

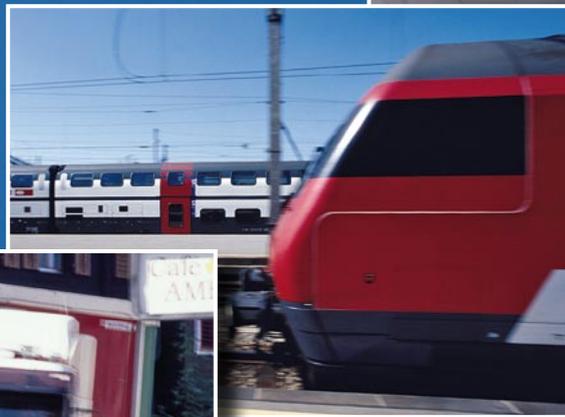


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKLB
Commission fédérale pour la lutte contre le bruit CFLB
Commissione federale per la lotta contro il rumore CFLR
Cumissiun federala per il cumbat cunter la canera CFCC

Forschungskonzept Lärm

Handlungsbedarf zur Aktualisierung der Grundlagen für die Lärmbeurteilung



Forschungskonzept Lärm

Handlungsbedarf zur Aktualisierung der Grundlagen für die Lärmbeurteilung

1. Oktober 2010

Impressum

Autor: EKL
Titel: Forschungskonzept Lärm
Untertitel: Handlungsbedarfs zur Aktualisierung der Grundlagen für die Lärmbeurteilung
Ort: Bern
Jahr: 2010

Begleitgruppe

Tommaso Meloni (Projektleitung, Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung)

Peter Ettler (Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung)

Beat Marty (Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung)

Projektteam

Ecoplan

Heini Sommer (Gesamtprojektleitung)

Sarah Werner

Robert Hofmann (Projektleitung Grundlagenpapier Geschichte)

Büro für Gesetzgebung

Christoph Zäch † (Projektleitung Inputpapier Recht)

Planteam GHS AG

Reto Höin (Projektleitung Inputpapier Technik & Betrieb)

Bruno Buchmann

EMPA, Abteilung Akustik / Lärminderung

Kurt Eggenschwiler (Projektleitung Inputpapier Akustik ab 1.1.2009)

Georg Thomann (Projektleitung Inputpapier Akustik bis Ende 2008)

ETH Zürich, MTEC Public and Organizational Health

Mark Brink (Projektleitung Inputpapier Lärmwirkung)

Vorwort

Die Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung (EKLB) hat unter anderem den Auftrag, das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation in wissenschaftlichen Fragen zu den Auswirkungen des Lärms auf Gesundheit und Wohlbefinden der Bevölkerung zu beraten. Die EKLB soll insbesondere Methoden für die Beurteilung von Lärmeinwirkungen entwickeln und Belastungsgrenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vorschlagen. Die dafür notwendigen wissenschaftlichen Untersuchungen hat die EKLB für sämtliche heute in der Lärmschutz-Verordnung (LSV) verankerten Grenzwerte vorgenommen. Die ersten Empfehlungen stammen aus dem Jahr 1979 und betreffen den Strassenlärm. Zuletzt hat die EKLB die Grundlagen für die Beurteilung des Lärms von militärischen Anlagen erarbeitet.

Der Auftrag, Grundlagen für die Beurteilung von Lärmeinwirkungen zu erarbeiten, umfasst auch den Auftrag, sicherzustellen, dass diese Grundlagen stets dem aktuellen Stand der Wissenschaft und der Erfahrung entsprechen. Seit den Empfehlungen der Kommission aus den 1970er Jahren hat sich nun zum einen die Lärmwirkungsforschung stark entwickelt. Zum andern ist Kritik an den heutigen Grenzwerten aufgekommen, speziell an denjenigen für Eisenbahnlärm und Fluglärm. Zu vermuten ist schliesslich, dass sich die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung, insbesondere der Schlaf-Wachrhythmus seit den 1970er und 1980er Jahren stark verändert haben.

Die Ziele der Lärmbekämpfung sind noch nicht erreicht. Um den gesetzlich geforderten Schutz der Bevölkerung vor Lärm zu erreichen, sind künftig zusätzliche technische Massnahmen unmittelbar an den Lärmquellen nötig, unterstützt mit Lenkungs- und Fördermechanismen. Auch mit diesem veränderten Fokus bleibt es das Ziel, die Bevölkerung vor erheblichen Störungen im Wohlbefinden zu schützen. Es braucht somit auch in Zukunft ein Lärmbeurteilungssystem, das dem aktuellen Stand des Wissens entspricht.

Diese Elemente und die entsprechenden Forschungserkenntnisse der Mitglieder der EKLB selbst haben die Kommission schliesslich dazu bewogen, vertieft zu untersuchen, ob die Grundlagen der heute gültigen Grenzwerte noch aktuell sind, um wissenschaftlich fundierte Aussagen über die Störwirkung von Lärm zu machen. Gestützt auf die in diesem Bericht dokumentierten Arbeiten eines interdisziplinären Expertenteams kommt die EKLB zum Ergebnis, dass aus wissenschaftlicher Sicht heute Handlungsbedarf besteht, die Grundlagen der Empfehlungen der EKLB insbesondere zu den Verkehrslärmarten zu aktualisieren.

Die Aktualisierung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Beurteilung von Lärm wird mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Sie stellt die heute geltenden Immissionsgrenzwerte nicht in Frage. Wie sich die Aktualisierung letztlich auf den zukünftigen Stand der Wissenschaft und damit allenfalls auf die bestehende Regelung der LSV auswirken wird, kann heute nicht abgeschätzt werden. Die laufenden Anstrengungen zur Lärmbekämpfung sollen deshalb zielgerichtete weiter geführt werden.

Prof. Dr. iur. Anne-Christine Favre, Präsidentin der EKLB

Das Wichtigste auf drei Seiten

Ausgangslage und Motivation

In den 1980er Jahren wurden das Umweltschutzgesetz USG und die Lärmschutz-Verordnung LSV in Kraft gesetzt, unter anderem mit dem Ziel, die Bevölkerung vor schädlichem oder lästigem Lärm zu schützen. Für die Beurteilung der Schädlichkeit und Lästigkeit, sind in der LSV Immissionsgrenzwerte für den Strassen- und Schienenverkehr festgelegt worden, später folgten auch solche für den zivilen Flugverkehr und für weitere Lärmarten. Die Immissionsgrenzwerte sind nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung so festgelegt, dass Lärm unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stört.

Seit der Festlegung der Immissionsgrenzwerte hat sich das Verkehrsaufkommen enorm entwickelt. Die Verkehrsmenge nahm stark zu und die Zusammensetzung der Fahrzeuge, deren spezifischen Lärmemissionen sowie die tageszeitliche Verteilung des Verkehrsaufkommens haben sich stark verändert. Die in der Lärmschutz-Verordnung gewählte Tag-Nacht-Abgrenzung entspricht nicht mehr notwendigerweise dem heutigen Schlaf-Wach-Rhythmus. Zudem lassen neuere Untersuchungen vermuten, dass sich die Bevölkerung vom Lärm bei gleichen Schallpegeln in der Tendenz stärker gestört fühlt.

Die Ziele der Lärmbekämpfung sind noch nicht erreicht. Bisher konzentrierte sich der Vollzug der Lärmschutz-Verordnung auf Massnahmen im Ausbreitungsweg (Lärmschutzwände) und auf den Einbau von Schallschutzfenstern. Um den gesetzlich geforderten Schutz der Bevölkerung vor Lärm zu erreichen, sind künftig zusätzliche technische Massnahmen unmittelbar an den Lärmquellen nötig, unterstützt mit Lenkungs- und Fördermechanismen. Auch mit diesem veränderten Fokus bleibt es das Ziel, die Bevölkerung vor erheblichen Störungen im Wohlbefinden zu schützen. Es braucht somit auch in Zukunft ein Lärmbeurteilungssystem, das dem aktuellen Stand des Wissens entspricht.

Eine Aktualisierung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Beurteilung von Lärm stellt die heute geltenden Immissionsgrenzwerte nicht in Frage. Wie sich die Aktualisierung der Grundlagen letztlich auf den zukünftigen Stand der Wissenschaft und damit allenfalls auf die bestehende Regelung der LSV auswirken wird, kann heute nicht abgeschätzt werden. Diesem Aspekt wird in der Kommunikation kommender Forschungsarbeiten grosses Gewicht beizumessen sein, um die zielgerichtete Fortführung der heutigen Anstrengungen zur Lärmbekämpfung nicht zu behindern.

Fragestellung

Um auch künftig die Effektivität und Effizienz von neuen Lärmschutz-Massnahmen störungsgerecht beurteilen zu können, braucht es weiterhin ein Lärmbeurteilungssystem, das dem aktuellen Stand des Wissens entspricht. Vor diesem Hintergrund will die Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKLB im Einvernehmen mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU die Frage prüfen, ob ein wissenschaftlich begründeter Handlungsbedarf für eine Über-

prüfung resp. Aktualisierung der Grundlagen für die Lärmbeurteilung im allgemeinen und der Immissionsgrenzwerte im speziellen besteht.

Methodisches Vorgehen

Die aufgeworfene Frage betrifft verschiedenste Aspekte des Lärmumfelds, vom Ausmass der Lärmbelastung, ihrer akustischen Beschreibung mittels Lärmbeurteilungsmassen bis hin zu den Auswirkungen bei den lärmbeeinträchtigten Personen in Form von Belästigung, Störung, Krankheitsfolgen und sozialen Einschränkungen. Für die Analyse dieses breiten Spektrums wurden von einem interdisziplinären Forschungsteam insgesamt 21 Leitfragen definiert. Die einzelnen Fragen wurden in fünf fachspezifischen Inputpapieren im Detail analysiert. Dabei wurde insbesondere geprüft, welche Änderungen und neuen Erkenntnisse sich seit der Festlegung der Immissionsgrenzwerte ergeben haben und ob diese neuen Informationen einen Handlungsbedarf begründen. Die Ergebnisse dieser Analyse wurden mit nationalen und internationalen Expertinnen und Experten (vgl. Anhang A) in einem Workshop eingehend diskutiert und gefestigt.

Ergebnisse

In der nachstehenden Tabelle (Seite 6) sind die zentralen Ergebnisse zusammengefasst. Bei insgesamt 8 der 21 Leitfragen wird vom Projektteam ein grosser Handlungsbedarf identifiziert.

Gross ist der Handlungsbedarf in der **Dimension Lärmwirkung**:

- Es gibt verschiedene Hinweise, dass die Belastungs-Wirkungsbeziehungen, welche den Grenzwertfestlegungen zugrunde liegen, sich im Laufe der Zeit verändert haben, so dass – am besten ist dies beim Fluglärm belegt – die Belästigung bei gegebenem Pegel heute grösser ist als früher. (→ Leitfrage W 1)
- Die damaligen empirischen Grundlagen, welche in die Festlegung der Immissionsgrenzwerte eingeflossen sind, sind insgesamt und insbesondere aus heutiger Sicht als kaum ausreichend anzusehen. (→ Leitfrage W 2)
- Die in der Lärmschutz-Verordnung vorgenommene Abgrenzung zwischen Tag (6-22 Uhr) und Nacht (22-6 Uhr) entspricht nicht (mehr) dem heutigen Aktivitätsmuster der Bevölkerung. (→ Leitfrage W 4)
- Bezüglich des Umgangs mit der Kombinationslärmwirkung besteht ein grosser Forschungsbedarf. Weder ist bekannt, wie der Lärm von mehreren Quellen erfasst werden soll, noch besteht ausreichende Kenntnis über die lästigen oder schädlichen Einwirkungen von Kombinationslärm. (→ Leitfrage W 7)
- Darüber hinaus ist zu beachten, dass neben der Belästigung noch weitere Wirkungsdimensionen wie zum Beispiel die Gesundheit in die Grenzwertfestlegung einbezogen werden müssen. So kann zum Beispiel im Schlaf kein Belästigungsurteil gebildet werden, trotzdem kann der Lärm gesundheitliche Folgen nach sich ziehen.

In der **Dimension Technik & Betrieb** wird bei einer Frage zum Strassenverkehr (T&B 1) und bei zwei Fragen zum Schienenverkehr (T&B 4, 6) grosser Handlungsbedarf geortet:

- Beim **Strassenverkehr** führt vor allem die grosse Zunahme des Verkehrs auf sehr stark frequentierten Strassen zu einer permanenten und auch in der Nacht kaum abnehmenden Lärmbelastung. Es wird vermutet, dass die damit einhergehende Belästigung bzw. Störung der Bevölkerung durch die alleinige Zunahme des Beurteilungspegels nicht ausreichend berücksichtigt wird. Daher ist möglicherweise eine separate Störungskorrektur für sehr stark und permanent frequentierte Strassen erforderlich.
- Beim **Schieneverkehr** wirft die grosse Zunahme der Zugsdichte die Frage auf, ob der Schienenbonus gegenüber dem Strassenverkehr noch gerechtfertigt ist. Zudem führen der hohe Anteil des Güterverkehrs in der Nacht und die zunehmenden Zugslängen zur Frage, ob die Berechnung der Pegelkorrektur noch angemessen ist, da sie in der heutigen Form die Züge in der Nacht gegenüber jenen tags bevorteilt, solange deren Anzahl im jeweiligen Zeitraum kleiner als 79 ist.

In der Dimension **Akustik** gibt es nur bei der Leitfrage (A 4) einen grossen Handlungsbedarf. Dieser ist darauf zurückzuführen, dass in einigen früheren nationalen Untersuchungen zur Ermittlung von Belastungs-Wirkungsbeziehungen die Lärmimmissionen nicht am Ort der Befragten gemessen, sondern wegen Budgetbeschränkung berechnet wurden. In der Zwischenzeit hat sich herausgestellt, dass einzelne der dafür eingesetzten Lärmberechnungsmodelle die Lärmbelastung insbesondere in der Nacht systematisch unterschätzt haben.

In der Dimension **Recht** wurden die rechtlichen Anforderungen an die Festlegung von Immissionsgrenzwerten für Lärm untersucht, ein unmittelbarer Handlungsbedarf hat sich jedoch nicht ergeben. Die Menschen sind auch zukünftig vor lästigen oder schädlichen Einwirkungen zu schützen.

Fazit

Das Projektteam und die EKLB empfehlen, die empirischen Grundlagen der Lärmbeurteilung insbesondere der Lärmwirkung (Belästigung, Störung, medizinische und soziale Auswirkungen) der Schweizer Bevölkerung zu aktualisieren.

Handlungsbedarf zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm (Tabelle 4-1, S. 54)

Dimen- sion	Leitfrage	Handlungsbedarf*		Anzahl Experten- Antworten
		Projekt- team	Experten- Ø	
Technick & Betrieb		* 0: keiner; 1: klein; 2: mittel; 3: gross		
T&B 1	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Strassenverkehr und insbesondere auf den Autobahnen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	3	2.5	(4)
T&B 2	Wie hat sich beim Strassenverkehr die Emission in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	1	1.6	(5)
T&B 3	Wie hat sich beim Strassenverkehr die tageszeitliche Verteilung in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2	1.8	(5)
T&B 4	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Schienenverkehr, insbesondere auf den Hauptstrecken, in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	3	2.4	(5)
T&B 5	Wie haben sich die Emissionen des Rollmaterials im Schienenverkehr in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2	1.8	(5)
T&B 6	Wie hat sich der tageszeitliche Verlauf des Schienenverkehrs in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	3	2.8	(5)
T&B 7	Wie haben sich die Flugbewegungen im Bereich der Flughäfen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lauten die Prognosen?	1	1.2	(6)
T&B 8	Wie hat sich beim Flugverkehr die Emission in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	1	0.7	(6)
T&B 9	Wie hat sich in den letzten 25 Jahren die tageszeitliche Verteilung des Flugverkehrs entwickelt?	1	2.2	(5)
Akustik		* 0: keiner; 1: klein; 2: mittel; 3: gross		
A 1	Genügt das Konzept der Beurteilungspegel als Summe eines Mittelungspegels und einer oder mehrerer Korrekturen, um die Beeinträchtigung durch Lärm (Belästigung, Schlafstörung, Gesundheitsgefährdung) angemessen abbilden zu können?	1	1.6	(5)
A 2	Ist der von der LSV gewählte Geltungsort der Immissionsgrenzwerte aus akustischer Sicht geeignet, die Störwirkung beim Lärmbetroffenen zu erfassen?	1	0.0	(3)
A 3	Haben sich die technischen Möglichkeiten der akustischen Messung seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	2	1.6	(5)
A 4	Haben sich die methodischen Ansätze und die Möglichkeiten in der akustischen Simulationstechnik (Berechnung der Lärmbelastung) seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	3	2.8	(5)
A 5	Messungen und Berechnungen sind mit quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Welchen Stellenwert haben diese Unsicherheiten bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte?	2	1.2	(6)
Lärmwirkung		* 0: keiner; 1: klein; 2: mittel; 3: gross		
W 1	Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Laufe der Zeit stattgefunden, und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	3	2.9	(8)
W 2	Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?	3	2.9	(7)
W 3	Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	1	1.4	(8)
W 4	Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	3	3.0	(8)
W 5	Sind alle in der LSV behandelten Quellen akustisch ausreichend beschrieben?	2	2.1	(7)
W 6	Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll?	2	2.4	(8)
W 7	Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?	3	2.8	(8)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Das Wichtigste auf drei Seiten	3
Inhaltsverzeichnis	7
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage und Motivation	9
1.2 Zielsetzung	10
1.3 Methodisches Vorgehen	11
1.4 Inhalt und Aufbau des Syntheseberichts	13
2 Grundlagen	14
2.1 Lärm: Was ist das und wie wird er gemessen?	14
2.2 Die heute geltenden Immissionsgrenzwerte für Lärm.....	15
2.3 Der geschichtliche Werdegang der Lärmgrenzwerte.....	17
2.4 Anforderungen an die Immissionsgrenzwerte für Lärm aus rechtlicher Sicht	25
3 Handlungsbedarf	28
3.1 Technik & Betrieb	28
3.1.1 T&B 1-3: Wie haben sich im Strassenverkehr die Verkehrsmengen, die Lärmemissionen und tageszeitliche Verteilung entwickelt und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	29
3.1.2 T&B 4-6: Wie haben sich im Eisenbahnverkehr die Verkehrsmengen, die Lärmemissionen und die tageszeitliche Verteilung entwickelt und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	30
3.1.3 T&B 7-9: Wie haben sich im Flugverkehr die Verkehrsmengen, die Lärmemissionen und die tageszeitliche Verteilung entwickelt und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	32
3.1.4 Gesamtbeurteilung aus Sicht Technik & Betrieb	33
3.2 Akustik.....	35
3.2.1 A 1: Genügt das Konzept der Beurteilungspegel als Summe eines Mittelungspegels und einer oder mehrerer Korrekturen, um die Beeinträchtigung durch Lärm (Belästigung, Schlafstörung, Gesundheitsgefährdung) angemessen abbilden zu können?.....	35
3.2.2 A 2: Ist der von der LSV gewählte Geltungsort der Immissionsgrenzwerte aus akustischer Sicht geeignet, die Störwirkung beim Lärmbetroffenen zu erfassen?	36
3.2.3 A 3: Haben sich die technischen Möglichkeiten der akustischen Messung seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	36
3.2.4 A 4: Haben sich die methodischen Ansätze und die Möglichkeiten in der akustischen Simulationstechnik (Berechnung der Lärmbelastung) seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	37

3.2.5	A 5: Messungen und Berechnungen sind mit quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Welchen Stellenwert haben diese Unsicherheiten bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte?	39
3.2.6	Gesamtbeurteilung aus Sicht Akustik	40
3.3	Lärmwirkung.....	40
3.3.1	W 1: Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Laufe der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	41
3.3.2	W 2: Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?	44
3.3.3	W 3: Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	46
3.3.4	W 4: Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	46
3.3.5	W 5: Sind alle in der LSV behandelten Quellen akustisch ausreichend beschrieben?	47
3.3.6	W 6: Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll?	49
3.3.7	W 7: Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?	50
3.3.8	Gesamtbeurteilung aus Sicht Lärmwirkung	50
4	Zusammenfassung und Empfehlung	52
4.1	Zusammenfassender Überblick über den Handlungsbedarf	52
4.2	Gewichtung des Handlungsbedarfs	56
4.3	Empfehlung zum weiteren Vorgehen.....	58
5	Anhang: Teilnehmer des Expertenworkshops.....	60
	Begleitgruppe EKLB und BAFU	60
	Experten	60
	Bearbeitendes Projektteam	60
	Literaturverzeichnis	61

Lesehinweis

Die vorliegende Synthese richtet sich an eine breite Leserschaft und nicht in erster Linie an das Fachpublikum. Zugunsten der einfachen Lesbarkeit wird daher weitgehend auf fachspezifische Erläuterungen zur Akustik, zur Methodik der Lärmwirkungsforschung sowie zu den Datenquellen verzichtet und die Ausführungen konzentrieren sich auf die Darstellung der Ergebnisse und ihre Interpretation.

Besonders interessierte Leserinnen und Leser, die mehr über die Herleitung der Ergebnisse erfahren möchten, seien auf die im Literaturverzeichnis erwähnten, wissenschaftlichen Grund- bzw. Inputpapiere zu den untersuchten Dimensionen Geschichte, Recht, Technik & Betrieb, Akustik sowie Lärmwirkung verwiesen.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Motivation

Eine grosse Zahl von Menschen wird durch Lärm in ihrem Wohlbefinden gestört, dies vor allem durch den Verkehrslärm auf Strasse, Schiene und in der Luft. Bereits in den 1960er-Jahren gab es daher erste Bestrebungen, die Menschen vor übermässiger verkehrsbedingter Lärmbelastung zu schützen. Der eigentliche Durchbruch bei der Lärmbekämpfung wurde in den 1980er-Jahren erreicht. Mit Artikel 74 der Bundesverfassung und dem späteren Erlass des Umweltschutzgesetzes (USG) im Jahr 1985 wurde die rechtliche Basis für die noch heute geltende Zielsetzung geschaffen, wonach die Menschen vor schädlichem oder lästigem Lärm zu schützen sind. Dabei gilt Lärm dann als schädlich oder lästig, wenn die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden erheblich gestört wird. Die Schwelle der Schädlichkeit oder Lästigkeit wurde in der Lärmschutz-Verordnung von 1987 konkretisiert, indem insbesondere für den Lärm von Strassen und Eisenbahnen verbindliche Immissionsgrenzwerte für die Lärmbelastung festgelegt wurden.

