung nachhaltig beeinflusst und erreichte Verbesserungen teilweise aufgezehrt. Auch bei den anderen Geräuscharten ergab sich, u.a. bedingt durch den technischen Strukturwandel und ordnungspolitische Instrumente, eine Sonderentwicklung in den neuen Bundesländern.

3.5.8.1 Straßenverkehrslärm

Emissionssituation

472. Nach der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) müssen Kraftfahrzeuge so beschaffen sein, daß ihre Geräuschentwicklung das nach dem Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht überschreitet. Die Entwicklung muß dabei so weit fortgeschritten sein, daß die praktische Eignung der entsprechenden Maßnahme gesichert ist (erfolgreiche Erprobung im Betrieb). Vergleicht man aber die Innovationsaktivitäten mit dem Ziel der Lärminderung bei Kraftfahrzeugen mit den Aktivitäten zur Abgasemissions- und Kraftstoffverbrauchsreduzierung, so muß man erstere eher als schleppend bezeichnen. Der erreichte Entwicklungsstand wird nachfolgend dargestellt.

In der EG-Richtlinie 92/97/EWG sind Grenzwerte für das Fahrgeräusch von Kraftfahrzeugen festgelegt (s. Tab. 3.5-13). Seit 1989 sind die Anforderungen an die Geräuschemissionen nach dieser Richtlinie für Pkw, Busse, Kleinbusse und Lieferwagen, Lkw und Krafträder in zwei Stufen verschärft worden. Die Geräuschgrenzwerte wurden dabei je nach Fahrzeugtyp und Leistungs-kategorie um 2 dB(A) bis 5 dB(A) gesenkt. Auch die laute-

Tabelle 3.5-13

Grenzwerte für Fahrgeräusche von Kraftfahrzeugen

Zulässige Höchstwerte in dB(A)	bis 1989/1990	1989 bis 1995	seit 1995/1996
Pkw	80	77	74
Busse > 3,5 t; < 150 kW	82	80	78
Busse ≥ 3,5 t; < 150 kW	85	83	80
Kleinbusse/Lieferwagen ≤ 2t	81	78	76
Kleinbusse > 2 bis 3,5 t	81	79	77
Lkw > 3,5 t; < 75 kW	86	81	77
Lkw > 3,5 t; 75 bis < 150 kW	86	83	78
Lkw > 3,5 t; ≥ 150 kW	88	84	80
Krafträder bis 80 cm ³ Hubraum	seit 1988: 77	seit 1993: 75	
Krafträder bis 175 cm ³ Hubraum	seit 1989: 79	seit 1994: 77	
Krafträder > 175 cm ³ Hub- raum	seit 1988: 82	seit 1993: 80	

Das zugehörige Meßverfahren ist beschrieben in DIN ISO 362 (Stand:1984) „Messung des von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlten Geräusches“

Quelle: TÜV Rheinland, 1999

sten Neufahrzeuge bei den Lkw und Bussen dürfen seit 1996 keine höheren Geräuschemissionen aufweisen als Pkw, die bis Ende der achtziger Jahre gebaut wurden.

473. Mit der genannten Richtlinie der EG ist auch das Druckluftgeräusch von Lastkraftwagen auf einen Wert von 72 dB(A) begrenzt worden, der auch für sogenannte lärmarme Lkw gefordert wird.

Mit der 18. Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften vom 20. Juli 1994 wurde die Kennzeichnung lärmarmen Kraftfahrzeuge (Lkw mit einer zulässigen Gesamtmasse über 2,8 t) mit dem Buchstaben „G“ eingeführt. Durch diese Kennzeichnungsvorschrift wurde auch die Einführung von Benutzervorteilsregelungen für lärmarme Lkw und deren Überwachung deutlich vereinfacht. Bislang haben vor allem Kur- und Ferienorte Ausnahmeregelungen für lärmarme Lkw in Fußgänger- und Lärmschutzzonen eingeführt.

Die deutschen Grenzwerte für lärmarme Lkw lagen in der Vergangenheit um 6 dB(A) bis 8 dB(A) unter den EG-Grenzwerten für normale Lkw. Durch die zwischenzeitlich eingetretene technische Entwicklung unterscheiden sie sich heute praktisch nicht mehr von den Grenzwerten der Europäischen Union. Entsprechend den technischen Möglichkeiten sollten die Kriterien für lärmarme Fahrzeuge auch weiterhin verschärft werden.

474. Bei Motorrädern werden die Geräuschemissionen zwar seit langem durch EU-Richtlinien begrenzt, den-

noch liegen die Geräusche von Motorrädern in vergleichbaren Verkehrssituationen weit über denen von Personenwagen, im Mittel über 6 dB(A). Die Geräuschgrenzwerte für Motorräder sind in mehreren Stufen fortgeschrieben worden; die letzte Stufe trat 1993/1994 in Kraft. Lärmprobleme rufen Motorräder vor allem deshalb hervor, weil sie als Freizeitgeräte besonders zu lärmsensiblen Zeiten und häufig in ansonsten ruhigen Gebieten gefahren werden. Eine hochtourige Fahrweise sowie Veränderungen an der Auspuffanlage können die Lärmbelastung zusätzlich erhöhen.

In der EU-Richtlinie 97/24/EG sind u.a. auch neuere Geräuschgrenzwerte für Motorräder und geschwindigkeitsbegrenzte motorisierte Zweiräder festgelegt. Mit dieser Richtlinie werden die bisher nur in Deutschland vollständig umgesetzten Geräuschgrenzwerte der 2. Stufe der Richtlinie 87/56/EWG EU-weit verbindlich vorgeschrieben. Außerdem werden in dieser Richtlinie erstmals für Kleinkrafträder der unterschiedlichen Kategorien einheitliche, auch gegenüber den bisher in Deutschland geltenden Werten spürbar abgesenkte Geräuschgrenzwerte festgelegt.

475. Die Antriebsgeräusche moderner Pkw wurden aufgrund der stufenweise verschärften Grenzwerte bereits soweit abgesenkt, daß das Motorgeräusch vom Abrollgeräusch der Reifen bereits ab Geschwindigkeiten etwa zwischen 50 km/h und 60 km/h übertroffen wird, d.h. bei höheren Geschwindigkeiten dominieren bei modernen Pkw heute die Reifen-Abrollgeräusche.

Zur Vorbereitung international harmonisierter Produktanforderungen an Reifen wurden ein spezielles Geräuschmeßverfahren entwickelt und der derzeitige Stand der Lärminderungstechnik bei Pkw- und Lkw-Reifen ermittelt. Die Jury Umweltzeichen hält auf der Grundlage dieser Ergebnisse eine Verminderung des Abrollgeräusches um mindestens 3 dB(A) bis 5 dB(A) durch technische Verbesserung der Reifen für möglich und hat am 1. Oktober 1997 Anforderungen an die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ an geräuscharme Reifen festgelegt.

Für eine umfassende Verminderung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche ist neben der Entwicklung leiserer Reifen auch die Entwicklung und der Bau lärmindernder Fahrbahnen erforderlich. Zur Zeit werden in allen Bereichen des Straßenbaus erhebliche Anstrengungen unternommen, leisere Fahrbahnbeläge in Form offenerporiger oder dichter Deckschichten sowohl in Asphalt- als auch in Betonbauweise zu entwickeln und in die Praxis umzusetzen. Allerdings stößt man bei solchen Entwicklungen in der Regel auf einen Zielkonflikt: Die Ansprüche an Sicherheit, Zeitstandfestigkeit und Lärmemissionsminderung müssen aufeinander abgestimmt werden. Die bisher vorliegenden Erkenntnisse werden bereits nach den Richtlinien des Bundesverkehrsministeriums für den Lärmschutz an Straßen bzw. der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) bei der Berechnung von Beurteilungspegeln bei Straßenverkehrslärm angewendet. Auch die Lärmbekämpfung durch geeignete Straßenbegrünung – Pflanzen mit niedrigem Wuchs und rauher Oberfläche, Moose, Efeu an Hauswänden usw. – erwies sich als unerwartet erfolgreich. Lärminderungen von 3 bis 5 dB(A) konnten hierdurch erreicht werden.

In der Fahrzeugkonstruktion werden von einigen Herstellern besondere Möglichkeiten der Psychoakustik genutzt, die sich vorteilhaft auf die Wahrnehmung der Lärmemissionen auswirken. Dabei wird nicht eine Verminderung des Lärmpegels insgesamt angestrebt, sondern eine als angenehmer empfundene (spektrale) Zusammensetzung des Geräusches. Dies gilt zunächst für das Fahrzeuginnengeräusch, kann gegebenenfalls aber auch auf die externe Schallabstrahlung angewendet werden.

476. Neben technischen müssen auch organisatorische Mittel eingesetzt werden. Lärminderungspläne nach § 47a BImSchG wurden in den vergangenen Jahren in beträchtlicher Anzahl aufgestellt und umgesetzt. In der Regel stößt die Verwirklichung eines Lärminderungsplanes aber auf rechtliche und vor allem auf finanzielle Probleme. Im Ost-West-Vergleich wurde in den neuen Bundesländern eine erheblich größere Zahl von Lärminderungsplänen erstellt, da dort im Rahmen des „Aufbaus Ost“ erhebliche Bundesmittel bereitgestellt wurden. Insofern besteht in den alten Bundesländern noch ein erheblicher Nachholbedarf. Soweit es um die Lärmsanierung von Straßen geht, deren Baulastträger eine Gemeinde ist, können Bundesmittel gemäß dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG von 1971) zur Verfügung gestellt werden, allerdings nur nach Maßgabe der Verfügbarkeit und nach dem „Windhundprinzip“. Für die Auswirkung von Maßnahmen der Verkehrsberuhigung, die im einzelnen in unterschiedliche Richtungen wirken können (lärmmindernde Senkung der Höchstgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h, aber auch eine lärmerhöhende Wirkung von Straßenschwellen), kann durchschnittlich eine Minderung der Lärmimmission von höchstens 3 dB(A) erzielt werden.

Schallimmissionen des Straßenverkehrs

477. Das Straßenverkehrsgesetz bildet u.a. die Grundlage für Vorschriften zum Schutz von Wohnbevölkerung und Erholungssuchenden gegen Lärm und Abgase des Kraftfahrzeugverkehrs, für Beschränkungen des Kraftfahrzeugverkehrs an Sonn- und Feiertagen, für die Beschaffenheit, Ausrüstung und Prüfung von Fahrzeugen zur Vermeidung schädlicher Umweltauswirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Für den Lärmschutz sind von Bedeutung die Fahrverbotsregelungen für Lastkraftwagen an Sonn- und Feiertagen, das Verbot eines unnötigen Laufens von Motoren, des unnützen Hin- und Herfahrens in geschlossenen Ortschaften und des lauten Schließens von Fahrzeugtüren sowie die Befugnis der Behörden, den Verkehr zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm zu beschränken oder umzuleiten und Fußgängerbereiche sowie verkehrsberuhigte bzw. geschwindigkeitsbeschränkte Zonen einzurichten.

478. Mit der 16. BImSchV aus dem Jahre 1990 wurden Emissionsgrenzwerte zum Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgereusche festgelegt. Die Verordnung gilt nicht für bestehende Straßen oder Eisenbahnlinien, sondern nur beim Neubau oder einer wesentlichen Änderung von Straßen und Schienenwegen. Die nach dieser Verordnung einzuhaltenen Immissionsgrenzwerte (berechnete Beurtei-

lungspegel) sind nach Gebietstyp gestaffelt und nach Tag (06.00 bis 22.00 Uhr) und Nacht (22.00 bis 06.00 Uhr) unterschieden (siehe Tab. 3.5-14). Weitere Orientierungswerte für die Verkehrslärmbelastung, die insbesondere bei Neuplanungen im Städtebau Anwendung finden sollen, finden sich in der DIN 18005 „Schallschutz im Städtebau“.

Regelungen zur Lärmsanierung an bestehenden Straßen existieren aufgrund haushaltsrechtlicher Vorschriften für Straßen in der Baulast des Bundes sowie für Straßen in der Baulast eines Teils der Bundesländer. Auch hier sind die Sanierungswerte nach Tag (70 bis 75 dB(A)) und Nacht (60 bis 65 dB(A)) differenziert. Zur Beurteilung werden im allgemeinen berechnete Beurteilungspegel als Mittelungspegel entsprechend der 16. BImSchV oder der Richtlinie für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen (RLS-90) herangezogen.

Die in Tabelle 3.5-14 dargestellten Immissionswerte werden auch als Auslöser für die Aufstellung von Lärminderungsplänen für das bestehende Straßennetz verwendet. Schließlich legt die Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) aus dem Jahre 1998 Art und Umfang der zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgereusche notwendigen Schallschutzmaßnahmen für schutzbedürftige Räume in baulichen Anlagen fest, soweit durch den Bau oder eine wesentliche Änderung öffentlicher Straßen oder Schienenwege die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV überschritten werden (siehe auch Verkehrslärm-Schutzrichtlinie 97).

Tabelle 3.5-14

Immissionsgrenzwerte nach der 16. BImSchV

Lärmvorsorge bei Neubau und wesentlicher Änderung von Straßen		
Art der zu schützenden Nutzung	Immissionsgrenzwert Tag 06.00-22.00 Uhr	Immissionsgrenzwert Nacht 22.00-06.00 Uhr
Krankenhäuser, Schulen, Kur- und Altenheime	57 dB(A)	47 dB(A)
reine und allgemeine Wohn- sowie Kleinsiedlungsgebiete	59 dB(A)	49 dB(A)
Kerngebiete, Dorf- und Mischgebiete	64 dB(A)	54 dB(A)
Gewerbegebiete	69 dB(A)	59 dB(A)

Quelle: TÜV Rheinland, 1999

Vergleich internationaler Regelungen

479. Straßenverkehrslärm ist nahezu in allen Staaten die am weitesten verbreitete Lärmquelle und damit auch Hauptursache für Belästigungen oder gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen. Die in Tabelle 3.5-151

Tabelle 3.5-15

Internationaler Vergleich von Schall-Immissionswerten (in dB(A)) des Straßenverkehrs für Wohngebiete

Land	Lärmindex	Art der Immissionswerte	Tagzeit	Ruhezeit	Nachtzeit	Immissionsort (F = Fassade, FF = Freifeld- messung)
Australien	$L_{10,18h}$ $L_{10,18h}$	Zielwerte für neue Straßen Minderungsmaßnahmen an bestehenden Straßen	60 68		55	F F
Kanada	L_{eq}	Zielwerte für neue Straßen in Wohngebieten	55		50	-
Dänemark	$L_{eq,24h}$	Planungswerte für neue Straßen und Wohngebiete	55	55	55	FF
Deutschland	$L_r = L_{eq} + K$ $K = 0$ bis 3 dB(A) an ampelregulierten Kreuzungen	Planungsrichtwerte für neue Straßen in Wohngebieten Grenzwerte für neue und für wesentlich geänderte Straßen Grenzwerte für Minderungsmaßnahmen an Straßen in Bundessträgerschaft	50 bis 55 59 70		40 bis 45 49 60	FF FF FF
Frankreich	L_{eq}	Grenzwert für neue Straßen	60 bis 65		55 bis 57	F
Großbritannien	L_{eq} $L_{eq,24h}$ $L_{10,18h}$	Zielwert für neue Ansiedlungen starke Bedenken gegen neue Ansiedlungen Regelung für Schallsolisierung an neuen Straßen	55 63 68		42 57	FF FF F
Hong Kong	L_{10}	Planungswert für neue Straßen in Wohngebieten	70			F
Italien	L_{eq}	Grenzwert in einigen Städten	65			-
Japan	L_{50}	Umweltstandard für Straßen	55 bis 60	50 bis 55	45 bis 50	F
Korea	L_{eq}	Umweltstandard	65		53	-
Niederlande	L_{eq}	vorzuziehender Wert für neue Straßen Einspruchsgrenzwert für neue örtliche Straßen maximal zulässiger Pegel für neue örtliche Straßen maximal zulässiger Pegel für bestehende Straßen	50 (+ 5) 55 (+ 5) 65 (+ 5) 70 (+ 5)	45 (+ 5) 50 (+ 5) 60 (+ 5) 65 (+ 5)	40 (+ 5) 45 (+ 5) 50 (+ 5) 60 (+ 5)	FF FF FF FF
Österreich	L_{eq}	Planungswerte für neue Straßen Grenzwerte für neue Straßen in Bundessträgerschaft Minderungsmaßnahmen an Straßen in Bundessträgerschaft	50 bis 55 60 65		40 bis 45 50 55	FF FF FF
Schweden	L_{eq}	Richtwert für neue Straßen	55	55	55	FF
Schweiz	$L_r = L_{eq} + K$ $K = 0$ bis 5 dB(A), abhängig vom Verkehrsaufkommen	Planungswert für neue Straßen Immissionsgrenzwert Alarmwert	55 60 70		45 50 65	FF FF FF
Spanien	L_{eq}	geplante Grenzwerte für neue Straßen geplante Grenzwerte für bestehende Straßen	60 65		50 55	F F
USA	L_{DN}	keine Beschränkungen für neue Wohnansiedlungen an Straßen	65	65	65	-

N.B. Für dichten Verkehr kann angenommen werden, daß der Wert für L_{10} z.B. um etwa 3 dB(A) höher, der Wert für L_{50} aber um 1 bis 2 dB(A) niedriger liegt als die Werte für den in Deutschland gebräuchlichen Lärmindex L_{eq} .
Quelle: GOTTLÖB, 1995, nach TÜV Rheinland, 1999

für einige Staaten zusammengestellten Schallimmissionswerte für Wohngebiete als Schutz vor Straßenverkehrslärm wurden der Arbeit „Regulations for Community Noise“ (GOTTLOB, 1995) entnommen.

Wie Tabelle 3.5-15 zeigt, werden in den einzelnen Staaten durchaus unterschiedliche Lärmindizes verwendet. Wegen des engen Zusammenhangs der einzelnen Beurteilungspegel, zumindest bei stark befahrenen Straßen, ist ein Vergleich leichter möglich als z.B. beim Industrielärm. So kann für dichten Verkehr angenommen werden, daß der Wert für den Lärmindex L_{10} z.B. um etwa 3 dB(A) höher, der Wert für L_{50} aber um 1 bis 2 dB(A) niedriger liegt als die Werte für den in Deutschland gebräuchlichen Lärmindex L_{eq} .

Die Bewertung der Verkehrslärsituation wird unter Verwendung verschiedener Bezugszeiträume vorgenommen, die von einem 24 Stunden-Zeitraum über zwei getrennte Zeitabschnitte für Tag und Nacht bis zu drei verschiedenen Abschnitten für die Tages-, Ruhe- und Nachtzeit reichen. Im allgemeinen sind die Schallimmissionswerte für die Tagzeit um 5 dB(A) höher angesetzt als für die Ruhezeit und um etwa 10 dB(A) höher als für die Nachtzeit. Die Wahl getrennter Zeiträume führt zu strengeren Regelungen für die Ruhe- bzw. Nachtzeit. In Deutschland werden z.B. die Anforderungen für Schallschutzmaßnahmen zum Schutz vor Verkehrslärm überwiegend durch die nächtliche Lärmsituation bestimmt.

Die Tabelle zeigt weiter, daß es zwischen den betrachteten Staaten beachtliche Unterschiede für die Anforderungen an den Schallschutz an Straßen gibt, und zwar sowohl bei den Planungswerten für Neuansiedlungen an Straßen als auch für neue und ausgebaute Straßensysteme, wobei die meisten Staaten Grenzwerte über 60 dB(A) festlegen. Dieser Wert liegt aber weit über den Kriterien und Kennwerten der WHO (Entwurf 1999; vgl. JANSEN et al., 1999), die schon für Belastungen über 60 dB(A) den Bereich erheblicher Belästigung erreicht sieht. Die Anwendung schärferer Lärm-Immissionswerte wird in allen Staaten durch Überlegungen sowohl zur technischen Realisierbarkeit als auch zur Finanzierbarkeit sehr stark beeinflusst. Daher ist mit der Zunahme des Verkehrs die Ausweitung „Grauer Zonen“ in nahezu allen Staaten unvermeidlich.

Für bestehende Straßensysteme werden in einzelnen Staaten Lärminderungsmaßnahmen (in der Regel Schallisolierung) dann finanziell unterstützt, wenn die Immissionswerte 65 dB(A) bis 70 dB(A) übersteigen. Lediglich in Frankreich, der Schweiz und den Niederlanden besteht eine gesetzliche Verpflichtung zur Aufstellung von Langzeitprogrammen, um die Bevölkerung vor den Belastungen des Verkehrslärms angemessen zu schützen.

3.5.8.2 Schienenverkehrslärm

Emissionssituation

480. Die beim Schienenverkehr emittierten Geräusche müssen unterschiedlichen Quellen zugeordnet werden. Das Rad-Schiene-Geräusch stellt bezüglich seiner Umweltrelevanz den bedeutendsten Anteil dar. Es entsteht beim Abrollen der Räder auf den Schienen und hängt stark vom Rad- und Schienenzustand sowie der Ge-

schwindigkeit des Schienenfahrzeugs ab. Es wird weiterhin durch die Gleiskonstruktion und die Geräuschabsorptionseigenschaften des Gleisoberbaus (Schotter oder feste Fahrbahn) beeinflusst.

Weitere wesentliche Geräuschanteile sind die Geräuschemissionen der Fahrzeugantriebe und Nebenaggregate, die beim Anfahren und Beschleunigen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich überwiegen. Bei hohen Geschwindigkeiten treten zusätzlich aerodynamische Geräusche an der Zugoberfläche und an den Stromabnehmern auf. Der Einfluß auf die Geräuschemissionen für Zuggeschwindigkeiten oberhalb von 250 km/h wird durch einen Emissionszuschlag von 1 dB(A) berücksichtigt.

Auch beim Schienenverkehr steht die Entwicklung von technischen Lärminderungen in erheblichen Zielkonflikten mit der anzustrebenden größtmöglichen Sicherheit und Zeitstandfestigkeit. Zum Beispiel haben Stahlräder auf Stahlschienen einen vergleichsweise hohen Sicherheitsstandard, gleichzeitig aber auch hohe Geräuschemissionen. Räder (Radreifen) mit Gummielementen, die mechanische Kräfte aufnehmen können, verursachen ein unerwünschtes Spiel und schnelleren Verschleiß. Dies kann verhindert werden, wenn Technologien mit „Gegenschall“, also die Ausnutzung von Schallinterferenzen, zur Einsatzreife entwickelt werden könnten, wie sie in dem von der Bundesregierung geförderten Projekt „Auf dem Weg zur Minimalemission“ untersucht werden sollen. Insgesamt hofft man, als Ergebnis dieses Projekts bei neuen Schienenfahrzeugen Lärmemissionsminderungen von 10 bis 15 dB(A) – gemessen in 25 m Entfernung – erreichen zu können.

