



regionales  
**dialogforum**

Flughafen Frankfurt

## **Fluglärmerfassung**

---

### Erläuterungen zur Fluglärmerfassung

Stand

16. Februar 2005

erstellt von

Henning Arps (Öko-Institut, Darmstadt),  
Wissenschaftliche Begleitung RDF

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>1</b>
<b>1 EINLEITUNG UND HINTERGRUND .....</b>	<b>2</b>
<b>2 METHODEN .....</b>	<b>2</b>
2.1 Allgemeines.....	2
2.2 Fluglärmrechnung .....	5
2.3 Fluglärmrechnung.....	10
<b>3 EINORDNUNG UNSICHERHEITEN UND GENAUIGKEIT .....</b>	<b>15</b>
3.1 Allgemeines.....	15
3.2 Unsicherheiten und Genauigkeit der Lärmrechnung.....	16
3.3 Unsicherheiten und Genauigkeit der Lärmrechnungen.....	17

# 1 Einleitung und Hintergrund

Im Folgenden wird ein Vorschlag für die textliche Darstellung der Eigenschaften der (Flug-)Lärmerfassung vorgelegt. Dieser Text soll zukünftig zunächst Bestandteil der RDF-Internetseite werden ([www.dialogforum-flughafen.de](http://www.dialogforum-flughafen.de)), nachfolgend sollen diese Erläuterungen in den derzeit in Vorbereitung befindlichen Internetauftritt zum Fluglärmmonitoring (*1. Meilenstein*) integriert werden. Die Erläuterungen umfassen Darstellungen zur Methodik sowie zu den Unsicherheiten und Genauigkeiten der Fluglärmernmittlung. Der Text wurde gemeinsam von der Task-Force Fluglärmmonitoring erarbeitet und abgestimmt.

Der Anlass für diese ergänzenden Erläuterungen findet sich im vorliegenden Gutachten *Fluglärmmonitoring*. Dort wird auf bestehende Schwachstellen in den vorhandenen Internetauftritten hingewiesen. Der allgemeinen Öffentlichkeit sollen zusätzliche Informationen an die Hand gegeben werden, um die vorhandenen Erläuterungen und Ergebnisse leichter verstehen und besser einordnen zu können.

Die Beschreibung erfolgt zweistufig. Es ist vorgesehen, dass neben einer kurzen Einführung zum Überblick (►) zusätzlich eine ausführlichere Erläuterung des Sachverhalts zum Nachlesen angeboten wird (►►). Des Weiteren werden weitergehende Erläuterungen zu wichtigen Aspekten ergänzt (#). Diese Struktur wird im Rahmen der vorgesehenen Struktur des neuen separaten Internetauftritts komplett umgesetzt, nachdem dieser Text bereits vorab im Internet als PDF-Download zur Verfügung gestellt wird.

Grundlage sind die Definitionen aus dem Gutachten Fluglärmmonitoring (AP L 1.3). Dort wird zum Beispiel definitionsgemäß der Bodenlärm (Rollverkehrslärm und Triebwerksprobeläufe) als Bestandteil der flugbetriebsbedingten Geräusche angesehen.

## 2 Methoden

Unter Methoden werden die wissenschaftlichen Vorgehensweisen zur Ermittlung des Fluglärms verstanden. Die Beschreibung der Methoden ist dreigeteilt. Einer allgemeinen Einführung (Kap. 2.1) folgt die zweistufige Darstellung für die Berechnung (Kap. 2.2) bzw. Messung (Kap. 2.3) des Fluglärms.

### 2.1 Allgemeines

**Startseite:** Im Internet finden Sie zahlreiche Informationen zum Thema Fluglärm aus der Region rund um den Flughafen Frankfurt/Main. Diese Seite bündelt Ihnen die zur Verfügung stehenden Informationen und stellt Ihnen Hintergrundwissen zum Thema Fluglärm zur Verfügung. Das besondere an dieser Seite ist, dass sie gemeinsam von Ausbaubefürwortern und Ausbaugegnern getragen wird, die auch gemeinsam im Regionalen Dialogforum (RDF) arbeiten.

Ganz unterschiedliche Akteure bieten derzeit Informationen zum Fluglärm. Je nachdem welche Informationen Sie interessieren, können Sie die Links anklicken. Verantwortlich für die dort zu finden-

den Informationen sind die jeweiligen Betreiber der Internetseite. Die Texte auf dieser Internetseite werden von den Verantwortlichen gemeinsam getragen, sie sind zwischen den Parteien aber auch z. T. strittig. Ausführliche Informationen zur Erfassung von Fluglärm finden Sie hier ([Link](#)). Daneben gibt es einen Überblick zu den am häufigsten nachgefragten Angeboten über Fluglärm und Flugbewegungen. Das RDF plant das Informationsangebot zukünftig weiter auszubauen. Insbesondere diskutieren die Mitglieder die Kopplung des Fluglärms mit den tatsächlich geflogenen Routen und die Einrichtung eines Umwelthauses.

► Die Ermittlung des Fluglärms kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen, mittels **Berechnung** oder **Messung**. Mit Hilfe mathematischer Formeln werden die physikalischen Prozesse als Berechnungen umgesetzt, die in der Regel als komplettes EDV-Programm zur Verfügung stehen. Die Messung erfolgt mit Hilfe von Schallpegelmessgeräten. Während eine Messung ausschließlich den Ist-Zustand erfassen kann, ist es mittels einer Berechnung auch möglich, zukünftige Geräuschsituationen abzubilden. Daneben kann ein Berechnungsprogramm die Geräuschsituationen je nach Vorgabe unmittelbar flächenhaft abbilden und vergangene oder aktuelle Situationen darstellen.

Die gesetzliche Grundlage für die Erfassung und Beurteilung des Lärms ist in der Regel das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)<sup>1</sup>. Für Geräuschimmissionen von genehmigungspflichtigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen ist die *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm* (TA Lärm)<sup>2</sup> maßgebend. Einzelregelungen werden in nachgeordneten Verordnungen getroffen (z. B. 18. BImSchV Sportanlagenlärmschutzverordnung). „*Flughafenbezogener Bodenlärm umfasst Triebwerksstandläufe, Rollverkehre und sonstige Lärmquellen am Flughafen. Nicht eingeschlossen ist der Lärm durch Start- und Landevorgänge (inkl. des Rollverkehrs auf den Start- und Landebahnen) – dieser gehört zum Fluglärm. Flughafenbezogener Bodenlärm kann lokal zu hohen Belastungen führen, für die nach Auffassung der Mediationsgruppe die TA Lärm eine gute Beurteilungsgrundlage bietet*“ (Bericht Mediation Flughafen Frankfurt/Main, S. 46). Zur Ermittlung, Darstellung und Bewertung des Bodenlärms besteht derzeit aber weiterhin Klärungsbedarf. Die Ermittlung sonstiger Verkehrsgeräusche (Schiene und Straße) erfolgt nach der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) und gilt für den *Bau oder die wesentliche Änderung von öffentlichen Straßen und Schienenwegen der Eisenbahnen und Straßenbahnen (Straßen und Schienenwege)*.

---

<sup>1</sup> Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG) vom 15. März 1974, BGBl I 1974, 721, 1193, zuletzt geändert durch Art. 7 G v. 6.1.2004 I 2.

<sup>2</sup> 6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503). Der Geltungsbereich ist unter Punkt 1 der Technischen Anleitung inkl. der Ausnahmen näher beschrieben (siehe Anlage 1).

Besondere Regelwerke bestehen für einzelne Lärmquellen, die nicht in den Geltungsbereich des BImSchG fallen.<sup>3</sup> Eine der Ausnahmen stellt der Fluglärm dar, da Entschädigungen zum passiven Schallschutz sowie baurechtliche Vorgaben für die Umgebung von zivilen und militärischen Flugplätzen durch das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) geregelt werden.<sup>4</sup> Das Gesetz stammt aus dem Jahre 1971. Es besteht Einigkeit darüber, dass das Gesetz einer Novellierung bedarf.

