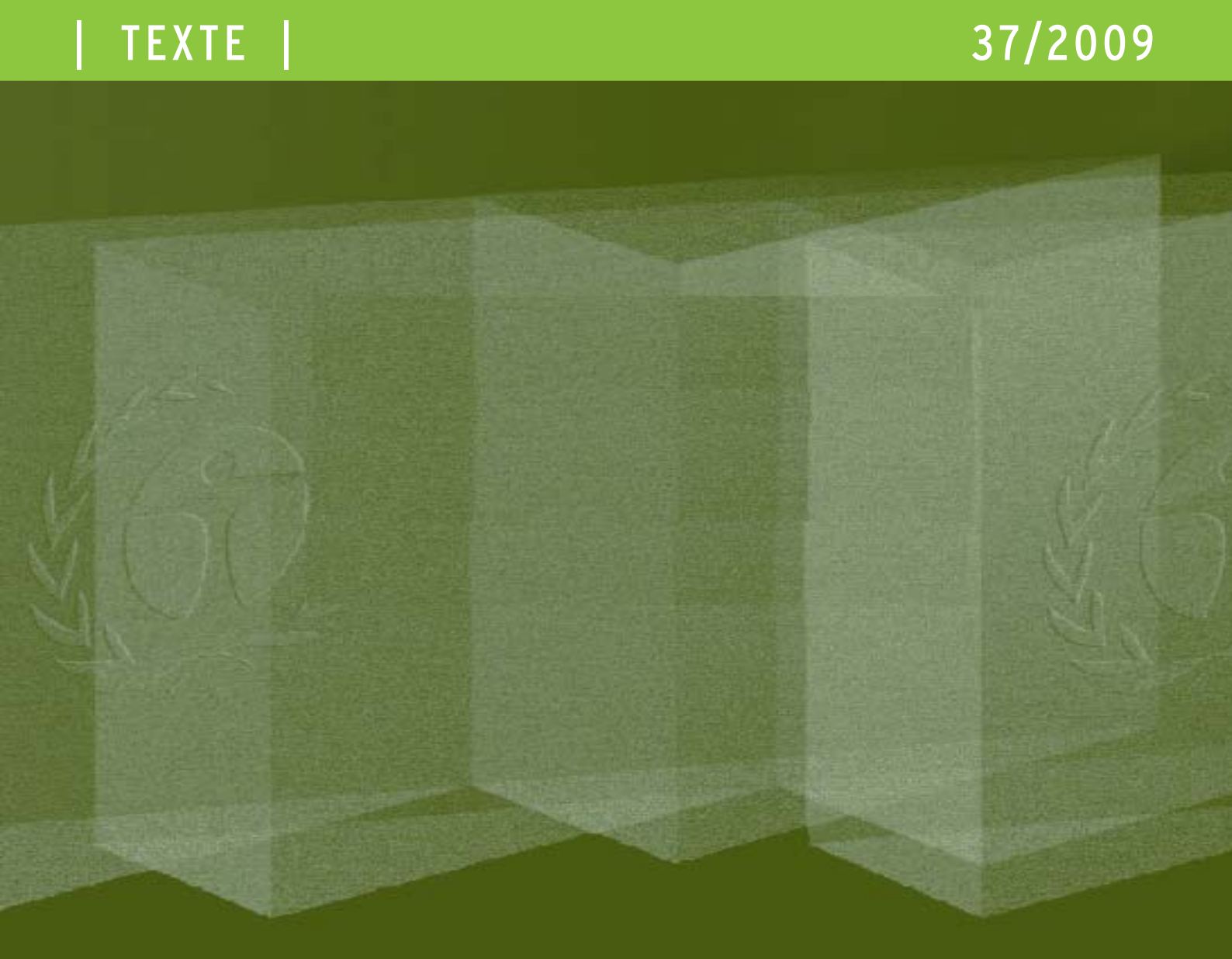




# Methodik zur Ermittlung der Geräuschimmissionen bei Triebwerksprobeläufen



Förderkennzeichen 350 01 033  
UBA-FB 001321

## **Methodik zur Ermittlung der Geräuschemissionen bei Triebwerksprobeläufen**

von

**Dr. Thomas Schenk**

KSZ Ingenieurbüro GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
[http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-  
medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3869](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3869)  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Email: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 3.3 Lärminderung im Verkehr  
Roman Thierbach

Dessau-Roßlau, November 2009

## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                                                         |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 0     | Zusammenfassung .....                                                                                   | 2  |
| 1     | Erläuterung der Abkürzungen, Maßeinheiten und Symbole, Glossar .....                                    | 4  |
| 2     | Veranlassung .....                                                                                      | 7  |
| 3     | Aufgabenstellung .....                                                                                  | 8  |
| 4     | Methodische Herangehensweise an die Untersuchung .....                                                  | 12 |
| 4.1   | Allgemeines .....                                                                                       | 12 |
| 4.2   | Ausgewertete Quellen.....                                                                               | 12 |
| 4.3   | Eigene Erfahrungen .....                                                                                | 13 |
| 4.4   | Erarbeitung von Fragestellungen und Expertenbefragungen.....                                            | 13 |
| 4.5   | Existierende Vorschläge für eine Berechnungsmethodik für<br>Triebwerksprobeläufe.....                   | 14 |
| 5     | Definition Triebwerksprobelauf.....                                                                     | 16 |
| 5.1   | Beschreibung von Triebwerksprobeläufen .....                                                            | 16 |
| 5.2   | Definition im Sinne einer zukünftigen Berechnungsmethodik .....                                         | 18 |
| 6     | Recherche- und Untersuchungsergebnisse .....                                                            | 19 |
| 6.1   | Bisherige Herangehensweise bei Berechnungen zu Triebwerksprobeläufen .                                  | 19 |
| 6.2   | Häufigkeit von Triebwerksprobeläufen .....                                                              | 21 |
| 6.3   | Betriebsbeschränkungen .....                                                                            | 22 |
| 6.4   | Dauer von Triebwerksprobeläufen; Last-Zeit-Profil.....                                                  | 23 |
| 6.5   | Geräuschemissionen bei Triebwerksprobeläufen .....                                                      | 29 |
| 6.6   | Richtcharakteristik der Schallabstrahlung .....                                                         | 34 |
| 6.7   | Tonhaltigkeit.....                                                                                      | 42 |
| 6.8   | Berücksichtigung von Maximalpegeln .....                                                                | 49 |
| 6.9   | Schallschutzeinrichtungen .....                                                                         | 52 |
| 6.10  | Ausbreitungsmodelle.....                                                                                | 59 |
| 7     | Ableitung einer Berechnungsmethodik .....                                                               | 64 |
| 7.1   | Zusammenfassende Wertung der Untersuchungsergebnisse .....                                              | 64 |
| 7.2   | Einordnung der neuen Berechnungsmethodik in das Regelwerk<br>zum Lärmschutz.....                        | 67 |
| 7.3   | Vorschlag für eine kurzfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik<br>für Triebwerksprobeläufe .....   | 70 |
| 7.4   | Vorschlag für eine mittelfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik<br>für Triebwerksprobeläufe ..... | 72 |
| 7.4.1 | Allgemeines .....                                                                                       | 72 |
| 7.4.2 | Quellenbeschreibung.....                                                                                | 72 |
| 7.4.3 | Ausbreitungsmodell .....                                                                                | 74 |
| 7.4.4 | Abschirmungen und Lärmschutzeinrichtungen.....                                                          | 74 |
| 7.4.5 | Berechnete Kenngrößen .....                                                                             | 75 |
|       | Literaturverzeichnis .....                                                                              | 77 |
|       | Tabellenverzeichnis.....                                                                                | 81 |
|       | Bildverzeichnis.....                                                                                    | 82 |
|       | Anhang .....                                                                                            | 83 |

## 0 Zusammenfassung

Triebwerksprobeläufe sind als unerlässlicher Bestandteil von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an Luftfahrzeugen auf Verkehrsflughäfen, Verkehrslandeplätzen und militärischen Flugplätzen mit nicht unerheblichen Lärmimmissionen in der Nachbarschaft der Flugplätze verbunden. In einer 1. Verordnung zum novellierten Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm sind außer zum Fluglärm zwar auch Methoden zur Berücksichtigung von am Boden auf Flugplätzen erzeugten Geräuschemissionen beim Rollen der Flugzeuge zum Start und nach der Landung sowie beim Betrieb der Hilfstriebwerke am Boden, nicht jedoch zur Berücksichtigung von Triebwerksprobeläufen enthalten.

Wesentliches Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen war deshalb die Erarbeitung eines Vorschlages für eine einheitliche Methodik zur Ermittlung der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen. Hierzu wurde auf der Grundlage der praktischen Gegebenheiten und Randbedingungen bei der Durchführung von Triebwerksprobeläufen auf Flugplätzen (Art und Umfang real durchgeführter Probeläufe, eingesetzte Maßnahmen zur Geräuschminderung u. a.) eine problemorientierte Definition von Triebwerksprobeläufen erarbeitet.

Anhand einer Analyse der vorliegenden Datenbasis (akustische Daten, Häufigkeiten und Dauer einzelner Laststufen bei unterschiedlichen Luftfahrzeugtypen u. a.) wurden die im Zusammenhang mit der rechnerischen Ermittlung von Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen bestehenden Probleme ausführlich untersucht. Bestimmte Detailprobleme (z. B. Lärmschutzhallen, Ausbreitungsmodelle) wurden mit Experten der jeweiligen Fachrichtungen diskutiert.

Aus den einzelnen Untersuchungsergebnissen wurden Schlussfolgerungen für die Ableitung einer einheitlichen Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe gezogen. Im Zusammenhang mit einer Diskussion der möglichen Einordnung der neuen Berechnungsmethodik in das allgemeine Regelwerk zum Lärmschutz wurden im Ergebnis eine kurz- und eine mittelfristige Lösung zur Umsetzung der Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe aufgezeigt. Während sich hierbei die kurzfristige Lösung auf die Methodik ausschließlich der Triebwerksprobeläufe bezieht, wird bei der mittelfristigen Lösung empfohlen, auch die sonstigen Bodengeräuschquellen innerhalb der Grenzen eines Flugplatzes einzubeziehen.

## Summary

As an indispensable mean in the maintenance of aircrafts on airports and civilian or military airfields engine power runs causes considerable noise exposure to the neighbourhood. The 1st decree to the new issued German Law for Protection Against Air Traffic Noise include beside regulations for flight noise also regulations for ground noise emissions due to aircraft taxiing and APU-using but not for ground noise emissions of engine power runs.

The essential aim of the investigations presented here was to work out a draft of a methodology for the determination of the noise exposure of engine power runs. For this a problem-related definition of engine power runs was worked out on the basis of the facts and conditions of real engine power runs on airfields (sort and extent of engine power runs, noise control measures ...).

By means of an analysis of the obtainable data basis (acoustical data, frequencies and duration of different power settings for different aircraft types and others) the problems for calculating noise exposures due to engine power runs were investigated in detail. Special problems (e. g. noise abatement facilities, sound propagation models) were discussed with experts of the respective scientific field.

The different results of the investigations were summarized for the development of a standard methodology for the determination of the noise exposure of engine power runs. In the context of the discussions about the integration of the new methodology in the general system of regulations in the field of acoustics a short-term and a medium-term way to establish the methodology were proposed. With this the short-term way only refers to the calculation of noise exposures of the engine power runs while the medium-term way also includes all other ground noise sources within the borderline of an airfield.

# 1 Erläuterung der Abkürzungen, Maßeinheiten und Symbole, Glossar

## Glossar

Bei der vorliegenden Themenstellung wird davon ausgegangen, dass dem Leser die gängigen Fachbegriffe der Akustik bekannt sind. An dieser Stelle werden deshalb nur einige im Text verwendete Fachbegriffe der Luftfahrt und der Luftfahrzeugtechnik erläutert.

|                                  |                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Balance-Triebwerk                | Zusätzlich bei einem Triebwerksprobelauf zum Ausgleich des Drehmomentes auf der anderen Flugzeugseite mitlaufendes Triebwerk                                                                         |
| Bodenlärmgutachten (BLG)         | Üblicherweise im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Flugplätze zusätzlich zum Fluglärmgutachten durchgeführtes Lärmgutachten zur Berücksichtigung der auf Flugplätzen am Boden erzeugten Geräusche |
| cut back power                   | Zurücknahme des Triebwerkschubes bei Erreichen einer bestimmten Höhe nach dem Start                                                                                                                  |
| Fan                              | Im Lufteinlass von Zweikreistriebwerken vor dem Verdichter angeordnetes Laufrad mit Turbinenschaufeln, nach welchem der Luftstrom aufgeteilt wird (siehe Zweikreistriebwerk)                         |
| General Aviation                 | Allgemeine Luftfahrt<br>(Privat- und Geschäftsreiseverkehr)                                                                                                                                          |
| idle, part power, max power      | Lastzustände von Flugzeugtriebwerken: Leerlauf, Teilleistung, Maximalleistung                                                                                                                        |
| Jet                              | Flugzeug mit Strahltriebwerken                                                                                                                                                                       |
| Last-Zeit-Profil                 | Zeitliche Abfolge einer oder mehrerer unterschiedlicher Laststufen mit ihrer jeweiligen Dauer bei einem Triebwerksprobelauf                                                                          |
| Letter Checks                    | Definierte Prüfabläufe bei der routinemäßigen Wartung von Verkehrsflugzeugen, bezeichnet mit großen Buchstaben A, B, C und D                                                                         |
| maximum thrust on brakes         | Maximalschub der Triebwerke am Boden, welcher gerade noch abgebremst werden kann                                                                                                                     |
| (geschlossene) Schallschutzhalle | mehrseitig oder vollständig eingehaute Position für Triebwerksprobeläufe mit Dach                                                                                                                    |

|                                             |                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schallschutzkabine                          | mehrseitig oder allseitig mit Lärmschutzwänden umgebene Position für Triebwerksprobeläufe ohne Dach                                                                                                  |
| Prallwand (blast fence)                     | weitestgehend schalldurchlässige Schutzwände, welche den von Flugzeugtriebwerken erzeugten Luft- bzw. Abgasstrom nach oben ablenken                                                                  |
| prefly-check                                | routinemäßige Überprüfung der Bordfunktionen vor dem Start                                                                                                                                           |
| push-back-Fahrzeug                          | Schleppfahrzeug zum Rückwärtsbugsieren der Flugzeuge aus der Parkposition                                                                                                                            |
| taxiing                                     | Rollen der Flugzeuge zwischen Abstellposition und Start- und Landebahn vor dem Start bzw. nach der Landung                                                                                           |
| Testtriebwerk                               | zu untersuchendes Triebwerk bei einem Triebwerksprobelauf                                                                                                                                            |
| Turboprop                                   | Propeller-Turbinentriebwerk                                                                                                                                                                          |
| Umkehrschub (Reverser)                      | Einrichtung von Triebwerken zur Erzeugung eines nach vorn gerichteten Schubes zum Abbremsen nach der Landung                                                                                         |
| Vorfeld                                     | Abfertigungsfläche mit Abstellpositionen für Flugzeuge auf Flugplätzen                                                                                                                               |
| konservativer Ansatz;<br>worst-case-Ansatz  | Berücksichtigung von bewusst ungünstigen Randbedingungen bei Lärmprognosen zur Vermeidung von Unterschätzungen der Geräuschimmissionen;<br>(rechnen „auf der sicheren Seite“)                        |
| Zweikreistriebwerk;<br>Mantelstromtriebwerk | Moderne, lärm- und schadstoffarme Bauform von Strahltriebwerken, bei denen ein Teil der anströmenden Luft unter einer äußeren Triebwerkhülle (Mantel) um das eigentliche Triebwerk herumgeführt wird |

### Abkürzungen, Formelzeichen

|             |                                                                            |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|
| $A_{bar}$   | Einfügungsdämpfung für Schallschutzwände gemäß DIN ISO 9613-2              |
| ADV         | Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen                            |
| $A_{fol}$   | Einfügungsdämpfung für Bewuchs gemäß DIN ISO 9613-2                        |
| $A_{house}$ | Einfügungsdämpfung für Bebauung gemäß DIN ISO 9613-2                       |
| APU         | Auxiliary Power Unit (Hilfstriebwerk zur Energieversorgung des Flugzeuges) |

|                    |                                                                                                                                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A <sub>site</sub>  | Einfügungsdämpfung für Bebauungsgebiete gemäß DIN ISO 9613-2                                                                        |
| AzB                | Anleitung zur Berechnung                                                                                                            |
| AzD                | Anleitung zur Datenerfassung                                                                                                        |
| BBI                | Berlin Brandenburg International                                                                                                    |
| BImSchG            | Bundes-Immissionsschutzgesetz                                                                                                       |
| dB; dB(A)          | Dezibel; Dezibel mit Berücksichtigung der A-Bewertung                                                                               |
| °C                 | Grad Celsius                                                                                                                        |
| DES                | Datenerfassungssystem                                                                                                               |
| DI                 | Richtwirkungsmaß (Directivity Index)                                                                                                |
| DIN                | Deutsches Institut für Normung                                                                                                      |
| ECAC               | European Civil Aviation Conference                                                                                                  |
| ETRS 89            | Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989;<br>dreidimensionales europäisches geodätisches Bezugssystem                        |
| FFT                | Fast Fourier Transform                                                                                                              |
| GPU                | Ground Power Unit (mobiles Aggregat für die externe<br>Energieversorgung von Flugzeugen)                                            |
| Hz                 | Hertz                                                                                                                               |
| i                  | Laufvariable                                                                                                                        |
| ILA                | Internationale Luftfahrtausstellung                                                                                                 |
| ISO                | International Standardisation Organization                                                                                          |
| Kfz                | Kraftfahrzeug                                                                                                                       |
| K <sub>T</sub>     | Tonzuschlag gemäß DIN 45681                                                                                                         |
| L, L <sub>i</sub>  | Schalldruckpegel (mit und ohne Laufvariable)                                                                                        |
| L <sub>AFmax</sub> | Maximum des AF-bewerteten Schalldruckpegels gemäß TA Lärm                                                                           |
| L <sub>AFTm5</sub> | Takt-Maximal-Mittelungspegel gemäß TA Lärm                                                                                          |
| L <sub>eq</sub>    | energieäquivalenter Dauerschallpegel, Mittelungspegel                                                                               |
| L <sub>pAmax</sub> | Maximum des A-bewerteten Schalldruckpegels                                                                                          |
| L <sub>WA</sub>    | A-bewerteter Schallleistungspegel                                                                                                   |
| m                  | Meter                                                                                                                               |
| m/s                | Meter pro Sekunde                                                                                                                   |
| min                | Minuten                                                                                                                             |
| n                  | Anzahl von Ereignissen oder Messwerten                                                                                              |
| NAT                | Number Above Threshold (Anzahl von Schallereignissen, die einen be-<br>stimmten Wert des maximalen Schalldruckpegels überschreiten) |
| PVF                | Planfeststellungsverfahren                                                                                                          |
| Q <sub>σ</sub>     | Standardabweichung der Emissionsdaten der AzB                                                                                       |
| Θ                  | Winkel zwischen Luftfahrzeuglängsachse und dem Ausbreitungsvektor<br>zum Immissionsort                                              |
| UTM                | Universal Transverse Mercator; kartesische Abbildung des<br>Erdellipsoids in der Ebene                                              |
| VDI                | Verein Deutscher Ingenieure                                                                                                         |

## 2 Veranlassung

Für die Nachbarschaft von Flugplätzen sind die durch startende und landende Luftfahrzeuge erzeugten Geräusche eine wesentliche Quelle von Geräuschbelastungen. Zur objektiven Ermittlung dieser Belastungen wurde 1971 das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm erlassen. Im Geltungsbereich dieses Gesetzes lagen ausschließlich Geräusche, die durch in der Luft befindliche Luftfahrzeuge sowie bei Start und Landung erzeugt werden.

Im Juni 2007 ist das novellierte Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in Kraft getreten [1]. Mit einer 1. Verordnung zu diesem Gesetz [2] wurde außerdem ein neues Regelwerk zur Ermittlung der Lärmschutzbereiche (AzD: „Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb“ [3] und AzB: „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ [4]) eingeführt. Bestandteil dieses Regelwerkes sind erstmalig auch Methoden zur Berücksichtigung von am Boden auf Flugplätzen erzeugte Geräuschemissionen beim Rollen der Flugzeuge zum Start und nach der Landung (taxiing) sowie beim Betrieb der Hilfsgasturbinen (auxiliary power unit - APU) am Boden.

Außer den Roll- und APU-Geräuschen sind jedoch weitere, in der neuen Gesetzgebung nicht erfasste Bodengeräusche relevant. Dies sind Geräusche durch technische Anlagen (Energiezentralen, Lüftungs- und Klimatechnik ...), durch Fahrzeugverkehr auf den Vorfeldern (Tankzüge, push-back-Fahrzeuge, Busse und sonstige zur Abfertigung benötigte Fahrzeuge und Gerätschaften) sowie durch Triebwerksprobeläufe. Hierbei kommt den Triebwerksprobeläufen aufgrund der Besonderheiten der akustisch wirksamen Randbedingungen eine Sonderstellung zu. Eine einfache Adaption der für den Fluglärm verwendeten Berechnungsmethoden, wie bei den Roll- und APU-Geräuschen, oder aber eine Adaption der im Immissionsschutz üblicherweise für Anlagen- und Verkehrsgeräusche verwendeten Berechnungsmethoden ist nicht ohne weiteres möglich.

Andererseits ist es in vielen Fällen aufgrund der Höhe der erzeugten Geräuschemissionen sowie von Anzahl und Dauer der Triebwerksprobeläufe nicht akzeptabel, diese bei der Beurteilung der Geräuschbelastung in der Nachbarschaft von Flugplätzen zu vernachlässigen. Für eine einheitliche Ermittlung der Geräuschimmissionen infolge von Triebwerksprobeläufen sind deshalb gesonderte Untersuchungen erforderlich.

### 3 Aufgabenstellung

Triebwerksprobeläufe sind unerlässlicher Bestandteil von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an Luftfahrzeugen auf Verkehrsflughäfen, Verkehrslandeplätzen und militärischen Flugplätzen. Standardisierte Untersuchungsmethoden für die am Boden verursachten Geräusche von Flugplätzen gibt es in der Bundesrepublik Deutschland derzeit nicht. Die im Rahmen von Genehmigungsverfahren notwendigen Prognoseberechnungen für die Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen (wie auch für die anderen bodenerzeugten Geräuschimmissionen z. B. durch Rollbewegungen, APU u. ä.) wurden deshalb in der Vergangenheit von den hiermit betrauten Fachleuten nach sehr unterschiedlichen Methoden durchgeführt. So ist z. B. in einigen Fällen relativ streng nach der Methodik der „alten“ AzB, andererseits nach den allgemein für gewerbliche Geräusche verwendeten bzw. verwandten Methoden der VDI 2714 "Schallausbreitung im Freien", 1988 [5], VDI 2720 "Schallschutz durch Abschirmung im Freien", 1997 [6], VDI 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten", 1976 [7] und der DIN ISO 9613-2 "Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien", 2000 [8], vorgegangen worden. Hierbei wurden akustisch relevante Parameter (z. B. Berechnung mit A-Pegeln oder mit Oktav-Pegeln, Berücksichtigung unterschiedlicher Laststufen, Richtcharakteristik, Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse) sowie auch beurteilungsrelevante Parameter (insbesondere Beurteilungszeiten, Lästigkeitszuschläge) durchaus sehr unterschiedlich gehandhabt. Die Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen werden in der Fachwelt wegen dieser vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten kontrovers diskutiert. Eine zusammenfassende Darstellung des vorhandenen Wissens auf diesem Gebiet existiert nicht.

Wesentliches Ziel der durchzuführenden Untersuchungen ist die Erarbeitung eines Vorschlages für eine einheitliche Methodik zur Ermittlung der Geräuschimmissionen der Triebwerksprobeläufe, welche einerseits die Anforderungen nach erforderlicher Genauigkeit und Aussagefähigkeit erfüllt, andererseits eine praxisnahe und unkomplizierte Anwendung gewährleisten soll.

Zur Bearbeitung der Themenstellung ist eine möglichst umfassende Analyse der bisher durchgeführten Arbeiten zu Triebwerksprobeläufen (Gutachten zu Genehmigungsverfahren, Untersuchungen zur Ableitung von Lärminderungsmaßnahmen, Messberichte, Publikationen u. ä.) durchzuführen. Außerdem sind Befragungen von Experten aus dem Kreis der Flugplatzbetreiber, Triebwerkshersteller und Wartungs-

firmen zu bestimmten Spezialthemen (z. B. Auslegung von Lärmschutzhallen, Laststufen während der Probeläufe ...) vorzunehmen. Anhand der Angaben über Art und Umfang realer Einrichtungen für Triebwerksprobeläufe und darauf durchgeführter Triebwerksprobeläufe ist eine Definition von Triebwerksprobeläufen im Sinne der hier vorliegenden Aufgabenstellung vorzunehmen. Die für die Ermittlung der Geräuschimmissionen relevanten Randbedingungen der Triebwerksprobeläufe sind zu bestimmen und zu klassifizieren (z. B. Art der Triebwerke, Berücksichtigung unterschiedlicher Laststufen u. ä.).

Weiterhin ist auf der Basis der Analyse national und international angewandter Methoden die Wahl eines Berechnungsverfahrens für die Schallausbreitung vorzunehmen, wobei einerseits die Besonderheiten bei der Schallausbreitung in Erdbodennähe zu beachten sind, andererseits die Kompatibilität mit der AzB (Ermittlung von konsistenten Beurteilungspegeln zur energetischen Zusammenfassung zu einer „Gesamt“-Lärmbelastung) zu diskutieren ist. Hierbei ist zu beachten, dass in der Praxis ein großes Spektrum an unterschiedlichen Lärmschutzeinrichtungen existiert und gegebenenfalls auch andere Hindernisse auf dem Ausbreitungswege die Geräuschimmission beeinflussen.

Weiterhin ist die Relevanz bestimmter Teilaspekte (Tonhaltigkeit, Streuung von Messergebnissen ...) zu klären.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung wurde im Juli 2008 erarbeitet und ausgeschrieben. Diese Aufgabenstellung beinhaltete eine hohe Priorität für die Aufgabenbestandteile, welche eine Einbindung bzw. zumindest eine weitestgehende Kompatibilität der neu zu erarbeiteten Berechnungsmethodik mit der neuen AzB zu prüfen hatten. Der wesentliche Grund hierfür war, ein konsistentes Regelwerk zur Berechnung der von Flugplätzen erzeugten Geräuschimmissionen zu schaffen, welches außer den Fluggeräuschen auch die wesentlichen Bodengeräuschquellen, wozu Triebwerksprobeläufe zweifelsfrei gehören, berücksichtigt.

Hierzu wurde im Verkehrsausschuss und im Umweltausschuss des Bundesrates ein entsprechender Antrag, welcher auf einen Vorschlag für eine Berechnungsmethodik des Landes Niedersachsen [9] beruht, eingebracht. Dieser Antrag wurde im Verkehrsausschuss angenommen [10], im Umweltausschuss jedoch abgelehnt [11]. Der Bundesrat hat schließlich auf seiner 847. Sitzung am 19.09.2008 endgültig beschlossen, in der neuen AzB keine Rechenverfahren für Triebwerksprobeläufe zu imple-

mentieren, sondern als Bodengeräusche nur die Rollgeräusche der Flugzeuge vor dem Start und nach der Landung sowie die APU-Geräusche zu berücksichtigen. Maßgebend für diese Entscheidung war die Befürchtung, dass bei Aufnahme der Triebwerksprobeläufe in die Methodik der AzB Maßnahmen des aktiven Lärmschutzes bei Triebwerksprobeläufen (Lärmschutzhallen, zeitliche und räumliche Beschränkung von Probeläufen ...) nicht mehr adäquat genutzt werden würden.

Da es somit in absehbarer Zeit nicht möglich sein wird, ein Berechnungsverfahren für Triebwerksprobeläufe in die AzB zu implementieren, ist im Rahmen der hier zu bearbeitenden Aufgabenstellung den fachlichen (akustischen) Gesichtspunkten höhere Priorität gegenüber der Forderung nach möglichst weitestgehender Kompatibilität mit der AzB einzuräumen.

