

Lärmbewertung mittels Lärmindex

Berthold Fuld, Bad Homburg, Rainer Rahn, Frankfurt am Main

Zusammenfassung Grundsätzlich ist ein Lärmindex, für den abhängig von der Belastung Betroffenheiten gewichtet und aufsummiert werden, ein diskussionswürdiger Ansatz, Lärmbetroffenheiten – nicht nur bei Fluglärm – zu bewerten. Mit der Wahl eines Bewertungsverfahrens fällt man eine Entscheidung über die Gewichtung der Betroffenheiten. So werden bei einem energetischen Index hohe Betroffenheiten stark gewichtet, während bei einem von der Belästigungswirkung abhängigen Index mäßige Belastungen vergleichsweise hoch gewichtet werden. Sofern man gezielt Veränderungen der Lärmbelastung bewerten will, ist zu prüfen, wie sich der Indexwert abhängig von der Lärmbelastung bei Verringerungen oder Steigerungen der Lärmimmission verändert. Eine diesbezügliche Analyse führt zum Ergebnis, dass bei einem energetischen Index sich Veränderungen bei hoch Belasteten stark auswirken, während beim vom Regionalen Dialogforum (RDF) vorgeschlagenen Ansatz die Veränderung des Indexwerts im einbezogenen Intervall unabhängig von der Lärmimmission ist. Problematisch sind Verfahren mit einem Abbruchkriterium und Nichtberücksichtigung von im geringeren Maße Betroffener. Hier besteht die Gefahr, dass bei geringer Lärminderung am Rande Scheinerfolge mit deutlichen Indexwertreduzierungen erzielt werden, ohne dass die Messgröße tatsächlich nennenswert reduziert wurde. Wenn man die Möglichkeit nutzen will, den Nutzen aktiver Lärmschutzmaßnahmen durch einen Index zu erfassen, benötigt man hierzu eine adäquate Berechnungsverfahren. Die AzB ist hierfür nur sehr bedingt geeignet. Ein Vergleich für verschiedene europäische Großflughäfen zeigt drastische Unterschiede der Lärmbetroffenheit. Als Flughäfen mit besonders hoher Betroffenheit fallen London Heathrow, Frankfurt und Brüssel auf. Beim vom RDF vorgeschlagenen Lärmindex korreliert die Entwicklung der Lärmbelastung nur unzureichend mit dem Indexwert. Bei der vom Forum Flughafen und Region vorgeschlagenen Einschränkung der Lärmindexermittlung auf ein vorbestimmtes Gebiet werden Verlagerungen der Lärmbelastung nicht vollständig erfasst.

Bei der Abwägung der Folgen eines Projekts mit Lärmauswirkungen, z. B. dem Ausbau eines Flughafens oder Veränderungen von Flugverfahren und -routen, stellt sich regelmäßig die Aufgabe, die unterschiedlichen Betroffenheiten gerecht zu wichten und zu bewerten und die Betroffenheit insgesamt zu ermitteln, zu minimieren und ihre zeitliche Entwicklung zu verfolgen sowie mit Alternativen oder anderen Flughäfen bzw. Flugrouten zu vergleichen. Ein Ansatz hierzu ist die Ermittlung eines Lärmindex LI für die die auf jeden Betroffenen i einwirkende Lärmimmissionskenngröße L_i mit einer Funktion $f(L_i)$ gewichtet und über alle Betroffenen aufsummiert wird:

$$LI = \sum_i f(L_i) \quad (1)$$

Variiert werden kann dieser Ansatz durch eine Logarithmierung oder einen Bezug auf eine Gesamtheit der Betroffenen, wobei letzteres allerdings einen Vergleich mit Situationen an anderen Flughäfen erschwert. Vereinzelt sind in der Literatur auch Ansätze beschrieben, bei denen weitere Variablen in die Berechnung des

Noise evaluation by an index

Summary To calculate a noise index – a weighted summation of noise concernment – is a suitable method to assess and describe a noise immission situation and the effect of noise reduction actions. It can be done not only for aircraft noise. Index calculation can be based on acoustical energy or on dose-effect-relationships, e.g. annoyance score. The method of index calculation determines the weighting of the noise value. Thus, increase or decrease in aircraft noise may cause different changes in the index value depending on the index calculation method. For an index based on the acoustical energy the value has a steep slope at high immission levels, while for the approach of the RDF (Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt) the slope is nearly independent from the noise level. Critical is the defined truncation criterion, resulting in non-consideration of lower concerned people (with $L_{dn} < 55$ dB(A)). Due of the step at the boundary, a high change of the index value at a low change of the noise value is observed, possibly giving apparent success of a noise reduction action. To measure the effect of noise reduction actions, a appropriate noise calculation method must be used. The suitability of the legal German noise calculation method (AzB) for this scope is limited. A comparison for a sample of European major airports shows drastic differences of the noise concern. Airports with high values of the indices are London Heathrow, Frankfurt and Brussel. For the index proposed by the RDF, the development of the noise exposure correlates insufficient with the value of the index. For the approach presented by the Forum Flughafen und Region with a limitation of the noise calculation for a predefined region shifts of the noise exposure are not completely considered.

Lärmindexes eingehen, z. B. die Bevölkerungsdichte [1]. Denkbar ist aber auch, neu Betroffene abhängig von der Differenz zwischen früherer und aktueller bzw. künftiger Belastung höher zu gewichten als schon bisher Belastete.

Möglich und sowohl beim Züricher Fluglärmindex [2] vorgesehen als auch in einer Bewertung der Vorschläge für einen Frankfurter Fluglärmindex [3] vorgeschlagen, sind unterschiedliche Ansätze für die Funktion $f(L_i)$ für verschiedene Zeiten, z. B. eine von der Belästigungswirkung abgeleitete Funktion für die Tagzeit und eine von der Aufweckhäufigkeit abgeleitete Funktion für die Nachtzeit.

Ansätze für Lärmindices

Energetischer Ansatz

Beim energetischen Ansatz, der beispielsweise von der Deutschen Flugsicherung (DFS) bei der Abflugstreckenoptimierung mit dem Tool NIROS [4] genutzt wird, wird der Dauerschallpegel L_{eq} für alle Betroffenen aufsummiert

$$L_{Leq} = \sum_i 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}} \quad (2)$$

Der Aufgabe angepasst wird hier der Dauerschallpegel ohne Zuschläge für Tageszeiten erhöhter Empfindlichkeit eingesetzt.

Da die Werte für L_{Leq} zunächst sehr groß und somit unanschaulich werden, bietet es sich an, das Ergebnis durch eine sinnvoll gewählte Konstante zu teilen. So wurde in [5] ein Lärmindex E_{dn55} zu

$$E_{dn55} = \frac{\sum_i N_i 10^{L_{dni}/10}}{10^{55/10}} \quad (3)$$

definiert; hierbei entspricht der Wert für jeden Betroffenen dem Verhältnis seiner Lärmimmission zu einem Bezugswert von 55 dB. Formal wurde hier für jeden dB-Bereich i die Zahl der Betroffenen innerhalb dieses dB-Bereichs N_i eingesetzt.

Statt eines Gesamtindex kann man getrennte Indices für Tag und Nacht ermitteln, indem man für L_{eq} $L_{eq,tag}$ bzw. $L_{eq,nacht}$ einsetzt. Sofern eine unterschiedliche Berücksichtigung von Tag- und Nachtzeiten gefordert wird, bietet sich alternativ zu L_{eq} die Verwendung des auch international gebräuchlichen Tag-Nacht-Beurteilungspegels L_{dn} an, bei dem nächtliche Lärmimmissionen mit dem Faktor 10 gewichtet werden (siehe [5 bis 7]).

$$L_{dn} = 10 \cdot \lg \left(\frac{16}{24} \cdot 10^{\frac{L_{eq,d}}{10}} + \frac{8}{24} \cdot 10^{\frac{L_{eq,n}+10}{10}} \right) \quad (4)$$

Ein alternativer Ansatz ist die Verwendung des Tag-Abend-Nacht-Beurteilungspegels L_{den} nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie [8]

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \left(\frac{12}{24} \cdot 10^{\frac{L_{eq,d}}{10}} + \frac{4}{24} \cdot 10^{\frac{L_{eq,n}+5}{10}} + \frac{8}{24} \cdot 10^{\frac{L_{eq,n}+10}{10}} \right) \quad (5)$$

Sofern sowohl der energetische Index für den Tag E_D als auch für die Nacht E_N ermittelt werden, kann der übliche Faktor 10 berücksichtigt werden, indem man für den Nachtindex einen um 10 dB niedrigeren Bezugswert wählt (z. B. E_{d55} und E_{n45})

In [5] wurden auch Ansätze vorgestellt, den Index nach

$$E_{dn55} = \frac{\sum_i N_i 10^{(L_{dni}/A)}}{10^{(55/A)}} \quad (6)$$

mit einem die Steigung der Funktion bestimmenden Faktor $A \neq 10$ (bei $A = 10$ erfolgt die Delogarithmierung) zu rechnen; bei $A > 10$ verläuft die Funktion flacher, bei $A < 10$ steiler. Damit ist es möglich, Betroffene anders zu gewichten.

Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Tagfluglärm als Ansatz

Statt zur Beurteilung den Dauerschallpegel oder von Dauerschallpegeln abgeleitete Beurteilungspegel heranzuziehen, wird beispielsweise in der Umgebungslärmrichtlinie [8] empfohlen, für die Bewertung der Auswirkungen auf die Bevölkerung Dosis-Wirkungs-Relationen heranzuziehen. Dabei soll nach Anhang III die Relation zwischen Belästigung und L_{den} und die Relation zwischen Schlafstörung und L_{night} verwendet werden. Gegebenenfalls könnten spezielle Dosis-Wirkungs-Relationen für Wohngebäude mit besonderer Schalldämmung und für schutzbedürftige Gruppen der Bevölkerung aufgezeigt werden.

Belästigung in Abhängigkeit der Lärmbelastung

Eine grundlegende Arbeit zum Zusammenhang von Belästigung und Lärm veröffentlichten *Miedema* und *Oudshoorn* [9]. Dabei werten sie 20 internationale Studien aus den Jahren 1967 bis 1992 aus und ermittelten Funktionen der starken (%HA; HA = highly annoyed), mittleren (%A) und geringen Belästigung (%A) in Abhängigkeit der Kenngrößen L_{dn} und L_{den} . Die vorgestellten Funktionen gingen auch in eine Veröffentlichung der Europäischen Union ein [10]. In letzterer wurde auch die Frage diskutiert, ob %HA oder %A geeigneter ist. Für die Verwendung der Kenngröße %HA sprach dabei vor allem die größere Empfindlichkeit im oberen Pegelbereich, wobei ausdrücklich erwähnt wurde, dass keine Gefahr bestünde, dass ruhige Gebiete dadurch vernachlässigt würden.

Bei der Berechnung des Zürcher Fluglärmindex wird für die Abschätzung der tagsüber hoch Belästigten aus dieser Veröffentlichung die Beziehung

$$\%HA = -1,395 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{dn} - 42)^3 + 4,081 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{dn} - 42)^2 + 0,2939 \cdot (L_{dn} - 42) \quad (7)$$

herangezogen [2] – allerdings mit der Variation, dass in die Funktion %HA(L_{dn}) statt L_{dn} $L_{eq,tags}$ eingesetzt wird und die empfindlichen Randstunden von 6 bis 7 Uhr und von 21 und 22 Uhr mit einem Zuschlag von 5 dB berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden Betroffene unter 47 dB ausgeblendet.

Neuer ist die auf eine Befragung im Umfeld des Frankfurter Fluglärms zurückgehende Belästigungsstudie im Auftrag des Regionalen Dialogforums (RDF) [11]. Die ermittelten Belästigungswerte wurden mit einer Reihe von Kenngrößen der Lärmbelastung korreliert.

Verglichen mit den in [9] bzw. [10] wiedergegebenen Ergebnissen ergab sich bei gleicher Belastung ein deutlich höherer Anteil hoch Belästigter, der allerdings im Trend neuerer Studien liegt. Die Ursache für steigende Belästigungswerte ist nicht abschließend geklärt. In [11] werden die steigende Zahl von Überflügen, Ausbausituationen und eine allgemein gestiegene Sensitivität der Bevölkerung gegenüber Umweltstressoren genannt. Zu hinterfragen wäre allerdings auch, ob nicht ein größerer Anteil niederfrequenter und damit störenderer Töne zu einer wachsenden Belästigungswirkung des Fluglärms führt.

Die in [11] ermittelte Funktion %HA = f(L_{dn}) wurde vom RDF für die Definition eines Lärmindex nach der Funktion

$$E_{HA} = \sum_i N_{dn,i} \cdot \%HA(L_{dn,i}) \quad (8)$$

aufgegriffen [12]. Hierbei ist E_{HA} die Anzahl der hoch Belästigten und N_{dni} die Anzahl der Belasteten pro Lärmscheibe Tag und Nacht; aufsummiert wird über alle Lärmscheiben i . Dabei wird die Auswertung auf den Bereich beschränkt, in dem $L_{dn} \geq 55$ dB(A) ist. In [13] wurde die Funktion %HA(L_{dn}) in diskreten Einzelwerten dargestellt, in [14] wurde sie nach einer Regressionsanalyse zu

$$\%HA = 2,18 \cdot L_{dn} - 91 \quad (9)$$

(für $L_{dn} > 41,7$ dB positiv) bestimmt.

Lautheitsfunktion als Indexmaß

In [1] wurde als Indexmaß auch eine von der Lautheitsfunktion (Näherungsgleichung)

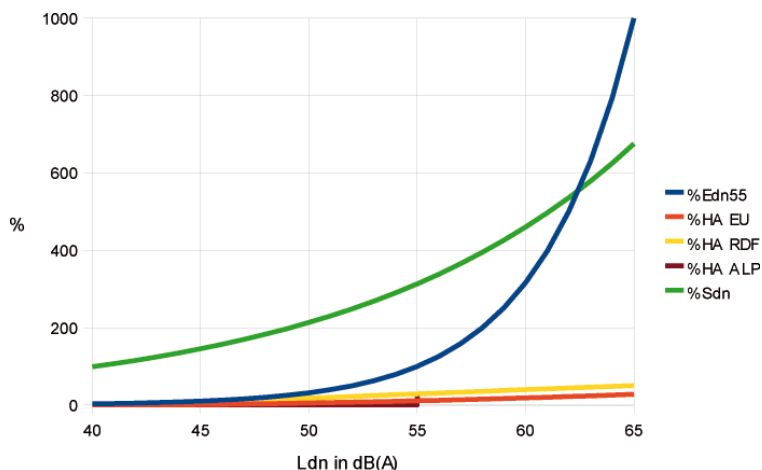


Bild 1 Kenngrößen in Abhängigkeit von L_{dn} .

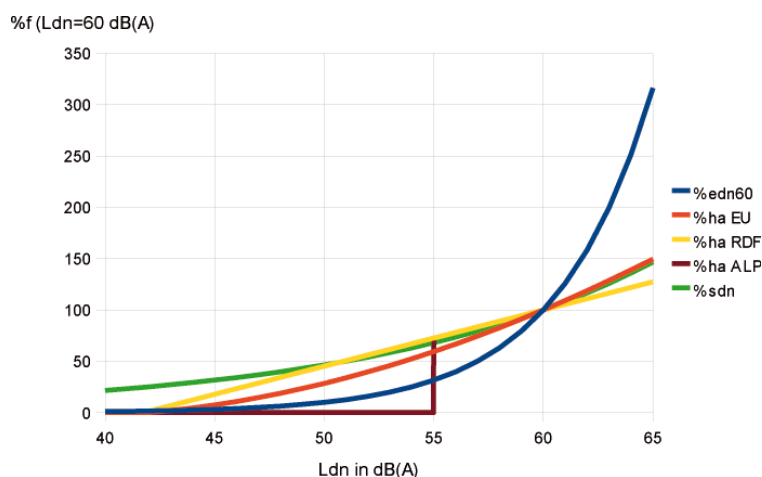


Bild 2 Kenngrößen bezogen auf $L_{dn} = 60 \text{ dB(A)}$.

$$S = 0,046 \cdot 10^{(L_N/50)} \quad (10)$$

abhängige Größe eingeführt, wobei für L_N Dauerschallpegel eingesetzt wurden. Die Indexfunktion lautet demnach

$$S_{dn} = \sum_i N_{dn,i} \cdot 0,046 \cdot 10^{(L_{dn}/50)} \quad (11)$$

Diese Funktion wird fallweise auch von der DFS im Zusammenhang mit der Nutzung von NIROS verwandt, z. B. bei einem Flugroutenvergleich in Bremen [15]. Allerdings wurden in diesem Fall die Ergebnisse mit einer unbekanntenen Kenngröße multipliziert und sind somit nicht nachvollziehbar.