Auf EU-Ebene ist erstmals mit der so genannten EU-Umgebungslärmrichtlinie<sup>5</sup> eine rechtliche Regelung im Bereich der Geräuschimmissionen in der Umwelt erlassen worden; sie ist im Juli 2002 in Kraft getreten und sollte bis Juli 2004 in nationales Recht umgesetzt werden.<sup>6</sup> Danach müssen für ausgewählte Gebiete (u. a. Großflughäfen mit > 50.000 Flugbewegungen/Jahr) die Lärmbelastungen ermittelt und dargestellt (*strategische Lärmkarten*) sowie Lärminderungsmaßnahmen festgelegt werden (*Aktionspläne*).

**Lärmberechnungen** basieren auf mathematischen Modellen, die ein standardisiertes Bild der Geräuschsituation darstellen. Geräuschsituationen werden für einzelne Immissionsorte oder in Form von Isolinien abgebildet. Die Fluglärmrechnung nach dem FluglärmG erfolgt nach der *Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen (AzB)*. Sie legt Einzelheiten zur Berechnung des in der Anlage zu § 3 FluglärmG definierten äquivalenten Dauerschallpegels fest, der als maßgeblicher Immissionspegel heranzuziehen ist. Der äquivalente Dauerschallpegel stellt als Fluglärmmaß eine Kenngröße dar, die über einen definierten Zeitraum unter Berücksichtigung der maximalen Schallpegelhöhe, der Geräuschdauer und der Anzahl der Geräuschereignisse die Fluglärmbelastung beschreibt. Abweichend von der gesetzlichen Regelung nach der *AzB* können bei Bedarf Modifikationen an dieser Rechenvorschrift vorgenommen werden. Im Rahmen der Untersuchungen der EMPA sind z. B. zum Vergleich der berechneten Lärmbelastungen Modifikationen vorgenommen worden, um die bereits bekannten Unterschiede zu FLULA2 zu minimieren. Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Modelle zur Lärmberechnung, die in anderen Ländern angewandt werden (z. B. Simulationsmodell FLULA, *Integrated Noise Modell INM*).

Bei der **Schallmessung** wird die akustische Größe über einen Schallempfänger (Mikrofon) sowie einen Umwandler in eine elektrische Größe umgewandelt. Mittels eines Pegelschreibers kann der Schalldruck fortlaufend registriert werden. Gesetzlich geregelt ist die Fluglärmmessung aufgrund des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG), wonach der Unternehmer eines Verkehrsflughafens für die Installation, den Betrieb sowie die Auswertung einer Messanlage zuständig ist. Diese Messungen erfolgen

---

<sup>3</sup> Die Vorschriften des BImSchG gelten nicht für Flugplätze und für Anlagen, Geräte, Vorrichtungen sowie Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe, die den Vorschriften des Atomgesetzes oder einer hiernach erlassenen Rechtsverordnung unterliegen, soweit es sich um den Schutz vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen handelt. Sie gelten ferner nicht, soweit sich aus wasserrechtlichen Vorschriften des Bundes und der Länder zum Schutz der Gewässer oder aus Vorschriften des Düngemittel- und Pflanzenschutzrechts etwas anderes ergibt (BImSchG § 2 (2)).

<sup>4</sup> Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. März 1971 (BGBl. I S. 282), zuletzt geändert durch Artikel 46 der Siebenten Zuständigkeitsanpassungs-Verordnung vom 29. Oktober 2001 (BGBl. I S. 2785).

<sup>5</sup> EU-Umgebungslärmrichtlinie: Richtlinie 2002/49/EG vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.

nach den Vorgaben der DIN 45 643<sup>7</sup>. Neben der fortlaufenden Messung zur Beschreibung der Flugzeuggeräusche können diese Messergebnisse ebenso zur Überprüfung der vorhandenen Lärmrechnungsmodelle dienen. Solche Messungen stellen die Eingangsdaten der Berechnungen dar bzw. dienen der Verifizierung bestehender Modelle.

Schallpegel sind standardmäßig in dB(A) anzugeben. Das Dezibel hat sich als Maß zur Beschreibung von Geräuschpegeln etabliert und ist logarithmisch skaliert, um das menschliche Hörvermögen, das einen Bereich von Schalldrücken von mehreren 10er-Potenzen verarbeiten kann, übersichtlich abzubilden. Die A-Bewertung stellt eine Vereinbarung dar, die versucht, das durchschnittliche menschliche Lautstärkeempfinden nachzubilden, weil Schallsignale je nach Tonhöhe vom Gehör unterschiedlich wahrgenommen werden.

## 2.2 Fluglärmrechnung

► Es existiert eine Vielzahl von mathematischen Lärmrechnungsmodellen. Insbesondere aus historischen Gründen verwenden viele Länder eigene Berechnungsprogramme, für die ebenso zahlreiche Fluglärmmaße entwickelt worden sind.<sup>8</sup> Ein Berechnungsmodell setzt sich aus einer Berechnungsvorschrift sowie einer zugehörigen Datenbasis des betrachteten Flugplatzes zusammen. Die Berechnungsmethodik erfasst das einzelne Flugzeug als Geräuschquelle sowie die modellhaften Ausbreitungsbedingungen nach den geltenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die Datenbasis enthält Angaben zum Verlauf und zur Gestaltung der An- und Abflugrouten sowie zum Umfang des Verkehrsaufkommens am jeweils betrachteten Flugplatz. Für die rechnerische Ermittlung sind Vereinfachungen notwendig, indem z. B. die zur Verfügung stehenden Rechnerkapazitäten berücksichtigt werden.<sup>9</sup> Trotz dieser Einschränkungen gelingt es, mittels der berechneten Isophonen<sup>10</sup> ein realitätsnahes Bild der Geräuschimmissionen abzubilden, sofern die Angaben zum Verlauf und zur Gestaltung der An- und Abflugrouten vollständig sind. Insbesondere in Gebieten, in denen im Vergleich mit den Kernbelastungsgebieten eine relativ geringere Belastung gegeben ist, ist dies mit relativ großen Unsicherheiten verbunden.

In Deutschland erfolgt die rechnerische Ermittlung der Fluglärmbelastung nach dem FluglärmG, das die aktuell geltende Gesetzesgrundlage darstellt. Es dient zur Berechnung des Lärmschutzbereichs<sup>11</sup> in der Umgebung von Verkehrsflughäfen und Militärflugplätzen. Den Umfang des Lärmschutzbereichs

---

<sup>6</sup> Derzeit liegt der Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der EG-Richtlinie vor; er wird innerhalb der Bundesregierung abgestimmt (Stand Juli 2004).

<sup>7</sup> DIN 45 643 *Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen*, Stand 1984.

<sup>8</sup> Im Gutachten *Fluglärmmonitoring Flughafen Frankfurt/Main AP 2 Akustik* werden von der EMPA vier Generationen von Berechnungsmodellen unterschieden: CPA-Modelle, integrierte Modelle, segmentierte Modelle und Simulationsmodelle (siehe AP 2, Kap. 6.1.2).

<sup>9</sup> Die Berechnungen der EMPA mit dem Simulationsprogramm FLULA im Rahmen des RDF-Gutachtens *Fluglärmmonitoring für den Flughafen Frankfurt/Main* benötigten insgesamt eine Rechenlaufzeit von ca. zwei Wochen.

<sup>10</sup> Isophone: graphische Darstellung als Linien mit gleichen Geräuschimmissionen.

<sup>11</sup> Nach dem FluglärmG umfasst der Lärmschutzbereich das Gebiet außerhalb des Flugplatzgeländes, in dem der durch Fluglärm hervorgerufene äquivalente Dauerschallpegel 67 dB(A) übersteigt. Der Lärmschutzbereich wird in zwei Schutzzonen gegliedert. Schutzzone 1 umfasst das Gebiet, in dem der äquivalente Dauerschallpegel 75 dB(A) übersteigt, Schutzzone 2 das übrige Gebiet des Lärmschutzbereichs.

legt § 2 FluglärmG fest.<sup>12</sup> Zweck des nach dem FluglärmG zu ermittelnden Lärmschutzbereichs ist die Regelung zur näheren Bestimmung der baulichen Nutzung innerhalb des betroffenen Geländes und der Erstattung von Aufwendungen für bauliche Schallschutzmaßnahmen. Das zugehörige Berechnungsmodell, das im Allgemeinen kurz als *AzB* bezeichnet wird, gehört zu den einfachen Berechnungsverfahren.

Der Bodenlärm fällt nicht in den Geltungsbereich des FluglärmG (weitere Erläuterungen zum Bodenlärm siehe Glossar).