Eine deutliche Verringerung des Rad-Schiene-Geräusches kann auch durch das „besonders überwachte Gleis“ erreicht werden (Deutsche Bahn, 1997/98). Dabei werden durch regelmäßiges Schleifen der Schienenoberfläche die sogenannten Schienenriffel weitgehend beseitigt. Dies führt zu einer Verringerung der Geräuschemission gegenüber einem „guten“ Schienenzustand von 3 dB(A). Der Nachweis einer dauerhaften Emissionsminderung durch dieses Verfahren muß allerdings noch erbracht werden; die Rechtsprechung erkennt den Gleispflegebonus bisher nicht an (BVerwGE 104, 123).

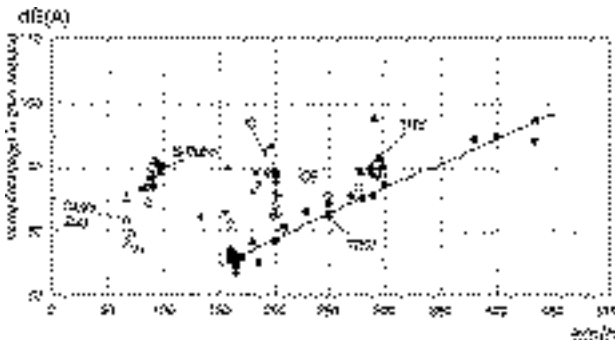
Beim Hochgeschwindigkeitsverkehr setzt die Deutsche Bahn AG als spezielle Oberbaukonstruktion die sogenannte „feste Fahrbahn“ ein. Diese führt im Vergleich zu dem üblichen Schotteroberbau zu erhöhten Schallemissionen. Eine Reduzierung der Geräuschemission kann am wirksamsten mit Hilfe einer schallabsorbierenden Gestaltung der Fahrbahnoberfläche erreicht werden (Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn, Deutsche Bahn AG 1995). So hat man im Bereich von Straßen- und Stadtbahnen mit Rasengleisen gute Erfahrungen gemacht; es werden Lärminderungen von 3 bis 5 dB(A) genannt. Das Langzeitverhalten der Minderungsmaßnahmen ist allerdings noch nachzuweisen.

Eine dauerhafte Minderung der Geräuschemission ist dagegen durch die in der Erprobung im Nahverkehr befindlichen Verbundstoff-Bremssohlen (statt der herkömmlichen Grauguß-Klotzbremsen) und durch Radabsorber erreichbar, die bereits heute bei Hochgeschwindigkeitszügen zum Einsatz kommen (Deutsche Bahn,

1997/98). Abbildung 3.5-4 zeigt in einer Übersicht Meßwerte für die Schallemissionen verschiedener Zugvarianten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Aufgenommen sind auch Emissionswerte für die Magnetschnellbahn (Transrapid) und den französischen Hochgeschwindigkeitszug TGV (TÜV Rheinland, 1990). Aus den Meßwerten wird deutlich, daß moderne Hochgeschwindigkeitszüge mit Hilfe verschiedener technischer Maßnahmen gegenüber anderen Zugsystemen schalltechnisch bereits erheblich optimiert werden konnten. Allerdings sind weitere schalltechnische Verbesserungen erforderlich.

Abbildung 3.5-4

Schallemissionen verschiedener Zugsysteme



TGV = Train à Grand Vitesse; TR07 = Transrapid
Quelle: TÜV Rheinland, 1999 und 1990

Auch im Bereich der Güterzüge, insbesondere der schnellfahrenden Güterzüge sowie der S-Bahnen sind lärmtechnische Verbesserungen dringend notwendig. Die derzeit noch eingesetzten Güterwagendrehgestelle verwenden eine vergleichsweise alte Technik. Durch schalltechnisch optimierte neue Drehgestelle können Minderungen von rund 15 dB(A) erzielt werden (bei einem maximalen Schalldruck von derzeit bis zu 95 dB(A), gemessen in 25 m Abstand). Moderne Stadtbahnfahrzeuge erreichen z.B. bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h Lärmemissionswerte von 85 dB(A), gemessen in 7,5 m Abstand, und von 75 dB(A), gemessen in 25 m Abstand. Aber auch die im Regional- und S-Bahnverkehr eingesetzten Zugsysteme sind in der Regel mit einem veralteten Wagenpark ausgestattet, der aus Lärmschutzgründen saniert oder erneuert werden muß. Die Minderungspotentiale sind vergleichbar mit denen von alten Güterzugfahrzeugen.

481. Im Rahmen der Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz von 1993) wurden mit Wirkung zum 1. Januar 1996 die Zuständigkeiten für Planung, Organisation und Finanzierung des spurgebundenen öffentlichen Personennahverkehrs auf die Bundesländer übertragen (Gesetz zur Regionalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs – Regionalisierungsgesetz – von 1993). Die Länder sind nach diesem Gesetz befugt, Verträge mit Verkehrsunternehmen zur Durchführung der Verkehrsleistungen abzuschließen. Wenn die Pläne in Richtung der Erhöhung der Frequenz und der Geschwindigkeit des Regionalverkehrs verwirklicht werden, kann ohne entgegenwirkende

Lärminderungsmaßnahmen an den eingesetzten Bahnfahrzeugen eine Erhöhung der Lärmbelastung nicht ausbleiben. Eine Verdopplung des Verkehrs bedingt bei sonst gleichbleibenden Bedingungen eine Erhöhung um 3 dB(A).

Die bereits zuvor erwähnten weitreichenden Vergabemöglichkeiten unter Wettbewerbsbedingungen zur Durchführung des schienengebundenen Regionalverkehrs an leistungsfähige Unternehmer bieten den Ländern durchaus Chancen, stufenweise den Einsatz lärmärmer Schienenfahrzeuge zu verlangen, um damit den zu erwartenden Anstieg der Lärmbelastung bei höheren Zuggeschwindigkeiten und Zugfrequenzen nicht nur zu kompensieren, sondern auf ein deutlich niedrigeres Niveau zu senken.

Im Bereich des wachsenden grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehrs besteht erheblicher Handlungsbedarf für länderübergreifende Programme zur Reduzierung der Schallemissionen von Alt- und Neufahrzeugen. Erste internationale Maßnahmen in Zusammenarbeit zwischen einzelnen Bahngesellschaften sind eingeleitet; denn nur durch ein abgestimmtes Vorgehen der europäischen Bahngesellschaften lassen sich längerfristig Erfolge in der Lärmbekämpfung erzielen. Auch im 5. Rahmenprogramm der EU sind entsprechende Maßnahmen vorgesehen.

Der Schienenverkehr weist nach Befragungen der Bevölkerung in verschiedenen europäischen Staaten gegenüber dem Straßenverkehrslärm eine geringere Lästigkeit auf. Dies wird in den Regelwerken für den Schienenverkehr (mit Ausnahme der Rangier- und Umschlagbahnhöfe) durch den sogenannten Schienenbonus berücksichtigt. Er beträgt z.B. in Dänemark, Deutschland, Österreich und in der Schweiz 5 dB(A), in den Niederlanden 3 dB(A) und wird entweder bei der Bildung des Beurteilungspegels oder durch Inanspruchnahme höherer Immissionspegel bei der Berechnung von L_{eq} berücksichtigt. Die Ursachen für diesen Effekt sind bisher nur teilweise bekannt.

Immissionssituation

482. Die Beurteilung der Geräuschimmissionen des Schienenverkehrs entspricht im wesentlichen der Vorgehensweise beim Straßenverkehr. Für die Bundesrepublik Deutschland regelt die 16. BImSchV die Lärmvorsorge bei Neubau oder wesentlicher Änderung von Schienenwegen. Für Neuplanungen im Städtebau werden üblicherweise die Orientierungswerte für schalltechnische Anforderungen der DIN 18005 herangezogen. Tabelle 3.5-16 zeigt in einer Übersicht Regelungen für den Schienenverkehrslärm in verschiedenen Staaten. Die Bezugszeiträume variieren z.B. zwischen 24 Stunden über zwei getrennte Abschnitte für Tag und Nacht bis hin zu getrennten Abschnitten für die Tages-, Ruhe- und Nachtzeit.

Der Staatenvergleich zeigt aber auch die Notwendigkeit einer möglichst schnellen Harmonisierung der Regelungen des Schienenverkehrslärms auf. Dies gilt insbesondere bei der politisch gewollten und daher zu erwartenden Zunahme des internationalen Eisenbahnverkehrs in Europa, bei der Deutschland aufgrund seiner zentralen Lage eine besondere Bedeutung zukommt.

Tabelle 3.5-16

Internationale Regelungen zum Schienenverkehrslärm; Immissionswerte für Wohngebiete

Land	Lärmindex	Typ des Immissionswertes	Tagzeit	Ruhezeit	Nachtzeit	Immissionsort (F = Fassade, FF = Freifeldmessung)
Australien (Queensland)	$L_{eq,24h}$ L_{max}	Vorschlag für Grenzwert an neuen Strecken Vorschlag für Grenzwert an neuen Strecken	70 95	70 95	70 95	– –
China	L_{eq}	Lärmgrenzwert in 30 m Abstand von der Strecke	70		70	–
Dänemark	$L_{eq,24h}$ L_{max} $L_{eq,24h}$	Zielwert für neue Strecken Zielwert für neue Strecken Minderungsmaßnahmen an bestehenden Straßen	60 85 65	60 85 65	60 85 65	FF FF FF
Deutschland	L_r $L_{eq} - 5 \text{ dB(A)}$	Planungsrichtwerte für neue Wohngebiete Grenzwerte für neue und für wesentlich geänderte Strecken	50 bis 55 59		40 bis 45 49	FF FF
Frankreich	$L_{eq,24h}$	Grenzwert für neue Strecken, abhängig von der Generation von Hochgeschwindigkeitszügen	60 bis 65			F
Großbritannien	L_{eq}	Zielwert für neue Ansiedlungen starke Bedenken gegen neue Ansiedlungen Regelung für Schallisolierung an neuen Strecken	55 65 68		42 57 63	FF FF F
Hong Kong	L_{eq}	Planungswert für neue Wohngebiete	65	65	65	–
Japan	L_{Smax}	Umweltstandard für Shinkansen-Superepress	70	70	70	F
Korea	L_{eq}	Umweltstandard (Zielwerte) für neue und bestehende Strecken	65		53	–
Niederlande	L_{eq}	vorzuziehender Wert für neue Strecken Einspruchsgrenzwert für neue Strecken maximal zulässiger Pegel für neue und bestehende Strecken	57 (+3) 65 70 (+3)	52 (+3) 60 65 (+3)	47 (+3) 55 60 (+3)	FF FF FF
Norwegen	$L_{eq,24h}$ L_{max} L_{eq}	Planungswert für neue Strecken Planungswert für neue Strecken Minderungsmaßnahmen an einigen bestehenden Strecken	60 76	60 76	60 80 76	F F F
Österreich	L_r $L_{eq} - 5 \text{ dB(A)}$	Grenzwert für neue und für wesentlich geänderte Strecken	60 bis 65		50 bis 55	–
Schweden	$L_{eq,24h}$	Grenzwert für neue Strecken oder neue Ansiedlungen Grenzwert für existierende Strecken	60 75	60 75	60 75	FF FF
Schweiz	L_r $L_{eq} + K$ $K = -5 \text{--} 1 \text{ dB(A)}$, abhängig von der Zahl der Züge	Planungswert für neue Strecken Immissionsgrenzwert Alarmwert	55 60 70		45 50 65	FF FF FF

Angaben in dB(A)

Quelle: GOTTLÖB, 1995

3.5.8.3 Flugverkehrslärm

Emissionen

483. Der Luftverkehr ist in diesem Jahrzehnt wesentlich stärker gewachsen als der Verkehr der meisten anderen Verkehrsträger. Das Passagieraufkommen der deutschen Flughäfen stieg zwischen 1970 und 1997 von 30,4 Mio. auf 118,4 Mio. beförderte Personen. Das entspricht einem Zuwachs von jährlich 5,2 %. Im gleichen Zeitraum veränderte sich auch das Frachtaufkommen um 1,61 Mio. t (jährlich +5,7 %). Diese Entwicklung wird sich nach den neuesten Verkehrsprognosen fortsetzen (zu internationalen Prognosen s. Tab. 3.5-17). Auf diesen Trend weisen auch die Ausbaupläne der Flughäfen in aller Welt hin. Ausschlaggebend sind die Globalisierung der Wirtschaftsmärkte, die Liberalisierung der Landrechte und die starke Zunahme des Tourismus, der nach Angaben der Welt-Tourismus-Organisation jährlich um etwa vier Prozent wächst und sich bisher alle zwanzig Jahre verdoppelt hat (SRU, 1998, Tz. 998).

Der Zunahme der damit verbundenen Flugbewegungen und somit auch der Geräuschbelastung versuchte man durch die Entwicklung leiserer Triebwerke und aerodynamische Verbesserungen an den Flugzeugen entgegenzuwirken. Wie aus Abbildung 3.5-5 hervorgeht, konnten die Geräuschpegel moderner Flugzeuge gegenüber älteren, nicht zertifizierten Maschinen im Mittel bereits um 15 dB(A) abgesenkt werden.

Den Einfluß dieser technischen Lärminderung auf die Immissionsituation in der Umgebung von Flugzeug und

Tabelle 3.5-17

Wachstumsprognosen im Luftverkehr 1998 bis 2017

	Steigerung pro Jahr [%]	Verdoppelung in Jahren
Transportleistung, weltweit.....	+ 5 % (5,3/4,8)	15
Europa.....	+ 4,1 %	18
Asien-Pazifik.....	+ 5,4 %	14
China.....	+ 10 %	7,5
Flugbewegungen weltweit.....	+ 1,9 %	37
Europa.....	+ 4,5 %	16
Treibstoffverbrauch.....	+ 3,2 %	22

Flugzeugflotte Welt: 12 300 auf 26 200
 Flugzeuggröße, Mittel: 180 auf 230 Sitze

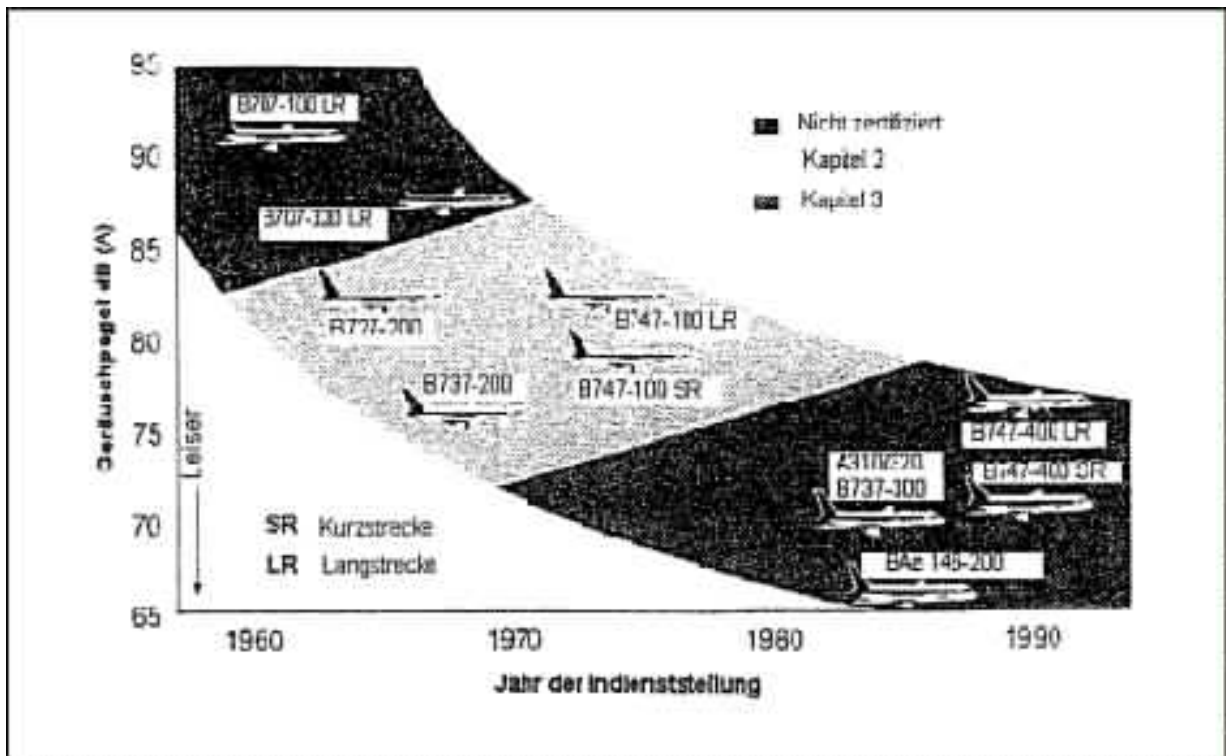
Quelle: Lufthansa AG, 1998

Flughafen zeigt beispielhaft der Vergleich der 85 dB(A)-Lärmkonturen beim Start einer B 727-200 und eines Airbus A 320 (Abb. 3.5-6a und b).

Die Lärmbelastung der Bevölkerung durch den Flugverkehr ist gekennzeichnet durch ihre Konzentration auf räumlich eng begrenzte Gebiete mit häufig hoher Bevölkerungsdichte und teilweise noch sehr hohen Geräuschemissionen der eingesetzten Flugzeuge. Mit der Liberalisierung der Landrechte verbunden ist der verstärkte Einsatz von Fluggeräten aus Staaten, die bisher aus unterschiedlichen Gründen keine Anpassung der Flugzeuge an den fortgeschrittenen Stand der Lärmschutztechnik vorgenommen haben.

Abbildung 3.5-5

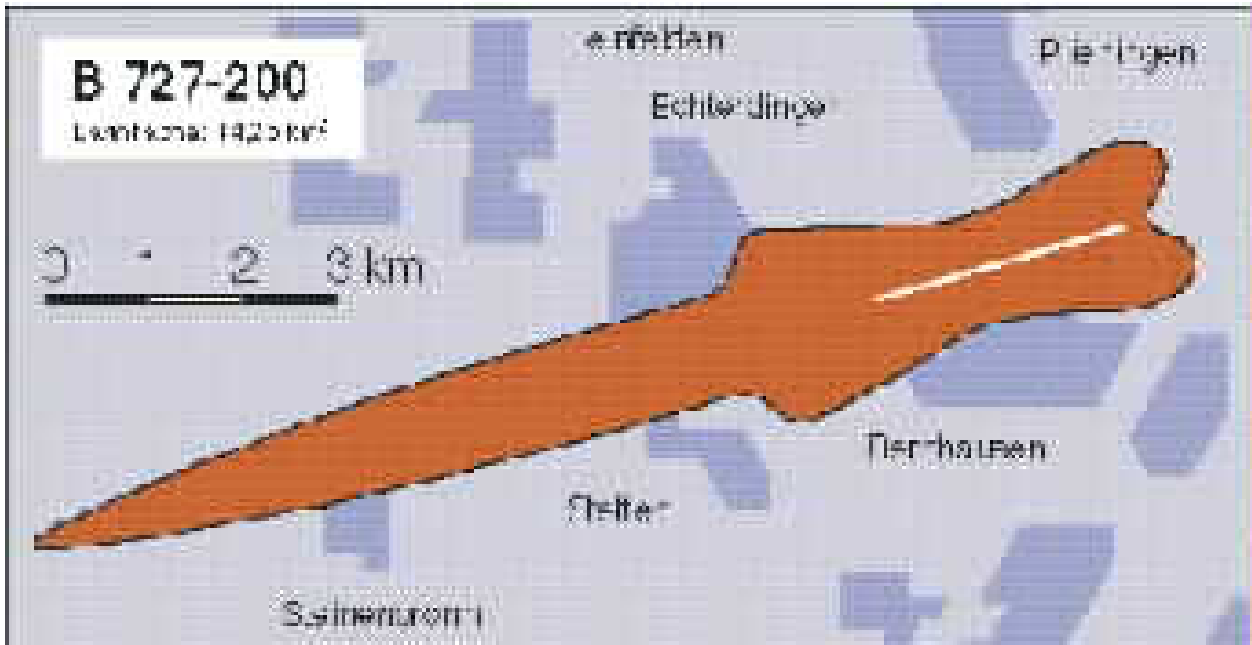
Fortschritt in der Geräuschminderung der Flugzeugentwicklung



Quelle: BEDER, 1998

Abbildung 3.5-6a

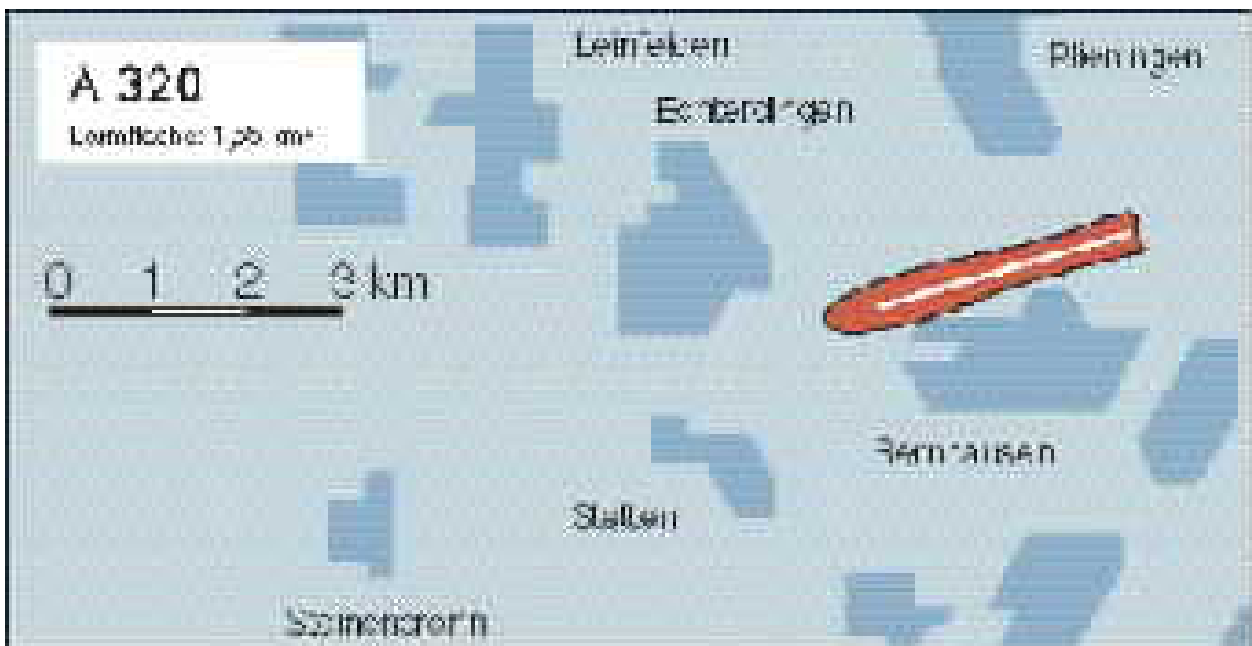
Fluglärm am Flughafen Stuttgart: 85 dB(A)-Lärmkontur beim Start einer B 727-200



Quelle: GREINER, 1995

Abbildung 3.5-6b

Fluglärm am Flughafen Stuttgart: 85 dB(A)-Lärmkontur beim Start eines Airbus A 320



Quelle: GREINER, 1995

Die UN-Unterorganisation International Civil Aviation Organisation (ICAO) hat mit dem ANNEX 16 ein Regelwerk geschaffen, das heute weltweit für die Lärmzertifizierung von zivilen Flugzeugen Anwendung findet. Es bildet auch die Grundlage für die Betriebszulassung von Flugzeugen in Deutschland, die in den Regelwerken „Lärmschutzanforderungen für Luftfahrzeuge“ (LSL) und „Lärmschutzanforderungen für Ultraleichtflugzeuge“ (LS-UL) geregelt sind. Sie enthalten Lärmgrenzwerte für Luftfahrzeuge, Bestimmungen und Hinweise über Verfahren zur Ermittlung der Lärmpegel sowie Bestimmungen für die Zulassung und Vergabe von Lärmzeugnissen. Die bei der Zulassung ermittelten Lärmwerte werden beim Luftfahrt-Bundesamt in einer Datenbank gespeichert und zusätzlich in den Nachrichten für Luftfahrer (NfL) veröffentlicht. Somit besteht eine große Transparenz hinsichtlich der Lärmemissionen der eingesetzten Flugzeugtypen. Für Militärflugzeuge existiert bislang kein vergleichbares Prüfverfahren für Lärmemissionen.

