

Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm

Inputpapier 4: Lärmwirkung

im Auftrag der Eidgenössischen Kommission für Lärmbekämpfung und
des Bundesamts für Umwelt BAFU

30. März 2009

ETH Zürich
MTEC-ZOA Public & Organizational Health
Mark Brink, Dr. phil.
LEO B9.1 | 8092 Zürich
+41 44 632 39 71 | brink@ethz.ch

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Mark Brink, ETH Zürich, MTEC-ZOA Public and Organizational Health
Titel: Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm
Untertitel: Inputpapier Lärmwirkung
Version: 3.0
Auftraggeber: Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung und Bundesamt für Umwelt BAFU
Ort: Zürich
Jahr: 2009

Begleitgruppe

Tommaso Meloni (Projektleitung, Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung)
Beat Marti (Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung)
Peter Ettler (Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung)

Projektteam ETH Zürich

Mark Brink

Projektteam Ecoplan

Heini Sommer (Gesamtprojektleitung)
Sarah Werner

Danksagung

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts sowie die vielen Hinweise und inhaltlichen Anregungen zu diesem Inputpapier geht ein herzlicher Dank an Rainer Guski, Christian Maschke und Peter Lercher.

Vorwort zum Projekt

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung (EKLK) prüfen zurzeit, ob die in den 1970er und 1980er Jahren festgelegten Lärmbelastungsgrenzwerte dem im Umweltschutzgesetz verankerten Grundsatz noch genügen, wonach Immissionen unterhalb dieser Grenzwerte „die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören“.

Dazu wird im Rahmen einer Vorstudie geklärt, wie sich verschiedene Dimensionen des „Lärmumfelds“ (konkret die Dimensionen Technik & Betrieb, Akustik, Lärmwirkung) seit Inkrafttreten der Lärmbelastungsgrenzwerte entwickelt haben und ob sich daraus ein **wissenschaftlich begründeter Handlungsbedarf** zur detaillierten Überprüfung bzw. Neufestlegung der geltenden Lärmbelastungsgrenzwerte ergibt. Die Überprüfung bezieht sich dabei auf die Grundsatzfrage, ob die Immissionsgrenzwerte die im Umweltschutzgesetz geforderte Funktion (siehe oben) erfüllen.

Die Vorstudie wird in sechs einzelnen Teilberichten erarbeitet: einem Grundlagenpapier, vier Inputpapieren, sowie einem Synthesenbericht.

Das *Grundlagenpapier Geschichte* arbeitet dabei den geschichtlichen Werdegang der heutigen Lärmgrenzwerte auf.

Darauf aufbauend behandeln vier selbständige *Inputpapiere* zu den Themen *Akustik, Technik und Betrieb, Recht*, sowie *(medizinisch-psychologische) Lärmwirkung* die Grundsatzfrage aus verschiedenen Blickwinkeln.

Die Erkenntnisse dieser Inputpapiere fliessen letztendlich in einem *Synthesenbericht* zusammen. Dieser zeigt gesamthaft auf, ob aufgrund der Faktenlage ein Handlungsbedarf zur Überprüfung der Lärmbelastungsgrenzwerte gegeben ist oder nicht.

Beim vorliegenden Bericht handelt es sich um das **Inputpapier Lärmwirkung**.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Ausgangslage und Zielsetzung	5
1.1 Einleitung.....	5
1.2 Zielsetzung in der Dimension "Lärmwirkung"	5
1.3 Belastungs-Wirkungsbeziehungen und Grenzwerte.....	6
1.3.1 Kriterien für die Definition von Grenzwerten	6
1.3.2 Charakteristiken von Belastungs-Wirkungsbeziehungen	7
1.3.3 Pragmatisches Vorgehen bei der Grenzwert-Beurteilung	7
1.4 Untersuchungsgegenstand	8
2 Behandlung der Leitfragen zur Dimension Lärmwirkung.....	10
2.1 Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Lauf der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab? (Leitfrage W.1).....	10
2.1.1 Einleitung.....	10
2.1.2 Belastungs-Wirkungsbeziehungen und deren zeitliche Trends.....	14
2.1.3 Strassenverkehrslärm	19
2.1.4 Eisenbahnlärm	28
2.1.5 Fluglärm	31
2.1.6 Gesamtfazit	44
2.2 Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung? (Leitfrage W.2)	45
2.2.1 Vorbemerkung.....	45
2.2.2 Strassenverkehrslärm	46
2.2.3 Eisenbahnlärm	49
2.2.4 Fluglärm	52
2.2.5 Gesamtfazit	54
2.3 Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen? (Leitfrage W.3).....	54
2.4 Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen? (Leitfrage W.4)	55
2.4.1 Ausgangslage	55
2.4.2 Erkenntniszuwachs seit Inkrafttreten der LSV	56
2.4.3 Wach- und Schlafverhalten der Bevölkerung.....	57
2.4.4 Tageszeitabhängige Lärmempfindlichkeit.....	62
2.4.5 Anmerkung	64
2.4.6 Gesamtfazit	65

2.5	Sind die in der LSV behandelten Verkehrslärm-Quellen (Schiene, Strasse, Luftfahrzeuge) akustisch ausreichend beschrieben? (Leitfrage W.5)	65
2.5.1	Strassenverkehrslärm	66
2.5.2	Eisenbahnlärm	67
2.5.3	Fluglärm	71
2.5.4	Gesamtfazit	74
2.6	Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll? (Leitfrage W.6).....	75
2.6.1	Störungen der Kommunikation und der Konzentration	75
2.6.2	Belästigung.....	76
2.6.3	Störungen des Schlafs	77
2.6.4	Langfristige gesundheitliche Beeinträchtigungen	79
2.6.5	Gesamtfazit	80
2.7	Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf? (Leitfrage W.7)	82
2.7.1	Das Problem.....	82
2.7.2	Gesamt-Lärmwirkungen von verschiedenen Quellen	83
2.7.3	Gesamtfazit	86
3	Gesamtbeurteilung und Handlungsbedarf	88
3.1	Unsicherheiten in den Datengrundlagen.....	88
3.2	Mangelhafte Begründung und Herleitung der Grenzwerte	88
3.3	Speziell empfindliche Personengruppen.....	89
3.4	Die LSV als Gesamtkonstrukt	89
3.5	Handlungsbedarf.....	90
4	Literaturverzeichnis	93

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Gegenstand der vom BAFU und der EKLB in Auftrag gegebenen Vorstudie zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte (IGW) für Lärm bildet die Abklärung der Frage, ob aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, neuer Erfahrungen, oder aufgrund vermuteter Veränderungen in der Gesellschaft (Wertewandel) in den letzten zwei, drei Jahrzehnten ein *Handlungsbedarf* besteht, die durch die aktuellen Belastungsgrenzwerte der Schweizerischen Lärmschutzverordnung (LSV) [1] abgebildete Stör- und Belästigungswirkung des Lärms erneut zu beurteilen. Die Überprüfung dieses Handlungsbedarfs soll sich nur auf die IGW und in diesem Zusammenhang ausschliesslich auf die IGW für Verkehrslärm (Strassenverkehrs-, Eisenbahn- und Fluglärm; Anh. 3, 4 und 5 der LSV) beziehen¹.

Handlungsbedarf besteht gemäss [2] dann, wenn die geltenden IGW für Verkehrslärm die Anforderungen des Art. 15 Umweltschutzgesetz (USG) nicht mehr erfüllen, also nicht mehr sicherstellen, dass "nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören".

Die Bearbeitung der Vorstudie gliedert sich in mehrere Teildimensionen, die in jeweils eigenen Inputpapieren – Geschichte, Recht, Technik und Betrieb, Akustik, Wirkung – behandelt werden (siehe hierzu auch Ziff. 2.2 S.8 der Offerte Ecoplan vom 30.08.08). Das Projektteam besteht aus den Partnern Ecoplan AG, Planteam GHS AG, Empa, R. Hofmann, ETH-ZOA & Büro für Gesetzgebung. Dieses Inputpapier beschäftigt sich mit der Dimension *Wirkung*. Es enthält – dort wo es für das Verständnis des Gesamtkontextes dieser Vorstudie relevant ist – auszugsweise Teile der Input- bzw. Grundlagenpapiere "Recht" [2] und "Geschichte" [3].

1.2 Zielsetzung in der Dimension "Lärmwirkung"

Die Dimension *Wirkung* ist im Rahmen der Vorstudie zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte bei der Lärmbelastung zentral. Dies deshalb, weil die *Wirkung* von Lärmimmissionen in letzter Konsequenz derjenige Gegenstand ist, der durch staatliche Regelungen begrenzt oder kontrolliert, bzw. welchem durch entsprechende Massnahmen vorgebeugt werden soll. In diesem Sinne ist im Rahmen der Grenzwertfrage das akustische Konzept der *Belastung* ausschliesslich im Kontext der Wirkung auf den Menschen relevant. Im Bereich Wirkung ist gemäss Auftrag einerseits zu untersuchen, wie sich die Störungs- bzw. Belästigungswirkung

¹ Verschiedene weitere, bisher in der LSV nicht berücksichtigte bzw. höchstens im kommunalen Rahmen geregelte Lärmerezeuger sind in den letzten Jahren zusätzlich in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt (z.B. Veranstaltungslärm, Lärm von Kirchenglocken, Alltagslärm usw.), sind aber von einer Beurteilung im Rahmen der Vorstudie, bzw. dieses Papiers, ausgeschlossen.

der Belastung durch Verkehrslärm seit der Einführung der LSV in der Schweizer Bevölkerung entwickelt hat, andererseits ist der wissenschaftliche Erkenntniszuwachs in den letzten Jahrzehnten im Bereich der Lärmwirkungen zu studieren, für die vorliegenden Fragestellungen auszuwerten und zu dokumentieren. In einem zweiten Schritt ist zu beurteilen, ob sowohl aus gesellschaftlicher wie auch allenfalls aus medizinisch-physiologischer bzw. psychologischer sowie aus forschungsmethodischer Sicht ein Bedarf zur Überprüfung der IGW, etwa infolge neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, und gegebenenfalls auch verbesserter Beurteilungsmethoden besteht.

1.3 Belastungs-Wirkungsbeziehungen und Grenzwerte

1.3.1 Kriterien für die Definition von Grenzwerten

Im Schweizerischen Lärmschutzrecht (Art. 15 USG) wird gefordert, dass IGW für Lärm so festzulegen sind, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören. Was unter "erheblicher Störung der Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden" zu verstehen ist, ist Wertungsfrage und muss durch Auslegung ermittelt werden. Aufgrund des so ermittelten materiellen Gehalts der Bestimmung ist es sodann Aufgabe der Forschung in den Bereichen Akustik und Lärmwirkung, mittels eines wissenschaftlich oder nach der Erfahrung anerkannten Vorgehens IGW vorzuschlagen, bzw. – wie im aktuellen Fall – zu bestimmen, ob bestehende Grenzwerte die gesetzlichen Vorgaben immer noch erfüllen, oder ob sie allenfalls gesenkt oder erhöht werden müssen, und ganz generell, ob die den aktuellen Grenzwerten zugrundeliegenden Annahmen allenfalls aufgrund verfeinerter Methoden, tiefer gründendem Verständnis der Materie an sich, oder einer grösseren Absicherung durch das Vorliegen aktueller Studienergebnisse revidiert werden können bzw. müssen. Oliva vertritt in [4] die These, dass mit zunehmenden Ansprüchen an die Grenzwertfestsetzung es immer weniger vertretbar wird, in der Definitionsphase der Grenzwerte auf nichtwissenschaftliche Kriterien abzustellen und macht dabei implizit die Aussage, dass die aktuell gültigen Grenzwerte, bzw. die Methoden, die bei deren Festlegung angewendet worden sind, nicht notwendigerweise oder gar nicht wissenschaftlichen Kriterien genügen, womit er nicht ganz unrecht hat.

Im Rahmen der Entwicklung der Beurteilungsverfahren für die LSV und dem zugehörigen Prozess der Grenzwertfestsetzungen in den 1970er und 1980er Jahren sind nach dem Wissensstand des Autors keine expliziten methodischen oder statistischen Anforderungen an die Bereitstellung der wissenschaftlichen Grundlagen formuliert worden. Der Bundesrat hat bisher für die Festlegung der IGW in den Anhängen 3-8 der LSV auf die Arbeiten der Eidgenössischen Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten abgestützt. Die entsprechenden sog. Teilberichte [5; 6; 7] sind deshalb im Rahmen der Grenzwertüberprüfung besonders kritisch zu untersuchen.

1.3.2 Charakteristiken von Belastungs-Wirkungsbeziehungen

Es wird von umweltwissenschaftlichen Laien häufig angenommen, dass wissenschaftliche Erkenntnisse aus soziopsychologischen oder medizinischen Studien einen Grenzwert für eine bestimmte Belastung unmittelbar *nahelegen*. Dem ist jedoch nicht so. Um einem zentralen Missverständnis schon zum vornherein vorzubeugen, muss an dieser Stelle die Bedeutung wissenschaftlicher Untersuchungen im Kontext der eigentlichen *Grenzwert-Festsetzung* relativiert werden. Die Lärmwirkungsforschung ist zwar in der Regel in der Lage, den Zusammenhang zwischen akustischer Belastung und einer bestimmten Wirkung durch entsprechende Modelle mehr oder weniger passgenau, im Sinne einer ökologisch validen Prognostizierung, abzubilden. Die Frage, welches Ausmass der Wirkung jedoch (durch das Gesetz) begrenzt werden soll bzw. welche Wirkungen noch "toleriert" werden sollen, ist grundsätzlich fast immer politischer Natur.

Für die meisten Forschungsergebnisse aus der Lärmwirkungsforschungsliteratur ist es typisch, dass selbst dann, wenn signifikante kausale Lärmwirkungen feststellbar sind, es sich praktisch nie um "Alles-oder-Nichts"-Reaktionen handelt, sondern um Wahrscheinlichkeiten oder kontinuierlich mit der Schallbelastung ansteigende Wirkungsausprägungen [8]. Dies gilt sowohl für psychologische Wirkungen wie z.B. die *Belästigung*, aber auch häufig für medizinisch-physiologische Indikatoren wie z.B. die *Aufwachwahrscheinlichkeit*. Zu den wenigen nonkontinuierlichen Zusammenhängen gehört, wie von Scheuch und Jansen in [9] vermutet, die *vegetative Übersteuerung* (bzw. Defensivreaktion) für welche die Autoren einen empirischen Umschlagpunkt bei einem Ereignis-Maximalpegel von ca. 95 dB(A) vermuten und dort einen "natürlichen" Grenzwert für nicht mehr tolerierbare Maximalpegel von Einzelschallereignissen (tags) ansiedeln. Anwohner des alten Flughafens München-Riem zeigten schon bei einem eingespielten Überfluggeräusch mit 85 dB(A) Maximalpegel eine Defensivreaktion, gekennzeichnet durch Vasokonstriktion an Fingerkuppe und Schläfe [10]. Aus kontinuierlichen Dosis/Wirkungs- Beziehungen allein lassen sich hingegen keine Hinweise auf Grenzen oder gar Umschlagpunkte der Wirkungen ziehen, es sei denn, wie es Guski in [8] ausdrückte, wir betrieben "Knickforschung". Jener schreibt weiter. "Wenn Grenzwerte begründet werden sollen, dann müssen Kriterien mit herangezogen werden, die ausserhalb der eigentlichen Lärmwirkungsforschung liegen: Wir müssen u.a. fragen, (1) wie wichtig die jeweilige Wirkung für die körperliche, psychische und soziale Gesundheit der Betroffenen ist, (2) wie hoch der durchschnittliche Grad der Beeinträchtigung ist, (3) wie gross deren Häufigkeit (oder Permanenz vs. Zeitweiligkeit) ist, (4) welche Möglichkeiten der Kompensation existieren und wie hoch ggf. deren Kosten sind, (5) ob die Auswirkungen reversibel sind, (6) wie unausweichlich die Situation ist und (7) wie hoch die absolute Zahl der Betroffenen ist. Schliesslich ist noch ein weiteres Kriterium zu nennen, das vermutlich in jedes reale Gutachten eingeht: (8) die Durchsetzbarkeit eines akustischen Grenzwerts im derzeitigen politischen Raum."

1.3.3 Pragmatisches Vorgehen bei der Grenzwert-Beurteilung

Vor dem Hintergrund der bisherigen Darstellungen wird dieses Inputpapier keine allgemeingültigen Urteile über die Zumutbarkeit von Lärm, und keine ausschliesslich wissenschaftliche

Begründung von Grenz- oder Richtwerten liefern können. Genausowenig wie sich ein "Recht auf Ruhe" rein wissenschaftlich begründen lässt, wird dieser Bericht keine wissenschaftlichen Aussagen darüber machen können, **wo** bzw. bei welcher Belastung die Grenze der "Zumutbarkeit" von Lärmimmissionen überschritten wird. Der Natur der Sache entsprechend muss also eine "Überprüfung von Grenzwerten" in erster Linie die Bestätigung oder Revision der für die Grenzwertfestsetzung massgeblichen **Belastungs-Wirkungszusammenhänge** betreffen, und erst in zweiter Linie – aus den oben dargelegten Gründen – die Höhe von Grenzwerten an sich.

In diesem Bericht wird in erster Linie (aber nicht ausschliesslich) die Wirkungsdimension "Belästigung" besprochen, und für die eigentliche *Grenzwertbeurteilung* wird nach folgendem pragmatischen Muster verfahren: Entscheidend für die "Angemessenheit" des *Immissionsgrenzwertes* ist derjenige Belastungs-Bereich der Belastungs-Wirkungsfunktion der zugehörigen Lärm-Art, bei welchem nach heutigem Ermessen die Wahrscheinlichkeit für starke Belästigung (P_{HA}) ca. 0.25 beträgt. Schon im Mai 1976 hatten die Arbeitsgruppen 1 und 2 der *Eidgenössischen Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten* (in diesem Text nur noch als "Kommission" bezeichnet) beschlossen, die Grenzwerte 2. Art [später Immissionsgrenzwert genannt] bei derjenigen Belastung festzulegen, bei welcher eine "qualifizierte Minderheit von ca. 25%" stark gestört wird. Dieses einfach zu handhabende aber entscheidende Kriterium wurde später, z.B. beim Fluglärm, erneut als massgebend erklärt (Es wurde 2003 sogar in die internationale Norm ISO 15666 [11] eingeführt). Auf keinen Fall sollte der aktuelle Grenzwert mit grösseren Wahrscheinlichkeiten einhergehen, sondern sollte tendenziell etwas tiefer angesetzt werden. Die Gründe hierfür werden an geeigneter Stelle in diesem Bericht erörtert.

1.4 Untersuchungsgegenstand

Im Rahmen der Erstellung der Relevanzmatrix (vgl. Offerte vom 30. Aug. 2008) haben sich durch die Diskussionen im Projektteam folgende, der Dimension *Wirkung* als zugehörig erachtete Leitfragen (in Klammern das verwendete Kürzel) ergeben, die in diesem Inputpapier behandelt werden:

- [W.1] Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Lauf der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?
- [W.2] Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?
- [W.3] Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?
- [W.4] Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?
- [W.5] Sind alle in der LSV behandelten Quellen akustisch ausreichend beschrieben?

- [W.6] Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll?
- [W.7] Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?

Diese **sieben Leitfragen** wurden vom Projektteam in zwei vorbereitenden Sitzungen als für den aktuellen Gegenstand relevant erachtet und gemeinsam verabschiedet. Der Autor dieses Inputpapiers hält sich an diese Aufstellung. Die Leitfragestellungen werden in den Unterkapiteln 2.1 bis 2.7 behandelt. Allfällig wirkungsrelevante, aber in obiger Aufstellung "fehlende" Aspekte werden möglicherweise in anderen Inputpapieren behandelt.

2 Behandlung der Leitfragen zur Dimension Lärmwirkung

2.1 Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Lauf der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab? (Leitfrage W.1)

2.1.1 Einleitung

Im Rahmen dieser Leitfragestellung ist zu untersuchen, ob – und wenn ja, welchen *Veränderungen* Belastungs-Wirkungsbeziehungen im Laufe der Zeit, bzw. seit ca. den letzten 30 Jahren unterworfen waren. In diesem Zusammenhang ist zum einen die Art der *Belastung* möglichen Änderungen unterworfen, zum anderen die Grösse *Wirkung*. Es muss vorausgeschickt werden, dass sowohl die Änderung der Grösse Belastung (damit ist in erster Linie gemeint wie sich die integrale Belastung akustisch "zusammensetzt"), für sich allein genommen, als auch die Änderung der Grösse Wirkung, für sich allein genommen, jeweils eine Veränderung der Belastungs-Wirkungsbeziehung nach sich zieht. Solche Veränderungen können (1) die Form des Zusammenhangs, (2) die Steigung der den Zusammenhang beschreibenden Kurve oder Gerade sowie (3) den Achsenabschnitt betreffen. Im (einfachsten) Falle einer linearen Beziehung sind die theoretisch denkbaren Veränderungen einer Belastungs-Wirkungsbeziehung am Beispiel der Wirkungsgrösse "Belästigung" auf folgender Abbildung dargestellt:

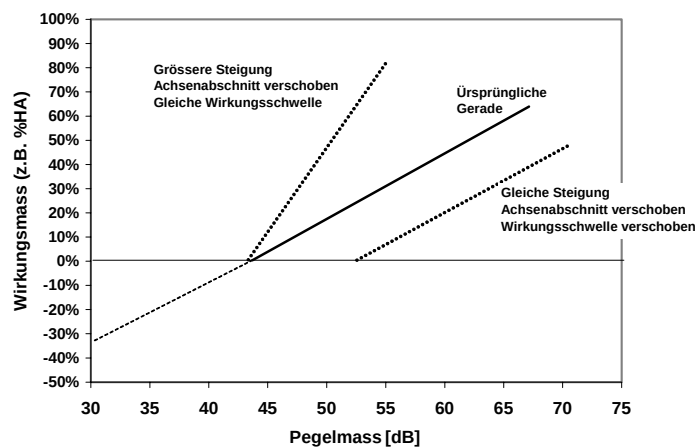


Abb. 2.1.1: Schematische Darstellung von Belastungs-Wirkungskurven und ihrer Veränderungsmöglichkeiten (%HA = "Percent highly annoyed", Prozentsatz Starkbelästigter)

Grundsätzlich kann sich im Laufe der Zeit (a) die Steilheit (Steigung) gegenüber der ursprünglichen Gerade verändern, und (b) der Achsenabschnitt verschieben. Die Wirkungsschwelle, also der Pegelwert bei welchem nachweislich eine Lärmwirkung beginnt ist von der

Steigung der Geraden unabhängig. Die Steigung beschreibt die Zunahme der Wirkung pro Zunahme des Pegelmasses, eine steile Gerade beschreibt demnach – vereinfacht ausgedrückt – einen Zusammenhang, bei welchem eine geringe Veränderung des Pegels zu einer merklichen Zunahme der Wirkung führt. Die Verschiebung des Achsenabschnittes auf der Ordinate (also in vertikaler Richtung) reflektiert die Veränderung des durchschnittlichen Niveaus der Wirkungsvariable. Im obigen Beispiel bedeutet eine gegenüber der ursprünglichen Gerade nach links verschobene Gerade eine Zunahme der Wirkung bei gleichbleibendem Pegel, eine Verschiebung nach rechts eine Abnahme.

Im Rahmen der Grenzwertüberprüfung sind zwei Fragestellungen relevant:

- Hat sich seit Inkrafttreten der LSV die "Zusammensetzung" der Schallenergie im Beurteilungszeitraum einer bestimmten Quelle derart verändert, dass (bei gleichem Durchschnittspegel) eine gegenüber dem Ursprungszustand veränderte Wirkung beobachtet werden kann?² Einschränkung muss hierzu auch festgehalten werden: Selbst wenn sich die Gesamt-Charakteristik der auf den Menschen einwirkenden Schallenergie nicht verändert haben sollte, ergo dass die Wirkung auslösende akustische Geschehen heute dasselbe ist wie früher, muss die Möglichkeit früher gemachter systematischer Fehler in der Messung und/oder der Berechnung der Lärmbelastung und- Wirkung als mögliche Ursache für "Veränderungen" der Belastungs-Wirkungsbeziehungen in Betracht gezogen werden.
- Hat in den letzten Jahren ein kollektiver Wandel betreffend der Tolerierbarkeit von Lärmbelastungen stattgefunden?

Man kann also grundsätzlich zwei Kategorien von Faktoren eruieren, welche zu einer Veränderung von Belastungs-Wirkungsbeziehungen führen können: Eine akustisch-betriebliche und eine gesellschaftlich-psychologische. Diese beiden Kategorien von Bedingungsfaktoren möglicher Veränderungen werden nachfolgend erläutert und einige Hypothesen dazu diskutiert. Das Aufspüren der eigentlichen und tatsächlichen *Ursachen* allfälliger Verschiebungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen ist eine komplexe, von der laufenden und künftigen Lärmwirkungsforschung zu erbringende Aufgabe – sie kann zum einen nicht im Rahmen dieses Papiers erfolgen und ist zum anderen für die eingeschränkte Problematik der Grenzwertüberprüfung auch nicht unmittelbar relevant.

Die heute verfügbaren verbesserten Methoden der Messung und Simulation im Bereich der Akustik sowie die heute verfügbaren neuen Erkenntnisse über sozialwissenschaftliche Methodik (z.B. Befragungstechniken) können natürlich dazu führen, dass die damalige Erhebung und Ermittlung von Belastungs-Wirkungszusammenhängen als falsch (wegen systematischer Methodenfehler) oder (aus heutiger Sicht) unzureichend entlarvt werden muss – in diesem Falle müsste eine allfällige Anpassung von Grenzwerten aus technisch-wissenschaftlichen Gründen vorgenommen werden und nicht aufgrund eines tatsächlich ma-

² Eine Analyse der akustisch beschreibbaren Änderungen im für die Auslegung der LSV relevanten Lärmumfeld wird im Inputpapier Technik und Betrieb [12] vorgenommen.

nifesten gesellschaftlichen Wandels oder von Veränderungen der akustischen Eigenschaften der Lärmquellen.

a) Veränderungen der akustischen Umwelt und der akustischen" Zusammensetzung" der Belastungen

Veränderungen der akustischen Eigenschaften des Verkehrslärms sind im Inputpapier "Technik und Betrieb" [12] dokumentiert. Solche Veränderungen haben potentiell Auswirkungen auf die Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen. So haben seit Inkrafttreten der LSV die Zahl von zugelassenen Autos, die Anzahl verkehrender Züge und die Flugbewegungszahlen (letzte mit einem kleinen Einbruch zw. 2001 und 2004) zugenommen. Gleichzeitig sind die einzelnen Ereignispegel zurückgegangen. Heute neu zugelassene Personenwagen sind ca. 4 dB leiser als früher, allerdings wird dieser Effekt durch die grössere Anzahl Motorfahrzeuge und den Trend zu stärkeren Motorisierungen wieder neutralisiert. Bis ca.1990 ist die mittlere Lärmbelastung im städtischen Strassenverkehr gestiegen und bleibt seitdem konstant. Noch ausgeprägter verlief die technische Entwicklung beim Luftverkehr. Gegenüber Flugzeugen aus den 70er-Jahren sind moderne Verkehrsflugzeuge aus den Airbus- und Boeing-Familien bis zu 20 dB leiser. Gleichzeitig hat der Luftverkehr stark zugenommen. Am Flughafen Zürich ist seit 1970 mit 130'472 Flugbewegungen deren Anzahl im Jahre 1990 auf 219'861 und im Jahr 2000 auf das Maximum von 325'622 Bewegungen angestiegen (Unique, 2001). Gleichzeitig ist die durch einen bestimmten Pegel belärmte Fläche um den Flughafen im Laufe der Jahre immer kleiner geworden.

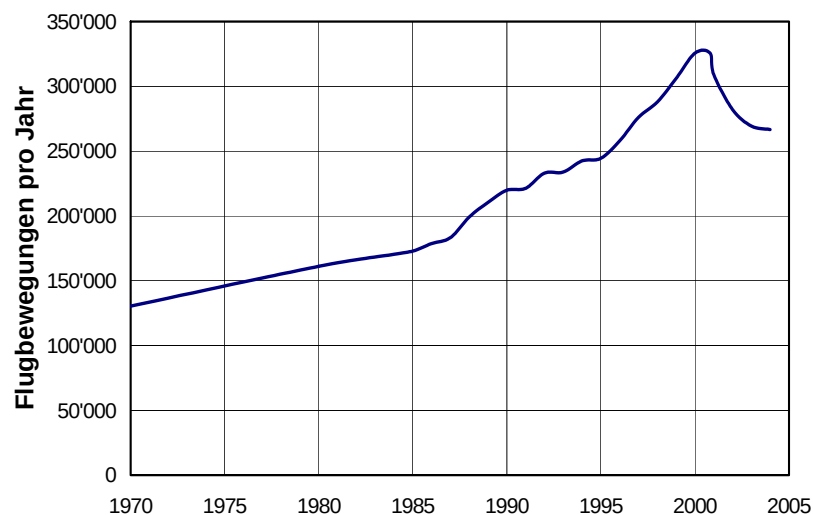


Abb. 2.1.2: Entwicklung der jährlichen Flugbewegungszahlen am Flughafen Zürich

Die Steigerung der Flugbewegungen wird von der Mehrzahl der Lärmwirkungsforscher als einer der Hauptgründe betrachtet für die Zunahme der Fluglärmbelästigung (bei vergleichbarer) im Verlauf der letzten 20 Jahre. Einen empirischen Hinweis darauf haben Fidell, Silvati & Pearsons [13] am Flughafen Seattle-Tacoma gegeben: 62-75 % der befragten 1'236 Anwoh-

ner aus fünf Untersuchungsgebieten berichteten über eine Zunahme des Fluglärms im vergangenen Jahr, obwohl der L_{DN} in allen Gebieten leicht abgenommen hatte.

Technisch-betriebliche Veränderungen als mögliche Ursache für Verschiebungen der Belastungs-Wirkungsbeziehungen werden in den entsprechenden Abschnitten 2.5.1, 2.5.2 und 2.5.3 diskutiert.

b) Gesellschaftliche und psychologische Faktoren

Die EKLK mutmasste in ihrer Offertanfrage, dass der gesellschaftliche Wandel die grösste Unsicherheit bezüglich der Aktualität der Grenzwerte, weiterer Regelungen innerhalb der LSV und des ganzen Gerüsts der Lärmbekämpfung mit sich bringt. Die meisten Lärmwirkungsstudien dienen dazu, die Folgen von Lärm in einer definierten Population zu erheben und vorauszusagen, seien diese Folgen nun psychologischer, medizinischer, oder sonstiger Art. Dabei wurde bisher mehrheitlich davon ausgegangen, dass sich die Reaktionen auf Lärm verallgemeinern lassen und dass sie über Zeit und Kulturen hinweg gleich bleiben. Neuere Analysen von Guskı [14] stellten – vor allem im Falle des Fluglärms – diese Haltung in Frage: *bei gleichem Pegel* scheint der Anteil Starkbelästigter während der letzten Jahrzehnte stetig *zugenommen* zu haben. Bröer und Wirth spekulieren in [15] über mögliche gesellschaftliche Ursachen für diesen Wandel. Vor dem Hintergrund von Becks Theorie der Risikogesellschaft [16] wird argumentiert, dass die laufende und zunehmende Technisierung unserer Welt (z.B. am Beispiel der Luftfahrt) immer weniger mit Etiketten des Fortschritts assoziiert wird, sondern zunehmend als bedrohlich wahrgenommen wird, was sich in letzter Konsequenz dann auch in verschärften Belastungsurteilen niederschlagen würde. Politikmisstrauen, Technikpessimismus, Wirtschaftskritik, negative Kontroll- und Zukunftserwartungen seien aus dem Blickwinkel von Becks Überlegungen heute wesentlich relevantere nicht-akustische Bestimmungsfaktoren der Lärmbelästigung als früher. Die Annahmen sind bis zu einem gewissen Grad durchaus plausibel, aber nicht mit Daten belegt.

Nach allgemeiner Einschätzung bildet sich das globale Belastungsurteil durch eine Integration von Störungen in verschiedenen Situationen und emotionalen Bewertungen über eine längere Zeit. Dies bedeutet, dass sich das "private" Belastungsurteil auch in der Öffentlichkeit und unabhängig von jeglicher akustischen Determinierung bilden kann. Wenn die Lärmproblematik in der jeweils aktuellen politischen Agenda (und entsprechend in den Medien) auftaucht, können "Belastungsreaktionen" auch dann entstehen, wenn die Lärmbelastung nicht sehr ausgeprägt ist. Dieser Verursachungszusammenhang ist heute möglicherweise stärker ausgeprägt als früher. Die Sensibilität für Umweltthemen ist sicher gewachsen und man kann heute auch von einer "informierteren" Gesellschaft ausgehen als noch z.B. in den 70er Jahren (aus denen die meisten die heutige Lärmschutzpolitik im In- und Ausland massgeblich bestimmenden Studien stammen). Auf individueller Ebene bedeutet dies etwa, dass der Lärmwirkungsforscher bei einer Befragung heute kaum mehr "naive" Versuchspersonen (im Sinne der Experimentalpsychologie) vor sich hat, sondern eher überkritische Bürger die – durch die Medien umfassend informiert und sensibilisiert – durch ihre Antworten auch eine

tendenzielle Einflussmöglichkeit auf politische Entscheidungen wahrnehmen, wie dies z.B. Job in [17] erwähnt.

2.1.2 Belastungs-Wirkungsbeziehungen und deren zeitliche Trends

a) Einleitung

Es erscheint zweckmässig – zumindest im Rahmen einer Grenzwertüberprüfung – sich bei der Untersuchung von Belastungs-Wirkungsbeziehungen und deren Trends vorderhand auf die Wirkungsdimension der "Belästigung" zu beschränken – wohl wissend, dass auch andere relevante Beschreibungsdimensionen der Lärmwirkung existieren und Grenzwerte ebenso begründen können (z.B. Aufwachreaktionen, medizinisch-physiologische Gesundheitsindikatoren etc.)

Es hat sich in der Lärmwirkungsforschung zu einem Standard entwickelt, die Belästigung durch Lärm in Befragungen mehrstufig zu erheben und den Anteil derjenigen Personen, die die oberen Stufen einer Belästigungsskala angeben, als Anteil *stark Belästigter* (HA – *highly annoyed*) auszuweisen. Im Gegensatz zur Angabe einer "mittleren Belästigung" pro Pegelklasse auf einer gegebenen Belästigungs-Skala hat die Ausweisung des "hoch" oder "stark" belästigten Anteils der Bevölkerung in der jeweiligen Pegelklasse einige Vorteile, die von Schultz in [18] näher diskutiert werden. Gemäss des Kriteriums, welches Schultz in seiner Metaanalyse mehrerer Studien zur Belästigungswirkung von Lärm anwendete, bestimmt sich der %HA-Anteil über den Anteil an Belästigungsurteilen oberhalb eines cut-off-Wertes von 71-73% einer Belästigungsskala. Dieser Wert geht historisch gesehen auf die 1971 durchgeführte erste Schweizer Lärmstudie zurück, in welcher erstmals eine 11-stufige Skala verwendet wurde [19]. Schon dort wurden die drei obersten Skalenstufen (8, 9, 10) als *starke Störung* (das Konzept der "Belästigung" wurde damals noch nicht verwendet) codiert, ein Kriterium, welches von Schultz übernommen wurde und seither als sog. *Schultz-Kriterium* gebräuchlich ist. Für die in Befragungen erhobene Belästigung durch Lärm verschiedener Verkehrsarten liegen auf umfangreichem Datenmaterial basierende sog. *generalisierte* Belastungs-Wirkungskurven vor [18; 20; 21; 22] die auf dieses Schultz-Kriterium zurückgreifen. Aufgrund dieser Kurven lässt sich angeben, wie hoch der %HA-Anteil bezogen auf ein akustisches Belastungsmass (meist L_{DN} bzw. L_{DEN})³ ist. Insbesondere die von Miedema und Kollegen [21; 22] durchgeführten Metaanalysen gelten in ihrer Art als "state of the art" Analysen (Abb. 2.1.3). Die entsprechenden Arbeiten, etwa [22], gehören zu den meistzitierten der Lärmwirkungsforschung.

³ L_{DN} : Day-Night-Level (auch "DNL"). Leq über 24 Stunden mit einem Pegelzuschlag von 10 dB zwischen 22 und 7 Uhr; L_{den} : Day-Evening-Night-Level (auch "DENL"). Leq über 24 Stunden, wobei die Pegel von 19-23 Uhr 5 dB, jene von 23-07 Uhr 10 dB Zuschlag erhalten.

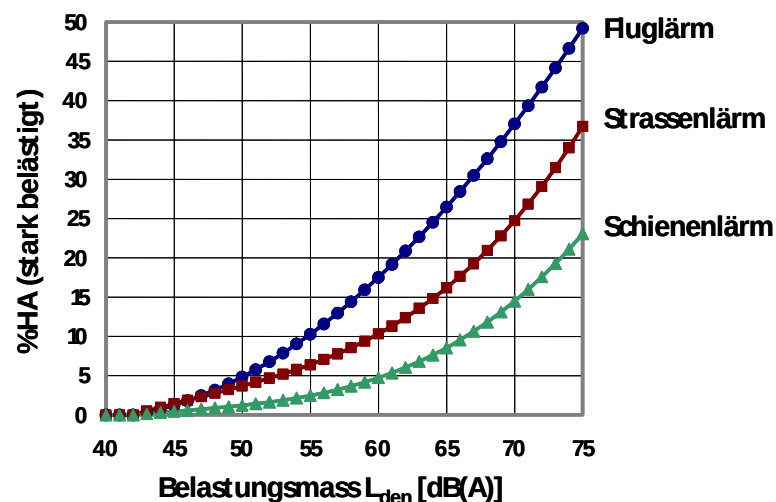


Abb. 2.1.3: Generalisierte Belastungs-Wirkungs-Kurven von Miedema und Vos [22]

b) Unterschiedliche Belastungs-Wirkungsbeziehungen bei unterschiedlichen Lärm-Arten

Es dürfte allgemein bekannt sein – zumindest unter Fachleuten – dass die Ergebnisse aus vielen internationalen Untersuchungen der Belästigung und Störung von Strassen-, Flug- und Schienenlärm-Betroffenen bei ähnlicher Schallbelastung einer bestimmten Rangfolge unterliegen. Zumindest scheint das bis jetzt der Fall zu sein. Danach hat Fluglärm die stärksten 'negativen' Wirkungen, d.h. erzeugt bei einem bestimmten Pegel die stärkste Belästigung, gefolgt von Strassenlärm und Schienenlärm. Dies wird in entsprechend unterschiedlichen Belastungs-Wirkungskurven, z.B. in Abb. 2.1.3 deutlich. Einzig Oliva und Hüttenmoser haben versucht, dem bisherigen Konsens der Lärmwirkungsforschung hinsichtlich des Unterschieds zwischen Strassen- und Fluglärm zu widersprechen und aufgrund der Ergebnisse der "Lärmstudie 90" einen Bonus für Fluglärm nachzuweisen [23]. Andreas Meyer, ehemaliges Mitglied der EKLb, beklagt die ausbleibende Diskussion um diesen Widerspruch [24], allerdings erscheint das Ausbleiben verständlich, wenn berücksichtigt wird, dass die von Oliva und Hüttenmoser angeführte Herleitung über grössere Abschnitte äusserst verwirrt ist⁴ und auch nur sehr schwer nachvollziehbar erscheint [8].

⁴ Es finden sich darin Sätze wie "Das setzt einen Vergleich der Lästigkeitswirkung bei gleicher Lästigkeit voraus" (S. 48), oder "Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrnehmung einer bestimmten Geräuschquelle unabhängig von der Existenz einer weiteren Geräuschquelle abhängig ist [...]" (S. 52)

c) "Generalisierte" Belastungs-Wirkungs-Kurven

Die in der vielbeachteten Veröffentlichung von Miedema & Oudshoorn [21] auf den L_{DN} und L_{DEN} bezogenen Belastungs-Wirkungskurven – getrennt für Flug-, Strassen-, und Schienenverkehrslärm – basieren auf Daten aus 53 Studien (darunter 20 Fluglärmstudien) bzw. 53'885 Befragten. Die auf den L_{DEN} bezogenen Kurven haben ihren Niederschlag in der europäischen Lärmschutzpolitik [25; 26] gefunden, und die auf den L_{DN} bezogene sog. "EU-Kurve" (vgl. rote Kurve in Abb. 2.1.18) für den Anteil hoch Fluglärmbelästigter liegt als Belastungs-Wirkungsbeziehung dem Zürcher Fluglärm Index (ZFI) [27] zugrunde.