Die Lautheit eines akustischen Reizes, gemessen in sone, ist proportional zu der empfundenen Lautstärke. Ein 1-kHz-Ton von 40 dB hat die Lautheit 1 sone. Bei einer Anhebung um 10 dB verdoppelt sich der Wert der Lautheit jeweils. Dieser einfache Zusammenhang gilt aber nur bei dem 1-kHz-Ton ab 40 dB. Bei Schallsignalen mit einer zeitlichen und spektralen Struktur ist der Zusammenhang komplexer. Gleichung (10) ist dahingehend eine Näherung. Trotz dieser Problematik sollte dieser Ansatz nicht von vornherein ausgeschlossen werden.

Darstellung der von Dauerschallpegeln abhängigen Kennwerte

Bild 1 zeigt die von L_{dn} abhängige Belastungsgröße E_{dn55} (%-Wert) sowie die Belastigungswerte $\%HA_{EU}$ nach [10], $\%HA_{RDF}$ nach [14], die sich vom $\%HA_{RDF}$ nur durch das Abbruchkriterium bei 55 dB unterscheidende Funktion $\%HA_{ALP}$ nach [14] und den Lautheitsindex S_{dn} . Diese Werte können als Beitrag zu einem Lärmindex für einen einzelnen Betroffenen interpretiert werden. Deutlich werden erhebliche Unterschiede in der Größe der Kennwerte, die einen Vergleich zunächst schwer machen. Auffällig sind hohe absolute Werte bei E_{dn55} . Der Bezug auf einen bestimmten Wert ist willkürlich; die Werte könnten z. B. durch Bezug auf 65 dB(A) um den Faktor 10 reduziert werden.

Die Werte sind aussagekräftiger, wenn man sie auf einen festen Wert, z. B. den Wert von $f(L_{dn} = 60 \text{ dB(A)})$, bezieht, also die Funktion

$$y = \frac{f(L_{dn})}{f(L_{dn} = 60 \text{ dB(A)})} \quad (12)$$

bildet. Zur Verdeutlichung, dass es sich hier um auf den Referenzwert $f(L_{dn} = 60 \text{ dB(A)})$ handelt, werden die Bezeichnungen für die Indexwerte hier in Kleinbuchstaben geschrieben.

Aus Bild 2 wird deutlich, dass e_{dn} bei steigenden Pegeln stärker zunimmt als die Belastigungswerte $\%ha$, sehr hoch Belastete also stärker gewichtet werden. Demgegenüber werden bei mäßigen Pegeln mit den Belastigungswerten mäßig Belastete stärker gewichtet. Die Sone-Funktion s_{dn} verläuft bei hohen Belastungen ähnlich wie die $\%ha_{EU}$ -Funktion, bei niedrigeren Belastungen werden hohe Werte erreicht. Eine Besonderheit weist dabei die Funktion $\%ha_{RDF}$ auf, bei der im Bereich $55 \text{ dB} \leq L_{dn} < 60 \text{ dB}$ eine relativ hohe Wichtung erfolgt, darunter aber die Betroffenheit ignoriert wird.

Dosis-Wirkungsbeziehungen für Nachtfluglärm

In den letzten Jahren fand eine DLR-Studie zu Nachtfluglärmwirkungen [17] größere Beachtung, in der u. a. ein Zusammenhang zwischen einem am Ohr des Schlafers auftretenden Spitzenpegel und der Aufweckwahrscheinlichkeit ermittelt wurde. Üblich ist es, von einer Einfügungsdämpfung D eines gekippten Fensters von 15 dB auszugehen. Nach [14] gilt damit für die Gesamtanzahl fluglärminduzierter zusätzlicher Aufwachreaktionen je Nacht N_{AWR}

$$N_{AWR,i} = \sum_{j=1}^n P_{AWR} (L_{AS,max,ij} - D) \quad (13)$$

mit P_{AWR} = Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufweckreaktion, $L_{AS,max}$ = A-bewerteter Maximalpegel mit der Zeitkonstante Slow gemessen, n = Zahl der während einer Nacht am Immissionsort auftretenden Geräusche mit

$$P_{AWR} (L_{AS,max,ij} - D) = 1,894 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{AS,max,ij} - D)^2 + 4,008 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{AS,max,ij} - D) - 3,3243 \cdot 10^{-2} \quad (14)$$

Die Ergebnisse dieser Studie flossen in die Kriterien für die Festsetzung von Schallschutzmaßnahmen am Flughafen Leipzig [18] ein. Beim Zürcher Fluglärmindex wird die Funktion zur Bewertung der nächtlichen Fluglärmbelastung [2] benutzt. Sie ist auch

Grundlage für den Frankfurter Nachtindex [19]. Allerdings wurde ein Abbruchkriterium definiert: Es werden nur Betroffene berücksichtigt, für die $N_{AWR} \geq 0,5$ ist.

Kombinierte Tag-/Nachtindices

Neben Indices, die auf $f(L_{dn})$ beruhen, ist auch der Zürcher Fluglärmindex *ZFI* ein Tag-/Nachtindex. Dieser wird gebildet nach der Funktion

$$ZFI = HA + HSD \tag{15}$$

mit *HA* nach oben beschriebener EU-Formel und *HSD* – die durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen – nach

$$HSD = \sum_i N_{pop,i} \cdot GsS \cdot AWR_i \tag{16}$$

für $L_{eq8h,i} > 37$ dB(A), wobei *GsS* ein Gewichtungsfaktor für starke Schlafstörung ist, der bei 0,26 angesetzt wurde.

Beurteilung von Lärmindices

Anforderungen an einen Lärmindex

Zunächst ist die Grundfunktion, dass durch den Index eine Wichtung der Betroffenheit erfolgt. Die Wichtung sollte einem allgemeinen Gerechtigkeitsempfinden entsprechen; dies impliziert, dass mit zunehmender Belastung nicht nur der Indexwert selbst, sondern auch die Steigung – die kennzeichnet, wie sich der Index bei einer Veränderung der Belastung verändert – zunehmen sollte. Dies gilt insbesondere, wenn man über eine Indexentwicklung den Nutzen von Lärminderungsmaßnahmen beurteilen will. Ein Lärmindex ist ein leicht zu verstehendes Instrument der Lärmbeurteilung. Es liegt auf der Hand, dass die Verantwortlichen sich auf solche Maßnahmen konzentrieren werden, die zu einer Reduzierung des Indexes führen – und zwar völlig unabhängig davon, ob damit auch eine Reduzierung des Lärms verbunden ist. Kein Verantwortlicher wird sich in diesem Fall Gedanken zur Reduzierung der Lärmbelastung machen, wenn diese nicht gleichzeitig auch zu einer Reduzierung des Indexes führt. Denken kann man hierbei vor allem an Möglichkeiten, Flugbewegungen „geschickt“ zu verteilen.

Sofern Dosis-Wirkungs-Beziehungen herangezogen werden, ist stets zu prüfen, ob man die Betroffenheiten hinreichend erfasst.

Vorteilhaft ist, wenn der Index eine Summe von Beiträgen jedes einzelnen Überflugs ist; dies ist bei N_{AWR} und E_{dn} gegeben, nicht aber bei den %HA-Funktionen und der S_{dn} -Funktion.