Für die Aufstellung von Fluglärm-Immissionsprognosen nach Fluglärmgesetz (FluglärmG) enthält die „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB) Geräuschemissionskennwerte sowohl für zivile als auch für militärische Flugzeuge, die im Auftrag des Umweltbundesamtes unabhängig von der Betriebszulassung ermittelt werden. Dabei sind die einzelnen Flugzeugtypen entsprechend ihrem Geräusch-Emissionsverhalten bei Start und Landung zu Gruppen zusammengefaßt. Technische Weiterentwicklungen werden durch Ergänzungen bzw. feinere Gruppeneinteilungen berücksichtigt (Ergänzung der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen (AZB-E) sowie Landeplatz-Fluglärmleitlinie (LPFL)).

Immissionssituation

484. Nach dem Fluglärmgesetz sind für Verkehrsflughäfen und militärische Flugplätze Lärmschutzbereiche auszuweisen. Der Lärmschutzbereich umfaßt das Gebiet außerhalb des eigentlichen Flugplatzgeländes, in dem der äquivalente Dauerschallpegel für die Geräuschimmissionen den Wert von 67 dB(A) übersteigt. Dieser Bereich wird je nach Lärmbelastung noch in zwei sogenannte Schutzzonen unterteilt: Die Schutzzone 1 umfaßt das Gebiet mit Lärmpegeln über 75 dB(A), die Schutzzone 2 das übrige Gebiet. Dabei erfolgt die Ermittlung des Dauerschallpegels entsprechend den Regelungen der AzB. Der Geräuschimmissionspegel ist als Mittelungspegel über den gesamten Tag (24 h) für die sechs verkehrsreichsten Monate eines Jahres festgelegt. Er weicht in seiner Definition (Äquivalenzparameter $q = 4$) erheblich von dem üblicherweise für andere Verkehrsmittel in der Lärmbeurteilung angewendeten Mittelungspegel (Äquivalenzparameter $q = 3$) ab und ist nur im deutschen Fluglärmgesetz eingeführt. Für Landeplätze mit nichtgewerblichem Flugverkehr sind keine Lärmschutzbereiche auszuweisen. Nach der Landeplatz-Fluglärmleitlinie (LPFL) ist als maßgebende Kenngröße der Mittelungspegel mit dem Äquivalenzparameter $q = 3$ zur Beurteilung heranzuziehen. Im Gegensatz zur AzB werden auch Tag- und Nachtzeit getrennt behandelt.

Gemäß § 16 Fluglärmgesetz können weitergehende planungsrechtliche Vorgaben gemacht werden. In einigen Bundesländern wurde in den Raumordnungsprogrammen, Landesentwicklungsplänen oder Regionalplänen davon Gebrauch gemacht. Während das Fluglärmgesetz im wesentlichen die Grundlagen für Sanierungs- und Entschädigungspflichten enthält, wird mit den planerischen Instrumenten Lärmvorsorge im Rahmen der Siedlungsentwicklung betrieben. So können im Regionalplan Siedlungsbeschränkungszonen festgelegt werden, in denen eine Wohnbebauung bei einem Dauerschallpegel, der unter den Werten des Fluglärmgesetzes liegt, unzulässig ist. Die Werte des Fluglärmgesetzes von 1971 wurden von den Ländern überwiegend als nicht ausreichend zum Schutz der Bevölkerung von Fluglärm gehalten. Aus diesem Grund wurden 1997 vom Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) Leitlinien zur Beurteilung von Fluglärm an Flughäfen und Landeplätzen erarbeitet (LAI, 1997). Die Ministerkonferenz für Raumordnung empfahl im September 1998 in einer Entschließung über den „Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm“, diese Leitlinien als Grundlage raumordnerischer Festlegungen zum Schutz der Bevölkerung anzuwenden (MKRO, 1998). Die Flughäfenlärmeleitlinie sieht vor, daß als maßgebende Kenngröße der Mittelungspegel mit dem Äquivalenzparameter $q = 3$, und nicht $q = 4$ wie nach dem Fluglärmgesetz, zur Beurteilung heranzuziehen ist. Darüber hinaus erfolgt die Berechnung für die unterschiedlichen Betriebsregelungen mit voller Flugbewegungszahl (sogenannte 100 %-Regelung). Diese Regelung hat den Effekt, daß im Gegensatz zum Fluglärmgesetz die Belastungen von Fluglärm für Bereiche außerhalb der Hauptstartrichtung stärker berücksichtigt werden. In der Leitlinie sind ferner weitreichende Nachtflugbeschränkungen vorgesehen. Für Flugzeuge ohne Lärmzulassung oder mit Lärmzulassung nach ICAO-Anhang 16, Kapitel 2 gilt ein generelles Nachtflugverbot. Für die anderen Flugzeuge wurden differenzierte Flugbeschränkungen in der Nacht je nach Lärmklasse und Nutzungsart der Flugzeuge erlassen. Der nationale Post- und Frachtflugverkehr soll – soweit möglich – nachts auf lärmärmere Verkehrsträger verlagert werden.

485. In jüngster Zeit werden im Rahmen von Planfeststellungsverfahren für Flughäfen neben dem äquivalenten Dauerschallpegel nach AzB über die Vorgaben des Fluglärmgesetzes hinaus auch Maximalpegelkriterien herangezogen, um neuere Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung (JANSEN et al., 1995; JANSEN, 1994; GRIEFAHN, 1990) bei der Beurteilung der Belastung der Bevölkerung durch Fluglärm zu berücksichtigen. Dabei wird zwischen Tag- und Nachtzeit unterschieden. Nach JANSEN et al. (1999) ist dann mit kritischen Lärmbelastungen zu rechnen, wenn an den Immissionsorten (Außenpegel an Gebäuden) am Tag mehr als 19 Überflüge mit Maximalpegeln über 99 dB(A) (Lärmgefährdungszone) bzw. in der Nacht mehr als 6 Überflüge mit Maximalpegeln über 75 dB(A) (Nachtschutzzone) stattfinden.

Ein Vergleich der Berechnungsverfahren nach AzB und Landeplatz-Fluglärmleitlinie ergibt, daß bei jährlichen Flugbewegungszahlen bis etwa 100 000 die AzB niedri-

gere Beurteilungspegel liefert und somit die Lärmbelastung unterschätzt. Andererseits überschätzt die AzB für Großflughäfen mit jährlichen Bewegungszahlen über 200 000 die Lärmbelastung geringfügig.

Umfang und Komplexität von Fluglärmrechnungsverfahren können nur mit Hilfe aufwendiger Computerprogramme bewältigt werden. Allerdings gibt es zur Zeit noch keine ausreichenden Qualitätsstandards bzw. vergleichende Ringversuche, um die zahlreichen auf dem Markt gehandelten Programmsysteme auf ein einheitliches Niveau zu kalibrieren.

Eine Überwachung der Fluglärmimmissionen erfolgt zur Zeit nur an den Flughäfen. Dabei werden stationäre oder mobile Fluglärm-Überwachungssysteme nach DIN 45643 verwendet. Ihre Aufgabe ist es, vorgeschriebene oder empfohlene Flugstrecken und Flugverfahren in der Umgebung der Flughäfen akustisch zu überprüfen, Abweichungen festzustellen und damit Möglichkeiten zur Ahndung der Nichtbefolgung durch einzelne Flugzeuge zu ermöglichen.

Ein internationaler Vergleich zwischen den zahlreichen Regelungen zum Fluglärm ist schwierig, da sich die angewendeten Verfahren und Beurteilungsgrößen beträchtlich unterscheiden. So sind zur Zeit in 16 untersuchten Staaten 11 verschiedene Lärmkenngrößen in Anwendung (GOTTLOB, 1995). Die Unterschiede beziehen sich vor allem auf die Bewertung der Ausgangsgrößen für einzelne Lärmereignisse, auf die Berücksichtigung der Überflugdauer, auf die Anzahl der Überflüge und die relative Wichtung von Maximalpegeln sowie auf die Wichtungsfaktoren für die Zeit des Auftretens von Lärmereignissen. Daher sind auch unmittelbare mathematische Umrechnungen nicht statthaft.

Allerdings erfolgt in allen untersuchten Staaten die Beurteilung des Fluglärms mit einem Lärmindex für einen 24-stündigen Zeitraum. Es ist aber fraglich, ob ein derartiges Vorgehen geeignet ist, insbesondere die Auswirkungen der Lärmbelastung während der Nachtzeit adäquat zu ermitteln, selbst wenn hohe Wichtungsfaktoren Anwendung finden. Der Umweltrat weist daher auf diese unbefriedigende Situation hin, die insbesondere zu erheblichen Problemen bei Neubau oder wesentlichem Ausbau vorhandener Flughäfen führt. Tabelle 3.5-18 zeigt in einer Übersicht Regelungen zum Fluglärm, die in verschiedenen Staaten Anwendung finden. Zwischen den national verwendeten Lärmindizes, den Beurteilungspegeln sowie den gesetzlich festgelegten Schutzmaßnahmen bestehen ganz erhebliche Unterschiede, die auf die bestehenden Defizite in der gesundheitlichen Beurteilung von Fluglärm hinweisen.

3.5.8.4 Industrie- und Gewerbelärm

Emissionssituation

486. Bei genehmigungsbedürftigen Anlagen sind Vorsorgemaßnahmen gegen schädliche Umwelteinwirkungen gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG vor allem am Stand der Technik auszurichten, nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind nach § 22 Abs. 1 Nr. 1 und 2

BImSchG so zu errichten und zu betreiben, daß nach dem Stand der Technik vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen verhindert bzw. nach dem Stand der Technik unvermeidbare Einwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Der Stand der Technik wird dabei in § 3 Abs. 6 BImSchG definiert als der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, mit dem die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen gesichert erscheint. Auf diese Definition nimmt die TA Lärm Bezug und definiert unter Nummer 2.5 den Stand der Technik zur Lärminderung. Eine Anpassung an die besondere Situation im Schallschutz erfolgt dadurch, daß der Stand der Technik auch Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg der Schallemissionen einschließt, soweit diese in engem betrieblichen und räumlichen Zusammenhang mit der Schallquelle stehen und seine Anwendung auf den Zweck der Minderung der Geräuschimmissionen beschränkt bleibt.

Seit vielen Jahren werden akustische Daten von Anlagen, von Anlagenkomponenten oder von Bauteilen zur Schalldämmung mit Hilfe von Geräuschemissionsmessungen z.B. im Rahmen von Forschungsvorhaben ermittelt. Viele dieser Daten werden seit 1994 in einer im Aufbau befindlichen Lärmdatenbank (LDB) beim Umweltbundesamt gesammelt. Damit wird ein Instrument entwickelt, mit dessen Hilfe Vergleiche zwischen Maschinen oder Anlagen unterschiedlicher Schalleistung möglich sind und der technologische Fortschritt bei der Minderung der Schallemission z.B. anhand von Geräuschkennwerten verfolgt werden kann.

Nach der 3. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz sind Hersteller und Importeure technischer Arbeitsmittel verpflichtet, in den Betriebsanleitungen Angaben über die Geräuschemissionen (arbeitsplatzbezogener Emissionswert) zu machen. Überschreitet dieser den Grenzwert von 85 dB(A), so wird im Regelfall zusätzlich die Angabe des Schalleistungspegels erforderlich. Bedauerlicherweise ist die Umsetzung dieser Anforderungen noch unzureichend, so daß auch ein wichtiges wettbewerbliches Instrument zur Reduzierung der Schallemissionen nicht ausreichend genutzt werden kann.

Für verschiedene Baumaschinentypen sind Anforderungen an den Schallschutz in der EG-Richtlinie 86/662/EWG festgelegt, deren Einhaltung im Rahmen einer Baumusterprüfung durch eine zugelassene Stelle nachzuweisen ist. Eine umfassende Novellierung der Richtlinie für im Freien betriebene Geräte und Maschinen (98/20/EG) wird zur Zeit von einem Ausschuß der EU-Kommission vorbereitet.

Der Lärm von Baustellen führt häufig zu Störungen und Belästigungen der Nachbarschaft. Er kann vergleichsweise hohe Pegel erreichen und auch in ruhebedürftigen Gebieten auftreten, ist aber im allgemeinen von zeitlich begrenzter Dauer und tritt in erster Linie nur tagsüber auf. Zum Schutz vor Baulärm bestehen zahlreiche spezielle Vorschriften (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm, Verwaltungsvorschriften für Radlader, Kompressoren, Betonpumpen, Planierdrauen, Kettenlader und Bagger sowie die Baumaschinenlärm-

Tabelle 3.5-18

Regelungen zum Fluglärm in verschiedenen Staaten, $L_{eq,24h}$ berechnet nach Näherungsformeln

Land	nationaler Lärmindex	$L_{eq,24h}$	Maßnahmen
Australien	< 20 20–25 > 25	< 53 53–58 > 58	keine Beschränkungen neue Wohnungen mit ausreichendem Schallschutz keine neuen Wohnungen zugelassen
Kanada	≤ 25 28–30 > 35	≤ 57 60–62 > 68	keine Beschränkungen neue Wohngebiete mit ausreichendem Schallschutz Wohnungen nicht zugelassen
China	≤ 70	≤ 54	keine Beschränkungen
Dänemark	≤ 55 > 55 < 65	≤ 51 > 51 > 61	keine Beschränkungen keine neuen Wohnungen Zuschuß zu Schallschutzmaßnahmen in der Nähe des Flughafens Kopenhagen
Deutschland	< 62 67–75 > 75	< 62 67–75 < 75	in einigen Bundesländern keine Beschränkungen neue Wohnungen nur mit erhöhtem Schallschutz: Lärmpegelreduzierung (NLR) > 40 dB(A) keine neuen Wohnungen; Zuschuß zu Schallschutzmaßnahmen an bestehenden Wohnungen: NLR > 45 dB(A)
Frankreich	< 84 84–89	< 62 62–71	keine Beschränkungen (bei einigen Flughäfen: 78 dB(A)) Schallschutzmaßnahmen an bestehenden Wohnungen
Großbritannien	≤ 57 57–66 > 66 > 69 > 72	≤ 55 55–64 > 64 > 67 > 70	keine Beschränkungen neue Wohnungen nur mit erhöhtem Schallschutz zugelassen strenge Auflagen bei neuen Wohnungen Schallschutz-Programm an den Londoner Flughäfen keine neuen Wohnungen zugelassen
Japan	< 70 > 85	< 54 > 69	keine Beschränkungen Schallschutzmaßnahmen für einen Rauminnenpegel $WEC_{PNL} \leq 65$ dB(A)
Niederlande	≤ 35 > 35 > 40 40–50 50–55	≤ 50 > 50 > 53 53–60 60–64	keine Beschränkungen im allgemeinen keine neuen Wohngebiete zugelassen im allgemeinen keine neuen Wohnungen zugelassen Zuschuß zum Schallschutz an bestehenden Wohnungen: NLR = 30 – 35 dB(A) Zuschuß zum Schallschutz an bestehenden Wohnungen: NLR = 35 – 40 dB(A)
Neuseeland	≤ 55 55–62 > 65	≤ 55 52–62 > 62	keine Beschränkungen neue Wohnungen nur mit erhöhtem Schallschutz keine neuen Wohngebiete zugelassen
Norwegen	≤ 60 > 60 60–70	≤ 55 > 55 55–65	keine Beschränkungen keine neuen Wohnungen zugelassen Schallschutzmaßnahmen für einen Rauminnenpegel $EFN < 35$ dB(A)
Schweden	< 55	< 51	keine Beschränkungen
Schweiz	> 45 45–55	> 62 62–72	keine neuen Wohngebiete zugelassen Zuschuß zu Schallschutzmaßnahmen: Wände: > 50 dB(A), Fenster: > 35 dB(A)
USA	≤ 65 65–70 70–75 > 75	≤ 62 62–67 67–72 > 72	keine Beschränkungen Neuplanungen nicht empfohlen: NLR > 25 dB(A) Neuplanungen stark abgeraten: NLR > 30 dB(A) keine neuen Erschließungen zugelassen

Verordnung – 15. BImSchV). Technische Verbesserungen an den eingesetzten Maschinen und Verfahren haben bereits zu erheblichen Absenkungen der Lärmpegel geführt.

Insgesamt ist festzustellen, daß die Schallemissionssituation (Lärminderungstechnik) von Anlagen und Maschinen im Industrie- und Gewerbebereich in den vergangenen Jahrzehnten erheblich verbessert wurde, so daß in vielen Fällen bereits auf aufwendige Schallschutzmaßnahmen außerhalb der Quelle verzichtet werden konnte. Insofern besitzt der Industrie- und Gewerbelärm umweltpolitisch in Deutschland heute nicht mehr den Stellenwert früherer Jahre.

Immissionssituation

487. Den Schutzpflichten des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (§ 5 Abs. 1 Nr. 1, § 22 Abs. 1 Nr. 1 und 2) liegt eine Immissionsbetrachtung zugrunde, da der Begriff der schädlichen Umwelteinwirkungen immissionsbezogen ist (§ 3 Abs. 1 und 2 BImSchG), und dieser Beitrag im Hinblick auf den Gesetzeszweck relevant ist. Die novellierte TA Lärm ist am 1. November 1998 in Kraft getreten. Ihr Anwendungsbereich wurde gegenüber der TA Lärm 1968 auch auf die nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz erweitert. Sie ist damit bis auf bestimmte, in der Verwaltungsvorschrift aufgeführte Ausnahmen auf die lärmtechnische Behandlung aller Industrie- und Gewerbeanlagen anzuwenden. Während in der TA Lärm von 1968 bei der Beurteilung auf die Geräuschimmissionen der einzelnen Anlage abgestellt wurde, folgt die neue TA Lärm im Grundsatz einer akzeptorbezogenen Betrachtungsweise, d.h. für die Beurteilung wird maßgebend die Gesamtgeräuschimmission, der ein Akzeptor ausgesetzt ist, herangezogen. Allerdings bleiben andere Geräuscharten, für die die TA Lärm nicht gilt, bei der Ermittlung der Gesamtlärmbelastung unberücksichtigt. Insofern wurde auch der Akzeptorbezug noch nicht vollständig realisiert. Ein spezifischer Ansatz, den der Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) in seiner Musterverwaltungsvorschrift von 1995 zur Kumulation verschiedener Geräuscharten vorgeschlagen hatte, wird von der TA Lärm 1998 nicht aufgegriffen. Darüber hinaus wird der Akzeptorbezug für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen durch die Einführung von Relevanz- und Irrelevanzkriterien weitgehend relativiert.

Im Anhang der TA Lärm wird ein Verfahren zur Ermittlung der Geräuschimmissionen und des kennzeichnenden Beurteilungspegels durch Messungen und Berechnung (Prognose) beschrieben. Dabei wird auch auf internationale Regelwerke Bezug genommen. Der in der bisherigen Genehmigungspraxis zur Beurteilung herangezogene „Mitwind-Mittelungspegel“ (günstige meteorologische Schallausbreitungsbedingungen) wird durch den „Langzeit-Mittelungspegel“ (Mittelung über viele Witterungsbedingungen, die günstig oder ungünstig für die Schallausbreitung sind) ersetzt. Dies führt insbesondere bei größeren Abständen zwischen Emittenten und Akzeptor zu einer schalltechnischen Erleichterung von etwa 2 dB(A).

Schließlich werden mit der novellierten TA Lärm nicht nur die ortsfesten Anlagen und Fahrgeräusche auf dem Betriebsgrundstück, sondern auch die der Anlage zuzurechnenden Verkehrsgeräusche auf öffentlichen Verkehrswegen in die Beurteilung aufgenommen.

Das Beurteilungsverfahren der neuen TA Lärm berücksichtigt im allgemeinen die neueren Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung im Bereich des Arbeits- und Nachbarschaftsschutzes sowie die in der Zwischenzeit eingetretene technologische Entwicklung (VDI-Richtlinien, DIN- und ISO-Normen).

