

Lärmwirkungen auf den Menschen und die Folgen

- die Lärmindizes der Europäischen Union -

1. Einleitung

Verkehrslärm in Form von Straßenlärm, Schienenlärm und Fluglärm¹ ist in Deutschland und vielen europäischen Ländern seit längerem die dominante Umweltbelastung im Wohnumfeld. Die Belastungssituation hat sich in den letzten Jahren weiter verschärft. Zur Bewahrung eines hohen Gesundheits- und Umweltschutzniveaus hat die Europäische Union daher die Umgebungslärmrichtlinie zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm verabschiedet. Sie soll unter anderem die Grundlage für die Weiterentwicklung und Ergänzung der bestehenden Lärminderungsmaßnahmen hinsichtlich der wichtigsten Lärmquellen sein — dies sind Straßen- und Schienenfahrzeuge sowie Flugzeuge. In einem ersten Schritt sollen die Mitgliedsländer die Umgebungslärmpegel nach vergleichbaren Kriterien erfassen, zusammenstellen und der Öffentlichkeit zugänglich machen. Hierfür sind harmonisierte Kenngrößen und Bewertungsmethoden erforderlich. Die EU hat sich für die Lärmindizes L_{DEN} und der L_{night} entschieden. Den Mitgliedstaaten ist jedoch die Verwendung ergänzender Indizes zur Verfolgung oder Kontrolle spezieller Lärmsituationen gestattet.

Der L_{DEN} ist ein Dauerschallpegel über 24-Stunden, der für die Abendzeit und die Nachtzeit Pegelaufschläge vorsieht. Der L_{night} ist ein Dauerschallpegel über die gesetzlichen Nachtstunden. Damit wird mit der harmonisierten Kenngrößen L_{DEN} ein anderer Bewertungsansatz verfolgt als in Deutschen Regelwerken üblich, in denen eine Trennung zwischen dem 16-Stunden Tag und der 8h-Nacht vorgenommen wird.

In dem vorliegenden Beitrag wird der Eignung der europäischen Lärmindizes L_{DEN} und L_{night} aus lärmmedizinischer Sicht nachgegangen. Zur besseren Übersichtlichkeit wird der aktuelle Kenntnisstand für die Wirkungsebenen Hörverlust, Belästigung, Störung der Kommunikation, Störung der Leistungsfähigkeit, Störung der Erholung sowie Gesundheitsgefährdung einzeln vorgestellt und die Eignung der europäischen Lärmindizes für jede Wirkungsebene besprochen.

2. Hörverlust

Hörminderungen (Hörverlust, Hörschäden²) durch Verkehrslärm sind bei den heutigen Emissionen in Deutschland nur in Ausnahmefällen zu befürchten.

¹ Es wird von Verkehrslärm gesprochen, da Verkehrsgeräusche im Wesentlichen unerwünscht sind. Lärm ist unerwünschter Schall.

² Ein Hörschaden liegt vor, wenn das Ausmaß einer Hörminderung einen festgelegten Wert erreicht oder überschritten hat.

Die Hörminderung ist im Wesentlichen von der Schalldosis abhängig, die das Gehör im Laufe der Jahre zu verarbeiten hat. Eine Abhängigkeit von der Tageszeit der Beschallung ist nicht bekannt. Demzufolge sind weder der L_{night} noch der L_{DEN} , der die Abendzeit und die Nachtzeit mit einem Pegelaufschlag versieht, geeignete Kenngrößen für die lärmbedingte Hörminderung.

3. Belästigung

Lärm ist für den Menschen nicht nur die Einwirkung eines physikalischen Reizes, sondern ein Erlebnis. Das Lärmerleben und die dabei ablaufenden veränderten Funktionen können sich als Lärmbelastigung nachhaltig in das Gedächtnis der Menschen einprägen. Belästigung bezeichnet daher den Ausdruck negativ bewerteter Emotionen auf bestimmte Einwirkungen aus dem äußeren und inneren Milieu des Menschen. Belästigung drückt sich z. B. durch Unwohlsein, Angst, Bedrohung, Ärger, Ungewissheit, eingeschränktes Freiheitserleben, Erregbarkeit oder Wehrlosigkeit aus.