Sehr kritisch muss aus heutiger Sicht das hohe Alter der für die Metaanalysen herangezogenen Daten beurteilt werden. Die Daten für die Miedema-Kurven [21] (Fluglärm) stammen aus einem Untersuchungszeitraum von 1965 bis 1992 (Durchschnitts-Jahr der Befragung: 1978!). Unter Lärmwirkungsforschern herrscht weitgehend Einigkeit, dass die Miedema-Kurven nicht mehr dem aktuellen Stand entsprechen und sich der Trend einer augenscheinlich zunehmenden Belästigung bei gegebenen Pegel, insbesondere beim Fluglärm, abzeichnet [8; 15; 28; 29; 30; 31; 32]. Demgegenüber steht der Verdacht mancher Akustiker, dass der vermutete Belästigungswandel gar nie stattgefunden hat, sondern lediglich ein Artefakt der fortwährenden Verbesserung der akustischen Mess- und Simulationstechnik darstellt. Allerdings ist diese Erklärungsalternative seitens der Akustiker nie stringent und überzeugend in die Diskussion unter Wirkungsfachleuten eingebracht worden.

Für die Verwendung einer generalisierten Belastungs-Wirkungsfunktion zur Grenzwertfestlegung spricht, dass diese aufgrund der Vielzahl der darin anteilmässig enthaltenen Studien eine gewisse Allgemeingültigkeit besitzt, d.h. die Belastungs-Wirkungsbeziehung nicht von Besonderheiten an einzelnen Flughäfen, Strassenzügen oder Bahnlinien abhängt und damit dem Gerechtigkeits-, Konsistenz- und Vergleichbarkeitsprinzip genügt. Dieser Vorteil gilt vor allem im Kontext einer übergeordneten Lärmschutzpolitik. Durch den Zusammenzug von Resultaten verschiedener Untersuchungen, welche von unterschiedlichen Forschungsteams und mit unterschiedlichen Mitteln durchgeführt wurden, erhofft man sich ferner, allfällige methodisch bedingte (aber nicht im Detail bekannte) Fehler einzelner Studien durch Mittelung von Studienresultaten zu eliminieren und somit eine, wissenschaftlich gesehen, bestmögliche Schätzung des interessierenden Effektes zu erhalten. Dabei wird in der Regel unterstellt, dass Verzerrungen einzelner Studien wiederum unsystematisch um den wahren, die Wirklichkeit korrekt abbildenden Wert streuen. Im Rahmen von Belastungs-Belästigungs-Kurven betrifft dies die Methode der Befragung und auch die jeweils zur Anwendung kommende Methode der Lärmberechnung. Letztere Problematik wird von Lärmwirkungsforschern meist massiv unterschätzt. Sie gehen meist von der Annahme aus, dass es sich beim rechnerisch oder messtechnisch ermittelten Belastungs-Wert um einen Mittelwert handelt, welcher der beste Schätzer für den wahren, jedoch unbekannten Wert ist. Unter Umständen können aber nicht erkannte systematische Effekte das Mess- oder Berechnungsergebnis und damit die Belastungs-Wirkungsbeziehung verfälschen. Ein Kritikpunkt an den o.g. Metaanalysen ist der Mangel an Kompatibilität der darin enthaltenen Studien hinsichtlich Methodik und den erfassten Belastungs- und Wirkungsgrößen. Es wurden in den Originalarbeiten verschiedene Pegelmasse verwendet, die z.T. – unter Annahme nicht im Einzelfall überprüfter Konversionsre-

geln – auf den L_{DN} umgerechnet wurden, mal waren die Pegelwerte gemessen, mal berechnet worden, und den berechneten Pegeln lagen verschiedene Berechnungsverfahren oder unterschiedliche Zeitbezüge im L_{DN} bzw. L_{DEN} zugrunde. Auf der Wirkungsseite sind Urteile zu verschiedenen Konstrukten erhoben worden (Gestörtheit, Unzufriedenheit, Ärger, Belästigung), anhand derer dann nach Skalentransformation die stark Belästigten definiert wurden, usw. usf.

Durch die breite Akzeptanz der ICBEN-Empfehlungen von 2001 zur Erfassung der Lärmbelästigung [33] hat sich das Problem der mangelnden Kompatibilität einzelner Belästigungsstudien untereinander etwas entschärft, wodurch nun neuere Studien quasi automatisch eine höhere Wahrscheinlichkeit aufweisen, dass sie miteinander vergleichbar sind. Die Empfehlungen sehen vor, die Lärmbelästigung mittels einer 5-stufigen, intervallskalierten Verbalskala – (5) äusserst (4) stark (3) mittelmässig (2) etwas (1) überhaupt nicht belästigt oder gestört – und einer 11-stufigen numerischen Skala von 0 bis 10 mit den beiden markierten Endpunkten "überhaupt nicht" und "äusserst" zu erfassen. Neue Kompatibilitätsprobleme entstehen allerdings durch die ICBEN-Empfehlung zur Definition der *highly annoyed* (HA). Danach werden diejenigen Personen als hoch belästigt bezeichnet, die auf der 5-stufigen Verbalskala die obersten beiden Kategorien "stark" und "äusserst" angeben. Für eine HA-Definition auf Basis der 11-stufigen numerischen Skala wird keine Empfehlung gegeben, meist wird jedoch als HA deklariert, wer die obersten 3 Skalenstufen (8,9,10) als Antwort wählt. Unglücklicherweise führen diese beiden unterschiedlichen Definitionen des Vorhandenseins einer starken Belästigung auch zu unterschiedlichen Belastungs-Wirkungs-Kurven – wie die Beispiele in Abb. 2.1.4 zeigen – selbst wenn die entsprechenden Angaben (Antworten auf der 5-stufigen Verbalskala UND auf der 11-stufigen numerischen Skala) von der selben Person gemacht wurden. Einige Lärmwirkungsforscher vermuten hinter der offensichtlich zunehmenden Verwendung der 5-stufigen Verbalskala und dem langsamen Verschwinden der 11-stufigen Skala aus dem Methodeninventar die eigentliche Ursache der beobachteten Belästigungszunahme [32]. Die Annahme ist zwar nicht mit Daten belegt, erscheint aber plausibel, insbesondere angesichts der in Abb. 2.1.4 gezeigten Trends.

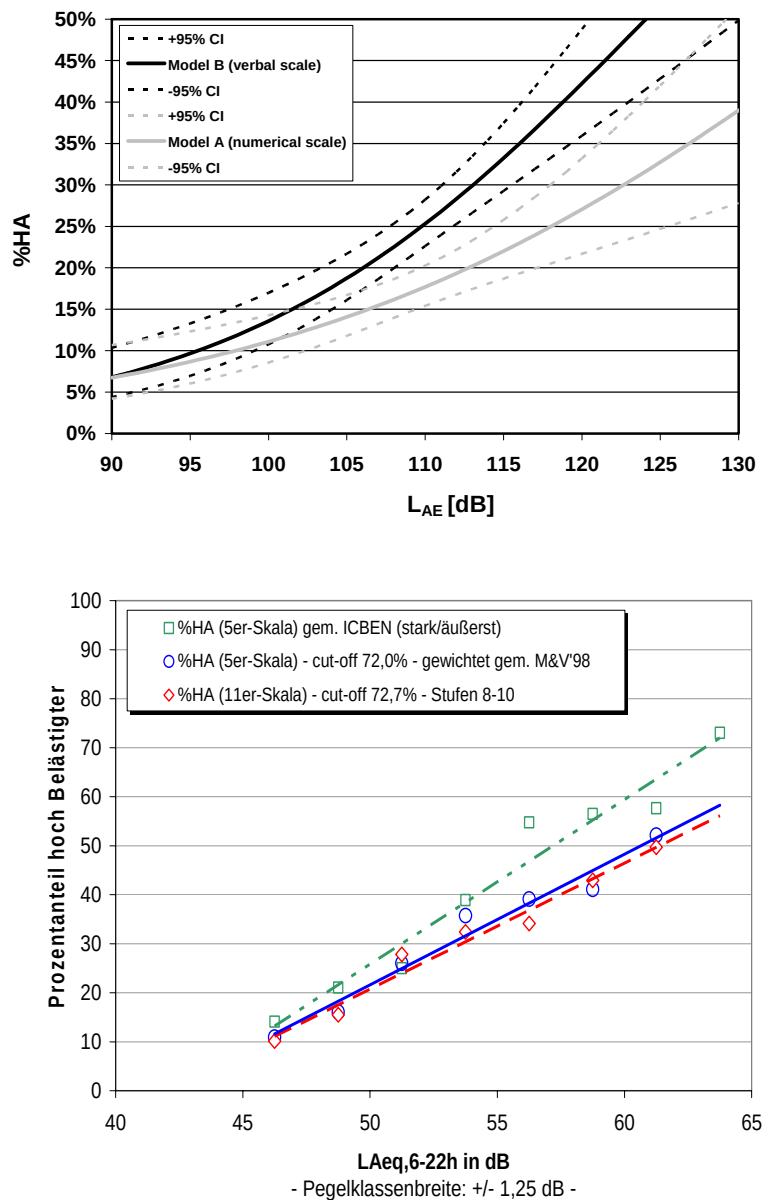


Abb. 2.1.4: Oben: Logistische Belastungs-Wirkungskurven und 95%-Konfidenzintervall für HA durch militärischen Schiesslärm. Die zugrundeliegenden Daten stammen aus derselben Untersuchung [34; 35]. Modell A beruht auf der numerischen 11er-Belästigungsskala, Modell B beruht auf der 5er-Belästigungsskala – beide Skalen nach ICBEN. Unten: Lineare Belastungs-Wirkungskurven für HA durch Fluglärm aus der vom Regionalen Dialogforum (RDF) in Auftrag gegebenen "Frankfurter Belästigungsstudie" [36]. Datenpunkte = %HA pro $L_{Aeq,06-22h}$ -Pegelklasse. Unveröff. Berechnung. Mit freundlicher Genehmigung von Dirk Schreckenber.

Es ist davon auszugehen, dass alleine durch das verwendete Frageformat und die Wahl des sog. "cutoff-Punkts" (siehe [21]) für die Definition der HA sehr unterschiedliche Resultate zu Tage gefördert werden, die nicht die Belastungs-Variation in der Grundgesamtheit reflektie-

ren, sondern letztlich nur durch Unterschiede methodischer Art zustandekommen. Es erscheint also als äusserst schwierig und nicht selten unmöglich, mehrere Studien "einfach so" mit metaanalytischen Verfahren zusammenzufassen.

Auf akustischer Seite sind ebenfalls Harmonisierungen anzustreben. Die ICBEN-Empfehlung von 1997 [37] hierzu lautet, in Veröffentlichungen von Wirkungsstudien den $L_{Aeq,24h}$ und L_{DN} oder L_{Aeq} -Pegel für verschiedene Tageszeiten (z.B. Tag, Nacht) als Belastungsparameter zu verwenden oder wenigstens Transformationsregeln für die Bestimmung des $L_{Aeq,24h}$ und des L_{DN} anzugeben. Damit ist allerdings noch nicht die Vergleichbarkeit der Herleitung dieser Pegelmasse gewährleistet. Ein weiterer Weg ist, die Berechnungs- bzw. Messunsicherheiten mit anzugeben, um wenigstens die Genauigkeit der Belastungsangaben in Belastungs-Wirkungsfunktionen abschätzen zu können.

2.1.3 Strassenverkehrslärm

Im Zeitraum von 1972 bis 1978 sind in der Schweiz vier Erhebungen über die Auswirkungen des Strassenverkehrslärms auf die Bevölkerung durchgeführt worden [19; 38; 39; 40]. Die Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten beschreibt in ihrem ersten Teilbericht in Tab. 1 [5] zwei Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Strassenlärmbelastung und dem Prozentsatz Starkbelästigter, welche die in Abb. 2.1.5 dargestellten Kurven ergeben. Diese Kurven können als Ausgangspunkt einer allenfalls inzwischen stattgefundenen Veränderung betrachtet werden.

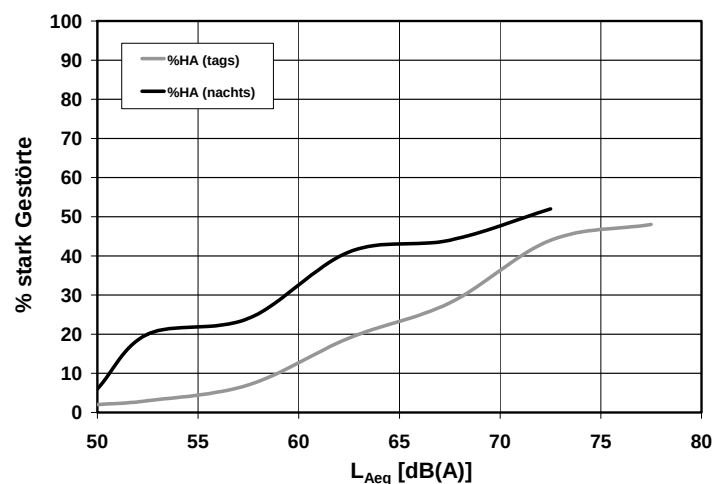


Abb. 2.1.5: Beziehungen zwischen der Strassenlärmbelastung tags und nachts und dem Anteil stark gestörter Personen in der Schweiz. Die Belastungsangabe bezieht sich auf den jeweils relevanten Betrachtungszeitraum, also den $L_{Aeq,06-22}$ (Tag) bzw. den $L_{Aeq,22-06}$ (Nacht) (aus [5])

Im Gegensatz zu Untersuchungen des Belästigungs-Trends beim Fluglärm (z.B. [32]) ist das Thema der Belästigungs-Veränderung über die Zeit beim Strassenlärm in der Literatur kaum vertreten. Die Gründe hierfür sind nicht klar – möglicherweise haben sich bis heute einfach keine überzeugenden Hinweise auf eine Verschiebung von generalisierten Belastungs-Wirkungsbeziehungen beim Strassenlärm ergeben (Abb. 2.1.6), obwohl die akustisch-betriebliche Entwicklung beim Strassenlärm ähnlich wie beim Fluglärm verlief.

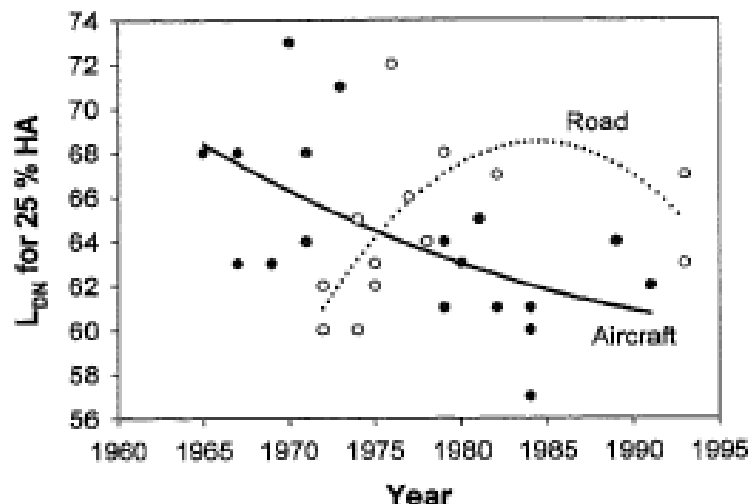


Abb. 2.1.6: Benötigter L_{DN} für 25% stark Belästigte zwischen 1965 und 1995. Während ein negativer Trend für Fluglärm deutlich wird (benötigter Pegel sinkt mit fortschreitender Jahreszahl), erlaubt die Datenlage beim Strassenverkehrslärm augenscheinlich keine sinnvolle Trendschätzung (aus [14])

Angesichts der Tatsache, dass z.B. in der EU, wesentlich mehr Menschen von hohen Strassenlärmpegeln betroffen sind als von entsprechenden Fluglärmpegeln ist es sehr erstaunlich, dass in den letzten 10-15 Jahren kaum Anstrengungen unternommen wurden, die empirische Datenbasis über den Belastungs-Wirkungszusammenhang beim Strassenverkehrslärm nennenswert zu vergrössern. Insbesondere westliche Länder scheinen sich zurzeit schwer zu tun, entsprechende Forschungsgelder bereitzustellen. Neue Belästigungsstudien – die aber wegen des vermuteten grossen kulturellen Einflusses kaum für unsere Zwecke konsultiert werden können, stammen vornehmlich aus asiatischen Ländern. Der einzige, in dieser Dekade publizierte Review zur Belästigung durch Strassenverkehrslärm (nebst [21], welches aber im Wesentlichen nur eine Überarbeitung von bereits publizierten Daten darstellt) ist eine Übersichtsarbeit von Ouis [41] in welcher jedoch eine erhoffte (aktualisierte) generalisierte Kurve für Strassenlärm nicht auftaucht.

Im Folgenden werden streiflichtartig die im Rahmen von Originalstudien oder den 2000er-Jahren ermittelten Belastungs-Wirkungsbeziehungen für Strassenlärm diskutiert und den weitgehend etablierten generalisierten Kurven aus [21] gegenübergestellt. Ziel dieser eher rudimentären Sondierungen ist es, zu eruieren, ob der beim Fluglärm (dieser wird in einem

der später folgenden Abschnitte behandelt) sichtbare Belästigungstrend auch beim Strassenlärm beobachtbar ist.

a) Neuere Studien

Vor allem in Skandinavien [42; 43; 44; 45] und vermehrt in China ([46; 47; 48]) wurden seit Anfang des neuen Jahrtausends Untersuchungen zur Strassenlärmbelästigung durchgeführt. Wir wollen uns im Folgenden auf die Studien aus Europa beschränken da die Ergebnisse aus China aufgrund des sehr verschiedenen kulturellen Hintergrundes nicht einfach auf die Schweiz übertragen werden können.

Schweden. Öhrström und ihre Mitarbeiter untersuchten die Belästigungswirkung von Schienen- und Strassenverkehrslärm in einer Befragung [43] innerhalb einer von Strassen- und Schienenverkehrslärm stark betroffenen Vorortsgemeinde von Göteborg, die im Jahre 2004 durchgeführt wurde, somit also noch relativ junge Daten zur Verfügung stellte. Die ermittelten Belastungs-Wirkungskurven weisen eine deutlich stärkere Strassenlärmbelästigung aus, als vergleichbare ältere Studien. Leider wird in der Publikation keine Funktion für den 16h-Tagespegel bekanntgegeben, was die Beantwortung der Frage erschwert, ob der in der LSV ausgewiesene Grenzwert für den Tag die gesetzliche Funktion auch in Schweden erfüllen würde.

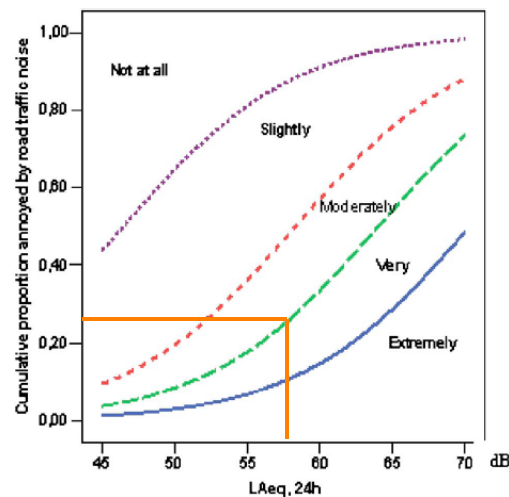


Abb. 2.1.7: Belastungs-Wirkungskurven für Strassenverkehrslärm aus [43]. Vom Autor orange markiert auf der x-Achse ist die Belastung, die bei ca. 25 % stark Belästigten (=Antwortkategorien "very" und "extremely") überschritten wird.

Norwegen. Klaeboe et al. fassen in [44] die Daten von insgesamt 5 norwegischen Wirkungsstudien aus den Städten Oslo und Drammen zusammen und legen eine für Norwegen repräsentative generalisierte Kurve vor. Die Belastungs- und Belästigungsdaten wurden in den

Jahren 1987, 1994, 1996, 1998, 1999 gesammelt, sind also nicht mehr ganz aktuell, aber zumindest neuer als die aktuellsten verfügbaren Schweizer Daten (Abb. 2.1.8).

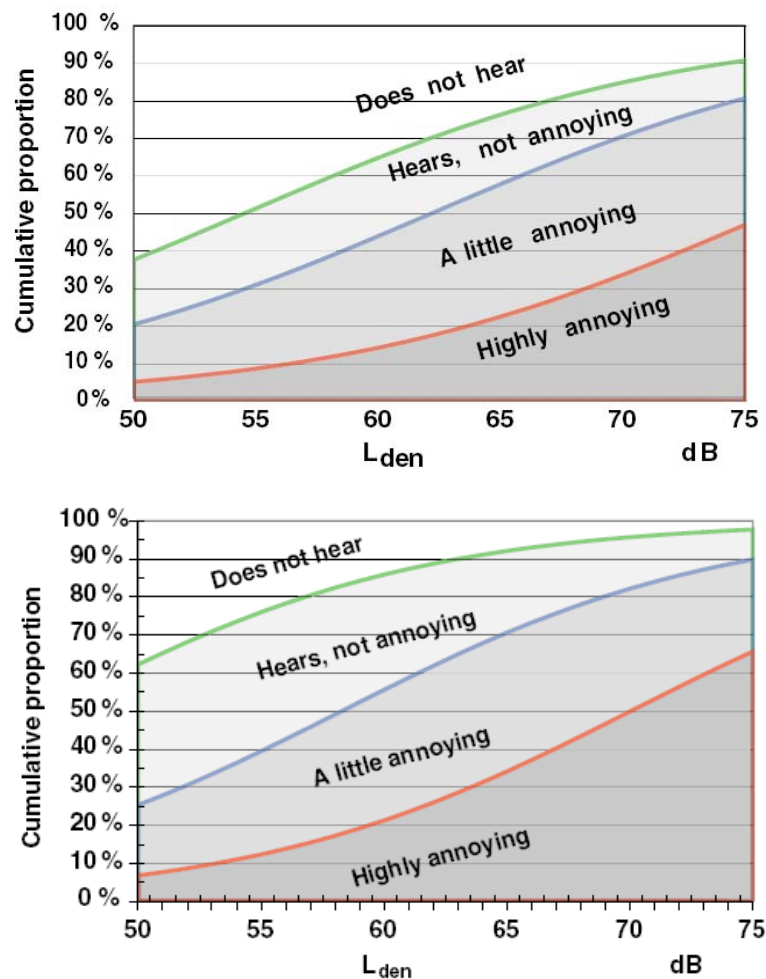


Abb. 2.1.8: Dosis-Wirkungskurven für verschiedene Grade der Belästigung durch Strassenverkehrslärm in Norwegen. Oben: Belästigung **im** Haus bzw. in der Wohnung; unten: Belästigung **vor** dem Haus (Aus [44])

Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Belästigung durch Strassenverkehrslärm in Norwegen bei gleichem Pegel stärker ausgeprägt ist, als durch die "Miedema-Kurven" vorausgesagt würde und dokumentieren dies auch durch eine entsprechende Abbildung in ihrem Papier, die an dieser Stelle aus selbigem wiedergegeben wird (Abb. 2.1.9). Einschränkung ist zu diesen Studien zu bemerken, dass hier im Gegensatz zur üblichen Praxis (zumindest was Länder ausserhalb Skandinaviens betrifft) zwei *unterschiedliche* Dimensionen (Bemerkungen und Belästigen) in einer Skala kombiniert werden. Mitunter wird in skandinavischen Untersuchungen die Nutzung der gesamten Skalen-Länge als Annoyance-Skala mit Daten einer Untersuchung von Öhrström et al. [49] gerechtfertigt, bei der 65 % der Personen, die auf der fünfstufigen Standard-Annoyance-Skala die erste Stufe wählten, auch die erste Stufe der kombinierten Skala wählten.

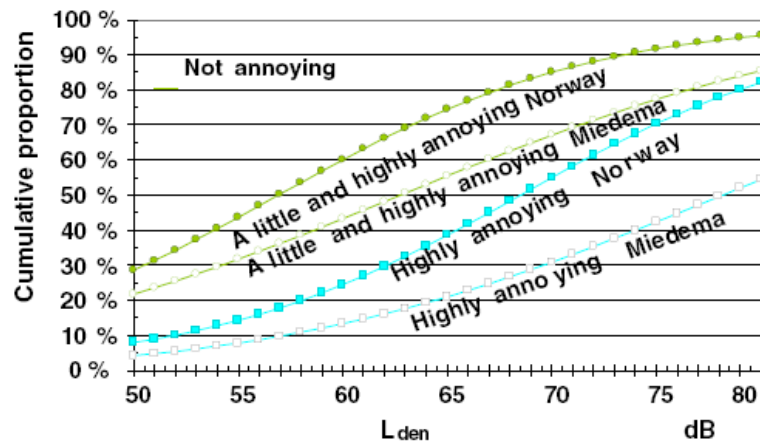


Abb. 2.1.9: Belästigung durch Strassenverkehrslärm in Norwegen, im Vergleich mit der Metaanalyse von Miedema & Oudshoorn [21]. (aus [44])

Republik Serbien. Im Rahmen der vom jungen Staat Serbien geplanten Adaptation der EU-Umgebungslärmrichtlinie [26] innerhalb der nationalen Gesetzgebung führten Jakovljevic et al. eine Belästigungsstudie im Zentrum Belgrads durch [50]. Die Datenaufnahme geschah zwischen 2004 und 2006. Auch diese Studie zeigte, dass die aktuelle Belastungswirkungsbeziehung einen weit höheren Anteil an Starkbelästigten ausweist, als es die Miedema-Kurven voraussagen würden (Abb. 2.1.10). Erklärt wird dieser Effekt allerdings nicht vor dem Hintergrund eines möglichen gesellschaftlichen Wandels, welcher allenfalls eine erhöhte Lärmempfindlichkeit zur Folge hätte, sondern mit dem vergleichsweise hohen Anteil an Lastwagen mit tieffrequenten Lärm-Emissionen in Serbien. Diese Interpretation ist mit Daten nicht belegt und kann im Rahmen dieses Papiers auch nicht überprüft werden.

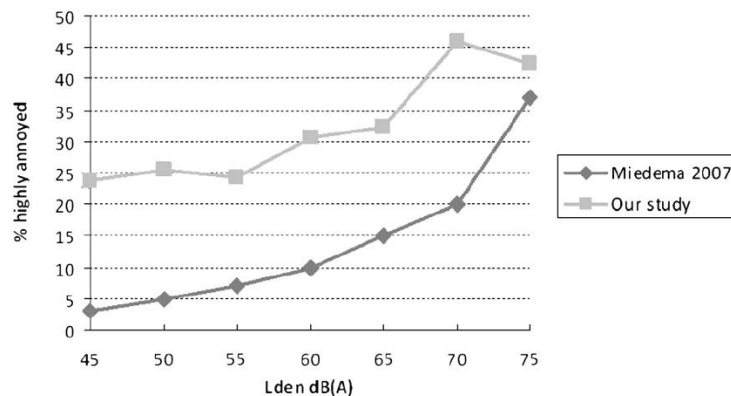


Abb. 2.1.10: Belästigung durch Strassenverkehrslärm in Belgrad, Serbien, im Vergleich mit Daten von Miedema & Oudshoorn [21]. (aus [50])

HYENA-Studie. An der HYENA-Studie [51; 52; 53] nahmen fast 5000 Anwohner in der Nähe grosser europäischer Flughäfen (Amsterdam, Athen, Berlin, London, Mailand und Stockholm) teil. Obwohl sich die Hauptfragestellung dieser Studie auf Fluglärm und Bluthochdruck bezog,

wurden auch Daten zur Strassenlärmbelastung gesammelt. Während beim Fluglärm eine erheblich höhere Belastung festgestellt wurde, als durch die EU Kurve vorhergesagt würde (siehe auch Kap. 2.1.5), war dies beim Strassenlärm nicht der Fall. Abb. 2.1.11 zeigt den Dosis-Wirkungszusammenhang für die Belastung durch Strassenverkehrslärm in der Nähe der verschiedenen in der HYENA-Studie untersuchten Flughäfen. Hierbei stehen die Akronyme GB für London Heathrow, D für Berlin Tegel, NL für Amsterdam Schiphol, S für Stockholm Arlanda, GR für Athen Elephterios Venizelos, und I für Mailand Malpensa. Die hellblaue Kurve die mit "Total" bezeichnet ist, zeigt den jeweiligen Durchschnittswert an. Während die Durchschnittskurve recht nahe an der EU-Kurve liegt, streuen die Kurven beträchtlich und zeigen den vergleichsweise grossen kulturellen Einfluss auf das Belästigungsempfinden. Z.B. lässt sich das Cliché der wenig lärmempfindlichen Südländer nicht mit diesen Daten belegen, weisen doch die Bewohner im italienischen Malpensa die stärkste Belästigung auf. Die Autoren der HYENA-Studie folgern indes auch, für lokale bzw. nationale Belastungsprognosen auch lokale bzw. nationale Belastungs-Wirkungsfunktionen zu verwenden – was in gewissem Widerspruch zu den Empfehlung der EU [25] steht.

Einschränkend muss bemerkt werden, dass im Rahmen der HYENA Studie nur Personen zwischen 45 und 70 untersucht wurden. Hingegen scheint das Alter in diesem Wertebereich keinen systematischen Zusammenhang mit der Lärmbelastung aufzuweisen.

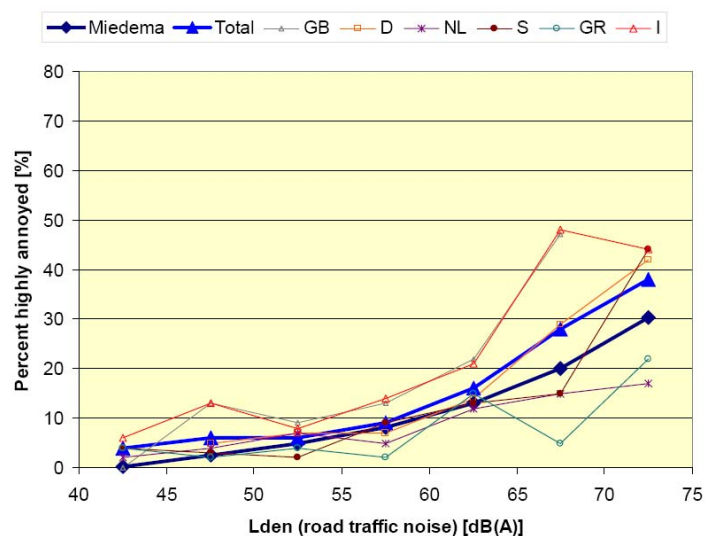


Abb. 2.1.11: Belästigung durch Strassenverkehrslärm in der Nähe von 6 grossen europäischen Flughäfen, aus der HYENA-Studie [53], im Vergleich mit Daten von Miedema & Oudshoorn [21]

ALPNAP-Studie. Der Alpenraum gilt als sensible Zone in Bezug auf mögliche nachteilige Wirkungen des Verkehrs auf Menschen und Umwelt (Verkehrsprotokoll der Alpenkonvention). Das Hauptziel der ALPNAP-Studie, die entlang der Brenner-Alpentransversale in Tirol durchgeführt wurde, war deshalb die optimale Beschreibung der Zusammenhänge von Topografie, Meteorologie, verkehrsbedingter Luft- und Lärmbelastung sowie deren Gesundheitsauswirkungen. Im Rahmen einer Teilstudie [54] wurden Anwohner von Autobahnen und

Strassen nach deren Lärmbelastung gefragt. Als Ergebnis fanden die Studienautoren auch hier, dass die von den befragten Personen reklamierte Belastung durchwegs höher ausfiel, als durch die EU-Kurve vorhergesagt würde (Abb. 2.1.12).

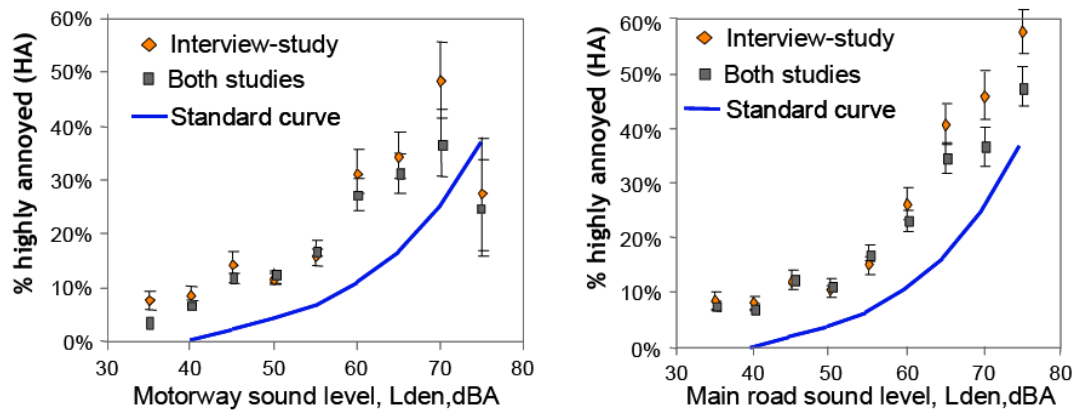


Abb. 2.1.12: Belästigung durch Strassenverkehrslärm (Autobahnen und Hauptstrasse) in der ALPNAP-Studie, aus [54], im Vergleich zur EU-Kurve ("Standard curve", blau)

b) Schlussfolgerungen und Fazit

Zurzeit liegen für die Schweiz keinerlei aktualisierten Bewertungsgrundlagen für die Belästigung durch Strassenverkehrslärm vor. Die berichteten Ergebnisse ausländischer Studien lassen aber vermuten, dass auch beim Strassenverkehrslärm eine Zunahme der Belästigung bei gleichem Pegel stattgefunden hat, eine statistisch verlässliche Metaanalyse über einen solchen Trend wurde allerdings bis jetzt noch nicht publiziert. Auf jeden Fall scheint der Effekt geringer ausgeprägt zu sein als beim Fluglärm. Um abschätzen zu können, ob die aktuellen Grenzwerte für Strassenverkehrslärm sich in einem Rahmen bewegen, der den gesetzlich geforderten Zweck erfüllt, bleibt in erster Linie der "vorsichtige Rückgriff" auf verfügbare Meta-Analysen, allen voran [21], bzw. die sog. EU-Kurven [25], die aus [21] abgeleitet wurden. Die EU-Kurve für Strassenlärmelastung scheint vor dem Hintergrund der HYENA-Studie (s.o.) auch heute noch recht gut als Prognoseinstrument einsetzbar zu sein, vorausgesetzt, man hat nicht den Anspruch, potentielle kulturelle Unterschiede zu berücksichtigen. Die "EU-Kurve" für den Prozentsatz Starkbelästigter [25] lautet:

$$\%HA = 9.868 \times 10^{-4} \times (L_{DEN} - 42)^3 - 1.436 \times 10^{-2} \times (L_{DEN} - 42)^2 + 0.5118 \times (L_{DEN} - 42)$$

Da im EU-Positionspapier keine getrennte Beurteilung (und Grenzwertfestsetzung) von Tages-, (Abend-) und Nachtbelastung vorgenommen wird, ist eine Übertragung des (von der EU propagierten) L_{DEN} -Masses auf das System der Beurteilungszeiten und Grenzwerte in der Schweiz nicht ohne weiteres möglich. Die meisten anderen ausländischen Studien weisen die ermittelten Belastungs-Wirkungszusammenhänge ebenfalls häufig nur mit Bezug auf L_{DN} ,

L_{DEN} , oder $L_{Aeq,24h}$ aus, was die geforderte Überprüfung des 16-h Tagespegel-Grenzwerts erschwert. Vergleichsrechnungen zeigen hingegen, dass im Mittel der 16-h-Leq (tags) für Strassenlärm in etwa dem L_{DN} entspricht. Für die Abschätzung der Belästigungswirkung am Tag kann auf die von Miedema und Oudshoorn [21] publizierte Funktion zurückgegriffen werden, solange davon ausgegangen wird, dass das sich das Belästigungsurteil im wesentlichen während der Tagzeit bildet. Die Funktion gibt für den %HA-Anteil durch Strassenverkehrslärm folgende, auf dem L_{DN} basierende Funktion an:

$$\%HA = 9.994 \times 10^{-4} \times (L_{DN} - 42)^3 - 1.532 \times 10^{-2} \times (L_{DN} - 42)^2 + 0.538 \times (L_{DN} - 42)$$

Gemäss dieser Funktion, die für Schweizer Verhältnisse ohne wesentliche Genauigkeitseinbussen auf der Belastungsseite (Berechnungsunsicherheiten ausgenommen) auf den 16-h-Leq übertragen werden kann⁵, ergäbe ein 16-h-Tagespegel von 70 dB(A) einen Anteil stark-belästigter Personen von 25%. Der Vergleich in Abb. 2.1.13 zeigt, dass sich EU-Kurve und die im Kommissionsbericht vorgeschlagene Dosis-Wirkungsbeziehung im grenzwertrelevanten Bereich sehr nahe sind. Im Gegensatz dazu sind die neueren Untersuchungen aus Schweden [43], Norwegen [44] und Serbien [50] um mehrere Dezibel gegen eine geringere Belastung hin verschoben. Diese Verschiebungen könnten die Folge einer allgemeinen Empfindlichkeitszunahme sein. Mangels ausreichend weiterer Studien aus den 00er-Jahren lässt sich aber nicht eindeutig feststellen, ob dieser Effekt als systematisch zu bewerten ist. Einschränkung ist zu bemerken, dass die massgeblichen Immissionspunkte nicht bei allen hier gezeigten Kurven dieselben sind. Die hier verwendete norwegische Kurve stellt nur Aussen-belästigungen dar und liegt damit zwangsläufig höher als die EU-Kurve (die der EU-Kurve zugrundeliegenden Kurven basieren auf unterschiedlichen massgeblichen Immissionspunkten) und die HYENA-Kurve (massgeblicher Immissionspunkt war der Lärm aussen, bzw. vor der Wohnung/dem Haus).

⁵ Eine eigens für dieses Inputpapier erstellte Vergleichsrechnung von 37571 Immissionspunkten aus dem Lärmbelastungskataster des Kantons Zürich (Quelle: Fachstelle Lärmschutz ZH) ergab eine mittlere Differenz von LDN-Lrt von 0.5 dB). D.h. der LDN ist ca. 0.5 dB höher als der 16-h-Leq

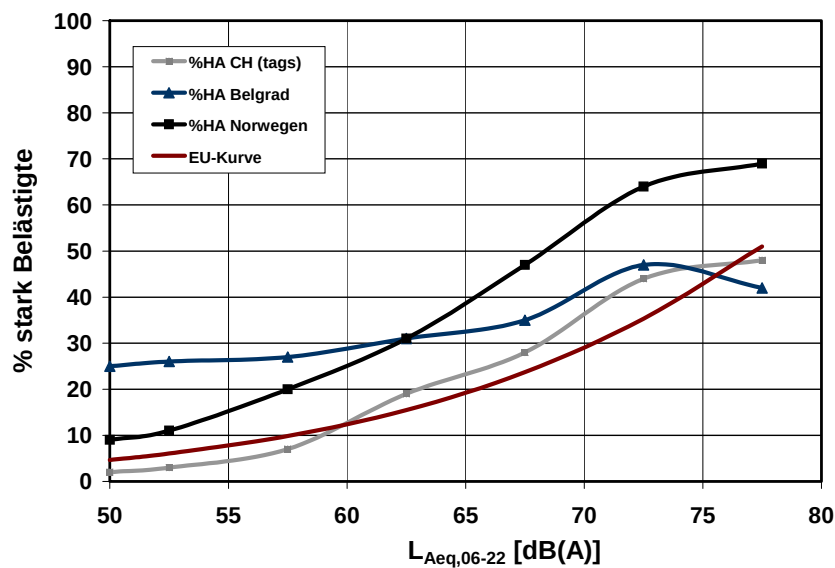


Abb. 2.1.13: Belästigung durch Strassenverkehrslärm im internationalen Vergleich: Datengrundlage - %HA CH tags: [5]; %HA Belgrad: [50]; %HA Norwegen: [44]; EU-Kurve: [25]. Die Belastungsskala in [44; 50] musste vom L_{DEN} in den $L_{Aeq,16h}$ konvertiert werden was nach folgender Regel geschah: $L_{Aeq,16} = L_{DEN} - 2$

Fazit. Wenn man davon ausgeht, dass die Empfindlichkeit, auf Strassenverkehrslärm mit Belästigung zu reagieren, in den letzten Dekaden nicht zugenommen hat, dürfte der aktuelle, in der LSV ausgewiesene Tages-Grenzwert für Strassenverkehrslärm seine Funktion noch einige Zeit erfüllen. Die Hinweise aus dem Ausland lassen jedoch vermuten, dass es in den letzten Jahren zu einer Zunahme der Empfindlichkeit kam. Es ist gut denkbar, dass diese Zunahme auch in der Schweiz stattgefunden hat. Ob sie allerdings so gross ist, dass eine Anpassung der IGW erforderlich wäre, lässt sich erst beurteilen, wenn entsprechende Studien- bzw. Befragungsergebnisse für die Schweiz vorliegen.

Der um 10 dB tiefere Grenzwert für die Nacht ist im Einklang mit anderen europäischen Regelungen. In Ermangelung neuerer empirischer (Feld-) Studien, in welchen spezifisch die Nacht untersucht wird, besteht zur Zeit keine Grundlage, eine Anpassung zu fordern. Es ist allerdings notwendig, für den Strassenlärm nachts auch neue Daten zu erheben, vorzugsweise sowohl im Rahmen einer Erhebung der Belästigung, als auch hinsichtlich nächtlicher Aufwachreaktionen.