Gemäß aktueller Aufgabenstellung waren insbesondere folgende Teilleistungen zu erbringen:

### **Erfassung und Analyse der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen**

- Erfassung und Auswertung der Literatur zum Thema Triebwerksprobeläufe (Publikationen, Gutachten, Genehmigungsunterlagen u. a.).
- Erarbeitung von Fragestellungen, die in einzelnen Gesprächen mit Ansprechpartnern (Experten) aus bestimmten interessierenden Fachbereichen behandelt werden sollen. Die Fragestellungen sind mit dem Auftraggeber abzustimmen.
- Erstellung einer Liste von möglichen Ansprechpartnern (Experten) aus den Bereichen Flugbetrieb, Luftfahrzeug- und Triebwerksinstandhaltung sowie für die akustische Auslegung von Hallen für Triebwerksprobeläufe, die zu bestimmten Spezialthemen befragt werden sollen und Durchführung der Befragungen. Die Ergebnisse der Befragungen sind in separaten Ergebnisprotokollen festzuhalten.
- Soweit möglich, Zusammenstellung der Einrichtungen für Triebwerksprobeläufe.
- Zusammenstellung der für diese Einrichtungen geltenden Lärmschutzbestimmungen und Betriebseinschränkungen.
- Praxisgerechte Definition des Begriffs Triebwerksprobelauf.
- Darstellung der Phasen, die beim Triebwerksprobelauf für Strahl- und Propellerflugzeuge üblicherweise durchlaufen werden (Dauer und Triebwerks-Leistungsstellungen, Einsatz des "Balance-Triebwerks").

- Übersicht über Häufigkeit, Dauer und Betriebszeiten von Einrichtungen für Triebwerksprobeläufe an ausgewählten Verkehrsflughäfen, Verkehrslandeplätzen und militärischen Flugplätzen in Deutschland, soweit möglich.
- Erfassung und Bewertung der national und international angewendeten Verfahren zur Bestimmung der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen; Ableitung von Vorschlägen für eine Berechnungsmethodik.
- Vergleichende Betrachtung der Abschirmwirkung unterschiedlicher Bauformen von Lärmschutzeinrichtungen (Lärmschutzwall, Lärmschutzhalle (offen/geschlossen) u. a.).

### **Ausarbeitung von Vorschlägen für die Berechnung von Geräuschimmissionen durch Triebwerksprobeläufe**

- Bewertung der Frage, inwieweit bei Triebwerksprobeläufen Tonhaltigkeit gegeben ist und Ableitung der möglichen Konsequenzen für den Berechnungsalgorithmus.
- Angaben zur Standardabweichung der Emissionsdaten ( $Q_\sigma$ ) bei Triebwerksprobeläufen.
- Beschreibung der Richtcharakteristik der Geräusche bei Triebwerksprobeläufen.
- Prüfung und Vergleich möglicher alternativer Schallausbreitungsmodelle unter Beachtung verschiedener Randbedingungen (Gültigkeitsbereich relevanter Bestimmungen, Schallausbreitung über größere Entfernungen u. a.).
- Ausarbeitung eines Vorschlags zur Berechnung von Geräuschimmissionen durch Triebwerkprobeläufe (einschließlich des Häufigkeits-/Maximalpegelkriteriums (NAT-Kriteriums)).

## **4 Methodische Herangehensweise an die Untersuchung**

### **4.1 Allgemeines**

Die Methodik zur Bearbeitung der Themenstellung ergibt sich weitestgehend aus der in Abschnitt 3 dargelegten Aufgabenstellung. Nachfolgend werden die Vorgehensweise bei der Beschaffung der erforderlichen Informationen und die Quellen der Informationen näher beschrieben. Die aus den unterschiedlichen Quellen erzielten Informationen werden systematisiert und thematisch geordnet im Abschnitt 6 vorgestellt. Im Abschnitt 7 werden die notwendigen Schlussfolgerungen für die Erarbeitung einer Berechnungsmethodik für Geräuschemissionen von Triebwerksprobeläufen erläutert.

### **4.2 Ausgewertete Quellen**

Die Quellen für Informationen zur Themenstellung liegen hauptsächlich in Veröffentlichungen (Fachliteratur, Tagungsbeiträge, Dissertationen ...) sowie in bisher erarbeiteten Bodenlärmgutachten zu Planfeststellungsverfahren bzw. Änderungsgenehmigungsverfahren für Flugplätze. Weitere Quellen sind unveröffentlichte Messberichte und sonstige Gutachten (z. B. zu Lärmbekämpfungsmaßnahmen bei Triebwerksprobeläufen), veröffentlichte Informationen der Flugplatzbetreiber und der Luftfahrzeughersteller sowie mündliche Informationen und Konsultationen unterschiedlicher Fachleute.

Ein Teil dieser Quellen lag bereits beim Verfasser dieses Berichtes vor, teilweise wurden sie vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt, aus dem Internet recherchiert oder anderweitig neu beschafft. Viele dieser Quellen behandeln nur einzelne, wenn auch zumeist sehr wichtige Aspekte der Gesamtproblematik. In der Dissertation von THOMANN [12] werden z. B. Triebwerksprobeläufe nicht explizit untersucht, jedoch können die für die Messung und Berechnung von Fluglärmimmissionen dargestellten Informationen und Untersuchungsergebnisse in vielen Fällen auch auf die Geräuschemission und -immission bei Triebwerksprobeläufen übertragen werden.

Im Gegensatz hierzu untersuchen die im Rahmen von Planfeststellungsverfahren bzw. Änderungsgenehmigungsverfahren durchgeführten Bodenlärmgutachten die durch Triebwerksprobeläufe verursachten Geräuschemissionen notwendigerweise

in ihrer Gesamtheit. Hier ist insbesondere das Bodenlärmgutachten für den Ausbau des Flughafen Frankfurt/Main [13] als aktuelle und methodisch sehr detailliert durchgeführte Arbeit zu erwähnen. Die in den verschiedenen Bodenlärmgutachten für Triebwerksprobeläufe angewendeten Berechnungsverfahren sind einer gesonderten Untersuchung zu unterziehen und hinsichtlich der Anwendbarkeit für die neu zu erarbeitende Berechnungsmethodik zu analysieren.

### 4.3 Eigene Erfahrungen

Für die Bearbeitung der Themenstellung liegen beim Verfasser dieses Berichtes umfangreiche Erfahrungen bei militärischen (Ramstein Airbase, Spangdahlem Airbase, Coleman Airfield, Fliegerhorst Wunstorf) und zivilen (Berlin-Tegel, Berlin-Schönefeld, Braunschweig, Hof-Plauen, Strausberg) Flugplätzen vor. Diese Erfahrungen wurden sowohl bei der Erarbeitung von Bodenlärmgutachten für Planfeststellungsverfahren oder Änderungsgenehmigungsverfahren als auch bei messtechnischen Untersuchungen im Rahmen der beratenden Tätigkeit erzielt. Bei der Darstellung der Ergebnisse sowie bei der Ableitung der neuen Berechnungsmethodik sind diese Erfahrungen eingeflossen, ohne dass im Detail auf die jeweilige Quelle Bezug genommen wird.

### 4.4 Erarbeitung von Fragestellungen und Expertenbefragungen

Für die vorliegende Aufgabenstellung ist die Einbeziehung von Informationen und Erfahrungen anderer Fachleute, die sich mit der Fluglärmproblematik allgemein und mit den Bodengeräuschen im Besonderen beschäftigen, von hoher Bedeutung. Ebenso bedeutsam sind die sich aus der betrieblichen Praxis auf Verkehrsflughäfen, Verkehrslandeplätzen und militärischen Flugplätzen ergebenden Informationen und Erfahrungen. Für eine zusammenfassende Darstellung des vorhandenen Wissens zu Geräuschemissionen und -immissionen bei Triebwerksprobeläufen erfolgte eine Zusammenstellung und Systematisierung der offenen bzw. zu klärenden Fragen.

Im Einzelnen waren folgende Fragenkomplexe von Interesse:

- Anzahl, Dauer und Last-Zeit-Profil von üblicherweise durchgeführten Probe-läufen einschließlich eventuell bestehender Regelungen zu betrieblichen Einschränkungen; Anzahl der hierbei eingesetzten Triebwerke (Balance-Triebwerk).

- Bei Triebwerksprobeläufen erzeugte Geräuschemissionen einschließlich der hierbei auftretenden Richtcharakteristiken und Streuungen.
- Angaben zu vorhandenen Lärmschutzanlagen sowie deren Wirksamkeit.
- Eignung sowie Vor- und Nachteile unterschiedlicher Modelle zur Berechnung der Schallausbreitung einschließlich der Bildung einer Beurteilungsgröße unter eventueller Berücksichtigung belästigungsrelevanter Kriterien (Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit ...).

Mit diesen Fragen wurde an einzelne Fachleute sowie an die Betreiber von Flugplätzen herangetreten. Die Antworten bzw. die Diskussionsergebnisse wurden dokumentiert. Leider war es nicht möglich, die in der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) organisierten Flughäfen für eine Kooperation zu gewinnen. Da nach dem Bundesratsbeschluss vom 19.09.2008 Triebwerksprobeläufe aus dem Regelwerk der 1. FlugLSV, d. h. aus der neuen AzB, ausgeschlossen waren, ist die Frage der rechtlichen Einordnung einer Berechnungsmethodik für Geräuschemissionen von Triebwerksprobeläufen offen. Da die rechtliche Einordnung der Berechnungsmethodik entscheidend für eine ganze Reihe ihrer Randbedingungen und Festlegungen ist, hat der Fachausschuss Umwelt der ADV den Beschluss gefasst, vor einer Mitwirkung an einer neuen Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe die Klärung des rechtlichen Hintergrundes abzuwarten. Somit stand der umfangreiche Erfahrungsschatz der der ADV angeschlossenen Flughäfen nicht für die Bearbeitung der Themenstellung zur Verfügung. Die Haltung der ADV wurde jedoch zum Anlass genommen, Möglichkeiten für die Einordnung der neuen Berechnungsmethodik in das allgemeine Regelwerk zum Lärmschutz zu untersuchen und eine diesbezügliche Empfehlung abzugeben (siehe Abschnitt 7).

### **4.5 Existierende Vorschläge für eine Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe**

Die rechnerische Ermittlung von durch Triebwerksprobeläufe verursachten Geräuschemissionen ist insbesondere im Rahmen von Bodenlärmgutachten für Planfeststellungsverfahren oder Änderungsgenehmigungsverfahren für Flugplätze erforderlich. Mangels einer vorgeschriebenen Berechnungsmethodik bleibt die Herangehensweise an diese Berechnungen dem jeweiligen Gutachter überlassen. Dies bedeutet nicht, dass die Ergebnisse dieser Berechnungen generell einem höheren Fehlrisiko unterliegen oder die Gefahr einer wesentlichen Unterschätzung der Lärmbelastung der Betroffenen bestünde. Im Gegenteil werden diese Berechnungen größtenteils durch anerkannte Fachleute durchgeführt, die über einen guten Überblick

über das gesamte akustische Regelwerk verfügen und die anhand der Bedingungen des konkreten Einzelfalles eine möglichst optimale Auswahl der Berechnungsverfahren vornehmen. Und gerade aufgrund des Ermessensspielraumes bei der Anwendung der Berechnungsverfahren wird im Regelfall weitestgehend konservativ gerechnet.

Das Fehlen einer standardisierten Berechnungsmethodik sowie auch die Anpassung des Methodeninventars an den konkreten Einzelfall führen jedoch dazu, dass die berechneten Geräuschimmissionen unterschiedlicher Fälle nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind. Das heißt, bei gleichen Zahlenwerten des Immissionspegels kann die Lärmimmission durch einen Triebwerksprobelauf am Flugplatz A trotzdem anders als an einem anderen Flugplatz B sein. Die Methodenwahl ist in den einzelnen Bodenlärmgutachten zwar mehr oder minder ausführlich begründet, in keinem Bodenlärmgutachten ist jedoch bisher eine vergleichende Betrachtung der Herangehensweise unterschiedlicher Gutachter oder eine Zusammenstellung des bisherigen Erkenntnisstandes vorgenommen worden. Demzufolge kann auch die Herangehensweise keines der bisherigen Bodenlärmgutachten als Vorschlag für eine allgemeingültige Methodik dienen.

Demgegenüber liegt jedoch bereits ein Vorschlag für eine einheitliche Ermittlung von Geräuschen durch Triebwerksprobeläufe vor, welcher als Änderungsvorschlag des Landes Niedersachsen für die 847. Sitzung des Bundesrates am 19.09.2008 erarbeitet wurde [9] (siehe auch Anhang). Diese Methodik enthält mit Ausnahme der Berücksichtigung von Lärmschutzeinrichtungen ein vollständiges Formelwerk zur Ermittlung der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen. Diese Methodik wird im Abschnitt 6 im Kontext mit den anderen erzielten Informationen und Erkenntnissen diskutiert.

## 5 Definition Triebwerksprobelauf

### 5.1 Beschreibung von Triebwerksprobeläufen

Die von Flugplätzen herrührenden Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft können prinzipiell unterschieden werden in Fluggeräusche und Bodengeräusche. Die Bodengeräusche können noch einmal in Bodengeräuschimmissionen im engeren Sinne (luftfahrzeuggebundene Quellen) und Bodengeräuschimmissionen im erweiterten Sinne (nicht luftfahrzeuggebundene Quellen) unterschieden werden.

Bodengeräuschimmissionen im erweiterten Sinne werden durch alle innerhalb der Grenzen eines Flugplatzes befindlichen Quellen verursacht, welche nicht an bzw. in einem Luftfahrzeug installiert sind. Zu Bodengeräuschquellen im erweiterten Sinne gehören also technische Anlagen auf Flugplätzen (z. B. Heizanlagen, Kraftwerke), der gesamte Kfz-Verkehr auf den Vorfeldern und den flugplatzeigenen Straßen sowie die stationären und mobilen Energieversorgungsanlagen für die parkenden Luftfahrzeuge (ground power unit - GPU).

Luftfahrzeuggebundene Bodengeräuschquellen, d. h. Bodengeräuschquellen im engeren Sinne, sind z. B. Rollvorgänge nach der Landung und vor dem Start, Hilfs- triebwerke der Luftfahrzeuge (auxiliary power unit - APU) und Triebwerksprobeläufe. Sie werden nicht als Fluggeräusche gewertet (siehe hierzu auch die Definition der Fluggeräusche in ECAC Doc. 29, 3<sup>rd</sup> edition [14]).

Fluggeräusche werden durch Luftfahrzeuge erzeugt, welche sich während des Fluges in der Luft oder während Start bzw. Landung auf der Start- und Landebahn befinden. Eine Abgrenzung zu den luftfahrzeuggebundenen Bodengeräuschen wird üblicherweise derart vorgenommen, dass Geräusche, die nach dem Verlassen der Start- und Landebahn nach der Landung sowie vor der Auffahrt auf die Start- und Landebahn vor dem Start erzeugt werden, als Bodengeräusche (im engeren Sinne) zu werten sind.

Triebwerksprobeläufe sind Bestandteil der Bodengeräuschquellen im engeren Sinne. Sie sind unerlässlich zur Gewährleistung einer sicheren Abwicklung des Luftverkehrs. Triebwerksprobeläufe werden planmäßig im Rahmen von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sowie zur außerplanmäßigen Überprüfung von Funktionen der

Triebwerke sowie anderer Luftfahrzeugbaugruppen, für die die Energieversorgung vom Triebwerk notwendig ist, durchgeführt.

Triebwerksprobeläufe können nach Art und Umfang sehr unterschiedlich ablaufen. Einflussfaktoren sind die Art und der Typ des Triebwerkes sowie die Aufgabenstellung, für die der Triebwerksprobelauf durchgeführt werden muss. Für die außerplanmäßige Überprüfung von Luftfahrzeugbaugruppen ist in vielen Fällen ein relativ kurzer Probelauf im Leerlauf (idle) ausreichend. Während der turnusmäßigen Wartung wird je nach abgelaufenen Flugstunden ein mehr oder minder großer Prüfplan abgearbeitet, wobei in aller Regel unterschiedliche Laststufen der Triebwerke bis hin zur Volllast (max power, take off power) eingestellt werden.

Für Verkehrsflugzeuge sind in diesem Zusammenhang die so genannten Letter-Checks (A-, B-, C- und D-Check) von Bedeutung. Die auch als Minor Checks bezeichneten A-Checks werden in Abhängigkeit vom Luftfahrzeugmuster (jedoch auch abhängig von der jeweiligen Fluggesellschaft) aller 250 - 650 Flugstunden durchgeführt. B-Checks werden nur noch für bestimmte ältere Luftfahrzeugmuster durchgeführt. Die C-Checks (auch als Major Checks bezeichnet) finden aller 15 - 18 Monate statt. Die umfangreichsten Prüfabläufe sind bei einem D-Check erforderlich, bei dem ca. aller 6 - 10 Jahre eine komplette Grundüberholung stattfindet. Die jeweiligen Instandhaltungsprogramme nach dieser Systematik basieren auf den Wartungshandbüchern der Luftfahrzeughersteller und müssen von den Airlines bei den zuständigen Behörden zur Genehmigung eingereicht werden. Im Rahmen der oben genannten Checks sind immer auch Triebwerksprobeläufe erforderlich, deren Last-Zeit-Profil entsprechend der jeweiligen Wartungshandbücher und der aktuellen Problemstellung unterschiedlich ausfällt. Aus der Anzahl der auf einem bestimmten Flugplatz durchgeführten Letter-Checks kann deshalb möglicherweise die Anzahl von idle-, part power- und max power-Probelaufen abgeschätzt werden.

Bei Triebwerksprobeläufen im Leerlauf ist es zwar prinzipiell möglich, nur das zu untersuchende Triebwerk laufen zu lassen, jedoch werden aus anderen Gründen häufig zwei Triebwerke symmetrisch betrieben. Bei Triebwerksprobeläufen in Laststufen höher als Leerlauf ist zum Ausgleich des Drehmomentes der Betrieb eines symmetrisch angeordneten Triebwerkes (so genanntes Balance-Triebwerk), zumeist mit etwas geringerer Last, erforderlich. Bei viermotorigen Flugzeugen kann es vorkommen, dass während eines Triebwerksprobelaufes alle vier Motore, auch mit Laststufen bis zu max power, in Betrieb sind (z. B. im militärischen Bereich).

Nicht alle unterschiedlichen Prüfschritte sind akustisch relevant. Die routinemäßige Prüfung von Luftfahrzeugfunktionen vor dem Start, auf dem Vorfeld oder während des Rollens zum Startpunkt, ist für die Erarbeitung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe ebenfalls irrelevant, da die hierbei entstehenden Geräusche bereits nach der neuen AzB erfasst werden.

Nachfolgend wird eine Definition für Triebwerksprobeläufe im Sinne der Aufgabenstellung für die Erarbeitung einer Berechnungsmethodik für Geräuschimmissionen durch Triebwerksprobeläufe gegeben. Die Grundlagen für diese Definition beruhen einerseits auf der betrieblichen Praxis auf den Flugplätzen, andererseits auf Informationen, Erfahrungen und Erkenntnissen, die teilweise erst in den folgenden Abschnitten wiedergegeben sind. Zum Zwecke des besseren Verständnisses wird die Definition jedoch an den Anfang dieses Berichtes gesetzt.

### **5.2 Definition im Sinne einer zukünftigen Berechnungsmethodik**

Ein Triebwerksprobelauf ist der Betrieb der Triebwerke eines Luftfahrzeuges zum Zwecke der Diagnose von Funktionen und Baugruppen des Luftfahrzeuges im Rahmen der routinemäßigen Wartung des Luftfahrzeuges oder bei außerplanmäßigen Kontrollen und Instandhaltungsarbeiten. Das Luftfahrzeug wird hierbei auf einen hierzu bestimmten Stellplatz oder in einer hierzu bestimmten Einrichtung positioniert. Die routinemäßigen Kontrollen der Funktionsfähigkeit des Luftfahrzeuges vor dem Start (auch während des Rollens zum Start; Pre-Takeoff Check) bzw. nach Landungen zählen nicht als Triebwerksprobelauf.

Im Rahmen der hier vorliegenden Berechnungsvorschrift werden vier unterschiedliche Laststufen Leerlauf, Teillast niedrig, Teillast hoch, Maximallast (idle, part power low, part power high, max power) unterschieden. Falls bei bestimmten Luftfahrzeugmustern bzw. Triebwerkstypen Probeläufe standardmäßig mit einer geringeren Zahl von Lastzuständen durchgeführt werden, so ist für die nicht zu berücksichtigenden Lastzustände die Einwirkdauer auf Null zu setzen. Das eventuelle mehrmalige Hoch- und Runterfahren der Triebwerke während eines organisatorisch zusammenhängenden Prüfablaufes wird als ein Triebwerksprobelauf gewertet. (Bemerkung: Zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums (z. B. NAT - number above threshold) sind gegebenenfalls zusätzliche Regelungen für die hierbei mehrfach auftretenden Maximalpegel zu treffen.)

## 6 Recherche- und Untersuchungsergebnisse

### 6.1 Bisherige Herangehensweise bei Berechnungen zu Triebwerksprobeläufen

Berechnungen zur Geräuschemission von Triebwerksprobeläufen wurden in Deutschland in der Vergangenheit hauptsächlich im Rahmen von Plangenehmigungsverfahren für Flugplatzänderungen bzw. -erweiterungen sowie im Rahmen von Untersuchungen zur Lärmbekämpfung durchgeführt. Da bis zum Inkrafttreten des neuen Fluglärmgesetzes Bodengeräusche von Flugplätzen nicht geregelt waren, bestand weitestgehende Methodenfreiheit. Hierbei wurde größtenteils auf der Grundlage der allgemein für gewerbliche Geräusche entwickelten Methoden der VDI 2714 [5], VDI 2720 [6], VDI 2571 [7] und der DIN ISO 9613-2 [8] vorgegangen. Die einzelnen Bodengeräuschquellen wurden als Punktquellen und Linienquellen modelliert. In vielen Fällen wurde die Vielzahl der auf den Vorfeldern ablaufenden geräuscherzeugenden Aktionen mit Hilfe von Flächenschallquellen modelliert.

Die akustisch relevanten Ausgangsdaten wurden hinsichtlich Häufigkeit und Dauer vom Flugplatzbetreiber ermittelt bzw. abgeschätzt. Hierbei wurden als Basiszeitraum der Datenerhebung zumeist wie beim Fluglärm die sechs verkehrsreichsten Monate herangezogen. Die akustischen Parameter Schallleistung und Richtcharakteristik wurden aus Literatur- oder Herstellerangaben entnommen oder auf der Grundlage der AzB-Datensätze abgeschätzt. Selten wurden eigene Messungen durch Gutachter, Flugplatzbetreiber oder Luftfahrzeughersteller durchgeführt. Für die Schallausbreitung wurde größtenteils das Modell der ISO 9613-2, vor Erarbeitung der ISO 9613-2 das Modell der VDI 2714 verwendet. Die Beurteilungszeiten wurden in Anlehnung an die Fluglärmrechnungen mit 16 Stunden tags und 8 Stunden nachts angesetzt. Eine Berteilung der Ergebnisse ist größtenteils im Rahmen eines medizinischen Gutachtens vorgenommen worden.

In einigen Bodenlärmgutachten wurde auf die Berücksichtigung der Richtcharakteristik verzichtet. Etwas häufiger wurde auf die Berücksichtigung von Bebauung und Bewuchsdämpfung verzichtet. Die Gründe für diesen Verzicht lagen mit hoher Wahrscheinlichkeit im Bearbeitungsaufwand, begründet wurde der Verzicht jedoch zumeist mit einem worst-case-Ansatz der Berechnungen.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass gerade wegen der Methodenfreiheit sowie auch wegen der spärlichen Datenlage bei den Emissionsdaten im Prinzip alle Bodenlärmgutachten worst-case-Ansätze in sich tragen. Hinsichtlich der Triebwerksprobeläufe betrifft dies insbesondere

- die Verwendung der lautesten Luftfahrzeugmuster bzw. Triebwerkstypen stellvertretend für alle Probeläufe.
- die Annahme aller bzw. einer hohen Zahl von Probeläufen mit max power.
- die Annahme eines hohen Zeitanteils der Probeläufe mit max power.

Die in den einzelnen Bodenlärmgutachten festzustellenden methodischen Unterschiede sind sicherlich hinsichtlich der Berechnungsergebnisse bedeutsam. In Anbetracht der bestehenden Unsicherheiten der Ausgangsdatenlage sowie unter Berücksichtigung des jeweiligen worst-case-Ansatzes ist es jedoch eher unwahrscheinlich, dass die Bodenlärmbelastung der Betroffenen substanziell unterschätzt wurde.

In einigen Bodenlärmgutachten wurde aufgrund von Forderungen der Betroffenen, Behörden oder Gerichten [15] eine energetische Addition von Boden- und Fluglärm vorgenommen, was angesichts der methodischen Unterschiede fragwürdig ist. Da diese Forderungen jedoch weiterhin bestehen bleiben werden, sollte eine zu entwickelnde Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe hierauf Rücksicht nehmen.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Bodenlärmgutachten ist die energetische Addition von Flug- und Bodenlärm beim Bodenlärmgutachten zur Planfeststellung des neuen Berliner Flughafens Berlin-Brandenburg International (BBI) weniger problematisch, weil hierbei die Bodenlärmberechnungen konsequent nach der Methodik der (alten) AzB vorgenommen wurde. Die einzelnen Bodengeräuschquellen wurden mit AzB-Mitteln ebenfalls als Punkt-, Linien- und Flächenquellen modelliert. Die Ausbreitungsberechnung erfolgte mit dem Modell der AzB.

Diese Vorgehensweise ist auch in der neuen AzB zur Berücksichtigung von APU- und Rollgeräusche angewandt worden. Prinzipiell können unter Berücksichtigung anderer Quelldaten auch Triebwerksprobeläufe methodisch wie die Geräusche von APU behandelt werden. Ein entsprechender, weit ausformulierter Änderungsvorschlag des Landes Niedersachsen liegt vor [9].

In der Schweiz werden Triebwerksprobeläufe als gewerbliche Lärmquelle angesehen. Offensichtlich existiert in der Schweizer Umweltgesetzgebung keine dem BImSchG, §2 Absatz 2 vergleichbare Regelung, die Flugplätze ausdrücklich aus dem Geltungsbereich der entsprechenden, mit dem deutschen BImSchG vergleichbaren Gesetzgebung herauslöst. Die Gründe für die Betrachtung der Triebwerksprobeläufe als Gewerbelärmquelle liegen auch primär in fachlichen Gesichtspunkten (Ausbreitung am Boden, Wirksamkeit von Hindernissen ...) [16]. Hinsichtlich der Beurteilung der Lärmimmissionen wird jedoch von der üblichen Praxis der Schweizer Lärmschutzverordnung abgewichen, indem zur Beurteilung möglicher Aufwachreaktionen auf einen 1-Stunden- $L_{eq}$  abgestellt wird.

### 6.2 Häufigkeit von Triebwerksprobeläufen

Die Häufigkeit durchgeführter Triebwerksprobeläufe hängt in erster Linie davon ab, ob auf dem jeweiligen Flugplatz ein Wartungs- und Instandsetzungsbetrieb ansässig ist oder nicht. So sind z. B. im Jahre 2008 nach einer detaillierten Analyse auf einem größeren Verkehrsflughafen ohne festansässige Wartungsbetriebe (ca. 160.000 Flugbewegungen) 12 planmäßige und 444 außerplanmäßige Triebwerksprobeläufe durchgeführt worden. Von den außerplanmäßigen Probeläufen waren 374 idle-Läufe mit einer durchschnittlichen Dauer von 4,9 min und 70 Probeläufe mit Laststufen größer idle mit einer durchschnittlichen Dauer von 16,3 min. Hinsichtlich der Gesamtzahl der Probeläufe sind diese Werte im Vergleich zu den veröffentlichten Zahlen für Flughäfen mit Wartungsbasis (siehe weiter unten) relativ hoch. Da nach dieser Analyse 93% der außerplanmäßigen Triebwerksprobeläufe auf den Vorfeldern (d. h. auf den normalen Abstellpositionen) im Leerlaufbetrieb mit nur einer Dauer von bis zu 5 min erfolgen, besteht die Vermutung, dass auf vielen Flughäfen kurzzeitige, nur wenige Minuten dauernde Probeläufe im Leerlauf gar nicht erst erfasst bzw. nicht als so genannter „Triebwerksprobelauf“ registriert werden. Hier ergibt sich die Frage, ob bei allen Beteiligten unter dem Begriff „Triebwerksprobelauf“ das gleiche verstanden wird.

