Wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauverfahrens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindices für das Regionale Dialogforum Frankfurt

(kurz: Wissenschaftliche Bewertung Fluglärmindices Frankfurt)

Auftraggeber:	IFOK Institut für Organisationskommunikation GmbH Geschäftsstelle des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt Berliner Ring 89 D-64625 Bensheim
Anzahl Seiten:	133
Die Verfasser:	Dirk Schreckenberg, ZEUS Dr. Mathias Basner, DLR Dr. Georg Thomann, Empa
Version:	Endbericht
Datum:	27.07.2008

Zusammenfassung

Der Vorsitzende des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt (RDF) ist bestrebt im Rahmen eines Anti-Lärm-Paktes (ALP) einen regionalen Fluglärmindex zur Darstellung und zur Kontrolle der Lärmentwicklung im Umfeld des Frankfurter Flughafens zu etablieren. Zur Diskussion stehen:

- "Frankfurter Fluglärmindex" (nachfolgend mit FFI bezeichnet).
- "Frankfurter Nachtindex" (nachfolgend mit FNI bezeichnet).

Im Vordergrund steht der FFI, welcher die durch den Fluglärm hoch belästigten Personen über 24 Tagesstunden bestimmt. Der FNI ist als Ergänzung zum FFI gedacht. Er dient zur alleinigen Beurteilung der Nachtflüge, indem er die zusätzlich induzierten Aufwachreaktionen ausweist, welche durch den Flugbetrieb zwischen 22 und 6 Uhr verursacht werden. Beide Indices verknüpfen Belastung und Bevölkerung jeweils zu einer Einzahlgröße. Sie gehen damit weiter als die Regelungen im Planfeststellungsbeschluss (PFB), welche auf der Basis gesetzlich vorgeschriebener Lärmbelastungsgrenzwerte die Fluglärmbelastung beurteilen.

Die Luftverkehrswirtschaft und das Land Hessen unterstützen in einer gemeinsamen Erklärung die Lärmbeurteilung anhand wirkungsbezogener Größen, unter dem Vorbehalt, dass die vorgeschlagenen Indices einer wissenschaftlichen Qualitätssicherung unterzogen werden. Das RDF beauftragt dazu drei unabhängige Gutachter. Im Vordergrund des Auftrags steht folgende Leitfragestellung:

- „Ist ein regionaler Index aus wissenschaftlicher Sicht grundsätzlich geeignet als Instrument zur Beurteilung der Lärmentwicklungen aufgrund der Änderung von Zahl, Ort und Art der Überflüge?"
- "Sind die hierfür vorgelegten Vorschläge geeignet?"
- "Welche Modifikationen wären erforderlich, damit eine Anwendung für den vorgesehen Zweck möglich ist?“

Bei der Bearbeitung dieser Fragestellung durch die Gutachter gilt es primär zu untersuchen, ob die vorgeschlagenen Indices folgende Anforderungen erfüllen können:

- Transparente Darstellung der Entwicklung der Fluglärmwirkungen in der Region.
- Abbildung der Auswirkungen von aktiven Schallschutzmaßnahmen einzeln und ihrer Kombination.
- Schaffung einer vergleichenden Bewertungsmöglichkeit zur Abwägung der Vor- und Nachteile von aktiven Schallschutzmaßnahmen.
- Definition einer regionalen Lärmobergrenze, deren Überschreitung Handlungsbedarf auslöst.

Die ersten beiden Teile der Leitfragestellung werden von den Gutachtern bejaht, denn die Indices FFI und FNI sind grundsätzlich geeignet, die an sie vom RDF gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Der FFI und der FNI sind keine physikalischen Belastungsgrößen sondern wirkungsbezogene Lärmindices. Mit ihnen werden die Anzahl hoch fluglärmbelästigter Personen bzw. die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen erfasst. Diese Größen sind weitaus verständlicher als abstrakte Dezibelwerte bzw. energieäquivalente Dauerschallpegel oder gewichtete Mittelungspegel. Damit erfüllen die Indices FFI und FNI die Anforderung der transparenten Darstellung der Fluglärmsituation.

Modellrechnungen des RDF zeigen, dass mit beiden Indices die Auswirkungen aktiver Schallschutzmaßnahmen im Rahmen der technischen Möglichkeiten, welche die AzB bietet, abgebildet und in eine vernünftige Rangfolge gebracht werden können. Deshalb unterstützen die Gutachter die Verwendung von wirkungsbezogenen Indices zur Charakterisierung der Wirkung eines bestimmten Lärmbelas-

tungszustandes resp. zum Vergleich der Wirkung verschiedener Belastungszustände. Dabei darf der Betrachtungsperimeter nicht zu klein gewählt werden und sollte über die gesetzlich relevanten Belastungsgrenzen hinausgehen.

Nur so können die Indices ihre Stärke ausspielen, indem einerseits die Lärmwirkung eines bestimmten Belastungszustandes in einer Einzahlgröße ausgedrückt und andererseits alle Personen erfasst werden, welche sich nach objektiven Maßstäben durch den Fluglärm hoch belästigt fühlen oder stark im Schlaf gestört sind. Alle relevant Belasteten werden berücksichtigt, was anhand der Beurteilung nach dem Gesetz nicht der Fall ist.

Mit der Forderung, dass der Indexwert gegenüber dem Planfall 2020 um 10% reduziert werden soll, wird eine regionale Lärmobergrenze gesetzt. Damit wird zum Ausdruck gebracht, worauf sich die Definition einer Lärmobergrenze überhaupt beziehen soll, nämlich auf den Schutz der Anwohner vor negativen Wirkungen des Lärms. Die Gutachter unterstützen grundsätzlich das Vorgehen, eine Lärmobergrenze wirkungsbezogen festzulegen, wobei eine Beurteilung der Höhe der Lärmobergrenze selbst nicht Gegenstand dieses Gutachtens ist. Wie auch bei der Festlegung des Betrachtungsperimeters ist die definitive Festlegung einer regionalen Lärmobergrenze eine gesellschaftspolitische Entscheidung, wobei die Erkenntnisse im Bereich der Lärmwirkungsforschung einzubeziehen sind.

Die übergreifende Fragestellung ist in verschiedene Einzelfragen unterteilt. Dabei geht es um Fragen zur generellen Eignung, zur Kombination der Lärmwirkung am Tag und in der Nacht, zum Betrachtungsperimeter, zu Überschussreaktionen, zu Aufwachreaktionen in Abhängigkeit der Schlafphasen und zur Praktikabilität der vorgeschlagenen Indices. Aus der Beantwortung der Einzelfragen resp. aus den durch die Fragen ausgelösten Diskussionen leiten die Gutachter im Sinne des dritten Teils der Leitfragestellung konkrete Empfehlungen ab, die hier zur besseren Übersicht thematisch gegliedert und innerhalb der Themenbereiche nach Priorität sortiert sind. Mit den Empfehlungen verbinden die Gutachter das Ziel, eine Basis für die Optimierung der vom RDF vorgeschlagenen Fluglärmindices zu schaffen.

Allgemeine Empfehlungen:

A) Ein wirkungsbezogener Index zur Beschreibung der Belästigung und/oder Schlafstörung ist zu empfehlen. Er ist einer rein deskriptiven Beschreibung der Anzahl von Personen je dB-Klasse vorzuziehen.

B) Die Gutachter empfehlen anstelle des 24-Stunden-Indexes FFI zwei getrennte Indices zu verwenden, welche die Belästigung durch Fluglärm am Tag (nachfolgend durch den Index FTI ausgedrückt) und die Störung des Schlafes während der Nachtzeit (FNI) beschreiben. Jeder Index sollte separat die Zielvorgabe abbilden (gemäß ALP eine zehnprozentige Reduktion gegenüber dem Planungsfall 2020). Sollte man sich dazu entscheiden, die beiden Indices FTI und FNI zu einem einzigen Index zu vereinen, halten es die Gutachter für unabdingbar, dass in jedem Fall FTI und FNI separat ausgewiesen werden.

C) Eine Lärmobergrenze auf der Basis von wirkungsbezogenen Größen ist aus Sicht der Gutachter sinnvoll. An welchem Belastungsszenario diese Grenze gemessen werden soll und ob die angestrebte Reduktion von 10% sinnvoll ist, muss dagegen auf gesellschaftspolitischer Ebene diskutiert und entschieden werden.

D) Zur Vermeidung von Missverständnissen und für eine klare und eindeutige Indexbeschreibung sowie für die Festlegung der durch die Indices verfolgten Ziele ist es wichtig, dass die verwen-

deten Ausdrücke und Begriffe wie Belastung, Betroffenheit, Belästigung, Störung, etc. konsequent unterschieden und im richtigen Kontext gebraucht werden.

Empfehlungen zum Berechnungsverfahren bzw. zur Berechnungsmethode:

E) Zur Berechnung der jährlichen Indices müssen die aktuellen Einwohnerzahlen benutzt werden. Die jährliche Erhebung der Einwohnerzahlen dient dazu, den Einfluss in der räumlichen Veränderung der Wohnbevölkerung auf die Indices zu quantifizieren.

F) Heutige Berechnungsverfahren können aktive Schallschutzmaßnahmen nur grob und pauschal modellieren. Grundsätzlich sind größere Eingriffe in die bestehenden Berechnungsverfahren und eine erhebliche Verbesserung der Datenlage nötig, damit das angestrebte Controlling aktiver Schallschutzmaßnahmen zielführend wird. Dies gilt auch dann, wenn anstelle der vorgeschlagenen Indices belastungsorientierte Kennwerte (Pegelmaße) verwendet werden. Bis jedoch neue, geeignetere Verfahren entwickelt und auf ihre Praxistauglichkeit geprüft sind, können die bestehenden Berechnungsverfahren angewendet werden, wobei zwingend eine Aussage zur Berechnungsunsicherheit gemacht und diese bei der Beurteilung des Reduktionspotenzials aktiver Schallschutzmassnahmen berücksichtigt werden muss.

G) Belastungs-Wirkungsbeziehung und Fluglärmberechnungsverfahren bilden eine Einheit. Ändert sich das Berechnungsverfahren, muss auch die Belastungs-Wirkungsbeziehung neu berechnet werden. Deshalb empfehlen die Gutachter sich zuerst mit der Frage des geeigneten Berechnungsverfahrens auseinanderzusetzen, bevor die Belastungs-Wirkungsbeziehung festgelegt wird.

H) Falls an der situativen Anpassung des Berechnungsverfahrens festgehalten wird, ist zu prüfen, ob nach jeder Anpassung die Indices rückwirkend sowohl für die Vorjahre als auch den Planungsfall 2020 neu berechnet werden müssen. Nur so lässt sich die Vergleichbarkeit in der Darstellung der Lärmwirkung und Maßnahmenbewertungen über die Jahre sicherstellen.

I) Allfällig umgesetzter passiver Schallschutz sollte nur bei der Ermittlung des Nachtindexes berücksichtigt werden, indem pro saniertem Objekt die Einfügungsdämpfung in einer Datenbank erfasst wird.

J) Bei der Indexberechnung sollte die Unsicherheit der zugrunde liegenden Belastungsrechnung berücksichtigt werden.

K) Die Validierung der vorgeschlagenen Indices lässt sich nur über die Validierung der Belastungsrechnung erreichen. Dazu werden unabhängige akustische Messungen benötigt. Die Gutachter empfehlen bestehende Messstationen dafür einzusetzen, wobei die in der einschlägigen Literatur gemachten Vorgaben gebührend zu berücksichtigen sind.

Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Belästigung im Wachzustand:

L) Die für den FFI vorgeschlagene Belastungs-Wirkungsbeziehung ist auf die regionale Situation am Frankfurter Flughafen abgestimmt. Sie sollte jedoch nicht über die 24 Stunden eines Tages sondern nur über die Tagesstunden von 06 bis 22 Uhr angewendet werden. Entsprechend ist als akustisches Maß nicht mehr der Tages-Nacht-Pegel Ldn sondern der über 16 Stunden gemittelte Dauerschallpegel zu verwenden. Die Gutachter empfehlen deshalb den FFI durch den FTI zu ersetzen. Zu seiner Berechnung wird eine aus der RDF-Belästigungsstudie stammende Belastungs-Wirkungsbeziehung vorgeschlagen.

M) Die Gebietsabgrenzung sollte für den FTI wie beim FNI wirkungsseitig festgelegt werden. Als Abbruchkriterium wird ein HA-Anteil vorgeschlagen, der zwischen der Ansprechschwelle (0% HA) und der abwägungsrelevanten Schwelle von 25% HA liegt. Ein pragmatischer Ansatz wäre die Festlegung des Abbruchkriteriums bei einem HA-Anteil von 12,5%, was einem 16-Stunden-Mittelungspegel von 46 dB entspricht. Praktikabel wäre auch ein HA-Anteil von 20%. Dieser Wert sollte jedoch zur Festlegung eines Abbruchkriteriums nicht überschritten werden.

N) Eine Quantifizierung von möglichen Überschussreaktionen im FTI ist zum jetzigen Zeitpunkt aus wissenschaftlicher Sicht nicht möglich. Jedoch empfehlen die Gutachter eine periodische Überprüfung (beispielsweise alle zwei Jahre) der gewählten Belastungs-Wirkungsbeziehung.

O) Die höhere Belästigung zu den morgendlichen Randstundenzeiten (06 bis 08 Uhr) sollte in Anlehnung an den Zürcher Fluglärmindex (ZFI) durch einen gesonderten Pegelzuschlag berücksichtigt werden. Die Höhe des Pegelzuschlags ist jedoch noch zu ermitteln.

Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Schlafstörung:

P) Aus Sicht der Gutachter wäre es für eine exaktere Beschreibung von Fluglärmwirkungen auf den Schlaf optimal, wenn für jede Stunde zwischen 20 Uhr abends und 11 Uhr morgens die Anzahl der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen ermittelt und anschließend mit dem Anteil der sich im Bett befindlichen Bevölkerung gewichtet würde, bevor eine weitere Gewichtung mit der Bevölkerungsdichte am Immissionspunkt erfolgt. Nur so ist eine Berücksichtigung von Bettzeiten der nicht erwachsenen Bevölkerung möglich. Eine Unterscheidung in Werktage und Wochenenden erscheint zudem sinnvoll.

Q) Bei der Bestimmung des FNI sollte der passive Schallschutz berücksichtigt werden. Passiver Schallschutz kann wesentlich zur Entlastung von Flughafenanwohnern beitragen, die sich in der Nacht vorwiegend im Schlafraum aufhalten. Nur bei Berücksichtigung von passivem Schallschutz hat der Flughafen überhaupt die Möglichkeit und damit auch ein Interesse, den FNI durch die Gewährung von passivem Schallschutz über das gesetzlich bzw. im Planfeststellungsbeschluss vorgesehene Maß hinaus zu senken.

R) Die Kompensation von Flügen innerhalb der Mediationsnacht (23 bis 5 Uhr) durch weniger Flüge außerhalb der Mediationsnacht lässt sich mit dem FNI vollständig beschreiben. Bezüglich eines wirkungsäquivalenten Ausgleichs ist jedoch zu fordern, dass es trotz Flügen in der Mediationsnacht zu keinem Anstieg des FNI kommen darf.

S) Bei der Anzahl durch Fluglärm zusätzlich hervorgerufener Aufwachreaktionen handelt es sich um einen geeigneten Indikator für fluglärmbedingte Schlafstörungen. Die im FNI verwendete, auf der DLR-Feldstudie beruhende Belastungs-Wirkungsbeziehung entspricht dem Stand des Wissens und wird durch andere Studien gestützt. Sie ist jedoch nicht auf die regionale Situation am Frankfurter Flughafen abgestimmt. Deshalb sollte zuerst überprüft werden, ob die Wirkungsbeziehung auf die Verhältnisse in Frankfurt anwendbar ist. Falls nicht, sollte sie angepasst werden. In jedem Fall empfehlen die Gutachter eine periodische Überprüfung (beispielsweise alle vier Jahre) der Belastungs-Wirkungsbeziehung.

T) Die Gutacher unterstützen den Vorschlag des RDF, die Gebietsabgrenzung für den FNI wirkungsseitig bei 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen festzulegen. Die Abschätzung der Auswirkungen dieser Entscheidung bedarf jedoch weiterer Detailanalysen.

Summary

Within the context of the "Anti-Noise-Pact" (ANP), the chairperson of "Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt" (RDF, regional forum for the dialogue at Frankfurt Airport) aims to establish a regional aircraft noise index for the description and control of the noise development in the vicinity of Frankfurt Airport. The following two indices are being proposed:

- "Frankfurt Aircraft Noise Index" (FFI), and
- "Frankfurt Night Index" (FNI).

FFI is the primary index. Based on the 24 hours of the day, it describes the number of subjects highly annoyed by aircraft noise. FNI is meant to supplement FFI. It solely serves to assess nocturnal air traffic by displaying the number of awakenings additionally induced by aircraft noise emitted between 10pm and 6am. Both indices combine exposure measures and population density measures within a single number. They therefore exceed the procedures laid out in the "Planfeststellungsbeschluss" (PFB, approval of the plans to extend the airport), which gauges aircraft noise exposure on the basis of noise limit values set out in the law.

In a joint declaration, the air transport industry and the State of Hessen support the concept of noise assessment based on noise effect indices with reservation, i.e. only if the proposed indices are subjected to a scientific evaluation. The RDF assigns this task to three independent experts, whose main challenge is to answer the following central questions:

- “From a scientific point of view, is a regional index principally suitable to assess aircraft noise development due to changes in number, location and type of overflights?”
- “Are the RDF proposals adequate?”
- “Which modifications would be required to fulfil the above mentioned purposes?”

The expert evaluation primarily needs to assess whether the indices fulfil the following requirements:

- transparent description of regional aircraft noise development,
- reproduction of the effects of active noise control measures applied single and in combination,
- provision of a comparative tool to assess advantages and disadvantages of active noise control measures,
- definition of a regional noise limit, where action is needed if the limit is exceeded.

The experts support the first two central questions, because the indices FFI and FNI are principally suitable to fulfil the purposes set by RDF.

FFI and FNI are indices based on the effects of aircraft noise, not physical exposure measures. They describe the number of subjects highly annoyed by aircraft noise and the number of awakenings additionally induced by aircraft noise, respectively. These outcomes are more easily comprehensible than abstract decibel values, energy equivalent noise levels or weighted average sound pressure levels. Therefore, FFI and FNI manage to transparently describe the impact of aircraft noise.

Model calculations of RDF show that both indices can be used to assess and order the effects of active noise control measures based on the technical properties of AzB. Hence, the experts support the deployment of noise effect based indices for the characterization of certain noise exposure scenarios and for the comparison of different scenarios. However, the calculation perimeter should not be too restricted and exceed limit values set forward in the relevant laws.

Only under this provision do the indices show their strengths, i.e. expressing the effects of a certain exposure scenario in a single number, on the one hand, and capturing all subjects that, according to objective criteria, are highly annoyed or highly sleep disturbed by aircraft noise, on the other hand. In contrast to current legislation, all relevantly exposed subjects are taken into account.

In demanding a 10% reduction of the FFI in case of an extension for 2020, a regional noise limit is set. This stresses on what the definition of a noise limit should refer to, i.e. the protection of people living in the vicinity of Frankfurt Airport against the negative effects of aircraft noise. The experts support this approach principally. However, an evaluation of the magnitude of the noise limit itself was no objective of this expert opinion. Comparable to setting the calculation perimeter, setting a regional noise limit is a socio-political decision, where the results of noise effects research have to be duly considered.

The central questions are further divided into several sub-questions concerning general suitability, combination of noise effects during day and night, calculation perimeter, overshoot reactions, sleep stage dependent awakenings, and practicability of the proposed indices. Based on the answers to single questions and the discussions they evoked, the experts set forward several tangible recommendations (in terms of the third central question). The recommendations are given below. They are structured by topics and sorted according to their priorities. The experts hope to provide recommendations that can be used by RDF to optimize the indices they initially proposed.

General recommendations:

A) The use of a noise-effects-based index for the description of annoyance and/or sleep disturbances is recommended and superior to a sole description of exposed subjects per decibel class.

B) The experts suggest using two separate indices instead of a single 24-hour index (FFI) that describe the degree of aircraft noise annoyance during the day (FTI) and the degree of sleep disturbance during the night (FNI). Each index should fulfil the proposed reduction goal (according to ANP a 10% reduction relative to the expected noise exposure for 2020 in case of an extension of Frankfurt Airport). In the experts' opinion, FTI and FNI must be reported separately, even if it is decided to combine FTI and FNI to a single index.

C) The experts support the decision to use a noise-effects-based noise limit. It is a socio-political discussion and decision whether the basis of the limit value is appropriate (noise exposure 2020) and whether the aspired 10% index reduction suffices or not.

D) To prevent misunderstandings, to achieve unambiguous index definitions, and to set the indices' aims, it is very important that expressions like exposure, affectedness, annoyance, disturbance, etc. are consistently discriminated and used in a correct context.

Recommendations Concerning Calculation Procedures and Methods:

E) Current population density information is a prerequisite for the annual calculation of indices. The annual population census serves the purpose of quantifying the influence of local changes in population density on index values.

F) Present-day calculation methods model active noise control measures rather crudely and globally. Basically, major improvements of noise calculation methods and noise data are needed in order to facilitate the aspired controlling of active noise control measures. This is also true if exposure-oriented values (sound pressure levels) are used for the evaluation of active noise control

measures instead of the indices proposed by the experts. Until new and more appropriate methods are available and tested for practicability, existing methods can be used. In the latter case, it is essential that the degree of calculation imprecision is stated explicitly and taken into account for the evaluation of the reduction potential of active noise control measures.

G) Exposure-effect relationship and aircraft noise calculation method constitute a unity. If the aircraft noise calculation method changes, the exposure-effect relationship has to be re-calculated. Hence, the experts suggest primarily working on the improvement of aircraft noise calculation methods, before exposure-effect relationships are decided on.

H) If RDF adheres to a situative adjustment of aircraft noise calculation methods, past indices and those for 2020 in case of an extension have to be re-calculated after each adjustment. This is the only way to guarantee comparability of noise effects and of the evaluation of noise control measures over the years.

I) For the calculation of FNI, passive noise control measures should be accounted for by registering sound insulation properties of each insulated building in a database.

J) The uncertainty of the aircraft noise calculation method should be accounted for in the calculation of noise indices.

K) Validation of noise indices is only possible via a validation of aircraft noise calculation methods. For this purpose, independent acoustical measurements are needed. The experts suggest using already existing aircraft noise measuring points, where relevant literature specifications need to be duly respected.

Recommendations for the Determination of a Wake State Annoyance Index:

L) The exposure-response relationship suggested for the FFI is adjusted to the regional situation at Frankfurt Airport, but it should not be based on the 24 hours of the day but on the period from 6am to 10pm. Accordingly, a 16 hour equivalent continuous noise level should be used instead of the day-night level Ldn. Therefore, the experts suggest replacing the FFI by the FTI. An exposure-response relationship derived from the RDF Annoyance Study is suggested for the calculation of the FTI.

M) Similar to the FNI, the calculation perimeter of the FTI should be chosen based on the effects of noise. The experts suggest a stop criterion between the response threshold (0% HA) and the critical threshold ("abwägungsrelevante Schwelle") of 25% HA. Hence, a stop criterion could be set pragmatically at 12.5% HA, going along with a 16 hour equivalent continuous noise level of 46 dB. Another feasible stop criterion would be 20% HA. However, the latter value should not be exceeded.

N) For the purpose of FTI calculation, a quantification of possible overshoot reactions is momentarily not possible from a scientific point of view. Nevertheless, the experts suggest a periodical verification of the chosen exposure-response relationship (e.g. every 2 years).

O) Comparable to the Zurich Aircraft Noise Index (ZFI), higher degrees of annoyance between 6am and 8am should be accounted for with sound pressure level surcharges. The magnitude of the sound pressure level surcharges still needs to be estimated.

Recommendations for the Determination of a Sleep Disturbance Index:

P) From the experts' point of view, aircraft noise effects on sleep would be optimally replicated if, for each hour between 8pm and 11am, the number of additional aircraft noise induced awakenings is calculated and then weighted with the percentage of the population in bed, before the value is again weighted with the population density at the point of immission. Only in this way it is possible to take the sleep behavior of the non-adult population into account. Additionally, dividing the week in weekdays and the weekend seems a reasonable measure.

Q) For the calculation of FNI, passive sound insulation measures have to be taken into account. As people usually sleep in their bedrooms, passive sound insulation of bedrooms can relevantly reduce the degree of sleep disturbance. Only if passive sound insulation measures are taken into account, will it be possible and of interest for the airport to reduce the FNI by providing passive sound insulation measures exceeding those set forward in laws or in the approval of the plans to extend the airport (PFB).

R) The possible compensation of flights within the "mediation night" (11pm to 5am) with fewer flights outside of the "mediation night" is completely described within the framework of the FNI. If the compensation of flights within the "mediation night" should be effect-equivalent, the FNI may not change (especially not increase).

S) The number of awakenings additionally induced by aircraft noise is a suitable indicator of aircraft noise induced sleep disturbances. The DLR-field-study-based exposure-response relationship that is used for FNI calculation is consistent with current scientific knowledge and corroborated by other field studies on the effects of aircraft noise on sleep. However, it is not adjusted for the regional situation at Frankfurt Airport. Therefore, it should be examined whether the exposure-response relationship applies to the situation at Frankfurt Airport. If not, it should be adjusted. In any case, the experts suggest a periodical verification of the chosen exposure-response relationship (e.g. every 4 years).

T) The experts support RDF's decision of setting a stop criterion of 0.5 additionally aircraft noise induced awakenings. However, further analyses are needed for assessing the detailed consequences of this decision.

Inhalt

1. Orientierung 15

1.1. Ausgangslage 15

1.2. Auftrag 15

1.3. Das Gutachterteam 15

1.4. Gemeinsame Erklärung der Gutachter 15

2. Umfang und Inhalt des Gutachtens 17

2.1. Vorgaben 17
2.1.1. Zur Diskussion stehende Fluglärmindices 17
2.1.2. An die Indices gesteckten Anforderungen 17
2.1.3. Leitfragestellung an die Gutachter 17

2.2. Vorgehen 18

2.3. Aufbau und Struktur des Gutachtens 18

3. Beschreibung der vorgelegten Indices 21

3.1. Vorbemerkungen 21
3.1.1. Der Zürcher Fluglärmindex ZFI 21
3.1.2. Möglichkeiten und Grenzen von Fluglärmberechnungen 26
3.1.3. Möglichkeiten zur Festlegung des Betrachtungsperimeters 29

3.2. Frankfurter Fluglärmindex des Anti-Lärm-Paktes (FFI) 32
3.2.1. Definition des FFI 32
3.2.2. Diskussion des FFI 33

3.3. Frankfurter Nachtindex (FNI) 46
3.3.1. Definition des FNI 46
3.3.2. Diskussion des FNI 47

3.4. Regelungen im Planfeststellungsbeschluss (PFB) 60
3.4.1. Vorbemerkung 60
3.4.2. Bewertungsmaßstäbe im PFB 60
3.4.3. Fluglärmbewertungsmaße nach deutschem Fluglärmgesetz 61
3.4.4. Maßgebliche Fluglärm(grenz)werte zur Beurteilung der Fluglärmbelastung 63
3.4.5. Darstellung der Anzahl von Personen je dB-Klasse der Belastung 65
3.4.6. Diskussion und Fazit 67

4. Beantwortung der Einzelfragen 69

4.1. Strukturierung der Einzelfragen 69

4.2. Generelle Eignung 69
4.2.1. Frage A1 69
4.2.2. Antworten zu Frage A1 69

4.3. Kombination der Lärmwirkung am Tag und in der Nacht 71
4.3.1. Fragen B1 bis B4 71
4.3.2. Antworten zu Fragen B1 bis B4 71

4.3.3. Kompensation von Flügen innerhalb der Mediationsnacht durch weniger Flüge Außerhalb der Mediationsnacht ... 73

4.4. Betrachtungsperimeter ... 74
4.4.1. Fragen C1 bis C4 und D1 bis D4 ... 74
4.4.2. Antworten zu Fragen C1 bis C4 ... 74
4.4.3. Antworten zu Fragen D1 bis D4 ... 78

4.5. Überschussreaktionen ... 81
4.5.1. Fragen E1 bis E4 ... 81
4.5.2. Antworten zu Fragen E1 bis E4 ... 81

4.6. Aufwachreaktionen ... 85
4.6.1. Fragen F1 bis F3 ... 85
4.6.2. Antworten zu F1 bis F3 ... 85

4.7. Praktikabilität der vorgeschlagenen Indices ... 87
4.7.1. Frage G1 ... 87
4.7.2. Antworten zu Frage G1 ... 87

5. Abschließende Würdigung ... 88

5.1. Generelle Würdigung ... 88
5.1.1. Fragen ... 88
5.1.2. Antworten ... 88

5.2. Empfehlungen ... 88
5.2.1. Vorbemerkungen ... 88
5.2.2. Allgemeine Empfehlungen ... 89
5.2.3. Empfehlungen zum Berechnungsverfahren bzw. zur Berechnungsmethode ... 89
5.2.4. Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Belästigung im Wachzustand ... 90
5.2.5. Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Schlafstörung ... 91
5.2.6. Kategorisierung und Priorisierung der Empfehlungen ... 91

5.3. Schlussbemerkung und ein Blick in die Zukunft ... 92

6. Glossar ... 95

6.1. Begriffe ... 95

6.2. Abkürzungen ... 102

6.3. Formelzeichen ... 104

6.4. Indices ... 105

7. Literatur ... 107

8. Anhang ... 115

8.1. Strukturierter Fragenkatalog ... 115

8.2. Einfluss der Größe des Betrachtungsperimeters am Beispiel des Jahres 2004 für den Flughafen Zürich ... 117

8.3. Beziehung zwischen Anzahl Aufwachreaktionen und 8-Stunden-Mittelungspegel nachts ... 119

8.4. Kastka-Studie zur FOX-Route ... 121

8.5. Vorgehen beim Vergleich verschiedener Szenarien bei Änderung der Bevölkerungszahlen oder Änderung des Berechnungsverfahrens 123
8.5.1. Änderungen in den Bevölkerungszahlen: 123
8.5.2. Änderungen im Berechnungsverfahren 124

8.6. Leistungsbeschreibung für eine wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauvorhabens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindices für das Regionale Dialogforum Frankfurt 125

1. Orientierung

1.1. Ausgangslage

Der Vorsitzende des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt (RDF) Prof. Dr. Wörner ist bestrebt im Rahmen eines Anti-Lärm-Paktes (ALP) [120] einen regionalen Fluglärmindex zur Darstellung der Lärmentwicklung im Umfeld des Frankfurter Flughafens zu etablieren. Die Luftverkehrswirtschaft und das Land Hessen unterstützen in einer gemeinsamen Erklärung [52] diesen Vorschlag, und im Planfeststellungsbeschluss (PFB) [69] zum Ausbau des Frankfurter Flughafens wird der im ALP vorgeschlagene Lärmindex in modifizierter Form und vorbehaltlich einer noch ausstehenden wissenschaftlichen Qualitätssicherung aufgegriffen.

1.2. Auftrag

Das RDF beauftragt drei unabhängige Gutachter im Sinne einer Qualitätssicherung eine wissenschaftliche Bewertung der im ALP und im Rahmen des Planfeststellungsbeschlusses vorgeschlagenen Fluglärmindices vorzunehmen. Der Auftrag wird in der Leistungsbeschreibung [2] vom 12. März 2008 konkretisiert. Darin werden neben allgemeinen Fragen zur generellen Eignung und zur Praktikabilität der Indices verschiedene Einzelfragen gestellt, die im Rahmen des Gutachtens zu beantworten sind.

1.3. Das Gutachterteam

Das Gutachterteam setzt sich wie folgt zusammen:

- Dipl.-Psych. Dirk Schreckenberg, Geschäftsführender Gesellschafter und Scientific Consultant, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung (ZEUS GmbH), Hagen, Deutschland.
- Dr. Mathias Basner, M.Sc., Abteilungsleiter Flugphysiologie (kom.), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln, Deutschland.
- Dr. Georg Thomann, Leiter Fluglärm Empa, Materials Science & Technology, Dübendorf, Schweiz.

1.4. Gemeinsame Erklärung der Gutachter

Den Gutachtern ist es ein Anliegen festzuhalten, dass sie mit einer Stimme auftreten. Es werden keine Einzelmeinungen vertreten. Die im vorliegenden Bericht enthaltenen Bewertungen und Empfehlungen sind als Kollektivmeinung der Gutachter zu verstehen. Die Gutachter stehen geschlossen hinter den gemachten Äußerungen.

2. Umfang und Inhalt des Gutachtens

2.1. Vorgaben

2.1.1. Zur Diskussion stehende Fluglärmindices

Der ALP und der PFB enthalten folgende Größen zur Beurteilung der Fluglärmbelastung:

- "Frankfurter Fluglärmindex" des RDF (nachfolgend mit FFI bezeichnet)
- "Frankfurter Nachtindex" des RDF (nachfolgend mit FNI bezeichnet)
- Anzahl von Personen über den maßgeblichen Fluglärmgrenzwerten (nachfolgend mit AbP bezeichnet).[1]

Diese drei Indices werden aus wissenschaftlicher Sicht durch die Gutachter bewertet.

2.1.2. An die Indices gesteckten Anforderungen

Bei der Bewertung gilt es primär zu untersuchen, ob die vorgeschlagenen Indices die in sie gesteckten Ziele resp. Anforderungen überhaupt erfüllen können. Es sind dies:

- Transparente Darstellung der Entwicklung der Fluglärmwirkungen in der Region.
- Abbildung der Auswirkungen von aktiven Schallschutzmaßnahmen einzeln und ihrer Kombination.
- Schaffung einer vergleichenden Bewertungsmöglichkeit zur Abwägung der Vor- und Nachteile von aktiven Schallschutzmaßnahmen.
- Definition einer regionalen Lärmobergrenze, deren Überschreitung Handlungsbedarf auslöst.

Es ist klar nicht das Ziel, mittels eines Indexes das Belastungsausmaß für einzelne Personen zu bestimmen oder Grenzwerte zu formulieren, die eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch die Fluglärmbelastung für den Einzelnen markieren.

2.1.3. Leitfragestellung an die Gutachter

Anhand des Anforderungskatalogs von Kapitel 2.1.2 ergibt sich folgende Leitfragestellung an die Gutachter:

- „Ist ein regionaler Index aus wissenschaftlicher Sicht grundsätzlich geeignet als Instrument zur Beurteilung der Lärmentwicklungen aufgrund der Änderung von Zahl, Ort und Art der Überflüge?
- Sind die hierfür vorgelegten Vorschläge geeignet?
- Welche Modifikationen wären erforderlich, damit eine Anwendung für den vorgesehen Zweck möglich ist?“

Diese übergreifende Fragestellung wird in Einzelfragen unterteilt, auf die sich die wissenschaftliche Bewertung zu beziehen hat. Die Einzelfragen sind im Anhang tabellarisch aufgelistet. Die Aufgabe der Gutachter ist es nun, die gestellten (Einzel)Fragen zu beantworten. Überall dort, wo keine

[1] Im PFB erfolgt die Beurteilung der Fluglärmbelastung nach den gesetzlichen Vorschriften anhand verschiedener Schutzzonen, die durch verfügte Belastungswerte begrenzt werden. Um einen Vergleich dieser rein belastungsorientierten Beurteilung mit der personen- und wirkungsorientierten des RDF machen zu können, werden die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Personen (AbP) ermittelt.

abschließenden Antworten gegebenen werden können, soll der vorhandene Stand der Forschung sowie der zusätzlich erforderliche Forschungsbedarf dargestellt werden (siehe Kapitel 4 der Leistungsbeschreibung, im Anhang 8.6 zu diesem Gutachten).

2.2. Vorgehen

Die Bewertung der Fluglärmindices erfolgt entsprechend der Zusammensetzung des Gutachterteams aus drei unterschiedlichen Blickwinkeln:

- Die Empa (G. Thomann) bewertet die Indices aus akustischer Sicht, indem die vorgeschlagenen Indices unter dem Aspekt der technischen Mach- und Umsetzbarkeit diskutiert werden. Im Besonderen wird dargestellt, ob und in welchem Maße die zur Anwendung kommenden akustischen Verfahren und Modelle die in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Anforderungen erfüllen können.
- ZEUS (D. Schreckenberg) bewertet die Indices aus Sicht der Lärmwirkungsforschung mit dem Fokus auf die Wirkung von Fluglärm auf die Lärmbelästigung der Anrainer. Beurteilt wird, inwieweit mit den Indices die Belästigungswirkungen des Fluglärms in der Region angemessen abgebildet und inwieweit Lärmschutzmaßnahmen in ihrer Wirkung auf die Lärmbelästigung durch die Indices dargestellt und verglichen werden können.
- Das DLR (M. Basner) bewertet die Indices aus schlafphysiologischer Sicht. Beurteilt wird, inwiefern die akustischen Eingangsparameter geeignet sind, Fluglärmwirkungen auf den Schlaf angemessen abzubilden, ob die gesetzliche Einteilung der Nacht in die Zeitscheibe von 22 bis 6 Uhr für Frankfurt sinnvoll erscheint, und ob Belästigungswirkungen und Fluglärmwirkungen auf den Schlaf in einem Index zusammengefasst werden können.

Die Leitfragestellung und die Einzelfragen werden von den Gutachtern nach dem aktuellen Stand der Fluglärmmodellierung und der Fluglärmwirkungsforschung beantwortet. Die DLR-Studie zur Nachtfluglärmwirkung, die RDF-Belästigungsstudie sowie die an der Empa vorliegenden Expertisen zur Fluglärmberechnung und die Erfahrungen bei der Konzeption des Zürcher Fluglärmindexes (ZFI) bilden neben der relevanten Fachliteratur die konkrete Basis für die wissenschaftliche Bewertung.

2.3. Aufbau und Struktur des Gutachtens

Bevor die vom RDF in der Leistungsbeschreibung formulierten Fragen beantwortet werden, wird in Kapitel 3 eine Darstellung der diskutierten Fluglärmindices aus wissenschaftlicher Sicht gegeben. Dieser generellen Beschreibung gehen Anmerkungen zu den Möglichkeiten und Grenzen der Fluglärmberechnung sowie einige Gedanken zur Problematik der Festlegung des Betrachtungsperimeters voraus, die hauptsächlich auf den Erkenntnissen und Erfahrungen basieren, die bei der Erarbeitung des ZFI gemacht wurden. Deshalb wird zu Beginn von Kapitel 3 kurz auf jenen eingegangen.

Kapitel 3 enthält somit die Grundlagen, auf welche sich die Beantwortung der vom RDF gestellten Einzelfragen stützt. Die Beantwortung folgt in Kapitel 4. Der Hauptteil des Gutachtens endet mit einer Bewertung und Würdigung des RDF-Vorschlags (Kapitel 5). Es werden Aussagen zur generellen Eignung der Indices gemacht, offene Punkte angesprochen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen abgegeben.

Das Gutachten wird mit einem Glossar, einem Literaturverzeichnis und einem Anhang abgeschlossen. Am Schluss des Anhangs ist auch ein Nachdruck der Leistungsbeschreibung zu finden. Im Glossar

werden die im vorliegenden Gutachten verwendeten Begriffe, wie beispielsweise Belastung, Belästigung, Betroffenheit, Störung, etc. definiert und erklärt. Das Glossar ist als Hilfestellung für den Leser und den Laien gedacht, denn es ist den Gutachtern ein Anliegen, dass die entsprechenden Begriffe verstanden und im richtigen Kontext verwendet werden.

3. Beschreibung der vorgelegten Indices

3.1. Vorbemerkungen

Bevor auf die vom RDF vorgelegten Indices sowie auf die im Planfeststellungsbeschluss aufgeführten Beurteilungskriterien eingegangen wird, sollen folgende Themen kurz vertieft werden:

1) Der Zürcher Fluglärmindex ZFI
2) Möglichkeiten und Grenzen von Fluglärmberechnungen
3) Möglichkeiten zur Festlegung eines Betrachtungsperimeters

3.1.1. Der Zürcher Fluglärmindex ZFI

3.1.1.1. Allgemeines zum ZFI

Der ZFI geht auf eine Machbarkeitsstudie von Robert Hofmann zurück [70]. Seine Vorschläge wurden von einer Expertengruppe gesichtet und in eine Berechnungsvorschrift umgesetzt [39]. Aus wissenschaftlicher Sicht stellt der ZFI einen ersten Schritt zur wirkungsbezogenen Beurteilung des Fluglärms am Tag und während der Nacht dar. Aus verschiedenen Gründen mussten jedoch Kompromisse eingegangen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Die ETH und die Empa arbeiten zurzeit intensiv an einem verfeinerten Ansatz, welcher auf der Basis der Schlafdichte stündlich die Anzahl der im Schlaf gestörten resp. im Wachzustand hoch belästigten Personen ermitteln will (vgl. Kapitel 3.1.1.10).

Die von der Expertengruppe erarbeiteten Berechnungsvorschriften sowie die wesentlichen Eckwerte des ZFI werden noch dieses Jahr in einer Ausführungsverordnung zum kantonalen Flughafengesetz verankert. Gemäß eines ersten Verordnungsentwurfs wird der Regierungsrat des Kantons Zürich verpflichtet, zuhanden des Kantonsrats und der Öffentlichkeit einen jährlichen Bericht zum ZFI zu erstellen, der die Veränderungen in der Beeinträchtigung der Bevölkerung durch Fluglärm und die Ursachen dieser Veränderungen aufzeigen soll. Die dazu erforderlichen Berechnungen für das Berichtsjahr 2006 wurden durch die Empa bereits durchgeführt [40]. Der Mitbericht der kantonalen Aufsichtsbehörde wurde Ende Mai 2008 veröffentlicht [117].

3.1.1.2. Vorgeschichte des ZFI

Im Jahre 2005 wurde im Kanton Zürich die Volksinitiative „Für eine realistische Flughafenpolitik“ eingereicht, welche die Zahl der Flugbewegungen des Flughafens Zürich auf maximal 250.000 jährlich beschränken und die Nachtflugsperre auf neun Stunden ausdehnen wollte. Die Regierung des Kantons Zürich lehnte diese Initiative ab, da eine Bewegungszahlbegrenzung einerseits in der Praxis kaum umsetzbar und sie andererseits keine Garantie für eine Belastungsreduktion ist. Die Regierung unterbreitete deshalb Mitte 2006 einen Gegenvorschlag, welcher anstelle der Flugbewegungen die Anzahl der vom Fluglärm stark beeinträchtigten Personen durch Festlegung eines Richtwertes begrenzen soll. Der Gegenvorschlag wurde durch den Kantonsrat mit einer Begrenzung von 320.000 Bewegungen pro Jahr ergänzt und zusammen mit der Initiative im Jahre 2007 dem Volk zur Abstimmung vorgelegt. Dieses entschied sich mit einer beinahe Zweit-Drittel-Mehrheit für diesen Gegen-

vorschlag und damit für den sogenannten ZFI plus (ZFI plus Beschränkung der Flugbewegungen auf 320.000 jährlich).

3.1.1.3. Definition und Grundgleichung des ZFI

Unter dem ZFI ist eine Einzahlgröße zu verstehen, welche die Beeinträchtigung durch Fluglärm beschreibt. Er setzt sich aus zwei additiven Größen zusammen: Anzahl durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag hoch belästigter Personen (*Highly Annoyed HA*) und Anzahl durch Fluglärm während der Nacht im Schlaf stark gestörter Personen (*Highly Sleep Disturbed HSD*). Die Unterteilung in Tag und Nacht entspricht dabei den gesetzlichen Vorschriften in der Schweiz [84] & [114]. Der Tag dauert daher von 06 bis 22 Uhr und die Nacht von 22 bis 06 Uhr. Die Rechenvorschrift für den ZFI lautet:

Eq. 1 $$ZFI = HA + HSD$$

Da sich mit Hilfe des ZFI die Beeinträchtigung durch Fluglärm mittels einer einzigen Zahl ausdrücken lässt, können verschiedene Flugbetriebsszenarien sehr einfach miteinander verglichen werden. Anhand der Konstruktion des ZFI wird jedoch jede Person doppelt gezählt, die sowohl im Wachzustand hoch belästigt als auch im Schlaf stark gestört ist.

3.1.1.4. Die HA-Komponente des ZFI

Die *Highly-Annoyed*-Komponente des ZFI wird mittels einer Belastungs-Wirkungsbeziehung von Miedema & Oudshoorn aus dem Jahre 2001 [87] ermittelt. In Abweichung zu Miedema wird jedoch als Belastungsmaß nicht der Tag-Nacht-Pegel L_{dn} bzw. Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} sondern ein 16-Stunden-Mittelungspegel für die Zeit von 06 bis 22 Uhr verwendet, bei dem die Belastung der ersten (06 bis 07 Uhr) und der letzten Tagesstunde (21 bis 22 Uhr) mit einem Malus von je 5 dB versehen wird. Dies entspricht etwa einer dreifachen Gewichtung der Bewegungszahlen in dieser Zeit. Die Formel zur Berechnung des HA-Anteils lautet wie folgt:

Eq. 2 $$HA = \sum_i N_{pop,i} \cdot \frac{\%HA_i}{100}$$

Mit:

$$\%HA_i = -1{,}395 \cdot 10^{-4} \cdot \left(Leq^*_{16,i} - 42\right)^3 + 4{,}081 \cdot 10^{-2} \cdot \left(Leq^*_{16,i} - 42\right)^2 + 0{,}342 \cdot \left(Leq^*_{16,i} - 42\right)$$

$\%HA_i$: Prozentsatz der durch Fluglärm hoch belästigten Personen am Hektarpunkt *i*.

$N_{pop,i}$: Einwohnerzahl am Hektarpunkt *i*.

Leq^*_{16} : 16-Stunden-Mittelungspegel mit einem Malus von je 5 dB für die erste Tagesstunde von 06 bis 07 Uhr und letzte Tagesstunde von 21 bis 22 Uhr am Hektarpunkt *i*.

3.1.1.5. Die HSD-Komponente des ZFI

Die *Highly-Sleep-Disturbed*-Komponente des ZFI wird über die Anzahl der durch den Fluglärm induzierten zusätzlichen Aufwachreaktionen (AWR) ermittelt. Die AWR werden nach einer Belastungs-Wirkungsfunktion des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zur Nachtfluglärmwirkung [17] berechnet. Die Funktion liefert anhand der Maximalpegel am Ohr der schlafenden Person die Wahrscheinlichkeit einer durch Fluglärm induzierten zusätzlichen Aufwachreaktion. Diese Wahrscheinlichkeit für zusätzliches Aufwachen (P_{AWR}) wird mit Hilfe eines pragmatisch bestimmten Faktors (siehe [39] & [70]) in den Prozentsatz hoch Schlafgestörter (*%HSD*) umgerechnet. Multipliziert mit der Bevölkerungszahl berechnet sich dann daraus die HSD-Komponente des ZFI:

Eq. 3 $$HSD = \sum_i N_{pop,i} \cdot \frac{\%HSD_i}{100}$$ Mit: $$\%HSD_i = 26 \cdot N_{AWR,i}$$

Wobei: $$N_{AWR,i} = \sum_{j=1}^{n} P_{AWR}\left(L_{AS,\max,ij} + D\right)$$

Und: $$P_{AWR}(L_{AS,\max,ij} + D) = 1{,}894 \cdot 10^{-5} \cdot \left(L_{AS,\max,ij} + D\right)^2 + 4{,}008 \cdot 10^{-4} \cdot \left(L_{AS,\max,ij} + D\right) - 3{,}3243 \cdot 10^{-2}$$

$\%HSD_i$: Prozentsatz der durch Fluglärm im Schlaf stark gestörten Personen am Hektarpunkt *i*.
D : Einfügungsdämpfung für den Übergang von innen nach außen; für gekipptes Fenster D = -15 dB.
$L_{AS,max}$: A-bewerteter Maximalpegel mit der Zeitkonstante Slow gemessen.
n : Anzahl der während einer Nacht am Immissionsort resp. Hektarpunkt *i* auftretenden Geräusche.
N_{AWR} : Anzahl fluglärminduzierter, zusätzlicher Aufwachreaktionen.
P_{AWR} : Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufwachreaktion bei einem bestimmten Maximalpegel $L_{AS,max}$.

3.1.1.6. Räumliche Abgrenzung des ZFI

Damit der ZFI nicht von stark besiedelten Regionen mit sehr geringer Lärmbelastung dominiert wird, musste das Gebiet begrenzt werden, in welchem der ZFI ermittelt wird. Die Grenzziehung erfolgte anhand akustischer Kriterien, indem die Ermittlung der HA-Komponente bei einem tagesrandstundengewichteten 16-Stunden-Mittelungspegel von 47 dB, die Ermittlung der HSD-Komponente dagegen bei einem nächtlichen 8-Stunden-Mittelungspegel von 37 dB abgebrochen wird. Diese Grenzziehung hatte rein praktische Gründe, denn bei der Verifizierung der in der Machbarkeitsstudie diskutierten Indices wurden bestehende Belastungsrechnungen mit unterschiedlichen Berechnungsausschnitten verwendet. Um anhand dieser Belastungsrechnungen überprüfen zu können, wie sensitiv die Indices auf Veränderungen in der Fluglärmbelastung reagieren, musste das Gebiet, für welches die Indices ermittelt werden sollten, standardisiert werden. Diese Standardisierung erfolgte dabei auf der Basis derjenigen Belastung, welche in sämtlichen Berechnungsausschnitten gerade noch geschlossen dargestellt werden konnte. Dies waren eben die 47-dB-Kurven des Tagesmittelungspegels und die 37-dB-Kurven des Nachtmittelungspegels. Nach Setzung der definitiven Belastungs-Wirkungsbeziehungen zur Berechnung der HA- und HSD-Komponenten, ließen sich dann die wirkungsbezogenen Werte des Abbruchkriteriums ermitteln. Sie liegen im Falle der HA bei einem Belästigungsgrad von 3 Prozent, im Falle der HSD bei im Mittel knapp 0,1 zusätzlichen Aufwachreaktion (alle 10 Nächte eine zusätzliche Aufwachreaktion). Aus Sicht der Experten schien dies eine vernünftige wirkungsbezogene Abgrenzung zu sein, so dass an den Abbruchkriterien von 47 dB resp. 37 dB festgehalten wurde.

3.1.1.7. Funktionsweise des ZFI

Mit Hilfe des ZFI wird ein Richtwert und ein Monitoringwert bestimmt. Der Richtwert legt dabei die Höchstzahl der vom Fluglärm stark beeinträchtigten Personen fest. Er legt damit auf der Basis einer wirkungsbezogenen Größe eine Lärmobergrenze fest, deren Überschreitung Maßnahmen auslöst. Dem Richtwert liegen folgende Eckwerte zugrunde: die Flugbewegungen des Jahres 2000 (rund 325.000 Bewegungen), die Bevölkerungszahl des Jahres 2000, der Flottenmix des Jahres 2004, die An- und Abflugrouten des Jahres 2004 und sieben Stunden Nachtruhe. Gestützt auf diese Elemente wurde der Richtwert vom Regierungsrat bei 47.000 vom Fluglärm stark beeinträchtigten Personen festgelegt. Dies entspricht etwa 80% der ermittelten Beeinträchtigten für das Jahr 2000.

Im Gegensatz zum Richtwert ist der Monitoringwert variabel. Er wird jedes Jahr erhoben und zeigt die allfällige Veränderung der Anzahl der vom Fluglärm stark beeinträchtigten Personen gegenüber dem

Richtwert bzw. dem Vorjahr auf. Der Monitoringwert lässt Rückschlüsse auf die Gründe für die allfällige Veränderung gegenüber dem Richtwert zu. Er beruht grundsätzlich auf denselben Parametern wie der Richtwert, doch stellt er auf die jeweils aktuellen Flugbetriebszahlen ab, also auf die effektive Zahl der Flugbewegungen im jeweiligen Berichtsjahr, auf die effektive Bevölkerungszahl, den effektiven Flottenmix, die realen Flugbahnen (aus Radaraufzeichnungen) sowie die im Berichtsjahr maßgebliche, effektive Dauer der Nachtflugsperre.