Neben der *AzB* sind des Weiteren u. a. folgende Berechnungsprogramme zu nennen:

- § Das Simulationsmodell FLULA (Flug-Laermprogramm) ist von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA, CH-Dübendorf) entwickelt worden. Dieses Simulationsprogramm berechnet für Orte entlang der idealisierten Flugbahnen die Schallausbreitung zum Empfangsort. Für die Simulation mit FLULA wurden anhand der zur Verfügung stehenden Flugspuraufzeichnungen aus dem FANOMOS-System pro Flugzeugtyp und Flugroute ca. 100 individuelle Flugbahnen zufällig ausgewählt und mit dem Verkehrsaufkommen gewichtet. Die aktuelle Version von FLULA beruht auf Quelldaten, die am Flughafen Zürich gemessen wurden, so dass dieser Sachverhalt bei der Übertragung auf andere Flugplätze berücksichtigt werden muss.<sup>13</sup>
- § Das INM (Integrated Noise Modell), das von der amerikanischen *Federal Aviation Administration* (FAA) entwickelt und vertrieben wird, wird weltweit sehr häufig angewandt. Es gehört zu den einfachen Modellen und wird zur Zeit in der Version 6.1 vertrieben. Das INM basiert auf dem gleichen methodischen Ansatz wie die *AzB*.

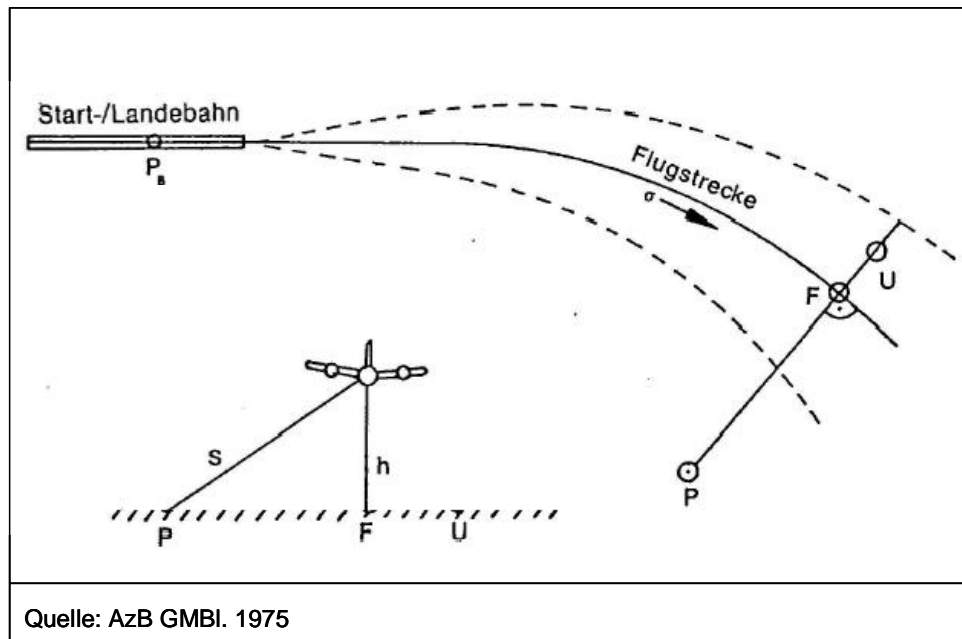
►►Die *AzB* besteht aus einer Rechenvorschrift und einer zugehörigen Datenbasis (s. o.), die standardisierte Schallausbreitungsbedingungen annimmt. Die Methodik der Rechenvorschrift beinhaltet allgemeine Angaben zum Bezugssystem, zur kartographischen Darstellung, zu den Flugstrecken, den Flugzeugklassen und zum eigentlichen Berechnungsverfahren. Die Flugzeugklassen fassen Flugzeugtypen zusammen, die ähnliche Eigenschaften bei den Geräuschemissionen aufweisen. Für jede Flugzeugklasse sind die charakteristischen akustischen und flugtechnischen Daten als Eingangsparameter für die Immissionsberechnung definiert. Der Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{eq}$  liegt die Modellvorstellung zugrunde, dass der höchste Schallpegel und die Geräuschkdauer von den für das jeweilige Flugzeug charakteristischen flug- und schalltechnischen Daten sowie von der Entfernung ( $s$ ), dem Höhenwinkel ( $\alpha$ ) und der Bogenlänge ( $\sigma$ ) zum Immissionsaufpunkt ( $P$ ) abhängen (siehe Abb. 1).

---

<sup>12</sup> Als äquivalenter Dauerschallpegel ist nach dem FluglärmG der  $L_{eq(4)}$  vorgesehen. Dieser Dauerschallpegel unterscheidet sich vom  $L_{eq(3)}$ , der in allen anderen Regelwerken zur Beschreibung der mittleren Geräusksituation vorgesehen ist, durch den Äquivalenzparameter  $q = 4$ . Der Äquivalenzparameter (bzw. Halbierungsparameter) gibt an, welche Pegelerhöhung oder -minderung sich bei einer Verdopplung oder Halbierung der Schallenergie ergibt.

<sup>13</sup> Weitere detaillierte Informationen zum Simulationsmodell FLULA sind u. a. dem Gutachten *Fluglärmmonitoring* des RDF zu entnehmen.

**Abb. 1 Schematische Darstellung der Modellvorstellung zur AzB-Immissionsberechnung (Aufsicht und Vertikalschnitt)**



Die Datenbasis der AzB, das so genannte Datenerfassungssystem (DES)<sup>14</sup>, enthält Angaben zum Flugplatz (z. B. Länge der Pisten, geographische Lage), den An- und Abflugstrecken (z. B. Bezeichnung sowie Beschreibung der Flugbahnen und Korridore) sowie den Flugbewegungen (Anzahl je Flugzeuggruppe getrennt für Tag und Nacht) in tabellarischer Form. Diese Daten dienen als Eingangsparameter für die anschließende Berechnung. Die Anzahl der Flugbewegungen bezieht sich auf eine Mittelung über die sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres, in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenstellung in der Regel unter Berücksichtigung der prognostizierten Verkehrsbelastung in 10 Jahren. Die Ermittlung des Dauerschallpegels erfolgt getrennt für Tag- und Nachtzeiten. Nach dem FluglärmG werden zwei äquivalente Dauerschallpegel ermittelt, indem die Flüge tags und nachts unterschiedlich gewichtet werden. Der höchste der beiden berechneten Pegel ist der relevante äquivalente Dauerschallpegel. Diese Berechnungsmethodik ist in Form standardisierter Softwareprodukte umgesetzt.

Die bestehende AzB beinhaltet Schwächen, die allgemein anerkannt sind und insbesondere auf den Zeitpunkt der Einführung dieser Methode in den 70er Jahren zurückzuführen sind.<sup>15</sup> Zum damaligen Zeitpunkt standen noch keine leistungsfähigen Computer und Programme zur Verfügung, so dass großer Wert auf eine möglichst weitgehende Vereinfachung der mathematischen Berechnungsmethoden gelegt wurde. Die Kritik bezieht sich u. a. auf die Flugzeuggruppeneinteilung (#), die Darstellungsform (#), die Vereinfachung und Reduzierung der Flugrouten (Kurvenflüge, Gegenanflüge) oder

<sup>14</sup> Datenerfassungssystem für die Ermittlung von Lärmschutzbereichen an zivilen Flugplätzen nach dem FluglärmG vom 30. März 1971 (BGBl. I S. 282) – DES.

<sup>15</sup> Weitere Hinweise zur Begründung der systematischen Abweichungen innerhalb der bestehenden Rechenvorschrift AzB gegenüber der realen Geräuschbelastung finden sich z. B. im Gutachten *Fluglärmmonitoring* des RDF (Arbeitspaket 2 *Akustik*).



die Vernachlässigung der Lärmereignisse für  $L_k < 55$  dB(A) zur Ermittlung des  $L_{eq}$ . Um die Abbildung der Fluglärmgeräusche hinsichtlich einer möglichst realitätsnahen Ermittlung zu verbessern, werden an der AzB Modifikationen vorgenommen. Aufgrund dieser Modifikationen in Bezug auf die Berechnungsmethodik, die Darstellungsformen (#) oder die verwendeten Mittelungspegel sind bei der Bewertung von Fluglärmisophonendarstellungen die zugrunde liegenden Berechnungsparameter zu beachten. Ein besonderes Augenmerk auf gleiche methodische Ansätze ist beim Abgleich verschiedener Fluglärmrechnungen zu legen, um tatsächliche Veränderungen der Geräuschsituationen ermitteln zu können.