Handlungsbedarf Strassenlärm

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.1.4 Eisenbahnlärm

a) Einleitung

Die Entwicklung des schienengebundenen Verkehrs in den letzten zwei Jahrzehnten, v.a. des schienengebundenen Fernverkehrs, ist zum einen durch eine Erhöhung der Zugsfrequenzen und eine generelle Zunahme der mittleren Reisegeschwindigkeiten bei Personenzügen, und auf der anderen Seite auch durch den Ausbau des Gütertransports auf der Schiene, mit der häufigen Folge längerer Zugskompositionen charakterisiert. Zurzeit kann davon ausgegangen werden, dass der Schienenverkehr in Zukunft immer bedeutsamer werden wird und immer mehr und längere Züge das verfügbare Streckennetz benutzen. Aufgrund der verdichteten Nutzung der Infrastruktur und den Bemühungen zur Verlagerung des Gütertransports auf die Schiene nimmt namentlich entlang der Nord-Süd-Achsen die nächtliche Belastung mit Güterzügen deutlich zu. Gleichzeitig haben technische Verbesserungen beim Rollmaterial (z.B. der vermehrte Einsatz von Scheibenbremsen) der zunehmenden Verlärmung stark genutzter Bahnstrecken entgegengewirkt. Diese Veränderungen im "Lärbild" des Schienenverkehrs, aber auch der Wertewandel der Bevölkerung, und viele andere Faktoren führen möglicherweise dazu, dass der Schienenverkehr heute anders beurteilt werden muss.

b) Vergleich von Belastungs-Wirkungskurven

Die Untersuchung von Ortega/Meyer welche gegen Ende der 1970er Jahre durchgeführt wurde, diente als Basis für Anhang 4 der LSV. Im Zentrum der damaligen Untersuchungen stand die durch den Eisenbahnverkehr verursachte Störung (heute würde man eher von "Belästigung" sprechen), welche in erster Linie die Situation am Tag widerspiegelt. Gegenüber dem Strassenverkehrslärm ergab sich ein zugsfrequenzabhängiger Belästigungsunterschied welcher als Korrekturfaktor K1 für die Bemessung des Beurteilungspegels in den Anhang 4 einging.

In Abb. 2.1.14 wird die von Meyer/Ortega gefundene Kurve (approximativ übernommen aus [6]) den von Miedema & Oudshoorn (M+O) [21] publizierten Kurven für Eisenbahnlärm gegenübergestellt. Diese Kurven werden im Rahmen der EU Umgebungslärmrichtlinie [26] zur Abschätzung des Effekts der Lärmbelastung von Eisenbahnen verwendet. Ortega/Meyer werteten die Anteilkurve jener Befragten aus, welche sich *am Tag* als *mittelstark und stark gestört* (entspricht >4 Punkte auf der 11-Punkte-Skala) bezeichneten, damit wird rund 55% der 11-er Skala abgedeckt, was gemäss M+O der Definition von "Annoyed", hier %A, bzw. in Abb. 2.1.14 der orangen Kurve entspricht. Die Kurve von Ortega/Meyer beschreibt den Zusammenhang mit dem 16-h-Tages Leq, diejenige von M+O bezieht sich jedoch auf den L_{DN} (mit einer Pegelkorrektur von 10 dB zwischen 22 und 06 Uhr) und die *insgesamte* Belästigung. Die Kurven lassen sich deshalb nicht ohne weiteres miteinander vergleichen, zeigen aber in etwa die relevanten Grössenordnungen auf.

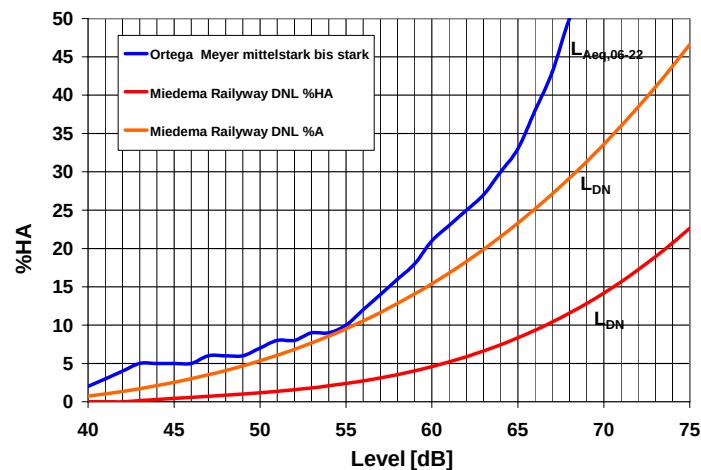


Abb. 2.1.14: Belastungs-Wirkungsfunktionen für Schienenlärm. Die Kurve Ortega/Meyer ist visuell aus [6 S. 28] übernommen worden.

In der ALPNAP-Studie (Abb. 2.1.15), in welcher die Belästigung durch Strassen-, Autobahn- und Schienenlärm entlang der Brenner-Route in Tirol untersucht wurde, ergab sich ein deutlich grösserer Belästigungseffekt, als durch die EU-Kurve vorhergesagt würde [54].

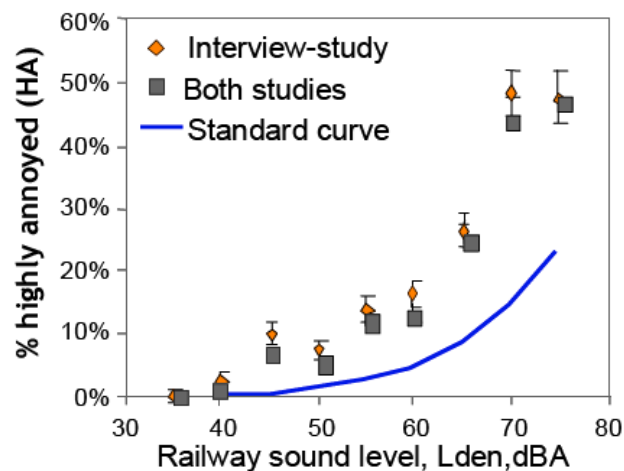


Abb. 2.1.15: Belastungs-Wirkungsbeziehung für Schienenlärm aus der ALPNAP-Studie, im Vergleich zur EU-Kurve ("Standard curve", blau) für Schienenlärm, aus [54].

c) Schienenbonus

Bei der Bewertung von Schienenlärm wurde in letzter Zeit, insbesondere nach dem Ansteigen der Fahrtgeschwindigkeiten und der generellen Zunahme der Zugsfrequenzen vermehrt gefragt, ob der gemäss verschiedenen Untersuchungen [55; 56] berechnete "Schienenbo-

nus" noch zeitgemäss sei. Guski schreibt hierzu in [8]: In den Jahren 1997-1999 hat die "Studiengemeinschaft Schienenverkehr" (vgl. Möhler et al. 2000) eine Felduntersuchung in 8 Wohngebieten mit Befragungen an 1600 und physiologischen Messungen an 377 Personen durchgeführt. Die Aussenpegel des Leq lagen in den Strassengebieten tags zwischen 43 und 78 dB(A) und nachts zwischen 40 und 68 dB(A) bei ca. 13'000 bis 20'000 Vorbeifahrten in 24 Stunden. Die entsprechenden Pegelbereiche in den Schienengebieten lagen tags zwischen 45 und 73 dB(A) und nachts zwischen 50 und 75 dB(A) bei ca. 190 bis 260 Zugvorbeifahrten / 24 h. Es zeigte sich, dass die in früheren Untersuchungen gefundenen Unterschiede in der Belästigung zwischen Schienen- und Strassenverkehrslärm im wesentlichen bestätigt wurden; bei der auf Tag und Nacht bezogenen Gesamtbelästigung ergab sich ein Unterschied, der etwa 4 dB(A) entspricht, in der auf die im Interview erfragten und auf die Nacht bezogenen Gestörtheitsvariablen sogar etwa 10 dB(A). Allerdings zeigte sich auch ein "Schienenmalus", nämlich in Bezug auf die Lärmwirkungen, die sich auf den Innenraum tagsüber beziehen: Insbesondere bei den Kommunikationsstörungen im Innenraum findet sich mit ca. 8 dB(A) eine grössere Gestörtheit durch Schienenlärm. Dieser "Malus" kann teilweise dadurch erklärt werden, dass die Betroffenen an Strassen die Fenster bei vergleichbarer Geräuschbelastung wesentlich häufiger geschlossen halten als Betroffene an Schienenwegen.

In Europa gibt es Studien, die den Schienenbonus bestätigen [57; 58] und solche, deren Resultate Zweifel an seiner Existenz nähren [59], oder sogar Hinweise für einen Malus für Schienenlärm finden [43]. Im Gegensatz zu den Untersuchungen in Europa und den USA, in denen sich – mit Ausnahmen – eine geringere Lästigkeit des Schienenlärms gegenüber dem Strassenlärm zeigte, berichten japanische Untersuchungen durchwegs, man könne keinen signifikanten Lästigkeits- bzw. Belästigungsunterschied feststellen [60; 61]. Nach Gottlob [62] sind die grössten Unterschiede zwischen den Störwirkungen (d.h. Boni/Mali) verschiedener Verkehrsträger zu erwarten, wenn die lärminduzierte Störwirkung auf die spezifische Situation der Betroffenen (z.B. Ruhe/Erholung, Kommunikation, Schlaf) bezogen wird. Einen für alle Wirkungsvariablen durchgängigen Schienenbonus gibt es daher nicht (im Abschnitt 2.5.2.1 wird nochmals auf den Schienenbonus eingegangen).

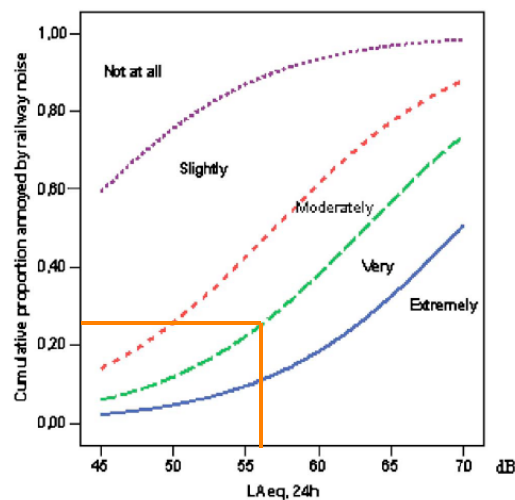


Abb. 2.1.16: Belastungs-Wirkungsbeziehungen für Schienenlärm (bei mind. 200 Vorbeifahrten pro 24 h) aus [43]. Der Belastungs-Tageswert, welcher 25% stark Belästigte nach sich zieht liegt tiefer (!) als der entsprechende Wert für Strassenverkehrslärm aus derselben Studie (vgl. Abb. 2.1.7)

d) Fazit

Es erweist sich als äusserst schwierig, die Entwicklung des schienengebundenen Verkehrs in Bezug zu setzen zu einem allfällig stattgefunden habenden Belästigungswandel. Eine tiefergehende Besprechung (inkl. Fazit) der Schienenbonus-Problematik erfolgt in den Abschnitten 2.5.2.

Handlungsbedarf Eisenbahnlärm

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.1.5 Fluglärm

a) Internationale Trends

Obschon beim Fluglärm weniger Leute betroffen sind als beim Strassen- und beim Bahnlärm, ist Fluglärm offensichtlich das in der Öffentlichkeit am vehementesten diskutierte Thema. Der Grund dafür könnte in der grossen Ausdehnung des betroffenen Gebiets liegen. Den linearen Lärmquellen Strasse und Schiene kann man mit absehbarem Aufwand ausweichen, indem man den Wohnsitz verlegt. Fluglärm dagegen betrifft ganze Gemeinden oder Regionen. Dies führt zu einer lokal hohen Zahl von Protestierenden, welche dann das nötige Medienecho erzeugen können (Abb. 2.1.17).

«Austreiben» der Südanflüge mit Böögg

GOCKHAUSEN – Im Gegensatz zum traditionellen Sechseläuten haben Fluglärmgegner bereits am Samstag in Gockhausen ihren eigenen Böögg verbrannt. Anstelle des Winters wollten sie jedoch die Südanflüge austreiben, wie Mitorganisator Lukas Rist erklärte. 17 Minuten und vier Sekunden dauerte es, bis der Böögg den Kopf verlor. Ob dies ein gutes Omen ist, konnte er noch nicht sagen. Über 1000 Besucher wurden

am «Vier-ab-Sächsilüüte» gezählt. Das «Vier-ab-Sächsi» symbolisiere die Uhrzeit, zu welcher die Schneiser jeden Morgen vom Fluglärm geweckt würden. Am Fest gab es übrigens «Leuenbergerli»-Würste vom Grill und «echte Zürcher Flughafen-Läckmerli». Der zwei Meter grosse Schneemann wurde vom Original-Bööggbauer Heinz Wahrenberger erstellt. «Viel leicht der Anfang einer neuen Tradition», so Rist. (san)



Der Schneiser-Böögg von Gockhausen vor dem grossen Chlapf.

Abb. 2.1.17: Demonstrationen und Protestaktionen der fluglärm betroffenen Zürcher Bevölkerung sind in den Jahren 2002 bis 2007 an der Tagesordnung. Im Bild ein Artikel in der Gratiszeitung "20 Minuten (Ausgabe Zürich)" vom 18.4.05.

Mit Inkrafttreten von Belastungsgrenzwerten für den Lärm von Landesflughäfen im Jahr 2000 wurden die Lärmzonen des Luftfahrtgesetzes aufgehoben und durch die Regelungen des Umweltschutzgesetzes ersetzt. Durch diesen Systemwechsel wurde die Lärmbekämpfung damit nicht nur zur Aufgabe der Raumplanung, sondern auch des Lärmverursachers. Jener muss nämlich vorsorglich den Lärm an der Quelle reduzieren, beim Überschreiten der Immissionsgrenzwerte die Anlage sanieren oder Schallschutz beim Empfänger bezahlen. In Absehbarkeit dieser Entwicklung ergab sich schon früh ein wirtschaftlicher Druck auf Flughäfen, Fluggesellschaften und Flugzeughersteller, die Entwicklung lärmarmen Technik zu forcieren. In der Folge wurden die Einzelschallereignisse immer leiser, was gleichzeitig erheblich mehr Bewegungen ermöglichte, ohne den Grenzwert zu überschreiten. Abb. 2.1.18 veranschaulicht die im akustisch-betrieblichen Bereich stattgefunden habende Veränderung (geringere Einzelschallpegel, häufigere Flüge) und zeigt gleichzeitig das Prinzip der *Energieäquivalenz* auf. Schon ein gemäss psychoakustischer Wahrnehmung nur "halb so lauter" Flugzeugtyp (eine Pegelreduktion von 10 dB entspricht etwa einer Halbierung der wahrgenommenen Lautheit) müsste (bzw. "darf") 10 mal so häufig fliegen um denselben Gesamtpegel zu erzeugen. Es ist allerdings fraglich, ob ein sehr lautes Ereignis gleich lästig ist wie 10 mittellaute oder 100 hörbare, aber nicht laute Ereignisse ist.

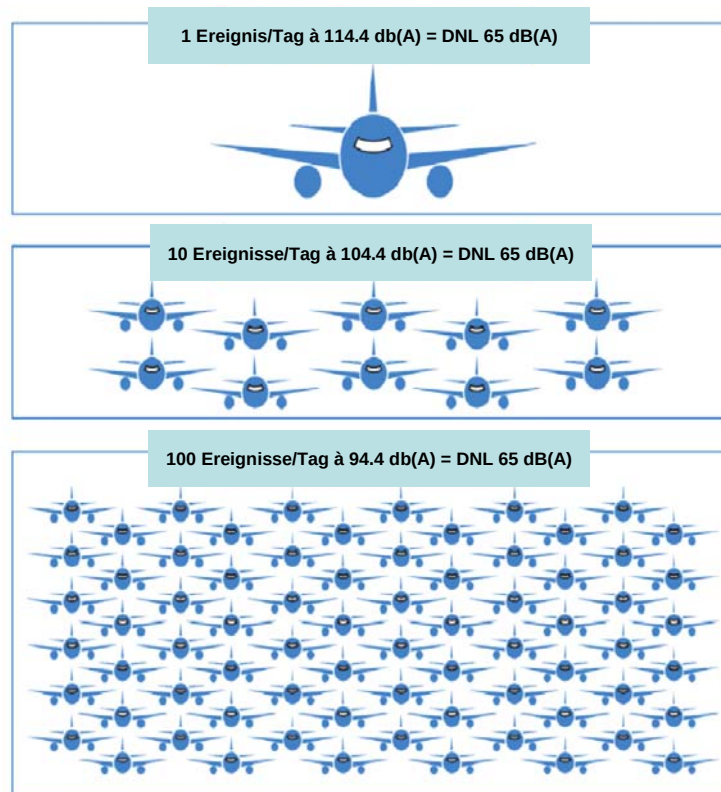


Abb. 2.1.18: Schematische Darstellung möglicher "Flugzeug-Zusammensetzungen" die alle dieselbe mittlere Belastung erzeugen

Die Rolle der Flugbewegungszahlen bei der Determination der Belästigung ist in der Vergangenheit unterschiedlich beantwortet worden, jedoch scheint die Auffassung zu überwiegen, dass der Effekt der Anzahl der Flugbewegungen im energieäquivalenten Dauerschallpegel unterschätzt wird. Connor & Patterson [63] berichten, dass die Belästigung zunächst linear mit der Zahl der Flugbewegungen ansteigt, dann weniger steil steigt. Fields [64] schliesst aus einer Metaanalyse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen der Belästigung durch Verkehrslärm, dass der Leq mit $q=3$ (=Pegelerhöhung um 3 dB pro Verdoppelung der Ereigniszahl) den Effekt der Bewegungszahlen unterschätzt, er schlägt deshalb $q=5$ vor (vgl. Deutsches Fluglärmgesetz, AzB). Die Autoren der ANASE-Studie [65] empfehlen sogar eine Rückkehr zum NNI, um den Effekt der Bewegungszahlen angemessen zu reflektieren.

Zwischen 1980 und 2005 haben die Flugbewegungen auf allen Landesflughäfen stark zugenommen. In Basel-Mulhouse betrug die Zunahme der Bewegungen im Linien- und Charterverkehr 142%, in Genf 68% und in Zürich 94%. Auf den Regionalflugplätzen Bern, Lugano, Sion und St. Gallen haben sich die Flugbewegungen gesamthaft gesehen sogar um den Faktor 11 erhöht. Ein akustischer Jahresmittelwert kommt heute also durch wesentlich mehr Einzelereignisse mit geringeren Pegeln zustande (Detaillierte Angaben siehe [12; 66]). Dabei stellt sich berechtigt die Frage, ob gleiche Einzelereignisse heute anders bewertet werden als früher, bzw. ob die Betroffenen (a) die Verringerung der Maximalpegel und (b) die Erhöhung der Ereigniszahlen bemerkt haben, und wenn ja, wie diese Erfahrungen in ihr summarisches

Belästigungsurteil eingehen. Vielleicht haben gerade (vereinzelte) leisere Flugzeuge dazu geführt, dass sich die Bewertungsskalen im Laufe der Zeit verschoben haben. Danach könnte z.B. die Erfahrung eines einzigen „leisen“ Verkehrsflugzeugs das Bezugssystem für die Lautheits-Beurteilung aller Verkehrsflugzeuge verändert haben – man weiss nun gewissermassen, dass es technisch möglich ist, „leisere“ Flugzeuge zu bauen und zu fliegen. Ein ähnlicher Mechanismus ist denkbar, wenn man die Bewertung von Geräuschen im Zusammenwirken oder vor dem Hintergrund anderer Geräusche als Ausgangspunkt für eine vertiefere Analyse betrachtet. Dies ist eine der Grundlagen des Soundscape-Ansatzes von Murray Schafer [67]. Geräusche bilden demnach eine "Landschaft", in der die einzelnen Geräusche im Verhältnis zueinander ihre Bedeutung bekommen. Veränderungen in der Geräuschlandschaft könnten erklären, wieso bestimmte Ereignisse heute anders erlebt werden als früher.

Eine Frage, die die Lärmwirkungsforschung nun schon seit einigen Jahren umtreibt – vielleicht auch in einem erheblichen Masse durch die entsprechende Medienberichterstattung angeregt, ist: "Hat im Laufe der letzten Jahrzehnte ein Mentalitätswandel stattgefunden, der dazu geführt hat, dass Flugzeuggeräusche bei gleichem Pegel heute belästigender bewertet werden als früher?" In jüngerer Zeit veröffentlichte Belastungs-Wirkungsbeziehungen, z.B. für den Fluglärm in Zürich [68] und anderen europäischen Städten [53] heben sich z.T. deutlich von der sog. Miedema-Kurve [21; 22; 25] ab – welche auf konsolidierten Studiendaten, die im Durchschnitt 30 Jahre alt sind (!) basiert – und scheinen die Vermutung zu bestätigen. Abb. 2.1.19 zeigt den Zusammenhang zwischen Belastung und Belästigung aus der umfangreichen, von der EU geförderten und erst vor wenigen Jahren durchgeführten HYENA-Studie (HYENA= Hypertension and Exposure to Noise near Airports), zusammen mit der Miedema-Kurve [53]. Die HYENA-Kurve in Abb. 2.1.19 enthält aggregierte Daten aus der Umgebung der Flughäfen London Heathrow (GB), Berlin Tegel (D), Amsterdam Schiphol (NL), Stockholm Arlanda und Bromma (S) (Daten aus Milano Malpensa (I) und Athen Eleftherios Venizelos (GR) waren ebenfalls verfügbar, wegen vermuteter Überschussreaktionen jedoch nicht in die abgebildete Kurve einbezogen).

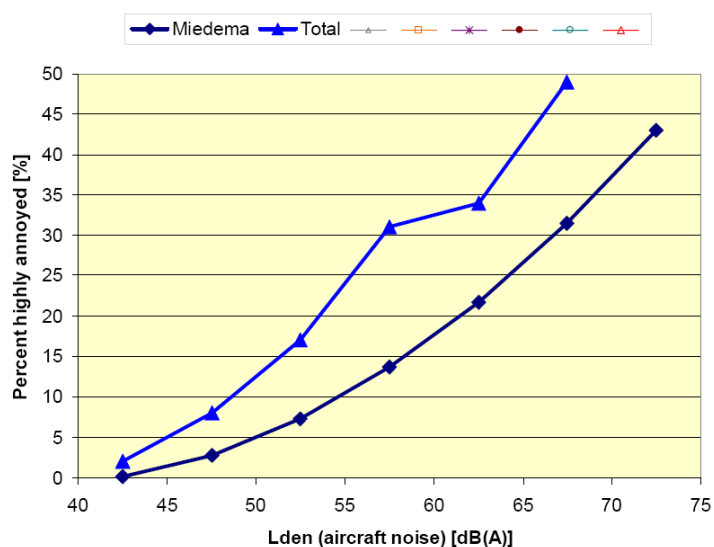


Abb. 2.1.19: Anteil Starkbelästigter in Abhängigkeit des L_{DEN} in der HYENA-Studie [53] im Vergleich mit der "EU-Kurve"

Trendberechnungen von Guski [14] und Janssen und Guski [28] zeigen, dass der HA-Anteil bei einem $L_{DN} = 55$ dB(A) innerhalb eines Jahrzehnts stark angestiegen ist (Abb. 2.1.20), wofür unterschiedliche Gründe angeführt werden: Veränderung des Flugverkehrs (v.a. mehr Bewegungen, weniger Pausen), methodische Artefakte, untersuchter Flughafen befindet sich in einer bevorstehenden oder erfolgten Situation abrupter Veränderung (z.B. Flughafenausbau), auf die mit verstärkter Belästigung reagiert wird - [30; 69]. Einige dieser Erklärungsversuche erscheinen vernünftig, einige weniger.

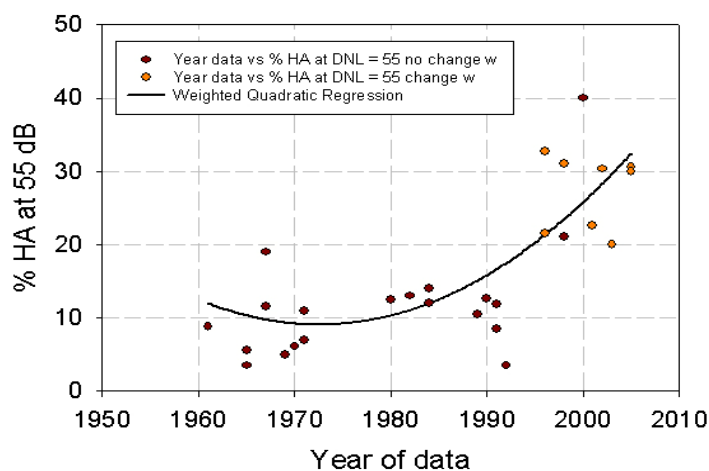


Abb. 2.1.20: Statistischer Trend des Anteils hoch Fluglärm-belästigter bei einem $L_{DN} = 55$ dB(A) im Zeitverlauf (1961 -2005); Hinweis: Cut-off-Punkt für HA = 70 – 75 % der Antwortskala. Rote Punkte: Daten von Studien im Kontext abrupter Änderungen. Die Regressionskurve umfasst alle Datenpunkte gewichtet nach Stichprobengrösse der einzelnen Studien (nach [28])

Die vergleichsweise aktuellen Befragungsstudien aus Zürich (2001 und 2003) und Frankfurt (2005) scheinen den Trend fortzusetzen (Abb. 2.1.21). Hingegen sind auch diese Studien in einem Kontext bevorstehender oder kürzlich in Kraft getretener betrieblicher Veränderungen durchgeführt worden (Details zur Situation in Zürich können [70] entnommen werden), was möglicherweise einschränkend gesehen werden muss.

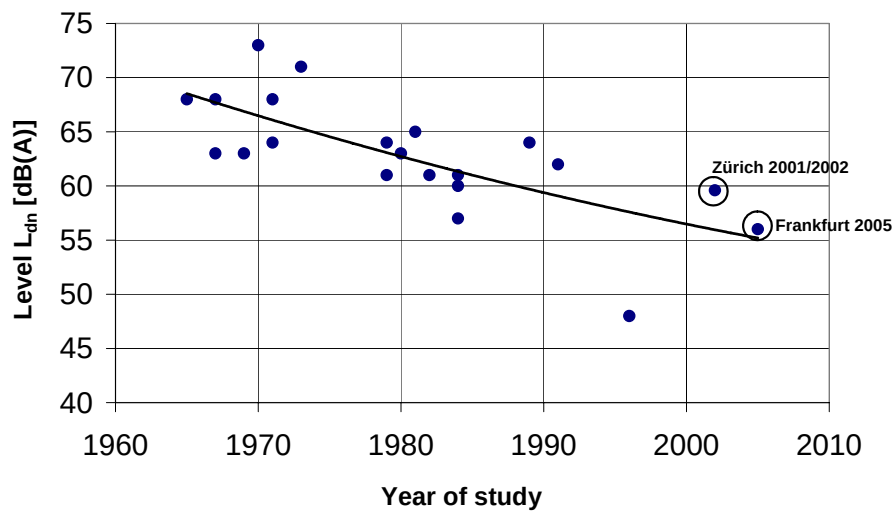


Abb. 2.1.21: Benötigter L_{DN} für 25% Starkbelästigte. Daten aus [22], [68], und [36]

In Abb. 2.1.22 werden eine Reihe von Belastungs-Wirkungskurven aus Fluglärm-Belästigungsstudien gezeigt, die seit Anfang der 90er Jahre durchgeführt worden sind. In Tabelle 2.1.1 sind weitere Details zu diesen Studien aufgeführt. Die Graphik in Abb. 2.1.22 ist aus [32] übernommen und leicht erweitert/angepasst worden. Auch die beiden bzw. drei Zürcher Befragungen (in der Abb. 2.1.22 gekennzeichnet als "Genf/Zürich 1991", "Zürich 2001", "Zürich 2003") sind enthalten und erlauben die Beurteilung des Belastungs-Wirkungszusammenhangs in der Schweiz im internationalen Vergleich. Es wird mit Blick auf die Schweizer Studien zum einen deutlich, dass – insbesondere bei höheren Belastungen – die Zürcher Bevölkerung im internationalen Vergleich eher relativ gering belastet ist, und dass gegenüber dem Anfang der 90er Jahre (Lärmstudie 90, Oliva) offenbar eine Belastungszunahme stattgefunden hat. Global wird diese Belastungszunahme auch anhand der Abweichung der Belastungs-Wirkungskurven von der sog. "EU-Kurve" (rot) deutlich. Die älteste Studie in der Graphik ist die Lärmstudie 90 ("Genf/Zürich 1991") [23], und sie ist auch diejenige mit der bezogen auf den Pegel geringsten Belästigung (mit Ausnahme von London 1996). Ob das ein Zufall ist oder nicht, kann zurzeit nicht schlüssig beantwortet werden.

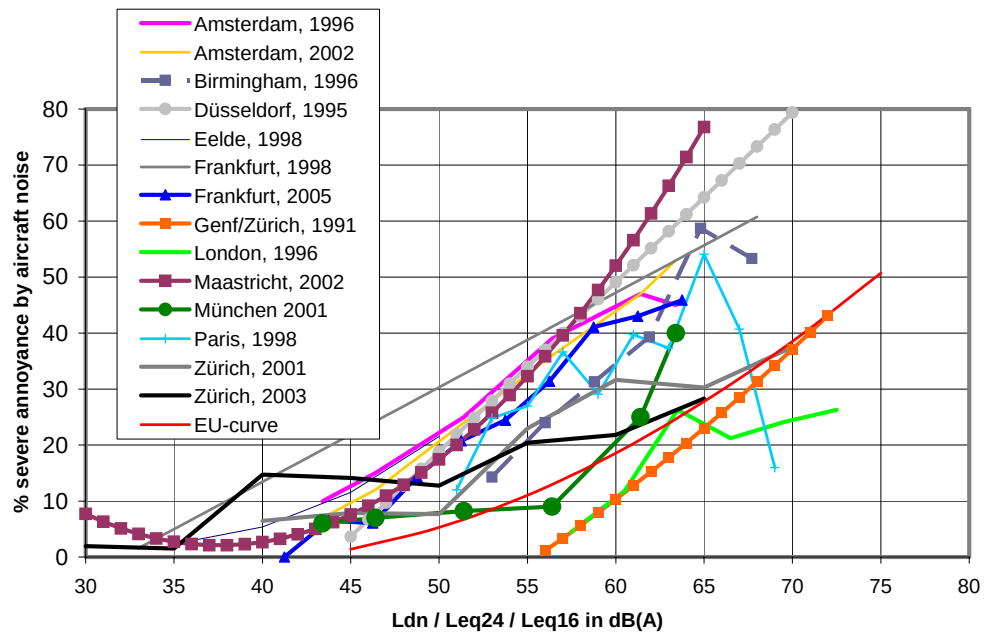


Abb. 2.1.22: Überblick über verschiedene Belastungs-Wirkungsfunktion aus Studien der 1990er und 2000er Jahre (siehe Tab. 2.1.1), und Vergleich mit der generalisierten EU-Kurve ("EU-curve", nach [25])

Tabelle 2.1.1: Informationen zu den in Abb. 2.1.18 gezeigten Belastungs-Wirkungskurven

Bezeichnung	Erstautor der Studie	Publikations-jahr	Flughafen	Literatur-referenz
Amsterdam, 1996	Franssen	2001	Amsterdam Schiphol	[71]
Amsterdam, 2002	Breugelmans	2005	Amsterdam Schiphol	[72]
Birmingham, 1996	Withfield	2003	Birmingham International Airport	[73]
Düsseldorf, 1995	Kastka	1996	Düsseldorf Airport	[74]
Eelde, 1998	Van Dongen	1999	Groningen Airport Eelde	[75]
Frankfurt, 1998	Kastka	1999	Frankfurt Airport	[76]
Frankfurt, 2005	Schreckenberger	2006	Frankfurt Airport	[36]
Genf/Zürich, 1991	Oliva	2000	Geneva and Zurich	[23]
London, 1996	Haines	2001	Heathrow Airport	[77]
Maastricht, 2002	Van Dongen	2002	Maastricht/Aachen Airport	[78]
München, 2000	Kastka	2001	Munich International Airport	[79]
Paris, 1998	Vincent	2000	Orly and Roissy-Charles de Gaulle	[80]
Zürich, 2001	Brink	2007	Zurich	[81]
Zürich, 2003	Brink	2007	Zurich	[81]
EU-Curve	European Commission	2002	div.	[25]

Leider sind genauere Analysen dieses Trends, die zu einem grossen Teil auf dem von TNO in den Niederlanden gesammelten Datenbestand (= die weltweit grösste Sammlung von Rohdaten diverser Belästigungsstudien) basieren müssen, zur Zeit noch nicht abgeschlossen, aber immerhin in Aussicht gestellt worden [82]. Die verbreitete Sichtweise, dass der zunehmende Belästigungs-Trend die Folge eines allgemeinen kulturellen Wertewandels ist, bzw. wirklich durch den Faktor "Zeit" (der allerdings auch mit Veränderungen des Lärmszenarios kovariieren 'darf') erklärt werden muss, etwa so wie in [15] vermutet wird, ist nicht unumstritten. In [29] versucht Brooker darzulegen, dass die statistische Evidenz für zunehmende Belästigung bei gleichem Pegel schmal ist, ohne jedoch grundsätzlich belegen zu können, dass der vermutete Trend nicht existiert. Sowohl für [30], als auch für die Analysen von van Kempen und van Kamp [32], oder die Kritik in [29] gilt, dass eher vage Vermutungen als gesicherte Fakten die Diskussion beherrschen. Sicherlich ist man hingegen gut beraten, den vermuteten Belästigungswandel als bis auf weiteres wissenschaftlich als *unerwiesen* zu betrachten, auch wenn er sehr wahrscheinlich stattgefunden hat. Dies kann gleichzeitig aber nicht bedeuten, dass präventives Handeln bis zur endgültigen Klärung der Trend-Frage aufgeschoben werden kann, denn dass Grenzwerte im Zuge von Veränderung von Lärmszenarios gesenkt werden müssen, ist sehr gut möglich und oft auch plausibel begründbar.

b) Wandel der Fluglärmbelastung und -belästigung in der Schweiz

Anfangs der 1970er und der 1990er Jahre, sowie in den Jahren 2001 und 2003 wurden im Umfeld des Flughafens Zürich Erhebungen zur Belästigung der Bevölkerung durch Fluglärm durchgeführt [19; 68; 70; 83; 84; 85]. Die neueste Studie, die "Lärmstudie 2000" hatte zum Ziel, die Erhebungen aus den 1990er Jahren [83] fortzuführen und mit einer medizinisch-physiologischen Feldstudie zur Wirkung von Fluglärm auf den Schlaf zu ergänzen⁶. Seit 1970 mit 130'472 Flugbewegungen ist deren Anzahl im Jahre 1990 auf 219'861 und im Jahr 2000 auf das Maximum von 325'622 Bewegungen angestiegen [86]. Gleichzeitig ist die durch einen bestimmten Pegel belärmte Fläche um den Flughafen im Laufe der Jahre immer kleiner geworden, d.h. trotz zunehmender Anzahl der Flugbewegungen sind die Einzelschallpegel soweit zurückgegangen, dass im Ergebnis auch der Mittelungspegel zurückgegangen ist (Abb. 2.1.23). Von einer weiteren Reduktion der betroffenen Flächen kann in den nächsten Jahren jedoch nicht mehr ausgegangen werden.

⁶ Im Rahmen der vom Bund (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Bundesamt für Gesundheit) und von privater Hand (Unique Flughafen Zürich AG) finanzierten und von der ETH Zürich durchgeführten „Lärmstudie 2000“ wurden in den Jahren 2001-2004 die Auswirkungen von Fluglärm auf die Zürcher Bevölkerung untersucht. In zwei Bevölkerungsbefragungen wurden die Belästigungssituation sowie die Veränderungen von Belästigungsreaktionen im Zeitverlauf erhoben und mit realen Fluglärm-Belastungsmassen der Jahre 2000 und 2003 verglichen. In einem zwischen in den Jahren 2003 und 2004 durchgeführten Feldexperiment wurden die Auswirkungen von nächtlichem Fluglärm auf die subjektiv erlebte und mit physiologischen Verfahren gemessene Schlafqualität in den Nachtrandstunden (spätabends und frühmorgens) bei freiwilligen Versuchspersonen untersucht.

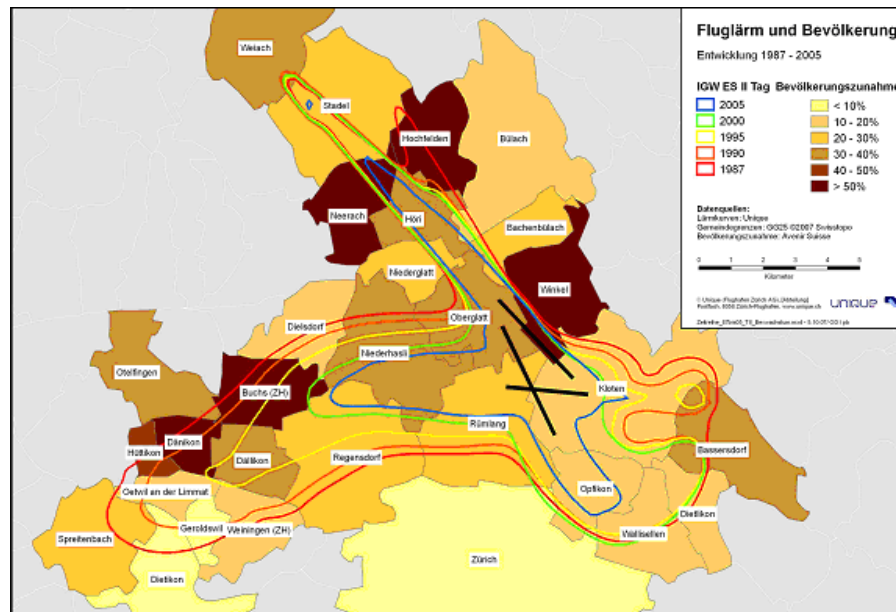


Abb. 2.1.23: Entwicklung der Konturen des IGW ESII sowie der Bevölkerung 2987 bis 2005 am Flughafen Zürich [Quelle: Unique]

Eine nachfolgend vorgenommene Rückschau auf die bisher in der Schweiz durchgeführten Studien kann evtl. Aufschluss darüber geben, ob der international beobachtete Trend auch im kleinen Rahmen der bisher in der Schweiz durchgeführten Studien auffindbar ist.

Soziopsychologische Fluglärmuntersuchung 1971. Am 18.12.1967 ernannte der Bundesrat eine "Arbeitsgemeinschaft für sozio-psychologische Fluglärmuntersuchungen". Diese legte am 31.7.1969 zwei Dokumente vor, nämlich eine Berechnung der Fluglärmbelastung im Gebiet der Landesflughäfen Basel, Genf und Zürich durch eine Expertengruppe, samt einer auf ausländischen Resultaten beruhenden Einschätzung der Störung, sowie einen Plan zur Durchführung einer umfassenden Untersuchung der Belästigungswirkung des Fluglärms im Gebiet der drei Landesflughäfen. Der wissenschaftliche Schlussbericht erschien 1974 [19]. Die "soziopsychologische Fluglärmuntersuchung" (SPF) wird in dieser Zusammenstellung weitgehend ausgeklammert, sie wird im Detail im Inputpapier Geschichte [3] besprochen.

Lärmstudie 90. Für die aktuell gültige Gesetzgebung in der Schweiz stellt die *Lärmstudie 90* [87] die wichtigste empirische Grundlage dar. Es existieren als Hauptergebnis dieser Studie mehrere publizierte Beziehungen zwischen Belastung und Störung (Abb. 2.1.24). In [88] wird eine Funktion angegeben, die später als "offizielle Funktion" zur Abschätzung der Störungs- bzw. Belästigungswirkung von Fluglärm bezeichnet werden sollte und bei welcher sich die Störung auf den Aufenthalt *im Haus* bezieht und die Belastung auf den 16 Stunden Mittelungspegel ($L_{Aeq,16h}$) im offenen Fenster, resp. im Freien. Weshalb hier als massgeblicher Einwirkungsort der Aufenthalt *im Haus* angenommen und nicht wie sonst üblich, gar kein spezifischer Einwirkungsort, wird nicht näher erklärt.