3.1.1.8. Vorgehen bei der Bestimmung des Monitoringwerts

Das Gebiet rund um den Flughafen wird in ein Hektarraster unterteilt. Für jedes Hektarquadrat werden die Fluglärmbelastungen tags und nachts, die Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen nachts sowie die Wohnbevölkerung bestimmt. Dabei wird der besonderen Sensibilität der Bevölkerung zu den Tagesrandstunden (06 bis 07 Uhr und 21 bis 22 Uhr) Rechnung getragen, indem diese Stunden mit einen Malus von je 5 dB belegt werden. Dadurch werden die zu diesen Zeiten stattfindenden Flugbewegungen knapp dreifach gewichtet. Mittels der hektarbezogenen Belastungen wird unter Anwendung der Belastungs-Wirkungsbeziehungen aus Eq. 2 und Eq. 3 der prozentuale Anteil jener Personen ermittelt, die sich durch die jeweils herrschende Belastung hoch belästigt (%HA) bzw. in ihrem Schlaf stark gestört fühlen (%HSD). Auf der Basis dieser Prozentanteile und der Bevölkerungszahl werden pro Hektarquadrat, zuerst getrennt für den Tag und die Nacht, die HA- resp. HSD-Komponente bestimmt und danach durch Addition dieser beiden Größen der ZFI berechnet. Dank der hektarbezogenen Berechnung ist eine kartografische Darstellung sowie gemeindeweise Auswertung des ZFI und seiner Komponenten möglich.

3.1.1.9. Erste Erfahrungen mit dem ZFI

Da der ZFI als Überwachungsinstrument der Fluglärmbeeinträchtigung noch sehr jung ist (vgl. Kapitel 3.1.1.1 und 3.1.1.2), besteht noch keine große Praxiserfahrung. Die Arbeiten zum ersten ZFI-Jahresbericht zeigen jedoch, dass der Index sensitiv auf Änderungen im Flugbetrieb wie auch auf Änderungen in der Wohnbevölkerung reagiert. So wirkt sich beispielsweise eine Veränderung in der Luftraumstruktur zwischen 2005 und 2006, welche verbunden ist mit einer teilweisen Verlegung der Flugrouten in Flugdistanzen von mehr als 20 Kilometern, in einer Erhöhung des ZFI um rund 8% aus, obwohl die Bewegungszahlen insgesamt zurückgingen und die Anzahl der Personen über den Planungsgrenzwerten[2] gemäß LSV [84] annähernd stabil blieben. Rund ein Viertel dieser Zunahme geht jedoch zu Lasten einer leicht veränderten Bevölkerungsverteilung. Entsprechend sind drei Viertel auf die räumliche Veränderung der Fluglärmbelastung zurückzuführen.

3.1.1.10. Erkannte Problem- und Schwachstellen beim ZFI

Mark Brink, welcher als Lärmwirkungsforscher an der ETH Zürich wirkt und Mitglied der ZFI-Expertengruppe war, hat in einem unveröffentlichten Thesenpapier den ZFI aus wissenschaftlicher Sicht beurteilt. Er kommt zum Schluss, dass der ZFI zurzeit wohl das beste Werkzeug ist, um eine wirkungsbezogene Beurteilung von Fluglärmbelastungen vorzunehmen. Dennoch äußert er sich kritisch gegenüber verschiedener Setzungen, die der aktuellen Version des ZFI zugrunde liegen. Da die entsprechenden Kritikpunkte auch für die zur Diskussion stehenden Indices des RDF von Bedeutung sind,

[2] Am Frankfurter Flughafen entspricht der Planungswertperimeter grob der Umhüllenden der Nacht-Schutzzone und der Tag-Schutzzone 2 für den Planungsfall.

werden sie nachfolgend kurz beleuchtet. Im Wesentlichen sind es folgende Punkte, die zur Kritik Anlass geben:

- Das Tolerieren von Doppelzählungen.
- Das Benutzen einer zwar oft zitierten jedoch veralteten Belastungs-Wirkungskurve für %HA.
- Das Festlegen des Betrachtungsperimeters anhand akustischer und nicht wirkungsbezogener Größen.
- Das Ermitteln der Störungs- resp. Belästigungskomponente nach der starren gesetzlichen Tag-Nacht-Definition.

Dass Personen unter Umständen doppelt gezählt werden, wird bei der Berechnung des ZFI ausdrücklich gewünscht. Doppelzählungen sind aber logisch nicht begründbar. Wenn nämlich die Zähleinheit des ZFI „Anzahl von Personen“ ist, so sollte der ZFI in dem Gebiet, in welchem er berechnet wird, maximal so groß werden können, wie die Anzahl der Personen, die darin wohnen. Dies entspricht der natürlichen Logik und ist auch einfacher nachzuvollziehen. Durch eine angemessene Gewichtung von Tages- und Nachtstörungen (beispielsweise HA und HSD in Eq. 1 jeweils mit 0,5 gewichtet) könnte problemlos sichergestellt werden, dass jede Person innerhalb eines Hektarquadrates mit maximal dem Gewicht 1 in die ZFI-Berechnung eingeht. Eine Doppelzählung ist somit weder nötig, noch in irgendeiner Weise nützlich.

In der aktuellen Variante des ZFI wird eine Belastungs-Wirkungskurve von Miedema und Oudshoorn [87] verwendet, die den Zusammenhang zwischen Tag-Nacht-Pegel L_{dn} und *%HA* beschreibt. Diese Funktion wird nun auf den 16-Stunden-Tagesmittelungspegel angewendet. Dieser stimmt zwar gemäß Vergleichsrechnungen der Empa [39] im Mittel praktisch mit dem L_{dn} überein. Es ist jedoch durchaus möglich, dass bestimmte Immissionsorte, wo der 16-Stunden-Tagesmittelungspegel deutlich niedriger ist als der L_{dn}, die Lärmwirkung unterschätzt wird. Zudem wurde die Miedema-Kurve in einer Meta-analyse aus teilweise sehr alten Daten hergeleitet. Ihre Gültigkeit ist im Falle von Zürich nicht nachgewiesen.

Mit dem ZFI soll ein Instrument geschaffen werden, die Gesamtzahl der durch den Fluglärm stark beeinträchtigten Personen zu erfassen. Da die Festlegung des Gebietes, in welchem der ZFI ermittelt wird, nicht aufgrund der berechneten Wirkung geschieht, sondern aufgrund eines akustischen Schwellenwertes, kann das Versprechen der gesamthaften Wirkungserfassung nur bedingt eingelöst werden. Dieser Kritikpunkt wurde jedoch nachträglich entkräftet, indem die sich aus dem akustischen Abbruchkriterium ergebenden wirkungsbezogenen Betrachtungsgrenzen von 3% HA resp. 0,1 Aufwachreaktionen als sinnvoll erwiesen, so dass nach Ansicht der Experten der Betrachtungsperimeter genügend weit gefasst ist.

Die aus den gesetzlichen Vorschriften übernommene zeitliche Strukturierung (Tag von 06 bis 22 Uhr, Nacht von 22 bis 06 Uhr) ist nachvollziehbar, widerspiegelt die Lebens- und Schlafgewohnheiten der Bevölkerung jedoch nur grob und berücksichtigt beispielsweise die an Wochenenden veränderten Schlafgewohnheiten eines Großteils der Bevölkerung nicht. So finden etwa Fluggeräusche, die nicht im gesetzlichen Nachtzeitraum von 22 bis 06 Uhr sondern am frühen Morgen nach 6 Uhr stattfinden, keinerlei Berücksichtigung bei der Berechnung von zusätzlichen Aufwachreaktionen (resp. bei der Berechnung der HSD-Komponente). Dies führt unter Umständen. in Gebieten mit spezifischer Randstundenbelastung zu einer Fehleinschätzung der Wirkung, insbesondere bei unterschiedlichem Flugbetrieb zwischen Wochentagen und Wochenenden.

Die Lärmwirkung hängt ganz wesentlich von der zeitlichen Verteilung des Lärms an einem bestimmten Immissionsort ab. Überall dort, wo zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Gebiete überflogen

werden und sich somit eine Interaktion zwischen Ort, Zeit und tageszeitlicher Empfindlichkeit ergibt, muss das Berechnungsgerüst für einen Index, der die Belästigung und Schlafstörung durch Fluglärm angemessen abbilden will, dieser Situation Rechnung tragen. Vor diesem Hintergrund arbeitet die ETH zusammen mit der Empa an einem revidierten Berechnungsvorschlag für den ZFI, der fast gänzlich auf willkürliche Setzungen verzichtet, pro Stunde die HA- und HSD-Komponenten ermittelt und diese anhand der Schlaf- und Wachdichte separat für Arbeits- sowie Sonn- und Feiertage gewichtet.

3.1.2. Möglichkeiten und Grenzen von Fluglärmberechnungen

Es würde den Rahmen des vorliegenden Gutachtens sprengen, eine Übersicht der heute in der Praxis eingesetzten Berechnungsverfahren zu geben sowie deren Möglichkeiten und Grenzen zu beschreiben. Eine diesbezüglich gute Zusammenstellung wird in [37] gegeben.

Oft wird die Forderung erhoben, dass die angewendeten Berechnungsverfahren dem „Stand der Technik“ zu entsprechen haben. Dieser Begriff ist jedoch im Zusammenhang mit Fluglärmberechnungsverfahren nicht eindeutig. In [6] wird er mit „*best practice*“ gleich gesetzt. Damit soll ausgedrückt werden, dass der Stand der Technik auf den Aspekt der praktischen Durchführ- und Umsetzbarkeit beschränkt werden sollte. Diese Einschränkung ist zwar praxisnah, kann jedoch zu unzulässigen Vereinfachungen führen (vgl. Kapitel 3.1.2.3). Was „Stand der Technik“ ist, sollte deshalb stark vom jeweiligen Anwendungszweck resp. von den Anforderungen abhängig gemacht werden, die an Berechnungsverfahren geknüpft sind.

Nachfolgend geht es deshalb hauptsächlich um die Frage, ob heutige Berechnungsverfahren – im Besonderen die AzB – überhaupt in der Lage sind, die vom RDF an die Belastungsrechnungen geknüpften Anforderungen zu erfüllen bzw. welche Maßnahmen ergriffen werden müssten, um die Anforderungen erfüllen zu können.

3.1.2.1. Vom RDF gestellte Anforderungen

Das Primärziel der vom RDF vorgeschlagenen Indices ist die „sachgerechte Abbildung des aktiven Schallschutzes“. Da die Indices im Grunde genommen eine Übersetzungsfunktion von einer Belastung zu einer mittleren Beeinträchtigung sind, kann dieses Ziel nur erreicht werden, wenn die zur Bestimmung der Belastung eingesetzten Berechnungsverfahren fähig sind, die aktiven Schallschutzmaßnahmen „sachgerecht“ abzubilden. Bevor jedoch darüber diskutiert werden kann, ob Berechnungsverfahren diese Anforderung erfüllen, sollte zuerst die Bedeutung der Begriffe „aktive Schallschutzmaßnahmen“ und „sachgerecht“ geklärt werden.

3.1.2.2. Aktive Schallschutzmaßnahmen

Unter aktivem Schallschutz werden in [120] Maßnahmen zur Emissionsreduktion verstanden. Klassischerweise handelt es sich dabei um technische Maßnahmen am Flugzeug selbst, welche die Triebwerksgeräusche und/oder die aerodynamischen Geräusche vermindern. Beispiele dafür sind:

- Der Einsatz von Triebwerken mit hohen Nebenstromverhältnissen;
- das Anbringen spezieller Austrittsdüsen (sogenannte Chevrondüsen);
- das Verkleiden des Fahrgestells;
- das Schließen von Hohl- und Zwischenräumen.

Aber auch flugbetriebliche Maßnahmen tragen zur Emissionsreduktion bei und können damit ebenfalls zu den aktiven Schallschutzmaßnahmen gezählt werden. Unter flugbetrieblichen Maßnahmen sind hauptsächlich lärmarme An- und Abflugverfahren zu verstehen. Durch geschickten Einsatz von Schub und Auftriebshilfen wird dabei versucht, die Schallemission auf ein Minimum zu reduzieren. Zurzeit werden folgende lärmarme An- und Abflugverfahren intensiv diskutiert und untersucht [18] & [35]:

- Steilstartverfahren,
- kontinuierliches Sinken beim Landeanflug (*continous descent approach* CDA) und
- Erhöhen der Gleitpfadwinkel im Endanflug.

Alle oben beispielhaft aufgelisteten technischen und flugbetrieblichen Maßnahmen zur Emissionsreduktion haben eines gemeinsam: Sie verändern den richtungsabhängigen Emissionspegel bezüglich Höhe und Spektrum und beeinflussen somit das Emissionsverhalten des Flugzeugs. Dabei wirken sich die Maßnahmen in ihrer Kombination unter Umständen anders aus als wenn sie einzeln umgesetzt werden.

3.1.2.3. Sachgerechte Berücksichtigung

Eine korrekte physikalische Beschreibung aktiver Schallschutzmaßnahmen setzt im Prinzip ein Teilschallquellenmodell nach dem Muster des vom DLR entwickelten und eingesetzten Fluglärmsimulationsprogramms SIMUL voraus [73]. Eine Teilschallquellenmodellierung ist jedoch sehr aufwändig, komplex und benötigt eine riesige Datenmenge. Sie lässt sich wegen der enormen Rechenzeit und wegen der beschränkten Verfügbarkeit von geeignetem Datenmaterial heute nur für Einzelflugbetrachtungen im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen einsetzen [18] & [35]. Die Berechnung ganzer Flugbetriebsszenarien ist zurzeit mit SIMUL nicht möglich, vornehmlich wegen fehlenden Datenmaterials (nur ein Flugzeugtyp ist vollständig akustisch vermessen).

Man ist gezwungen herkömmliche Berechnungsverfahren anzuwenden wie beispielsweise die AzB [28], [29], [30] & [112], was auch im Falle der Vergleichsrechnungen zum FFI und FNI gemacht wurde [96] & [97]. Bezüglich der Modellparameter sind neben der AzB auch die heute in der Praxis eingesetzten Berechnungsverfahren limitiert, so dass sich vor allem die technischen Maßnahmen zur Emissionsreduktion nur mit einfachsten Mitteln wie pauschalen Pegelzu- oder Pegelabschlägen modellieren lassen. Bei den flugbetrieblichen Maßnahmen werden in der Regel nur die Flughöhen in Funktion der abgewickelten Flugdistanz angepasst. Schubänderungen können aber nur rudimentär modelliert werden und Klappenstellungen während des An- oder Abflugs werden vollständig unterschlagen. Belastungsrechnungen, welche auf derartigen Vereinfachungen beruhen, können im Grunde nur zu einer Potenzialabschätzung herangezogen werden. Damit nicht Fehlinterpretationen auftreten, sollten die Berechnungen aber mit Angaben zu deren Unsicherheit versehen werden.

Die vorgenommenen Vereinfachungen mögen im Rahmen einer Potenzialabschätzung zwar sachgerecht sein, sie werden aber der Sache selbst nicht wirklich gerecht. Bei den flugbetrieblichen Maßnahmen beispielsweise werden weder die sich lokal ändernden Schubverhältnisse noch das Fahren der Auftriebshilfen korrekt modelliert. Was dies für Folgen hat, kann in [18], [35] & [111] nachgelesen werden. Und bei den technischen Maßnahmen fehlt es schlichtweg an gesicherten Daten über die quellenseitigen Veränderungen im richtungsabhängigen Frequenzspektrum. Derartige Effekte lassen sich aber mit den herkömmlichen Berechnungsverfahren nicht modellieren, denn die Verfahren sind gar nicht dafür ausgelegt. Anhand des heutigen Standes der Technik lässt sich somit die gewünschte Erfolgskontrolle von aktiven Schallschutzmaßnahmen nicht angemessen durchführen, resp. die heute in der Praxis zur Berechnung von Flugbetriebsszenarien eingesetzten Berechnungsverfahren, können

die im ALP [120] formulierten Anforderungen nicht wirklich erfüllen. Eine Ausnahme diesbezüglich wäre SIMUL. Das Verfahren hat die technischen Voraussetzungen dafür. Die fehlende Datengrundlage und die Komplexität der Anwendung schließen jedoch einen praxisnahen Einsatz aus.

Im ALP [120] wie auch in den Hintergrundinformationen und Erläuterungen zum ALP [96] & [97] ist man sich dieses Problems sehr wohl bewusst. Es wird deshalb auch darauf hingewiesen, dass für die jährlichen Berechnungen der Indices sowohl die aktualisierte AzB [113] verwendet werden muss als auch detaillierte Daten tatsächlicher Flüge zu berücksichtigen sind. Man darf sich aber hier keinen Illusionen hingeben: Die AzB-07 [113] in der heute publizierten Form wird die Anforderungen auch dann nicht erfüllen können, wenn detaillierte Daten erhoben werden, denn die Eingabestruktur lässt eine realitätsnahe Berechnung von lärmarmen An- und Abflugverfahren nicht zu.

Man bräuchte ganz neue Konzepte und Verfahren sowie eine solide Datengrundlage, um den Einfluss der Schubänderungen und des Fahrens von Klappen und Fahrwerk und damit den Effekt aktiver Schallschutzmaßnahmen korrekt simulieren zu können. In [31] werden erste Modellansätze beschrieben. DLR und Empa arbeiten gemeinsam am Projekt AVINO, welches die Vorteile der Verfahren SIMUL [73] und FLULA2 [38] in sich vereinigt und eine sachgerechte Berechnung von neuen An- und Abflugverfahren ermöglichen soll. Die entsprechenden Arbeiten stecken jedoch noch in den Kinderschuhen. Zudem ist die Erhebung der für das Modell notwendigen akustischen Daten noch nicht gesichert.

3.1.2.4. Fazit zu den Fluglärmberechnungsverfahren

Im Grundsatz geht es nicht so sehr um die Frage, ob Indices wie der FFI oder FNI zu einem sachgerechten Abbild aktiver Schallschutzmaßnahmen fähig sind, sondern vielmehr um die Frage, ob dies die den Indices zugrunde gelegten Belastungsrechnungen vermögen. Der Index selbst ist nämlich nur eine Übersetzung der (berechneten) Belastung in eine objektive Belästigung oder Störung mittels einer Belastungs-Wirkungsfunktion. Das heißt, Veränderungen in der Belastung sollte ein Index per definitionem abbilden können.

Im Endeffekt bilden Berechnungsverfahren und Belastungs-Wirkungsbeziehungen eine Einheit, denn anhand der Belastungen, die mit einem bestimmten Berechnungsverfahren ermittelt wurden, wird aus Befragungen bzw. physiologischen Erhebungen eine Wirkung abgeleitet. Ändert sich nun das Berechnungsverfahren, muss davon ausgegangen werden, dass sich bei identischen Flugbetriebsdaten auch die Belastung ändert. Logischerweise müsste man dann auch anhand der neuen Belastungswerte eine neue Wirkungsfunktion ermitteln. Wenn nun wie in den Erläuterungen zum ALP [96] dargelegt, die Berechnungsverfahren laufend angepasst werden, um die Maßnahmen des aktiven Schallschutzes sachgerecht abbilden und überprüfen zu können, müsste konsequenterweise auch die Belastungs-Wirkungsbeziehung laufend angepasst werden.

Dieser Prozess ist jedoch sehr aufwändig und nach wenigen Anpassungszyklen kaum mehr überschaubar. Der Aufwand lässt sich reduzieren und die Transparenz erhöhen, wenn bereits zu Beginn ein Berechnungsverfahren eingesetzt würde, welches die aktiven Schallschutzmaßnahmen korrekt modellieren könnte. Da jedes noch so gute Modell immer ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit ist, werden auch bei einem den Anforderungen entsprechenden Berechnungsverfahren Vereinfachungen nötig sein. Um Fehlinterpretationen wegen vereinfachter Annahmen vorzubeugen, sollte deshalb jede Belastungsrechnung im Sinne eines Gütesiegels mit einer Angabe zu seiner Unsicherheit begleitet sein. Daraus ließe sich dann die Unsicherheit der Belastungs-Wirkungsbeziehung bestimmen, so dass man bei jeder Indexberechnung ebenfalls die Unsicherheit angegeben könnte. Modellrechnungen

beim ZFI zeigen beispielsweise, dass die Unsicherheit des Indexes mindestens 10% beträgt, was dem im ALP formulierten Reduktionsziel entspricht.

3.1.3. Möglichkeiten zur Festlegung des Betrachtungsperimeters

3.1.3.1. Übersicht

Neben der im vorangegangenen Kapitel 3.1.2 diskutierten Problematik, ob die Berechnungsverfahren die im ALP formulierten Anforderungen erfüllen können oder nicht, ist einer der wesentlichsten Schwierigkeiten einer Indexberechnung, die über die gesetzlich verankerten Belastungsniveaus hinaus gehen, die Wahl des Betrachtungsperimeters, da dieser das Resultat erheblich beeinflussen kann. Der Betrachtungsperimeter lässt sich grundsätzlich auf folgende Arten festlegen:

- Festes Planquadrat.
- Fixe Anzahl von Gemeinden.
- Setzung einer akustischen Schwelle.
- Setzung einer wirkungsbezogenen Schwelle.

Die ersten beiden Punkte definieren den Betrachtungsperimeter anhand räumlich-geografischer Maßstäbe, bei den letzten beiden Punkten wird dagegen als Maßstab die Höhe der rechnerisch ermittelten Fluglärmbelastung verwendet, wobei hier die Grenzziehung sowohl belastungs- als auch wirkungsbezogen erfolgen kann. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile der vier oben aufgelisteten Festlegungsmöglichkeiten kurz diskutiert.

3.1.3.2. Festlegung des Perimeters anhand räumlich-geografischer Maßstäbe

Der Berechnungsausschnitt ist das größtmögliche Planquadrat und damit der größtmögliche Betrachtungsperimeter. Es lassen sich aber auch Planquadrate innerhalb des Berechnungsausschnitts festlegen. Planquadrate haben den Vorteil, dass immer derselbe geografische Raum betrachtet wird. Nachteilig ist, dass Planquadrate in der Regel eine große Zahl von Personen enthalten, die geringen oder gar wirkungsirrelevanten Fluglärmbelastungen ausgesetzt sind. Bezieht man einen wirkungsbezogenen Index auf ein solches Gebiet, so wird er durch eine hohe Zahl tief belasteter Personen dominiert. Die Konsequenz ist, dass der Index sehr träge oder gar nicht auf Veränderungen reagiert. Deshalb macht es keinen Sinn, den Betrachtungsperimeter über ein Planquadrat zu definieren oder gar dem Berechnungsausschnitt gleichzusetzen.

Die Festlegung des Betrachtungsperimeters über eine fixe Anzahl von Gemeinden hat denselben Vorteil wie das Planquadrat: Es wird immer derselbe geografische Raum betrachtet. Das Problem besteht jedoch darin zu definieren, welche Gemeinden in den Betrachtungsperimeter gehören und welche nicht. Diese Festlegung kann ein bewusst politischer Akt sein oder auf der Grundlage einer Referenzbelastung geschehen. Beide Vorgehensweisen haben den Nachteil, dass bei einer ansteigenden oder räumlich stark veränderten Belastung die Zahl und die Zusammensetzung der Gemeinden überprüft und unter Umständen angepasst werden müsste. Bei Szenarienvergleichen wirkt sich dies auf frühere Berechnungen aus. Denn wegen des sich geänderten Perimeters muss für jeden der zu vergleichenden Belastungszustände der Index neu berechnet werden. Deshalb ist die Festlegung des Betrachtungsperimeters mittels einer fixen Anzahl von Gemeinden recht umständlich und aus Praktikabilitätsgründen nicht zu empfehlen.

3.1.3.3. Festlegung des Perimeters anhand belastungs- resp. wirkungsbezogener Maßstäbe

Unterschreitet die akustische Belastung einen bestimmten Schwellenwert, wird das entsprechende Gebiet bei der Berechnung eines Indexes nicht mehr berücksichtigt. Das Betrachtungsgebiet wird somit nicht nach politischen oder geografischen Maßstäben festgelegt, sondern belastungsbezogen. Je nach Entwicklung der tatsächlichen Belastung kann das betrachtete Gebiet praktisch unbegrenzt wachsen oder schrumpfen. Dabei bedeutet ein Schrumpfen des Gebietes nicht notwendigerweise eine Abnahme des Indexes resp. eine Vergrößerung des Gebietes eine Zunahme des Indexes. Durch die belastungsbezogene Grenzziehung wird jedoch nicht immer derselbe geografische Raum betrachtet. Dies führt dazu, dass je nach Höhe der Belastung resp. je nach Verlauf der Belastungskurven, Personen aus dem Betrachtungsperimeter herausfallen oder in den Perimeter aufgenommen werden. Das heißt, es werden nicht immer dieselben Personen betrachtet.

Aus wirkungsbezogener Sicht ist dies kein Problem, denn durch die belastungsorientierte Grenzziehung des Betrachtungsperimeters wird auch eine bestimmte Wirkung impliziert, so dass dadurch definiert ist, bei welcher Wirkschwelle die Grenzziehung erfolgt. Dies hat jedoch nur solange seine Gültigkeit, bis unterschiedliche Belastungs-Wirkungsbeziehungen verwendet werden. Dann wird sich mit größter Wahrscheinlichkeit bei identischen Pegeln die wirkungsbezogene Schwelle verschieben. Um dies zu verhindern, sollte deshalb der Betrachtungsperimeter primär anhand wirkungsbezogener Kriterien festgelegt werden, indem die Grenzziehung am Tag bei einem begründeten Prozentsatz HA und in der Nacht anhand einer bestimmten Anzahl zusätzlich durch Fluglärm induzierter Aufwachreaktionen erfolgt.

3.1.3.4. Notwendigkeit eines Abbruchkriteriums

Aber welche wirkungsbezogenen Schwellenwerte sollten sinnvollerweise zur Festlegung des Betrachtungsperimeters verwendet werden? Dies lässt sich nicht allein aus Sicht der Lärmwirkung beantworten, sondern muss auch aus Sicht der technischen Umsetzbarkeit beurteilt werden. Eine wirkungsbezogene Grenzziehung könnte dort erfolgen, wo gemäß der ermittelten und angewendeten Belastungs-Wirkungsfunktion die Ansprechschwelle liegt, so dass sämtliche Fluglärmwirkungen erfasst werden.

Diese Vorgehensweise ist jedoch aus zwei Gründen wenig praktikabel: Erstens würde dadurch ein riesiges Gebiet umschlossen, was zu den beim Planquadrat geschilderten Problemen führt (vgl. Kapitel 3.1.3.2), wo eine hohe Zahl tief belasteter Personen den Index dominiert, so dass dieser sehr träge oder überhaupt nicht auf Veränderungen reagiert. Zweitens geht die Ansprechschwelle mit sehr tiefen Pegelwerten einher, die mit hohen Unsicherheiten behaftet sind und aus technischen Gründen nicht mehr zuverlässig ermittelt werden können (vgl. [111]). Deshalb sollte nicht bis zur Ansprechschwelle der Belastungs-Wirkungsbeziehung hinunter gerechnet, sondern wie beim ZFI ein Wert definiert werden, bei welchem die Berechnung des Indexes abgebrochen wird (vgl. Kapitel 3.1.1.6).

Wie im vorangegangenen Kapitel 3.1.3.3 erläutert, sollte die Festlegung des Betrachtungsperimeters und demzufolge des Abbruchkriteriums wirkungsbezogen erfolgen. Dies ist jedoch in der praktischen Umsetzung aufwändiger, da zuerst der Pegel berechnet wird und erst anschließend die Wirkung. Da für die Beurteilung der Tagesbelastung der Mittelungspegel direkt in eine bestimmte Wirkung (%HA) umgesetzt werden kann, lässt sich das Abbruchkriterium im Prinzip auch anhand eines Pegelwertes festlegen, zumindest solange die Belastungs-Wirkungsbeziehung konstant bleibt.

Dies ist jedoch für den Nachtzeitraum nicht direkt möglich, weil für die Berechnung der Aufwachreaktionen nicht der Mittelungspegel als Inputgröße maßgeblich ist, sondern die Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen. Die anhand der Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen berechneten Aufwachreaktionen lassen sich aber in Bezug zu einem Nachtmittelungspegel setzen, indem für jeden Gitterpunkt des Berechnungsausschnitts diese beiden Werte berechnet und anschließend korreliert werden (vgl. Anhang Kapitel 8.3). Auf diese Weise lässt sich approximativ ein Wirkungszusammenhang zwischen Aufwachwahrscheinlichkeit und Mittelungspegel bestimmen, so dass auch nachts ein Abbruchkriterium anhand eines Pegelwerts festgelegt werden könnte.

Bei welchem Pegelwert resp. bei welchem Prozentanteil HA oder bei welcher Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen die Berechnung eines Indexes sinnvollerweise abgebrochen werden kann oder soll, wird in den nachfolgenden Kapiteln 3.2 und 3.3 anhand des FFI und des FNI diskutiert. In den Kapiteln 8.2 und 8.3 finden sich detaillierte Auswertungen für Zürich zu diesem Thema. Mittels diesen lassen sich der Einfluss und die Konsequenzen verschiedener Abbruchkriterien demonstrieren. Die entsprechenden Grafiken bilden die Basis der in Kapitel 4.4 im Rahmen der Einzelfragen geführten Diskussion bezüglich der Festlegung des Betrachtungsperimeters. Es mussten Zürcher Daten herangezogen werden, da für Frankfurt keine entsprechenden Informationen zur Verfügung stehen.

3.2. Frankfurter Fluglärmindex des Anti-Lärm-Paktes (FFI)

3.2.1. Definition des FFI

Der FFI stellt die Zahl der durch Fluglärm hoch belästigten Personen innerhalb des durch einen Tag-Nacht-Pegel L_{dn} von 55 dB(A) abgegrenzten Gebiets dar. Die Formel des FFI lautet:

Eq. 4 $$FFI = \sum N_{pop,i} \cdot \frac{\%HA(L_{dn,i})}{100}$$

i : Zähler für diskrete Pegel-Klassen von 1 dB.

$L_{dn,i}$: Tag-Nacht-Pegel L_{dn} mit i ≥ 55 dB(A), jeweils in Schritten von 1 dB(A).

$\%HA(L_{dn,i})$: Prozentanteil durch Fluglärm hoch Belästigter bei gegebenem $L_{dn,i}$, berechnet nach den in Tab. 3-2, Spalte C enthaltenen diskreten Werten.

$N_{pop,i}$: Anzahl der Einwohner in der jeweiligen L_{dn}-Belastungsklasse ≥ 55 dB(A)

Im FFI sind gemäß obiger Gleichung folgende drei Parameter integriert:

1. Die Fluglärmbelastung:
   Sie wird ausgedrückt durch den Tag-Nacht-Pegel L_{dn}. Erfasst werden alle Gebiete in der Region um den Frankfurter Flughafen, die eine Fluglärmimmission in Höhe von L_{dn} ≥ 55 dB(A) aufweisen. Berechnungsgrundlage für den L_{dn} soll die novellierte Anleitung zur Berechnung von Fluglärm (AzB-07 [113]) inklusive der 3-Sigma-Regel sein.

2. Einwohnerzahl:
   Zweiter Parameter ist die Anzahl der durch Fluglärm betroffenen Einwohner innerhalb des betrachteten Gebiets. Für jede dB-Stufe ab einem L_{dn} = 55 dB(A) wird die Zahl der hiervon betroffenen Einwohner bestimmt. Die Einwohner entsprechen der im Rahmen der Planfeststellung zum Flughafenausbau parzellengenau ermittelten Bevölkerungsverteilung von 2005.

3. Die Belästigungswirkung der Fluglärmbelastung:
   Sie wird ausgedrückt durch den Prozentanteil derjenigen Personen, die durch die jeweilige Fluglärmbelastung hoch belästigt (engl. *highly annoyed HA)* sind. Als Datengrundlage für die Bestimmung des HA-Anteils dient die im Rahmen der RDF-Belästigungsstudie ermittelte Belastungs-Wirkungsbeziehung [104]; die vom RDF im ALP verwendeten Prozentanteile je Pegelwert zur Bestimmung der HA werden in Tab. 3-2 (Spalte C) aufgeführt.

Der FFI kann sich in seiner Höhe prinzipiell verändern, wenn sich:

(a) durch Änderung von Zahl, Ort und Art von Überflügen die Fluglärmbelastung ausgedrückt in L_{dn} verändert und/oder

(b) in der Region die Struktur der durch die Fluglärmbelastung in Höhe von L_{dn} ≥ 55 dB(A) exponierte Bevölkerung ändert und diese Änderung im Index nachvollzogen wird (d.h. die Bevölkerungsstruktur von 2005 nicht festgeschrieben wird) und/oder

(c) die Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Berechnung des HA-Anteils ändert. Eine solche Änderung kann eintreten durch Änderung von Berechnungsmodellen zur akutischen Lärmbelastung, durch generelle zeitliche Entwicklungstrends in der Fluglärmbelästigung oder durch sogenannte Überschussreaktionen in der Belästigung, die im Falle abrupter Änderungen einerseits im positiven Sinne (stärkere Belästigungsreduktion durch Lärmminderungsmaßnahmen als erwartet) und an-

dererseits im negativen Sinne (stärkere Belästigungssteigerung durch Belastungszunahme als erwartet) auftreten können.

Zielgröße des FFI ist gemäß Eq. 4 die Zahl durch Fluglärm hoch belästigter Personen. Das RDF stellt damit nicht allein die durch den Flugverkehr entstehende Geräuschbelastung in den Vordergrund, sondern deren Wirkung auf die Bevölkerung. Das RDF geht damit über die Regelungen im novellierten Fluglärmgesetz (FluglärmG) [53] und im Planfestsstellungsbeschluss (PFB) [69] zum Ausbau des Frankfurter Flughafens hinaus und verdeutlicht mit diesem Index sehr transparent, worum es bei der Darstellung der Lärmentwicklung in der Region sowie bei den aktiven Lärmschutzmaßnahmen, die mit dem FFI bewertet werden sollen, geht – nämlich um den Schutz der Menschen vor hoher Belästigung und nächtlichen Störungen, die vornehmlich Gegenstand des FNI sind.

Für die Bewertung des FFI ist zu beachten, dass als Zielsetzung mit dem Index lediglich die Abbildung von Änderungen im Sinne von Belastungsänderungen (Punkt 1 der obigen Aufzählung) angestrebt ist. Änderungen der Parameter Bevölkerungsstruktur (2) und Belastungs-Wirkungsbeziehung (3) sollten allerdings auch nicht ignoriert werden.

3.2.2. Diskussion des FFI

Vier wesentliche Elemente des FFI werden nachfolgend diskutiert und bewertet. Es sind dies:

1. Die Annahme einer Belastungs-Wirkungsbeziehung zwischen Flugverkehrsgeräuschbelastung und erlebter Lärmbelästigung und deren Stabilität.
2. Das Pegelmaß L_{dn} als (postuliert) wirkungsadäquate Beschreibungsgröße der Fluglärmexposition.
3. Die Festsetzung der Einwohnerzahl auf die Bevölkerungsstruktur von 2005.
4. Die Eingrenzung des Bereichs, für den der FFI berechnet wird, auf Gebiete mit einem $L_{dn} \geq 55$ dB(A).

3.2.2.1. Belastungs-Wirkungsbeziehung der Fluglärmbelästigung

Um im FFI die erlebte Belästigung auf einen Lärmpegel beziehen zu können, d.h. die Belästigung als eine Wirkung der Lärmbelastung anzuerkennen, muss eine grundsätzliche Voraussetzung gegeben sein, nämlich der Nachweis eines statistischen Zusammenhangs. Es liegt eine Vielzahl von Feldstudien zur Lärmwirkung durch verschiedene Verkehrslärmquellen (Schienen-, Straßen-, Flugverkehr) [49] vor, in denen ein Zusammenhang zwischen der Belästigung und der Verkehrsgeräuschbelastung aufgezeigt wurde. Mehrheitlich zeigte sich in diesen Studien, dass die Lärmbelästigung am stärksten mit energieäquivalenten Dauerschallpegeln (L_{Aeq}) bzw. bewerteten Mittelungspegeln (z.B. L_{dn}, L_{den}) korreliert. Tab. 3-1 zeigt die anhand von Daten der RDF-Belästigungsstudie [104] ermittelten Korrelationskoeffizienten für vier verschiedene Pegelmaße.

Die in der RDF-Belästigungsstudie ermittelten Korrelationskoeffizienten liegen in einer üblichen, in Feldstudien zur Lärmbelästigung typischerweise vorzufindenden Größenordnung. Insgesamt ist auf *individueller Ebene* der Belastungs-Wirkungszusammenhang zwischen Lärmbelästigung und Mittelungspegel eher mäßig, bedingt dadurch, dass die erlebte Lärmbelästigung das Resultat eines komplexen Wirkungsgefüges ist, d. h. neben der Lärmbelastung auch andere Faktoren (u.a. Einstellungen, Lärmempfindlichkeit, situative Faktoren im Wohnumfeld) in das Belästigungsurteil einfließen. Dieser

Tatbestand ist in der Lärmwirkungsforschung gut dokumentiert [46], [77] & [86] und findet sich auch in den Ergebnissen der RDF-Belästigungsstudie.

Tab. 3-1: Produkt-Moment-Korrelation zwischen Fluglärmbelästigung (erfasst auf einer 11-stufigen Antwortskala) und Fluglärmbelastung ausgedrückt mittels vier verschiedenen Pegelmaßen.

		$L_{Aeq,\ 6\text{-}22h}$	$L_{Aeq,\ 24h}$	L_{den}	L_{dn}
Fluglärmbelästigung	Korrelationskoeffizient r	.437(**)	.434(**)	.418(**)	.411(**)
	Signifikanz (2-seitig) p <	.001	.001	.001	.001
	N	2272	2272	2272	2272

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. Alle Pegelwerte sind nach AzB-99 [112] unter Anwendung des Realverteilungsverfahrens berechnet.

Gleichwohl rechtfertigt die vorliegende Zusammenhangsstärke zwischen der Fluglärmbelästigung und -belastung von einer vorliegenden Belastungs-Wirkungsbeziehung zu sprechen. Dies gilt insbesondere für eine Betrachtung der Belästigung in Relation zur Fluglärmbelastung auf einem aggregierten Datenniveau: Ordnet man die vom Fluglärm belasteten Personen entsprechend ihrer Lärmexposition in Pegelklassen ein und bestimmt aus den individuellen Belästigungsurteilen in den jeweiligen Pegelklassen den HA-Anteil (Fig. 3-1), ergibt sich ein engerer Belastungs-Wirkungszusammenhang (Korrelation zwischen Fluglärmbelästigung und L_{dn}-Pegelklassen in der RDF-Belästigungsstudie: r = .97).

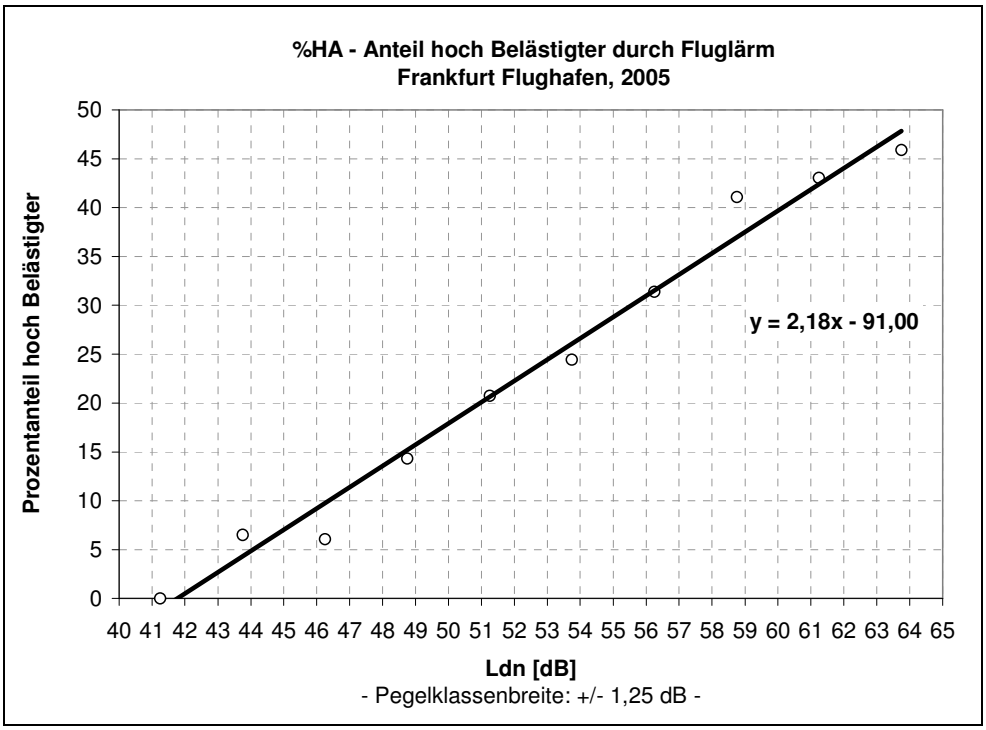


Fig. 3-1: Durch lineare Regression ermittelte vereinfachte Beziehung zwischen dem Anteil durch Fluglärm hoch Belästigter und der Fluglärmbelastung in L_{dn}; die durch die Datenpunkte dargestellte empirische Belastungs-Wirkungsbeziehung bezogen auf den L_{dn} entspricht derjenigen der RDF-Belästigungstudie; in der Abbildung ist zusätzlich eine berechnete lineare Trendlinie hinzugefügt (schwarze Linie).

Das RDF verwendet im ALP eine vereinfachte Belastungs-Wirkungsbeziehung, die aus der RDF-Belästigungsstudie abgeleitet wurde. Dabei wurde offenkundig ein linearer Zusammenhang zwischen der

Geräuschbelastung und dem Anteil hoch Belästigter angenommen. Dies ist in dem betrachteten Pegelbereich durchaus gerechtfertig und im Sinne der Nachvollziehbarkeit und Transparenz des FFI zielführend.

Legt man durch die auf den L_{dn} bezogene Belastungs-Wirkungskurve der RDF-Belästigungsstudie einen linearen Trend, ergibt sich eine Regressionsgerade, die zu geringfügig abweichenden Schätzungen der HA-Werte führt (vgl. Fig. 3-1 und Tab. 3-2, Spalte D). Die Funktion der Regressionsgleichung lautet:

Eq. 5 $$\%HA = 2{,}18 \cdot L_{dn} - 91{,}0 \qquad [\%]$$

L_{dn} : Tag-Nacht-Pegel, dB
$\%HA$: Prozentanteil durch Fluglärm hoch Belästigte, %

Tab. 3-2: Gegenüberstellung der vereinfachten Belastungs-Wirkungsbeziehungen zum Anteil hoch Fluglärmbelästigter (HA-Anteil) ermittelt durch das RDF (Spalte C) und ermittelt auf der Basis der regressionsanalytisch bestimmten Formel (Spalte D).

A	B	C	D	C-D
Bereich	L_{dn}	%HA		Delta
		ALP [120]	Schätzung anhand Eq. 5	
Vereinfachte Belastungs-Wirkungsbeziehung für Gebiete mit $L_{dn} \geq 55$ dB(A)	65 dB	53 %	51 %	2 %
	64 dB	51 %	49 %	2 %
	63 dB	48 %	46 %	2 %
	62 dB	46 %	44 %	2 %
	61 dB	44 %	42 %	2 %
	60 dB	42 %	40 %	2 %
	59 dB	40 %	38 %	2 %
	58 dB	37 %	35 %	2 %
	57 dB	35 %	33 %	2 %
	56 dB	33 %	31 %	2 %
	55 dB	31 %	29 %	2 %
Ergänzender Bereich für Gebiete mit $L_{dn} < 55$ dB(A)	54 dB	29 %	27 %	2 %
	53 dB	27 %	**25 %**	2 %
	52 dB	**25 %**	22 %	3 %
	51 dB	23 %	20 %	3 %
	50 dB	21 %	18 %	3 %

Rot und fett die abwägungserhebliche Schwelle gemäß Tab. 3-4.

Ein Vorteil des FFI ist, dass eine in der Region empirisch ermittelte Belastungs-Wirkungskurve als Basis für die Bestimmung des HA-Anteils herangezogen wird. Somit erübrigt sich die Frage der Übertragbarkeit der postulierten Belastungs-Wirkungsbeziehung auf die regionale Situation am Frankfurter Flughafen.

Es kann aber nicht von einer grundsätzlich gegebenen Stabilität dieser Belastungs-Wirkungsbeziehung ausgegangen werden. Verschiedene Faktoren können die Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Lärmbelästigung verändern:

- Neue oder modifizierte Modelle zur Berechnung der Fluglärmbelastung, die bezogen auf einen Immissionspunkt zu anderen Belastungswerten führen (vgl. Kapitel 3.1.2.4).

- Ein in den letzten Jahren feststellbarer und sich fortsetzender zeitlicher Trend einer steigenden Fluglärmbelästigung bei gegebener Fluglärmbelastung [63] & [116], der wiederum auf unterschiedliche mögliche Ursachen zurückgeführt werden kann (Veränderung des Flugbetriebs an Flughäfen im Laufe der Jahre, Zunahme des Bodenlärms – Straßen-/Schienenverkehrslärm – an Flughäfen, Veränderung in der Bevölkerungsstruktur, Unterschiede in der Untersuchungsmethodik wie beispielsweise die Verwendung unterschiedlicher Fluglärm-Berechnungsmodelle).
- Sogenannte Überschussreaktionen[3] in der Belästigung, die im Kontext abrupter Änderungen der Lärmsituation (z.B. durch Ausbau eines Flughafens oder tageszeitliche Kapazitätsänderungen) auftreten. Verschiedene Untersuchungen (zur Übersicht [105]) belegen, dass Überschussreaktionen in der Belästigung sowohl im Falle von Lärmminderungen (die Belästigung geht dann stärker zurück als erwartet) als auch im umgekehrten Fall auftreten (die Belästigung steigt bei Zunahme von Lärmbelastungen stärker als erwartet). Belästigungsänderungen können allerdings auch schon auftreten, bevor sich die Lärmbelastung ändert und nachdem Veränderungen (z.B. Flughafenausbau) angekündigt wurden. In diesem Fall spielen Erwartungen an die künftige Lärmentwicklung eine wesentliche Rolle. Dies zeigte sich z.B. in der RDF-Belästigungsstudie ebenso wie in anderen Fluglärmuntersuchungen (z.B. am Flughafen Sydney [67] & [78]). Eine Gewöhnung an die veränderte Lärmsituation in der Weise, dass die Lärmbelästigung nach der Änderung wieder auf ein Ausgangsniveau zurückfällt, ist für längere Zeit nach Änderung der Lärmsituation – insbesondere bei Fluglärm – gemäß Horonjeff & Robert [71] eher nicht zu erwarten. In der Literatur wird von Monate bis Jahre andauernden (2 bis 10 Jahre) Überschussreaktionen berichtet [21], [59], [71] & [81].

Neben der hier angesprochenen zeitlichen Stabilität der Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Fluglärmbelästigung gibt es noch den Aspekt der räumlichen Stabilität. Wie dargestellt, gibt es zum Teil erhebliche Streuungen in den Belästigungsurteilen, die sich beispielsweise in der RDF-Belästigungsstudie durch einen teilweise recht deutlichen Unterschied in der Lärmbelästigung zwischen einzelnen Untersuchungswohngebieten trotz vergleichbarer Lärmbelastung bemerkbar machen.

Der FFI ist jedoch ein globales Maß, der seine Gültigkeit für die Gesamtregion besitzt. Berechnet man den Index für einzelne Gemeinden, wird man nicht zwangsläufig erwarten dürfen, dass die mit dem FFI berechnete Zahl der hoch Belästigten mit der tatsächlichen Anzahl der in den betreffenden Gemeinden lebenden hoch belästigten Personen übereinstimmt. Dennoch ist es grundsätzlich auch für Teilausschnitte des Gebiets möglich, durch Nutzung des FFI als Bewertungsmaßstab Lärmschutzmaßnahmen in eine vernünftige Rangfolge zu bringen, solange man sich bewusst ist, dass der FFI auf der Ebene von Teilgebieten eine *abstrakte* Bewertungs-Kennzahl darstellt.

Fazit:

- Die im FFI enthaltene auf Ergebnissen der RDF-Belästigungsstudie beruhende Belastungs-Wirkungsbeziehung ist vom Grundsatz her für die Bestimmung des Anteils hoch belästigter Personen im betrachteten Gebiet geeignet.
- Allerdings weichen die vom RDF aus einer graphischen Abbildung der RDF-Belästigungsstudie abgeleiteten Werte um etwa 2 bis 3 Prozent von einer aus den Originaldaten regressionsanalytisch ermittelten vereinfachten Belastungs-Wirkungsbeziehung ab.

[3] Zur Bedeutung von Überschussreaktionen siehe Glossar der Begriffe im Anhang Kapitel 6.1.

- Es kann nicht von einer grundsätzlich gegebenen zeitlichen und räumlichen Stabilität der Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Fluglärmbelästigung ausgegangen werden.

3.2.2.2. L_{dn} als Maß im FFI zur Beschreibung der Lärmbelastung

Tab. 3-2 zeigt, dass die verschiedenen Mittelungspegel in etwa gleich hoch mit den Lärmbelästigungsurteilen korrelieren. Das RDF hat sich dafür entschieden die Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Lärmbelästigung auf den L_{dn} zu beziehen. Als Gründe werden angegeben [96]:

- Basis des FFI soll die Belästigungswirkung über 24 Stunden sein. Tag- und Nachtwirkungen sollen im Index gleichermaßen abgebildet werden können, um Kompensationen von z.B. zusätzlichen Nachtflügen durch Entlastungen am Tage in einer Kennzahl darstellen zu können. Entsprechend soll das im Index enthaltene Pegelmaß ein 24-Stunden-Pegel sein.
- Indem der Nachtmittelungspegel zehnfach gewichtet wird (plus 10 dB), soll der größeren Belästigungswirkung zur Nachtzeit Rechnung getragen werden.
- Der Ldn ist international gebräuchlich; die meisten Autoren von Metaanalysen beziehen bei der Aufstellung generalisierter Belastungs-Wirkungskurven zur Lärmbelästigung den HA-Anteil auf den L_{dn} [44], [51], [88] & [106]. Die Verwendung des Ldn erlaubt Vergleiche mit den Ergebnissen anderer internationaler Studien, sofern dieselbe tageszeitliche Unterteilung verwendet wird (vgl. Glossar Kapitel 6.1).
- Gegenüber dem Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} hat der Tag-Nacht-Pegel L_{dn} eine größere Nähe zum Fluglärmgesetz, welches wie der L_{dn} den 24-Stunden-Tag in zwei Zeitabschnitte unterteilt (vgl. Glossar Kapitel 6.1).

Ob die Darstellung einer 24-Stunden-Belästigungswirkung mit Hilfe des L_{dn} angemessen ist, soll anhand folgender zwei Fragenkomplexe diskutiert werden:

1. Ist anzunehmen, dass mit dem Anteil hoch Belästigter gemäß RDF-Belästigungsstudie eine Wirkung beschrieben wird, die sich auf einen 24-Stunden-Tageszeitraum bezieht? Das heißt, beziehen sich die Belästigungsurteile auf einen 24-Stunden-Gesamttag und ist die Gewichtung der Nachtzeit wirkungsadäquat im Hinblick auf die Lärmbelästigung?
2. Ist ein 24-Stunden-Index sinnvoll zur Beurteilung der Wirkung von Tag- <u>und</u> Nachtlärmbelastungen vor dem Hintergrund, dass für die Nachtzeit ein separater Index, der Frankfurter Nachtindex FNI, eingeführt werden soll?

Der zweite Fragenkomplex ist auch mit Bezug auf die gewünschte Darstellbarkeit der gegenseitigen Kompensation von nächtlichen und tagsüber auftretenden Fluglärmbelastungen zu bewerten. Hierauf wird im Kapitel 3.3.2 näher eingegangen. Der erste Fragenkomplex lässt sich dahingehend beantworten, dass – mit Bezug auf den Wirkungsbereich "Lärmbelästigung" – in der Literatur keine einheitlichen Belege für die Angemessenheit einer Gewichtung des Nachtzeitraums mit einem 10-dB-Pegelzuschlag vorliegen.