Bestandteile der Belästigungen durch Lärm sind z.B.:

- Störungen von Tätigkeiten (z.B. entspannen, lesen, lernen, geistiges arbeiten)
- Störungen der Kommunikation (z.B. Gespräche, Hinweise, Unterricht)
- Nicht erfüllte Erwartungen (z.B. Ruhe auf dem Friedhof oder in der Kirche)
- Geringe Akzeptanz der Quelle (z.B. wenn die Betriebsnotwendigkeit nicht ersichtlich ist)
- Erzwungenes Verhalten durch Lärmwirkungen (z.B. Anspannung, erhöhte Konzentration, Aufenthalt in Innenräumen, Schließen der Fenster usw.)

Belästigung wird nach internationaler Vereinbarung (ICBEN³) über das Lärmerleben der Menschen in den letzten 12 Monaten erfragt. Das Belästigungsurteil ist daher nicht das Ergebnis der momentan gemessenen Geräuschbelastung sondern das Ergebnis einer psychobiologischen Informationsverarbeitung unter Berücksichtigung von Erwartung, Gewöhnung, Sensibilisierung, Konditionierung⁴ einschließlich der Unbestimmtheit der Exposition. Das Auftreten der individuellen Belästigung weist demzufolge bei gleichem äquivalentem Dauerschallpegel eine große Streubreite auf, weshalb eine individuelle Belästigungsschwelle nicht durch die Angabe von Dauerschallpegeln bestimmt werden kann. Personen die auf einer kontinuierlichen Belästigungs-Skala einen hohen Wert angeben, der etwa 72 % der Skalenlänge erreicht oder überschreitet, werden als „hochgradig belästigt“ (highly annoyed) bezeichnet. Der Anteil von „hochgradig“ belästigten Personen nimmt mit steigenden Schallpegeln kontinuierlich zu. Eine wesentliche Belästigung liegt vor, wenn ein politisch/juristisch

³ International Commission on Biological Effects of Noise.

⁴ Lernvorgang, bei dem ursprünglich neutrale Reize durch entsprechende Erlebnisse zu Auslösern von Verhaltensweisen werden.

festgelegter Anteil an „hochgradig“ belästigten Personen erreicht wird. Für Flugverkehr liegt dieser Anteil bei 25 %⁵, bei Straßenverkehrslärm in Wohngebieten dagegen bei etwa 10% (abgeleitet aus den Grenzwerten der 16. BImSchV). Diese „bevölkerungsbezogene“ Belästigung weist eine enge Dosis-Wirkungsbeziehung mit 24h-Beurteilungspegeln auf, die für die Nachtzeit einen Pegelzuschlag vorsehen (z. B. [Guski 2000, Miedema 2001]). Der Grund liegt in der tageszeitabhängigen Lästigkeit von Lärm. In den Morgenstunden, den Abendstunden und insbesondere in der Nacht wird der gleiche Lärm lästiger empfunden als in den sonstigen Tagesstunden. Demzufolge ist der L_{DEN} , der die Abendzeit und die Nachtzeit mit einem Pegelaufschlag versieht, eine geeignete Kenngröße zur Erfassung der lärmbedingten Belästigung.

Das Ausmaß der Belästigung bei gleichem Dauerschallpegel kann sich jedoch mit der Zeit verändern. So liegt die Grenze der erheblichen Belästigung für Fluglärm heute bei deutlich geringeren Dauerschallpegeln als noch vor 10-15 Jahren. Guski et al. haben bereits 2004 darauf hingewiesen, dass sich die Belästigung bei gleichem fluglärmbedingten Dauerschallpegel in den Jahren von 1960 bis 1995 um ca. 8 dB(A) vermindert hat. Heute liegt die Grenze, bei der sich 25 % der Durchschnittsbevölkerung hochgradig belästigt fühlen um weitere ca. 8 dB(A) niedriger. Als Ursachen für diese Absenkung werden hohe Bewegungszahlen (bei geringeren Maximalpegeln), Sensibilisierung infolge jahrelanger Belastung, sowie die verbesserte Methodik der Untersuchungen diskutiert.