Günstig ist es, wenn das Ergebnis mit anderen Flughafensituationen vergleichbar, also nicht auf die Gesamtbevölkerung in einem Untersuchungsgebiet bezogen ist. Diese Forderung ist bei den hier vorgestellten Indices ausnahmslos erfüllt, nicht dagegen bei dem in [5] vorgestellten Ansatz

$$L_{dnreg} = 10 \cdot \log \left(\frac{\sum_i N_i \cdot 10^{L_{dni}/10}}{\sum N} \right) \tag{17}$$

Hier ist der Index von der im Betrachtungsgebiet wohnhaften Bevölkerungszahl *N* abhängig; bereits eine Erweiterung des Betrachtungsgebiets um ruhige Bereiche oder ein Bevölkerungs-

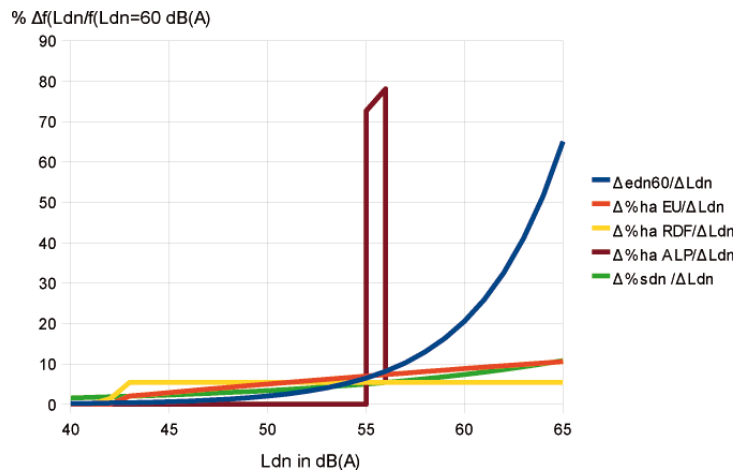


Bild 3 $\Delta LI/\Delta L_{dn}$ als Funktion von L_{dn}

zuwachs in den ruhigen Bereichen des Betrachtungsgebiets verändert den Indexwert.

Darüber hinaus ist es wünschenswert, dass die Werte anschaulich sind. Dies ist bei der Zahl der hoch Belastigten sicher gegeben; auch die Gesamtzahl der fluglärminduzierten Aufwachreaktion erfüllt den Anspruch der Anschaulichkeit. Demgegenüber ist die Anschaulichkeit der Größen S_{dn} und E_{dn} geringer.

Prüfung der Lärmindices

Die wesentlichste Frage ist, wie die Steigung in Abhängigkeit der Lärmbelastung verläuft. Da die im Anti-Lärm-Pakt verwendete Funktion nicht differenzierbar ist, wird $\Delta LI/\Delta L_{dn}$ (mit $\Delta L_{dn} = 1$ dB) gebildet und prozentual auf $f(L_{dn}=60$ dB(A)) bezogen. Das in Bild 3 dargestellte Ergebnis bedeutet beispielsweise, dass bei einer Erhöhung der Lärmimmission von 54 auf 55 dB %ha_{ALP} um 73 % des Werts bei $L_{dn} = 60$ dB(A) steigt, während bei einer Erhöhung von 60 auf 61 dB dieser Wert nur um 5,5 % steigt.

Das Ergebnis zeigt, dass bei der energetischen Funktion e_{dn} im oberen Bereich geringe Veränderungen der Lärmimmission große Veränderungen des Indexwerts zur Folge haben; Veränderungen bei stark Belasteten wirken sich also deutlich aus, aber auch Veränderungen bei niedrigen Immissionswerten bleiben nicht völlig unberücksichtigt. Bei der Funktion %ha_{EU} nimmt die Steigung langsam zu; bei 65 dB(A) wirkt sich eine Erhöhung der Lärmimmission etwa doppelt so stark aus wie bei 50 dB(A). Sehr ähnlich verläuft die Funktion %s_{dn} – mit etwas geringerer Steigung unterhalb von 63 dB(A). und einer Steigung > 0 auch unterhalb von 42 dB(A). In [15] wurde das Ergebnis durch Aussagen relativiert, dass aufgrund der geringeren Belastungen im oberen Pegelbereich nicht die Variante mit dem besten Indexwert, sondern die mit geringeren Belastungszahlen im oberen Pegelbereich vorzuziehen sei. Offenbar sahen die Autoren dieses Gutachtens die Gewichtung der hoch Betroffenen gegenüber den mäßig Betroffenen als problematisch an.

Die Funktion %ha_{RDF} hat ab 42 dB(A) eine konstante Steigung. Es ist fraglich, ob es als gerecht empfunden wird, wenn sich eine Steigerung der Lärmimmission beispielsweise von 65 auf 66 dB(A) genauso auswirkt wie eine von 42 auf 43 dB(A). Bei der im Rahmen des Anti-Lärm-Pakts vorgeschlagenen Modifikation bleiben Werte unter 55 dB(A) unberücksichtigt. Dies führt zu einem extrem hohen Wert der Differenz beim Anstieg von 54 auf 55 dB(A) bzw. bei einer Reduzierung in umgekehrter Richtung von 55 auf 54 dB(A). Damit kann man diesen Lärmindex insbesondere dadurch redu-

L_{dn} in dB(A)	Betroffene	E_{dn55}	HA_EU	HA_RDF	HA_ALP
55	20000	20000	2207	5780	5780
62	5000	25059	1102	2208	2208
Summe		45059	3309	7988	7988

Tabelle 1 Ausgangszustand eines generischen Beispiels.

L_{dn} in dB(A)	Betroffene	E_{dn55}	HA_EU	HA_RDF	HA_ALP
54	10000	7943	974	2672	0
56	10000	12589	1240	3108	3108
62	5000	25059	1102	2208	2208
Summe		45591	3316	7988	4416
Veränderung gegenüber Referenz		1,2 %	0,2 %	0,0 %	-33,5 %

Tabelle 2 Änderung der Betroffenheit mit $L_{dn} = 55$ dB(A).

L_{dn} in dB(A)	Betroffene	E_{dn55}	HA_EU	HA_RDF	HA_ALP
54	20000	15886	1948	5344	0
65	5000	50000	1388	2535	2535
Summe		65886	3336	7879	2535
Veränderung gegenüber Referenz		46,2 %	0,8 %	-1,4 %	-68,3 %

Tabelle 3 Entlastung mäßig Belasteter zum Nachteil hoch Belasteter.

zieren, dass man z. B. durch geschickte Verteilung unter Inkaufnahme einer höheren Belastung hoch Belasteter für möglichst viele Betroffene die Lärmimmission von 55 auf 54 dB(A) reduziert. Die tatsächliche Belästigung wird dabei allerdings nur marginal (entsprechend der originären %HA_RDF-Funktion) reduziert.

Um die Problematik zu verdeutlichen, werden für ein fiktives Szenario die Veränderungen der Lärmindizes (ohne dem im Verlauf dem Index %HA_EU ähnlichen S_{dn}) bei einer Veränderung der Lärmbelastung, wie sie bei einer Verlagerung von Flugbewegungen entstehen kann, dargestellt.

Im Ausgangszustand sollen 20 000 Betroffene einer Lärmbelastung L_{dn} von 55 dB(A) und 5 000 Betroffene einer Lärmbelastung von 62 dB(A) ausgesetzt sein (**Tabelle 1**). Im ersten Beispiel gelingt es, für 10 000 Betroffene die Lärmbelastung von 55 auf 54 dB(A) zu reduzieren; gleichzeitig steigt die Lärmbelastung für 10 000 weitere Betroffene von 55 auf 56 dB(A) – also eine geringe Verlagerung, die sich nicht auf die Lärmindizes auswirken sollte (**Tabelle 2**). Im zweiten Beispiel wird die Lärmbelastung von 20 000 Betroffenen von 55 auf 54 dB(A) reduziert; allerdings steigt dabei die Lärmbelastung von 5 000 Betroffenen von 62 auf 65 dB(A) (**Tabelle 3**).