In einer Sekundäranalyse von 25 internationalen Lärmwirkungsstudien untersuchte Fields [48] die Bedeutung von Lärm unterschiedlicher Quellen (darunter Fluglärm) zu verschiedenen Tageszeiten (Tag versus Nacht bzw. Tag versus Abend und Nacht) im Hinblick auf die Lärmbelästigung. Zwar ergab sich, dass abends und nachts im Allgemeinen die Lärmbelästigung größer war; die vom Autor berücksichtigen Untersuchungsdaten wiesen allerdings so unterschiedliche tageszeitliche Differenzen

in der Belästigung auf, dass keine einheitliche Quantifizierung der Tageszeitunterschiede und damit keine eindeutige Gewichtung der Nacht- und/oder Abendzeit im Sinne eines Pegelzu- oder Pegelabschlags möglich war.

Miedema et al. [89] untersuchten mit einer verfeinerten Analysemethode zunächst anhand von Daten, die im Umfeld des Flughafens Schiphol erhoben wurden, die Frage, ob und in welcher Höhe ein Pegelzuschlag für die Nacht- und/oder Abendzeit zur Beschreibung der Belästigungswirkung durch Fluglärm angemessen ist. Ihre Ergebnisse bestätigen die Angemessenheit eines 10-dB-Pegelzuschlags für die Nachtzeit. Bei der Analyse weiterer Lärmwirkungsdaten, die an insgesamt neun europäischen (britischen, französischen, niederländischen) Flughäfen gewonnen wurden, unterschieden sich der ungewichtete $L_{Aeq,24h}$ und der gewichtete L_{dn} allerdings kaum noch in ihrer Korrelation zur Lärmbelästigung.

Da die Ergebnisse der RDF-Belästigungsstudie Basis des FFI sind, erscheint es sinnvoll, anhand der Daten der RDF-Belästigungsstudie zu prüfen, in welchem Ausmaß einzelne L_{Aeq}-Stundenpegel mit den Urteilen zur "Fluglärmbelästigung insgesamt" (= Basis des im FFI enthaltenen HA-Anteils) sowie zu den Angaben der Befragten zur nächtlichen Fluglärmbelästigung in einer linearen Beziehung stehen. Daraus kann abgeleitet werden, auf welche Tagesstunden sich die Belästigungsurteile (mehr oder weniger bewusst) beziehen.

Für diese Prüfung wurden in einer Sekundäranalyse die Antworten auf zwei Fragen nach der Fluglärmbelästigung aus dem Fragebogen der RDF-Belästigungsstudie herangezogen:

- Die Frage nach dem Ausmaß der gesamten Fluglärmbelästigung in den letzten 12 Monaten; das Ausmaß wurde auf der 11-stufigen Belästigungsskala angegeben (Frage 2.13 im Fragebogen).
- Die Frage nach dem Ausmaß der nächtlichen Fluglärmbelästigung, welches die Befragten auf einer 5-stufigen Belästigungsskala (1= "überhaupt nicht" bis 5= "äußerst gestört oder belästigt") einschätzten (Frage 2.12 im Fragebogen).

Die mit diesen beiden Fragen erhobenen Belästigungsurteile wurden mit jedem einzelnen für die jeweilige Wohnadresse der Befragten berechneten, jahresgemittelten L_{Aeq}-Stundenpegel eines 24-Stunden-Tages korreliert. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Fig. 3-2 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen Stundenpegeln und den Belästigungsurteilen. Je höher der Korrelationswert ist, umso enger ist der Zusammenhang zwischen der Belästigung und dem jeweiligen Stundenpegel.

Die Fig. 3-2 zeigt, dass die Fluglärmbelästigung insgesamt während der Tagesstunden von 06 bis 22 Uhr einen um rund 0,1 höheren Korrelationswert bezogen auf den Ein-Stunden-Mittelungspegel aufweist als in der Nacht von 22 bis 06 Uhr. Mit dem L_{dn} werden also gerade jene Stunden gewichtet, die in einem geringeren Maße mit den "Fluglärmbelästigung insgesamt"-Urteilen assoziiert sind. Selbst bei den Urteilen zur "Fluglärmbelästigung nachts" zeigt sich ausgerechnet in den Nachtkernzeiten ein Einbruch in der Höhe des Korrelationskoeffizienten.

Dieser auf den ersten Blick etwas erstaunliche Befund lässt sich einfach erklären: Menschen haben Schwierigkeiten, einen Zeitraum zu beurteilen, in dem sie normalerweise schlafen. Die Beeinträchtigungen, die nachts durch Fluglärm entstehen können, lassen sich mit tagsüber in Interviews erhobenen Belästigungsurteilen wenig gut beschreiben. Nachts treten vornehmlich andere Wirkungen auf (Aufwachreaktionen, vgl. Kapitel 3.3), die mit anderen Methoden darzustellen sind.

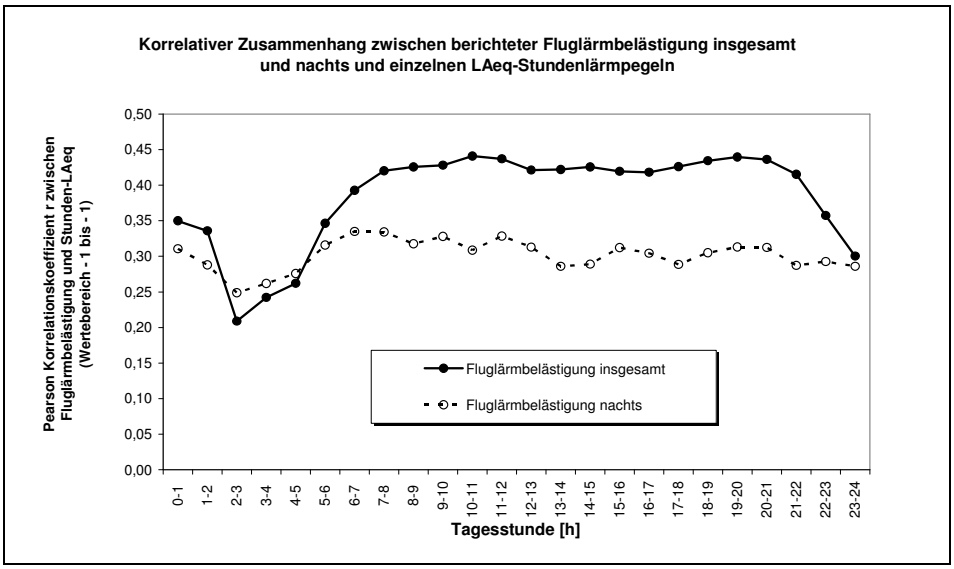


Fig. 3-2: Korrelationskoeffizienten zwischen Urteilen zur Fluglärmbelästigung insgesamt (durchgezogene Linie), Fluglärmbelästigung nachts (gestrichelte Linie) und einzelnen L_{Aeq}-Stundenpegeln. Datenquelle: RDF-Belästigungsstudie [104]. Die Kurvenverläufe sind nicht mit einem Belästigungs-Tagesprofil zu verwechseln, sie beschreiben keine Belästigungsintensitäten sondern nur einen Zusammenhangsgrad zwischen Belästigung und Ein-Stunden-Mittelungspegel.

Grundsätzlich erlaubt der vorliegende statistische Zusammenhang, dass die generelle Fluglärmbelästigung auf den Tag-Nacht-Pegel L_{dn} bezogen werden kann. Inhaltlich erscheint dagegen der 16-Stunden-Tagespegel ($L_{Aeq,06\text{-}22h}$) besser geeignet die Belastungs-Wirkungsbeziehung zwischen der Fluglärmbelastung und dem Anteil hoch Belästigter im Rhein-Main-Gebiet zu beschreiben, da sich Fig. 3-2 zufolge beide Seiten (Exposition und Wirkung) im Wesentlichen auf den gleichen Zeitraum von 06 bis 22 Uhr beziehen. Dies kann an anderen Flughäfen mit einem deutlich höheren Anteil an nächtlichem Flugverkehr (z.B. Köln/Bonn oder Leipzig/Halle) anders sein.

Trotzdem gilt es beim Tag-Nacht-Pegel $L_{dn,}$ zu bedenken, dass er – anders als z.B. der ungewichtete 24-Stunden-Mittelungspegel – mit dem Pegelzuschlag für die Nacht bereits schon eine Wirkungsannahme enthält und daher nicht ungeprüft auf eine Wirkung (Fluglärmbelästigung) bezogen werden sollte. Der FFI ist ein Index, der sowohl Belastungs- als auch Wirkungsparameter enthält. Durch Verwendung des L_{dn} als Belastungsparameter fließen Lärmwirkungsannahmen zweifach in den FFI ein – über den L_{dn} und über den eigentlichen Wirkungs-Kennwert HA.

Bei Verwendung des 16-Stunden-Pegels im Index würde aus dem FFI der Fluglärmtagesindex FTI, der gleichwertig neben dem Nachtindex FNI zur Darstellung der Fluglärmentwicklung in der Region herangezogen werden könnte. Die (vereinfachte) Belastungs-Wirkungskurve für den HA-Anteil bezogen auf den 16-Stunden-Tagesmittelungspegel zeigt Fig. 3-3. Tab. 3-3 enthält die Prozentanteile für diskrete Pegelwerte unter Anwendung der linearen Regressionsfunktion gemäß nachfolgender Gleichung Eq. 6:

Eq. 6 $$\%HA_i = 2{,}48 \cdot L_{Aeq,i} - 102{,}76 \quad [\%]$$

$\%HA_i$: Prozentanteil hoch Fluglärmbelästigter bei gegebenem $L_{Aeq,i}$, %

$L_{Aeq,i}$ 16-Stunden-Mittelungspegel für die Zeit von 06 bis 22 Uhr, dB

Wenn auch die von den Menschen im Rhein-Main-Gebiet angegebene generelle Fluglärmbelästigung gut mit einem 16-Stunden-Tagesmittelungspegel beschrieben werden kann und nächtliche Mittelungspegel hierfür weniger geeignet sind, zeigen die Ergebnisse verschiedener Studien einen von der

Tageszeit abhängigen Verlauf der Lärmbelästigung und hierbei insbesondere eine erhöhte Belästigung zu Tages- bzw. Nachtrandzeiten [42], [103] & [119].

Ein explizites Ziel im Rahmen des ALP ist es ja, die erhöhte Lärmwirkung zu Randzeiten zu berücksichtigen. Gemeint sind damit vornehmlich die um die Kernzeit von 23 bis 05 Uhr liegenden Randstunden von 21 bis 23 Uhr und 05 bis 07 Uhr. Wie noch weiter unten in Kapitel 3.3 ausgeführt wird, lässt sich die Lärmwirkung zu diesen Zeiten im Rahmen des FNI sehr gut abbilden. Für die Fluglärmbelästigung gilt, dass darüber hinaus weitere Tagesrandstunden mit erhöhter Lärmwirkung zu beachten sind.

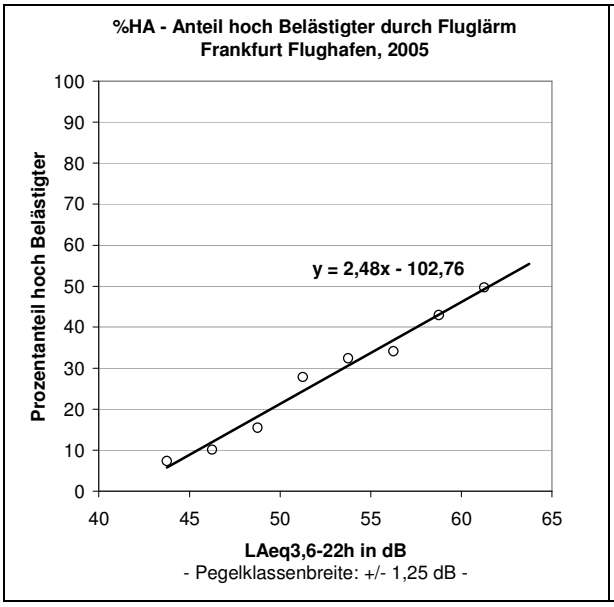


Fig. 3-3: Belastungs-Wirkungsbeziehung auf Basis einer linearen Regression des Anteils hoch Fluglärmbelästigter auf den 16-Stunden-Mittelungspegel $L_{Aeq,06\text{-}22h}$.

$L_{Aeq,06\text{-}22h}$	%HA	$L_{Aeq,06\text{-}22h}$	%HA
65	58	53	29
64	56	52	26
63	53	51	24
62	51	50	21
61	49	49	19
60	46	48	16
59	44	47	14
58	41	46	11
57	39	45	9
56	36	44	6
55	34	43	4
54	31	42	1

Tab. 3-3: Tabelle zur Belastungs-Wirkungsbeziehung in der nebenstehenden Fig. 3-3.

Die Ergebnisse der RDF-Belästigungsstudie zeigen, dass neben einer erhöhten Lärmbelästigung zu abendlichen Nachtrandstunden (22 bis 23 Uhr) die Belästigung in den Morgenstunden bis 8 Uhr erhöht ist ([104], Abb. 14-9, S. 248). Sehr ähnliche Ergebnisse finden sich auch in der Schweizer Lärmstudie 2000 am Züricher Flughafen [24]. Wird anstelle des L_{dn} der L_{den} als Belastungsmaß verwendet, wird damit zwar die erhöhte Lärmbelästigung zur Abendzeit nicht aber die belästigungssensiblen Morgenstunden nach 6 Uhr abgebildet.

Brink et al. [25] schlagen deshalb für einen wirkungsbezogenen, sehr differenziert hergeleiteten Index u.a. vor, zur Bestimmung des Anteils hoch Belästigter über einen Zeitraum von 24 Stunden für jede einzelne Tagesstunde den HA-Anteil zur betreffenden Stunde zu bestimmen und mit dem Anteil wacher Personen zu gewichten. Die von den Autoren entwickelte Formel ist verhältnismäßig komplex und bedarf des Vorliegens eines differenzierten Datenmaterials. So ist beispielsweise die Berechnung stündlicher L_{Aeq}-Werte und damit die Bereitstellung stündlicher Flugbewegungs- und Radardaten Voraussetzung für einen tagesstündlich gewichteten Fluglärmindex. Im Ergebnis erhält man allerdings einen Kennwert, der die tageszeitabhängige Belästigungswirkung recht genau abbildet und der – so

auch das Ziel der Autoren – mit einem entsprechend tagesstündlich gewichteten Schlafstörungsindex zu einem 24-Stunden-Index verknüpft werden kann.

Eine pragmatischere Variante eines Fluglärmindexes, bei der außerhalb der Nachtzeit auftretende Tageszeitunterschiede in der Belästigung berücksichtigt werden, besteht darin, dass ein 16-Stunden-Tagesmittelungspegel bestimmt wird, bei dem die in der RDF-Belästigungsstudie identifizierten sensibleren Morgenstunden von 6 bis 8 Uhr mit einem wirkungsbezogenen Pegelzuschlag versehen werden. Die genaue Höhe des Pegelzuschlags ist hierfür anhand der vorliegenden Belastungswerte und Belästigungsdaten noch herzuleiten.

Bei der Wahl von zwei Indices für getrennte Tageszeiträume und Wirkungsbereiche (FTI für die Lärmbelästigung, FNI für nächtliche Schlafstörung) bleibt die Frage, wie die Kompensation von Belastungserhöhungen in einem Tageszeitraum durch Entlastungsmaßnahmen im anderen Zeitraum abgebildet werden könnte. Grundsätzlich möglich wäre dies durch die Festlegung, dass eine Erhöhung des FNI um einen bestimmten Prozentsatz mit einer Senkung des FTI um den gleichen Prozentsatz einher zu gehen hat. Eine andere in Kapitel 3.3.2.4 näher dargestellte Möglichkeit ist, den Betrachtungszeitraum des FNI auszuweiten und die Kompensation von Belastungsänderungen in der Nacht vollständig im FNI abzubilden.

Fazit:

- Der L_{dn} ist ein mögliches aber nicht optimales Maß zu Beschreibung der erlebten Lärmbelästigung der Bevölkerung im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Die im L_{dn} enthaltene Gewichtung betrifft einen Tageszeitraum, auf den sich die Belästigungsurteile insgesamt weniger beziehen als auf die übrigen Tagesstunden. Für internationale Vergleiche kann der L_{dn} nach wie vor verwendet werden, für ein regionales Planungstool wie dem FFI ist dies jedoch nicht erforderlich.
- Der L_{den} hat zwar gegenüber dem L_{dn} den Vorteil, dass die erhöhte Lärmbelästigung zur Abendzeit besondere Berücksichtigung erfährt, allerdings bleiben morgendliche Randstunden mit erhöhter Lärmbelästigung auch im L_{den} unberücksichtigt.
- Analog zu den Vorschlägen von Brink et al. [25] für eine Weiterentwicklung des ZFI kann ein 24-Stunden-Index bestimmt werden, bei dem zu jeder Tagesstunde die relative Belästigungswirkung bezogen auf den Anteil wacher Personen und die relative Schlafstörungswirkung bezogen auf den Anteil schlafender Personen verknüpft und diese stündlichen Lärmwirkungen über einen 24-Stunden-Tageszeitraum aufaddiert werden. Die beiden Lärmwirkungsbereiche "Belästigung" und "Schlafstörungen" würden damit ideal in einem einzigen Index abgebildet. Allerdings ist ein solcher Index sehr komplex, im Vergleich zum FFI (resp. FTI) und FNI weniger transparent und erfordert die Verfügbarkeit und Aufarbeitung detaillierter (stündlicher) Flugbewegungsdaten.
- Eine pragmatischere Variante wäre anstelle eines 24-Stunden-Fluglärmindexes FFI neben dem Nacht-Index FNI einen Tag-Index FTI einzuführen, der sich vom FFI des RDF durch die Wahl des Belastungsmaßes $L_{Aeq,06\text{-}22h}$ anstelle des L_{dn} unterscheidet. Die höhere Belästigung zu den morgendlichen Randstundenzeiten (06 bis 08 Uhr) lässt sich dabei durch einen gesonderten Pegelzuschlag berücksichtigen.
- Bei der Wahl von zwei Indices für getrennte Tageszeiträume und Wirkungsbereiche (FTI für die Lärmbelästigung am Tag, FNI für nächtliche Schlafstörungen) bleibt das Problem zu lösen, wie die Kompensation von Belastungserhöhungen in einem Tageszeitraum durch Entlastungsmaßnahmen

im anderen Zeitraum abgebildet werden kann. Entsprechende Vorschläge hierzu werden in Kapitel 3.3 und in Kapitel 4.3 dargelegt.

3.2.2.3. Zur Stabilität der Bevölkerungsstruktur

Die Festlegung der Einwohnerzahl pro dB-Stufe im Rahmen des FFI erfolgt auf Basis der Bevölkerungszahlen von 2005. Die Festsetzung auf das Referenzjahr 2005 soll eine einheitliche Datengrundlage gewährleisten und auf dieser Basis den Vergleich von maßnahmenbedingten Zu- und Abnahmen des Fluglärms ermöglichen. Es soll vermieden werden, dass der FFI sich ändert, ohne dass sich die Exposition durch Fluglärm ändert.

Der Nachteil einer Festlegung auf das Referenzjahr 2005 ist, dass bedingt durch die zu erwartende nichtlineare Bevölkerungsentwicklung (im Regierungsbezirk Darmstadt: Anstieg der Bevölkerungszahl von 2006 an bis ca. 2020, danach bis 2050 beschleunigter Rückgang bis unter das Ausgangsniveau [115]), irgendwann die realen Verhältnisse in den Auswirkungen des Fluglärms auf die Bevölkerung auch mit einem wirkungsbezogenen Index wie dem FFI oder dem FTI nicht mehr abgebildet werden können.

Hinzu kommt, dass der sich in Gesamthessen fortsetzende Alterungsprozess [100] auch Auswirkung auf die Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Lärmbelästigung haben kann, so dass hier im Laufe der Jahre weitere Verzerrungen auftreten können.

Fazit:

- Zur Berechnung des Indexes sollten nicht nur wie vorgesehen die Eingabedaten für die Fluglärmberechnungen aktualisiert, sondern auch jährlich die Einwohnerzahl und periodisch die Belastungs-Wirkungsbeziehung angepasst werden. Um die Vergleichbarkeit in der Darstellung der Lärmwirkung und Maßnahmenbewertungen über die Jahre sicherzustellen, müssen nach Anpassung der Eingangsdaten zur Bestimmung des FFI die Indexberechnungen auch rückwirkend vorgenommen werden.

3.2.2.4. Zur Gebietsabgrenzung $L_{dn} \geq 55$ dB(A)

Die Berechnung des FFI erfolgt für ein durch den $L_{dn} \geq 55$ dB(A) abgegrenztes Gebiet. Die Zielgröße "Zahl der hoch Belästigten" wird damit durch ein akustisches Abbruchkriterium eingeschränkt.

Diese akustische definierte „Grenzziehung“ erfolgt vor dem Hintergrund, dass einerseits ein gewisser Anteil von Lärmbelästigten stillschweigend hingenommen wird und andererseits eine Schwelle, welche die Grenze von nicht-erheblicher zur erheblichen Belästigung markiert, wissenschaftlich-empirisch nicht festlegbar ist. Zwar zeigt die Belastungs-Wirkungskurve aus der RDF-Belästigungsstudie bei 42 dB(A) einen Nullpunkt des Anteils *hoch* belästigter Personen, doch mag dies an der sehr kleinen Fallzahl von 8 Personen in der untersten untersuchten L_{dn}-Pegelklasse von 40 bis 42,5 dB(A) liegen, wohingegen die übrigen Pegelklassen zwischen 123 und 336 Personen enthalten. Außerdem gab es in der RDF-Belästigungsstudie auch unterhalb von L_{dn}= 42 dB(A) durch Fluglärm belästigte Personen, die allerdings weniger hohe Belästigungsstärken angaben und nicht mehr das Kriterium "hoch belästigt" erfüllten. Die Definition eines Abbruchkriteriums auf der Grundlage einer akustischen Größe kann daher nur das Ergebnis einer gesellschaftspolitischen Setzung sein.

Die Gesetzgebung [27], [53] & [54] sieht den Schutz der Bevölkerung vor erheblicher Belästigung durch schädliche Umwelteinwirkungen respektive Fluglärm vor. Durch die Definition von Schutzzonen

und Festlegung von akustischen Grenzwerten (vgl. Kapitel 3.4) in Gesetzgebung, Rechtsprechung und Normung soll dieser Schutz sichergestellt werden.

In der Lärmwirkungsforschung hat es sich zu einer Konvention entwickelt, von einer erheblichen Belästigung der Bevölkerung zu sprechen, wenn der Anteil hoch Lärmbelästigter in der Bevölkerung mindestens 25% beträgt [62], [99] & [109]. Im Lärmmedizinischen Gutachten zum Ausbau des Frankfurter Flughafens G12.1 ([58], S. 181) sowie zuvor in einer von den Gutachtern vorgenommenen zusammenfassenden Bewertung der Wirkung des Fluglärms, der sogenannten Synopse [57], wird dieses 25%-HA-Kriterium zur Festsetzung des Präventiven Richtwerts (PRW) herangezogen. Der PRW ist Teil eines von den Autoren vorgeschlagenen dreistufigen Systems von Begrenzungswerten und liegt zwischen dem Schwellenwert (SW) und Kritischem Toleranzwert (KTW).

Die Rechtssprechung wiederum unterscheidet gemäß Dolde resp. Giemulla & Schorcht die folgenden vier Intensitätsstufen der Betroffenheit durch Fluglärm [32] & [55]:

1. Geringfügige Lärmimmissionen;
2. beachtliche bzw. abwägungserhebliche Lärmimmissionen;
3. fachplanungsrechtlich unzumutbare Lärmimmissionen (fachplanungsrechtliche Zumutbarkeitsschwelle);
4. gesundheitsgefährdende und -beeinträchtigende bzw. die enteignungsrechtliche Zumutbarkeitsschwelle (verfassungsrechtliche Zumutbarkeitsschwelle).

Giemulla & Schorcht resp. Dolde haben in ihren juristischen Bewertungen der Fluglärmsynopse [57] die von Griefahn et al. vorgeschlagenen Begrenzungswerte den in der Rechtssprechung angewandten Intensitätsstufen der Fluglärmbetroffenheit zugeordnet (Tab. 3-4). Für das Schutzziel "Vermeidung erheblicher Belästigung" fehlt bei den Autoren eine Zuordnung der verfassungsrechtlichen Zumutbarkeitsschwelle zu einem der Begrenzungsstufen der Fluglärmsynopse. Die Autoren sind der Auffassung, dass es sich bei der erheblichen Belästigung um ein der Gesundheit vorgelagertes Schutzkriterium handle, für das eine verfassungsrechtliche, auf die körperliche Unversehrtheit bezogene Zumutbarkeitsschwelle nicht ableitbar sei. Die Zuordnung der übrigen rechtlichen Intensitätsstufen zu den Begrenzungsstufen der Fluglärmsynopse zeigt Tab. 3-4.

Tab. 3-4: Zuordnung von Begrenzungswerten für Fluglärmbelastungen zur Vermeidung erheblicher Belästigung zu rechtlichen Intensitätsstufen der Betroffenheit durch Fluglärm nach Dolde [32] und Giemulla & Schorcht [55].

A	B	C	D
Kriterium:	Schutzziel: Vermeidung erheblicher Belästigung		
Begrenzungsstufen gemäß Synopse [58], [57]	Schwellenwert (SW)	Präventiver Richtwert (PRW)*	Kritischer Toleranzwert (KTW)
Rechtliche Intensitätsstufen [32], [55]	unbeachtlich	Schwelle abwägungs-erheblicher Belastung	fachplanungsrechtliche Zumutbarkeitsgrenze

* Wert bei dem der Anteil von 25% hoch Belästigten überschritten wird (vgl. Griefahn et al. [57]).

Die Zuordnung zeigt, dass eine Lärmbelästigung als abwägungserheblich betrachtet wird, wenn der PRW überschritten wird. Da für die Festsetzung des PRW das 25%-HA-Kriterium herangezogen wurde, bedeutet dies konsequenterweise, dass in der vorgenommenen Zuordnung ein 25%-Anteil hoch Belästigter die Schwelle der Abwägungserheblichkeit markiert. Aus Wirkungssicht erfolgt dann

erst die Frage, bei welchem akustischen Belastungswert dieses Wirkungskriterium erreicht bzw. überschritten wird.

In der Region am Frankfurter Flughafen wird nach der vereinfachten Belastungs-Wirkungsbeziehung des RDF auf Basis der RDF-Belästigungsstudie der 25%-HA-Anteil bei einem L_{dn} von 52 dB(A), nach der regressionsanalytischen Abschätzung bei einem L_{dn} in der Höhe von 53 dB(A) erreicht (vgl. Tab. 3-2). Mit der Wahl des Belastungsperimeters $L_{dn} \geq 55$ dB(A) erfolgt eine Gebietsabgrenzung für die Indexberechnung, die in der Region am Frankfurter Flughafen etwas oberhalb der wirkungsbezogen definierten Erheblichkeitsschwelle liegt. Aus Sicht der Gutachter erscheint diese Abgrenzung für einen Index, der die Funktion eines Planungs- und Monitoring-Tools erfüllen soll, zu hoch, denn es fallen zu viele Personen, welche die Zielgröße "hoch belästigt" erfüllen, aus der Bewertung heraus. Wie am Beispiel des Planfalls 2020 gezeigt werden kann (Fig. 3-4), liegen 49% aller hoch belästigten Personen bezogen auf ein Gebiet mit $L_{dn} \geq 50$ dB (unterhalb 50 dB liegen keine Auswertungen vor) im Pegelbereich von 50 bis 54 dB, 51% im übrigen Pegelbereich von 55 bis 65 dB. Die Unterschätzung der Zahl hoch Belästigter beträgt also bei einem Abbruchkriterium von 55 dB mindestens 49%.

Für die Indexberechnung sollte somit die Gebietsabgrenzung mittels eines Belastungspegels bestimmt werden, bei welchem die Lärmbelästigung zwischen der Ansprechschwelle, die für den Wirkungsbereich Belästigung allerdings nicht definiert werden kann, und der Erheblichkeitsschwelle liegt. Dehnt man allerdings das Berechnungsgebiet zu weit aus, gelangt man in Bereiche, in denen die Fluglärmbelastung nur mit deutlich reduzierter Genauigkeit berechnet werden kann (vgl. Kapitel 3.1.3). Wie hoch das Ausmaß der Unterschätzung der Lärmbelästigung ist, wenn man es bei einer Gebietsabgrenzung bei $L_{dn} \geq 55$ dB(A) belässt und zu welchen Verzerrungen es in der Bewertung aktiver Schallschutzmaßnahmen kommen kann, ist aus der Fig. 3-4 ersichtlich und wird in den Kapiteln 3.4.5 und 4.4.3 diskutiert.

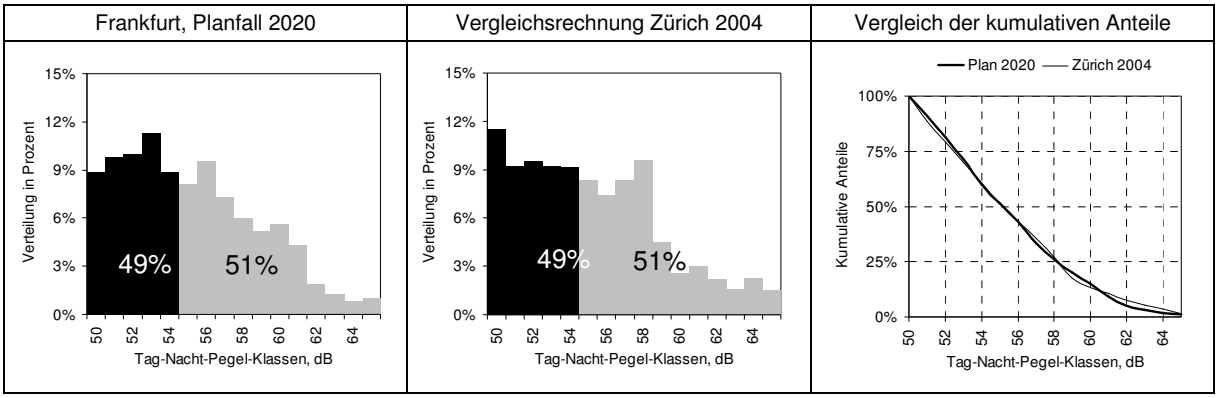


Fig. 3-4: Teilbild links: Relative Verteilung der Zahl hoch belästigter Personen (HA gemäß ALP, vgl. Tab. 3-2, Spalte C) über die Pegelstufen $L_{dn} \geq 50$ dB für den Planfall 2020 in Frankfurt (Daten aus den Hintergrundinformationen zum ALP [97]).

Teilbild in der Mitte: Relative Verteilung der Zahl hoch belästigter Personen (HA gemäß ALP, vgl. Tab. 3-2, Spalte C) über die Pegelstufen $L_{dn} \geq 50$ dB für den Flughafen Zürich im Jahre 2004. Teilbild rechts: Vergleich der kumulativen HA-Anteile für den Planfall 2020 in Frankfurt und den Flughafen Zürich im Jahre 2004.

Anmerkung zu Fig. 3-4:

In Ergänzung zu den Verhältnissen in Frankfurt (Teilbild links) werden diejenigen in Zürich gezeigt (Teilbild in der Mitte). Die Zürcher Berechnungen werden herangezogen, um eine Abschätzung ma-

chen zu können, welchen Einfluss die Wahl unterschiedlicher Betrachtungsperimeter auf die Beurteilung aktiver Schallschutzmaßnahmen hat. Da für Frankfurt nur Berechnungen bis zu den dargestellten 50 dB vorliegen, muss in dieser Frage auf Zürcher Berechnungen zurückgegriffen werden, damit eine Abschätzung bis zur Wirkschwelle hinunter gemacht werden kann. Analogieschlüsse sind aber erst dann zulässig, wenn gezeigt werden kann, dass die Verhältnisse in Zürich und Frankfurt bezüglich Bevölkerungsstruktur vergleichbar sind. Mittels der obigen drei Teilbilder wird dieser Nachweis erbracht. Obwohl die Histogramme wegen der unterschiedlichen prozentualen Anteile je dB-Klasse visuell verschieden sind, beträgt sowohl in Frankfurt als auch Zürich die Unterschätzung der Anzahl hoch Belästigter rund 50%, wenn der Betrachtungsperimeter durch einen L_{dn} von 55 dB anstelle von 50 dB begrenzt wird. Die Vergleichbarkeit der Verhältnisse wird durch die kumulativen Anteile im Teilbild rechts noch unterstrichen, indem die Anteilskurven für Zürich und Frankfurt praktisch deckungsgleich sind.

3.3. Frankfurter Nachtindex (FNI)

3.3.1. Definition des FNI

Der FNI wird in [2] wie folgt beschrieben:

„Ergänzend hierzu wurde ein Nachtindex entwickelt, insbesondere um besondere Entlastungswirkungen oder Belastungswirkungen in der Nacht beurteilen zu können. Er basiert auf den Ergebnissen der DLR Schlafstudie. Dieser Index soll die wahrscheinlichen zusätzlichen, nicht notwendigerweise erinnerbaren Aufwachreaktionen gemäß Definition des DLR abbilden, die sich aufgrund des Flugbetriebs von 22-6 Uhr ergeben.

Hierfür werden für alle Personen die Zahl und Höhe aller Einzelschallereignisse in diesem Zeitraum festgestellt und jedem Ereignis die vom DLR ermittelte mittlere Aufwachwahrscheinlichkeit zugeordnet. Die sich aus der Summe der Ereignisse ergebende Aufwachwahrscheinlichkeit wird für jede Person bestimmt. Der Nachtindex soll die Gesamtzahl aller zusätzlichen Aufwachreaktionen relevant betroffener Wohnbevölkerung in der Region darstellen, wobei zur Abgrenzung nur solche Personen einbezogen werden, deren Aufwachwahrscheinlichkeit mindestens 0,5 beträgt. [4]

Das DLR ist in seiner Studie von Innenpegeln ausgegangen. Das bedeutet, dass real aufgrund von bereits durchgeführten oder noch ausstehenden Maßnahmen des passiven Schallschutzes bei denjenigen der Gesamtmenge, die in Schallschutzgebieten leben oder selbst für Schallschutz gesorgt haben, die tatsächliche Gesamtzahl wahrscheinlicher zusätzlicher Aufwachreaktionen geringer ist. Wegen des spezifischen Zwecks des Index zu Planungszwecken sollte hier die Schutzwirkung durch passiven Schallschutz bewusst außer Acht gelassen werden und einheitlich von einer Differenz von 15 dB zwischen Innenpegeln und den zugehörigen Außenpegeln ausgegangen werden.“

Aus dieser Beschreibung ergibt sich für einen beliebigen Immissionspunkt *i* folgende Berechnungsvorschrift für den FNI:

Eq. 7 $$FNI = \sum_i N_{pop,i} \cdot N_{AWR,i} \qquad \text{für } N_{AWR,i} \geq 0{,}5, \qquad \text{sonst } FNI = 0$$

Mit: $$N_{AWR,i} = \sum_{j=1}^{n} P_{AWR}\left(L_{AS,\max,ij} + D\right)$$

Wobei: $$P_{AWR}(L_{AS,\max,ij} + D) = 1{,}894 \cdot 10^{-5} \cdot \left(L_{AS,\max,ij} + D\right)^2 + 4{,}008 \cdot 10^{-4} \cdot \left(L_{AS,\max,ij} + D\right) - 3{,}3243 \cdot 10^{-2}$$

D	:	Einfügungsdämpfung für den Übergang vom Außen- zum Innenpegel; für gekipptes Fenster D = -15 dB.
$L_{AS,max}$	:	A-bewerteter Maximalpegel mit der Zeitkonstante Slow gemessen, dB.
n	:	Anzahl der während einer Nacht am Immissionsort resp. Hektarpunkt auftretenden Geräusche.
N_{AWR}	:	Anzahl fluglärminduzierter, zusätzlicher Aufwachreaktionen.
P_{AWR}	:	Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufwachreaktion bei einem bestimmten Maximalpegel $L_{AS,max}$.

[4] Anmerkung der Gutachter: Die Region, in welchem der FNI ermittelt werden soll, soll gemäß Formulierung im ALP durch eine Aufwachwahrscheinlichkeit von mindestens 0,5 begrenzt werden. Diese Formulierung ist irreführend, denn es kann hier nicht die Wahrscheinlichkeit des Aufwachens von 50% gemeint sein, sondern der angegebene Wert von 0,5 muss sich gemäß Definition des FNI auf die Zahl der durch Fluglärm zusätzlich induzierten Aufwachreaktionen beziehen. Dies bedeutet, dass der Perimeter bei einer im Mittel pro Jahr alle zwei Nächte auftretenden zusätzlichen Aufwachreaktion festgelegt werden soll.

3.3.2. Diskussion des FNI

Bei der Konstruktion des FNI wurden mehrere Annahmen bzw. Entscheidungen getroffen, die nachfolgend einzeln diskutiert und bewertet werden. Es sind dies:

1. Eine Wirkung (Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen) und nicht eine physikalische Belastung (z.B. energieäquivalenter Dauerschallpegel) zu beschreiben,
2. zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufene Aufwachreaktionen als Indikator für nächtliche Fluglärmwirkungen auf den Schlaf zu benutzen,
3. die in der DLR-Studie [13] empirisch ermittelte Belastungs-Wirkungsfunktion zwischen Fluggeräusch-Maximalpegel (innen) und zusätzlicher Aufwachwahrscheinlichkeit zu verwenden,
4. einen Beurteilungszeitraum von 22-6 Uhr zu wählen,
5. nur solche Gebiete in die Berechnung des FNI mit einzubeziehen, innerhalb derer im Mittel mit mindestens 0,5 zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen zu rechnen ist, und
6. einheitlich von einer Differenz von 15 dB(A) zwischen Innenpegeln und den zugehörigen Außenpegeln auszugehen.

3.3.2.1. Beschreibung einer Wirkung anstelle einer physikalischen Belastung

Mit der im Beurteilungsgebiet erwarteten Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen beschreibt der FNI eine Fluglärmwirkung auf den Menschen, und stellt demnach nicht eine physikalische Belastungsgröße (z.B. in Form eines äquivalenten Dauerschallpegels) dar. Mit dieser Entscheidung weicht das RDF bewusst sowohl vom 2007 novellierten Fluglärmgesetz [54] als auch vom Planfeststellungsbeschluss für den Ausbau des Frankfurter Flughafens [69] ab, bei denen Maßnahmen vom Überschreiten eines energieäquivalenten Dauerschallpegels bzw. einer Anzahl von Fluggeräuschen mit bestimmtem Maximalpegel (*number above threshold*, NAT), also rein akustischer Kenngrößen, abhängig gemacht werden (vgl. Kapitel 3.4).

Der FNI lehnt sich als wirkungsbezogener Index dem vom DLR entwickelten Schutzkonzept für den Flughafen Leipzig/Halle [11] an, bei dem die Wirkung nächtlichen Fluglärms in Form von zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen beschrieben und begrenzt wird. In den Leitsätzen der Urteilsbegründung des Bundesverwaltungsgerichts zum Urteil vom 09.11.2006 schreiben die Richter: „Ein Lärmschutzkonzept, das Flugverkehr auch während der Nachtstunden ermöglicht, hat sich vorrangig an dem Ziel auszurichten, fluglärmbedingte Aufwachreaktionen zu vermeiden. Dieser Zweck lässt sich nicht nur mit der Festsetzung eines um einen Dauerschallpegel ergänzten Maximalpegels erreichen, sondern auch mit dem Konzept des DLR, das nicht an akustische Kenngrößen anknüpft, sondern auf einer Dosis-Wirkungsbeziehung aufbaut.“

Letztlich drückt bereits die allgemeine Verwendung des Begriffs Fluglärm aus, dass das primäre Interesse der Wirkung von Geräuschen auf den Menschen gilt, und nicht dem durch Flugzeuge erzeugten Schall selbst. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, dass Reduktion, Vermeidung, Begrenzung und eben auch die Beschreibung einer Fluglärmbelastung mit Hilfe eines Indexes immer primär mit der Absicht geschehen sollte, die Fluglärmwirkungen auf den Menschen zu reduzieren, vermeiden, begrenzen oder zu beschreiben. Es wäre prinzipiell möglich, auf die explizite Ausweisung der Lärmwirkung zu verzichten, wenn der Zusammenhang zwischen akustischer Kenngröße und Lärmwirkung über den gesamten Wertebereich linear wäre und zudem keine Schwelle existieren würde, ab der

erste Lärmwirkungen auftreten. Nur in diesem (in der Realität nicht existierenden) Fall könnte direkt von der akustischen Belastung auf die Wirkung geschlossen werden. Des Weiteren spricht für die Ausweisung einer Wirkung in einem Fluglärmindex die Tatsache, dass diese in der Regel leichter von der betroffenen Bevölkerung verstanden wird. So verstehen die meisten Betroffenen die Konzepte „Aufwachen“ oder „Belästigung“, wohingegen nur die wenigsten etwas mit energieäquivalenten Dauerschallpegeln oder NAT-Kriterien anfangen können.

In der DLR-Studie zum Einfluss von Nachtfluglärm auf den Schlaf wurde gezeigt, dass akustische Kenngrößen wie L_{Aeq} oder *NAT* nicht dazu geeignet sind, Fluglärmwirkungen auf den Schlaf, insbesondere in Hinsicht auf zusätzlich hervorgerufene Aufwachreaktionen, angemessen zu beschreiben. Hier sind letztlich Konstellationen denkbar, bei der eine Erhöhung der Lärmbelastung mit einer Erniedrigung der Wirkung einhergehen und umgekehrt.

Eine Halbierung der Anzahl der Fluggeräusche bedeutet bei unverändertem Typen-Mix, dass der energieäquivalente Dauerschallpegel um 3 dB sinkt. Kriterien, die ausschließlich auf dem L_{Aeq} beruhen, gehen demnach implizit davon aus, dass neben der Energieäquivalenz auch eine Wirkungsäquivalenz vorliegt, d.h. dass eine Verminderung des L_{Aeq} um 3 dB auch zu einer Halbierung der hervorgerufenen Wirkung führt, also z.B. zu einer Reduktion der Anzahl induzierter Aufwachreaktionen um 50%.

In Fig. 3-5 wird anschaulich anhand der Ergebnisse der DLR-Feldstudie dargestellt, dass diese Wirkungsäquivalenz für den Schlaf nicht gegeben ist. In Anlehnung an den in der Epidemiologie häufig benutzten Begriff *numbers needed to harm* ist hier in Abhängigkeit vom Maximalpegel die Anzahl der Fluggeräusche dargestellt, die genau eine zusätzliche Aufwachreaktion hervorruft, wobei angenommen wurde, dass es sich bei den Fluggeräuschen um voneinander unabhängige Ereignisse handelt.

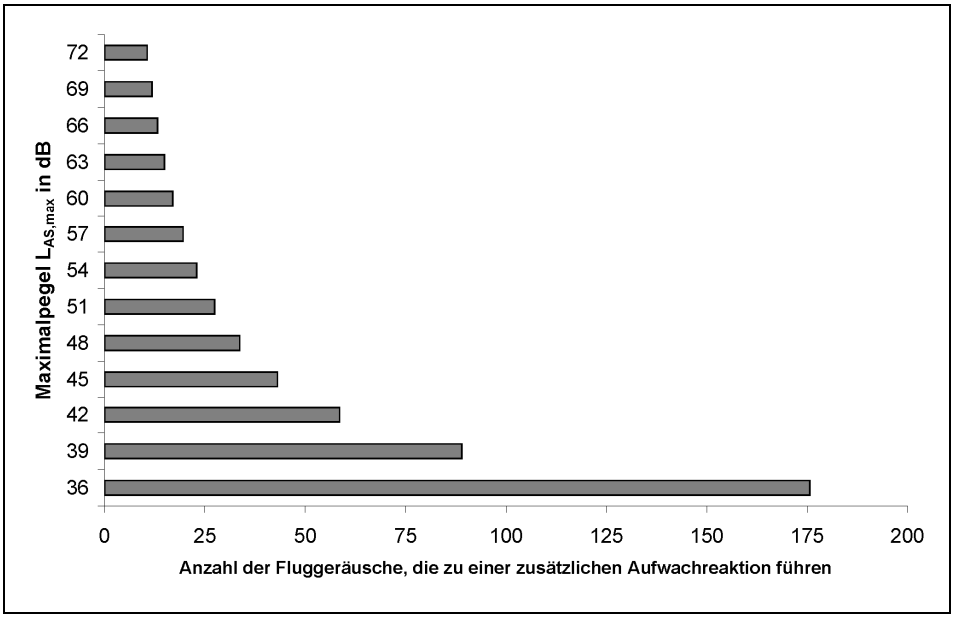


Fig. 3-5 Anzahl der Fluggeräusche, die zu einer zusätzlichen Aufwachreaktion führen, in Abhängigkeit vom Maximalpegel. Ergebnisse basieren auf der in der Feldstudie gefundenen Belastungs-Wirkungsbeziehung (vgl. Eq. 7)

Mit der Einführung von NAT-Kriterien in das novellierte Fluglärmgesetz [54] wurde versucht der Erkenntnis Rechnung zu tragen, dass für die nächtlichen Fluglärmwirkungen auf den Schlaf insbesondere die Anzahl und der Maximalpegel einzelner Fluggeräusche eine entscheidende Rolle spielen. NAT-Kriterien beruhen auf der Annahme, dass unterhalb eines Grenzwertes oder einer Schwelle keine oder nur noch geringe Fluglärmwirkungen auftreten. In der DLR-Feldstudie wurde gezeigt, dass bei Flughafenanwohnern bereits ab einem Maximalpegel von ca. 33 dB am Ohr des Schläfers mit fluglärminduzierten Aufwachreaktionen zu rechnen ist, d.h. erst unterhalb dieser Schwelle wurden keine Reaktionen mehr beobachtet [13]. Das NAT-Kriterium des Fluglärmgesetzes liegt mit einem Grenzwert von maximalen Innenpegeln von 53 bzw. 57 dB deutlich oberhalb dieser Schwelle, so dass Reaktionen, die durch Fluggeräusche mit Maximalpegeln zwischen der Schwelle und dem Grenzwert ausgelöst werden, keine Berücksichtigung finden. Faktisch ist somit eine beliebige Anzahl von Fluggeräuschen unterhalb des NAT-Wertes erlaubt, ohne dass das NAT-Kriterium verletzt wird.

In NAT-Kriterien wird zudem lediglich die Anzahl der erlaubten Überschreitungen des NAT-Wertes festgelegt, nicht jedoch, wie hoch die einzelnen Überschreitungen ausfallen dürfen. Somit bleibt ein NAT-Kriterium von 4 x 52 dB bei vier Fluggeräuschen mit einem Maximalpegel von 53 dB genauso unverletzt wie bei vier Fluggeräuschen mit einem Maximalpegel von 73 dB. Die Belastungs-Wirkungsbeziehung der DLR-Feldstudie zugrunde gelegt (vgl. Eq. 7), ist im ersten Fall jedoch davon auszugehen, dass ca. 16 von 100 Flughafenanwohnern durch die vier Überschreitungen zusätzlich aufwachen, während im letzten Fall bei ca. 39 von 100 Flughafenanwohnern, also bei mehr als doppelt so vielen, mit einer zusätzlichen Aufwachreaktion zu rechnen ist.

Die Kombination von einem NAT-Kriterium mit einem L_{Aeq}-Kriterium bietet folgende potentielle Vorteile: Der L_{Aeq} wird durch laute Geräusche stark beeinflusst. Sollten die Geräusche, die oberhalb des NAT-Wertes liegen, deutlich lauter als dieser sein, würde das schnell zu einer Verletzung des L_{Aeq}-Kriteriums führen. Die Anzahl der Fluggeräusche mit Maximalpegeln zwischen der Reaktionsschwelle (33 dB) und dem NAT-Wert kann nicht beliebig erhöht werden, ohne das L_{Aeq}-Kriterium zu verletzen. Insbesondere bei hohen Bewegungszahlen wird der L_{Aeq} das Kombinationskriterium dominieren. Wie schnell eine Verletzung des L_{Aeq}-Kriteriums vorliegt, hängt hierbei natürlich maßgeblich von der Höhe des vorgeschlagenen L_{Aeq}-Grenzwertes ab. Dennoch werden die oben angesprochenen Probleme der Einzelkriterien durch eine Kombination beider Kriterien nicht vollständig aufgehoben: Hinsichtlich Anzahl und Maximalpegel der Fluggeräusche zwischen Schwelle und NAT-Wert sind verschiedene Konstellationen denkbar, die gerade nicht zur Verletzung des L_{Aeq}-Kriteriums führen, aber dennoch eine relevante Anzahl fluglärminduzierter Aufwachreaktionen hervorrufen (vgl. Fig. 3-5).

Fazit:

- Die Entscheidung, mit dem FNI eine Wirkung (Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen) und nicht eine physikalische Belastung (z.B. energieäquivalenter Dauerschallpegel) zu beschreiben, wird von den Gutachtern aus den oben genannten Gründen positiv bewertet.

3.3.2.2. Aufwachreaktionen als Indikator für nächtliche Fluglärmwirkungen auf den Schlaf

Der Schlaf ist ein äußerst komplexes Geschehen, in dem vielfältige physiologische Prozesse ablaufen (z.B. Proteinbiosynthese, Ausscheidung spezifischer Hormone, Gedächtniskonsolidierung), die im weitesten Sinne der Erholung und damit der Vorbereitung auf die nächste Wachphase dienen. Ungestörter Schlaf von ausreichender Dauer ist unerlässlich für den Erhalt von psychomotorischer Leistungsfähigkeit und Gesundheit [1].

In Schlafforschung und klinischer Schlafmedizin wird der Schlaf *polysomnographisch* gemessen, d.h. es werden mindestens gleichzeitig Hirnströme (EEG), Augenbewegungen (EOG) und Anspannungszustand der Muskulatur (EOG) gemessen. Der Schlaf wird aufgrund bestehender Konventionen [74] & [98] in 30-Sekunden lange Abschnitte (Epochen) eingeteilt, und basierend auf EEG-, EOG- und EMG-Signalen wird jeder Epoche ein Schlafstadium zugewiesen. Man unterscheidet Wach, oberflächlichen Schlaf (Stadien S1 und S2), Tiefschlaf (Stadien S3 und S4) und Traumschlaf (auch REM-Schlaf genannt). Es wird angenommen, dass die Schlafstadien sich in ihrer Bedeutung und Funktion für die Erholsamkeit des Schlafs unterscheiden, wobei dem Tief- und Traumschlaf besondere Bedeutung beigemessen wird [110]. Mit der Polysomnographie können aber auch durchaus kürzere Aktivierungen bzw. Störungen im Schlaf detektiert werden, und ein Teil dieser Störungen wird als *Arousals* bezeichnet [20]. Bezüglich der Messung von Schlaf und schlafassoziierten Phänomenen kann die Polysomnographie als Goldstandard bezeichnet werden.

In der Lärmwirkungsforschung werden neben der Polysomnographie andere Methoden eingesetzt, um den Einfluss von Lärm auf den Schlaf zu quantifizieren. Hier sind insbesondere Fragebogenerhebungen, signalisiertes Erwachen und die Aktimetrie zu nennen. Im Vergleich zur Polysomnographie sind diese Methoden weniger sensitiv und haben geringere Aussagekraft. Auf der anderen Seite sind sie weniger aufwändig (kostengünstiger) und weniger invasiv, d.h. mit kaum einem Körpereingriff verbunden, weshalb sie in der Vergangenheit recht häufig zum Einsatz kamen.

Eine Störung des Schlafs kann intern (z.B. Atemaussetzer, Albträume) und extern (z.B. Geräusche, Hitze) bedingt sein. Aus diesem Grund sind lärmbedingte Schlafstörungen auch unspezifisch, d.h. dieselbe Störung (z.B. Aufwachreaktion) kann durch vielfältige andere interne und externe Ursachen bedingt sein. Viele klassisch für einen gestörten Schlaf benutzte Indikatoren (Aufwachreaktion, Schlaftiefenwechsel, Bewegung, etc.) sind deshalb nicht per se als pathologisch einzustufen, da sie auch beim gesunden Schläfer und in durch äußere Einflüsse ungestörten Nächten beobachtet werden können, ohne der Schlaferholung abträglich zu sein. Sie entfalten ihre pathologische Wirkung erst dann, wenn eine gewisse physiologische Anzahl pro Nacht überschritten wird; ein Prozess der auch als *Schlaffragmentierung* bezeichnet wird.