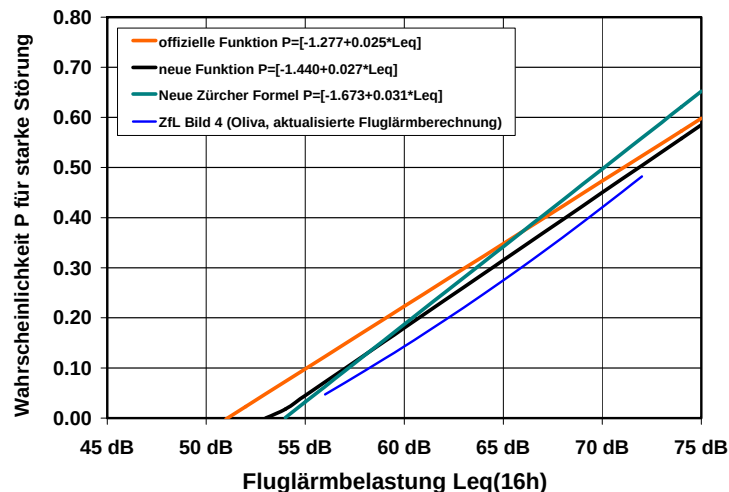


Abb. 2.1.24: Belastungs-Wirkungsbeziehungen aus der Lärmstudie 90

Im Zusammenhang mit diesen (unterschiedlichen) Belastungs-Wirkungsbeziehungen der Lärmstudie 90 ist folgendes erwähnenswert: Die Empa verwendete für die Abschätzung der Fluglärmwirkungen des Flughafens Zürich in letzter Zeit meist die sog. "Neue Zürcher Formel" (grün), welche auf einer Neuberechnung der Fluglärmbelastung basiert und deshalb geringfügig von der im Schlussbericht der EKL B [7] publizierte Funktion abweicht. Die "offizielle Funktion" (rot) steht im Schlussbericht der Lärmstudie 90 sowie im Kommissionsbericht und ist die eigentliche Grundlage der aktuellen gültigen Grenzwertfestsetzung. Sie ist gleichzeitig bis zu einer Belastung von 65 dB(A) auch strenger als die später errechneten bzw. veröffentlichten Funktionsgeraden. Sie resultiert aus den Befragungsergebnissen für Zürich und Genf und basiert auf Berechnungen des Fluglärms, welche die Quellenwerte in 6 Lärmklassen unterteilt: Lärmklassen A (= sehr laut), B, C, D und E für Flugzeuge mit Jettriebwerken sowie Lärmklasse T für Flugzeuge mit Propellerantrieb. Die "offizielle Funktion" wurde von der Empa im Lärmteil des Umweltverträglichkeitsberichtes (UVB) zur 5. Ausbaustufe des Flughafens Zürich Kloten verwendet. Die "neue Funktion" (schwarz) ist jünger. Sie resultiert aus der nochmaligen Auswertung der Befragungsdaten mit neu gerechneten akustischen Werten. Der Grund für die Verwendung der neuen akustischen Daten waren die Fortschritte in der Modellierung einzelner Flugzeugtypen. Diese Funktion berücksichtigt jedoch nur die Befragungsergebnisse von Zürich und ist streng genommen für Genf nicht anwendbar. Sie wurde von der Empa erstmals in den Berechnungen im Zusammenhang mit dem "Postulat Jeker" (Postulat für eine «gerechtere» Lärmverteilung, Zürcher Kantonsrat, 1993) eingesetzt. Die Ergebnisse der Berechnung mit beiden Formeln sind jedoch im mittleren Pegelbereich ähnlich. Während die offizielle Formel bei 61 dB(A) einen Anteil von 25% stark gestörten Personen ausgibt, liegt der entsprechende Anteil bei der neuen Formel knapp 1.5 dB höher. Oliva und Hüttenmoser schliesslich haben im Jahre 2000 eine polynomische Approximation der Belastungs-Wirkungskurve ("ZfL Bild 4"; blau) aus den Daten der Lärmstudie 90 (basierend auf der Neuberechnung der Belastung) veröffentlicht [23]. Diese gibt den Funktionszusammenhang folgendermassen an: $\%HA = 0.0273 \times Leq^2 - 0.77602 \times Leq - 37.42$. In Abb. 2.1.24 ist sie als blaue Kurve dargestellt und weist eine ca. um 2-3 dB geringere Belästigung

aus. Die Auswertungs-Arbeiten, die jenem Papier zugrundeliegen, wurden von der Swissair AG in Auftrag gegeben, die Publikation hat offenbar den Ruf, ein Parteigutachten zu sein.

Lärmstudie 2000. Da die Wirkung von Lärm nicht nur von akustischen Merkmalen des Schalls, sondern auch von Faktoren der natürlichen und gesellschaftlichen Umwelt, der sozioökonomischen Situation der Betroffenen und in einem grossen Mass von individuellen Persönlichkeitseigenschaften, z.B. der Lärmempfindlichkeit abhängt, kann man nicht ohne weiteres davon ausgehen, dass die Bevölkerung heute noch gleich auf den Fluglärm reagiert wie vor 10 oder 15 Jahren. Diese Problemstellung war die Ausgangslage der Lärmstudie 2000, die in den Jahren 2001 bis 2004 vom Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich als Folgestudie zur Lärmstudie 90 durchgeführt wurde. Die damals durchgeführten Untersuchungen gliederten sich in drei Teile: Eine Befragung zur Fluglärmbelästigung im Jahre 2001 [89], eine fast identische Befragung im Jahre 2003 [68] und eine aufwändige experimentelle Feldstudie zur Schlafqualität unter Fluglärmeeinfluss [84; 90]. In den beiden Befragungen 2001 und 2003 wurden aus 57 Gemeinden um den Flughafen Zürich insgesamt über 3000 zufällig ausgewählte Personen "um ihre Mitarbeit bei der Erhebung der Fluglärmbelästigung im Raum Zürich" gebeten. Im Zentrum der Befragungen stand die Belästigung durch Fluglärm welche mit der von der ICBEN empfohlenen 11er-Skala erhoben wurde. Die Fluglärmrechnungen wurden wiederum von der Empa durchgeführt. Die erste Befragung fand im August 2001 statt, also noch vor den Terroranschlägen des 11. September und vor dem Swissair-Grounding, die zweite im August/September 2003.

Die Befragungen haben ergeben, dass die *Gesamtbelästigung* durch Fluglärm in erster Linie anhand der Geräuschkulisse vor dem eigenen Haus beurteilt wird und nicht so sehr danach, wie sich die Lärmsituation im Hausinneren präsentiert. Im Lichte dieser Erkenntnis darf bezweifelt werden, dass die Lärmstudie 90, welche nach der Belästigung *im Haus* fragte, ein vergleichbares Ergebnis geliefert hätte, wenn im Rahmen der Fragebogenentwicklung die heutige gängigen ICBEN-Standards verwendet worden wären (in der "ICBEN-Frage" wird nicht spezifiziert, für welchen exakten Aufenthaltsort [z.B. "im Haus", "vor dem Haus", "ausser", "bei offenem/geschlossenem Fenster" usw.] die Belästigungsangabe gemacht werden soll).

Zur Dimension "Belästigung" wurden mehrere Berichte und Artikel veröffentlicht [68; 85; 89; 91; 92; 93], welche für die Abschätzung eines eventuellen Handlungsbedarfs hinsichtlich einer Überprüfung der Fluglärm-Grenzwerte herangezogen werden können.

Vergleiche mit älteren Studien. Gemäss den Ergebnissen der Lärmstudie 2000 hat die Belästigung der Bevölkerung zwischen 1971 und 2001 zugenommen. Abb. 2.1.25 illustriert diesen Umstand anhand der Veränderungen im Prozentsatz an stark, mittel, schwach und nicht belästigten Personen gegenüber den Ergebnissen aus der soziopsychologischen Fluglärmuntersuchung (SPF) von 1971 [19] (als Vergleichsmass musste der NNI berechnet werden, da im Rahmen der SPF keine Mittelungspegel berechnet wurden).

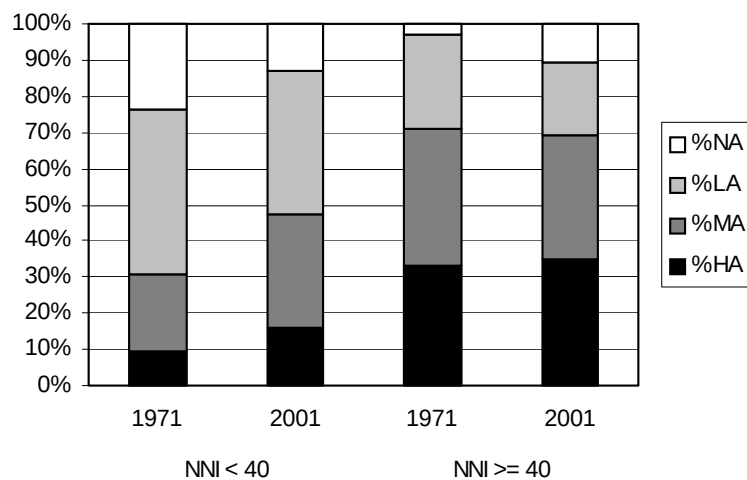


Abb. 2.1.25: Vergleich des Anteils an stark belästigten (%HA), mittelstark belästigten (%MA), schwach belästigten (%LA) und nicht belästigten Personen (%NA) 1971 und 2001, für NNI < 40 und NNI >= 40; Datenquellen: [19; 89]

In Abb. 2.1.26 werden die Belastungs-Wirkungskurven aus der Lärmstudie 2000 [92], Miedemas Meta-Analyse, sowie der Lärmstudie 90 aus [23] einander gegenübergestellt. Je weiter links eine Kurve zu liegen kommt, desto geringer muss der Pegel (hier $L_{eq,16h}$ oder L_{DN}) sein, um einen bestimmten Prozentsatz stark belästigter Personen zu erzeugen. Gegenüber den in einer Kurve konsolidierten und z.T. über 30 Jahre alten Daten von Miedema und Mitarbeitern sowie der Lärmstudie 90 (Original-Publikationen: [88; 94]) hat die Lärmtoleranz – insbesondere bei geringeren Pegeln – offenbar abgenommen.

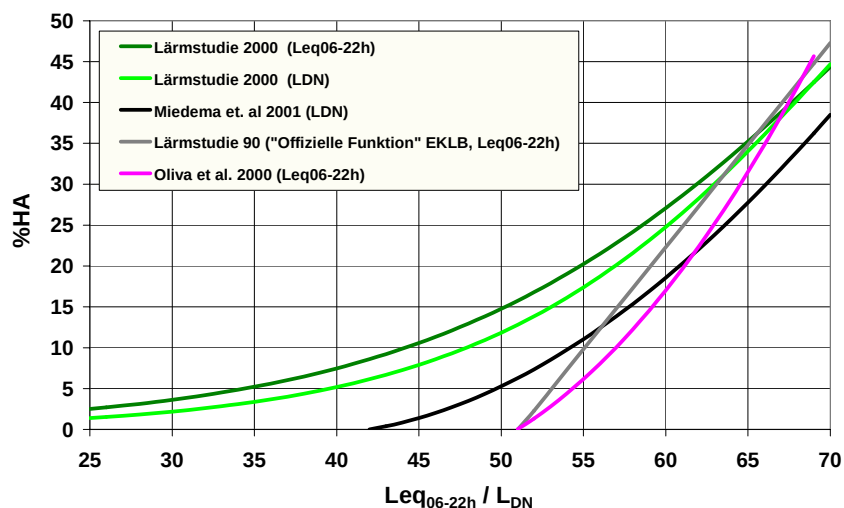


Abb. 2.1.26: Belastungs-Wirkungsfunktionen für %HA. Die logistischen Regressionsanalysen für die Kurven der Lärmstudie 2000 (dunkel- und hellgrün) sind in [68] dokumentiert. Die

"Miedema-Kurve" ist aus [21]. Die Kurve der Lärmstudie 90 ist aus [7]. Die Kurve Oliva et al. 2000 ist aus [23]

Da die Kurve der Lärmstudie 2000 insgesamt flacher verläuft sind zwar deutlich mehr Personen unterhalb der Schwelle der "starken" Belästigung belästigt, im grenzwertrelevanten Bereich von ca. 25% stark Belästigten würde der empirische ermittelbare Grenzwert für den Tag-Pegel heute dennoch nur geringfügig tiefer als 60 dB(A) zu liegen kommen, nämlich bei ca. 58-59 dB(A).

Es ist zu bedenken, dass die beobachtbaren Verschiebungen des %HA-Anteils insbesondere diejenigen Teile der Bevölkerung betreffen, welche unterhalb der aktuellen Grenzwerte belastet sind. Damit kommt zum Ausdruck, dass die aktuellen Grenzwerte zwar nach wie vor den *individuellen Schutz* vor übermässigem Fluglärm (einigermassen) sicherstellen, die kumulierte Belästigung durch Fluglärm unterhalb eines bestimmten Pegelwerts in der Bevölkerung aber dennoch deutlich zugenommen hat. Angesichts dieses Trends ist es nicht verwunderlich, dass alternative Beschreibungsmasse der (Flug)lärmbelastung bzw. –belastung gesucht und aktuell auch angewendet werden, die diesem Umstand Rechnung tragen. Der Wunsch nach wirkungsgerechter Lärmbeurteilung (welche auch schwach belastete Personen in die Gesamtbetrachtung miteinbezieht) findet z.B. im Zürcher Fluglärm-Index ZFI [27] seinen Niederschlag, und bereits haben andere mit Lärmbeurteilung befasste Organisationen und Behörden ähnliche Bewertungsmodelle entwickelt oder in Auftrag gegeben [95; 96]. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, dass auch in der einschlägigen Literatur einige Gründe angegeben worden sind, im Rahmen der Lärmbeurteilung nicht nur die nach dem Schultz-Kriterium als "highly annoyed" klassifizierten Personen zu betrachten. Griffiths & Raw [97] sowie Ortscheid [98] nehmen an, dass die Änderungen, die das Lärmklima im Verlauf der vergangenen Jahrzehnte erfuhr und erfährt, weniger im Spitzen- als vielmehr im Mittelbereich der Belästigung und Störung reflektiert werden. Die Europäische Kommission empfiehlt deshalb, zusätzlich zum Prozentsatz der "Highly Annoyed" (% HA) den Prozentsatz der Belästigten (% A) zu berechnen, d.h. den Anteil derjenigen Personen, die mittlere Stufen der Belästigungsskala wählen [25].

c) Fazit

Aufgrund der Ergebnisse aus neueren Studien zur Fluglärm-Belästigung ist zu vermuten, dass Belastungs-Wirkungsfunktionen aus älteren (Schweizer) Studien die heutige Fluglärmwirkung, insbesondere diejenige im Belastungsbereich *unterhalb* des aktuellen IGW, insgesamt unterschätzen. Hinsichtlich des Tages-Grenzwerts von 60 dB(A) ist hingegen, angesichts des Vertrauensbereichs aktueller Kurven (siehe [68]) heute kein unmittelbarer Handlungsbedarf einer Überprüfung angezeigt. Es wird jedoch empfohlen, den **Tages-Grenzwert** mittelfristig, d.h. in einigen Jahren, mit einer neuen empirischen Studie zu überprüfen, denn sollte sich der weiter oben beschriebene Belästigungs-Trend bestätigen und möglicherweise

auch fortsetzen, so wird man sehr wahrscheinlich in wenigen Jahren mit gesetzlich nicht mehr konformen Grenzwerten konfrontiert sein.

Die **Nacht-Grenzwerte** sind von dieser Schlussfolgerung ausgeschlossen. Durch die Tatsache, dass die Schweizer Lärmschutzgesetzgebung getrennte Grenzwerte für die erste, zweite und letzte Nachtstunde aufweist, und während der nächtlichen Kernstunden so oder so ein Flugverbot herrscht, ist der nächtliche Schutz mit der bestehenden Regelung bereits relativ streng ausgelegt. Auch die luftfahrttechnischen Regelungen (insb. VIL, Art. 39, [99]) sorgen für diesen Schutz. Ein Handlungsbedarf ist also nicht dringlich.

Aus Wirkungssicht problematisch ist hingegen das Fehlen einer – ähnlich den separat ausgewiesenen Grenzwerten für die erste, zweite und letzte Nachtstunde – getrennten Beurteilung der **ersten Stunde des Tages** (06-07 Uhr). Dieser Zeitraum muss schlafphysiologisch als mindestens so kritisch betrachtet werden, wie die erste oder zweite Nacht-Stunde (siehe dazu auch Leitfrage W.4). Notabene könnte der notwendige Schutz in dieser Stunde auch (1) über eine Revision der Beurteilungszeiten oder (2) über den Weg einer Änderung der geltenden Nachtflugsperreordnung in [99] erreicht werden. Hinweise auf einen positiven Effekt einer ausreichenden Berücksichtigung der frühen und frühesten Morgenstunden durch ein Verschieben der Nachtflugsperre auf einen späteren Beginn und entsprechend ein späteres Ende am Morgen finden sich in [100].

Mit geringerer Dringlichkeit ist das Fehlen eines Maximalpegel-Kriteriums, welches als physiologische Zumutbarkeitsgrenze für Einzelschallereignisse in der Nacht den Schutz vor überlauten, Aufwach- und Schreckreaktionen erzeugender Überflüge sicherstellen würde, zu beanstanden. Entsprechende mögliche Grenzwert-Schemata werden in [9] diskutiert.

2.1.6 Gesamtfazit

Eingedenk der vielen Hinweise einer Verschiebung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für Belästigung während der letzten Jahrzehnte bei allen diskutierten Lärmarten muss der Handlungsbedarf einer Überprüfung der aktuellen IGW als hoch eingeschätzt werden.

Handlungsbedarf Leitfrage W.1

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.2 Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung? (Leitfrage W.2)

2.2.1 Vorbemerkung

Wenn empirische Untersuchungen zur Grenzwertsetzung herangezogen werden sollen, müssen sie bestimmte Mindestanforderungen erfüllen. Dazu gehören v.a. die unabhängige Überprüfbarkeit der Ergebnisse und der klare Zusammenhang zwischen Untersuchungsergebnissen und Grenzwerten. Dieser Zusammenhang kann sich mit der Zeit verändern, d.h. verstärken, oder abschwächen. Ein Grenzwert ist z.B. dann inadäquat zu nennen, wenn er aufgrund von heute nicht mehr aktuellen "akustischen Szenarien" definiert worden ist.

Es ist kaum zu leugnen dass, zumindest was die Rolle der *Lärmwirkungsforschung* im schweizerischen Gesetzgebungsprozess betrifft, von Seiten der mit der Umweltschutzgesetzgebung befassten Behörden kaum präzise (methodische) Anforderungen an das Vorgehen bei der Grenzwertfestsetzung formuliert wurden. Für die Leitfrage W.2 ist vor diesem Hintergrund zunächst festzuhalten, dass sich die "Anforderungen" an die Grenzwertsetzung seit Inkrafttreten der LSV de facto nicht geändert haben, da solche gar nie klar formuliert wurden. Zumindest muss man dies anhand der Quellenlage [5; 6; 7] vermuten. Besonders umfassend wird ein solches Manko von Oliva und Hüttenmoser in einem Papier mit dem Titel "Festsetzung von Lärmgrenzwerten – Methodische Anforderungen" [4] beklagt. Sie schlagen Qualitätskriterien vor, nach welchen sowohl die Beschaffung der eigentlichen Grundlagen, als auch deren Anwendung im Grenzwert-Festlegungs- oder Entscheidungsprozess beurteilt werden sollen. Zu den **wissenschaftlichen Anforderungen** gehören demgemäss unter anderem die Formulierung von Unterschiedshypothesen (statt der üblichen Untersuchung von Zusammenhangshypothesen), infolge derer die empirische Begründung der Grenzwertvorschläge geprüft werden kann, eine fundierte Wahl der relevanten Indikatoren, und eine fundierte und kritische Beurteilung der häufig geringen Vergleichbarkeit der Indikatoren mit Folgewirkung innerhalb verschiedener empirischer Studien. Viele Lärmwirkungsforscher teilen Oliva und Hüttenmosers Einschätzung nicht, z.B. ist nicht ersichtlich, was für einen Vorteil eine Prüfung von Unterschiedshypothesen (willkürlich definierter Belastungskategorien) im Zusammenhang mit dem Wesen nach kontinuierlichen Daten, so wie sie in Belastungswirkungsbeziehungen dargestellt werden, für Vorteile bringen soll.

Für die Überprüfung des Handlungsbedarfs **in juristischer Hinsicht** sind die umweltrechtlichen Vorgaben an die Festlegung von Immissionsgrenzwerten, hier insb. der Art. 13 und 15 USG massgebend:

Art. 13 Immissionsgrenzwerte

1 Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen legt der Bundesrat durch Verordnung Immissionsgrenzwerte fest.

2 Er berücksichtigt dabei auch die Wirkungen der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere.

Art. 15 Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen

Die Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören.

Diese Bestimmungen konkretisieren, wann Lärmimmissionen als schädlich oder lästig gelten. Für Lärm und Erschütterungen ist dies dann der Fall, wenn unter Berücksichtigung des Stands von Wissenschaft oder Erfahrung diese Immissionen die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden erheblich stören (vgl. Art. 15 USG), dabei muss die Wirkung der Immissionen auf Personen mit erhöhter Empfindlichkeit berücksichtigt werden (Art. 13 Abs. 2 USG). Da bekannt ist, dass auch bei sehr tiefen Belastungen noch immer geringe Prozentsätze der Befragten angeben, stark gestört zu sein – z.B. gilt dies für den Fluglärm in Zürich – [85], ist das Ziel von Artikel 15 wörtlich gar nicht erreichbar. Es genügt jedenfalls nicht, den Begriff "erheblich" auf der einer verbalen oder numerischen Belästigungsskala zu definieren. Zusätzlich muss auch festgehalten werden, welcher Anteil der Bevölkerung mit der Definition eines bestimmten Grenzwertes trotzdem eine starke Störung erleiden. Dieser Anteil ist dann im Sinne des USG als "nicht erheblich" zu akzeptieren [3].

Im Rahmen der Beantwortung dieser Leitfrage ist zu unterscheiden zwischen *quantitativen* und *qualitativen* Aspekten der dem Grenzwertfestsetzungsprozess zugrundeliegenden Studien. Hinsichtlich der Quantität war sich das Projektteam vergleichsweise einig: Angesichts der Bedeutung welche Lärmbeurteilung und Grenzwertfestsetzung für die Raumplanung, die Sanierung und Fragen der Entschädigungspraxis im ganzen Land hat, ist die empirische Basis der Grenzwertfestsetzung in der LSV als ausgesprochen dünn zu bezeichnen. Es ist aus heutiger Sicht unverständlich, dass für die saubere Beschaffung und Bewertung der Grundlagen der LSV im Vergleich zu den durch sie ausgelösten Sanierungskosten sowenig Aufwand betrieben wurde. Im "Inputpapier Geschichte" [3] finden sich hierzu einige bedenkenswerte Ausführungen.

Hinsichtlich der Qualität wird diese Fragestellung im Folgenden getrennt für die Lärmquellen Strasse, Eisenbahn und zivile Grossflugzeuge behandelt.

2.2.2 Strassenverkehrslärm

Im Zeitraum von 1972 bis 1978 sind in der Schweiz vier Erhebungen über die Auswirkungen des Strassenverkehrslärms auf die Bevölkerung durchgeführt worden [19; 38; 39; 40]. Danach wurden nur noch im Rahmen der Lärmstudie 90 und – als Teilfragestellung – im Rahmen der Lärmstudie 2000 Daten zur Strassenlärmbelästigung erhoben. Für die Festlegung der Grenzwerte von der Kommission im Jahre 1979 als relevant erachtete Studien sind folgende:

- Arbeitsgemeinschaft für sozio-psychologische Fluglärmuntersuchungen (1974). Sozio-psychologische Fluglärmuntersuchung im Gebiet der drei Schweizer Flughäfen Zürich, Genf, Basel. Bern: Eidgenössisches Luftamt. [19]
- Wanner, H. U., Wehrli, B., Nemecek, J., & Turrian, V. (1977). Die Belästigung der Anwohner verkehrsreicher Strassen durch Lärm und Luftverunreinigungen. Sozial- und Präventivmedizin/Social and Preventive Medicine, 22(3), 108-115. [38]
- Wehrli, B., Hauser, S., Egli, H., Bakke, P., & Grandjean, E. (1978). Wohnen im Neubau. Paul Haupt Verlag, Bern [101]
- Wehrli, B., Nemecek, J., Turrian, V., Hofmann, R., & Wanner, H. U. (1978). Störwirkungen des Strassenverkehrslärms in der Nacht: Eidg. Amt für Umweltschutz [39]

Aus dem Kommissionsbericht geht nicht hervor, wie die in Tab. 2 und 3 (Grenzwertschema-Vorschlag) publizierten Zahlen erhalten wurden, so dass es unklar bleibt, inwiefern der Grenzwert (IGW ESII) von 60 dB(A) das Resultat einer politischen Ausmarchung war oder tatsächlich auf Überlegungen beruhte, die mit den empirisch ermittelten Dosis-Wirkungszusammenhängen zu tun hatten. Die Kommission hatte 1976 in einem folgenreichen Entscheid beschlossen, den IGW bei ca. 25% Wahrscheinlichkeit für "starke Störung" festzulegen. Die Ergebnisse der sozio-psychologischen Fluglärmuntersuchung für Basel [19] ergaben jedoch bei 60 dB(A) Tages-Leq nur ca. 16% starkbelästigte Personen. Selbst im Kommissionsbericht [5] finden sich in der massgeblichen Tabelle (Tab. 1, S. 19) erst bei einem Tages-Leq von ca. (interpoliert) 67 dB(A) 25% Starkbelästigte. Der Grenzwertvorschlag von 60 dB(A) wird dennoch offenbar als nicht weiter begründungsbedürftig betrachtet.

Etwas besser sieht die Datengrundlage für die Beurteilung des *nächtlichen* Strassenlärms aus. Die am IHA an der ETH Zürich durchgeführte Studie von Wehrli et al. [39] folgte dem Vorbild der sozio-psychologischen Fluglärmuntersuchung von 1971 [19], doch erfolgte die Befragung aus Kostengründen schriftlich. Auswertbar waren 1607 Fragebogen aus sechs sog. "Untersuchungskontexten" (je zwei Mal Innenstadt, Aussenquartier, Landgebiet). Pro Kontext wurden Personen ausgewählt, welche an stark, mittel und schwach befahrenen Strassen wohnten. Die Belastung wurde durch Langzeitmessungen in Strassennähe (Referenzposition) erhoben, ergänzt durch Kurzzeitmessungen, aus denen die Pegelreduktion im Vergleich zur Referenzposition ermittelt werden konnte. Erfragt wurde einerseits die selbst-eingestufte Belästigung mit dem Skalometer 0-10, aber auch andere Variablen.

Abb. 2.2.1 zeigt den Zusammenhang zwischen Belastung und dem Anteil stark gestörter Personen in der Studie von Wehrli et al.

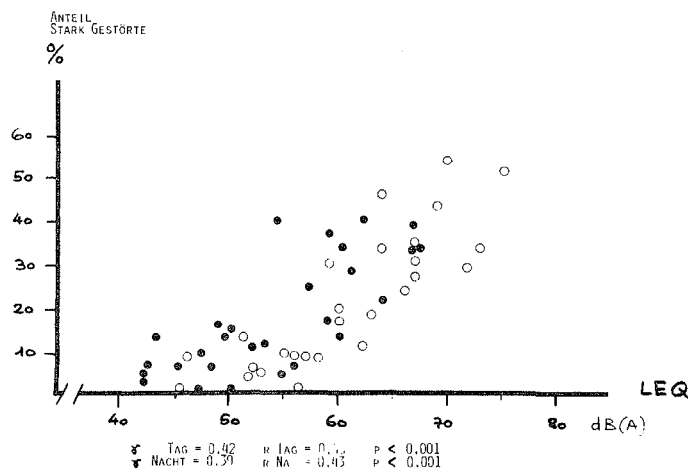


Abb. 2.2.1: Streudiagramm zur Störung durch Strassenverkehrslärm tags und nachts (28 Messstellen), aus Wehrli et al., 1978 [39]

Ohne es statistisch wasserdicht belegen zu können, stellen die Autoren fest, dass weder am Tag noch in der Nacht eine lineare Belastungs-Wirkungsbeziehung besteht, sondern bei bestimmten Belastungswerten ein plötzlicher Anstieg des Anteils Starkgestörter erfolgt. Dieser Anstieg beginne bei den Nachtwerten bei ca. 55 dB(A) und tags bei ca. 60 dB(A). Die Autoren erstellten auch eine Tabelle (S. 54), welche pro Lärmbelastungsklasse den Anteil Starkgestörter ausweist. Diese Tabelle weist auf tiefere Grenzwerte hin, als die entsprechende Tabelle (S. 19) im Kommissionsbericht [5]. Im Belastungsintervall 60 - 65 dB L_{Aeq} tags reagieren 27% der Betroffenen mit einer starken Störung, im nächsttieferen Intervall von 55-60 dB(A) sind es jedoch nur noch 9%. Im Intervall 55 - 60 dB L_{Aeq} nachts geben 24% eine starke Störung an, in diesem Pegelbereich musste sich also gemäss den Autoren die kritische Grenze befinden. Grob geschätzt dürfte die Wahrscheinlichkeit für starke Störung tags bei 60 dB(A) etwa 15%, bei 62 dB(A) rund 20% betragen.

Aus heutiger Sicht ist an der Studie zu bemängeln, dass der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Belästigung zwar graphisch dargestellt, aber nicht mittels eines statistischen Modells beschrieben wird. Zumindest eine einfache lineare Regressionsgleichung mit Angabe von Steigung und Achsenabschnitt, sowie der Angabe des Vertrauensbereichs, wäre für die einfach handhabbare Prognostizierung des Anteils Starkbelästigter, und damit der Grenzwertfestsetzung selber, von grossem Vorteil gewesen. Die Resultate besitzen daher über weite Strecken nur deskriptiven Charakter. Dies mag letztlich damit zusammenhängen, dass das inferenzstatistische Verständnis einerseits, aber auch die Möglichkeiten der rechnergestützten statistischen Verfahren zur damaligen Zeit nicht gleichermassen ausgeprägt bzw. zugänglich waren wie heute. Angesichts der vergleichsweise grossen Unsicherheit der akustischen Messungen fällt jedoch das Fehlen eines statistischen Modells nicht so sehr ins Gewicht. Das Festhalten am relativ groben Fünfer-Raster ist vor diesem Hintergrund verständlich.

Vergleicht man Tag und Nacht, so findet man vergleichbare Prozentzahlen nachts bei ca. 5 dB tieferen Werten, was im Widerspruch zu den Grenzwertwerten von 1963 steht, bei denen zwischen Tag und Nacht eine Differenz von 10 dB besteht. Die Studie von Wehrli et al. wies auf einen Nacht-Grenzwert von 55 dB(A) hin. Trotzdem wurde der Nachtgrenzwert von der Kommission 10 dB unter dem Taggrenzwert festgelegt, d.h. bei 50 dB(A). Weshalb, wird nicht erklärt.

Fazit. Die empirische Basis für die Grenzwertfestlegung (tags) muss aus heutiger Sicht als dürftig, die damals verwendeten Methoden als vergleichsweise grob, und die Herleitung des Grenzwertes im Kommissionsbericht [5] als lückenhaft bezeichnet werden. Gemäss [3] scheint zudem, dass für die Grenzwerte des Strassenlärms die Erfahrung mit den Grenzwertwerten 1963 ausschlaggebend waren – und nicht die Befragungsergebnisse. Ein solches Vorgehen ist aus heutiger Sicht in jedem Fall unzureichend für die Begründung eines Grenzwertes, der Handlungsbedarf einer Überprüfung deshalb hoch.

Handlungsbedarf Strassenlärm

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.2.3 Eisenbahnlärm

Die einzige im Rahmen der Erarbeitung der LSV relevante Eisenbahnlärmuntersuchung der Schweiz war jene aus den späten 1970er Jahren, die vom Soziologischen Institut der Universität Zürich (Ortega/Meyer) und der Empa im Auftrag des (damaligen) Bundesamtes für Umweltschutz durchgeführt wurde. Die wichtigsten Resultate sind in einem etwas umständlich gegliederten Schlussbericht [102] dokumentiert. In dieser Untersuchung wurden mittels einer geschichteten Zufallsauswahl 30 Befragungsgebiete bestimmt, in denen zwischen 47 (Wald ZH) und 325 (Zürich-Oerlikon) Personen angeschrieben wurden. Der Rücklauf der ausgefüllten Fragebogen war mit 85% überraschend hoch. Für die Auswertung standen schliesslich 2473 verwertbare Fragebogen zur Verfügung.

Um beurteilen zu können, ob sich diese Studie den heutigen Anforderungen für eine Grenzwertsetzung genügt, sind zwei Dimensionen relevant: Zum einen die Dimension *Akustik*, und zum anderen die Dimension *Wirkung*.

a) Akustik

Die akustische Datenerhebung in [102] muss als sehr kritisch hinterfragt werden. Aus finanziellen Gründen war die personelle Kapazität sehr beschränkt. Dies führte dazu, dass die Belastung grundsätzlich mit dem kurz zuvor entwickelten Empa-Eisenbahnlärm-Modell berechnet wurde. Mit Messungen wurden die Berechnungen stichprobenweise überprüft. Auf eine solide Messung am Ort der Befragten, wie sie beispielsweise in der Fluglärmuntersu-

chung von 1973 [19] durchgeführt worden war, musste aus Aufwandgründen leider verzichtet werden.

Wie gut die akustische Berechnung, die teilweise durch Messungen abgestützt wurde, bewerkstelligt wurde, kann zumindest aus dem "Zusammenfassenden Schlussbericht" [102] nicht ohne weiters abgeleitet werden. Es sei an dieser Stelle auf die Inputpapiere der Dimensionen "Akustik" und "Geschichte" [3; 66] verwiesen.

b) Wirkung

Generell sind Aufbau, Herleitung und die Überlegungen der Autoren zum Untersuchungsgegenstand für die damalige Sicht durchaus nachvollziehbar. Aus heutiger Sicht sind allenfalls die Bezüge auf die bereits zu jener Zeit bestehende Literatur zuwenig deutlich herausgearbeitet worden. Auch finden sich im einleitenden Text kaum Literaturstellen, was sich letztlich auch im Bericht der Expertenkommission mit den Grenzwertvorschlägen [6] wiederholt [3].

Im Hinblick auf die Grenzwertfestlegung erfolgten Auswertungen der Streckenlärmuntersuchung in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurden Zusammenhänge zwischen verschiedenen "Störungsmassen" und physikalisch abgeleiteten Massen für den Lärm ermittelt, in einem zweiten Schritt wurde untersucht, welche Komponenten des Lärms in welchem Ausmass die Störung erklären. Hierbei hat sich insbesondere herausgestellt, dass die Zugsfrequenzen nebst der akustischen Energie einen beträchtlichen Anteil der Störungsvarianz mit aufklären (in der LSV fand dies in der Pegelkorrektur K1 seinen Niederschlag; siehe auch Punkt 2.5.2).

Hinsichtlich der Repräsentativität der Stichprobe für die Gesamtbevölkerung sind gewisse Fragezeichen angebracht. So wurde die Stichprobe anhand der Stimmrechtsregister der Gemeinden erstellt, d.h. in der Stichprobe sind nur über 20-jährige Schweizer/innen mit Stimmrecht enthalten, ohne Berücksichtigung des ausländischen Bevölkerungsanteils. Dafür war die Rücklaufquote von ca. 85% auch für damalige Verhältnisse ansehnlich (Zum Vergleich: Die Rücklaufquoten der Lärmstudie 2000, der letzten grösseren soziopsychologischen Erhebung in der Schweiz betrugen im Rahmen der Befragung 2001 52.4% und im Jahr 2003 37.6%).

Irritierend ist die Tatsache, dass die Anteilskurven im Bericht der Kommission [6] nicht im zusammenfassenden Schlussbericht von Ortega/Meyer [102] enthalten sind. Zumindest lässt ein Vergleich der Kurven nicht erkennen, dass es sich um die selben Belastungs-Wirkungskurven handelt. Die Kurven im Bericht von Ortega/Meyer (Seite 53) und der Kommission (Seite 27) sind nicht deckungsgleich, obwohl, soweit der Verfasser dieses Papiers es nachvollziehen kann, diese Kurven denselben Sachverhalt anhand derselben Daten darstellen sollten (Abb. 2.2.2).

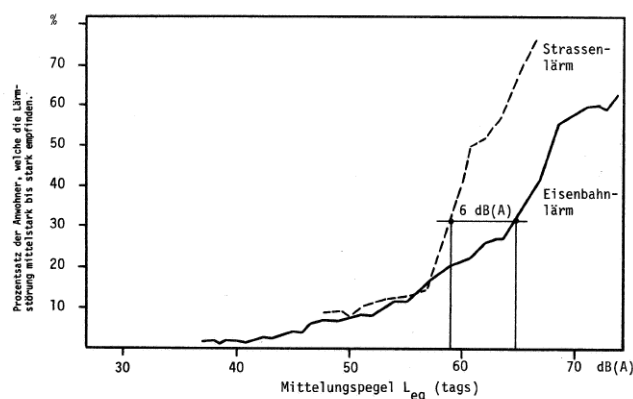
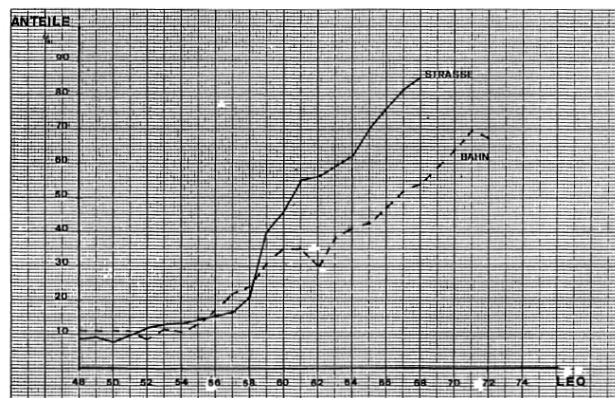
GRAPHIK 12 Vergleich der Anteilskurven der Tageskalometer für Eisenbahn und Strasse über L_{eq} ; starke Störung >4Fig. 7: Vergleich der Anteile lärmgestörter Personen für Eisenbahn- und Strassenverkehrslärm in Abhängigkeit vom Mittelungspegel L_{eq}

Abb. 2.2.2: Vergleich der Belastungs-Wirkungskurven für %HA des Berichtes Ortega/Meyer [102] (oben) und des Berichtes der Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten [6] (unten).

Es wird aus dem Bericht der Kommission auch nicht deutlich, wer die auf dem neu eingeführten Beurteilungspegel L_r basierenden Belastungs-Wirkungsfunktionen (dort. Fig. 8, Seite 28) ermittelt hat; im zusammenfassenden Bericht von Ortega/Meyer sind sie nicht enthalten. Im Kommissionsbericht fehlt ein Literaturverzeichnis welches hierüber allenfalls Aufschluss geben könnte.

c) Fazit

Vor dem Hintergrund der recht spärlichen Dokumentation (vom Bericht Ortega/Meyer abgesehen) und der generellen Schwierigkeit, die damals aus der Studie von der Kommission abgeleiteten Schlüsse nachzuvollziehen, erscheint es sinnvoll, für eine Überprüfung der Grenzwerte aktuelle Literatur zu sichten und allenfalls selber empirisch tätig zu werden.

Handlungsbedarf Eisenbahnlärm

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.2.4 Fluglärm

Massgeblich für die Entwicklung der Fluglärm-Grenzwerte in der Schweiz waren die beiden bereits erwähnten vom Bund geförderten Belastungsstudien: die sogenannte "Soziopsychologische Fluglärmuntersuchung" (SPF), 1971, und dann v.a. die Lärmstudie 90.

a) Soziopsychologische Fluglärmuntersuchung

Die SPF gilt als Eckpfeiler zur Begründung von schweizerischen Grenzwerten für Fluglärm und kann in vielerlei Hinsicht als pionierartig bezeichnet werden. Ihr Hauptziel war, ein geeignetes Belastungsmass für Fluglärm sowie Grenzwertvorschläge zu finden. Der Schlussbericht [19] verwendet in bemerkenswerter Weise bereits die Definition der "starken Belästigung", wie sie später international üblich geworden ist, und den Prozentsatz der Starkgestörten (Starkbelästigten). Schultzs berühmte Meta-Analyse von 1978 [18], welche die ganze Belastungsforschung bis über die Jahrtausendwende hinaus geprägt hat, übernahm in entscheidender Weise wichtige Ideen der SPF und trug so zu deren Verbreitung bei. Die Ergebnisse der SPF flossen in die Verordnung über die Lärmzonen (Teil des Luftfahrtgesetzes) ein, als Belastungsmass wurde der NNI verwendet. Für die aktuellen Grenzwerte in der LSV ist sie also nicht unmittelbar relevant. Eine ausführlichere Beurteilung der Studie im Hinblick auf die aktuelle Grenzwert-Diskussion befindet sich im Inputpapier Geschichte [3].

b) Lärmstudie 90

Schon früh wurde klar, dass die Lärmzonen im Bereich der Landesflughäfen zwar einen gewissen Einfluss auf die Planung von Bauten hatten, für eine Sanierung bestehender Lärmsituationen aber nicht in Frage kamen. Für die Festlegung von Grenzwerten in der LSV wollte man zudem nicht mit dem NNI arbeiten, da nebst seiner Defizite sich der Leq inzwischen als Lärmbelastungsmass national sowie international weitgehend durchgesetzt hatte. Im Hinblick auf eine Konkretisierung der Grenzwerte im LSV Anhang 5 wurde im Jahr 1989 die *Lärmstudie 90* geplant. Wie das Vorbild von 1974 sollte sie die Belästigung durch Flug- und Strassenlärm gleichzeitig erfassen. Der Befragungsteil wurde dem Büro für soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung von Carl Oliva in Zürich übertragen, für den akustischen Teil war die Abteilung Akustik der Empa zuständig. Die Arbeit wurde als Projekt im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 26 (NFP-26) durchgeführt.