Damit wird einerseits deutlich, dass durch das (in [5] juristisch, nicht mit Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung begründete) Abbruchkriterium bei %HA_ALP selbst dann eine erhebliche Reduzierung des Lärmindex zu verzeichnen ist, wenn die Lärmimmission (bzw. deren energetischer Dauerschallpegel) deutlich ansteigt, andererseits aber auch, dass auch die anderen wirkungsbezogenen Indices sich nur wenig verändern, wenn eine Reduzierung für eine erhebliche Zahl mäßig Betroffener mit einer Erhöhung der Belastung für wenige schon zuvor stark Belastete verbunden ist. Es erfordert eine weitere Diskussion, ob die Verwendung der aus der Literatur bekannten wirkungsbezogenen Indices für die Beurteilung des Nutzens von Lärmschutzmaßnahmen sinnvoll ist. Offenbar nicht geeignet ist hierfür %HA_ALP, da eine Reduzierung des Indexes in erster Linie durch eine Verringerung der Zahl der einer Lärmimmission über 55 dB(A) Ausgesetzten erfolgen kann.

Für den Lärmindex %HA_ALP stellt sich die Frage, in welchem Umfang durch das Abbruchkriterium hoch Belastete nicht berücksichtigt werden. In [14] wird als Zahlenwert (= Zahl der hoch Belasteten) für den Frankfurter Fluglärmindex FFI, der auf

%HA_ALP beruht, bei einem Abbruch bei $L_{dn} = 55$ dB(A) ein Wert von 110 520 genannt. In einer Grafik wird dargestellt, dass 49% der Belästigten einer Immission von 50 bis 55 dB(A) ausgesetzt sind und 51% darüber. Dies impliziert, dass es ca. 216 700 hoch Belastete gibt, die einer Immission über 50 dB(A) ausgesetzt sind. In [20] wurde für den Regierungsbezirk Darmstadt ermittelt, dass 8,1% der Befragten sich von Fluglärm stark und 7,3 % äußerst belästigt fühlten. Bei Anwendung des gleichen Algorithmus für die Berechnung von %HA wie in [11] (als Highly Annoyed gelten die äußerst Belästigten und 40% der stark Belästigten) ergibt sich somit ein Anteil hoch Belästigter von 10,5%. Hochgerechnet auf 3,78 Mio. Einwohner im Regierungsbezirk Darmstadt [21] ergibt dies rund 400 000 hoch Belästigte. Man kann davon ausgehen, dass diese ganz überwiegend von vom Frankfurter Flughafen ausgehenden Lärm belästigt werden. Es ist auch zu berücksichtigen, dass Belästigte in Unterfranken und Rheinhessen nicht erfasst wurden. Durch das Abbruchkriterium von 55 dB(A) bleiben also knapp drei Viertel aller hoch Belästigten unberücksichtigt, bei einem Abbruchkriterium von 50 dB(A) wären es immer noch knapp die Hälfte.

Das Forum Flughafen und Region hat nun einen Indexansatz vorgestellt [22], bei dem die Berücksichtigung der Betroffenen nicht mehr von ihrer aktuellen Belastung abhängt, sondern es soll das Gebiet betrachtet werden, in dem zum Zeitpunkt der erstmaligen Ermittlung des Indexes bestimmte Werte der Lärmbelastung überschritten werden ($L_d > 53$ dB(A); $AWR > 0,75$). Auch hier bleibt ein großer Teil der hoch Belästigten (geschätzt zwei Drittel) unberücksichtigt. Weiterhin kann eine Verlagerung von Flugbewegungen zu einer indexmindernden Reduzierung der Betroffenheit innerhalb des Betrachtungsgebiets führen, während sich daraus ergebende erhebliche Zusatzbelastungen außerhalb des Betrachtungsgebiets nicht auf den Index auswirken. Damit entsteht der falsche Eindruck einer erfolgreichen Lärmreduzierung. Die Problematik der Übergewichtung von Betroffenen, die am Rand des durch das Abbruchkriterium definierten Gebiets wohnen, gilt auch für den Frankfurter Nachtindex.

Bei Wahl eines Werts der Aufweckwahrscheinlichkeit von 0,5 oder 0,75 pro Nacht ist das Maximalpegel-/Häufigkeitskriterium nach dem Fluglärmschutzgesetz [6] nicht abgedeckt. Bei $L_{Amax} = 6 \cdot 53$ dB(A) beträgt die Aufweckwahrscheinlichkeit 0,25, bei $L_{Amax} = 6 \cdot 57$ dB(A) 0,31.

Variationen der Lärmindices

Neben dem bereits angesprochen Bezug auf den Indexwert bei einer bestimmten Lärmbelastung bietet es sich auch an – soweit die Ermittlung der zeitlichen Entwicklung der Lärmbetroffenheit im Vordergrund steht –, den Verlauf des Indexes auf einen Referenzzeitpunkt zu beziehen, z. B. Index(2009) = 100 zu definieren.

Ein wesentlicher Diskussionspunkt betrifft die Berücksichtigung durchgeführter Maßnahmen des passiven Lärmschutzes bei der Ermittlung eines Lärmindex. In [14] wird dies für die Nacht ergänzend zur Ermittlung eines rein außenlärm-basierten Indexes vorgeschlagen, wobei nur tatsächlich durchgeführte Maßnahmen berücksichtigt werden sollten. Begründet wird dies damit, dass andernfalls der Flughafen keine Möglichkeit und damit auch kein Interesse hätte, den Index durch die Realisierung von passivem Schallschutz über das gesetzliche Maß hinaus zu senken. Das Forum Flughafen und Region hat diesen Vorschlag aufgegriffen [22] und schlägt vor, im Lärmschutzbereich eine Differenz von 30 dB zwischen innen und außen anzusetzen.

Grundsätzlich ist zu fragen, ob es nicht gerechtfertigt ist, die Lärmbelastung außen gut Geschützter geringer zu wichten als Ungeschützter, die nachts in ihren Schlafräumen trotz geringerer Außenimmissionen einer höheren Belastung ausgesetzt sind. Zunächst ist dabei zu würdigen, dass man derzeit sich in einer Übergangssituation befindet, in der die Flughäfen aufgrund des Fluglärmschutzgesetzes [6] zum Aufwendungsersatz bei (neuen) passi-

ven Schallschutzmaßnahmen verpflichtet sind. Die Verpflichtung impliziert, dass sich daraus ergebende Reduzierungen eines Indexes nicht gleichermaßen gewertet werden dürfen wie bei freiwilligen Maßnahmen, also ein Lärmschutz über das geforderte Maß hinaus. Gewürdigt werden sollte auch, dass ungeachtet der Lüftungsproblematik viele Betroffene mit geschlossenen Fenstern schlafen und daher der Effekt des Einbaus allein von Lüftern nicht in vollem Umfang gewertet werden sollte.

Der pauschale Ansatz eines Werts von 30 dB als Außen-/Innenpegelverhältnis stößt auf Bedenken. Sofern sich Schallschutzmaßnahmen auf den Einbau eines Lüfters beschränken – dies ist bis zu einem nächtlichen Dauerschallpegel von 55 dB(A) regelmäßig der Fall – ist dieser Wert zu hoch. So ergibt sich bei einem bewerteten Bauschalldämmmaß von 32 dB, wie es nach der 2. FlugLSV [23] für Bestandsimmobilien bei einem nächtlichen Dauerschallpegel bis 55 dB(A) vorgeschrieben ist, nach der in einem vorangegangenen Entwurf dieser Verordnung [24] angewandten Formel ein Außen-/Innenpegelverhältnis von lediglich 23 dB. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass im Regelfall etwa ein Drittel der Betroffenen ein Angebot zum Aufwendungsersatz nicht wahrnimmt – dies rechtfertigt einen Abschlag von 2 dB – sowie ein Teil von einem Lüfter aufgrund üblichen Schlafens mit geschlossenem Fenster nicht profitiert. Es erscheint somit ein Abschlag von 20 dB bei Erstattung lediglich der Aufwendungen für einen Lüfter angemessen. Entsprechend könnte der Abschlag 25 dB bei Erstattung der Aufwen-

Tabelle 4 Lärminderungsmöglichkeiten nach [13] und Berücksichtigung in AzD/AzB.