In der Folge wurden verschiedene Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor übermässiger Lärmbelastung ergriffen. Hauptsächlich konzentrierte sich der Vollzug der Lärmschutz-Verordnung auf Massnahmen im Ausbreitungsweg (Lärmschutzwände) und auf den Einbau von Schallschutzfenstern. Neuere Publikationen zeigen nun, dass trotz der umfangreichen Massnahmen die Lärmbelastung durch den Verkehr, insbesondere durch den Strassenverkehr, gesamtschweizerisch nach wie vor zu erheblichen Beeinträchtigungen im Wohlbefinden der Bevölkerung führen. Es erscheint daher zurzeit eher fraglich, ob das Schutzziel des USG mit den bisherigen Massnahmen umfassend erreicht werden kann. Um den gesetzlich geforderten Schutz der Bevölkerung vor Lärm zu erreichen, sind künftig zusätzliche technische Massnahmen unmittelbar an den Lärmquellen nötig, unterstützt mit Lenkungs- und Fördermechanismen. Um der Bevölkerung ihre Handlungsoptionen – jeder kann gleichsam Lärmbe-lästigter wie auch Lärmverursacher sein – gezielt bekannt zu machen, sind auch Informationen nützlich.

Auch mit dem verstärkten Fokus auf technische Massnahmen, Fördermechanismen und Informationen, bleibt aber der Grundsatz unangetastet, dass die Bevölkerung vor erheblichen Beeinträchtigungen zu schützen ist. Um auch künftig die Effektivität und Effizienz von neuen Lärmschutz-Massnahmen störungsgerecht beurteilen zu können, braucht es somit weiterhin ein Lärmbeurteilungssystem, das dem aktuellen Stand des Wissens entspricht. Diesbezüglich haben sich seit der Festlegung der Immissionsgrenzwerte Entwicklungen ergeben, die Fragen aufwerfen. Beispielsweise hat das Verkehrsaufkommen nicht nur mengenmässig stark zugenommen, sondern die Verkehrsleistung hat sich auch in ihrer Zusammensetzung (Personen- und Güterverkehr), dem tageszeitlichen Verlauf sowie weiteren lärmrelevanten Eigenschaften (z.B. Tonalität) markant verändert. Zudem lassen neuere Untersuchungen vermuten, dass sich die Bevölkerung bei gleichen Schallpegeln in der Tendenz stärker von Lärm gestört fühlt. Auch entspricht die in der Lärmschutz-Verordnung gewählte Tag-Nacht-Abgrenzung nicht mehr notwendigerweise dem heutigen Schlaf-Wach-Rhythmus. Auch das

Bundesgericht hat bereits Kritik an einzelnen Grenzwertfestlegungen angebracht und Rechtswissenschaftler sehen Mängel insbesondere bei den Belastungsgrenzwerten für Flughäfen. Die Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung will deshalb klären, ob die wissenschaftlichen Grundlagen, auf denen die Immissionsgrenzwerte (IGW) beruhen, aktualisiert werden müssen.

Es wird hier mit Nachdruck gesagt, dass eine Aktualisierung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Beurteilung von Lärm die heute geltenden Immissionsgrenzwerte nicht in Frage stellt. Diese sind nach dem heutigen Stand der Wissenschaft und der Erfahrung nach wie vor geeignet, um die Störwirkung von Lärm im Sinne der gesetzlichen Vorgaben korrekt zu beurteilen. Wie sich die Aktualisierung der Grundlagen letztlich auf den zukünftigen Stand der Wissenschaft und damit allenfalls auf die bestehende Regelung der LSV auswirken wird, kann heute nicht abgeschätzt werden. Diesem Aspekt wird in der Kommunikation kommender Forschungsarbeiten grosses Gewicht beizumessen sein, um die zielgerichtete Fortführung der heutigen Anstrengungen zur Lärmbekämpfung nicht zu behindern.

1.2 Zielsetzung

In einer ersten Phase soll geprüft werden, ob sich durch Veränderungen im „Lärmumfeld“ ein **wissenschaftlich begründeter Handlungsbedarf** zur detaillierten Überprüfung der Grundlagen der Lärmbelastungsgrenzwerte ergibt. Konkret sind dabei folgende Fragen zu klären:

- Entsprechen die Grundlagen, auf denen die Festlegung der Immissionsgrenzwerte in den Anhängen 3, 4 und 5 der Lärmschutz-Verordnung (LSV) basieren dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung?
- Welche Anforderungen ergeben sich aus dem Umweltschutzgesetz an die Festlegung der Immissionsgrenzwerte?
- Bilden die Beurteilungspegel die Störwirkung korrekt ab?
- Besteht Handlungsbedarf, diese Zusammenhänge zu überprüfen und neu zu beurteilen?

Die Beantwortung dieser Fragen wird aufgrund einer Analyse ausgewählter bzw. vermuteter Veränderungen (vgl. Abschnitt 1.3) während der vergangenen 25 Jahre vor allem in den Dimensionen

- Technik & Betrieb
- Akustik
- Lärmwirkung (medizinisch-psychologisch)

vorgenommen. Bei den drei Dimensionen wird dabei die zeitliche bzw. historische Komponente im Sinne der damaligen Ausgangslage und der seither eingetretenen Veränderungen mitberücksichtigt. Basierend auf dieser wissenschaftlich fundierten Grundlage wird eine Gesamtbeurteilung vorgenommen und herausgearbeitet, ob aufgrund der Faktenlage in den erwähnten Dimensionen ein Handlungsbedarf zur Überprüfung der Grundlagen für die Lärmbelastungsgrenzwerte gegeben ist oder nicht.

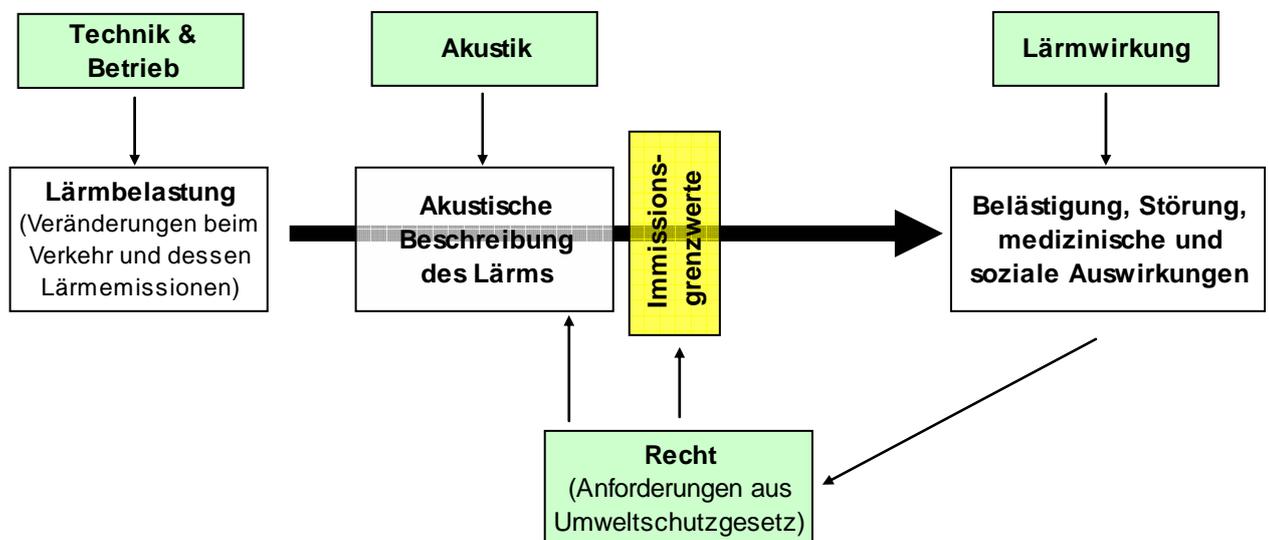
Erst nachdem die Ergebnisse dieser Abklärungen vorliegen, kann die EKLB dem BAFU das weitere Vorgehen vorschlagen. Dabei ist die ganze Spannweite von Projektabbruch – mangels Handlungsbedarf – über punktuelle Abklärungen in Teilbereichen bis zur breiten vertieften Untersuchung des gesamten Wirkungsgefüges.

1.3 Methodisches Vorgehen

Das für die Fragestellung verwendete Untersuchungskonzept ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Im Zentrum des aktuellen Schutzkonzeptes stehen die Immissionsgrenzwerte, welche sicherstellen sollen, dass verbleibende Lärmimmissionen unter diesem Grenzwert die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören. Ausgehend von den rechtlichen Anforderungen an Immissionsgrenzwerte wird die Kette von der Lärmbelastung über die Beschreibung bzw. Erfassung bis zur Wirkung bzw. Belästigung untersucht. Dabei ist zu prüfen, ob sich in einer der drei Dimensionen (Technik & Betrieb, Akustik, Lärmwirkung) und in ihrem gesamthaften Zusammenwirken Veränderungen oder neue Erkenntnisse ergeben haben. Selbstverständlich kann diese Analyse nicht „flächendeckend“ über alle möglichen Fragestellungen in der Belastungs-Wirkungs-Kette erfolgen, sondern muss sich auf ausgewählte Aspekte konzentrieren, die gemäss der eingebrachten Erfahrung des Projektteams, der Experten und Expertinnen und der Auftraggeber in Bezug auf den potenziellen Handlungsbedarf als bedeutsam eingeschätzt werden.

Bei dieser Überprüfung ist insbesondere auch der zeitlichen Komponente Rechnung zu tragen. So ist zu klären, ob sich das Ausmass der Belastung, deren physikalische Erfassung und Ausprägung (z.B. Tag/Nacht) und deren Störwirkung (z.B. aufgrund geänderter gesellschaftliche Wertvorstellungen) über die Zeit verändert hat oder darüber neue Erkenntnisse (z.B. im medizinischen Bereich) vorliegen.

Abbildung 1-1: Von der Lärmbelastung zur Belästigung



Ausgehend von diesem Untersuchungskonzept wurden die Arbeiten in vier Schritte gegliedert:

- In einem **ersten Arbeitsschritt** wurden pro Untersuchungsdimensionen ausgewählte Themenbereiche und Fragen zusammengestellt, welche sich möglicherweise seit der Festlegung der Immissionsgrenzwerte verändert haben und potenziell einen Handlungsbedarf zur Überprüfung der Grundlagen auslösen könnten. Basierend darauf wurden 21 Leitfragen identifiziert.
- Die Analyse und Beantwortung dieser Leitfragen erfolgte in einem **zweiten Arbeitsschritt** durch die jeweils verantwortlichen Projektpartner. Die Ergebnisse mit einer Einschätzung des Handlungsbedarfs pro Leitfrage wurden in folgenden separaten Papieren zusammengefasst:
 - R. Hofmann (2009), Grundlagenpapier: Der geschichtliche Werdegang der Lärmgrenzwerte
 - Büro für Gesetzgebung (C. Zäch) (2009), Inputpapier 1: Recht
 - Planteam (R. Höin, B. Buchmann) (2009), Inputpapier 2: Technik & Betrieb
 - EMPA (R. Bütikofer, K. Eggenschwiler, K. Heutschi, G. Thomann, J.M. Wunderli) (2009), Inputpapier 3: Akustik
 - ETH Zürich MTEC Public & Organizational Health (M. Brink) (2009), Inputpapier 4: Lärmwirkung
- Im **dritten Arbeitsschritt** wurden die Erkenntnisse an einem ganztägigen Workshop mit nationalen und internationalen Experten und Expertinnen¹ diskutiert. Zudem wurde von den Experten und Expertinnen pro Leitfrage eine eigene Einschätzung zum Handlungsbedarf und zur Relevanz hinsichtlich einer Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Festlegung der Immissionsgrenzwerte vorgenommen. Die Erkenntnisse aus dem Workshop sind in die Finalisierung der Inputpapiere eingeflossen.
- Im **vierten Arbeitsschritt** wurde der vorliegende Synthesebericht erstellt. Er enthält die Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Inputpapieren sowie eine gesamthafte Würdigung des Handlungsbedarfs. Die Synthese richtet sich an eine breite Leserschaft, daher wird auf detaillierte fachspezifische Abhandlungen soweit wie möglich verzichtet. Interessierte Leser und Leserinnen, können mehr über die Herleitung der Ergebnisse und die verwendeten Quellen in den jeweiligen Inputpapieren erfahren.

¹ Vgl. den Anhang für die Liste der Experten und Expertinnen.

1.4 Inhalt und Aufbau des Syntheseberichts

Kapitel 2 enthält die Grundlagen für die Analyse des Handlungsbedarfs. Dazu werden nach einer kurzen Umschreibung des Begriffs „Lärm“ in Abschnitt 2.1 die aktuell geltenden Immissionsgrenzwerte für Lärm vorgestellt (Abschnitt 2.2). Anschliessend folgt ein Überblick über den geschichtlichen Werdegang dieser Grenzwerte (Abschnitt 2.3). Abschnitt 2.4 enthält die heutigen Anforderungen an die Immissionsgrenzwerte für Lärm aus rechtlicher Sicht.

Basierend auf diesen Grundlagen folgt in **Kapitel 3** die Analyse des Handlungsbedarfs zur Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen der Immissionsgrenzwerte für Lärm. Dazu werden in den drei Abschnitten 3.1 bis 3.3 die Untersuchungsergebnisse in den drei Dimensionen Technik & Betrieb, Akustik und Lärmwirkung im Überblick präsentiert. Am Schluss jedes Abschnitts folgt jeweils eine Zusammenfassung des identifizierten Handlungsbedarfs.

In **Kapitel 4** werden die Teilergebnisse aus den verschiedenen Dimensionen zu einer Gesamtübersicht zusammengefasst und daraus die Empfehlung zum Handlungsbedarf und zur Relevanz der einzelnen Leitfragen abgeleitet. Zudem wird auch ein Vorschlag zum weiteren Vorgehen entwickelt.

2 Grundlagen

2.1 Lärm: Was ist das und wie wird er gemessen?

Lärm hat verschiedenste Ausprägungsformen und wird unterschiedlich wahrgenommen: Rockmusik ist für die einen Genuss für die anderen aber in erster Linie organisierter Krach; das Gebimmel von Kuhglocken wirkt für die einen beruhigend, die anderen fühlen sich dadurch gestört.

Aufgrund dieser Vielfalt in Ausprägung und Wahrnehmung hat sich für Lärm folgende Definition durchgesetzt: „Lärm ist unerwünschter Schall, der die Betroffenen physisch, psychisch, sozial und ökonomisch beeinträchtigen kann.“² Allgemein akzeptiert ist auch, dass chronischer und übermässiger Lärm ein Gesundheitsrisiko darstellt, die Wohnqualität und die Standortattraktivität der betroffenen Gebiete mindert und hohe volkswirtschaftliche Kosten verursacht.

Für die Beschreibung der **Lärmbelastung** wird physikalisch der Schalldruckpegel verwendet, der in Dezibel (dB) angegeben wird. „Da das menschliche Ohr bei gleichem Schalldruck tiefe und hohe Töne weniger laut empfindet als mittelhohe, werden die gemessenen Werte je nach Frequenz des Schalls korrigiert. Die meisten Länder verwenden zur gehörgerechten Gewichtung des Schallspektrums den so genannten A-Filter, der es ermöglicht, das Dezibel als einheitliches Mass für alle Frequenzbereiche zu verwenden. Der Schalldruckpegel wird dann mit dB(A) bezeichnet. Das Dezibel ist ein logarithmisches, also nicht lineares Mass. Kommen zwei gleich laute Lärmquellen zusammen, was einer Verdoppelung resp. einem Faktor 2 in der Schallenergie entspricht, erhöht sich der Pegel um 3 dB(A). Eine Erhöhung des Schallpegels um 10 dB(A) dagegen entspricht einem Faktor 10 in der Schallenergie, jedoch „nur“ ungefähr einer Verdoppelung der momentanen Lautstärkeempfindung des Menschen.“

Messungen in dB(A) geben den Schalldruckpegel nur zu einem bestimmten Zeitpunkt an und sagen nichts über die Dauer der Belastung aus. Diese ist aber mit entscheidend für die Störwirkung auf den Menschen. Deshalb wird ein Durchschnittswert, der so genannte Mittelungspegel oder energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} berechnet, der energetisch mit der tatsächlichen Belastung gleichwertig ist. Um den unterschiedlichen Störwirkungen verschiedener Lärmarten Rechnung zu tragen, kommen in der Schweiz verschiedene Pegel-Korrekturen, so genannte K-Werte zur Anwendung. Der auf diese Weise korrigierte Mittelungspegel heisst Beurteilungspegel (L_r). Dieser wird in der Schweiz für die Beurteilung der Lärmbelastung respektive als Störungsmass nach gesetzlichen Grundlagen (Umweltschutzgesetz, Lärmschutz-Verordnung) benutzt.“³

² Nach BAFU (2009), Lärmbelastung in der Schweiz, S. 8.

³ Nach BAFU (2009), Lärmbelastung in der Schweiz, S. 15-16.

2.2 Die heute geltenden Immissionsgrenzwerte für Lärm

Zum Schutz vor schädlichem und lästigem Lärm hat der Gesetzgeber in der Lärmschutz-Verordnung (LSV) so genannte Belastungsgrenzwerte festgelegt. Dabei wird zwischen Immissionsgrenzwerten, Planungswerten und Alarmwerten unterschieden:

- „Die Immissionsgrenzwerte für Lärm sind so festgelegt, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören.
- Planungswerte: Die Planungswerte wurden für die Planung neuer Bauzonen und für den Schutz vor neuen lärmigen ortsfesten Anlagen festgelegt. Die Planungswerte sind in der Regel um 5 dB(A) strenger angesetzt als die Immissionsgrenzwerte.
- Alarmwerte: Die Alarmwerte werden zur Beurteilung der Dringlichkeit von Sanierungen für Lärmimmissionen festgelegt. Sie liegen über den Immissionsgrenzwerten.“⁴

Auftragsgemäss beschränken wir uns bei allen nun folgenden Ausführungen auf die Immissionsgrenzwerte.

„Um der Störungsempfindlichkeit unterschiedlich genutzter Gebiete Rechnung zu tragen, wurden vier Empfindlichkeitsstufen entwickelt. Entsprechend der unterschiedlichen von der Raumplanung definierten Empfindlichkeit gelten für Erholungszonen strengere Belastungsgrenzwerte als beispielsweise für Industriezonen.

- Empfindlichkeitsstufe I: Zonen mit einem erhöhten Lärmschutzbedürfnis, namentlich Erholungszonen.
- Empfindlichkeitsstufe II: Zonen ohne störende Betriebe, namentlich Wohnzonen sowie Zonen für öffentliche Bauten und Anlagen.
- Empfindlichkeitsstufe III: Zonen mit mässig störenden Betrieben, namentlich Wohn- und Gewerbebezonen (Mischzonen) sowie Landwirtschaftszonen.
- Empfindlichkeitsstufe IV: Zonen mit stark störenden Betrieben, namentlich Industriezonen.“⁵

In der nachstehenden Tabelle sind die aktuell geltenden Immissionsgrenzwerte für die drei Verkehrsbereiche Strasse, Schiene und Flugplätze zusammengefasst.

⁴ BAFU (2009), Lärmbelastung in der Schweiz, S. 19.

⁵ BAFU (2009), Lärmbelastung in der Schweiz, S. 19.

Tabelle 2-1: Immissionsgrenzwerte für Strasse, Schiene und zivile Flugplätze (gemäss Lärmschutz-Verordnung⁶)

Empfindlichkeitsstufe	Strassenverkehr		Schienenverkehr		Fluglärm (zivile Flugplätze)		
	Lr in dB(A)		Lr in dB(A)		Lr in dB(A)		
	Tag (6-22 Uhr)	Nacht (22-6 Uhr)	Tag (6-22 Uhr)	Nacht (22-6 Uhr)	Tag (6-22 Uhr)	Erste Nachtsd. (22-23 Uhr)	Zweite (23-24) und letzte Nachtsd. (5-6)
I	55	45	55	45	55	45	45
II	60	50	60	50	60	55	50
III	65	55	65	55	65	55	55
IV	70	60	70	60	70	60	60

Quelle: Lärmschutz-Verordnung (LSV), Anhang 3, 4 und 5

Die Immissionsgrenzwerte beziehen sich immer auf den **Beurteilungspegel Lr**. Dieser ergibt sich aus dem Leq plus entsprechender Korrekturen, die je nach Verkehrs- bzw. Lärmart unterschiedlich sind:⁷

- Beim **Strassenverkehr** entspricht der Beurteilungspegel Lr im Wesentlichen dem A-bewerteten Mittelungspegel Leq für die entsprechende Zeitspanne von Tag oder Nacht. Unterhalb von 100 Fahrzeugen pro Stunde bzw. 1'600 am Tag und 800 in der Nacht gibt es zwar eine abgestufte Pegelkorrektur von -5 bis 0 dB(A), aber diese Korrekturen kommen meist nur bei Erschliessungs- und Quartierstrassen zum Tragen.
- Der **Schienenverkehr** profitiert generell von einem Bonus, der sich mindestens auf -5 dB beläuft und der bei geringen Zugsfrequenzen (weniger als 79 pro Tag oder Nacht) auf bis -15 dB steigen kann. Der Beurteilungspegel wird sonst gleich ermittelt wie im Strassenverkehr (durchschnittlicher Mittelungspegel über die entsprechende Zeitspanne von Tag oder Nacht).
- Für **Flugplätze** mit Grossflugzeugen (schwerer als 8'618 kg) werden die Beurteilungspegel getrennt für den Tag sowie für die erste, zweite und letzte Nachtstunde ermittelt.
 - Der Beurteilungspegel für den Tag (Lr_t) ist der A-bewertete Mittelungspegel Leq, der durch den Betrieb von Flugzeugen in der Zeit von 6-22 Uhr im Jahresmittel verursacht wird.
 - Während einem Teil der Nacht, nämlich von 0-5 Uhr, gilt ein generelles Flugverbot. Für die übrige Nachtzeit wird der Beurteilungspegel Lr_n für die erste (22-23 Uhr), zweite (23-24 Uhr) und letzte (5-6 Uhr) Nachtstunde getrennt ermittelt.⁸ Bedeutsam an dieser

⁶ Lärmschutz-Verordnung (LSV, SR 814.41) vom 15. Dezember 1986 (Stand am 1. Juli 2008).