Informationen über die Anzahl von Triebwerksprobeläufen auf dem Flughafen Frankfurt/Main, auf dem der größte Wartungsbetrieb der Deutschen Lufthansa AG stationiert ist, sind durch die Lufthansa für 1995 bis 2002 veröffentlicht worden [17]. Hiernach finden pro Jahr in Frankfurt ca. 2100 bis 2300 Probeläufe statt. Im Jahr 2002 sind hiervon ca. 9% Volllast-Probeläufe, 32% Teillast-Probeläufe und 59% Leerlauf-Probeläufe gewesen.

Der Flughafen Hamburg, auf dem sich ebenfalls eine Wartungsbasis der Lufthansa befindet, veröffentlicht Zahlen [18] für Triebwerksprobeläufe der Jahre 1993 bis 2004 mit 260 bis 400 Probeläufen pro Jahr. Zwischen 1993 und 1997 zeigten die Zahlen eine steigende Tendenz, während seit 1998 ein etwa gleich bleibendes Niveau zwischen 300 und 350 Probeläufe vorliegt.

Für den Ausbau des zukünftigen Berliner Flughafen BBI wurde im Bodenlärmgutachten [19] unter Bezugnahme auf die Datenbasis des Frankfurter Flughafens und die jeweiligen Flugbewegungszahlen mit 2190 Probeläufen pro Jahr gerechnet.

Für mittelgroße Flughäfen liegen Angaben zu prognostizierten Triebwerksprobeläufen mit 302 pro Jahr für den Flughafen Hahn [20] und mit 36 pro Jahr für den Flughafen Leipzig [21] vor.

Angaben über Triebwerksprobeläufe für kleinere Flughäfen sind den Bodenlärmgutachten für die Flughäfen Hof-Plauen mit 110 pro Jahr und Braunschweig mit 156 pro Jahr [22, 23] zu entnehmen.

Auch militärische Flugplätze weisen je nach Luftfahrzeugmuster durchaus sehr unterschiedliche Zahlen für Triebwerksprobeläufe auf [24, 25, 26]. Bei Kampfflugzeugen der Bundeswehr liegt der Bereich der innerhalb eines Verbandes durchgeführten Triebwerksprobeläufe zwischen 42 und 372 Probeläufen pro Jahr [27].

Aus diesen Informationen ist zu entnehmen, dass die Anzahl von Triebwerksprobeläufen je nach den konkreten Bedingungen am jeweiligen Flugplatz sehr unterschiedlich sein kann. Eine Klassifizierung z. B. anhand der Anzahl der Flugbewegungen ist auf der Grundlage der vorliegenden Daten nicht möglich. Es ist also in jedem Einzelfall eine möglichst genaue Erfassung, bzw. für den Fall einer prognostischen Berechnung eine möglichst fundierte Prognose der Anzahl der Triebwerksprobeläufe erforderlich.

### **6.3 Betriebsbeschränkungen**

Aus den allgemein zugänglichen Informationen für deutsche Verkehrsflughäfen [z. B. 28] ist zu entnehmen, dass lediglich drei Verkehrsflughäfen keinen relevanten Be-

triebsbeschränkungen bezüglich Triebwerksprobeläufe unterliegen: Frankfurt am Main<sup>1</sup>, Karlsruhe/Baden-Baden, Berlin-Schönefeld. Hierbei wird die allgemeine Informationspflicht der Fluggesellschaft, den Flugplatzbetreiber über einen geplanten Probelauf zu informieren, nicht als relevante Betriebsbeschränkung angesehen.

Auf einigen Flugplätzen sind besondere Positionen für Triebwerksprobeläufe vorgeschrieben, welche u. a. auch aus Gründen der Minimierung der Lärmbelastung der Nachbarschaft ausgewählt wurden. An den meisten Flugplätzen besteht ein allgemeines Verbot für Triebwerksprobeläufe während der Nachtstunden sowie während Sonn- und Feiertagen. Idle-Probelaufe sind hiervon, sowie auch von sonstigen Beschränkungen (z. B. hinsichtlich bestimmter Positionen), in vielen Fällen ausgenommen.

Auf Flugplätzen, welche über eine Einrichtung zum Lärmschutz bei Triebwerksprobeläufen verfügen (siehe auch Abschnitt 6.9), ist in der Regel die Benutzung dieser Einrichtung auch zwingend vorgeschrieben, unabhängig von der akustischen Wirksamkeit dieser Einrichtung.

Für den Flughafen Saarbrücken ist die Benutzung der bestehenden „noise abatement Facility“ ebenfalls grundsätzlich vorgeschrieben, wobei in den Nachtstunden unter Lärmgesichtspunkten eine zusätzliche Regelung zur Begrenzung der Laststufen auf „usually 70% performance“ der Triebwerke besteht.

Nahezu alle Regelungen zu den o. g. Betriebsbeschränkungen enthalten Befreiungen für Notfälle u. ä. dringende Ausnahmesituationen.

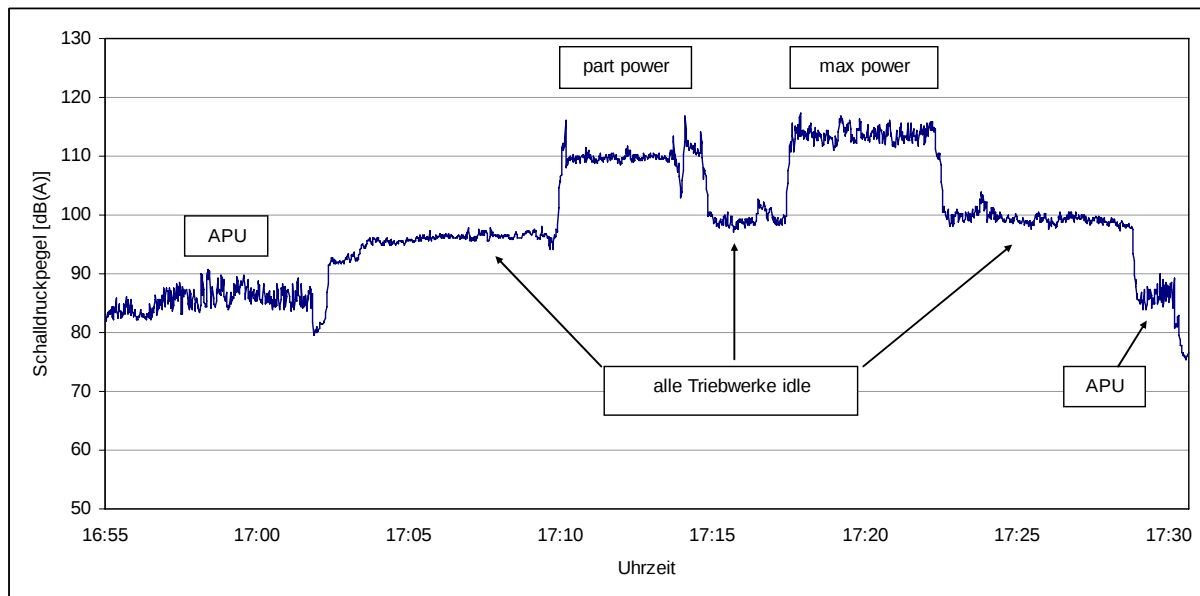
### **6.4 Dauer von Triebwerksprobeläufen; Last-Zeit-Profil**

Bei einem Triebwerksprobelauf werden im einfachsten Fall ein oder mehrere Triebwerke eingeschaltet, eine gewisse Zeit im Leerlauf und gegebenenfalls in einem oder mehreren höheren Laststufen betrieben und dann wieder ausgeschaltet. Die zeitliche Abfolge einer oder mehrerer unterschiedlicher Laststufen mit ihrer jeweiligen Dauer wird nachfolgend als Last-Zeit-Profil bezeichnet.

---

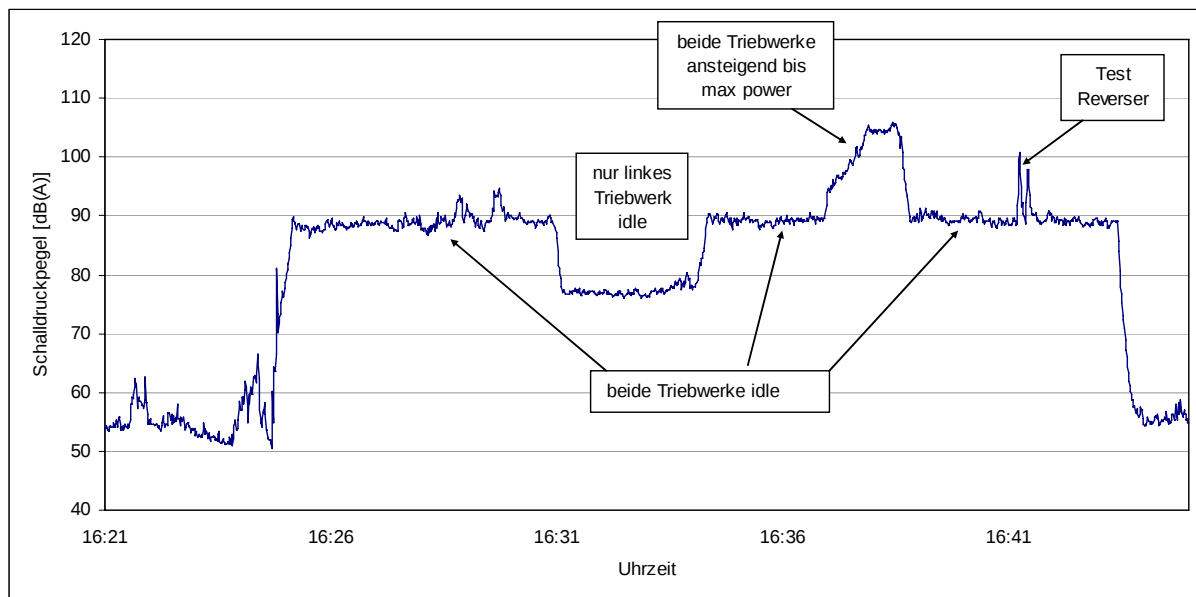
<sup>1</sup> Im derzeit aktuellen Genehmigungsverfahren für den Flughafen Frankfurt am Main sind jedoch entsprechende Beschränkungen vorgesehen.

In Bild 1 ist der Zeitverlauf des Schalldruckpegels bei einem relativ einfachen, hinsichtlich des Last-Zeit-Profiles typischen Triebwerksprobelaufes dargestellt. Deutlich sind die unterschiedlichen Testphasen mit Leerlauf (idle), Teillast (part power) und Maximallast (max power) erkennbar. Die gesamte Probelaufdauer betrug ca. 25 min. Vor und nach dem Probelauf wird die Energieversorgung durch die APU sichergestellt.



**Bild 1: Pegel-Zeitverlauf bei einem Probelauf eines Strahlflugzeuges  
in ca. 100 m Entfernung**

Häufiger wird jedoch eine Abfolge unterschiedlicher Einzeltests durchgeführt, die mehrere unterschiedliche Triebwerkseinstellungen bedingen. Im Bild 2 ist als Beispiel für einen etwas komplexeren Probelauf der Zeitverlauf des Schalldruckpegels während eines routinemäßigen Triebwerksprobelaufes eines Geschäftsreiseflugzeuges vom Typ Lear Jet 35 dargestellt. Hierbei wurden die idle-Zustände nicht nur als Zwischenstufe vor oder nach der Maximallast angefahren, sondern es wurde auch ein einzelnes Triebwerk im Leerlauf getestet. Außerdem erfolgte eine langsame kontinuierliche Anhebung der Drehzahl der Triebwerke bis zur Maximallast und der Test der Einrichtung für den Umkehrschub (Reverser).



**Bild 2: Pegel-Zeitverlauf bei unterschiedlichen Lastzuständen  
in ca. 50 m Entfernung**

Die beiden oben dargestellten Last-Zeit-Profile stellen nur Beispiele einer großen Vielfalt möglicher Testabläufe dar. Aufgrund der sehr vielfältigen Aufgabenstellungen bei der Durchführung von Triebwerksprobeläufen sowie aufgrund der Typenvielfalt von Luftfahrzeugmustern und Triebwerken ist es naturgemäß recht schwierig, typische und möglichst allgemeingültige Angaben zur Zeitdauer der Probeläufe bzw. zur Zeitdauer einzelner Laststufen zu ermitteln. Mangels systematischer Untersuchungen wurde bei den Bodenschallgutachten in der Vergangenheit vielfach deutlich auf der sicheren Seite gerechnet. Hierbei wurde die Dauer der Probeläufe anhand der Erfahrungen der Flugplatzbetreiber am oberen Ende der vorhandenen Streubreite orientiert und unter Annahme von 50% der Zeitdauer mit Maximallast (je nach konkreten Bedingungen auf den Flugplätzen in einigen Gutachten auch höhere Prozentwerte), die restliche Zeit mit Leerlauf gerechnet. Durch die auf den größeren Verkehrsflughäfen vorliegenden Erfahrungen konnten diese Zeitangaben präzisiert sowie auch weitere Lastzustände unter Berücksichtigung des gegebenenfalls unterschiedlichen Betriebes des zu testenden Triebwerkes und des Balance-Triebwerkes abgegrenzt werden, ohne hierbei in die Gefahr einer Unterschätzung der Lärmimmission der betroffenen Nachbarschaft zu kommen.

Der bisher differenzierteste, für die Praxis aber immer noch gut handhabbare Berechnungsansatz wurde auf der Grundlage von Analysen des Lufthansa-Wartungsbetriebes in Frankfurt/Main für die Planfeststellung der neuen Nordwestbahn und der A380-Werft des Flughafens Frankfurt/Main [13, 29] verwendet. Hiernach werden insgesamt die vier Laststufen Leerlauf, Teillast niedrig, Teillast hoch und Volllast (idle, part power low, part power high, max power bzw. take off power) unterschieden. Triebwerksprobeläufe, bei welchen nur im Leerlauf getestet wird, werden als idle-Läufe bezeichnet. Entsprechend werden Triebwerksprobeläufe, welche eine der beiden Teillast-Stufen testen, als Teillastlauf bezeichnet. Üblicherweise wird bei den Teillastläufen vor dem Teillastbetrieb ein idle-Lauf zum Warmlaufen und danach zum Abkühlen einbezogen. Bei den so genannten Volllastläufen wird das gesamte Programm unterschiedlicher Laststufen, ein- oder mehrmalig auftretend, einschließlich des Betriebes der Triebwerke mit Maximalleistung abgearbeitet. Bei Teillast- und Volllastläufen wird das bei den Stufen höher als idle mitlaufende Balance-Triebwerk in der jeweils niedrigeren Laststufe mit dem gleichen Zeitanteil berücksichtigt.

In der Tabelle 1 sind die Informationen über Last-Zeit-Profile von Triebwerksprobeläufen auf zivilen Flugplätzen zusammengefasst. In dieser Tabelle ist auch das Last-Zeit-Profil des bereits erwähnten Änderungsvorschlages des Landes Niedersachsen für die 847. Sitzung des Bundesrates am 19.09.2008 zur Ergänzung der AzB enthalten.

Es ist zu erkennen, dass sich hinsichtlich der Flugzeuge mit Strahltriebwerk die Unterschiede relativ geringfügig darstellen. Eine Differenzierung nach unterschiedlichen Probelauf-Arten wurde bisher relativ selten vorgenommen. In Anbetracht des relativ häufigen Auftretens von reinen idle-Läufen ist aber hierbei dem höheren Aufwand bei Datenbeschaffung und Berechnung der Vorteil einer genaueren Abbildung der Realität gegenüberzustellen.

Für die Triebwerksprobeläufe von Turbopropflugzeugen ist kein so einheitliches Bild festzustellen. Hier existiert zwischen so genannten kleinen und großen Läufen eine große Spannweite unterschiedlicher Last-Zeit-Profile. Ein kleiner Lauf ist meist nur der Funktionstest einer bestimmten Baugruppe, während ein großer Lauf ein sehr umfangreiches Testprogramm, zumeist nach dem Einbau eines neuen Triebwerkes oder nach einer Grundinstandsetzung, beinhaltet. Der Grund für diese Vielfalt der Last-Zeit-Profile liegt nach Aussage einer Wartungsfirma für den Bereich der General Aviation [30] darin, dass hier die Typenvielfalt größer ist und nicht nur wenige Luft-

fahrzeugtypen anzahlmäßig so dominieren wie z. B. die Boeing 737 oder der Airbus A 320. Eine Klassifizierung von Triebwerksprobeläufen hinsichtlich bestimmter Testabläufe oder hinsichtlich bestimmter Triebwerks- oder Luftfahrzeugtypen ist anhand der derzeit vorliegenden Informationen nicht möglich. Falls also Triebwerksprobeläufe von Turbopropflugzeugen auf zivilen Flugplätzen zu beurteilen sind, so kommt einer möglichst genauen und möglichst detaillierten Analyse der Probeläufe auf dem betreffenden Flugplatz eine große Rolle zu. Sofern hierauf nicht zurückgegriffen werden kann, muss konservativ mit den höchsten Werten der Tabelle 1 gerechnet werden.

|                                                  | Zeitdauer verschiedener Laststufen bei Probeläufen in min |               |                         |                       |              |                         |                       |               |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
| Art des Probelaufes                              | Idle-Lauf                                                 | Teillast-Lauf |                         |                       | Vollast-Lauf |                         |                       |               |
| Laststufen                                       | idle                                                      | idle          | Teil-<br>last<br>gering | Teil-<br>last<br>hoch | idle         | Teil-<br>last<br>gering | Teil-<br>last<br>hoch | Voll-<br>last |
| <b>Strahltriebwerke</b>                          |                                                           |               |                         |                       |              |                         |                       |               |
| PFV Frankfurt am Main<br>Nordwestbahn* [13]      | 30                                                        | 45            | 15                      | 10                    | 47           | 7                       | 6                     | 4             |
| PFV Frankfurt am Main<br>A380-Werft* [29]        | 25                                                        | 12            | 15                      | 10                    | 46           | 7                       | 6                     | 4             |
| PFV BBI [19]                                     |                                                           |               |                         |                       | 44           | 15                      |                       | 1             |
| PFV Hahn [20]                                    | 25                                                        | 12            | 25                      |                       | 46           | 7                       |                       | 4             |
| BLG Leipzig-Halle [21]                           |                                                           |               |                         |                       | 58           |                         |                       | 2             |
| BLG Berlin-Tegel [31]                            |                                                           |               |                         |                       | 44           | 15                      |                       | 1             |
| Niedersächsischer Vorschlag<br>Ergänzung AzB [9] |                                                           |               |                         |                       | 38           | 10                      | 10                    | 2             |
| <b>Turboprop</b>                                 |                                                           |               |                         |                       |              |                         |                       |               |
| BLG Wunstorf [26]                                |                                                           |               |                         |                       | 40           |                         |                       | 20            |
| BLG Hof-Plauen [22]                              |                                                           |               |                         |                       | 14           |                         |                       | 1             |
| BAYR, UBA [32]                                   |                                                           |               |                         |                       | 4            | 10                      |                       | 6             |
| Aerodata („großer Lauf“) [30]                    | 20                                                        |               |                         |                       | 30           | 60                      |                       | 30            |
| Aerodata („kleiner Lauf“) [30]                   | 10                                                        |               |                         |                       | 10           | 20                      |                       | 10            |

**Tabelle 1: Last-Zeit-Profile verschiedener Untersuchungen an Zivilflughäfen**

\* Dauer des Einsatzes der Balance-Triebwerke mit einberechnet  
 BLG: Bodenschallgutachten  
 PFV: Planfeststellungsverfahren

Auch Triebwerksprobeläufe im militärischen Bereich sind aufgrund anderer Randbedingungen nicht ohne weiteres mit den Standardwerten der Last-Zeit-Profile des zivilen Bereiches vergleichbar. Tabelle 2 zeigt die über 2 Jahre ermittelte Triebwerksprobelauf-Statistik eines großen Militärflugplatzes, wobei unterschieden wurde zwischen reinen idle-Probeläufen und Probeläufen mit Laststufen höher als idle. Außerdem wurde registriert, ob ein, zwei oder vier Triebwerke in den Probelauf einbezogen wurden. Angegeben ist jeweils die Durchschnittsdauer sowie in Klammern darunter die maximal aufgetretene Testdauer.

Aus den Angaben der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass im Gegensatz zum zivilen Bereich bei viermotorigen Flugzeugen Probeläufe mit vier Triebwerken, auch mit Laststufen höher als idle, nicht unüblich sind. Weiterhin ist ersichtlich, dass trotz ähnlicher Durchschnittswerte die Höchstdauer bei den moderneren Flugzeugen deutlich kürzer ist als bei der älteren C-5. Diese Aussage unterstützt die Aussagen von Triebwerksherstellern und Flugplatzbetreibern, dass aufgrund der Fortschritte der Maschinendiagnostik moderne Luftfahrzeug- bzw. Triebwerkstypen weniger Probeläufe mit kürzeren Probelaufzeiten benötigen.

| Anzahl Triebwerke                    | 1             | 2             | 4             | 2             | 4             |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Laststufe                            | idle          | idle          | idle          | above idle    | above idle    |
| <b>Strahlflugzeuge</b>               |               |               |               |               |               |
| C-20 (Gulfstream IV)<br>n= 10 ... 46 | 26,5<br>(60)  | 25,6<br>(90)  |               | 23,2<br>(60)  |               |
| C-21 (Lear Jet 35)<br>n= 38 ... 165  | 13,7<br>(60)  | 19,0<br>(150) |               | 24,0<br>(90)  |               |
| C-17 „Globemaster“<br>n= 35 ... 81   | 15,3<br>(70)  | 20,7<br>(120) | 21,3<br>(56)  | 14,0<br>(45)  | 23,5<br>(85)  |
| C-5 „Galaxy“<br>n= 40 ... 109        | 18,9<br>(180) | 16,9<br>(195) | 24,3<br>(230) | 16,1<br>(150) | 19,1<br>(75)  |
| <b>Turbopropflugzeuge</b>            |               |               |               |               |               |
| C-130 „Hercules“<br>n= 94 ... 451    | 16,9<br>(60)  | 19,5<br>(180) | 22,0<br>(200) | 17,2<br>(77)  | 24,5<br>(150) |

**Tabelle 2: Durchschnittliche und maximale Dauer (in Klammern) von Probeläufen verschiedener militärischer Luftfahrzeuge (Angaben in min; n: Anzahl der jeweiligen Probeläufe)**

Für den militärischen Bereich ist also ebenso die Schlussfolgerung zu ziehen, dass der Analyse der Last-Zeit-Profile eine große Bedeutung zukommt. Ohne solcherart Analysen muss bei der (Prognose-) Berechnung für Triebwerksprobeläufe konservativ mit den Höchstwerten der Tabelle 2 gerechnet werden.

### 6.5 Geräuschemissionen bei Triebwerksprobeläufen

Prinzipiell können die Emissionsdaten für einzelne Luftfahrzeuggruppen aus den AzB-Datensätzen abgeleitet werden. Eine Umrechnung anhand der Bezugsentfernung  $s_{0n}$  ist zwar möglich, aber nicht trivial, da in diese Daten bestimmte Randbedingungen des Ausbreitungsweges mit eingeflossen sind [33]. Angaben zu den Emissionsdaten bei Triebwerksprobeläufen stehen jedoch auch als Messergebnisse aus Veröffentlichungen der Airbus AG sowie aus Bodenlärmgutachten für verschiedene Flugplätze als Schallleistungspegel zur Verfügung [13, 20, 21, 34]. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über verfügbare Emissionsdaten.

Die in der Tabelle 3 dargestellten, in den jeweiligen Planfeststellungsverfahren verwendeten Schallleistungspegel wurden messtechnisch, entweder vom Wartungsbetrieb oder aber vom beauftragten Gutachterbüro ermittelt. Die Daten der B 747 für das Planfeststellungsverfahren des Frankfurter Flughafens wurden aus den Messwerten für max power anhand der messtechnisch ermittelten Differenzen zwischen den Laststufen des Airbus A 321 interpoliert. Die Schallleistungspegel der Airbusfamilie wurden aus den von Airbus veröffentlichten richtungsabhängigen Messwerten in 60 m Entfernung berechnet (hierzu siehe Abschnitt 6.6). Die Schallleistungspegel der Kampfflugzeuge und militärischen Transportflugzeuge wurden ebenfalls aus richtungsabhängigen Messwerten (je nach Luftfahrzeugmuster unterschiedliche Entfernungen) aus der Datenbank der US Luftwaffe berechnet.

In den letzten vier Spalten der Tabelle 3 sind zum Vergleich mit den Messdaten die aus den Emissionsansätzen der AzB ermittelten Schallleistungspegel, korrigiert um die in [9] für Triebwerksprobeläufe aufgeführten Zusatzpegel  $Z_{TW,m}$  aufgeführt. Es ist erkennbar, dass in einigen Fällen sehr gute Übereinstimmung zwischen Messdaten und rechnerisch ermittelten Schallleistungspegeln vorliegt, in anderen Fällen jedoch auch größere Abweichungen bestehen. Hieraus ergibt sich Handlungsbedarf zur Schaffung einer verlässlichen, ausreichend großen Emissionsdatenbasis für Triebwerksprobeläufe.

Die im Bodenschallgutachten zur Planfeststellung des neuen Berliner Flughafens BBI verwendeten Emissionsdaten für die beispielhaft untersuchten Luftfahrzeugmuster MD8X und B 747-400 beruhen im Unterschied zu den Daten der Tabelle 3 auf einer Ableitung aus den AzB-Daten. Für den Maximallastzustand wurden die für den Start geltenden Datensätze der AzB herangezogen, für den Teillastzustand (cut back power 85%) wurde vom Startdatensatz der AzB für die MD8X 2 dB, für die B 747 4,5 dB zum Abzug gebracht und für den Leerlauf wurden die AzB-Datensätze für den Landeanflug, vermindert um 2 dB, genutzt.