488. Untersuchungen von GOTTLOB (1995) über die Immissionssituation in zahlreichen Staaten zeigen, daß Industrie- und Gewerbelärm überwiegend nach dem Beurteilungspegel L_T entsprechend den Regelungen der ISO 1996 mit der Zeitbewertung „fast“ (s. Tz. 388, Kasten) behandelt wird. Bei den Zuschlägen für die Ton- und Impulshaltigkeit der Geräusche sowie bei den Beurteilungszeiträumen bestehen zwischen den einzelnen Staaten allerdings erhebliche Unterschiede. Einige Staaten unterteilen den 24 Stunden-Tag in zwei Zeiträume, um eine getrennte Beurteilung der Lärmeinwirkung auf die Tag- und Nachtzeit zu ermöglichen. Andere wiederum bevorzugen eine Dreiteilung in Tag-, Ruhe- und Nachtzeit. Die Lärmeinwirkung wird auch nicht generell über den gesamten Beurteilungszeitraum berücksichtigt, sondern zum Beispiel nur für den ungünstigsten Zeitabschnitt. Dabei variieren die Zeitabschnitte zwischen 1 bis 16 Stunden für die Tag- und zwischen 0,5 bis 12 Stunden für die Nachtzeit. In der überwiegenden Zahl der Staaten erfolgt die Lärmbeurteilung durch Vergleich des Beurteilungspegels mit Immissionsrichtwerten. Der Unterschied zwischen den Immissionsrichtwerten für die Tag- und Ruhezeit liegt im Mittel bei 5 dB(A), für die Tag- und Nachtzeit bei 10 dB(A) oder wie in Deutschland sogar bei 15 dB(A).

3.5.8.5 Sport- und Freizeitlärm sowie andere Lärmbelastungen

489. Die zunehmende Freizeit der Wohlstandsgesellschaft verstärkt den Wunsch nach Sport- bzw. Freizeitaktivitäten, die oftmals mit Lärm verbunden sind. Das führt bei einem gleichzeitig ansteigenden Umweltbewußtsein häufig auch zu erheblichen Interessenkonflikten. Verschärfend wirkt eine Konzentration der Lärmbeeinträchtigungen auf ruhebedürftige Zeiten. Dieser steht die besondere gesellschafts- und gesundheitspolitische Bedeutung der Sport- und Freizeitausübung gegenüber.

Emissionssituation

490. Gesicherte Schall-Emissionsdaten liegen für eine Reihe von Sport- und Freizeitaktivitäten vor, wie z.B. für Fußball, Hockey, Tennis, Eishockey, American Football, Skateboarden, Kartfahren, Leichtathletik, Schießen. Für weitere Sport- und Freizeitanlagen müssen im Einzelfall Geräuschmessungen im Nahbereich vergleichbarer Anlagen durchgeführt werden. Besonders schwierig gestaltet sich die Emissionsermittlung bei den verstärkt vorkommenden Musikveranstaltungen im Freien, da für

die wesentlichen Einflußgrößen wie Verstärkerleistung und Aussteuerung, Lautsprechersysteme, Musikart und Publikumsreaktionen kaum allgemeine Ansätze vorliegen. Um eine ausreichende Prognosesicherheit zu erzielen, müssen hier oftmals bereits im Vorfeld technische Maßnahmen der Emissionsbeschränkung in Form einer Pegelbegrenzung mit Kontrollmessungen während der Veranstaltung eingesetzt werden.

Mit erheblichen Schallemissionen sind auch technische Geräte verbunden, die in der Freizeit, insbesondere bei der Gartenarbeit eingesetzt werden. Abgesehen von Rasenmähern bestehen keine Grenzwerte. Laubsauger können einen Schallaustragspegel bis zu 115 dB(A) entwickeln.

Immissionssituation

491. Eine einheitliche Beurteilungsgrundlage für Geräuschimmissionsbelastungen von Sport- und Freizeitanlagen existiert zur Zeit nicht. Lediglich für den Sportlärm ist mit der Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV – eine eindeutige rechtliche Grundlage geschaffen worden, wenn auch gewisse Auslegungsprobleme und eine unscharfe Abgrenzung zwischen Sport- und Freizeitlärm nicht zu übersehen sind. Für den Bereich Freizeitlärm wurde 1997 auf Länderebene die Freizeitlärm-Richtlinie des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) zur allgemeinen Anwendung eingeführt. Sie lehnt sich in wesentlichen Teilen an die 18. BImSchV an, besitzt aber nicht deren Rechtscharakter. Dies kann sich bei Rechtsstreitigkeiten problematisch auswirken, da von den Gerichten das Maß der Zumutbarkeit und die spezifischen Bewertungskriterien keineswegs einheitlich bestimmt werden.

Bei Randfeldern des Sport- und Freizeitlärms wie z.B. bei Gaststätten, Biergärten oder Motorsportanlagen sind arbeitslärmspezifische Regelwerke wie die TA Lärm und die VDI-Richtlinie 2058, Blatt 1, heranzuziehen. Andere Regelungen wurden z.B. zum Schießlärm, für Modellflugplätze und Wassersportfahrzeuge entwickelt.

Anwendungsbereiche und Beurteilungsgrundlagen sind in der Tabelle 3.5-19 zusammengefaßt.

Mit der Verordnung über das Fahren mit Sportfahrzeugen auf Binnenschiffahrtsstraßen (VSport) von 1995 soll mit Hilfe von strengen Geschwindigkeitsbegrenzungen, Nachtfahrverboten oder Fahrverboten außerhalb der Fahrrinnen auf bestimmten Binnenschiffahrtsstraßen die Lärmbelastung reduziert werden. Die Wassermotorräder-Verordnung (VWM) von 1995 schränkt das Befahren der Binnenschiffahrtsstraßen mit Wassermotorrädern aus Sicherheits- und Lärmschutzgründen erheblich ein.

492. Geräuscheinwirkungen, die durch menschliche Aktivitäten, z.B. durch Freizeitbetätigung im Wohnbereich entstehen, sind nach verhaltensbezogenen Lärmbekämpfungsvorschriften der Länder und Gemeinden zu beurteilen. Weiterhin ist § 117 OWiG heranzuziehen. Danach handelt ordnungswidrig, wer ohne berechtigten Anlaß oder in einem unzulässigen oder nach den Umständen vermeidbaren Ausmaß Lärm verursacht, der ge-

Tabelle 3.5-19

Beurteilungsgrundlagen des Sport- und Freizeitlärms

Sport- und Freizeitanlage	Beurteilungsgrundlage
Sportanlagen, die nicht genehmigungsbedürftig nach BImSchG sind	Sportanlagenlärmschutz-Verordnung 18. BImSchV
Freizeitanlagen allgemein	Neue LAI-Freizeitlärm-Richtlinie (Anhang B der Musterverwaltungsvorschrift von 1995)
Motorsport (genehmigungsbedürftig nach BImSchG) Wassersportfahrzeuge	TA Lärm, bereichsweise örtliche und zeitliche Nutzungseinschränkungen durch Verordnungen, VSport, VWM
Schießanlagen bis Kaliber 20 mm (genehmigungsbedürftig nach BImSchG)	TA Lärm in Verbindung mit VDI 3745, Blatt 1
Modellflugplätze	Richtlinie für die Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Flugplätzen für Flugmodelle und die Erlaubnis zum Aufstieg von Flugmodellen
Gaststätten	TA Lärm
Biergärten	TA Lärm, LAI-Freizeitlärm-Richtlinie
Motorrasenmäher	8. BImSchV, Ortssatzungen, zeitliche Nutzungseinschränkungen durch Verordnungen

Quelle: TÜV Rheinland, 1999, verändert

eignet ist, die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft erheblich zu belästigen oder die Gesundheit eines anderen zu schädigen.

Die heute angewendeten Immissionsrichtwerte für diese Aktivitäten sind in Tabelle 3.5-20 zusammengestellt.

Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tage um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten. Für seltene Ereignisse (nach TA Lärm und Freizeitrichtlinie an nicht mehr als 10 Tagen oder Nächten eines Kalenderjahres bzw. nach der 18. BImSchV an höchstens 18 Tagen eines Jahres) sind deutlich höhere Immissionsrichtwerte zugelassen.

Tabelle 3.5-20

**Immissionsrichtwerte für unterschiedliche
Flächennutzungen**

Gebietsart	TA Lärm	VDI 2058, Blatt 1	Freizeit- lärm- richtlinie	18. BImSchV
	Tag/ Nacht	Tag/ Nacht	Tag: außerhalb/ innerhalb der Ruhe- zeit/Nacht	Tag: außerhalb/ innerhalb der Ruhe- zeit/Nacht
Industriegebiet	70/70	70/70	70/70/70	–
Gewerbegebiet	65/50	65/50	65/60/50	65/60/50
Dorf-/Kern-/ Mischgebiet	60/45	60/45	60/55/45	60/55/45
allgemeines Wohngebiet und Kleinsiedlungs- gebiet	55/40	55/40	55/50/40	55/50/40
reines Wohn- gebiet	50/35	50/35	50/45/35	50/45/35
Kurgebiet, für Krankenhäuser und Pflege- anstalten	45/35	45/35	45/45/35	45/45/35

Quelle: TÜV Rheinland, 1999

**3.5.9 Handlungsoptionen für eine zukünftige
Lärmschutzpolitik**
**3.5.9.1 Umweltqualitäts- und Umwelthandlungsziele
für den Schutz gegen Lärm**

493. Der Entwurf eines Umweltpolitischen Schwerpunktprogramms des Bundesumweltministeriums vom April 1998 enthält ein Programm für den Schutz gegen Lärm, in dem als Umweltqualitätsziel die Verminderung der umweltbedingten Lärmbelastungen auf gesundheitlich unbedenkliche Werte und als Umwelthandlungsziel eine Absenkung der Lärmbelastungen dauerhaft auf Werte von 65 dB(A) oder weniger angegeben sind (BMU, 1998). Nach Vorschlägen des Umweltbundesamtes sollten zur Vermeidung erheblicher Belästigungen die Pegel in Wohngebieten tags höchstens 59 dB(A) und nachts höchstens 49 dB(A) betragen (UBA, 1995). Die Entwicklung der Belastungs- und Belästigungssituation verdeutlicht, daß diese Ziele angesichts immer noch wachsender Verkehrsleistungen eine große Herausforderung an die Lärminderung darstellen.

Der Umweltrat hält die konzeptionelle Vorgehensweise dieser Programme für umweltpolitisch sinnvoll und fordert eine Fortentwicklung der vorhandenen Ansätze zu einem anspruchsvollen Langzeitprogramm für den Schutz gegen Lärm. Wie bereits in Abschnitt 3.5.7 dargestellt, kann das im oben genannten Programmentwurf vorgeschlagene Umwelthandlungsziel von 65 dB(A) bei Tag nur ein Nahziel für den vorbeugenden Gesundheits-

schutz und den Schutz gegen erhebliche Belästigungen darstellen. Es muß durch mittelfristige Ziele – 62 dB(A) als Präventionswert und 55 dB(A) als Vorsorgezielwert – ergänzt werden. Für die Nachtzeit sind kurzfristig ein Wert von 55 dB(A), mittelfristig ein Wert von 52 dB(A) und langfristig ein Vorsorgezielwert von 45 dB(A) anzustreben. In besonders schutzbedürftigen Gebieten, wie etwa im Umfeld von Krankenhäusern und Sanatorien und gegebenenfalls auch in reinen Wohngebieten, sollte ein Vorsorgezielwert 35 bis 40 dB(A) angestrebt werden. Dieses entspricht im wesentlichen den Regelungen der DIN 18005 und der TA Lärm. Zudem ist zu prüfen, ob die daneben anwendbaren Maximalpegel weiter abgesenkt werden müssen. Dabei ist die Staffelung des Schutzanspruches nach dem Nutzungscharakter der Einwirkungsbereiche dahin zu modifizieren, daß auch in Misch- und Kerngebieten jedenfalls bei Nacht ein anspruchsvoller Lärmschutz gewährleistet wird. Über die Bauleitplanung behalten die Kommunen auch nach den Vorschlägen des Umweltrates noch erheblichen Einfluß auf die Anforderungen des Immissionsschutzes.

Diese anspruchsvollen Handlungsziele können nur durch ein Bündel von Maßnahmen der Verkehrsvermeidung, Maßnahmen an der Quelle, planerische Maßnahmen und Maßnahmen der Sanierung erreicht werden (dazu Tz. 477 f.). Im Hinblick auf die finanziellen Konsequenzen ist insbesondere bei der Sanierung eine Vorgehensweise nach Prioritäten sinnvoll, die ein planerisches Vorgehen bedingt. Der Umweltrat schlägt daher vor, die vorhandenen Ansätze der planmäßigen Lärmsanierung auf eine breitere Grundlage zu stellen (Tz. 478).

**3.5.9.2 Vorbeugender Schutz gegen
Gesundheitsgefährdungen, Schutz
gegen erhebliche Belästigungen
und Risikovorsorge**

494. Nach dem System des Immissionsschutzrechts schließt die nach dem Gesetz gebotene Gefahrenabwehr – u.a. Abwehr von Gefahren für die menschliche Gesundheit – auch den Schutz gegen erhebliche Belästigungen ein (§§ 1, 3 Abs. 1, 5 Abs. 1 Nr. 1, 22 Abs. 1 Nr. 1, 2 BImSchG). Auch das Luftverkehrsgesetz dient neben der Gefahrenabwehr der Vermeidung erheblicher Belästigungen („Nachteile“ i.S. von § 9 Abs. 2 LuftVG). Eine trennscharfe Abgrenzung von Gesundheitsgefahr und erheblicher Belästigung ist nicht möglich; insbesondere können dauerhafte erhebliche Belästigungen durchaus bereits im Bereich der Gesundheitsgefährdung liegen (vgl. oben Tz. 405). Gleichwohl ist aus rechtlicher Sicht eine Abgrenzung erforderlich, weil sich beide Schutzkategorien in der Intensität des staatlichen Schutzes unterscheiden. Gesundheitsgefahren lösen die staatliche Pflicht zur vorbeugenden Gefahrenabwehr aus (BVerwGE 71, 150, 155; 101, 1, 10); Verhältnismäßigkeitserwägungen spielen nur bei der Frage eine Rolle, wie der erforderliche Schutz gewährleistet wird. Insbesondere kann der Schutz gegen Gesundheitsgefahren nicht durch Duldungsgrenzen relativiert werden, die aus der Vorbelastung und der Gebietsqualität hergeleitet werden. Dies gilt entgegen einer gegenteiligen Tendenz in der Rechtsprechung, die Gefahren und Nachteile als

nachteilige Wirkungen zusammenfaßt (vgl. BVerwGE 56, 110, 137; BVerwG, NVwZ-RR 1991, 129, 132), auch für den Fluglärm (HERMANN, 1994, S. 181 ff., 302 ff.). Dagegen sind nach dem von der Rechtsprechung entwickelten Begriffsverständnis – Maßstab eines verständigen Durchschnittsbürgers – die Zumutbarkeitsgrenzen für Belästigungen je nach der Gebietsqualität, Vorbelastung und anderen räumlichen Faktoren, wie Bedeutung der Anlage für die Allgemeinheit, unterschiedlich (BVerwGE 51, 15, 29 ff.; 71, 150, 154; 74, 234, 235 ff.; 79, 254, 261; 84, 31, 39 f.; 87, 332, 356 f.; 107, 350, 356 f.); es erfolgt keine generelle Rücksichtnahme auf die Lärmempfindlichkeit besonderer Gruppen; vielmehr vermittelt das geltende Recht einen Schutz vulnerabler Gruppen wie Kindern und Kranken durch den Schutz besonders empfindlicher gebietstypischer Nutzungen.

Demgegenüber bleibt der Stellenwert der Vorsorge gegen Lärm bisher undeutlich. Nach der im Lärmschutz gängigen Terminologie unterscheidet man zwischen Lärmvorsorge und Lärmsanierung. Lärmvorsorge ist vorbeugender Schutz gegen Gefahren und erhebliche Belästigungen mit den Mitteln der Planung (STRICK, 1998, S. 13). Die Begriffsbestimmung knüpft damit an die Mittel staatlicher Politik, nicht an das angestrebte Schutzniveau an. Der Umweltrat versteht Lärmvorsorge dagegen entsprechend dem allgemeinen Sprachgebrauch im Umweltrecht als Reduzierung von Risiken unterhalb der Schwelle der Gesundheitsgefahr und erheblichen Belästigung (so auch BVerwGE 87, 332, 375; 107, 313, 325; BVerwG, NVwZ-RR 1991, 129, 132).

Es gibt bisher kein geschlossenes legislatives Konzept, wonach im Vorfeld von Gesundheitsgefährdung und erheblicher Belästigung die Belastungen im Wege der Lärmvorsorge zu mindern sind.

Die für sämtliche Industrie- und Infrastrukturanlagen geltende Regelung des § 50 BImSchG dient vor allem der Vorsorge durch Standortfestlegung. Die Regelung wird von der Rechtsprechung zwar als Optimierungsgebot verstanden (vgl. BVerwGE 71, 163, 165; BVerwG, NVwZ 1989, 152), zugleich bedeutet dies aber, daß der Lärmschutz in der Abwägung relativ leicht überspielt werden kann. Beim Lärm von Industrieanlagen ist nach dem Gesetz Lärmvorsorge geboten (§ 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG); nach Maßgabe einer Verordnung gilt dies auch bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen (§§ 22 Abs. 1, 23 Abs. 1 BImSchG) sowie bei Produktregelungen (§§ 34, 35, 38 BImSchG). In der Praxis spielt die anlagenbezogene Vorsorge mangels Emissionswerten nur eine eher untergeordnete Rolle. Die Anforderungen des Lärmschutzes bei der Planung neuer Straßen und Schienenwege und der wesentlichen Änderung solcher Verkehrsanlagen (§§ 41, 43 BImSchG) durch bauliche Maßnahmen der Lärminderung (aktiver Schallschutz) und Maßnahmen an Gebäuden (passiver Schallschutz) beschränken sich auf den Schutz gegen Gesundheitsgefährdungen und erhebliche Belästigungen. Entsprechendes gilt grundsätzlich auch für den Betrieb von Luftverkehrsanlagen, wenngleich im Rahmen des Abwägungsgebots gegebenenfalls auf eine weitergehende Lärminderung hinzuwirken ist (BVerwGE 56, 110, 122; 75, 214, 232 f.; 87, 332, 342; 107, 319, 330, 332 f.;

BVerwG, NVwZ-RR 1991, 118, 125). Dagegen besitzt die Lärmvorsorge einen besonderen Stellenwert im Recht der allgemeinen räumlichen Planung, insbesondere der Bauleitplanung (§ 1 Abs. 5 Nr. 1, Abs. 6, § 1a Abs. 2 Nr. 1 BauGB); dies kommt in den Planungswerten der DIN 18005 zum Ausdruck.

495. Der Umweltrat weist darauf hin, daß ein anspruchsvoller Schutz gegen erhebliche Belästigungen zugleich der Vorsorge gegen Gesundheitsrisiken durch Lärm dient. Insoweit überschneiden sich beide Konzepte. Gleichwohl erscheint eine Verstärkung des Vorsorgeelements der Politik gegen Lärm geboten, weil der Schutz gegen erhebliche Belästigungen nach Maßgabe der Vorbelastung, der Gebietsqualität und der Bedeutung der Anlage relativiert ist; die Erkenntnisse der modernen Lärmwirkungsforschung belegen, daß insbesondere lang andauernde Lärmbelästigungen zu Streßreaktionen führen, die langfristig gesundheitliche Beeinträchtigungen zur Folge haben können. Deshalb ist eine immissionsbezogene Vorsorge zur Erreichung eines niedrigen Belastungsniveaus erforderlich. Eine strenge Lärmschutzpolitik entspricht den individuellen Präferenzen der Bürger; diese kommen sowohl in Meinungsumfragen als auch in der monetären Bewertung des Lärms auf dem Markt zum Ausdruck, wie sie sich in den Grundstückspreisen widerspiegelt.

Es ist denkbar, den Schutz gegen Lärm durch eine gesetzliche Regelung zu verstärken, wonach bei der Errichtung neuer Straßen und Schienenwege und der wesentlichen Änderung solcher Verkehrsanlagen eine über den Schutz gegen unzumutbaren Lärm hinausgehende Lärmvorsorge zwingend geboten ist. Entsprechend könnten die gesetzlichen Regelungen über die Planung von Luftverkehrsanlagen geändert werden. Allerdings würde zwingende Lärmvorsorge die planerische Gestaltungsfreiheit erheblich einengen und die staatliche Verpflichtung zur Finanzierung von Schallschutzmaßnahmen oder zur Entschädigung stark ausweiten. Zu bedenken ist ferner, daß Lärmvorsorge gegen Gesundheitsrisiken teilweise bereits durch die Abwehr erheblicher Belästigungen erfolgt. Aus diesem Grunde bedarf eine Vermeidung von Lärm im Vorfeld des Schutzes gegen unzumutbaren Lärm einer Abwägung. Der Umweltrat gibt daher einer Lösung den Vorzug, die zum einen das Optimierungsgebot des § 50 BImSchG durch vorsorgebezogene Immissionswerte konkretisiert, deren Erreichen bei den maßgeblichen Standortentscheidungen möglichst anzustreben ist; zum anderen sind auch für planerische Entscheidungen über neue oder wesentlich geänderte Verkehrswege und Flughäfen bei gegebenem Standort, insbesondere für den aktiven Schallschutz, neben zwingenden Schutzwerten Vorsorgewerte als Leitwerte festzulegen, deren Erreichung durch bauliche und verkehrs- oder betriebsregelnde Maßnahmen möglichst angestrebt werden soll. Hierzu sind Gesetzeskorrekturen erforderlich. Die Ermächtigung zur Aufstellung von Vorsorgewerten sollte dabei als zeitlich befristeter Regelungsauftrag ausgestaltet werden.

Bei genehmigungs- und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz ist darüber hinaus eine Weiterentwicklung der TA Lärm

(Ziff. 3.3) dahingehend zu empfehlen, daß für lärmintensive Anlagenkategorien Emissionswerte zur anlagebezogenen Vorsorge aufgestellt werden.

3.5.9.3 Bewertung von Lärm

496. Der äquivalente Dauerschallpegel ist als Leitgröße der Geräuschbeurteilung auf einen bestimmten Beurteilungszeitraum zu beziehen. Das Schutzbedürfnis der Bevölkerung ist im allgemeinen zu den verschiedenen Tageszeiten stark unterschiedlich. Daher scheint ein 24 Stunden-Beurteilungspegel zwar praktikabel, aber, selbst wenn Teilzeiträume nach dem jeweiligen Schutzbedürfnis mit Korrekturen versehen werden, für eine Geräuschbeurteilung kaum geeignet zu sein (BECKENBAUER und SCHREIBER, 1998). Andererseits ist eine zu feine Unterteilung der Beurteilungszeiträume (z.B. eine Stunde oder weniger) für die Praxis zu aufwendig.