Aufwachreaktionen sind als ein Wechsel aus einem der Schlafstadien S1, S2, S3, S4 oder REM in das Stadium Wach definiert. Als solche muss das für Aufwachreaktionen typische Muster in EEG, EOG und EMG mindestens die Hälfte einer 30 Sekunden Epoche bestimmen, damit letztere als Wach klassifiziert wird. In einer ungestörten achtstündigen Nacht eines gesunden Schläfers treten im Mittel ca. 24 spontane Aufwachreaktionen auf [9] & [19]. Grundsätzlich steigt die Wahrscheinlichkeit der Wiedererlangung des Wachbewusstseins mit der Dauer einer Aufwachreaktion [15]. Lange Wachphasen werden am nächsten Tag erinnert und führen zu einer schlechteren Einschätzung von Schlafqualität und Schlafquantität. Zudem können Fluggeräusche nur in Phasen bewussten Wachseins wahrgenommen und zu Belästigung führen. Längere lärmbedingte Aufwachreaktionen stellen deshalb eine besonders gravierende Störung dar. Die meisten (spontanen und lärmbedingten) Aufwachreaktionen sind jedoch zu kurz, als dass sie am nächsten Tag erinnert werden [15].

Aus Sicht der Gutachter sind Aufwachreaktionen aus den folgenden Gründen besonders gut als Indikator für lärmbedingte Schlafstörungen geeignet:

1. Aufwachreaktionen stellen einen guten Kompromiss bezüglich Sensitivität und Spezifität dar, so dass alle <u>relevanten</u> Schlafstörungen erfasst werden. Die potenzielle Erinnerungsfähigkeit von Aufwachreaktionen und die Assoziation von Aufwachreaktionen mit eingipfligen und verlängerten Aktivierungen des autonomen Nervensystems [108], die langfristig Ursache kardiovaskulärer

Folgeerkrankungen sein können [90], bestimmen hier die medizinische Relevanz. Arousals, also kürzere Aktivierungsreaktionen, führen weder zu erinnerbarem Erwachen noch zu ausgeprägten vegetativen Aktivierungen [7] & [107].

2. Die Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen korreliert gut mit Veränderungen der Schlafstruktur, die ebenfalls als Schlafstörung klassifiziert werden. So wurde in der DLR-Schlaflaborstudie ca. 45% der Varianz in der Änderung des Tiefschlafanteils durch die Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen aufgeklärt [4].
3. Es herrscht Einigkeit unter Schlafforschern, dass lärmbedingte Aufwachreaktionen eine relevante Schlafstörung darstellen [91]. Auch neueste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass Aufwachreaktionen einen geeigneten Indikator für lärmbedingte Schlafstörungen darstellen [8] & [56].

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass auch isoliert auftretende Arousals, also kürzere zentralnervöse Aktivierungsreaktionen ohne Aufwachreaktion, relevant die Schlaferholung beeinträchtigen können [24]. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass Fluglärm isoliert zu Arousals führt, ohne dass gleichzeitig, wenn auch in geringerem Umfang, Aufwachreaktionen beobachtet werden können. Diese These wird von der Tatsache gestützt, dass erste fluglärmbedingte Aufwachreaktionen bereits ab Maximalpegeln von 33 bis 35 dB(A) beobachtet werden können [13] & [95]. In der DLR-Feldstudie entsprachen 33 dB(A) nur etwa 6 dB(A) über dem angenommenen Hintergrundpegel. Dies erscheint physiologisch plausibel, denn erste Reaktionen sollten dann beobachtet werden können, wenn das Sinnessystem dazu in der Lage ist, Flug- von Hintergrundgeräusch zu trennen.

Fazit:

- Aufwachreaktionen als Indikator für fluglärmbedingte Schlafstörungen können naturgemäß nicht jegliche Schlafstörung abbilden. Hierin unterscheidet sich der Indikator „Aufwachreaktion“ nicht von anderen Indikatoren. Nach derzeitigem Kenntnisstand handelt es sich bei Aufwachreaktionen jedoch um einen geeigneten Indikator für fluglärmbedingte Schlafstörungen.

3.3.2.3. Verwendung der in der DLR-Studie ermittelten Belastungs-Wirkungsbeziehung

Das RDF hat sich zur Ermittlung der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen basierend auf der Anzahl und der Höhe von Fluggeräuschmaximalpegeln für die in der DLR-Feldstudie [9] & [13] empirisch ermittelte Belastungs-Wirkungsbeziehung entschieden. In der DLR-Feldstudie wurden 64 Anwohner des Köln-Bonner Flughafens in ihrer heimischen Umgebung für insgesamt 576 Nächte polysomnographisch untersucht. Hiermit ist die DLR-Feldstudie die weltweit umfangreichste polysomnographische Feldstudie zum Einfluss von Fluglärm auf den Schlaf ([13], Table II).

Basierend auf 61 Versuchspersonen, 483 Untersuchungsnächten und 15556 Fluggeräuschen wurde die Belastungs-Wirkungsbeziehung mit einem multiplen logistischen Regressionsverfahren mit Zufallseffekt ermittelt. Auch ein Wechsel in das oberflächliche Schlafstadium S1, ein klassischer Indikator für fragmentierten Schlaf [66] & [118], wurde als Aufwachreaktion definiert. Neben dem Maximalpegel des Fluggeräuschs wurden der Hintergrundpegel in der Minute vor Auftreten des Fluggeräuschs, die verstrichene Schlafzeit und das momentane Schlafstadium ebenfalls im Modell berücksichtigt. Diese sogenannten Moderatorvariablen wurden zur Errechnung der Belastungs-Wirkungsbeziehung absichtlich so gewählt, dass die in der Stichprobe ermittelte Aufwachwahrscheinlichkeit überschätzt wurde. Hierdurch sollten sowohl sensible Schläfer als auch solche Personen berücksichtigt werden, für welche die untersuchte Stichprobe primär nicht repräsentativ war. Modellrechnungen des DLR haben er-

geben, dass das auf der Belastungs-Wirkungsbeziehung beruhende DLR-Schutzkonzept für den Flughafen Leipzig/Halle das Schutzniveau im Vergleich zur Original-Stichprobe um einen Faktor 3 bis 4 überschätzt [12] & [15].

Zur Ermittlung der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen wurde die spontane Aufwachwahrscheinlichkeit in lärmfreien Intervallen ermittelt und von der unter Fluglärm beobachteten Aufwachwahrscheinlichkeit subtrahiert [22]. Die so erstellte Belastungs-Wirkungsbeziehung ist in Fig. 3-6 dargestellt.

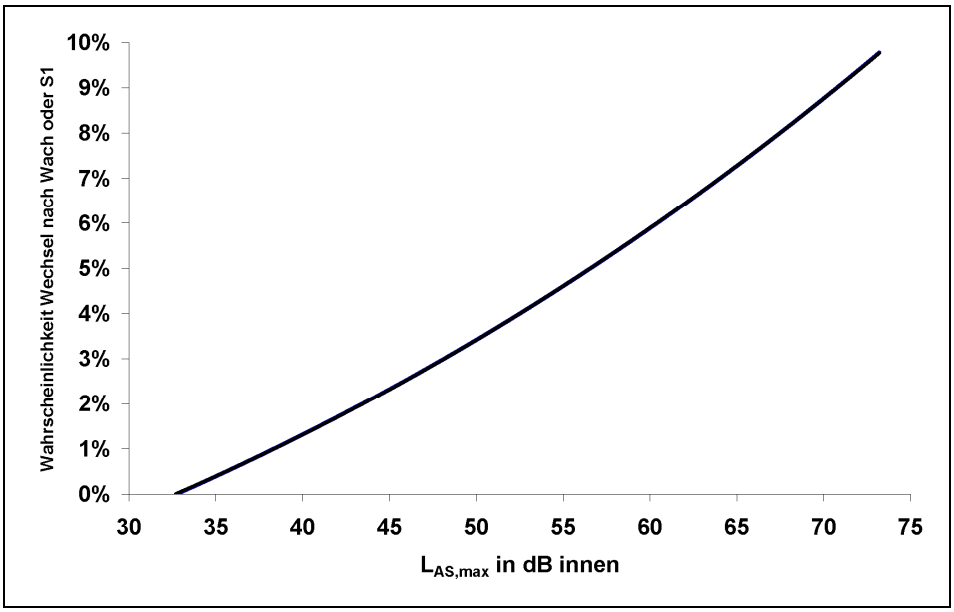


Fig. 3-6 Belastungs-Wirkungsbeziehung zwischen dem Maximalpegel eines Fluggeräuschs und der Aufwachwahrscheinlichkeit (definiert als ein Schlafstadienwechsel nach Wach oder S1). Die Belastungs-Wirkungsbeziehung beruht auf in der DLR-Feldstudie an 61 Versuchspersonen, 483 Untersuchungsnächten und 15556 Fluggeräuschen erhobenen empirischen Daten [13].

Für die Anzahl der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen ist neben der Steigung der Belastungs-Wirkungsbeziehung die Wirkschwelle entscheidend, d.h. der Maximalpegel, ab dem erste fluglärmbedingte Aufwachreaktionen beobachtet werden können. Die Wirkschwelle der DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung befindet sich bei einem Maximalpegel von ca. 33 dB(A), und damit nur ca. 6 dB(A) über dem angenommenen Hintergrundpegel von 27,1 dB(A). Wie oben bereits beschrieben, erscheint diese niedrige Wirkschwelle sinnvoll, denn erste, wenn auch sehr seltene, Aufwachreaktionen sollten beobachtet werden können, sobald das menschliche Sinnessystem dazu in der Lage ist, das Fluggeräusch von Hintergrundgeräusch zu unterscheiden. Im Gegensatz zu NAT-Kriterien garantiert die niedrige Wirkschwelle, dass alle relevanten Fluggeräusche, also auch solche mit niedrigen Maximalpegeln, bei der Berechnung von zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen berücksichtigt werden. Die anhand der DLR-Feldstudie ermittelte Wirkschwelle stimmt zudem gut mit in anderen Studien ermittelten Wirkschwellen überein [95].

Bei Maximalpegeln oberhalb von 33 dB(A) steigt die in Fig. 3-6 dargestellte Belastungs-Wirkungsbeziehung streng monoton und quasi-linear an. Maximalpegel von 73,2 dB(A) am Ende des Wertebereichs gehen mit einer Aufwachwahrscheinlichkeit von ca. 10% einher. Auch der Verlauf der DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung stimmt recht gut mit in anderen Feldstudien ermittelten Belastungs-Wir-

kungsbeziehungen überein, wobei bei letzteren allerdings andere Zielvariablen benutzt wurden (TNO 2002 [95], FICAN 1997 [43], Passchier-Vermeer 2003 [94], Elias & Finegold [50]). Insbesondere überschreiten pro Geräusch die einzelnen Belastungs-Wirkungsbeziehungen über den gesamten Belastungsbereich nie eine Reaktionswahrscheinlichkeit von 10%.

Es gilt jedoch zu bedenken, dass die DLR-Feldstudie am Köln-Bonner Flughafen unter sogenannten *steady-state* Bedingungen durchgeführt wurde, d.h. die Fluglärmbelastung war über mehrere Jahre relativ konstant und ein Ausbau des Flughafens war nicht geplant. Es ist deshalb möglich, dass die auf den Daten der DLR-Feldstudie beruhende Belastungs-Wirkungsbeziehung die tatsächliche Wirkung in Frankfurt, zumindest in den ersten Monaten oder Jahren nach dem Ausbau, unterschätzt. Zudem ist denkbar, dass, ähnlich wie für die Belästigung vermutet (vgl. Kapitel 3.2.2.1), auch bei den Wirkungen von Nachtfluglärm auf den Schlaf zeitliche Trends existieren. Aus den obgenannten Gründen müsste die DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung zwischen $L_{AS,max}$ und Aufwachwahrscheinlichkeit an einer Frankfurter Stichprobe überprüft und diese Überprüfung möglichst in regelmäßigen Abständen wiederholt werden.

Die teilweise an der Methodik der DLR-Studie geäußerte Kritik, die insbesondere die Repräsentativität der DLR-Feldstudie und damit die Übertragbarkeit der Ergebnisse betrifft, schließt zwangsläufig die in der Feldstudie ermittelte Belastungs-Wirkungsbeziehung ein. Wie das DLR auf die eingeschränkte Repräsentativität der Stichprobe reagierte, wurde oben bereits erläutert und wird detailliert in [11] diskutiert. Im Prozess um den Ausbau des Flughafens Leipzig/Halle vor dem Bundesverwaltungsgericht wurden mehrere wissenschaftliche Gutachten erstellt, anhand derer es möglich ist, die gegen das DLR-Schutzkonzept vorgebrachten Argumente und entsprechende Gegenargumente detailliert nachzuvollziehen. Die von klägerischer Seite vorgebrachten Einwände gegen die DLR-Studie und gegen das vom DLR entwickelte Schutzkonzept wurden gänzlich vom Bundesverwaltungsgericht zurückgewiesen (vgl. Begründung zum Urteil vom 09.11.2006, Randnummern 90, 92-98, 101-107, 110, 116, 117).

Fazit:

- Durch die niedrige Wirkschwelle von Maximalpegeln von 33 dB(A) finden alle relevanten Fluggeräusche in der DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung Berücksichtigung. Sowohl Wirkschwelle als auch Verlauf der Belastungs-Wirkungsbeziehung werden durch Ergebnisse anderer Feldstudien zu Fluglärmwirkungen auf den Schlaf gestützt. Insgesamt ist an der Entscheidung, die in der DLR-Studie ermittelte Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Ermittlung der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktion zu verwenden, wissenschaftlich nichts einzuwenden. Eine (regelmäßige) Überprüfung der Belastungs-Wirkungsbeziehung an einer Frankfurter Stichprobe würde die Gültigkeit dieser Entscheidung unterstreichen.

3.3.2.4. Beurteilungszeitraum von 22 bis 6 Uhr

Unter der Annahme, dass Fluglärm nur dann zu Schlafstörungen führen kann, wenn Flughafenanwohner tatsächlich schlafen (bzw. versuchen zu schlafen), bestimmen für einen vorgegebenen Zeitraum und bezogen auf die exponierte Bevölkerung insbesondere zwei Faktoren das Ausmaß der Störung, nämlich (A) der Anteil der schlafenden Bevölkerung (also der „Störbaren“) und (B) das Flugverkehrsaufkommen. Beide sind in Fig. 3-7 dargestellt.

Fig. 3-7 (A) zeigt den Anteil der sich im Bett befindlichen 17 bis 97jährigen Bevölkerung in Abhängigkeit von der Uhrzeit [5] & [104]. Zwischen 0 und 5 Uhr, der vom Bundesverwaltungsgericht genannten

„Kernzeit“ der Nacht, befinden sich über 90% der erwachsenen Bevölkerung im Bett. Vor 22 Uhr und nach 8 Uhr hingegen sind es jeweils weniger als 5%. Zwischen 6 und 7 Uhr und 7 und 8 Uhr ist der Anteil der sich im Bett befindlichen Bevölkerung jedoch mit 62,5% bzw. 21,4% noch erheblich. Die Bedeutung des Anteils der schlafenden Bevölkerung wird auch in [96] explizit erwähnt. Dort heißt es: „Unabhängig davon kann es sinnvoll sein, eine Auswertung der Lärmbelastung isoliert für die Nacht vorzunehmen, wobei hier der Zeitraum von 22-6 Uhr erfasst werden sollte. Dieser Zeitraum markiert nach jüngsten Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung (Belästigungsstudie RDF und DLR) für 88% der erwachsenen Bevölkerung in der Flughafenregion Frankfurt die Bettzeit und markiert darüber hinaus die gesetzliche Nacht.“

Fig. 3-7 (B) zeigt das Flugverkehrsaufkommen (Starts und Landungen, bezogen auf die sechs verkehrsreichsten Monate) am Frankfurter Flughafen für das Jahr 2005 ebenfalls in Abhängigkeit von der Uhrzeit. Das Verkehrsaufkommen war bis 23 Uhr und nach 7 Uhr erheblich, zwischen 5 und 7 Uhr mäßig und zwischen 23 und 5 Uhr schwach.

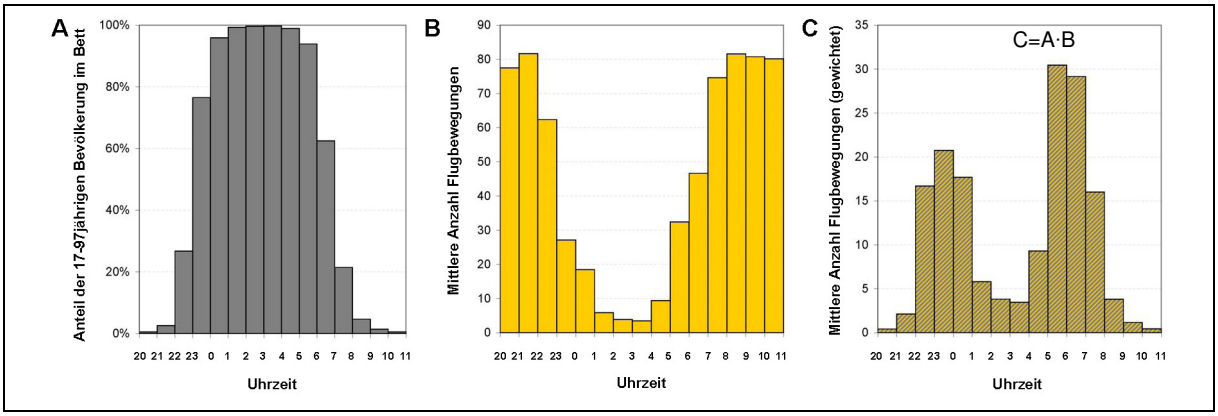


Fig. 3-7: In (A) ist in Abhängigkeit von der Uhrzeit der Anteil der sich im Bett befindlichen 17 bis 97jährigen Bevölkerung dargestellt. Die Daten entstammen der Frankfurter Belästigungsstudie [104]. In (B) ist die mittlere Anzahl von Flugbewegungen (Starts und Landungen) in Abhängigkeit von der Uhrzeit dargestellt. Die Daten entstammen dem DES des Frankfurter Flughafens für das Jahr 2005. In (C) wurde die mittlere Anzahl von Flugbewegungen mit dem Anteil der sich im Bett befindlichen 17 bis 97jährigen Bevölkerung gewichtet. Hieran lässt sich die Bedeutung der entsprechenden Stunde für den Schlaf ablesen.

Wenn man davon ausgeht, dass jedes einzelne Fluggeräusch den Schlaf stört, und die auf die exponierte Bevölkerung bezogene schlafstörende Wirkung umso größer ist, je mehr Menschen schlafen (also störbar sind), so ist es durch die Wichtung der Flugbewegungsanzahl mit dem Anteil der schlafenden Bevölkerung für jede Stunde möglich, ein „Schlafstörungspotenzial“ zu bestimmen. Letzteres ist in Fig. 3-7 (C) dargestellt. Hiernach ist das Störungspotenzial zwischen 5 und 7 Uhr am höchsten, gefolgt von den Zeiträumen 22 bis 1 Uhr und 7 bis 8 Uhr. Die übrigen Zeiträume spielen entweder aufgrund des geringen Flugverkehrsaufkommens oder aufgrund des geringen Anteils Schlafender eine untergeordnete Rolle. Es ist jedoch fraglich, ob ein bestimmtes Störpotenzial immer auch die gleiche Bedeutung hat. So würde die Belastung von 10% der Bevölkerung mit 10 Geräuschen zum gleichen Störpotential führen wie die Belastung von 100% der Bevölkerung mit einem einzigen Geräusch. Im ersten Fall belastet man also wenige Menschen hoch, im zweiten Fall belastet man viele Menschen niedrig. Letztlich geht es hier aber nur um eine Abschätzung des Störpotentials verschiedener Tages- und Nachtzeiten, und in diesem Zusammenhang soll über die oben angesprochene Problematik hinweggesehen werden (vgl. Kapitel 3.3.2.5).

Ein Problem stellt der Umstand dar, dass die in Fig. 3-7 (A) dargestellten Daten auf der erwachsenen Bevölkerung beruhen. Kinder und Jugendlich befinden sich entwicklungsphysiologisch in einer besonders empfindlichen Phase, gehen im Vergleich zur erwachsenen Bevölkerung aber häufig früher ins Bett und stehen auch später wieder auf. Im FNI, aber auch in Fluglärmschutzkonzepten generell, sollte die nicht erwachsene Bevölkerung jedoch unbedingt Berücksichtigung finden.

Als Berechnungsgrundlage für die durch Fluglärm zusätzlich hervorgerufenen Aufwachreaktionen wurde für den FNI der Zeitraum von 22 Uhr bis 6 Uhr gewählt. Hierbei handelt es sich um die gesetzliche Definition der Nachtzeit [54], was zu einer hohen Praktikabilität und Akzeptanz des FNI beitragen könnte. Auch im DLR-Nachtschutzkonzept für den Flughafen Leipzig/Halle wurde auf den Zeitraum 22 bis 6 Uhr abgestellt. Zeiträume vor 22 und nach 6 Uhr wurden in Leipzig jedoch nur deshalb nicht berücksichtigt, weil am Flughafen Leipzig/Halle in Zeiten vor 22 und nach 6 Uhr zum Zeitpunkt der Planfeststellung mit vergleichsweise wenig Verkehr zu rechnen war (siehe lärmmedizinischen Stellungnahme [12], S. 92). Für den Frankfurter Flughafen trifft das jedoch mit Sicherheit nicht zu, da das Verkehrsaufkommen vor 22 Uhr und nach 6 Uhr hoch ist.

Eine Analyse des Schlafverhaltens der erwachsenen Bevölkerung zeigt, dass sich auch zwischen 6 und 8 Uhr noch wesentliche Anteile der Bevölkerung im Bett befinden und damit prinzipiell im Schlaf störbar sind. Durch das hohe Verkehrsaufkommen und die fortgeschrittene Entmüdung ist in dieser Zeit mit einer hohen schlafstörenden Wirkung des Fluglärms zu rechnen. Die einfache Ausdehnung des Beurteilungszeitraums auf die Zeit von 22 bis 8 Uhr würde der Sache jedoch auch nicht gerecht, da der Zeitraum 6 bis 8 Uhr dann vermutlich ein zu hohes Gewicht erhalten würde.

Im ALP [120] heißt es: „Sollte die Genehmigungsbehörde bei der Ausgestaltung des Nachtflugverbots zu einem Ergebnis gelangen, dass entgegen des Antrags von Fraport aus rechtlicher Sicht unabweisbare Ausnahmen für geplante Flüge erforderlich sind, halte ich einzelne restriktive Ausnahmen allenfalls dann für denkbar, wenn deutliche Fortschritte bei der Lärmminderung am Tag und in der Nacht erreicht worden sind. Ausnahmen wären nur dann denkbar, wenn eine um mindestens 10 Prozent geringere Lärmbelästigung während des ganzen 24-Stunden-Tages erreicht wird – also ein um 10 Prozent niedriger Lärmindex.“ Des Weiteren heißt es in der Leistungsbeschreibung auf Seite 4: „Ein wichtiger Grund für die Wahl eines über 24 h gebildeten Index war es, auch Zu- und Abnahmen durch Maßnahmen, die aus Kapazitätsgründen oder sonstigen Gründen lediglich in der Nacht durchgeführt werden können oder sollen, in Relation zu den Entwicklungen am Tag gesetzt werden können.“ Hier wird impliziert, dass eine höhere Lärmbelastung in der Nacht durch eine geringere Lärmbelastung am Tage ausgeglichen werden kann. Das ist jedoch fraglich, da Fluglärm am Tag vorwiegend zu Belästigung führt, Fluglärm in der Nacht jedoch vorwiegend zu Schlafstörungen. Es ist unwahrscheinlich, dass weniger Belästigung am Tag eine stärkere Störung des Schlafs in der Nacht kompensieren kann. Des Weiteren wird mit der Wahl des L_{dn} als vorhersagende Variable für den FFI eine Wichtung vorgenommen, die aus schlafphysiologischer Sicht zwar durchaus wünschenswert, wissenschaftlich jedoch nur schwer zu begründen ist. Hier zählt jeder Flug zwischen 22 und 6 Uhr wie 10 gleichlaute Flüge zwischen 6 und 22 Uhr.

Die oben aufgeführten Nachteile eines Beurteilungszeitraums von 22 bis 6 Uhr (oder 8 Uhr) könnten folgendermaßen umgangen werden: Für jede volle Stunde zwischen 20 Uhr abends und 11 Uhr morgens wird die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen ermittelt und anschließend mit dem Anteil der sich im Bett befindlichen Bevölkerung gewichtet, bevor eine weitere Wichtung mit der Bevölkerungsdichte am Immissionspunkt erfolgt. So wird ein zwischen 3 und 4 Uhr auftretendes Fluggeräusch (99,8% der Bevölkerung im Bett) ca. fünffach höher gewichtet, weil fünf mal mehr Leute zu dieser Zeit im Bett sind, als ein zwischen 7 und 8 Uhr auftretendes Fluggeräusch

(21,4% der Bevölkerung im Bett). Hierdurch kann bestimmt werden, wie viele Flüge außerhalb der Mediationsnacht gestrichen werden müssten, um einen Flug innerhalb der Mediationsnacht zu kompensieren. Im oben beschriebenen Beispiel müssten zwischen 7 und 8 Uhr ca. 5 Flüge weniger stattfinden, um einen zusätzlichen Flug zwischen 3 und 4 Uhr zu ermöglichen. Eine Reduktion der Flüge vor 20 Uhr bzw. nach 11 Uhr könnte, im Gegensatz zum FFI, jedoch nicht zur Kompensation von Flügen in der Mediationsnacht herangezogen werden, da hier der Anteil der schlafenden Bevölkerung gering ist (Ausnahmen: Schichtarbeiter, Nickerchen). Für das oben beschriebene Vorgehen sollten jedoch zunächst Daten zu Bettzeiten der nicht erwachsenen Bevölkerung erhoben und in die in Fig. 3-7 (A) dargestellte Verteilung der Bettzeiten mit einbezogen werden. Des Weiteren kann es sinnvoll sein, Daten zu Bettzeiten und Verkehrsaufkommen getrennt für Werktage und für Wochenenden zu erheben und auszuwerten, da sich beide Zeiträume gravierend hinsichtlich Schlafverhalten und Verkehrsaufkommen unterscheiden können.

Grundsätzlich wäre es auch möglich, Tagschlafepisoden mit in die Berechnung des FNI einzubeziehen. Die höhere Lärmbelastung am Tag stellt insbesondere für Schichtarbeiter ein Problem dar, die ausschließlich am Tage schlafen. Im Gegensatz zu Schichtarbeitern schöpfen tagsüber schlafende Kinder und Erwachsene (Nickerchen) den Großteil ihrer Erholung aus dem Nachtschlaf. Schichtarbeit ist somit mehr als gesamtgesellschaftliches Problem zu sehen, das durch die Ausdehnung des Berechnungszeitraums des FNI auf den Tag nicht gelöst werden kann. Bei der Einbeziehung von Zeiträumen nach 11 Uhr und vor 20 Uhr müsste der FNI entsprechend umbenannt werden (z.B. in den Frankfurter Schlafstörungsindex, FSI).

Fazit:

- Mit einem Bewertungszeitraum von 22 bis 6 Uhr werden 88% der sich im Bett befindlichen erwachsenen Bevölkerung erfasst. Da mit diesem Zeitraum zudem die gesetzliche Nacht markiert wird, ist es aus Sicht der Gutachter durchaus vernünftig, bei der Berechnung der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen auf diesen Zeitraum abzustellen.
- Aus Sicht der Gutachter wäre es für eine exaktere Beschreibung von Fluglärmwirkungen auf den Schlaf optimal, wenn für jede Stunde zwischen 20 Uhr abends und 11 Uhr morgens die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen ermittelt und anschließend mit dem Anteil der sich im Bett befindlichen Bevölkerung gewichtet würde, bevor eine weitere Wichtung mit der Bevölkerungsdichte am Immissionspunkt erfolgt. Eine Berücksichtigung von Bettzeiten der nicht erwachsenen Bevölkerung und eine Unterscheidung in Werktage und Wochenenden erscheint zudem erforderlich.
- Auch eine Ausdehnung des Berechnungszeitraums auf den gesamten Tag und damit eine Erfassung von am Tage schlafenden Personen (z.B. Schichtarbeiter, Kinder) ist denkbar. Der FNI müsste dann entsprechend umbenannt werden (z.B. in den Frankfurter Schlafstörungsindex, FSI).

3.3.2.5. Abgrenzungsgebiet mindestens 0,5 zusätzliche Aufwachreaktionen

In der Leistungsbeschreibung [2] heißt es: „Der Nachtindex soll die Gesamtzahl aller zusätzlichen Aufwachreaktionen relevant betroffener Wohnbevölkerung in der Region darstellen, wobei zur Abgrenzung nur solche Personen einbezogen werden, deren Aufwachwahrscheinlichkeit mindestens 0,5 beträgt.“ Hier wird die Entscheidung getroffen, dass fluglärmbedingte Schlafstörungen erst dann relevant sind, wenn im Mittel mindestens 0,5 zusätzliche Aufwachreaktionen durch Fluggeräusche hervorgerufen werden. Wie in 3.3.2.2 bereits erläutert, sind Aufwachreaktionen nicht per se als pathologisch

einzustufen, da sie auch beim gesunden Schläfer und in extrinsisch ungestörten Nächten beobachtet werden können, ohne der Schlaferholung abträglich zu sein. Sie entfalten ihre pathologische Wirkung erst dann, wenn eine gewisse physiologische Anzahl pro Nacht überschritten wird. Insofern macht es durchaus Sinn, fluglärmbedingte Schlafstörungen erst dann als relevant zu bezeichnen, wenn eine gewisse Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen pro Nacht überschritten wird.

Die Relevanz der Schlafstörung muss letztlich an den Folgen des gestörten Schlafs festgemacht werden, wobei es sich um kurzfristige (z.B. Tagesmüdigkeit, verlängerte Reaktionszeiten) und langfristige (z.B. Bluthochdruck, Herzinfarktinzidenz) Folgen handeln kann. In der DLR-Feldstudie wurde eine Wirkschwelle für zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufene Aufwachreaktionen von $L_{AS,max}$ = 33 dB ermittelt. In Gebieten, in denen Fluggeräusche im Schlafraum Maximalpegel von 33 dB(A) nicht erreichen bzw. nicht überschreiten, sind deshalb keine fluglärmbedingten Schlafstörungen zu erwarten, und damit natürlich auch keine relevanten Schlafstörungen. Im Schutzkonzept für den Flughafen Leipzig/Halle [11] wird die fachplanungsrechtliche Zumutbarkeitsschwelle bei einer zusätzlichen Aufwachreaktion erreicht, d.h. hier kann mit Sicherheit von einer relevanten Schlafstörung ausgegangen werden.

Die Entscheidung, nur solche Bevölkerungsgruppen in die Berechnung von zusätzlichen Aufwachreaktionen mit einzubeziehen, die eine Belastung aufweisen, die zwischen Ansprech- und Zumutbarkeitsschwelle liegt (bei denen also mit mindestens 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen zu rechnen ist), erscheint aus wissenschaftlicher Sicht sinnvoll. Die Konsequenzen dieser Setzung werden im Kapitel 4.4.3 auf der Grundlage von Daten aus Zürich abgeschätzt.

An dieser Stelle sollte nochmals darauf hingewiesen werden, dass sich die Intentionen des Schutzkonzeptes für den Flughafen Leipzig/Halle und des FNI grundlegend unterscheiden, obwohl sie auf der gleichen Berechnungsmethode und Belastungs-Wirkungsbeziehung beruhen. Beim Schutzkonzept für den Flughafen Leipzig/Halle wird mit einer zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktion eine Grenze definiert, die nicht überschritten werden darf. Der Flughafen hat durch die Planung des Flugbetriebs oder durch geeignete Schallschutzmaßnahmen dafür zu sorgen, dass unabhängig vom Abstand des Immissionspunktes zum Flughafen die Fluggeräusch-Maximalpegel im Schlafraum der betroffenen Personen so gering sind, dass in jedem Fall mit im Mittel pro Nacht weniger als einer zusätzlichen Aufwachreaktion zu rechnen ist. Im FNI wird die Gesamtzahl der zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen bezogen auf die Gesamtpopulation im Untersuchungsgebiet berechnet und ausgewiesen. Hier wird demnach explizit nicht zwischen wenigen Hochbelasteten und vielen Niedrigbelasteten unterschieden. 10 Personen mit 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen würden den gleichen Beitrag zum FNI leisten wie 2 Personen mit 2,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen. Auch wenn der FNI ausdrücklich „nicht die Abbildung der Belastung einer einzelnen Person zum Ziel“ hat (Leistungsbeschreibung [2], S. 2) erscheint es aus obgenannten Gründen sinnvoll, nur relevant belastete Gebiete in die Berechnung des FNI mit einzubeziehen. Andernfalls würden irrelevant belastete Menschen, die in der Peripherie des Flughafens wohnen, ein zu hohes Gewicht erhalten (vgl. Kapitel 3.1.3).

Fazit:

- Wenn man sich dazu entschließt, das Berechnungsgebiet basierend auf einer mindestens auftretenden Wirkung abzugrenzen, erscheint die Entscheidung, nur solche Personen in die Berechnung des FNI einzubeziehen, deren Aufwachwahrscheinlichkeit mindestens 0,5 beträgt, aus wissenschaftlicher Sicht vernünftig. Die Abschätzung der Auswirkungen dieser Entscheidung bedarf jedoch weiterer Detailanalysen.

3.3.2.6. Pegeldifferenz 15 dB(A) zwischen innen und außen

In der Leistungsbeschreibung [2] heißt es auf Seite 4: „Das DLR ist in seiner Studie von Innenpegeln ausgegangen. Das bedeutet, dass real aufgrund von bereits durchgeführten oder noch ausstehenden Maßnahmen des passiven Schallschutzes bei denjenigen der Gesamtmenge, die in Schallschutzgebieten leben oder selbst für Schallschutz gesorgt haben, die tatsächliche Gesamtzahl wahrscheinlicher zusätzlicher Aufwachreaktionen geringer ist. Wegen des spezifischen Zwecks des Indexes zu Planungszwecken sollte hier die Schutzwirkung durch passiven Schallschutz bewusst außer Acht gelassen werden und einheitlich von einer Differenz von 15 dB zwischen Innenpegeln und den zugehörigen Außenpegeln ausgegangen werden.“

Auch wenn es ein Hauptziel von FFI und FNI ist, die Auswirkung von aktiven Schallschutzmaßnahmen abzubilden und auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen, sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass passiver Schallschutz in der Nacht, in der sich die Betroffenen vorwiegend im Schlafraum aufhalten, ebenfalls zu einer wesentlichen Entlastung von Flughafenanwohnern beitragen kann. Mit dem FNI hat sich das RDF für einen wirkungsbezogenen Index entschieden, der basierend auf Anzahl und Höhe der durch Fluggeräusche auftretenden Maximalpegel im Schlafraum die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen der relevant betroffenen Wohnbevölkerung beschreibt. Wenn der FNI in diesem Sinne interpretierbar sein soll, muss letztlich auch gewährleistet sein, dass passive Schallschutzmaßnahmen bei der Berechnung des FNI Berücksichtigung finden. Letzteres wäre allein mit dem erheblichen Aufwand von passiven Schallschutzmaßnahmen zu begründen. Der spezifische Zweck des Indexes zu Planungszwecken kann hier kein Grund sein, auf die Berücksichtigung passiver Schallschutzmaßnahmen zu verzichten, da die Nicht-Berücksichtigung zu einer Verfälschung des FNI führen würde, und der FNI dadurch letztlich für Planungszwecke auch weniger gut geeignet wäre. Zudem hätte der Flughafen keine Möglichkeit und damit auch kein Interesse, den FNI durch die Realisierung von passivem Schallschutz über das gesetzlich bzw. im Planfeststellungsbeschluss vorgesehene Maß hinaus zu senken, wie z.B. vor der Novellierung des Fluglärmgesetzes am Flughafen Köln/Bonn geschehen. Die Abschätzung des Einflusses von Schallschutzmaßnahmen auf die Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen gestaltet sich jedoch keineswegs trivial, da die Aufwachwahrscheinlichkeit bei Absenkung der Maximalpegel nicht-linear abnimmt und einige Geräusche unter die Wirkschwelle von ca. 33 dB(A) fallen können.

In der Praxis könnte zunächst für Gebiete, in denen der Planfeststellungsbeschluss passiven Schallschutz vorsieht, ermittelt werden, wie viel Prozent der Haushalte bereits am Schallschutzprogramm teilnehmen und welche Pegeldifferenzen zwischen innen und außen in Abhängigkeit von den getroffenen Maßnahmen anzusetzen sind. Für diese Gebiete könnte anschließend die Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen mit und ohne Schallschutz ermittelt und anschließend entsprechend der Teilnahmeraten am Schallschutzprogramm gewichtet werden. Ein gewisses Problem stellt hier dar, dass die im Planfeststellungsbeschluss ausgewiesenen Schutzzonen und der FNI nicht auf der gleichen Berechnungsgrundlage (DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung vs. L_{Aeq} und *NAT*) basieren. Für ein gekipptes Fenster wurde in der Leistungsbeschreibung von einer Pegeldifferenz zwischen außen und innen von 15 dB ausgegangen. Es handelt sich hier um einen in der Rechtsprechung allgemein anerkannten Wert, an dem auch aus wissenschaftlicher Sicht nichts auszusetzen ist [14] & [82], auch wenn von verschiedenen Interessensgruppen immer wieder höhere oder niedrigere Werte gefordert werden.

Fazit:

- Wenn der FNI als die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen der relevant betroffenen Wohnbevölkerung interpretierbar sein soll, muss letztlich auch gewährleistet sein, dass passive Schallschutzmaßnahmen bei der Berechnung des FNI Berücksichtigung finden.

3.4. Regelungen im Planfeststellungsbeschluss (PFB)

3.4.1. Vorbemerkung

Durch die Definition von Schutzzonen und durch die Festlegung von akustischen Grenzwerten soll der Schutz der Bevölkerung vor übermäßigem Fluglärm sichergestellt werden. Im PFB erfolgt die Beurteilung der Fluglärmbelastung nach diesen Maßstäben. Um einen Vergleich dieser rein belastungsorientierten Beurteilung mit der personen- und wirkungsorientierten Beurteilung des RDF machen zu können, werden die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Personen (AbP) ermittelt. Damit besteht der Unterschied in der gesetzlichen Beurteilung und der Beurteilung nach den Indices des RDF einzig in der Größe des Betrachtungsperimeters und in der wirkungsbezogenen Gewichtung.

3.4.2. Bewertungsmaßstäbe im PFB

Im PFB [69][5] wird bestimmt, dass die Flughafenbetreiberin FRAPORT zuhanden der Planfeststellungsbehörde in jährlichen Abständen folgende Informationen zur Verfügung stellen muss:

- „Eine Darstellung der Isophonen für energieäquivalente Dauerschallpegel von 53 dB(A) bis 70 dB(A) in Schritten von 1 dB(A), jeweils getrennt für die Zeiträume von 6.00 bis 22.00 Uhr und von 22.00 bis 6.00 Uhr für das jeweils vergangene Jahr, berechnet gemäß § 3 i.V.m der Anlage zu § 3 des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm."
- „Eine Darstellung der Isophone, die 6 Überschreitungen eines Maximalpegels von 72 dB(A) im Zeitraum von 22.00 bis 6.00 Uhr entspricht, jeweils für das vergangene Jahr, berechnet gemäß § 3 i.V.m der Anlage zu § 3 des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm."
- „Eine Darstellung der Zahl der Personen, die von den einzelnen Isophonen betroffen sind."

Mit diesen Vorgaben wird analog zu den Indices des RDF ein jährliches Fluglärmmonitoring verlangt. Die im PFB verfügten Abklärungen entsprechen mit Ausnahme der Quantifizierung der Personen je dB-Klasse den gesetzlichen Vorschriften für einen neuen oder wesentlich baulich erweiterten zivilen Flugplatz. Deshalb wird nachfolgend zuerst kurz auf die entsprechenden Vorschriften eingegangen. Anschließend wird eine Beurteilung der vom RDF im Rahmen des ALP vorgenommenen Szenarienrechnungen unternommen, wobei die nach dem Gesetz relevanten Belastungsgrenzwerte für Fluglärm angewendet werden. Als Vergleichskriterium wird nicht die Lage und der Verlauf der Belastungskurven oder die von einer bestimmten Belastungskurve eingeschlossene Fläche sondern die AbP verwendet. Sie lassen sich anhand der Personen je dB-Klasse ermitteln.

[5] A Verfügender Teil - XI Nebenbestimmungen, Hinweise - Kapitel 5.1.7

3.4.3. Fluglärmbewertungsmaße nach deutschem Fluglärmgesetz

3.4.3.1. Übersicht

Gemäß Fluglärmgesetz sind folgende Bewertungsmaße zur Quantifizierung und Beurteilung der Fluglärmbelastung im Umfeld von Flugplätzen zu verwenden:

- Energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq}
- Maximalpegel-Schwellenwert-Kriterium oder NAT-Kriterium

3.4.3.2. Der energieäquivalente Dauerschallpegel

Das gesetzlich relevante Maß zur Beurteilung der Lärmbelastung ist neu im FluglärmG der A-bewertete energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq}. Der L_{Aeq} wird getrennt für den Tag von 06 bis 22 Uhr und für die Nacht von 22 bis 06 Uhr ermittelt. Die L_{Aeq}-Werte dienen zur Abgrenzung der Schutzbereiche nach dem Fluglärmgesetz und zur Überprüfung der im PFB verfügten Schutzziele (vgl. Kapitel 3.4.4). Die Beurteilungszeit für die Bemessung der Fluglärmbelastung umfasst die sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres, wobei die Betriebsrichtungen speziell zu gewichten sind (vgl. Legende zu den nachfolgenden Berechnungsvorschriften Eq. 8 und Eq. 9). Das Verfahren, mit welchem die Dauerschallpegel zu ermitteln sind ist in der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) festgeschrieben [113]. Gemäß AzB werden die Pegelverläufe einzelner Fluglärmereignissen mittels der Maximalpegel und der Einwirkungsdauer beschrieben, so dass sich die energieäquivalente Dauerschallpegel für die Tages- und Nachtzeit wie folgt berechnen:

Eq. 8 $$L_{Aeq\ Tag} = 10\lg\left[\frac{0.75}{T}\sum_{i=1}^{n} t_{10,i}\cdot 10^{0.1\cdot L_{Amax,i}}\right]$$

Eq. 9 $$L_{Aeq\ Nacht} = 10\lg\left[\frac{1.5}{T}\sum_{i=1}^{n} t_{10,i}\cdot 10^{0.1\cdot L_{Amax,i}}\right]$$

$L_{Aeq\ Tag}$:	A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T tags von 6 bis 22 Uhr in dB.
$L_{Aeq\ Nacht}$:	A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T nachts von 22 bis 6 Uhr in dB.
lg :	Logarithmus zur Basis 10.
T:	Beurteilungszeit in Sekunden; die Beurteilungszeit umfasst die sechs verkehrsreichsten Monate (180 Tage) des zu beurteilenden Betriebsjahres.
$\sum_{i=1}^{n}$:	Summe über alle Flugbewegungen tags (6 bis 22 Uhr) bzw. nachts (22 bis 6 Uhr) während der Beurteilungszeit T, wobei die prognostizierten Flugbewegungszahlen für die einzelnen Betriebsrichtungen jeweils um einen Zuschlag zur Berücksichtigung der zeitlich variierenden Nutzung der einzelnen Betriebsrichtungen erhöht werden. Für die Tag-Schutzzonen 1 und 2 beträgt der Zuschlag zweimal die Streuung der Nutzungsanteile der jeweiligen Betriebsrichtung in den zurückliegenden 10 Jahren (2 Sigma), für die Nacht-Schutzzone dreimal die Streuung der Nutzungsanteile der jeweiligen Betriebsrichtung in den zurückliegenden 10 Jahren (3 Sigma).
i :	Laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses.
$t_{10,i}$:	Dauer des Geräusches des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in Sekunden; entspricht der Zeitdauer des Fluglärmereignisses, während der der Schallpegel höchstens 10 dB unter dem höchsten Schallpegel liegt (10 dB-down-time)).
$L_{Amax,i}$:	Maximalwert des A-bewerteten Schalldruckpegels des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in dB, ermittelt unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse.

3.4.3.3. Maximalpegel-Schwellenwert-Kriterium oder NAT-Kriterium

Schwellenwert- oder NAT-Kriterien sind im Gegensatz zu energieäquivalenten Dauerschallpegeln Kombinationskriterien, indem eine Maximalpegel-Schwelle sowie eine minimale Zahl an Schwellenüberschreitungen vorgegeben werden. Die Berechnungsvorschrift lautet (Formel aus [6]):

Eq. 10 $$NAT_{T,L_S} = \sum_{i=1}^{N} F(L_i) \qquad \text{mit :} \quad F(L_i) = \begin{cases} 1 \text{ für } L_i > L_S \\ 0 \text{ für } L_i \leq L_S \end{cases}$$

L_i :	Maximalschallpegel (dB) des i-ten im Beurteilungszeitraum T auftretenden Geräusches.
L_S :	Maximalpegel-Schwellenwert in dB.
N :	Anzahl der im Beurteilungszeitraum T auftretenden Geräusche.
T :	Beurteilungszeitraum: Durchschnittsnacht von 22 bis 06 Uhr der 6 verkehrsreichsten Monate.
Anmerkung:	Das Kriterium $NAT_{T,NSxLS}$ ist dann verletzt, wenn $NAT_{T,LS}$ den Wert N_S überschreitet.

Gemäß Anlage zu § 3 des Fluglärmgesetzes ist das NAT-Kriterium dann verletzt, wenn im Innern eines Gebäudes in der Zeit von 22 bis 06 Uhr ein Maximalpegel von 57 dB mehr als sechs Mal überschritten wird.[6] In der Regel werden bei Fluglärmberechnungen die Maximalpegel für den Außenbereich ermittelt. Das Fluglärmgesetz gibt für diesen Fall einen Pegelunterschied von innen nach außen von +15 dB an. Somit gilt für Ermittlung der NAT-Kontur eine 6-malige Überschreitung eines Maximalpegels von 72 dB. Die entsprechende NAT-Kontur wird zur Festlegung der Nachtschutzzone benutzt (vgl. Kapitel 3.4.4), indem die Umhüllende der für die Nachtschutzzone maßgebende Dauerschallpegel (berechnet mittels Eq. 9) und der NAT-Kontur 6 x 72 dB gebildet wird.

In der Praxis wird jedoch die NAT-Kontur nicht für den Überschreitungsfall ($NAT_{22\text{-}06,72,außen} > 6$) ermittelt, sondern für den Fall, wo $NAT_{22\text{-}06,72,außen} = 6$ ist. Dies hat rechentechnische Gründe wie Isermann und Schmid in [6] erklären. Zudem können die zur Ermittlung der NAT-Kontur notwendigen Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen nur mittels Normalverteilungen angenähert werden. Diese idealisierte Annäherung hat verfahrenstechnische Gründe, denn die AzB berechnet für die einzelnen Flugzeugtypengruppen an einem bestimmten Immissionsort stets die gleichen Maximalpegelwerte.

Die Normalverteilungen werden für jede Flugzeugtypengruppe getrennt nach Starts und Landungen ermittelt. Als Erwartungswert der Normalverteilungen wird der pro Flugzeugtypengruppe berechnete Maximalpegelwert verwendet, als Standardabweichung der Normalverteilungen dagegen ein typenunabhängiger Wert von konstant 3 dB angenommen. Wie im Planfeststellungsbeschluss festgehalten, wird die gewählte Standardabweichung durch Auswertungen der Fluglärmüberwachungsanlage des Flughafens Frankfurt bestätigt, wobei sich im Anflug eher tiefere Werte ergeben.

Untersuchungen der Empa, welche im Zusammenhang mit der Ermittlung der Aufwachreaktionen im ZFI gemacht wurden [39], zeigten jedoch, dass sich mittels Standardabweichungen zwischen 2 und 2,5 dB die realen Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen besser annähern lassen als mittels 3 dB. Standardabweichungen von 3 dB führen tendenziell zu einer Verschmierung der Spitzen, was sich jedoch in der Berechnung der Anzahl der durch den Fluglärm zusätzlich induzierten Aufwachreaktionen nicht bemerkbar macht. Es wäre dagegen denkbar, dass die Höhe der Standardabweichung die Lage der NAT-Kontur beeinflusst. Dies wurde in [6] & [39] aber nicht näher untersucht.

[6] Mit L_S = 57 dB und N_S = 6 folgt: $NAT_{22\text{-}06,6x57}$ ist dann verletzt, wenn $NAT_{22\text{-}06,57} > 6$ ist; dabei sollte immer angegeben werden, ob sich der Pegelwert L_S auf einen Außen- oder Innenpegel bezieht.

Wie bereits in Kapitel 3.3.2.1 ausgeführt, soll mit Hilfe des NAT-Kriteriums aufgezeigt werden, wo schädliche Wirkungen des Fluglärms auf den Schlaf zu erwarten sind. Indem beim NAT-Kriterium sowohl die Anzahl als auch die Höhe der Maximalpegel einzelner Fluggeräusche berücksichtigt wird, soll nämlich dem Umstand Rechnung getragen werden, dass diese beiden Größen einen wesentliche Einfluss auf die Schlafstörung haben. Aufgrund seines Konstruktionsprinzips tritt jedoch unterhalb eines Maximalpegels von 72 dB (außen) keine Fluglärmwirkung auf. Zudem muss dieser Pegel sechs mal überschritten werden, bis eine schädliche Wirkung auf den Schlaf angezeigt wird.

Dabei wird unterschlagen, dass unterhalb der Kombinationsschwelle von 6x72 dB eine Störung des Schlafes sehr wohl auftritt (vgl. Fig. 3-5). Nach dem Gesetz sind jedoch eine beliebige Anzahl von Fluggeräuschen unterhalb des NAT-Wertes erlaubt, ohne dass das Kriterium verletzt wird. Zudem legt das NAT-Kriterium nur die Anzahl der erlaubten Überschreitungen des NAT-Wertes fest. Wie hoch die einzelnen Pegelwerte über der Schwelle liegen dürfen, bleibt dagegen unberücksichtigt.

50 Bewegungen mit einem Maximalpegel von 60 dB verletzen beispielsweise das NAT-Kriterium genauso wenig wie 5 Bewegungen mit einem Maximalpegel von 75 dB, obwohl der Mittelungspegel im zweiten Fall rund 5 dB höher ist als im ersten.[7] In [6] wird diese Problematik anhand verschiedener Vergleichsrechnungen diskutiert. Es wird die Befürchtung geäußert, dass ein Flugbetrieb hinsichtlich einer Minimierung der NAT-Konturen optimiert werden könnte, ohne dass sich wesentliche Änderungen im L_{Aeq} ergeben.

3.4.4. Maßgebliche Fluglärm(grenz)werte zur Beurteilung der Fluglärmbelastung

Gemäß PFB sind zur Bewertung und Beurteilung der Fluglärmbelastung folgende Werte maßgeblich:

- Fluglärm(grenz)werte nach dem Fluglärmgesetz
- Weitere Fluglärmwerte
- Sonstige abwägungsrelevante Fluglärmwerte

Gemäß dem deutschen Fluglärmgesetz [53] wird der Lärmschutzbereich eines Flugplatzes nach dem Maß der Fluglärmbelastung in zwei Schutzzonen für den Tag (06 Uhr bis 22 Uhr) und eine Schutzzone für die Nacht (22 Uhr bis 06 Uhr) gegliedert. Schutzzonen sind jeweils diejenigen Gebiete, in welchen der durch den Fluglärm hervorgerufene äquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} sowie bei der Nacht-Schutzzone zusätzlich auch der fluglärmbedingte Maximalpegel L_{Amax} vorgegebene Werte übersteigt. Je nach Schutzzone resp. Höhe der Belastung werden Schallschutzmaßnahmen angeordnet, Bau-Beschränkungen erlassen oder Entschädigungen gesprochen.