⁷ Die Erläuterungen zur Ermittlung des Beurteilungspegels Lr und der Korrekturwerte basieren auf einer zusammenfassenden und teilweise vereinfachten Darstellung. Für eine detailliertere Beschreibung des Berechnungsverfahrens verweisen wir auf die Anhänge 3 (Strassenverkehr), 4 (Schienenverkehr) und 5 (ziviler Flugverkehr) der LSV.

⁸ Der stündliche Beurteilungspegel Lr_n entspricht dem jeweiligen A-bewerteten Mittelungspegel Leq, der durch den Betrieb von Flugzeugen in der jeweiligen Stunde von 22-23 Uhr, 23-24 Uhr oder 5-6 Uhr verursacht wird.

Berechnungsmethode ist, dass im Gegensatz zum Strassen- und Schienenverkehr, diese drei Nachtstunden separat beurteilt werden.

2.3 Der geschichtliche Werdegang der Lärmgrenzwerte⁹

Die heute in der LSV festgelegten Immissionsgrenzwerte sind das Ergebnis einer langen Entstehungsgeschichte. Die wichtigsten Etappen dieser von vielen Einflüssen geprägten Geschichte werden nachstehend zusammengefasst. Die kurze Aufarbeitung der verwendeten Grundlagen und Studien sowie das Nachzeichnen der wichtigsten Zwischenergebnisse und Beschlüsse stellt eine zentrale Grundlage für die anschliessende Analyse des Handlungsbedarfs in Kapitel 3 dar.

Stark vereinfacht lässt sich die Entstehungsgeschichte in vier Etappen gliedern:

- Die erste Etappe beginnt im Jahr 1957 mit der Einberufung einer nationalen Expertenkommission zur umfassenden Behandlung des Lärmthemas und endet 1963 mit der Veröffentlichung des Schlussberichts, welcher provisorische Grenzrichtwerte für Lärm enthält.
- Die zweite Etappe von 1963 bis 1975 ist gekennzeichnet durch die Anwendung der provisorischen Grenzrichtwerte in Gerichtsfällen und Behördenpraxis. In dieser Periode werden jene Erfahrungen gesammelt, welche später wesentlich zur Festlegung der ersten gesetzlichen Grenzwerte beitragen.
- Nachdem im Jahr 1971 das Volk einen Verfassungsartikel über den Umweltschutz genehmigt hat, setzt der Bundesrat im Jahr 1975 eine „Expertenkommission zur Beurteilung von Lärmgrenzwerten“ ein. Damit beginnt die dritte Etappe, in welcher die rechtlichen Grundlagen zur Lärmbekämpfung im Umweltschutzgesetz und in der Lärmschutz-Verordnung mit ihren Grenzwerten erarbeitet werden. Mit der Inkraftsetzung der Lärmschutz-Verordnung im Jahr 1987 wird ein markanter Endpunkt für diese Etappe gesetzt.
- In der vierten Etappe, die bereits in den Vollzug der Lärmschutz-Verordnung hineinreicht, wurden bis jetzt die Grenzwerte für Fluglärm festgelegt. Kürzlich wurden vom BAFU die Grenzwerte für militärischen Schiesslärm ausgearbeitet. Sie sind nun im Anhang 9 der LSV und gelten seit 1. August 2010. Es handelt sich dabei um einen Bereich, der bis anhin in der LSV nicht reguliert war.

a) Von den Anfängen bis zum Schlussbericht der ersten Expertenkommission

Mit der Industrialisierung der Wirtschaft und dem Einsatz von Maschinen und Verkehrsmitteln wurde der Lärm Anfang des 20. Jahrhunderts vor allem in den Städten zu einem ernsthaften Problem. Anfänglich beschränkte man sich noch auf eine rein qualitative Beurteilung der Lärmbelastung. Mit der Entwicklung der Elektroakustik bot sich dann aber die Möglichkeit, akustische Signale zu messen. In Anlehnung an die Funktionsweise des Gehörs wurde die

⁹ Die Ausführungen basieren auf Hofmann R. (2009), Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Grundlagenpapier: Der geschichtliche Werdegang der Lärmgrenzwerte.

logarithmische Dezibelskala zur Erfassung der Schallintensität eingeführt. Von allem Anfang an bestand dabei der Zwang zur Mittelwertbildung, um aus der rasch fluktuierenden Intensität ein aussagekräftiges Lärm-mass zu gewinnen. Über die zweckmässige Art dieser Mittelwertbildung wurde in wissenschaftlichen Kreisen lange Jahre gestritten. Weit verbreitet war die Charakterisierung des Lärms durch die statistische Pegelhäufigkeitsverteilung, so etwa die 10%-, 50%- und 90%-Perzentile¹⁰ zur Charakterisierung der Spitzen, des mittleren Pegels und des Grundgeräuschpegels. Bald wurden auch Masse diskutiert, welche verschiedene Perzentile kombinierten (z.B. der Traffic Noise Index TNI). Als Alternative wurde aber auch schon früh der Leq ¹¹ ins Spiel gebracht, welcher die Idee der instrumentellen Glättung konsequent auf die gesamte Messzeit ausdehnt. Als Pegel der mittleren Schallintensität ist er physikalisch besonders einfach und eignet sich deshalb gut für die Lärmprognose mit Ausbreitungsmodellen.

Unter Berücksichtigung dieser Entwicklungen erarbeitete die vom Bundesrat im Jahr 1957 einberufene Expertenkommission bis zum Jahr 1963 ihren Schlussbericht. Dieser enthält verschiedene wichtige Grundsätze, welche den Lärmschutz bis heute massgeblich beeinflussen:

- Als Primärmass für die Lärmbelastung wird der A-bewertete Schallpegel in Dezibel dB(A) benutzt. Zur Beschreibung einer Lärmsituation werden die 50%, 1% und 0.1% - Perzentile (L_{50} , L_1 und $L_{0.1}$) gewählt. Der 0.1%-Perzentil $L_{0.1}$ wird aber bald als unzweckmässig erkannt und fallen gelassen.
- Als Messort für die Beurteilung der Lärmbelastung wird die Position im offenen Fenster definiert.
- Es wird ein Grenzrichtschema postuliert, welches insgesamt 36 Werte enthält (6 Zonen, Tag/Nacht, 3 Belastungsmasse). Die Überschreitung der provisorischen Grenzrichtwerte gilt dabei als Indiz für eine unzumutbare Lärmbelastung, was die Behörden zu näheren Abklärungen verpflichtet.

b) Das Sammeln von Erfahrungen von 1963 bis 1974

In diese Zeitspanne fallen die ersten Bundesgerichtsurteile zum Lärmschutz. Die Arbeitsgruppe „Lärmschutz an Nationalstrassen“ legte aufgrund der damals bestehenden Kenntnisse ohne eigene Untersuchung für Wohngebiete entlang von Nationalstrassen folgende Lärmgrenzrichtwerte fest:

- Für den Pegelmedian L_{50} (50%-Perzentil) 60 dB(A) tags, 50 dB(A) nachts
- Für den Spitzenwert L_1 (1%-Perzentil) 70 dB(A) tags, 60 dB(A) nachts

¹⁰ Der x%-Perzentil ist jener Pegel, der lediglich in x% der Messzeit überschritten wird.

¹¹ Leq (L_{eq}) "energieäquivalenter Dauerschallpegel". L steht für Pegel (Level), eq für energie-aequivalent. Korrekt nach ISO ist die Bezeichnung $L_{A,eq}$

In den Jahren 1971 und 1972 wird die „Sozio-psychologische Fluglärmuntersuchung“ durchgeführt, welche im Jahr 1974 in einem ausführlichen wissenschaftlichen Schlussbericht dokumentiert wird. Es handelt sich dabei um die wohl gründlichste Untersuchung über den Zusammenhang von Lärmbelastung und Belästigung, die je in der Schweiz durchgeführt wurde. Die Belastung wurde durch ausgedehnte Messungen in der Umgebung der Wohnorte befragter Personen ermittelt. Zudem wurden fast 4'000 persönliche Interviews in Zürich, Genf und Basel durchgeführt. Die Personen hatten dabei ihre durch Lärm verursachte Belästigung auf einem Skalometer von 0-10 (keine Belästigung bis unerträgliche Belästigung) anzugeben. Beim Noise and Number Index NNI war die Korrelation signifikant besser als bei drei weiteren untersuchten Massen.¹²

Bemerkenswert ist, dass im Schlussbericht bereits die Definition von „starker Belästigung“ (Nennungen 8, 9 und 10 auf dem oben erwähnten Skalometer) verwendet wird. Die Studie zeigt auf, dass bei 40 NNI die Wahrscheinlichkeit für eine starke Störung bzw. Belästigung ca. 25% beträgt. Für den Strassenlärm – in einem Teilbereich der Studie wurde auch dieser erhoben – zeigt die Untersuchung, dass in der Belastungsklasse von 60 bis 63.9 dB L_{50} eine Wahrscheinlichkeit für starke Störung von ca. 20% besteht.

Basierend auf den Ergebnissen der Studie werden drei Fluglärmzonen definiert, beginnend bei 45 NNI. Dieser Wert ist insofern erstaunlich, als gemäss der Studie bei einem NNI von 45 rund 1/3 der Befragten sich als stark belästigt bezeichnet. Dieser Prozentsatz ist nahezu doppelt so hoch, wie bei den provisorischen Grenzrichtwerten für Strassenlärm.

c) Die Entwicklung von 1975 bis zur Lärmschutz-Verordnung

Nach der Annahme des Verfassungsartikels zum Umweltschutz (1971) und einem ersten, in der Vernehmlassung gescheiterten Entwurf zu einem Umweltgesetz wird eine neue „Expertenkommission zur Beurteilung von Lärmgrenzwerten“ eingesetzt, welche die bisherigen Grundlagen auf den neuesten Stand des Wissens bringen und nötigenfalls durch gezielte Untersuchungen erweitern soll. Im Auftrag der Kommission wurden drei Untersuchungen durchgeführt:

- Wohnen im Neubau¹³: Es wurden 705 Interviews über die Belästigung durch Strassenverkehrslärm durchgeführt. An 392 Befragungsorten erfolgte für die Lärmbelastung eine Messung über eine vergleichsweise kurze Zeitperiode im April. An weiteren 313 Befragungsorten wurde der Pegel aufgrund der Verkehrszahlen mit dem damaligen EMPA-Modell für Strassenlärm berechnet. Die Studie weist für L_{50} in der Pegelklasse 60.5-65 dB(A) einen Anteil der Starkbelästigten von 21% aus. Da in Strassennähe der Leq um mindestens 2 dB(A) über dem L_{50} liegt, würde dieses Ergebnis eher einen Grenzwert des Leq von 65 als von 60 dB(A) stützen.

¹² Leq , $L_{0.1}$ und LNP (Noise Pollution Level).

¹³ Wehrli B., Hauser S., Egli H., Bakke P. und Grandjean E. (1976), Wohnen im Neubau.

- Belästigung durch Lärm und Luftverunreinigung¹⁴: Die Belästigung wurde bei 1'297 Personen in der Stadt Zürich schriftlich durch Fragebogen erfasst. Die Lärmbelastung wurde pro Quartier durch je zwei 24-Stunden-Messungen ermittelt. In der Belastungsklasse von 61 bis 65 dB(A) im L_{50} zeigte sich ein Anteil "Starkbelästigter" von 20-25%. Die Studie weist somit für 25% Starkbelästigte auf einen Grenzwert zwischen 63 bis 67 dB(A) Leq hin.
- Lärmstörung nachts¹⁵: In der Studie wurden 1'607 Fragebogen aus sechs Gebieten ausgewertet. Die Belastung wurde durch Langzeitmessungen in Strassennähe (Referenzposition) erhoben, ergänzt durch Kurzzeitmessungen, aus denen die Pegelreduktion im Vergleich zur Referenzposition ermittelt wurden. Die Studie zeigt, dass bei Belastungen von 55-60 dB(A) Leq nachts sich 24% als „stark belästigt“ bezeichnen. In den tagsüber mit 60-65 dB(A) Leq belasteten Orten bezeichnet sich ein ähnlich grosser Prozentsatz (27%) als stark belästigt. Vergleicht man Tag und Nacht, so findet man vergleichbare Prozentzahlen nachts bei ca. 5 dB tieferen Werten, was im Widerspruch zu den Grenzrichtwerten von 1963 steht, bei denen zwischen Tag und Nacht eine Differenz von 10 dB besteht.

Basierend auf diesen Studien und den vorangehenden Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Fluglärm hat die Expertenkommission die Grenzwerte für den **Strassenverkehrslärm** festgelegt. Dabei wurden wichtige Entscheide getroffen:

- Der Leq wurde als massgebendes Lärmbelastungsmass festgelegt, differenziert für den Tag (06-22 Uhr) und die Nacht (22-06 Uhr).
- Die Höhe der [Immissions-] Grenzwerte ist derart zu wählen, dass sich bei diesen Werten nicht mehr als eine qualifizierte Minderheit (ca. 25%) stark belästigt fühlt.
- Der Vorschlag für Immissionsgrenzwerte lautete:

– Für Wohnquartiere (sowohl Stadt wie Land)	tags 60 dB(A)	nachts 50 dB(A)
– Wohnungen, Geschäfte, Büros	tags 65 dB(A)	nachts 55 dB(A)

Betrachtet man die Details der Entscheidungsfindung, so entsteht im Rückblick der Eindruck, dass die Erfahrung und bisherige Praxis wohl ein grösseres Gewicht hatten als die durch wissenschaftliche Studien gewonnenen Erkenntnisse.

Für den **Eisenbahnlärm** wurde im Jahr 1978 eine sozio-psychologische Untersuchung (SPU78) in Auftrag gegeben. Das Schwergewicht lag auf der Belästigung und Störung der Anwohner durch den Streckenlärm. Nachträglich wurde im gleichen Gebiet auch die Belästi-

¹⁴ Wanner H.U., Wehrli B., Nemecek J. und Turrian V. (1977), Die Belästigung der Anwohner verkehrsreicher Strassen durch Lärm und Luftverunreinigungen.

¹⁵ Wehrli B., Nemecek J., Turrian V., Hofmann R. und Wanner H. U. (1978), Störwirkungen des Strassenverkehrslärms in der Nacht.

gung durch Strassenlärm in die Untersuchung aufgenommen, um Aufschluss über den vermuteten "Schienenbonus" in der Beurteilung zu erhalten:

- Für die Streckenlärmuntersuchung standen 2'473 auswertbare Fragebogen zur Verfügung. Auf die konsequente Messung der Lärmbelastung am Ort der Befragten wurde aus finanziellen Gründen verzichtet. Die Lärmbelastung wurde mit dem kurz zuvor entwickelten EMPA-Eisenbahnlärm-Modell berechnet. Die Auswertung der Befragungsdaten ergab Argumente für eine Korrektur des Leq durch eine Funktion, welche die Zahl der täglichen (bzw. nächtlichen) Vorbeifahrten in über-energetischer Form (Progression) berücksichtigt. Beim heutigen dichten Schienenverkehr wird das Beurteilungsverfahren auch auf Verhältnisse angewendet, welche eine Extrapolation über den empirisch gesicherten Bereich hinaus bedeuten.
- Für den Strassenlärm-Teil wurden vier Untersuchungsgebiete (Bülach, Frauenfeld, Lengnau, Zürich) ausgewählt. Auf ein durchgehendes Messprogramm wurde aus Kostengründen verzichtet. Man beschränkte sich auf eine Kombination von Schätzungen gestützt auf Verkehrszählungen und einige Kontrollmessungen. Der empirische Zusammenhang zwischen der Tag-Belastung in Leq und der mittels Skalometer erfragten Belästigung ergab bei 61 dB einen Anteil Starkbelästigter (Skalometer 8, 9 und 10) von 25%.

Basierend auf dieser einzigen Studie für den Schienenlärm legte die Kommission die Grenzwerte für Normal- und Schmalspurbahnen im Strecken- und Bahnhofsbereich fest. Auch hier wurde der Leq als Basislärmmass verwendet. Bezüglich der Höhe des Grenzwertes folgte man aber nicht dem Verfahren im Strassenverkehr (25% Starkbelästigter), sondern stützte sich auf jene Befragten ab, welche sich als mittelstark und stark belästigt (≥ 5 auf dem Skalometer) bezeichneten. Zudem wurde ein Korrekturwert K zwischen -15 und -5 dB eingeführt, der abhängig von den Zugsfrequenz (Anzahl Züge pro Stunde) ist. Damit wollte man dem Umstand Rechnung tragen, dass die Störwirkung bei gleichem Leq im Falle von Bahnlärm geringer ist als beim Strassenlärm. Der so korrigierte Leq wird als Beurteilungspegel Lr bezeichnet. Damit konnte für den Anteil Mittelstark- und Starkbelästigter bei 60 dB eine gute Übereinstimmung mit dem Strassenlärm erzielt werden. Das war dann auch der Grund dafür, den Lr als Belastungsmass zu verwenden und seinen Grenzwert jenem von Strassenlärm gleichzusetzen.

Insgesamt zeigt sich, dass die sozio-psychologische Untersuchung (SPU78) einen bedeutenden Spielraum der Interpretation offen lässt.

d) Grenzwerte für den Fluglärm

Im Folgenden beschränken wir uns auf die Darlegung der Entstehungsgeschichte für die Grenzwerte der zivilen Luftfahrt. Die Umsetzung der im Jahr 1973 erlassenen Verordnung über die Lärmzonen der Landesflughäfen verzögerte sich jahrzehntelang – zuerst wegen Schwierigkeiten der zuverlässigen Berechnung und dann infolge einer Flut von Einsprachen. Im Jahr 1989 wurde beschlossen, eine neue Studie (Lärmstudie-90) in Auftrag zu geben. Die Befragung von rund 1'300 Personen im Raum Zürich und 750 in Genf erfolgte mündlich. Die Belastung durch Fluglärm wurde mit dem schon fortgeschrittenen Simulationsverfahren FLU-

LA-2 der EMPA berechnet. Die Lärmstudie-90 ergab, dass die Störwirkung von Flug- und Strassenlärm bei gleichem Leq etwa gleich hoch war. Dieses Resultat bewog die Expertenkommission, die Grenzwerte am Tag auf gleicher Höhe anzusetzen wie jene des Strassenlärms.

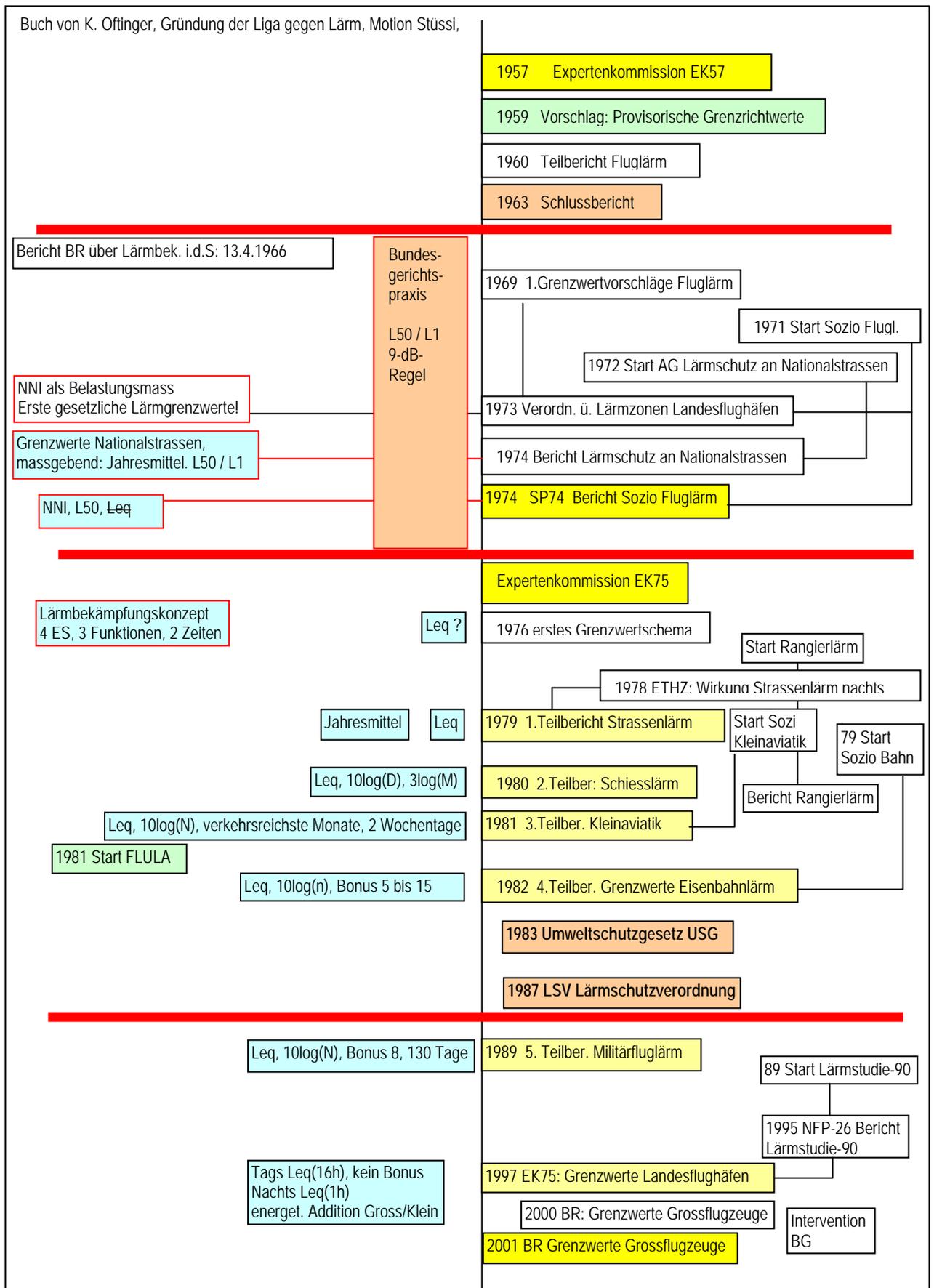
Für die Nacht dagegen wählte sie einen für die Schweiz völlig neuen Ansatz, mit dem die Wahrscheinlichkeit von Aufwachreaktionen reduziert werden sollte. Dazu wird die **stündliche** Schallenergie auf einer Höhe begrenzt, welche schon von wenigen lauten Flügen erreicht wird. Für die drei Nachtstunden 22-23, 23-24 und 05-06 Uhr wurden deshalb Grenzwerte des Ein-Stunden-Mittelungspegels (1-h-Leq) festgelegt. Die Vorschläge der Expertenkommission wurden schliesslich umgesetzt, allerdings erst nach der Intervention des Bundesgerichts, welche den Versuch des Bundesrates vereitelte, ungerechtfertigt hohe Grenzwerte anzusetzen.

e) Zusammenfassung

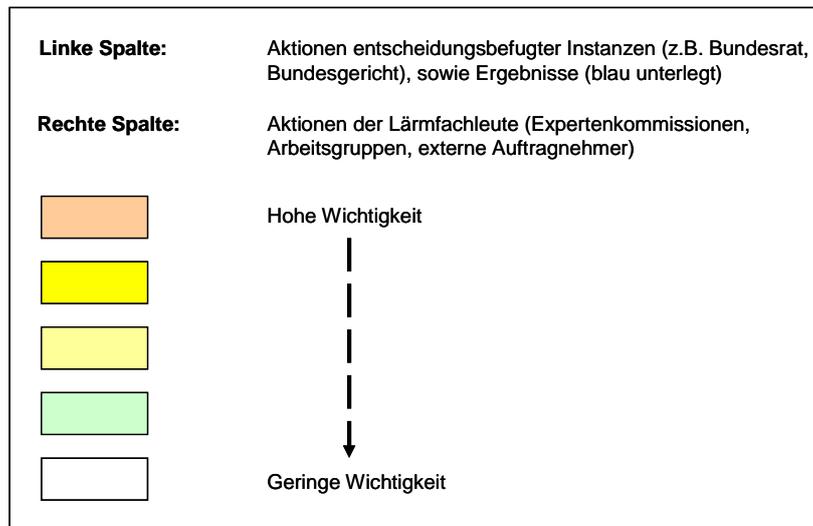
Eine zusammenfassende Übersicht über die Entstehung der heutigen Lärmgrenzwerte findet sich in der Abbildung 2-1. Die Geschichte der schweizerischen Lärmgrenzwerte ist durch einen starken Pragmatismus geprägt. Zwar wurden verschiedene empirische Untersuchungen zum Fluglärm und Strassenlärm (1974, 1978), zum zivilen Schiesslärm (1978), zum Fluglärm der Kleinaviatik (1979), zum Eisenbahnlärm (1979) und als Nachzügler zum Lärm der Zivilluftfahrt durchgeführt. Aber die Umsetzung in konkrete Grenzwerte erfolgte aus heutiger Sicht nur teilweise transparent und nachvollziehbar.