Einen Ansatz zwischen diesen Extremen verwendet die neue TA Lärm, die als Beurteilungszeiträume die Zeit am Tage, Zeiten erhöhter Empfindlichkeit, die Nachtzeit sowie die ungünstigste Stunde innerhalb der Nachtzeit festlegt. Bei diesem Verfahren wird für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit, den sogenannten Ruhezeiten, anstatt diesen einen eigenen Richtwert zuzuordnen zwar ein Zuschlag von 6 dB(A) eingerechnet, dieser aber in die Tageszeitbeurteilung integriert, so daß dem Schutzbedürfnis in den Ruhezeiten damit nur unzureichend Rechnung getragen wird.

Es erscheint daher nur konsequent, für die Gesamtbeurteilung ein geeigneteres bzw. ausgewogeneres Beurteilungssystem zu entwickeln. So macht zum Beispiel der TÜV Rheinland (1999) den Vorschlag, die Zeiten erhöhter Empfindlichkeit in die Nachtzeit auszudehnen und eine verkürzte Kernnachtzeit mit höheren Anforderungen festzulegen. Denkbar wäre folgendes Zeitschema: Tageszeit 7 Uhr bis 20 Uhr, Ruhezeiten 5 Uhr bis 7 Uhr und 20 Uhr bis 24 Uhr, Kernnachtzeit 0 Uhr bis 5 Uhr. Derartige Kernzeiten werden bereits bei der Fluglärmbeurteilung diskutiert und auch angewendet. Eine Dreiteilung nach diesem Vorschlag ist an den üblichen Lebensrhythmus des Menschen mit Arbeit, Freizeit und Schlaf angepaßt. Zahlreiche Probleme durch Anwendung des Kriteriums der sogenannten ungünstigsten Stunde gerade in der ersten und letzten Nachtstunde (s. auch BVerwG, NVwZ 1999, 651 zur Bayrischen Biergartenverordnung) könnten mit Hilfe einer derartigen Neuregelung angemessen gelöst werden. Ein derartiges Zeitschema entspricht auch besser dem Tagesgang des Verkehrslärms als dominierender Geräuschquelle und damit angenähert auch dem Zeitverhalten des Gesamtgeräusches.

Eine solche Regelung könnte als eine Aufweichung des geltenden nächtlichen – aber realistischerweise in absehbarer Zeit nicht durchsetzbaren – Lärmschutzes außerhalb der vorgeschlagenen Kernzeiten erscheinen. Der Umweltrat sieht jedoch in einer derartigen Regelung die Möglichkeit eines tatsächlich vollziehbaren Schutzes der Nachtruhe.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß bei Übertragung des TA Lärm-Beurteilungsverfahrens für die Nachtzeit (ungünstigste Stunde) auf andere

Geräuscharten, zum Beispiel auf den Bereich des Verkehrslärms, bei der derzeitigen Schallemissionssituation des Verkehrs kaum lösbare Probleme entstehen würden. Aus diesem Grund müßte bei der Anwendung eines auf die Kernnachtzeit verkürzten Nachtzeitraumes für alle Geräuscharten auf das Beurteilungskriterium „ungünstigste Stunde“ verzichtet werden.

497. Dreißig Jahre sektoral orientierter nationaler und internationaler Lärmschutzpolitik sind geprägt durch ein großes Spektrum unterschiedlicher Meß- und Beurteilungsverfahren für den Außenlärm. Eine Vergleichbarkeit ist kaum gegeben. Ein erster Schritt zur Herstellung der Vergleichbarkeit und damit notwendige Bedingung für eine Gesamtbewertung ist die Entwicklung eines gemeinsamen Verfahrens für die Geräuschbeurteilung, dessen Anwendung möglichst einfach und praktikabel ist. Als zweiter Schritt sind einheitliche Kennwerte für alle Geräuscharten zu entwickeln, wobei unterschiedliche Störgrößen durch geeignete Zuschläge Berücksichtigung finden können. Die Ermittlung der Zuschläge sollte aber für alle Geräuscharten möglichst nach einheitlichen Verfahren vorgenommen werden. Der Umweltrat schlägt daher vor, als Leitgröße einheitlich für alle Geräuscharten den (energie-)äquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} mit dem Äquivalentparameter $q=3$, der Frequenzbewertung A sowie der Zeitbewertung „fast“ zu verwenden (s. Kasten in Tz. 388). Andere Zeit- und Frequenzbewertungen können allenfalls noch zur Ermittlung wirkungsbezogener Korrekturgrößen Verwendung finden. Schließlich müssen für die Beurteilungszeiträume Spitzenpegelkriterien und gegebenenfalls eine Begrenzung der Häufigkeit des Auftretens von Maximalpegeln festgelegt werden. Allerdings sind vor Übertragung der Vorgehensweise auf den Straßen- und Schienenverkehrslärm noch grundlegende wissenschaftliche Untersuchungen erforderlich.

Zur Ermittlung und Bewertung von Fluglärm ist nach Auffassung des Umweltrates zumindest ein EU-einheitliches Berechnungs- und Bewertungsverfahren unter Ersatz des nur im deutschen Fluglärmgesetz enthaltenen Äquivalenzparameters $q=4$ anzustreben. Als Grundlage der – zumindest EU-einheitlichen – Ermittlung und Bewertung von Fluglärm kann das Dokument 29 der European Civil Aviation Conference (ECAC 29) dienen. Dabei sollte als Kenngröße entsprechend den Festlegungen bei anderen Geräuscharten einheitlich der energieäquivalente Mittelungspegel (Äquivalenzparameter $q=3$) eingeführt werden. Die Bewertung ist getrennt für die Beurteilungszeiträume vorzunehmen. Neben dem Mittelungspegel sind auch die Häufigkeit und die Stärke von Fluglärmereignissen (Maximalpegel) zu berücksichtigen. Als zusätzliches Beurteilungskriterium sind die täglich jeweils zehn höchsten Maximalpegel einzubeziehen (BT-Drs. 13/6346). Die zu entwickelnden Bewertungskriterien sind in Stufen an die neueren Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung anzupassen.

Auch Regionalflughäfen, Landeplätze, militärische Tiefflug- sowie andere Übungsgebiete sind in das einheitliche Ermittlungs- und Bewertungsverfahren zu integrieren, um zu einer einheitlichen Bewertung des Fluglärms zu kommen.

3.5.9.4 Technische Maßnahmen zum Schutz gegen Lärm

498. Die Analyse der gegenwärtigen Situation der Lärmbelastung macht deutlich, daß trotz offensichtlich großer Erfolge im Lärmschutz weiterhin Schwerpunktbereiche bestehen, die in der Zukunft weiterer technischer Verbesserungen bedürfen, um die gesundheitlichen Auswirkungen für die betroffene Bevölkerung zu reduzieren. Die Gründe dafür liegen sowohl in der ständigen Zunahme der Verkehrsaktivitäten als auch in den neueren Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung. Im Umweltpolitischen Schwerpunktprogramm wird ein Katalog von Maßnahmen zur Verminderung der Geräuschbelastung durch den Straßenverkehr, den Schienenverkehr, den Flugverkehr sowie Industrie, Baustellen und Geräte aufgestellt (BMU, 1998).

Der Umweltrat geht bei seinen Vorschlägen von der Prämisse aus, daß der Entwicklung von primären Lärminderungsmaßnahmen, d. h. der Schallminderung an der Quelle, höchste Priorität zukommt, da diese überall wirken, während andere Lärmschutzmaßnahmen, d. h. Maßnahmen auf dem Wege von der Quelle zum Wirkungsort, nur lokal wirksam sind.

Straßenverkehrslärm

499. Die Umweltministerkonferenz (UMK) hat in ihrem Grünbuch 1998 bereits einen umfangreichen Katalog von u. a. technischen Maßnahmen vorgelegt, die geeignet sind, die Belastung der Bevölkerung durch den Straßenverkehrslärm zu reduzieren. Dazu gehören z. B. strengere Emissionsvorschriften mit Geräuschgrenzwerten für einzelne Schallquellen, Betriebsvorschriften für den Kraftfahrzeugverkehr mit zeitlichen und örtlichen Betriebsbeschränkungen, Infrastrukturmaßnahmen zur Lärmbekämpfung an den Quellen und auf dem Ausbreitungsweg, Verstärkung und Bündelung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für lärmarme Produkte, Technologien und Verfahren sowie die Durchführung von Informations- und Schulungsmaßnahmen zur Förderung der Akzeptanz und Einhaltung von Lärmschutzvorschriften bzw. für Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer.

Aus dem Bündel dieser technischen Maßnahmen greift der Umweltrat diejenigen heraus, die nach seiner Auffassung vorrangig entwickelt und umgesetzt werden sollten, um die wirkungsseitig formulierten Forderungen nach einer weiteren Absenkung der Lärmbelastung durch den Straßenverkehr (s. Abschn. 3.5.8.1) in einem angemessenen Zeitraum realisieren zu können. Angesichts des wachsenden Verkehrs reichen die bisher erreichten Erfolge nicht aus. Vielmehr bedarf es weiterhin großer Anstrengungen, die spezifischen Lärmemissionen weiter zu senken. Dabei ist freilich zu beachten, daß für Maßnahmen am Fahrzeug das EU-Recht regelmäßig Vorrang besitzt.

Nach Ansicht vieler Fachleute entspricht das zur Zeit angewendete Meßverfahren zur Ermittlung des von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlten Geräusches (DIN ISO 362) nicht mehr den heutigen Anforderungen hinsichtlich Repräsentativität der Meßbedingun-

gen für den praktischen Betrieb, der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und einer den neueren Erkenntnissen angepaßten Meßdurchführung. Aus diesem Grunde wird zur Zeit im Rahmen von Forschungsvorhaben untersucht und diskutiert, wie das Meßverfahren diesen Anforderungen entsprechend zu verändern ist. Der Umweltrat unterstützt diese Bemühungen und fordert einen möglichst zügigen Abschluß der Arbeiten, um die notwendigen und sehr zeitaufwendigen internationalen Diskussions- und Abstimmungsverfahren zur Veränderung des Meßverfahrens in einem überschaubaren Zeitraum zum Abschluß zu bringen.

Auf der Grundlage eines modifizierten Meßverfahrens sind die Grenzwerte für das Fahrgeräusch (zusammengesetzt aus Antriebsgeräusch, Auspuffgeräusch, Rollgeräusch) von Kraftfahrzeugen stufenweise weiter zu verschärfen. Insgesamt scheint je nach Zeithorizont eine Absenkung der Lärmemission von Kraftfahrzeugen (Pkw und Lkw) in Höhe von 5 bis 10 dB(A) realistisch. Diese Verschärfung ist im Rahmen der EU durchzusetzen. Die Forderung ist für alle Kraftfahrzeuge (Pkw, Lkw, Busse und Krafträder) zu stellen und sollte auf der Grundlage der Ergebnisse von Forschungsvorhaben zur Ermittlung des Lärminderungspotentials erfolgen (UBA, 1997). Für den Lkw-Bereich sind dabei höhere Absenkungspotentiale zu realisieren als im Pkw-Bereich. Die Grenzwertabsenkung ist auch deshalb erforderlich, weil das Antriebsgeräusch der Fahrzeuge die dominierende Schallquelle im niedrigen Geschwindigkeitsbereich bildet und auf Innerortsstraßen insbesondere beim Anfahren zu erheblichen Lärmbelastungen der Straßenanwohner führt.

Bei weiter reduzierten Antriebsgeräuschen wird im Geschwindigkeitsbereich ab 50 km/h aufwärts das Abrollgeräusch der Reifen zur dominierenden Geräuschquelle der Kraftfahrzeuge. Während bei der Reifenentwicklung bislang sicherheitstechnische und fahrverhaltensbestimmende Aspekte im Vordergrund standen, muß daher in Zukunft auch der Reifenlärmverminderung eine besondere Bedeutung zukommen. Dabei gilt es, ein Optimum zwischen den unterschiedlichen Anforderungen zu erreichen. Der Umweltrat hält die Zielsetzung der Jury Umweltzeichen zur Absenkung des Abrollgeräusches um 5 dB(A) durch technische Verbesserungen der Reifen für realistisch, hält aber gleichzeitig auch eine Intensivierung der Forschung auf diesem Sektor für notwendig, um weitere Absenkungspotentiale für den Reifenlärm zu erschließen.

Mit der Einführung einer Lärmkennzeichnungspflicht für Reifen kann das Kaufverhalten der Autofahrer positiv beeinflusst und somit das Marktverhalten im Sinne des Umweltschutzes unter wettbewerblichen Bedingungen verbessert werden. Der Kauf sowohl lärmarmer Fahrzeuge als auch lärmreduzierter Reifen kann durch steuerliche Vergünstigungen zumindest in einer befristeten Einführungsphase unterstützt werden, wie dies zur Zeit für die Ausstattung von Kraftfahrzeugen mit fortgeschrittener Abgas-Katalysatortechnik üblich ist.

Parallel zur Entwicklung lärmarmer Reifen ist es nach Auffassung des Umweltrates erforderlich, die Erkenntnisse über den Bau lärmindernder Fahrbahnen stärker

als bisher in den Ausbau des Bundesfernstraßennetzes einzubringen. Mit Vorrang sollte so das Schnellstraßennetz in den Ballungsgebieten bei Ausbau bzw. Sanierung mit lärm mindernden Fahrbahnen ausgestattet werden.

Zur Sicherung der Langzeitstabilität von Schallminderungsmaßnahmen an den Kraftfahrzeugen können die in der Richtlinie 96/96/EG den Mitgliedstaaten eingeräumten Möglichkeiten für die Aufnahme einer Lärmprüfpflicht in die regelmäßige Überwachung von Kraftfahrzeugen genutzt werden.

Schienenverkehrslärm

500. Wegen der zunehmenden europäischen Verflechtung des Schienenverkehrs kann eine nachhaltige Verbesserung der Geräuschsituation nur im Rahmen eines gesamteuropäischen Verkehrskonzeptes erreicht werden. Nur durch ein abgestimmtes Vorgehen der europäischen Bahngesellschaften lassen sich längerfristig merkliche Erfolge erzielen. Daher sind alle Maßnahmen zu unterstützen, die eine internationale Zusammenarbeit fördern, um durch eine Bündelung der Aktivitäten im Bereich Forschung und industrieller Anwendung eine gezielte Innovation und gemeinsame Nutzung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse sicherzustellen.

Dazu sind die im Rahmen des internationalen „Low-Noise-Train“-Projektes der Deutschen Bahn AG mit der Italienischen Staatsbahn, der Österreichischen Bundesbahn und den Schweizerischen Bundesbahnen beschlossenen Entwicklungskonzepte für den Neubau von leisen Güterzügen bis zur Serienreife von besonderer Bedeutung. Auch die Gemeinschaft der Europäischen Bahnen (GEB) hat ein Entwicklungs- und Umrüstungsprogramm zur Emissionsminderung beschlossen. Bei diesem Mehrstufenprogramm sollen sukzessive leisere Bremsen, lärmtechnisch optimierte Radsatzkonstruktionen sowie Fahrwerksverkleidungen zum Einsatz kommen. Schließlich entwickelt die Deutsche Bahn AG in Kooperation mit der französischen und der italienischen Staatsbahn speziell für den Hochgeschwindigkeitsverkehr akustisch optimierte Drehgestellverkleidungen und Hochleistungsstromabnehmer zur Absenkung des Umströmungsgeräusches.

Durch eine Verstärkung der gemeinsamen europäischen Forschung auf dem Bahnsektor müssen die Kenntnisse über die Mechanismen der Geräusentstehung und die technischen Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung ausgeweitet und vertieft werden. In die Untersuchungen sind sowohl der Fahrweg als auch das rollende Material einzubeziehen. Dabei muß der Entstehung und Vermeidung der Riffelbildung auf den Schienen als einer Hauptgeräuschquelle besondere Beachtung gewidmet werden. Die im Hochgeschwindigkeitsverkehr verwendete „feste Fahrbahn“ ist akustisch und schwingungstechnisch weiter zu entwickeln (Absorptionsbeläge, Lagerung der Gleise); die Verbesserungsmaßnahmen sind durch Langzeittests abzusichern. Ebenso sind die aerodynamischen Eigenschaften der Hochgeschwindigkeitszüge zu optimieren.

Insgesamt scheint eine Absenkung der Lärmemission des Schienenverkehrs in Höhe von 10 dB(A) realistisch.

Bei der Bewertung des Schienenlärms ist ebenfalls zu überprüfen, ob die – von der Rechtsprechung bisher grundsätzlich gebilligte (BVerwGE 104, 123, 131; BVerwG, NVwZ 1998, 1071, 1072) – Anwendung des sogenannten Schienenbonus von 5 dB(A) auch für den Hochgeschwindigkeitsverkehr über 200 km/h sowie den schnellen Güterverkehr bei erheblichen Verkehrsbewegungen berechtigt ist. Mit Hilfe vergleichender Feldstudien ist zu überprüfen, ob die Ergebnisse früherer Befragungen der betroffenen Bevölkerung unter den geänderten Randbedingungen des Schienenverkehrs noch relevant sind. Nach Empfehlungen von HAIDER et al. (1992) sollte der derzeit bestehende Schienenbonus von 5 dB(A) schrittweise reduziert werden, wenn bestimmte Voraussetzungen nicht erfüllt sind (z.B. Immissionspegel tags und nachts von L_{eq} über 70 dB(A), durchschnittliche Zugfrequenz von 80 Ereignissen nachts bzw. 160 Ereignissen tagsüber).

Besonders wichtig ist nach Auffassung des Umweltrates die Festlegung von Geräuschemissionszielen für den Schienenverkehr mit Vorgabe konkreter Maßnahmen und Zeithorizonten zu ihrer Realisierung. Dabei ist der Stand der Technik zur Lärminderung ebenso zu berücksichtigen wie die Möglichkeit zur europaweiten Umsetzung.

Luftverkehrslärm

501. Technische Maßnahmen zur Nachrüstung noch im Einsatz befindlicher älterer Triebwerke (z.B. der Einsatz von Schalldämpfern – sogenannten Hush-Kits), die Entwicklung verbesserter Triebwerke und aerodynamische Maßnahmen an Komponenten der Flugzeuge führten in den vergangenen Jahren zu einer deutlichen Minderung der Lärmemissionen von zivilen Flugzeugen. Moderne Flugzeuge unterschreiten die strengsten Lärmzulassungsgrenzwerte erheblich. Dieser Trend wurde durch die Einführung emissionsabhängiger Landegebühren und Flugbeschränkungen noch verstärkt. Allerdings ergab sich wegen der starken Zunahme des Luftverkehrs keine adäquate Reduzierung der Immissionsbelastung.

Entwicklung und Produktion moderner Flugzeuge erfolgen heute in der Regel in einer international operierenden Luftfahrtindustrie unter scharfen Wettbewerbsbedingungen. Die Internationalisierung des Luftverkehrs verlangt gleichzeitig aber nach einer Harmonisierung des Fluglärmschutzes, um Wettbewerbsverzerrungen aus Umweltschutzgründen zu vermeiden. Dies bedeutet wiederum, daß zumindest alle Festlegungen für weitere Grenzwertreduzierungen der Schallemissionen nicht national, sondern international getroffen werden müssen.

In der ICAO sind nahezu alle am internationalen Luftverkehr teilnehmenden Staaten vertreten. Deren Richtlinien bzw. Empfehlungen haben den Vorteil, daß sie international gelten. Die Lärmwerte von Strahlflugzeugen müssen den Anforderungen der ICAO (ANNEX 16) entsprechen. Die derzeit geltenden Grenzwerte werden allerdings für überholt gehalten. Eine Arbeitsgruppe bei der ICAO (ICAO-CAPE) hat die Aufgabe, neue Lärmgrenzwerte zu erarbeiten, die 2000/2001 verabschiedet werden sollen. Der Vorschlag der USA, relativ strenge

Grenzwerte für neue Luftfahrzeuge einzuführen, stößt auf Widerstand seitens der am Airbus beteiligten europäischen Staaten, vor allem Frankreichs, da das ICAO-Meßverfahren Luftfahrzeuge vom Typ Airbus methodisch bedingt benachteiligen soll. Umgekehrt sperren sich die USA gegen eine strengere Regelung für alte Luftfahrzeuge. Auch viele Schwellen- und Entwicklungsländer stehen den vorgeschlagenen Grenzwerten ablehnend gegenüber. Die EU strebt Berichten zufolge eine allgemeine Senkung der ICAO-Lärmgrenzwerte (Lärmemission bei Start und Landung) um 4 dB(A) an.

502. Der Umweltrat fordert daher die Einleitung einer international abgestimmten Initiative unter dem Dach der ICAO zur Entwicklung einer Strategie für eine weitere stufenweise angelegte Grenzwertabsenkung der Geräuschemissionen von zivilen Flugzeugen mit Vorgabe von Zeithorizonten. Die Bundesregierung sollte die Novellierung der Grenzwerte bei der ICAO aktiv unterstützen und dabei die Bündelung der Interessen der EU-Mitgliedstaaten – die EU ist als Beobachter bei der ICAO vertreten – für die Verhandlungen bei der ICAO vorantreiben. Sie sollte dabei auch auf Regelungen für alte Luftfahrzeuge dringen. Zumindest müssen Übergangsregelungen für alte Flugzeuge geschaffen werden. Die zu vereinbarenden Meßverfahren sind so auszugestalten, daß kein Hersteller aufgrund von Eigenschaften des Fluggerätes benachteiligt wird, die für das Ziel des Lärmschutzes unerheblich sind.

Fluggerätebezogene Beschränkungen und Gebührenregelungen sollten sich an den beim Normalflugbetrieb am jeweiligen Flughafen tatsächlich auftretenden Lärmpegeln orientieren; die Werte der Zulassungspegel nach der ICAO-Lärmklassifikation der Flugzeuge erscheinen als Mittelungspegel zu optimistisch. Weiterhin sind feinere Staffelungen für Start- und Landegebühen und eine Differenzierung der Erlaubnis von Starts und Landungen innerhalb und außerhalb einer Kernruhezeit erforderlich.

Darüber hinaus sind die bereits in Anwendung befindlichen Flugverfahren für Start und Landung zur Senkung der Geräusch-Immissionsbelastung entsprechend dem technischen Entwicklungsstand mit Hilfe computeroptimierter Flugrouten und Radarverfolgung zu verbessern.