Maßnahme	Erfassung durch AzD/AzB	Bemerkungen hinsichtlich der Berücksichtigung durch AzD/AzB
Erhöhung Anfluggleitwinkel	✓	
Anhebung der Rückenwindkomponente	✓	
Lärmoptimierte Anflugverfahren; vertikale Optimierung	*	Geänderte Zwischenanflughöhen und verschobene Landeswellen werden berücksichtigt; Gegenanflug wird nicht berücksichtigt; Anflüge mit gestuften Anflugwinkeln sind nicht vorgesehen. Nicht berücksichtigt werden Veränderungen des Zeitpunkts von Ausfahren der Klappen und des Fahrwerks
Lärmoptimierte Anflugverfahren; laterale Optimierung	✓	
Lärmoptimierte Abflugverfahren; vertikale Optimierung	*	Standardmäßig nicht vorgesehen; Thematik der Möglichkeit vom Standard abweichender Steigprofile wird angesprochen, Modelle hierfür sind nicht vorgegeben.
Lärmoptimierte Abflugverfahren; laterale Optimierung	(✓)	Keine Berücksichtigung der Windrichtung bei der Ausbreitungsrechnung
Anwendung CDA	(✓)	Kann prinzipiell berücksichtigt werden; AzB sieht nur einen Anfluggleitwinkel vor
Beschränkung der Probeläufe	–	Triebwerksprobeläufe werden von AzB nicht erfasst
Reduzierung Bodenlärm	*	Kann über APU-Laufzeit beeinflusst werden
Dedicated Runways	–	AzB ermittelt die Mittelwerte für die sechs verkehrsstärksten Monate
Optimierungen an bestehenden Flotten	–	AzB teilt die Flugzeugflotten abhängig von Flugzeuggröße, Zahl der Triebwerke und Baujahr in feste Klassen ein. Der Einsatz innerhalb einer Klasse lärmärmerer Flugzeuge bleibt unberücksichtigt
Umstellung auf besonders lärmarme Flugzeuge	*	Wird nur berücksichtigt, sofern hierfür neue Flugzeugklassen geschaffen werden.

Tabelle 5 Weitere Lärminderungsmöglichkeiten und Berücksichtigung in AzD/AzB.

Maßnahme	Erfassung durch AzD/AzB	Bemerkungen hinsichtlich der Berücksichtigung durch AzD/AzB
Zeitliche Verschiebung innerhalb des Tages bzw. der Nacht	–	
Zeitliche Verschiebung zwischen Nacht und Tag	✓	
Reduzierung der Umströmungsgeräusche durch reduzierte Geschwindigkeit [29]	–	Mögliche engere Kurven werden unter lateraler Optimierung berücksichtigt; mögliche steilere Steiggradienten unter vertikaler Optimierung der Abflugverfahren

dungen für der Verordnung entsprechenden Schallschutzfenstern im Bereich bis 60 dB(A) sein. Sofern ein Aufwendungsersatz für stärker dämmende Schallschutzfenster geleistet wurde, kann auch ein entsprechend höherer Wert zum Ansatz kommen.

Ein weiterer Punkt ist, dass neu belastete Personen stärker auf eine ähnliche Fluglärmbelastung reagieren als Personen, die schon längere Zeit der Belastung ausgesetzt sind [25]. Hieraus sollte man die Konsequenz ziehen, neu oder höher Belastete stärker zu gewichten als schon bisher Belastete.

Ebenfalls denkbar ist, die Nutzer von Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten, Altersheime und Krankenhäuser höher zu gewichten.

Anforderungen an Lärmberechnungsverfahren

Sofern – wie im Anti-Lärm-Pakt [13] vorgeschlagen – eine Indexentwicklung die Beurteilung der Auswirkungen von aktiven Lärmschutzmaßnahmen heranzieht, ist die Nutzung eines Lärmberechnungsverfahrens geboten, das eine differenzierte Lärmberechnung ermöglicht. Es ist zu prüfen, ob die AzB/AzD [26; 27] den Anforderungen für diese Aufgabe genügt.

In [13] wurden die in **Tabelle 4** aufgeführten denkbaren Maßnahmen des aktiven Schallschutzes aufgeführt. Für diese Maßnahmen wurde geprüft, ob die Auswirkungen von AzB/AzD erfasst werden. Weitere Möglichkeiten sind in **Tabelle 5** aufgeführt.

Diese Aufstellung zeigt, dass es bei Verwendung der AzB für die Lärmberechnung nicht möglich ist, lärmindernde Maßnahmen umfassend zu erfassen und bei der Ermittlung eines Lärmindex zu bewerten. Die Verwendung stark differenzierter Verfahren, die auch Umströmungsgeräusche berücksichtigen – z. B. das von der DLR entwickelte Verfahren SIMUL [29] – scheitert derzeit an einer nur geringen Anzahl modellierter Flugzeugtypen. Somit besteht hinsichtlich der Entwicklung geeigneter leistungsfähiger Berechnungsverfahren – vor allem im Hinblick auf die (aufwendige) Erfassung von Daten zur Modellbeschreibung – Handlungsbedarf.

Tabelle 6 Lärmindizes für europäische Großflughäfen.

Flughafen	E_{den55}	HA_ALP	HA_EU	E_{n45}
London-Heathrow [30]	2 856 945	261 618	103 116	2 453 686
Frankfurt [31]	531 500	76 905	28 787	587 543
Brüssel [32]	582 999	76 583	29 119	282 536
Madrid [33]	116 049	13 822	5 058	35 070
Amsterdam [34]	82 312	13 201	4 703	13 194
Mailand Malpensa [35]	110 521	12 780	5 045	163 741
Rom [35]	156 294	11 972	4 758	208 997
Wien [36]	15 712	2 667	936	4 608
München [37]	17 742	2 475	922	4 592

Ergebnisse der Lärmkartierung

Eine praktische Anwendungsmöglichkeit des Indexes ist der Vergleich der Fluglärm Betroffenheit an europäischen Flughäfen. Die EU-Umgebungslärmrichtlinie [20] schreibt vor, dass bis zum 30. Juni 2007 strategische Lärmkarten u. a. für Großflughäfen erstellt und die Zahl der Betroffenen abgestuft in 5-dB-Schritten von L_{den} (für $L_{den} > 55$ dB(A)) und L_{night} (für $L_{night} > 50$ dB(A)) der Kommission übermittelt werden sollten. Die Lärmkartierung ist mittlerweile überwiegend erfolgt; die Daten stehen überwiegend zur Verfügung. Damit ist eine überschlägige Berechnung von Lärmindizes und ein Vergleich der Lärm Betroffenheit an wichtigen europäischen Flughäfen möglich.

Aufgrund der Stufung ist es erforderlich, einen mittleren Wert für L_{den} heranzuziehen; da die Zahl der Betroffenen zu höheren Werten hin erfahrungsgemäß abnimmt, werden als Wert für L_{den} und $L_n = 57, 62, 67, 72$ oder 77 dB(A) eingesetzt, zusätzlich für $L_n = 52$ dB.

Für $HA_{ALP}(L_{den})$ wird die von *Miedema* durch Regression hergeleitete und in [11] publizierte Gleichung

$$P_C(L_{den}) = 100 \cdot \left(1 - \Phi \left(\frac{C - [\beta_0 + \beta_1 \cdot L_{den}]}{\sigma} \right) \right) \quad (18)$$

verwendet, wobei $P_C(L_{den})$ der Prozentsatz der Belästigten oberhalb eines bestimmten Belästigungswerts ist, Φ die kumulative Standardverteilungsfunktion, β_0 und β_1 Modellparameter und σ die Varianz. Für hoch Belästigte (%HA) liegt dabei der Abschneidepunkt C bei 72%. Für β_0 wurde ein Wert von $-71,4$ ermittelt, für β_1 von $2,25$ und für σ von 28 .

Für HA_{EU} erfolgte die Auswertung nach der in [10] angegebenen Gleichung:

$$\%HA = -0,9199 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{den} - 42)^5 + 3,932 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{den} - 42)^2 + 0,2939 \cdot (L_{den} - 42) \quad (19)$$

In **Tabelle 6** sind die Ergebnisse der Berechnung des E_{DEN55} , HA_{ALP} , HA_{EU} und E_{N45} , sortiert nach HA_{ALP} , aufgeführt (auch hier erfolgt keine Betrachtung der Werte für S_{dn}).