Bezeichnend ist der Ablauf beim Strassenlärm: Weil sich die provisorischen Grenzrichtwerte von 1959/1963 in der Praxis bewährt hatten, weil eine eingespielte Bundesgerichtspraxis darauf aufgebaut war und weil beim Nationalstrassenbau bereits Grenzwerte galten, wurden 1979 im 1. Teilbericht der Expertenkommission die eingeführten Werte übernommen, etwas modifiziert durch den Übergang zum neuen Belastungsmass Leq. Dies geschah, nachdem die Kommission 1976 beschlossen hatte, den Immissionsgrenzwert bei einem Anteil von ca. 25% „stark gestörter“ (im Sinne stark belästigter) Personen festzulegen. Die Ergebnisse aus Basel (SPU74) ergaben bei 60 dB(A) Leq aber nur ca. 16%. Die ETH-Studie (1978) über den Strassenlärm nachts wies auf einen Nachtgrenzwert von 55 dB(A) Leq. Trotzdem wurde der Nachtgrenzwert 10 dB(A) unter dem Taggrenzwert festgelegt, d.h. bei 50 dB(A). Es gibt zahlreiche plausible Argumente für diese Entscheide, und sie seien nicht grundsätzlich kritisiert. Tatsache bleibt aber, dass für die Grenzwerte des Strassenlärms die Erfahrung mit den Grenzrichtwerten von 1963 ausschlaggebend war – und nicht in erster Linie die Befragungsergebnisse.

Abbildung 2-1: Synoptische Darstellung zur Entstehungsgeschichte der Lärmgrenzwerte



Legende zu Abbildung 2-1



Kritisch zu beurteilen ist der Umstand, dass beim Eisenbahnlärm vom Prinzip abgegangen wurde, 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 ≥ 5).

Eine weitere Eigentümlichkeit besteht darin, dass die Grenzwertfestlegung von der Idee eines Fünferasters¹⁶ ausgeht. Zweifellos war es 1959 richtig, mit einem Zahlenschema in Fünferschritten auf die Unsicherheit dieser provisorischen Werte hinzuweisen. Im Laufe der Zeit wurden aber die Grundlagen zuverlässiger und trotzdem wurde mit einer einzigen Ausnahme beim Flugverkehr (Planungswert L_{r_n} ESII) an dieser Praxis festgehalten.

Aus heutiger Sicht schwer verständlich ist vor allem die Tatsache, dass für die empirische Untersuchung der Belastungs-Wirkungs-Beziehungen so wenig Mittel bereitgestellt wurden. Sämtliche Befragungen nach 1974 mussten mit massiven Budgetkürzungen kämpfen. Insbesondere auf der akustischen Seite (Lärmbelastung) musste anstelle von Messungen am Ort der Befragten auf grobe Abschätzungen oder Modellberechnungen zurückgegriffen werden. Später haben sich verschiedene Modelle als zu grob erwiesen. Besonders störend ist der Mangel an ausreichenden empirischen Grundlagen bei den Grenzwerten für den Eisenbahnlärm. Seine Belästigungsskala ist an jene des Strassenlärms angekoppelt, die in der gleichen Untersuchung erfragt worden war. Die Belastung durch den Strassenlärm konnte aber nicht mehr gemessen werden. Sie wurde als Mittelwert der Schätzungen von vier Akustikern gewonnen, weil die finanziellen und personellen Mittel kein anderes Vorgehen erlaubten. Diese Resultate beeinflussten schliesslich wesentlich die Grenzwerte für Bahnlärm, für dessen Reduktion in der FinöV-Vorlage 2.8 Milliarden Franken bereitgestellt wurden!

¹⁶ Vgl. Anhänge in Lärmschutz-Verordnung (LSV, SR 814.41) vom 15. Dezember 1986.

2.4 Anforderungen an die Immissionsgrenzwerte für Lärm aus rechtlicher Sicht¹⁷

Die umweltrechtlichen Anforderungen an die Festlegung von Immissionsgrenzwerten stellen – nebst der Kenntnis der Entstehungsgeschichte – die zweite zentrale Grundlage für die nachfolgende Prüfung des Handlungsbedarfs dar. Dabei stellen sich insbesondere folgende zwei Leitfragen:

- Welches sind die **rechtlichen Grundlagen** für die Festlegung von Lärmimmissionsgrenzwerten?
- Wie müssen die **Begriffe** „erhebliche Störung“, „Stand der Wissenschaft“ und „Stand der Erfahrung“ definiert werden? Ergibt sich aufgrund eines allfällig stattgefundenen Bedeutungswandels der Begriffe ein Handlungsbedarf?

a) Massgeblich Normen nach der Bundesverfassung und dem Umweltschutzgesetz (USG)

Die Bundesverfassung (BV) verpflichtet und ermächtigt den Gesetzgeber in Art. 74 Abs. 1, Vorschriften über den **Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt** vor schädlichen und lästigen Einwirkungen zu erlassen. Nach Abs. 2 der Bestimmung sorgt der Gesetzgeber dafür, dass solche Einwirkungen vermieden werden. Dabei ist bezüglich „schädlich“ und „lästig“ von folgendem Verständnis auszugehen:

- **Schädliche Einwirkungen** greifen die physische oder psychische Gesundheit des Menschen an oder verursachen einen Schaden an der natürlichen Umwelt.
- **Lästige Einwirkungen** beeinträchtigen den Menschen in seinem Dasein, ohne ihm gesundheitlichen Schaden zuzufügen. Solche Belästigungen können beim Menschen dazu führen, dass die Leistungsfähigkeit und die Lebensfreude, der Naturgenuss, das Gefühl der Ungestörtheit, das private Leben überhaupt beeinträchtigt werden.

Basierend auf den Vorgaben der BV wird der Bundesrat in Art. 13 Abs. 1 USG beauftragt, Immissionsgrenzwerte für die Beurteilung von schädlichen und lästigen Einwirkungen festzulegen.

Die Immissionsgrenzwerte sollen für eine scharfe Grenzziehung zwischen schädlichen oder lästigen und unschädlichen oder nicht lästigen Einwirkungen dienen und müssen daher quantifizierbare Grössen sein.

Die vom USG geforderten **Immissionsgrenzwerte für Lärm** beziehen sich auf die Beurteilung von Aussenlärm und erfassen ausschliesslich Lärm, der durch den Bau und Betrieb von Anlagen erzeugt wird. Immissionsgrenzwerte sind dabei in erster Linie für den Lärm von ortsfesten Anlagen wie Bauten, Verkehrswegen und anderen ortsfesten Einrichtungen festzule-

¹⁷ Die Ausführungen basieren auf Zäch C. (2009), Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 1: Recht.

gen. Für den Lärm mobiler Anlagen, deren Standort sich verändert, sind Immissionsgrenzwerte weniger geeignet. Die Kriterien für die Festlegung von Immissionsgrenzwerten für Lärm ergeben sich aus Art.15 und 13 Abs. 2 USG.

b) Kriterien für die Festlegung der Immissionsgrenzwerte für Lärm

Gemäss Art. 15 USG sind die Immissionsgrenzwerte für Lärm so festzulegen, dass **nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören**. Dabei muss der Bundesrat die Wirkungen der Immissionen auf **Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit** wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere berücksichtigen (Art. 13 Abs. 2 USG). Die wesentlichen Kriterien bei dieser Festlegung sind wie folgt zu interpretieren:

- Bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte ist der jeweilige **Stand der Wissenschaft oder Erfahrung massgebend**. Dies erfordert eine periodische Überprüfung und evtl. Anpassung der Grenzwerte, wenn es ernst zu nehmende Gründe gibt, dass diese nicht mehr dem aktuellen Wissens- bzw. Erfahrungsstand entsprechen.
- Das **Wohlbefinden der Bevölkerung** umfasst das psychische, physische und soziale Wohlbefinden des Menschen als Grundlage für seine ungestörte Entfaltung, Leistungsfähigkeit und Lebensfreude. Das Wohlbefinden bedeutet somit keineswegs nur das Fehlen von Krankheit und Gebrechen.
- Der Begriff der **Störung** umfasst sowohl schädliche Einwirkungen (Gehörschäden, Schlafstörungen, Beeinflussung des Herz-Kreislauf-Systems) als auch lästige Einwirkungen (Störung von Ruhe und Erholung, Freizeitgestaltung, Sprachverständlichkeit, Konzentration).
- Massgebend sind (nur) **erhebliche** Störungen im Wohlbefinden der Bevölkerung. Das Gesetz anerkennt damit, dass menschliche Aktivitäten – private, wirtschaftliche und gesellschaftliche – in der Regel mit Geräuschemissionen verbunden sind, die auf andere Menschen einwirken.
- Für das Ausmass der Lärmstörung und damit für die Beurteilung ihrer Erheblichkeit sind verschiedene **Störfaktoren** akustischer, physiologischer und psychologischer Art massgebend:
 - Akustische Faktoren: Pegel, Frequenz, Charakteristik des Lärms; Häufigkeit und Dauer der Lärmereignisse.
 - Physiologische Faktoren: Unterschiedliche Tätigkeiten des Lärmbetroffenen wie arbeiten, ruhen, schlafen, aber auch seine Konstitution.
 - Psychologische Faktoren: Persönliche Einstellung und Erfahrung zu/mit Lärmquellen.

c) Vorgehen bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte für Lärm

Aufgrund der vorangehend dargelegten Kriterien sind bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte für Lärm die folgenden Punkte zu beachten:

- **Differenzierung** der Immissionsgrenzwerte nach:
 - Lärmart: Bei der Festlegung der IGW ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Lärmarten aufgrund ihrer unterschiedlichen Charakteristiken (Häufigkeit, zeitliche Abfolge und Berechenbarkeit des Auftretens der Lärmereignisse) bei gleicher Lärmbelastung unterschiedlich stark stören können.
 - Tag / Nacht: Es ist zu berücksichtigen dass die Lärmempfindlichkeit der Bevölkerung tags und nachts unterschiedlich ist.
 - Nutzungsart und Lärmvorbelastung am Ort der Lärmimmissionen
- Erfassen der **Lärmbelastung** mittels eines Lärmbelastungsmasses, das die akustischen Störfaktoren (Schallpegel, Häufigkeit und Dauer des Schallereignisses, Frequenzspektrum und Charakteristik des Lärms) störungsgerecht berücksichtigt und mit dem die Lärmimmission an einem bestimmten Ort für einen längeren Zeitraum gültig beschrieben werden kann.
- Erfassen der **Lärmstörung** mittels soziologischer Erhebungen über das Lärmempfinden der Lärmbetroffenen.
- **Korrelation** von objektiver Lärmbelastung mit erfragter Lärmbelästigung.

Ausgehend von diesen Minimalvorgaben stellt sich die Frage, ob die Grundlagen für die Immissionsgrenzwerte den heutigen Stand der Wissenschaft oder Erfahrung noch erfüllen. Dieser Fragestellung wird im folgenden Kapitel mit der Analyse zur Entwicklung des Lärmumfeldes in den Dimensionen Technik & Betrieb, Akustik und Lärmwirkung nachgegangen.

3 Handlungsbedarf

In diesem Kapitel werden die Hauptergebnisse zur Analyse des Handlungsbedarfs in den Dimensionen Technik & Betrieb, Akustik sowie Lärmwirkung zusammengefasst. Die Darstellung pro Leitfrage folgt einem einheitlichen Raster, der sich in die folgende drei Teile gliedert:

- Kurze Ausführung zur Leitfrage mit einem Aufriss der Problemlage.
- Erläuterung zu den Erkenntnissen aus der detaillierten Analyse der Leitfrage. Im Normalfall werden dabei nur die wichtigsten Ergebnisse präsentiert, ohne auf einzelne Studien oder Quellen im Detail einzugehen.
- Am Schluss jeder Leitfrage folgt die Einschätzung zum Handlungsbedarf nach einer einheitlichen Wertung (kein Handlungsbedarf bzw. kleiner, mittlerer oder grosser Handlungsbedarf).

3.1 Technik & Betrieb¹⁸

In der Dimension Technik & Betrieb geht es generell um die Frage, ob aus der Veränderung in der Verkehrsmenge, bei den spezifischen Fahrzeugemissionen oder in der tageszeitlichen Verteilung des Verkehrsaufkommens irgendwelche Konsequenzen zu erkennen sind, welche einen Einfluss auf die Festlegung der Immissionsgrenzwerte haben (könnten). Dabei ist nicht nur der Einfluss auf die Höhe der Immissionsgrenzwerte zu beachten, sondern z.B. auch die Frage der Tag-Nacht-Grenze oder eine Veränderung in der Häufigkeit der Lärmereignisse.

Wichtig bei dieser Analyse ist, dass sich allein aus einer Veränderung der Verkehrsmengen, deren Zusammensetzung oder deren Tag-/Nachtverteilung noch kein unmittelbarer Handlungsbedarf ergibt. Erst wenn davon auszugehen ist, dass diese Veränderungen bei der Festsetzung der Immissionsgrenzwerte weder bekannt waren noch im Lärmbeurteilungspegel ausreichend erfasst werden, lässt sich ein Handlungsbedarf zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte bzw. in der Ermittlung der Beurteilungspegel begründen.

Ausgehend von dieser Differenzierung wird im Folgenden für die 9 Leitfragen in der Dimension Technik & Betrieb der Handlungsbedarf untersucht. Zur Straffung und Vereinfachung der Darstellung werden dabei die Leitfragen 1-3 zum Strassenverkehr, 4-6 zum Schienenverkehr und 7-9 zum Luftverkehr jeweils im gleichen, verkehrsträgerspezifischen Abschnitt zusammengefasst.

¹⁸ Die Ausführungen basieren auf Höin R., Buchmann B., (2009), Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 2: Technik & Betrieb.

3.1.1 T&B 1-3: Wie haben sich im Strassenverkehr die Verkehrsmengen, die Lärmemissionen und tageszeitliche Verteilung entwickelt und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?

a) Verkehrsmengen

Der motorisierte Personenverkehr hat zwischen 1980 und 2005 um 55% zugenommen (gemessen in Fahrzeugkilometern). Beim Güterverkehr belief sich die Zunahme für leichte Güterverkehrsfahrzeuge (bis 3t) auf 84%, beim Schwerverkehr (> 3t) auf 51%. Die Entwicklung des durchschnittlichen Tagesverkehrs (DTV) zeigt, dass insbesondere auf den Autobahnen der Verkehr in den letzten 25 Jahren mit einem Wachstum von 76% im Vergleich zu Ausserortsstrassen (18%) und Innerortsstrassen (6%) stark überproportional zugenommen hat. Zudem ist auf sehr stark frequentierten Strassen faktisch ein kontinuierlicher 24-stündiger Verkehr festzustellen, der im Unterschied zu anderen Strassen praktisch keine Ruhepausen und beinahe keine Nachtruhe mehr aufweist. Vor allem diese fehlenden Ruhepausen und die hohe Belastung in der Nacht führen zu einer Belästigungszunahme, die allein durch die Zunahme des Leq vermutlich nicht genügend abgebildet wird. Aufgrund dieser Überlegungen wird der **Handlungsbedarf** zur Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen der Immissionsgrenzwerte als **gross** eingeschätzt. Es stellt sich dabei insbesondere die Frage, ob für die sehr stark frequentierten Strassen aufgrund des permanenten Verkehrs nicht eine separate Störungskorrektur eingeführt werden sollte.

b) Emissionen

Bei den Lärmemissionen der motorisierten Fahrzeuge des Strassenverkehrs ist zwischen Antriebs-¹⁹ und Rollgeräuschen²⁰ zu unterscheiden. Aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten kann vereinfachend festgehalten werden, dass innerorts die Antriebsgeräusche und ausserorts die Rollgeräusche überwiegen. Verschiedene Entwicklungen (Tempolimiten, Geschwindigkeitsbegrenzer) haben die spezifischen Emissionen pro Fahrzeug vermindert. Über die Entwicklung anderer Parameter (Reifeneigenschaften, Fahrzeuggewichte) ist für eine verlässliche Aussage zu wenig bekannt. Die entsprechenden Unterlagen müssten detailliert aufgearbeitet werden. In diesem Sinne besteht ein **kleiner Handlungsbedarf**.

¹⁹ Diese ergeben sich aus den Lärmemissionen von Motor, Getriebe, Auspuff- und Absauganlagen. Die Motorengeräusche hängen in erster Linie vom Motorentyp, dessen Betriebszustand sowie der Drehzahl ab.

²⁰ Zu den Rollgeräuschen werden die Geräusche gezählt, die sich aus dem Abrollvorgang des Reifens auf der Fahrbahn ergeben sowie die Strömungsgeräusche und die allfälligen Klappergeräusche. Bedeutsam sind vor allem die Abrollgeräusche. Sie hängen fahrzeugseitig ab vom Reifenprofil, der Reifenbreite und dem Fahrzeuggewicht. Fahrbahnseitig sind die Porosität des Fahrbahnbelags, dessen Rauigkeit der Oberfläche sowie die räumliche Anordnung der Strukturen von Bedeutung.

c) Tageszeitliche Verteilung

Der Anteil des Nachtverkehrs zum Gesamtverkehr (alle Fahrzeuge) hat von 1991 bis 2002 leicht zugenommen. Eine deutlichere Zunahme ist bei den Lastwagen (Fahrzeuge länger als 12.5m) festzustellen. Diese starten in der Regel pünktlich morgens um 5 Uhr (Ende Nachtfahrverbot). Die von den Lastwagen während der letzten Nachtstunde (05-06 Uhr) erzeugte Lärmenergie wird jedoch gemäss Lärmschutz-Verordnung über den gesamten Nachtzeitraum von 8 Stunden ausgemittelt.

Zudem zeigt sich in den letzten Jahren im innerstädtischen Bereich ein starker Trend zu einer insbesondere in der Nacht lärmaggressiveren Fahrweise mit lärmintensiven Einzelereignissen, deren Störung mit dem Leq nicht oder nur ungenügend erfasst wird.

Aus beiden Entwicklungen ergibt sich ein mittlerer Handlungsbedarf. Es gilt insbesondere zu prüfen, ob die Ermittlung des Leq über die ganze Nachtzeit nach wie vor der geeignete Beurteilungspegel ist, oder ob allenfalls ähnlich wie im Luftverkehr eine separate Beurteilung einzelner Nachtstunden vorgenommen werden müsste.

3.1.2 T&B 4-6: Wie haben sich im Eisenbahnverkehr die Verkehrsmengen, die Lärmemissionen und die tageszeitliche Verteilung entwickelt und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?

a) Verkehrsmengen

Der Personenverkehr hat seit 1980 bis 2005 mit einem Wachstum von 66% (gemessen in Zugskilometer) stark zugenommen. Auch im Güterverkehr ist eine Zunahme feststellbar, sie fällt aber mit 9% wesentlich kleiner aus. Einhergehend mit diesem Wachstum hat auch die durchschnittliche Zugsdichte pro Tag (24 Stunden) und Linie um 22% von 90 auf 110 Züge zugenommen. Auf einzelnen Strecken – insbesondere entlang der Gotthardachse – fällt die Zunahme noch grösser aus. Zudem haben auch die Zugslängen in der Tendenz zugenommen.

Zwar wird die Verkehrszunahme im Lärmass Leq vollumfänglich erfasst. Zur Diskussion Anlass gibt aber die Frage, ob bei der erhöhten Zugsdichte der generelle Schienenbonus von -5 dB(A) noch angemessen ist. Im Vergleich zur in der LSV festgelegten Schwelle (>79 Züge pro Tag oder Nacht), ab der es nur noch einen minimalen Bonus von -5 dB gibt, sind die Zugsfrequenzen insbesondere auf der Gotthardstrecke sowohl tags als auch nachts wesentlich höher. Die für die Eisenbahn typischen Ruhephasen zwischen den einzelnen Lärmereignissen sind auf diesen Strecken nur noch stark verkürzt vorhanden. Es ist offen, ob bei so hohen Zugsfrequenzen der Eisenbahnverkehr bei gleichem Leq wie der Strassenverkehr von der Bevölkerung nach wie vor als weniger belästigend empfunden wird und einen Bonus von -5 dB(A) verdient. Aufgrund dieser Überlegungen besteht hier **grosser Handlungsbedarf** zur Überprüfung der Pegelkorrektur.

b) Emissionen

Der Lärm vorbeifahrender Züge entsteht primär durch die Berührung von Rad und Schiene. Entscheidend ist dabei die Oberflächenrauigkeit der beiden Berührungsf lächen. Massgebend für die resultierende Lärmemission sind das Verkehrsvolumen (Anzahl Züge tags / nachts), die Infrastruktur (Geschwindigkeitsvorgaben, Gleisprofil, Unter- und Oberbau) sowie die Qualität des Roll- und Schienenmaterials.