Die Festsetzung der Schutzzonengrenzen erfolgt getrennt für militärische und für zivile Anlagen. Zusätzlich wird unterschieden zwischen bestehenden sowie neuen oder wesentlich baulich erweiterten Flugplätzen. Für letztere gelten bei den Schutzzonen generell um 5 dB tiefere Grenzwerte, wobei für die Nachtschutzzone bis Ende 2010 eine Ausnahmeregelung gilt. Eine wesentliche bauliche Erweiterung liegt dann vor, wenn der Lärmschutzbereich um mindestens 25% oder wenn der äquivalente Dauerschallpegel an der Grenze der Tag-Schutzzone 1 um mindestens 3 dB zunimmt, wobei die bauliche Erweiterung ursächlich für die Vergrößerung des Lärmschutzbereichs sein muss. Eine alleinige Veränderung des Flugbetriebs ist dafür nicht ausreichend.

[7] Unter der Annahme, dass zwischen Maximal- und Ereignispegel eine Differenz von 10 dB besteht.

Im PFB wird der Planungsfall 2020 als ein wesentlich baulich erweiterter ziviler Flugplatz angesehen. Für den Prognosenullfall[8] 2020 gelten dagegen grundsätzlich die um 5 dB höheren Grenzwerte für einen bestehenden zivilen Flugplatz. Im PFB wird jedoch verfügt, dass die Lärmkonturen des Planungsfalls und diejenigen des Prognosenullfalls auf der Basis der tieferen Werte der baulich erweiterten Anlage zu vergleichen sind, um die Veränderungen in der Fluglärmbelastung bei Realisierung des Vorhabens aufzeigen zu können.

Neben den Pegelwerten, die den Verlauf der Schutzzonen bestimmen, werden im PFB weitere zu berücksichtigende resp. abwägungsrelevante Fluglärmwerte aufgelistet. Dabei handelt es sich einerseits um Belastungswerte, bei welchen ein Übernahmeanspruch für Wohngrundstücke geltend gemacht werden kann, und andererseits um einschlägige Begrenzungs- und Eckwerte, welche im Rahmen des lärmmedizinischen Gutachtens [58] abgestuft nach verschiedenen Schutzzielen vorgeschlagen werden. Letztere können zur Lärmbeurteilung ergänzend herangezogen werden, wenn sie über die im Rahmen des Fluglärmgesetzes vorgeschriebenen Fluglärmwerte hinaus Erkenntnisse über die zu erwartenden Auswirkungen des Vorhabens liefern können. Nachfolgende Tab. 3-5 zeigt einen Auszug der im PFB aufgelisteten, maßgeblichen Fluglärm(grenz)werte zur Beurteilung der Fluglärmbelastung. In der Tabelle sind nur die im Rahmen des vorliegenden Gutachtens relevanten Werte aufgenommen. Rot markiert sind die tiefsten, verfügten L_{Aeq}-Werte.

Tab. 3-5 Maßgebliche, im Planfeststellungsbeschluss (PFB) aufgelistete Fluglärmwerte zur Beurteilung der Fluglärmbelastung (unvollständig); rot markiert die tiefsten, verfügten L_{Aeq} -Werte.

A) Maßgebliche Lärmwerte in der Übersicht:

Bezeichnung	Tages-abschnitt	Pegel-maß	(Grenz) Wert	Wo?	Bemerkung
Tag-Schutzzone 1 (TSZ 1)	06-22 h	$L_{Aeq,16h}$	60 dB(A)	Außen	
Tag-Schutzzone 2 (TSZ 2)	06-22 h	$L_{Aeq,16h}$	55 dB(A)	Außen	
Nacht-Schutzzone (NSZ)	22-06 h	$L_{Aeq,8h}$ L_{Amax}	53 dB(A) 6x72 dB(A)	Außen	Umhüllende der beiden Konturen.
Ergänzende Fluglärmwerte	06-22 h 22-06 h	$L_{Aeq,16h}$ $L_{Aeq,8h}$	50 dB(A) 45 dB(A)	Außen	In welchen Gemeinden ist die Bevölkerung von diesen Lärmwerten betroffen?

[8] Zustand ohne Realisierung des Projekts.

B) Lärmwerte des lärmmedizinischen Gutachtens (Auswahl):

Schutzziel:	Tages-abschnitt	Pegel-maß	KTW	PRW	Wo?	Bemerkung
Vermeidung von Hörschäden	00-24 h	$L_{Aeq,24h}$ L_{Amax}	80 dB(A) 115 dB(A)	75 dB(A) 95 dB(A)		Praktisch vollständig auf den Bereich der Start- und Landebahnen beschränkt.
Vermeidung von Gesundheitsschäden	06-22 h	$L_{Aeq,16h}$ L_{Amax}	70 dB(A) 19x99 dB(A)	65 dB(A) 25x90 dB(A)		KTW und PRW werden durch die TSZ 1 nach FluglärmG abgedeckt.
Vermeidung erheblicher Belästigung	06-22 h	$L_{Aeq,16h}$	65 dB(A)	62 dB(A)	Außen	KTW und PRW werden durch die TSZ 1 nach FluglärmG abgedeckt.
Vermeidung von Schlafstörungen	22-06 h	$L_{Aeq,8h}$ L_{Amax}	55 dB(A) 6x75 dB(A)	-	Außen	KTW wird durch die NSZ nach FluglärmG abgedeckt.
	22-01 h	$L_{Aeq,3h}$ L_{Amax}	-	50 dB(A) 8x71dB(A)	Außen	Der PRW ist nominell durch die NSZ nach FluglärmG abgedeckt. *
	01-06 h	$L_{Aeq,5h}$ L_{Amax}	-	47 dB(A) 5x68dB(A)	Außen	
Vermeidung von Kommunikationsstörungen	06-22 h	$L_{Aeq,16h}$	62 dB(A)	59 dB(A)	Außen	KTW und PRW werden durch die TSZ 2 nach FluglärmG abgedeckt.
Vermeidung von Erholungsstörungen	06-22 h	$L_{Aeq,16h}$	64 dB(A)	57 dB(A)	Außen	KTW und PRW werden durch die TSZ 2 nach FluglärmG abgedeckt.

KTW: kritischer Toleranzwert; PRW: präventiver Richtwert.

* Um nächtliche Lärmauswirkungen unterhalb der durch die Nachtschutzzone markierten Schwelle zu erfassen, zieht die Planfeststellungsbehörde die Umhüllende aus den Lärmkonturen $L_{Aeq,3h}$ = 35 dB(A) und $L_{Aeq,5h}$ = 32 dB(A) zur Beurteilung ergänzend heran. Da es sich hierbei gemäß PFB um Innenpegel handelt, ist nicht ganz klar, wie hoch die Außenpegel zur Bestimmung der Umhüllenden sein sollen. Nimmt man wie beim Maximalpegel einen Pegelunterschied von innen nach außen von +15 dB an, so wird die Umhüllende durch die Lärmkonturen $L_{Aeq,3h}$ = 50 dB(A) und $L_{Aeq,5h}$ = 47 dB(A) festgelegt.

3.4.5. Darstellung der Anzahl von Personen je dB-Klasse der Belastung

Flugbetriebsszenarien lassen sich anhand der Lage und des Verlaufs der Lärmbelastungskurven visuell und qualitativ vergleichen. Ein einfacher quantitativer Vergleich ist dagegen anhand der Flächen möglich, die bestimmte Belastungsniveaus beanspruchen. Beide Betrachtungen lassen jedoch die Bevölkerungsstruktur Außer acht. Dieses Problem lässt sich lösen, indem die Anzahl der über einem bestimmten Niveau belasteten Personen quantifiziert werden. Sie werden als AbP bezeichnet und lassen sich über die Anzahl von Personen je dB-Klasse der Belastung berechnen.

Mittels des Konzepts der AbP lässt sich untersuchen, wie gut aktive Schallschutzmaßnahmen anhand der gesetzlichen Vorschriften beurteilt werden können, indem beispielsweise die Personen innerhalb der Tagschutzzone 2 ($AbP_{\geq 55dB}$) oder diejenigen innerhalb der Tagschutzzone 1 ($AbP_{\geq 60dB}$) ermittelt werden. Fig. 3-8 zeigt entsprechende Auswertungen für 18 verschiedene Betriebsszenarien. Den AbP werden die *Highly Annoyed* HA gegenübergestellt, welche der FFI-Berechnungsvorschrift entsprechen. Die HA beziehen sich auf dieselben Betrachtungsperimeter wie die AbP.

Die in Fig. 3-8 dargestellten Szenarien A bis R wurden im Rahmen der Indexevaluation berechnet und vom RDF den Gutachtern zur Verfügung gestellt. Es geht bei der obigen Darstellung nicht darum, einzelne Szenarien zu beurteilen oder Rangierungen zu bestimmen. Es interessiert das Gesamtbild, welches sich bietet. Konkret geht es um die Frage, ob sich in der Rangfolge etwas ändert, wenn HA anstelle von AbP verwendet werden oder wenn der Betrachtungsperimeter von 60 auf 55 dB ausgedehnt wird. Dahinter steckt die Überlegung, ob nicht allein mit Hilfe der AbP aktive Schallschutzmaß-

nahmen resp. Veränderungen in der Lärmbelastung diagnostiziert werden könnten, ohne den „Umweg“ über die HA zu nehmen.

Tab. 3-6 enthält die quasi-statistische Auswertung der Rangfolgenänderungen. Dabei zeigt sich, dass die Ausweitung des Perimeters bezogen auf die HA wesentlich mehr ausmacht, als die Wahl der AbP anstelle der HA zur Charakterisierung eines bestimmten Belastungszustandes. Obwohl die untereinander stehenden Säulengrafiken von Fig. 3-8 rein visuell keine Unterschiede zeigen, treten dennoch jeweils in knapp 40% der Fälle Änderungen in der Rangfolge auf, wobei im Mittel die Verschiebungen nur ein Rang betragen. Das heißt, es treten quantifizierbare Unterschiede auf, wenn anstelle der AbP die HA verwendet werden, obwohl optisch in den Histogrammen von Fig. 3-8 keine Unterschiede auszumachen sind.

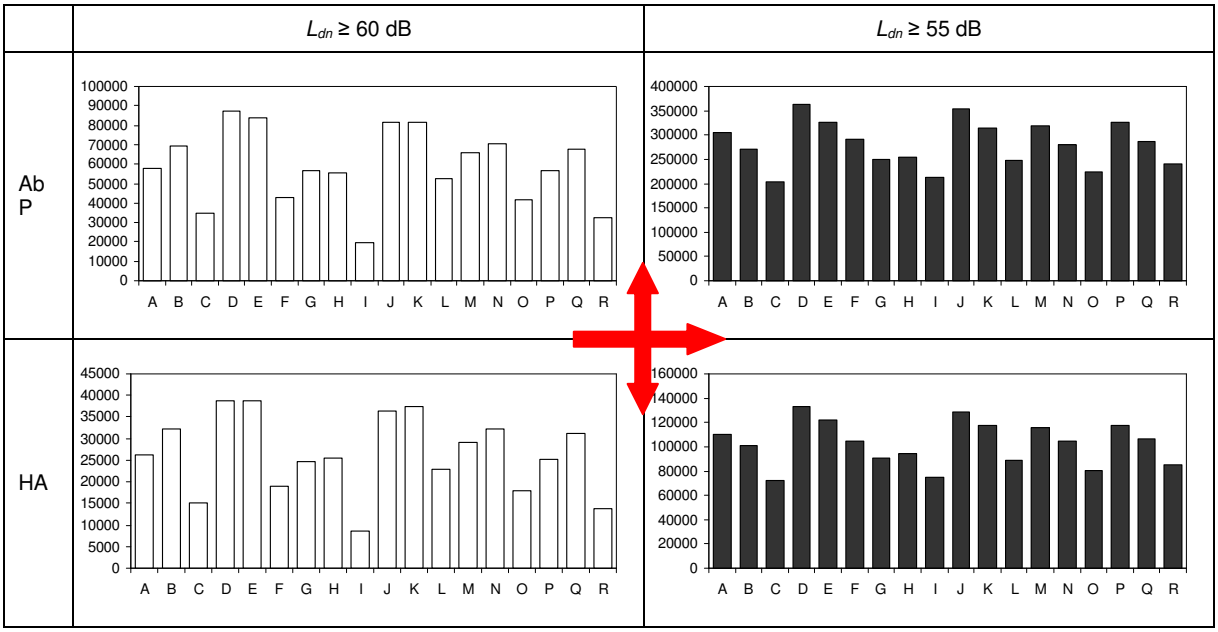


Fig. 3-8 Quantifizierung der Anzahl betroffener Personen (AbP) und der Anzahl der durch den Fluglärm hoch belästigten Personen (HA) nach den Vorgaben im ALP für zwei verschiedene Betrachtungsperimeter und 18 unterschiedliche Flugbetriebsszenarien (Quelle: RDF); Doppelpfeil: AbP versus HA; Pfeil von links nach rechts: Perimeterausweitung).

Tab. 3-6 Änderungen in der Rangfolge zwischen AbP und HA (berechnet nach Eq. 4) resp. Änderungen in der Rangfolge bei Ausweitung des Betrachtungsperimeters; Auswertung der in Fig. 3-8 dargestellten Szenarien.

Rangfolgenänderungen zwischen AbP und HA

Bereich	Anzahl absolut	Anzahl prozentual	Im Mittel
L_{dn} ≥ 55 dB	7	39%	1 Rang
L_{dn} ≥ 60 dB	7	39%	1 Rang

Rangfolgenänderungen bei Ausweitung des Perimeters

Ausweitung	Anzahl absolut	Anzahl prozentual	Im Mittel
von 65 auf 60 dB	14	78%	3 Ränge
von 60 auf 55 dB	18	100%	2 Ränge

Wie die Zahlen in Tab. 3-6 zu lesen sind:

39% der in Fig. 3-8 dargestellten Szenarien (7 von 18) rücken unabhängig vom Betrachtungsperimeter im Mittel einen Rang höher oder tiefer, wenn anstelle der AbP die HA verwendet werden; wird jedoch der Perimeter von 60 auf 55 dB ausgeweitet, so ändern sämtliche 18 Szenarien den Rang, und zwar im Mittel um 2 Ränge.

3.4.6. Diskussion und Fazit

Mit den Regelungen im PFB soll der Mensch vor erheblichem Fluglärm geschützt werden. Dazu werden Schutzzonen eingerichtet, deren Grenzen mittels akustischer Größen definiert werden. Am Tag von 6 bis 22 Uhr erfolgt die Grenzziehung mittels des über 16 Stunden gemittelten Dauerschallpegels, in der Nacht von 22 bis 6 Uhr mittels des über 8 Stunden gemittelten Dauerschallpegels in Kombination mit einem NAT-Kriterium. Wie in Kapitel 3.2 dargelegt ist ein Mittelungspegel einigermaßen geeignet, die Belästigung am Tag abzubilden, denn der 16-Stunden-Mittelungspegel korreliert angemessen mit den Befragungsresultaten (vgl. Tab. 3-1). Wie in Kapitel 3-4 erläutert wurde, ist dagegen ein Mittelungspegel, auch wenn er mit einem NAT-Kriterium kombiniert wird, nur bedingt geeignet, vor Aufwachreaktionen zu schützen.

Grundsätzlich lässt sich mittels der Lage und des Verlaufs von Belastungskurven oder auch mittels der Größe von Schutzzonen abschätzen, welches Lärmminderungspotenzial von aktiven Schallschutzmaßnahmen erwartet werden kann. Eine entsprechende Quantifizierung lässt jedoch die Bevölkerungsstruktur außer acht. Der Bezug zur Bevölkerung lässt sich aber problemlos über die AbP herstellen, indem die parzellengenauen Einwohnerzahlen mit den Kurven gleicher Mittelungspegel verschnitten und die Anzahl von Personen über einem definierten Belastungsniveau berechnet werden. Auf diese Weise lässt sich jeder Belastungszustand mittels einer personenbezogenen Größe charakterisieren.

Die Vorteil der Einzahlgröße ist somit auch bei den gesetzlich relevanten Belastungsrechnungen gegeben, indem beispielsweise für verschiedene Betriebszustände die AbP innerhalb der Tagschutzzone 2 ermittelt und miteinander verglichen werden. Der Nachteil ist jedoch, dass nach diesem Verfahren alle Personen gleich gewichtet werden, unabhängig davon ob die Belastung innerhalb der Schutzzone 56 oder 66 dB beträgt. Bei wirkungsbezogenen Indices ist das anders. Dort werden die betroffenen Personen nach Maßgabe der effektiven Beeinträchtigung resp. Belästigung und Schlafstörung gezählt.

Rechnerisch ist es also für die Zielsetzung "Maßnahmenbewertung" unerheblich, ob man beispielsweise HA oder AbP nimmt. Gegen die AbP spricht jedoch die Uneinheitlichkeit der betrachteten Gruppe. Einen Belasteten bei 56 dB mit einem Belasteten bei 66 dB in eine Gruppe zusammen zu legen ist zwar rechnerisch problemlos möglich, ist aber aus dem Blickwinkel der Lärmwirkung nicht sinnvoll, denn die Belastung der ersten Person ist zehnmal geringer als diejenige der zweiten.

Da gemäß ALP [120] aktive Schallschutzmaßnahmen anhand des Ausmaßes der Fluglärmbelästigung und -störung zu bewerten sind, sollten auch die entsprechenden Größen ermittelt werden. Zwar sind hoch Belästigte bei 56 dB bzw. bei 66 dB ebenfalls unterschiedlicher Belastungssituationen ausgesetzt, beide beschreiben aber die gleiche Wirkung, indem nämlich beide hoch belästigt sind. Hinsichtlich dieser Wirkung sind die Personen somit vergleichbar. Es ist daher sinnvoll sie zu einem Index zusammenzufassen, auch wenn ihre Belastung unterschiedlich ist.

4. Beantwortung der Einzelfragen

4.1. Strukturierung der Einzelfragen

Die in Kapitel 4.2 der Leistungsbeschreibung gestellten und mit A bis D nummerierten Einzelfragen werden von den Gutachtern folgenden Themenbereichen zugeordnet:

A Generelle Eignung
B Kombination der Lärmwirkung am Tag und in der Nacht
C&D Betrachtungsperimeter
E Überschussreaktionen
F Aufwachreaktionen in Abhängigkeit der Schlafphasen
G Praktikabilität

Im Anhang ist die nach den obigen Themenbereichen geordnete Liste der Einzelfragen zu finden. Nachfolgend werden die Fragen zu den einzelnen Themenbereichen kapitelweise behandelt. Der Stand der Forschung zu den einzelnen Themen sowie der zusätzlich erforderliche Forschungsbedarf wurde größtenteils bereits im Kapitel 3 dargestellt.

4.2. Generelle Eignung

4.2.1. Frage A1

Nr.	Frage(n)
A1	Sind die in den drei Vorschlägen [=Indices] gewählten Parameter […] geeignet, *um regionale Immissionsänderungen und die damit verbundenen Fluglärmwirkungen sowohl am Tag als auch in der Nacht abzubilden*?

4.2.2. Antworten zu Frage A1

Nachfolgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der in den drei Indices verwendeten Parameter.

Tab. 4-1 Die in den zwei Indices FFI und FNI sowie im PFB verwendeten Parameter.

Index	Parameter
FFI	• Tag-Nacht-Pegel L_{dn}; • Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Berechnung der *Highly Annoyed HA*; • Wohnbevölkerung N_{pop}.
FNI	• Maximalpegelhäufigkeitsverteilung $H(L_{max})$; • Belastungs-Wirkungsbeziehung für die Wahrscheinlichkeit einer zusätzlich induzierten Aufwachreaktion P_{AWR}; • Wohnbevölkerung N_{pop}.
PFB	• Energieäquivalenter 16-Stunden-Mittelungspegel L_{Aeq} für die Zeit von 06 bis 22 Uhr; • Energieäquivalenter 8-Stunden-Mittelungspegel L_{Aeq} in der Nacht von 22 bis 06 Uhr; • *NAT*-Kriterium (6 Ereignissen mit Maximalpegeln von 72 dB); • Wohnbevölkerung $N_{pop.}$

In allen drei Vorschlägen werden akustische Parameter (L_{dn}, $H(L_{max})$, L_{Aeq}, *NAT*) berechnet, die entsprechend auch regionale Immissionsänderungen abbilden. Nur im FFI und FNI werden diese akustischen Parameter genutzt, um Fluglärmwirkungen explizit anhand von Belastungs-Wirkungsbeziehungen vorherzusagen bzw. abzubilden. Im PFB geht man zwar implizit davon aus, dass Fluglärmwirkungen mit zunehmender akustischer Belastung ebenfalls zunehmen; eine explizite Ausweisung der Wirkungen erfolgt jedoch nicht.

Die laut PFB auszuweisenden Mittelungspegel für den Zeitraum 6 bis 22 Uhr sind grundsätzlich dazu geeignet, tagsüber auftretende Fluglärmwirkungen (Belästigung) vorherzusagen. Der für den Zeitraum 22 bis 6 Uhr auszuweisende L_{Aeq} ist auch in Kombination mit dem ebenfalls auszuweisenden NAT-Wert jedoch nur bedingt dazu geeignet, Fluglärmwirkungen auf den Schlaf abzubilden (vgl. Kapitel 3.3.2.2).

Wie in Kapitel 3.3 ausführlich beschrieben, bildet der FNI nächtliche Fluglärmwirkungen (mit Einschränkungen) in angemessener Weise ab. Da Aufwachreaktionen nur aus dem Schlaf erfolgen können, ist der FNI naturgemäß nicht dazu geeignet, am Tag auftretende Fluglärmwirkungen abzubilden.

Wie in Kapitel 3.2 näher erläutert, ist eine mögliche Definition der „Lärmbelästigung“ die Verärgerung, unerwünschte Geräusche zu hören und das Gefühl, durch diese Geräusche gestört zu werden, ohne sie wirksam bewältigen zu können und entsprechend gegen die Quelle relativ machtlos zu sein. Hierbei handelt es sich um die Störung mentaler oder körperlicher Tätigkeiten, die das Wachbewusstsein voraussetzen. In der Nacht entsteht Belästigung ausschließlich durch Störung des Einschlafens und Wiedereinschlafens, also ebenfalls in Phasen bewussten Wachseins. Diese Phasen sind in der Regel jedoch relativ kurz, weshalb die Belästigung maßgeblich durch am Tage auftretenden Fluglärm geprägt wird. Der FFI bildet Fluglärmwirkungen tagsüber deshalb besser ab als Fluglärmwirkungen nachts (vgl. Kapitel 4.3).

Nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über das, was mittels der Indices erfasst resp. ausgesagt werden kann.

Tab. 4-2 Berücksichtigung von Immissionsänderungen resp. Fluglärmwirkungen tags und nachts mittels der beiden Indices FFI und FNI sowie der Regelungen im PFB.

Index	Immissionsänderungen	Fluglärmwirkung tags	Fluglärmwirkung nachts
FFI	Ja, über Parameter L_{dn}	Ja, über Parameter *HA*	**Nein**
FNI	Ja, über Parameter $H(L_{max})$	**Nein**	Ja, über Parameter P_{AWR}
PFB	Ja, über Parameter L_{Aeq}	**nur implizit**	**nur implizit**

Es müssen an dieser Stelle jedoch drei wichtige Aspekte nochmals betont werden:

1. Der „Anteil hoch Fluglärmbelästigter“ und die „Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen“ können zwar als geeignete Indikatoren für Fluglärmwirkungen bezeichnet werden, sie sind naturgemäß jedoch nicht dazu in der Lage, das gesamte Spektrum von Fluglärmwirkungen umfassend zu beschreiben.

2. Die zur Vorhersage benutzten akustischen Parameter klären jeweils nur einen Teil der Varianz der Fluglärmwirkung auf (vgl. Tab. 3-1 in Kapitel 3.2.2.1). Viele andere akustische, situative und individuelle Variablen beeinflussen die Fluglärmwirkung ebenfalls, und zwar teilweise erheblich [9].
3. Schließlich ist auch die akustische Immissionsprognose mit Unsicherheiten behaftet (vgl. Kapitel 3.1.3 und [111]), was sich wiederum auf die Aussagekraft der aus akustischen Berechnungen ermittelten Belastungs-Wirkungsbeziehungen auswirkt.

Wenn man zu dem Schluss kommt, dass FFI und FNI dazu geeignet sind, Fluglärmwirkungen abzubilden, muss man sich der drei oben genannten Einschränkungen bewusst sein.

4.3. Kombination der Lärmwirkung am Tag und in der Nacht

4.3.1. Fragen B1 bis B4

Nr.	Frage(n)
B1	Wie kann sichergestellt werden, dass Tag- und Nachtwirkungen verglichen werden können?
B2	Ist ein 24-Stunden-Index geeignet, um Tag- und Nachtwirkungen zu vergleichen?
B3	Sollte zusätzlich {zu einem 24-Stunden-Index} eine getrennte Erfassung der Nacht erfolgen?
B4	Oder {sollte generell} die Trennung zwischen Tag und Nacht [gemacht werden]?

4.3.2. Antworten zu Fragen B1 bis B4

Bedingt durch die Eigenrotation der Erde und den damit verbundenen Tag-Nacht-Rhythmus durchlebt der Mensch mit Wachen und Schlafen zwei grundsätzlich verschiedene Zustandsformen. In der aktiven Periode des Wachseins ist der Mensch sich und seiner Umgebung bewusst. Hier stellt die Belästigung die primäre Fluglärmwirkung dar, d.h. die bewusste Wahrnehmung und negative Bewertung von Fluggeräuschen. In der regenerativen Periode des Schlafens ist sich der Mensch sich selbst und seiner Umgebung nicht bewusst. Akustische Reize in Form von Fluggeräuschen werden dennoch wahrgenommen und bewertet [93]. Sie führen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu Aktivierungen des zentralen Nervensystems, die in Abhängigkeit von Anzahl und Stärke als Schlafstörung bezeichnet und zu einer Einschränkung der Erholungsfunktion des Schlafes führen können.

Fluglärm kann den Schlaf definitionsgemäß nur zu Zeiten stören, in denen der Mensch schläft oder versucht zu schlafen, was in der Regel in der Nacht und den Nachtrandstunden der Fall ist (vgl. Fig. 3-7 A). Gleichzeitig belästigt Fluglärm vorwiegend tagsüber, insbesondere zwischen 6 und 22 Uhr, was durch die in Fig. 3-2 dargestellten Analysen unterstrichen wird. Eine Ausnahme stellen der Einschlafprozess oder längere Wachphasen in der Nacht dar, in denen der Mensch sich seiner Umgebung bewusst ist und durch Fluglärm belästigt werden kann. In den Nachtrandstunden fallen Belästigungsreaktionen deshalb auch besonders hoch aus (vgl. Frankfurter Belästigungsstudie [104]): Spät abends können Fluggeräusche den Einschlafprozess behindern, während Flughafenanwohner früh morgens durch Fluggeräusche vorzeitig erwachen und am Wiedereinschlafen gehindert werden können.

Aus Sicht der Gutachter handelt es sich bei Belästigung und Schlafstörung aus obgenannten Gründen um grundsätzlich verschiedene Wirkungsdimensionen, die nicht miteinander verglichen und auch nicht gegeneinander aufgewogen werden können. Durch die Einführung des FNI hat das RDF gezeigt, dass es implizit diese Meinung teilt. In der Leistungsbeschreibung heißt es: „Ergänzend hierzu wurde ein Nachtindex entwickelt, insbesondere um besondere Entlastungswirkungen oder Belastungswirkungen in der Nacht beurteilen zu können."

Auch wenn es ein großer Vorteil des FFI ist, sämtliche Fluglärmwirkungen in einer einzigen Zahl auszudrücken, sind die Gutachter aus obgenannten Gründen der Meinung, dass ein 24-Stunden-Index nicht dazu geeignet ist, Tag- und Nachtwirkungen zu vergleichen (Fragen B1 und B2). Vielmehr sollte der FFI durch einen FTI ersetzt werden, so dass zusammen mit dem FNI eine getrennte Beschreibung bzw. Bewertung von Fluglärmwirkungen am Tag und in der Nacht erfolgen kann (Fragen B3 und B4). Entsprechende Vorschläge wurden in den Kapiteln 3.2.2 und 3.3.2 dargelegt.

Zwei Indices (FTI und FNI) anstelle von einem Index (FFI) bedeuten jedoch auch, dass es mehr als nur zwei Möglichkeiten (FFI steigt oder fällt) gibt:

1. FTI und FNI sinken
2. FTI steigt, FNI sinkt
3. FTI sinkt, FNI steigt
4. FTI und FNI steigen

Die Gutachter halten es hier für zielführend, ein gleichzeitiges Sinken beider Indices (Fall (1)), beispielsweise um 10% zu fordern.

Wenn die Trennung von FFI in FTI und FNI nicht auf Akzeptanz stößt, ist es grundsätzlich möglich, die beiden Indices FTI und FNI wieder in einem Index zu vereinen, der sich dann allerdings vom ursprünglichen FFI unterscheidet. Bei der Zusammenführung der beiden Indices sollten jedoch folgende Punkte beachtet werden:

- Zunächst unterscheiden sich die Einheiten der Indices (Anzahl hoch belästigter Personen vs. Anzahl zusätzlich hervorgerufener Aufwachreaktionen), so dass ein Zusammenführen der Indices in ihrer ursprünglichen Form nicht möglich ist. Der Zürcher Fluglärmindex (ZFI) umgeht dieses Problem, indem er basierend auf der Anzahl zusätzlich hervorgerufener Aufwachreaktionen einen Anteil stark im Schlaf Gestörter (*highly sleep disturbed*, %HSD) bestimmt, wobei mehr oder weniger willkürlich festgelegt wurde, dass eine zusätzliche Aufwachreaktion 26% HSD entspricht. Nach dieser Umwandlung und nach Berücksichtigung der Einwohnerzahl am Immissionspunkt werden auch die nächtlichen Fluglärmwirkungen als Anzahl der (stark im Schlaf gestörten) Personen ausgedrückt.
- Jede Person kann (a) nur hoch belästigt, (b) nur stark schlafgestört oder (c) sowohl hoch belästigt als auch stark schlafgestört sein. Wenn man Doppelzählungen vermeiden will, wie in einem Verbesserungsvorschlag für den ZFI vorgesehen, stellt sich die Frage, wie Belästigung und Schlafstörung gewichtet werden sollen, d.h. ob und wenn ja welcher Wirkung eine größere Bedeutung beigemessen wird. Ein pragmatischer Ansatz wäre, beide Wirkungen gleichstark (1:1) zu gewichten. Auch das ist jedoch eine gesellschaftspolitische Setzung und kann nur schwer wissenschaftlich begründet werden.

Sollte man sich für einen einzigen Index zur Beschreibung der belästigenden und schlafstörenden Wirkungen des Fluglärms entscheiden, halten es die Gutachter für unabdingbar, dass in jedem Fall FTI und FNI separat ausgewiesen werden.

4.3.3. Kompensation von Flügen innerhalb der Mediationsnacht durch weniger Flüge Außerhalb der Mediationsnacht

Zum Zeitpunkt der Entstehung von Anti-Lärm-Pakt und FFI war bereits abzusehen, dass die Planfeststellungsbehörde von dem beantragten absoluten Nachtflugverbot in der Mediationsnacht (23 bis 5 Uhr) abweichen würde. In der Zusammenfassung zum Anti-Lärm-Pakt [120] heißt es deshalb: „Sollte die Genehmigungsbehörde bei der Ausgestaltung des Nachtflugverbots zu einem Ergebnis gelangen, dass entgegen des Antrags von Fraport aus rechtlicher Sicht unabweisbare Ausnahmen für geplante Flüge erforderlich sind, halte ich einzelne restriktive Ausnahmen allenfalls dann für denkbar, wenn deutliche Fortschritte bei der Lärmminderung am Tag und in der Nacht erreicht worden sind. Ausnahmen wären nur dann denkbar, wenn eine um mindestens 10 Prozent geringere Lärmbelästigung während des ganzen 24-Stunden-Tages erreicht wird – also ein um 10 Prozent niedrigerer Lärmindex.“

Zwischen 23 und 5 Uhr befinden sich im Mittel ca. 95% der erwachsenen Bevölkerung im Bett [5]. In der Mediationsnacht stattfindende Flüge führen demnach vorwiegend zu Schlafstörungen, und nicht zu Belästigungen. Ein Ausgleich dieser Schlafstörungen ist prinzipiell nur möglich, wenn der Schlaf vor 23 Uhr und nach 5 Uhr weniger gestört wird. Mit der in Kapitel 3.3.2.4 vorgeschlagenen Version des FNI kann bestimmt werden, zu welcher Uhrzeit wie viele Flugzeuge weniger fliegen müssen, um die durch einen in der Mediationsnacht stattfindenden Flug verursachte Schlafstörung auszugleichen. Eine Reduktion der Flüge vor 20 Uhr bzw. nach 11 Uhr könnte, im Gegensatz zum FFI, nicht zur Kompensation von Flügen in der Mediationsnacht herangezogen werden, da hier der Anteil der schlafenden Bevölkerung gering ist.

Die Kompensation von Flügen innerhalb der Mediationsnacht durch weniger Flüge außerhalb der Mediationsnacht wird mit dem FNI (zumindest in der in 3.3.2.4 vorgeschlagenen Variante) vollständig beschrieben. Hier wäre bezüglich eines wirkungsäquivalenten Ausgleichs zu fordern, dass es trotz Flügen in der Mediationsnacht zu keinem Anstieg des FNI kommen darf. Flüge in der Mediationsnacht an ein Sinken des FFI um mindestens 10% zu knüpfen erübrigt sich hiermit im Prinzip. Die Forderung eines sinkenden FFI kann jedoch auch losgelöst von der Diskussion um Flüge in der Mediationsnacht erfolgen und als Aufforderung an Flughafenbetreiber und Fluggesellschaften verstanden werden, die Belastung der Bevölkerung durch aktive Schallschutzmaßnahmen auch bei steigendem Flugverkehrsaufkommen relevant zu reduzieren.

4.4. Betrachtungsperimeter

4.4.1. Fragen C1 bis C4 und D1 bis D4

Nr.	Frage(n)
C1	*Wie lässt sich eine sinnvolle Abgrenzung des betrachteten Gebietes erreichen, damit der Schwerpunkt eher bei der Abbildung von „relevant" Belasteten als bei der Abbildung aller auch marginal vom Lärm betroffenen liegt?*
C2	*Bei der Abgrenzung des Betrachtungsgebietes sollten nicht nur solche Personen einbezogen werden, die so stark belastet sind, dass sie individuelle Rechtsansprüche zum Beispiel auf passiven Schallschutz geltend machen können. Wie lässt sich dies erreichen?*
C3	Eine Möglichkeit der Gebietsabgrenzung wäre, sich an der Rechtsprechung zu orientieren, die ab einem *Leq* von 55 dB {als Tagesmittlungspegel} bei Entscheidungen über Flugrouten eine Abwägungsrelevanz der Lärmauswirkungen sieht. *Ist dies sinnvoll? Welche Vor- resp. Nachteile hätte ein solches Vorgehen?*
C4	Wie lässt sich sicherstellen, dass nicht anhand der Systemabgrenzung {=Gebietsabgrenzung} ein erheblicher Teil der vom gewählten Wirkungskriterium betroffenen Personen im Index unberücksichtigt bleibt?
D1	Ist es ausgeschlossen, dass Ergebnisverzerrungen aufgrund der gewählten Gebietsabgrenzungen die Aussagekraft *der Indices* wesentlich beeinträchtigen?
D2	*Könnten die Flughafenverantwortlichen Maßnahmen gezielt gestalten, so dass die Maßnahmen nur innerhalb der Gebietsabgrenzung wirksam werden, ohne dass […] sie Außerhalb zu erheblichen Mehrbelastungen führen?*
D3	Gäbe es Möglichkeiten einer entsprechenden Absicherung?
D4	Oder erscheint einer Ausweitung der Gebietsabgrenzung der viel versprechende Weg?

4.4.2. Antworten zu Fragen C1 bis C4

Die Frage C1 impliziert das Bestreben des RDF, die Gebietsabgrenzung für die Bewertung und Priorisierung aktiver Lärmschutzmaßnahmen über die Fluglärmexposition zu bestimmen. Durch die Gebietsabgrenzung soll die Fluglärmentwicklung vor allem bei „relevant Belasteten" in der Region abgebildet werden. Es ist dabei zunächst unklar, welche Belastung als relevant zu bezeichnen ist. Die Formulierung in C2 wiederum legt nahe, dass der Begriff der „relevant Belasteten" mehr als nur die Personen umfasst, die in einer durch Gesetzgebung bzw. Rechtssprechung definierten Schutzzone leben. Sinnvollerweise lässt sich die Relevanz einer Fluglärmexposition nur über die Wirkung der Exposition definieren. Das RDF hat dies im Grunde genommen auch erkannt, indem mit dem FFI und dem FNI Indices vorgeschlagen werden, die die Fluglärmwirkung in den Vordergrund stellen.

Während beim FNI die Abgrenzung folgerichtig ausschließlich über die Wirkung der Fluglärmexposition auf nächtliche Aufwachreaktionen definiert wird - es wird von einem „Bodensatz" von durchschnittlich 24 spontanen Aufwachreaktionen ausgegangen und zur Abgrenzung nur diejenigen Personen einbezogen, die mit einer durch Fluglärm zusätzlich induzierten Aufwachreaktion alle zwei Nächte

rechnen müssen – ist man beim FFI weniger konsequent geblieben. Beim FFI werden zum einen als wirkungsbezogene Abgrenzung ausschließlich hoch fluglärmbelästigte Personen berücksichtigt und zudem eine Fluglärmbelastung $L_{dn} \geq 55$ dB(A) als weiteres expositionsorientiertes Abgrenzungskriterium gewählt (vgl. Fig. 4-1).

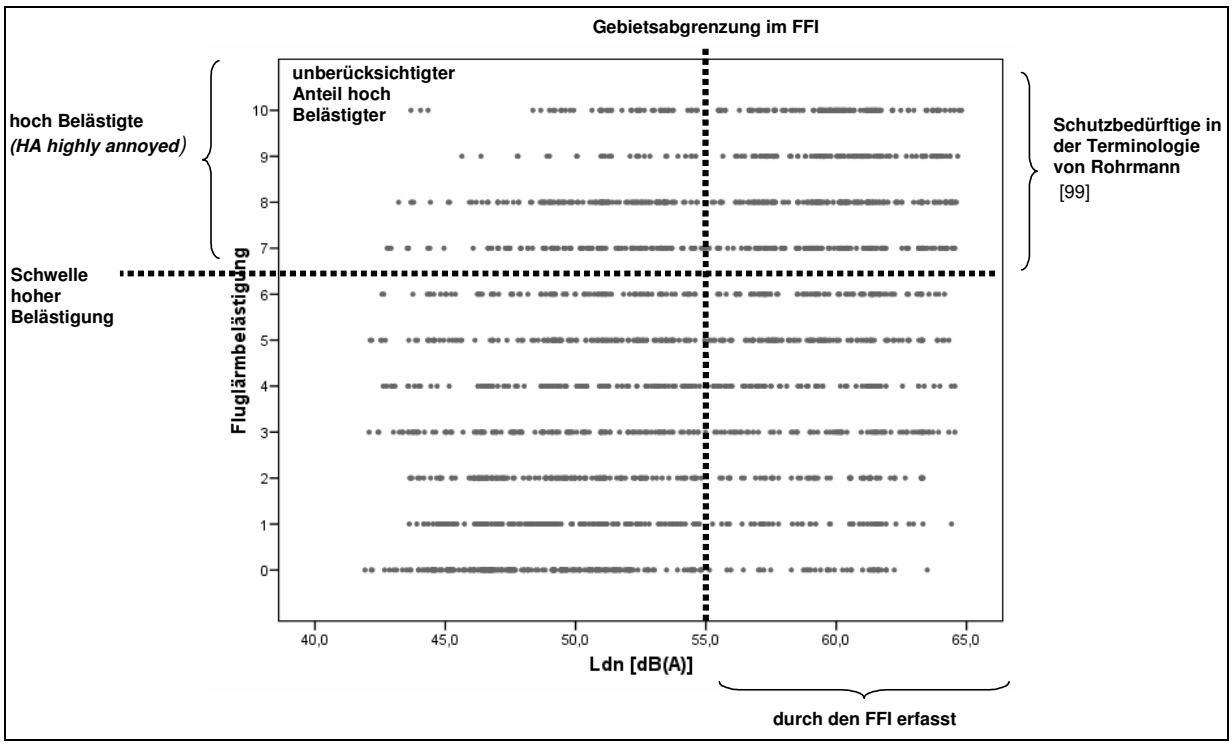


Fig. 4-1 Individuelle Belastungs-Wirkungsbeziehungen zur Fluglärmbelästigung aus [104] und Darstellung der Abgrenzungskriterien im FFI (Anpassung und Modifizierung eines Schemas zur Validität von Lärm-Grenzwerten nach Rohrmann [99])

Ein wesentlicher Grund für die belastungsorientierte Definition einer Gebietsabgrenzung im Zusammenhang mit der Lärmbelästigung ist, dass die Wirkgröße „Belästigung“ multikausal bedingt ist und die Geräuschbelastung mithin eine notwendige aber nicht hinreichende Bedingung für das Zustandekommen eines bestimmten Ausmaßes an Belästigung darstellt (vgl. Kapitel 3.2.2.1). Es ist daher nicht möglich, jeden Einzelnen vor der Belästigung durch Fluglärm zu schützen, in der Konsequenz wird ein gewisser „Bodensatz“ an Lärmbelästigung sowohl in der Rechtssprechung als auch in der Planung als hinnehmbar erachtet. Das muss aber nicht dazu führen, dass eine entsprechende Abgrenzung belastungsorientiert definiert wird. Eine Abgrenzung lässt sich auch wirkungsbezogen über die Festlegung eines bestimmten HA-Anteils vornehmen; dies entspräche in grober Analogie der Berücksichtigung spontaner Aufwachreaktionen bei der Berechnung des FNI. Durch die Festlegung eines HA-Anteils als Abbruchkriterium (Systemabgrenzung) wird auch vermieden, dass ein erheblicher Teil der vom gewählten Wirkungskriterium (hohe Fluglärmbelästigung) betroffenen Personen im Index FFI unberücksichtigt bleibt (Frage C4) – indem eben dieser Teil explizit definiert wird.

Ein pragmatischer Ansatz wäre es, ein Abbruchkriterium zu wählen, dass genau zwischen der Ansprechschwelle für hohe Belästigung (0% HA, SWW in Fig. 4-2) und der Schwelle der Abwägungserheblichkeit (25% HA) liegt. Dies ist bei einem HA-Anteil von 12,5% der Fall (AK1 in Fig.

4-2), was einem 16-Stunden-Mittelungspegel tags von 46,5 dB entspricht. Der entscheidende Punkt hierbei ist, dass für die Gebietsabgrenzung zuerst das Wirkkriterium – hier 12,5% HA – festgelegt wird und erst im zweiten Schritt dieses Kriterium in dB-Einheiten „übersetzt“ wird und nicht umgekehrt.

Als eine Begründung für die Gebietsabgrenzung bei einem L_{dn} von 55 dB gibt das RDF an, dass sich diese Abgrenzung an der Rechtsprechung orientiert, die ab einem 16-Stunden-Mittelungspegel von 55 dB bei Entscheidungen über Flugrouten eine Abwägungsrelevanz der Lärmauswirkungen sieht [2]. Hinzu kommt, dass nach dem Fluglärmgesetz [53] die Tag-Schutzzone 2 an neuen bzw. wesentlich erweiterten zivilen Flugplätzen durch einen 16-Stunden-Mittelungspegel von 55 dB abgegrenzt wird.

Der Vorteil einer Orientierung an der Rechtssprechung bzw. Gesetzgebung ist die anzunehmende Akzeptanz dieser Abgrenzung bei verschiedenen Interessensgruppen. Allerdings bezieht sich die Abwägungsrelevanz auf den passiven Schallschutz, und es ist ja das erklärte Ziel des RDF mit dem FFI darüber hinaus zu gehen.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass der FFI ein Planungsinstrument für den aktiven Lärmschutz und nicht nur eine Normgröße darstellen soll. Die in Frage kommenden aktiven Lärmschutzmaßnahmen ([120], S. 17ff.) wirken nicht wie passive Schallschutzmaßnahmen nur Immissionspunkt bezogen, sondern flächendeckend. Und in diesem Zusammenhang sind Normen, die angeben, ab wann etwas in der Fläche passieren soll (z.B. Abwägung ab einem $L_{Aeq,6\text{-}22h}$ von 55 dB), weniger als Orientierung für die Ermittlung dessen geeignet, was tatsächlich in der Fläche passiert (d.h. welche Auswirkungen aktive Lärmschutzmaßnahmen tatsächlich haben). Dies gilt im Prinzip auch für das vorgeschlagene Abgrenzungskriterium „12,5% HA“. Gleichwohl sehen die Gutachter dieses Kriterium als Kompromiss an und meinen, dass der Evaluationsfehler bei Vernachlässigung von Gebieten mit einem HA-Anteil < 12,5% geringer ist als bei Vernachlässigung von Gebieten mit einem HA-Anteil von rund 30%, wie es bei der Abgrenzung bei L_{dn} = 55 dB der Fall ist.

Fig. 4-2 zeigt den geschilderten Wirkungsmechanismus. Wegen unvollständiger Daten für Frankfurt muss für die Darstellung der kumulativen Anteile bis zur Ansprechschwelle auf Auswertungen für Zürich zurück gegriffen werden (vgl. Anhang Kapitel 8.2, Fig. 8-1 und Fig. 8-2). Exemplarische Berechnungen, welche sich zwar auf einen kleineren Ausschnitt (L_{dn} ≥ 50 dB) beziehen, zeigen jedoch, dass die Verhältnisse in Frankfurt und Zürich vergleichbar sind (Fig. 3-4 in Kapitel 3.2.2.4), so dass anhand der Züricher Auswertungen Analogieschlüsse möglich sind. Dennoch sollten die dargestellten Berechnungen für den Frankfurter Flughafen ebenfalls durchgeführt werden, um sicher zu gehen, dass eine Übertragbarkeit der Züricher Ergebnisse auf Frankfurt trotz Unterschieden im Flugbetrieb und/oder in der Topographie tatsächlich und auch für größere Ausschnitte gegeben ist. Die in Fig. 4-2 gezeigten Auswertungen wurden von der Empa exklusiv für das vorliegende Gutachten gemacht. Sie beruhen auf Berechnungen, die in Zusammenhang mit dem ZFI gemacht wurden [39]. Zur Quantifizierung der Belästigungs- resp. Schlafwirkung werden nicht die Komponenten der ZFI-Formel benutzt, sondern Eq. 7 (Nachtindex, Teilbild rechts von Fig. 4-2) und Eq. 4 unter Verwendung von Eq. 6 (Tagindex, Teilbild links).

In Fig. 4-2 wird mit SWW die wirkungsbezogene Ansprechschwelle bezeichnet. Würde die Gebietsabgrenzung durch diesen Wert bestimmt, wäre das gesamte Wirkungsgebiet der starken Fluglärmbelästigung resp. der durch Fluglärm induzierten Aufwachreaktionen abgedeckt. Da aber einerseits sowohl die Befragungsresultate als auch die Pegelwerte im Bereich der Ansprechschwelle mit hohen Unsicherheiten behaftet sind (Bodensatz, große Distanzen) und andererseits der Berechnungsausschnitt kaum vertretbare Ausmaße annehmen würde, ist die Verwendung von SWW als Betrachtungsperimeter weder sinnvoll noch praktikabel (vgl. Kapitel 3.2.2.4). Dasselbe gilt für die

gesetzlich relevanten Schwellen am Tag (TSZ 2) und in der Nacht (NSZ), weil diese nur gerade 28% der hoch belästigten resp. 3% aller Aufwachreaktionen erfassen.

Damit die Indices einigermaßen repräsentativ sind, wäre eine denkbare Forderung, dass sie mindestens 50% der Belästigten resp. Aufwachreaktionen im Einzugsgebiet des Flughafens berücksichtigen sollten. Dies wäre am Beispiel der Musterrechnung am Tag bei einem HA-Anteil von ca. 24% der Fall (AK2), was einem 16-Stunden-Tagesmittelungspegel von 51 dB entspricht. Das oben diskutierte pragmatische Abbruchkriterium 1 von 12,5% HA liegt bei einem kumulativen Indexwert zwischen 75% und 80%, das heißt, mit AK1 werden mehr als drei Viertel der durch Fluglärm hoch belästigten Personen erfasst.

Um in der Nacht rund 50% aller zusätzlichen Aufwachreaktionen zu erfassen, müsste ebenfalls das Abbruchkriterium 2 (AK2) gewählt werden. Es liegt bei einem wirkungsbezogenen Wert von knapp 0,1 zusätzlichen Aufwachreaktionen (alle 10 Nächte eine zusätzliche Aufwachreaktion), was gemäß Simulationsrechnungen für Zürich einem 8-Stunden-Nachtmittelungspegel von 37.5 dB entspricht. Das in Teilbild rechts von Fig. 4-2 dargestellte Abbruchkriterium 1 (AK1) markiert dagegen die wirkungsbezogene Marke von 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen, welche aus Sicht der Schlafforschung als sinnvolles Abbruchkriterium angesehen werden kann (vgl. Kapitel 4.6). Sie liegt bei einem 8-Stunden-Nachtmittelungspegel von knapp 51 dB.

Wie oben bereits erläutert und in Fig. 4-2 sowie Tab. 4-3 dargestellt, werden mit einem Abbruchkriterium von 0,5 Aufwachreaktionen nur etwa 7% der insgesamt bis zur Ansprechschwelle auftretenden Aufwachreaktionen erfasst, was jedoch nicht mit der Aussage gleichzusetzen ist, dass nur 7% der relevant belasteten Menschen durch den FNI erfasst werden. Der niedrige Wert von 7% ist insbesondere in der niedrigen Wirkschwelle der DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung von $L_{AS,max}$ = 33 dB begründet. Hierdurch entstehen noch weit vom Flughafen entfernt zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufene Aufwachreaktionen, die jedoch für die Erholsamkeit des Schlafes irrelevant sind. Diese geringe Belastung hat aufgrund der hohen Anzahl der in der Peripherie des Flughafens lebenden Menschen (pro dB Absenkung des Abbruchkriteriums wächst die Fläche um ca. 20%) dennoch einen hohen Einfluss auf die Gesamtanzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen. Entsprechend geht aus Fig. 4-2 hervor, dass etwa die Hälfte aller zusätzlichen Aufwachreaktionen in Gebieten generiert werden, in denen im Mittel weniger als 0,1 zusätzliche Aufwachreaktionen pro Nacht auftreten, also weniger als eine zusätzliche Aufwachreaktion in jeder zehnten Nacht. Letztlich sollte das Abbruchkriterium so gewählt sein, dass alle (100%) relevant belasteten Anwohner in die Berechnung des FNI eingehen. Aus Sicht der Gutachter kann es deshalb sinnvoll sein, die Grenze für eine relevante Belastung dort zu ziehen, wo aufgrund der Belastung mit wenigstens 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen zu rechnen ist, was einem 8-Stunden-Mittelungspegel nachts von knapp 51 dB entspricht.