Mit dieser Vorgehensweise ergaben sich folgende Schallleistungspegel  $L_{WA}$ :

|            | MD8X        | B747-400    |
|------------|-------------|-------------|
| idle       | 136,0 dB(A) | 142,0 dB(A) |
| part power | 152,5 dB(A) | 153,9 dB(A) |
| max power  | 154,5 dB(A) | 158,4 dB(A) |

Es ist zu erkennen, dass diese Daten merklich über den Messwerten der vergleichbaren Flugzeug- bzw. Triebwerkstypen liegen.

| Literatur-<br>-quelle    | Flugzeugtyp      | Triebwerkstyp | AzB-<br>Luftfahr-<br>zeug-<br>gruppe | Schallleistungspegel $L_{WA}$ in dB(A) |                      |                       |                |                                                                              |                      |                       |              |
|--------------------------|------------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
|                          |                  |               |                                      | Messwerte                              |                      |                       |                | berechnet aus AzB-Datensätzen und<br>Korrektur Triebwerksprobeläufe nach [9] |                      |                       |              |
|                          |                  |               |                                      | idle                                   | part<br>power<br>low | part<br>power<br>high | max<br>power   | idle                                                                         | part<br>power<br>low | part<br>power<br>high | max<br>power |
| PFV Frankfurt*           | A 321            | V2500-A5      | S 5.2                                | 130,8                                  | 140,0                | 148,3                 | 152,6          | 132,3                                                                        | 139,3                | 145,8                 | 148,8        |
|                          | B 747            | CF6-80C       | S 7                                  | 136,2                                  | 144,6                | 152,5                 | 156,9          | 137,8                                                                        | 144,8                | 153,8                 | 158,3        |
| PFV Hahn*                | B 747            | CF6-80C       |                                      | 132,0                                  | 144,0                |                       | 157,0          |                                                                              |                      |                       |              |
| PFV Hamburg*             | B 747            | CF6-80        |                                      | 141,0                                  | 147,0                |                       | 160,0          |                                                                              |                      |                       |              |
| PFV Leipzig*             | A 300-600        | CF6-80C       | S 6.1                                | 136,7                                  |                      | 149,0                 | 152,6          | 134,8                                                                        |                      | 147,8                 | 150,3        |
| Datenbank<br>US Airforce | C-5<br>KC-135A   |               | S-MIL 1                              | 135,5<br>140,6                         |                      | 158,6                 | 167,0<br>167,7 | 150,8                                                                        | 157,8                | 166,4                 | 167,9        |
|                          | C-141            |               | S 4                                  | 138,3                                  |                      | 155,7                 | 156,4          | 150,8                                                                        | 157,8                | 166,4                 | 167,9        |
|                          | C-17             |               | S 6.2                                | 141,1                                  |                      |                       | 158,5          | 137,7                                                                        |                      |                       | 154,8        |
|                          | C-20             |               | S 1.0                                | 131,7                                  |                      |                       | 159,4          | 132,3                                                                        |                      |                       | 147,8        |
|                          | C-21             |               | S 5.1                                | 121,9                                  |                      |                       | 143,6          | 129,3                                                                        |                      |                       | 140,8        |
|                          | C-130E<br>C-130J |               | P-MIL 2                              | 145,3<br>137,9                         | 143,3                | 151,2                 | 154,0<br>152,8 | 133,4                                                                        | 140,1                | 147,4                 | 149,4        |
|                          | F-16             |               | S-MIL 4                              | 132,5                                  |                      |                       | 168,3          | 143,8                                                                        |                      |                       | 166,9        |
|                          | A-10             |               | S-MIL 5                              | 122,4                                  |                      |                       | 146,8          | 130,4                                                                        |                      |                       | 146,4        |

**Tabelle 3: Geräuschemission bei Triebwerksprobeläufen**

PFV: Planfeststellungsverfahren

\* aus Angaben für 1 Triebwerk auf 2 bzw. 4 Triebwerke hochgerechnet

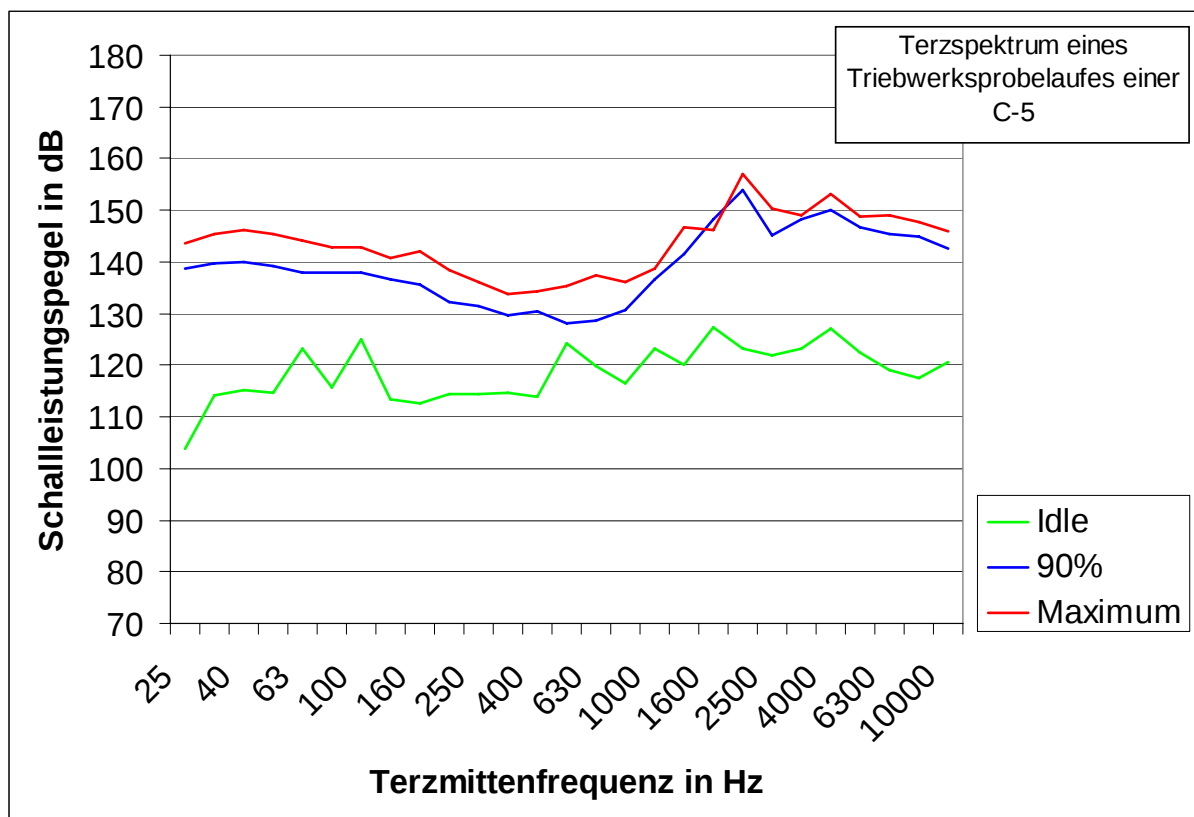
| Literatur-<br>-quelle                                                    | Flugzeugtyp   | Triebwerkstyp | AzB-<br>Luftfahr-<br>zeug-<br>gruppe | Schallleistungspegel $L_{WA}$ in dB(A) |                      |                       |              |                                                                              |                      |                       |              |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
|                                                                          |               |               |                                      | Messwerte                              |                      |                       |              | berechnet aus AzB-Datensätzen und<br>Korrektur Triebwerksprobeläufe nach [9] |                      |                       |              |
|                                                                          |               |               |                                      | idle                                   | part<br>power<br>low | part<br>power<br>high | max<br>power | idle                                                                         | part<br>power<br>low | part<br>power<br>high | max<br>power |
| Airbus<br><br>(aus Angaben<br>zur Richtcha-<br>rakteristik<br>errechnet) | A 340-500/600 | RR Trent 500  | S 6.3                                | 137,9                                  |                      |                       | 155,7        | 133,3                                                                        |                      |                       | 150,8        |
|                                                                          | A 340-200/300 | CFM56-5C      |                                      | 131,0                                  |                      |                       | 152,9        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 330         | RR Trent 700  | S 6.1                                | 134,1                                  |                      |                       | 155,8        | 134,8                                                                        |                      |                       | 150,3        |
|                                                                          | A 330         | PW 4000       |                                      | 135,0                                  |                      |                       | 155,3        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 330         | GE CF6-80E1   |                                      | 138,9                                  |                      |                       | 155,5        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 321         | V2500         | S 5.2                                | 137,9                                  |                      |                       | 155,7        | 132,3                                                                        |                      |                       | 148,8        |
|                                                                          | A 321         | CFM56-5B      |                                      | 131,2                                  |                      |                       | 154,1        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 320         | V2500         |                                      | 129,9                                  |                      |                       | 154,5        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 320         | CFM56-5B      |                                      | 131,1                                  |                      |                       | 153,0        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 320         | CFM56-5A      |                                      | 131,1                                  |                      |                       | 152,9        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 319         | V2500         |                                      | 128,9                                  |                      |                       | 154,5        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 319         | CFM56-5B      |                                      | 130,8                                  |                      |                       | 152,2        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 319         | CFM56-5A      |                                      | 130,9                                  |                      |                       | 150,7        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 318         | PW 6000       |                                      | 130,3                                  |                      |                       | 153,8        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 318         | CFM56-5B      |                                      | 130,7                                  |                      |                       | 152,1        |                                                                              |                      |                       |              |
|                                                                          | A 318         | CFM56-5A      |                                      | 130,9                                  |                      |                       | 150,3        |                                                                              |                      |                       |              |

**Tabelle 3 (Fortsetzung): Geräuschemission bei Triebwerksprobeläufen**

PFV: Planfeststellungsverfahren

Bis auf wenige Ausnahmen basieren alle der in Tabelle 3 aufgeführten Daten auf Spektralwerten in Oktav- oder Terzbandbreite. Ein Beispiel für die spektral abgestrahlte Schalleistung (Terzspektrum) ist für den militärischen Transporter C-5 „Galaxy“ in Bild 3 dargestellt. Deutlich sind die in den höheren Laststufen verstärkt abgestrahlten tieffrequenten Komponenten, die durch den Freistrahler hervorgerufen werden, sowie der Anstieg der durch die höheren Drehzahlen des Fan verursachten hochfrequenten Frequenzanteile zu erkennen.

Während eines Probelaufes werden die einzelnen Laststufen typischerweise über eine bestimmte Zeitdauer im Minutenbereich konstant gehalten. Während dieser Zeit wird ein relativ konstantes Geräusch abgestrahlt, welches durch einen entsprechend energieäquivalent gemittelten Schallleistungspegel ausreichend charakterisiert wird. Werden als Beurteilungsgröße energieäquivalente Mittelungspegel berechnet, so sind die Streuungen der Emissionen der Triebwerke vernachlässigbar, da zu erwarten ist, dass sie sich auf statistischer Basis herausmitteln.



**Bild 3: Frequenzabhängige Geräuschemission bei einem Triebwerkprobelauf einer C-5 „Galaxy“**

Sollen als Beurteilungsgröße jedoch auf Maximalpegeln beruhende Werte (z. B. NAT-Kriterien) berechnet werden, so ist eine obere Grenze der Streuungen abzuschätzen. In der AzB erfolgt dies durch die einfache Standardabweichung der Streuungen innerhalb einer Luftfahrzeuggruppe  $Q_\sigma$ , d. h. also unter Einbeziehung unterschiedlicher Luftfahrzeugmuster mit unterschiedlichen Triebwerkstypen. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass diese Streuungen für Triebwerksprobeläufe genau so groß sind wie beim Betrieb der Triebwerke im Flug. Eine Überprüfung dieser Annahme ist anhand des vorliegenden Datenmaterials nur für die Luftfahrzeuggruppe S 5.2 möglich, da nur hierfür eine ausreichende Menge von Emissionsangaben aus den Airbus-Veröffentlichungen zur Verfügung stehen. Bei jeweils 11 Schallleistungspegeln ergibt sich eine Standardabweichung von 2,3 dB für ground idle sowie von 1,7 dB für maximum thrust on brakes. Der entsprechende AzB-Wert für diese Luftfahrzeuggruppe ist sowohl für Start als auch für Landung  $Q_\sigma = 3$  dB. Hieraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die AzB-Werte der Triebwerksstreuungen auch auf entsprechende Berechnungen für Triebwerksprobeläufe übertragen werden können.

### 6.6 Richtcharakteristik der Schallabstrahlung

Die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung fliegender Luftfahrzeuge ist in der Vergangenheit intensiv untersucht worden [z. B. 35, 12]. Die hierbei erzielten Ergebnisse können bei Beachtung der jeweiligen Randbedingungen (vor allem der jeweiligen Lasteinstellungen) durchaus auf die am Boden erzeugte Schallabstrahlung übertragen werden.

Für die Fluglärmrechnungen gemäß AzB werden die Informationen zur Richtcharakteristik idealisiert in Form dreier Koeffizienten einer Reihenentwicklung des Kosinus sowie pauschalisiert für alle, zu bestimmten Luftfahrzeuggruppen zusammengefasste Luftfahrzeugtypen, getrennt für Start und Landeanflug angegeben. Hierbei wird auf den Wert für die Richtung mit maximaler Schallabstrahlung normiert.

Durch diese Vorgehensweise werden zwar bestehende Differenzen zwischen unterschiedlichen Luftfahrzeugtypen vernachlässigt, jedoch wird die Berücksichtigung der Schallausbreitung in einer schlüssigen mathematischen Form einfach möglich. Die Idealisierung des Kurvenverlaufes hat zudem den Vorteil, dass die bei vielen Ergebnisdarstellungen in grafischer Form durch lineare Interpolation der Messwerte weni-

ger Messpunkte verursachten Verzerrungen der Richtcharakteristik ausgeglichen werden.

Auch zur Richtcharakteristik konkret bei Triebwerksprobeläufen bei unterschiedlichen Laststufen liegen Informationen vor. Diese Informationen wurden teilweise als Datengrundlage für einige Bodenlärmgutachten unterschiedlicher Flugplätze messtechnisch ermittelt [13, 21, 25]. Da die Berechnungen der Geräuschemissionen von Triebwerksprobeläufen in der Vergangenheit größtenteils anhand des lautesten, auf dem jeweiligen Flugplatz verkehrenden Luftfahrzeugtyps, in einigen Fällen ergänzt um einen zweiten, häufig verkehrenden Luftfahrzeugtyp, berechnet wurden, liegen diese Informationen nur für relativ wenige (Strahl-) Flugzeugtypen vor. Der Airbus-Konzern hat jedoch für alle aktuellen Flugzeug- und Triebwerkstypen Richtcharakteristika für die am Boden bei Leerlauf (ground idle) bzw. bei maximaler abbrembarer Last (maximum thrust possible on brakes) verursachten Geräuschemissionen veröffentlicht. Mit Ausnahme der Boeing-Familie sind somit für einen großen Teil der auf Verkehrsflughäfen verkehrenden Flugzeugtypen ausreichende Informationen zur Richtcharakteristik der am Boden erzeugten Geräusche verfügbar.

In den folgenden Bildern 4 und 5 sind die Richtcharakteristiken der Bodengeräusche der Airbus-Familie, jeweils getrennt nach ground idle und Maximallast (max thrust on brakes), im Vergleich zu den Richtcharakteristiken der AzB für Landung bzw. Start dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Richtwirkung der Luftfahrzeuge im Stand auf dem Boden, (d. h. bei ground idle und bei max thrust on brakes), durchaus unterschiedlich zu derjenigen beim Flug in der Luft, (d. h. bei flight idle bzw. bei Startschub), sein können [35]. Der Vergleich der AzB-Daten mit den am Boden gemessenen Daten gibt also keine Hinweise auf die Richtigkeit der einen oder anderen Richtcharakteristik, sondern nur darauf, ob die in der AzB enthaltenen Richtcharakteristiken für die Ausbreitungsberechnung bei Triebwerksprobeläufen angewendet werden können oder nicht. Die bestehenden Unsicherheiten bei der Anwendung der AzB-Richtcharakteristiken auf Triebwerksprobeläufe werden in der Methodik des Änderungsvorschlages des Landes Niedersachsen [9] durch Verwendung des auf die Richtung mit maximaler Schallabstrahlung normierten Richtwirkungsmaßes zur sicheren Seite hin berücksichtigt.

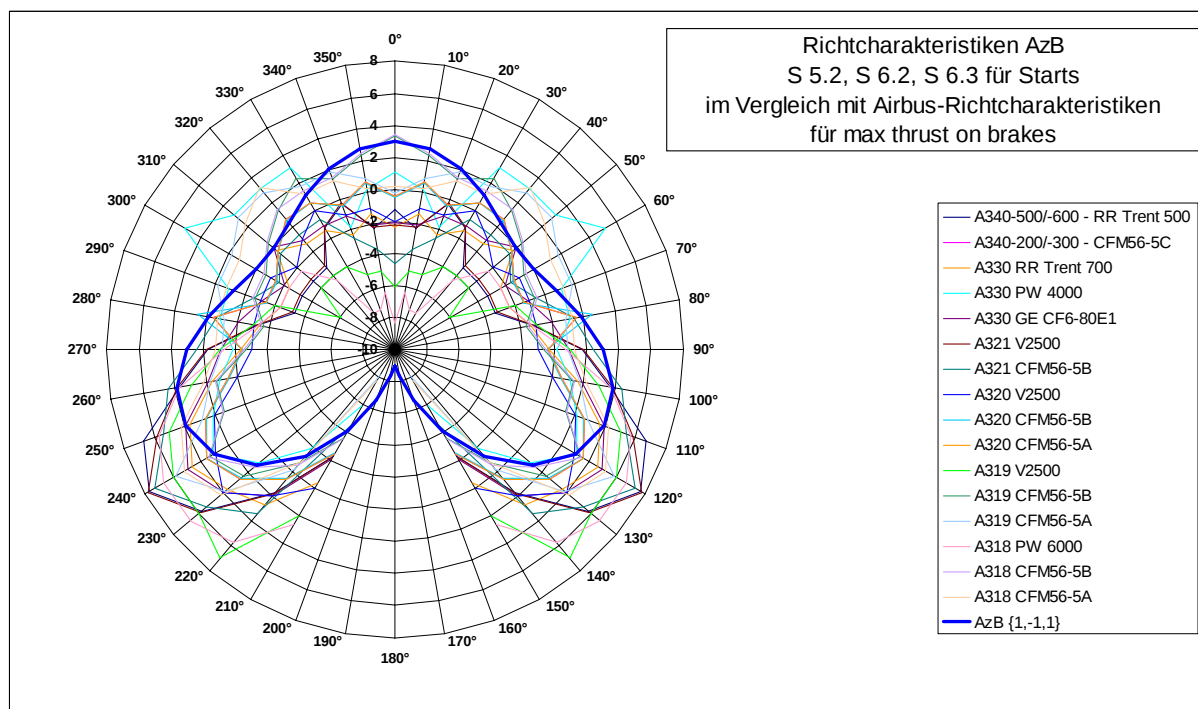
Die grafische Darstellung der Richtcharakteristik in den folgenden Bildern wird nicht wie in den Originaldaten von Airbus als Schalldruckpegel in einer Bezugsentfernung, sondern in der in der Akustik allgemein üblichen Form des Richtwirkungsmaßes

$$DI = L_i - \bar{L}$$

(mit **DI** : Richtwirkungsmaß,  $L_i$  : Pegel in der betrachteten Richtung,  $\bar{L}$  : energetisches Mittel der Pegel in allen Richtungen)

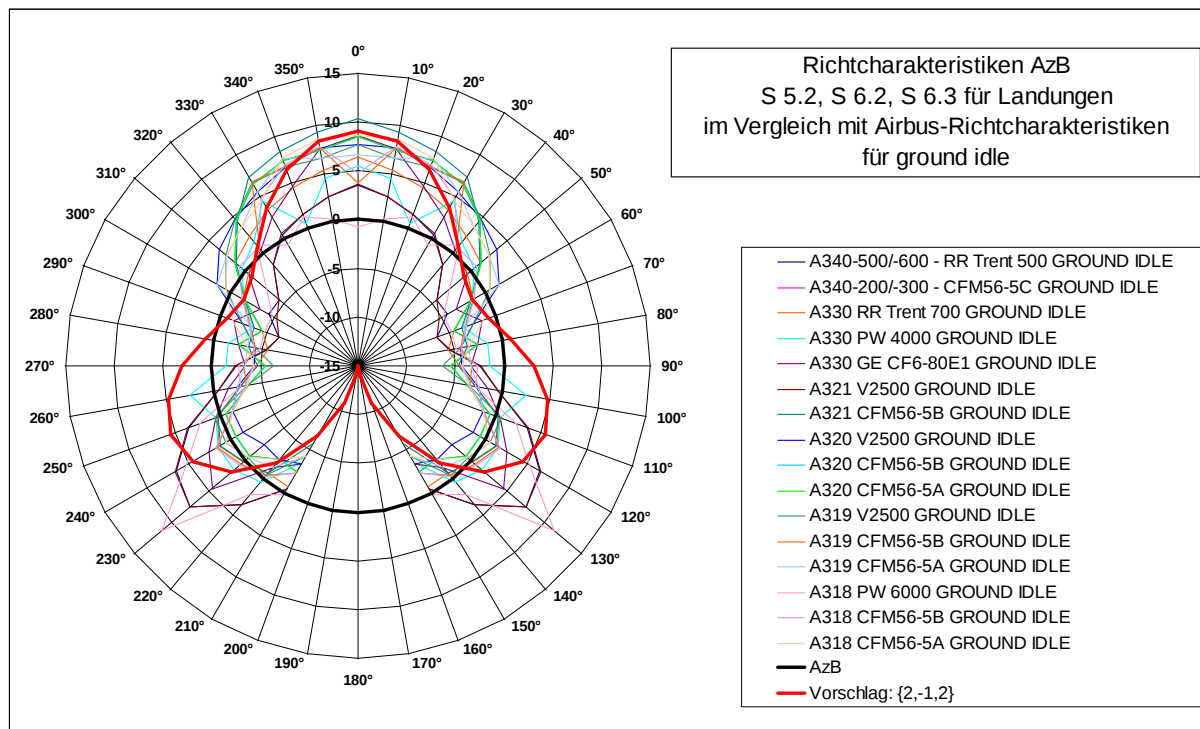
vorgenommen (siehe z. B. auch [36, 37]). Dieses Richtwirkungsmaß entspricht prinzipiell der Größe  $D_{I,n}^*(\Theta)$ , nicht aber dem auf die Richtung mit maximaler Schallabstrahlung normierten Richtwirkungsmaß  $D_{I,n}(\Theta)$  der AzB.

Weiterhin ist anzumerken, dass infolge der starken Luftturbulenzen im Abgasstrahl der Strahltriebwerke bzw. des Luftstroms von Propellertriebwerken bei Winkeln im Bereich um 180° herum entweder gar keine oder nur unzuverlässige Messwerte vorliegen.



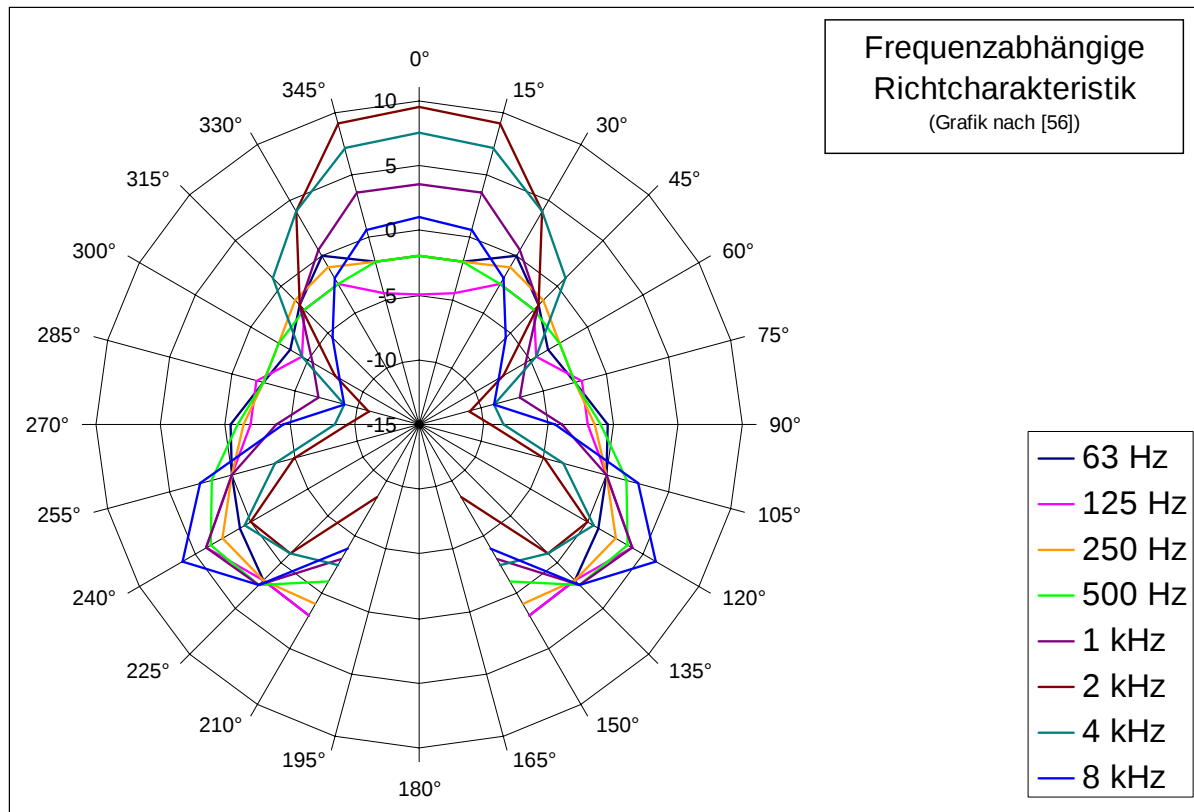
**Bild 4: Richtcharakteristik Airbus-Familie bei Maximallast am Boden**

Wie Bild 4 zeigt, ist die Richtcharakteristik der AzB für Starts der derzeit am häufigsten verkehrenden Luftfahrzeugmuster (Luftfahrzeuggruppen S 5.2, S 6.2 und S 6.3) auch gut für Schallausbreitungsberechnung bei Triebwerksprobeläufen mit Maximallast anwendbar.



**Bild 5: Richtcharakteristik Airbus-Familie bei Leerlaufschub am Boden (ground idle)**

Beim Landeanflug repräsentieren die gemäß AzB anzusetzenden Richtungskoeffizienten jedoch eine gleichförmige, d. h. ungerichtete Schallausbreitung in alle Richtungen. Aus Bild 5 ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass für Triebwerksprobeläufe mit der Laststufe ground idle diese idealisierte Richtcharakteristik der AzB für Landungen nicht anwendbar ist. Stattdessen wird vorgeschlagen, eine mittlere Richtcharakteristik, die sich mit den Koeffizienten  $\{2, -1, 2\}$  beschreiben lässt, zu verwenden. Diese Richtcharakteristik ist als Kompromiss für die im Bild 5 angegebenen Werte der Airbus-Familie unter Verwendung von 3 Koeffizienten zu werten. Für die einzelnen Flugzeug- bzw. Triebwerkstypen, z. B. bei A 319 mit CFM56-5A und V2500 sowie A 321 mit CFM56-5B, ist sicherlich eine individuell bessere Anpassung, unter Verwendung von mehr als 3 Koeffizienten auch eine bessere Gruppenanpassung möglich [33].

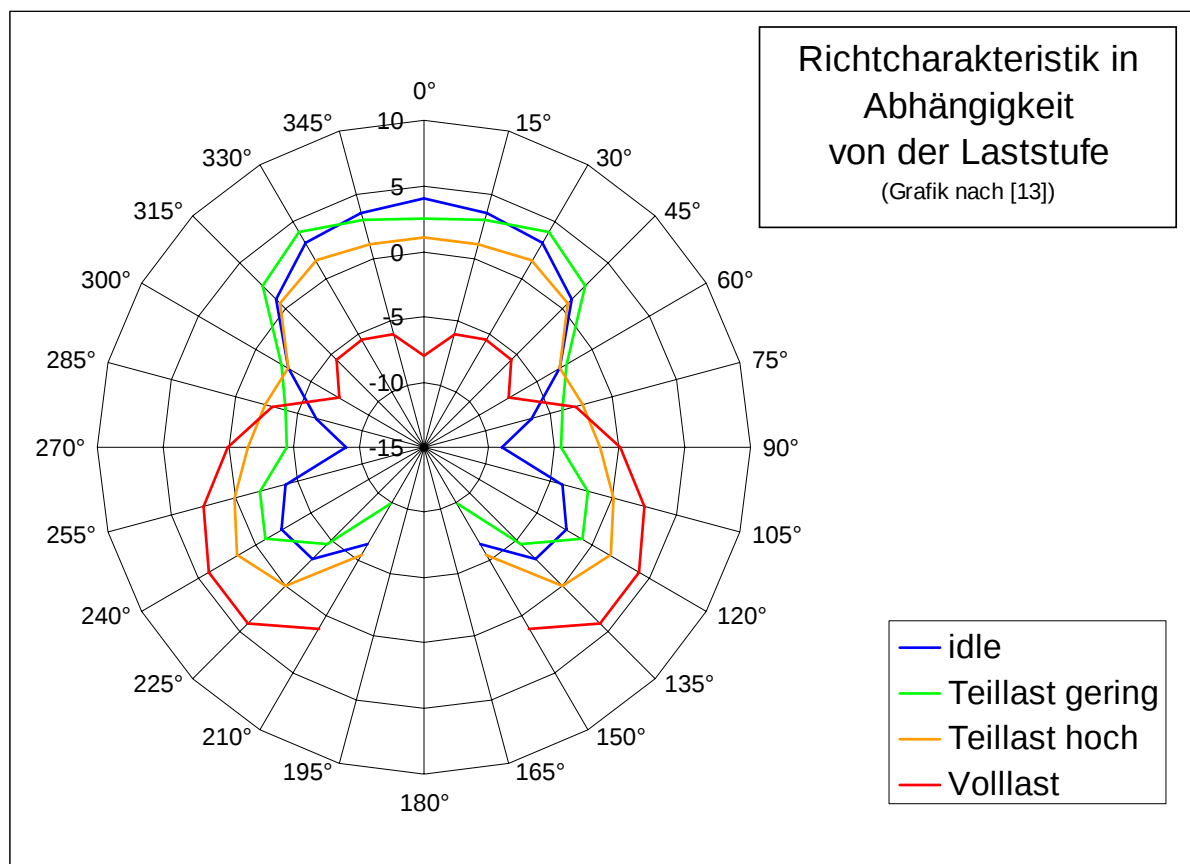


**Bild 6: Frequenzabhängige Richtcharakteristik dargestellt am Beispiel B 737 (idle) [56]**

Die Richtcharakteristik ist grundsätzlich frequenzabhängig. Bild 6 zeigt beispielhaft die frequenzabhängige Richtcharakteristik für eine Boeing B 737 bei der Laststufe idle [56]. Die Darstellung in Bild 6 zeigt die plausible Tendenz, dass die Richtungsabhängigkeit mit zunehmender Frequenz ausgeprägter wird. Bild 6 zeigt jedoch auch, dass hierbei durchaus Sprünge zwischen benachbarten Frequenzbändern auftreten können.