Für die Beurteilung der "Lärmstudie 90", bzw. was darunter alles subsummiert wird ist die Tatsache erschwerend, dass eine grosse Zahl verschiedener Projekt-Berichte [83; 87; 103] sowie Auszüge und Zusammenfassungen, eine Broschüre des Nationalfonds [104], ein publizierter Bericht in Buchform [94], sowie Fachartikel [23] auf Daten aus dieser Studie zurückgreifen, so dass die Frage auftaucht, welche Quelle denn nun im Rahmen der aktuellen Grenzwertbeurteilung wirklich relevant ist. Bereits erwähnt wurden die verschiedenen veröffentlichten Belastungs-Wirkungsfunktionen, welche alle auf die Lärmstudie 90 zurückgehen. Diese weichen minim voneinander ab, was ein gewisses irritierendes Moment darstellt, jedoch teilweise wegen der parallel erfolgten Fortschritte der akustischen Quellenmodellierung durch die Empa begründet war. In der methodischen Anlage lassen sich keine grundsätzlichen Mängel ausmachen, auch wenn man heute einige Erhebungsaspekte, so etwa die Quantifizierung der Belästigung (Störung) anders angehen würde.

Im Gegensatz zur heute üblichen Praxis der Erhebung der *allgemeinen* Belästigung (z.B. gemäss [33]) fragte Oliva zum einen explizit nach der *Störung in der Wohnung* und zum anderen *vor dem Haus*. Für die massgebliche Belastungs-Wirkungsfunktion wurde jedoch meist die *Störung in der Wohnung* zugrundegelegt, so z.B. in [23], aber auch im offiziellen Bericht der Kommission [7]. Abgesehen davon, dass die Konzepte Störung und Belästigung nicht notwendigerweise semantisch kongruent sind, muss bemängelt werden, dass durch das Zugrundelegen der *Störung in der Wohnung* (statt einer generischen, allgemeinen Erfassung der Störung/Belästigung) eine gewisse Inkompatibilität der Wirkungsoperationalisierung innerhalb der LSV in Kauf genommen wurde. In der Eisenbahnlärmuntersuchung von 1980 [102] wurde z.B. ebenfalls das Skalo- bzw. 11-stufige Thermometer vorgelegt, jedoch ohne einen spezifischen örtlichen Kontext zu explizieren. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass das *generische* Fluglärm-Belästigungsurteil in etwa deckungsgleich ist mit dem Urteil, vor dem Haus belästigt oder gestört zu werden. Personen entwickeln ihr allgemeines Belästigungsurteil offensichtlich weitgehend anhand von Erfahrungen im Aussenbereich ihrer Wohnung. Dies haben die Befragungsergebnisse der Lärmstudie 2000 (Befragung 2001) ergeben [89]. Im Grenzwert-relevanten Bereich ab ca. 55 dB(A) 16-h-Leq beträgt der mittlere Belästigungsunterschied zwischen der Belästigung "insgesamt" und der Belästigung "in der Wohnung" mit halbgeöffnetem Fenster etwa 1 Punkt auf einer numerischen 7-Punkte Skala [89 S. 69]. Die Belästigung in der Wohnung ist mit ziemlicher Sicherheit bei gleichem Aussenpegel also als geringer einzustufen als die allgemeine Belästigung. Somit dürften (auf der Situation in der Wohnung basierende) Dosis-Wirkungsfunktionen aus der Lärmstudie 90 die *generelle, allgemeine, insgesamte* Lärmwirkung, also derjenige Sachverhalt, der nach stiller Übereinkunft in einer grenzwertrelevanten Belastungs-Wirkungskurve dargestellt wird, unterschätzen. Wie viele dB diese Abweichung beträgt kann zurzeit nicht ohne grösseren Rechercheaufwand eruiert werden. Aber dieser geringe Unterschied in der Operationalisierung ist möglicherweise der Hauptgrund für die recht deutliche Abweichung der Belastungs-Wirkungsfunktion der Lärmstudie 90 von vergleichbaren Funktionen aus anderen Ländern – eindrücklich demonstriert anhand der Abb. 2.1.18 – und in der Folge möglicherweise auch einer der Gründe für die Skepsis, mit welcher die Lärmstudie 90 hinsichtlich ihrer Vertrauenswürdigkeit seither immer wieder konfrontiert war. Dies hätte vielleicht vermieden werden können, wenn Oliva von Anfang an die Belastungs-Wirkungskurve für den Kontext "vor dem

Haus" (also diejenige Kurve die in Darstellung 2 auf Seite 29 in [83] gezeigt wird) als die relevante propagiert hätte. Diese kann gemäss visueller Inspektion mit der Funktion $\%SG = 2.2 \times 16h-L_{Aeq} - 108$ approximiert werden; sie ergibt bei einem $16h-L_{Aeq}$ von 60 dB 24% stark Gestörte, und nicht 22%, wie nach der "offiziellen" Formel in [7].

Fazit. Die (vier) Belastungs-Wirkungsfunktionen aus der Lärmstudie 90 stellen nicht exakt denjenigen Sachverhalt dar, den man zunächst vermuten würde und es ist bei ihrer Interpretation deshalb eine gewisse Vorsicht angebracht. Sie können nicht ohne weiteres verglichen werden mit anderen Belastungs-Wirkungsfunktionen, namentlich nicht mit solchen, welche die pegelabhängige *insgesamte* bzw. *allgemeine* Belästigung oder in erster Näherung, die Belästigung *vor dem Haus* wiedergeben. Methodisch erfüllt die Lärmstudie 90 die Anforderung an eine Grenzwertsetzung durchaus, es wäre allerdings für die Frage nach der Angemessenheit des aktuellen Grenzwerts von Vorteil, die Originaldaten (inkl. der aktualisierten Belastungsrechnung) mit einem etwas anderen Fokus (Frage nach der Störung "vor dem Haus" und evtl. anderer statistischer Verfahren (z.B. logistische Regression) nochmals auszuwerten, um die Kompatibilität mit anderen Studien, z.B. der Lärmstudie 2000 herstellen zu können. Eine diesbezügliche Aufarbeitung der Studienresultate sowie eine allfällige Neuinterpretation im Lichte des aktuellen Stands der Forschung wäre allerdings nur möglich durch Rückgriff auf die ursprünglichen von Oliva und der Empa erhobenen Daten.

Handlungsbedarf Fluglärm

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.2.5 Gesamtfazit

Mit Ausnahme der Erhebungen zum Fluglärm erscheint die in den 1970er Jahren geschaffene Datenbasis für Eisenbahn- und Strassenlärm nicht als ausreichend, einen Grenzwert zuverlässig zu begründen. Der Handlungsbedarf ist entsprechend hoch.

Handlungsbedarf Leitfrage W.2

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.3 Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen? (Leitfrage W.3)

In Fragen der Betrachtungszeiträume hat die Akustik heute wesentlich bessere Möglichkeiten zur Messung und vor allem Berechnung, da unter anderem in der Regel detaillierte saisonale Zahlen zur Verkehrsstatistik vorhanden sind bzw. z.B. beim Fluglärm sogar auf Radardaten basierende sogenannte Full-Size-Simulationen für die Belastungsberechnung z.B. eines spezifischen Kalenderjahres erstellt werden können. Das Grundprinzip der Belastungsberechnung

nung *im Jahresmittel* ist breit akzeptiert und es erscheint daher vorderhand nicht nötig, in diesem Bereich Überprüfungen und gegebenenfalls später Änderungen vorzunehmen. Allerdings sollten solche Belastungssituationen im Auge behalten werden, wo sich systematische Interaktionen zwischen dem periodischen Belastungsmuster (z.B. unterschiedliche Belastung an Wochentagen und Wochenenden) und der Empfindlichkeit der Bevölkerung ergeben. Als Beispiel wäre hier die Fluglärmbelastung zu nennen. Auf akustischer Seite müsste selbstverständlich die Frage des Aufwands der Bereitstellung der Betriebsdaten im Verhältnis zum Nutzen beantwortet werden.

Handlungsbedarf Leitfrage W.3

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.4 Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen? (Leitfrage W.4)

2.4.1 Ausgangslage

Die Beurteilung, ob ein *Grenzwert gewisser Höhe* den im Gesetz vorgegeben Schutz in der Bevölkerung tatsächlich sicherstellt, kann nicht unabhängig von der Frage erfolgen, für welchen tageszeitlichen Beurteilungszeitraum der entsprechende Grenzwert gültig sein soll. In den meisten Ländern unterscheidet man zwei (oder in selteneren Fällen) drei Tageszeiträume, innerhalb welcher jeweils unterschiedliche Grenzwerte gültig sind. In der LSV wird im Rahmen der Beurteilung von Verkehrslärm unterschieden in eine *Tagesperiode* von 06 bis 22 Uhr und eine *Nachtperiode* von 22 bis 06 Uhr. Die Festlegung dieser Perioden orientierte sich einerseits an der Zeit, die vorwiegend den Tagesaktivitäten der Bevölkerung vorbehalten ist, und andererseits an der Zeitspanne, die vorwiegend den Schlaf- und Erholungsbedürfnissen der Bevölkerung dient. Es ist jedoch anhand der verfügbaren Unterlagen nicht klar, ob diese Zeitperioden tatsächlich empirisch ermittelt wurden oder aus einer nicht näher überprüften Erfahrung heraus festgelegt wurden. Es scheint eher letzteres der Fall zu sein. Im ersten Kommissionsbericht zum Strassenverkehrslärm [5] wird mehr oder weniger dekreto- risch festgelegt, was als "Tag" und was als "Nacht" zu gelten hat. Der entsprechende Abschnitt ist hier zur Illustration 1:1 wiedergegeben (Abb. 2.4.1).

Die Lärmbelastung wird durch den Mittelungspegel L_{eq} über die ganze Nacht (von 22.00 bis 06.00 Uhr) bzw. über den ganzen Tag (von 06.00 bis 22.00 Uhr) beschrieben. Die Pegelmessung erfolgt mit dem Bewertungsfilter A und der Zeitkonstanten FAST in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten von etwa 30 bis 60 Minuten. Die gesamte Messzeit ist so zu wählen, dass die repräsentativen Betriebszustände der Lärmquellen erfasst werden. Massgebend sind schliesslich die Pegel, welche auf den mittleren Tages- bzw. Nachtverkehr (Jahresmittel) umgerechnet wurden.

Abb. 2.4.1: Vorschlag für die Beurteilungsmethode für Strassenlärm aus [5]

Die LSV Anhänge 3-5 zu den Verkehrslärmarten legen für die Nacht und den Tag unterschiedliche IGW fest. Es häuften sich in der letzten Zeit die Hinweise, dass die klassische Tag- und Nachteinteilung, wie sie in der LSV festgelegt ist, nicht mehr notwendigerweise den Gewohnheiten der Bevölkerung entspricht, d.h. insbesondere, dass der "Tagesbeginn" um 06 Uhr für einen Grossteil der Bevölkerung als zu früh erscheint.

Im Rahmen dieser Leitfrage muss einerseits untersucht werden, ob diese tageszeitliche Einteilung tatsächlich auch die unterschiedlichen Empfindlichkeiten in der Bevölkerung widerspiegelt, andererseits muss untersucht werden, ob eine allfällige erweiterte Differenzierung (d.h. eine Unterteilung in mehr als zwei Zeitperioden) notwendig ist, um den im Gesetz geforderten Schutz der Bevölkerung sicherzustellen.

2.4.2 Erkenntniszuwachs seit Inkrafttreten der LSV

Ausschlaggebend für die gesetzlich getrennte Behandlung unterschiedlicher Tagesperioden sind diejenigen Gewohnheiten der Bevölkerung, welche im wesentlichen bestimmen, welcher Zeitabschnitt innerhalb des 24-Stunden-Tages für das Schlafen genutzt wird. In den letzten Jahren sind einige Forschungsarbeiten [36; 105; 106; 107] erschienen, die sich mit der Frage beschäftigten, wie die Empfindlichkeit, auf Lärm mit Belästigung zu reagieren, über die 24 Stunden eines Tages variiert und ob diese Variation allenfalls so ausgeprägt ist, dass eine differenziertere zeitliche Betrachtung als sie heute im Lärmschutzrecht üblich ist, im Hinblick auf eine wirkungsäquivalente Beurteilung von Lärmimmissionen zu verschiedenen Tageszeiten notwendig wird. Nach Tageszeit abgestufte Empfindlichkeits-Profile werden zurzeit v.a. im Rahmen der Entwicklung sogenannter Lärm-Indizes diskutiert [96; 105; 108]. Es darf heute als unbestritten angesehen werden, dass die Lärmempfindlichkeit einem stundenweise auflösbaren Tagesgang folgt. Die empirische Evidenz der Lärmwirkungsforschung der letzten Jahre stützt dies uneingeschränkt.

[109] geht davon aus, dass die Lärmsensibilität der Bevölkerung in der Umgebung von Flughäfen insbesondere in den sog *Nachtrandstunden* (06.00-07.00 und 21.00-22.00) zugenom-

men hat, was auf ein verändertes Schlaf- und Erholungsverhalten der Bevölkerung hindeuten könnte. Trotz 6-stündigem Nachtflugverbot am Flughafen Zürich ist ein Teil der Bevölkerung durch Fluglärm in den Nachtrandstunden auch im Schlaf betroffen, denn über 80% der Bevölkerung gehen insgesamt vor Beginn des Nachtflugverbotes um Mitternacht zu Bett und stehen erst nach dessen Ende (5:30 bzw. 6:00 Uhr) auf. Die Erfahrungen des Autors im Zuge der Neuregelungen des Anflugs auf den Flughafen Zürich seit Inkrafttreten der Anflugbeschränkungen über Süddeutschland (sog. 220. DVO) zeigen auf, dass die morgendliche Randstunde von 6:00 bis 7:00 Uhr (die zurzeit der Tag-Periode zugeordnet und nicht durch einen 1-h-Leq begrenzt wird) heute wahrscheinlich einen der politisch umstrittensten Parameter der LSV darstellt⁷. Als Beispiel sei hier die spezifische Situation der Bewohner der sog. Südanflugschneise am Flughafen Zürich erwähnt: Diese sind seit Inkrafttreten der Anflugbeschränkungen auf den Flughafen Zürich seit Herbst 2003 in besonderem Masse zwischen 6:00 und 7:00 Uhr (Woche) bzw. 09:00 Uhr (Wochenende) von Fluglärmimmissionen betroffen. Die Gegner des Südanfluges (die sich selbst als "Schneiser" bezeichnen) argumentieren denn auch hauptsächlich mit der Unzumutbarkeit der *frühmorgendlichen* Ruhestörung durch landende Flugzeuge. Dabei sind die in der LSV massgeblichen *Grenzwerte* selbst nie Zielscheibe des Protests geworden, sondern bemängelt wurde ausschliesslich die Tatsache, dass für die morgendliche Stunde von 06 bis 07 Uhr "ungerechtfertigterweise" als "Tag" gilt und keine gesonderte Behandlung im Gesetz (bzw. der LSV) vorgesehen ist. Während für die erste, zweite und letzte Nachtstunde in der LSV (Anhang 5) gesonderte Grenzwerte erlassen wurden, wird die erste Tagstunde (6:00 bis 7:00 Uhr) nicht speziell reglementiert, sondern wird unbeaufschlagt (d.h. ohne Pegelkorrektur) in den 16-Stunden Tagesmittelungspegel einberechnet. Dies offenbar in der aus heutigen Sicht kaum nachvollziehbaren Annahme, dass für die Schlaferholung v.a. die erste und zweite Nachtstunde relevant ist, nicht aber die letzte, bzw. die Bevölkerung grossmehrheitlich an Wochentagen und Wochenenden bereits um 6:00 Uhr aufsteht.

Nachfolgend werden Erkenntnisse zu einerseits dem *Wach- und Schlafverhalten*, und andererseits zur *tageszeitabhängigen Lärmempfindlichkeit* diskutiert.

2.4.3 Wach- und Schlafverhalten der Bevölkerung

a) Strassenlärmuntersuchung 1978

Schlafgewohnheiten der Bevölkerung standen schon in früheren schweizerischen Lärmwirkungs-Untersuchungen im Fokus des Interesses. So berichten Wehrli et al. schon 1978 in [39] z.B. über die Aufstehzeiten der Bevölkerung in verschiedenen Untersuchungsgebieten.

⁷ Man könnte de jure, solange der Tages-IGW nicht überschritten wird, den gesamten Tagesverkehr des Flughafens innerhalb dieser einen Stunde abwickeln, was zu einer ganz massiven Belärmung während einer besonders schutzwürdigen Tageszeit führen würde – und die LSV würde dies billigen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass im Mittel der Untersuchungsgebiete lediglich rund 24% der Befragten vor 06 Uhr bzw. im Zeitraum zwischen 5 und 6 Uhr aufstanden (Abb. 2.4.2). Schon etliche Jahre vor Inkrafttreten der LSV muss also ausreichend Evidenz vorgelegen haben, dass ein Grossteil der Bevölkerung bei einem Tagesbeginn um 06 Uhr noch nicht aufgestanden ist und eine gesetzliche Definition des Tagesbeginns um 06 Uhr deshalb eigentlich schon zur damaligen Zeit nicht zu rechtfertigen war.

Tab. 8: Aufstehzeiten nach Untersuchungsgebiet

Untersuchungsgebiet	Anteil Befragter, die zu dieser Zeit aufstehen in %			
	05-06	06-07	07-08	Total 06-08 ¹⁾
<u>Land:</u>				
Affoltern	21	49	23	93
Netstal	36	41	16	93
<u>Stadt:</u>				
Wollishofen	21	43	29 ²⁾	93
Witikon	16	60	19	95
Industriequartier	22	40	30 ²⁾	92
Hottingen	18	47	27	92

Abb. 2.4.2: Aufstehzeiten der Bevölkerung 1978 in der Strassenlärm-Belästigungs-Untersuchung von Wehrli et al. [39]

b) Lärmstudie 2000

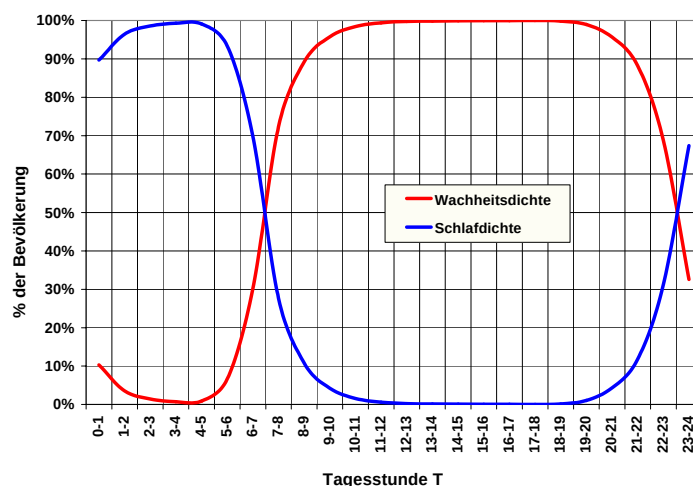
Für die Bevölkerung um den Flughafen Zürich liegen einigermaßen repräsentative Daten über das Wach- und Schlafverhalten vor – sie stammen aus der Lärmstudie 2000 [68; 85; 89]. Bettgeh- und Aufstehzeiten der Zürcher Bevölkerung wurden im Rahmen der Lärmstudie 2000 in zwei Befragungen 2001 und 2003 erhoben. Es wurde dafür folgendes Item verwendet:

2.1	Wann gehen Sie normalerweise zu Bett?	♦ Während der Woche:	um Uhr	7 8
		♦ Am Wochenende:	um Uhr	
2.2	Wann stehen Sie normalerweise auf?	♦ Während der Woche:	um Uhr	9 10
		♦ Am Wochenende:	um Uhr	

Abb. 2.4.3: Auszug aus dem Fragebogen der Lärmstudie 2000

Für beide Befragungsjahre zusammen waren insgesamt 3547 Antwortdatensätze vorhanden, wovon für die Berechnung der Schlafdauer unter der Woche 3486 und am Wochenende 3431 Datensätze verwendet werden konnten. Der über beide Befragungen (2001 und 2003) unter der Woche gemittelte Bettgeh-Zeitpunkt war 22:47 Uhr [hh:mm]. Am Wochenende war dieser Zeitpunkt fast genau eine Stunde später, um 23:43 Uhr. Anteilsmässig für die ganze Woche gewichtet war der durchschnittliche Zeitpunkt des Zubettgehens in der Lärmstudie 2000 - Gesamtstichprobe 23:02 Uhr. Der über beide Befragungen unter der Woche gemittelte Aufsteh-Zeitpunkt war 06:34 Uhr. Am Wochenende standen die Personen der Stichprobe im Mittel um 08:22 Uhr auf. Anteilsmässig für die ganze Woche gewichtet war der durchschnittliche Zeitpunkt des Aufstehens in der Lärmstudie 2000 - Gesamtstichprobe 07:05 Uhr. Diese Zahlen machen deutlich, dass die Definition von Tages- und Nachtperiode in der LSV nicht der gelebten Realität entspricht, sondern die Zeitabschnitte – zumindest für Erwachsene ab 18 Jahren – um ziemlich genau eine Stunde später in den Tag hinein verschoben werden müssten mit einem Tagesbeginn um 07:00 Uhr⁸. Dies gilt unter der Prämisse, dass mit der Nachtperiode in der LSV mehrheitlich derjenige Zeitraum abgedeckt werden soll, in welchem die Bevölkerung schläft oder gerne schlafen würde.

Anhand der Selbstangaben der befragten Personen in der Lärmstudie 2000 sowie einer Schätzung des Einschlafzeitpunktes sowie der anteilmässigen Berücksichtigung der Schlafgewohnheiten von Kleinkindern und Kindern lassen sich Wachheits- und Schlafdichte über die 24 Stunden eines Tages berechnen und als Dichtefunktionen darstellen (Abb. 2.4.4.).



⁸ Im Forschungsbereich der Chronobiologie anzuesiedelnde Untersuchungen der letzten Jahre würden im Übrigen für einen nochmals um eine Stunde später angesetzten „Tagesbeginn“ sprechen. Vor allem Adoleszente sowie Personen, die dem sog. Chronotyp „Eule“ zugehörig sind, weisen einen zirkadianen Rhythmus auf, bei welchem der Tag wesentlich später beginnt und später endet.

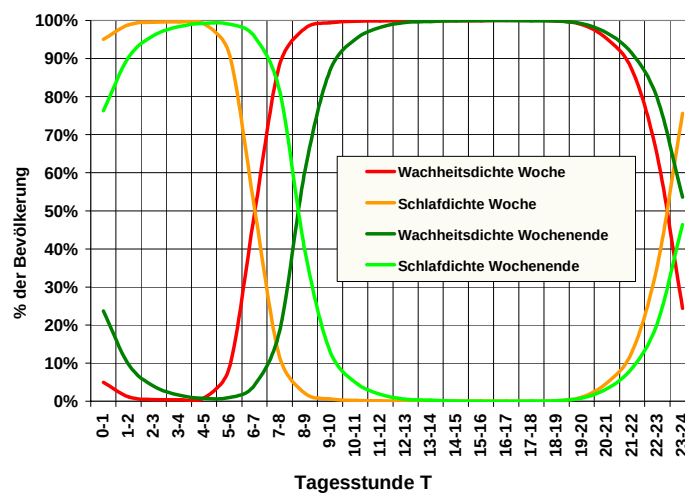


Abb. 2.4.4.: Wachheitsdichte- und Schlafdichteverlauf im Wochenmittel, und für Wochentage und Wochenenden getrennt [zur Herleitung dieser Kurven siehe [105]]

Inwieweit diese anhand der Lärmstudie 2000-Stichprobe erhobenen Daten für die ganze Schweizer Bevölkerung repräsentativ sind, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Ein Vergleich mit dem Ausland [110] zeigt, dass die Personen in der Zürcher Stichprobe im Mittel nur geringfügig später aufstehen, jedoch offenbar deutlich später zu Bett gehen. Die im Rahmen der Lärmstudie 2000 von den befragten Personen gemachten Angaben zu ihrem Schlafverhalten geschahen *retrospektiv* und es ist keineswegs auszuschliessen, dass die selbsteingeschätzte Schlafdauer (bzw. die Zeit, wann ins Bett gegangen und aufgestanden wird, nach welcher hier konkret gefragt wurde) in solchen Befragungen systematisch über- oder unterschätzt wird. Dabei sind durchaus auch Effekte der "sozialen Erwünschtheit" denkbar. Die in der Literatur berichteten Ergebnisse zur Genauigkeit von Selbstangaben zur Schlafdauer, sind widersprüchlich. So fanden [110; 111], dass Personen ihre tatsächliche Schlafdauer im Selbstreport eher *unterschätzen*, während gemäss [112] im Vergleich zur Schlafdauerbestimmung mittels Handgelenksaktimetrie die anhand von Schlaftagebüchern protokollierte Schlafdauer bei Männern eher *überschätzt* wird. Mangels anderer verfügbarer Daten über das Schlafverhalten der Schweizer Bevölkerung erscheint es jedoch als gerechtfertigt, die in der Lärmstudie 2000 ermittelten Profile als "best available guess" zu betrachten.

c) American Time Use Survey (ATUS)

Die in Abb. 2.4.5 gezeigte (amerikanische) Schlafdichteverteilung aus der ATUS-Datenbank kann als sehr präzise Schätzung des Schlafverhaltens der amerikanischen Durchschnittsbevölkerung betrachtet werden. ATUS steht für "American Time Use Survey" [113]. Die Zeitnutzungserhebungen werden vom U.S. Bureau of Labor statistics jährlich durchgeführt und dokumentieren systematisch, wie die US-Bevölkerung ihre Zeit verbringt. Die Tabellen sind für Forschungszwecke frei verfügbar. Eine vom Autor durchgeführte Analyse des ATUS-

Datensatzes der Befragung im Jahre 2006 lieferte 28'771 Schlafsequenzen von insgesamt 12'943 Personen. Das daraus resultierende durchschnittliche Schlafprofil ist in Abb. 2.4.5 dargestellt, zusammen mit den Profilen der Lärmstudie 2000 und einem Profil der japanischen Bevölkerung, welches [114] entnommen wurde.

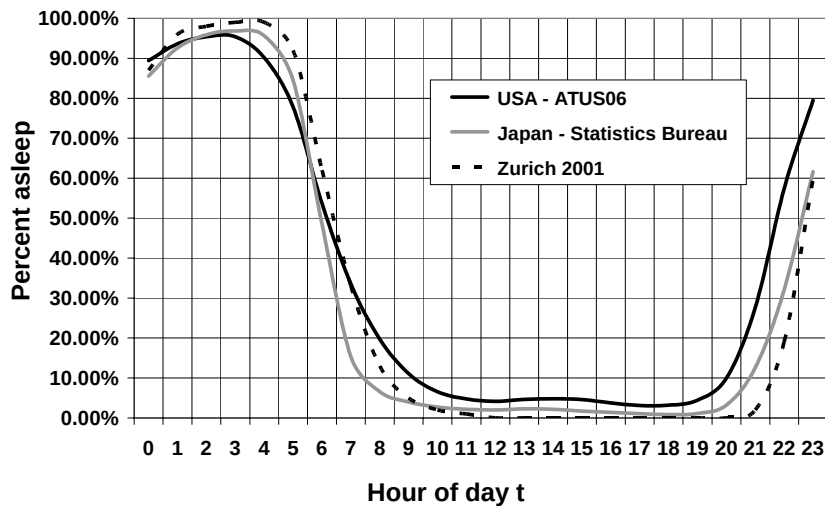


Abb. 2.4.5: Ermittelte Schlafprofile aus drei verschiedenen Studien

d) Fazit

Auch wenn die Datenlage zur Verwendung der Zeit in der Schweiz als unzureichend bezeichnet werden muss, kann als vorsichtiges Fazit gefolgert werden, dass die Beurteilungszeiträume der LSV überprüfungsbedürftig sind. In der aktuellen Regelung muss insbesondere die Tagesstunde zwischen 6:00 und 7:00 Uhr als problematisch angesehen werden. Unter der Prämisse, dass die Daten der Lärmstudie 2000 für die ganze Schweiz repräsentativ und auch methodisch einwandfrei sind, wird im statistischen Wochenmittel (Berücksichtigung des Wochenendes) erst um ca. 7:00 Uhr aufgestanden, die Nacht also erst um 7:00 Uhr "beendet", und nicht schon um 6:00 Uhr. Auch vor einem gesundheitspolitischen Hintergrund setzt sich allmählich die Erkenntnis durch, dass der frühe Tagesbeginn um 06:00 Uhr bei einer nicht unerheblichen Zahl von Menschen einen lebenslang anhaltenden sog. "sozialen Jet-Lag" verursacht der von zahlreichen Nebenwirkungen wie z.B. Leistungseinbussen oder gesteigertem Genussmittelkonsum begleitet ist [115; 116].

Für die getrennte Bewertung bzw. Beurteilung von Lärmimmissionen am Tag und während der Nacht sind also verfeinerte Kenntnisse über die Schlafgewohnheiten der Bevölkerung notwendig, namentlich Bettgeh- und Aufstehzeitpunkte. Solche sind nach Möglichkeit mittels methodisch einwandfreier Zeitbudget-Erhebungen in Tagebuchform zu erheben, da die retrospektive Erfragung des Schlafverhaltens (Lärmstudie 2000) mit methodischen Problemen behaftet sein kann. Nur wenn man hinsichtlich des Schlafverhaltens eine repräsentative In-

formation bzw. eine zuverlässige Schätzung hat, lassen sich die in der LSV verwendeten Beurteilungsperioden vernünftig legitimieren. Im Gegensatz zu vielen anderen Ländern wurde in der Schweiz gemäss Auskunft des Bundesamts für Statistik (BFS) bisher nur eine einzige Zeitbudgeterhebung durchgeführt (1979/80). Deren Ergebnisse sind allerdings nicht mehr greifbar, bzw. nicht in der gewünschten Form. Weitere Zeitbudgetstudien wurden aus Kostengründen bis heute keine durchgeführt (offenbar trotz entsprechender Vorstösse aus dem Parlament).

2.4.4 Tageszeitabhängige Lärmempfindlichkeit

Die Einteilung der Lärmbeurteilung in zwei unabhängige Beurteilungsperioden ("Tag" und "Nacht") mit jeweils *eigenen* Grenzwerten geht auf die Erkenntnis zurück, dass der Mensch auf Nachtlärmstörungen wesentlich empfindlicher reagiert als auf Störungen durch Lärm am Tag, und dementsprechend der Schutz in der Nacht strenger sein muss. Der *Empfindlichkeitsunterschied* zwischen Nacht- und Tagbelastung wird im Allgemeinen mit ca. 10 dB beziffert. Dieser 10 dB-Unterschied findet sich auch im Grenzwertschema der LSV wieder und scheint auch einigermaßen gut empirisch abgesichert zu sein, zumindest im Falle des Fluglärms [105].

Neben der grundsätzlichen Tag-Nacht-Unterscheidung sind jedoch weitere zeitliche Differenzierungen denkbar, welche die tageszeitabhängigen Sensibilitätsunterschiede möglicherweise genauer abbilden. Im Rahmen des aktuellen Auftrages ist die Frage, ob eine Verfeinerung der Zeiteinteilungs-Systematik in der LSV allenfalls einen passgenaueren Schutz ermöglicht, als zweitrangig zu betrachten. Aus diesem Grund wird das Thema hier nur cursorisch und am Beispiel des Fluglärms behandelt.

In der Lärmstudie 2000 (Befragung 2001) wurde deutlich, dass das tageszeitliche Belastungsprofil der Bevölkerung zum Teil mit der tatsächlichen Fluglärm-Belastung übereinstimmte, und auch mit der Tageszeit an sich variierte [68; 85]. Dokumentiert ist dies in Abb. 2.4.6, welche einerseits den Verlauf des 1-h-Leq über den Tag sowie die zu jeder einzelnen Tages-Stunde herrschende Wahrscheinlichkeit, stark belästigt zu sein, für vier verschiedene Gebiete um den Flughafen Zürich zeigt.

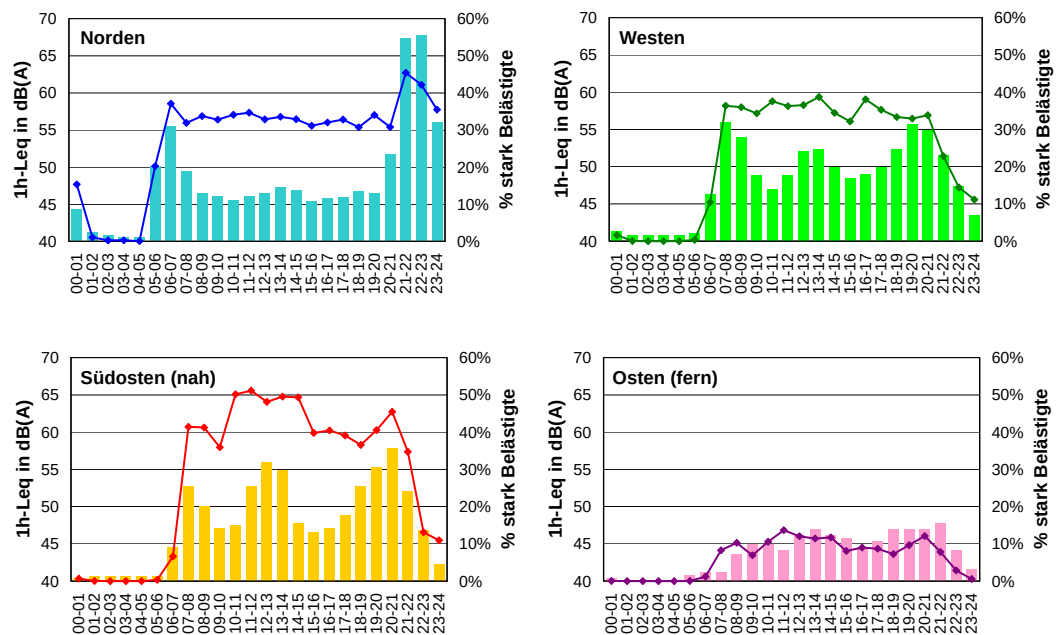


Abb. 2.4.6: Belastungs-Belästigungsprofile aus der Lärmstudie 2000. Auf der x-Achse sind die Tageszeiten von 0 bis 24 Uhr aufgetragen. Als Kurve dargestellt ist der 1-Stunden- L_{eq} (linke y-Achse; den reinen Fluglärm-Belastungswerten wurde jeweils ein 40 dB Grundgeräusch hinzugerechnet⁹). Die Balken repräsentieren den prozentualen Anteil an Personen im Norden bzw. Westen des Flughafens, sowie in Gebieten im Südosten, in der Nähe des Flughafens sowie im Osten in grösserer Distanz zum Flughafen die zu einer bestimmten Stundeangaben, stark belästigt zu sein (rechte y-Achse). Aus [85]

In allen vier Gegenden war die Reaktion der Befragten einerseits eine Folge des Fluglärms und andererseits eine Funktion der Tageszeit. Dies ist ein Hinweis, dass es unabhängig vom tatsächlichen Flugbetrieb tagsüber Zeiten geben muss, zu denen das Ruhebedürfnis besonders gross ist, nämlich morgens von 6 bis 9 Uhr, über Mittag von 11 bis 14 Uhr und abends von 18 bis 23 Uhr.

Im Rahmen der Tätigkeit des Autors bei der Entwicklung des ZFI wurde mittels einer ausgefeilten statistischen Technik versucht, aus den Befragungsdaten der Lärmstudie 2000 stündliche Pegelmali zu berechnen, welche die tageszeitliche Empfindlichkeit, durch Lärm stark belästigt zu werden, abbilden können. Das entsprechende Verlaufsprofil ist in Abb. 2.4.7 dargestellt. Die ermittelten, in dB ausgedrückten Korrekturwerte geben an, wie stark der Pegel angehoben oder abgeschwächt werden müsste, um in einer bestimmten Stunde des Ta-

⁹ Ein „normaler“ Grundgeräuschpegel in unbelastetem Siedlungsgebiet und ohne nahe Verkehrslärmeinwirkung beträgt ca. 40 dB(A). Ein solches Grundgeräusch wird in der Regel durch ferne Verkehrsgläusche, Wettereinfüsse (Wind) und durch Tiere (z.B. Vögel) erzeugt. Nur Geräusche, deren Spitzen sich von diesem Grundgeräusch ausreichend abheben, werden überhaupt wahrgenommen. Um also ein realistisches Bild des „Gesamtpiegels“ zu erhalten, wurde ein Grundgeräuschpegel von 40 dB den Fluglärm-Belastungswerten hinzuaddiert, wobei diese Addition nach den Regeln der Dezibel-Arithmetik erfolgte. Bsp: Die Addition von 40 dB zu einem Pegel von 55 dB ergibt in der Summe 55.13 dB.

ges T eine gleich grosse Wahrscheinlichkeit für starke Belästigung zu erhalten, wie im Tagesdurchschnitt. Die Berechnungen sind in [105] dokumentiert. Das statistische Verfahren und Möglichkeiten der Anwendung dieser Pegelkorrekturen wird zurzeit überprüft.

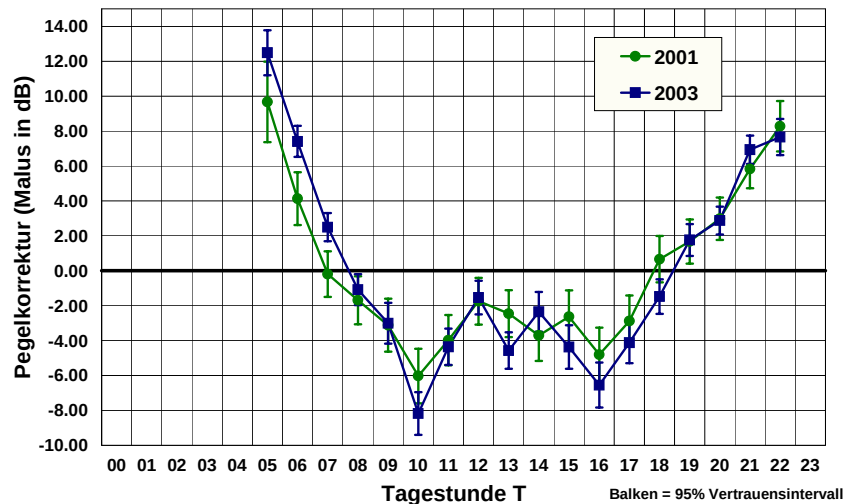


Abb. 2.4.7: Tageszeitabhängige Pegelkorrekturen, ermittelt aus der Befragung der Lärmstudie 2000 in den Jahren 2001 (grün) und 2003 (blau). Aus [105]

Die Werte in den Randstunden des obigen Modells deuten darauf hin, dass in der Nacht im Prinzip mit Pegelkorrekturwerten von 8 bis 10 oder mehr dB gerechnet werden muss, wenn die Bewertung der Nachtstunden nahtlos an die empirisch ermittelten Korrekturwerte anschliessen soll. Mali in dieser Grössenordnung erfahren seit vielen Jahren auch eine gewisse empirische Bestätigung [117].

Der Autor hatte bei der Entwicklung des ZFI seinerseits vorgeschlagen, diese Pegelkorrekturwerte im Rahmen der Ermittlung der sog. HA-Komponente zu verwenden [105].

Da die zur Ermittlung dieser Korrekturen notwendigen methodisch-statistischen Voraussetzungen sowie die Frage einer einwandfreien Anwendung innerhalb eines Lärmbeurteilungssystems nicht vollständig geklärt sind, erscheint es zurzeit verfrüht, sie in eine etwaige kurzfristige Revision der LSV miteinzubeziehen. Mittelfristig erscheint es jedoch zweckmässig, das die tatsächlichen Gegebenheiten versimplifizierende Gerüst der Tag-Nacht Unterscheidung zu erweitern.