Die Leitlinie des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) zur Berechnung der Fluglärmisophon für Siedlungsbeschränkungsbereiche<sup>16</sup> sieht die Verwendung einer abgewandelten AzB vor. Ebenso wird bei den Berechnungen des *Hessischen Landesamtes für Geologie* (HLUG, Wiesbaden) eine modifizierte Form der AzB verwendet (weitergehende Informationen siehe Anmerkungen zu den vorgenommenen Modifikationen der HLUG in Bezug auf die eingestellten *RDF-Lärmkarten* [Link](#)).

#### # Flugzeuggruppeneinteilung $AzB_{Neu}/AzB_{99}$

Einvernehmlich berücksichtigt man bei aktuellen Fluglärmrechnungen eine aktualisierte Flugzeuggruppeneinteilung, die als  $AzB_{99}$  oder als  $AzB_{Neu}$  bezeichnet wird und vom *Umweltbundesamt* (UBA) 1999 vorgelegt wurde. Die in der Literatur in der Regel als „neue“ AzB bezeichnete Flugzeuggruppeneinteilung unterscheidet sich hinsichtlich des Flugzeugmixes von der rechtsgültigen  $AzB$ <sup>17</sup> durch die differenziertere und aktualisierte Berücksichtigung der Zusammensetzung des Flugzeugmixes. Damit werden die Veränderungen der aktuell eingesetzten Flugzeugflotten abgebildet. Modernere Flugzeuge zeichnen sich durch niedrigere Lärmbelastungen aus, so dass die  $AzB_{99}$  die Geräuschimmissionen realitätsnäher abbildet als die  $AzB_{Alt}$ .

#### # Alternative Berücksichtigung des Flugverkehrsaufkommens

- § Realverteilung: Die geltende AzB sieht die Ermittlung der Fluglärmimmissionen über die sechs verkehrsreichsten Monate (Bezugszeitraum) als so genannte Realverteilung vor. In diese Berechnungen gehen die im betrachteten Zeitraum (sechs verkehrsreichste Monate) erfolgten oder prognostizierten Flugbewegungen ein. Es werden die Geräuschimmissionen über diesen Zeitraum ermittelt, indem die wechselnden Betriebsrichtungen in Form eines Mittelungspegels erfasst werden.
- § Getrennte Darstellung der Betriebsrichtungen: Für diese Art der Darstellung werden für den Bezugszeitraum (sechs verkehrsreichste Monate) nach den Betriebsrichtungen (am Flughafen Frankfurt/Main zwei: Ost und West) getrennte Abbildungen erstellt. Es werden jeweils alle Flugbewegungen für eine Betriebsrichtung zusammenfassend als Immissionspegel berechnet und dargestellt, indem die Annahme getroffen wird, dass im Bezugszeitraum eine Betriebs-

<sup>16</sup> Siedlungsbeschränkungsbereiche werden im Landesentwicklungsplan (LEP Hessen 2000) sowie im Regionalplan (Regionalplan Südhessen 2000) ausgewiesen. In diesen Bereichen soll die Ausweisung neuer Wohnbaugebiete aufgrund der Fluglärmwirkungen nicht zugelassen werden.

<sup>17</sup> Die rechtsgültige AzB, die auch als  $AzB_{84}$  oder  $AzB_{Alt}$  bezeichnet wird, berücksichtigt eine veraltete Flugzeuggruppeneinteilung, wird aber z. B. im Regionalplan *Süd-Hessen 2000* verwendet oder in formellen Genehmigungsverfahren aufgrund ihrer nach wie vor bestehenden Rechtsgültigkeit zum Teil zur Kenntnisnahme erstellt. Die  $AzB_{84}$  überschätzt die Lärmeinwirkung und führt in der Berechnung zu einem um 2–3 dB(A) höheren Dauerschallpegel und damit zu einer höheren Anzahl lärmbelasteter Menschen.

richtung vorherrscht und kein Betriebsrichtungswechsel stattfinden werde. Damit wird die Lärmbelastung dargestellt, die sich bei Vorliegen der jeweiligen Betriebsrichtung einstellt. Diese Form der Darstellung finden Sie in den aktuellen Fluglärmkarten des RDF ([Link](#)).

- § 100/100 Regel<sup>18</sup>: Bei der Abbildung der sogenannten 100/100 Regel werden die Fluglärmimmissionen getrennt für die beiden Betriebsrichtungen ermittelt und anschließend wird eine Umhüllende dieser beiden Fluglärmisophonen dargestellt, indem je Immissionsort der höhere Pegelwert herangezogen wird.

Die Mediationsgruppe hält die Berücksichtigung der 100/100 Regel für angemessen, um die Belästigungen aus einer der beiden Betriebsrichtungen und zwar die jeweils höhere zu erfassen.<sup>19</sup> Die Vorgehensweise in Anlehnung an den Vorschlag des LAI zur generellen Berücksichtigung der 100/100 Regel zum Schutz der Nachtruhe bei der Berechnung des Fluglärms wurde im Konsens empfohlen<sup>20</sup>.

#### # LAI-Leitlinie

Die Leitlinie des *Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI)* vom 14. Mai 1997<sup>21</sup> beinhaltet ein abgewandeltes Verfahren zur geltenden *AzB*.<sup>22</sup> Die Unterschiede bestehen im verwendeten Lärmmaß (äquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq(3)}$ ), um die Vergleichbarkeit mit anderen Arten der Lärmerfassung herzustellen und in der Anwendung der 100/100 Regel.<sup>23</sup>

#### Fazit

Fluglärmrechnungen mittels mathematischer Modelle, die die physikalischen Ausbreitungsbedingungen der Geräuschquellen nachbilden, sind zur Ermittlung und Darstellung von Geräuschbelastungen üblich und anerkannt. Es existieren zahlreiche unterschiedliche Methoden, die voneinander zu unterscheiden sind, aber meist konservative Ansätze zugunsten der Lärmbetroffenen verfolgen. In Deutschland ist gemäß FluglärmG das Verfahren nach der *Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen (AzB)* anzuwenden. Hierbei sind wiederum hinsichtlich einer Bewertung der Ergebnisse unterschiedliche Prämissen bei der Berechnung zu beachten. Hierzu zählen insbesondere die verwendeten Quelldaten ( $AzB_{\text{Neu}}$  bzw.  $AzB_{\text{Alt}}$ ) und die Darstellungsform (Realverteilung, 100/100 Regel).

Literaturhinweise zum Weiterlesen (Auswahl):

- § Informationen zu Harmonisierung auf europäischer Ebene:  
ECAC Doc. 29: *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*, European Civil Aviation Conference (ECAC) (1997)

<sup>18</sup> Es wird synonym auch von der 100 %-Regel gesprochen, weil für diese Darstellungsform die Flugbewegungen je Betriebsrichtung zu 100 % gewichtet werden.

<sup>19</sup> Siehe Bericht der Mediation Kap. 3.1 *Zur Belastung durch Lärm* (S. 43).

<sup>20</sup> Für den Tag hatte die FAG (heute: Fraport) eine andere Einschätzung.

<sup>21</sup> *Leitlinie zur Beurteilung von Fluglärm durch die Immissionsschutzbehörden der Länder* als Entschließung der Ministerkonferenz für Raumordnung vom 16.09.1998.

<sup>22</sup> Anlass und Ziel für die Leitlinie des LAI ist es, raumordnerische und städtebauliche Schutzziele zu definieren, um die Voraussetzungen für eine bundeseinheitliche Vorgehensweise zur Einrichtung von Siedlungsbeschränkungsbereichen zu schaffen. Diese sollen in den jeweiligen Regionalplänen ausgewiesen werden und nach der empfundenen Lärmbelastung einen angemessenen Abstand zwischen Flugplatz und Wohnbebauung schaffen. Nach § 16 FluglärmG [*Weitergehende planungsrechtliche Vorschriften*] sind „Vorschriften, die weitergehende Planungsmaßnahmen zulassen oder weitergehende Entschädigungen gewähren“, möglich.