Insbesondere beim Rollmaterial konnten in den letzten Jahren durch den Ersatz der Klotzbremsen mit Scheiben- oder Trommelbremsen bedeutende Verbesserungen erzielt werden. Diese Entwicklung ist sehr positiv, weil damit die Gesamtemissionen bei gleich bleibenden Zugsfrequenzen deutlich geringer ausfallen. Dieser Umstand könnte allenfalls das Verhältnis der drei Lärmarten (Schiene, Strasse, Flug) untereinander in der Wahrnehmung der Bevölkerung beeinflussen. Aus dieser Überlegung wird der **Handlungsbedarf** zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte als **mittel** eingeschätzt. Dabei geht es in erster Linie um die Frage, bei welchem verkehrsträgerspezifischen Beurteilungspegel (Lr) von einer gleichen Belästigung ausgegangen werden kann, ob es also z.B. – wie in der LSV angenommen - nach wie vor zutrifft, das bei einem Lr von 60 dB(A) der Strassen- und Schienenlärm als gleich störend empfunden werden.

c) Tageszeitliche Verteilung²¹

Neben der allgemeinen Zunahme der Zugsdichte nimmt insbesondere auf der Gotthardstrecke die Dichte der (lauten) Güterzüge in der Nacht erheblich zu. Da die Güterzüge in der Nacht auf Leerzeiten zwischen den Personenzügen angewiesen sind und zudem nicht nach Fahrplan, sondern nach Bedarf verkehren, ist ihr (unerwartetes) Auftreten in der Nacht als besonders störend zu bewerten. Bekannt ist auch, dass sich das Geräusch- resp. Störungsmuster eines lauten Güterzuges deutlich von jenem eines Reisezuges unterscheidet. Güterzüge verfügen in der Regel über verschiedene Wagentypen mit zum Teil stark unterschiedlichen Geräuschpegeln. Lange Güterzüge verursachen zudem lange Vorbeifahrzeiten, was die Wahrscheinlichkeit von Aufwachreaktionen bei den Betroffenen erhöhen kann.

Insgesamt haben diese Entwicklungen mindestens auf stark frequentierten Güterstrecken zu einer Neu- oder Umverteilung der lärmintensiven Phasen in den Nachtzeitraum geführt. Zudem muss die Berechnung der Pegelkorrektur K1 (gemäss Anhang 4 LSV) besonders hinterfragt werden, weil sie zurzeit die Züge in der Nacht gegenüber jenen tags sogar mit einem Bonus von -3 dB(A) bevorteilt (wenn ihre Anzahl pro Tag und Nacht kleiner 79 und grösser

²¹ Nebst der tageszeitlichen Verteilung wurden bei allen drei Verkehrsarten (Schiene, Strasse, Flug) auch noch die Veränderungen in der räumlichen Verteilung untersucht. Es hat sich aber gezeigt, dass selbst wenn es solche Veränderungen zum Teil gab, daraus kein Handlungsbedarf für die Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen abzuleiten ist. Daher wird im Rahmen dieser Synthese auf die räumliche Verteilung nicht mehr näher eingegangen.

7.9 ist).²² Insgesamt ist der **Handlungsbedarf** bezüglich der tageszeitlichen Verteilung und ihrer Berücksichtigung im Beurteilungsmass Lr als **gross** einzustufen.

3.1.3 T&B 7-9: Wie haben sich im Flugverkehr die Verkehrsmengen, die Lärmemissionen und die tageszeitliche Verteilung entwickelt und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?

a) Verkehrsmenge

Zwischen 1980 und 2005 haben die Flugbewegungen auf allen Landesflughäfen stark zugenommen (Basel-Mulhouse: 142%, Genf: 68%, Zürich 94%). Wie eingehend zu Abschnitt 3.1 erwähnt, ist aber allein aus der Zunahme der Verkehrsmenge noch kein unmittelbarer Handlungsbedarf zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte abzuleiten. Zudem wurden die Immissionsgrenzwerte für den zivilen Flugverkehr erst im Jahr 2000 festgelegt, so dass ein wesentlicher Teil der Verkehrszunahme seit 1980 bereits berücksichtigt ist. Aufgrund dieser Ausgangslage wird der **Handlungsbedarf** als **klein** beurteilt.

b) Emissionen

Die Emissionen beim Fluglärm hängen von der Schallabstrahlung des jeweiligen Flugzeugtyps, dem An- und Abflugverhalten und den Emissions-Vorschriften des betreffenden Flughafens ab. Bei der Abstrahlung wurden in den letzten 25 Jahren grosse Fortschritte erzielt. Diese positiven Entwicklungen führten zu einer massiven Reduktion der Lärmemissionen pro Flugbewegung und wurden bei der Neufestlegung der Flughafenbetriebsvorschriften laufend berücksichtigt. Am Beispiel des Flughafens Kloten lässt sich zeigen, dass die lärmindernden Entwicklungen bei den Flugzeugen und in den Betriebsvorschriften seit 1987 zu einer deutlichen Reduktion jener Flächen geführt hat, welche über dem Immissionsgrenzwert belastet sind. Gleichzeitig kann auch festgestellt werden, dass in den fluglärmexponierten Gemeinden eine starke Zunahme der Bevölkerung stattgefunden hat.

Den gesamthaft deutlich reduzierten Immissionen stehen die massive Zunahme der Anzahl Flugbewegungen insgesamt und im Tagesgang gegenüber. Dies wird von den Anwohnern unabhängig von der Lautstärke der einzelnen Flugereignisse als massive Störung empfunden. Diesen Effekt der überproportionalen Zunahme der Flugbewegungen bei gleichzeitiger überproportionaler Abnahme der Quellenleistung kann der Beurteilungspegel in der heutigen Form nicht im entsprechenden Ausmass abbilden.

Insgesamt ergibt sich aus dieser Entwicklung ein **kleiner Handlungsbedarf** zur Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen.

²² Berechnungsbeispiel:

- 4 Züge pro Stunde tags = Total 64 Züge; $K1 = 10 \cdot \log(64/250) = -5.9$
- 4 Züge pro Stunde nachts = Total 32 Züge; $K1 = 10 \cdot \log(32/250) = -8.9$

c) Tageszeitliche Verteilung

Wie bei den anderen Verkehrsarten gilt auch für den Flugverkehr, dass die tageszeitliche Verteilung der Lärmereignisse für die von der Bevölkerung empfundene Lärmbelastigung von hoher Relevanz ist.

Die Entwicklung in Zürich zeigt, dass die Flugbewegungen in den ersten beiden Nachtstunden (22-23 und 23-24 Uhr) im Zeitraum von 1980 bis 2005 um über 190% zugenommen haben. Demgegenüber ist bei der letzten Nachtstunde (5-6 Uhr) eine Abnahme um 98% zu verzeichnen, was eine Folge der 213. deutschen Durchführungsverordnung zur Fluglärmverordnung bzw. der wegen ihr erzwungenen Südanflüge ist. Zudem hat in der Randstunde am Abend (21-22 Uhr) ebenfalls mit plus 41% zwischen 1996 und 2005 ein massiver Anstieg stattgefunden. Wegen der Verlagerung des früher vor 6 Uhr abgewickelten Anflug-Verkehrs auf die Zeit nach 6 Uhr kann auch eine starke Zunahme der Flugbewegungen in der ersten Tagesstunde (6-7 Uhr) festgestellt werden. Diese Zunahmen werden bei der Ermittlung des Beurteilungspegels über den gesamten Tageszeitraum von 16 Stunden ausgemittelt.

Bei den anderen Flughäfen (insbesondere Genf und Basel) sind die Bewegungszahlen in der letzten Nachtstunde konstant gering, es ist jedoch eine Zunahme der Bewegungszahlen in der zweiten Nachtstunde (23-24 Uhr) feststellbar.

Aus der Lärmwirkungsforschung (vgl. Abschnitt 3.3.4) ist bekannt, dass die Störung durch Schallereignisse insbesondere im Schlaf besonders hoch ist und dass die Tagesrandstunden von 21-22 Uhr sowie von 6-7 Uhr für viele Teile der Bevölkerung zur Nacht gehören. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass mit der erläuterten Ermittlung der Beurteilungspegel die tatsächliche Belästigungswirkung des Lärms an diesen Randstunden unterschätzt wird. Daher wird der Handlungsbedarf aus Sicht von Technik & Betrieb als mittel erachtet.

3.1.4 Gesamtbeurteilung aus Sicht Technik & Betrieb

Die Tabelle 3-1 gibt einen zusammenfassenden Überblick zum Handlungsbedarf aus Sicht Technik & Betrieb.

Tabelle 3-1: Zusammenstellung des Handlungsbedarfs aus Sicht Technik & Betrieb

Technik & Betrieb	Leitfrage	Handlungsbedarf
T&B 1	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Strassenverkehr und insbesondere auf den Autobahnen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	gross
T&B 2	Wie hat sich beim Strassenverkehr die Emission in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	klein
T&B 3	Wie hat sich beim Strassenverkehr die tageszeitliche Verteilung in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	mittel
T&B 4	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Schienenverkehr, insbesondere auf den Hauptstrecken, in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	gross
T&B 5	Wie haben sich die Emissionen des Rollmaterials im Schienenverkehr in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	mittel
T&B 6	Wie hat sich der tageszeitliche Verlauf des Schienenverkehrs in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	gross
T&B 7	Wie haben sich die Flugbewegungen im Bereich der Flughäfen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lauten die Prognosen?	klein
T&B 8	Wie hat sich beim Flugverkehr die Emission in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	klein
T&B 9	Wie hat sich in den letzten 25 Jahren die tageszeitliche Verteilung des Flugverkehrs entwickelt?	mittel

Insgesamt zeigt sich, dass bei drei Leitfragen (1, 4 und 6) ein grosser Handlungsbedarf gegeben ist. Eine dieser Leitfragen betrifft den Strassenverkehr, zwei betreffen den Schienenverkehr:

- Beim **Strassenverkehr** führt vor allem die grosse Zunahme des Verkehrs auf sehr stark frequentierten Strassen zu einer permanenten und auch in der Nacht kaum abnehmenden Lärmbelastung. Es wird vermutet, dass die damit einhergehende Belästigung der Bevölkerung durch die alleinige Zunahme des Beurteilungspegels nicht ausreichend berücksichtigt wird. Daher ist möglicherweise eine separate Störungskorrektur für sehr stark und permanent frequentierte Strassen erforderlich.
- Beim **Schieneverkehr** wirft die grosse Zunahme der Zugsdichte die Frage auf, ob der Bonus gegenüber dem Strassenverkehr noch gerechtfertigt ist. Zudem führen der hohe Anteil des Güterverkehrs in der Nacht und die zunehmenden Zuglängen zur Frage, ob die Berechnung der Pegelkorrektur noch gerechtfertigt ist, welche dazu führt, dass die Züge in der Nacht gegenüber jenen tags bevorteilt werden, solange deren Anzahl kleiner als 79 ist.

Bei drei Leitfragen (3, 5 und 9) ergibt sich ein **mittlerer** Handlungsbedarf, bei den restlichen drei Leitfragen (2, 7 und 8) ist der Handlungsbedarf klein.

3.2 Akustik²³

In der Dimension Akustik geht es vor allem um folgende Fragestellungen:

- Welche Beschreibungsgrössen zur Erfassung des Lärms gibt es?
- Welche Entwicklungen und Ansätze haben sich bei der akustischen Messung und der akustischen Berechnung ergeben?
- Wie gross sind die Mess- und Berechnungsunsicherheiten und wie ist der Umgang mit ihnen?

Bei der Beantwortung dieser Fragen steht die Relevanz in Bezug auf den Handlungsbedarf im Vordergrund. Zu klären ist also, ob sich in einem der Fragenbereiche eine Entwicklung oder Erkenntnis ergeben hat, die von sich aus Anlass zu einer Überprüfung der Grundlagen für die Immissionsgrenzwerte geben. Ähnlich wie im Teil Technik & Betrieb ist darauf zu achten, dass sich aus einer Veränderung nicht unmittelbar ein Handlungsbedarf ableitet. Nur wenn aufgrund der neuen Entwicklung zu vermuten ist, dass auf Grund der heutigen Grundlagen die Immissionsgrenzwerte und die damit verknüpften Verfahren zur Ermittlung des Beurteilungspegels den Schutz der Bevölkerung vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen nicht mehr sicherstellen, ist ein Handlungsbedarf gegeben.

3.2.1 A 1: Genügt das Konzept der Beurteilungspegel als Summe eines Mittelungspegels und einer oder mehrerer Korrekturen, um die Beeinträchtigung durch Lärm (Belästigung, Schlafstörung, Gesundheitsgefährdung) angemessen abbilden zu können?

Es gibt verschiedene physikalische Grössen eines Geräusches, die zur Beschreibung einer akustischen Lärmimmission an einem bestimmten Ort verwendet werden können. In der Regel ist es für die Beurteilung der Lärmsituation ausreichend, wenn der zeitliche Verlauf des Schalldrucks erfasst wird. Daraus können verschiedene Signalmerkmale des Geräusches abgeleitet werden, wie der Maximalpegel L_{\max} , der Mittelungspegel $L_{\text{eq}T}$ (= energieäquivalenter Dauerschallpegel) über eine Zeitdauer T oder der Ereignispegel L_E . Für impulsartigen Lärm, besonders zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit, wird auch der Spitzenpegel L_{peak} verwendet.

Die rein physikalische Beschreibung reicht nicht aus, um die Hörempfindung abzubilden. Zur Messung der Lautstärke eines Geräusches muss hauptsächlich die unterschiedliche Empfindlichkeit des Gehörs abhängig von der Frequenz (Tonhöhe) berücksichtigt werden. Dies wird durch die so genannte A-Bewertung realisiert. Bei Messungen und Berechnungen wird in der Lärmbekämpfung hauptsächlich der A-bewertete Schalldruckpegel L_{AF} und die daraus abgeleiteten Grössen wie z. B. dem Mittelungspegel $L_{A\text{eq}}$ und dem Maximalpegel $L_{AF\text{max}}$ oder $L_{AS\text{max}}$ eingesetzt.²⁴

²³ Die Ausführungen basieren auf Bütikofer R., Eggenschwiler K., Heutschi K., Thomann G. und Wunderli, J.M. (2009), Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 3: Akustik.

²⁴ F steht dabei für die Zeitkonstante FAST bei der gleitenden Mittelung des ursprünglichen Signals, S für SLOW.

Für die Beurteilung des Lärms müssen diese technischen Signalmerkmale in Lärmbeurteilungspegel L_r (rating level) „transformiert“ werden. Meist wird dabei vom Mittelungspegel L_{Aeq} ausgegangen und dieser mit Korrekturen versehen. Auch in der LSV wird dieses Verfahren verwendet. Daneben wurde in den letzten Jahrzehnten weitere Lärmbeurteilungsmasse entwickelt wie zum Beispiel der NNI (Noise and Number Index) oder $Leq(4)$.

Ingesamt muss festgestellt werden, dass die Lärmbeurteilungsmasse die von der Lärmwirkung erforschte Belästigung bei der Bevölkerung alle in etwa gleich gut bzw. gleich schlecht reflektieren. In den letzten Jahren hat sich keines der neu entwickelten Lärmbeurteilungsmasse als eindeutig überlegen herausgestellt. In diesem Sinne stellen die in der Lärmschutz-Verordnung verwendeten Beurteilungspegel nach wie vor den Stand der Technik und des Wissens dar. Es besteht daher aus Sicht der Akustik bei der Leitfrage A 1 **kein Handlungsbedarf**. Dies schliesst allerdings nicht aus, dass sich aus der Lärmwirkungsforschung Hinweise für eine Verfeinerung oder Neugestaltung der Lärmbeurteilungsmasse ergeben, um die Korrelation zwischen Belastung und Belästigung zu verbessern oder Schlafstörungen besser beschreiben zu können.

3.2.2 A 2: Ist der von der LSV gewählte Geltungsort der Immissionsgrenzwerte aus akustischer Sicht geeignet, die Störwirkung beim Lärmbetroffenen zu erfassen?

Die akustischen Immissionen müssen so ermittelt werden, dass sie für die Beurteilung des Lärms eine sinnvolle Grundlage bieten. Die Messung der Lärmbelastung im offenen Fenster bei Strassen- und Schienenverkehr ist dazu aus Sicht der Akustik weiterhin geeignet. Mit Hilfe der so genannten Staudruckmethode können zudem zuverlässige Messergebnisse erzielt werden, selbst wenn die Fenster bei einer langen Messkampagne nicht dauernd offen gehalten werden können. Somit ergibt sich aus Sicht Akustik bei dieser Leitfrage **kein Handlungsbedarf**.

3.2.3 A 3: Haben sich die technischen Möglichkeiten der akustischen Messung seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?

Bei der Ermittlung des Schalldrucks mittels Mikrofonen gab es in den vergangenen 50 Jahren keine grundsätzlichen Veränderungen. Drastisch geändert haben sich jedoch die Möglichkeiten der messtechnischen Aufzeichnung bzw. Verarbeitung des Schalldrucks. Die Entwicklung integrierter Schaltkreise und Prozessoren ermöglicht heute, dass Parameter für fast beliebige Fragestellungen zu Frequenzbewertungen, Lautheit, Störungsmuster (Abfolge von Ruhezeiten und Störung), und Pegelanstieg (Flankensteilheit)²⁵ aufgezeichnet und damit ausgewertet werden können. Ebenso ist ein jahrelanges Monitoring einer Lärmbelastung (z.B. in Autobahnnähe) mit Speicherung aller Kenndaten zur Akustik, zur Witterung und zum

²⁵ Die Flankensteilheit misst, wie rasch der Pegel von Geräuschen ansteigt. Eine rasche Durchfahrt eines Zuges erzeugt einen schnelleren Anstieg des Pegels als eine langsame Vorbeifahrt.

Verkehrsaufkommen möglich. Zudem hat sich der auswertbare Dynamikumfang (Minimum und Maximum der Lautstärke eines Geräusches) mit mehr als 100 dB(A) massiv vergrößert und unterliegt nicht mehr den früheren Grenzen von 50 dB(A) oder weniger.

Insgesamt zeigt sich also, dass die modernen Messverfahren eine sehr viel umfangreichere Datenerfassung und damit Auswertung zulassen als dies noch in den 1980er-Jahren möglich war. Die grundlegende Messtechnik, welche bei den früheren Untersuchungen für die Festlegung der Grenzwerte in der Lärmschutz-Verordnung verwendet wurde, ist jedoch auch aus heutiger Sicht noch durchaus geeignet, um die Lärmbelastung festzuhalten. Die damaligen Ergebnisse zu Lärmbelastung und Lärmbelästigung sind also nicht durch die „alte“ Lärm-messtechnik verfälscht. In diesem Sinne haben die damaligen Kennzahlen L_{Aeq} und L_{AFmax} auch ihre Gültigkeit zur Beurteilung des Verkehrslärms nicht verloren (vgl. dazu auch die Ausführungen zu Leitfrage A1).

Sollten jedoch neue empirische Untersuchungen über die Lärmbelastung und die damit einhergehende Belästigung in der Bevölkerung durchgeführt werden – z.B. um neue Grenzwerte und Ermittlungsverfahren für die Lärmbeurteilungspegel zu bestimmen – dann bieten die heutigen Messtechniken ein bisher unausgeschöpftes Potenzial für neue Ansätze von Lärm-beschreibungsgrößen. In diesem Sinne kann der **Handlungsbedarf** als **mittel** beurteilt werden.

3.2.4 A 4: Haben sich die methodischen Ansätze und die Möglichkeiten in der akustischen Simulationstechnik (Berechnung der Lärmbelastung) seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmim-missionsgrenzwerte auswirken würde?

Die in den 1980er-Jahren verwendeten Berechnungsmodelle zur Schätzung der Lärmbelastung basierten zwar auf einem breiten Fundus von Messdaten. Die Modellierungstechnik war aber aus heutiger Sicht noch nicht weit fortgeschritten. Die Beschreibung der Lärmquelle beschränkte sich in der Regel auf wenige Parameter wie z.B. dem Verlauf der Strasse, der Eisenbahnlinie oder der Flugbahn und der Anzahl Fahrzeuge pro Zeiteinheit. Die Schallausbreitungsrechnung bestand generell aus einem Term zur Abbildung der Abstandsabhängigkeit zwischen Lärmquelle und Ort der modellierten Lärmimmission sowie weitgehend empirisch bestimmten Korrekturen. Die Modelle waren insbesondere nicht in der Lage, unterschiedliche Eigenschaften der Bodenbeschaffenheit (Grasland oder asphaltierte Flächen) oder der Witterung (Windrichtung, Temperatur) zu berücksichtigen, obwohl Messungen zeigen, dass sich daraus Pegelunterschiede von mehreren Dezibel ergeben können. Dies hatte insbesondere für die Modellierung der Lärmimmissionen in der Nacht Konsequenzen: Nachts gibt es häufiger Temperaturinversionen, die dazu führen, dass sich der Schall z.B. über niedrige Hindernisse ungedämpft ausbreiten kann. Weil die Messwerte zur Kalibrierung der Modelle vor allem vom Tag stammten und die Modelle wie erwähnt nicht in der Lage waren, die unterschiedlichen Temperaturschichtungen tags und nachts abzubilden, führte dies zu einer systematischen Unterschätzung der modellierten Lärmbelastung in der Nacht.