2.4.5 Anmerkung

Die in der gängigen Literatur häufig ausschliessliche und alleinige Ausweisung des L_{DN} bzw. wahrscheinlich in Zukunft noch vermehrt des L_{DEN} als erklärende Variable des Belastungswirkungszusammenhangs ist aus wissenschaftlicher Sicht eher ärgerlich. Das Informationsdefizit ist insbesondere dann arbeitsererschwerend, wenn eine Wirkungsbeurteilung über einen bestimmten *Tagesabschnitt* vorgenommen werden soll, z.B. im Rahmen einer Tages- oder

Nachtgrenzwertbeurteilung. Die Erfahrungen des Autors zeigten, dass es unerwartet schwierig war, anhand der aktuellen Literatur an verlässliche und detaillierte Pegelinformationen ($L_{Aeq,06-22}$, $L_{Aeq,07-23}$, $L_{Aeq,19-23}$, $L_{Aeq,22-06}$, $L_{Aeq,23-07}$) bzw. die entsprechenden Belastungs-Wirkungsfunktionen heranzukommen. Meist werden nur Kurven für den L_{DN} oder L_{DEN} ausgewiesen. Es wird deshalb an dieser Stelle empfohlen, dass BAFU und EKLB, bzw. die dort vertretenen Lärmwirkungsforscher wo immer möglich einfordern, dass künftige Studien zeitlich feiner aufgelöste Pegelinformationen berichten und Belastungs-Wirkungsfunktionen für die *gängigsten Lärm-Metriken* und nicht nur für den L_{DEN} publiziert werden – als "Vorbild" kann eine Publikation des Autors genannt werden: In [68] werden für den Belastungs-Wirkungszusammenhang der Fluglärmbelastung getrennte Funktionen für L_{DEN} , L_{DN} und $L_{Aeq,24h}$ angegeben.

2.4.6 Gesamtfazit

Im Rahmen einer Überprüfung der IGW für den Tages- und Nachtzeitraum bzw. des ganzen Gerüsts der LSV müssen Daten zur Zeitnutzung in der Schweiz beschafft werden. Da kulturelle Unterschiede hinsichtlich der Schlafgewohnheiten offenbar nicht unerheblich sind, scheint es unerlässlich, dass solche Daten im Rahmen einer noch zu konzipierenden Hauptstudie oder vom BFS erhoben und zur Verfügung gestellt werden. Angesichts der unbestreitbaren Relevanz solcher Daten für viele politische Entscheide in der Schweiz, ist es eigentlich sehr erstaunlich, dass das BFS keine (weiteren) Zeitbudgeterhebungen durchgeführt hat, und dass solche Studien offenbar auch nicht in Planung sind. Der Handlungsbedarf ist hoch.

Handlungsbedarf Leitfrage W.4

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.5 Sind die in der LSV behandelten Verkehrslärm-Quellen (Schiene, Strasse, Luftfahrzeuge) akustisch ausreichend beschrieben? (Leitfrage W.5)

Verschiedene Verkehrsanlagen emittieren Lärmbelastungen, welche im Rahmen der Beurteilungs-Pegel-Ermittlung in den LSV-Anhängen nicht berücksichtigt werden (z.B. Kurvenkreischen, akustische Signalanlagen, Piffe von Lokomotiven beim Lärm von Eisenbahnen; Lärm auf den Vorfeldern und Rollwegen von Flughäfen; Lärm ziviler Kleinluftfahrt auf Militärflugplätzen mit Mischbetrieb etc.). Die Gesamt-Lärmwirkung dieser Anlagen wird damit potentiell unterschätzt. Ferner haben sich auch die akustischen Merkmale einzelner Quellen verändert, so dass überprüft werden muss, ob die Beurteilungsmethodik noch angemessen ist (dies gilt insb. für den Lärm von Eisenbahnen).

Hinter der Frage nach einer "akustisch ausreichenden Beschreibung" verbergen sich viele grundsätzliche Fragen der Lärmwirkungsforschung. Die Leitfrage könnte zwecks eines besseren Verständnisses auch folgendermassen formuliert werden: "Berücksichtigt der Beurtei-

lungspegel L_r der Lärmquellen Strasse, Eisenbahn und Luftverkehr wirklich alle akustischen und betrieblichen Parameter die zur störungs-, belästigungs- oder gesundheitsbezogenen Vorhersage der Wirkung von Bedeutung sind?" Oder: "Wird durch die momentan massgebliche akustische Beschreibung der Quelle (inkl. allenfalls betriebs- und quellenspezifischer Korrekturen) ein Höchstmass der Störungs- bzw. Belästigungsvarianz erklärt? Gibt es Aspekte der Quellenbeschreibung, die sich seit Inkrafttreten der LSV¹⁰ verändert haben?"

stark verändert haben? Müsste man solche Aspekte deswegen neuerdings berücksichtigen und die Beurteilungsmethodik anpassen?"

Die Beurteilungspegel der LSV-Anhänge 3-5 basieren im Grundsatz alle auf einer energetischen Mittelung derjenigen Emissionskomponenten, die am häufigsten vorkommen. Die Bestimmung des Beurteilungspegels L_r am Immissionsort erfolgt i.d.R. nicht durch eine Messung, sondern durch Modellierung der Quelle und einer akustischen Ausbreitungsrechnung. Bei der Quellenmodellierung muss zwingenderweise und prinzipiell immer vereinfacht werden (z.B. wird das Kurvenkreischen bei Zügen oder Piffe von Lokomotiven bei der Modellierung der Quelle "Zug" nicht berücksichtigt). Zu klären ist im Rahmen des Auftrages, ob sich die akustischen und betrieblichen Eigenschaften der Quellen seit Inkrafttreten der LSV dermassen verändert haben, dass die in der LSV ausgewiesenen Berechnungsmethoden des Beurteilungspegels die Störung bzw. Belästigung nicht mehr korrekt abbilden und damit auch die IGW nicht mehr stimmen. Dies ist teilweise eine Aufgabe, die in den Inputpapieren "Akustik" [66] und "Technik und Betrieb" [12] vorgenommen werden muss. Im Folgenden werden diese Fragestellungen getrennt für Strassenverkehrslärm (Anhang 3), Eisenbahnlärm (Anhang 4), und Fluglärm (Anhang 5) behandelt.

2.5.1 Strassenverkehrslärm

Der Strassenverkehrslärm wird geprägt durch die Anzahl der zirkulierenden Fahrzeuge und ihrer gefahrenen Kilometer. Zum Zeitpunkt der Festlegung der Immissionsgrenzwerte für den Strassenverkehr ist man von der Annahme ausgegangen, dass alle Strassen gleich zu beurteilen sind. Die massgeblichen Schweizer Beurteilungsstudien basieren zum grössten Teil auf Befragungen von Anwohnern von Gemeinde- und Hauptstrassen, der Lärm von Autobahnen ist bisher fast gänzlich ignoriert worden obwohl der Pegel-Zeit-Verlauf bei Autobahn-lärm praktisch keinerlei intermittierenden Charakter mehr aufweist und sich somit vom Gemeindestrassenlärm stark unterscheidet¹⁰. Durch die höheren Fahrgeschwindigkeiten auf Autobahnen verschiebt sich auch das Spektrum, welches jetzt fast ausschliesslich durch Abrollgeräusche und aerodynamische Geräusche bestimmt wird, ferner scheint Autobahn-

¹⁰ Intermittierender Lärm ist durch einzelne Pegel-Peaks mit Pausen dazwischen gekennzeichnet (Z.B. Zugsvorbeifahrten). Kontinuierlicher Lärm (z.B. ein Wasserfall) hat keine solchen ausgeprägten Peaks. Allerdings ist die Frage, was nun belästigender ist, nicht ohne detaillierte Beschreibung der Quelle, der Zahl der Einzelereignisse, und der Beachtung des Gesamtbeitrags einzelner Ereignisse zum Durchschnittspegel entscheidbar. Eine globale Aussage lässt sich also eigentlich kaum machen. Tendenziell sind viele "kleine" Peaks (Stassenverkehr) belästigender als einige wenige "grosse" Peaks (Zugsvorbeifahrten), welche wiederum belästigender sind, als ein kontinuierliches Geräusch – immer in Bezug zum durchschnittlichen Pegel gesehen.

lärm auch durch eine ausgeprägtere Tonhaltigkeit charakterisierbar. Strassen werden als Linienquellen modelliert, wobei der vom Immissionspunkt aus überblickbare Aspektwinkel und die Fahrzeugzusammensetzung, -frequenz sowie -geschwindigkeit in die Ermittlung der Belastung eingehen. Je näher der Immissionspunkt an der Strasse liegt, desto stärker dürfte der intermittierende Charakter hervortreten und das Belästigungsurteil möglicherweise modifizierend beeinflussen. Solche Parameter werden zurzeit im Rahmen der Beurteilungspegel-Ermittlung in der LSV nicht berücksichtigt, könnten aber bedeutsam sein. Tendenziell gilt nicht-intermittierender Lärm als weniger belästigend als intermittierender Lärm, Autobahnen könnten daher möglicherweise von einem abstandsabhängigen Bonus profitieren oder aber nachts, wegen fehlender Lärm-Pausen, auch durch einen Malus belegt werden. Zurzeit lässt sich dies mangels Grundlagen nicht zweifelsfrei entscheiden. Belästigungsrelevant ist sicher auch die heutige Fahrzeugzusammensetzung und -technik welche emissionsseitig sich von den Gegebenheiten in den 70er Jahren, als die heute massgeblichen Grundlagen erarbeitet wurden, unterscheidet.

a) Fazit

Die akustische Beschreibung der Quelle "Strasse" muss möglicherweise revidiert werden. Der diesbezügliche Handlungsbedarf ist – auch angesichts der sowieso eher spärlichen empirischen Grundlagen der heutigen Regelung – hoch.

2.5.2 Eisenbahnlärm

Die wirkungsgerechte Beurteilung von Eisenbahnlärm wird unter Lärmwirkungsforschern heutzutage wieder ziemlich rege diskutiert. Nachdem sich die Lärmwirkungsforschung in den 1990er und 2000er Jahren vor allem und intensiv mit Fluglärm beschäftigt hat, besteht heute auch für die Bahnlärmwirkungen wieder ein grösseres Interesse. Hohe Fahrgeschwindigkeiten, Tunnelausgänge, abrupt endende Lärmschutzwände usw. führen zu Pegel-Zeit-Verläufen, welche möglicherweise nicht (mehr) dem klassischen Signalbild von Eisenbahnvorbeifahrten entsprechen und evtl. eine Revision der Beurteilung erfordern. Auf der anderen Seite nimmt der Bahnverkehr auch frequenzmässig immer mehr zu, und wird es absehbar auch in Zukunft weiterhin tun – mit bisher nicht untersuchten Auswirkungen auf das Belästigungsempfinden. Im Folgenden wird schwerpunktmässig auf die Berechtigung des sog. "Schienenbonus" eingegangen und im Anschluss daran werden bisher unberücksichtigte, im Zusammenhang mit dem Schienenverkehr auftretende Lärmimmissionen besprochen und die Frage erörtert, ob sich eine Berücksichtigung im Rahmen der LSV aus Wirkungssicht aufdrängt.

a) Schienenbonus bzw. Korrekturfaktor K1 in der LSV

Eisenbahnlärm geniesst im Vergleich zum Strassenlärm in der LSV, aber auch in den meisten ausländischen Lärmschutzregelungen, einen Bonus. Dieser wird in der Regel durch die Vorhersehbarkeit der Ereignisse (fixer Fahrplan) sowie durch die Pausen zwischen den Ereignissen begründet. Unter Lärmwirkungsforschern ist insbesondere umstritten, ob dieser sog. "Schienenbonus" (s.u.) generell und insb. beim Nachtlärm noch gerechtfertigt ist, zeigt sich doch gerade beim Bahnlärm mit seinen steilen Pegelflanken ein deutlicher Zusammenhang mit der Störung des Schlafes, welche sich z.B. in einer erhöhten Aufwachwahrscheinlichkeit äussern kann [84; 118; 119; 120]. Bisher wird bei der Beurteilung von Umweltlärm die *Schalldynamik* nicht oder allenfalls indirekt über die Frequenzzusammensetzung einbezogen, obwohl die Anstiegssteilheiten des Pegels eine gewisse Rolle bei psychosozialen und vegetativen Lärmwirkungen (z.B. Erschrecken, Anstieg der Herzfrequenz) spielen dürften. Dabei rufen nicht nur Pegeländerungen (Amplitudenmodulationen), sondern auch dynamische Frequenzänderungen (Frequenzmodulationen) ohne nennenswerte Pegeländerungen beachtliche Erregungen im Sinnesorgansystem Gehör hervor [120; 121]. Bei der Beurteilung der Störwirkung von Zugsvorbeifahrten, v.a. in unmittelbarer Nähe von Siedlungsgebieten, darf die Bedeutung der Pegelanstiegszeiten infolge der sehr kurzen mechanischen Einschwingzeiten des Mittelohres (30 μ s) und des Innenohres (0.3 - 3 ms) nicht unterschätzt werden. In der sog. AIRORA (Air, Road, Rail) -Studie fanden Basner et al. sogar, dass das die maximalpegelabhängige Aufwachwahrscheinlichkeit beim Zugslärm am höchsten war, dicht gefolgt vom Strassenlärm und am wenigsten ausgeprägt beim Fluglärm [122]. Die Ergebnisse dieser Laborstudie müssen im Feld bestätigt werden, die gängige Vorstellung, dass Fluglärm am "schlimmsten" und Bahnlärm am "harmlosesten" ist wird hier jedoch deutlich in Frage gestellt und scheint definitiv überprüfungsbedürftig.

Marks, Griefahn und Basner untersuchten die Störwirkung von Flug-, Strassen- und Bahnlärm auf den Schlaf mittels einer Schlaflabor-Studie mit simulierten Geräuschen [119] und eruierten als besonders aufwachkritische Lärmcharakteristik die steilen Pegelflanken d.h. die ausgeprägte Anstiegsdynamik des Vorbeifahrpegels von Zügen. Infolge des peripheren Proportional-Differential-Verhaltens der Sinneszellen werden dadurch hohe neuronale Erregungen in Form besonders dichter Aktionspotentialfolgen generiert – und die Aufwachwahrscheinlichkeit steigt. Solch ausgeprägte und aufwachwirksame Flankensteilheiten sind natürlich v.a. dort zu finden, wo die Distanz zur Lärmquelle gering, und die Geschwindigkeit hoch ist.

Der Schienenbonus-Korrekturfaktor K1 in der LSV beträgt (im Rahmen der Ermittlung des Beurteilungspegels) zwischen -5 und -15 dB (LSV Anhang 4, Ziff. 33). K1 berücksichtigt dabei die Zugshäufigkeiten und "belohnt" seltene Vorbeifahrten (Abb. 2.5.1). Die Pegelkorrektur K1 geht auf die Auswertung von Befragungsdaten durch Ortega und Meyer [102] zurück, welche eine Korrektur des Leq durch eine Funktion vorschlugen, welche die *Anzahl* der täglichen (bzw. nächtlichen) Vorbeifahrten zusätzlich zum rein akustischen Pegelbeitrag berücksichtigt. Weitere Pegelkorrekturen sind bzw. waren (abgesehen von Pegelkorrekturen für Rangierlärm) nicht vorgesehen.

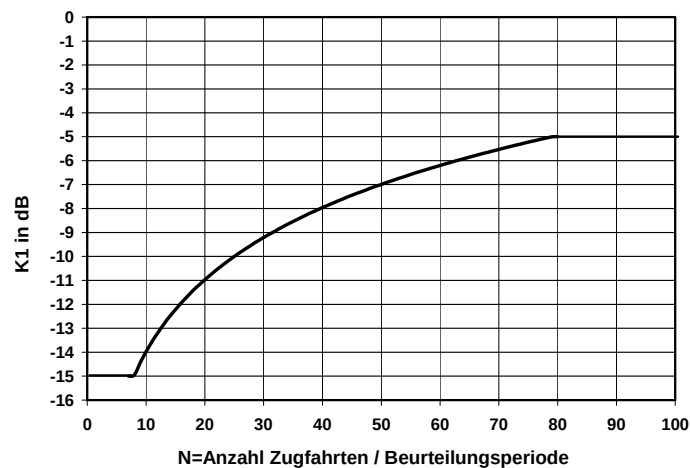


Abb. 2.5.1: Pegelkorrektur K_1 in Abhängigkeit der Anzahl Zugsvorbeifahrten innerhalb der jeweiligen Beurteilungsperiode

In der LSV wird unverständlicherweise nicht die *Zugsfrequenz* spezifiziert, sondern die Anzahl Züge pro Beurteilungsperiode (d.h. pro Tag resp. pro Nacht). Weil die Nacht nur 8 Stunden umfasst, der Tag aber 16, wird die Pegelkorrektur K_1 nachts - bei gleicher Zugfrequenz - geringer als am Tag. Aus Wirkungssicht ist diese Ungleichbehandlung von Tag und Nacht sehr fragwürdig. Es stellt sich die Frage, ob die Grundlagen von Anhang 4 für die Belastungssituation in der Nacht und die dann auftretenden Wirkungen überhaupt repräsentativ sind.

Bei hohen Verkehrszahlen > 79 Bewegungen pro Beurteilungsperiode fährt die Pegelkorrektur K_1 in eine Sättigung und ein minimaler Schienenbonus von - 5dB bleibt bestehen, unabhängig davon, ob die Belastungssituation durch den Schienenverkehr hinsichtlich der Bewegungszahlen ihn "strassenlärm-ähnliche" Regionen vorstösst, wo ein solcher Bonus kaum mehr gerechtfertigt scheint.

Die Pegelkorrektur K_1 berücksichtigt nicht die *Zugslängen*. Eine Berücksichtigung der *Zugslänge* (z.B. im Rahmen eines weiteren Korrekturfaktors) bei der Ermittlung des Beurteilungspegels wäre jedoch dann gerechtfertigt, wenn generell davon ausgegangen werden könnte, dass die *Lästigkeit einer Zugsvorbeifahrt* linear mit der Zugslänge zusammenhängt (d.h. ein doppelt so langer Zug wäre doppelt so lästig). Da der Ereignispegel eines Zuges L_E mit jedem zusätzlichen Wagen gegenüber der Zuglängenzunahme nur unterproportional zunimmt, würde eine Zunahme der Lästigkeit mit längeren Zügen im L_E (bzw. dem daraus abgeleiteten L_{eq}) nur ungenügend abgebildet. Um festzustellen, ob hinsichtlich der Neudefinition von K_1 , bzw. des ganzen Systems der Pegelkorrekturen für Eisenbahnlärm ein Handlungsbedarf besteht, müsste also auch abgeklärt werden ob, (1) die Längen der Züge gegenüber dem Erhebungszeitraum der Grundlagenuntersuchungen für Anhang 4 bedeutsam zugenommen haben, und (2) ob der Beitrag jedes "zusätzlichen" Wagens zur Erklärung der Belästigungsvarianz linear (bzw. in über-energetischer Form [Progression]) oder nach den Re-

geln der Pegelarithmetik verläuft (der LSV Anhang 4 geht heute implizit davon aus, dass hier nur die Regeln der Pegelarithmetik gelten).

b) Unberücksichtigte, im Zusammenhang mit dem Schienenverkehr auftretende Lärmimmissionen

Im Bericht der Kommission zu den Grenzwertvorschlägen für Schienenverkehr [6] steht: "Die in diesem Bericht vorgeschlagenen Belastungsgrenzwerte dienen zur Beurteilung der üblichen Fahrgeräusche entlang von Bahnstrecken und im Bereiche von Personenbahnhöfen. Weitere Betriebsgeräusche in der Umgebung der Bahnhöfe wie z.B. Brems- und Schlaggeräusche, Lautsprecherdurchsagen etc. müssen separat beurteilt werden." Bisher hat diese Aussage noch keinerlei auf diese Faktoren fokussierende Untersuchungen angeregt und es finden sich solche auch nicht in der einschlägigen Literatur.

c) Fazit

Es ist heute umstritten, ob der Schienenbonus noch Gültigkeit hat, bzw. aufgrund von betrieblich-akustischen Veränderungen im "Lärmumfeld" des Schienenverkehrs (z.B. schnellere Züge) weiterhin berechtigt ist. Auf den Nachtzeitraum fokussierende Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die physiologische Störwirkung auf den *Schlaf* gerade beim Schienenverkehrslärm am stärksten ausgeprägt ist, was zumindest das Festhalten an einem Schienenbonus für die Nacht als sehr fragwürdig erscheinen lässt.

Schienenlärm wirkt gemäss der Studie Ortega-Meyer [91] bei gleichem Leq weniger störend als Strassenlärm. Im Gegensatz zu anderen Ländern benützt aber die Schweiz einen variablen Bonus, der von der Zahl der Züge im Beurteilungszeitraum abhängt. Der Untersuchungsbereich der Studie Ortega-Meyer ist kleiner als der heute vorkommende Variationsbereich der Zugsfrequenzen. Das Eisenbahnlärm-Beurteilungsverfahren nach Anhang 4 LSV wird deshalb auf Verhältnisse angewendet, welche eine Extrapolation über den empirisch gesicherten Bereich hinaus verlangen. Dies betrifft im Besonderen den Korrekturfaktor K1. Im Rahmen einer neuen Studie wäre zu klären, welche Bahnstreckenabschnitte in der Schweiz eine Nutzungsintensität aufweisen, die eine Berücksichtigung des Schienenbonus bzw. der Pegelkorrektur K1 nicht mehr rechtfertigen.

Die unerwünschten Wirkungen von Kurvenkreischen, akustischen Signalanlagen, Piffen von Lokomotiven etc. könnten in Zukunft mit einem Störmass Kx berücksichtigt werden. Ein dringlicher Handlungsbedarf hinsichtlich dieser Problemstellung scheint allerdings nicht zu bestehen. Ansonsten wäre nach aller Wahrscheinlichkeit die Untersuchung solcher Schienenverkehrs-Nebengeräusche auch schon länger auf dem Radar der einschlägigen Literatur aufgetaucht.

2.5.3 Fluglärm

a) In der LSV nicht berücksichtigte Komponenten des Fluglärms

Fluglärm "beginnt" im Rahmen der Belastungsberechnung bzw. zur Ermittlung des Beurteilungspegels in der LSV nach stiller Übereinkunft beim Startpunkt auf der Piste und "endet" bei einem hinreichend weit entfernten Raumpunkt. Der Verkehr auf den Rollwegen wie auch der gesamte Verkehr auf dem ganzen Flughafenareal wird ignoriert. Lärmemittenten wie z.B. die in der Regel sehr lauten APUs (meist im hinteren Teil von Flugzeugen befindliche kerosinbetriebene Generatoren für die Stromversorgung) tragen nebst dem Triebwerkslärm beim Taxiing (Bewegung eines Luftfahrzeugs auf dem Boden aus eigener Kraft) ebenfalls zur Gesamtlärmbelastung einer Flughafenanlage bei – und strenggenommen sollten beim Fluglärm ja nicht (nur) im Flug befindliche Flugzeuge beurteilt werden, sondern Flughäfen in ihrer Gesamtheit.

Grundsätzlich ist es fragwürdig, dass dem Rangieren von Zügen im Ansatz vergleichbare Aktivitäten auf den Vorfeldern (Parken, Schleppen von Flugzeugen, Be- und Entladen, Standlauf der Triebwerke und anderer Aggregate, Rollen etc.) in der LSV nicht ebenfalls berücksichtigt werden. Möglicherweise hat man aber seinerzeit auf eine Behandlung solcher Lärm-Anteile verzichtet, weil – abgesehen von den Schwierigkeiten der Pegelermittlung – im Ggs. zu Bahnanlagen die Distanzen zu überbauten Gebieten i.d.R. so gross sind, dass zwar die bodenbehafteten *Emissionen* immer noch beträchtlich sein können (dies betrifft hauptsächlich den Triebwerkslärm), die *Immissionen* aber vergleichsweise bedeutungslos erscheinen. Auf jeden Fall stellen solche Betriebsgeräusche keinen zwingenden Grund einer Grenzwert-Revision dar, dies auch, weil offenbar kaum Klagen darüber bekannt sind, zumindest nicht solche, die öffentlichkeitswirksam geworden wären.

b) Fehlende Beurteilung von Einzelereignissen im Rahmen des Nachtlärmschutzes

Weit problematischer als der bisher nicht berücksichtigte quasi stationäre "Betriebslärm" von Flughäfen ist die für einige Wirkungskategorien, wie z.B. die Aufwachwahrscheinlichkeit nicht *wirkungsäquivalent* agierende energetische Mittelung, die in jedem dosisbasierten Schutzkriterium, z.B. in einem L_{Aeq} -basierten Grenzwert zum Ausdruck kommt. Die Verwendung des L_{eq} als Lärmbelastungsmass wird insbesondere beim Fluglärm immer wieder kritisiert, und es wird von Fluglärmgegnern häufig gefordert, auch andere, alternative Belastungsmasse zu prüfen, welche die Störwirkung adäquater abbilden können sollen (Kontinuierliche Geräuschquellen wie Strassenlärm erzeugen bei gleichem L_{eq} weniger prononcierte Pegelgipfel, der L_{eq} eignet sich daher für diese Art Quelle besser als Lärmbeschreibungsmass). Hinsichtlich physiologischer Reaktionen im Schlaf hat sich die Beurteilung des *Einzelereignisses* gegenüber der energetischen Mittelung vieler Ereignisse beim Fluglärm (und teilweise auch beim Bahnlärm) als die bessere, d.h. wirkungsgerechtere Alternative erwiesen. Relevante Beschreibungsgrössen von Einzelereignissen sind insbesondere der *Ereignispegel* L_E , der *Ma-*

ximalpegel $L_{\max}$ und die *Flankensteilheit* von einzelnen Geräuschen, wobei insbesondere die Beachtung des *Maximalpegels* im Zusammenhang mit der Wirkungsprognose hervorzuheben ist. Der Maximalpegel ist vergleichsweise zuverlässig zu messen, da er von einem etwaigen Fremd- bzw. Hintergrundgeräusch praktisch nicht verfälscht wird, wohingegen für die Berechnung des L_E und insbesondere der Flankensteilheit die Kenntnis des Pegel-Zeit-Verlaufs in hohem Detaillierungsgrad notwendig ist.

Bei der Anwendung dosis-basierter Schutzkriterien wird in der Regel implizit davon ausgegangen, dass neben der Energieäquivalenz auch eine Wirkungsäquivalenz besteht. Wirkungsäquivalenz bedeutet, dass eine Reduktion des L_{Aeq} um z.B. 3 dB, z.B. durch eine Halbierung der Anzahl Flugbewegungen, auch die Ausprägung der zu begrenzenden Wirkung halbiert. Eine solche Wirkungsäquivalenz ist für den Schlaf jedoch nicht gegeben, da massgebliche Einflüsse auf die Mikro- und Makrostruktur des Schlafes nicht vom Mittelungspegel, sondern von der Pegelverlaufsstruktur und dem Maximalpegel einzelner Lärmereignisse abhängt. Dies wurde z.T. schon bei Inkrafttreten der LSV bzw. in [88] erkannt, jedoch nicht mit letzter Konsequenz in ein entsprechendes Schutzkriterium, z.B. ein Maximalpegelkriterium umgesetzt. Durch die getrennte Behandlung der nächtlichen Zeitperioden 22-23, 23-24 und 05-06 Uhr in der LSV wird dieser Mangel, trotz Anwendung eines 1-h-Leq-Grenzwertes in den jeweiligen Stunden als Schutzkriterium wieder etwas kompensiert. Die Idee dahinter war, dass die stündliche Schallenergie auf einer Höhe begrenzt wird, welche schon von wenigen lauten Flügen erreicht wird. Der 1-h-Leq sollte hier die Funktion eines Spitzenkriteriums übernehmen, was umso besser gelingt, je kürzer die Beurteilungszeit gewählt wird. Vor dem Hintergrund der damals angenommenen Wirkungsschwelle von ca. 60 dB $L_{AS,max}$ am Ohr war dies sicher eine vernünftige und nachvollziehbare Entscheidung. Zum ersten Mal zielte die Beurteilungslogik nicht auf die erlebte Belästigung, sondern auf die in der Regel *unbewusste* Störung des Schlafes ab, welche direkt als Beeinträchtigung der Gesundheit verstanden wurde. Heute wissen wir allerdings, dass zusätzliche Aufwachreaktionen nicht erst bei Maximalpegeln ab 60 dB(A) auftreten, sondern deren Wahrscheinlichkeit eher kontinuierlich mit zunehmender Schallbelastung ansteigt, d.h. schon bei bedeutend geringeren Pegeln statistisch nachweisbar sind [123]. Somit sind auch stündliche Beurteilungen auf Basis eines Mittelungspegels nicht zwingendermassen geeignet, durch Fluglärm ausgelöste Aufwachreaktionen wirkungsvoll zu begrenzen.

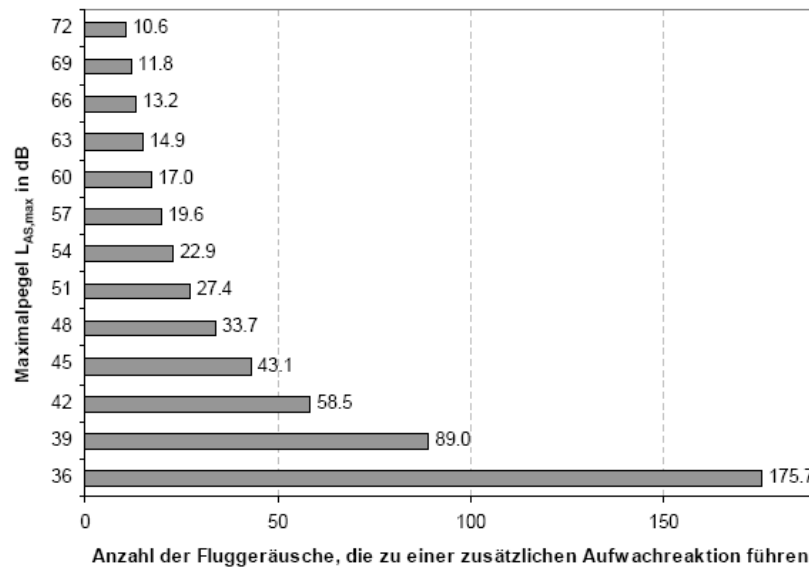


Abb. 2.5.2: Anzahl der Fluggeräusche, die zu einer zusätzlichen Aufwachreaktion in der Nacht führen. Die Darstellung wurde aus [125] übernommen. Die Berechnungen basieren auf der Maximalpegel-Aufwachwahrscheinlichkeitsfunktion aus der DLR Feldstudie [124]

Basner und Mitarbeiter konnten in [124; 125] zeigen, dass Nachtschlafstörungen – operationalisiert als Wahrscheinlichkeit, in der Nacht durch Fluggeräusche zusätzlich aufzuwachen – durch ein Leq-Kriterium nicht wirkungsäquivalent begrenzt werden können. In Abb. 2.5.2 ist die für *eine zusätzliche Aufwachreaktion* (pro Nacht) benötigte Menge Flüge mit einem bestimmten Maximalpegel (am Ohr) dargestellt. Die Nettowirkung dieser 13 dargestellten "Szenarien" ist also *dieselbe* während der (geschätzte) 8-h-Aussen- L_{Aeq} dieser Szenarien zwischen ca. 37 dB(A) (bei 175.7×36) und ca. 61 dB(A) (bei 10.6×72) schwankt¹¹. Eine wirkungsgerechte rechtliche Begrenzung durch ein Leq-Kriterium müsste also quasi "die zu erwartende" Maximalpegelhäufigkeitsverteilung berücksichtigen – denn selbst geringe L_{Aeq} -Werte können – bei entsprechend hoher Ereigniszahl eine nicht zu unterschätzende Gesamtwirkung kaschieren.

Aufgrund dieser Überlegungen wäre zu überprüfen, ob für einen Nacht-Grenzwert nicht allenfalls wieder auf eine Kombination von NAT (Number above Threshold) und Leq-Kriterium zurückgegriffen werden sollte, obwohl dieses Vorgehen noch nicht alle Nachteile eines alleine auf dem Leq basierenden Grenzwerts ausgleichen kann. In einer Veröffentlichung des niederländischen Gesundheitsrats, welche im Nachgang der ICBEN 2003 in Rotterdam entstanden ist [126], wird berichtet, dass bei der Begrenzung der Nachtbelastung durch einen

¹¹ Der L_{AE} eines Fluges wurde vom Autor hierfür näherungsweise angenommen als $L_{AS,max} + 8$ dB; Die ermittelte Gesamtenergie wurde auf 8 Stunden verdünnt und ein Zuschlag von 15 dB angenommen um die Pegeldifferenz zwischen aussen und innen bei halbgeöffnetem Fenster abzubilden.

Mittelungspegel (und der Einhaltung desselben) die ungünstigste Situation hinsichtlich eines direkten biologischen Effekts von Einzelschallereignissen auf den Schlaf sich dann einstellt, wenn die einzelnen Fluggeräusche alle ca. 5 dB über der Effektschwelle liegen – dies entspricht in etwa den untersten beiden Kombinationen in Abb. 2.5.2 (die allerdings gewissermassen nur ein "worst case"-Szenario darstellen). Die Befürchtung mancher Bürger, durch Verbesserungen an der Quelle (z.B. leisere Triebwerke) erst recht den Raum für zusätzliche Bewegungen zu schaffen, welche dann durch ihre schiere Zahl Wirkungen erzeugen, die heute nicht mehr vereinbar sind mit dem mit dem Grenzwert damals verbundenen Schutzziel, ist also nicht unberechtigt. Konsequenterweise müsste man bei der Grenzwertfestsetzung – zumindest beim Nachtfluglärm – die in den letzten Jahrzehnten erzielten Lärminderungen an der Quelle dadurch berücksichtigen, indem man die heutigen Grenzwerte nicht bestehen lässt sondern senkt, oder die Leq-basierte Begrenzung durch eine Begrenzung der zulässigen Bewegungszahlen flankierend vervollständigt.

Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen im Labor und bei Anwohnern des Köln-Bonner Flughafens, also im Feld, wurden vom DLR dazu genutzt, für das Planfeststellungsverfahren im Zusammenhang mit dem Ausbau des Flughafens Leipzig wirkungsbezogene Kriterien zu ermitteln, mit denen die Belastung der Bevölkerung durch Nachtfluglärm abgeschätzt werden kann [125]. Es wurde dort vorgeschlagen, die Anzahl der zusätzlichen durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen auf im Mittel weniger als **eine** zusätzliche Aufwachreaktion pro Nacht zu beschränken. Ein solches (reines) Wirkungskriterium ist mit der aktuellen Konstruktion der LSV nicht umsetzbar – es wird aber in ähnlicher Weise bereits heute im Zürcher Fluglärmindex (ZFI) angewendet und wahrscheinlich auch im Rahmen des Anti-Lärm-Pakts am Flughafen Frankfurt [95] in einen zur Zeit in Entwicklung befindlichen Lärmindex [96] einfließen. Wieviele zusätzliche Aufwachreaktionen pro Nacht noch toleriert werden sollen, wird jedoch wiederum massgeblich von der Politik bestimmt werden, dies zumindest solange, als die empirische Begründung einer wissenschaftlich definierten Zumutbarkeitsgrenze noch nicht vorliegt.

c) Fazit

Auch wenn noch nicht alle offenen Fragen beantwortet sind, ist man sich heute unter Lärmwirkungsforschern weitgehend einig, dass ein auf dem L_{Aeq} beruhendes Nachtlärmschutzkriterium früher oder später durch ein wirkungsbasiertes Kriterium ersetzt werden muss, um den im Gesetz geforderten Schutz solider abzusichern.

2.5.4 Gesamtfazit

Die aktuelle akustische Beschreibung der beiden Verkehrslärmquellen "Strasse" und "Schiene", die in unterschiedlichen Kontexten (z.B. Gemeinde-Nebenstrasse vs. Autobahn) auch akustisch stark unterschiedliche Emissionen erzeugen, ist möglicherweise nicht ausreichend, um die grosse Bandbreite von Belästigungen wirkungsgerecht abzudecken. Beim Flug- und

beim Bahnlärm wäre es zumindest bedenkenswert, allenfalls zusätzlich zu einem begrenzten Mittelungspegel ein auf Einzelereignissen basierendes Begrenzungskriterium einzuführen. Ein mindestens mittlerer Handlungsbedarf scheint gut begründet zu sein.

Handlungsbedarf Leitfrage W.5

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.6 Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll? (Leitfrage W.6)

Zentrale Wirkungsphänomene der psychosozialen Lärmforschung sind die Störung (intendierter Tätigkeiten) und Belästigung. Im Zusammenhang mit Verkehrslärm sind insbesondere Kommunikationsstörungen und Belästigungsurteile zu beachten. Auf medizinisch-physiologischer Ebene werden v.a. unmittelbare Störungen des Schlafs durch Lärmereignisse, die sich in sog. Primärreaktionen (z.B. Aufwachreaktionen) äussern und in zweiter Linie Auswirkungen von (Langzeit)Lärmbelastungen auf die physische Gesundheit mittels epidemiologischer Ansätze untersucht. Schädigende Wirkungen von Lärmbelastungen auf die Funktionsfähigkeit des Hörorgans (Mittelohr und insb. Innenohr), sog. *aurale* Wirkungen, sind nicht Gegenstand der Umweltlärmwirkungsforschung, da letztere i.d.R. nur innerhalb von Pegelbereichen stattfindet, welche unterhalb der auralen Wirkungsschwelle liegen.

2.6.1 Störungen der Kommunikation und der Konzentration

Die akustische Kommunikation des Menschen ist eine entscheidende Voraussetzung für eine ausreichende Lebensqualität. Die Sicherung einer ungestörten auditiven Kommunikation ist daher ein elementares humanitäres Ziel der Lärmbekämpfung. Die Behinderung eines erwünschten Hörereignisses durch Verkehrslärm, etwa das Verfolgen eines Gesprächs, der Konsum von Radio- oder Fernsehsendungen etc. wird bei Befragungen zunehmend häufiger als besonders lästig beklagt. Dabei können Ärger und Aversion gegen das Störgeräusch und seine Verursacher sowie Spannungen zwischen den Kommunikationspartnern auftreten [127]. In Schulen und anderen Bildungsstätten, in denen die Informationsvermittlung vorwiegend akustisch erfolgt, hat übermässiger Verkehrslärm – Fluglärm ist hier besonders gut untersucht worden – unmittelbare negative Folgen und behindert die Konzentrationsfähigkeit und die Aufnahme und das Behalten von Lerninhalten [77; 128; 129]. Zur Gewährleistung einer entspannten Konversation (etwa 1m Abstand) sollte in Wohnräumen ein Leq von 40 dB(A) nicht überschritten werden, für städtische Begegnungsräume im Freien, bei einer realistischen als angehoben anzunehmenden Sprechstimme, ein Leq von höchstens 60 dB(A) [127].

Da Kommunikations- und Konzentrationsstörungen zumeist auch integrale Determinanten des Belästigungsurteils darstellen, werden sie im Rahmen der Lärmschutzgesetzgebung

häufig nicht als getrennte Wirkungskategorie betrachtet. Dies erscheint nur teilweise berechtigt, da nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, dass sich die Beeinträchtigung der Kommunikation sowie der geistigen Leistungsfähigkeit im Allgemeinen immer und auf jeden Fall im Belästigungsurteil niederschlägt. Dies gilt insbesondere, wenn es um die Lärmwirkung auf Kinder geht sowie bei Personen mit Hörstörungen. Das Thema kann hier allerdings nicht im gebotenen Umfange behandelt werden, auch weil der Autor in diesem Bereich keine vertieften Kenntnisse besitzt.

2.6.2 Belästigung

Die meistdiskutierte Zielgrösse im psychologischen bzw. (veraltet) "soziopsychologischen" Forschungsbereich der Tages- und Nachtlärmwirkung ist die *Lärmbelästigung*. Lärmbelästigung kann als psychologischer Sachverhalt verstanden werden, der zwar nicht demonstrierbar pathogen ist, das physische und mentale Wohlbefinden einer Person jedoch beeinträchtigt. Guski und seine Mitarbeiter konnten in einer Studie mit 68 Lärmexperten aus sieben Ländern zeigen, dass Belästigung ein facettenreiches psychologisches Konzept ist, bei dem sowohl Verhaltens- als auch Bewertungsaspekte eine Rolle spielen. Guski definiert Lärmbelästigung als *eine Mischung aus leichtem Ärger darüber, dass man etwas hören muss, was man nicht hören will, dass man bei einer Tätigkeit gestört wird und dass man gegenüber der Quelle relativ machtlos ist* [8]. Warum wird diese psychologische Grösse als abhängige Variable in so vielen Lärmstudien erhoben? Die psychologische Konstruktvariable Belästigung ist ein vergleichsweise guter Indikator der als negativ erlebten Schallwirkung und korreliert vergleichsweise gut mit den physikalischen Parametern des Schalls. Viel uneinheitlicher fallen Zusammenhänge zwischen Schall und anderen Lärmwirkungen, vor allem medizinischen aus (z.B. Stresshormone im Blut). Belästigungsrelevant sind dabei Erfahrungen über längere Zeiträume, auf die der Betroffene zurückgreift. Erhoben wird die Belästigung in der Regel anhand von schriftlich oder mündlich dargelegten Skalen, die mitunter international normiert wurden [37; 130], was die Bedeutsamkeit des Konzeptes der Belästigung für die Lärmwirkungsforschung unterstreicht.