Aus Gründen der einfacheren Bearbeitung wird in den Bodenlärmgutachten vielfach jedoch nur die Richtcharakteristik des frequenzintegrierten A-bewerteten Pegels angewendet. In einigen Bodenlärmgutachten wird auf die Berücksichtigung der Richtcharakteristik ganz verzichtet. Auch in den Datensätzen der neuen AzB sind mit Ausnahme der Luftfahrzeuggruppe S-MIL 6 (Eurofighter) die Koeffizienten der Richtcharakteristik für alle Frequenzen in einer bestimmten Luftfahrzeuggruppe gleich. Hinsichtlich der Ableitung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe wird ebenfalls vorgeschlagen, die Richtcharakteristik vorerst nur frequenzintegriert zu berücksichtigen. Der Grund hierfür ist das Fehlen einer systematischen Datenzusammenstellung, anhand derer eine Klassifizierung der frequenzabhängigen Richtcha-

rakteristik der Luftfahrzeugtypen zu unterschiedlichen Luftfahrzeuggruppen möglich ist. Weiterhin ist festzustellen, dass für die Bestimmung einer frequenzabhängigen Richtcharakteristik nicht von einer Lokalisation der Quellen aller Frequenzkomponenten in einem gemeinsamen Punkt (Schwerpunkt des Flugzeuges) ausgegangen werden kann [35]. Die bisher vorliegenden Messergebnisse zur frequenzabhängigen Richtcharakteristik müssen insofern kritisch gesehen werden, als die Messentfernungen für die tiefen Frequenzbereiche in vielen Fällen nicht ausreichend groß waren. Die durch Airbus veröffentlichten Messungen erfolgten z. B. in einer Entfernung von 60 m, was nach [35] für tiefe Frequenzen nicht ausreichend ist.

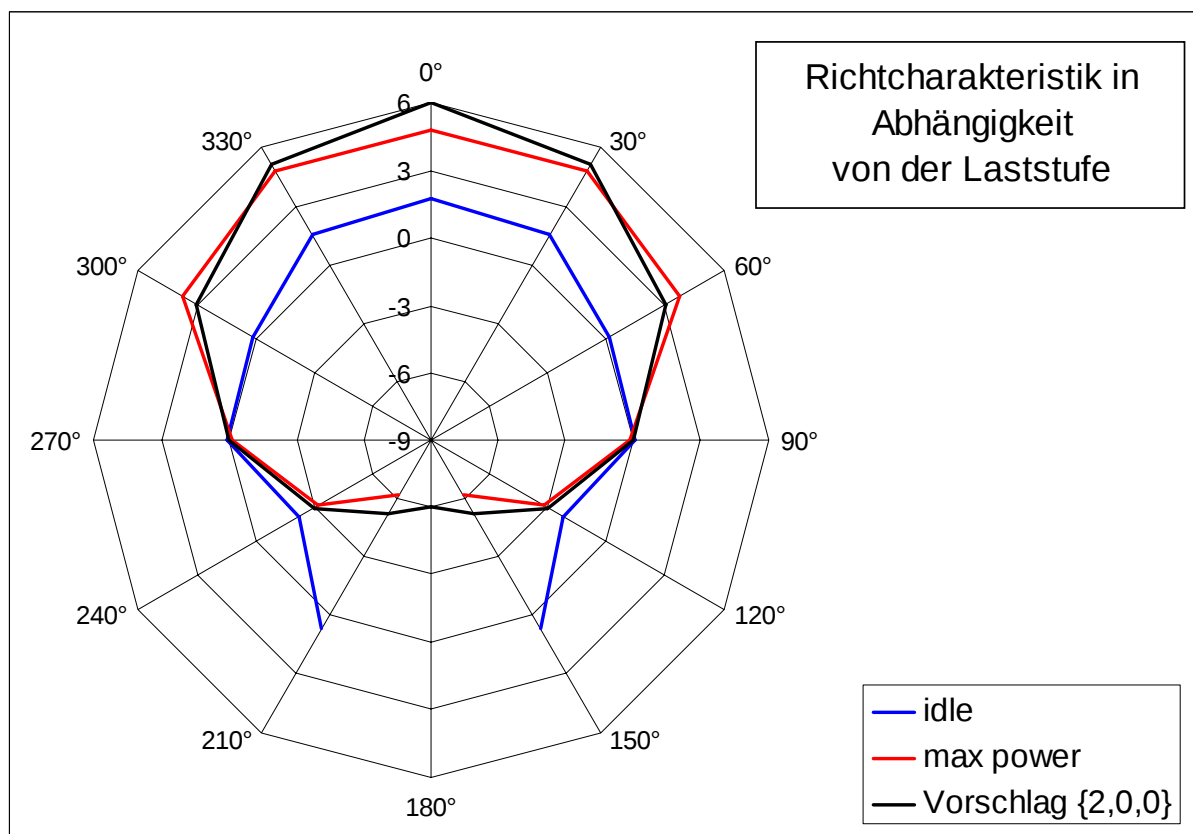


**Bild 7: Richtcharakteristik in Abhängigkeit unterschiedlicher Laststufen dargestellt am Beispiel A321 mit Triebwerk V2500-A5 [13]**

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde davon ausgegangen, dass hinsichtlich der Laststufen Landung und Leerlauf sowie Start und Maximallast prinzipiell vergleichbar sind. Im Bodenlärmgutachten für die Planung der Nordwestbahn des Flughafens Frankfurt/Main wurden auf der Basis von Airbus-Messungen Richtcharakteristika für vier unterschiedliche Laststufen verwendet [13]. Wie in Bild 7 zu erkennen ist, ist die Schallabstrahlung im Leerlauf hauptsächlich nach vorn in Richtung des Flugzeug-

bugs ausgerichtet. Mit zunehmender Laststufe verlagert sich diese Abstrahlrichtung in Richtung Flugzeugheck, d. h. in Richtung der Triebwerksauslässe. Für andere Laststufen sind also geeignete Zwischenwerte zu finden.

Die vorangegangenen Ausführungen beziehen sich alle auf die Richtcharakteristik von zivilen Strahlflugzeugen. Die Richtcharakteristik von Flugzeugen mit Turboprop- oder Kolbenmotor-Antrieb sind hiervon aufgrund der physikalischen Wirkungsweise der Triebwerke grundlegend verschieden. Richtcharakteristika für Turbopropflugzeuge sind in [12] sowie hinsichtlich der Triebwerksprobeläufe in den allerdings schon etwas älteren Untersuchungen des Umweltbundesamtes [32, 38, 39] enthalten. Das nachfolgende Bild 8 zeigt die Richtcharakteristik für den militärisch eingesetzten Transporter C-130 E (AzB-Luftfahrzeuggruppe P-MIL 2).

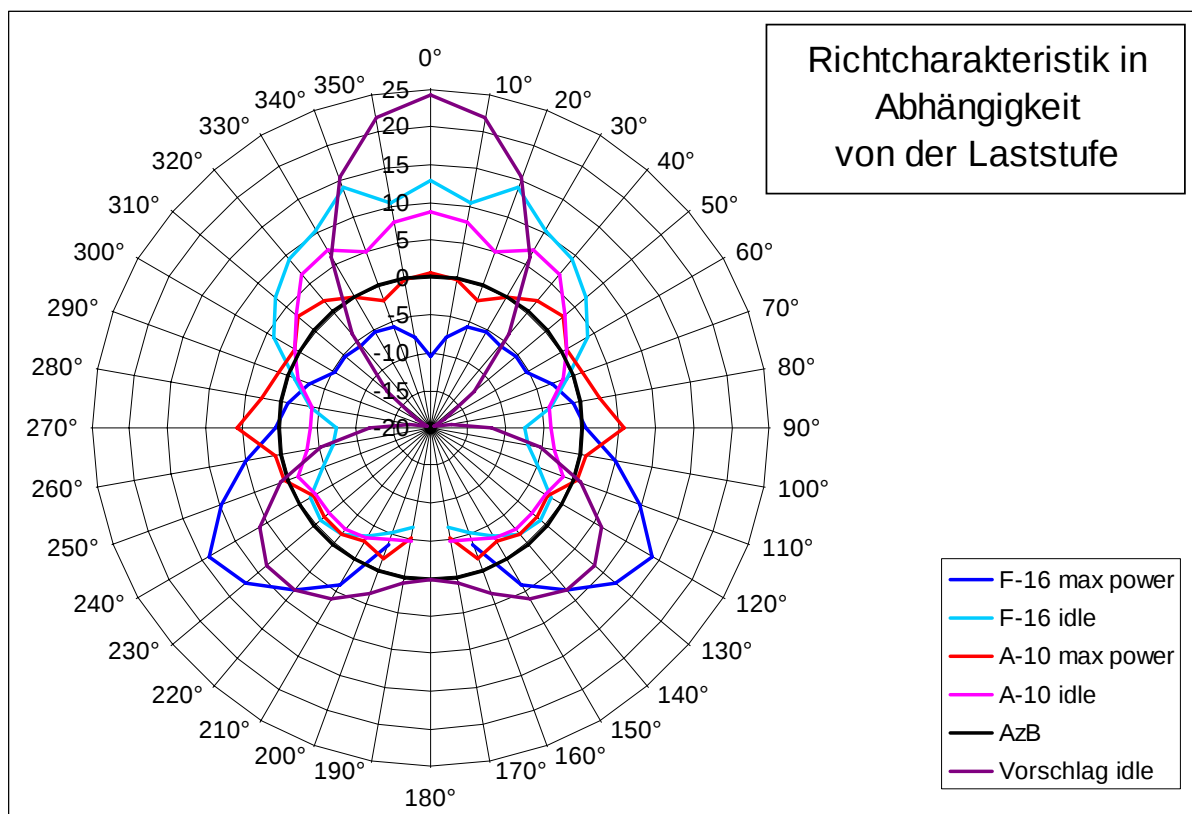


**Bild 8: Richtcharakteristik eines Turbopropflugzeuges C-130 für unterschiedliche Laststufen**

Im Gegensatz zu Strahlflugzeugen ist die Abstrahlung bei Turbopropflugzeugen eher nach vorn gerichtet. Diese Abstrahlcharakteristik wird mit zunehmender Laststufe noch verstärkt. Auch in diesem Fall erbringen die in der AzB festgelegten Koeffizien-

ten (Start oder Landung) keine befriedigende Annäherung an die reale Abstrahlcharakteristik. Deshalb wird vorgeschlagen, für Triebwerksprobeläufe von Turbopropflugzeugen eine durch die Koeffizienten  $\{2,0,0\}$  beschriebene Richtcharakteristik zu verwenden.

Wie Bild 9 zeigt, kann auch für Kampfflugzeuge die Richtcharakteristik der AzB deutlich von den realen Gegebenheiten abweichen.



**Bild 9: Richtcharakteristik verschiedener Kampfflugzeuge für unterschiedliche Laststufen**

Diesen Abschnitt zusammenfassend ist zu schlussfolgern, dass die Richtcharakteristik bei Triebwerksprobeläufen in aller Regel eine bedeutsame Randbedingung ist, die nicht, wie in einigen Bodenlärmuntersuchungen der Vergangenheit, vernachlässigt werden sollte. Andererseits ist die Datenbasis für eine klassifizierende Festsetzung von Richtcharakteristika für unterschiedliche Luftfahrzeuggruppen noch nicht ausreichend groß. Dies betrifft insbesondere die Datenbasis für die frequenzabhängige Richtcharakteristik. Eine Ableitung der für Triebwerksprobeläufe anzuwendenden Richtcharakteristika aus den Koeffizienten der AzB ist in vielen Fällen nicht möglich.

Hier ist ein Bedarf für weitere Untersuchungen gegeben, welche sicherlich nicht nur Ergebnisse zur Berechnung für Triebwerksprobeläufe liefern, sondern auch die Datenbasis der AzB verbessern könnten.

### 6.7 Tonhaltigkeit

Im Zusammenhang mit Beschwerden über die Geräuschemissionen von Triebwerksprobeläufen sind in der Vergangenheit des Öfteren Forderungen nach gesonderter Berücksichtigung der besonders belästigenden Wirkung einzelner herausragender Frequenzkomponenten der Geräusche (Tonhaltigkeit) in ähnlicher Weise wie in der TA Lärm bzw. in anderen Regelwerken zu Lärmimmissionen erhoben worden. Das (alte und neue) Fluglärmgesetz sowie die entsprechenden AzB sehen einen gesonderten Lästigkeitszuschlag für die Tonhaltigkeit nicht vor. In der DIN 45643, Teil 1, „Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen - Mess- und Kenngrößen“ vom Oktober 1984 [40] ist zwar prinzipiell ein Zuschlag  $K_T$  für die Tonhaltigkeit von Flugzeuggeräuschen enthalten, jedoch wird in der Anmerkung 4 dieser DIN für den Fall der Strahlverkehrsflugzeuge auf die Anwendung von  $K_T$  verzichtet, da bei diesen Flugzeugen keine Tonhaltigkeit gegeben sei<sup>2</sup>.

Hierzu ist zu bemerken, dass sich die Geräuschcharakteristik von Strahltriebwerken, vor allem mit der Einführung und Weiterentwicklung der Zweikreistriebwerke, im Laufe der Jahre durchaus geändert hat. Inzwischen existieren vereinzelte Messergebnisse, die Hinweise auf eine Tonhaltigkeit von modernen Zweikreistriebwerken bei bestimmten Randbedingungen geben. Systematische Untersuchungen hierzu liegen jedoch noch nicht vor.

Eine solche systematische Untersuchung der Tonhaltigkeit für Luftfahrzeuggeräusche kann im Rahmen der vorliegenden Aufgabenstellung nicht durchgeführt werden, jedoch soll an dieser Stelle anhand vorliegender Tonaufzeichnungen die Tonhaltigkeit von Flugzeuggeräuschen unter unterschiedlichen Randbedingungen beispielhaft aufgezeigt werden.

---

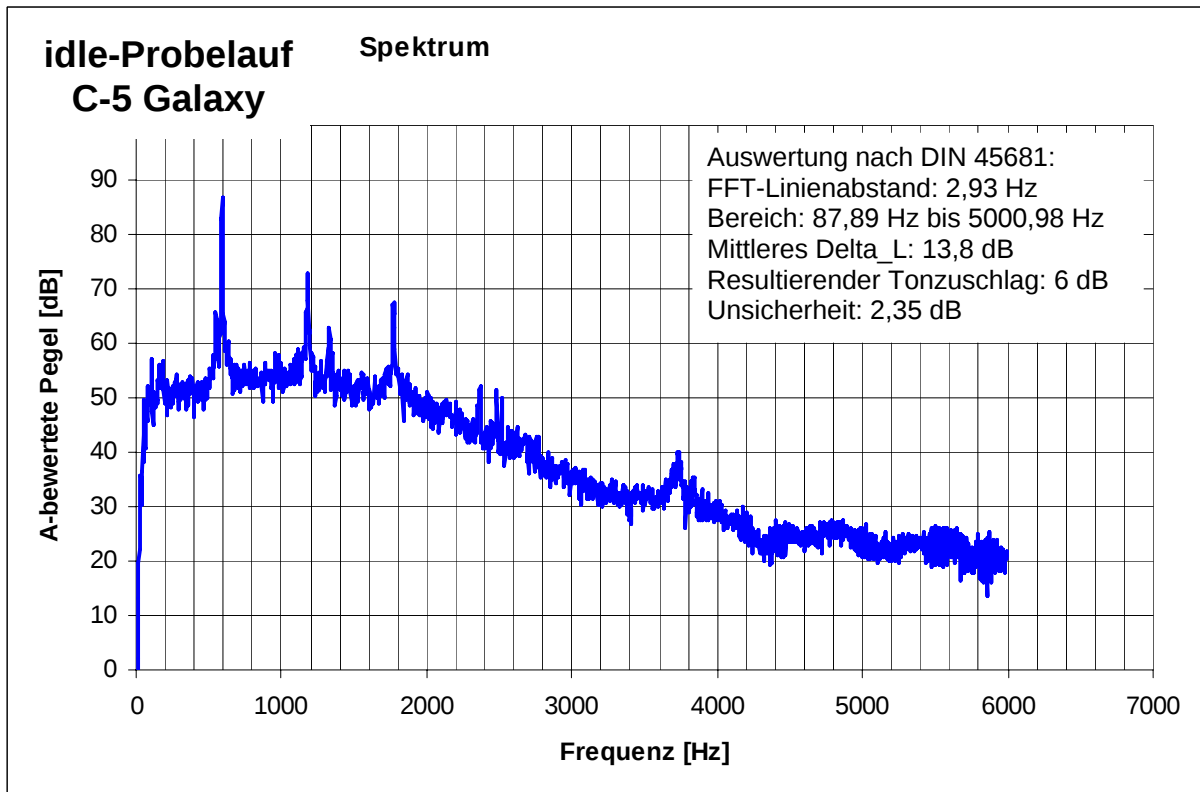
<sup>2</sup> Anmerkung: Diese DIN befindet sich derzeit in der Überarbeitung. Die o. g. Aussage zur Tonhaltigkeit wird möglicherweise geändert.

Die Ermittlung der Tonhaltigkeit der Geräusche erfolgt hierbei nach der Methodik der DIN 45681 [41]. Diese Methodik ist für Triebwerksprobelaufe ohne Einschränkungen anwendbar. Für sich in der Luft bewegende Luftfahrzeuge ist zunächst zu fragen, ob die durch den Dopplereffekt oder auch andere Einflüsse bedingten Frequenzänderungen eine Anwendung der DIN 45681 erlauben.

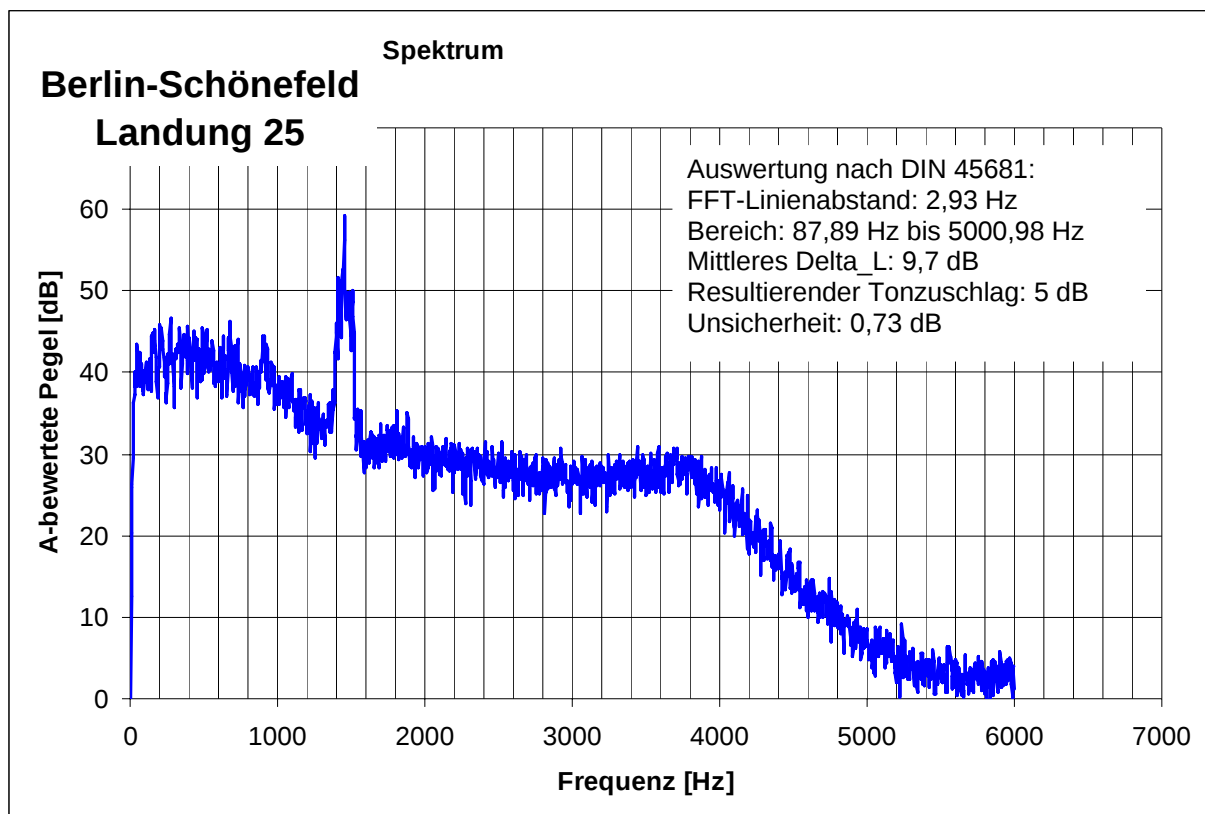
Die DIN 45681 unterscheidet nicht zwischen stationären und nicht stationären Geräuschen. Die untere Anwendungsgrenze des Verfahrens wird bei Mittelungszeiten von 3 Sekunden angegeben. „Signale mit sehr hoher Pegel- und/oder Frequenzdynamik, die mit einer 3-Sekunden-Mittelung nicht mehr korrespondieren, können durch diese Norm daher nicht mehr beurteilt werden“ [41]. Unter dieser Voraussetzung ist die Bestimmung der Tonhaltigkeit von Fluggeräuschen mittels der Methodik der DIN 45681 sicherlich in vielen Fällen, insbesondere bei größeren Abständen zum Luftfahrzeug, problemlos möglich. Außerdem geht es bei der hier untersuchten Problemstellung nicht um die Beurteilung einer konkreten Belästigungssituation anhand eines Richtwertvergleiches, sondern um eine allgemeine Einschätzung, ob Fluggeräusche eher tonhaltig sind oder nicht.

In den nachfolgenden Bildern 10 und 11 ist das Schmalbandspektrum eines Triebwerksprobelaufes eines Militärtransporters bei Leerlauf und eines Landeanfluges in relativ großer Entfernung zum Flugplatz (13 km bis zur Schwelle, 2,4 km seitlich der Anfluglinie) dargestellt. Die herausragenden tonalen Komponenten sind deutlich zu erkennen. Die Auswertung nach DIN 45681 ergibt demgemäß hohe Zuschläge von 5 bzw. 6 dB.

In der Tabelle 4 sind die nach DIN 45681 ermittelten Tonhaltigkeitszuschläge beispielhaft für eine Reihe unterschiedlicher Randbedingungen bei Geräuschemission der Flugzeuge in der Luft aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass Tonhaltigkeit bei modernen Flugzeugen durchaus ein Problem darstellt, und zwar sowohl bei Start als auch bei Landung. Es ist jedoch auch zu erkennen, dass trotz ähnlicher Entfernungen zum Flugplatz durchaus unterschiedliche Werte der Tonhaltigkeit auftreten können.



**Bild 10: Tonhaltigkeit beim Triebwerksprobelauf**



**Bild 11: Tonhaltigkeit bei Landeanflug eines Strahlflugzeuges A 319**

Die Ergebnisse der Tabelle 4 beruhen auf Tonaufzeichnungen von Messungen, bei denen nicht die Erfassung der Fluggeräusche im Vordergrund stand. Deswegen sind teilweise auch bestimmte interessierende Angaben nicht verfügbar (Luftfahrzeugtyp, Start oder Landung u.a.). Diese Angaben waren jedoch bei einer anderen Messung, bei der gleichzeitig an zwei Messpunkten in unterschiedlichen Abständen gemessen wurde, verfügbar. Die Messpunkte befanden sich in Verlängerung der Start- und Landebahn in ca. 800 m und ca. 3000 m von der Schwelle entfernt. Durch diese Anordnung der Messpunkte waren immer zwei Messwerte für jeweils ein und dasselbe Luftfahrzeug, welches nacheinander die beiden Messpunkte überflog, verfügbar.

In Tabelle 5 sind die hierbei ermittelten Tonhaltigkeitszuschläge angegeben. In den einzelnen Zeilen der Tabelle 5 sind die Tonzuschläge für unterschiedliche Exemplare des jeweiligen Luftfahrzeugtyps angegeben. Die in einer Zeile enthaltenen zwei Werte für den Tonzuschlag wurden durch den Überflug von jeweils ein und demselben Exemplar des jeweiligen Luftfahrzeugtyps verursacht.