4. Störung der Kommunikation

Ein allgemein anerkanntes Schutzgut des wachen Menschen ist die ungestörte häusliche Kommunikation, die durch Geräusche beeinträchtigt werden kann. Wie stark eine Kommunikation durch Geräusche gestört wird, hängt im Wesentlichen vom Pegelunterschied zwischen Sprachschall und Störschall am Ohr des Hörers (Sprachgeräuschabstand) sowie von der Frequenzzusammensetzung des Störschalls ab. Andere Faktoren, wie Artikulation, Blickkontakt zwischen Sprecher und Hörer sowie Vertrautheit mit dem Sprachmaterial spielen in der häuslichen Umgebung eine untergeordnete Rolle (vgl. z. B. [Gottlob et al. 2004]). Liegen keine Messergebnisse vor, so kann der Sprachgeräuschabstand mit Hilfe der (angenommenen) Sprechweise des Sprechers und des Abstandes zwischen Sprecher und Hörer abgeschätzt werden. Je größer die Entfernung ist, über die die Kommunikation geführt werden soll, desto geringer muss der Störschallpegel sein, um die Sprachverständlichkeit auf dem gleichen Niveau zu halten. Für Richtwerte wird in der Regel von einer engen Kommunikation über eine Entfernung von 1 m, oder von einer familiären Kommunikation (4 m Distanz) ausgegangen.

⁵ Urteil des Bundesverwaltungsgericht zum Planfeststellungsverfahren Flughafen Schönefeld (z.B. BVerwG 4 A 1001.04)

Zur Beurteilung der Kommunikationsqualität bei Verkehrslärm wird häufig der äquivalente Dauerschallpegel des Verkehrslärms als Störschall interpretiert und es wird angenommen, dass die Pegeldifferenz zwischen Sprachschall und verkehrsbedingtem Dauerschallpegel ein Maß für die Sprachverständlichkeit in Anwesenheit des Verkehrslärms ist. Dies ist jedoch nur der Fall, sofern es sich um ein Verkehrsgeräusch handelt, das über der gesamten Beurteilungszeit als quasi konstant angesehen werden kann. Das ist bei stark intermittierenden⁶ Geräuschquellen z.B. Fluglärm nicht zutreffend. Während eines Überflugs ist der momentane Störschall erheblich größer als der Dauerschallpegel. In solchen Situationen ist der äquivalente Dauerschallpegel (bzw. Beurteilungspegel) nicht geeignet eine Kommunikationsbeeinträchtigung anzuzeigen. Weder die nationalen Kenngrößen noch die harmonisierten Kenngrößen L_{DEN} und L_{night} sind geeignet die Störung der Kommunikation durch in der Regel intermittierenden Verkehrslärm abzuschätzen.

Bei quasi konstantem Verkehrslärm ist darüber hinaus ein 24h-Dauerschallpegel mit Pegelaufschlägen für die Abend- und Nachtzeit als weniger geeignet einzustufen, da die Sprachverständlichkeit im Wesentlichen von den akustischen Bedingungen, weniger von der Tageszeit abhängt.

5. Leistungsbeeinträchtigung

Leistungsbeeinträchtigungen gehören zu den häufig genannten und als erheblich beklagten Lärmwirkungen. Grundsätzlich können alle mentalen Leistungen und solche körperlichen Tätigkeiten, die einer besonderen geistigen Kontrolle bedürfen, durch Lärm beeinträchtigt werden (z. B. [Sust 1987]). Die Beeinträchtigung wird durch jede Art von Auffälligkeit des Schallreizes verstärkt, durch intermittierenden, unvorhersehbaren Lärm, unregelmäßige Pegelschwankungen, hochfrequente Anteile oder besondere Ton- und Informationshaltigkeit des Schallereignisses (z.B. Sprache) [SRU 1999].

Eine Leistungsbeeinträchtigung die z. B. am Montag aufgrund einer hohen Lärmbelastung auftrat, kann nicht zwangsläufig an einem der folgenden Wochentagen mit geringerer Lärmbelastung ausgeglichen (kompensiert) werden (z.B. Verhandlung oder Prüfung). Der Dauerschallpegel (bzw. Beurteilungspegel) berücksichtigt Schwankungen der Lärmbelastung z. B. von Tag zu Tag nicht und ist daher kaum geeignet Leistungsbeeinträchtigungen aufgrund von Verkehrslärm anzuzeigen. Demzufolge sind weder die nationalen Kenngrößen noch die harmonisierten Kenngrößen L_{DEN} und L_{night} geeignete Kenngrößen für die Abschätzung der verkehrslärmbedingten Beeinträchtigung der Leistung.