Die Belästigung ist die in der Forschung am häufigsten erhobene psychologische Lärmreaktion und wird in vielen Ländern in Rahmen der Gesetzgebung als (alleiniger) Lärmwirkungsindikator beigezogen. Da sich eine eindeutige Grenze der Zumutbarkeit von Lärmeinwirkungen nach rein medizinischen Kriterien in demjenigen Belastungsbereich, welcher für die LSV relevant ist, häufig nicht festlegen lässt, erscheint es gerechtfertigt, Angaben über die Belästigung als Grundlage für eine Grenzwertsetzung zu verwenden. Dabei wird grundsätzlich von der Annahme ausgegangen, dass ein Grenzwert, welcher Belästigungswirkungen begrenzt, auch gewissermassen automatisch sämtliche medizinisch-physiologischen Wirkungen ebenfalls begrenzt (da das Einsetzen solcher erst bei wesentlich höheren Pegeln vermutet wird; diese Vermutung ist hingegen selbst wiederum überprüfungsbedürftig bzw. sogar belegbar falsch – insbesondere im Hinblick auf epidemiologische Langzeitwirkungen und Wirkungen auf den Schlaf).

Notabene ist eine Lärmschutzgesetzgebung ohne Bezug zur Wirkungsgrösse "Belästigung" kaum denkbar. Das Thema wird aus diesem Grund an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Darüber hinaus stellt sich jedoch berechtigt die Frage, ob andere Wirkungsindikatoren nicht genauso gut, genauso wichtig, oder genauso relevant sind wie die Belästigung.

2.6.3 Störungen des Schlafs

Die Lärmwirkungsforschung wendete sich in den letzten Jahren mehr und mehr von der nur subjektiven Einschätzung des Lärms ab und konzentrierte sich auch vermehrt auf "objektiv" messbare physiologische Reaktionen, die durch Lärm hervorgerufen werden. Die Forschungsaktivitäten konzentrierten sich dabei insbesondere bzw. fast ausschliesslich auf die Störungen des Schlafs.

Der Schlaf ist ein äusserst komplexes Geschehen, in dem vielfältige physiologische Prozesse ablaufen (z.B. Proteinbiosynthese, Ausscheidung spezifischer Hormone, Gedächtniskonsolidierung), die im weitesten Sinne der Erholung und damit der Vorbereitung auf die nächste Wachphase dienen. Ungestörter Schlaf von ausreichender Dauer ist unerlässlich für den Erhalt von psychomotorischer Leistungsfähigkeit und Gesundheit [131]. In Schlafforschung und klinischer Schlafmedizin wird der Schlaf polysomnographisch beschrieben, d.h. es werden mindestens gleichzeitig Hirnströme (EEG), Augenbewegungen (EOG) und Anspannungszustand der Muskulatur (EMG) gemessen. Der Schlaf wird aufgrund bestehender Konventionen [132; 133] in 30-Sekunden lange Abschnitte (Epochen) eingeteilt, und basierend auf EEG-, EOG- und EMG-Signalen wird jeder Epoche ein Schlafstadium zugewiesen. Man unterscheidet Wach, oberflächlichen Schlaf (Stadien S1 und S2), Tiefschlaf (Stadien S3 und S4) und REM-Schlaf. Es ist gut belegt, dass die einzelnen Schlafstadien sich in ihrer Bedeutung und Funktion für die Erholbarkeit des Schlafs unterscheiden, wobei dem Tief- und REM-Schlaf besondere Bedeutung beigemessen wird. In der Lärmwirkungsforschung werden neben der Polysomnographie andere Methoden eingesetzt, um den Einfluss von Lärm auf den Schlaf zu quantifizieren. Hier sind insbesondere Fragebogenerhebungen, signalisiertes Erwachen und aktimetrische Verfahren zu nennen. Besondere Bedeutung haben im Kontext der Quantifizierung von Schlafstörungen durch Lärm die *Aufwachreaktionen (AWR)* [96], welche zu den sog. *primären Schlafstörungen* gezählt werden (Details zu dieser Klassifizierung in [134]). Die Mehrzahl der Lärmwirkungsforscher geht von der Hypothese eines kausalen Zusammenhanges zwischen primär gestörtem Schlaf und langfristigen Gesundheitsstörungen aus und fordert konkretes Lärmschutzhandeln, bevor ein anderer Beweis erfolgt. Maschke et al. nennen in [135] folgende akustischen Schwellen für primäre Schlafstörungen (die Angaben beziehen sich dabei auf eine durchschnittliche Gesamtnacht):

Parameter	Kontinuierlicher Lärm	Intermittierender Lärm
Gesamtschlafdauer	ab $L_{Aeq} = 45$ dB(A) verkürzt	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Schlafstadienlatenz	Einschlaflatenz ab $L_{Aeq} = 45$ dB(A) verlängert, Tiefschlaflatenz ab $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verlängert, Tendenz zur Verlängerung der Traumschlaflatenz	Einschlaflatenz keine Daten, Tiefschlaflatenz bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (50 Ereignissen) verlängert, Tendenz zur Verkürzung der Traumschlaflatenz
Arousalreaktionen und Schlafstadienwechsel	–	ab $L_{Amax} = 45$ dB(A) induziert
Aufwachreaktionen	oberhalb von $L_{Aeq} = 60$ dB(A) erhöht	ab $L_{Amax} = 45$ dB(A) induziert
Dauer der Wachphasen	oberhalb von $L_{Aeq} = 66$ dB(A) verlängert	ab $L_{Amax} = 65$ dB(A) (15 Ereignisse) verlängert
Dauer des Leichtschlafes	oberhalb von $L_{Aeq} = 66$ dB(A) verlängert	bei $L_{Amax} = 75$ dB(A) (16 Ereignisse) verlängert
Dauer des Tiefschlafes	ab $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verkürzt	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Dauer des REM-Schlafes	oberhalb von $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verkürzt	bei $L_{Amax} = 55$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Herzrhythmusstörungen	–	Häufigkeit kann durch Ereignisse mit $L_{Amax} > 50$ dB(A) erhöht werden
Herzfrequenz	–	ab Modulationstiefe von 7 dB(A) erhöht
Körperbewegungen	oberhalb von $L_{Aeq} = 35$ dB(A) vermehrt	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) vermehrt und induziert
Subjektive Schlafqualität	ab $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verschlechtert	bei $L_{Amax} = 50$ dB(A) (64 Ereignisse) bereits um 25 % verschlechtert
Erinnerbares Erwachen	–	ab $L_{Amax} = 55$ dB(A) erhöht, nimmt mit L_{Amax} und Ereignisanzahl zu
Leistung	oberhalb von $L_{Aeq} = 45$ dB(A) verschlechtert	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (16 Ereignisse) verschlechtert

Die Tabelle soll hier nicht weiter kommentiert werden, die Angaben sind auch nicht in jedem Falle zweifelsfrei abgesichert, zeigen aber in etwa die relevanten Pegel-Grössenordnungen auf.

In letzter Zeit hat sich die *maximalpegelabhängige Aufwachwahrscheinlichkeit* als bevorzugtes Kriterium zur Beurteilung nächtlicher Schlafstörungen durch Einzellärmereignisse etabliert. Aufwachreaktionen sind als ein Wechsel aus einem der Schlafstadien S1, S2, S3, S4 oder REM in das Stadium Wach definiert. In einer ungestörten achtstündigen Nacht eines gesunden Schläfers treten im Mittel ca. 24 spontane Aufwachreaktionen auf [123]. Aufwachreaktionen sind aus den folgenden Gründen besonders gut als Indikator für lärmbedingte Schlafstörungen geeignet: (1) Sie stellen einen guten Kompromiss bezüglich Sensitivität und

Spezifität dar, so dass alle relevanten Schlafstörungen erfasst werden. (2) die Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen korreliert gut mit Veränderungen der Schlafstruktur, die ebenfalls als Schlafstörung klassifiziert werden. So wurde in der DLR-Schlaflaborstudie [124] ca. 45% der Varianz in der Änderung des Tiefschlafanteils durch die Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen aufgeklärt [136]. (3) Es herrscht Einigkeit unter Schlaf- und Lärmforschern, dass lärmbedingte Aufwachreaktionen eine relevante Schlafstörung darstellen [137].

Das "klassische" Aufwachkriterium (Maximalpegel 60 dB(A)), welches für die Festlegung der nächtlichen Fluglärm-Grenzwerte in der LSV beigezogen wurde [134; 138; 139] gilt heute als überholt. Erste fluglärmbedingte Aufwachreaktionen sind gemäss der neueren Literatur [123] bereits bei Maximalpegeln von 33 bis 35 dB(A) beobachtbar. Maschke, Hecht & Wolf [140] halten es für wenig angebracht, ein nächtliches Schutzkriterium nur auf den Beginn von lärmbedingten Aufwach-Reaktionen abzustellen, da solche Reaktionen schon am Ende einer zerstörten Schlafstruktur liegen. Indes gibt es einige gute Gründe, Aufwachreaktionen als primären Wirkungsindikator zu betrachten. Im Rahmen der Ollerhead-Studie [141] wurde eine Expertenkommission nach einem geeigneten Indikator für lärmbedingte Schlafstörungen befragt: Auch wenn unterschiedliche Meinungen existierten, bestand Konsens darüber, dass es sich bei der Aufwachreaktion, definiert nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales [132], eindeutig um eine relevante Änderung der Schlafstruktur handelt. Demgegenüber steht die Ansicht, dass EEG-AWR, welche z.B. in Koinzidenz mit Fluggeräuschen beobachtet werden, nur Signalcharakter haben und allenfalls ein Indikator für Reizeinwirkungen (Schalleinwirkungen) auf das permanent offene Sinnesorgansystem Gehör darstellen, also nicht unmittelbar gesundheitlich relevant sein müssen. In diesem Fall wären sie zwar notwendige aber nicht hinreichende Voraussetzungen für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Es kristallisieren sich aus präventivmedizinischer Sicht dennoch einige Vorteile der Verwendung von EEG-AWR als Indikator für gestörten Schlaf heraus: Fast alle als "sicher" apostrophierbare Schlafstörungsindikatoren, z.B. eine verlängerte Wachphase bzw. eine Schlafzeitverkürzung aufgrund einer Lärmeinwirkung, schlagen sich in irgend einer Form in irgend einem nächtlichen Zeitabschnitt als EEG-AWR nieder. Dies gilt auch für erinnertes Aufwachen, denn letzteres wird auf jeden Fall von einer im EEG detektierbaren AWR eingeleitet. Somit beschränkt ein Schutzkriterium, welches auf EEG-AWR basiert, auch gleichzeitig die Anzahl erinnerbarer AWR, wie vom DLR in [123] ausgeführt wird.

2.6.4 Langfristige gesundheitliche Beeinträchtigungen

Mit Ausnahme des relativ gut untersuchten Risikos von Hörschädigungen durch die Lärm-Dauerbelastung (z.B. am Arbeitsplatz) gibt es zurzeit nur wenig gesicherte Kenntnisse über körperliche Schädigungen, die zweifelsfrei auf Umweltlärm unterhalb der auditiven Wirkungsschwelle zurückzuführen sind. Das Problem bei der Verortung von Ursachen für solche medizinisch relevanten Gesundheitseinwirkungen ist, dass diese der Wirkung mehrere Jahre bis Jahrzehnte vorausgehen und die Wirkung meist von verschiedenen Ursachen hervorgerufen wird. Ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang ist deshalb nur sehr schwierig und nur mit sehr grossen Stichproben in grossangelegten Studien nachzuweisen. Ein erster Zugang, überdauernde organische Funktionsänderungen mit Krankheitswert zu detektieren besteht in der

Untersuchung von Primärreaktionen (z.B. im Schlaf) und der Extrapolation bzw. Projektion deren Wirkungen auf grössere Zeitskalen. Eine zweite Möglichkeit besteht im Durchführen *epidemiologischer* Studien. In solchen Studien wird untersucht, ob die Auftretenshäufigkeit gewisser (z.B. von Ämtern, Spitälern oder in Arztpraxen registrierter) Erkrankungsfälle systematisch von geographischen (dazu gehört auch das Ausmass der Lärmbelastung) oder sozialen Faktoren abhängt.

Ein erhöhtes Risiko durch die Belastung durch *Strassenverkehrslärm* kann bei zwei Krankheitsbildern als ausreichend gesichert angesehen werden: Bei ischämischen Herzkrankheiten und bei Bluthochdruck bedingten Krankheiten [142; 143; 144; 145], die als Folge einer chronischen (Lärm-)Stressreaktion aufgefasst werden können.

Anhand der bisher verfügbaren epidemiologischen Literatur lässt sich abschätzen, dass die relativen Risiken für ischämische Herzkrankheiten sowie Bluthochdruck-bedingte Krankheiten bei Anwohnern von Strassen mit Belastungen im Bereich zwischen 60 und 65 dB(A) Tages-Pegel grösser als 1 werden und dann mehr oder weniger linear ansteigen [142; 146].

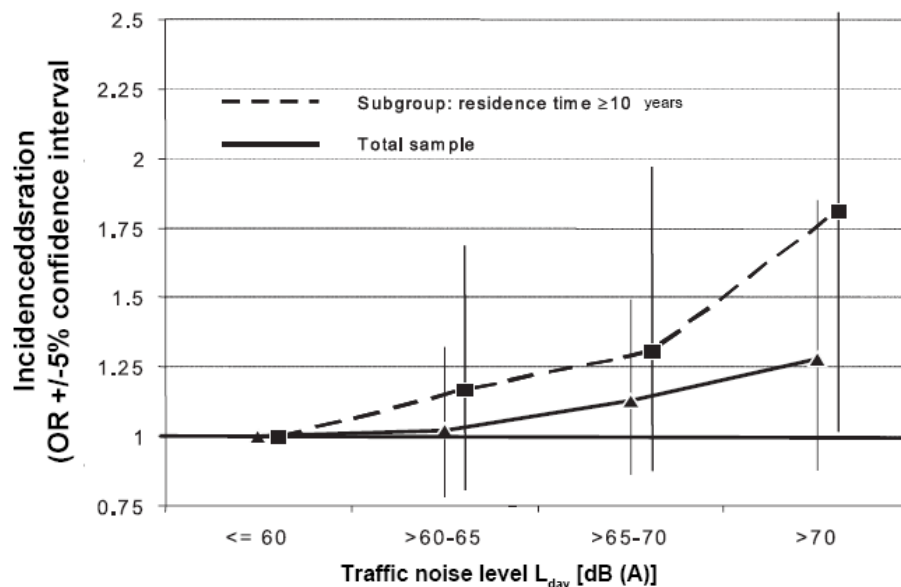


Abb. 2.6.1: Relatives Risiko (Odds Ratio) für Herzinfarkt, als Funktion des 16h-Tagespegels, aus [145]

2.6.5 Gesamtfazit

Eine Lärmschutzgesetzgebung ohne Bezug zur Wirkungsgrösse *Belästigung* ist kaum denkbar.

Aufwachreaktionen sind ein unter Lärmwirkungsforschern gut akzeptierter Indikator nächtlicher Störungen. Ein (erweitertes) Schutzkriterium, welches auf (polysomnographisch erfassten) Aufwachreaktionen basiert, begrenzt auch einen weiten Bereich medizinisch relevanter Wirkungen. Die Häufigkeit von Aufwachreaktionen kann als Indikator für die Lärmbeeinträchtigung aufgefasst und als Schutzkriterium verwendet werden, ohne dass kausale Zusammenhänge mit gesundheitlich relevanten Grössen bestehen müssen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass jede Reduktion der Anzahl durch Lärm hervorgerufener Aufwachreaktionen auch eine Entlastung bei (anderen) gesundheitlich relevanten aber unbekannten Grössen mit sich bringt. Aufwachreaktionen sind in der LSV zurzeit nicht bzw. nur mittelbar als Wirkungskategorie massgeblich.

Angesichts der Tatsache, dass mehrere methodisch unterschiedliche Studien, zwar nicht immer signifikante, aber dennoch richtungskonsistente Risikoerhöhungen für *Herz-Kreislauf-erkrankungen* fanden, scheint es gerechtfertigt, hinsichtlich langfristiger Beeinträchtigungen folgende Schlussfolgerungen zu ziehen: Eine Risikoerhöhung bei Anwohnern verkehrsreicher Strassen erstreckt sich nach derzeitigem Wissensstand vordringlich auf Bluthochdruck bedingte und ischämische Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Die Risikoerhöhung kann auf Belastungssituationen mit Mittelungspegeln (tags) oberhalb etwa 60 dB(A) eingegrenzt werden. Über langfristige Risikoerhöhungen durch Nacht-Lärm im Speziellen liegen zum jetzigen Zeitpunkt nur wenige gesicherte epidemiologische Daten vor. Der aktuell gültige Tages-Grenzwert von 60 dB(A) beim Flug- und Strassenlärm markiert die Schwelle, ab welcher nennenswerte Risikoerhöhungen für gesundheitliche Auswirkungen festgestellt werden können und scheint demgemäss – solange sich die Evidenz nicht verdichtet, dass auch niedrigere Pegel gesundheitliche Auswirkungen haben, die im Sinne des USG begrenzt werden müssten – nicht unmittelbar überprüfungsbedürftig.

Trotz des gegenwärtig vergleichsweise geringen Bewährungsgrads der epidemiologischen Ansätze, die eine medizinisch-somatische Schädigungswirkung postulieren, kann über ihren zukünftigen Bewährungsgrad nichts ausgesagt werden. Die epidemiologischen Studien werden weiterhin fortgeführt werden müssen. Es ist unzweifelhaft, dass auch in Zukunft die psychologisch definierte "Belästigung" das primäre Lärmschutzkriterium darstellen wird, aber andere Indikatoren an Bedeutung gewinnen werden. Es resultiert zumindest ein mittlerer Handlungsbedarf.

Handlungsbedarf Leitfrage W.6

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

2.7 Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf? (Leitfrage W.7)

2.7.1 Das Problem

Im Umweltschutzgesetz (Art. 8) steht, dass "Einwirkungen sowohl einzeln als auch gesamthaft und nach ihrem Zusammenwirken beurteilt werden müssen". Das Deutsche Bundes-Immissionsschutzgesetz (§§ 1, 3, 22 BImSchG) fordert ebenfalls eine Gesamtbetrachtung des durch verschiedene Quellen verursachten Lärms an einem Ort. Es erweist sich jedoch als problematisch, die Kombinationslärmwirkungen für Anwohner in der Umgebung von lärm-emittierenden Anlagen in Form einer Gesamtlärmbelastung durch einen Einzahl-Wert zu kennzeichnen. In der LSV ist die Kombinationswirkung einzelner Lärmquellen – obwohl vom USG quasi verlangt – bisher nicht berücksichtigt. D.h. dass die Lärmbewertung an einem Immissionsort ausschliesslich quellenspezifisch bzw. "Quelle für Quelle" vorgenommen wird. Gemäss BAFU [147] "drängt sich eine Gesamtbeurteilung [jedoch] dort auf, wo der Lärm von Verkehrsanlagen wie Flugplätzen, Strassen und Bahnen bereits nahe an den Grenzwerten oder sogar darüber liegt. Doch fehlt ... insbesondere der gemeinsame Nenner, um die Wirkungen gesamthaft zu benennen und vergleichend zu dokumentieren". Voraussetzung bei der Gesamtlärmbeurteilung ist nach [148] das potentielle Vorhandensein schädlicher Lärmwirkungen im Sinne erheblicher Belästigungen oder Gesundheitsgefahren.

Die Gesamtlärmbelastung an einem Ort durch mehrere Quellen kann im Prinzip – auch wenn die Grenzwerte der einzelnen Quellen für sich betrachtet jeweils nicht überschritten sind – dennoch derart ausgeprägt sein, dass daraus eine übermässige, i.S. des USG erhebliche Störung oder Beeinträchtigung resultiert. Bei Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips muss man (sicherheitshalber) vermuten, dass verschiedene Anlagen in der Schweiz, auch wenn sie einzeln die IGW einhalten, in ihrer Kombination die Schädlichkeits- resp. Lästigkeitschwelle überschreiten. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass eine Belastungssituation mit mehreren Quellen kritischer zu beurteilen ist, als eine Situation mit nur einer (dominierenden) Lärmquelle. Es haben sich in letzter Zeit verschiedene Hinweise [43; 149; 150] ergeben, die diese Annahme als gerechtfertigt erscheinen lassen.

Die Doppelbelastung durch zwei Lärmquellen stellt für einen beträchtlichen Teil der (Deutschen) Bevölkerung ein Problem dar, wie eine zahlenmässige Schätzung in [151] ergab. Es handelt sich bei solchen Doppelbelastungen also nicht um einen seltenen Ausnahmefall, sondern um etwas durchaus Alltägliches. Ein Gesamtlärmbewertungsverfahren muss auf die Vermeidung erheblicher Belästigungen durch Gesamtlärm ausgerichtet werden und hierfür entsprechende Bewertungsmassstäbe zur Verfügung stellen. Nach Weber und Schulte-Fortkamp [152] muss ein Modell zur Gesamtlärmbewertung die absolute Wirkung von Einzelgeräuschen genauso zuverlässig abbilden, wie das Zusammenwirken aller Arten von Geräuschen. In dieser Expertenmeinung kommt quasi a priori zum Ausdruck, dass hinsichtlich dieser Leitfrage ein Handlungsbedarf besteht. Bestehende Modelle und Ideen zur Gesamtlärm-Bewertung werden im nächsten Abschnitt besprochen.

2.7.2 Gesamt-Lärmwirkungen von verschiedenen Quellen

In ihrer Zusammenstellung betrachten Ortscheid und Wende in [151] die verfügbaren Forschungsergebnisse zu Kombinationswirkungen. In der Literatur werden verschiedene konkurrierende Wirkungsmodelle diskutiert, die sich vereinfacht folgendermassen beschreiben lassen:

- *Energie-Summationsmodell*: die Gesamtbelästigung ist eine Funktion der Summe der Einzelpegel [z.B. 153]
- *Belästigungs-Summations bzw. Additionsmodell*: Die Gesamtbelästigung ergibt sich als Addition der pegelbezogenen Einzel-Belästigungen.
- *Äquivalenzmodell*: Ist relativ kompliziert zu beschreiben, Details finden sich in [154]
- *Dominanzmodell*: Die Gesamtbelästigung wird im wesentlichen von der einen dominanten oder als dominant erlebten Quelle determiniert [z.B. 155]
- *Energie-Differenzmodell*: Die Gesamtbelästigung ist abhängig vom Summenpegel und von einem Korrekturfaktor, welcher die absoluten Pegelunterschiede zwischen den Quellen berücksichtigt
- *Reaktions-Summationsmodell*: Die Gesamtbelästigung ist abhängig vom Summenpegel und einem Korrekturfaktor, welcher die unterschiedlichen Belästigungs-Potentiale berücksichtigt
- *Summations-Inhibitionsmodell*: Die Gesamtbelästigung ist abhängig vom Gesamtpegel und von einem Korrekturfaktor, der Additions- und Hemmungsprozesse, die sich durch die Interaktionen der Quellen ergeben, berücksichtigt

Bei kritischer Durchsicht der verfügbaren Forschungsergebnisse scheint eine ausschliessende Festlegung auf *ein* Modell nicht angemessen zu sein. Die oben beschriebenen Modelle gehen zudem alle von einer klassisch-energetischen Sichtweise aus, d.h. sie basieren auf der Idee eines (linearen) Zusammenhangs zwischen Belastung und Wirkung jeweils einer Quelle. Moderatorvariablen bleiben bei dieser Sichtweise unberücksichtigt, obwohl sie für die Vorhersage von Wirkungen in aller Regel mindestens so relevant sind, wie die Belastung selbst. Bei einer Summierung von verschiedenen Lärmarten verschärft sich dieses Problem, da die Wahrnehmung einer Gesamtgeräusch-Kulisse nicht einfach der "Summe" der Wahrnehmung von Einzelgeräuschen entspricht, sondern fallweise von verstärkenden oder abschwächenden Interaktionseffekten auszugehen ist.

Entscheidende Bestimmungsstücke der Kombinationswirkung sind relativ klar eruiert worden. Es sind dies zum einen *Summationseffekte*, d.h. man stellt fest, dass mehrere Quellen gemeinsam, aber nicht notwendigerweise in gleichem Ausmass, d.h. basierend auf einer ähnlichen Belastungs-Wirkungsfunktion zur Gesamtbelästigung beitragen. Als ebenso gesichert kann die Existenz von *Inhibitionseffekten* angesehen werden, dabei wird das Belästigungs- und Lästigkeitspotential einer Quelle durch die andere Quelle maskiert. Während diese Effekte im Einzelfall jeweils nachgewiesen werden können, wird ihr Zusammenwirken offenbar eher schlecht als recht verstanden.

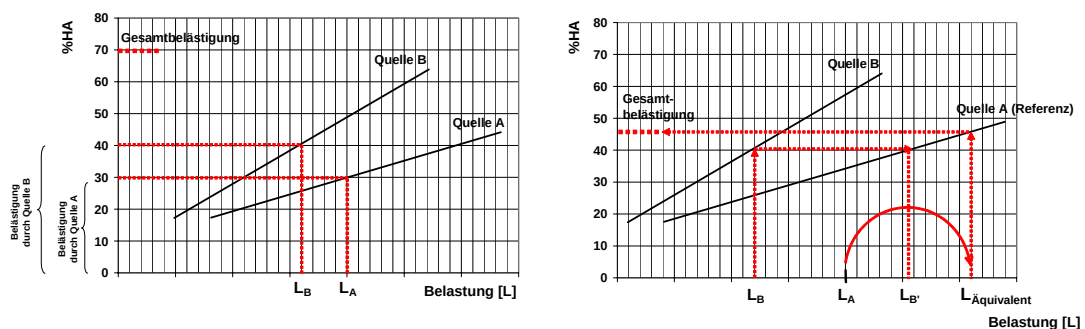


Abb. 2.7.1: Modelle der Kombinationslärnwirkung, Gesucht ist jeweils die Gesamtbelästigung – Links: Belästigungs-Summations-Modell, die Gesamtbelästigung ergibt sich als Summe der einzelnen Quellenbelästigungen; Rechts: Äquivalenzmodell, die Belästigung durch Quelle B wird in den dafür nötigen Pegel der Referenzquelle (hier Quelle A) umgerechnet ($L_{B'}$). Die Differenz zum Pegel der durch die Quelle A erzeugt wird, wird addiert und die Gesamtbelästigung danach anhand der Belastungs-Wirkungsfunktion für Quelle A bestimmt.

Es wurde häufig beobachtet, dass die Gesamtbelästigung bei mehreren Quellen gleich hoch oder sogar niedriger ist als die entsprechende Belästigung aufgrund einer einzelnen Quelle [155]. Das Dominanzmodell impliziert, dass die Gesamtbelästigung immer *gleich* der höchsten 'Einzelquellenbelästigung' ist, während die alternativen Modelle wie z.B. das Energie-Summationsmodell implizieren, dass die Gesamtbelästigung *gleich hoch* oder *höher* ist, als die der belästigendsten Einzelquelle. Konsequenterweise erklärt das Dominanzmodell Daten zur Gesamtbelästigung meist besser, als die konkurrierenden Modelle. Es finden sich denn in der Literatur auch einige Untersuchungen, welche am ehesten das Dominanzmodell stützen [z.B. 156; 157]. Andererseits sprechen auch einige Resultate gegen das Dominanzmodell. So ändert sich die Gesamtbelästigung durchaus, wenn sich der Pegelbeitrag der nicht-dominanten Quelle dem Pegelbeitrag der dominanten Quelle annähert [158] – eine Tatsache, die dem Dominanzmodell widerspricht. Miedema [154] schlägt deshalb ein Modell (Äquivalenzmodell) vor, welches nicht die akustischen Pegelanteile energetisch oder die Einzelbelästigungen arithmetisch addiert, sondern die durch die jeweilige Quelle erzeugte Belästigung in Pegelheiten einer Referenzquelle (i.d.R. Strassenlärm) umrechnet und dann lediglich den zusätzlichen Belästigungs-Anteil zur Belästigung der Referenzquelle addiert.

In der Lärmstudie 90 von Oliva [83], in welcher die Strassenlärnwirkung auch untersucht wurde, ergab sich kein Einfluss der Bewertung einer Quelle durch die Anwesenheit der jeweils anderen (Flug- und Strassenlärm). D.h. dass jede Quelle für sich genommen und getrennt von der anderen hinsichtlich ihrer Belästigungswirkung bewertet wird (allerdings wird die Kombinationslärm-Analyse von Oliva aufgrund der Belästigungswirkung *in* der Wohnung statt entsprechend der Situation *vor* der Wohnung durchgeführt, was aus heutiger Sicht eher unüblich ist). Zu ähnlichen Resultaten kommt Fields in einer Meta-Analyse [159]. Über die Bestimmungsfaktoren der *Gesamtlärnwirkung* in der Lärmstudie 90 gibt in [94] eine Tabelle (Tabelle 8-7) auf Seite 149 Auskunft, diesmal wird jedoch die Situation *vor* der Wohnung

zugrundegelegt. Die quellenbezogenen Masse liefern jeweils einen signifikanten Beitrag zur Erklärung der wahrgenommenen Gesamt-Störwirkung, der partielle Effekt der erklärenden Variable *Gesamtbelastung* ist im entsprechenden Modell nahe Null. Oliva schliesst daraus, dass die energetische Addition den Informationsgehalt verwischt, der in den beiden quellenbezogenen Massen enthalten ist und dass die beiden Geräuschquellen separat wahrgenommen und von den betroffenen Personen nicht zu einem summarischen Lästigkeitsurteil integriert werden, weil es sich um sehr verschiedenartige Geräuschquellen handelt.

Im Rahmen einer kleinen Nachauswertung der Lärmstudie 2000 [91] wurde – am Beispiel des Flug- und Strassenlärms – untersucht, inwiefern die Anwesenheit von Lärmbelastungen einer Quelle die Belastungs-Wirkungsbeziehung einer anderen Quelle modifizierend beeinflusst. Die Strassenlärmbelastung der befragten Personen aus der ursprünglichen Stichprobe wurde für diesen Zweck aus dem Lärmimmissionskataster des Kantons Zürich adressweise, d.h. ohne genaue Prüfung der lokalen Immissionssituation übernommen. Da ein adressgenauer Abgleich der Strassenlärmdaten für einen Grossteil der Stichprobe nicht möglich war, somit auch lokale Ausbreitungs- und Abschattungseffekte nicht berücksichtigt werden konnten, sind die entsprechenden Daten nicht sehr verlässlich, zeigen aber beispielhaft die Schwierigkeiten der Einzelquellenbeurteilung bei Anwesenheit einer zweiten Quelle: In der Nachauswertung zeigte sich, dass bei vergleichsweise hoher Belastung durch Fluglärm, bzw. wenn die Fluglärmbelastung höher als die Belastung durch Strassenlärm war, die Belastungs-Wirkungsfunktion für die Belästigung durch Strassenlärm negativ wird! Insgesamt waren diese Resultate eher schwierig einzuordnen, und weisen hinsichtlich der kombinierten Belastung auf Wirkungsmechanismen hin, die bis heute in der Lärmwirkungsforschung nicht gänzlich verstanden werden.

Eine grössere und durchaus aktuell zu nennende Studie zur Frage der Kombinationslärmwirkung wurde in Schweden 2004 von Öhrström und Mitarbeitern durchgeführt [43]. Als Hauptergebnis der Studie liess sich festhalten, dass die Pegeldifferenz zwischen den beiden in der Studie untersuchten Quellen Bahnlärm und Strassenlärm ein belästigungsdeterminierender Effekt ist. Je "ähnlicher" sich die Pegel der beiden Quellen sind, desto stärker war der Summationseffekt für die Gesamtbelästigung verantwortlich. Dieser Effekt war besonders stark ab einer durchschnittlichen Tages-Gesamt-Belastung von 58 dB(A). Tendenziell ist die Gesamtbelästigung geringer, wenn eine Quelle das Gesamtlärmgeschehen deutlich dominiert.

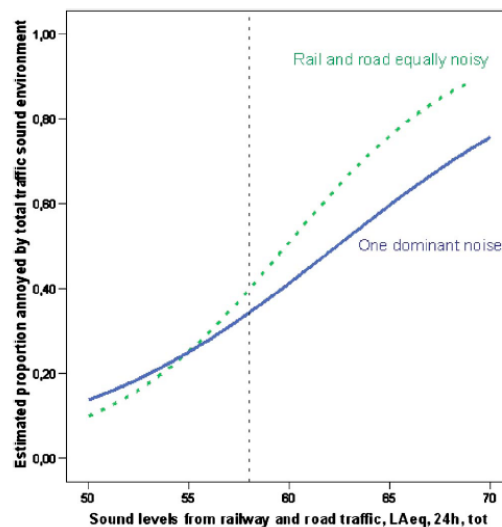


Abb. 2.7.2. Belastungs-Wirkungsfunktionen für die Gesamtbelästigung durch Verkehrslärm, bei gleich intensiven Quellen (grüne Kurve) bzw. bei einer dominierenden Quelle (blaue Kurve), aus [43]

Während man also bereits im Rahmen der Gesamtwirkungs-Modellierung schnell an Grenzen stösst, ist die Klärung der Frage nach der praktischen Handhabung der Beurteilung verschiedener Lärmquellen bei Sanierungs- und Entschädigungsfragen noch weit weniger offensichtlich.

2.7.3 Gesamtfazit

Für Beurteilungs-, Planungs- und Rechtsfragen muss festgestellt werden, dass beim heutigen Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse davon auszugehen ist, dass sich der Effekt zweier gleichzeitig mit unterschiedlicher Charakteristik aber ähnlicher Intensität einwirkender Schallquellen nicht ohne weiteres aus ihren Energieanteilen ableiten lässt. Ob sich aus der Nicht-Berücksichtigung von Kombinationswirkungen ein Handlungsbedarf im Sinne der Überarbeitung der aktuellen LSV-Konstruktion ergibt, kann zurzeit nicht schlüssig beantwortet werden, da auch die entsprechenden wissenschaftlichen Grundlagen zur Kombinationslärmwirkung einerseits und zur praktisch-juristischen Handhabung von Doppelbelastungssituationen fehlen bzw. noch kein Konsens unter Lärmwirkungsforschern zu bestehen scheint, welches Wirkungs-Modell denn nun das beste ist. Soweit dem Projektteam bekannt, sind auch in ausländischen Rechtssystemen noch keine Beurteilungsverfahren erprobt oder sogar in Kraft gesetzt worden, welche Kombinationslärmwirkungen berücksichtigen würden. In der neuen TA Lärm [160] steht z.B., dass für die Kumulation sehr verschiedenartiger Geräusche noch keine geeigneten fachlichen Grundlagen bestehen (und somit auf eine Kombinationslärmbewertung verzichtet wird). Somit ist die Lärmschutzgesetzgebung in der Schweiz zumindest auf demselben Stand, wie diejenige anderer europäischer Länder.

Abschliessend kann an dieser Stelle die Empfehlung gegeben werden, die Problematik fürderhin im Auge zu behalten, jedoch nicht voreilig ein bestimmtes Gesamtlärmwirkungsmodell zu propagieren. In einem ersten Schritt wäre – gewissermassen zur Vorbereitung weiterer Untersuchungen – die Situation von Personen zu untersuchen, welche zurzeit von zwei oder sogar drei verschiedenen Verkehrslärmarten knapp unterhalb des jeweiligen Grenzwerts betroffen sind. Gleichzeitig wäre anhand eines geeigneten Instruments (z.B. SonBase) zahlenmässig abzuschätzen, wie viele Personen von solchen grenzwertnahen Doppel- oder allenfalls Dreifachbelastungen betroffen sind. Die Resultate solcher Abklärungen könnten in einem zweiten Schritt dazu beitragen, die Dringlichkeit möglichen Handlungsbedarfs abzuschätzen.

Da für die praktische Lärmbekämpfung, welche auf dem Verursacherprinzip basiert, die Gesamtbelastung durch mehrere Quellen – je nachdem welches Modell sich als das tragfähigste erweisen wird – nicht ignoriert werden kann, sollten die unterschiedlichen Bewertungen der verschiedenen Lärmquellen möglichst derart angelegt werden, dass erforderlichenfalls eine Zusammenfassung möglich wird. Wie das im Detail gelingen kann, ist von der weiteren Entwicklung der Lärmwirkungsforschung und selbstredend vom politischen Willen, die entsprechenden Untersuchungen zu finanzieren, abhängig.

Die Grundlagen der LSV müssen im Hinblick auf Art. 8 USG früher oder später überprüft werden. Ein Forschungsbedarf für die Bereitstellung eines Instruments zur gesetzlich geforderten störungsgerechten Erfassung und Beurteilung von Gesamtlärmbelastungen ist klar ausgewiesen [2], der Handlungsbedarf als entsprechend hoch einzustufen.

Handlungsbedarf Leitfrage W.7

Kein	Klein	Mittel	Hoch
------	-------	--------	------

3 Gesamtbeurteilung und Handlungsbedarf

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf einige Spezifika der aktuellen Problemstellung, bzw. des Auftrages der EKLK im Rückblick eingegangen und danach der Handlungsbedarf hinsichtlich der Überprüfung der Grenzwerte, aber auch die Gesamtkonstruktion der LSV aus Sicht des Autors bzw. aus Sicht des Wirkungs-Kontextes in konzis-begründeter Form dargelegt.

3.1 Unsicherheiten in den Datengrundlagen

Ein grosser Unsicherheitsfaktor der Datengrundlage der aktuellen LSV ist der Mangel an einer *einheitlich* zur Anwendung gekommenen Forschungsmethodik und Wirkungsquantifizierung nach allgemein akzeptierten Standards. Die den aktuellen Grenzwerten zugrundeliegenden Studien lieferten jeweils eine Belastungs-Wirkungsbeziehung die innerhalb der LSV nicht "kompatibel" sind. Zum einen wurde auf Belastungsseite sowohl gemessen als auch berechnet, und manchmal sogar nur "geschätzt", zum anderen wurden auf Wirkungsseite Störungen durch Lärm in unterschiedlicher Intensität (z.B. "mittelstark und stark" vs. "stark") und für unterschiedliche Kontexte erhoben (z.B. generell bzw. unspezifisch vs. "in der Wohnung" oder "im Haus"). Die Belastungs-Wirkungsfunktionen in den Anhängen 3-5 können deshalb hinsichtlich der hier relevanten Fragestellung (Wie gross ist der Anteil stark Belästigter bei einem bestimmten Pegel?) nur bedingt miteinander verglichen werden. So wurde etwa beim Eisenbahnlärm vom Prinzip abgerückt, die "starke Störung" (Skalometer 8, 9 und 10) als Kriterium für die Grenzwertfestlegung zu benützen. Die Angleichung der Massstäbe zwischen Eisenbahn- und Strassenlärm geschah auf der Basis der "mittelstarken und starken Störung" (Skalometer >4).

3.2 Mangelhafte Begründung und Herleitung der Grenzwerte

Erschwerend kommt hinzu, dass in den von der Kommission verfassten Berichten aus wissenschaftlicher Sicht der jeweilige Grenzwertvorschlag oft nicht ausreichend begründet *hergeleitet* worden ist. D.h. es finden sich schlicht keinerlei Informationen darüber, wie aus den Daten der (in Auftrag gegebenen Studien) auf die Höhe des Grenzwerts geschlossen wurde. Exemplarisch ist dieses Manko z.B. beim 1. Teilbericht zum Strassenverkehrslärm [5] sichtbar. Es ist daher aus heutiger Sicht mitunter schwierig, die damals von der Kommission gemachten Grenzwert-Vorschläge zu beurteilen, da die jeweils zur Anwendung gelangte Heuristik dafür nicht ausreichend dokumentiert wurde. Das aktuelle Grenzwertschema in der LSV, das zu einem wesentlichen Teil auf Grund von Erfahrungen in einem trial-and-error Prozess entstanden ist, basiert ganz offenbar nicht in einem Masse auf wissenschaftlichen Schlüssen, wie es für die Entwicklung eines Grenzwertschemas aus heutiger Sicht wünschenswert wäre [3].

3.3 Speziell empfindliche Personengruppen

In den Jahren nach Inkrafttreten der LSV wurden viele weitere Lärmwirkungsstudien im In- und Ausland durchgeführt, welche für die Abschätzung des Handlungsbedarfs, bzw. hinsichtlich der Frage, ob die aktuellen Grenzwerte immer noch berechtigt sind, in diesem Inputpapier beigezogen wurden. Einschränkend muss man jedoch festhalten, dass fast alle diese Studien an gesunden Erwachsenen durchgeführt wurden, obwohl bei der Festlegung der Grenzwerte nach Art. 13 Abs. 2 USG auch die Wirkungen der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Lärmempfindlichkeit wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere zu berücksichtigen sind. Da solche Personengruppen in der Regel nicht als isolierte Gemeinschaften, sondern zusammen mit der übrigen, jedoch weniger empfindlichen Bevölkerung leben, können für diese Gruppen vielfach keine speziellen Lärmimmissionsgrenzwerte mit begrenzter örtlicher Wirkung festgelegt werden [2]. Dies hat zur Folge, dass die IGW generell unterhalb jener Erheblichkeitsgrenze festzulegen sind, die sich aus der objektivierten Lärmempfindlichkeit des "durchschnittlich empfindlichen" Menschen ergibt [161]. Um "wieviele Dezibel" *strenger* ein Grenzwert aus diesem Grunde sein müsste, wird nirgends erörtert – es scheint hingegen, dass der Bund bzw. die mit der Grenzwertfestlegung beauftragten Behörden durchwegs so gehandelt haben, dass alle in der LSV ausgewiesenen Grenzen unterhalb der Schwellen für 25% starkbelästigte (bzw. starkgestörte) Personen (gemäss der verfügbaren Grundlagen) liegen. Eine 100%ige Garantie, dass den Forderungen des USG damit ausreichend Rechnung getragen wurde, ist damit allerdings nicht verbunden.