Ebenso bedeutend wie die Mängel in der Modellierung der Schallausbreitung waren die Vereinfachungen bei den Lärmquellen. Beispielsweise wurden im Eisenbahn-Lärberechnungsmodell SEMIBEL die Bedeutung des Oberbautyps sowie der Rauigkeit von Rad und Schiene nicht bzw. nur ungenügend berücksichtigt. In der Folge konnten die je nach Beschaffenheit von Oberbau, Rad und Schiene unterschiedlichen Schallimmissionen nur über den Geschwindigkeitsparameter berücksichtigt werden. Dies führte für unterschiedliche Fahrzeugtypen zu ganz unterschiedlichen Geschwindigkeitsabhängigkeiten, welche physikalisch nicht erklärt werden können. Wird der Anwendungsbereich des Modells über den mit Messdaten abgedeckten Geschwindigkeitsbereich ausgedehnt, ist deshalb mit deutlichen Abweichungen zwischen Messung und Berechnung zu rechnen.

Seit den ersten Anfängen in den 1980er-Jahren hat sich die Modellierungstechnik in grossen Schritten entwickelt. Nach wie vor sind die Modelle auf die Berechnung des A-bewerteten Mittelungspegels L_{Aeq} ausgerichtet. Neu ist jedoch, dass die Modelle von einer konsequenten Trennung zwischen Schallentstehung bzw. -abstrahlung und Schallausbreitung ausgehen. Dies hat den Vorteil, dass für die Schallausbreitung wesentlich komplexere Berechnungsverfahren entwickelt und für alle Lärmarten eingesetzt werden können. Insbesondere wird auf empirische, d.h. rein auf Messdaten abgestützte Korrekturen soweit wie möglich verzichtet. Stattdessen wird eine möglichst direkte Abbildung der physikalischen Phänomene angestrebt. So werden z.B. die Bodenbeschaffenheit, die meteorologischen Einflüsse und die Reflexionen physikalisch korrekt berücksichtigt.

Die Tendenz zu einer stärkeren Orientierung an der Physik zeigt sich auch bei der Quellenbeschreibung. Man beschränkt sich nicht mehr nur darauf, die entscheidenden Einflussgrößen der Schallemissionen zu identifizieren und in einen Zusammenhang mit den gemessenen Pegeln zu bringen. Es wird vielmehr mit aufwändigen Quellenmodellen versucht, die eigentliche Schallentstehung nachzubilden.

In Bezug auf den Handlungsbedarf sind diese neuen Erkenntnisse aus der Modellierungstechnik von vergleichsweise grosser Bedeutung. Es muss nämlich davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse von nationalen und internationalen Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Wirkung (Belästigung oder Störung) systematische Fehler aufweisen, wenn die Lärmbelastung mittels älterer Berechnungsmodelle ermittelt wurde (wie dies auch bei einigen Schweizer Studien der Fall war). Da die so ermittelten Belastungs-Wirkungsbeziehungen in die Grenzwertfestlegung eingeflossen sind, hat dies auch Konsequenzen für die Qualität bzw. Zuverlässigkeit der heutigen Grenzwerte. Es ergibt sich daher aus den Erkenntnissen der neuen Modellierungstechnik ein **grosser Handlungsbedarf** zur Überprüfung der Belastungs-Wirkungsbeziehungen.

3.2.5 A 5: Messungen und Berechnungen sind mit quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Welchen Stellenwert haben diese Unsicherheiten bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte?

Mess- und Berechnungsunsicherheiten sind nichts Ungewöhnliches. Auch in der Akustik hat sich diesbezüglich im letzten Jahrzehnt ein deutlich verstärktes Bewusstsein entwickelt. Der aktuelle Kenntnisstand kann wie folgt zusammengefasst werden:²⁶

- Die Messunsicherheit ist abhängig von den verwendeten Messgeräten, Messgeräteeinstellungen, Fremdgeräuschen und ev. der näheren Messumgebung. Bei begleiteten Messungen mit entsprechender Überwachung von Fremdgeräuschen beträgt die Messunsicherheit etwa 0.5 dB. Bei automatischen (unbegleiteten) Messungen können die Unsicherheiten deutlich grösser als 1 dB sein.

Trotz dieser im Vergleich zu Berechnungen z. T. kleineren Unsicherheit, sind Messungen nicht immer genauer als Berechnungen. Beispiel: Bei der Ermittlung von Jahresmittelwerten über grössere Schallausbreitungsdistancen kann die Unsicherheit der Messung sehr gross sein, wenn die Messdauer oder die Auswahl der Messperioden falsch gewählt werden.

- Bei den Berechnungs- bzw. Modellierungsunsicherheiten muss unterschieden werden, zwischen Unsicherheiten in der Beschreibung der Schallquelle und jenen in der Modellierung der Schallausbreitungsvorgängen:
 - Die Unsicherheit in der Beschreibung der Schallquelle liegt etwa bei 1-2 dB.
 - Von grosser Bedeutung ist die Berechnungsunsicherheit bei der Schallausbreitung. Sie nimmt mit wachsendem Abstand zu. Für die bodennahe Ausbreitung beläuft sie sich grob geschätzt auf ca. 1 dB pro 100m Ausbreitungsdistanz. Beim Fluglärm ist die Standardunsicherheit wegen der nicht bodennahen Ausbreitung kleiner als bei anderen Lärmarten. Sie dürfte in einer Distanz von einem Kilometer rund 1 bis 2 dB betragen und mit rund 0.5 dB pro Kilometer zunehmen.

Die ausgewiesenen Grössenordnungen gelten für heutige Berechnungsmodelle. Sie beziehen sich auf den Pegel von Einzelereignissen. Die Standardunsicherheit des Mittelungspegels dürfte bei heutigen Modellen tiefer liegen. Bei älteren Modellen muss bezüglich Unsicherheit von rund doppelt so hohen Werten ausgegangen werden, weil insbesondere die meteorologischen Effekte noch überhaupt nicht berücksichtigt wurden.

Dieser Umstand ist für den Handlungsbedarf von Bedeutung, weil das Festlegen von Immissionsgrenzwerten und die Bestimmung der Berechnungs- und Messverfahren zur Ermittlung des Beurteilungspegels zusammengehören. Diese Zusammengehörigkeit ist beim Strassen- und Schienenverkehr nicht mehr gegeben, da heute zur Ermittlung des Beurteilungspegels andere Modelle und Verfahren eingesetzt werden, als dies bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte mindestens teilweise der Fall war. Daraus ergibt sich mindestens ein **mittle-**

²⁶ Vgl. dazu auch Thomann G. (2007), Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen.

rer Handlungsbedarf zur Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen der Immissionsgrenzwerte.

3.2.6 Gesamtbeurteilung aus Sicht Akustik

Der Handlungsbedarf aus akustischer Sicht ist in Tabelle 3-2 zusammengestellt.

Ein grosser Handlungsbedarf ergibt sich aus den Erkenntnissen in der Modellierungstechnik der Lärmbelastung (Leitfrage A4). Es ist davon auszugehen, dass die früheren Berechnungsmodelle die Lärmbelastung insbesondere in der Nacht systematisch unterschätzt haben. Damit sind aber auch die Qualität bzw. Verlässlichkeit verschiedener nationaler Studien über den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Belästigung teilweise in Frage gestellt, da bei einzelnen Untersuchungen die Immissionen nicht am Ort der Befragten gemessen, sondern wegen Budgetmangels mittels „älterer“ Modelle berechnet wurden.

Bei den Leitfragen A3 und A5 wird ein mittlerer Handlungsbedarf festgestellt. Bei den zwei übrigen Leitfragen (A1 und A2) wird kein Handlungsbedarf identifiziert.

Tabelle 3-2: Zusammenstellung des Handlungsbedarf aus Sicht Akustik

Akustik	Leitfrage	Handlungsbedarf
A 1	Genügt das Konzept der Beurteilungspegel als Summe eines Mittelungspegels und einer oder mehrerer Korrekturen, um die Beeinträchtigung durch Lärm (Belästigung, Schlafstörung, Gesundheitsgefährdung) angemessen abbilden zu können?	kein
A 2	Ist der von der LSV gewählte Geltungsort der Immissionsgrenzwerte aus akustischer Sicht geeignet, die Störwirkung beim Lärmbetroffenen zu erfassen?	kein
A 3	Haben sich die technischen Möglichkeiten der akustischen Messung seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	mittel
A 4	Haben sich die methodischen Ansätze und die Möglichkeiten in der akustischen Simulationstechnik (Berechnung der Lärmbelastung) seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	gross
A 5	Messungen und Berechnungen sind mit quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Welchen Stellenwert haben diese Unsicherheiten bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte?	mittel

3.3 Lärmwirkung²⁷

Die in diesem Abschnitt untersuchte Wirkung der Lärmbelastung stellt in der Belastungs-Wirkungs-Kette (vgl. Abbildung 1-1) das zentrale Element dar, weil die Immissionsgrenzwerte

²⁷ Die Ausführungen basieren auf Brink M. (2009), Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 4: Lärmwirkung.

letztlich basierend auf der „tolerierbaren“ Wirkung festzulegen sind. Dies bedeutet allerdings nicht, dass aus den soziopsychologischen oder medizinischen Studien der Lärmwirkungsfor- schung ein bestimmter Immissionsgrenzwert direkt abgeleitet werden kann. Die Lärmwir- kungsforschung kann aufzeigen, zu welchen Belästigungen und damit störenden und schäd- lichen Einwirkungen eine bestimmte Lärmbelastung führen kann. Jedoch liefert die Lärmwir- kungsforschung in aller Regel keine Antwort auf die Frage, ob diese Belästigung im Sinne des Gesetzes noch tolerierbar ist oder ob die Grenze des Zumutbaren bereits überschritten ist. Die eigentliche Festlegung der Grenzwerte bleibt somit weitgehend einem politischen Werturteil vorbehalten.²⁸

In diesem Sinne ist auch klar, dass sich die Analyse des Handlungsbedarfs in erster Linie auf die Bestätigung oder Revision jener Belastungs-Wirkungsbeziehungen konzentriert, welche für die damalige Festlegung der Immissionsgrenzwerte massgebend waren. Dabei sind zwei Aspekte von besonderer Bedeutung:

- Hat sich seit der Inkraftsetzung der Lärmschutz-Verordnung die „Zusammensetzung“ der Schallenergie einer Lärmquelle so geändert, dass selbst bei gleichem durchschnittlichem Belastungspegel eine gegenüber früher veränderte Wirkung bzw. Belästigung festgestellt werden kann? In diese Frage eingeschlossen sind auch allfällige systematische Fehler in der früheren Messung oder Berechnung der Lärmbelastung, die bei deren Korrektur zu einer heute anderen Belastungs-Wirkungsbeziehung führen (selbst wenn die „Zusam- mensetzung“ der Schallenergie sich zwischen früher und heute nicht geändert hat).
- Hat seit der Inkraftsetzung der Lärmschutz-Verordnung ein kollektiver Wandel in der Beur- teilung der Tolerierbarkeit von Lärmbelastungen stattgefunden?

Es gibt in diesem Sinne also zwei mögliche Hauptursachen, welche zu einer Veränderung von Belastungs-Wirkungsbeziehungen führen können, nämlich eine akustisch-betriebliche und eine gesellschaftlich-psychologische. Beide Ursachen sind für die Analyse des Hand- lungsbedarfs bedeutend und müssen dementsprechend bei der Beantwortung der Leitfragen im Teil der Lärmwirkungsfor- schung auch berücksichtigt werden.

3.3.1 W 1: Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Laufe der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?

Die Überprüfung der Belastungs-Wirkungsbeziehungen beschränkt sich hier auf die Wir- kungsdimension „Belästigung“ – wohl wissend, dass auch andere relevante Beschreibungs- dimensionen der Lärmwirkung existieren und Grenzwerte ebenso begründen könnten (z.B. Aufwachreaktionen, medizinisch-physiologische Gesundheitsindikatoren etc.). Auf diese Wir- kungsdimensionen wird aber in Leitfrage W 6 eingegangen.

²⁸ Wie in Abschnitt 2.3e) dargelegt, hat sich die Expertenkommission bei der damaligen Festlegung der Immissi- onsgrenzwerte darauf geeinigt, dass die Grenzwerte so festzulegen sind, dass dabei nicht mehr als eine qualifi- zierte Minderheit von 25% der Bevölkerung sich stark gestört fühlt.

Wie bereits in Abschnitt 2.3 dargelegt wurde, hat sich in der Lärmwirkungsforschung der Ansatz durchgesetzt, dass die Belästigung durch Lärm mittels einer Befragung erhoben wird. Dabei wird der Anteil derjenigen Personen, die die oberen Stufen einer Belästigungsskala angeben, als Anteil *stark Belästigter* (HA – *highly annoyed*) ausgewiesen. Es ist bekannt, dass Strassen-, Schienen- und Fluglärm selbst bei ähnlicher energetischer Durchschnittsbelastung bei der Bevölkerung zu einer unterschiedlichen Belästigung führen. Die Entwicklung in den Belastungs-Wirkungsbeziehungen wird daher im Folgenden auch für die einzelnen Verkehrsträger separat ausgewiesen.

a) Strassenverkehr

In den letzten 10 bis 15 Jahren wurde vergleichsweise wenig unternommen, um die empirische Datenbasis über den Belastungs-Wirkungszusammenhang des Strassenlärms zu vergrössern.

Neuere, nach der Jahrtausendwende in Schweden²⁹, Norwegen³⁰ und Serbien³¹ durchgeführte Studien lassen allerdings vermuten, dass sich die Belastungs-Wirkungsbeziehung im Vergleich zu Studien aus früheren Untersuchungszeiträumen um mehrere Dezibel gegen eine geringere Belastung hin verschoben haben.

In der erst vor wenigen Jahren durchgeführten HYENA-Studie³² zur Flug- und Strassenlärm-belästigung in der Nähe grosser europäischer Flughäfen (Amsterdam, Athen, Berlin, London, Mailand und Stockholm) wurde zwar für den Strassenbereich im Vergleich zu früheren Untersuchungen kein Trend zu einer höheren Belästigung festgestellt. Aber es hat sich gezeigt, dass die länderspezifischen Ergebnisse zum Teil stark vom europäischen Durchschnittswert abweichen. Auch die Ergebnisse der ALPNAP-Studie³³ entlang der Brenner-Alpentransversale im Tirol zeigen, dass die dort befragte Bevölkerung eine durchwegs höhere Belästigung auswies, als es aufgrund von europäischen Durchschnittswerten vorhergesagt würde.

Insgesamt zeigen diese Forschungsergebnisse, dass für die Aktualisierung der schweizerischen Belastungs-Wirkungsbeziehungen mindestens ein **mittlerer Handlungsbedarf** besteht. In neuen empirischen Untersuchungen, sollten nicht nur die Belästigung, sondern auch die lärmbedingten Aufwachreaktionen erhoben werden. Darüber hinaus müsste auch die

²⁹ Ohrstrom E., Barregard L., Andersson E., Skanberg A., Svensson H. und Angerheim P. (2007), Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic.

³⁰ Klæboe R., Amundsen A.H., Fyhri A. und Solberg S. (2004), Road traffic noise - the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway.

³¹ Jakovljevic B., Paunovic K. und Belojevic G. (2008), Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population.

³² Babisch W., Houthuijs D., Pershagen G., Cadum E., Velonakis M., Katsouyanni K. et al. (2007), Associations between road traffic noise, aircraft noise and noise annoyance. Preliminary results of the HYENA study.

³³ Lercher P., de Greve B., Botteldooren D. und Rüdiger J. (2008), A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standard curves.

Wirkung auf bekannte Gesundheitsendpunkte wie zum Beispiel kardiovaskuläre Erkrankungen untersucht werden.

b) Schienenverkehr

In den Leitfragen T&B 1-3 wurde bereits aufgezeigt, dass der Schienenverkehr seit der Inkraftsetzung der Lärmschutz-Verordnung sowohl hinsichtlich Zugsfrequenzen, Länge der Züge als auch ihrer tageszeitlichen Verteilung markante Veränderungen erfahren hat. Insbesondere wegen der stark gestiegenen Zugsfrequenzen stellt sich die Frage, ob die Störwirkung der Schiene tatsächlich im Vergleich zum Strassenverkehr noch einen Bonus verdient. In Europa gibt es Studien, die den Schienenbonus bestätigen³⁴ und solche, deren Resultate Zweifel an seiner Existenz nähren³⁵, oder in denen sich sogar Hinweise für einen Malus für Schienenlärm finden³⁶. Aufgrund dieser Ausgangslage erweist es sich als äusserst schwierig, zu einer zuverlässigen Einschätzung zu kommen. Die widersprüchlichen Ergebnisse sind Grund genug, hier einen **grossen Handlungsbedarf** zur Aktualisierung der schweizerischen Untersuchungsergebnisse zu sehen.

c) Flugverkehr

Zwischen 1980 und 2005 haben die Flugbewegungen auf allen Landesflughäfen stark zugenommen (vgl. dazu die Ausführungen unter Leitfrage T&B.7). Gleichzeitig hat der Pegel der Einzelereignisse stark abgenommen. Ein akustischer Jahresmittelwert kommt heute also durch wesentlich mehr Einzelereignisse mit geringeren Pegeln zustande. Dabei stellt sich 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 Belästigungsurteil eingehen.

Internationale Studien lassen vermuten, dass ein Belästigungswandel stattgefunden hat, allerdings kann er noch nicht als wissenschaftlich erwiesen bezeichnet werden. Auch die vergleichsweise aktuellen Befragungen aus Zürich³⁷ (2001 und 2003) sowie Frankfurt³⁸ (2005) lassen vermuten, dass sich dieser Trend weiter fortsetzt. Allerdings sind die gültigen Immissionsgrenzwerte für den Flugverkehr noch relativ jung, so dass eine Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen der Tages- und Nachtgrenzwerte grundsätzlich nicht dringlich

³⁴ Moehler U., Liepert M., Schuemer R. und Griefahn B. (2000), Differences between railway and road traffic noise; Lambert J., Champelovier P. und Vernet, I. (1998), Assessing the railway bonus: The need to examine the "new infrastructure" effect.

³⁵ Lercher P., Brauchle G. und Widmann U. (1999), The interaction of landscape and soundscape in the Alpine area of the Tyrol: an annoyance perspective.

³⁶ Ohrstrom E., Barregard L., Andersson E., Skanberg A., Svensson H. und Angerheim P. (2007), Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic.

³⁷ Brink M., Wirth K. und Schierz, C. (2007), Swiss Noise Study 2000: Exposure-Effect-Curves of Annoyance 2001 and 2003 (electronic data).

³⁸ Schreckenberg D. und Meis M. (2006), Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens.

ist. Aus Sicht der Lärmwirkung jedoch problematisch ist das Fehlen einer – ähnlich den separat ausgewiesenen Grenzwerten für die erste, zweite und letzte Nachstunde – 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). Hier besteht ein **grosser Handlungsbedarf** entweder über eine Revision der Beurteilungszeiten oder über eine Änderung der geltenden Nachtflugsperrordnung.

d) Fazit

Aufgrund der Bedeutung der Belastungs-Wirkungsbeziehungen für die Festlegung der Immissionsgrenzwerte und der aufgezeigten bzw. vermuteten Änderungen im Belästigungsempfinden der Bevölkerung besteht bei der Leitfrage W 1 insgesamt ein **grosser Handlungsbedarf**.

3.3.2 W 2: Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?

Die Anforderungen an die empirischen Grundlagen zur Grenzwertfestsetzung lassen sich in quantitative und qualitative Aspekte unterscheiden. Bezüglich der Quantität kann generell festgestellt werden, dass angesichts der Bedeutung der Grenzwertfestlegung für die Raumplanung, für die erforderlichen Sanierungsmassnahmen bei Strasse und Schiene sowie für die gerichtliche Entschädigungspraxis die empirische Datenbasis aus heutiger Sicht ausserordentlich dünn war. Es ist im Nachhinein schwer verständlich, dass – angesichts der raumplanerischen Auswirkungen und der in der Folge milliardenteuren Sanierungsmassnahmen – für empirische Arbeiten so wenig personelle und finanzielle Ressourcen zur Verfügung standen.

Hinsichtlich der Qualität ist die Beurteilung getrennt für die drei Lärmquellen vorzunehmen:

a) Strasse

Mit vier Studien in den Jahren 1972 bis 1978 ist die empirische Basis relativ schmal. Die verwendeten Methoden sind aus heutiger Sicht als relativ grob zu bezeichnen. Beispielsweise wurde der Zusammenhang zwischen Anzahl stark belästigter Personen und der Lärmbelastung in einer Studie von Wehrli et al. zwar graphisch dargestellt, aber nicht mittels eines statistischen Modells beschrieben. Zudem ist die Herleitung des Immissionsgrenzwertes aus den empirischen Studien im Bericht der Expertenkommission lückenhaft dargestellt. Gemäss den Ausführungen in Abschnitt 2.3c) entsteht im Rückblick der Eindruck, dass für die Festlegung der Grenzwerte im Strassenlärm die Erfahrung mit den Grenzrichtwerten von 1963 ausschlaggebend waren und die in der Zwischenzeit vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse von geringerer Bedeutung waren. Aufgrund dieser unbefriedigenden empirischen und methodischen Basis besteht ein **grosser Handlungsbedarf** zur Überprüfung der Grundlagen für die Immissionsgrenzwerte.

b) Schiene

Für den Schienenverkehr stand eine einzige Untersuchung aus den späten 1970er-Jahren zur Verfügung.³⁹ Die akustische Datenerhebung muss bei dieser Studie als sehr kritisch bezeichnet werden, da wegen Budgetmangels auf die Messung am Ort der Befragten verzichtet wurde und die Lärmbelastung stattdessen mit dem damals entwickelten EMPA-Eisenbahnmodell, Vorläufer von SEMIBEL, berechnet wurde. Wie in Abschnitt 3.2.4 ausgeführt, konnte bei diesem Berechnungsverfahren sowohl die Schallausbreitung wie auch die Erfassung der Schallquelle (einzelner Zug) nur mit grossen Vereinfachungen modelliert werden. Die stichprobenweise Überprüfung des Berechnungsmodells mit Messungen konnte nur für wenige Orte vorgenommen werden.

Die Methodik der Wirkungserfassung entsprach dem damaligen Erkenntnisstand. Etwas störend ist einzig der Umstand, dass die im Bericht⁴⁰ der Kommission enthaltene Belastungs-Wirkungs-Beziehung in dieser Form nicht im Schlussbericht der Studie enthalten ist.