Es ist zu beachten, dass die lärmbedingte Leistungseinbuße vorübergehend durch einen erhöhten Aufwand, z. B. durch eine zusätzliche Konzentrationsanstrengungen, kompensiert

⁶ Bei intermittierenden Geräuschen liegen die Maximalpegel der Schallereignisse mehr als 10 dB über dem Dauerschallpegel.

bzw. überkompensiert werden kann, so dass kurzfristig sogar Leistungssteigerungen auftreten können. Zahlreiche Untersuchungen belegen aber Nachwirkungen der erhöhten Konzentrationsanstrengungen, die sich z. B. in Form erhöhter Ermüdung oder herabgesetzter Belastbarkeit zeigen (vgl. [UBA 1990]) und zu nachfolgenden Leistungseinbußen führen.

Ein besonderes Problem ist die lärmbedingte Verschlechterung der kognitiven Leistungen von Kindern z. B. in der Schule. Es zeigt sich unter Verkehrslärm eine Retardierung⁷ sowohl hinsichtlich intellektueller Leistungen (Lesen) als auch psychischer Faktoren wie der Motivation zum Lösen schwieriger Aufgaben. So weist eine internationale Studie an 2844 Schulkindern nach, dass die Verschlechterungen umso ausgeprägter ausfallen, je mehr Fluglärm an den Schulen zu verzeichnen ist. Für die Verschlechterung der kognitiven Leistungen in der Schule ist nur die Lärmbelastung während der Schulzeit verantwortlich. Diese wird weder mit dem L_{DEN} noch mit dem L_{night} erfasst.

6. Störung der Erholung

Neben der Belästigung werden auch Erholungsstörungen sehr häufig als nachteilige Auswirkung von Lärm beschrieben. Dabei ist zwischen der Erholung zu Hause und der Erholung in der Natur (z.B. Parkanlagen, Wälder) zu unterscheiden. Die häusliche Erholung am Tage ist eng mit solchen Tätigkeiten verbunden, die nicht zum „Tagespflichtprogramm“ gehören und dennoch wesentlicher Bestandteil des Wohnens sind, z. B. Entspannen durch Lesen oder eigene Hobbys ausüben. Diese Tätigkeiten und damit die häusliche Erholung am Tage schließen die Nutzung von Außenbereichen der eigenen Wohnung bzw. des Hauses, z. B. der Balkone oder Gärten ein und können durch Verkehrslärm empfindlich gestört werden. Zur Erholung in der Natur gehört die Suche nach Ruhe, d. h. nach einer akustischen Situation die verhältnismäßig gering durch Maschinen- und menschliche Geräusche belastet ist (vgl. z. B. [Jansen et al. 2004]).

Die entscheidende Erholungsphase ist für die meisten Menschen jedoch die Nacht. Hier regeneriert sich der Organismus im Schlaf und ergänzt seine „Energiereserven“. Durch nächtlichen Verkehrslärm kann der „Regenerationsprozess“ Schlaf empfindlich gestört werden.

Der Schlaf beginnt mit dem Übergang in das Schlafstadium 1. Hierbei lässt die EEG Aktivität nach, der Atem wird ruhiger, der Puls langsamer und die Muskeln entspannen. Schon nach wenigen Minuten wird im ungestörten Schlaf das Stadium 2 erreicht, in dem die Stoffwechselaktivität nachlässt. Nach einer kurzen Verweildauer im Stadium 3 wird das Tiefschlafstadium 4 erreicht. Diese Stadien 3 und 4 sind dadurch gekennzeichnet, dass die Körperbewegungen aufhören und der Atem gleichmäßig und tief ist. Nach der Tiefschlafphase, in der die Weckschwelle maximal ist, erfolgt eine Schlafverflachung zu den Stadien 3 und 2. Am Ende solch eines Schlafzyklus steht der REM Schlaf, der durch schnelle Augenbewegungen ge-

⁷ Retardierung bezeichnet die Verzögerung, Verlangsamung eines Ablaufs oder einer Entwicklung

kennzeichnet wird. In einer ungestörten Nacht werden 4-5 Schlafzyklen durchlaufen. Die rhythmische Abfolge der Schlafstadien ist Teil der „inneren Uhr“ des Menschen, die sich in nahezu allen Körperfunktionen bemerkbar macht⁸. Es ist hervorzuheben, dass ein erholsamer Schlaf nicht nur selbst der „inneren Uhr“ folgt, sondern auch auf ungestörte Rhythmen anderer Körperfunktionen (z.B. der Körpertemperatur) angewiesen ist.

Eine Störung der „inneren Uhr“ (des zirkadianen Schlafrhythmus) ist chronobiologischer⁹ Stress, der zu Befindlichkeitsstörungen, Leistungseinbußen und schließlich im chronifizierten Stadium zu erhöhten Risiken für Erkrankungen führen kann.