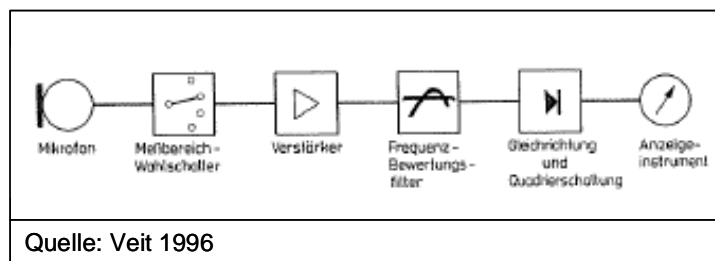
- Download: <http://www.ecac-ceac.org/uk/documents/DOC29e.pdf>
- § Weitere Informationen zu Fluglärm und Berechnungsverfahren:  
Isermann & Schmid (1999). Bewertung und Berechnung von Fluglärm; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Strömungsmechanik, Göttingen
  - § Information zur EU-weiten Harmonisierung;  
Isermann (2002): Harmonisierung und Fluglärmerechnungsverfahren – europäische und internationale Aktivitäten; Vortrag 2. Rheiner Fluglärmkonferenz im Mai 2002
  - § Detailinformationen zum Simulationsmodell FLULA2:  
EMPA (2001): *FLULA2, Technische Programm-Dokumentation* (Version 2); EMPA, Abteilung für Akustik und Lärmbekämpfung, Dübendorf, CH  
Download: [www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/5934/---/l=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/5934/---/l=1)
  - § Untersuchung zu Fluglärmessung und -berechnung am Flughafen Frankfurt/Main (u. a. Abgleich Mess- und Berechnungsergebnisse)  
EMPA Bericht Nr. 422'293 (2003): *Fluglärmmonitoring Flughafen Frankfurt/Main, Arbeitspaket 2 Akustik*; Gutachten im Auftrag der IFOK GmbH für das RDF;  
Download: [www.dialogforum-flughafen.de](http://www.dialogforum-flughafen.de)
  - § Schaal (2003): *Fluglärmerechnung im Wandel der Zeit*; Zeitschrift für Lärmbekämpfung 50(2003) Nr. 1, S. 31 ff.

## 2.3 Fluglärmessung

► Für die Durchführung von Schallmessungen existieren eine Fülle von Regelwerken (z. B. TA Lärm, VDI-Richtlinien oder DIN-Vorschriften). Allgemeine Regeln enthält z. B. die DIN 45 630<sup>24</sup>. Die Erhebungen bedürfen einer anspruchsvollen Messdurchführung und Ergebnisanalyse, weil die messtechnische Erfassung eines Schallfeldes sehr komplex ist. Die gemessene Größe ist der Schalldruck in Form des Schalldruckpegels. Das Funktionsprinzip eines Schallpegelmessers lässt sich auf folgende Elemente zurückführen (siehe auch Abb. 2):

- § Schallempfänger zur Umwandlung in eine elektrische Größe,
- § Verstärkung und Bewertung der elektrischen Größe,
- § Anzeige und ggf. Registrierung.

**Abb. 2** Blockschaltbild eines Schallpegelmessers



<sup>23</sup> Die Berechnung für die unterschiedlichen Betriebsrichtungen soll mit voller Flugbewegungszahl erfolgen.  
<sup>24</sup> DIN 45 630 *Grundlagen der Schallmessung*, Stand 1971.

Das Mikrofon ist ein Schalldruckempfänger, der die Schwankungen des Luftdrucks (Luftschall) aufnimmt und als elektroakustischer Wandler in eine elektrische Größe umwandelt. Zur besseren Annäherung an die menschliche Wahrnehmung erfolgt die Bewertung durch den so genannten A-Filter. Damit gelingt es, die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs in verschiedenen Tonhöhenbereichen besser abzubilden. Um den Zusammenhang zwischen der zeitlichen Struktur des Schallsignals und den dynamischen Eigenschaften des Gehörs abzubilden, wird bei der Messung eine Zeitbewertung vorgenommen.

Nach dem geltenden Luftverkehrsgesetz (LuftVG) ist gemäß § 19a [Anlagen zur Messung des Fluglärms] der Flughafenbetreiber (hier: Fraport) für die Einrichtung und den Betrieb des Messnetzes zuständig. Für die messtechnische Ermittlung des Fluglärms wird das Verfahren zur *Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen* der DIN 45 643<sup>25</sup> herangezogen. Darin werden Schallpegelmessgeräte gefordert, die den Genauigkeitsanforderungen der Klasse 1 aus der DIN EN 60651<sup>26</sup> entsprechen. Darin werden vier Genauigkeitsklassen definiert (0 bis 3), denen unterschiedliche Fehlergrenzen zugeordnet werden. Die Klasse 1 sieht eine Fehlergrenze von +/-0,7 dB vor, wobei nach DIN 45 643 mit Rücksicht auf die Fehlerquellen der Übertragungseinrichtungen die Fehlergrenzen um 1 dB erhöht wurden.

Die Ermittlung der Messergebnisse durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) an dessen drei Messstationen erfolgt ebenfalls nach den Vorgaben der DIN 45 643. Ebenso richten sich die Messungen der Firma *deBAKOM*, die z. B. für die Stadt Neu-Isenburg durchgeführt wurden, in der Regel nach den Vorgaben dieses DIN-Regelwerks.<sup>27</sup> Es treten dennoch Unterschiede zwischen den einzelnen Messungen auf, weil die Norm für die Berücksichtigung einzelner Kenngrößen innerhalb des Regelwerks Abweichungen zulässt. Diese Differenzen betreffen z. B. die Identifikation der Flugzeuggeräusche und die verwendeten Messschwellen.

►► Das Regelwerk DIN 45 643 gibt die *Mess- und Kenngrößen* (Teil 1), die *Anforderungen für die Fluglärmüberwachungsanlagen* (Teil 2) und die *Ermittlung des Beurteilungspegels* (Teil 3) vor. Nach dem LuftVG sind die Mess- und Auswertungsergebnisse der Genehmigungsbehörde und der Fluglärmkommission sowie, auf Verlangen der Genehmigungsbehörde, anderen Behörden mitzuteilen. Veröffentlicht werden Ausschnitte dieser Ergebnisse des Weiteren im Internet (s. unter [www.fraport.de](http://www.fraport.de)) oder im Fluglärmreport<sup>28</sup> der Fraport.

Die Ermittlung des Einzelereignispegels  $L_{AZ}$  kann entweder über den Maximalpegel  $L_{ASmax}$  je Flugereignis und die so genannte 10 dB down-time oder über ein Integrationsverfahren ermittelt werden. Der äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  wird aus dem Maximalpegel  $L_{ASmax}$  je Flugereignis sowie aus

---

<sup>25</sup> DIN 45 643 (Teil 1 bis 3, Ausgabe 1984) *Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen*.

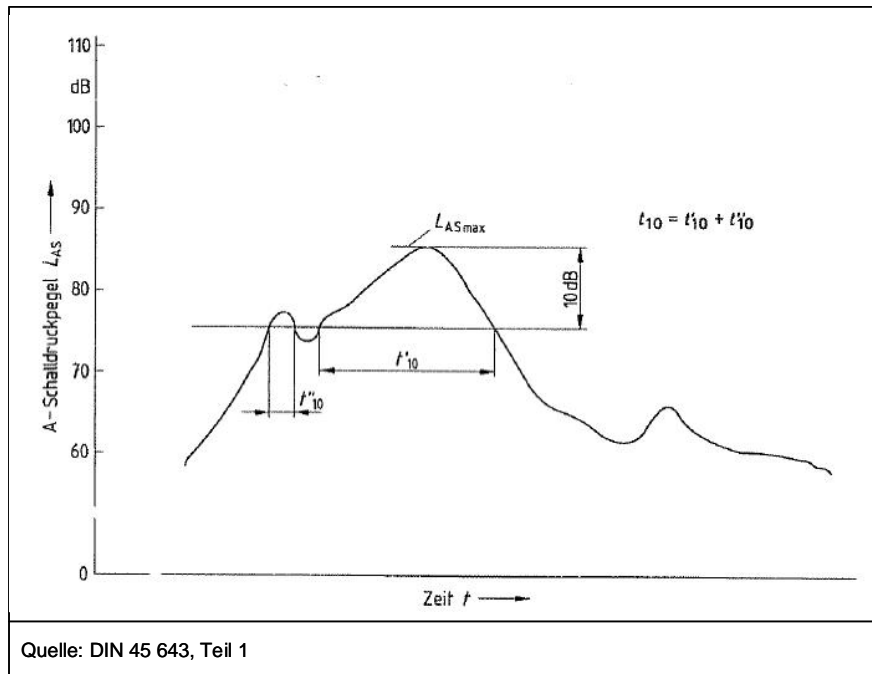
<sup>26</sup> DIN EN 60651 (Ausgabe 1994-05) *Schallpegelmesser* (IEC 60651:1979 + A1: 1993); deutsche Fassung EN 60651: 1994 + A1: 1994.