Bei den hierbei besser kontrollierten Randbedingungen sind die Unterschiede in der Tonhaltigkeit nicht so ausgeprägt wie bei den Werten der Tabelle 4. Die Tonhaltigkeit an den beiden Messpunkten differiert bei identischem Flugzeug maximal um 1 dB. Auch die Differenz der Tonhaltigkeit bei unterschiedlichen Luftfahrzeugen des gleichen Typs bei sonst gleichen Bedingungen (Start/Landung, Messpunkt) ist nur in einem Fall größer als 1 dB. Es ist also wahrscheinlich, dass für die Ausprägung der Tonhaltigkeit der (bei den Werten von Tabelle 4 nicht in jedem Fall ermittelbare) Flugzeugtyp bzw. Triebwerkstyp sowie die jeweiligen Triebwerkeinstellungen zum Messzeitpunkt eine Rolle spielen. Bei größeren Entfernungen sind sicherlich auch meteorologische Einflüsse wirksam.

| Messung                 | Luftfahrzeugtyp | Entfernung zum Platz | seitlicher Abstand | Mittleres Delta_L | Tonzuschlag K <sub>T</sub> | Unsicherheit |
|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|--------------|
|                         |                 | m                    | m                  | dB                | dB                         | dB           |
| <b>Start</b>            |                 |                      |                    |                   |                            |              |
| Berlin-Tegel            | B 737-800       | 3600                 | 1200               | 2,3               | 2                          | 0,4          |
| Berlin-Schönefeld West  |                 | 1000                 | 250                | 2,2               | 2                          | 0,6          |
| Berlin-Schönefeld West  | B 737-800       | 1000                 | 250                | 1,6               | 1                          | 0,6          |
| Berlin-Schönefeld West  | A 319           | 1000                 | 250                | 9,5               | 5                          | 0,8          |
| Berlin-Schönefeld West  | A 319           | 1000                 | 250                | 7,9               | 4                          | 1,3          |
| <b>Landeanflug</b>      |                 |                      |                    |                   |                            |              |
| Berlin-Schönefeld Ost   |                 | 13000                | 2400               | 9,7               | 5                          | 0,7          |
| Berlin-Schönefeld Ost   |                 | 13000                | 2400               | 1,0               | 1                          | 0,4          |
| Berlin-Schönefeld Ost   |                 | 13000                | 2400               | 0,1               | 1                          | 0,3          |
| Berlin-Schönefeld Ost   |                 | 13000                | 2400               | 4,7               | 3                          | 1,0          |
| Berlin-Schönefeld Ost   |                 | 13000                | 2400               | 9,8               | 5                          | 0,9          |
| Berlin-Schönefeld West  | A 319           | 1000                 | 250                | 0,8               | 1                          | 0,3          |
| Berlin-Schönefeld West  | A 319           | 1000                 | 250                | 0,2               | 1                          | 0,2          |
| Berlin-Tegel            |                 | 6800                 | 400                | 0,0               | 0                          | 0,0          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 2800               | 5,0               | 3                          | 1,0          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 2800               | 0,3               | 1                          | 0,3          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 2800               | 0,2               | 1                          | 0,2          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 2800               | 0,0               | 0                          | 0,0          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 2800               | 5,9               | 3                          | 0,8          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 500                | 6,7               | 4                          | 1,0          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 500                | 0,5               | 1                          | 0,3          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 500                | 8,8               | 4                          | 1,0          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 500                | 7,8               | 4                          | 0,6          |
| Berlin-Tegel            |                 | 10500                | 500                | 7,7               | 4                          | 0,8          |
| <b>Platzrunde</b>       |                 |                      |                    |                   |                            |              |
| Berlin-Schönefeld (ILA) | Eurofighter     |                      |                    | 0,1               | 1                          | 0,2          |

**Tabelle 4: Tonhaltigkeit bei unterschiedlichen Randbedingungen**

|                   | Typ   | Tonzuschlag $K_T$ in dB |                     |
|-------------------|-------|-------------------------|---------------------|
|                   |       | Messpunkt<br>800 m      | Messpunkt<br>3000 m |
| <b>Start 08</b>   | C-5   | 3                       | 4                   |
|                   | C-5   | 3                       | 4                   |
|                   | B 747 | 0                       | 1                   |
|                   | B 747 | 2                       | 1                   |
|                   | B 747 | 1                       | 1                   |
|                   | C-130 | 3                       | 2                   |
|                   | C-130 | 3                       | 4                   |
|                   | LJ 35 | 0                       | 1                   |
|                   | LJ 35 | 1                       | 1                   |
| <b>Landung 26</b> | C-5   | 5                       | 5                   |
|                   | C-5   | 5                       | 4                   |
|                   | B 747 | 3                       | 4                   |
|                   | B 747 | 4                       | 4                   |
|                   | C-130 | 1                       | 1                   |
|                   | C-130 | 1                       | 2                   |
|                   | LJ 35 | 3                       | 2                   |
|                   | LJ 35 | 3                       | 3                   |

**Tabelle 5: Tonhaltigkeit in Abhängigkeit von Flugzustand und Messentfernung bei unterschiedlichen Luftfahrzeugen**

| Messung           | Typ    | Entfernung<br>zum<br>Flugzeug | Mittleres<br>Delta_L | Tonzu-<br>schlag $K_T$ | Unsicher-<br>heit |
|-------------------|--------|-------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
|                   |        | m                             | dB                   | dB                     | dB                |
| <b>Probeläufe</b> |        |                               |                      |                        |                   |
| part power        | C-141  | 1700                          | 1,9                  | 1                      | 1,2               |
| idle              | C-5    | 1700                          | 13,8                 | 6                      | 2,4               |
| part power        | C-5    | 1700                          | 3,8                  | 2                      | 0,8               |
| idle              | C-130E | 100                           | 6,2                  | 4                      | 0,4               |
| part power        | C-130E | 100                           | 11,1                 | 5                      | 0,6               |
| max power         | C-130E | 100                           | 1,7                  | 1                      | 1,2               |

**Tabelle 6: Tonhaltigkeit bei Triebwerksprobeläufen von militärischen Transportflugzeugen**

Tabelle 6 enthält die nach DIN 45681 ermittelten Tonhaltigkeitszuschläge bei Triebwerksprobeläufen. Auch hier ist festzustellen, dass die Tonhaltigkeit durchaus ein Problem bei der Bewertung der jeweiligen Geräuschimmissionen darstellt. Die hier nur als Beispiel geltenden Werte unterstützen die plausible Annahme, dass mit höheren Laststufen die Tonhaltigkeit abnimmt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Flugzeuggeräusche durchaus tonalen Charakter haben können und zwar sowohl beim Flug als auch bei Emission am Boden. Die Anwendung eines entsprechenden Zuschlages muss jedoch im Kontext des jeweiligen Beurteilungssystems eingebunden sein. Wenn also die zu entwickelnde Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe dazu dienen soll, einen mit den Berechnungsergebnissen der AzB energetisch addierbaren Pegelwert zur gemeinsamen Beurteilung von Flug- und Bodengeräuschen an einem bestimmten Flugplatz zu liefern, so macht die Berücksichtigung der Tonhaltigkeit bei Triebwerksprobeläufen keinen Sinn, da dies bei den gemäß AzB berechneten Flug- und Bodengeräuschen auch nicht erfolgt.

Hinsichtlich der Berücksichtigung der Tonhaltigkeit ist grundsätzlich zu bemerken, dass es sich um einen pauschalisierten Zuschlag handelt, der je nach subjektiven Eindruck am Immissionsort auf den durch Messung oder Berechnung ermittelten Immissionswert aufgeschlagen wird. Je nach Entfernung zwischen Quelle und Immissionsort sowie in Abhängigkeit sonstiger Randbedingungen kann also eine unterschiedliche Tonhaltigkeit eines bestimmten Geräusches gegeben sein, welche noch zusätzlichen Unsicherheiten infolge der subjektiven Beurteilung des jeweiligen Rezipienten unterliegt.

Die DIN 45681 enthält einen Vorschlag zur objektiven Ermittlung des Tonzuschlages auf der Basis von messtechnisch ermittelten Schmalbandanalysen des Geräusches. Die mit der subjektiven Einschätzung der Tonhaltigkeit verbundenen Unsicherheiten lassen sich auf diese Weise vermeiden. Es bleibt jedoch die Unmöglichkeit, bei einer (prognostischen) Ausbreitungsrechnung anhand von Quelldaten, welche üblicherweise höchstens als Oktav- oder als Terzspektren vorliegen, die Tonhaltigkeit an einem bestimmten Immissionsort zu berechnen. Hierzu wäre eine Ausbreitungsrechnung mit Schmalbandspektren erforderlich, was im Rahmen der heutigen Möglichkeiten kaum praktikabel erscheint. Es bleibt also wieder nur der Weg, die eventuell vorhandene Tonhaltigkeit der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen mittels pauschalisierter Zuschläge zum berechneten Immissionswert zu berücksichtigen. Für

diesen Fall sind jedoch noch systematische Untersuchungen zur Ausprägung der Tonhaltigkeit bei unterschiedlichen Randbedingungen erforderlich. Bis zum Vorliegen solcherart Untersuchungsergebnisse wird vorgeschlagen, die Anwendung eines Tonhaltigkeitszuschlages bei (prognostischen) Immissionsberechnungen zurückzustellen.

### 6.8 Berücksichtigung von Maximalpegeln

Die Geräusche von fliegenden Luftfahrzeugen an einem bestimmten Immissionsort sind in aller Regel einzelne, klar voneinander abgrenzbare, Ereignisse mit einem relativ geringen Wertebereich der Einwirkdauer (einige Sekunden bis ca. eine Minute). Jedes Ereignis hat ein deutliches Maximum, welches durch einen entsprechenden Maximalpegel  $L_{pAmax}$  (slow- oder auch fast-bewertet) charakterisiert wird.

Die Ergebnisse der medizinischen und sozialen Wirkungsforschung belegen relativ eindeutig, dass zur Beurteilung von Fluglärmwirkungen, insbesondere zur Kennzeichnung der Störwirkung in der Nacht, ein (energieäquivalenter) Mittelungswert nicht ausreichend ist. Bei akustisch wirksamen Einzelereignissen liegt es auf der Hand, Beurteilungsgrößen auf der Basis von Einzelereignispegeln bzw. Maximalpegeln zu definieren. Da aus medizinischer Sicht die Störung des nächtlichen Schlafes offenbar bis zu einem gewissen Umfang tolerierbar ist, wurde von Seiten der Lärmwirkungsforschung ein Bewertungsmaß auf der Basis der Kombination eines bestimmten Maximalpegels zusammen mit seiner Auftretenshäufigkeit definiert. Dieses als NAT (number above threshold) bezeichnete Beurteilungsmaß soll die höchstzulässige Anzahl von Maximalpegeln mit Aufweckpotenzial begrenzen.

Das NAT-Konzept birgt inhärente Probleme, die trotz breiter Anwendung in Deutschland nicht unerwähnt bleiben sollen. So ist es z. B. in größeren Entfernungen an Flugplätzen mit einer hohen Zahl von nächtlichen Flugbewegungen möglich, dass eine große Anzahl von Ereignissen gerade unterhalb dem Pegelkriterium liegen, aber trotzdem allein wegen ihrer Häufigkeit störend wirken. Diese Fälle sind wegen der parallel geltenden Begrenzung des Mittelungspegels in der Praxis nicht sehr problematisch. Andererseits kommt es jedoch an Flugplätzen mit relativ wenig nächtlichen Flugbewegungen, z. B. an Militärflugplätzen, vor, dass sehr hohe und deutlich über der im NAT-Kriterium festgelegten Pegelgrenze auftretende Maximalpegel weniger als die ebenfalls im NAT-Kriterium begrenzte Häufigkeit auftreten. Die Betroffenen werden hierbei zwar weniger häufig als zulässig, dafür aber dann mit sehr hohen

Einzelereignispegeln gestört. Diskussionen mit Betroffenen in der Vergangenheit haben gezeigt, dass das NAT-Kriterium insofern gerade dann problematisch ist, wenn die Auftretenshäufigkeit des jeweiligen Grenzpegels gerade um 1 Ereignis unterschritten wird. Die Betroffenen unterstellen hier zwangsläufig ein „schön rechnen“ der Prognoseergebnisse bzw. der Flugstatistik und es wird enormer Aufwand in den Beweis und Gegenbeweis für ein einzelnes zusätzliches Flugereignis gesteckt.

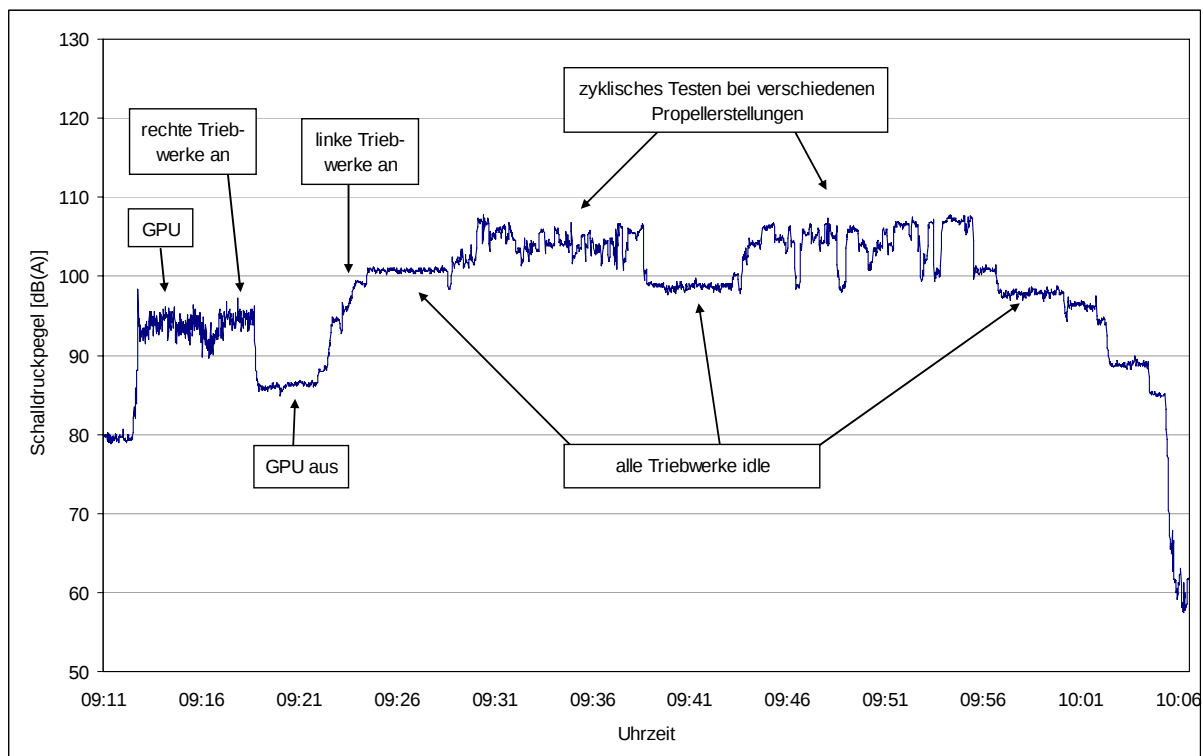
Im Vergleich zum Fluglärm haben die am Boden erzeugten Geräusche technischer Anlagen wesentlich komplexere Zeitstrukturen sowie deutlich uneinheitlichere, insbesondere auch längere Einwirkdauern. Deswegen macht im Regelungsbereich dieser Anlagen (TA Lärm [42]) die Definition eines NAT-Kriteriums auch keinen Sinn. Hier werden lediglich „... einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen ...“ (TA Lärm, Abschnitt 6.1) durch Festlegung eines über die gesamte Beurteilungszeit (Tag/Nacht) geltenden Maximalpegels  $L_{AFmax}$  begrenzt.

Im Übrigen kennt das Regelwerk für die einzige, hinsichtlich der Zeitstruktur mit dem Fluglärm vergleichbare Geräuschquelle, dem Schienenverkehr, keinerlei NAT- oder sonstige Maximalpegelbegrenzung.

Bezüglich der Entwicklung einer Rechenmethodik für Geräuschemissionen von Triebwerksprobeläufen stellt sich die Frage, inwieweit Maximalpegel berücksichtigt werden sollen. Eine solche Entscheidung ist im Kontext mit der rechtlichen Einordnung dieser Berechnungsmethodik zu treffen.

Falls ein Berechnungsverfahren auf der Basis oder in Anlehnung der Regelungen der AzB entwickelt werden soll, so sind Methoden zur Berechnung von NAT-Kriterien erforderlich. Die Schwierigkeit hierbei liegt in der Abgrenzung von Einzelereignissen. Prinzipiell könnte natürlich ein einzelner, organisatorisch zusammenhängender Triebwerksprobelauf als Bezugszeit gelten, innerhalb der nur ein Maximalpegel definiert ist. Dies wird jedoch der gängigen Praxis bei Triebwerksprobeläufen nicht gerecht, bei der durchaus während eines organisatorisch zusammenhängenden Probelaufes verschiedene Laststufen größer als idle mehrfach angefahren werden und somit klar abgrenzbare Zeitintervalle mit jeweils eigenen, lokalen Maxima bilden. Andererseits ist jedoch aufgrund der Vielfalt der verschiedenen Probeläufe sowie aufgrund der häufig notwendigen Änderung des Testablaufes infolge aktueller Testergebnisse die Ermittlung einer Statistik der einzelnen Lastzustände mit einem kaum

akzeptablen Aufwand verbunden. Wie Bild 12 zeigt, ist darüber hinaus eine Abgrenzung einzelner Lastzustände nicht immer möglich.



**Bild 12: Pegel-Zeitverlauf bei einem Probelauf eines Turbopropflugzeuges C-130 in 60 m Entfernung**

Bild 12 zeigt den Pegel-Zeitverlauf beim Triebwerksprobelauf eines viermotorigen Turbopropflugzeuges, während dem in zwei unterschiedlichen Zyklen zuerst Grob- dann Feineinstellungen an den Rotorblättern vorgenommen wurden. Es ist ersichtlich, dass während des ersten Zyklus keinerlei Anhaltspunkte für zeitliche Abgrenzungen unterschiedlicher lokaler Maxima vorliegen. Für diesen Abschnitt kann eigentlich nur ein einziger Maximalpegel angegeben werden. Im zweiten Zyklus sind zwar durch den Rückgang des Schalldruckpegels auf nahezu idle-Niveau zeitliche Abschnitte abgrenzbar, jedoch folgen diese zeitlich unmittelbar aufeinander, so dass auch hier eine Mehrfachzählung von Maximalpegeln fragwürdig erscheint.

Wenn also für Triebwerksprobeläufe NAT-Kriterien berechnet werden sollen, so erscheint es sinnvoller, einen pauschalen Faktor zur Berücksichtigung gelegentlich auftretender mehrfacher Einstellung von Maximallastzuständen, d. h. zur rechnerischen Erhöhung der Anzahl der Maxima, vorzusehen. In den Bodenlärmgutachten zum

Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main [13, 29] wurde dies durch die Berücksichtigung eines Faktors von 1,5 auf jeweils den höchsten angefahrenen Lastzustand (part power high bzw. max power) praktiziert. Diese Vorgehensweise ist praktikabel, erscheint im Sinne der Betroffenen angemessen und wird deshalb für eine Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe vorgeschlagen. Eine zusätzliche Sicherheit ist durch die Berücksichtigung der Streuung der Geräuschemission der Triebwerke mit  $Q_\sigma$  (siehe Abschnitt 6.5) gegeben.

Wenn eine Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe nicht an die Regelungen der AzB angepasst werden soll, so würde ein Verzicht auf die Implementierung von NAT-Kriterien die Methodik vereinfachen. In Anlehnung an die üblichen Regelungen für Geräuschemissionen anderer (Boden-) Geräuschquellen könnte der Gesamt-Maximalpegel während der Beurteilungszeit als Kriterium herangezogen werden. Ein Grenz- oder Richtwert für den Maximalpegel könnte z. B. so gelegt werden, dass auch ein einmaliges Aufwachen in der Nacht vermieden wird. Zusätzlich könnte die belästigende Wirkung von in kürzeren Zeitabständen auftretender Maxima durch ein Maß für die Impulshaltigkeit, z. B.  $L_{AFTM5}$ , berücksichtigt werden. Hierzu ist jedoch zu bemerken, dass dies vorerst nur bei der Messung realer Geräuscheignisse möglich ist. Für Prognosen von Triebwerksprobeläufen unter Berücksichtigung der Impulshaltigkeit fehlt noch weitestgehend die Datenbasis.

### 6.9 Schallschutzeinrichtungen

Bei den deutschen Verkehrsflugplätzen, die den Regelungen des neuen Fluglärmsgesetzes und damit der AzB unterliegen, sind auf insgesamt 8 Flugplätzen Lärmschutzeinrichtungen für Triebwerksprobeläufe (noise abatement facility, noise protection facility) bekannt. Die nachfolgenden Ausführungen zu den Lärmschutzeinrichtungen auf Zivilflugplätzen beruhen zu einem großen Teil auf Informationen von Herrn Meyer, LSB Gesellschaft für Schallschutz mbH Hamburg, der für die akustische Auslegung des größten Teils dieser Lärmschutzeinrichtungen verantwortlich war [43]. Die Informationen zu den Lärmschutzhallen auf Militärflugplätzen beruhen auf Informationen des Bundesministeriums für Verteidigung [27] sowie auf eigenen Erfahrungen und Erkenntnissen auf Militärflugplätzen [44, 45].

Lärmschutzeinrichtungen für Triebwerksprobeläufe sind prinzipiell folgendermaßen zu klassifizieren:

- einfache Wand/einfacher Wall in einer Richtung.
- U-förmige Umfriedung durch Wand/Wall (Schallschutzkabine), mit oder ohne Tor zum Verschließen der vierten Seite.
- Schallschutzhalle vorn offen.
- Schallschutzhalle hinten offen.
- Schallschutzhalle vorn und hinten offen.
- Schallschutzhalle allseitig „geschlossen“.

Lärmschutzeinrichtungen auf Zivilflugplätzen sind vielfach als Schallschutzkabinen, d. h. als U-förmig angeordnete Schallschutzwände, größtenteils mit einem Tor zum Schließen der Einfahrt, jedoch ohne Dach ausgebildet (noise suppressor device, run-up cabin). Die Schallschutzwirkung dieser, als Schallschutzkabinen bezeichneten Einrichtungen ist in der näheren Umgebung dieser Einrichtungen ausreichend groß (15 – 20 dB(A)). Wegen des fehlenden Daches ist jedoch die Wirksamkeit in größeren Entfernungen trotz teilweise beträchtlicher Wandhöhen (20 m) beschränkt: ca. 6 – 10 dB(A) bei Entfernungen bis 200 m; ca. 3 – 6 dB(A) bei Entfernungen größer 1000 m [46].

In München, Hamburg, Düsseldorf und Leipzig-Halle sind weitestgehend geschlossene Lärmschutzhallen (noise abatement hangar, noise reduction shelter) errichtet worden. Mit dem Begriff „geschlossen“ ist hierbei gemeint, dass das Flugzeug in allen Richtungen, vor allem auch nach oben durch abschirmende Bauteile umschlossen wird und die Schallabstrahlung in allen Richtungen mehr oder minder beeinträchtigt ist. Wegen der notwendigen Luftzufuhr und -abfuhr sind jedoch Öffnungen unvermeidbar.

Die Kunst bei der Gestaltung dieser Hallen ist es, die teilweise gegensätzlichen aerodynamischen und akustischen Anforderungen zusammen mit den bautechnischen Möglichkeiten einer sehr großen Leichtbauhalle zu verbinden. Die Verwendung eines nach oben schallabschirmenden Daches ist auch unter aerodynamischen Gesichtspunkten günstig, da hierdurch Rezirkulationen gegenüber den Schallschutzkabinen besser vermieden werden und die Unabhängigkeit von der Windrichtung steigt. Die notwendigen Luftein- und -auslässe stellen jedoch auch Schalldurchlässe dar. Die Luftzufuhr wird bei einem Teil der Hallen durch Bauteile mit Schallabsorberkulissen geleitet. Somit wird die Schalldämmung der nach vorn bzw. vorn-seitlich (bezogen

auf den Flugzeugbug) angeordneten Bauteile erhöht. Für den Auslass der Abgasstrahlen der Triebwerke ist die in Richtung Heck orientierte Hallenseite offen und mit einer, in gewisser Entfernung angeordneten Prallwand versehen, welche den Abgasstrahl nach oben ablenkt. Die Kombination der offenen Hallenseite mit der schallabschirmenden Prallwand ergibt eine etwas höhere Pegelminderung als eine vergleichbar hohe Schallschutzwand.



**Bild 13: Schallschutzhalle Flughafen Leipzig-Halle**

(Quelle: Informationsblatt 210, Donges Stahlbau GmbH)

Ebenso wie die oben offenen Schallschutzkabinen sind auch alle Schallschutzhallen hinsichtlich Konstruktion und Ausführung Unikate. Teilweise sind die Hallen so konstruiert, dass die Flugzeuge mit dem Heck hinein bugsiert werden, teilweise so, dass die Flugzeuge mit dem Bug hineinfahren. Die Düsseldorfer Halle hat kein Tor. Die Münchner Halle ist eher ein vorn und hinten offener Tunnel. Die Hallen sind meist mit einer verschließbaren schlitzförmigen Öffnung in der Mitte des Hallendaches versehen, um auch Flugzeuge mit sehr hohem Seitenleitwerk aufzunehmen.

In Bild 13 ist zur Verdeutlichung beispielhaft die Lärmschutzhalle auf dem Flughafen Leipzig-Halle dargestellt.

Ein Sonderfall stellt die in Berlin-Tegel errichtete Schallschutzpyramide dar. Hierbei ist aus zwei schräg stehenden, innen absorbierend ausgekleideten Wänden eine dreiseitige, in einer Richtung offene Pyramide konstruiert worden. Das zu testende

Flugzeug steht mit dem Heck innerhalb der Pyramide, der Bug schaut aus der offenen Seite heraus. Für den Abgasstrahl ist eine Öffnung in Bodennähe an der ansonsten geschlossenen Kante der Pyramide vorhanden. Er wird mit einer hinter der Öffnung befindlichen Prallwand nach oben abgelenkt.

Die Hallen- und die Kabinenbauteile sind teils als Beton, teils als Metallkonstruktionen ausgeführt. Das Dach ist in der Regel eine Leichtmetallkonstruktion. Hallen- und Kabinenwände sowie die Hallendächer sind innen großflächig absorbierend ausgekleidet.

Dach und Wände besitzen eine so hohe Schalldämmung, dass sie zur Gesamtschallabstrahlung nur wenig, im Falle von Betonwänden gar nicht, beitragen. Etwas problematisch sind lediglich, sowohl bei Schalldämmung als auch bei der absorbierenden Auskleidung, die tiefen Frequenzen. Die verbleibende Schallabstrahlung der Lärmschutzeinrichtungen wird somit fast ausschließlich durch die mehr oder minder gut abstrahlenden Öffnungen bestimmt.

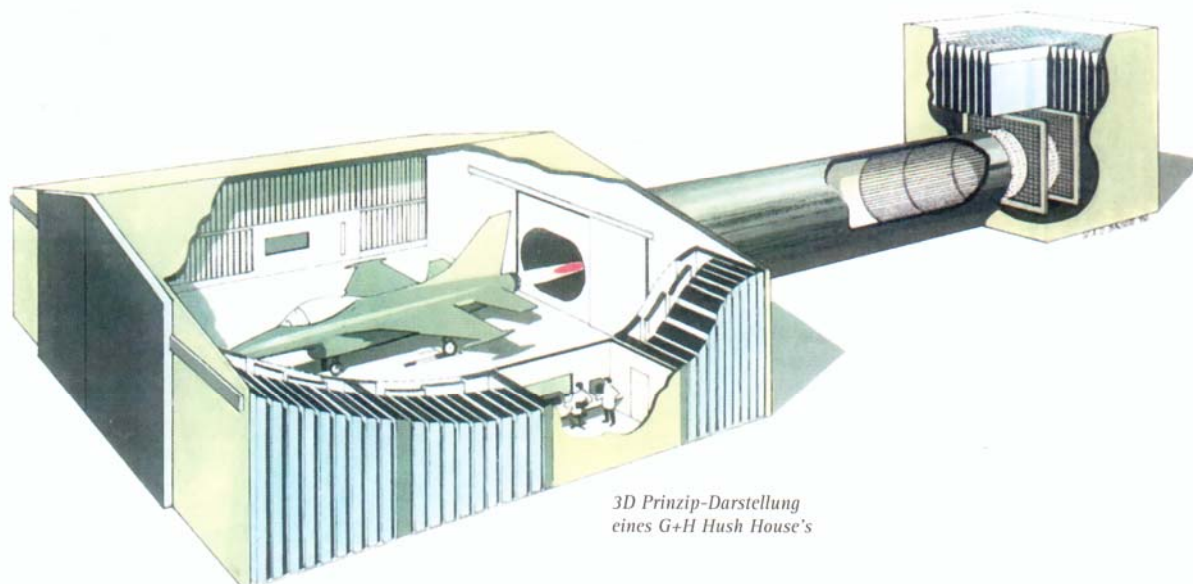
Der Nachweis der Wirksamkeit der Hallen erfolgte messtechnisch durch Überprüfung der Einhaltung von vorgeschriebenen Richtwerten der Geräuschemission in der Nachbarschaft [47]. Eine Rückrechnung auf ein Maß für die Wirksamkeit der Hallen ist nicht möglich. Es sind auch keine Untersuchungen bekannt, die die Schalldämmung der einzelnen Hallenbestandteile ermittelten. Zur Wirksamkeit dieser Lärmschutzeinrichtungen liegen allenfalls pauschale Schätzungen vor [39].

Anhand der Konstruktion der Schallschutzhallen wird geschätzt, dass die Schalldämmung der Leichtmetallkonstruktionen (Wände, Dächer) im Bereich 20 dB liegt. Die durch Schalldämpferkulissen bewehrten Lufteinlässe weisen eine Schalldämmung von ca. 5 – 10 dB auf. Die Schalldämmung eines mit einer Prallwand versehenen Luftauslasses liegt wahrscheinlich in gleicher Größenordnung.