Der Mensch steht auch im Schlaf ständig mit der Außenwelt in Verbindung, aber – abhängig vom Schlafstadium - unterschiedlich intensiv. Ein Beispiel ist der „Ammenschlaf“, bei dem eine Bezugsperson bei leisen Geräuschen eines Säuglings erwacht, während sie z. B. bei anderen, lauterem Geräuschen weiterschläft. Das Geräusch des Säuglings signalisiert der Bezugsperson eine mögliche Gefahr und führt daher bereits bei relativ geringen Geräuschpegeln zu einer Unterbrechung des Schlafes.

Auch Verkehrslärm signalisiert Gefahr. Daher kann der natürliche Schlafablauf sehr leicht durch Verkehrslärm gestört werden. Der Schlafende reagiert bei intermittierenden Verkehrsgereuschen in erster Linie auf die Maximalpegel (z.B. Fluglärm) sowie bei längeren Schallergebnissen auch auf deren Dauer (z.B. Schienenverkehrslärm). Für diese Geräuscharten ist der äquivalente Dauerschallpegel (bzw. Beurteilungspegel) allein weniger geeignet eine Störung des Schlafes anzuzeigen und sollte durch eine Maximalpegel-Ereignishäufigkeitsbetrachtung ergänzt werden.

Lärmbedingte Erholungsstörungen am Tage und in der Nacht (Schlaf) sind schwer miteinander zu vergleichen, demzufolge ist getrennten Kenngrößen für den Tag und die Nacht der Vorzug zu geben.

Für quasi konstante nächtliche Geräuschbelastungen ist der L_{night} eine geeignete Kenngröße zur Beurteilung lärmbedingter Schlafstörungen.

7. Gesundheitsgefährdung

Verkehrslärm kann über zentralnervöse Prozesse den Schlaf stören (chronobiologischer Stress) oder über das subjektive Erleben (Belästigung) emotionalen Stress auslösen. Beide Wege können langfristig zu Erkrankungen führen, die durch Stress vermittelt oder ausgelöst werden. Eine ausgeprägte klinische Symptomatik kann durch immer wiederkehrenden bzw. permanenten Lärmstress nach etwa 5-10 Jahren in unterschiedlichen Funktionssystemen beobachtet werden [Reimer 1978, Graff 1968].

⁸ Es wird zwischen zirkadianen Rhythmen (etwa 24-Stunden Rhythmen) oder ultradianen Rhythmen unterschieden (Rhythmen die den 24-Stunden Grundrhythmus ganzzahlig unterteilen). Der Schlaf folgt einem ultradianen Rhythmus.

⁹ Die Chronobiologie beschäftigt sich mit der zeitlichen Organisation von Körperfunktionen

Durch lang anhaltenden Lärmstress können körperliche Reserven erschöpfen, die Regulationsfähigkeit der Organfunktionen wird gestört und damit in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt [McEwen 1998, Sapolsky 1997]. Aufgrund dieser Beanspruchung wird Verkehrslärm als potentieller Risikofaktor für die Entwicklung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen einschließlich Hypertonie und Herzinfarkt angesehen.

Die chronischen Auswirkungen von Umweltlärm im Lebensalltag können verlässlich nur in epidemiologischen Studien erhoben werden. Solche epidemiologischen Studien haben die wissenschaftliche Kenntnislage in den letzten Jahren erheblich verbessert. Als Beispiele für Deutsche epidemiologische Studien sind die NaRoMI Studie (Noise and Risk of Myocardial Infaction) [Babisch 2004] und der Spandauer Gesundheits-Survey (SGS) zu nennen [Maschke et al. 2003]. Die NaRoMI-Studie konnte zeigen, dass eine chronische Verkehrslärmbelastung mit einem erhöhten Herzinfarkt (MI)-Risiko verbunden ist. Dem „Spandauer Gesundheits-Survey“ kann die besondere Bedeutung der nächtlichen Lärmbelastung für die Entwicklung einer Hypertonie entnommen werden.