<sup>27</sup> Im Rahmen der Messungen der Firma deBAKOM erfolgt z. T. eine zusätzliche Ermittlung des Fluglärms mit Hilfe einer spektralen Auswertung, die nicht nach der DIN 45 643 vorgesehen ist (siehe Erläuterungen Gutachten FLM, AP 2 Akustik, Kap. 5.3.2).

<sup>28</sup> *Fluglärmreport*: halbjährlicher Bericht der Fraport über die Ergebnisse der Fluglärmüberwachung am Flughafen Frankfurt/Main (z. B. monatsweise Dauerschallpegel je Messstation, Anzahl der Einzelschallpegel im Tagesmittel).

der so genannten 10 dB down-time bestimmt. Dazu wird die Zeitkonstante S (slow) verwendet, die mit einem Index S gekennzeichnet wird.<sup>29</sup>

**Abb. 3** Typischer Verlauf des Schalldruckpegels eines Fluglärmereignisses



Die methodischen Differenzen der vorliegenden Messreihen betreffen insbesondere die Berücksichtigung der Messdauer, die Identifikation der Flugzeuggeräusche sowie die verwendeten Messschwellen.

- § Messdauer: Die vorliegenden Messergebnisse berücksichtigen unterschiedliche Messzeiträume. Neben den Dauermessstellen (z. B. HLUK) liegen temporäre Messungen für einen ausgewählten Zeitraum vor. Zur Erfassung einer realitätsnahen Belastungssituation und der Ermittlung möglichst repräsentativer Ergebnisse ist ein möglichst langer Messzeitraum notwendig, um z. B. eine gute Übereinstimmung mit den wechselnden Betriebsrichtungen zu erreichen. Nach DIN gilt ein Messzeitraum von mindestens 3 Monaten innerhalb der 6 verkehrsreichsten Monate als eine hinreichende Annäherung an den repräsentativen Kennwert.
- § Identifikation der Flugzeuggeräusche: Eine besondere Schwierigkeiten der akustischen Messtechnik stellt eine geeignete Geräuschtrennung dar. Eine Methode zur Bereinigung des zu untersuchenden Immissionsanteils von Fremdeinflüssen, um einen quellenspezifischen Anteil zu ermitteln, ist nach der DIN 45 643 nicht abschließend festgelegt. Diese gibt lediglich vor, dass Fremdgeräusche zu vermeiden sind, aber es wird nicht erläutert, wie diese identifiziert und kompensiert werden, so dass zur Berücksichtigung dieses Sachverhalts unterschiedliche

<sup>29</sup> Nach der DIN 45 643 werden unterschiedliche Zeitbewertungen verwendet. Für die Messung des  $L_{AS}$  bzw. des Maximalwerts  $L_{ASmax}$  als Messgröße für die Stärke des Flugzeuggeräuschs wird die Zeitbewertung S (slow) verwendet, für die Ermittlung des Beurteilungspegels aus der Messgröße  $L_{AF}$  bzw.  $L_{AFmax}$  z. T. die Zeitbewertung F (fast). Die Zeitbewertung F wird lediglich für Sonderzwecke angewandt (z. B. niedrig fliegende Flugzeuge mit hoher Fluggeschwindigkeit).

Methoden angewandt werden. Die Ereigniserkennung soll über die Mindestzeit<sup>30</sup> und die Messschwelle geregelt werden.

- § Messschwelle: Nach der DIN 45 643 dient der Schwellwert  $L_s$  dazu, ein Geräusch als Fluglärmereignis zu erkennen. Er ist für jede Messstelle individuell und empirisch zu bestimmen, so dass diese Ereignisschwelle in den vorliegenden Messreihen unterschiedlich gewählt wurde. Sie liegt nach EMPA (2003) zwischen 55 bis 70 dB bei Messungen im Jahr 2000. Ebenso wird der Umgang mit den nicht erfassten Vorbeiflügen nicht näher geregelt, so dass zum Auffüllen der messtechnisch nicht erfassten Schallereignisse unterschiedliche Methoden (z. B. Standardpegel) oder möglichst niedrige Schwellen verwendet werden. Im Rahmen des 10-Punkte-Programms der Fraport wird auch an der Verbesserung der Fluglärmüberwachung gearbeitet, indem z. B. die Absenkung der Messschwellen vorangetrieben wird. Bislang lag der Anteil der erfassten Überflüge der Fraport-Messstellen in einem Bereich von 3 bis 85 % (EMPA 2003, Beilage 11). An den meisten Stationen wurden inzwischen die Schwellen tagsüber auf 65 dB(A) abgesenkt (nähere Erläuterungen siehe *Fluglärmreport 2/2003*) und damit die Anteile der erfassten Überflüge erhöht.

Neben diesen methodischen Differenzen können auch zahlreiche weitere Gründe Ursache für Differenzen der Fluglärmmessungen sein. Dabei ist insbesondere auch auf unterschiedliche Messzeiträume hinzuweisen, die zu unterschiedlichen Messergebnissen führen können, wenn ein Messzeitraum nicht repräsentativ gewählt wird.

### Fazit

Die Messung von Flugzeuggeräuschen ist ein komplexer technischer Vorgang, der von der Organisation und Durchführung bis zur Auswertung hohe Anforderungen stellt. Als Ergebnisse werden Schallimmissionswerte ermittelt, die ausschließlich für die lokale Situation und den jeweiligen Messzeitraum gelten. Eine repräsentative Aussage über den Messort hinaus ist nicht ohne weiteres sinnvoll. Nach dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) ist in Deutschland an den Flughäfen der Flughafenbetreiber für die Errichtung und den Betrieb eines Messnetzes zuständig. Hierzu werden einerseits hohe Qualitätsanforderungen gestellt (z. B. Genauigkeitsklasse der Schallpegelmesser), andererseits werden jedoch nicht alle methodischen Details in den geltenden Regelwerken (v. a. DIN 45 643) aufgeführt. Diese *Gestaltungsspielräume* (Messschwelle, Identifikation von Überflügen etc.) führen zu unterschiedlichen Annahmen bei der Messmethodik, so dass diese bei der Bewertung der Messergebnisse genauestens zu berücksichtigen sind.

Literaturhinweise zum Weiterlesen (Auswahl):

- § „Standardwerk“ der technischen Akustik:  
Heckl (1995): Taschenbuch der Technischen Akustik; Springer Verlag, Berlin
- § *Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms:*  
Maue (2003): *0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel*; Erich Schmidt Verlag, Berlin

---

<sup>30</sup> Die Mindestzeit wird nach DIN 45 643 festgelegt, damit Fremdgeräusche, deren Pegel den Schwellenwert kurzzeitig übersteigt, nicht als Fluglärmereignis interpretiert werden (Empfehlung für  $t_M$ : 5 s).

*Hinweis: Ergänzung Abb. aktueller Überblick zu allen relevanten Messorten (evtl. getrennt nach Akteuren)*

## 3 Einordnung Unsicherheiten und Genauigkeit

Die Qualität von Lärmmessungen und -berechnungen lässt sich z. T. in Form statistischer Größen quantifizieren. Weil bislang solche Angaben in den bestehenden Ergebnisdarstellungen sowie Informationen über Unsicherheiten und Genauigkeiten zur Lärmerfassung fehlen, soll dieser Aspekt im zukünftigen Internetauftritt des RDF aufgegriffen werden.