Die Innengeräuschpegel vor den Hallenbauteilen hängen neben den akustischen Parametern (Schallleistung, Spektrum, Richtwirkung, Absorption, Reflexion am Boden) in entscheidendem Maße auch von der geometrischen Anordnung der Triebwerke am Flugzeug und innerhalb der Halle (Abstand zu den Außenbauteilen) und hiermit auch von Abschirmwirkungen der Zelle und der Tragflächen des Flugzeuges ab. Deshalb ergeben sich für nahezu jeden Flugzeugtyp, zumindest aber für alle

nicht wesentlich baugleichen Flugzeugtypen, andere Innenpegel vor den Außenbauteilen der Halle und somit auch eine andere Abstrahlung der Hallen nach außen.

Aufgrund der geringeren Typenvielfalt und der geringeren Dimensionen der Kampfflugzeuge stellt sich die oben geschilderte Situation für Schallschutzhallen auf Militärflugplätzen nicht ganz so problematisch dar (natürlich mit Ausnahme der Transportflugzeuge). In Deutschland verfügt jeder Militärflugplatz (Fliegerhorst), auf welchem Kampfflugzeuge (fighter) stationiert sind, über eine Lärmschutzhalle für Triebwerksprobeläufe der Kampfflugzeuge. Hierbei finden Typenbauten einiger weniger Hersteller Anwendung. In Bild 14 ist eine Prinzipzeichnung einer solchen Lärmschutzhalle dargestellt.



**Bild 14: Prinzipdarstellung einer Lärmschutzhalle für Kampfflugzeuge**

(Quelle: Firmenprospekt G+H Schallschutz GmbH)

Im Gegensatz zu den im Zivilbereich für die Großraumflugzeuge verwendeten Schallschutzhallen wird hier der Luftauslass durch einen relativ langen (20 m), schallabsorbierend ausgekleideten Kanal geführt. Am Ende des Kanals befindet sich ein nach oben offener Schacht, durch welchen der Abgasstrahl nach oben abgelenkt wird. Wände und Dächer sind aus Beton und somit hinsichtlich der Schallabstrahlung vernachlässigbar. Die Schalldämmung der zumeist vorn-seitlich angeordneten Luft-einlässe ist vergleichbar mit derjenigen der Hallen auf Zivilflugplätzen, die Schalldämmung des Luftauslasses ist etwas größer.

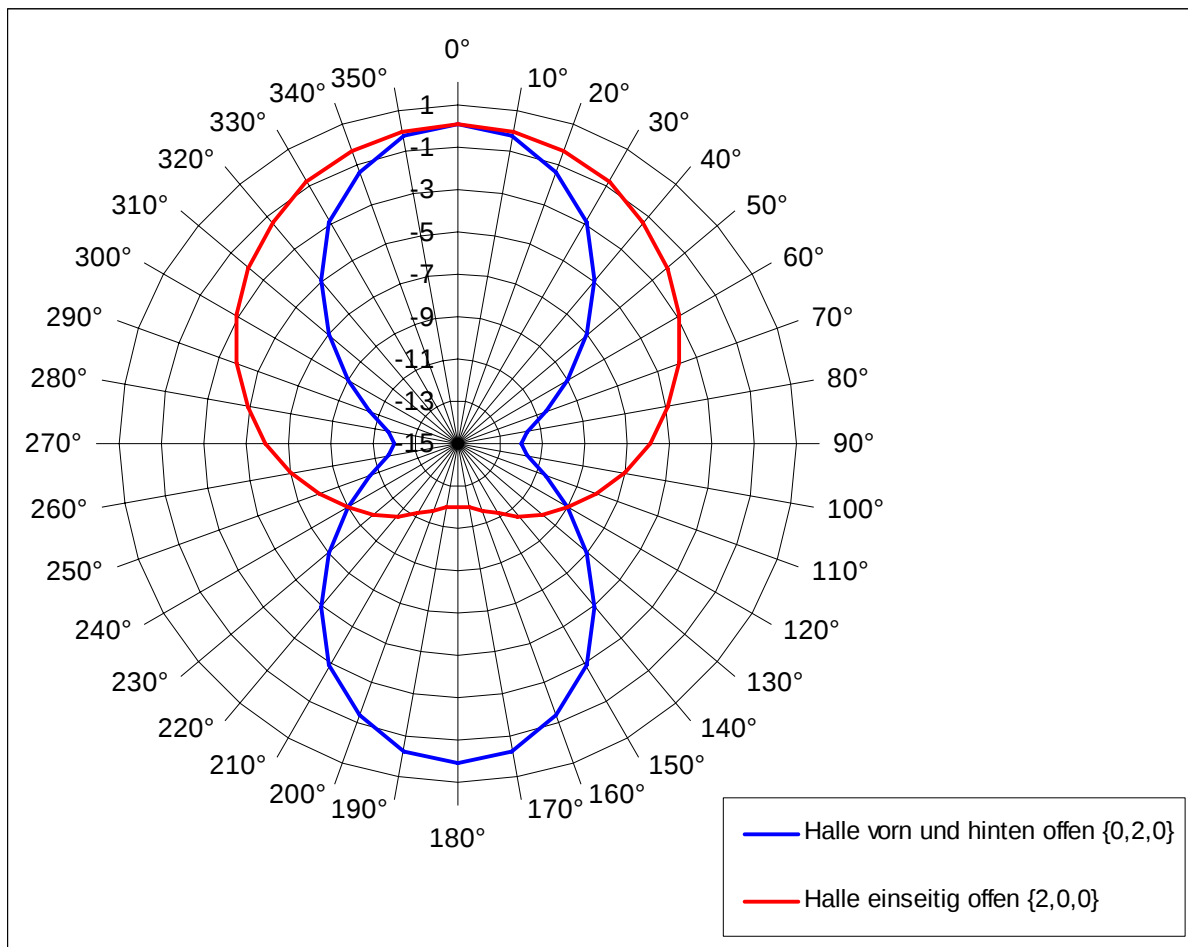
Unter dem Gesichtspunkt der Erarbeitung einer Berechnungsvorschrift für Triebwerksprobeläufe stellen die Schallschutzeinrichtungen ein großes Problem dar. Die pegelmindernde Wirkung von Schallschutzwänden und -wällen lässt sich zwar mit dem in DIN ISO 9613-2 oder VDI 2720 beschriebenen Schirmwert beschreiben. Dies würde jedoch ein Bruch zur AzB darstellen, welche eine solche Abschirmung für APU- und Rollgeräusche nicht kennt.

Die Modellierung von Schallschutzhallen ist mit den derzeitig verfügbaren Berechnungsverfahren jedoch unmöglich. Die Berechnung der von einer Halle verursachten Geräuschimmission mit Hilfe einer standardisierten Ausbreitungsberechnung stellt hier nicht das Problem dar, sondern die Ermittlung und Modellierung der von den Außenbauteilen und den Öffnungen der Halle abgestrahlten Schallleistung. Auch bei Kenntnis der in Abschnitt 6 dargestellten akustisch relevanten Kennwerte bei Triebwerksprobeläufen ist es derzeit nicht ohne weiteres möglich, die notwendigen Innenpegel vor den Außenbauteilen und Öffnungen der Halle zu ermitteln. Die gängigen Berechnungsvorschriften für Geräusche innerhalb von Räumen (z. B. VDI 2571) setzen zumeist ein diffuses Schallfeld voraus. Die Schallausbreitung im hochturbulenten Medium innerhalb einer Halle während des Triebwerksprobelaufes entzieht sich allen diesen Rechenverfahren. Außerdem ist über die Richtwirkung der Schallabstrahlung der Öffnungen der Halle nichts bekannt.

Ein Ausweg bietet eventuell die VDI 3760 [48], welche kein diffuses Schallfeld voraussetzt. Andererseits sind die Berechnungsverfahren dieser VDI für Arbeitsräume, d. h. für überwiegend Flachräume mit einer relativ hohen Zahl von Streukörpern entwickelt worden. Inwieweit die Innenpegel in einer Lärmschutzhalle ohne wesentliche kleinere Streukörper, jedoch dafür mit einem relativ großen, abschirmend wirkenden Flugzeug trotzdem und wenn ja mit welchen Genauigkeitsgrenzen berechnet werden können, ist ohne weitere Untersuchungen nicht zu beurteilen. Offen bleibt jedoch auch mit dieser Methode die Frage der Richtwirkung der Öffnungen der Halle.

Für die Berücksichtigung von Schallschutzhallen in einem Berechnungsverfahren für Triebwerksprobeläufe sind also Näherungsverfahren zu finden oder neue Rechenverfahren zu entwickeln. In Fachkreisen wird derzeit ein Näherungsverfahren diskutiert, welches die vereinfachende Berücksichtigung der pegelmindernden Wirkung der Hallen durch Anwendung eines Tripels von Richtwirkungsfaktoren in gleicher Form wie bei der Beschreibung der Richtwirkung der Luftfahrzeuge in den Datensät-

zen der AzB vorsieht. In Bild 15 ist beispielhaft (ohne weitere Nachweisführung) dargestellt, wie eine solche Näherung aussehen könnte.



**Bild 15: Beispiel für die Berücksichtigung von Lärmschutzhallen mittels Richtwirkungsfaktoren**

Im Bewusstsein, dass ein grobes Näherungsverfahren besser ist als gar kein Verfahren, könnte diese Vorgehensweise bis zum Vorliegen genauerer Untersuchungsergebnisse prinzipiell Anwendung finden. Vorteil wäre neben der einfachen Anwendbarkeit die methodische Nähe zur AzB. Nachteil ist die sehr starke Vereinfachung der Schallabstrahlung einer Lärmschutzhalle, insbesondere die in Richtung Luftauslass sicherlich vorhandene Entfernungsabhängigkeit der Pegelminderung infolge Beugung um die Prallwand. Außerdem ist die mögliche gegenseitige Beeinflussung mit der Richtcharakteristik des jeweiligen Flugzeuges derzeit unbekannt. Vor einer Entscheidung für diese Methodik wären deshalb unbedingt weitere Untersuchungen zur Anwendbarkeit erforderlich, wobei sich die Frage stellt, ob dieser Aufwand nicht

sinnvoller für die Entwicklung einer besseren, genaueren Methodik eingesetzt werden sollte.

Hinsichtlich der Lärmschutzhallen ist zu bedenken, dass für diese Hallen Forderungen der zuständigen Behörden hinsichtlich bestimmter „Grenzwerte“, die mithilfe der Lärmschutzhallen bei Triebwerksprobeläufen in der Nachbarschaft einzuhalten sind, erhoben wurden. In Hamburg und in Düsseldorf ist an den nächstgelegenen Wohngebäuden ein Maximalpegel  $L_{AFmax} = 65 \text{ dB(A)}$  einzuhalten [47, 49]. Bei einem einzelnen nächtlichen Triebwerksprobelauf mit einer Dauer von 5 min mit max power, 15 min part power high und 40 min idle ergeben sich hierbei Immissionswerte im Bereich des Richtwertes der TA Lärm für Mischgebiete von nachts 45 dB(A). Je nach Art, Dauer und Häufigkeit der Probeläufe und den sonstigen Randbedingungen kann es also durchaus realistisch sein, die Triebwerksprobeläufe in der Halle im Vergleich zum Fluglärm sowie zum sonstigen Bodenlärm zu vernachlässigen.

### 6.10 Ausbreitungsmodelle

In Deutschland existieren derzeit nur zwei Ausbreitungsmodelle, welche hinsichtlich der Aufgabenstellung relevant sind: Das Ausbreitungsmodell der DIN ISO 9613-2 und die AzB.

Das Berechnungsverfahren der AzB ist relativ problemlos für Triebwerksprobeläufe einsetzbar. Ein entsprechender Vorschlag [9] wurde bereits erarbeitet. Neben der methodischen Kompatibilität mit den Berechnungsverfahren der Bodenlärmquellen „Rollen“ und „APU“ ist bei dieser Vorgehensweise auch die vorhandene Datenbasis, bestehend aus den Emissionsdaten der Luftfahrzeuggruppen und den dazu gehörigen Richtcharakteristiken als Vorteil zu verzeichnen. Bestehende Abweichungen, z. B. hinsichtlich der Richtcharakteristik (siehe Abschnitt 6.6), können relativ einfach durch gesonderte Datensätze für Triebwerksprobeläufe (ähnlich wie z. B. für die APU), möglicherweise aber auch durch die allfällige Notwendigkeit der Aktualisierung des Datenbestandes der AzB berücksichtigt werden.

Problematisch ist die Behandlung von Hindernissen auf dem Ausbreitungsweg (Reflexionen, Abschirmungen, Bewuchs, Bebauung), insbesondere von auf mehreren Flughäfen bereits installierten Lärminderungsmaßnahmen wie Schallschutzwände (einseitig, U-förmig oder rundum). Es ist zwar prinzipiell möglich, hierfür ergänzende Berechnungsterme aus anderen Ausbreitungsmodellen zu übernehmen (z. B.  $A_{bar}$ ,

$A_{fol}$  aus ISO 9613-2), jedoch wäre dies mit einem methodischen Bruch mit der AzB verbunden, da hier (vor allem für die Bodenquellen „Rollen“ und „APU“) solche Hindernisse unberücksichtigt bleiben. Eine sinnvolle Berücksichtigung der Wirkung von geschlossenen Lärmschutzhallen im Rahmen der AzB-Methodik erscheint derzeit ohne weitere Untersuchungen als nicht praktikabel.

Im Berechnungsmodell der ISO 9613-2 ist die Berücksichtigung von Abschirmungen und Reflexionen sowohl für Lärmschutzmaßnahmen als auch für sehr komplexe Bebauungsstrukturen, bis hin zur Berücksichtigung der kompletten Bebauung auf dem Flugplatzgelände sowie ganzer Ortschaften, möglich. Lediglich die Berücksichtigung der Wirkung von geschlossenen Lärmschutzhallen ist nicht ohne weiteres in das Berechnungssystem integrierbar, da es derzeit, wie bereits in Abschnitt 6.9 dargestellt, keine allgemeingültige Methodik für die Berechnung der Schalldämmung solcher Hallen gibt.

Der Nachteil bei der Anwendung der ISO 9613-2 wäre die lückenhafte Datenbasis zur Beschreibung der Quellen. Zwar existieren für die wichtigsten, d. h. die am meisten verbreiteten und die lautesten, Flugzeug- bzw. Triebwerkstypen die entsprechenden Schallleistungspegel und Richtcharakteristika. Ergänzungen sind jedoch unbedingt erforderlich. Eine Umrechnung der AzB-Datensätze anhand der Bezugsentfernung  $s_{on}$  ist zwar möglich, jedoch ist hierzu noch zusätzliche Arbeit zur Datenaufbereitung zu leisten (siehe auch Abschnitt 6.5).

Ein weiterer Nachteil der ISO 9613-2 ist die begrenzte Genauigkeit bei größeren Entfernungen zwischen Quellen und Immissionsorten. Die ISO 9613-2 selbst beziffert in Abschnitt 9 die Berechnungsgenauigkeit mit  $\pm 3$  dB für Quellen- und Empfängerhöhen bis zu 5 m und Abständen bis zu 1000 m. Für größere Abstände trifft die Norm keine Aussage mehr. In der Anmerkung 24 dieser Norm wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die angegebenen Unsicherheiten Mittelwerte sind, die im Einzelfall bei Messvergleichen „... erheblich größer ...“ [8] sein können.

In der Praxis zeigt sich, dass bereits bei Entfernungen größer 500 m mehr oder minder deutliche Abweichungen auftreten können. Aus eigenen Messungen ist ein Beispiel bekannt, wo bereits bei einer Entfernung zwischen einer Punktquelle und dem Immissionsort von 1000 m und nahezu Windstille Differenzen zwischen berechnetem und gemessenem Wert von mehr als 10 dB(A) auftraten.

Ein weiteres Ausbreitungsmodell, welches für Schießgeräusche großkalibriger Waffen der Bundeswehr entwickelt wurde [50], ist sicherlich besser für die Berechnung in großen Entfernungen geeignet. Es liegen jedoch noch keine Informationen über Details des Modells vor. Eine kommerzielle rechentechnische Umsetzung ist noch nicht erfolgt.

International gibt es mehrere unterschiedliche Modelle, wovon insbesondere das europäische Projekt IMAGINE [51] und die skandinavische Nord2000 [52] von Interesse sind. Ein international angewendetes Ausbreitungsmodell, welches Fluggeräusche und Bodengeräusche kombiniert, ist nicht bekannt.

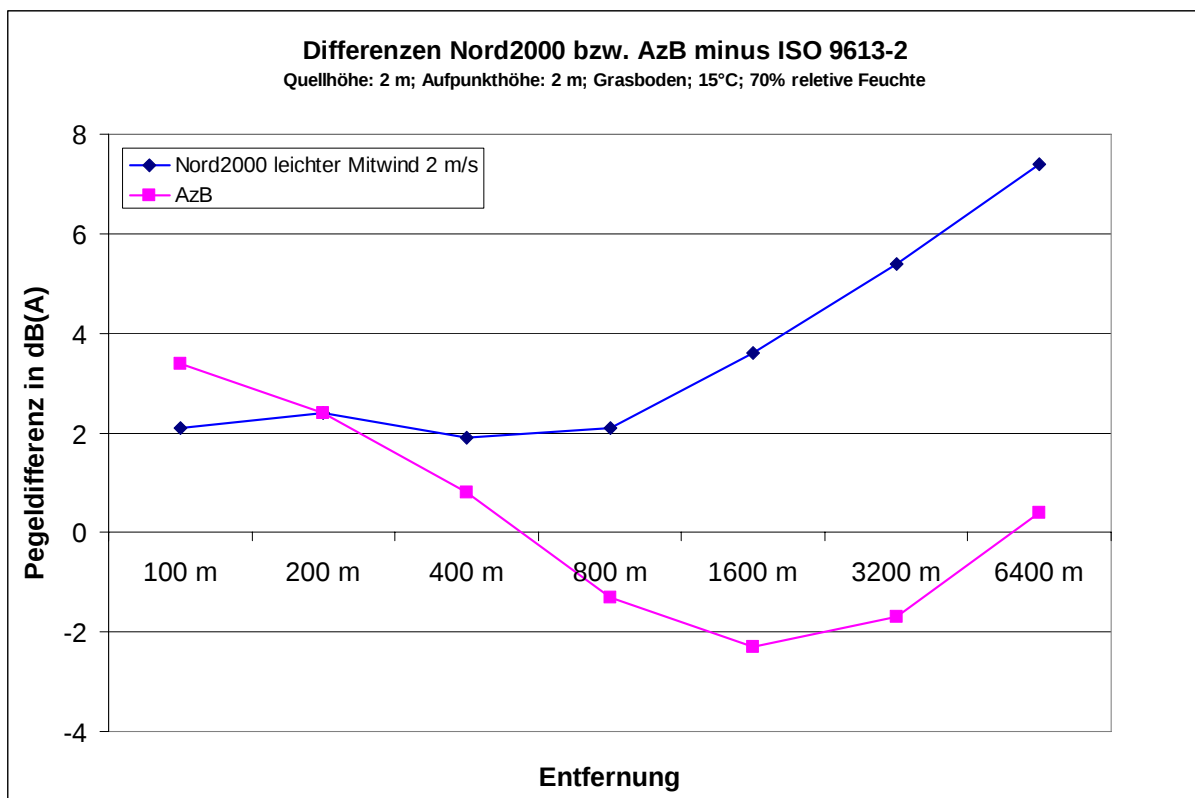
Die Ergebnisse des Projektes IMAGINE haben bisher keinen Einsatz in der Praxis gefunden. Informationen, die eine Einschätzung der Eignung des Modells für die Berechnung von Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen erlauben, sowie eine kommerzielle Umsetzung in einem Berechnungsprogramm liegen nicht vor.

Das skandinavische Modell ist in Deutschland auch in einer kommerziellen rechentechnischen Umsetzung verfügbar. Es erlaubt im Vergleich zur ISO 9613-2 eine deutlich detailliertere Berücksichtigung unterschiedlicher Witterungseinflüsse und soll auch in größeren Entfernungen noch relativ genau rechnen [53].

Bei einem Vergleich der Ausbreitungsmodelle gemäß ISO 9613-2, gemäß AzB und gemäß Nord2000 treten auch bei Betrachtung großer Entfernungen zwischen Quelle und Empfänger (Größenordnung 6 km) nur geringfügige Unterschiede in den Berechnungsergebnissen auf, wenn mit vergleichbaren meteorologischen Randbedingungen (15°C, 70% relative Feuchte, leichter Mitwind 2 m/s) gerechnet wird und Bodeneffekte vernachlässigt werden.

Auch bei Einbeziehung der in den einzelnen Ausbreitungsmodellen unterschiedlich berücksichtigten Bodeneffekte treten beim Standardfall einer schallweichen Oberfläche (Grasboden) und Entfernungen bis ca. 1,5 km Berechnungsunterschiede auf, die durchaus noch im Bereich der generellen Aussageunsicherheiten von Prognosemodellen liegen (Differenzen der Berechnungsergebnisse von Nord2000 sowie AzB im Vergleich zu ISO 9613-2 siehe Bild 16). Die Berechnungsergebnisse nach ISO sind generell niedriger als diejenigen nach NORD2000 und mit Ausnahme des Entfernungsbereiches zwischen 500 m und 6 km auch niedriger als diejenigen nach AzB.

Erst bei größeren Entfernungen sowie insbesondere bei Berücksichtigung von vom Standardfall abweichenden meteorologischen Bedingungen treten größere Unterschiede auf. Für den oben aus eigener Messpraxis geschilderten Fall bei einer Entfernung zwischen einer Punktquelle und dem Immissionsort von 1000 m konnte bei Anwendung der Nord2000 und Berücksichtigung eines leichten Gegenwindes von 2 m/s nahezu Übereinstimmung zwischen Mess- und Berechnungsergebnis festgestellt werden.



**Bild 16: Berechnungsunterschiede unterschiedlicher Ausbreitungsmodelle**

Die Entscheidung für ein Ausbreitungsmodell zur Berechnung der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen ist eng verknüpft mit der Zielstellung der Berechnungsmethodik. Wenn für Triebwerksprobeläufe ein Beurteilungswert ermittelt werden soll, der mit Berechnungsergebnissen zur Flug- und Bodenschallbelastung gemäß AzB zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen verrechnet werden soll, so sollte aus Kompatibilitätsgründen das Ausbreitungsmodell der AzB genutzt werden. Da die AzB jedoch nicht für bodennahe Quellen erarbeitet wurde, sind dann allerdings Kompromisse hinsichtlich der Berücksichtigung von Hindernissen auf dem Ausbreitungswe-

ge und hinsichtlich der Berücksichtigung von Schallschutzmaßnahmen (Lärmschutzhallen) erforderlich.

Wenn die Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe sich in das in Deutschland geltende Regelwerk für Anlagen (TA Lärm, BImSchG) einordnen soll, so ist dem Ausbreitungsmodell der ISO 9613-2 der Vorzug zu geben. Die im Zusammenhang mit diesem Modell bestehenden Nachteile müssen in Kauf genommen werden.

Wenn es jedoch darum geht, ohne kompatibilitätsbedingte Rücksichten ein dem derzeitigen Erkenntnisstand entsprechend genaues, eigenständiges Berechnungsverfahren für Triebwerksprobeläufe zu entwickeln, so sollten genauere Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Nord2000 oder eines anderen Verfahrens, welches auch in Entfernungen über 1000 m noch hinreichend genau rechnet, erfolgen.

## 7 Ableitung einer Berechnungsmethodik

### 7.1 Zusammenfassende Wertung der Untersuchungsergebnisse

Aus den Erfahrungen und dem bisher vorliegenden Wissen lässt sich eine Reihe von Schlussfolgerungen zur Entwicklung einer einheitlichen Methodik zur Berechnung der Geräuschemissionen von Triebwerksprobeläufen ziehen. Diese Schlussfolgerungen müssen grundsätzlich unter zwei Gesichtspunkten betrachtet werden:

- Methodische Einordnung der Berechnungsmethodik in das System der AzB.
- Methodische Einordnung der Berechnungsmethodik als Anlagengeräusch.

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die Unterschiede, die bei der Einordnung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe in eine der beiden grundsätzlichen methodischen Einordnungen zu beachten sind, aufgelistet. Es lässt sich erkennen, dass

- die Beschreibung der Quellen bei beiden Methoden handhabbar ist,
- die Ausbreitungsrechnungen nach beiden Methoden Unterschiede ergeben; diese Unterschiede erscheinen jedoch nicht entscheidungserheblich,
- Reflexionen vernachlässigt werden können,
- meteorologische Einflüsse bestehen, jedoch nicht entscheidungserheblich für die Wahl der Methodik sind,
- die Abschirmungen durch Wände u. ä. in der AzB schwierig, jedoch nicht unmöglich zu behandeln sind,
- Schallschutzhallen in der AzB nicht modellierbar sind,
- Schallschutzhallen auch mit anderen Methoden äußerst schwierig beherrschbar sind.

Wird eine Entscheidung für die Einordnung der Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe in den methodischen Rahmen der AzB getroffen, so sollten Reflexionen und meteorologische Einflüsse vernachlässigt werden. Abschirmungen, Bebauungs- und Bewuchsdämpfung können (falls erforderlich bzw. gewünscht) durch die Übernahme entsprechender Berechnungsterme aus anderen Regelwerken be-

rücksichtigt werden. Hierbei ist jedoch ein Bruch mit den sonstigen methodischen Grundlagen der AzB gegeben, da diese Einflüsse auf dem Ausbreitungswege nicht für die innerhalb der AzB geregelten Bodenlärmquellen Rollen und APU berücksichtigt werden. Die gleiche Aussage gilt für die Berücksichtigung von Schallschutzwänden bzw. aus einer Kombination von Schallschutzwänden bestehenden Lärmschutzeinrichtungen (nach oben offene Lärmschutzkabinen). Es wird aktuell keine sinnvolle Möglichkeit zur Berücksichtigung von Lärmschutzhallen in der AzB gesehen, es sei denn mit Hilfe der sehr grob annähernden Richtwirkungsfaktoren.