Industrie-, Gewerbe-, Sport- und Freizeitlärm

503. Im Jahre 1998 hat das Bundesumweltministerium wichtige Ziele und Maßnahmen zur Verminderung der Geräuschbelastung durch Gewerbe, Industrie, Baustellen und Geräte veröffentlicht (BMU, 1998). Dazu zählen insbesondere der Erlaß einer EU-Richtlinie über die Geräuschemissionen von im Freien betriebenen Geräten mit anspruchsvollen Lärmgrenzwerten, die Einführung einer Geräuschkennzeichnung für zahlreiche lärmrelevante Maschinen und Geräte sowie der Erlaß einer besonderen EU-Richtlinie mit Geräuschgrenzwerten nach dem Stand der Technik für Sportboote.

Der Umweltrat hält besonders die Schwerpunktsetzung zur Reduzierung der Geräuschemissionen von Maschinen und Geräten für angemessen; Regelungen für im

Freien betriebene Geräte wie Laubsauger, Häcksler und andere Gartengeräte sind im Hinblick auf deren immer stärkere Verbreitung und ihre zum Teil ganz erheblichen Schallemissionen für die Reduzierung des Nachbarschaftslärms von besonderer Bedeutung. Der Umweltrat fordert die Bundesregierung auf, die dazu notwendige europäische Umsetzung in Form einer EU-Richtlinie aktiv zu betreiben.

Im Bereich Sport- und Freizeitlärm ist neben einer rechtlichen Angleichung der zahlreichen Regelwerke insbesondere eine Anpassung der Meßvorschriften und der Beurteilungsverfahren auf ein einheitliches Qualitätsniveau erforderlich.

3.5.9.5 Geräusche aus verschiedenen Quellen

504. Belastungen durch Geräusche aus verschiedenen Quellenarten werfen schwierige Bewertungs- und Zurechnungsprobleme auf. Zum Bundes-Immissionsschutzgesetz hat sich heute die Meinung durchgesetzt, daß nur eine akzeptorbezogene Betrachtung, die die Auswirkungen aller Kategorien von Lärmquellen auf den Empfänger (Akzeptor) berücksichtigt, dem Schutzanspruch des Gesetzes entspricht (KOCH, 1999, S. 218 ff. und 1990, S. 54 ff.; JARASS, 1999, S. 242 f.; FELDHAUS, 1998, S. 181 ff.). Allerdings ergeben sich bereits aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz auch Argumente für eine Separierung der Geräuscharten; so, wenn Fluglärm aus dem Anwendungsbereich dieses Gesetzes ausgeschlossen wird (§ 2 Abs. 3) oder wenn es für die Festsetzung von Lärmgrenzwerten für Straßen und Schienenwege eine separate Ermächtigung gibt (§ 43).

Die neue TA Lärm hat den Akzeptorbezug nur näherungsweise verwirklicht, indem eine Gesamtbewertung aller dem Bundes-Immissionsschutzgesetz unterliegenden Anlagen sowie des diesen unmittelbar zurechenbaren Verkehrslärms erfolgt, Geräusche aus anderen Quellen (Fremdgeräusche) dagegen ausgeblendet werden. Auch soweit danach die Gesamtlärmbelastung zu berücksichtigen ist, erfolgt durch Irrelevanzklauseln im Rahmen der Regelprüfung – Unterschreitung des Immissionsrichtwertes durch die Zusatzbelastung um 6 dB(A), Überschreitung um 1 dB(A), zeitlichen Aufschub der Einhaltung der Immissionswerte aufgrund der Sanierungsklausel und Überdeckung durch ständig vorherrschende Fremdgeräusche – eine Abschwächung des Akzeptorbezugs. Dies kann sich insbesondere bei Hinzutreten weiterer Anlagen sowie im Fall der Überdeckung, wenn keine tatsächliche, sondern nur eine rechnerische Überdeckung stattfindet, als Abschwächung des Lärmschutzes auswirken (KOCH, 1999, S. 227 ff.; HANSMANN, 1997, S. 58). Ansätze in der Musterverwaltungsvorschrift der Länder von 1995 zu einer weitergehenden Berücksichtigung von Fremdgeräuschen sind nicht aufgegriffen worden.

Die Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV) geht ebenfalls von einem begrenzten akzeptorbezogenen Ansatz aus, indem sie Lärmimmissionen aus allen Sportanlagen mit einem Summengrenzwert belegt (§ 2 Abs. 1). Auch die DIN 18005 verwirklicht den Akzeptorbezug nicht konsequent, weil sie Verkehrslärm und Gewerbelärm nicht zusammen bewertet.

505. Dagegen setzt die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) beim Bau neuer Verkehrswege Lärmgrenzwerte allein für den einem neuen Verkehrsweg zurechenbaren Lärm ohne Berücksichtigung der Belastung durch andere, gleichzeitig gebaute Verkehrswege oder der Vorbelastung aus bestehenden Verkehrswegen fest. Dies gilt auch, wenn die Immissionswerte durch die summierten Geräusche überschritten werden. Bei wesentlichen Änderungen geht die Vorbelastung jedoch in die Erhöhungsformel nach § 1 Abs. 2 S. 1 Nr. 2 und S. 2 der 16. BImSchV ein; es kommt darauf an, ob sich aufgrund des Anstiegs des Lärms durch eine bauliche Änderung dieser mit der Vorbelastung zu einer unzumutbaren Belästigung summiert (VALLENDAR, 1999, S. 258). Auch wenn bei Neuanlagen umgekehrt auch die schutzmindernde Wirkung der Vorbelastung auf der planerischen Stufe des Lärmschutzes entfällt und allenfalls bei der Prüfung der Verhältnismäßigkeit nach § 41 Abs. 2 BImSchG zu berücksichtigen ist, bleibt diese segmentierende Betrachtungsweise noch hinter dem bisherigen Richterrecht – das auch heute noch für die Bewertung des Lärms von Flugplätzen gilt – zurück; danach sind zwar nur die der betreffenden Quelle zurechenbaren Geräusche zu berücksichtigen, für die Bewertung der Geräusche findet jedoch insofern eine generelle Gesamtbetrachtung statt, als stets zu prüfen ist, ob in der Zusatzbelastung durch die hinzutretende oder geänderte Quelle – bei Berücksichtigung der schutzmindernden Vorbelastung – eine unzumutbare Belastung liegt (BVerwGE 52, 226, 236; 59, 253, 268; 87, 332, 358).

Die segmentierende Betrachtungsweise der Verkehrslärmschutzverordnung ist insbesondere bei der aus Gründen des Naturschutzes und der Landschaftspflege erwünschten Bündelung von Verkehrswegen, z.B. Straße und Schiene, umweltpolitisch problematisch. Im Schrifttum hält man wegen der Diskrepanz zwischen dem Ansatz der Verkehrslärmschutzverordnung und dem Mandat der §§ 41, 43 BImSchG zum Teil eine gesetzeskonforme Auslegung für geboten, wonach die Gesamtbelastung durch eine ergänzende Einzelfallbewertung zu berücksichtigen sei (JARASS, 1999, S. 242 f.; FELDBAUS, 1998, S. 185 f.; SILAGI, 1997, S. 278). Jedenfalls soll im Vorfeld der Gesundheitsgefährdung bei ganz erheblicher Erhöhung der Gesamtbelastung eine Korrektur erfolgen können (JARASS, 1999, ebd.). Das Bundesverwaltungsgericht (BVerwGE 101, 1, 4 ff.; krit. KOCH, 1999, S. 225 ff.) ist jedoch der Ansicht, daß die Festsetzung von Lärmgrenzwerten allein für den einem neuen Verkehrsweg zurechenbaren Lärm ohne Berücksichtigung der Vorbelastung aus bestehenden Verkehrswegen mit der gesetzlichen Ermächtigung nach § 43 BImSchG vereinbar sei; das Gericht hält allerdings bei gesundheitsgefährdendem Lärm eine Korrektur über die verfassungsrechtliche Schutzpflicht aus Artikel 2 Abs. 2 S. 1 GG für möglich und notwendig.

Beim Umgang mit Geräuschen aus verschiedenen Quellen sind Fragen der Bewertung und der Zurechnung zu trennen.

Bei gleichartigen Geräuschen erscheint dem Umweltrat über die bestehenden Ansätze der TA Lärm, der Sportanlagenlärmschutzverordnung und der DIN 18005 hin-

aus eine summative Betrachtungsweise geboten. Sie ist auch bei ungleichartigen Geräuschen nicht völlig ausgeschlossen. Wie unter 3.5.9.3 dargelegt (Tz. 496 ff.), ist für die Bewertung von Lärm die Entwicklung einheitlicher Bewertungsverfahren und davon abgeleiteter Kennwerte anzustreben. Mit Hilfe derartig ermittelter Kennwerte ist durch energetische Addition die Gesamtbewertung auch von gemeinsam einwirkenden ungleichartigen Geräuschen möglich. Die so gewonnenen Beurteilungspegel für die Gesamtlärmbelastung in den jeweiligen Beurteilungszeiträumen sind in erster Linie für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdung maßgeblich, da es hierfür vor allem auf die Lautstärke ankommt. Möglicherweise führt die energetische Addition zu einer Überschätzung der Gesundheitsgefährdung. Dies ist aber aus Gründen der Vorsorge hinzunehmen. Unterhalb der Werte zur Kennzeichnung der Gesundheitsgefährdung sollten dagegen zunächst weiterhin geräuschartspezifische Immissionsrichtwerte festgesetzt werden. Ergänzend ist freilich nach dem Vorgehen der Musterverwaltungsvorschrift von 1995 und Vorschlägen im Schrifttum eine Einzelfallprüfung zu erwägen, bei der auf Schutzwürdigkeit, Grad der Lästigkeit und Verursachungsanteil abzustellen ist. Maßgeblich sollten nach der Musterverwaltungsvorschrift insbesondere die Nutzung des Grundstücks, die Prägung der Geräuschquellen, die Nutzungsgeschichte, die jeweiligen Lärmanteile, die Dauer und Lästigkeit des Lärms, die Akzeptanzbereitschaft der Betroffenen und die Möglichkeiten passiven Lärmschutzes sein. Bei Altanlagen sollten weitere Einschränkungen unter dem Gesichtspunkt des Bestandsschutzes erfolgen. Ein früherer Entwurf der TA Lärm wollte dagegen eine abstrakt-generelle Summenbetrachtung auch bei Fremderäuschen einführen. Mangels ausreichender Bewertungsansätze erscheint dem Umweltrat eine Einzelfallprüfung auf jeden Fall vorzugswürdig.

506. Die andere zu entscheidende, aber bislang noch nicht gelöste Frage ist die nach der Zurechnung – und als deren Konsequenz – der Kostenbelastung für entsprechende Maßnahmen der Lärminderung. Hier hatte die Musterverwaltungsvorschrift von 1995 eine Zurechnung nach Verursachungsanteilen im Wege der Zuteilung von Lärmkontingenten vorgeschlagen. Unter Effizienzgesichtspunkten sowie im Hinblick auf das Verursacherprinzip erscheint dies zunächst als eine angemessene Lösung; unter ökonomischen Gesichtspunkten gilt dies allerdings nur, wenn im Einzelfall die Quelle, die der beste Kostenvermeider ist, auch zu weitergehenden Emissionsminderungen veranlaßt werden kann als ihrem Anteil entspricht. Jedoch ist eine vorausschauende Kontingentierung bei der Genehmigung von Neuanlagen nicht mit dem im Bundes-Immissionsschutzgesetz angelegten Prioritätsgrundsatz vereinbar, wonach – vorbehaltlich von Vorsorgemaßnahmen nach dem Stand der Technik – der „Belastungsraum“ ausgeschöpft werden kann; eine vorausschauende Kontingentierung, die einen Freiraum für neu hinzutretende Anlagen schafft, läßt sich nur ausnahmsweise als Ableitung aus einer Gefahrenprognose rechtfertigen (OVG Münster, DVBl. 1984, 473, 475; PETERSEN, 1993, S. 56 f., 180 ff.). Beim Zusammenreffen von Neu- und Altanlagen ergeben sich Grenzen für eine Kontingentierung insbesondere aus dem Be-

standsschutz der Altanlagen. Zwar ist es an sich zulässig, für Neuanlagen einen „Belastungsraum“ zu schaffen, indem Altanlagen Emissionsminderungen nach dem Stand der Technik auferlegt werden. Jedoch findet dies seine Grenze an der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen. Da es nicht ohne weiteres um eine Verbesserung der Lärm-situation, sondern um Neuansiedlung von Anlagen bei gegebenenfalls gleichbleibendem Lärmniveau geht, besitzen die Bestandsschutzinteressen der Altanlagen ein erhebliches Gewicht. Die TA Lärm enthält zu dieser Fallkonstellation keinerlei Vorschriften; die in Nr. 5.1 genannten Kriterien passen nicht.

Noch schwieriger gestalten sich indessen die Zurechnungsprobleme beim Verkehrslärm und beim Zusammentreffen von industriellem und Gewerbelärm mit Verkehrslärm. In ersterem Fall hat die Rechtsprechung eine „Verantwortungsgemeinschaft“ aller mitursächlichen Emittenten bisher grundsätzlich abgelehnt (BVerwGE 52, 226, 236; 59, 253, 268; 87, 332, 358). Eine Anlastung der Reduzierungspflicht bei summiertem Lärm allein an die Neuanlage (so STRICK, 1998, S. 39) ist nach Auffassung des Umweltrates aus den oben genannten Gründen nicht sinnvoll; sie könnte dazu führen, daß aus anderen Gründen erwünschte neue Verkehrsanlagen verhindert würden. Das Zurechnungsproblem wäre daher nur durch Einführung von Sanierungspflichten für bestehende Straßen, Schienenwege und Luftverkehrsanlagen im Wege der Gesetzesänderung zu begründen, wie sie der Umweltrat vorschlägt (Tz. 495). Bei dieser Gelegenheit sollte die Geräuschbelastung durch mehrere Verkehrsanlagen aufgegriffen werden. Beim Zusammentreffen verschiedener Geräuschquellenarten erweisen sich die unterschiedlichen Zuständigkeiten als ein schwer überwindbares Problem, das indessen durch Kooperationspflichten der beteiligten Behörden – oder nach den Vorschlägen der Musterverwaltungsvorschrift von 1995 – durch Zuteilung fiktiver Lärmkontingente und auf diese begrenzte Sanierungspflichten gelöst werden könnte.

Insgesamt ist der Umweltrat der Auffassung, daß beim Problem der Lärmsummation noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich Bewertung und Zurechnung (Kostenanlastung) bestehen und daher diesem Problem künftig mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muß (vgl. schon SRU, 1996, Tz. 504). Die dazu bereits vorhandenen Regelungen der TA Lärm, der 18. BImSchV und des Fluglärmsgesetzes bedürfen der Fortentwicklung. Dabei sollten Gesundheitsgefährdungen zunächst im Vordergrund stehen. Für diese gebietet die aus Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG abgeleitete Schutzpflicht des Staates eine akzeptorbezogene Betrachtungsweise, und bei dieser Konstellation erscheinen die auf Bestandsschutz und allgemein auf eine angemessene Lastenverteilung bezogenen Interessen der jeweiligen Mitverursacher weniger schutzwürdig als im Fall bloßer erheblicher Belästigungen.

507. Der Umweltrat ist sich dessen bewußt, daß zur Umsetzung eines weitergehenden Regelungskonzeptes für alle Geräuscharten zunächst eine Klärung der aufgeworfenen offenen Bewertungsfragen aus technischer, wirkungsseitiger und rechtlicher Sicht zu erfolgen hat. Er

schlägt zu diesem Zweck die Einrichtung eines Forschungsschwerpunkte setzenden Programms vor. Im Rahmen dieses Programms sollten durch einen integralen Ansatz der fachlichen Themenschwerpunkte und interdisziplinär ausgerichtete Zusammenarbeit die wissenschaftlichen Grundlagen für eine mittelfristige Neuorientierung der Lärmschutzpolitik erarbeitet werden, die auf der Grundlage einer Gesamtbetrachtung langfristig zu einer nachhaltigen Verbesserung der Belastungssituation durch summierte Lärmeinwirkungen führt. Dieser Forschungsschwerpunkt sollte eine besondere Ausrichtung auf die Verkehrslärmbewertung und -minderung erhalten. Die Lärmwirkungsforschung ist dabei in besonderem Maße gefordert, als Grundlage für eine zukunftsorientierte Lärmstrategie wissenschaftlich abgesicherte Kriterien für die Lärmbewertung der unterschiedlichen Geräuscharten zu entwickeln.

3.5.9.6 Planung zur Vermeidung und Verminderung von Lärm

508. Im Bereich des planerischen Lärmschutzes kommen zunächst auf Verkehrsvermeidung und Umlenkung des Verkehrs auf umweltfreundlichere Verkehrsträger abzielende generelle Maßnahmen in Betracht. Der Umweltrat hat hierzu für den Straßenverkehr in seinen vorangegangenen Gutachten (SRU, 1996 und 1994) Vorschläge gemacht, die vor allem auf den Einsatz marktbezogener Anreize setzen. Auf regionaler und örtlicher Ebene vermag auch Verkehrsentwicklungsplanung eine Verkehrsverlagerung auf Verkehrsträger zu fördern, die mit geringeren Lärmbelastungen verbunden sind; mit dem Gesetz zur regionalen Verkehrsentwicklung von 1993 sind Möglichkeiten gegeben, auch bei einer unter Wettbewerbsgesichtspunkten erfolgenden Privatisierung des Öffentlichen Personennahverkehrs ein Mindestangebot sicherzustellen. Für den Flugverkehr sollte eine Verlegung des Kurzstreckenverkehrs auf den Schienenverkehr angestrebt werden; auch insoweit ist marktnahen Lösungen der Vorzug zu geben.

Darüber hinaus kommt der Verkehrswege- und Flughafenplanung eine besondere Bedeutung zu. Konzeptionell bieten die maßgeblichen gesetzlichen Regelungen mit der Rangfolge von planerischer „Lärmvorsorge“ durch Entscheidungen über den Standort und die Dimensionierung der Anlage, über aktiven Lärmschutz durch bauliche Maßnahmen, passiven Lärmschutz und Entschädigung an sich gute Voraussetzungen für einen effektiven Lärmschutz. Allerdings gilt dies nur mit erheblichen Einschränkungen für die Flughafenplanung, bei der ein „Normierungsdefizit“ hinsichtlich zwingender Anforderungen zum Schutz gegen Gesundheitsgefahren und erhebliche Belästigungen besteht (CZYBULKA, 1999, S. 127; HERMANN, 1994, S. 281 f.).

Trotz eines erheblichen dogmatischen Aufwandes von Rechtsprechung und Rechtswissenschaft – Entwicklung eines gestuften Konzepts von Planungsregeln mit bindenden Planungsleitsätzen, Optimierungsgebots und einfachem Abwägungsgebot sowie der rechtsstaatlichen Durchdringung des Abwägungsgebots (STEINBERG, 1993, S. 169 ff.) – ist das Potential des Fachplanungsrechts, umweltbeeinträchtigende Verkehrsplanungen zu

verhindern, begrenzt geblieben. Wenngleich im Fall von Umgehungsstraßen hiervon bisweilen auch der Lärmschutz profitiert hat, so ist doch durch den starken Zubau an neuen Verkehrswegen und Ausbau von Flughäfen sowie die Erhöhung der Verkehrsleistungen die Zahl der lärmbelasteten Bürger in der Gesamtbevölkerung eher gewachsen (Tz. 388). Die Finanznot der öffentlichen Hand hat sich als ein weitaus wirksames Mittel gegen die ungezügelt Ausweitung der Verkehrsinfrastruktur erwiesen als Rechtsregeln zum Schutz der Umwelt.

Im Hinblick auf die Defizite der Verkehrswege- und Flughafenplanung unterstützt der Umweltrat die Vorschläge des Kommissionsentwurfs zu einem Umweltgesetzbuch (§§ 530-536), die auf die Schaffung restriktiver Voraussetzungen für die Ausübung des Planungsermessens im Bereich der Verkehrsanlagenplanung, des Raumordnungsverfahrens und des Verfahrens der planerischen Vorhabengenehmigung (Planfeststellung) hinauslaufen (vgl. zur Begründung UGB-KomE, 1998, S. 1331 ff.). Darüber hinaus fordert der Umweltrat, wie bereits dargelegt, neben zwingenden Schutzwerten die Aufstellung von Vorsorgewerten als Richtwerte für die Standortplanung und den aktiven Schallschutz. Derartige Regelungen sind nicht nur auf der Ebene von Verkehrsanlagen in der Baulast des Bundes und der Deutschen Bahn AG, sondern auch von solchen auf der Ebene der Länder, Kreise und Gemeinden erforderlich. Schließlich muß das Normierungsdefizit der Flughafenplanung beseitigt werden; die herausragende Verkehrsbedeutung von Flughäfen vermag eine kategorische Sonderstellung auf Kosten des Lärmschutzes nicht zu rechtfertigen. Es sind Grenz- und Richtwerte für die Planung, den Bau und die wesentliche Änderung von Flughäfen festzusetzen. Einer Korrektur bedürfen auch die restriktiven Tendenzen in der Rechtsprechung (BVerwGE 87, 332, 343 f.) hinsichtlich der Auferlegung betriebsregelnder Maßnahmen wie Lärmkontingente an den Flughafenbetreiber, die die Belastungskapazität in der Umgebung von Flughäfen konkretisieren (HERMANN, 1994, S. 322; STEINBERG und BIDLINGER, 1993, S. 282 ff.).

Für die Umgebung von Flughäfen und Flugplätzen ist der Lärmvorsorge in Zukunft über das heutige Maß hinaus im Rahmen der Raumordnung und Flächennutzungsplanung Rechnung zu tragen. Dazu müssen vermehrt Lärmschutzbereiche z.B. im Rahmen von Raumordnungsprogrammen, Landesentwicklungsplänen und Regionalplänen, die über die Schutzzonen nach dem Fluglärmgesetz hinausreichen, ausgewiesen werden (vgl. Fluglärmleitlinie des LAI, 1997; MKRO, 1998).