Insgesamt muss festgestellt werden, dass die Datenlage zur Festlegung der Immissionsgrenzwerte auf einer einzigen Studie beruht und diese hinsichtlich des akustischen Teils bzw. der Ermittlung der Lärmbelastung mit grossen Fragezeichen behaftet ist. Die Anforderungen an die Festlegung von Immissionsgrenzwerten sind aus heutiger Sicht damit kaum erfüllt, und es besteht ein **grosser Handlungsbedarf** zur Aktualisierung und Validierung der empirischen Grundlagen.

c) Flugverkehr

Für den Lärm ziviler Grossflugzeuge beruht die Grenzwertfestlegung vor allem auf der Lärmstudie 90⁴¹. Das Studiendesign und die verwendete Methodik entsprechen den wissenschaftlichen Anforderungen. Störend ist eigentlich nur der Umstand, dass in der Studie die lärmbeeinträchtigten Personen einerseits nach der Störung in der Wohnung und andererseits nach der Störung vor dem Haus befragt wurden, aber für die massgeblichen Belastungs-Wirkungsbeziehungen meist die Störung in der Wohnung zugrunde gelegt wird (so auch im offiziellen Bericht der Kommission⁴²). Dies entspricht zum einen nicht der heute üblichen Praxis, wo nach einer allgemeinen Beurteilung der Störung/Belästigung gefragt wird, und bringt zum anderen auch eine gewisse Inkompatibilität innerhalb der Lärmschutz-Verordnung mit sich, weil z.B. beim Schienenverkehr auf eine explizite Ortsangabe bei der Befragung verzichtet wurde. Zudem dürfte mit der verwendeten Belastungs-Wirkungsbeziehung, welche implizit die Belästigung in der Wohnung als massgebliche Belästigung

³⁹ Soziologisches Institut der Universität Zürich (1980), Zur Begrenzung der Lärmbelastung: Sozio-psychologische Untersuchungen zur Begrenzung von Eisenbahn-, Strassen und Rangierlärm.

⁴⁰ Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten (1982), 4. Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm

⁴¹ Oliva C. (1998), Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Strassenlärm.

⁴² Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten (1997), 6. Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für den Lärm der Landesflughäfen.

propagiert, die tatsächliche Lärmbelastung der Bevölkerung unterschätzt werden. In der Folge weist die Dosis-Wirkungskurve der Lärmstudie 90 im internationalen Vergleich eine sehr geringe Belästigung der Bevölkerung aus. Die Ergebnisse aus der Lärmstudie 2000 weisen jedenfalls darauf hin, dass die Personen ihr Fluglärm-Belästigungsurteil weitgehend anhand ihrer Erfahrungen im Aussenbereich entwickeln. Angesichts dieser eher ungewöhnlichen Quantifizierung der massgeblichen Lärmbelastung wäre es sinnvoll, die Belästigungsurteile der Lärmstudie 90 auch mit Bezug auf die Aussenlärm-Belastung auszuwerten. Dem entsprechend wird ein **mittlerer Handlungsbedarf** veranschlagt.

d) Fazit

Für den Strassen- und Schienenverkehr weisen die empirischen Grundlagen nach den heutigen Anforderungen an die Grenzwertfestlegung erhebliche Mängel auf. Es besteht daher insgesamt ein **grosser Handlungsbedarf**.

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

Das Grundprinzip der Belastungsberechnung im Jahresmittel ist breit akzeptiert. Was in Zukunft vermehrt zu berücksichtigen ist, sind allfällige periodische Belastungsmuster, die gleichzeitig auf entsprechend höhere Empfindlichkeiten bei der Bevölkerung stossen (z.B. Lärmzunahme am Wochenende, saisonal betriebene Anlagen wie Passstrassen). Insgesamt kann aber der **Handlungsbedarf** in dieser Leitfrage als **klein** eingestuft werden.

3.3.4 W 4: Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?

In der Lärmschutz-Verordnung wird für die Festlegung der Grenzwerte zwischen Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22-6 Uhr) unterschieden. Damit soll dem Aktivitätsmuster der Bevölkerung und der entsprechenden Lärmempfindlichkeit Rechnung getragen werden. Die gewählte zeitliche Abgrenzung kann aber mindestens in der Rückblende kaum als empirisch abgestützt bezeichnet werden, denn bereits in der Strassenlärmuntersuchung von 1978⁴³ wurde z.B. aufgezeigt, dass lediglich 24% der Befragten vor 6 Uhr bzw. im Zeitraum zwischen 5-6 Uhr bereits aufgestanden waren.

In der Zwischenzeit häufen sich die Hinweise, dass die in der Lärmschutz-Verordnung gewählte Tag-Nacht-Abgrenzung nicht (mehr) den Gewohnheiten der Bevölkerung entspricht. Insbesondere der „Tagesbeginn“ um 6 Uhr scheint für einen Grossteil der Bevölkerung zu früh zu sein. So zeigt etwa die Lärmstudie 2000⁴⁴ für die Zürcher Bevölkerung auf, dass der

⁴³ Wehrli B., Nemecek J., Turrian V., Hofmann R. und Wanner H. U. (1978), Störwirkungen des Strassenverkehrslärms in der Nacht.

⁴⁴ Brink M., Wirth K., Rometsch R. und Schierz C. (2005), Lärmstudie 2000 Zusammenfassung.

durchschnittliche Aufstehzeitpunkt unter der Woche 6:34 Uhr ist, am Wochenende 8:22 Uhr und über die gesamte Woche anteilig gemittelt 7:05 Uhr. Einschränkend ist anzumerken, dass es bis heute keine schweizweit repräsentativen Zeitnutzungsdaten gibt, die einen Rückschluss auf einen für die ganze Schweiz gültigen mittleren Aufstehzeitpunkt zulassen würden. Die Ergebnisse für die Zürcher Bevölkerung mit einem gemittelten Aufstehzeitpunkt nach 7 Uhr sind trotzdem ein starkes Indiz, dass der Tagesbeginn um 6 Uhr – gemäss Lärm-schutz-Verordnung – deutlich zu früh ist.

Die Tagesrandstunden (6-7 Uhr und 21-22 Uhr) sind also besonders kritisch zu beurteilen, weil in dieser Zeit ein grosser Teil der Bevölkerung schon oder noch seinen Schlafbedürfnissen nachkommt und der Mensch auf Nachtlärmstörungen wesentlich empfindlicher reagiert als auf Störungen respektive Belästigung durch Lärm am Tag.

Insgesamt besteht bezüglich der Überprüfung der Tag-Nacht-Zeiten ein **grosser Handlungsbedarf**. Dazu braucht es repräsentative Untersuchungen über das Aktivitätsmuster bzw. die Zeitnutzung der schweizerischen Bevölkerung im Tagesablauf. Zudem sollte auch überprüft werden, ob bei der Grenzwertfestlegung neben der grundsätzlichen Tag-Nacht-Unterscheidung evtl. weitere zeitliche Differenzierungen notwendig sind. Diesbezüglich gibt es Hinweise, dass zum Beispiel auch über die Mittagszeit (11 bis 14 Uhr) ein besonders grosses Ruhebedürfnis besteht.⁴⁵

3.3.5 W 5: Sind alle in der LSV behandelten Quellen akustisch ausreichend beschrieben?

Im Rahmen dieser Leitfrage ist zu prüfen, ob mit dem Beurteilungspegel Lr jeweils pro Lärmart (Strasse, Schiene, Flug) wirklich alle relevanten akustischen Parameter erfasst werden, die zu störungs-, belästigungs- und gesundheitsbezogenen Wirkungen bei den Lärmbetroffenen führen können. Diese Beurteilung muss für die drei Verkehrsarten getrennt vorgenommen werden:

a) Strassenverkehr

Wie bereits in der Dimension Technik & Betrieb erläutert wurde, hat insbesondere der Verkehr auf den Autobahnen stark zugenommen. Diese Verkehrsart wurde aber in den massgeblichen schweizerischen Beurteilungsstudien noch nicht berücksichtigt, da diese zum grössten Teil auf Befragungen von Anwohnern an Gemeinde- und Hauptstrassen basierten. In diesem Sinne floss der Autobahnlärm auch nicht in die Grenzwertfestlegung ein. Dies ist aus Sicht der Lärmwirkung problematisch, weil der Pegel-Zeit-Verlauf bei Autobahnen praktisch einen unterbruchsfreien Charakter aufweist und sich somit stark vom Gemeindestras-senlärm unterscheidet. Zudem ist auf Autobahnen wegen der höheren Fahrgeschwindigkeit das Spektrum der Lärmemission verschoben. Dominierend sind die Abrollgeräusche und die aerodynamischen Geräusche. Ebenso scheint Autobahnlärm eine ausgeprägte Tonhaltigkeit

⁴⁵ Vgl. dazu Brink M., Wirth K., Rometsch R. und Schierz C. (2005), Lärmstudie 2000 Zusammenfassung.

aufzuweisen. Wenn in Geräuschmissionen Dauertöne oder zeitlich veränderliche Geräusche enthalten sind, führt dies meistens zu einer subjektiv stärkeren Lästigkeit. All diese Besonderheiten werden im heutigen Beurteilungspegel L_r nicht erfasst; wie sie sich genau auf die Belästigung auswirken ist ebenfalls nicht a priori klar.⁴⁶

Für die Lärmmissionen des Strassenverkehrs ist auch von Bedeutung, dass sich die heutige Fahrzeugzusammensetzung und -technik wesentlich von den Gegebenheiten in den 1970er-Jahren unterscheidet, als die massgeblichen Grundlagen für die Lärmschutz-Verordnung erarbeitet wurden.

Insgesamt muss der **Handlungsbedarf** aufgrund dieser Veränderung als **gross** eingeschätzt werden.

b) Schienenverkehr

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 Studien⁴⁷ kommen zu dem Ergebnis, dass die physiologische Störwirkung auf den Schlaf gerade beim Schienenverkehrslärm stark ausgeprägt ist. Dies hängt damit zusammen, dass (schnell) vorbeifahrende Züge in ihrem Lärmpegel eine ausgeprägte Anstiegsdynamik aufweisen, was für Aufwachreaktionen besonders kritisch ist.

Hinzu kommt, dass der Schienenverkehr in der Lärmschutz-Verordnung auch bei hohen Zugsfrequenzen (> 79 Bewegungen pro Beurteilungsperiode) von einem „Minimalbonus“ von -5 dB profitiert, selbst wenn die Bewegungszahl in ähnliche Regionen wie im Strassenverkehr vorstösst, wo ein solcher Bonus kaum mehr gerechtfertigt ist. Ebenso werden die Zuglängen in der Pegelkorrektur nicht berücksichtigt. Ob und inwieweit die Zuglänge störungsrelevant ist, müsste ebenfalls untersucht werden.

Insgesamt besteht bezüglich der Überprüfung des Schienenbonus zumindest ein **mittlerer Handlungsbedarf**.

c) Flugverkehr

In der Lärmwirkungsforschung hat sich hinsichtlich physiologischer Reaktionen im Schlaf die Beurteilung von Fluglärm-Einzelereignissen als besseres Lärmbeschreibungsmass erwiesen als der Mittelungspegel L_{eq} . Dies hängt damit zusammen, dass Fluglärm – ähnlich wie der Schienenverkehr – eine ausgeprägte Anstiegsdynamik aufweist und diese wie erwähnt für

⁴⁶ Beispielsweise werden weitgehend unterbrechungsfreie Geräusche als eher weniger belästigend empfunden, demgegenüber ist aber der Autobahnlärm wegen fehlender Lärmpausen nachts und ausgeprägter Tonhaltigkeit evtl. insgesamt trotzdem störender.

⁴⁷ Marks A., Griefahn B. und Basner M. (2008), Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise.

die Aufwachreaktion besonders relevant ist. Als relevante Beschreibungsgrößen von Einzelereignissen sind insbesondere der Ereignispegel L_E , der Maximalpegel L_{max} , die Flankensteilheit⁴⁸ und die Anzahl zu nennen. Aufgrund dieser Überlegungen stellt sich die Frage, ob zumindest für die Nachtrandstunden nicht ein anderes Beurteilungsmass gewählt werden sollte. Der **Handlungsbedarf** wird als **mittel** eingeschätzt.

d) Fazit

Die akustische Beschreibung der beiden Lärmarten Strasse und Schiene ist in der heutigen Form wahrscheinlich nicht ausreichend, um die grosse Bandbreite der Belästigungen wirkungsgerecht abzudecken. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die beiden Verkehrsarten je nach Zusammensetzung und räumlichem Umfeld stark unterschiedliche Emissionen erzeugen. Beim Flug- und Bahnlärm wäre zudem zu prüfen, ob als Ergänzung zum Mittelungspegel L_{eq} ein Beurteilungsmass eingeführt wird, das auf Einzelereignissen basiert. Zusammenfassend ist ein mindestens **mittlerer Handlungsbedarf** gut begründet.

3.3.6 W 6: Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll?

Die Belästigung ist in der Lärmwirkungsforschung die am häufigsten erhobene psychologische Lärmreaktion und wird in vielen Ländern im Rahmen der Gesetzgebung als (alleiniger) Lärmwirkungsindikator beigezogen.

Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass ein Grenzwert, der die Belästigungswirkung begrenzt, auch praktisch automatisch für eine Begrenzung sämtlicher medizinisch-physiologischen Wirkungen sorgt. Diese Vorstellung muss in der Zwischenzeit hinterfragt werden. Im Schlaf kann kein Belästigungsurteil gebildet werden, da der eingeschränkte Bewusstseinszustand dies nicht zulässt. Es muss davon ausgegangen werden, dass Lärmergebnisse in der Nacht auch dann zu körperlichen Reaktionen führen, die längerfristig Gesundheitsfolgen nach sich ziehen können, wenn die Belastung unterhalb aktueller Grenzwerte liegt. Aus epidemiologischen Studien ist bekannt, dass kardiovaskuläre Erkrankungen wie z.B. Bluthochdruck vermehrt als Folge einer chronischen nächtlichen Lärmbelastung auftreten können. Bei einer Grenzwertsetzung muss auch die Wirkungsdimension Gesundheit berücksichtigt werden. Der Schutz der Gesundheit kann durch den Einsatz heutiger Nachschuttkonzepte zur Vermeidung von nächtlichen Aufwachreaktionen nicht vollständig sichergestellt werden, da diese Konzepte Aufwachreaktionen jeweils nur im Gruppenmittel, nicht jedoch für den Einzelnen begrenzen.

⁴⁸ Zur Definition der Flankensteilheit vgl. Fussnote 25 auf Seite 36.

Insgesamt kann ein **mittlerer bis hoher Handlungsbedarf** identifiziert werden, dass neben der Belästigung noch weitere Wirkungsdimensionen in die Grenzwertfestlegung einzubeziehen sind.

3.3.7 W 7: Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?

Gemäss den gesetzlichen Vorgaben von Art. 8 USG (Beurteilung von Einwirkungen) sind die Lärmeinwirkungen an einem Ort sowohl einzeln, als auch gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken zu beurteilen. Das Problem dabei ist, dass sowohl die nationale wie auch internationale Forschung bisher keine breit akzeptierten Lösungen bietet, wie mit der Kombinationswirkung von mehreren Lärmquellen sowohl in Bezug auf die Ermittlung der Lärmbelastung als auch der dadurch verursachten Belästigung umzugehen ist. Zwar gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze wie z.B. den Energiesummenpegel (die Gesamtbelästigung ist eine Funktion der Summe der Einzelpegel) oder die Belästigungs-Summation (die Gesamtbelästigung ergibt sich als Addition der pegelbezogenen Einzel-Belästigungen). Bei kritischer Durchsicht der verfügbaren Forschungsergebnisse vermag jedoch kein Modell für sich allein vollständig zu überzeugen. Soweit uns bekannt ist, sind auch in ausländischen Rechtssystemen noch keine Beurteilungsverfahren erprobt oder in Kraft gesetzt worden, welche die Kombinationslärmwirkung berücksichtigen würden. Es gibt jedoch erste pragmatische Regelungsansätze (z.B. in Deutschland mit dem Richtlinienentwurf E VDI 3722).

In diesem Sinne kann daher zwar festgestellt werden, dass die Lärmschutzgesetzgebung in der Schweiz mindestens auf demselben Stand ist wie in anderen europäischen Ländern. Trotzdem verbleibt bezüglich des Umgangs mit der Kombinationslärmwirkung ein **grosser Handlungs- bzw. Forschungsbedarf**.

3.3.8 Gesamtbeurteilung aus Sicht Lärmwirkung

Die Tabelle 3-3 gibt einen zusammenfassenden Überblick über den Handlungsbedarf in der Dimension Lärmwirkung. Von allen untersuchten Dimensionen ergibt sich aus der Lärmwirkungsforschung der grösste Handlungsbedarf zur Überprüfung der Grundlagen für die Immissionsgrenzwerte. Gross ist der Handlungsbedarf vor allem aufgrund folgender Erkenntnisse:

- Es gibt verschiedene Hinweise, dass sich die Belastungs-Wirkungsbeziehungen im Laufe der letzten 20-30 Jahre verschoben haben und die Bevölkerung heute bei gleichem Pegel stärker belästigt ist als früher. (→Leitfrage W 1)
- Die damaligen empirischen Grundlagen, welche in die Festlegung der Immissionsgrenzwerte eingeflossen sind, sind insgesamt und insbesondere aus heutiger Sicht als kaum ausreichend anzusehen. Zudem musste beim Schienenverkehr wegen Budgetmangels auf eine systematische Messung der Lärmbelastung am Ort der Befragten verzichtet werden. Anstelle dessen wurde die Lärmbelastung mit einem Modell berechnet, welches aus heutiger Sicht überholt ist. Beim Strassenverkehr besteht der Eindruck, dass für die Festlegung der Grenzwerte weniger die empirischen Studienergebnisse der 1970er-Jahre als

die guten Erfahrungen mit den Grenzrichtwerten aus dem Jahr 1963 von Bedeutung waren. (→ Leitfrage W 2)

- Die in der Lärmschutz-Verordnung vorgenommene Abgrenzung zwischen Tag (6-22 Uhr) und Nacht (22-6 Uhr) entspricht sehr wahrscheinlich nicht (mehr) dem heutigen Aktivitätsmuster der Bevölkerung. Nur ein geringer Teil der Bevölkerung ist um 6 Uhr bereits wach und die letzte Tagesrandstunde (21-22 Uhr) wird von einem (anderen) Teil der Bevölkerung bereits für die Schlafphase genutzt. (→ Leitfrage W 4)
- Bezüglich des Umgangs mit der Kombinationslärmwirkung besteht ein grosser Forschungsbedarf. Weder ist bekannt, wie der Lärm von mehreren Quellen akustisch erfasst werden soll, noch besteht ausreichende Kenntnis über die Belästigungswirkung von Kombinationslärm. (→ Leitfrage W 7)

Als mittel wird der Handlungsbedarf in Bezug auf die nebst der Belästigung zusätzlich zu berücksichtigenden Wirkungsdimensionen (Leitfrage W 6), sowie auf die akustische Beschreibung der Lärmquellen (Leitfrage W 5) eingeschätzt.

Tabelle 3-3: Zusammenstellung des Handlungsbedarfs aus Sicht Lärmwirkung

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

4 Zusammenfassung und Empfehlung

4.1 Zusammenfassender Überblick über den Handlungsbedarf

Gemäss dem Umweltschutzgesetz sind die Immissionsgrenzwerte für Lärm so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören. Wie die Analyse der rechtlichen Anforderungen an die Festlegung der Immissionsgrenzwerte gezeigt hat, müssen dazu insbesondere folgende Aspekte sichergestellt sein:

- Bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Lärmarten aufgrund ihrer unterschiedlichen Lärmcharakteristika verschieden stark stören können.
- Ebenso ist zu beachten, dass die Lärmempfindlichkeit der Bevölkerung tags und nachts unterschiedlich ist.
- Für die Erfassung der Lärmbelastung ist ein Lärmbelastungsmass zu verwenden, welches alle relevanten akustischen Parameter (Pegel, Häufigkeit, zeitliche Abfolge etc.) abbildet, die zu störungs-, belästigungs- oder gesundheitsbezogenen Wirkungen bei den Lärmbeeinträchtigten führen können.
- Die Beeinträchtigung des Wohlbefindens der Bevölkerung durch Lärm sowie gesundheitsbezogene Wirkungen sind durch Bevölkerungsbefragungen und/oder andere Ermittlungen in Erfahrung zu bringen. Daraus sind Belastungs-Wirkungsbeziehungen herzuleiten.
- Basierend auf diesen Belastungs-Wirkungsbeziehungen ist die Grenzwertfestlegung so zu treffen, dass der verbleibende Anteil der erheblich gestörten Personen möglichst gering ist.
- Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere sind angemessen zu berücksichtigen.

Ausgehend von diesen Vorgaben wurde in den Dimensionen Technik & Betrieb, Akustik und Lärmwirkung anhand von insgesamt 21 Leitfragen untersucht, ob sich seit der Inkraftsetzung der Lärmschutz-Verordnung Entwicklungen und / oder Erkenntnisse ergeben haben, die einen wissenschaftlich begründeten Handlungsbedarf zur Überprüfung der Grundlagen für die Immissionsgrenzwerte auslösen.

Die Ergebnisse dieser Analyse sind in der nachstehenden Tabelle für alle untersuchten Leitfragen zusammengestellt. Es zeigt sich, dass bei insgesamt 8 der 21 Leitfragen vom Projektteam ein grosser Handlungsbedarf identifiziert wird. Bei 7 Leitfragen wird von einem mittleren Handlungsbedarf ausgegangen, und bei 6 Leitfragen hat sich ein kleiner oder kein Handlungsbedarf ergeben.

Im Rahmen eines ganztägigen Workshops wurden die Herleitung dieser Ergebnisse sowie die Beurteilung des Handlungsbedarfs mit nationalen und internationalen Experten diskutiert. Von den teilnehmenden Experten und Expertinnen wurde aufgrund der präsentierten Input-

papiere zudem selbst eine Einschätzung zum Handlungsbedarf vorgenommen. Das Ergebnis dieser Einschätzung ist in der Tabelle ebenfalls abgebildet (zweite Spalte von rechts, in der Spalte ganz rechts ist die Zahl der antwortenden Experten und Expertinnen enthalten).