Die Evidenz („Beweiskraft“) für einen kausalen Zusammenhang zwischen Verkehrslärm am Wohnort und Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist durch neue epidemiologische Studien gestiegen und muss heute als hinreichend bezeichnet werden (vgl. [Babisch 2005, Babisch et al. 2007]). Die Auswertung der neuen Studien erfolgte jeweils mit einem umfangreichen Kontrollvariablensatz, der die wesentlichen nichtakustischen Einflüsse berücksichtigt. Die ermittelten relativen Risiken liegen mit Werten von 1,1 bis 2 (Zunahme der der Herz-Kreislauf-Erkrankungen um 10%-100%) in umweltmedizinisch üblichen Bereichen und zeigen Dosis-Wirkungs Beziehungen auf. Schließlich belegen die neuen Studien, dass die Effekte in verschiedenen Populationen auftreten und mit unterschiedlichen Methoden ermittelt werden können.

Verkehrslärm wird demzufolge mit Recht als Umweltstressor bezeichnet. Als Beginn für lärmbedingt erhöhte Gesundheitsrisiken sind nach heutigem Erkenntnisstand für Straßenverkehrslärm Dauerschallaußenpegel von 60 dB(A) am Tage und 50 dB(A) in der Nacht anzusetzen. Für Fluglärm lassen sich solche Schwellen bisher nicht eindeutig bestimmen; sie liegen aber nach vorliegenden Erkenntnissen unter den Pegeln für Straßenverkehrslärm.

Der lärmbedingte Stress ist bei gleichen Schallpegeln in den Abendstunden und in der Nacht größer. Darüber hinaus kann der chronobiologische Stress in der Nacht in den Tag hinein getragen werden (z. B. unausgeschlafen sein) und der Tagesstress kann seinerseits den Schlaf beträchtlich beeinflussen (z. B. nächtliches Grübeln über Probleme).

Demzufolge ist der L_{DEN} , der die Abendzeit und die Nachtzeit mit einem Pegelaufschlag versieht, eine geeignete Kenngröße für die lärmbedingte Gesundheitsgefährdung, sofern nicht vorrangig die Nacht verlärm wird. Für diesen Fall ist die Kenngröße L_{night} für eine Gesundheitsgefährdung maßgebend.

8. Literatur

- Babisch, W. (Hrsg) (2004): Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt – Ergebnisse der „NaRoMi“-Studie. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 297 61 003, UBA-FB 000538
- Babisch, W. (2005): Updated Review of the relationship between transportation noise and cardiovascular risk. In: Proceedings of the Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisbon
- Babisch, W.; van Kamp, I. (2007): Cardiovascular effects of aircraft noise. WHO Working group: aircraft noise and health. WHO Regionalbüro Bonn
- Gottlob, D; Vogelsang B. (2004): Beurteilung von Schallimmissionen – Vorschriften – Normen – Richtlinien. In: Müller, G; Möser, M (Hrsg.) Taschenbuch der Technischen Akustik – 3., erweiterte und überarbeitete Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 103 – 148
- Graff, C; Bockmühl, F; Tietze, V. (1968): Lärmbelastung und arterielle (essentielle) Hypertoniekrankheit beim Menschen. In: Nitschkoff, S; Kriwizkaja, G.: Lärmbelastung, akustischer Reiz und neurovegetative Störungen. Georg-Thieme Verlag, S. 112-126
- Guski, R. (2000): Stellungnahme zu den medizinischen Gutachten M8 und M9 bezüglich des Ausbaus des Flughafens Schönefeld; Ruhr-Universität Bochum, 2000
- Jansen, G.; Guski, R. (2004): Erholung und Rekreation. In: Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (2004): Fluglärm 2004. Umweltbundesamt, Berlin
- Maschke, C./Wolf, U./Leitmann, T. (2003): Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärm-stress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose. Anschlussbericht des Forschungsvorhabens Z. 2.2-60424/107, Umweltbundesamt. Berlin
- McEwen, BS. (1998): Stress, Adaptation and Disease. Ann NY Acad Sci 840, 33-44
- Miedema, H.M.E; Oudshoorn, C.G.M. (2001): Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. Environmental Health Perspectives 109, 409-416
- Reimer 1978 6
- Sapolsky, R.M; McEwen, B.S. (1997): Induced Modulation of Endocrine History: A Partial Review; Stress 2(1), 1-12.
- SRU, Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1999): Sondergutachten: Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen. Eigenverlag, Wiesbaden

- Sust, C. (1987): Geräusche mittlerer Intensität – Bestandsaufnahme ihrer Auswirkungen.
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag
NW
- UBA, Umweltbundesamt (1990): Gutachterliche Stellungnahmen zu Lärmwirkungsbereichen
(1982-1990). Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umwelt-
bundesamt, Berlin