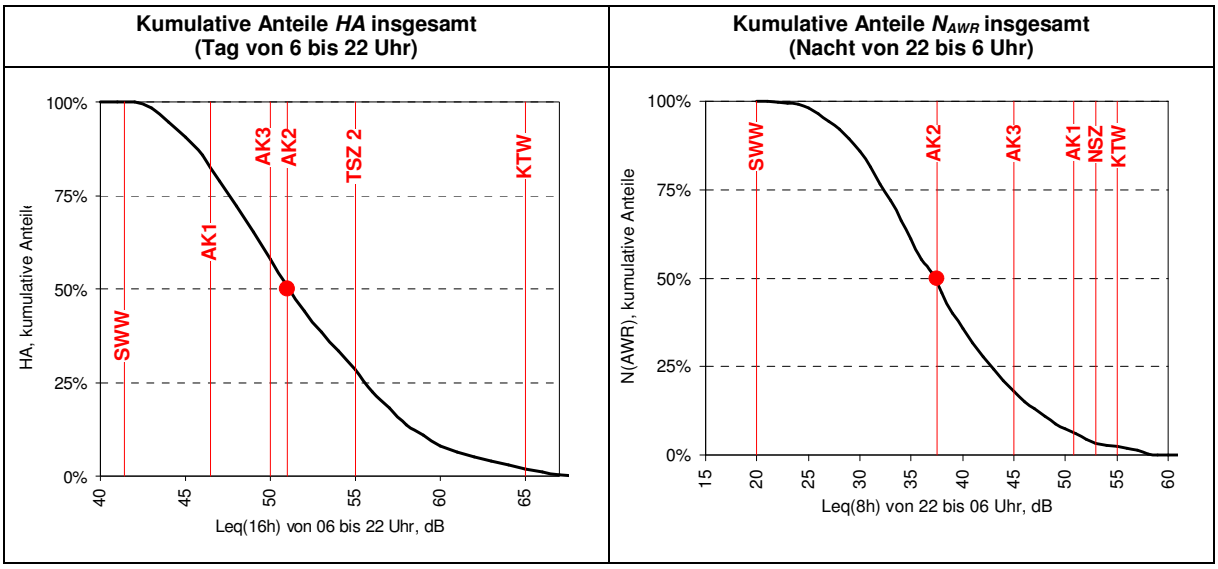


Fig. 4-2 Mögliche Gebietsabgrenzungen für Tag und Nacht sowie deren wirkungsbezogenen Konsequenzen; Berechnungen am Beispiel des Flugbetriebszustands 2004 in Zürich mit einer fünfstündigen Nachtflugsperre; zur Bedeutung von SWW, AK1, AK2, AK3, TSZ 2, NSZ und KTW siehe Tab. 4-3.

Tab. 4-3 Bedeutung möglicher Werte zur Gebietsabgrenzung (*%HA* mit Eq. 4 und Eq. 6, N_{AWR} mit Eq. 7 berechnet); Berechnungen für die Nacht von 22 bis 06 Uhr auf der Basis von sieben unterschiedlichen realen Belastungszuständen in Zürich (vgl. Anhang Kapitel 8.3).

Kürzel	Bezeichnung	Tag von 06 bis 22 Uhr		Nacht von 22 bis 06 Uhr	
		%HA	Leq_{16h}	N_{AWR}	Leq_{8h}
SWW	Schwellenwert	0%	41,4 dB	≈ 0	< 20,0 dB
AK1	Abbruchkriterium 1	A) 12,5%	46,5 dB	A) 0,50	50,8 dB
AK2	Abbruchkriterium 2	23,7%	B) 51,0 dB	0,09	B) 37,5 dB
AK3	Abbruchkriterium 3	21,2%	C) 50,0 dB	≈ 0,24	C) 45,0 dB
TSZ 2	Tag-Schutzzone 2	33,6%	D) 55,0 dB	-	-
NSZ	Nachtschutzzone	-	-	0.66	D) 53,0 dB
KTW	Kritischer Toleranzwert	58,4%	E) 65,0 dB	0,86	F) 55,0 dB

A) Das von den Gutachtern favorisierte Abbruchkriterium.
B) Mindestens 50% aller hoch belästigter resp. 50% aller zusätzlicher Aufwachreaktionen.
C) Ergänzender Fluglärmwert gemäß Tab. 3-5.
D) Beginn der Schutzzonen gemäß Tab. 3-5.
E) Schutzziel „Vermeidung erhebliche Belästigung außen“ gemäß Tab. 3-5.
F) Schutzziel „Vermeidung von Schlafstörungen außen“ gemäß Tab. 3-5.

4.4.3. Antworten zu Fragen D1 bis D4

Wie bereits in den Kapiteln 3.1.3 und 3.2.2.4 diskutiert und in den Teilbildern von Fig. 4-2 dargestellt, kann ein zu eng gefasster Betrachtungsperimeter zu einer Unterschätzung der Belästigungswirkung führen. Neben dieser Unterschätzung kann sich auch eine Verschiebung in der Bewertungsrangfolge von Betriebsszenarien einstellen, wie in Kapitel 3.4.5 gezeigt wurde. Dort werden Indexberechnungen für zwei unterschiedliche Gebietsabgrenzungen ausgewiesen (L_{dn} von 60 dB und L_{dn} von 55 dB).

Tab. 4-4 zeigt ähnliche Berechnungen, wobei das Betrachtungsgebiet von 55 auf 50 dB ausgeweitet wird. Es handelt sich um Berechnungen des RDF, welche die Sensitivität des FFI auf Maßnahmen des aktiven Schallschutzes demonstrieren sollen. Anhand der Auswertungen kann keine Rangfolgenänderung aufgrund der Gebietsausweitung festgestellt werden. Bei Ausweitung des Perimeters von 55 dB auf 50 dB nähern sich jedoch die Reduktionspotenziale der Szenarien 3 und 4 an. Das Rechenbeispiel in Tab. 4-4 zeigt zudem ein weiteres Problem auf, welches bei der Wahl der Gebietsabgrenzung entsteht. Beim kleinen Betrachtungsperimeter (L_{dn} ≥ 55 dB) würden nämlich drei Szenarien die angestrebte zehnprozentige Reduktion des Indexes erfüllen, beim großen Betrachtungsperimeter (L_{dn} ≥ 50 dB) sind es nur noch zwei Szenarien.

Aufgrund der obigen Ausführungen ist es somit wahrscheinlich, dass je nach Gebietsabgrenzung die Untersuchungsergebnisse unterschiedlich ausfallen und Verzerrungen der Indexberechnung auftreten können (Frage D1). Zudem lassen sich aktive Schallschutzmaßnahmen so gestalten, dass sie nur innerhalb einer vordefinierten Gebietsabgrenzung maßgeblich wirken (Frage D2). Dies lässt sich zumindest aus dem Befund ableiten, dass Szenario 4 bei kleinem Betrachtungsperimeter bezüglich FFI-Reduktionspotenzial hinter dem Szenarien 3 zurückbleibt, bei Ausdehnung des Perimeters die beiden Szenarien als fast gleichwertig eingestuft werden müssen. In diesem Zusammenhang ist jedoch anzumerken, dass hauptsächlich flugbetriebliche Maßnahmen des aktiven Schallschutzes wie lärmarme An- und Abflugverfahren (vgl. Kapitel 3.1.2.2) eine ausgeprägte gebietsorientierte Wirkung zeigen. Technische Maßnahmen wie beispielsweise neue Triebwerke werden sich dagegen flächendeckend auswirken. Dass sich eine bestimmte Maßnahme nur in einem abgegrenzten Gebiet manifestiert, muss nicht a priori schlecht sein. Es kann sich dabei auch um einen erwünschten Effekt handeln, der sich wegen einer gezielt eingeführten Maßnahme einstellt. Eine Absicherung, im Sinne einer Überprüfung, ob eine eingeleitete Maßnahme auch wirklich das bringt, was man von ihr verspricht, lässt sich dagegen nur mittels Simulationen unter Verwendung geeigneter[9] Berechnungsverfahren und/oder einem geeigneten[10] Monitoring erreichen (Frage D3). Um Verzerrungen, Fehlinterpretationen oder gar Fehlentwicklungen zu verhindern, ist somit eine Ausweitung des Betrachtungsgebietes über den gesetzlich relevanten Belastungsbereich hinaus unausweichlich (Frage D4).

Tab. 4-4 Indexberechnung mit zwei unterschiedlichen Gebietsabgrenzungen für fünf verschiedene Szenarien; die Bedeutung der Szenarien kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden; die Daten stammen aus den Hintergrundinformationen zum ALP [97] und wurden von Kurt Müller in elektronischer Form zur Verfügung gestellt.

3-Sigma	Gebietsabgrenzung L_{dn} ≥ 55 dB(A)			Gebietsabgrenzung L_{dn} ≥ 50 dB(A)		
Szenario	FFI	Reduktion gegenüber Planfall 2020	Rang des Szenarios	FFI	Reduktion gegenüber Planfall 2020	Rang des Szenarios
Planfall 2020	133396	0%	-	260818	0%	-
S1	104086	-22%	1	225344	-14%	1
S2	115515	-13%	2	232962	-11%	2
S3	117857	-12%	3	244829	-6%	3
S4	128946	-3%	4	254048	-3%	4

[9] Geeignet sind jene Berechnungsverfahren, welche die aktiven Schallschutzmaßnahmen modellieren können.

[10] Mittels Messeinrichtungen, die den in [36] und [111] gemachten Anforderungen genügen.

Tab. 4-5 Bedeutung der Szenarien in Tab. 4-4.

Szenario	AS1	AS2	AS3	AS4	AS5
S1	x	x	x	x	x
S2	x	x		x	x
S3	x	x	x		x
S4	x	x			x

Aktiver Schallschutz AS:

AS1	*Offset-Approach* von 22 bis 06 Uhr
AS2	Anhebung des Gleitwinkels auf 3.2 Grad
AS3	Steilstartverfahren für alle Abflüge
AS4	Reduktion des Strahllärms: flächendeckende Reduzierung um 0,5 dB
AS5	6 Tage mehr Westbetrieb

Anmerkung zu obigen Tabellen:

Die Szenariendefinition in Tab. 4-5 entstammt den Hintergrundinformationen zum ALP ([97], Tabelle 3). Die Zahlen von Tab. 4-4 dagegen stammen aus einer Auswertung der Gutachter, welche auf elektronisch zur Verfügung gestellten Datensätzen beruhen. Dabei stellte sich heraus, dass die Szenarien in den Datentabellen der Hintergrundinformation vertauscht wurden, so dass die Werte in obiger Tab. 4-4 nur für den Planfall 2020 und Szenario 1 mit denjenigen in Tabelle 2.4.1 der Hintergrundinformation übereinstimmen. Gemäß Auskunft des RDF sind die hier aufgeführten Werte korrekt.

4.5. Überschussreaktionen

4.5.1. Fragen E1 bis E4

Nr.	Frage(n)
E1	In der Konzeption des Frankfurter Fluglärmindexes bleibt unberücksichtigt, dass bei […] Neubelastungen oder wesentlichen Steigerungen [der Belastung] die Belästigungswirkung bei Menschen überproportional ansteigt. Lässt sich abschätzen, wie stark solche „überschießenden“ Wirkungen sind?
E2	Gibt es auf Basis der vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse eine Möglichkeit, die Überschussreaktionen sachgerecht durch einen entsprechenden Malus für Neubelastungen oder ähnliche Überlegungen im Index abzubilden?
E3	[…] Könnte zur ergänzenden Betrachtung für die Entscheidungsfindung über aktive Schallschutzmaßnahmen eine eigenständige Erfassung von möglichen Sonderwirkungen durch Neubelastete erfolgen?
E4	Lässt sich eine Aussage darüber treffen, welches ungefähre Ausmaß bezogen auf Indexergebnisse eine Verzerrung der Nichterfassung überschießender Wirkungen hätte?
E5	Müsste {man im Falle von Neubelasteten nur} von einer vorübergehenden Verzerrung ausgehen, oder wäre anzunehmen, dass {die Verzerrung} dauerhaft bestehen bleibt?

4.5.2. Antworten zu Fragen E1 bis E4

4.5.2.1. Vorbemerkung

Überschussreaktionen in der Lärmbelästigung entstehen im Falle von sich abrupt und dauerhaft ändernden Lärmsituationen. Sie treten allerdings gerade bei großen Vorhaben mit längeren Planungszeiten nicht erst nach Eintritt der Veränderung der Geräuschbelastung sondern bereits im Vorfeld nach Vorhabensankündigung bedingt durch den Aufbau von Erwartungen/Befürchtungen auf [105]. Dies wurde im Kapitel 3.2.2.1 bereits angesprochen.

Am Frankfurter Flughafen wird man es künftig in den Fällen der Planung und Umsetzung aktiver Lärmschutzmaßnahmen mit zwei gegenläufigen Überschussreaktionen zu tun haben: Eine Überschussreaktion in der Lärmbelästigung bedingt durch den Ausbau des Flughafens (höhere Lärmbelästigung bei gegebener Fluglärmbelastung als auf Basis von unter *Steady-State*-Bedingungen erhobenen Belastungs-Wirkungsbeziehung prognostizierbar), die andere Überschussreaktion bedingt durch die Lärmschutzmaßnahmen – soweit diese den hiervon betroffenen Anwohnern bekannt gemacht werden und sie wahrnehmbar sind. Welche Lärmbelastungsänderungen (ob Zu- oder Abnahme) wahrnehmbar sind, hängt beim Fluglärm u. a. von den „normalen“ täglichen Pegelschwankungen an Verkehrsflughäfen im „quasi-stationären Betrieb“ ab [64] & [71].

Wahrnehmbar (nicht nur im Sinne von „Hören“, sondern z.B. auch „Sehen“ von veränderten Flughöhen, Querabständen oder veränderten Häufigkeiten von Flugbewegungen, etc.) sind nicht unbedingt

erst – wie oft im Zusammenhang mit dem Begriff der wesentlichen Änderungen von Verkehrswegen unterstellt – Pegeländerungen ab 3 dB(A). Es gibt eine Reihe von Beispielen dafür, dass auch geringere Pegeländerungen eine Veränderung der Lärmbelästigung nach sich ziehen [92]. Am Flughafen Amsterdam-Schiphol etwa haben im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme der 5. Flugbahn in 2003 auch Pegeländerungen unter 3 dB zu starker Erhöhung der Lärmbelästigung geführt [21].

Das Problem der erwarteten Gegenläufigkeit von Überschussreaktionen in der Lärmbelästigung im Falle von Planung und Umsetzung aktiver Lärmschutzmaßnahmen nach Flughafenausbau wird auch deutlich, wenn man sich vor Augen hält, dass eine vom RDF angestrebte Reduktion des FFI um 10% durch aktive Lärmschutzmaßnahmen relativ zum Planungsnullfall 2020 aus heutiger Sicht (Ist-Zustand 2005) einer Indexerhöhung um 9% entspricht (vgl. Tab. 4-6).

Tab. 4-6: Prozentualen Veränderung des FFI (berechnet nach 3-Sigma-Regel) im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 bei Reduktion des Index um 10% relativ zum Planungsfall 2020 (Daten aus den Hintergrundinformationen zum ALP [97]).

A	**B**	**C = 0,9·A**	**D = C/A-1**	**E = C/B-1**
FFI im Planungsnullfall 2020	FFI im Jahr 2005	**Ziel**: FFI in 2020 bei Einführung aktiver Lärmschutzmaßnahmen	Prozentuale Veränderung bezogen auf A (Nullfall 2020)	Prozentuale Veränderung bezogen auf B (IST 2005)
133395	110520	120056	- 10%	+ 9%

4.5.2.2. Überschussreaktionen in der Fluglärmbelästigung aufgrund des Flughafenausbaus

Es liegen zwar zahlreiche Untersuchungen zur Belästigung durch Fluglärm vor aber kaum Daten zur zeitlichen Entwicklung der Belästigung an Flughäfen, die eine abrupte, dauerhafte Veränderung der Fluglärmbelastung erfahren. Eine Quantifizierung der hierbei entstehenden Überschussreaktionen unterliegt derzeit daher noch einer größeren Unsicherheit.

Guski & Schuemer [64] vergleichen die Ergebnisse neuerer Belästigungsuntersuchungen an Flughäfen mit Änderungs-Kontext mit Untersuchungen an Flughäfen ohne Änderungskontext. Sie geben an, dass nach dem Stand von 2000 ein HA-Anteil von 25% an Flughäfen ohne Änderungskontext bei einem L_{dn} in Höhe von 58 dB liegt, und machen den 25%-HA-Anteil an Flughäfen mit Änderungskontext bei einem L_{dn} von 54 dB aus. Hier erfolgt der Vergleich zwischen der Situation an verschiedenen Flughäfen mit unterschiedlicher Entwicklung der Lärmbelastung.

1996 wurde am Flughafen Vancouver eine zusätzliche Startbahn gebaut, ein Jahr vorher sowie zwei Jahre nach der Eröffnung wurde in gleichen Wohngebieten im Umfeld des Flughafens die Fluglärmbelästigung in Interviews erhoben. Es zeigte sich, dass die Überschussreaktion in der Lärmbelästigung linear mit der relativen Zunahme der akustischen Belastung stieg. Im Durchschnitt betrug die Überschussreaktion in der Belästigung gegenüber dem quasi-stationären Zustand ausgedrückt in L_{dn} ca. 6 dB [45] & [62].

Am Flughafen Amsterdam-Schiphol wurde 2003 eine fünfte Bahn ("Polderbahn") eröffnet. Die Fluglärmbelästigung wurde in mehreren Befragungen vor und nach dem Ausbau (1996, 2002, Frühjahr/Herbst 2003, Frühjahr/Herbst 2004, Frühjahr/Herbst 2005) erhoben. Alles in allem findet sich kein klarer einheitlicher Einfluss der Belastungsänderung zwischen 2002 und 2004 (die 1996er-Belästigungsdaten entsprechen weitgehend denen von 2002) auf die Fluglärmbelästigung. Betrachtet man

allerdings die Gruppe der Anwohner, die durch den Flughafenausbau eine Belastungszunahme größer 1,5 dB im L_{den} erfahren, dann zeigt sich ein Anteil hoch Fluglärmbelästigter in 2005, der um rund 20% über dem anhand der Vorherbefragungen erwarteten Anteil liegt [21]; diese Überschussreaktion entspricht einer L_{den}-Pegeldifferenz von etwa 3 bis 5 dB.

Wie die Ergebnisse der RDF-Belästigungsstudie zeigen, beeinflussten in 2005 bereits vor dem Flughafenausbau die Erwartungen zur Wohnsituation nach dem Ausbau die Fluglärmbelästigung bzw. bedingten sich beide Größen gegenseitig [101]. Sieben Jahre vorher (1998) war in einer Untersuchung von Kastka [79] der Anteil hoch Fluglärmbelästigter am Frankfurter Flughafen bei vergleichbarem L_{dn} sogar noch höher als in der RDF-Belästigungstudie (vgl. Fig. 4-3). In dem Jahr wurden die Ausbauplanungen erstmals angekündigt, die Ankündigung erfolgte aber vor der Untersuchung von Kastka. Es ist gut möglich, dass bereits zu diesem Zeitpunkt die ersten Überschussreaktionen in der Belästigung auftraten. Die Fluglärmbelästigung ist trotz des nachgewiesenen Erwartungseffekts nicht gestiegen. Es lässt sich aus der bisherigen zeitlichen Entwicklung am Flughafen nicht schließen, ob und mit welchem weiteren zusätzlichen Überschuss in der Fluglärmbelästigung künftig am Frankfurter Flughafen zu rechnen ist. Es wird davon ausgegangen, dass etwaige Überschussreaktionen in der Fluglärmbelästigung aufgrund des Flughafenausbaus schon längst im Gange sind und daher eine weitere Quantifizierung zusätzlich zur bestehenden, in der RDF-Belästigungsstudie für das Jahr 2005 ermittelten Belastungs-Wirkungsbeziehung nicht möglich ist und auch nicht nötig erscheint.

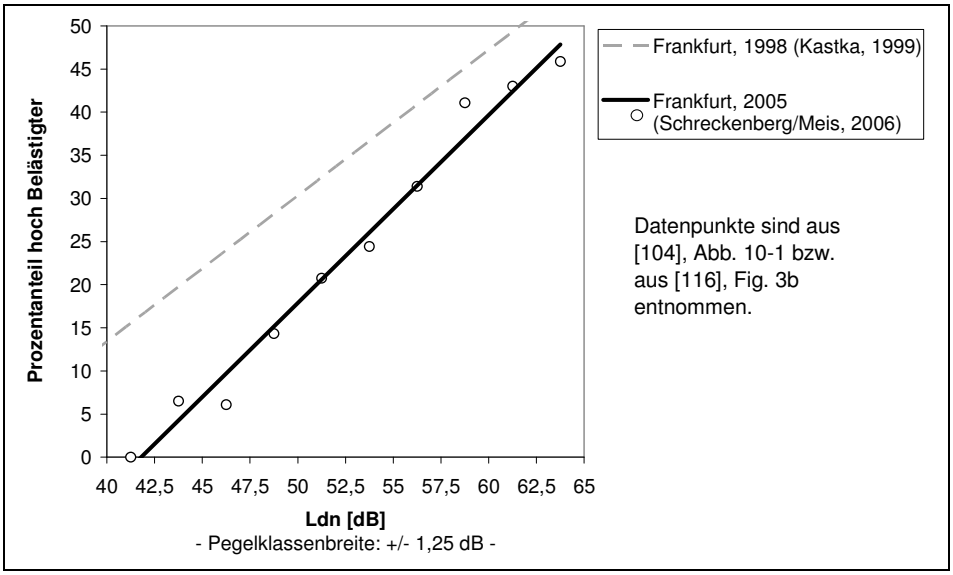


Fig. 4-3: Vergleich des Anteils hoch Fluglärmbelästigter am Frankfurter Flughafen bezogen auf den L_{dn} erhoben 1998 ([79], Datenpunkte bezogen auf den L_{dn} aus [116], Fig. 3b) und 2005 [104].

4.5.2.3. Überschussreaktionen aufgrund von Schallschutzmaßnahmen

Hinsichtlich der Wirkung von Schallschutzmaßnahmen auf die Lärmbelästigung existieren Daten, die (im positiven Sinne) für das Vorliegen von Überschusseffekten in der Belästigung sprechen. Bei der Lärmminderung durch eine Schallschutzwand in der Stadt Magdeburg wurde z.B. als Effekt der Maßnahme ein "Wandbonus" (stärkere Belästigungsreduktion als erwartet) von 2 dB ermittelt [83]. Kastka und Kollegen fanden sogar 12 Jahre nach Errichtung von Schallschutzwänden an Autobahnen einen

"Wandbonus", der im Durchschnitt einer zusätzlichen Pegelreduktion im 16-Stunden-Mittelungspegel von etwa 6 dB entsprach, obwohl in diesem Zeitraum die Verkehrsmenge anstieg [81]. Der Bonus war nicht bei den Zuzüglern sondern vor allem bei den alteingesessenen Anwohnern zu finden, die bereits die Vorher-Situation ohne Schallschutzwand kannten.

Kastka [80] evaluierte eine Flugroutenveränderung (Einführung der FOX-Route im Jahr 2001) am Frankfurter Flughafen. Untersucht wurde hierbei allerdings nicht die Fluglärmbelästigung, sondern die von Untersuchungspersonen mittels eines digitalen Erfassungsgeräts registrierten unzumutbaren Störwirkungen einzelner Überflüge. Insgesamt war die Störwirkung je Überflugpegel im Jahre 2001 nach Einführung der Route geringer als anhand der Vorherdaten aus 2000 erwartet, allerdings fiel der Unterschied je nach Untersuchungsort sehr unterschiedlich aus: Deutliche Absenkung der Störwirkung in den Gemeinden Wicker und Naurod, dagegen eine Anhebung der Störwirkung in den Gemeinden Wallau und Breckenheim, wobei diese Ergebnisse nicht systematisch mit einer Zu- oder Abnahme der Zahl stündlicher Überflüge in den Untersuchungszeiten im Jahre 2001 gegenüber den Zeiten im Jahre 2000 korrespondierten (Tab. 4-7 und Fig. 8-4).

Tab. 4-7 Anzahl der Überflüge pro Stunde in den Untersuchungsgebieten der Kastka-Studie zur FOX-Route [80].

Gemeinde	Überflüge/h			Zu-/ Abnahme der Störwirkung
	2000	2001	Zu-/Abnahme in %	
Wicker	7,13	8,47	19%	↓
Wallau	5,69	2,93	-49%	↑
Breckenheim	2,35	2,78	18%	↑
Naurod	5,24	3,58	-32%	↓
Mittel	5,10	4,44	-11%	-

Das Beispiel der FOX-Routen-Studie soll zeigen, dass ein Überschusseffekt in der Belästigungsreduktion durch (aktive) Lärmschutzmaßnahmen im Vorfeld schwer kalkulierbar ist. Die Forschung zeigt, dass mit einem solchen Effekt zu rechnen ist. Wie hoch dieser Effekt – gerade im Gesamtkontext eines Flughafenausbaus – ausfällt, ist derzeit nicht seriös quantifizierbar.

Gleichwohl können Überschussreaktionen in der Lärmbelästigung an Flughäfen im Änderungskontext nicht ignoriert werden und sollten durch periodische Aktualisierung der Belastungs-Wirkungsbeziehung Berücksichtigung finden. Durch ein langfristiges Monitoring wird es zukünftig möglich sein, die Effekte der unterschiedlichen Belastungsänderungen (durch Ausbau vs. Schallschutzmaßnahmen) zu modellieren, bzw. auftretende Überschussreaktionen zu quantifizieren. Ein entsprechendes Monitoring ist als Maßnahmenevaluation auch im Hinblick auf das Ziel der Effizienzsteigerung von Lärmschutz bezogenen Investitionen anzuraten.

4.6. Aufwachreaktionen

4.6.1. Fragen F1 bis F3

Nr.	Frage(n)
F1	In der Konzeption des Nachtindexes bleibt unberücksichtigt, dass […] sich Aufwachwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit des Zeitpunktes eines Ereignisses, bzw. in Abhängigkeit des zeitlichen Abstands zwischen den Ereignissen unterscheiden. Lässt sich einschätzen, wie hoch die Verzerrung der Indexergebnisse ohne Berücksichtigung {der zeitlichen Abhängigkeit in den Aufwachreaktionen} ist?
F2	{Ist} vor dem Hintergrund der mit dem Index verfolgten Ziele eine Änderung der bisherigen Konzeption […] erforderlich?
F3	Welche Eckpunkte sollten dabei berücksichtigt werden?

4.6.2. Antworten zu F1 bis F3

Es ist richtig, dass in der Vergangenheit neben dem Maximalpegel eines Fluggeräuschs viele akustische, situative und individuelle Faktoren identifiziert wurden, welche die Aufwachwahrscheinlichkeit ebenfalls signifikant beeinflussen [9], [10], [15], [18], [23] & [85]. Beispiele dafür sind:

- Akustische Faktoren: Geräuschdauer, Pegelanstiegssteilheit, Hintergrundpegel
- Situative Faktoren: Aktuelles Schlafstadium, verstrichene Schlafzeit, Geräuschnummer innerhalb der Nacht, geräuschfreies Intervall
- Individuelle Faktoren: Alter, Geschlecht, Belästigung durch Fluglärm

Demnach kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass Reaktionen auf aufeinander folgende Fluggeräusche unabhängig voneinander sind. Auch in Zukunft werden weitere akustische, situative und individuelle Faktoren mit Einfluss auf die Aufwachwahrscheinlichkeit identifiziert werden. In der Belastungs-Wirkungsbeziehung des DLR, die auch bei der Berechnung des FNI Anwendung findet, wurde neben dem Fluggeräusch-Maximalpegel der Hintergrundpegel, das aktuelle Schlafstadium und die verstrichene Schlafzeit berücksichtigt. Zur Berechnung der Belastungs-Wirkungsbeziehung wurden die Werte so gewählt, dass Aufwachwahrscheinlichkeiten eher überschätzt werden, um auch empfindliche Menschen zu schützen (Hintergrundpegel = 27.1 dB [Median], oberflächlichstes Schlafstadium = S2, verstrichene Schlafzeit = 300.5 Minuten [Mitte der 2. Nachthälfte]).

Grundsätzlich können weitere erklärende Variablen für die Prognose der Aufwachwahrscheinlichkeit genutzt werden. Für diese Variablen muss kein fester Wert angenommen werden. Wenn z.B. Informationen über die verstrichene Schlafzeit in Abhängigkeit von der Uhrzeit vorliegen, könnte diese zur Berechnung der Aufwachwahrscheinlichkeit genutzt werden. Dann würden mehrere Belastungs-Wirkungsbeziehungen zwischen Maximalpegel und Aufwachwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der verstrichenen Schlafzeit existieren. Ähnliches ist z.B. im Zürcher Fluglärmindex vorgesehen. Letztlich steigt durch das oben beschriebene Vorgehen die Präzision der Prognose, und die Wahrscheinlichkeit systematischer Verzerrungen wird verringert. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass einige

Einflussfaktoren entweder unbekannt (z.B. Hintergrundpegel am Immissionspunkt) oder selbst mit Unsicherheiten behaftet sind (z.B. Ungenauigkeit in der Prognose der verstrichenen Schlafzeit). Letztlich kann durch die Kombination von Unsicherheiten in der Prognose einzelner Einflussfaktoren wiederum eine Verzerrung in der Aufwachwahrscheinlichkeits-Prognose entstehen.

Eine Abschätzung des Ausmaßes der Verzerrung der Indexergebnisse bedingt durch die Nicht-Berücksichtigung der zeitlichen Struktur der Fluggeräusche ist grundsätzlich möglich, kann im Rahmen dieses Gutachtens jedoch nicht geleistet werden. Da der FNI auf der DLR Belastungs-Wirkungsbeziehung beruht, besitzt er als solcher jedoch zumindest eine innere Konsistenz: Durch die niedrige Wirkschwelle, den streng monotonen Anstieg der Belastungs-Wirkungsbeziehung und die Berücksichtigung jedes einzelnen Fluggeräuschs mit Maximalpegel oberhalb der Wirkschwelle ist gewährleistet, dass das prognostizierte Ausmaß der Schlafstörung mit weniger und leiseren Fluggeräuschen abnimmt und mit mehr und lauteren Fluggeräuschen zunimmt. Aus diesem Grund und vor dem Hintergrund der mit dem Index verfolgten Ziele halten die Gutachter eine Änderung der bisherigen Konzeption nicht für erforderlich.

Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass komplexere Modelle zur Vorhersage von Fluglärmwirkungen auf den Schlaf bereits existieren [3] & [15]. In diesen Modellen wird neben dem Maximalpegel auch die zeitliche Struktur der Fluggeräusche und die verstrichene Schlafzeit berücksichtigt. Zudem beschränkt sich die Vorhersage nicht auf Aufwachreaktionen. Vielmehr ist eine Vorhersage der kompletten Schlafstruktur einschließlich Schlafstadienwechsel möglich. Neben dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn könnten diese Modelle dazu genutzt werden, nächtlichen Flugverkehr dahingehend zu optimieren, dass die Schlafstruktur der von Fluglärm betroffenen Anwohner möglichst wenig beeinträchtigt wird. Letztlich handelt es sich hierbei ebenfalls um ein Verfahren des aktiven Schallschutzes, allerdings ohne am Fluggerät oder in bestehende Flugverfahren eingreifen zu müssen.

4.7. Praktikabilität der vorgeschlagenen Indices

4.7.1. Frage G1

Nr.	Frage(n)
G1	Welche Konzeption {resp. welcher Index} ist unter Praktikabilitätsgesichtspunkten vorzugswürdig?

4.7.2. Antworten zu Frage G1

Wenn unter Praktikabilität Anwendbarkeit, Umsetzbarkeit und Praxistauglichkeit gemeint ist, kann vordergründig keinem der Indices der Vorzug gegeben werden, denn der Arbeitsaufwand unterscheidet sich zwischen den vom RDF vorgeschlagenen Indices und den im PFB verfügten Berechnungen nur marginal. Sowohl bei den Indices als auch bei den PFB-Kriterien müssen nämlich Mittelungspegel (für FFI, Tag- und Nachtschutzzonen) und Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen (für FNI und Nachtschutzzone) berechnet werden.

Anwendbarkeit, Umsetzbarkeit und Praxistauglichkeit hängen aber stark davon ab, wie weit hinaus gerechnet werden muss. Denn je größer der Berechnungsausschnitt wird, umso größer wird auch der Aufwand. Bei den gesetzlich vorgeschriebenen Belastungsrechnungen des PFB wird das relevante Belastungsniveau durch die Schutzzonen des Tages und der Nacht sowie die sonstigen abwägungsrelevanten Fluglärmwerte gegeben ([69] Kapitel 6.1.3 ff). Die tiefsten zu berücksichtigenden Werte sind dabei am Tag ein 16-Stunden-Mittelungspegel von 50 dB, in der Nacht ein 8-Stunden-Mittelungspegel von 45 dB (vgl. Kapitel 3.4.4 Tab. 3-5).

Geht man davon aus, dass die Abbruchkriterien für FTI und FNI bei Pegelwerten von tags 46 dB und nachts 37 dB liegen sollten (AK1 in Fig. 4-2) und dass pro Dezibel die umschlossene Fläche um ca. 20% zunimmt, so stellt vor allem die Ermittlung des FNI einen nicht unerheblichen Mehraufwand dar, der hauptsächlich wegen der Erhebung der An- und Abflugwege in größeren Distanzen und wegen der Erhebung der Bevölkerungszahlen entsteht.

Das Problem der An- und Abflugrouten könnte entschärft werden, wenn für die Belastungsrechnungen direkt Radardaten verwendet würden wie im Falle der Berechnung des ZFI mit FLULA2. Für Prognoserechnungen ist dies jedoch nicht möglich. Deshalb sollte überlegt werden, ob neben den in Kapitel 4.4.2 aufgeführten Gründen aus Sicht des Schlafforschers nicht auch aus Praktikabilitätsgründen die Berechnung des FNI bei 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen abgebrochen werden sollte, was einer zusätzlichen Aufwachreaktion jede zweite Nacht resp. einem 8-Stunden-Nachtmittelungspegel von ca. 51 dB entsprechen würde.

5. Abschließende Würdigung

5.1. Generelle Würdigung

5.1.1. Fragen

Nr.	Frage(n)
I	Ist ein regionaler Index aus wissenschaftlicher Sicht geeignet als Instrument zur Beurteilung von Lärmentwicklungen aufgrund der Änderung von Zahl, Ort und Art der Überflüge?
II	Sind die hierfür vorgelegten Vorschläge geeignet?
III	Welche Modifikationen werden ggf. als erforderlich angesehen?

5.1.2. Antworten

Zu I, II und III: Solange das angewendete Fluglärmberechnungsverfahren die Änderungen im Flugbetrieb abbilden kann, können dies die wirkungsbezogenen Lärmindices wie FFI resp. FTI oder FNI resp. FSI auch, wobei die von den Gutachtern in den Empfehlungen vorgeschlagenen Modifikationen zu beachten sind.

5.2. Empfehlungen

5.2.1. Vorbemerkungen

Aus Sicht der Gutachter sind wirkungsbezogene Indices zur Charakterisierung eines bestimmten Lärmbelastungszustandes resp. zum Vergleich verschiedener Belastungszustände sinnvoll und empfehlenswert. Ihre Stärke ist es, einerseits die Lärmwirkung eines bestimmten Belastungszustandes in einer Einzahlgröße auszudrücken. Andererseits werden alle Personen erfasst, welche sich nach objektiven Maßstäben durch den Fluglärm hoch belästigt fühlen oder stark gestört sind. Von diesen Personen wird niemand ausgeschlossen, was anhand der Beurteilung nach dem Gesetz nicht der Fall ist. Die vom RDF präsentierten Ansätze zeigen hier den richtigen Weg auf. Grundsätzlich lassen sie sich wie vorgeschlagen anwenden, wobei aus wissenschaftlichen Gesichtspunkten gewisse Modifikationen und Anpassungen angebracht sind. Diese münden in konkrete Empfehlungen, welche sich aus der Beantwortung der Fragen in Kapitel 4 ableiten lassen resp. sich aus den durch die Fragen ausgelösten Diskussionen ergeben. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Empfehlungen wie folgt thematisch gegliedert:

- Allgemeine Empfehlungen.
- Empfehlungen zum Berechnungsverfahren bzw. zur Berechnungsmethode.
- Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Belästigung im Wachzustand.
- Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Schlafstörung.

Neben dieser thematischen Gliederung werden die Empfehlungen in zwei Kategorien unterteilt. Die eine Kategorie umfasst Empfehlungen, die aus Sicht der Gutachter umgesetzt werden müssen. Die Empfehlungen der zweiten Kategorie sind dagegen nicht zwingend umzusetzen, sollten aber bei der Realisierung der Indices gebührend berücksichtigt werden. Die entsprechende Kategorisierung oder Priorisierung findet sich in Kapitel 5.2.6 in tabellarischer Form.

5.2.2. Allgemeine Empfehlungen

A) Ein wirkungsbezogener Index zur Beschreibung der Belästigung und/oder Schlafstörung ist zu empfehlen. Er ist einer rein deskriptiven Beschreibung der Anzahl von Personen je dB-Klasse vorzuziehen.

B) Die Gutachter empfehlen anstelle des 24-Stunden-Indexes FFI zwei getrennte Indices zu verwenden, welche die Belästigung durch Fluglärm am Tag (nachfolgend durch den Index FTI ausgedrückt) und die Störung des Schlafes während der Nachtzeit (FNI) beschreiben. Jeder Index sollte separat die Zielvorgabe abbilden (gemäß ALP eine zehnprozentige Reduktion gegenüber dem Planungsfall 2020). Sollte man sich dazu entscheiden, die beiden Indices FTI und FNI gemäß den Anmerkungen in Kapitel 4.3.2 zu einem einzigen Index zu vereinen, halten es die Gutachter für unabdingbar, dass in jedem Fall FTI und FNI separat ausgewiesen werden.

C) Eine Lärmobergrenze auf der Basis von wirkungsbezogenen Größen ist aus Sicht der Gutachter sinnvoll. An welchem Belastungsszenario diese Grenze gemessen werden soll und ob die angestrebte Reduktion von 10% sinnvoll ist, muss dagegen auf gesellschaftspolitischer Ebene diskutiert und entschieden werden.

D) Zur Vermeidung von Missverständnissen und für eine klare und eindeutige Indexbeschreibung sowie für die Festlegung der durch die Indices verfolgten Ziele ist es wichtig, dass die verwendeten Ausdrücke und Begriffe wie Belastung, Betroffenheit, Belästigung, Störung, etc. konsequent unterschieden und im richtigen Kontext gebraucht werden. Das Glossar in Kapitel 6.1 kann hier eine Hilfe sein.

5.2.3. Empfehlungen zum Berechnungsverfahren bzw. zur Berechnungsmethode

E) Zur Berechnung der jährlichen Indices müssen die aktuellen Einwohnerzahlen benutzt werden. Die jährliche Erhebung der Einwohnerzahlen dient dazu, den Einfluss in der räumlichen Veränderung der Wohnbevölkerung auf die Indices zu quantifizieren. Der Mechanismus wird im Anhang Kapitel 8.5 anhand eines Beispiels gezeigt.

F) Heutige Berechnungsverfahren können aktive Schallschutzmaßnahmen nur grob und pauschal modellieren. Grundsätzlich sind größere Eingriffe in die bestehenden Berechnungsverfahren und eine erhebliche Verbesserung der Datenlage nötig, damit das angestrebte Controlling aktiver Schallschutzmaßnahmen zielführend wird. Dies gilt auch dann, wenn anstelle der vorgeschlagenen Indices belastungsorientierte Kennwerte (Pegelmaße) verwendet werden. Bis jedoch neue, geeignete Verfahren entwickelt und auf ihre Praxistauglichkeit geprüft sind, können die bestehenden Berechnungsverfahren angewendet werden, wobei zwingend eine Aussage zur Berechnungsunsicherheit gemacht und diese bei der Beurteilung des Reduktionspotenzials aktiver Schallschutzmassnahmen berücksichtigt werden muss.

G) Belastungs-Wirkungsbeziehung und Fluglärmberechnungsverfahren bilden eine Einheit. Ändert sich das Berechnungsverfahren, muss auch die Belastungs-Wirkungsbeziehung neu berechnet werden. Deshalb empfehlen die Gutachter sich zuerst mit der Frage des geeigneten Berechnungsverfahrens auseinanderzusetzen (vgl. Empfehlung F), bevor die Belastungs-Wirkungsbeziehung festgelegt wird.

H) Falls an der situativen Anpassung des Berechnungsverfahrens festgehalten wird, ist zu überprüfen, ob nach jeder Anpassung die Indices rückwirkend sowohl für die Vorjahre als auch den Planungsfall 2020 neu berechnet werden müssen. Nur so lässt sich die Vergleichbarkeit in der Darstellung der Lärmwirkung und Maßnahmenbewertungen über die Jahre sicherstellen. Der Mechanismus wird im Anhang Kapitel 8.5 gezeigt.

I) Allfällig umgesetzter passiver Schallschutz sollte nur bei der Ermittlung des Nachtindexes berücksichtigt werden (vgl. Empfehlung Q), indem pro saniertem Objekt die Einfügungsdämpfung in einer Datenbank erfasst wird.

J) Bei der Indexberechnung sollte die Unsicherheit der zugrunde liegenden Belastungsrechnung berücksichtigt werden. In [111] werden methodische Ansätze dazu geliefert.

K) Die Validierung der vorgeschlagenen Indices lässt sich nur über die Validierung der Belastungsrechnung erreichen. Dazu werden unabhängige akustische Messungen benötigt. Die Gutachter empfehlen bestehende Messstationen dafür einzusetzen, wobei die in [36] & [111] gemachten Vorgaben gebührend zu berücksichtigen sind.

5.2.4. Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Belästigung im Wachzustand

L) Die für den FFI vorgeschlagene Belastungs-Wirkungsbeziehung ist auf die regionale Situation am Frankfurter Flughafen abgestimmt. Sie sollte jedoch nicht über die 24 Stunden eines Tages sondern nur über die Tagesstunden von 06 bis 22 Uhr angewendet werden. Entsprechend ist als akustisches Maß nicht mehr der Tages-Nacht-Pegel L_{dn} sondern der über 16 Stunden gemittelte Dauerschallpegel zu verwenden. Die Gutachter empfehlen deshalb den FFI durch den FTI zu ersetzen, welcher sich zwar wie der FFI nach Eq. 4 berechnen lässt, jedoch zur Bestimmung der *%HA* Eq. 6 benutzt werden muss.

M) Die Gebietsabgrenzung sollte für den FTI wie beim FNI (vgl. Empfehlung T) wirkungsseitig festgelegt werden. Als Abbruchkriterium wird ein HA-Anteil vorgeschlagen, der zwischen der Ansprechschwelle (0% HA) und der abwägungsrelevanten Schwelle von 25% HA liegt. Ein pragmatischer Ansatz wäre die Festlegung des Abbruchkriteriums bei einem HA-Anteil von 12,5%, was einem 16-Stunden-Mittelungspegel von 46 dB entspricht. Praktikabel wäre auch ein HA-Anteil von 20%. Dieser Wert sollte jedoch zur Festlegung eines Abbruchkriteriums nicht überschritten werden.

N) Eine Quantifizierung von möglichen Überschussreaktionen im FTI ist zum jetzigen Zeitpunkt aus wissenschaftlicher Sicht nicht möglich. Jedoch empfehlen die Gutachter eine periodische Überprüfung (beispielsweise alle zwei Jahre) der gewählten Belastungs-Wirkungsbeziehung.

O) Die höhere Belästigung zu den morgendlichen Randstundenzeiten (06 bis 08 Uhr) sollte in Anlehnung an den ZFI durch einen gesonderten Pegelzuschlag berücksichtigt werden. Die Höhe des Pegelzuschlags ist jedoch noch zu ermitteln.

5.2.5. Empfehlungen bezüglich eines Indexes zur Ermittlung der Schlafstörung

P) Aus Sicht der Gutachter wäre es für eine exaktere Beschreibung von Fluglärmwirkungen auf den Schlaf optimal, wenn für jede Stunde zwischen 20 Uhr abends und 11 Uhr morgens die Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen ermittelt und anschließend mit dem Anteil der sich im Bett befindlichen Bevölkerung gewichtet würde, bevor eine weitere Gewichtung mit der Bevölkerungsdichte am Immissionspunkt erfolgt. Nur so ist eine Berücksichtigung von Bettzeiten der nicht erwachsenen Bevölkerung möglich. Eine Unterscheidung in Werktage und Wochenenden erscheint zudem sinnvoll.

Q) Bei der Bestimmung des FNI sollte der passive Schallschutz berücksichtigt werden. Passiver Schallschutz kann wesentlich zur Entlastung von Flughafenanwohnern beitragen, die sich in der Nacht vorwiegend im Schlafraum aufhalten. Nur bei Berücksichtigung von passivem Schallschutz hat der Flughafen überhaupt die Möglichkeit und damit auch ein Interesse, den FNI durch die Gewährung von passivem Schallschutz über das gesetzlich bzw. im Planfeststellungsbeschluss vorgesehene Maß hinaus zu senken.

R) Die Kompensation von Flügen innerhalb der Mediationsnacht durch weniger Flüge außerhalb der Mediationsnacht lässt sich mit dem FNI vollständig beschreiben. Bezüglich eines wirkungsäquivalenten Ausgleichs ist jedoch zu fordern, dass es trotz Flügen in der Mediationsnacht zu keinem Anstieg des FNI kommt.

S) Bei der Anzahl durch Fluglärm zusätzlich hervorgerufener Aufwachreaktionen handelt es sich um einen geeigneten Indikator für fluglärmbedingte Schlafstörungen. Die im FNI verwendete, auf der DLR-Feldstudie beruhende Belastungs-Wirkungsbeziehung gemäß Eq. 7 entspricht dem Stand des Wissens und wird durch andere Studien gestützt. Sie ist jedoch nicht auf die regionale Situation am Frankfurter Flughafen abgestimmt. Deshalb sollte zuerst überprüft werden, ob die Wirkungsbeziehung auf die Verhältnisse in Frankfurt anwendbar ist. Falls nicht, sollte sie angepasst werden. In jedem Fall empfehlen die Gutachter eine periodische Überprüfung (beispielsweise alle vier Jahre) der Belastungs-Wirkungsbeziehung.

T) Die Gutacher unterstützen den Vorschlag des RDF, die Gebietsabgrenzung für den FNI wirkungsseitig bei 0,5 zusätzlichen Aufwachreaktionen festzulegen. Die Abschätzung der Auswirkungen dieser Entscheidung bedarf jedoch weiterer Detailanalysen.

5.2.6. Kategorisierung und Priorisierung der Empfehlungen

Die in den vorangegangenen Kapiteln gemachten Empfehlungen werden in zwei Kategorien unterteilt:

(Muss) Die entsprechenden Empfehlungen sind umzusetzen.

(Soll) Es ist wünschenswert, dass die entsprechenden Empfehlungen umgesetzt werden.

Nachfolgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung. Der Übersichtlichkeit halber werden nur die alphabetische Nummerierungen der Empfehlungen aufgeführt. Die Reihenfolge entspricht den Prioritäten, welche die Gutachtern den Empfehlungen geben.

Tab. 5-1 Kategorisierung und Priorisierung der Empfehlungen

Themen	Kapitel	**Muss**	Soll
Allgemein	5.2.2	**A, B, C**	D
Berechnungsverfahren / Berechnungsmethode	5.2.3	**E, F, G, H, I**	J, K
Index zur Ermittlung der Belästigung im Wachzustand	5.2.4	**L, M**	N, O
Index zur Ermittlung der Schlafstörung	5.2.5	**P, Q, R**	S, T

5.3. Schlussbemerkung und ein Blick in die Zukunft

Das RDF hat zur Beschreibung und Bewertung der Fluglärmsituation in der Region am Frankfurter Flughafen die zwei Fluglärmindices FFI und FNI vorgeschlagen, welche die in Kapitel 2.1.2. aufgelisteten Anforderungen erfüllen sollen.

Der FFI und der FNI sind keine physikalischen Belastungsgrößen, sondern wirkungsbezogene Lärmindices. Mit ihnen werden die Anzahl hoch fluglärmbelästigter Personen (FFI) bzw. die Anzahl zusätzlicher, fluglärminduzierter Aufwachreaktionen (FNI) erfasst. Diese Größen sind weitaus verständlicher als abstrakte Dezibelwerte bzw. energieäquivalente Dauerschallpegel oder gewichtete Mittelungspegel wie der Tag-Nacht-Pegel L_{dn} oder der Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den}. Damit erfüllen die Indices FFI und FNI die Anforderung der transparenten Darstellung der Fluglärmsituation (Anforderung 1).

Die Modellrechnungen des RDF zeigen, dass mit beiden Indices die Auswirkungen aktiver Schallschutzmaßnahmen im Rahmen der technischen Möglichkeiten, welche die AzB bietet, abgebildet und in eine vernünftige Rangfolge gebracht werden können, so dass die Anforderungen 2 und 3 ebenfalls unter gewissen Einschränkungen als erfüllt angesehen werden können. Allerdings hängt das so ermittelte Reduktionspotenzial aktiver Schallschutzmaßnahmen stark von der FFI-Gebietsabgrenzung ab. Die Konsequenzen der Perimeterwahl werden im vorliegenden Gutachten aufgezeigt und Vorschläge zu deren Festlegung unterbreitet. Die definitive Festlegung kann jedoch nicht Aufgabe der Wissenschaft sein, sie ist vielmehr Gegenstand eines gesellschaftspolitischen Entscheidungsprozesses.

Die Definition einer regionalen Lärmobergrenze, deren Überschreitung Handlungsbedarf auslöst, ist mit Hilfe der Indices ebenfalls möglich (Anforderung 4). Die Verwendung der wirkungsbezogenen Indices FFI (bzw. in Abwandlung FTI) und FNI hierfür wird von den Gutachtern begrüßt, da damit zum Ausdruck gebracht wird, worauf sich eine Lärmobergrenzen-Definition überhaupt beziehen soll, nämlich auf den Schutz der Anwohner vor negativen Wirkungen des Lärms. Am Flughafen Zürich wird der Zürcher Fluglärmindex ZFI ebenfalls zur Obergrenzendefinition verwendet. Die Obergrenze entspricht dort dem Richtwert in Abgrenzung zu dem jährlich ermittelten Monitoringwert. Die definitive Festlegung einer regionalen Lärmobergrenze ist aber auch hier einem gesellschaftspolitischen Entscheidungsprozess unterworfen, wobei die Erkenntnisse im Bereich der Lärmwirkungsforschung zu beachten sind.

Insgesamt stellen die Indices FFI und FNI gute Ansätze dar. Die ersten beiden Teile der Leitfragestellung für dieses Gutachten (vgl. Kapitel 2.1.3.), ob ein regionaler Index aus wissenschaftlicher Sicht grundsätzlich als Instrument zur Beurteilung der Lärmentwicklungen geeignet ist und ob die hierfür vorgelegten Vorschläge geeignet sind, kann unter der Voraussetzung, dass das zur Anwendung kommende Fluglärmberechnungsverfahren die Belastungsentwicklung abbildet, grundsätzlich bejaht werden. Allerdings sollten Belästigung und Schlafstörung nur dann in einem einzigen Index integriert werden, wenn gleichzeitig Schlafzeit und Schlafdichte berücksichtigt werden.

In jedem Fall sollten die beiden Lärmwirkungen Belästigung (mit dem FTI statt FFI) und Schlafstörung (mit dem FNI) zusätzlich immer auch getrennt ausgewiesen werden, so wie es auch beim ZFI gehandhabt wird. Nur so ist sichergestellt, dass eine Zunahme in der Belästigung nicht durch weniger Schlafstörungen kompensiert wird und umgekehrt. Denn Schlafstörungen und Belästigung sind unterschiedliche Lärmwirkungen, die nicht gegeneinander aufgewogen werden sollten. Eine Zielvorgabe zur Reduktion der Beeinträchtigung durch Fluglärm sollte sich auf beide Wirkungsbereiche getrennt beziehen. Entsprechend sollte jeder Index separat die Zielvorgabe zur Reduktion der Beeinträchtigung durch Fluglärm abbilden.