Tabelle 4-1: Handlungsbedarf zur Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm

Dimen- sion	Leitfrage	Handlungsbedarf*		Anzahl Experten- Antworten
		Projekt- team	Experten- Ø	
Technik & Betrieb		* 0: keiner; 1: klein; 2: mittel; 3: gross		
T&B 1	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Strassenverkehr und insbesondere auf den Autobahnen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	3	2.5	(4)
T&B 2	Wie hat sich beim Strassenverkehr die Emission in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	1	1.6	(5)
T&B 3	Wie hat sich beim Strassenverkehr die tageszeitliche Verteilung in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2	1.8	(5)
T&B 4	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Schienenverkehr, insbesondere auf den Hauptstrecken, in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	3	2.4	(5)
T&B 5	Wie haben sich die Emissionen des Rollmaterials im Schienenverkehr in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2	1.8	(5)
T&B 6	Wie hat sich der tageszeitliche Verlauf des Schienenverkehrs in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	3	2.8	(5)
T&B 7	Wie haben sich die Flugbewegungen im Bereich der Flughäfen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lauten die Prognosen?	1	1.2	(6)
T&B 8	Wie hat sich beim Flugverkehr die Emission in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	1	0.7	(6)
T&B 9	Wie hat sich in den letzten 25 Jahren die tageszeitliche Verteilung des Flugverkehrs entwickelt?	1	2.2	(5)
Akustik		* 0: keiner; 1: klein; 2: mittel; 3: gross		
A 1	Genügt das Konzept der Beurteilungspegel als Summe eines Mittelungspegels und einer oder mehrerer Korrekturen, um die Beeinträchtigung durch Lärm (Belästigung, Schlafstörung, Gesundheitsgefährdung) angemessen abbilden zu können?	1	1.6	(5)
A 2	Ist der von der LSV gewählte Geltungsort der Immissionsgrenzwerte aus akustischer Sicht geeignet, die Störwirkung beim Lärmbetroffenen zu erfassen?	1	0.0	(3)
A 3	Haben sich die technischen Möglichkeiten der akustischen Messung seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	2	1.6	(5)
A 4	Haben sich die methodischen Ansätze und die Möglichkeiten in der akustischen Simulationstechnik (Berechnung der Lärmbelastung) seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	3	2.8	(5)
A 5	Messungen und Berechnungen sind mit quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Welchen Stellenwert haben diese Unsicherheiten bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte?	2	1.2	(6)
Lärmwirkung		* 0: keiner; 1: klein; 2: mittel; 3: gross		
W 1	Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Laufe der Zeit stattgefunden, und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	3	2.9	(8)
W 2	Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?	3	2.9	(7)
W 3	Sind die in der LSV implementierten Betrachtungszeiträume (z.B. Mittelung über ein Jahr) noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	1	1.4	(8)
W 4	Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	3	3.0	(8)
W 5	Sind alle in der LSV behandelten Quellen akustisch ausreichend beschrieben?	2	2.1	(7)
W 6	Welche Wirkungsdimensionen müssen berücksichtigt werden, wenn eine Grenzwertfestsetzung dem heutigen Stand des Wissens und der Erfahrung genügen soll?	2	2.4	(8)
W 7	Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?	3	2.8	(8)

Generell lässt sich feststellen, dass es bei allen Leitfragen mit grossem Handlungsbedarf zwischen der Beurteilung des Projektteams und dem Urteil der Experten und Expertinnen – bis auf eine Ausnahme – keine Diskrepanz gibt. Einzig bei Leitfrage T&B 4 orten die Experten und Expertinnen einen etwas geringeren Handlungsbedarf.

Interessant ist auch, dass sich die Leitfragen mit grossem Handlungsbedarf auf alle drei Dimensionen erstrecken, wobei die Dimension Lärmwirkung am meisten solcher Fragen aufweist. Auch diesbezüglich deckt sich die Beurteilung des Projektteams mit der Einschätzung der Experten und Expertinnen.

Gross ist der Handlungsbedarf in der **Dimension Lärmwirkung** vor allem aufgrund folgender Erkenntnisse:

- Es gibt verschiedene Hinweise, dass sich die Belastungs-Wirkungsbeziehungen, welche der Grenzwertfestlegung zugrunde liegen, im Laufe der Zeit verändert haben, so dass heute, vor allem beim Fluglärm, die Belästigung bei gegebenem Pegel grösser ist als früher. (→ Leitfrage W 1)
- Die damaligen empirischen Grundlagen, welche in die Festlegung der Immissionsgrenzwerte eingeflossen sind, sind insgesamt und insbesondere aus heutiger Sicht als kaum ausreichend anzusehen. Beim Schienenverkehr musste beispielsweise wegen Budgetmangels auf eine systematische Messung der Lärmbelastung am Ort der Befragten verzichtet werden. Beim Strassenverkehr besteht der Eindruck, dass für die Festlegung der Grenzwerte weniger die empirischen Studienergebnisse der 1970er-Jahre als die Erfahrungen mit den Grenzrichtwerten aus dem Jahr 1963 von Bedeutung waren. (→ Leitfrage W 2)
- Die in der Lärmschutz-Verordnung vorgenommene Abgrenzung zwischen Tag (6-22 Uhr) und Nacht (22-6 Uhr) entspricht nicht (mehr) dem heutigen Aktivitätsmuster der Bevölkerung. Nur ein geringer Teil der Bevölkerung ist um 6 Uhr bereits wach und die letzte Tagesrandstunde (21-22 Uhr) wird von einem (anderen) Teil der Bevölkerung bereits für die Schlafphase genutzt. (→ Leitfrage W 4)
- Bezüglich des Umgangs mit der Kombinationslärmwirkung besteht ein grosser Forschungsbedarf. Weder ist bekannt, wie der Lärm von mehreren Quellen akustisch erfasst werden soll, noch besteht ausreichende Kenntnis über die Belästigungswirkung von Kombinationslärm. (→ Leitfrage W 7)

In der **Dimension Technik & Betrieb** wird bei den Leitfragen (T&B 1, 4 und 6) ein grosser Handlungsbedarf geortet. Eine dieser Leitfragen betrifft den Strassenverkehr, zwei betreffen den Schienenverkehr:

- Beim **Strassenverkehr** führt vor allem die grosse Zunahme des Verkehrs auf sehr stark frequentierten Strassen zu einer permanenten und auch in der Nacht kaum abnehmenden Lärmbelastung. Es wird vermutet, dass die damit einhergehende Belästigung der Bevölkerung durch die alleinige Zunahme des Beurteilungspegels nicht ausreichend berücksichtigt wird. Daher ist möglicherweise eine separate Störungskorrektur für sehr stark und permanent frequentierte Strassen erforderlich.

- Beim **Schieneverkehr** wirft die grosse Zunahme der Zugsdichte die Frage auf, ob der Schienenbonus gegenüber dem Strassenverkehr noch gerechtfertigt ist. Zudem führt der hohe Anteil des Güterverkehrs in der Nacht zur Frage, ob die Berechnung der Pegelkorrektur noch angemessen ist, da sie in der heutigen Form die Züge in der Nacht gegenüber jenen tags bevorteilt, solange deren Anzahl im jeweiligen Zeitraum kleiner als 79 ist.

In der Dimension **Akustik** gibt es nur bei Leitfrage A 4 einen grossen Handlungsbedarf. Dieser ist darauf zurückzuführen, dass in einigen früheren nationalen Untersuchungen zur Ermittlung von Belastungs-Wirkungsbeziehungen die Lärmimmissionen nicht am Ort der Befragten gemessen, sondern wegen Budgetmangels berechnet wurden. In der Zwischenzeit hat sich herausgestellt, dass einzelne der dafür eingesetzten Lärmberechnungsmodelle die Lärmbelastung insbesondere in der Nacht systematisch unterschätzt haben, weil damals die Modellierungstechnik noch nicht soweit fortgeschritten war, um zum Beispiel häufig vorkommende nächtliche Temperaturinversionen bei der Lärmausbreitung berücksichtigen zu können. Dies kann zu einer Verfälschung der Immissionsgrenzwerte geführt haben, da die so ermittelten Belastungs-Wirkungsbeziehungen in die Grenzwertfestlegung einfließen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich seit dem Inkraftsetzen der Lärmschutzverordnung sowohl Veränderungen im Verkehrsbereich wie auch neue wissenschaftliche Erkenntnisse ergeben haben, die zu **begründeten Zweifeln führen, ob die wissenschaftlichen Grundlagen der heute geltenden Lärmimmissionsgrenzwerte** noch genügend sind. In diesem Sinne besteht bezüglich verschiedener Aspekte ein **grosser Handlungsbedarf zur Aktualisierung** der relevanten wissenschaftlichen Grundlagen.

Diese Einschätzung zum Handlungsbedarf ist weder als grundsätzliche Kritik am System der Immissionsgrenzwerte zu verstehen noch soll sie die Umsetzung der Lärmsanierungsmassnahmen in irgendeiner Weise in Frage stellen. Sie stellt auch keine Beanstandung am Vorgehen der damals verantwortlichen Expertenkommission zur Ausarbeitung der Lärmgrenzwerte dar. Die Einschätzung zum Handlungsbedarf muss vielmehr als Ergebnis einer zeitlichen Entwicklung gesehen werden, in der sich die Menge und zeitliche Verteilung des Verkehrsaufkommens sowie seine Zusammensetzung stark verändert haben, die Mess- und Modellierungstechnik der Lärmbelastung grosse Fortschritte verzeichnen konnte und der Erkenntnisgewinn über den Zusammenhang von Lärmbelastung und subjektiv empfundener Belästigung mit jeder empirischen Untersuchung zunahm.

4.2 Gewichtung des Handlungsbedarfs

Im Hinblick auf das weitere Vorgehen stellt sich die Frage, mit welcher Priorität jene Leitfragen anzugehen sind, bei denen ein grosser Handlungsbedarf besteht. Dazu wurden die Leitfragen nach ihrer Relevanz beurteilt:

- **Hohe** Relevanz ist dann gegeben, wenn von den neuen Erkenntnissen oder den veränderten Grundlagen ein wesentlicher Einfluss auf die Festlegung der Immissionsgrenzwerte zu erwarten ist und von der entsprechenden Anpassung in den Grenzwerten eine grosse Anzahl Personen betroffen ist.

- Als **mittel** wird die Relevanz beurteilt, wenn von den neuen Erkenntnissen zwar ein Einfluss auf die Festlegung der Immissionsgrenzwerte zu erwarten ist, dieser Einfluss aber nur von mittlerer Bedeutung ist oder von der Änderung nur eine begrenzte Anzahl Personen betroffen ist.
- **Gering** ist die Relevanz, wenn neue Erkenntnisse kaum einen Einfluss auf die Festlegung der Immissionsgrenzwerte haben oder davon nur wenige Personen betroffen sind.

Das Ergebnis dieser Beurteilung ist in Tabelle 4-2 zusammengefasst. Dabei zeigt sich, dass insbesondere der Aktualisierung der Belastungs-Wirkungsbeziehungen (W 1) und der Überprüfung der Tag-Nacht-Abgrenzung in der Lärmschutz-Verordnung (W 4) sowohl vom Projektteam wie auch von den Experten und Expertinnen eine sehr hohe Bedeutung beigemessen wird. Eine hohe Relevanz räumt das Projektteam auch der Überprüfung des Schienenbonus (T&B 4) ein, weil davon eine grosse Anzahl Personen betroffen sein könnte.

Aus der Zusammenstellung ist zudem zu erkennen, dass sowohl das Projektteam als auch die Experten und Expertinnen bei allen Leitfragen mit grossem Handlungsbedarf mindestens von einer mittleren Relevanz für die Festlegung der Immissionsgrenzwerte ausgehen. Eine einzige Ausnahme bildet dabei Leitfrage T&B 1 zur Bedeutung des Verkehrswachstums auf den Autobahnen. Die Relevanz der permanenten und in der Nacht kaum abnehmenden Lärmbelastung entlang von Autobahnen wird von den Experten und Expertinnen als weniger bedeutend eingeschätzt als vom Projektteam.

Tabelle 4-2: Relevanz der Leitfragen mit grossem Handlungsbedarf

Dimen- sion	Leitfrage	Relevanz*		Anzahl Experten- Antworten
		Projekt- team	Experten- Ø	
W 1	Welche Veränderungen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen haben im Laufe der Zeit stattgefunden und leitet sich daraus ein Handlungsbedarf ab?	2.8	2.7	(6)
W 4	Sind die tageszeitlichen Beurteilungszeiträume gemäss LSV noch wirkungsgerecht bzw. dem Lärmgeschehen angemessen?	2.8	2.7	(6)
T&B 4	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Schienenverkehr, insbesondere auf den Hauptstrecken, in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2.8	2.3	(3)
T&B 6	Wie hat sich der tageszeitliche Verlauf des Schienenverkehrs in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2.6	2.7	(3)
W 2	Genügen die damaligen empirischen Untersuchungen den heutigen Anforderungen zur Grenzwertfestsetzung?	2.5	2.2	(5)
W 7	Ergibt sich aus der Nicht-Berücksichtigung der Kombinationswirkung verschiedener gleich- als auch verschiedenartiger Lärmquellen ein Handlungsbedarf?	2.4	2.3	(6)
T&B 1	Wie hat sich die Verkehrsmenge im Strassenverkehr und insbesondere auf den Autobahnen in den letzten 25 Jahren entwickelt und wie lautet die Prognose?	2.4	1.3	(3)
A 4	Haben sich die methodischen Ansätze und die Möglichkeiten in der akustischen Simulationstechnik (Berechnung der Lärmbelastung) seit Inkrafttreten der LSV derart verändert resp. verbessert, dass sich dies allenfalls auf die Festlegung der Lärmimmissionsgrenzwerte auswirken würde?	2.2	2.3	(3)

* 0: keine; 1: geringe; 2: mittlere; 3: hohe

4.3 Empfehlung zum weiteren Vorgehen

Die Untersuchungsergebnisse zeigen auf, dass ein wissenschaftlich begründeter Handlungsbedarf zur Überprüfung der Grundlagen für die Immissionsgrenzwerte für Lärm besteht. Daher empfiehlt das Projektteam mit den weiteren Arbeiten zur Aktualisierung der empirischen Grundlagen als Voraussetzung für das zukünftige Lärmbeurteilungssystem fortzufahren. Das weitere Vorgehen könnte dabei wie folgt strukturiert werden:

a) Entscheid des BAFU über Handlungsbedarf

Basierend auf der Ergebnisbeurteilung durch die EKL B kann das BAFU den Grundsatzentscheid treffen, ob der Handlungsbedarf ausreichend fundiert ausgewiesen ist und daher die vorgeschlagene Zwischenphase (vgl. nächsten Abschnitt) zu starten ist.

b) Zwischenphase für Gesamtprojektplanung

In einer Zwischenphase ist die Projektplanung für das Gesamtprojekt „Forschungskonzept Lärm“ zu klären. Dabei sind insbesondere folgende Arbeiten zu leisten:

- Projektorganisation
 - Organigramm mit Projektoberleitung.
 - Wie ist die Rollenteilung zwischen BAFU und EKL B? Wie erfolgt der Einbezug anderer betroffener Bundesämter (ASTRA, BAV, BAZL, BFS usw.)?
 - Ist eine separate Expertenkommission „Zukünftiges Lärmbeurteilungssystem“ einzusetzen oder wird diese Aufgabe von der EKL B wahrgenommen? Welche Aufgaben hat diese Expertenkommission wahrzunehmen („nur“ Begleitung der weiteren Forschungsarbeiten oder auch Umsetzung der Ergebnisse in einer revidierten / neuen Lärmschutz-Verordnung)?
- Inhalt
 - Welche Leitfragen sind in die Überprüfung der Immissionsgrenzwerte einzubeziehen (alle mit grossem Handlungsbedarf oder auch ausgewählte mit mittlerem Handlungsbedarf)? Bei welchen einbezogenen Fragen besteht der Bedarf nach zusätzlichen Abklärungen?
 - Pro Leitfrage mit Abklärungsbedarf ist ein Pflichtenheft mit der Fragestellung, mit dem methodischen Vorgehen, einem Leistungsbeschrieb und einer groben Kostenschätzung zu erstellen.
- Finanzierung: Basierend auf den Pflichtenheftern ist der Finanzbedarf für das Gesamtprojekt zu ermitteln und die Finanzierungsfrage zu klären. Evtl. sind dabei auch die Möglichkeiten der Finanzierung durch den Schweizerischen Nationalfonds im Rahmen einer Projektförderung (nicht-orientierte freie Grundlagenforschung) zu berücksichtigen. Im Weiteren ist auch die Mitfinanzierung anderer Bundesämter, die das Projekt begleiten zu prüfen. Es ist zentral, dass die Finanzierung der Grundlagenstudien gesichert ist, so dass die Aktualisierung der empirischen Grundlagen für die Belastungs-Wirkungsbeziehungen in- nert nützlicher Frist begonnen werden können.

- Terminplan mit Meilensteinen.
- Kommunikationskonzept: Zeitpunkt und Art der Information gegenüber Bundesrat, Parlament und Öffentlichkeit.

c) Durchführung der Hauptstudien

- Ausschreibung der Hauptstudien für alle einbezogenen Leitfragen mit Abklärungsbedarf.
- Auswahl der Studienbearbeiter.
- Durchführung der Studien mit Begleitung durch EKL oder separater Expertenkommission.

d) Umsetzung der Ergebnisse aus den Hauptstudien

Auswertung der Studienergebnisse aus dem vorangehenden Arbeitsschritt und Beantwortung der Frage, ob in einem weiteren Schritt die Immissionsgrenzwerte überprüft werden müssten.

5 Anhang: Teilnehmer des Expertenworkshops

Die folgenden Personen haben am 26. Februar 2009 am Expertenworkshop an der ETH Zürich die Inhalte der einzelnen Inputpapiere kritisch diskutiert:

Begleitgruppe EKL B und BAFU

- Peter Ettler, Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKL B
- Jenni Keel, Bundesamt für Umwelt BAFU
- Beat Marty, Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKL B
- Tommaso Meloni, Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKL B
- Urs Walker, Bundesamt für Umwelt BAFU (auch EKL B-Mitglied)

Experten

- Wolfgang Babisch, Umweltbundesamt, Abteilung Umwelthygiene, Berlin
- Mathias Basner, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln
- Barbara Griefahn, Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
- Rainer Guski, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Psychologie, Arbeitsgruppe Umwelt- und Kognitionspsychologie
- Ullrich Isermann, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Aerodynamik und Stroemungstechnik, Göttingen
- Peter Lercher, Medizinischen Universität Innsbruck, Department für Hygiene, Mikrobiologie und Sozialmedizin, Sektion Sozialmedizin
- Christian Maschke, Forschungs- und Beratungsbüro Maschke, Berlin
- Werner Stalder, Verkehrs- und Tiefbauamt Kanton Luzern
- Robert Wolf, Verwaltungsgericht des Kantons Zürich

Bearbeitendes Projektteam

- Mark Brink, ETH Zürich
- Kurt Eggenschwiler, EMPA, Abteilung Akustik / Lärminderung
- Robert Hofmann
- Reto Höin, Planteam GHS AG
- Georg Thomann, EMPA, Abteilung Akustik / Lärminderung
- Christoph Zäch, Büro für Gesetzgebung
- Heini Sommer, Ecoplan
- Sarah Werner, Ecoplan

Literaturverzeichnis

- Babisch W., Houthuijs D., Pershagen G., Cadum E., Velonakis M., Katsouyanni K. et al. (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.
- BAFU – Bundesamt für Umwelt (2009)
Lärmbelastung in der Schweiz, Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase, Bern.
- Brink M. (2009)
Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 4: Lärmwirkung, ETH Zürich, MTEC Public and Organizational Health, Zürich.
- Brink M., Wirth K., Rometsch R. und Schierz C. (2005)
Lärmstudie 2000 Zusammenfassung. Retrieved 1 January 2008, from <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=444>.
- Brink M., Wirth K. und 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.
- Bütikofer R., Eggenschwiler K., Heutschi K., Thomann G. und Wunderli, J.M. (2009), Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 3: Akustik, EMPA, Dübendorf
- Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten (1997)
6. Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für den Lärm der Landesflughäfen, from www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte
- Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärmimmissionsgrenzwerten (1982)
4. Teilbericht, Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm, from www.eklb.admin.ch/de/dokumentation/berichte.
- Hofmann R. (2009)
Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Grundlagenpapier: Der geschichtliche Werdegang der Lärmgrenzwerte, Wallisellen.
- Höin R., Buchmann B. (2009)
Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 2: Technik & Betrieb, Pan-team GHS AG, Sempach-Station.
- Jakovljevic B., Paunovic K. und Belojevic G. (2008)
Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population, in: *Environ Int.*
- Klaeboe R., Amundsen A.H., Fyhri A. und Solberg S. (2004)
Road traffic noise - the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway. in: *Applied Acoustics*, 65(9), S. 893-912.

- Lambert J., Champelovier P. und Vernet, I. (1998)
Assessing the railway bonus: The need to examine the "new infrastructure" effect. Paper presented at the Internoise 1998, Christchurch, New Zealand.
- Lercher P., Brauchle G. und Widmann U. (1999)
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.
- Lercher P., de Greve B., Botteldooren D. und Rüdissler 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.
- Marks A., Griefahn B. und Basner M. (2008)
Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise, in: Noise Control Engineering Journal, 56(1), S. 52-62.
- Moehler U., Liepert M., Schuemer R. und Griefahn B. (2000)
Differences between railway and road traffic noise, in: Journal of Sound and Vibration, 231(3), S. 853-864;
- Ohrstrom E., Barregard L., Andersson E., Skanberg A., Svensson H. und Angerheim P. (2007)
Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic, in: Journal of the Acoustical Society of America, 122(5), S. 2642-2652.
- Oliva C. (1998)
Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Strassenlärm, Berlin.
- Schreckenberger D. und 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.
- 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, Zürich.
- SR 814.41 –Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15 Dezember 1986 (Stand am 12. September 2006).
- Thomann G. (2007)
Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen. Dissertation an der ETH Zürich, Nr. 17433.
- Wanner H.U., Wehrli B., Nemecek J. und Turrian V. (1977)
Die Belästigung der Anwohner verkehrsreicher Strassen durch Lärm und Luftverunreinigungen, in: Sozial- u. Präventivmedizin 22, S. 108-115.
- Wehrli B., Hauser S., Egli H., Bakke P. und Grandjean E. (1976)
Wohnen im Neubau, Bern.

- Wehrli B., Nemecek J., Turrian V., Hofmann R. und Wanner H. U. (1978)
Störwirkungen des Strassenverkehrslärms in der Nacht, herausgegeben vom Eidg. Amt für
Umweltschutz (heute BAFU), Bern.
- Zäch C. (2009)
Überprüfung der Immissionsgrenzwerte für Lärm, Inputpapier 1: Recht, Bern.