Der Umweltrat regt an, die Flughafenlärm-Leitlinie zur Grundlage einer Novellierung des fast 30 Jahre alten Fluglärmgesetzes zu machen. Ein entsprechender Entwurf liegt bislang nicht vor. Allerdings wurde für August 1999 ein Referentenentwurf aus dem BMU angekündigt. Als Schwerpunkte werden weiter eine Verbesserung des allgemeinen Schutzniveaus im Sinne der Weitergabe des durch Emissionsminderung an Verkehrsflugzeugen erreichten technischen Fortschritts an die Bevölkerung die Einführung einer gesonderten Nachtschutzzone bei Flughäfen und eine Harmonisierung der zur Bewertung des Fluglärms verwendeten Ermittlungs- und Beurtei-

lungsmethoden mit den in anderen Bereichen der Lärmbekämpfung üblichen Verfahren genannt (TRITTIN, 1999, pers. Mitt.). Die Details dieses Entwurf sind noch nicht bekannt. Die Vorschläge der Flughafenlärm-Leitlinie bietet im Hinblick auf die Nachtflugbeschränkungen vernünftige Ansätze für eine Novellierung. Grundsätzlich wird auch die Anpassung des Äquivalenzparameters $q = 3$ begrüßt, um insbesondere eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Lärmquellen zu erreichen. Allerdings sind Entschädigungsregeln, soweit die Veränderung des Äquivalenzparameters grundsätzlich überhaupt neue Entschädigungspflichten auslösen würde, differenziert auszugestalten. So erscheint es vernünftig, Entschädigungen nach Änderung des Äquivalenzparameters nur für Neubebauung und für Bauverbote im Sinne von § 8 Abs. 1 Fluglärmgesetz, die nach der Änderung erlassen werden, zu gewähren. Die Einführung der sogenannten 100 %-Regelung ist im einzelnen noch umstritten; es ist jedoch zu erwägen, die Berechnung nach dem Fluglärmgesetz dahingehend anzupassen, daß auch Gebiete, die nur zeitweise – die etwa außerhalb der Hauptstartrichtung liegen – von Fluglärm betroffen sind, im Wege der Mittelung berücksichtigt werden. Die Entschädigungsregeln wären im Hinblick auf die sogenannte 100 %-Regelung gegebenenfalls differenziert auszugestalten. Der Umfang der Entschädigung könnte sich zum Beispiel an dem zeitlichen Umfang der mit dem Fluglärm einhergehenden Beeinträchtigungen orientieren. Einer völligen Gleichstellung von Militärflughäfen mit zivilen Flughäfen steht der Umweltrat ablehnend gegenüber. Er hält es vielmehr angesichts der unterschiedlichen Belastungen, die von den verschiedenen Flughafenarten ausgehen, für angemessen, einen eigenen Abschnitt für Militärflughäfen mit gesonderten Entschädigungsregeln aufzunehmen.

509. Da bei den meisten Sport- und Freizeitaktivitäten das Emissionsminderungspotential gering ist, kommt hier den städtebaulichen Maßnahmen in Form von ausreichenden Schutzabständen besondere Bedeutung zu. Die Entwicklung einer Abstandsliste für den Bereich Sport- und Freizeitlärm kann dabei als wichtige Grundlage planerische Entscheidungen unterstützen.

3.5.9.7 Sanierung bestehender Anlagen

510. Im Gegensatz zu Anlagen, die dem Bundes-Immissionsschutzgesetz unterliegen (§§ 17, 25 BImSchG), sehen die gesetzlichen Regelungen eine Sanierung bestehender Verkehrsanlagen nicht vor. Allerdings lösen wesentliche bauliche Änderungen von Straßen- und Schienenwegen eine dem Umfang nach begrenzte Sanierungspflicht aus. In der 8. Legislaturperiode war der Entwurf des Verkehrslärmschutzgesetzes, das auf der Grundlage von Zumutbarkeitswerten die Sanierungspflichten dem Träger der Straßenbaulast für bestehende Straßen vorschreiben wollte, im Hinblick auf die weitreichenden finanziellen Folgen dieser Pflichten am Widerstand des Bundesrats gescheitert. Für Straßen in der Baulast des Bundes und eines Teils der Länder (zu den Kommunen s. Abschnitt 3.5.8.1) gibt es „freiwillige“ haushaltsrechtliche Regelungen, die – nach Maßgabe der Verfügbarkeit von Mitteln – Sanierungslasten

des Staates begründen. Die Verkehrslärmschutzrichtlinien 1997 des Bundes sehen je nach Gebietscharakter – Wohngebiet, Mischgebiet und Gewerbegebiet – Sanierungswerte für den Tag und die Nacht von 70/60 dB(A), 72/62 dB(A) und 75/65 dB(A) vor; im Gegensatz zu § 41 BImSchG gilt aktiver und passiver Schallschutz als gleichrangig. Im Bereich des Fluglärms ist unabhängig davon, ob eine Verkehrserhöhung durch eine bauliche Maßnahme oder den Anstieg der Verkehrsbewegungen verursacht wird, eine Neufestsetzung der Lärmschutzbereiche vorzunehmen, wenn die Lärmbelastung um 4 dB(A) gestiegen ist (§ 4 Abs. 2 FluglärmG). Aufgrund der hohen Grenzwerte für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen hat dieses „Sanierungskonzept“ aber nur eine begrenzte Bedeutung. Die Rechtsprechung hält eine Sanierung von bestehenden Verkehrsanlagen nur für geboten, wenn der von ihnen ausgehende Lärm zu Gesundheitsgefährdungen oder schweren und unerträglichen Lärmbelastungen führt. Unzumutbarer Lärm unterhalb dieser Schwelle begründet danach keine Sanierungspflicht (BVerwGE 59, 253, 267; 71, 150, 155; 104, 123, 143; 107, 350, 356 f.; BVerwG, NVwZ-RR 1991, 129, 133).

Dieser Rechtszustand, der den Lärmschutz fast völlig von fiskalischen Erwägungen abhängig macht, ist auch unter dem Vorzeichen knapper gewordener Haushaltsmittel auf Dauer nicht akzeptabel. Die Verweigerungshaltung der Fiskalpolitik entfernt sich nicht nur von den individuellen Präferenzen einer Vielzahl der Bürger. Vielmehr gebietet auch die Schutzpflicht aus Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG ein angemessenes Vorgehen gegen Lärmbelastungen durch Altanlagen, jedenfalls soweit sie im Grenzbereich zur Gesundheitsgefährdung liegen, was bei langandauernden erheblichen Belästigungen im medizinischen Sinne zu erwarten ist (SCHULZE-FIELITZ, 1993, S. 519; SILAGI, 1997, S. 277; BVerfGE 56, 54, 77 f.; vgl. aber BVerwGE 74, 234, 235; 104, 123, 143). Da insbesondere sozial Schwächere von unzumutbarem Lärm betroffen sind, ist ein Abbau der Lärmbelastung auch ein Gebot des Sozialstaates.

Im Konflikt zwischen dem umweltpolitisch Erforderlichen und dem wirtschaftlich Vertretbaren stellt der Umweltrat eine Ausdehnung des in § 47a BImSchG angelegten Planungsansatzes zur Diskussion. In der jüngsten Vergangenheit sind wiederholt Forderungen nach einer Lärmsanierung nach Maßgabe von Prioritäten erhoben worden (DAL, 1996; UMK, 1996). Ein entsprechender Antrag des Landes Nordrhein-Westfalen im Bundesrat im Jahre 1996 ist nur mit knapper Mehrheit abgelehnt worden. Nach den Vorstellungen des Umweltrates könnten durch gesetzliche Regelungen des Bundes und der Länder grundsätzliche Sanierungspflichten des Bundes, der Länder, der Deutschen Bahn AG, der Betreiber von Flughäfen, der Kreise und Gemeinden nach Maßgabe von Lärminderungsplänen begründet werden. In den Plänen, die auf der Ebene des Bundes

und der Länder aufzustellen sind, sollte die Grundlage für ein planmäßiges, koordiniertes Vorgehen zur schrittweisen Sanierung stark belasteter Verkehrsanlagen einschließlich Flughäfen gelegt werden. Es wären nach Maßgabe von Sanierungszielwerten – zunächst 65/55 bzw. 62/55 dB(A) für Wohngebiete – Prioritäten festzulegen und entsprechende Zeitpläne aufzustellen; ein gesetzlicher Endtermin für die Sanierung könnte einem dilatorischen Verhalten entgegenwirken. Ob eine weitere Absenkung auf Werte von 54/45 dB(A) in Betracht kommt, bedarf näherer Prüfung, insbesondere im Hinblick auf die technischen Möglichkeiten und gesamtwirtschaftlichen Folgen. Eine Schutzminderung durch Vorbelastung sollte grundsätzlich nur auf der Zeitachse durch zeitliche Streckung der Sanierungslast hingenommen werden. Die Einhaltung der Nachtwerte sollte auch für Mischgebiete angestrebt werden. Ein bestimmter Anteil des Budgets der Träger der Straßenbaulast für den Straßenbau sollte als Sanierungsmasse gewidmet werden; entsprechende Regelungen sollten für andere Verkehrsanlagen gelten. Übergeordnete Pläne müßten vorliegende Planungen auf kommunaler Ebene nach § 47a BImSchG berücksichtigen. Für die kommunalen Lärminderungspläne sollte eine grundsätzliche Anpassungspflicht bestehen; diese Pläne müssen weiterhin ihre Bedeutung zur Durchsetzung örtlicher Schwerpunkte der Lärmsanierung behalten und können insbesondere weitergehende Maßnahmen vorsehen. Abgesehen von Anlagen in der Baulast des Bundes, des Landes, der Deutschen Bahn AG oder der Träger von Flughäfen könnten die Maßnahmen zur Durchführung der Pläne den Kreisen und Gemeinden überlassen werden. Bei Verkehrswegen sollten neben baulichem aktivem Schallschutz (etwa durch Lärmschutzwände) auch verkehrsregelnde und widmungsbeschränkende Maßnahmen wie etwa Geschwindigkeitsbeschränkungen, Entmischung des Verkehrs durch Lkw-Verbote oder Verkehrsberuhigung vorgesehen werden. Bei Flughäfen kommen insbesondere Lärmkontingente und Nachtflugbeschränkungen in Betracht. Entgegen der Verkehrslärmschutzrichtlinie 1997 sollte am Vorrang des aktiven vor dem passiven Schallschutz festgehalten werden. Zur Durchführung der Pläne wären „Öffnungsklauseln“ in den entsprechenden gesetzlichen Regelungen zu schaffen.

Dieser Vorschlag unterscheidet sich von dem gescheiterten Verkehrslärmschutzgesetz der 8. Legislaturperiode darin, daß den Betroffenen kein unbedingter Anspruch auf Lärmsanierung gewährt wird, sondern eine schrittweise Sanierung nach Maßgabe planerisch festgelegter Praktiken erfolgt, auf die die Betroffenen keinen individuellen Anspruch haben. Obwohl die Sanierungszielwerte anspruchsvoller ausgestaltet sind, ist nach Auffassung des Umweltrates zu erwarten, daß mit diesem flexiblen Vorgehen die in erster Linie fiskalisch motivierten Blockaden einer entschiedenen Lärmsanierung überwunden und der Leidensdruck der betroffenen Bevölkerung abgebaut werden kann.

Kapitel 3.5

ACKERMANN-LIEBRICH, U., BOILLAT, M.-A., BRAUN-FAHRLÄNDER, C. et al. (1999): Physische Umwelt und Gesundheit. – In: GUTZWILLER, F., JEANNERET, O. (Hrsg.): Sozial- und Präventivmedizin/ Public Health. – Bern: Hans Huber. – S. 431–468.

ALTURA, B.M., ALTURA, B.T., GEBREWOLD, A. et al. (1993): Extraaurale Wirkungen chronischer Lärmbelastung auf Blutdruck, Mikrozirkulation und Elektrolyte bei Ratten: Beeinflussung durch Mg^{2+} . – In: ISING, H., KRUPPA, B. (Hrsg.): Lärm und Krankheit – Noise and Disease. – Stuttgart: Gustav Fischer. – Schriftenreihe Verein WaBoLu 88. – S. 65–90.

Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn, Deutsche Bahn AG, 1995, Geschäftsbereich Netz, 15.10.1995.

ARENS, H. (1976): Untersuchungen zur Ermittlung von Lärmgrenzwerten für erwerbstätige Schwangere. – Essen, Gesamthochschule. – Dissertation.

ARO, S. (1984): Occupational stress, health-related behaviour and blood pressure: A 5 year follow-up. – Prev. Med. 13, 333–348.

- BABISCH, W. (1998): Epidemiological studies of cardiovascular effects of traffic noise. - In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects. - 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 22-26th Nov. 1998. - Vol. 1. - Sydney: Noise effects 98 PTY Ltd. - S. 221-229.
- BABISCH, W., ISING, H., ELWOOD, P.C. et al. (1993a): Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, second phase: Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease. - Archives of environmental health 48, 406-413.
- BABISCH, W., ELWOOD, P., ISING, H. (1993b): Road traffic noise and heart disease risk: results of the epidemiological studies in Caerphilly, Speedwell and Berlin. - In: VALLET, M. (Ed.): Noise and man. Noise as a Public Health Problem. - Proceedings of the 6th International Congress. - Vol. 3. - Lyon: Actes INRETS No 34 bis. - S. 260-267.
- BABISCH, W., ISING, H., KRUPPA, B., WIENS, D. (1994): The incidence of myocardial infarction and its relation to road traffic noise: the Berlin case-control studies. - Environment International 20, 469-474.
- BABISCH, W., ISING, H., GALLACHER, J.E.J. et al. (1998): The Caerphilly and Speedwell Studies, 10 year follow-up. - In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects - 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 22-26th Nov. 1998. - Vol. 1. - Sydney: Noise Effects '98 PTY Ltd. - S. 230-235.
- BECKENBAUER, Th., SCHREIBER, L. (1998): Kennzeichnung von Schallmissionen. - Zeitschrift für Lärmbekämpfung 45, 196-197.
- BECKERS, J.H. (1999): Zur Schalldifferenz außen/innen bei geöffneten Fenstern - Meßergebnisse aus Geräuschgutachten. - Bundesvereinigung gegen Fluglärm e.V. - Merkblatt LT001.
- BEDER, H. (1998): Wirtschaftliche und ökologische Folgewirkungen des Luftverkehrs in NRW. - Stellungnahme von Prof. Dr.-Ing. Heinrich Beder (BeCo, Beder Consult) auf einer öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Zukunft der Mobilität“, Düsseldorf, am 21. Oktober 1998.
- BELLI, S., SANI, L., SCARFICCIA, G., SORRENTINO, R. (1984): Arterial Hypertension and Noise: A Cross-Sectional Study. - American Journal of Industrial Medicine 6, 59-65.
- BERGLUND, B., JOB, R.F.S. (1996): Theory and method in perceptual evaluation of complex sound. - In: FASTL, H., KUWANO, S., SCHICK, A. (Hrsg.): Recent trends in hearing research. - Festschrift für Seiichiro Namba. - Oldenburg: BIS. - S. 215-240.
- BERGLUND, B., LINDVALL, Th. (1995): Community Noise. - Archives of the Centre of Sensory Research. - Stockholm. (Für die WHO erarbeitete Dokumentation)
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland: Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms. - Bonn: BMU. - 150 S.
- BOIKAT, U., NEUS, H., SAGUNSKI, H. (1998): Lärmbedingte Infarkttrisiken im Vergleich zu anderen umweltbedingten Gesundheitsrisiken. - Umweltmedizin in Forschung und Praxis 3 (4), 217.
- BRINI, D., RATTI, R., TORRICELLI, P.A., CIRLA, A.M. (1983): Epidemiological study of the prevalence of arterial hypertension in subjects exposed to continuous and impulse noise. - In: ROSSI, G. (Ed.): Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem. - Milano: Edizioni Tecniche a cura del Centro Ricerche E Studi Amplifon - Vol. 1. - S. 671-675.
- BULLINGER, M. (1998): Bewertung von Lärm aus psychologischer Sicht. - Umweltmedizin in Forschung und Praxis 3 (4), 201-202.
- BULLINGER, M. (1999): Die Münchner Fluglärmstudie: Ein Kurzbericht über die Studienergebnisse. - persönl. schriftl. Mitteilung.
- BULLINGER, M., HYGGE, S., EVANS, G. W. et al. (1998/99): The Psychological Cost of Aircraft Noise for Children. - Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin 202 (2-4), 127-138.
- CLARK, C.R. (1984): The effects of noise on health. - In: JONES, D.M., CHAPMAN, A.J. (Eds.): Noise and society. - Chichester: Wiley. - S. 111-124.
- COHEN, S., KRANTZ, D.S., EVANS, G.W., STOKOLS, D. (1981): Cardiovascular and behavioural effects of community noise. - American Scientist 69, 528-535.
- COHEN, S., EVANS, G.W., STOKOLS, D. et al. (1986): Behaviour, health and environmental stress. - New York, London: Plenum Press.
- CZYBULKA, D. (1999): Die rechtliche Bewältigung der Fluglärmproblematik. - Umwelt- und Planungsrecht 9, 126-129
- DAL (Deutscher Arbeitsring für Lärm) (1996): Lärm-Report 1996, S. 47.
- DEUTSCHE BAHN (1997/98): Auf dem Weg zu leisen Zügen - Ein Auszug aus Lärmschutzprojekten der Deutschen Bahn AG. - Prospekt. - Berlin: Bahn-Umweltzentrum der Deutschen Bahn AG.
- DIJK, van F.J., VERBEEK, J.H., VRIES, de F.F. (1987a): Non-auditory effects of noise in industry (V). A field study in a shipyard. - International archives of occupational and environmental health. 59, 55-62.
- DIJK, van F.J., SOUMAN, A.M., VRIES, de F.F. (1987b): Non-auditory effects of noise in industry (VI). A final field study in industry. - International Archives of Occupational and Environmental Health 59, 133-145.
- EIFF, von A.W. (1993): Einige Aspekte kardiovaskulärer Antworten auf akuten Streß. - In: ISING, H., KRUPPA, B. (Hrsg.): Lärm und Krankheit - Noise and Disease. - Stuttgart/New York: Gustav Fischer Verlag. - S. 44-47.

- ENDERLEIN, G., HEUCHERT, G., STARK, H. (1996): Epidemiologische Untersuchungen zur Beziehung zwischen Lärm am Arbeitsplatz und Herz-Kreislauf-Erkrankungen – In: Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (Hrsg.): Lärm am Arbeitsplatz und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. – Berlin: Wirtschaftsverlag NW. – Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Tagungsbericht 12. – S. 21–28.
- EVANS, G.W., BULLINGER, M., HYGGE, S. (1998): Chronic Noise Exposure and Physiological Response: A Protective Study of Children Living under Environmental Stress. – *Psychological Science* 9, 75–77.
- EVANS, G.W., HYGGE, S., BULLINGER, M. (1995): Chronic Noise and Psychological Stress. – *Psychological Science* 6, 333–338.
- FELDHAUS, G. (1998): 30 Jahre TA Lärm: Auf dem Weg zum gesetzeskonformen Lärmschutz? – In: KOCH, H.J. (Hrsg.): Aktuelle Probleme des Immissionsschutzrechtes. – Baden-Baden: Nomos. – S. 181–189.
- FELSCHER-SUHR, U., GUSKI, R., SCHUEMER, R. (1998): Some results of an international scaling study and their implications on noise research. – In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects '98 – 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22–26 Nov. 1998. – Vol. 2. – Sydney: Noise Effects '98 Pty Ltd. – S. 733–736.
- FIDELL, S., BARBER, D.S., SCHULTZ, T.J. (1991): Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. – *Journal of the Acoustical Society of America* 89, 15–28.
- FIELDS, J.M. (1990): Policy-related goals for community response studies. – In: BERGLUND, B., LINDVALL, T. (Eds.): Noise as a public health problem. – Proceedings of the 5th International Congress. – Stockholm: Swedish Council for Building Research. – Vol. 5. – S. 115–134.
- FIELDS, J.M. (1992): Effects of personal and situational variables on noise annoyance, with special reference to implications for en route noise. – Washington, DC: Office of Environment and Energy/US Dept. of Transportation, Fed. Aviation's Admin./NASA.
- FIELDS, J.M. (1993): Theories and evidence on the effect of ambient noise on reactions to major noise sources. – In: VALLET, M. (Ed.): Noise and man: Noise as a Public Health Problem, Proceedings of the 6th International Congress. – Vol. 3. – Lyon: Actes INRETS No 34 bis. – S. 412–419.
- FIELDS, J.M. (1996): Progress toward the use of shared noise reaction questions. – Proceedings INTER-NOISE 96, pp. 2389–2394.
- FIELDS, J.M., de JONG, R.G., FLINDELL et al. (1998): Recommendation for shared annoyance questions in noise annoyance surveys. – In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects, 98 – 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22–26 Nov. 1998. – Vol. 2. – Sydney: Noise Effects '98 Pty Ltd. 1998. – S. 481–486.
- FOGARI, R., ZOPPI, A., VANASIA, A. et al. (1994): Occupational noise exposure and blood pressure. – *Journal of hypertension* 12 (4), 475–479.
- FOURIAUD, C., JACQUINET-SALORD, M.C., DE-GOULET, P. et al. (1984): Influence of socioprofessional conditions on blood pressure levels and hypertension control. – *American Journal of Epidemiology* 120, 72–86.
- FROMME, H., BEYER, A. (1996): Untersuchung „Verkehr und Gesundheit im Ballungsraum Berlin“. – Forschungsbericht. – Berlin: Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales.
- GARCIA, A.M., GARCIA, A. (1992): Relationship between arterial pressure and exposure to noise at work. – *Medicina Clinica (Barc.)* 98 (1), 5–8.
- GLASS, D.C., SINGER, J.E. (1972): Urban stress: Experiments on noise and social stressors. – New York: Academic Press.
- GOTTLOB, D. (1995): Regulations for Community Noise. – *Noise news international*, 223–236
- GREINER, H. (1995): Fluglärm am Flughafen Stuttgart. – In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU BW) (Hrsg.): Lärmbekämpfung – Ruheschutz: Analysen, Tendenzen, Projekte in Baden-Württemberg. – Karlsruhe: LfU BW. – Bericht Nr. 16. – Hier nach: <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt1/veroeff/>
- GRIEFAHN, B. (1982): Grenzwerte vegetativer Belastbarkeit. – *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 29, 131–136.
- GRIEFAHN, B. (1988): Audiometrie: Grundlagen, Praxis, arbeitsmedizinische Vorsorge. – Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. – S. 64.
- GRIEFAHN, B. (1990): Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. – *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 37, 7–14.
- GRIEFAHN, B. (1991): Lärmempfindlichkeit – ein Prädiktor lärmbedingter Gesundheitsschäden. – Stuttgart: Gentner Verlag. – Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin 30. – S. 73–79.
- GUSKI, R. (1987): Lärm: Wirkungen unerwünschter Geräusche. – Stuttgart: Hans Huber.
- GUSKI, R. (1997): Interference of activities and annoyance by noise from different sources: Some new lessons from old data. – In: SCHICK, A., KLATTE, M. (Eds.): Contributions to psychological acoustics. – Results of the 7th Oldenburg Symposium on psychological acoustics. – Oldenburg: BIS. – S. 239–258.
- GUSKI, R., FELSCHER-SUHR, U., SCHÜMER, R. (1998): Some consequences of an international empirical study on noise annoyance. – In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects, 98 – 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22–26 Nov. 1998. – Vol. 2. – Sydney: Noise Effects '98 Pty Ltd. – S. 515–518.