Im Hinblick auf den dritten Teil der Leitfragestellung, der nach allfälligen Modifikationen fragt, sind Verbesserungsmöglichkeiten anzuführen, wie die Wahl des 16-Stunden-Mittelungspegels anstelle des Tag-Nacht-Pegels L_{dn} (FTI statt FFI) und die Ausweitung des Betrachtungszeitraumes für den FNI von 20 Uhr bis 11 Uhr. Eine wichtige Voraussetzung für die Bildung eines einzigen Indexes anstelle von zwei getrennten Indices wären die stundenweise Betrachtung der Wirkung des Fluglärms auf die Belästigung und Schlafstörung unter Berücksichtigung des Anteils der Personen die zur betreffenden Stunde schlafen bzw. wach sind. Ein entsprechendes Vorgehen stellt denn auch für die Gutachter eine optimale wirkungsbezogene Beurteilung von Flugbetriebsszenarien dar. Es sollte angestrebt werden.

Sowohl in der Zielsetzung als auch in der Zusammensetzung der Indices FFI (resp. FTI) und FNI gibt es große Ähnlichkeiten zum Zürcher Fluglärmindex. Die Gutachter schlagen deshalb vor, hier eine Harmonisierung anzustreben, so dass die Indices nicht nur eine regionale Gültigkeit aufweisen, sondern langfristig zu international anerkannten Größen zur Beschreibung von Fluglärmwirkungen weiterentwickelt werden können. Zumindest sollte geprüft werden, ob nicht die an beiden Flughäfen gewonnenen Erfahrungen mit den jeweiligen Indices zusammengetragen und die Weiterentwicklung unter Einbindung der relevanten Experten gemeinsam vorangetrieben werden können.

6. Glossar

6.1. Begriffe

Ansprechschwelle (→) Wirkschwelle.

Aufwachreaktion Abkürzung: AWR. Menschliche Reaktion auf Lärm während des Schlafs. Als AWR werden Änderungen der Schlaftiefe von den Stadien S1, S2, S3, S4 oder REM-Schlaf in das Stadium Wach bezeichnet, welche mindestens 15 Sekunden dauern. Nur wenige AWR führen zu einer bewussten Wahrnehmung. Pro Nacht (8 Stunden) erfolgen ca. 24 AWR spontan, ohne Lärm.

Beeinträchtigung Allgemeiner Begriff für die Folge der Lärmbelastung einer Bevölkerung, welche die (→) Belästigung und die (→) Störung umfasst.

Belästigung Belästigung (englisch: *annoyance)* bezeichnet eine psychische Lärmreaktion von Personen und damit eine Lärmwirkung. Nach der von Guski et al. [65] zusammengetragenen Einschätzung vieler internationaler Lärm-Experten bedeutet „Lärmbelästigung“ die Verärgerung, unerwünschte Geräusche zu hören und das Gefühl, durch diese Geräusche gestört zu werden, ohne sie wirksam bewältigen zu können und entsprechend gegen die Quelle relativ machtlos zu sein. Im politischen Kontext wird die globale Lärmbelästigung definiert als “Gefühl der Verärgerung, des Missfallens, des Unbehagens, der Unzufriedenheit oder eines Verstoßes, das auftritt, wenn Lärm die Absichten, Gefühle oder Aktivitäten einer Person stört“ [68]. Die Belästigung gilt als ein Hauptindikator für die (→) Beeinträchtigungen durch Lärm in Wachphasen. Zu diesen Beeinträchtigungen zählen Störungen der Kommunikation, Ruhe, der Konzentration bzw. Unterbrechung mentaler Tätigkeiten.

Die Lärmbelästigung wird in der Regel in Befragungen als ein Urteil auf einer mehrstufigen Antwortskala erhoben; die jeweiligen Antwortstufen geben dabei die Reaktionsstärke bzw. das Ausmaß der Belästigung wieder. In den letzten Jahren haben internationale Standardisierungsbestrebungen der *International Commission on the Biological Effects of Noise* (ICBEN) zur Empfehlung der Verwendung von zwei Belästigungsfragen geführt [47] & [75], die auch in der RDF-Belästigungsstudie verwendet wurden. Eine der beiden Fragen wird zur Bestimmung des Anteils hoch Belästigter im FFI benutzt. Sie erfasst die "Fluglärmbelästigung in den letzten 12 Monaten" mittels einer 11-stufigen numerischen Intensitätsskala von 0 = "überhaupt nicht gestört oder belästigt" bis 10 = "äußerst gestört oder belästigt". Eine Person, die auf dieser Skala ihre Belästigung bei 8, 9 oder 10 einstuft, wird als hoch belästigt (engl.: *highly annoyed*) bezeichnet.

Belastung Bezeichnung für die objektiv durch Messung und Anwendung fester Regeln erfasste Einwirkung von Schall auf einen geografischen Ort. Die Schallbelastung wird oft als (→) Pegel in (→) Dezibel (dB) angegeben. Im FFI wird als Pegel der (→) Tag-Nacht-Pegel L_{dn} verwendet.

Betrachtungsperimeter	Durch den Betrachtungsperimeter wird dasjenige Gebiet abgegrenzt, für welches vorgängig (→ Belastung) definierte Untersuchungen gemacht werden. Außerhalb des Perimeters werden keine Erhebungen durchgeführt. Die Grenzziehung erfolgt anhand festgelegter Kriterien.
Betroffene	Als Betroffene werden jene Personen bezeichnet, die einer definierten Lärmbelastung ausgesetzt sind und zwar unabhängig davon, wie diese Lärmbelastung auf sie wirkt, d.h. wie belästigt oder gestört sie durch diese Lärmbelastung sind. Als Betroffene lassen sich ganz generell diejenigen Personen bezeichnen, die sich innerhalb des (→) Betrachtungsperimeters befinden.
Beurteilungspegel	Messgröße der Schallimmission bzw. der (→) Belastung, entstanden aus instrumentellen Resultaten und objektiven Korrekturen, welche Erfahrungen über die besondere Störwirkung bestimmter Geräusche berücksichtigen. Der Beurteilungspegel wird mit *Lr* (*rating level*) bezeichnet und in (→) Dezibel ausgedrückt. Zu den Beurteilungspegeln zählen streng genommen auch der (→) Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} und der (→) Tag-Nacht-Pegel L_{dn}.
Bodenlärm	Schallimmissionen aus dem Betrieb der Flugzeuge auf dem Flughafenvorfeld und den Rollwegen sowie Immissionen von Testläufen und Hilfsaggregaten (APU). Da es sich beim Bodenlärm um örtlich begrenzte und um bodennahe Schallquellen handelt, ist die Schallausbreitung stark abhängig von lokalen Gegebenheiten wie Abschirmungen durch Gebäude und die Topographie sowie von stark veränderlichen Ausbreitungsbedingungen je nach Wetterlage. Diese kleinräumigen Strukturen sind in den großflächigen Fluglärmberechnungsprogrammen nicht enthalten. Bodenlärm wird in der Regel mit denselben Instrumenten erfasst wie beispielsweise Industrie- oder Straßenlärm.
Dezibel	Abkürzung: dB. Das Dezibel ist der zehnte Teil eines Bel. Ein Bel ist definiert als der dekadische Logarithmus des Verhältnisses zweier gleichartiger Größen.
Fluglärm	Durch Flugzeuge erzeugter, unerwünschter Schall. Üblicherweise beginnt der Fluglärm bei Abflügen beim Startpunkt auf der Piste und endet bei einem weit entfernten räumlichen Punkt in der Luft, der keinen Beitrag mehr zur maßgeblichen Lärmbelastung leistet. Was maßgebend ist, sagt dabei in der Regel der Gesetzgeber. Die *European Civil Aviation Conference* (ECAC) grenzt in der Anleitung zur Berechnung von Fluglärm den Begriff folgendermaßen ab [33] & [34]: „Es existiert eine große Zahl von Aktivitäten auf Flughäfen, die zwar Lärm erzeugen, jedoch vom Berechnungsverfahren ausgeschlossen werden. Diese Aktivitäten betreffen Triebwerksprüfungen (*engine testing*), den Gebrauch von Hilfsaggregaten (*auxiliary power units* APU) sowie die Bewegungen auf dem Flugplatzvorfeld und auf den Rollwegen (*taxiing*). Es ist unwahrscheinlich, dass in der Realität diese Effekte einen Einfluss auf die Lärmkonturen in Regionen Außerhalb des Flughafenareals haben.“ Damit schließt die ECAC bei der Ermittlung der Fluglärmbelastung den vom Flugbetrieb am Boden erzeugten Lärm ((→) Bodenlärm) explizit aus.

Frequenz	Häufigkeit pro Zeiteinheit. Im Bereich des Hörens die Häufigkeit, mit der eine vollständige Schwingung pro Sekunde auftritt; Einheit: Hertz Hz.
Genauigkeit	Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Messergebnis und einem wahren Wert der Messgröße. Genauigkeit ist ein qualitativer Begriff und kann nicht direkt auf das Messergebnis angewendet werden.
Hoch Belästigte	Untergruppe der Belästigten, welche ihre (→) Belästigung in den oberen 28% einer Belästigungsskala ansiedeln (z.B. die Angaben 8, 9 oder 10 auf einer 11stufigen Skala) - engl. *Highly Annoyed (HA)*.
Immission	(→) Schallimmission.
Isophonen	Wörtlich übersetzt bedeutet „Isophon“ gleicher (→) Phon-Wert. Der Begriff wird verwendet, um beispielsweise die Linien gleicher Mittelungs- oder gleicher Tag-Nacht-Pegel zu bezeichnen, was im Prinzip nicht korrekt ist. Eine unverfängliche Formulierung wäre: Linien, Konturen oder Kurven gleicher Mittelungspegel oder Niveaulinien mit konstanten Äquidistanzen.
Lärm	Unerwünschter Schall resp. unerwünschtes (meist lautes) Geräusch. Lärm ist ein überwiegend psychologischer Begriff. Lärm kann zu einer Reihe von (→) Störungen führen, bei Andauern auch zu Schädigungen des Gehörs.
Kritischer Toleranzwert	Der Kritische Toleranzwert (KTW) ist Teil eines in der Fluglärmsynopse von Griefahn et al. [57] vorgeschlagenen dreistufigen Systems von Begrenzungswerten für Fluglärm, welches neben dem KTW aus (→) Schwellenwert (SWW) und (→) präventivem Richtwert (PRW) besteht. Der KTW ist der höchste Wert und liegt über dem PRW. Wird der KTW überschritten sind Gesundheitsgefährdungen und/oder -beeinträchtigungen nicht mehr auszuschließen. Kritische Toleranzwerte sind zu unterschreiten. Ihre Überschreitung zwingt zu lärmmindernden Maßnahmen.
Mittelungspegel	Abkürzung: L_{eq}. Pegelangabe für eine längere Zeitperiode, berechnet als Pegel der mittleren (→) Schallintensität während der Messzeit. Weil die Mittelwertbildung über die Schallintensität (Energie pro Sekunde und Quadratmeter) erfolgt und erst nachher der logarithmische Pegel berechnet wird, ist der *Leq* ein "spitzenbetontes Durchschnittsmaß" und nicht zu verwechseln mit einem Durchschnitt des Pegels. Der L_{eq} ist die Basisgröße für die meisten weltweit verwendeten Lärmbelastungsmaße. Das Vorgehen drückt sich in der Bezeichnung aus: "L_{eq}" ist die Abkürzung für "energieäquivalenter Dauerschallpegel". Der Begriff "energieäquivalent" gibt an, dass eine Verdoppelung der Ereignisanzahl die gleiche Wirkung auf die Maßzahl hat wie eine Verdopplung der Energie (+3 dB).
Pegel	Hinweis auf eine bestimmte Darstellungsform akustischer Messgrößen. Die primäre Messgröße wird mit einem Bezugswert verglichen und der Quotient auf einer logarithmischen Skala dargestellt, in Anlehnung an die Funktion des Gehörs. Dies gestattet, einen riesigen Dynamikbereich auf einer handlichen Skala unterzubringen.
Phon	Das Phon ist die Maßeinheit der psychoakustischen Größe Lautstärkepegel. Neben der Lautheit in Sone wird der Lautstärkepegel in Phon dazu benutzt,

die empfundene Lautstärke zu beschreiben, mit der ein Mensch ein Schallereignis als Hörereignis wahrnimmt.

Präventiver Richtwert — Der Präventive Richtwert (PRW) ist Teil eines in der Fluglärmsynopse von Griefahn et al. [57] vorgeschlagenen dreistufigen Systems von Begrenzungswerten für Fluglärm, welches neben dem PRW aus (→) Schwellenwert (SWW) und (→) kritischem Toleranzwert (KTW) besteht. Der PRW liegt zwischen SWW und KTW. Beim PRW handelt es sich um einen Vorsorgewert, bei dessen Einhaltung Gesundheitsgefährdungen weitestgehend ausgeschlossen sind. Der PRW sollte grundsätzlich nicht überschritten werden. Bei Überschreitung besteht Handlungsbedarf. Bezogen auf die Vermeidung erheblicher Lärmbelästigung liegt der PRW bei $L_{Aeq,16h}$ = 62 dB(A). Nach [57] & [58] hat beim Schutzziel "Vermeidung erheblicher Lärmbelästigung" ein Anteil von 25% "erheblich Belästigter" (gemeint ist der Anteil (→) hoch Belästigter) zur Festlegung des PRW geführt.

Schalldruck — Abkürzung: *p*. Zeitliche Änderungen des Luftdrucks; mechanische Schwingungen, die Frequenzanteile im Hörbereich (16 Hz bis 16 kHz) enthalten.

Schallimmission — Akustische Einwirkung, erfasst mittels Messung der (→) Schallintensität an einem Empfangspunkt. Das instrumentelle Ergebnis kann durch weitere objektive Größen ergänzt sein. Wo eine Schallimmission besteht, existiert eine (→) Belastung.

Schallintensität — Abkürzung: *I*. Produkt aus Schalldruck und Teilchengeschwindigkeit. Die Schallintensität drückt den Energietransport durch Schallwellen aus. Sie ist die primäre Beschreibungsgröße des Schalls und hat die Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m^2); traditionellerweise wird die Schallintensität auf einer logarithmischen Skala in (→) Dezibel angegeben.

Schallleistung — Abkürzung: *P*. Schallintensität multipliziert mit einer Fläche; Gesamtenergie, die in alle Richtungen von der Quelle abgegeben wird.

Schallpegel — Abkürzung: *L*. Akustische Messgröße, dargestellt auf einer logarithmischen Skala. Primäre Größe ist das Schalldruckquadrat bzw. die Intensität, im Instrument integriert über eine Zeitkonstante ("slow" S oder "fast" F), unter Verwendung eines Frequenzfilters, welches die Empfindlichkeit des Gehörs grob nachahmt (A-Filter).

Schwellenwert — Der Schwellenwert (SWW) ist Teil eines in der Fluglärmsynopse von Griefahn et al. [57] vorgeschlagenen dreistufigen Systems von Begrenzungswerten für Fluglärm, welches neben dem SWW aus (→) präventivem Richtwert (PRW) und (→) kritischem Toleranzwert (KTW) besteht. Der SWW ist der tiefste Wert und liegt unter dem PRW. Unter Beachtung des Minimierungsgebots sollten Schwellenwerte langfristig angestrebt werden. Schallimmissionen im Bereich des SWW führen zu deutlichen physiologischen und psychologischen Veränderungen, die im jeweiligen Normbereich ablaufende Anpassungs- und Bewältigungsprozesse auslösen. Die Veränderungen sind nachgewiesen, eine wissenschaftliche Prognose über Langzeiteffekte ist

beim heutigen Wissensstand noch nicht möglich. Ein unmittelbarer Handlungsbedarf für Flughäfen/Flugplätze ergibt sich aus diesen Werten nicht.

Spektrum — Angabe zur Verteilung der in einem Geräusch vorliegenden (→) Frequenzen.

Stark Belästigte — (→) Hoch Belästigte.

Störung — Begriff zur Bezeichnung einer Reaktion von Personen auf Lärm, welche sich aus dem Verhalten ablesen lässt (engl. *disturbance*). Das Verhalten kann durch Befragung erfasst werden. Mitunter wird "Störung" auch im Sinne der (→) "Belästigung" verwendet.

Tag-Abend-Nacht-Pegel — Der Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} ist ein in der Umweltrichtlinie der EU von 2002 [41] festgelegtes Lärmmaß, welches sich ebenfalls wie der (→) Tag-Nacht-Pegel L_{dn} auf einen Tageszeitraum von 24 Stunden bezieht, wobei für die Abendzeit von 18 bis 22 Uhr ein Pegelzuschlag in der Höhe von 5 dB, für die Nachtzeit von 22 bis 06 Uhr ein Pegelzuschlag von 10 dB gilt:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg\left(\frac{12}{24} \cdot 10^{\frac{Leq_d}{10}} + \frac{4}{24} \cdot 10^{\frac{Leq_e+5}{10}} + \frac{8}{24} \cdot 10^{\frac{Leq_n+10}{10}} \right)$$

Basisgröße des L_{den} ist der (→) Mittelungspegel *Leq*. Es fließen Mittelungspegel für drei unterschiedliche Verkehrszeiten in die Berechnung ein: Leq_d für den Flugbetrieb in der Zeit von 06 bis 18 Uhr, Leq_e für denjenigen von 18 bis 22 Uhr und Leq_n von 22 bis 06 Uhr. Der L_{den} ist wegen der Korrektur der abendlichen und nächtlichen Mittelungspegel kein physikalisch-akustisches Maß sondern ein Störungsmaß und mit dem (→) Beurteilungspegel vergleichbar.

Tag-Nacht-Pegel — Der Tag-Nacht-Pegel L_{dn} ist ein vor allem in den USA verwendeter, auf einen Tageszeitraum von 24 Stunden bezogener Mittelungspegel mit einem Pegelzuschlag in Höhe von 10 dB für die nächtliche Fluglärmbelastung. In den USA erfolgt die Berechnung des Pegelzuschlags für den Zeitraum von 22 bis 07 Uhr. In Deutschland markiert jedoch der Zeitraum von 22 bis 06 Uhr die gesetzliche Nacht, so dass entsprechend für diesen Zeitraum der Pegelzuschlag bestimmt wird. Der im Rahmen der FFI-Berechnungen verwendete L_{dn} wurde demnach wie folgt ermittelt:

$$L_{dn} = 10 \cdot \lg\left(\frac{16}{24} \cdot 10^{\frac{Leq_d}{10}} + \frac{8}{24} \cdot 10^{\frac{Leq_n+10}{10}} \right)$$

Basisgröße des L_{dn} ist der (→) Mittelungspegel *Leq*. Es fließen Mittelungspegel für zwei unterschiedliche Verkehrszeiten in die Berechnung ein: Leq_d für den Flugbetrieb in der Zeit von 06 bis 22 Uhr und Leq_n von 22 bis 06 Uhr. Der L_{dn} ist wegen der Korrektur des nächtlichen Mittelungspegels kein physikalisch-akustisches Maß sondern ein Störungsmaß und mit dem (→) Beurteilungspegel vergleichbar.

Überschussreaktion	Mit "Überschussreaktionen" ist gemeint, dass Belästigungsreaktionen stärker oder schwächer ausfallen, als es aufgrund der Änderung der Geräuschbelastung prognostizierbar wäre [105]. Als Vergleichsmaßstab dienen entweder auf Basis von Metaanalysen aufgestellte, generalisierte Belastungs-Wirkungskurven wie etwa diejenige von Miedema und Kollegen [87] & [88] oder diejenige, welche vor einer Belastungsänderung ermittelt wurde und zu einem Vorher-/Nachher-Vergleich herangezogen werden kann.
Unsicherheit	Unsicherheiten sind kontrollierbare Einflüsse auf ein Experiment. Im *Guide to the expression of uncertainty in measurement* GUM [76] wird der Begriff Unsicherheit als ein dem Messergebnis zugeordneter Parameter definiert, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise dem Messergebnis zugeordnet werden können. Der Parameter kann beispielsweise eine Standardabweichung, ein Vielfaches dieser Standardabweichung oder die halbe Weite eines Bereichs sein, der einem festen Konfidenzniveau entspricht.
Validierung	Prüfung der Tauglichkeit für die vorgesehene Anwendung. Bestätigung aufgrund einer Untersuchung, dass die besonderen Anforderungen für einen speziellen, beabsichtigten Gebrauch erfüllt worden sind. Validierung schließt die Beschreibung der Anforderungen, die Bestimmung der Merkmale der Verfahren, den Vergleich der Anforderungen mit den Werten der Merkmale des Verfahrens und eine Aussage zu ihrer Gültigkeit ein.
Wirkschwelle	Die Wirkschwelle ist als der Belastungswert definiert, bei dem erste Lärmwirkungen feststellbar sind. Für zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufene Aufwachreaktionen liegt die Wirkschwelle laut DLR-Feldstudie z.B. bei $L_{AS,max}$ 33 dB, d.h. erst oberhalb von 33 dB ist mit zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufenen Aufwachreaktionen zu rechnen. Die Wirkschwelle der aus der RDF-Belästigungsstudie stammenden linearen Belastungs-Wirkungsbeziehung liegt rechnerisch bei einem 16-Stunden-Mittelungspegel von 41,4 dB.
Zumutbarkeitsgrenze	Schwelle der Zumutbarkeit – hier des Fluglärms – dessen Überschreitung zum Schutz der Gesundheit und des Eigentums rechtliche Konsequenzen auslöst. Die Existenz von Zumutbarkeitsschwellen "ergibt sich aus dem rechtsstaatlichen Abwägungsgebot und dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz" [55]. Zumutbarkeitsgrenzen für Lärm sind im Rahmen eines juristischen Intensitätsstufensystems definiert, welches folgende vier Stufen umfasst: (1) geringfügige Lärmimmissionen, (2) beachtliche bzw. abwägungserhebliche Lärmimmissionen, (3) fachplanungsrechtlich unzumutbare Lärmimmissionen und (4) gesundheitsgefährdende und -beeinträchtigende Lärmimmissionen. Die vierte Intensitätsstufe wird als enteignungsrechtliche (=verfassungsrechtliche) Zumutbarkeitsschwelle angesehen [32] & [55]. Eine Überschreitung der dritten Stufe (fachplanungsrechtliche Zumutbarkeitsschwelle) macht einen Interessensausgleich zwischen Lärmverursacher und Lärm-Belasteten erforderlich, wobei ein gewisser Verhältnismäßigkeitsspielraum besteht [32]. Die verfassungsrechtliche Zumutbarkeitsgrenze (vierte Stufe) betrifft vor allem den Gesundheitsschutz. Bei Überschreitung besteht

Anspruch des Lärm-Belasteten auf Entschädigung ggf. bis hin zum Anspruch auf Grundstückübernahme gegen Wertersatz.

6.2. Abkürzungen

AK1	Abbruchkriterium 1
AK2	Abbruchkriterium 2
AK3	Abbruchkriterium 3
ALP	Anti-Lärm-Pakt des RDF
APU	*auxiliary power unit* (Hilfsaggregate)
AWR	Aufwachreaktionen
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flughäfen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
CDA	*continous descent approach*
dB	Dezibel
DES	Datenerfassungssystem
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
ECAC	*European Civil Aviation Conference*
EEG	Elektroenzephalographie; Aufzeichnung der elektrischen Aktivität des Gehirns
EMG	Elektromyographie; Methode der Diagnostik in der Neurologie, bei der die elektrische Muskelaktivität gemessen wird.
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EOG	Elektrookulographie; Messverfahren, bei dem die Bewegung der Augen gemessen wird
FFI	Frankfurter Fluglärmindex des Anti-Lärm-Paktes
FLULA2	Fluglärmberechnungsverfahren der Empa
FNI	Frankfurter Nachtindex
FSI	Frankfurter Schlafstörungsindex
FTI	Frankfurter Tagindex
HA	Highly Annoyed
Hz	Hertz
I	Schallintensität, Watt/m^2
ICBEN	International Commission on the Biological Effects of Noise
KTW	Kritischer Toleranzwert
L	Schalldruckpegel, dB
LSV	Lärmschutzverordnung [84]

NAT	*Number above Threshold*
NSZ	Nacht-Schutzzone
p	Schalldruck, Pascal
P	Schallleistung, Watt
PFB	Planfeststellungsbeschluss
PRW	Präventiver Richtwert
RDF	Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt
REM	*Rapid Eye Movement*
SIMUL	Fluglärmberechnungsverfahren des DLR
SWW	Schwellenwert
TSZ 1	Tag-Schutzzone 1
TSZ 2	Tag-Schutzzone 2
ZEUS	Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung
ZFI	Zürcher Fluglärmindex

6.3. Formelzeichen

%HA	Prozentanteil der durch Fluglärm im Wachzustand hoch belästigten Personen
%HSD	Prozentsatz der durch Fluglärm im Schlaf stark gestörten Personen
D	Einfügungsdämpfung für den Übergang vom Außen- zum Innenpegel; für gekipptes Fenster beträgt D rund -15 dB
$H(L_{max})$	Maximalpegelverteilung
L_{Aeq}	A-bewerteter, energieäquivalenter Dauerschallpegel
$L_{AS,max}$	A-bewerteter Maximalpegel mit der Zeitkonstante Slow gemessen
L_{den}	Tag-Abend-Nacht-Pegel
L_{dn}	Tag-Nacht-Pegel
n	Anzahl der während einer Nacht am Immissionsort resp. Hektarpunkt i auftretenden Geräusche
N_{AWR}	Anzahl zusätzlich durch Fluglärm hervorgerufener Aufwachreaktionen
N_{pop}	Wohnbevölkerung
P_{AWR}	Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufwachreaktion bei einem bestimmten Maximalpegel $L_{AS,max}$
T	Beurteilungszeit in Sekunden
t10	Dauer des Geräusches des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in Sekunden; entspricht der Zeitdauer des Fluglärmereignisses, während der der Schallpegel höchstens 10 dB unter dem höchsten Schallpegel liegt (10 dB-down-time))
ZFI	Anzahl der Personen, die durch den Fluglärm im Wachzustand hoch belästigt und im Schlaf stark gestört sind

6.4. Indices

A	A-bewertet
AWR	Aufwachreaktion
d	*day*
den	*day-evening-night*
dn	*day-night*
e	*evening*
eq	äquivalent
i	Laufindex für Immissionsort, Hektarpunkt oder Pegelklasse
j	Laufindex für die Anzahl von Geräuschen an einem beliebigen Empfangspunkt
max	Maximalwert
n	*night*
Nacht	Nachtzeit von 22 bis 06 Uhr
pop	Population (Bevölkerung)
S	*Slow* oder Schwelle
Tag	Tageszeit von 06 bis 22 Uhr

7. Literatur

[1] Banks S., D.F. Dinges (2007): *Behavioral and physiological consequences of sleep restriction*. J.Clin.Sleep Med. 3, 519-528.

[2] Barth R. (2008): *Leistungsbeschreibung für eine wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauvorhabens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindices für das Regionale Dialogforum Frankfurt*. Öko-Institut e.V., Darmstadt. [11]

[3] Basner M. (2006): *Markov state transition models for the prediction of changes in sleep structure induced by aircraft noise*. DLR FB 2006/07, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln.

[4] Basner M., A. Samel (2005): *Effects of nocturnal aircraft noise on sleep structure.* Somnologie 9 84-95.

[5] Basner M., A. Samel (2007): *Schlafphysiologische Bewertung nächtlicher Flugbetriebsbeschränkungen vor dem Hintergrund aktueller Urteile des Bundesverwaltungsgerichts*. Lärmbekämpfung 2 86-94.

[6] Basner M., A. Samel, U. Isermann und R. Schmid (2005): *Integration neuer Erkenntnisse in einem Novellierungsansatz für eine Fluglärmschutzverordnung.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Forschungsvorhaben Nr. L-3/2003-50.0301/2003, Göttingen/Köln-Porz, 31. Mai 2005.

[7] Basner M., B. Griefahn, U. Müller, G. Plath, A. Samel (2007): *An ECG-based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal.* Sleep 30 1349-1361.

[8] Basner M., C. Glatz, B. Griefahn, T. Penzel, A. Samel (2007): *Aircraft noise: effects on macro- and micro-structure of sleep*. Sleep Med. doi:10.1016/j.sleep.2007.07.002.

[9] Basner M., H. Buess, D. Elmenhorst, A. Gerlich, N. Luks, H. Maaß, L. Mawet, E.W. Müller, U. Müller, G. Plath, J. Quehl, A. Samel, M. Schulze, M. Vejvoda, J. Wenzel (2004): *Nachtfluglärmwirkungen (Band 1): Zusammenfassung*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln, 2004.

[10] Basner M., H. Buess, N. Luks, H. Maaß, L. Mawet, E.W. Müller, U. Müller, C. Piehler, G. Plath, J. Quehl, E. Rey, A. Samel, M. Schulze, M. Vejvoda, J. Wenzel (2001): *Nachtfluglärmwirkungen - eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlaflabornächten.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Bibliothels- und Informationswesen, Köln, Germany, 2001.

[11] Basner M., U. Isermann, A. Samel (2005): *Die Umsetzung der DLR-Studie in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 52 (2005) 109-123.

[12] Basner M., U. Isermann, A. Samel (2005): *Lärmmedizinische Stellungnahme zum geplanten Aus- und Neubau des Flughafens Leipzig/Halle.* DLR-ME-FP-06-2005, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln.

[11] Die Leistungsbeschreibung ist dem vorliegenden Gutachten angehängt (Kapitel 8.6).

[13] Basner M., U. Isermann, A. Samel (2006): *Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study*. J.Acoust.Soc.Am. 119 2772-2784.

[14] Basner M., U. Müller, A. Samel (2006): *Nachtfluglärmwirkungen - Band 2 - Methodik, Akustik*. German Aerospace Center (DLR), Cologne, Germany.

[15] Basner M., U.Siebert (2006): *Markov-Prozesse zur Vorhersage fluglärmbedingter Schlafstörungen.* Somnologie 10 176-191.

[16] Basner, M. et al. (2005): *Die Umsetzung der DLR-Studie in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung. Jahrgang 52, Nr. 4, Springer VDI Verlag.

[17] Basner, M., et al. (2004): *Nachtfluglärmwirkungen (Bd. 1). Zusammenfassung.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), FB2004-07/D, Köln.

[18] Boguhn O., M. Basner, L. Enghardt, W. Dobrzynski, R. König, A. Kuenz, I. Stumo, U. Isermann, D. Heimann (2007): *DLR-Projekt Leiser Flugverkehr II – Abschlussbericht*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Göttingen.

[19] Bonnet M., D.L.Arand (2007): *EEG arousal norms by age.* J.Clin.Sleep Med. 3 (2007) 271-274.

[20] Bonnet M.H., K.Doghramji, T.Roehrs, E.J.Stepanski, S.H.Sheldon, A.S.Walters, M.Wise, A.L.Chesson, Jr. (2007): *The scoring of arousal in sleep: reliability, validity, and alternatives*. J Clin.Sleep Med. 3 133-145.

[21] Breugelmans, O., Houthuijs, D., Kamp, I.v., Stellato, R., Wiechen, C.v. & Doornbos, G. (2007): *Longitudinal effects of a sudden change in aircraft noise exposure on annoyance and sleep disturbance around Amsterdam airport.* Proceedings of the 19th International Congress on Acoustics (ICA 2007), Paper env-04-002, Madrid, Spain. URL: http://www.sea-acustica.es/WEBICA07/fchrs/papers/env-04-002.pdf.

[22] Brink M., C. Schierz, M. Basner, A. Samel, M. Spreng, K. Scheuch, W. Stahel, H. Bögli (2006): *Bericht zum Workshop "Aufwachwahrscheinlichkeit". Bestimmung lärminduzierter Aufwachwahrscheinlichkeiten in der Nachtlärmwirkungsforschung und Anwendung entsprechender Wirkungsmodelle für Prognosezwecke*. ETH, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften, Zürich.

[23] Brink M., K. Wirth, C. Schierz (2006): Effects of early morning aircraft overflights on sleep and implications for policy making. Conference Proceedings Euronoise 2006, Tampere, Finland.

[24] Brink, M et al. (2005): *Lärmstudie 2000, Zusammenfassung*. ETH Zürich, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften (ZOA), Fachbereich Umweltergonomie, November.

[25] Brink, M., G. Thomann, P. Huber, C. Schierz (2007): *A new noise impact assessment method for noise policy.* Proceedings of Inter-Noise 2007. Istanbul: Inter-Noise 28-31 August 2007.

[26] Brink, M., K. Wirth, R. Rometsch, C. Schierz (2006): *Lärmstudie 2000. Zusammenfassung.* Version 1.04. ETH Zürich, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften. URL: http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=444.

[27] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). 26.09.2002, BGBl. I. S. 3830, Deutschland.

[28] Bundesministerium des Inneren (1975): *Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flughäfen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30.3.1971*, *AzB*. GMBl 26, Ausg. A, Nr. 8, 162-227, Bonn, 10. März 1975.

[29] Bundesministerium des Innern (1975): *Datenerfassungssystem für die Ermittlung von Lärmschutzbereichen an militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30. März 1971, DES-MIL.* GMBl 26, Ausgabe A, Nr. 8, S 145-161, 10. März 1975.

[30] Bundesministerium des Innern (1984): *Ergänzung der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen.* U II 4-560 120/43, Bonn 1984.

[31] Bütikofer, R. (2007): *Concepts of Aircraft Noise Calculations.* Acta Acustica united with Acustica, Vol. 93, p. 253 – 262.

[32] Dolde, K.-P. (2003): *Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen – Rechtliche Beurteilung.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 50, Teil 1: 50(3), 88-91, Teil 2: 50(4), 122-127.

[33] ECAC DOC.29R (2004): *Methodology for Computing Noise Contours around Civil Airports, Volume 1: Applications Guide.* European Civil Aviation Conference (ECAC), Proposal by AIRMOD Technical Subgroup, Draft Version 6.0, revised 12 May 2004.

[34] ECAC DOC.29R (2004): *Methodology for Computing Noise Contours around Civil Airports, Volume 2: Technical Guide.* European Civil Aviation Conference (ECAC), Proposal by AIRMOD Technical Subgroup, Draft Version 6.0, revised 12 May 2004.

[35] Elmenhorst, E.-M., Heider J., Huemer R.G., Jans W., König R., Lehmann O., Maaß H., Nowack S., Neb H., Plath G., Samel A., Saueressig, Schubert E., Soll H., Vejvoda M. (2005): *Untersuchung der Fliegbarkeit von lärmoptimierten Anflugverfahren durch den Piloten*. Forschungsbericht DLR FB 2005-19.

[36] Empa (2003): *Gutachten Fluglärmmonitoring Flughafen Frankfurt Main, AP2: Akustik.* Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Abteilung Akustik, Bericht Nr. 422'293 / 513.2105, 23. Juni 2003.

[37] Empa (2004): *Übersicht über Fluglärmberechnungsverfahren – Situationsanalyse und Standortbestimmung im Rahmen der vom BUWAL zur erlassenden Empfehlung für Fluglärmberechnungsverfahren (LSV Art. 38 Abs. 2).* Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Abteilung Akustik, Bericht Nr. 433'411 - 1 / 513.2216, 22. Dezember 2004.

[38] Empa (2005): *FLULA2 - Ein Simulationsverfahren zur Berechnung und Darstellung der Fluglärmbelastung.* Technische Programmdokumentation. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Abteilung Akustik, Bericht Nr. 840'143, September 2001.

[39] Empa (2006): *Zürcher Fluglärmindex ZFI – Berechnungsvorschrift.* Bericht im Auftrage der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich. Bericht Nr. 441’255, Dübendorf, 13.09.2006.

[40] Empa (2008): *Flughafen Zürich – Zürcher Fluglärmindex ZFI im Jahre 2006.* Bericht im Auftrage der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich. Bericht Nr. 448'143, Dübendorf, 11.04.2008.

[41] EU (2002): *Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.* Brüssel, 25. Juni 2002 (ABl L 189/12 (2002)).

[42] Felscher-Suhr, U., Guski, R., Hunecke, M., Kastka, J., Paulsen, R., Schuemer, R. & Vogt, J. (1996): *Eine methodologische Studie zur aktuellen Erfassung von Alltagstätigkeiten und deren Störungen durch Umweltlärm.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 43, 61-69.

[43] FICAN (1997): *Effects of aviation noise on awakenings from sleep.* Federal Interagency Committee on Aviation Noise, 1997.

[44] Fidell, S., Barber, D.S. & Schultz, T.J. (1991): *Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise*. Journal of the Acoustical Society of America, 89, 221-233.

[45] Fidell, S., Silvati, L. (1998). Evaluation of community response to aircraft noise following completion of runway 08L/26R at Vancouver International Airport. Canoga Park, CA: BBN Report No. 8247.

[46] Fields, J. M. (1993): *Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas*. J. Sound Vib, 93, 2753–2763.

[47] Fields, J. M., DeJong, R.G., Gjestland, T., Flindell, I.H., Job, R.F.S., Kurra, S., Lercher, P., Vallet, M. Guski, R., Felscher-Suhr, U. & Schuemer, R. (2001): *Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation.* Journal of Sound and Vibration, 242(4), 641-679.

[48] Fields, J.M. (1986): *The relative effect of noise at different times of day.* NASA Contractor Report CR-3965. Hampton, USA: NASA.

[49] Fields, J.M. (2001): *An Updated Catalog of 521 Social Surveys of Residents' Reactions to Environmental Noise (1943-2000)*. NASA/CR-2001-211257. Hanover, MD: NASA Center for AeroSpace Information (CASI).

[50] Finegold L.S., B. Elias (2002): *A predictive model of noise induced awakenings from transportation noise sources.* Proceedings of the 2002 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Dearborn, MI, August 19-21, 2002.

[51] Finegold, L.S., Harris, C.S., and von Gierke H. E. (1994): *Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people.* Noise Control Engineering Journal, 42(1), 25-30.

[52] Gemeinsamen Erklärung der Luftverkehrswirtschaft und des Landes Hessen vom 12.12.07, in der die Absicht formuliert wird, die durch die Umsetzung aktiver Schallschutzmaßnahmen erzielte Lärmreduktion in Form eines Indexes zu erfassen.

[53] Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, 31.10.2007, BGBl I, S. 2550, Deutschland.

[54] Gesetz zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen, 01.06.2007, BGBl I, S. 986.

[55] Giemulla, E. & Schorcht, H. (2004): *Juristische Bewertung von Fluglärm.* Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht, 53, Teil 1: 386-394, Teil 2: 493-531.

[56] Griefahn B., P.Bröde, A.Marks, M.Basner (2008): *Autonomic arousals related to traffic noise during sleep.* Sleep 31 (2008) 569-577.

[57] Griefahn, B., Jansen, G., Scheuch, K., Spreng, M. (2002): *Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 49(5). 171-175.

[58] Griefahn, B., Jansen, G., Scheuch, K., Spreng, M. (2004): *Gutachten G12.1 Allgemeiner Teil, Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept.* Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren Ausbau Flughafen Frankfurt Main.

[59] Griffiths, I.D., Raw, G.J. (1986): *Community and individual responses to changes in traffic noise exposure.* J. Sound and Vibration 111(2). 209-217.

[60] Guilleminault C., R. Stoohs, A. Clerk, M. Cetel, P. Maistros (1993): *A cause of excessive daytime sleepiness. The upper airway resistance syndrome.* Chest 104 (1993) 781-787.

[61] Gulding J.M., J.R. Olmstead, G.G. Fleming (1999): *Integrated Noise Model (INM), Version 6.0, User's Guide*. Federal Aviation Administration (FAA), Department of Tranportation, Report No FAA-AEE-99-03, September 1999.

[62] Guski, R. (2003): *Neuer Fluglärm gleich alter Fluglärm? Kritische Anmerkungen zu einer Expertenmeinung und ein Vorschlag zur Prognose-Berechnung der erheblichen Belästigung bei wesentlich geänderter Fluglärm-Belastung.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 50, 14 -25.

[63] Guski, R. (2004): *How to forecast community annoyance in planning noisy facilities?* Noise & Health, 6, 59 -64.

[64] Guski, R., Schuemer, R. (2007): Fraport-Synopse weiter fraglich. Lärmbekämpfung, 2(6). 236-239.

[65] Guski, R., Schuemer, R., Felscher-Suhr, U., (1999): *The concept of noise annoyance: How international experts see it*. J Sound Vib, 223, 513-527.

[66] Haba-Rubio J., V.Ibanez, E.Sforza (2004): *An alternative measure of sleep fragmentation in clinical practice: the sleep fragmentation index*. Sleep Med. 5 (2004) 577-581.

[67] Hatfield, J., Job, R.F.S. (1998): *Evidence of optimism bias regarding the health effects of exposure to noise*. Noise-Effects'98, 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Vol. 1, 251-254.

[68] Health Council of the Netherlands (1999): *Committee on the Health Impact of Large Airpots. Public health impact of large airports*. The Hague: Health Council of the Netherlands.1999; 1999/14E.

[69] Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Landesentwicklung (2007): *Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Verkehrsflughafens Frankfurt Main*. PF-66 p-V, Wiesbaden, 18.12.07.

[70] Hofmann, R. (2006): *ZFI, ein Zürcher Fluglärmindex?* Machbarkeitsstudie im Auftrag des Amts für Verkehr des Kt. Zürich, 24. Februar 2006.

[71] Horonjeff, R.D. & Robert, W.E. (1997): *Attitudinal responses to changes in noise exposure in residential communities*. Hampton, VA: NASA CR-97-205813.

[72] Houthuijs, H., Breugelmans, O., van Kamp, I., van Wiechen, C. (2007): *Burden of annoyance due to aircraft noise and non-acoustical factors*. Proceedings of Inter-Noise 2007. Istanbul: Inter-Noise 28-31 August 2007.

[73] Huemer, R.-G., R. König, H. Friehmelt, U. Isermann, O. Boguhn (2004): *The Influence of Modern Noise-Simulation-Tools on the Design of Future Noise-Abatement-Approach Procedures*. AIAA 2004.

[74] Iber C., S. Ancoli-Israel, A. Chesson, S.F. Quan (2007): *The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications*. American Academy of Sleep Medicine, Westchester, Illinois, 2007.

[75] ISO TC 43/SC 1 (2002): *Acoustics assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys* (ISO/TS 15666). Genf: ISO.

[76] ISO/ENV 13005 (2000): *GUM, Guide to the expression of uncertainty in measurement.*

[77] Job, R. F. S. (1988): *Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction.* J. Acoust. Soc. Am. 83(3), 991–1001.

[78] Job, R.F.S., Hatfield, J. (2003): *A model of responses to changes in noise exposure. Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Paper 78t6-1.pdf, Rotterdam, NL: 232-234.

[79] Kastka, J. (1999): *Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafens Frankfurt.* Im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main. Düsseldorf.

[80] Kastka, J. (2004): Untersuchung zur Störwirkung von Fluglärm vor und nach der Einführung der FOX-Route. Gutachten im Auftrag der Fraport AG. Düsseldorf: Heinrich-Heine-Universität.

[81] Kastka, J., Buchta, E., Ritterstaedt, U., Paulsen, R., Mau, U. (1995): *The long term effect of noise protection barriers on the annoyance response of residents.* J. Sound and Vibration 184 (5). 823-852.

[82] Kötz, W.-D. (2004): *Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern – Ein klärendes Wort zur Schallpegeldifferenz außen/innen bei Fenstern in Kippstellung.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung Jahrgang 51, Seite 21-26, Springer VDI Verlag.

[83] Lärmkontor GmbH & Konsalt GmbH (2002): Lärmminderung durch eine Schallschutzwand im Urteil der Betroffenen. Schlussbericht März 2002. Im Auftrag des Ministeriums für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt, Sachsen Anhalt. Magdeburg.

[84] LSV (1986): *Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986 (Stand am 1. Januar 2008).* SR 814.41.

[85] Marks A., B. Griefahn, M. Basner (2008): *Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise.* Noise Contr.Eng.J. 56 (2008) 52-62.

[86] Miedema, H. M. E. & Vos, H. (1999) : *Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise.* J. Acoust. Soc. Am. 105(6), 3336–3344.

[87] Miedema, H.M., Oudshoorn, C.G. (2001): *Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals*. Environmental Health Perspectives, 109, 409-416.

[88] Miedema, H.M.E. & H. Vos (1998): *Exposure-response relationships for transportation noise.* Journal of the Acoustical Society of America, 104, 3432-3445.

[89] Miedema, H.M.E., Vos, H. & de Jong, R.G. (2000) : *Community reaction to aircraft noise: Time-of-day penalty and trade-off between levels of overflights.* Journal of the Acoustical Society of America, 107, 3245-3253.

[90] Muzet A. (2007): *Environmental noise, sleep and health*. Sleep Medicine Reviews 11 (2007) 135-142.

[91] Ollerhead J.B., C.J. Jones, R.E. Cadoux, A. Woodley, B.J. Atkinson, J.A. Horne, F.L. Pankhurst, L.A. Reyner, K. Hume, F. Van, A. Watson, I.D. Diamond, P. Egger, D. Holmes, J. McKean (1992): *Report of a Field Study of Aircraft Noise and Sleep Disturbance*. Department of Transport, London, United Kingdom, 1992.

[92] Ortscheid, J., Wende, H. (2004). Sind 3 dB wahrnehmbar? Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 3. 80-84.

[93] Oswald I., A.M. Taylor, M. Treisman (1960): *Discriminative responses to stimulation during human sleep*. Brain 83 (1960) 440-453.

[94] Passchier-Vermeer W. (2003): *Night-time noise events and awakening.* Delft, The Netherlands, 2003.

[95] Passchier-Vermeer W., H. Vos, J.H.M. Steenbekkers, F.D. Van der Ploeg, K. Groothuis-Oudshoorn (2002): *Sleep disturbance and aircraft noise exposure - exposure effect relationships*. TNO, Netherlands, 2002, pp. 1-245.

[96] RDF (2007): *Erläuterungen zum Lärmindex.* Regionales Dialogforum Frankfurt.

[97] RDF (2007): *Hintergrund zum Anti-Lärm-Pakt (ALP).* Regionales Dialogforum Frankfurt.

[98] Rechtschaffen A., A. Kales, R.J. Berger, W.C. Dement, A. Jacobsen, L.C. Johnson, M. Jouvet, L.J. Monroe, I. Oswald, H.P. Roffwarg, B. Roth, R.D. Walter (1968): *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. Public Health Service, U.S. Government, Printing Office, Washington, D.C., 1968.

[99] Rohrmann, B. (1984): *Psychologische Forschung und umweltpolitische Entscheidung: das Beispiel Lärm.* Opladen: Westdeutscher Verlag.

[100] Schmidt-Wahl, D. (2008): *Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Hessen bis 2025*. Zeitschrift Staat und Wirtschaft in Hessen.

[101] Schreckenberg, D. & M. Meis (2007a): *Noise annoyance around an international airport planned to be extended*. Proceedings of Inter-Noise. Istanbul: Inter-Noise 28-31 August 2007.

[102] Schreckenberg, D. & M. Meis (2007b): *Lärmbelästigung und Lebensqualität in der Bevölkerung am Frankfurter Flughafen*. Lärmbekämpfung, 225-235.

[103] Schreckenberg, D. & R. Guski (2005): *Lärmbelästigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm zu unterschiedlichen Tageszeiten.* Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 10(2), 67-76.

[104] Schreckenberg, D., M. Meis (2006): Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Gutachten im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt. Endbe-

richt. Bochum, Oldenburg: AG Fluglärmwirkung. URL: http://www.dialogforum-flughafen.de/fileadmin/PDF/Presse/Belaestigungsstudie_Langfassung.pdf.

[105] Schuemer, R. & Schreckenberg, D. (2000): *Änderung der Lärmbelästigung bei Maßnahme bedingter, stufenweise veränderter Geräuschbelastung: Hinweise auf einige Befunde und Interpretationsansätze.* Zeitschrift für Lärmbekämpfung.134-143.

[106] Schultz, T.H.J. (1978): *The synthesis of social surveys on noise annoyance.* Journal of the Acoustical Society of America, 64, 377-405.

[107] Sforza E., C. Jouny, V. Ibanez (2000): *Cardiac activation during arousal in humans: further evidence for hierarchy in the arousal response.* Clin. Neurophysiol. 111 (2000) 1611-1619.

[108] Sforza E., F. Chapotot, S. Lavoie, F. Roche, R. Pigeau, A. Buguet (2004): *Heart rate activation during spontaneous arousals from sleep: effect of sleep deprivation.* Clin.Neurophysiol. 115 (2004) 2442-2451.

[109] SRU, Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1999): *Sondergutachten: Umwelt und Gesundheit – Risiken richtig einschätzen.* Eigenverlag, Wiesbaden.

[110] Stickgold R. (2005): *Sleep-dependent memory consolidation.* Nature 437 (2005) 1272-1278.

[111] Thomann, Georg (2007): *Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen.* Dissertation an der ETH Zürich, Nr. 17433, November 2007.

[112] Umweltbundesamt: I3.3-60112-5: *Entwurf der neuen zivilen Flugzeugklassen („AzB-99*“). Download unter http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/index-daten.htm.

[113] Umweltbundesamt (2006): *Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB).* Arbeitsgruppe „Novellierung der AzB“, Oktober 2006.

[114] USG (1983): *Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG).* Stand am 1. Januar 2008. SR 814.01.

[115] Van den Busch, U. (2007): *Demografische Rahmendaten zur langfristigen Bevölkerungsentwicklung in Hessen und seinen Regierungsbezirken*. Gutachten Nr. 719, Wiesbaden: Hessen-Agentur GmbH.

[116] Van Kempen, E.E.M.M., Van Kamp, I. (2005): *Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships.* Report 01/2005 MGO EvK, Reference 00265/2005, Bilthoven (NL): RIVM.

[117] Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich (2008): Der Zürcher Fluglärm-Index (ZFI) in den Jahren 2005 / 2006 im Vergleich. Amt für Verkehr, Postfach, 8090 Zürich.

[118] Wesensten N.J., T.J. Balkin, G. Belenky (1999): *Does sleep fragmentation impact recuperation?* A review and reanalysis. J.Sleep Res. 8 (1999) 237-245.

[119] Wirth, K. (2004): *Lärmstudie 2000. Die Belästigungssituation im Umfeld des Flughafens Zürich.* Aachen: Shaker Verlag.

[120] Wörner J.D. (2007): *Anti-Lärm-Pakt – Zusammenfassung*. Regionales Dialogforum (RDF), Frankfurt, 2007.