### 3.1 Allgemeines

► Die Qualität der Fluglärmerfassung hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab, so dass die Beschreibung anhand eines einzelnen exakten Pegelwertes (evtl. sogar mit Nachkommastellen) kritisch zu hinterfragen ist. Lärm ist eine subjektive Größe. Es gibt allerdings den objektiven Wert der physikalischen Messgröße (Schalldruck). Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Fluglärmerfassung gewissen technischen Grenzen unterliegt. Kleinste Unterschiede im betrachteten Immissionsort oder bereits minimale Abweichungen der Methodik können Unterschiede in den ermittelten Pegelwerten verursachen. Ein Verständnis für die statistischen Eigenschaften der Fluglärmerfassung bezüglich Unsicherheiten und Genauigkeiten kann dabei helfen, die Qualität einer Bewertung zu verbessern und Entscheidungen zu unterstützen.

Nach EMPA (2003) geht man davon aus, dass die Unsicherheit der Fluglärmmessung mit ca. 2 dB angegeben werden kann (im Sinne einer Standardunsicherheit).<sup>31</sup> Diese Angabe erfolgt als Abschätzung unter Berücksichtigung bekannter Einflussfaktoren und Erfahrungen; auch der DLR (1998) nennt 2 dB. Die verbleibende Unsicherheit für die Fluglärmberechnung mit dem Simulationsmodell FLULA2 wird für den Flughafen Frankfurt/Main mit 1,5 dB (auf dem Niveau von 60 dB Mittelungspegel  $L_{eq(4)}$ ), mit 2 dB (für 55 dB Isolinie  $L_{eq(4)}$ ) und mit rund 3 dB (für 50 dB Isolinie  $L_{eq(4)}$ ) abgeschätzt.<sup>32</sup> Für die AzB wird in der Literatur eine globale Genauigkeit von 1 bis 2 dB angegeben (DLR 1999).<sup>33</sup>

►► Für die Beschreibung der technisch bedingten Ungenauigkeiten der Fluglärmerfassung bzw. der Kennzeichnung schwankender Geräuschimmissionen mittels statistischer Maße existieren eine Vielzahl nationaler und internationaler Regelwerke (z. B. VDI 3723 *Anwendung statistischer Methoden bei der Kennzeichnung schwankender Geräuschimmissionen*). Für die Definitionen der grundsätzlichen Begrifflichkeiten *Genauigkeit* und *Unsicherheit* wird im Allgemeinen das Internationale Wörterbuch der Metrologie herangezogen (DIN 1994):

- § (Mess-)Genauigkeit: Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Messergebnis und einem wahren Wert der Messgröße. Genauigkeit stellt einen qualitativen Begriff dar, zum Beispiel für Messgeräte die Fähigkeit, Werte der Ausgangsgröße in der Nähe eines wahren Wertes zu liefern.
- § (Mess-)Unsicherheit: dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnten. Dieser Pa-

<sup>31</sup> Als Standardunsicherheit wird nach DAR (1997) die als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit der Ergebnisse einer Messung verstanden.

<sup>32</sup> Unsicherheiten gelten unter der Voraussetzung, dass die verwendeten Quelldaten hinreichend auf den lokalen Flottenmix abgestimmt sind, jeweils im Sinne einer Standardunsicherheit.



parameter kann beispielsweise eine Standardabweichung oder ein anderer Teil eines Bereichs sein, der ein bestimmtes Vertrauensniveau angibt.

Häufig verwendete statistische Maßzahlen zur Charakterisierung von Verteilungen sind die Streuungsmaße Varianz und Standardabweichung. Sie beschreiben die Unterschiedlichkeit der Häufigkeitsverteilungen von Stichproben. Die Varianz  $s^2$  wird auch als Streuung oder Vertrauensbereich bezeichnet.<sup>34</sup> Die Standardabweichung  $s$  ist definiert als Wurzel aus der Varianz. Für eine Normalverteilung gilt, dass zwischen den Skalenwerten  $\bar{x} + s$  und  $\bar{x} - s$  genau 68,26 % aller Merkmalsträger liegen.<sup>35</sup> Im Bereich von  $\bar{x} \pm 2s$  befinden sich 95,44 % der Merkmalsträger. Die Genauigkeit der Fluglärmfassung hängt u. a. von methodisch bedingten Faktoren (z. B. akustisches Modell, Genauigkeitsklasse der Messgeräte) oder der Genauigkeit der Eingangsdaten (z. B. Abbildung der Flugspuren, Berücksichtigung der Topographie) bei Lärmberechnungen ab.

Literaturhinweise zum Weiterlesen (Auswahl):

- § GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Masurement), *Danish Technological Institute*  
Quelle: <http://www.gum.dk/#E>,
- § Internationales Wörterbuch der Metrologie (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology [VIM]), DIN, Ausgabe 1994-02,
- § Eichordnung, Anlage 21 Schallpegelmessgeräte<sup>36</sup>  
Quelle: [http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eo\\_1988/inhalt.html](http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eo_1988/inhalt.html).

## 3.2 Unsicherheiten und Genauigkeit der Lärmmessung

► Geräuschemessungen sollen unter genau definierten Bedingungen durchgeführt werden, um die gewonnenen Messergebnisse innerhalb angegebener Fehlergrenzen vergleichen und reproduzieren zu können. Ergebnisse von sich wiederholenden Geräuschemessungen können sich trotzdem wesentlich voneinander unterscheiden, weil sich z. B. Änderungen der Emissions- und Ausbreitungsbedingungen oder nicht immer vollständig erfassbare und erkennbare Randbedingungen ergeben haben. Anhand quantitativer Beschreibungen ist die Kennzeichnung der Schallimmissionen für wiederholende Geräuschemessungen möglich, indem eine differenzierte Beschreibung der Geräuschimmissionen und des akustischen Umfeldes erfolgt. Damit kann die Qualität der Messungen in Form statistischer Maße beschrieben werden. In EMPA (2003) wird die Schlussfolgerung gezogen, dass die Unsicherheit der Fluglärmmessung mit rund 2 dB im Sinne einer Standardunsicherheit abgeschätzt werden kann (s. o.).

---

<sup>33</sup> Zu dieser Angabe des DLR zur globalen Genauigkeit kommt es innerhalb eines Bereichs von ca. 12 km um das Startbahnsystem im Vergleich zu Messwerten.

<sup>34</sup> Die Varianz ist als die Summe der Quadrate aller Abstände, geteilt durch die Anzahl der Messwerte bzw. das arithmetische Mittel der Summe aller quadrierten Abstände zwischen Messwerten und arithmetisches Mittel, definiert.

<sup>35</sup>  $\bar{x}$  : arithmetischer Mittelwert.

<sup>36</sup> Eichordnung, Anlage 21 *Schallpegelmessgeräte*: Einzelheiten über die speziellen Vorschriften und zulässigen Fehlergrenzen für die einzelnen Messgerätearten.

Die resultierende Unsicherheit eines Mess- oder Berechnungsergebnisses setzt sich aus verschiedenen Einflussgrößen zusammen. Bei der Messung können dies Messunsicherheiten des Schallpegelmessers (Kalibration, Frequenzgang des Mikrofons etc.) oder (von der Normsituation abweichende) Reflexionen am Messort sein. Die lokalen Messbedingungen hängen von einer Reihe von weiteren Faktoren ab (z. B. Bodenbeschaffenheit, reflektierende Flächen, Schalleinfallswinkel). Sie beeinflussen die Messung und können kleinräumige Abweichungen bezüglich des maßgebenden, für ein repräsentatives Gebiet geltenden Schallpegels verursachen.

Darüber hinaus muss natürlich der messtechnische Aufwand grundsätzlich auch entsprechend der Aufgaben- und Zielstellung eingeschätzt und von der jeweiligen Geräuschsituation abhängig gemacht werden, um die geforderte Aussagesicherheit zu erhalten. Fluglärmmessanlagen müssen den Anforderungen nach DIN EN 60'651 [8] für Schallpegelmesser der Klasse 1 genügen. In dieser Norm sind die Anforderungen bezüglich Linearität, Richtwirkung und Frequenzbewertung der Messanlagen definiert.