- HAIDER, M., KOLLER, M., STIDL, Hg. (1992): Qualitätskriterien für Schienenverkehrslärm und Erschütterungen bei Vollbahnen. Teil 1: Lärm - Kombinationswirkungen von Lärm und Erschütterungen. - Wien: Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr. - Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen Bd. 36/1.
- HAINES, M.M., STANSFELD, S.A., JOB, R.F.S., BERGLUND, B. (1998): Chronic aircraft noise exposure and child cognitive performance and stress. - In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects '98 - 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22-26 Nov. 1998. - Vol. 1. - Sydney: Noise Effects '98 Pty Ltd. - S. 329-335.
- HANSMANN, K. (1997): Rechtsprobleme bei der Bewertung von Lärm. - Natur und Recht 19, 53-59.
- Health Council of the Netherlands (1996): Effects of Noise on Health. - Noise news International, Sept., 137-150.
- HERMANN, M. (1994): Schutz vor Fluglärm bei der Planung von Verkehrsflughäfen im Lichte des Verfassungsrecht. - Berlin: Duncker und Humblot. - 378 S.
- HESEL, P.A., SLUIS-CREMER, G.K. (1994): Occupational noise exposure and blood pressure: longitudinal and cross-sectional observations in a group of underground miners. - Archives of environmental health 49, 128-134.
- HIRAI, A., TAKATA, M., MIKAWA, M. et al. (1991): Prolonged exposure to industrial noise causes hearing loss but not high blood pressure: a study of 124 factory labourers in Japan. - Journal of Hypertension 9, 1069-1073.
- HOUCHE-NEELEN, A. (1996): Lärmbelastung von Kindergartenpersonal. - Düsseldorf, Universität, Dissertation. - 114 Bl.
- HYGGE, S. (1993): Vergleichende Untersuchungen über Wirkungen von Flug-, Straßenverkehrs- und Schienenlärm auf das Langzeitgedächtnis und das Erinnern von Texten bei 12-14jährigen Schülern. - In: ISING, H., KRUPPA, B. (Hrsg.): Lärm und Krankheit - Noise and Disease. - Stuttgart/New York: Gustav Fischer Verlag. - S. 416-427.
- HYGGE, S., JONES, D.M., SMITH, A.P. (1998): Recent developments in noise and performance. - In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects '98 - 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22-26 Nov. 1998. - Vol. 1. - Sydney: Noise Effects '98 Pty Ltd. - S. 321-328.
- IDZIOR-WALUS, B. (1987): Coronary risk factors in men occupationally exposed to vibration and noise. - European heart journal (Institut für Praxisorientierte Sozialforschung) 8, 1040-1046.
- IPOS (1995): Einstellung der Bevölkerung zum Umweltschutz. - Mannheim: IPOS-Institut.
- ISING, H. (1998): Streßreaktionen bei akuter und chronischer Lärmbelastung. - Umweltmedizinischer Informationsdienst des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (3). - S. 48-53.
- ISING, H., BABISCH, W., KRUPPA, B. et al. (1995): Chronischer Arbeitslärm - Ein wesentlicher Risikofaktor für Herzinfarkt. - Bundesgesundheitsblatt 38 (4), 127-130.
- ISING, H., BABISCH, W., KRUPPA, B. (1998): Lärm und menschliche Gesundheit. - Zeitschrift für Umweltmedizin 6 (6), 317-319.
- JANSEN, G. (1967): Zur nervösen Belastung durch Lärm. - Darmstadt: Steinkopff. - Beihefte z. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie Heft 9.
- JANSEN, G. (1983): Einfluß hoher Lärmintensitäten auf den menschlichen Organismus unter besonderer Berücksichtigung der extraauralen Schallwirkungen. - Abschlußbericht über den Forschungsvertrag InSan - 0479-V-5481 an das Bundesministerium der Verteidigung 15. März 1983.
- JANSEN, G. (1994): Medizinisches Gutachten für den Ausbau des Verkehrslandeplatzes Dortmund-Wickede. November 1994
- JANSEN, G., HOFFMANN, H. (1971): Einfluß der Bedeutungsgehalte von Geräuschen und der Persönlichkeitsdimension auf lärmbedingte psychosomatische Reaktionen. - XVIIe Congr. Int. Psych. Appl. Vol. II, S. 1781-1786 (30. 7. 1971).
- JANSEN, G., NOTBOHM, G. (1994): Lärm. - In: WICHMANN, SCHLIPKÖTER, FÜLGRAFF (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin, Kap. VII-1. - Landsberg: ecomed Verlag. - Losbebl.-Ausg.
- JANSEN, G., REHM, S., GROS, E. (1980): Untersuchungen zur Frage der Lärmempfindlichkeit. - Zeitschrift für Lärmbekämpfung 27, 9-12.
- JANSEN, G., LINNEMEIER, A., NITZSCHE, M. (1995): Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm. - Zeitschrift für Lärmbekämpfung 42, S. 4.
- JANSEN, G., SCHWARZE, S., NOTBOHM, G. (1996): Lärmbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen unter besonderer Berücksichtigung der physiologischen Lärmempfindlichkeit. - Zeitschrift für Lärmbekämpfung 43, 31-40.
- JANSEN, G., NOTBOHM, G., SCHWARZE, S. (1999): Gesundheitsbegriff und Lärmwirkungen. - Stuttgart: Metzler-Poeschel. - Materialien zur Umweltforschung, hrsg. vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Bd. 33. - 124 S.
- JARASS, H.D. (1999): Neues von den Schwierigkeiten des Verkehrsimmissionsschutzes. - In: CZAJKA, D., HANSMANN, K., REBENTISCH, M. (Hrsg.): Immissionsschutzrecht in der Bewährung. - Festschrift für G. Feldhaus zum 70. Geburtstag. - Heidelberg: C.F. Müller. - S. 235-258.

- KASTKA, J., FAUST, M., WEBER, K. et al. (1998): Cortisolausscheidung als Nachweis einer Stressreaktion von Anwohnern eines Großflughafens. – In: Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin. – Fulda: Rindt (im Druck).
- KOCH, H.J. (1990): Der Erheblichkeitsbegriff in § 3 Abs.1 BImSchG und seine Konkretisierung durch die TA Lärm. – In: KOCH, H.J. (Hrsg.): Schutz vor Lärm. – Baden-Baden: Nomos. – S. 41–60.
- KOCH, H.J. (1999): Die rechtliche Beurteilung der Lärmsituation nach BImSchG und TA Lärm. – In: CZAJKA, D., HANSMANN, K., REBENTISCH, M. (Hrsg.): Immissionsschutzrecht in der Bewährung. – Festschrift für G. Feldhaus zum 70. Geburtstag. – Heidelberg: C.F. Müller. – S. 235–258.
- KONTOSIC, I., VUKELIC, M., GRUBISIC-GREBLO, H. (1990): Noise as a risk factor for arterial hypertension in sailors. – Arhiv za higijenu rada i toksikologiju = Archives of industrial hygiene and toxicology (Zagreb) 41, 187–199.
- KRISTAL-BONEH, E., MELAMED, S., HARARI, G., GREEN, M.S. (1995): Acute and chronic effects of noise exposure on blood pressure and heart rate among industrial employees: the Cordis Study. – Archives of environmental health 50, 298–304.
- KRYTER, K.D. (1982): Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. – Journal of the Acoustical Society of America 72, 1212–1242.
- LAI (Länderausschuß für Immissionsschutz) (1997): Leitlinien zur Ermittlung und Beurteilung von Fluglärmimmissionen in der Umgebung von Landeplätzen durch die Immissionsschutzbehörden der Länder (Landeplatz-Fluglärmleitlinie). – hier nach: <http://www.fluglaerm.de/bvf/dlailpl.ht>.
- LANG, T., FOURIAUD, C., JACQUINET-SALORD, M.C. (1992): Length of occupational noise exposure and blood pressure. – International archives of occupational and environmental health 63, 369–372.
- LERCHER, P. (1998): Medizinisch-hygienische Grundlagen der Lärmbeurteilung. – In: KALIVODA, M.T., STEINER, J.W. (Hrsg.): Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik. – Wien, New York: Springer. – S. 42–101.
- LERCHER, P., HORTNAGL, J., KOFLER, W.W. (1993): Work noise annoyance and blood pressure: combined effects with stressful working conditions. – International archives of occupational and environmental health 65, 23–28.
- Lufthansa AG (1998): Präsentationsgrafiken der Lufthansa AG, Konzern Umweltfragen. Kapitel 2b. – unveröffentlicht.
- MASCHKE, C. (1992): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlafverlauf und die Katecholaminausscheidung. – Berlin: Technische Universität, Dissertation.
- MASCHKE C., HARDER, J. (1998): Umweltmedizinischer Handlungsbedarf bei der Lärmexposition. – Gesundheitswesen Bd. 60, 661–668.
- MASCHKE, C., ARNDT, D., ISING, H. et al. (1995a): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf die Stresshormonausscheidung von Flughafenanwohnern. – Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- MASCHKE, C., ARNDT, D., ISING, H., DRUBA, M. (1995b): Nocturnal Traffic Noise and Stress: Results of Field- and Laboratory Studies. – ISEE/ISEA Konferenz, Noordwijkerhout.
- MASCHKE, C., DRUBA, M., PLEINES, F. (1996): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm. – Umweltbundesamt, Forschungsbericht Nr. 195-01-213/07.
- MASCHKE, C., ISING, H., HECHT, K. (1997): Schlaf – nächtlicher Verkehrslärm – Streß – Gesundheit. – Teile I und II. – Bundesgesundheitsblatt 1, 3–10 und 3, 86–95.
- MATTHIAS, S. (1961): Zur Frage der peripheren Durchblutung unter Lärmeinwirkung bei Kindern. – Würzburg: Universität, Med. Fak., Dissertation.
- MELAMED, S., FROOM, P., KRISTAL-BONEH, E. et al. (1997): Industrial noise exposure, noise annoyance, and serum lipid levels in blue-collar workers – the CORDIS Study. – Archives of environmental health 52, 292–298.
- MIEDEMA, H. (1993): Response functions for environmental noise. – In: VALLET, M. (Ed.): Noise and man – Noise as a public health problem. – Proc. 6th Intern. Congr. – Vol. 3. – Lyon: Actes INRETS No. 34 bis. – S. 428–433.
- MKRO (Ministerkonferenz für Raumordnung) (1998): Entschließung über den Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm vom 4. Juni 1998. – Hier nach: <http://www.fluglaerm.de/bfv/draumord.htm>.
- MÜLLER, D., KAHL, H., DORTSCHY, R., BELLACH, B. (1994): Umwelteinwirkungen und Beschwerdebühäufigkeit: Ergebnisse einer Kohortenstudie. – Berlin: Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie. – SozEP-Hefte, 1994, 2. – 79 S.
- MÜLLER, F., PFEIFFER, E., JILG, M. et al. (1998): Effects of acute and chronic traffic noise on attention and concentration of primary school children. – In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects '98 – 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22–26 Nov. 1998. – Sydney: Noise Effects '98 Pty Ltd.
- NEUS, H., RÜDDEL, H., SCHULTE, W., von EIFF, A.W. (1983): The long-term effect of noise on blood pressure. – Journal of Hypertension 1 (Suppl. 2), 251–253.
- OLIVA, C. (1998): Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm. – Berlin: Dunker & Humblot.
- OMURA, Y., LEE, A.Y., BECKMAN, S.L. et al. (1996): 177 cardiovascular risk factors, classified in 10 categories, to be considered in the prevention of cardiovascular diseases: an update of the original 1982 article containing 96 risk factors. – Acupunct Electrother Research 21 (1), 21–76.

- ORTSCHEID, J. (1996): Daten zur Belästigung der Bevölkerung durch Lärm - Ergebnisse repräsentativer Bevölkerungsumfragen 1984 bis 1994. - Zeitschrift für Lärmbekämpfung 43, 15-23.
- OTTEN, H., SCHULTE, W., von EIFF, A.W. (1988): Traffic noise, blood pressure and other risk factors: the Bonn traffic noise study. - In: BERGLUND, B., BERGLUND, U., KARLSSON, J., LINDVALL, T. (Eds.): Noise as a Public Health Problem. - Stockholm. - Vol. IV. - S. 327-335.
- PETERSEN, F. (1993): Schutz und Vorsorge. - Berlin: Duncker & Humblot. - 378 S.
- POUSTKA, F. (Hrsg.) (1991): Die physiologischen und psychischen Auswirkungen des militärischen Tiefflugbetriebs. - Bern u.a.: Hans Huber. - 224 S.
- PULLES, M.P.J., BIESIOT, W., STEWART, R. (1990): Adverse effects of environmental noise on health: An interdisciplinary approach. - Environment International 16, 437-445.
- REHM, S., JANSEN G. (1978): Aircraft noise and premature birth. - Journal of Sound and Vibration 59, 133-135.
- ROHRMANN, B. (1984): Psychologische Kriterien zur Erheblichkeit von Belästigungen - Frankfurt u.a.: Peter Lang. - Europäische Hochschulschriften, Reihe 39, Band I. - S. 139-149.
- SCHICK, A. (1997): Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. - Lengerich: Pabst.
- SCHÜMER-KOHR, A., SCHÜMER, R., SCHRECKENBERG, D. et al. (1998): Annoyance due to railway and road traffic noise: First results of an interdisciplinary study. - In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): Noise Effects '98 - 7th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 22-26 Nov. 1998. - Vol. 2. - Sydney: Noise Effects, '98 Pty Ltd. - S. 487-490.
- SCHULTZ, T.J. (1978): Synthesis on social surveys on noise annoyance. - Journal of the Acoustical Society of America 64, 377-405.
- SCHULZE-FIELITZ, H. (1993): Aktuelle Grundprobleme des Verkehrsimmissionsschutzes. - Die Verwaltung 26, 515-544.
- SEIDEL, H.J. (1998): Praxis der Umweltmedizin. - Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag. - S. 303.
- SIEGMANN, S., BRINKMANN, H., FAUST et al. (1999): Extraaurale Reaktionen bei Belastungen mit hochenergetischen Impulsschallen. - Zeitschrift für Lärmbekämpfung 46 (3), 88-97.
- SILAGI, M. (1997): Zu den Grenzen des Verkehrslärm-schutzes. - Umwelt- und Planungsrecht 7, 272-278.
- SINGH, A.P., RAI, R.M., BHATIA, M.R., NAYAR, H.S. (1982): Effect of chronic and acute exposure to noise on physiological functions in man. - International archives of occupational and environmental health 50, 169-174.
- SPRENG, M. (1987): Mögliche Gehörschäden durch Tieffluglärm. - UBA, Forschungsbericht 10501 213/05.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1988): Umweltgutachten 1987. - Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1994): Umweltgutachten 1994. - Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU (1996): Umweltgutachten 1996. - Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU (1998): Umweltgutachten 1998. - Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- STEINBERG, R. (1993): Fachplanung. Das Recht der Fachplanung unter Berücksichtigung des Nachbarnschutzes und der Umweltverträglichkeitsprüfung. - Baden-Baden: Nomos.
- STEINBERG, R., BIDINGER, R. (1993): Kapazitätsbeschränkungen in der luftverkehrsrechtlichen Genehmigung und Planfeststellung? - Umwelt und Planungsrecht 13, 281-285.
- STRICK, S. (1998): Lärmschutz an Straßen. - Köln u.a.: Carl Heymanns Verlag. - 156 S.
- STRICK, S. (1998): Lärmschutz an Straßen. - Köln u.a.: C.H. Beck. - 1389 S.
- STRUWE, F., JANSEN, G., SCHWARZE, S. et al. (1995): Hearing loss induced by leisure noise: subjective evaluation and audiometric assessment. - Proceedings of the 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, 26-30 June 1995. - Vol. II. - S. 303-305.
- STRUWE, F., JANSEN, G., SCHWARZE, S. et al. (1996): Konsequenzen von Gehörschäden durch Freizeitlärm für die spätere Berufswahl junger Menschen. - In: MÜNZBERGER, E. (Hrsg.): Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umwelttechnik. - Dokumentationsband über die Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. - Fulda: Rindt. - S. 193-196.
- TAFALLA, R.J., EVANS, G.W. (1997): Noise, physiology and human performance - The potential role of effort. - Journal of Occupational Health Psychology 2, 148-155.
- TALBOTT, E., HELMKAMP, J., MATTHEWS, K. et al. (1985): Occupational noise exposure, noise-induced hearing loss, and the epidemiology of high blood pressure. - American Journal of Epidemiology 121, 501-514.
- TALIJANCIC, A., MUSTAC, M. (1989): Arterial hypertension in workers exposed to occupational noise. - Arhiv za higijenu rad i toksikologiju = Archives of industrial hygiene and toxicology (Zagreb) 40, 415-420.
- THÉRIAULT, G.P., TREMBLAY, C.G., ARMSTRONG, B.G. (1988): Risk of ischemic heart disease among primary aluminium production workers. - American Journal of Industrial Medicine 13, 659-666.

- THEWS, G., VAUPEL, P. (1990): Vegetative Physiologie. – Berlin/Heidelberg: Springer.
- TOMEI, F., TOMAO, E., PAPALEO, B. et al. (1991): Study of some cardiovascular parameters after chronic exposure to noise. – *Int. J. Cardiol.* 33, 393–399.
- TRAUTNER, C., GRABSCH, S., SCHOLZ, R. et al. (1998): Noise as a risk factor for myocardial infarction: design of a new case-control study. – In: CARTER, N., JOB, R.F.S.: *Noise Effects – 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Sydney 22–26th Nov. 1998. – Vol. 1. – Sydney: Noise Effects '98 PTY Ltd. – S. 293–295.
- TÜV Rheinland (1990): Umweltbrief TÜV Rheinland 1/1990.
- TÜV Rheinland (1999): Studie: Ansätze einer verbesserten Lärmschutzpolitik. – Bearbeiter: Hepekausen, M., Kramer, G., Kurtz, W., Schneider, F., Sonder, D., Tegeder, K. – Gutachten für den Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. – unveröffentlicht. – TÜV-Bericht Nr.: 933/032801/02.
- UBA (Umweltbundesamt) (1995): Jahresbericht 1995. – Berlin: UBA.
- UBA (1997): Jahresbericht 1997. – Berlin: UBA. – S. 171–177.
- UBA (1998): Lärmbelastigung durch Straßenverkehr. – Nach: www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten. – Letzte Aktualisierung 18. November 1998
- UBA (1999): Umweltdaten Deutschland 1998 – www.umweltbundesamt.de/udd/lae/lae2.htm.
- UGB-KomE (1998): Entwurf der Unabhängigen Sachverständigenkommission zum Umweltgesetzbuch beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.). – Berlin: Duncker & Humblot. – 1725 S.
- UMK (Umweltministerkonferenz) (1996): Entschließung der 47. UMK am 11./12. Dezember 1996 in Kiel.
- UMK (AG Umwelt und Verkehr) (1998): Strategien zur Reduzierung des Straßenverkehrslärms (10-Punkte-Programm).
- VALLENDAR, W. (1999): Sanierungsansprüche im Bereich der Verkehrswegeplanung – ein juristisches Märchen zu Ehren eines märchenhaften Juristen. – In: CZAJKA, D., HANSMANN, K., REBENTISCH, M. (Hrsg.): *Immissionsschutzrecht in der Bewährung*. – Festschrift für G. Feldhaus zum 70. Geburtstag. – Heidelberg: C.F. Müller. – S. 249–262.
- VERBEEK, J.H., DIJK, van F.J., VRIES, de F.F. (1987): Non-auditory effects of noise in industry (IV). A field study on industrial noise and blood pressure. – *International archives of occupational and environmental health* 59, 51–54.
- VERMEL, A.E., ZINENKO, G.M., KOCHANOVA, E.M. et al. (1988): Intensity of industrial noise and the incidence of arterial hypertension (according to data from a prospective epidemiological study of organized female populations in Moscow). – *Terapevticheskii Arkhiv* 60, 88–91.
- VOS, J. (1991): Belästigung durch gleichzeitigen Impuls-, Straßenverkehrs- und Luftverkehrslärm. – In: POUSTKA, F. (Hrsg.): *Die physiologischen und psychischen Auswirkungen des militärischen Fluglärmbetriebs*. – Stuttgart: Huber.
- VOS, J. (1992): Annoyance caused by simultaneous impulse, road-traffic, and aircraft sounds: a quantitative model. – *The Journal of the Acoustical Society of America* 91 (6), 3330–3345.
- WU, T.N., KO, Y.C., CHANG, P.Y. (1987): Study of noise exposure and high blood pressure in shipyard workers. – *American Journal of Industrial Medicine* 12, 431–438.
- ZHAO, Y., LINZHI, W., DUNYIN, P. et al. (1998): A dose-response relationship for noise-induced hypertension in chemical fertilizer factories. – In: CARTER, N., JOB, R.F.S. (Eds.): *Noise Effects – 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Sydney 22–26th Nov. 1998. – Vol. 1. – Sydney: Noise effects 98 PTY Ltd. – S. 259–263.
- ZHAO, Y.M., ZHANG, S.Z., SELVIN, S., SPEAR, R.C. (1991): A dose-response relation for noise-induced hypertension. – *British Journal of Industrial Medicine* 48, 179–184.
- ZHAO, Y.M., ZHANG, S.Z., SELVIN, S., SPEAR, R.C. (1993): A dose-response relationship between noise exposure and hypertension among female textile workers without hearing protection. – In: VALLET, M. (Ed.): *Noise and man: Noise as a public health problem*. – Proc. 6th Intern. Congr. – Vol. 3. – Lyon: Actes INRETS No bis. S. 274–279.
- ZWICKER, E. (1991): Ein Vorschlag zur Definition und zur Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit. – *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 38, 91–97.