Nach London-Heathrow mit einer extremen Lärmbetroffenheit haben Frankfurt und Brüssel eine sehr hohe Lärmbetroffenheit, Madrid, Amsterdam, Mailand und Rom eine hohe und Wien und München eine mäßige. Die Gruppen unterscheiden sich jeweils etwa um den Faktor 4; in Lon-

don ist die Lärmbetroffenheit derzeit mehr als 100-mal größer als in München.

Für die Nacht fällt auf, dass die Werte für E_{n45} meist niedriger – zum Teil sogar drastisch – liegen als E_{den55} . Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass für den Bereich $45 \text{ dB(A)} < L_n < 50 \text{ dB(A)}$ die Betroffenzahlen nicht vorliegen. In der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie [8] wurde diesbezüglich der Ansatz, Nachtlärm zehnmal höher zu bewerten als Taglärm, nicht konsequent umgesetzt. Der Wert für Frankfurt liegt mehr als 120-mal höher als in München oder Wien, wo der nächtliche Flugverkehr in dünner besiedelten Regionen spürbar eingeschränkt ist.

Die vorliegenden Daten erfassen nur einen Teil der Betroffenheit; Betroffenheiten mit $L_{den} < 55 \text{ dB(A)}$ bzw. $L_{night} < 50 \text{ dB(A)}$ bleiben unberücksichtigt. Bei den Belästigtenindices führt dies zu einer deutlichen Unterschätzung der Betroffenheit [14]. Bei den energetischen Indices ist aufgrund der hohen Gewichtung der stark Belasteten der Effekt geringer.

Ein Vergleich der Betroffenheit gemessen an der Zahl der Aufweckreaktionen ist mangels Daten nicht möglich.

Der verglichen mit den Angaben in [3] bzw. [14] deutlich geringere Wert von HA_{ALP} für Frankfurt ist darauf zurückzuführen, dass in [3] L_{dn} in Anlehnung an das Fluglärmschutzgesetz [6] nach der 3-Sigma-Regel für die sechs verkehrstärksten Monate ermittelt wurde, während nach der Umgebungs-lärmrichtlinie [8] L_{den} für das ganze Jahr ohne Berücksichtigung von Zuschlägen für Schwankungen der Betriebsrichtungsverteilung errechnet werden soll.

Der Flughafen Paris – Charles-de-Gaulle ist in dieser Aufstellung nicht enthalten, da keine in 5-dB-Schritten differenzierte Betroffenaufstellung für den Flughafen allein verfügbar ist (die in [38] verfügbaren Daten enthalten für die Flughäfen im 5-dB-Raster nur die Betroffenzahlen außerhalb des Ballungsraums, der Zahlenwert der insgesamt einer Belastung L_{den} über 55 dB(A) ausgesetzten Bewohner ist inkonsistent zur Zahl der Betroffenen im Ballungsraum. In [39] sind nur Karten veröffentlicht, keine Betroffenzahlen). Aus den vorliegenden Daten ergibt sich eine sehr hohe Lärmbetroffenheit.

Im Regelfall steigt die Lärmbetroffenheit im Fall eines Baus neuer Start- und Landebahnen stärker als der Verkehr, da ein Flughafen zunächst so angelegt wird, dass möglichst wenige Menschen betroffen sind. Bei einem Ausbau ist es, da die optimale Lage bereits genutzt wurde, oft unvermeidbar, besiedelte Gebiete zu belasten. So wurden im Planfeststellungsverfahren für den Bau einer dritten Landebahn in München quantitativ relevante neue Betroffenheiten auch im Bereich sehr hoher Lärmbelastung ($L_{eq3, tags} > 65 \text{ dB(A)}$) ermittelt [40]. Die Belästigtenindices $\%HA_{ALP}$ und $\%HA_{EU}$ würden sich – sofern man die Differenzen auf den Istzustand bezieht – etwa verdoppeln, der energetische Index etwa verdreifachen.

Eignung des RDF-Lärmindex zur Beurteilung von Lärminderungsmaßnahmen

Der vom RDF vorgeschlagene Lärmindex [12] mit der Belästigungsstudie als Basis ist zur Begrenzung der Lärmbelastung oder der Kontrolle aktiver Lärmschutzmaßnahmen ungeeignet. Der Index beschreibt zwar die Gesamtbelastung (als Anzahl einer definierten Gruppe von Lärmbelasteten mit lärmabhängiger Gewichtung), ist jedoch nur zum rein deskriptiven (und retrospektiven) Vergleich verschiedener Szenarien geeignet, also z. B. zum Vergleich verschiedener Flughäfen oder zum Vergleich eines Flughafens zu unterschiedlichen Zeitpunkten. So ist z. B. der Lärmindex des Flughafens Frankfurt derzeit über 30-mal höher als der des Flughafens München.

Zur Festlegung von „Obergrenzen“ für eine zulässige Belastung oder zur Kontrolle von Maßnahmen des aktiven Lärmschutzes ist dieser jedoch völlig ungeeignet. Zum einen handelt es sich bei dem Lärmindex um einen rein summarischen Index über Ort und Zeit. Dies bedeutet, dass die tatsächliche Belastung an einem bestimmten Ort bzw. innerhalb einer bestimmten Zeitspanne nicht erkennbar ist. Eine zusätzliche Belastung in einer bestimmten Region bzw. in einer bestimmten Zeitspanne kann durch eine Entlastung an einem anderen Ort bzw. in einer anderen Zeitspanne kompensiert werden, ohne dass sich der Lärmindex hierdurch ändert.

Durch die ausschließliche Betrachtung der mit einem Lärmpegel von mehr als 55 dB(A) (oder 53 dB(A)) betroffenen Bevölkerung unter „Ausblendung“ aller geringer Belasteten erfolgt eine letztlich willkürliche Eingrenzung auf ein bestimmtes Kollektiv. Dieser Ansatz ist allein schon deshalb äußerst fragwürdig, weil die mit 55 dB(A) Belasteten mit jeweils einem Faktor von 0,31 (entsprechend $31 \%HA$) in die Berechnung eingehen, die mit 54 dB(A) Belasteten jedoch mit $f = 0$, obwohl bei dieser Belastung der Anteil $\%HA$ 0,29 beträgt. Dies bedeutet, dass eine Verminderung der Belastung von z. B. 56 auf 55 dB(A) den Lärmindex um 0,02 pro betroffener Person reduziert, bei Verminderung der Belastung von 55 auf 54 dB(A) jedoch um 0,31 pro betroffener Person, also um mehr als das 15-fache.

Wenn der vorgeschlagene Lärmindex als Kriterium für die Lärmreduktion zugrundegelegt wird, bedeutet dies, dass die Verantwortlichen nicht bestrebt sein werden, die Lärmbelastung zu vermindern, sondern den Lärmindex. Und dieser Index ist so gewählt, dass er trotz einer Zunahme der Lärmbelastung abnehmen kann.

Dr. **Berthold Fuld**, Stellv. Vorsitzender der Bundesvereinigung gegen Fluglärm e. V., Bad Homburg. Dr. **Rainer Rahn**, 2. Vorsitzender des Deutschen Fluglärmdienstes e. V., Frankfurt a. M.