►► Nach EMPA (2003) werden getrennt für Landungen und Starts Kriterien von Gebieten für erfolgreiche Fluglärmmessstandorte aufgeführt. Man geht davon aus, dass damit die Möglichkeiten der Fluglärmfassung erschöpft sind und keine einwandfreien und verwertbaren Ergebnisse erfasst werden können. Um die messtechnische Eignung der Standorte zu optimieren, sollten generell Messstationen sinnvollerweise nur dort aufgestellt werden, wo der Maximalpegel  $L_{ASmax}$  mindestens 13 dB lauter ist als das Umgebungsgeräusch. Je größer die Entfernung zwischen Flugzeug und Messanlage ist, umso geringer sind die gemessenen Maximalpegel und umso größer sind die störenden Einflüsse durch den Umgebungsgeräusch. Eine wesentliche Maßnahme zur Reduzierung der bestehenden Unsicherheiten wäre durch eine alternative Wahl der Messstandorte möglich. So gibt EMPA (2003) für zukünftige Messstandorte (hier: Bau neuer Landebahn) Hinweise hinsichtlich der Anordnung zur Flugachse sowie für die kürzesten Abstände der Messstandorte zur Flugbahn in Abhängigkeit von den Maximalpegeln.

#### **Fazit**

Geräuschmessungen sind automatisch mit Unsicherheiten verbunden. Unter normgerechten Messbedingungen geht man davon aus, dass bei der Fluglärmmessung eine Unsicherheit in der Größenordnung von ca. 2 dB (in Sinne einer Standardunsicherheit nach EMPA 2003) unvermeidbar ist. Diese Unsicherheit resultiert aus einer Vielzahl von Faktoren. Durch eine geeignete Wahl der Messorte können die Unsicherheiten minimiert werden.

### **3.3 Unsicherheiten und Genauigkeit der Lärmberechnungen**

► Die mit Berechnungsverfahren ermittelte Fluglärmbelastung ist stets mit einer Unsicherheit verbunden, unabhängig davon, wie sorgfältig die zugrunde liegenden Berechnungen durchgeführt werden. Diese Unsicherheiten setzen sich aus verschiedenen Einflussgrößen zusammen, so dass die resultierende Genauigkeit von vielen Faktoren abhängt, die einzelnen Beiträge oft nicht identifiziert werden können und generelle Angaben zur Genauigkeit schwierig zu erstellen sind. Der Vergleich mit Messwerten aus Einzelereignissen entspricht im Allgemeinen nicht der Zielsetzung der Fluglärmrech-

nungsverfahren, so dass solche Vergleiche falsche Rückschlüsse ergeben können. Zu berücksichtigen sind Einflussgrößen, die sich aus der Berechnungsvorschrift (akustisches Modell) sowie aus der Datenbasis des betrachteten Flugplatzes (Abbildung Flughafenbetrieb) ergeben:

- § Einflüsse des verwendeten akustischen Modells: Modellierung der Schallausbreitungsvorgänge wie z. B. bodennahe Dämpfung; Berücksichtigung von Topographie, Bebauung etc.
- § Abbildung des realen Flughafenbetriebs (Eingabedaten für die Berechnung): z. B. Annahme über die vom Piloten gewählte Triebwerksleistung, Beschreibung der Flugbahnen und damit des Abstandes der Quelle vom Empfänger. Quelldaten stellen Immissionsmessungen der einzelnen Flugzeugtypen als Eingangsgröße für die Lärmberechnung dar.

Neben den Angaben der EMPA zu Unsicherheiten der Fluglärmmessung mit FLULA (s. o.) liegen auch Angaben zur lokalen Abweichung von AzB-Berechnungen zu den Messstellen am Flughafen Frankfurt/Main vor (DLR 1999). Als maximale Abweichung werden Werte in der Größenordnung von 4,4 dB(A) angegeben (Rechenwert höher als der Messwert). An den untersuchten Standorten des Messnetzes des Flughafens Frankfurt/Main sind innerhalb dieser Untersuchung Differenzen von -0,5 bis +4,4 dB(A) aufgetreten (plus: Rechnung höher als Messung; minus: Messung höher als Rechnung). Die durchschnittliche Genauigkeit konventioneller Berechnungsmodelle (wie z. B. der AzB) wird mit einem Bereich von 1 bis 2 dB angegeben.

Der meteorologische Einfluss bzw. der Wettereinfluss auf die Schallausbreitung des Fluglärms wird im Jahresmittel auf ca. 1 dB(A) pro km abgeschätzt (EMPA 2003), wobei aufgrund der Luftdämpfung im Jahresmittel eine Unsicherheit von ca. 0,5 dB(A) pro km abgeschätzt wird.

Für die Software zur Lärmberechnung werden im DIN-Regelwerk DIN 45 687 Qualitätsanforderungen gestellt und Prüfbestimmungen zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien gestellt.<sup>37</sup> Des Weiteren hat das Umweltbundesamt (UBA) für Fluglärmrechnungen einen Musterflughafen entwickelt, für den Referenzberechnungen durchgeführt werden können.

► Die EMPA (2003) differenziert nach den Isophonen der FLULA2-Simulation als verbleibende Unsicherheit unter „der Voraussetzung, dass die Quelldaten hinreichend auf den lokalen Flottenmix abgestimmt sind, [...] für Frankfurt [...] auf dem Niveau von 60 dB (Mittelungspegel  $L_{eq(4)}$ ) mit 1,5 dB, von 55 dB mit 2 dB und auf dem Niveau von 50 dB mit rund 3 dB“ (siehe Abb.). *Mit einer auf einem optimierten Quelldatensatz basierenden Simulation ist somit eine hinreichend verlässliche Berechnung der Lärmbelastung für einen Mittelungspegel  $L_{eq(4)}$  von 55 dB und höher möglich* (EMPA 2003). Für Distanzen von mehr als drei Kilometern zwischen Flugzeug und Einwirkort muss mit Unsicherheiten von bereits 2 bis 3 dB(A) gerechnet werden. Die Ermittlung des Fluglärms in Gegenden mit relativ geringer Belastung ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Als Maßnahmen zur Minderung dieser Unsicherheit werden neben bemannten Kontrollmessungen die Kalibrierung der Quelldaten mit Monitoringdaten vorgeschlagen.

Die Genauigkeit der Radardaten wird für die FLULA-Fluglärmrechnung als hinreichend angesehen. Die bestehenden Abweichungen gleichen sich über die Gesamtheit aller Flüge im Jahresmittel mehrheitlich aus, so dass die daraus resultierende Unsicherheit bei der Ermittlung des Jahresmittelungspegels vernachlässigt werden kann.



## Fazit

Ebenso wie Geräuschmessungen unterliegen alle Lärmberechnungsverfahren unvermeidbaren Unsicherheiten. Sie ergeben sich aufgrund der Berechnungsvorschrift, aus dem akustischen Modell oder den Eingangsdaten zum jeweiligen Flughafenbetrieb. Bei konventionellen Modellen geht man von einer Genauigkeit in Höhe von ca. 1–2 dB aus (im Sinne einer Standardunsicherheit nach DLR 1999). Wesentliche Einflussgrößen auf die Genauigkeit sind z. B. die bodennahe Dämpfung, der Einfluss der Bebauung oder die Exaktheit der Flugbahnen. „*Naturgemäß kann grundsätzlich mit einem echten Simulationsverfahren unter Verwendung von Radardaten die Lärmbelastung besser wiedergeben werden als mit einem auf vereinfachten Annahmen basierenden Verfahren [(z. B. AzB)]*“ (EMPA 2003). Dennoch ist bei FLULA je nach Niveau des zu berechnenden Mittelungspegel  $L_{eq(4)}$  mit Unsicherheiten im Bereich von 1,5 bis 3 dB zu rechnen.

## Literaturhinweise zum Weiterlesen (Auswahl)

- § Detailinformationen zum Simulationsmodell FLULA2:  
EMPA: *FLULA2, Technische Programm-Dokumentation* (Version 2); EMPA, Abteilung für Akustik und Lärmbekämpfung, Dübendorf, CH  
Download: [www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/5934/---/l=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/5934/---/l=1)
- § Probst & Donner: Die Unsicherheit des Beurteilungspegels bei der Immissionsprognose; in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), 49 (2002) Nr. 3.



Abb. Vergleich berechneter Fluglärmbelastungen (FLULA vs.  $AzB_{mod}$ )