8. Anhang

8.1. Strukturierter Fragenkatalog

Nr.	Frage(n)
I	Ist ein regionaler Index aus wissenschaftlicher Sicht geeignet als Instrument zur Beurteilung von Lärmentwicklungen aufgrund der Änderung von Zahl, Ort und Art der Überflüge?
II	Sind die hierfür vorgelegten Vorschläge geeignet?
III	Welche Modifikationen werden ggf. als erforderlich angesehen?
A1	Sind die in den drei Vorschlägen [=Indices] gewählten Parameter […] geeignet, *um regionale Immissionsänderungen und die damit verbundenen Fluglärmwirkungen sowohl am Tag als auch in der Nacht abzubilden*?
B1	Wie kann sichergestellt werden, dass Tag- und Nachtwirkungen verglichen werden können?
B2	Ist ein 24-Stunden-Index geeignet, um Tag- und Nachtwirkungen zu vergleichen?
B3	Sollte zusätzlich {zu einem 24-Stunden-Index} eine getrennte Erfassung der Nacht erfolgen?
B4	Oder {sollte generell} die Trennung zwischen Tag und Nacht [gemacht werden]?
C1	*Wie lässt sich eine sinnvolle Abgrenzung des betrachteten Gebietes erreichen, damit der Schwerpunkt eher bei der Abbildung von „relevant“ Belasteten als bei der Abbildung aller auch marginal vom Lärm betroffenen liegt?*
C2	*Bei der Abgrenzung des Betrachtungsgebietes sollten nicht nur solche Personen einbezogen werden, die so stark belastet sind, dass sie individuelle Rechtsansprüche zum Beispiel auf passiven Schallschutz geltend machen können. Wie lässt sich dies erreichen?*
C3	Eine Möglichkeit der Gebietsabgrenzung wäre, sich an der Rechtsprechung zu orientieren, die ab einem Leq von 55 dB {als Tagesmittlungspegel} bei Entscheidungen über Flugrouten eine Abwägungsrelevanz der Lärmauswirkungen sieht. *Ist dies sinnvoll? Welche Vor- resp. Nachteile hätte ein solches Vorgehen?*
C4	Wie lässt sich sicherstellen, dass nicht anhand der Systemabgrenzung {=Gebietsabgrenzung} ein erheblicher Teil der vom gewählten Wirkungskriterium betroffenen Personen im Index unberücksichtigt bleibt?
D1	Ist es ausgeschlossen, dass Ergebnisverzerrungen aufgrund der gewählten Gebietsabgrenzungen die Aussagekraft *der Indices* wesentlich beeinträchtigen?
D2	*Könnten die Flughafenverantwortlichen Maßnahmen gezielt gestalten, so dass die Maßnahmen nur innerhalb der Gebietsabgrenzung wirksam werden, ohne dass […] sie Außerhalb zu erheblichen Mehrbelastungen führen?*

Nr.	Frage(n)
D3	Gäbe es Möglichkeiten einer entsprechenden Absicherung?
D4	Oder erscheint einer Ausweitung der Gebietsabgrenzung der viel versprechendere Weg?
E1	In der Konzeption des Frankfurter Fluglärmindex bleibt unberücksichtigt, dass bei […] Neubelastungen oder wesentlichen Steigerungen [der Belastung] die Belästigungswirkung bei Menschen überproportional ansteigt. Lässt sich abschätzen, wie stark solche „überschießenden“ Wirkungen sind?
E2	Gibt es auf Basis der vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse eine Möglichkeit, die Überschussreaktionen sachgerecht durch einen entsprechenden Malus für Neubelastungen oder ähnliche Überlegungen im Index abzubilden?
E3	[…] Könnte zur ergänzenden Betrachtung für die Entscheidungsfindung über aktive Schallschutzmaßnahmen eine eigenständige Erfassung von möglichen Sonderwirkungen durch Neubelastete erfolgen?
E4	Lässt sich eine Aussage darüber treffen, welches ungefähre Ausmaß bezogen auf Indexergebnisse eine Verzerrung der Nichterfassung überschießender Wirkungen hätte?
E5	Müsste {man im Falle von Neubelasteten nur} von einer vorübergehenden Verzerrung ausgehen, oder wäre anzunehmen, dass {die Verzerrung} dauerhaft bestehen bleibt?
F1	In der Konzeption des Nachtindexes bleibt unberücksichtigt, dass […] sich Aufwachwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit des Zeitpunktes eines Ereignisses, bzw. in Abhängigkeit des zeitlichen Abstands zwischen den Ereignissen unterscheiden. Lässt sich einschätzen, wie hoch die Verzerrung der Indexergebnisse ohne Berücksichtigung {der zeitlichen Abhängigkeit in den Aufwachreaktionen} ist?
F2	{Ist} vor dem Hintergrund der mit dem Index verfolgten Ziele eine Änderung der bisherigen Konzeption […] erforderlich?
F3	Welche Eckpunkte sollten dabei berücksichtigt werden?
G1	Welche Konzeption {resp. welcher Index} ist unter Praktikabilitätsgesichtspunkten vorzugswürdig?

Die mit römischen Ziffern nummerierten Fragen beziehen sich auf die übergreifenden Fragestellungen gemäß Kapitel 4.1 der Leistungsbeschreibung [2] resp. auf die Leitfragestellung gemäß Kapitel 2.1.3 des vorliegenden Gutachtens. Die restlichen Fragen entsprechen den mittels Buchstaben nummerierten Einzelfragen von Kapitel 4.2 der Leistungsbeschreibung. Da pro Buchstabe teilweise mehrere Fragen gestellt werden, wird zur besseren Übersicht eine zusätzliche Unterteilung mittels Zahlen gemacht (Beispiel: B1, B2, etc.) Einige Fragen entsprechen nur teilweise dem ursprünglichen Wortlaut in der Leistungsbeschreibung. Je nach Grad der Verständlichkeit wurde der Wortlaut leicht modifiziert oder vollständig umgeschrieben, indem Textstellen ergänzt oder weggelassen wurden. Veränderungen sind in obiger Tabelle folgendermaßen gekennzeichnet:

kursiv	umgeschriebener resp. neu verfasster Text
[…]	weggelassener Text
{…}	eingefügter Text

8.2. Einfluss der Größe des Betrachtungsperimeters am Beispiel des Jahres 2004 für den Flughafen Zürich

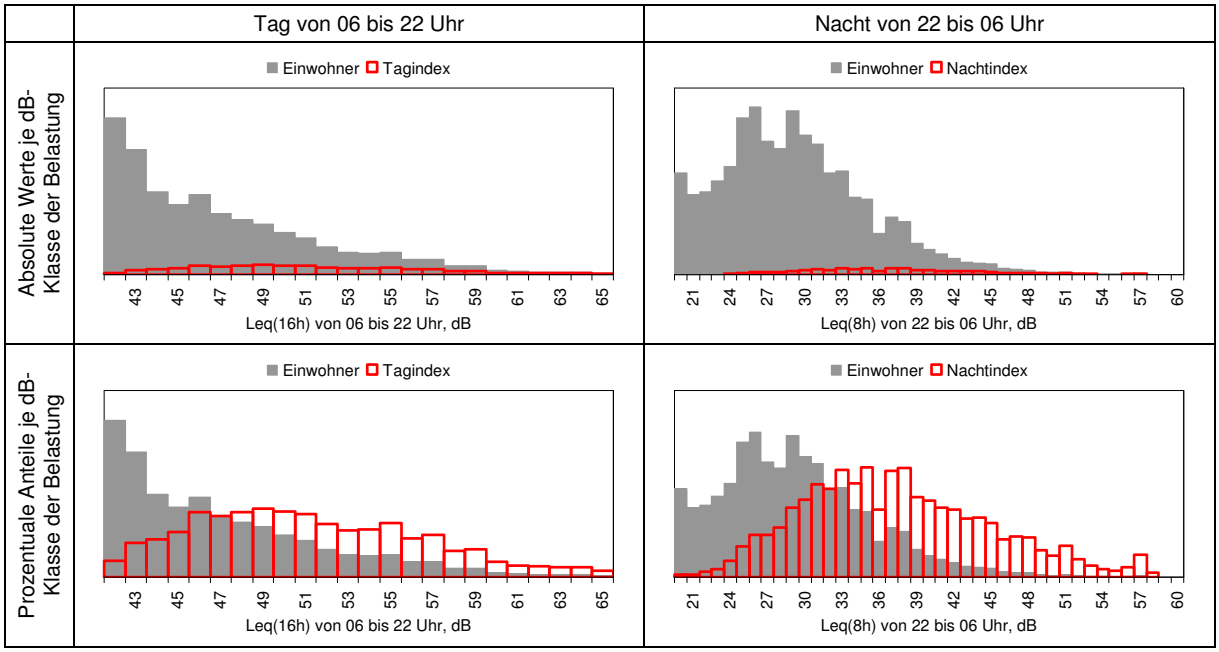


Fig. 8-1 Linke Spalte: Einwohner und Anzahl hoch belästigter Personen (Tagindex nach Eq. 4 mit Eq. 6) je dB-Klasse des 16-Stunden-Mittelungspegels beginnend bei der wirkungsbezogenen Ansprechschwelle von 41,4 dB; das obere Diagramm zeigt die absoluten Werte, das untere Diagramm die prozentualen Anteile.
Rechte Spalte: Einwohner und Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen (Nachtindex nach Eq. 7) je dB-Klasse des 8-Stunden-Mittelungspegels beginnend bei einer angenommenen wirkungsbezogenen Ansprechschwelle von 20 dB; das obere Diagramm zeigt die absoluten Werte, das untere Diagramm die prozentualen Anteile.

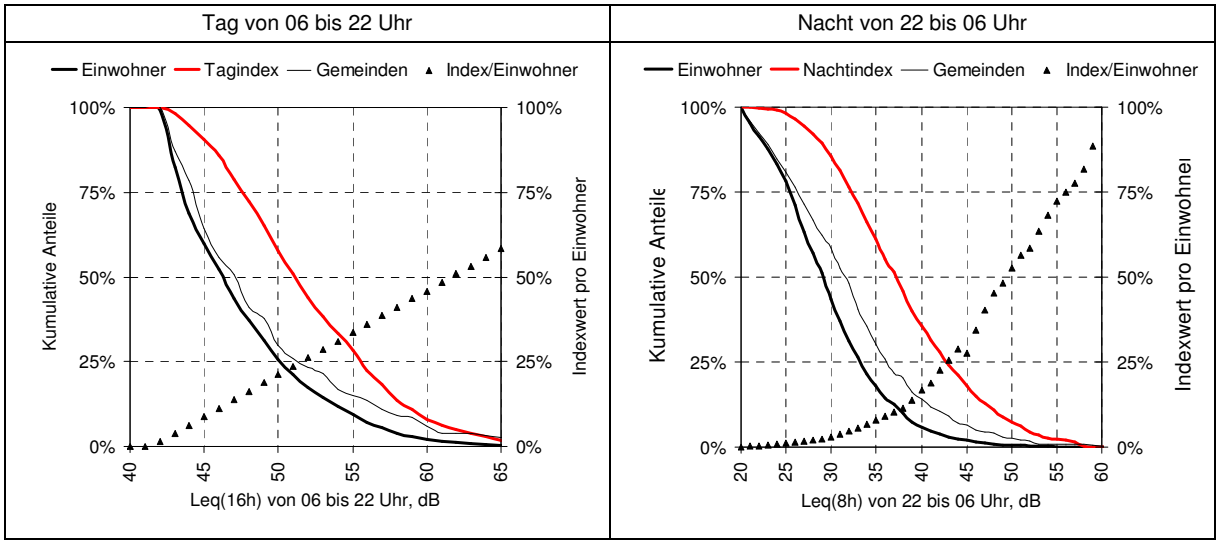


Fig. 8-2 Linkes Teilbild: Kumulative Anteile der Einwohner, der Anzahl hoch belästigter Personen (nach Eq. 4 mit Eq. 6) und der Anzahl von Gemeinden in einem Gebiet mit einem Tagesmittelungspegel ≥ 41,4 dB.
Rechtes Teilbild: Kumulative Anteile der Einwohner, der Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen (Eq. 7) und der Anzahl von Gemeinden in einem Gebiet mit einem Nachtmittelungspegel ≥ 20 dB.

Tab. 8-1 Einige Werte zu Fig. 8-2.

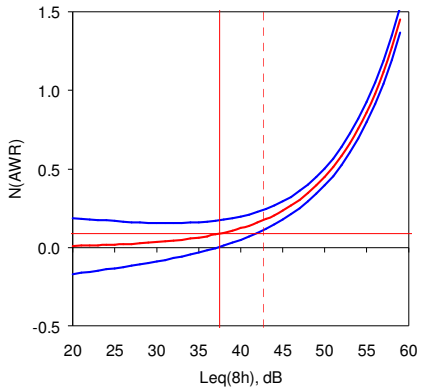
Linkes Teilbild

Leq(16h)	Einwohner	Tagindex	Gemeinden	Tagindex durch Einwohner
60	2%	8%	6%	0,5
55	10%	28%	15%	0,3
50	26%	58%	30%	0,2
45	60%	91%	64%	0,1
40	100%	100%	100%	0,0
100% =	800.000	110.000 HA	154	-

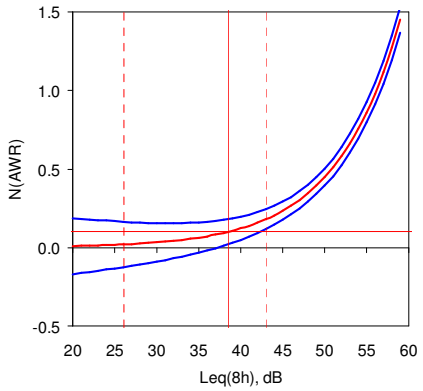
Rechtes Teilbild

Leq(8h)	Einwohner	Nachtindex	Gemeinden	Nachtindex durch Einwohner
60	0%	0%	0%	1,0
55	0%	2%	1%	0,7
50	1%	7%	3%	0,5
45	2%	18%	6%	0,3
40	6%	36%	14%	0,2
35	18%	61%	30%	0,1
30	44%	86%	59%	0,0
25	78%	98%	81%	0,0
20	100%	100%	100%	0,0
100%=	1,6 Mio	77.000 N_{AWR}	390	-

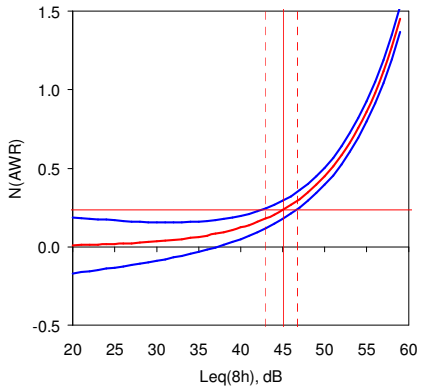
8.3. Beziehung zwischen Anzahl Aufwachreaktionen und 8-Stunden-Mittelungspegel nachts



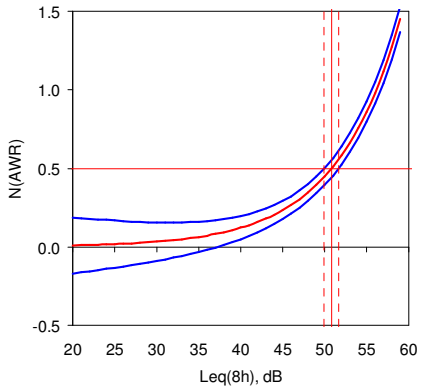
Eingabe:	0.09		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.00	0.17	N_{AWR}
Ausgabe:	37.5		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	12.4	42.7	dB



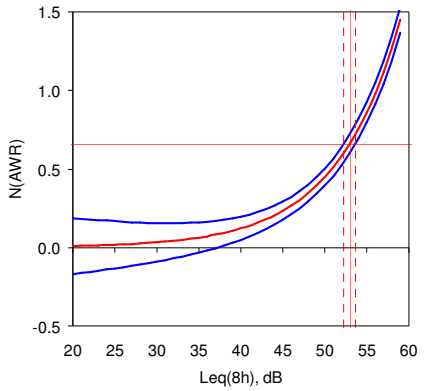
Eingabe:	0.10		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.02	0.18	N_{AWR}
Ausgabe:	38.5		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	26.1	43.0	dB



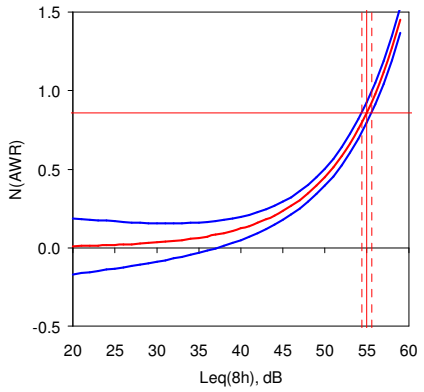
Eingabe:	0.24		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.18	0.29	N_{AWR}
Ausgabe:	45.0		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	42.9	46.7	dB



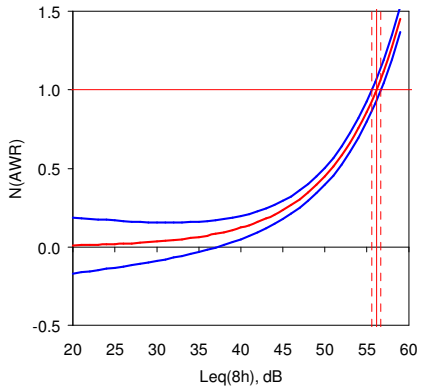
Eingabe:	0.50		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.44	0.56	N_{AWR}
Ausgabe:	50.8		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	49.9	51.6	dB



Eingabe:	0.66		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.60	0.72	N_{AWR}
Ausgabe:	53.0		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	52.3	53.7	dB



Eingabe:	0.86		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.79	0.93	N_{AWR}
Ausgabe:	55.0		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	54.4	55.6	dB



Eingabe:	1.00		N_{AWR}
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	0.93	1.07	N_{AWR}
Ausgabe:	56.2		dB
Unsicherheitsbereich (2 Sigma):	55.6	56.7	dB

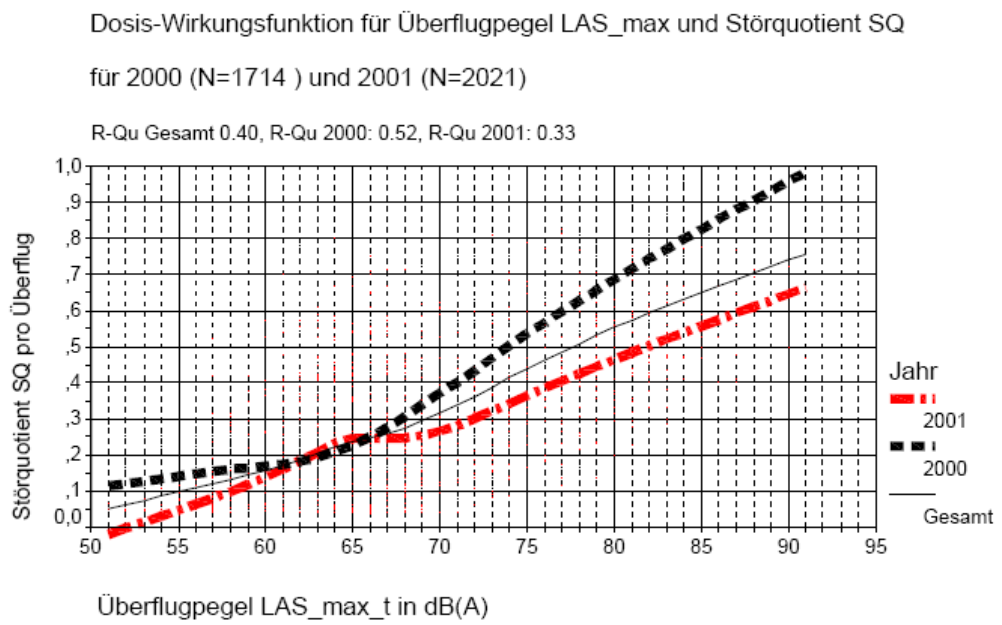
Fig. 8-3 Beziehung zwischen der Anzahl von Aufwachreaktionen und 8-Stunden-Mittelungspegel nachts für ausgewählte Kombinationen.

Erläuterungen zu den Grafiken in Fig. 8-3:

Die Darstellungen zeigen eine Ausgleichsrechnung auf der Basis von jährlichen Belastungsrechnungen in Zürich von 1998 bis 2004 unter Einbezug der Unsicherheiten. Dabei werden Gitterpunktwerte des 8-Stunden-Mittelungspegel mit den Gitterpunktwerten der Anzahl der Aufwachreaktionen, welche aus den Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen unter Anwendung von Eq. 7 berechnet wurden, korreliert. Als Unsicherheit der Pegelwerte wurde konstant 1 dB angenommen. Bei der Anzahl der Aufwachreaktionen wurde die Unsicherheit anhand der Streuung (Standardabweichung) der N_{AWR}-Werte je Pegelklasse abgeschätzt. Die Unsicherheit der den N_{AWR} zugrundeliegenden DLR-Aufwachwahrscheinlichkeitsfunktion wurde nicht berücksichtigt. Die Ausgleichsrechnung liefert die Parameter einer Exponentialfunktion (rote Kurven in den Grafiken) sowie die Standardunsicherheit dieser Parameter (dargestellt durch die blauen Kurven). Anhand dieser Parameter lässt sich für jeden beliebigen 8-Stunden-Mittelungspegel der zugehörige N_{AWR} –Wert, resp. umgekehrt aus vorgegebenen N_{AWR}-Werten die zugehörigen Pegelwerte bestimmen, jeweils unter Angabe der Unsicherheiten. Dies wird nachfolgend für sieben verschiedene N_{AWR}-$L_{Aeq,8h}$-Kombinationen gemacht. Die entsprechenden Werte werden in die Tab. 4-3 übernommen.

8.4. Kastka-Studie zur FOX-Route

Gesamtstörwirkungen von Überflügen vor/nach Einführung der FOX-Route



Störwirkungen von Überflügen vor/nach Einführung der FOX-Route unterteilt nach Untersuchungsort

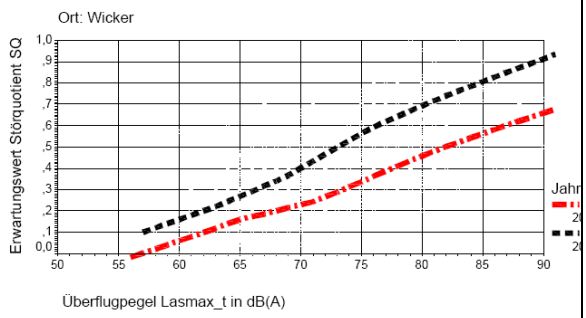
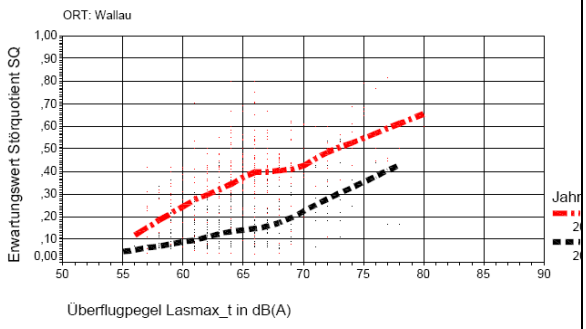
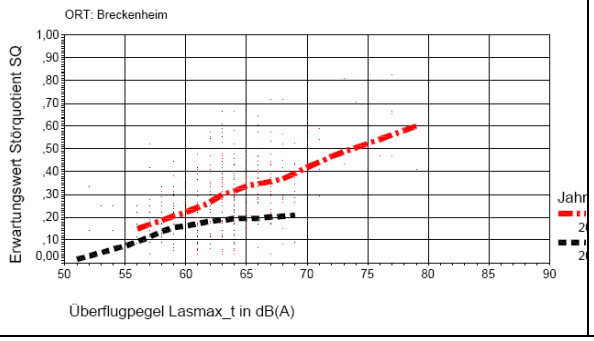
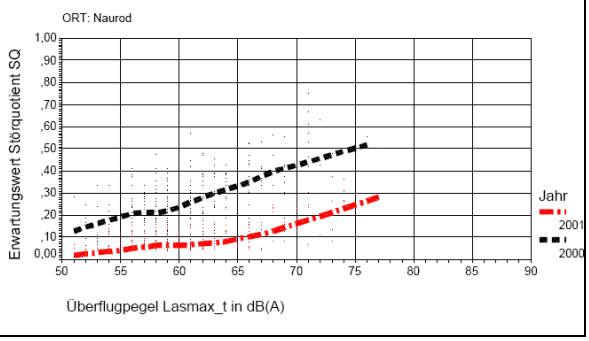
Zunahme an stündlichen Überflügen in der Untersuchungszeit in 2001 im Vergleich zu 2000	Abnahme der stündlichen Überflüge in der Untersuchungszeit in 2001 im Vergleich zu 2000
	
	

Fig. 8-4. Belastungs-Wirkungsbeziehung zwischen ereignisbezogener Störwirkung (Störquotient) und dem Überflugpegel $L_{AS_max_t}$ in den Untersuchungsgebieten der Kastka-Studie zur FOX-Route [80].

8.5. Vorgehen beim Vergleich verschiedener Szenarien bei Änderung der Bevölkerungszahlen oder Änderung des Berechnungsverfahrens

8.5.1. Änderungen in den Bevölkerungszahlen:

Bei der jährlichen Berechnung eines wirkungsbezogenen Indexes sollten immer die aktuellen Bevölkerungszahlen benutzt werden, ansonsten kann es zu Verzerrungen oder gar Fehlinterpretationen der Ergebnisse kommen. Dies soll anhand des nachfolgenden, konstruierten Beispiels aufgezeigt werden:

A) Im Stichjahr wird die Siedlung A direkt überflogen. Ein Großteil der Einwohner fühlt sich durch den Fluglärm hoch belästigt. Der neu eingeführte Index zur Beurteilung des Fluglärms liefert einen HA-Wert von 1000. Die Gemeinde beschließt die exponierten Bewohner umzusiedeln. Sie stellt dafür in ca. 3 Kilometern Entfernung zur Flugachse Land zum Bau einer neuen Siedlung B zur Verfügung. Siedlung A wird in ein Industriequartier umfunktioniert.

B) Der Flughafenhalter ist verpflichtet, die Belästigung durch Fluglärm nach Maßgabe des wirkungsbezogenen Indexes zu minimieren. Dank der parzellenscharfen Angaben über die Wohnbevölkerung ist er über die Situation der Siedlung A informiert. Es wird deshalb entschieden die Flugroute um 3 Kilometern zu verschieben.

C) Fünf Jahre später ist die Siedlung B gebaut und die Flugroute verschoben. Zudem hat sich der Flugverkehr auf der verschobenen Route nahezu verdoppelt. Der HA-Wert beträgt für die Siedlung B bei unveränderter Einwohnerzahl jetzt 1500. (Eigentlich müsste er höher liegen, denn die Einwohner regen sich maßlos über das „rücksichtslose“ Vorgehen der Flughafenverantwortlichen auf. Aber die dem Index zugrunde liegende Belastungs-Wirkungsbeziehung berücksichtigt regionale Effekte nicht.)

D) Da der Flughafenhalter über die kleinräumigen Bautätigkeiten in der weiteren Umgebung des Flughafens nichts weiß und zur Berechnung des Indexes die für das Stichjahr gültigen Bevölkerungszahlen benutzen muss, freut er sich über die rechnerische Reduktion des Indexes um 1000 Einheiten. Hätte er zusätzlich die aktuellen Bevölkerungszahlen benutzt, so wäre ihm schnell klar geworden, dass die Verschiebung der Flugroute kontraproduktiv war. Zudem hätte er feststellen müssen, dass der Index-Wert um 50% von 1000 auf 1500 angewachsen ist, wobei rund zwei Drittel der HA (nämlich nominell 1000) auf die Umsiedelung und nur ein Drittel auf die Mehrbewegungen zurückzuführen sind.

Die Quintessenz daraus ist, dass beim jährlichen Fluglärmnachweis sowohl die aktuellen Bevölkerungszahlen als auch diejenigen eines bestimmten Stichjahres verwendet werden sollten. Die Verwendung der aktuellen Bevölkerungszahlen gewährleistet, dass der wirkungsbezogene Index als Controllinginstrument richtig arbeiten kann. Anhand der Bevölkerungszahlen des Stichjahres lässt sich dagegen der Einfluss einer veränderten Bevölkerungsverteilung auf den Index bestimmen. Um Verzerrungen oder Fehlinterpretationen zu vermeiden, sollten deshalb beide Berechnungen unter Verwendung desselben Belastungszustands durchgeführt werden.

8.5.2. Änderungen im Berechnungsverfahren

Wenn verschiedene Betriebsszenarien miteinander verglichen werden, sollte man darauf achten, dass immer dieselben methodischen Ansätze bei der Berechnung der Fluglärmbelastung zur Anwendung kommen resp. immer dasselbe Berechnungsverfahren verwendet wird. Andernfalls kann nicht sichergestellt werden, ob allfällige Belastungsdifferenzen „real“, d.h. ihre Ursachen in der Veränderung des Flugbetriebs zu suchen, oder aber ein Artefakt des geänderten Berechnungsverfahrens sind. Mit anderen Worten: Wenn sich das verwendete Berechnungsverfahren substantiell ändert, müssen sämtliche Betriebsszenarien, die miteinander verglichen werden sollen, mit diesem neuen Verfahren berechnet werden. Dies gilt auch für bestehende Belastungsrechnungen, die in den Vergleich einbezogen werden. Sie müssen ebenfalls neu berechnet werden, sofern die nachfolgend beschriebenen Voraussetzungen gegeben sind.

Unter substantiellen Änderungen sind Pegelabweichungen zu verstehen, die größer sind als die zweifache Standardunsicherheit, welche das angewendete Berechnungsverfahren wegen der vereinfachenden Annahmen in der Beschreibung des Flugzeugs als Schallquelle und in der Modellierung der Schallausbreitungsvorgänge aufweist. Ist die Standardunsicherheit unbekannt, so sollten die Pegeldifferenzen zwischen dem alten und neuen Verfahren 1 dB nicht überschreiten. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass bei der Quantifizierung von Belastungen und von wirkungsbezogenen Indices deren Berechnungsunsicherheiten ebenfalls angegeben werden. Ist dies nicht der Fall, so sollten die Pegeldifferenzen zwischen einem alten und neuen Verfahren bezogen auf denselben Betriebszustand nicht größer sein als die aufgrund von aktiven Schallschutzmaßnahmen zu erwartenden Pegelveränderungen. Ansonsten sind die Vergleichsrechnungen unbrauchbar.

Es sind folgende Anpassungen der Berechnungsverfahren denkbar, die zu substantiellen Pegeländerungen in der oben beschriebenen Größenordnung führen können:

- Vollständig neuer Quellendatensatz; die Überarbeitung oder Anpassung einzelner Typengruppen wegen der Inverkehrsetzung neuer Flugzeugtypen fällt nicht darunter.
- Berücksichtigung von Schubänderungen während des An- und Abflugs; es fehlen zurzeit geeignete Datensätze, die für die Modellierung entsprechender Effekte herangezogen werden können.
- Berücksichtigung der Klappenstellungen und der Stellung des Fahrwerks hauptsächlich während des Anflugs; auch hier fehlen geeignete Datensätze zur Modellierung.
- Berücksichtigung des richtungsabhängigen Spektrums der Schallquelle.
- Belastungsrechnungen unter Verwendung von Radardaten, indem jeder Einzelflug separat durchgerechnet wird; dies hat vor allem einen Einfluss in Flugdistanzen über 30 Kilometer.
- Berechnen des Ereignispegels anhand des zeitlichen Pegel-Verlaufs.

Die obige Aufzählung ist unvollständig und sollte unter Einbezug von Fachspezialisten ergänzt und wenn möglich komplettiert werden. Falls im Berechnungsverfahren entsprechende Anpassungen und Veränderungen vorgenommen werden, sollte unter Beachtung der oben formulierten Regeln zuerst untersucht werden, ob die Anpassungen zu substantiellen Pegeländerungen führen. Dies kann überprüft werden, indem derselbe Betriebszustand einmal mit dem alten und einmal mit dem neuen resp. angepassten Verfahren berechnet wird.

8.6. Leistungsbeschreibung für eine wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauvorhabens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindices für das Regionale Dialogforum Frankfurt

Hinweise:

- Die Seitenzahlen in der nachfolgenden Leistungsbeschreibung entsprechen nicht dem Original, sondern beziehen sich auf die fortlaufende Seitennummerierung dieses Gutachtens.
- Die in der Leistungsbeschreibung aufgezählten Anlagen (S. 133) sind diesem Gutachten nicht beigefügt.

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Leistungsbeschreibung für eine wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauverfahrens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindices für das Regionale Dialogforum Frankfurt

Darmstadt, 12.3.2008

Autorin:
Ass. jur. Regine Barth

Öko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
79028 Freiburg. Deutschland
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg. Deutschland
Tel. +49 (0) 761 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 761 - 4 52 95-88

Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt. Deutschland
Tel. +49 (0) 6151 - 81 91-0
Fax +49 (0) 6151 - 81 91-33

Büro Berlin
Novalisstraße 10
10115 Berlin. Deutschland
Tel. +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund 128

2 Mit dem Index verfolgte Ziele 128

3 Gegenstand der wissenschaftlichen Bewertung der vorgelegten Indices 129

3.1 „Frankfurter Fluglärmindex“ des Anti-Lärm Paktes des RDF 129

3.2 „Frankfurter Nachtindex“ 130

3.3 Regelung im Planfeststellungsbeschluss 131

4 Fragestellungen für die wissenschaftliche Bewertung 131

4.1 Übergreifende Fragestellung 131

4.2 Einzelfragen 131

5 Vorgeschlagener Ablauf 132

6 Anlagen 133

9. Hintergrund

Im Sommer 2007 wurden im Rahmen der Gespräche über einen Anti-Lärm Pakt des Regionalen Dialogforums Frankfurter Flughafen Vorschläge für die Einführung eines Lärmindex entwickelt.
Am 12. Dezember 2007 unterzeichnete die Luftverkehrswirtschaft und das Land Hessen eine Erklärung. Sie beinhaltet u.a. die Umsetzung aktiver Schallschutzmaßnahmen und die Absicht der Erfassung der dadurch erreichten Lärmreduktion z.B. in Form eines Indexes.
In ihrer Entscheidung über den Antrag der Fraport AG auf Planfeststellung einer vierten Landebahn hat die Planfeststellungsbehörde mit Datum zum 18. Dezember 2007 diese Idee in modifizierter Form aufgegriffen und gleichzeitig in der Begründung zum Planfeststellungsbeschluss unter den Vorbehalt gestellt, dass eine wissenschaftliche Qualitätssicherung noch aussteht.
Damit das Ziel der Etablierung eines Index effektiv vorangetrieben werden kann, möchte der Vorsitzende des Regionalen Dialogforums eine wissenschaftliche Bewertung der Vorschläge beauftragten. Die Ergebnisse sollen zum geplanten Abschluss des RDF im Juni 2008 vorliegen. Sie sollen für die weitere Diskussion der Akteure in der Region verfügbar sein, einschließlich der Frage einer möglichen Anpassung des Planfeststellungsbeschlusses im Detail.

10. Mit dem Index verfolgte Ziele

Der Fluglärm-Index soll die zukünftige Lärmentwicklung in der vom Fluglärm betroffenen Region transparent darstellen. Zu- und Abnahmen von Belastungen sollen für die Gesamtregion ermittelt und dargestellt werden. Er soll aber so konzipiert sein, dass auch eine Auswertung für die jeweiligen Kommunen oder einen Stadtteil erfolgen kann.
Der Index soll als Instrument geeignet sein für:

- Schaffung Transparenz über die Entwicklung der Lärmwirkungen in der Region
- Abbildung der Auswirkung von aktiven Schallschutzmaßnahmen insbesondere auch in ihrer Kombination
- Bewertungsmöglichkeit bei Prüfungen, welche Maßnahmen des aktiven Schallschutzes tatsächlich vorteilhaft sind und eingeführt werden sollen
- Instrument zur Definition einer regionalen Lärmobergrenze, an deren Überschreitung bestimmte Folgen geknüpft werden können (z.B. Betriebsbeschränkungen oder auch nur Prüfpflichten o.Ä.)

Bisher wurden die existierenden Potenziale zur Lärmentlastung der Bevölkerung durch Maßnahmen des aktiven Schallschutzes auch deshalb nicht erschlossen, weil kein Instrumentarium zur Verfügung steht, wie lärmverteilende Wirkungen so bewertet werden können, dass unter Berücksichtigung der Betroffenenzahlen und unterschiedlicher Intensitäten eine Abwägung zwischen Vor- und Nachteilen von Maßnahmen möglich ist. Ebenso wurde bisher als Gegenargument verwendet, dass die Entlastungspotenziale einer einzeln betrachteten Maßnahme meist - jedenfalls flächendeckend – im Dauerschallpegel nicht mehr als 1 dB(A) Reduktion ausmachen und damit für Menschen nicht hörbar seien. Wichtig war daher, einen Maßstab zu finden, der es dennoch erlaubt, Änderungen der Auswirkungen von Fluglärm auf Menschen durch aktiven Schallschutz zu bewerten. Ebenso soll bewertbar sein, wie sich verschiedene Maßnahmen kumulativ auswirken[12].

[12] Aus heutiger Sicht kann auf der Basis der Ergebnisse der im Zuge der Diskussion zum ALP etablierten Expertengruppe erwartet werden, dass die angestrebte Lärmreduktion insbesondere durch die nachfolgend benannten Maßnahmen

Nicht verfolgt wird mit den Indices das Ziel, Grenzwerte zu formulieren, die zeigen, ab wann für den Einzelnen eine Lärmbelastung als gesundheitlich bedenklich einzustufen ist oder ab wann Fluglärm im rechtlichen Sinn unzumutbar ist. Der Index hat nicht die Abbildung des Ausmaßes der Belastung einer einzelnen Person zum Ziel. Er soll auch nicht dazu dienen, ein Gebiet zu definieren, in dem Schallschutz oder sonstige Entschädigungen geleistet werden sollen. Ebenso wenig soll der Index als Ersatz für zahlenmäßige Beschränkungen gewertet werden, wie zum Beispiel für das Nachtflugverbot.

11. Gegenstand der wissenschaftlichen Bewertung der vorgelegten Indices

Gegenstand der wissenschaftlichen Bewertung sind drei vorgeschlagene Formen eines Index. Im Zuge der Gespräche zum ALP hat Dipl. Ing Kurt Müller exemplarische Berechnungen durchgeführt, wie sich die Indices für verschiedene Szenarien entwickeln würden. Dabei hat er sowohl Bestands-, Planwerte 2020 als auch diverse Schallschutzmaßnahmen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in einem Papier zusammengefasst, das als Anlage beigefügt wird. Selbstverständlich können auf Wunsch sämtliche Rohdaten zur Verfügung gestellt werden.

11.1. „Frankfurter Fluglärmindex“ des Anti-Lärm Paktes des RDF

Der Frankfurter Fluglärmindex stellt die Zahl aller Hoch Belästigten innerhalb des Gebiets von Ldn > 55 dB(A) dar. Für die Berechnung wird jeweils in Schritten von 1 dB(A) ermittelt, wie viele Personen innerhalb der entsprechenden Isophone leben. Anhand der in der RDF Belästigungsstudie[13] ermittelten Dosis – Wirkungsbeziehung wird jeweils die Zahl der Hochbelästigen in diesem Gebiet

---

erfolgreich realisiert werden kann. In die weitere Detaillierung und Prüfung wird die Expertengruppe „Leiser Flughafen“ einbezogen.

a.) Erhöhung Anfluggleitwinkel auf zunächst 3,2 Grad;

b.) Anhebung der Rückenwindkomponente auf 7 Knoten;

c.) Lärmoptimierte An- und Abflugverfahren, insbesondere vertikale und laterale Optimierung in geeigneten Anwendungsbereichen mit moderner Flugsicherungstechnik. Definition besonders lärmarmer Verfahren in der Nacht (insbesondere in der Mediationsnacht) unter Berücksichtigung der geringeren Kapazitätsanforderungen (u.a. modifizierter Offset-approach). Meilensteinplan für zukünftige Optimierungen wie z.B. Curved Approach;

d.) Erweiterte Anwendung und Optimierung des CDA;

e.) Nächtliche Beschränkung der Probeläufe und weitere Maßahmen zur Reduzierung des Bodenlärms mit gesonderten Regelungen für die Nacht;

f.) Dedicated runway operations (Installation eines optimierten Nutzungskonzepts des Bahnensystems in Zeiten mit geringeren Kapazitätsanforderungen, insb. Nachts). Durch Rotation und eingeschränkte Nutzung sollen die Lärmauswirkungen reduziert bzw. die Betroffenheit durch Schaffung von Lärmpausen gemildert werden;

g.) Optimierungen an bestehenden Flotten, um das Emissionsverhalten des Fluggeräts zu verbessern;

h.) Sukzessive Umstellung des Flugzeugmixes auf besonders lärmarme Flugzeuge mit über Kap. 4 hinausgehenden Anforderungen, soweit entsprechende Flugzeuge zur Verfügung stehen.

Hinweis: Die DFS weist darauf hin, dass für eine Reihe der oben genannten Maßnahmen des aktiven Schallschutzes Abweichungen von ICAO-Standards erforderlich wären.

[13] Schreckenberg/Meis: Belästigung im Umweld des Frankfurter Flughafens Langfassung 2006, http://www.dialogforum-flughafen.de/fileadmin/PDF/Presse/Belaestigungsstudie_Langfassung.pdf

berechnet und hieraus die Gesamtsumme gebildet. Um keine Verzerrungen der Ergebnisse durch Zu- und Wegzug von Personen zu erhalten, soll Datengrundlage die parzellengenaue Einwohnerverteilung von 2005 sein, die Fraport im Zuge der Planfeststellung ermitteln ließ. Der Ldn wird hierfür definiert als Dauerschallpegel, in dessen Berechnung Flugbewegungen zwischen 22-6 Uhr 10-fach gewichtet eingehen. Berechnungsgrundlage soll die novellierte AzB inkl. 3 Sigma Regel sein, wobei soweit für die möglichst wirklichkeitsnahe Abbildung der Wirkungen erforderlich und möglich, für die Berücksichtigung der eingeführten aktiven Schallschutzmaßnahmen von deren Standardannahmen abgewichen werden kann. Fragen zur Lärmberechnung sollen im Rahmen dieser Expertise jedoch nicht beantwortet werden.
Die Daten sollen so vorliegen, dass ergänzend auch Gebiete zwischen Ldn 50 und 55 dB(A) ausgewerten werden können und dass ergänzend auch Teilgebiete ausgewertet werden können. Ebenso soll es möglich sein, getrennt nach Betriebsrichtungen auszuwerten.
Es wurde eine Vereinfachung der Dosis-Wirkungskurve vorgeschlagen, so dass sich folgende Werte ergeben:

L_{DN} [dB]	HA (L_{DNi}) [%]
55	31
56	33
57	35
58	37
59	40
60	42
61	44
62	46
63	48
64	51
65	53

Ein wichtiger Grund für die Wahl eines über 24 h gebildeten Index war es, auch Zu- und Abnahmen durch Maßnahmen, die aus Kapazitätsgründen oder sonstigen Gründen lediglich in der Nacht durchgeführt werden können oder sollen, in Relation zu den Entwicklungen am Tag gesetzt werden können.

11.2. „Frankfurter Nachtindex“

Ergänzend hierzu wurde ein Nachtindex entwickelt, insbesondere um besondere Entlastungswirkungen oder Belastungswirkungen in der Nacht beurteilen zu können, Er basiert auf den Ergebnissen der DLR Schlafstudie[14]. Dieser Index soll die wahrscheinlichen zusätzlichen, nicht notwendigerweise erinnerbaren Aufwachreaktionen gemäß Definition des DLR abbilden, die sich aufgrund des Flugbetriebs von 22-6 Uhr ergeben.
Hierfür werden für alle Personen die Zahl und Höhe aller Einzelschallereignisse in diesem Zeitraum festgestellt und jedem Ereignis die vom DLR ermittelte mittlere Aufwachwahrscheinlichkeit zugeordnet. Die sich aus der Summe der Ereignisse ergebende Aufwachwahrscheinlichkeit wird für jede Person bestimmt. Der Nachtindex soll die Gesamtzahl aller zusätzlichen Aufwachreaktionen relevant betroffener Wohnbevölkerung in der Region darstellen, wobei zur Abgrenzung nur solche Personen einbezogen werden, deren Aufwachwahrscheinlichkeit mindestens 0,5 beträgt.
Das DLR ist in seiner Studie von Innenpegeln ausgegangen. Das bedeutet, dass real aufgrund von bereits durchgeführten oder noch ausstehenden Maßnahmen des passiven Schallschutzes bei

[14] Basner/Samel, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt Forschungsbericht 2004-07/D

denjenigen der Gesamtmenge, die in Schallschutzgebieten leben oder selbst für Schallschutz gesorgt haben, die tatsächliche Gesamtzahl wahrscheinlicher zusätzlicher Aufwachreaktionen geringer ist. Wegen des spezifischen Zwecks des Index zu Planungszwecken sollte hier die Schutzwirkung durch passiven Schallschutz bewusst außer Acht gelassen werden und einheitlich von einer Differenz von 15 dB zwischen Innenpegeln und den zugehörigen Außenpegeln ausgegangen werden.

11.3. Regelung im Planfeststellungsbeschluss

Die Nebenbestimmung Nr. 5.1.7 des Planfeststellungsbeschlusses sieht unter anderem vor, dass die Vorhabensträgerin folgende Informationen über den Flugbetrieb im Vorjahr vorlegt:
- eine Darstellung der Isophonen für energieäquivalente Dauerschallpegel von 53 dB(A) bis 70 dB(A) in Schritten von 1 dB(A), jeweils getrennt für die Zeiträume von 6-22 Uhr und 22-6 Uhr.
- eine Darstellung der Isophonen, die 6 Überschreitungen eines Lmax von 72 dB(A) im Zeitraum von 22-6 Uhr entspricht.
- Berechnung erfolgt nach AzB
- für die Isophone soll jeweils die Zahl der Personen dargestellt werden, die von den Isophonen betroffen werden. Auch hierbei soll auf die Daten des Jahres 2005 zurückgegriffen werden.

Ob und wie die so generierten Daten gegeneinander gewichtet werden sollen, geht aus dem Planfeststellungsbeschluss nicht hervor, sondern es wird in der Begründung angedeutet, dass hier die Überlegungen aus dem RDF noch qualitätsgesichert werden sollten.

12. Fragestellungen für die wissenschaftliche Bewertung

Die Expertise soll die im Folgenden aufgeführten Fragestellungen aufgreifen. Die Beantwortung soll auf Basis vorhandener wissenschaftlicher Ergebnisse und Fachexpertise beantwortet werden. Soweit Fragen nicht oder nicht abschließend beantwortbar sind ohne weitergehende Forschungsmaßnahmen oder komplexe Neuberechnungen, ist der vorhandene Stand der Forschung und der zusätzlich erforderliche Forschungsbedarf darzustellen.

12.1. Übergreifende Fragestellung

Ist ein regionaler Index aus wissenschaftlicher Sicht grundsätzlich geeignet als Instrument zur Beurteilung von Lärmentwicklungen aufgrund der Änderung von Zahl, Ort und Art der Überflüge?
Sind die hierfür vorgelegten Vorschläge geeignet?
Welche Modifikationen werden ggf. als erforderlich angesehen?

12.2. Einzelfragen

a.) Sind die in den drei Vorschlägen gewählten Parameter aus Sicht der Lärmwirkungsforschung für einen Index geeignet, der regional Änderungen von Immissionen und den damit verbundenen Fluglärmwirkungen abbilden soll und hierbei sowohl Flüglärm am Tag wie in der Nacht in den Blick nimmt?
b.) Wie kann sichergestellt werden, dass Tag- und Nachtwirkungen verglichen werden können? Ist ein 24 h Index geeignet? Sollte zusätzlich eine getrennte Erfassung der Nacht erfolgen? Oder die Trennung zwischen Tag und Nacht ?

c.) Eine Kernfrage für alle drei Indizes betrifft die Abgrenzung des betrachteten Gebiets. Intention der Diskussionen im Zuge des Anti-Lärm Pakts war es, den Schwerpunkt eher bei der Abbildung von „relevant“ Belasteten zu setzen als bei der Abbildung aller auch marginal vom Lärm Betroffenen. Dabei sollten jedoch keineswegs nur solche Personen einbezogen sein, die so stark belastet sind, dass sie individuelle Rechtsansprüche zum Beispiel auf passiven Schallschutz geltend machen können. Eine Überlegung war, sich an der Rechtsprechung zu orientieren, die ab einem Leq von 55 dB(A) bei Entscheidungen über Flugrouten eine Abwägungsrelevanz der Lärmauswirkungen sieht. In jedem Fall soll sichergestellt sein, dass nicht anhand der Systemabgrenzung ein erheblicher Teil der vom gewählten Wirkungskriterium betroffenen Personen im Index unberücksichtigt bleibt. Dies sollte im Rahmen der zu beauftragenden Bewertung überprüft werden.

d.) Ist ausgeschlossen, dass Ergebnisverzerrungen aufgrund der gewählten Gebietsabgrenzungen die Aussagekraft des Index wesentlich beeinträchtigen? Hintergrund dieser Fragestellung ist die von Betroffenenseite geäußerte Befürchtung, die Handelnden im Luftverkehr würden Maßnahmen gezielt so gestalten, dass sie nur innerhalb der Gebietsabgrenzung wirksam werden, ohne dass sichergestellt bleibt, dass sie außerhalb zu erheblichen Mehrbelastungen führen. Gäbe es Möglichkeiten einer entsprechenden Absicherung?[15] Oder erscheint eine Ausweitung der Gebietsabgrenzung der vielversprechendere Weg?

e.) Bisher bleibt in der Konzeption des Frankfurter Fluglärmindex unberücksichtigt, dass insbesondere bei Neubelastungen oder wesentlichen Steigerungen die Belästigungswirkung bei Menschen überproportional ansteigt. Lässt sich abschätzen, wie stark solche „überschießenden“ Wirkungen sind? Gibt es auf Basis der vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse eine Möglichkeit, dieses sachgerecht durch einen entsprechenden Malus für Neubelastungen oder ähnliche Überlegungen im Index abzubilden? Oder könnte zur ergänzenden Betrachtung für die Entscheidungsfindung über aktive Schallschutzmaßnahmen eine eigenständige Erfassung von möglichen Sonderwirkungen durch Neubelastete erfolgen? Lässt sich eine Aussage darüber treffen, welches ungefähre Ausmaß bezogen auf Indexergebnisse eine Verzerrung der Nichterfassung überschießender Wirkungen hätte? Müsste von einer vorübergehenden Verzerrung ausgegangen werden, oder wäre anzunehmen, dass sie dauerhaft bestehen bleibt?

f.) Bisher blieb in der Konzeption des Nachtindex unberücksichtigt, dass die Arbeiten des DLR auch Erkenntnisse darüber gebracht haben, wie sich Aufwachwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit des Zeitpunkts eines Ereignisses, bzw. in Abhängigkeit des zeitlichen Abstands zwischen den Ereignissen unterscheiden. Lässt sich einschätzen, wie hoch die Verzerrung der Indexergebnisse ohne Berücksichtigung ist? Halten Sie vor dem Hintergrund der mit dem Index verfolgten Ziele eine Änderung der bisherigen Konzeption für erforderlich und welche Eckpunkte sollten dabei berücksichtigt werden?

g.) Welche Konzeption ist unter Praktikabilitätsgesichtspunkten vorzugswürdig?

13. Vorgeschlagener Ablauf

[15] Im Rahmen der Diskussionen hat die Wissenschaftliche Begleitung hierzu vorgeschlagen, jeweils vorsorglich eine Überprüfung der Auswirkung in einem Gebiet von Ldn 45-55 dB(A) nach gleichen Parametern vorzunehmen, um etwaige nicht intendierte Effekte, die in erheblichem Maß kontraproduktiv zum Ziel der regionalen Entlastung sind. frühzeitig zu erkennen.

Es ist vorgesehen, dass die mit der Bewertung beauftragten Gutachter eine gemeinsame Stellungnahme ausarbeiten. Bei eventuellen nicht ausräumbaren Dissensen sollten diese dargestellt und begründet werden. Die Stellungnahme soll die aufgeworfenen Fragen beantworten und der wissenschaftliche Hintergrund des Ergebnisses jeweils erläutert werden.
Im Rahmen eines gemeinsamen Kick-off Termins sollten offene Fragen geklärt werden sowie die Arbeitsplanung, ggf. weitere Treffen und die Arbeitsaufteilung zwischen den Gutachtern. Dort besteht ebenso die Möglichkeit, über ggf. wünschenswerte zusätzliche Daten zu beraten, z.B. Details zu den exemplarischen Indexberechnungen. Um deren Beschaffung würde sich soweit möglich die Wissenschaftliche Begleitung bemühen.
Ein erster Entwurf der Stellungnahme soll bis zur 22. KW erstellt werden, so dass er zunächst intern dem Vorsitzenden des RDF, der Wissenschaftlichen Begleitung und der Geschäftstelle des RDF mündlich erläutert werden kann. Die endgültige Fassung ist bis zum 9. Juni 2008 zu erstellen. Als weiterer Präsentationstermin ist eine Vorstellung in der Expertengruppe einzuplanen.
Die Wissenschaftliche Begleitung hat dem Vorsitzenden die Beauftragung einer Gutachtergruppe empfohlen, bestehend aus Herrn Dirk Schreckenberg, Dr. Mathias Basner sowie Herrn Georg Thomann bzw. Dr. Walter Krebs.

14. Anlagen

Als Hintergrundmaterial werden beigefügt:
- Die Textfassung des Anti-Lärm Paktes des RDF vom 14. September 2007
- Die Textfassung der gemeinsamen Erklärung der Luftverkehrswirtschaft und der Landesregierung vom 12. Dezember 2007
- Auszüge aus dem Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Frankfurter Flughafens vom 18.12.2007
- Dokument von Kurt Müller: Überblick Gebietsgröße und Aufwachreaktionen
- Dokument von Kurt Müller: Übersicht über Ergebnisse der exemplarischen Berechnungen der Indizes
- Erläuterungen zum Lärmindex