Literatur

- [1] *Leder, J.*: Ein Verfahren zur Optimierung dreidimensionaler Flugtrajektorien im Hinblick auf eine minimale Fluglärmbelastung der Bevölkerung mittels eines physiologisch geprägten Gütekriteriums. Dissertation TU Darmstadt 1996.
- [2] *Huber, P.; Thomann, G.*: Zürcher Fluglärmindex ZFI – Berechnungsvorschrift. Empa-Bericht Nr. 441'255. Dübendorf 2006. www.vd.zh.ch/internet/vd/de/Themen/Flughafen/Themen/ZFI.html
- [3] *Schreckenberger, D.; Basner, M.; Thomann, G.*: Wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauverfahrens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindizes für das Regionale Dialogforum Flughafen Frankfurt. Hagen, Köln, Dübendorf 2008. www.verkehrslaermwirkung.de/08FFIFNI.pdf
- [4] Planungstool NIROS. Stand 15. April 2009. Hrsg.: Deutsche Flugsicherung (DFS). www.dfs.de/dfs/internet_2008/module/fliegen_und_umwelt/deutsch/fliegen_und_umwelt/grundlagen/planungstool_niros/index.html
- [5] Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt: Anti-Lärm-Pak(e)t. Präsentation vom 10. August 2007. www.dfld.de/Presse/PMitt/2007/070822b2.pdf
- [6] Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) vom 30. März 1971, in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007. BGBl. I, S. 2550.
- [7] Noise control and compatibility planning for airports. Hrsg.: Federal Aviation Administration. AC No: 150/5020-1. Washington 1983. www.faa.gov
- [8] Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. ABl. EG Nr. 189 vom 18. Juli 2002, S. 12-25. www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl_umgebungslaerm.pdf
- [9] *Miedema, H. M.; Oudshoorn, C. G.*: Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environm. Health Perspect.* 109 (2001), S. 409-416.
- [10] Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. Hrsg.: Europäische Gemeinschaft. Luxemburg 2002. http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noise_expert_network.pdf
- [11] *Schreckenberger, D.; Meis, M.*: Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Gutachten im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt. Endbericht. Bochum, Oldenburg 2006. www.dialogforum-flughafen.de/fileadmin/PDF/Presse/Belaestigungsstudie_Langfassung.pdf
- [12] Erläuterungen zum Lärmindex des Anti-Lärm-Pakts. Hrsg.: Regionales Dialogforum.
- [13] *Wörner, J. D.*: Anti-Lärm-Pakt – Zusammenfassung. Hrsg.: Regionales Dialogforum (RDF). Frankfurt 2007. www.dialogforum-flughafen.de/fileadmin/PDF/Anti-Laerm-pakt/Anti-Laerm-Pakt.pdf
- [14] *Schreckenberger, D.; Basner, M.; Thomann, G.*: Wirkungsbezogene Fluglärmindizes. *Lärmbekämpf.* 4 (2009) Nr. 2, S. 47-62. www.verkehrslaermwirkung.de/SchreckenbergerBasnerThomann_09_FLI.pdf
- [15] NIROS Simulation, Bericht EDDW-3, Flughafen Bremen, Bewertung alternativer Abflugrouten (Südabkurvung) von der Startbahn 09. Hrsg.: Deutsche Flugsicherung. Langen 2009. www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Simulation-EDDW-3.pdf
- [16] <http://de.wikipedia.org/wiki/Lautheit>
- [17] *Basner, M.; Buess, H.; Elmenhorst, D.; Gerlich, A.; Luks, N.; Maaß, H.; Mawet, L.; Müller, E.W.; Müller, U.; Plath, G.; Quehl, J.; Samel, A.; Schulze, M.; Vejvoda, M.; Wenzel, J.*: Nachtfluglärmwirkungen (Bd. 1): Zusammenfassung. Hrsg.: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Köln 2004.
- [18] Mitteilung der Planfeststellungsbehörde zum Planfeststellungsbeschluss vom 4. November 2004 für das Vorhaben: Flughafen Leipzig/Halle, Start- und Landebahn Süd mit Vorfeld. Leipzig 2004. www.ldl.sachsen.de/de/internet/service/planung/flughafen/startseite.htm
- [19] *Barth, R.*: Leistungsbeschreibung für eine wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauprojekts Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindizes für das Regionale Dialogforum Frankfurt. Hrsg.: Öko-Institut e.V. Darmstadt 2008; in [3] enthalten.
- [20] Lärmbelästigung in Hessen 2006. ZEUS GmbH, im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Bochum 2006.
- [21] Der Regierungsbezirk Darmstadt. Hrsg.: Regierungspräsidium Darmstadt. Darmstadt 2009. www.rp-darmstadt.hessen.de/irj/RPDA_Internet?cid=334efdedd47490291d7c01584548c78a
- [22] Forum Flughafen und Region: Vorstellung der Eckpunkte zum Lärmindex und Ausblick. Pressebriefing am 4. Dezember 2009.
- [23] Zweite Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Flugplatz-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 2. FlugLSV) vom 8. September 2009. BGBl. I, S. 2992. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/flugsv_2/gesamt.pdf
- [24] Entwurf: Zweite Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Flugplatz-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 2. FlugLSV). Stand: 5. Juni 2007.
- [25] Luftfahrt und Nachhaltigkeit: Bestandsaufnahme – Perspektiven – Handlungsspielraum, Arbeitspakete 2–5: Lärm, Umwelt, Raumentwicklung, Wirtschaft. Schlussbericht Zürich 2006. Hrsg.: Bundesamt für Zivilluftfahrt. www.bazl.admin.ch/fachleute/01169/01462/index.html?lang=de&download=NHzLpZeg7t,lnp6lONTU042lZ26ln1acy4Zn4Z2qZpn02Yuq2Z6gpJCDelf7fmym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--
- [26] Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19. November 2008 zur 1. FlugLSV. Bundesanz. 195a (Beilage) vom 23. Dezember 2008.
- [27] Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) vom 19. November 2008 zur 1. FlugLSV. Bundesanz. 195a (Beilage) vom 23. Dezember 2008.
- [28] *Neise, W.*: Zusammenfassender Schlussbericht Lärmoptimierte An- und Abflugverfahren (LanAb). Hrsg.: DLR-Institut für Antriebstechnik, Triebwerksakustik. Berlin 2007. www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2008_2/lanab_bericht_2007.pdf
- [29] *Isermann, U.; Boguhn, O.; Henkel, C.; Kowalski, T.; Schmid, R.*: Simulationsverfahren zur Fluglärmprognose. Vortrag Abschlusspräsentation Projekt „Leiser Flugverkehr“. Köln, 16. März 2004. www.dlr.de/as/Portaldata/5/Resources/dokumente/abteilungen/abt_ts/vortrag4_prognoseverfahren.pdf

- [30] Noise Mapping England. Chart: London Heathrow Airport. Hrsg.: Department for Environment, Food and Rural Affairs. <http://services.defra.gov.uk/wps/portal/noise/maps>
- [31] Lärmkartierung 2007, Betroffenenstatistik Fluglärm (für den Frankfurter Flughafen). Hrsg.: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. www.hlug.de/medien/laerm/dokumente/Betroffenenstatistik_Fluglaerm_Flughafen_Frankfurt.pdf
- [32] Verslag over de staat van het leefmilieu in Brussel 2006 : Geluidsomgeving. Hrsg.: Leefmilieu Brussel. http://documentatie.leefmilieubrussel.be/documents/EE2006NL_volet2_bruit.PDF
- [33] Actualización de los mapas estratégicos de ruido de los grandes aeropuertos. Aeropuerto de Madrid-Barajas 2008. Hrsg.: Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea. www.aena.es
- [34] Actieplan omgevingslawaa van Schiphol. Inspectie Verkeer en Waterstaat. 2008.
- [35] Reports Strategic Noise Maps (30. December 2007, DF4), IT (Italy). Hrsg.: Europäische Kommission. Brüssel 2008. http://circa.europa.eu/Public/irc/env/d_2002_49/library?l=/strategic_december/it_italy/it_reportzip/_EN_1.0_&a=d
- [36] Umgebungslärm-Aktionsplan Österreich, Teil A2 Zusammenfassende Darstellung der Daten. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien 2008. www.laerinfo.at/article/articleview/72614
- [37] Kartierung des Großflughafens München. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg 2008. www.lfu.bayern.de/laerm/fachinformationen/eg_umgebungslaermrichtlinie/kartierung/doc/betroffene_je_gemeinden_idenlnight_gerundet_flugh_muc2.pdf
- [38] Reports Strategic Noise Maps (30. December 2007, DF4), FR (France). Hrsg.: Europäische Kommission. Brüssel 2009. http://circa.europa.eu/Public/irc/env/d_2002_49/library?l=/strategic_december/fr_france/fr_report_df4zip/_EN_1.0_&a=d
- [39] La cartographie stratégique du bruit. Hrsg.: La direction générale de l'Aviation civile. Paris 2009. www.aviation-civile.gouv.fr/html/envir/bruit/cartographie.html
- [40] Blasy, D.; Øverland, H.: Flughafen München, Planfeststellungsverfahren 3. Start- und Landebahn, Umweltverträglichkeitsstudie UVS 6.1 Schutzgut Menschen Siedlung und Wohnumfeld. Eching 2007. www.muc-ausbau.de/downloads/gutachten_PFV/1UVS_06_1_Mensch_Siedlung.pdf