3.4 Die LSV als Gesamtkonstrukt

Für den individuellen Schutz des Bürgers massgebliche Eigenschaften der LSV (bzw. der LSV-Anhänge) sind auch heute noch gut begründet und i.S. des USG weitgehend zweckdienlich, bzw. als "positiv" zu bewerten. So scheint z.B. die Festlegung der Höhe der IGW tendenziell eher und bei allen Lärmarten "auf der sicheren", d.h. konservativeren Seite vorgenommen worden zu sein. Wirtschaftliche Argumente sind bei der Konstruktion des Grenzwertschemas und der Grenzwerte selbst, in der Rückschau, nicht beachtet worden, und wenn doch, dann wurde früher oder später korrigierend eingegriffen. Das Bundesgericht erklärte z.B. im Dezember 2000 die vom Bundesrat im Mai desselben Jahres festgesetzten Grenzwerte für Fluglärm als zu hoch und nicht umweltschutzkonform und hob sie auf bzw. folgte dem (niedrigeren) Grenzwertvorschlag der Kommission aus dem Jahre 1997. Allerdings wird der teilweise streng ausgelegte Schutz in der Praxis nicht immer durchgesetzt (z.B. durch das bereitwillige Gewähren von sog. Erleichterungen), dies kann jedoch nicht der LSV an sich angelastet werden. Durch das Grenzwertschema im konsequenten Fünfer-Raster und durch die Tatsache, dass ein empirisch angezeigter Grenzwert meist "nach unten" abgerundet und somit die Lärmbeurteilung verschärft wurde, haben allfällige Unsicherheiten in den Beurteilungsgrundlagen kaum – zumindest im Sinne des USG – schwerwiegende Folgen, was dem Gesamtsystem LSV insgesamt eine erstaunliche Stabilität verleiht. Ein Eingriff in das gut austarierte, wenn auch nicht unbedingt wissenschaftlich abgesicherte System sollte deshalb nur mit Bedacht vorgenommen werden. Die verschiedenen Verbesse-

zungspotentiale bzw. Notwendigkeiten der Ausweitung der Grundlagendaten werden im nächsten Abschnitt "Handlungsbedarf" besprochen.

3.5 Handlungsbedarf

Handlungsbedarf besteht aus Sicht der Dimension Wirkung und unter Berücksichtigung der in diesem Papier vorgebrachten Argumente folgendermassen (**in der Reihenfolge der Dringlichkeit**):

- Die Frage nach den die Gewohnheiten der Bevölkerung korrekt abbildenden Beurteilungszeiträumen muss vordringlich behandelt werden. Die in der LSV angewendeten Beurteilungszeiträume betreffen im Wesentlichen alle Lärmarten. Für die getrennte Bewertung von Lärmimmissionen am Tag und während der Nacht unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wirkungsindikatoren sind Kenntnisse über die Schlafgewohnheiten der Bevölkerung unabdingbar, namentlich Bettgeh- und Aufstehzeitpunkte. Aus Wirkungssicht ist insbesondere der frühe Tagesbeginn um 6:00 Uhr (gemäss Definition in der LSV) als besonders kritisch zu bewerten. Wir regen deshalb an, so schnell wie möglich eine vom BFS geleitete gesamtschweizerische Zeitnutzungs-Erhebung durchführen zu lassen, um solche dem Grenzwertschema der LSV zugrundeliegende a priori Annahmen empirisch abzusichern oder notwendigenfalls anzupassen. Im Übrigen sei die Bemerkung erlaubt, dass es unverständlich erscheint, dass das BFS, im Gegensatz zur ausländischen Praxis, solche für eine ganze Reihe politischer Entscheidungen äusserst relevante Daten nie systematisch erhoben hat.
- Die Belastungs-Wirkungsbeziehung von Bahnlärm in der Schweiz müsste einer Überprüfung unterzogen werden. Dies gilt sowohl für die Tages-, als auch die Nachtbelastung sowie insbesondere hinsichtlich der empirischen Begründung des "Schienenbonus". Der Schienenbonus in der LSV ist nicht vollständig empirisch abgesichert und widerspricht in Teilen auch der Erfahrung. Im Hinblick auf Schlafstörungen, bzw. überhaupt den Zugs-lärm in der Nacht scheint ein Schienenbonus aufgrund neuerer Feld- und Laborstudien nicht gerechtfertigt. Da der öffentliche Schienenverkehr in der Schweiz eine grössere Bedeutung hat als in vielen anderen europäischen Ländern, mitunter auch kulturelle Aspekte hier wesentlich durchschlagsgkräftiger sein können, als im Ausland, kann hinsichtlich der Beurteilung durch Bahnlärm nicht in gleichem Masse auf ausländische Untersuchungen zurückgegriffen werden, wie dies für andere Lärmarten der Fall ist.
- Im Gegensatz zum Fluglärm, für welchen in den letzten Jahren offenbar eine Belästigungszunahme stattgefunden hat, ist eine solche Zunahme für den Strassenlärm zwar wahrscheinlich, aber noch nicht empirisch wasserdicht belegt worden. Hinsichtlich der Festlegung bzw. der Beurteilung von Tages- und Nachtgrenzwert des Strassenverkehrslärms ist die Datenlage in der Schweiz mangelhaft. Seit den frühen 90er-Jahren wurde in der Schweiz keine Untersuchung über die Belästigungswirkung von Strassenverkehrslärm mehr durchgeführt und es scheint empfehlenswert, eine solche in der nächsten Zeit in Angriff zu nehmen. Dies zum einen, weil die Quellenbeschreibung möglicherweise nicht bei allen Strassen-Arten gleichermassen für eine Belästigungsvorhersage geeignet ist

(Autobahnen vs. Gemeindestrassen), und zum anderen, weil sich auch die Fahrzeugzusammensetzung seit den 70er-Jahren geändert hat, mit unbekannten Folgen für die Belästigung der Bevölkerung. Die aktuell gültigen, auf den Kommissionsbericht von 1979 [5] zurückgehenden Grenzwerte sind jedoch schon damals relativ streng ausgelegt worden und scheinen den gesetzlichen Zweck immer noch zu erfüllen, so dass aus Sicht des Schutzes der Bevölkerung, vorbehaltlich einer dramatischen Belästigungszunahme durch Strassenverkehrslärm in den letzten zwei Jahrzehnten, die Notwendigkeit des Handlungsbedarfs bis zu einem gewissen Grad relativiert wird.

- Für den Fluglärm ist die Datengrundlage vergleichsweise "üppig". Der Tagesgrenzwert von 60 dB(A) scheint auch heute noch angemessen (sofern er sich wirklich auf diejenige Periode bezieht, die vom Durchschnittsbürger als "Tag" bezeichnet wird), die Grenzwerte für die erste und zweite Nachstunde erscheinen aus Wirkungssicht ebenfalls noch zeitgemäss und vorderhand nicht unmittelbar überprüfungsbedürftig (die dritte Nachtstunde ist weitgehend irrelevant, da zu dieser Zeit nicht [mehr] geflogen wird). Beim Fluglärm zeigt sich hingegen das Problem der tageszeitabhängigen Lärm-Empfindlichkeit besonders deutlich. Hier scheint eine Überprüfung der Beurteilungszeiträume und gegebenenfalls eine Anpassung als besonders vordringlich. Ebenfalls sollte beachtet werden, dass durch die laufenden technischen Verbesserungen im Emissionsbereich (aktive Lärmschutzmassnahmen) zwar der mittlere Pegel von Fluglärmereignissen gesunken ist, und dadurch der Leq auch, diese Massnahmen aber gleichzeitig eine erheblich höhere Zahl an Bewegungen ermöglichten. Letzteres geht dann z.B. mit einer Abnahme der durchschnittlichen "lärmbefreiten" Zeit einher, was wiederum belästigungsrelevant ist. Notabene: Aktive Lärminderungsmaßnahmen sind zu begrüßen, aber man kann nicht ohne weiteres damit rechnen, dass die technischen Fortschritte der Lärmbekämpfung an der Quelle quasi automatisch für eine Abmilderung des Lärmproblems sorgen, solange die mittelwertsbasierten Grenzwerte nicht ebenfalls gesenkt(!) werden.
- Eine wirkungsgerechte Beurteilung von Lärmimmissionen scheint, insbesondere beim Verkehrslärm während der Nacht, und hier im Speziellen bei der Wirkung von Zugsvorbeifahrten und bei Überflügen von Flugzeugen, nicht ausschliesslich bzw. fallweise überhaupt nicht durch einen Mittelungspegel erreichbar. Die eher *medizinisch geprägte* Lärmwirkungsforschung verwendet schon lange Beurteilungswerte, die über die in der LSV verwendeten energetischen Mittelwerts-Masse (mit Ausnahme des $L_{AF,max}$ bei zivilem Schiesslärm und Helikopterlärm) hinausgehen. Es ist daher mittelfristig zu prüfen, inwiefern Beschreibungsgrössen von *Einzelereignissen* verwendet und als Begrenzungskriterium benutzt werden können bzw. müssen, um als Schutzkriterium die gesetzlichen Vorgaben im USG zu erfüllen.
- Eine unter den verschiedenen in der LSV behandelten Lärmarten vollkommen kompatible wirkungsorientierte Beurteilung kann erst erreicht werden, wenn man das bisherige 5dB-Raster verlässt, d.h. Grenzwerte in 1dB-Schritten zulässt. Das 5dB-Raster stabilisiert die LSV, schränkt sie aber gleichzeitig auch ein.

Die Abschätzung des Handlungsbedarfs in tabellarischer Darstellung:

Leitfrage	Thema / Leitfrage	Handlungsbedarf
1 (W.BW)	Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Lauf der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	Hoch
2 (W.G)	Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?	Hoch
3 (W.BA)	Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	Klein
4 (W.BZ)	Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	Hoch
5 (W.Q)	Sind alle in der LSV behandelten Quellen akustisch ausreichend beschrieben?	Mittel
6 (W.D)	Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll?	Mittel
7 (W.K)	Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?	Hoch

4 Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft. (1986). *Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV) [SR 814.41]*. Retrieved 20 August 2008, 2008, from <http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.41.de.pdf>
- [2] Christoph Zäch Büro für Gesetzgebung. (2009). *Überprüfung der Immissionsgrenzwerte bei der Lärmbelastung: Inputpapier Recht*. Bern.
- [3] Hofmann, R. (2009). *Der geschichtliche Werdegang der heutigen Lärmgrenzwerte*. Wallisellen.
- [4] Oliva, C., & Hüttenmoser, C. (2002). Festsetzung von Lärmgrenzwerten - Methodische Anforderungen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*(1), 13-22.
- [5] Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten. (1979). 1. *Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für den Strassenverkehrslärm*, from www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte
- [6] Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten. (1982). 4. *Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm*, from www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte
- [7] Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten. (1997). 6. *Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für den Lärm der Landesflughäfen*, from www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte
- [8] Guski, R. (2002). Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 49(6), 219-232.
- [9] Scheuch, K., & Jansen, G. (2002). Präventivmedizinische Überlegungen zu Fluglärm-Orientierungswerten für Einzelschallereignisse am Tag. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 49(1), 7-12.
- [10] Guski, R. (1978). Defensive Activation toward Noise. *Journal of Sound and Vibration*, 59(1), 107-110.
- [11] International Standards Organisation. (2003). ISO/TS 15666:2003 (Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys).
- [12] Planteam GHS AG. (2009). *Überprüfung der Immissionsgrenzwerte bei der Lärmbelastung - Inputpapier Technik und Betrieb*. Sempach-Station.
- [13] Fidell, S., Silvati, L., & Pearsons, K. (1998). Noticeability of a decrease in aircraft noise. *Noise Control Engineering Journal*, 46(2), 49-56.
- [14] Guski, R. (2004). How to forecast community annoyance in planning noisy facilities. *Noise & Health*, 6(22), 59-64.
- [15] Bröer, C., & Wirth, K. (2004). Mehr Belästigung bei gleichem Pegel. Wieso Flugzeuggeräusche heute möglicherweise lästiger sind als vor 40 Jahren. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 51(4), 118-121.
- [16] Beck, U. (1992). *Risk society, towards a new modernity*. London: Sage.

- [17] Job, R. F. S. (1988). Overreaction to Changes in Noise Exposure - the Possible Effect of Attitude. *Journal of Sound and Vibration*, 126(3), 550-552.
- [18] Schultz, T. J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 377-405.
- [19] Arbeitsgemeinschaft für sozio-psychologische Fluglärmuntersuchungen (Ed.). (1974). *Sozio-psychologische Fluglärmuntersuchung im Gebiet der drei Schweizer Flughäfen Zürich, Genf, Basel*. Bern: Eidgenössisches Luftamt.
- [20] 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(1), 221-233.
- [21] Miedema, H., & Oudshoorn, C. (2001). Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics $_{\text{DNL}}$ and $_{\text{DENL}}$ and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 409-416.
- [22] Miedema, H., & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6), 3432-3445.
- [23] Oliva, C., & Hüttenmoser, C. (2000). Die Abhängigkeit der Schallbewertung vom Geräuschkontext. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 47(2), 47-56.
- [24] Meyer, A. (2002). Bonus- bzw. Malusdiskussion für den Luftverkehrslärm in der Sackgasse? *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*(1), 23-25.
- [25] European Commission. (2002). *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*. Retrieved 16 February 2008, from http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noise_expert_network.pdf
- [26] European Union. (2002). *DIRECTIVE 2002/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise*, from http://eur-lex.europa.eu/pri/en/oj/dat/2002/l/_189/l_18920020718en00120025.pdf
- [27] Empa. (2006). *Zürcher Fluglärmindex ZFI. Berechnungsvorschrift (Bericht Nr. 441'255-4)*.
- [28] Janssen, S., & Guski, R. ((in Vorb.)). Aircraft noise annoyance. In WHO document: Evidence Review on Aircraft Noise and Health.
- [29] Brooker, P. (2008, in press). Do people react more strongly to aircraft noise today than in the past? *Applied Acoustics*.
- [30] Guski, R. (2003). Neuer Fluglärm gleich alter Fluglärm? *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 50(1).
- [31] Guski, R. (2003). How to predict future annoyance in planning? In *Proceedings of the International Congress on Biological Effects of Noise ICBEN* (pp. 255-256). Rotterdam, The Netherlands: ICBEN 2003.
- [32] van Kempen, E. E., & van Kamp, I. (2005). *Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships (Report01/2005 MGO EvK)*. Bilthoven: Dutch Ministry of Housing and Environmental and Spatial Planning.

- [33] Fields, J. M., De Jong, R. G., Gjestland, T., Flindell, I. H., Job, R. F. S., Kurra, S., et al. (2001). Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. *Journal of Sound and Vibration*, 242(4), 641-679.
- [34] Brink, M., & Wunderli, J.-M. (in preparation). Annoyance responses to military shooting noise immissions in Switzerland.
- [35] Brink, M., Wunderli, J.-M., & Boegli, H. (2008, 30 May-1 June 2006). *Community response to military shooting noise immissions - preliminary results*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.
- [36] Schreckenber, D., & Meis, M. (2006). *Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens [Endbericht; Langfassung]*, from http://www.dialogforum-flughafen.de/fileadmin/PDF/Presse/Belaestigungsstudie_Langfassung.pdf
- [37] Fields, J. M., De Jong, R. G., Brown, A. L., Flindell, I. H., Gjestland, T., Job, R. F. S., et al. (1997). Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys. *Journal of Sound and Vibration*, 206(5), 685-695.
- [38] Wanner, H. U., Wehrli, B., Nemecek, J., & Turrian, V. (1977). Die Belästigung der Anwohner verkehrsreicher Strassen durch Lärm und Luftverunreinigungen. *Sozial- und Präventivmedizin/Social and Preventive Medicine*, 22(3), 108-115.
- [39] Wehrli, B., Nemecek, J., Turrian, V., Hofmann, R., & Wanner, H. U. (1978). *Störwirkungen des Strassenverkehrslärms in der Nacht*: Eid. Amt für Umweltschutz.
- [40] Wehrli, B., Nemecek, J., Turrian, V., Hofmann, R., & Wanner, H. U. (1978). Auswirkungen des Strassenverkehrslärm in der Nacht. *Kampf dem Lärm*, 25, 138-149.
- [41] Ouis, D. (2001). Annoyance from Road Traffic Noise: A Review. *Journal of Environmental Psychology*, 21, 101-120.
- [42] Rylander, R., & Bjorkman, M. (2002). Road traffic noise annoyance and window orientation in dwellings. *Journal of Sound and Vibration*, 249(4), 828-831.
- [43] Ohrstrom, E., Barregard, L., Andersson, E., Skanberg, A., Svensson, H., & Angerheim, P. (2007). Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic. *Journal of the Acoustical Society of America*, 122(5), 2642-2652.
- [44] Klæboe, R., Amundsen, A. H., Fyhri, A., & Solberg, S. (2004). Road traffic noise - the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway. *Applied Acoustics*, 65(9), 893-912.
- [45] Bjork, J., Ardo, J., Stroh, E., Lovkvist, H., Ostergren, P. O., & Albin, M. (2006). Road traffic noise in southern Sweden and its relation to annoyance, disturbance of daily activities and health. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 32(5), 392-401.
- [46] Lam, K. C., Chan, P. K., Chan, T. C., Au, W. H., & Hui, W. C. (2009). Annoyance response to mixed transportation noise in Hong Kong. *Applied Acoustics*, 70(1), 1-10.
- [47] Yu, L., & Kang, J. (2008). Effects of social, demographical and behavioral factors on the sound level evaluation in urban open spaces. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(2), 772-783.

- [48] Li, H. J., Yu, W. B., Lu, J. Q., Zeng, L., Li, N., & Zhao, Y. M. (2008). Investigation of road-traffic noise and annoyance in Beijing: A cross-sectional study of 4th Ring Road. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 63(1), 27-33.
- [49] Ohrstrom, E., Skanberg, A., Svensson, H., & Gidlof-Gunnarsson, A. (2006). Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *Journal of Sound and Vibration*, 295(1-2), 40-59.
- [50] Jakovljevic, B., Paunovic, K., & Belojevic, G. (2008). Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population. *Environ Int*.
- [51] Jarup, L., Dudley, M. L., Babisch, W., Houthuijs, D., Swart, W., Pershagen, G., et al. (2005). Hypertension and exposure to noise near airports (HYENA): Study design and noise exposure assessment. *Environmental Health Perspectives*, 113(11), 1473-1478.
- [52] Jarup, L., Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Katsouyanni, K., Cadum, E., et al. (2008). Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. *Environmental Health Perspectives*, 116(3), 329-333.
- [53] Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Cadum, E., Velonakis, M., Katsouyanni, K., et al. (2007, 2-7 September 2007). *Associations between road traffic noise, aircraft noise and noise annoyance. Preliminary results of the HYENA study*. Paper presented at the 19th International Congress on Acoustics ICA, Madrid.
- [54] Lercher, P., de Greve, B., Botteldooren, D., & Rüdiger, J. (2008). *A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standard curves*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.
- [55] Fields, J. M., & Walker, J. G. (1982). The Response to Railway Noise in Residential Areas in Great-Britain. *Journal of Sound and Vibration*, 85(2), 177-255.
- [56] Möhler, U., Schuemer, R., Knall, V., & Schuemer-Kohrs, A. (1986). Vergleich der Lästigkeit von Schienen- und Strassenverkehrslärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*(33), 132-142.
- [57] Moehler, U., Liepert, M., Schuemer, R., & Griefahn, B. (2000). Differences between railway and road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 231(3), 853-864.
- [58] Lambert, J., Champelovier, P., & Vernet, I. (1998, 16–18 November). *Assessing the railway bonus: The need to examine the "new infrastructure" effect*. Paper presented at the Internoise 1998, Christchurch, New Zealand.
- [59] Lercher, P., Brauchle, G., & Widmann, U. (1999, 2–4 December). *The interaction of landscape and soundscape in the Alpine area of the Tyrol: an annoyance perspective*. Paper presented at the Internoise 1999, Fort Lauderdale, FL, USA.
- [60] Kaku, J., & Yamada, I. (1996). The possibility of a bonus for evaluating railway noise in Japan. *Journal of Sound and Vibration*, 193(1), 445-450.
- [61] Morihara, T., Sato, T., & Yano, T. (2004). Comparison of dose-response relationships between railway and road traffic noises: the moderating effect of distance. *Journal of Sound and Vibration*, 277(3), 559-565.
- [62] Gottlob, D. (1998). *Belastigungsunterschiede als Entscheidungshilfe für die Festsetzung von Immissionsrichtwerten*. Paper presented at the Fortschritte der Akustik - DAGA, Oldenburg.

- [63] Connor, W., & H.P., P. (1976). *Analysis of the effect of numbers of aircraft operations on community annoyance* [Accession Number: 76N30181; Document ID: 19760023093; Report Number: NASA-CR-274], from http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19760023093_1976023093.pdf
- [64] Fields, J. M. (1984). The Effect of Numbers of Noise Events on Peoples Reactions to Noise - an Analysis of Existing Survey Data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75(2), 447-467.
- [65] MVA Consultancy. (1998). *Heathrow runway alternation trials - research among local residents - Final report submitted to Heathrow Airport Consultative Committee*.
- [66] Empa Abteilung Akustik / Lärminderung. (2009). *Überprüfung der Immissionsgrenzwerte bei der Lärmbelastung - Inputpapier 3: Akustik*. Dübendorf.
- [67] Schafer, R. M. (1994). *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*. Rochester, VT: Destiny Books.
- [68] Brink, M., Wirth, K., Thomann, G., Bauer, G., & Schierz, C. (2008). Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure. *Journal of the Acoustical Society of America*, 124(5), 2930-2941.
- [69] Schuemer, R., & Schreckenberger, D. (2000). Änderung der Lärmbelastung bei Massnahme bedingter, stufenweise veränderter Geräuschbelastung: Hinweise auf einige Befunde und Interpretationsansätze. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 134-143.
- [70] Brink, M., Wirth, K., Rometsch, R., & Schierz, C. (2007). *Lärmstudie 2000 - Der Einfluss von abendlichem und morgendlichem Fluglärm auf Belästigung, Befindlichkeit und Schlafqualität von Flughafenanwohnern (Schlussbericht zur Feldstudie)*, from http://www.laerm2000.ethz.ch/files/LS2000_Feldstudie_Schlussbericht_1.0.pdf
- [71] Franssen, E. A., van Wiechen, C. M., Nagelkerke, N. J., & Lebre, E. (2004). Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup Environ Med*, 61(5), 405-413.
- [72] Breugelmans, O. R. P., van Wiechen, C. M. A. G., van Kamp, I., Heisterkamp, S. H., & Houthuijs, D. J. M. (2004). *Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002I (RIVM report 630100 001. [GES-2]) ("Health and quality of Life near Amsterdam Schiphol Airport: 2002 Interim report")*. Retrieved 01/16/2008, from <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/630100001.pdf>
- [73] Whitfield, A. (2003). Assessment of noise annoyance in three distinct communities living in close proximity to a UK regional airport. *Int J Environ Health Res*, 13(4), 361-372.
- [74] Kastka, J., Mau, U., Muth, T., & Siegmann, S. (1996). *Standings and results of the research on aircraft noise. Longitudinal study at Düsseldorf Airport 1987-1995*. Paper presented at the Internoise 1996.
- [75] Van Dongen, J. E. F., Steenbekkers, J. H. M., & Vos, H. (1999). *De kwaliteit van de leefomgeving rond Groningen Airport Eelde [TNO-rapport PG/VGZ/99.031]*. Leiden: TNO Preventie en Gezondheid.
- [76] Kastka, J. (1999). *Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafen Frankfurt (Zusatzauftrag)*. Düsseldorf: Heinrich Heine Universität (im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main).

- [77] Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F., Berglund, B., & Head, J. (2001). Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychol Med*, 31(2), 265-277.
- [78] Van Dongen, J. E. F., & Vos, H. (2003). *Beleving van geluid rond de luchthaven Maastricht Aachen Airport [TNO Inro rapport 2002-65]*: TNO Delft.
- [79] Kastka, J. (2001). *Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation im Nachtzeitraum in der Umgebung des Verkehrsflughafens München (Abschlussbericht)*. Düsseldorf: Heinrich Heine Universität (im Auftrag der Regierung von Oberbayern).
- [80] Vincent, B., Vallet, M., Olivier, D., & Paque, G. (2000). *Evaluation of variations of the annoyance due to aircraft noise*. Paper presented at the Internoise 2000.
- [81] Brink, M., Wirth, K., & Schierz, C. (2007). *Swiss Noise Study 2000: Exposure-Effect-Curves of Annoyance 2001 and 2003 (electronic data)*, from http://www.laerm2000.ethz.ch/files/SNS2000_E-E-Curves.zip
- [82] Janssen, S. A., Vos, H., van Kempen, E. E. M. M., Breugelmans, O. R. P., & Miedema, H. M. E. (2008). *Trends in annoyance by aircraft noise*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.
- [83] Oliva, C. (1993). *Wirkung der Fluglärmbelastung während des Tages. Bericht 1 der Lärmstudie 90*. Schlieren: Büro für soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung.
- [84] Brink, M., Lercher, P., Eisenmann, A., & Schierz, C. (2008). Influence of slope of rise and event order of aircraft noise events on high resolution actimetry parameters. *Somnologie*, 12, 118-128.
- [85] Brink, M., Wirth, K., Rometsch, R., & Schierz, C. (2005). *Lärmstudie 2000 Zusammenfassung*. Retrieved 1 January 2008, from <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=444>
- [86] Unique, A. A. (2001). *Statistisches Jahrbuch 2001*, 2001, from <http://www.uniqueairport.com/public/files/Jahrbuch2002.pdf>
- [87] Oliva, C. (1995). *Lärmstudie 90. Belastung und Betroffenheit der Wohnbevölkerung durch Flug- und Strassenlärm in der Umgebung der internationalen Flughäfen der Schweiz [Schlussbericht über die soziologische und akustische Feldstudie]*. Zürich: Büro für soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung.
- [88] Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft. (1998). *Belastungsgrenzwerte für den Lärm der Landesflughäfen. 6. Teilbericht der Eidgenössischen Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten. (September 1997)*. Bern.
- [89] Wirth, K. (2004). *Lärmstudie 2000. Die Belästigungssituation im Umfeld des Flughafens Zürich*. Aachen: Shaker Verlag.
- [90] Brink, M., Müller, C. H., & Schierz, C. (2006). Contact-free measurement of heart rate, respiration rate, and body movements during sleep. *Behavior Research Methods*, 38(3), 511-521.
- [91] Brink, M., & Lercher, P. (2007). *The effects of noise from combined traffic sources on annoyance: The interaction between aircraft and road traffic noise*. Paper presented at the Internoise 2007, Istanbul, Turkey.

- [92] Brink, M., Wirth, K., & Schierz, C. (2007). *Lärmstudie 2000: Dosiswirkungskurven zur Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Flughafens Zürich (elektronische Daten)*, from http://www.laerm2000.ethz.ch/files/LS2000_DW-Kurven.zip
- [93] Wirth, K., Brink, M., & Schierz, C. (2004). Lärmstudie 2000: Fluglärmbelästigung um den Flughafen Zürich-Kloten. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 51(2), 48-56.
- [94] Oliva, C. (1998). *Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Strassenlärm*. Berlin: Duncker&Humblot.
- [95] Regionales Dialog Forum Flughafen Frankfurt. (2007). *Anti-Lärm-Pakt*. Retrieved 15. Dez. 2008, from http://www.dialogforum-flughafen.de/fileadmin/PDF/Anti-Laerm-pakt/ALP_Vorschlag.pdf
- [96] Schreckenber, D., Basner, M., & Thomann, G. (2008). *Wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbaurverfahrens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindizes für das Regionale Dialogforum Frankfurt (Endbericht)*: IFOK Institut für Organisationskommunikation GmbH, Berliner Ring 89, D-64625 Bensheim.
- [97] Griffiths, I. D., & Raw, G. J. (1985). The Effect of Changes in Aircraft Noise Exposure - Reply. *Journal of Sound and Vibration*, 102(4), 585-587.
- [98] Ortscheid, J. (1996). Daten zur Belästigung der Bevölkerung durch Lärm. Ergebnisse repräsentativer Bevölkerungsumfragen 1984-1995. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 43, 15-23.
- [99] Schweizerische Eidgenossenschaft. (1994). *Verordnung über die Infrastruktur der Luftfahrt (LSV) [SR 814.41]*. Retrieved 20 January 2009, 2009, from <http://www.admin.ch/ch/d/sr/7/748.131.1.de.pdf>
- [100] Griefahn, B., Marks, A., & Robens, S. (2008). *Temporally limited nocturnal curfews to prevent noise induced sleep disturbances*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.
- [101] Wehrli, B., Hauser, S., Egli, H., Bakke, P., & Grandjean, E. (1978). *Wohnen im Neubau*. Bern: Paul Haupt Verlag.
- [102] Soziologisches Institut der Universität Zürich. (1980). *Zur Begrenzung der Lärmbelastung: Sozio-psychologische Untersuchungen zur Begrenzung von Eisenbahn-, Strassen und Rangierlärm. Vergleich der Störwirkungen von Eisenbahn- und Strassenlärm unter konstanten Bedingungen. Zusammenfassender Schlussbericht*.
- [103] Oliva, C. (1993). *Wirkung der Strassenlärmbelastung während des Tages. Bericht 2 der Lärmstudie 90*. Schlieren: Büro für soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung.
- [104] Schweizerischer Nationalfonds. (ohne Datierung (ca. 1994)). (Broschüre) Lärmstudie 90. Lärmbelastung im Umfeld der Landeflughäfen Genf-Cointrin und Zürich [Projekt-nummer 4026-28233].
- [105] Brink, M., & Schierz, C. (2007). *Review und erweiterter Berechnungsvorschlag zum Zürcher Fluglärm-Index ZFI (Version 2.03)*: ETH Zürich, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften.
- [106] Felscher-Suhr, U., Schreckenber, D., & Möhler, U. (2005). *Tageszeitsbezogene Belästigung durch Strassen- und Schienenverkehrslärm - Methode und empirische Ergebnisse*, from <http://www.verkehrslaermwirkung.de/05UFS2206.pdf>

- [107] Schreckenber, D., & Guski, R. (2005). Lärmbelästigung durch Strassen- und Schienenverkehr zu unterschiedlichen Tageszeiten. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*, 10(2), 67-76.
- [108] Hofmann, R. (2006). *ZFI - Ein Zürcher Fluglärmindex? Machbarkeitsstudie im Auftrag des Amts für Verkehr des Kt. Zürich*. Wallisellen: Robert Hofmann.
- [109] Plüss, K. (2007). *Öffentliche Interessen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Flughäfen. Mit besonderer Berücksichtigung von luftverkehrsbedingten Eingriffen in das Eigentum im Bereich des Flughafens Zürich*.
- [110] Meier, U. (2004). Das Schlafverhalten der deutschen Bevölkerung – eine repräsentative Studie. *Somnologie*, 8(3), 87-94.
- [111] Knutson, K. L., & Lauderdale, D. S. (2007). Sleep Duration and Overweight in Adolescents: Self-reported Sleep Hours Versus Time Diaries. *Pediatrics*, 119(5), e1056-1062.
- [112] Renfrew, J. W., Pettigrew, K. D., & Rapoport, S. I. (1987). Motor activity and sleep duration as a function of age in healthy men. *Physiol Behav*, 41(6), 627-634.
- [113] U.S. Bureau of Labour Statistics. (2006). *American Time Use Survey 2006 - Microdata Files*. Retrieved 01/29/2008, from http://stats.bls.gov/tus/datafiles_2006.htm
- [114] Ministry of Internal Affairs and Communications - Statistics Bureau. (2006). *Survey on Time Use and Leisure Activities*. Retrieved 01/29/2008, from <http://www.stat.go.jp/english/data/shakai/2006/jitai-a/jitai-a.htm>
- [115] Taillard, J., Philip, P., & Bioulac, B. (1999). Morningness/eveningness and the need for sleep. *Journal of Sleep Research*, 8(4), 291-295.
- [116] Wittmann, M., Dinich, J., Merrow, M., & Roenneberg, T. (2006). Social jetlag: misalignment of biological and social time. *Chronobiol Int*, 23(1-2), 497-509.
- [117] Schomer, P. D. (1983). Time of Day Noise Adjustments or Penalties. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73(2), 546-555.
- [118] Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., & Gidlof-Gunnarsson, A. (2008). *Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.
- [119] Marks, A., Griefahn, B., & Basner, M. (2008). Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise. *Noise Control Engineering Journal*, 56(1), 52-62.
- [120] Spreng, M. (1998). Kritische Betrachtung des Schienenbonus anhand hörphysiologischer/medizinischer Fakten. In *Tagungsband Fachseminar Schienenlärm. Ist der Schienenbonus noch zeitgemäss? 17.10.1997*: Institut für ökologische Strategien.
- [121] Spreng, M. (1980). Objectification of the Effect of Fast Am-Modulation and Fm-Modulation and of Noise-Induced Peripheral High-Speed Threshold Shift. *Acustica*, 46(1), 105-110.
- [122] Basner, M., Elmenhorst, D., Maass, H., Müller, U., Quehl, J., & Vejvoda, M. (2008). *Single and combined effects of air, road and rail traffic noise on sleep*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.

- [123] Basner, M., Isermann, U., & Samel, A. (2005). Die Ergebnisse der DLR-Studie und ihre Umsetzung in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 52(4).
- [124] Basner, M., Buess, H., Elmenhorst, D., Gerlich, A., Luks, H., Maass, H., et al. (2004). *Nachtfluglärmwirkungen Band 1 Zusammenfassung (DLR Forschungsbericht 2004-07/D)*. Köln.
- [125] Basner, M., Isermann, U., & Samel, A. (2005). *Lärmmedizinische Stellungnahme zum geplanten Aus- und Neubau des Flughafens Leipzig/Halle*. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.
- [126] Health Council of the Netherlands. (2004). *The Influence of night-time Noise on Sleep and Health (pub no. 2004/14E)*. The Hague: Health Council of the Netherlands.
- [127] Ising, H., & Maschke, C. *Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm*. Retrieved 20 Jan, 2009, from www.aefusch.de/literatur/laerm.pdf
- [128] Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Ohrstrom, E., et al. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet*, 365(9475), 1942-1949.
- [129] Hygge, S., Evans, G. W., & Bullinger, M. (2002). A Prospective Study of Some Effects of Aircraft Noise on Cognitive Performance in Schoolchildren. *Psychological Science*, 13(5), 469-474.
- [130] Felscher-Suhr, U., Guski, R., & Schuemer, R. (2000). Internationale Standardisierungsbestrebungen zur Erhebung von Lärmbelästigung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 47(2), 68-70.
- [131] Banks, S., & Dinges, D. F. (2007). Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *J Clin Sleep Med*, 3(5), 519-528.
- [132] Rechtschaffen, A., & Kales, A. (1968). *A manual of standardised terminology, techniques and scoring system of sleep stages of human subjects*. Bethesda, MD: U.S. Department for Health, Education and Welfare. Public Health service.
- [133] Iber, C., Angerer, P., Chesson, A., & Quan, S. F. (2007). *The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications (1st edition)*. Westchester, Illinois: American Academy of Sleep Medicine.
- [134] Griefahn, B. (1990). Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 37, 7-14.
- [135] Maschke, C., Druba, M., & Pleines, F. (1997). *Kriterien für schädliche Umwelteinwirkungen: Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm - eine Literaturübersicht, Forschungsbericht 97-10501213/07*. Berlin: Umweltbundesamt.
- [136] Basner, M., & Samel, A. (2005). Effects of nocturnal aircraft noise on sleep structure. *Somnologie*, 9(2), 84-95.
- [137] Brink, M., Schierz, C., Basner, M., Samel, A., Spreng, M., Scheuch, K., et al. (2006). *Bericht zum Workshop "Aufwachwahrscheinlichkeit": Bestimmung lärminduzierter Aufwachwahrscheinlichkeiten in der Nachtlärmwirkungsforschung und Anwendung entsprechender Wirkungsmodelle für Prognosezwecke [in German]*. Retrieved 6 January 2008, from <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=485>

- [138] Griefahn, B., Jansen, G., & Klosterkötter, W. (1976). Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen - eine Auswertung von Schlafliteratur (Vol. 4). Berlin: Umweltbundesamt Berichte 4/76.
- [139] Jansen, G., Linnemeier, A., & Nitsche, M. (1995). Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 42, 91-106.
- [140] Maschke, C., Hecht, K., & Wolf, U. (2001). Nächtliches Erwachen durch Fluglärm. Beginnen Aufwachreaktionen bei Maximalpegeln von 60 Dezibel(A)? *Bundesgesundheitsblatt*(44), 1001-1010.
- [141] Ollerhead, J. B., Jones, C. J., Cadoux, R. E., Woodley, A., Atkinson, B. J., Horne, J. A., et al. (1992). *Report of a Field Study of Aircraft Noise and Sleep Disturbance*. London: Department of Safety, Environment and Engineering.
- [142] Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health*, 10(38), 27-33.
- [143] van Kempen, E. E., Kruize, H., Boshuizen, H. C., Ameling, C. B., Staatsen, B. A., & de Hollander, A. E. (2002). The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environ Health Perspect*, 110(3), 307-317.
- [144] Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Katsouyanni, K., Velonakis, M., Cadum, E., et al. (2008). *Hypertension and exposure to noise near airports - results of the HYENA study*. Paper presented at the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT.
- [145] Babisch, W. (2006). Transportation Noise and Cardiovascular Risk: Updated Review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise & Health*, 8, 1-29.
- [146] Babisch, W. (2006). *Transportation Noise and Cardiovascular Risk*, from <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2997.pdf>
- [147] Bundesamt für Umwelt. (2002). *Lärmbekämpfung in der Schweiz. Stand und Perspektiven [Schriftenreihe Umwelt Nr. 329]*. Bern: BAFU.
- [148] Steinebach, G., & Rumberg, M. (2003). Raumplanerische Fragestellungen an die Gesamtgeräuschbetrachtung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 50(3), 82-87.
- [149] Notbohm, G. (2008). Die Erfassung individueller Unterschied im Erleben der akustischen Umwelt. *Lärmbekämpfung*, 3(3), 122-129.
- [150] Ortscheid, J., & Wende, H. (2006). Lärmbelastigung in Deutschland. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 53(1), 24-30.
- [151] Ortscheid, J., & Wende, H. (2001). Lärmwirkungen und Lärmsummation. Lärmwirkungen bei mehreren und verschiedenartigen Quellen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 48(2), 75-77.
- [152] Weber, R., & Schulte-Fortkamp, B. (1996). *Literaturstudie zur Gesamtgerauschbewertung. Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, FB 8 Physik, AG Akustik/Psychoakustik*. München.
- [153] Taylor, S. M. (1982). A Comparison of Models to Predict Annoyance Reactions to Noise from Mixed Sources. *Journal of Sound and Vibration*, 81(1), 123-138.

- [154] Miedema, H. (2004). Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116(2), 949-957.
- [155] Rice, C. G., & Izumi, K. (1986). Factors affecting the annoyance of combinations of noise sources. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 8, 325-332.
- [156] Cremezi, C., Gautier, P.-E., Lambert, J., & Champelovier, P. (2001). *Annoyance due to combined noise sources: advanced results*. Paper presented at the 17th ICA International Commission for Acoustics International Congress on Acoustics, Rome, Italy.
- [157] Ronnenbaum, T., Schulte-Fortkamp, B., & Weber, R. (1996). *Synergetic effects of noise from different sources : A literature study*. Paper presented at the Internoise 1996, Liverpool, UK.
- [158] Miedema, H. (1987). Annoyance from combined noise sources. In H. S. Koelega (Ed.), *Environmental Annoyance: Characterization, Measurement, and Control* (pp. 313-320). Amsterdam: Elsevier.
- [159] Fields, J. M. (1998). Reactions to environmental noise in an ambient noise context in residential areas. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(4), 2245-2260.
- [160] *TA Lärm*. Retrieved 08 Jan 2008, from <http://www.dflde.de/Link.php?URL=Archiv/TALaerm/TALaerm.htm>
- [161] Zäch, C., & Wolf, R. (2000). Kommentar zum Umweltschutzgesetz. In H. Keller (Ed.), *Vereinigung für Umweltrecht*. Zürich.