Die Modellierung von Triebwerksprobeläufen als Anlagengeräusche in ähnlicher Art und Weise wie herkömmliche Bodengeräuschquellen (TA Lärm, ISO 9613-2) ist prinzipiell konsistent möglich. Die Vergleichbarkeit mit allen anderen Bodengeräuschquellen ist ohne weiteres gegeben, nicht aber die wünschenswerte Vergleichbarkeit mit den Flug- und Bodengeräuschen der AzB. Die Berücksichtigung von Lärmschutzhallen ist jedoch auch in diesem Fall ein Problem und nur über Einzelfalluntersuchungen annähernd zu beherrschen.

|                                               | Berechnungsmethodik                                                                                                                                                 |                                                                 |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                               | AzB                                                                                                                                                                 | sonstige Bodenquellen<br>(z. B. ISO 9613-2)                     |
| Quellen                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                 |
| Ausgangsdaten zur<br>Quellenbeschreibung      | ausreichend vorhanden<br>(Start/Landung);<br>für Probeläufe anpassen                                                                                                | lückenhaft;<br>aus AzB umrechenbar                              |
| Richtcharakteristik                           | für Probeläufe anpassen                                                                                                                                             | lückenhaft                                                      |
| Last-Zeit-Profile                             | Klassifizierung mit 4 Laststufen;<br>Vorgaben für Standard-Einwirkdauern;<br>bevorzugt projektbezogene Daten verwenden                                              |                                                                 |
| Häufigkeiten                                  | aus projektbezogenen Angaben zu entnehmen;<br>Standard-Häufigkeiten (z.B. Anzahl Probeläufe in % der Flugbewe-<br>gungen) ohne Flugplatzstatistiken nicht ableitbar |                                                                 |
| Ausbreitungsmodell                            |                                                                                                                                                                     |                                                                 |
| geometrische Ausbreitung;<br>Luftabsorption   | Unterschiede unwesentlich                                                                                                                                           |                                                                 |
| Bodeneffekt bzw.<br>Bodenzusatzdämpfung       | Unterschiede vorhanden, aber nicht entscheidungserheblich                                                                                                           |                                                                 |
| Reflexionen                                   | nicht praktikabel<br>implementierbar                                                                                                                                | enthalten                                                       |
| Meteorologie                                  | nicht praktikabel<br>implementierbar                                                                                                                                | nur Langzeiteffekte mit $c_{met}$                               |
| Ausbreitungshindernisse                       |                                                                                                                                                                     |                                                                 |
| Abschirmung (Wände)                           | z.B. $A_{bar}$ aus ISO 9613;<br>jedoch methodischer Bruch                                                                                                           | enthalten                                                       |
| Abschirmung (Bebauung)                        | z.B. $A_{house}$ bzw. $A_{site}$ aus<br>ISO 9613;<br>jedoch methodischer Bruch                                                                                      | enthalten                                                       |
| Abschirmung (Bewuchs)                         | z. B. $A_{fol}$ aus ISO 9613;<br>jedoch methodischer Bruch                                                                                                          | enthalten                                                       |
| Schallschutzwände                             | wie Wände, s.o.                                                                                                                                                     | enthalten                                                       |
| Schallschutzkabinen<br>(U-förmige Einhausung) | wie Wände, s.o.                                                                                                                                                     | enthalten                                                       |
| geschlossene<br>Schallschutzhallen            | nicht implementierbar                                                                                                                                               | keine Standardmethoden anwend-<br>bar; Einzelfalluntersuchungen |

**Tabelle 7: Vergleich der Anforderungen für eine Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe in Abhängigkeit von der Einordnung in das bestehende Regelwerk**

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Einordnung einer Berechnungsmethodik in den methodischen Rahmen herkömmlicher Bodengeräuschquellen gegenüber der Einordnung in den methodischen Rahmen der AzB eher vorteilhaft gesehen wird. Der wesentliche Nachteil dieser Vorgehensweise ist jedoch die Erzeugung nicht kompatibler Berechnungsergebnisse. Durch die konkrete Ausgestaltung der neuen Berechnungsmethodik sollte deshalb versucht werden, eine möglichst hohe Kompatibilität mit der Methodik der AzB zu erzielen.

### **7.2 Einordnung der neuen Berechnungsmethodik in das Regelwerk zum Lärmschutz**

Bei der Einführung von Vorschriften und Regelungen zur Ermittlung und Beurteilung nachbarschaftlicher Geräuschimmissionen sind gesellschaftliche und damit politische Gesichtspunkte von entscheidender Bedeutung. Geräuschquellen ohne gesellschaftliche Relevanz (z. B. off-shore-Bohrinseln) bedürfen keiner Regelung. Bei anderen Geräuschquellen (z. B. Geräusche spielender Kinder, Glockenläuten) ist eine Reglementierung gesamtgesellschaftlich (politisch) nicht erwünscht. Gerade am Beispiel spielender Kinder ist jedoch vor dem Hintergrund jüngster Gerichtsurteile ersichtlich, dass die diesbezüglichen Randbedingungen einer ständigen Veränderung unterliegen (können).

Die Einbeziehung einer bestimmten Quellenart in ein bestimmtes Regelwerk ist eine Definitionsfrage und mithin eine Frage politischer bzw. juristischer Art. Hierbei stehen häufig andere Interessen als akustische oder sonstige fachliche Gesichtspunkte im Vordergrund. Die notwendige Abgrenzung des Geltungsbereiches eines Regelwerkes hat auch bei anderen Vorschriften zum Immissionsschutz zu fachlichen und politischen Diskussionen geführt. So ist z. B. aus fachlicher Sicht schwer zu verstehen, wieso Pkw-Parkplätze als Anlagenbestandteil eines Einkaufszentrums gemäß TA Lärm wesentlich strenger beurteilt werden als öffentliche Parkplätze auf der Basis der RLS-90.

In ähnlicher Weise ist aus fachlicher Sicht des Autors nicht zu verstehen, warum in der neuen AzB als Bodengeräuschquellen z. B. die auxiliary power unit (APU) der Flugzeuge, nicht aber die ground power unit (GPU) der Flugplatzbetreiber berücksichtigt werden. Und ohne die Besonderheiten der Geräusche von Triebwerksprobeläufen zu verkennen, ist es auch nicht verständlich, warum gerade die Triebwerksprobeläufe, die hinsichtlich ihre Geräuschemission in vielen Fällen durchaus bedeut-

samer als die APU sind, nicht als zugehörig zu den anderen luftfahrzeugbezogenen Bodenlärmquellen angesehen werden.

Unstrittig sollte jedoch sein, dass Triebwerksprobeläufe eine gesellschaftlich relevante Geräuschquelle darstellen, die dringend einer einheitlichen Betrachtungsweise, im Rahmen welchen Regelwerkes auch immer, zugeführt werden muss. Diese Forderung wird durch alle Erfahrungen der vergangenen Jahre, die im Rahmen von Planungen, Genehmigungen für Flugplätze und den hierzu durchgeführten öffentlichen Anhörungs- und Gerichtsverfahren gewonnen wurden, begründet.

Die Einordnung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe ist prinzipiell auf verschiedener Ebene möglich:

- I Ergänzung der AzB auf Grundlage §3, Abs. 2 FluglärmG (Verordnungsermächtigung).
- II Subsummierung unter dem Anlagenbegriff des BImSchG.
- III Rechtsverordnung im Rahmen des § 32 Luftverkehrsgesetz (LuftVG).
- IV Erarbeitung eines technischen Regelwerkes im Rahmen von DIN oder VDI.
- V unverbindliche Empfehlung einer Arbeitsgruppe.

Jede dieser Möglichkeiten enthält unterschiedliche Randbedingungen (Vorteile bzw. Einschränkungen), die die fachliche Ausgestaltung der Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe beeinflussen.

Nach dem erst kürzlich erfolgten Inkrafttreten der neuen AzB im Rahmen einer Rechtsverordnung erscheint eine Ergänzung der AzB (Möglichkeit I) in absehbarer Zeit unrealistisch. Eine Aussetzung des Problems bis zur turnusmäßigen Überarbeitung der Rechtsverordnung ist auf Grund seiner Dringlichkeit nicht ratsam. Es muss deshalb kurzfristig ein anderer Weg der Implementierung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe gefunden werden.

Die Umsetzung im Rahmen einer gesonderten Rechtsverordnung im Rahmen des BImSchG (Möglichkeit II) oder des LuftVG (Möglichkeit III) ist mit aller Wahrscheinlichkeit ebenfalls zu langwierig. Außerdem ist bei einer Umsetzung im Rahmen des BImSchG mit erheblichen juristischen Problemen aufgrund der Kollision mit §2, Abs. 2 BImSchG zu rechnen. Aus fachlicher Sicht werden bezüglich des BImSchG weiterhin deutliche Probleme darin gesehen, dass den berechtigten Forderungen der An-

wohner nach einer Zusammenrechnung der flugplatzverursachten Geräuschemissionen (siehe auch [15]) unüberwindbare methodische Hindernisse entgegenstehen werden (z. B. Ruhezeiten- und Lästigkeitszuschläge, ungünstigste Stunde nachts ...).

Die Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe könnte auch als unverbindliche Empfehlung, z. B. als Vorschlag für eine Leitlinie des Umweltbundesamtes veröffentlicht werden (Möglichkeit V). Dies wäre eine geeignete Möglichkeit für eine **kurzfristige** Umsetzung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe in der Praxis. Die Erfahrungen mit ähnlichen Papieren (z. B. Bayerische Parkplatzlärmstudie [54], Hessische Studie zu Liefergeräuschen auf Verbrauchermärkten [55]) zeigen, dass die jeweiligen Berechnungsverfahren bei Akzeptanz in der Fachwelt umfassend angewendet werden. Hinsichtlich der methodischen Ausgestaltung der Berechnungsvorschrift bestehen weitestgehende Freiheiten.

Der Arbeitsaufwand bei der Umsetzung im Rahmen von DIN- oder VDI-Gremien (Möglichkeit IV) ist bei Beschränkung auf eine Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe vergleichbar mit dem eines unverbindlichen Arbeitspapiers. Wegen der in den DIN-Gremien inhärent sichergestellten Qualitätssicherung sowie wegen der ausgewogenen Berücksichtigung der Interessen aller beteiligten Kreise ist nach Meinung des Autors die Umsetzung im Rahmen einer DIN-Norm der eines einfachen unverbindlichen Arbeitspapiers vorzuziehen. Da bereits auch eine Reihe von anderen fluglärmrelevanten Regelungen im Rahmen des DIN erfolgt sind, wird deshalb an dieser Stelle vorgeschlagen, eine DIN-Norm zu erarbeiten. Um erneutes Stückwerk zu vermeiden, sollte in dieser DIN-Norm jedoch nicht nur die Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe enthalten sein, sondern es sollten alle Bodengeräusche, die in den Grenzen eines Flugplatzes erzeugt werden, geregelt sein. Insofern wäre diese Möglichkeit der Umsetzung eher als **mittelfristige** Lösung zu verstehen.

Unter Beachtung der in Abschnitt 5.1 vorgenommenen Unterscheidung in luftfahrzeuggebundene und nicht luftfahrzeuggebundene Bodengeräuschquellen könnten die Regelungen der neuen AzB zu Roll- und APU-Geräuschen (luftfahrzeuggebundene Quellen) in dieser DIN kollisionsfrei akzeptiert werden und um die Methodik zu Berechnung der Geräuschemissionen, verursacht durch nicht luftfahrzeuggebundene Bodengeräuschquellen (GPU, Vorfeldverkehr, technische Anlagen) auf dem Flugplatzgelände ergänzt werden. Die Triebwerksprobeläufe als luftfahrzeuggebundene Geräuschquelle werden mangels anderweitiger methodischer Regelungen in diese

DIN-Norm mit eingebunden. Bei den vorhandenen methodischen Freiheiten zur Ausgestaltung sollte auf größtmögliche Kompatibilität zur AzB geachtet werden, damit Flug- und Bodenlärm bei Bedarf energetisch zusammengefasst werden können.

Aus fachlicher Sicht des Autors wäre allerdings die **langfristige** Erarbeitung eines einheitlichen Regelwerkes, welches alle Geräusche berücksichtigt, die durch den Betrieb eines Flugplatzes verursacht werden, als Optimallösung anzusehen. Der Vorteil läge darin, dass es sich um ein geschlossenes Regelwerk für sämtliche, durch einen Flugplatz in der Nachbarschaft erzeugten Geräusche handeln würde. Es wäre keine Mehrarbeit durch die Berücksichtigung mehrerer paralleler Verfahrenswege erforderlich. Es gäbe keinen Streit über die Einbeziehung bestimmter Quellen, der Übersichtlichkeit wäre gedient und es gäbe keine methodischen Probleme bei der Zusammenrechnung von Geräuschemissionen unterschiedlicher Regelwerke.

Die methodische Handhabbarkeit der großen Vielzahl von Einzelquellen auf dem Vorfeld ist durch Modellierung von Flächenschallquellen, in die z. B. auch die APU integriert werden könnten, kein wesentliches Problem. Diese Vorgehensweise ist in den Bodenlärmgutachten der vergangenen Jahre gängige und bewährte Praxis. Lediglich die Berücksichtigung von geschlossenen Lärmschutzhallen stellt methodisch noch ein Problem dar, an dem langfristig gearbeitet werden muss.

In den nachfolgenden Abschnitten 7.3 und 7.4 wird die konkrete Umsetzung für eine kurzfristige und eine mittelfristige Lösung im Rahmen der oben beschriebenen Randbedingungen erläutert. Zu einer anzustrebenden langfristigen Umsetzung der oben beschriebenen Optimallösung werden an dieser Stelle keine Ausführungen gemacht, da hierzu die Erfahrungen mit den kurz- bzw. mittelfristigen Lösungen abgewartet werden sollten.

### **7.3 Vorschlag für eine kurzfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe**

Wie im Abschnitt 7.2 dargestellt wurde, bietet sich für eine kurzfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe die Veröffentlichung eines Vorschlages für eine „Leitlinie zur Berechnung von durch Triebwerksprobeläufen auf Flugplätzen verursachten Geräuschemissionen“, welche z. B. vom Umweltbundesamt herausgegeben werden könnte, an. Aus Gründen der möglichst kurzfristigen Umsetzung sollte die Methodik auch nur auf die Geräusche von Triebwerksprobeläu-

fen beschränkt bleiben. Im Zusammenhang mit den Regelungen der neuen AzB wären damit die Bodengeräuschemissionen im engeren Sinne (Luftfahrzeuggebundene Bodengeräusche) abgedeckt. Die Einbeziehung anderer, bisher nicht geregelter Bodengeräuschquellen (Bodengeräuschemissionen im erweiterten Sinne) sollte einer mittel- bzw. langfristigen Bearbeitung vorbehalten bleiben.

Als Grundlage für die Erstellung einer solchen Leitlinie könnte der Änderungsantrag des Landes Niedersachsen zur Ergänzung der AzB um Berechnungsverfahren für Triebwerksprobeläufe dienen [9], welcher im Wortlaut im Anhang dieses Berichtes enthalten ist. Wie zu erkennen ist, stellt dieser Änderungsvorschlag bereits ein nahezu vollständig ausgearbeitetes Werk dar, welches im Wesentlichen nur einer redaktionellen Anpassung an die vorgesehene Veröffentlichungsform bedarf.

Nicht geregelt wird hierin die Berücksichtigung der pegelmindernden Wirkung von Lärmschutzhallen. Dies ist einerseits darin begründet, dass aufgrund der in Abschnitt 6.9 beschriebenen Probleme die Erarbeitung einer Berechnungsmethodik für Lärmschutzhallen kurzfristig nicht möglich ist. Andererseits ist die Baugenehmigung für die wenigen in Deutschland auf Verkehrsflughäfen existierenden Lärmschutzhallen mit großer Wahrscheinlichkeit in jedem Fall mit Auflagen für einzuhaltende Geräuschemissionswerte in der Nachbarschaft verbunden gewesen. Wie im Abschnitt 6.9 dargestellt, sind diese Immissionsbegrenzungen in den konkret bekannten Fällen so streng, dass die Geräuschemissionen der in den Lärmschutzhallen durchgeführten Triebwerksprobeläufe in erster Näherung im Vergleich zu den sonstigen Bodengeräuschen vernachlässigt werden können.

Wenn keine derartigen Auflagen im Rahmen der Errichtung der jeweiligen Lärmschutzhalle existieren, bzw. wenn sonstige Informationen über relevante Immissionsanteile der in der Lärmschutzhalle durchgeführten Triebwerksprobeläufe an bestimmten Immissionsorten in der Nachbarschaft vorliegen (z. B. in Form von Bürgerbeschwerden), sollten die Geräuschemissionen der in Lärmschutzhallen durchgeführten Triebwerksprobeläufe näherungsweise abgeschätzt werden. Hierfür kann ein Näherungsverfahren in Anlehnung bzw. in Erweiterung des in Abschnitt 6.9 beschriebenen Verfahrens mittels Richtwirkungsfaktoren oder aber eine Einzelfalluntersuchung des konkreten Objektes (eventuell verbunden mit Messungen) eingesetzt werden.

## 7.4 Vorschlag für eine mittelfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe

### 7.4.1 Allgemeines

Nachfolgend wird auf der Basis der Informationen der vorangegangenen Abschnitte eine Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe sowie für die sonstigen relevanten Bodengeräuschquellen hinsichtlich der Modellbildung verbal beschrieben. Das dazu gehörige Formelwerk ist vollständig bekannt und in den entsprechenden Quellenreferenzen ausführlich erläutert. Da eine wesentliche Empfehlung der vorliegenden Untersuchung die mittelfristige Erarbeitung einer DIN-Norm für **alle** nicht in der AzB behandelte Bodenlärmquellen auf einem Flugplatzgelände betrifft, wird vorerst auch auf eine textliche Ausformulierung der Berechnungsvorschrift verzichtet.

Die Berücksichtigung der sonstigen Bodengeräuschquellen auf Flugplätzen (Bodengeräuschquellen im erweiterten Sinne) im Rahmen einer Berechnungsvorschrift für Geräuschimmissionen war nicht Gegenstand der Aufgabenstellung. Für die Erarbeitung einer Berechnungsmethodik, die diese Bodenlärmquellen mit den Triebwerksprobeläufen zusammenführt, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Nachfolgend wird deshalb nur der prinzipielle Aufbau der Berechnungsmethodik in Bezug auf Triebwerksprobeläufe beschrieben.

### 7.4.2 Quellenbeschreibung

Der Standort der Triebwerksprobeläufe ist akustisch als Punktquelle zu modellieren. Die Quellenkoordinaten sind dreidimensional mit geografischen x- und y-Koordinaten (wegen der AzB-Kompatibilität als UTM-Koordinaten, ETRS 89) sowie mit der Höhe des Triebwerks über Grund als z-Koordinate anzugeben.

Die z-Koordinate kann für Gruppen ähnlicher Luftfahrzeugmuster klassifiziert angegeben werden. Hierzu sowie auch für die emissionsrelevanten Ausgangsdaten kann die Klassifizierung der Luftfahrzeuggruppen der AzB verwendet werden. Diese Klassifizierung hat sich bewährt, ist in der Vergangenheit ständig fortgeschrieben worden und es bestehen nach Ansicht des Autors keine Hindernisse für die prinzipielle Anwendung dieser Klassifizierung für Triebwerksprobeläufe. Die zwischen Triebwerksprobeläufen von Flugzeugen mit Strahltriebwerken, Turboprop- und Kolbenmotoren bestehenden Unterschiede erscheinen nicht so gravierend, dass hierfür unterschied-

liche Regelungen für eine Berechnungsmethodik zu treffen wären. Natürlich sind die von der Antriebsart bedingten emissionsrelevanten Einflussfaktoren (Schallleistung, Richtcharakteristik, Last-Zeit-Profil) zu beachten.

In die Punktquelle des Berechnungsmodells wird die Emission aller Triebwerke des jeweiligen Flugzeuges konzentriert angenommen. Die durch die in der Realität abweichende Lage der Triebwerke hervorgerufenen Fehler werden vernachlässigt.

Die sonstigen emissionsrelevanten Ausgangsdaten sind: durchschnittliche Anzahl der Probeläufe pro Luftfahrzeuggruppe und pro Tag (getrennt nach 16 Tagesstunden und 8 Nachtstunden), durchschnittliche Dauer der Probeläufe, differenziert nach den Laststufen idle, part power low, part power high und max power sowie differenziert nach Testtriebwerk und Balance-Triebwerk bzw. sonstige Triebwerke (z. B. bei vier-motorigen Probeläufen).

Wegen der Konzentration der Geräuschemission aller Triebwerke in einer Punktquelle können die Zeitanteile der einzelnen, in den jeweiligen Laststufen gefahrenen Triebwerke addiert werden. Die zeitgewichtete Schallleistung aller Laststufen kann energetisch addiert werden. Für die Zeitanteile der einzelnen Laststufen sollten Standardwerte vorgegeben werden, welche sich an den längsten, bisher bekannten Zeiten orientieren. Es sollte jedoch eine Bevorzugung von aktuell für den jeweiligen Flugplatz ermittelten projektbezogenen Zeiten erfolgen. Die Ermittlung der für die einzelnen Luftfahrzeuggruppen zu berücksichtigenden Anzahl der Triebwerksprobeläufe sind ohnehin nur projektbezogen ermittelbar.

Die Schallleistung der einzelnen Laststufen kann aus den akustischen Emissionsdaten der AzB abgeleitet werden. Alternativ kann auch die mathematische Beschreibung des Emissionsansatzes des Vorschlages des Landes Niedersachsen [9] angewendet werden.

Eine Übernahme der Richtcharakteristika der einzelnen Luftfahrzeuggruppen der AzB wird nicht befürwortet. Hierbei ist nicht die grundsätzliche Vorgehensweise der AzB mittels Koeffizienten einer Reihenentwicklung zu bemängeln (allenfalls die Anzahl der Koeffizienten ist diskussionswürdig). Im Gegenteil, diese Vorgehensweise hat deutliche Vorteile im Vergleich zu einer mit nur wenig Stützstellen (teilweise nur 6 Messpunkte im Halbkreis) messtechnisch ermittelten Richtcharakteristik. Die wenigen Beispiele des Abschnitts 6.6 haben jedoch gezeigt, dass die in der AzB enthal-

tenen Datensätze für Landanflug und Start deutliche Abweichungen zu den Richtwirkungen bei idle und max power am Boden aufweisen. Hier ist weiterer Aufwand zur Schaffung der nötigen Datengrundlage erforderlich.

### 7.4.3 Ausbreitungsmodell

Für eine kurzfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe (siehe Abschnitt 7.3) ist aus Gründen der weitestgehenden Kompatibilität mit der AzB das Ausbreitungsmodell der AzB zu bevorzugen. Die AzB ist jedoch in erster Linie für Geräuschquellen entwickelt worden, die sich in mehr oder weniger großen Höhen in der Luft befinden. Für eine mittelfristige Umsetzung einer Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe in einem Regelwerk, in dem auch andere Bodengeräuschquellen berücksichtigt werden sollen, ist ein Ausbreitungsmodell, welches eine relativ einfache Handhabung von Flächenquellen sowie von Abschirmungen, Hindernissen und Reflexionen auf dem Ausbreitungswege am Boden erlaubt, vorzuziehen. Unter diesen Randbedingungen überwiegen die Vorteile der ISO 9613-2 gegenüber ihren Nachteilen (Unsicherheiten bei großen Entfernungen). Reflexionen sind für den Fall der Geräuschimmissionen von Triebwerksprobeläufen aufgrund der hierbei vorherrschenden relativ großen Entfernungen zwischen Quellen, Immissionsorten und reflektierenden Hindernissen eher unbedeutend, können im Ausbreitungsmodell der ISO 9613-2 jedoch problemlos mit berücksichtigt werden.

Ausbreitungsrelevant sind weiterhin meteorologische Einflüsse. Meteorologische Einflüsse haben, vor allem bei großen Entfernungen, deutliche Wirkung, können im Rahmen der AzB gar nicht und in der ISO 9613-2 nur sehr pauschal ( $c_{\text{met}}$ ) berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse würde die Anwendung eines in Deutschland derzeit nicht standardisierten Ausbreitungsmodells bedeuten. Im Hinblick auf eine langfristige Verbesserung des Methodeninventars, insbesondere zur Verbesserung der Aussagegenauigkeit bei größeren Entfernungen, erscheint es jedoch durchaus Erfolg versprechend, den Einsatz alternativer Ausbreitungsmodelle, z. B. der Nord2000, zu untersuchen.

### 7.4.4 Abschirmungen und Lärmschutzeinrichtungen

Die in einigen Bodenlärmgutachten erfolgte Vernachlässigung der abschirmenden Wirkungen von Hindernissen wird der Problematik bei Triebwerksprobeläufen nach Auffassung des Autors nicht gerecht. Bereits die teilweise recht hohe Bebauung auf

Flugplätzen kann eine Abschirmung bewirken. Die Abschirmwirkung von Lärmschutzwänden bzw. von nach oben offenen Lärmschutzkabinen ist in größeren Entfernungen sicherlich nicht sehr hoch, jedoch auch nicht vernachlässigbar gering.

Es wird deshalb vorgeschlagen, in die Berechnungsmethodik für Triebwerksprobeläufe die Abschirmung von Hindernissen entsprechend ISO 9613-2 bzw. VDI 2720 zu berücksichtigen. Der methodische Bruch mit der AzB wird aus folgenden Gründen für vertretbar gehalten:

- APU-Geräusche und Rollgeräusche spielen im Vergleich zum Fluglärm und zu den Geräuschen von Triebwerksprobeläufen nur in Sonderfällen eine wesentliche Rolle.
- Rollgeräusche können durch abschirmende Maßnahmen aufgrund der hierbei zu beachtenden Hindernisfreiheit nicht effektiv gemindert werden.

Lärmschutzhallen, d. h. weitestgehend geschlossene Umhausungen des Flugzeuges können derzeit nur im Rahmen von Einzelfalluntersuchungen berücksichtigt werden. Eine generalisierende Methodik zur Modellierung einer solchen Halle ist derzeit nur mit erheblichem Forschungsaufwand erarbeitbar. Falls diese Arbeit im Rahmen der neuen Berechnungsmethodik nicht geleistet werden kann, bleibt auch hier nur die bereits im Abschnitt 7.3 beschriebene Überprüfung der eventuell möglichen Vernachlässigung bzw. der Abschätzung im Rahmen von Einzelfalluntersuchungen.

### 7.4.5 Berechnete Kenngrößen

Als akustische Kenngrößen werden der energieäquivalente Dauerschallpegel sowie die Maximalpegelverteilung (NAT-Kriterien) berechnet.

Zuschläge für Impulshaltigkeit ( $L_{AFTm}$ ), für Ton- und Informationshaltigkeit sowie für besondere Ruhezeiten werden nicht vergeben. Es wird zwar eingeschätzt, dass die Geräusche von Triebwerksprobeläufen in gewissem Umfang tonhaltig sein können, jedoch wird aus Gründen der Kompatibilität mit der Methodik der AzB auf einen entsprechenden Zuschlag verzichtet. Eine gesonderte Berücksichtigung von Impulshaltigkeit bzw. Informationshaltigkeit ist aufgrund der Geräuschcharakteristik nicht relevant. Die beim Triebwerksprobelauf verursachten Maximalpegel werden in der Maximalpegelverteilung ermittelt.

Die Beurteilungszeiten sind tags 6:00 bis 22:00 Uhr und nachts 22:00 bis 6:00 Uhr. Sonn- und Feiertage werden wie im Fluglärmgesetz nicht gesondert betrachtet. Hierdurch ist auch eine Vergleichbarkeit mit den Berechnungsmethodiken für die anderen Verkehrsträger gegeben.

## Literaturverzeichnis

1. Gesetz zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen. 01.06.2007, BGBl. I, S. 986
2. Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm vom 30.12.2008, BGBl. I S. 2980
3. Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD). 23.12.2008, BAnz. Nr. 195a
4. Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB). 23.12.2008, BAnz. Nr. 195a
5. VDI 2714 Schallausbreitung im Freien. 1988
6. VDI 2720 Schallschutz durch Abschirmung im Freien. 1997
7. VDI 2571 Schallabstrahlung von Industriebauten. 1976
8. DIN ISO 9613-2 Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. 2000
9. Antrag des Landes Niedersachsen zur 847. Sitzung des Bundesrates am 19.09.2008 zur Änderung der Ersten Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (1. FlugLSV). Drucksache 566/08
10. Niederschrift 591 des Verkehrsausschusses des Bundesrates, TOP 12 vom 03.09.2008
11. Niederschrift 262 des Umweltschusses des Bundesrates, TOP 21 vom 04.09.2008
12. THOMANN, G.:  
Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen. Dissertation Eidgenössische Technische Hochschule Zürich 2000
13. Ausbau Flughafen Frankfurt Main. Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren, Gutachten G 10.1, Teil B, Roll- und Bodenlärmuntersuchung. Planungsgemeinschaft BeSB - Obermeyer, München 31.10.2006
14. European Civil Aviation Conference Doc. 29, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, 3<sup>rd</sup> edition 07.12.2005
15. BVerwGE 101, 1.
16. Beurteilung der Lärmbelastung von Triebwerkstandläufen. Schweizerische Eidgenossenschaft - Bundesamt für Umwelt BAFU, Referenz/Aktenzeichen H442-1073
17. Balance - Das Wichtigste zu Umweltschutz und Nachhaltigkeit bei der Lufthansa. Ausgabe 2003. Deutsche Lufthansa AG

18. Umwelterklärung 2005. Flughafen Hamburg GmbH
19. Ausbau Flughafen Schönefeld. Gutachten M 5, Einfluß bodengebundener Operationen von Flugzeugen auf die Gesamtlärmbelastung. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Strömungsmechanik, 15.02.2000
20. Flughafen Frankfurt-Hahn, Planfeststellungsverfahren Verlängerung der Start- und Landebahn. Gutachten C 6, Technisches Lärmgutachten - Bodenlärm, BeSB, Berlin 01.07.2003
21. Flughafen Leipzig-Halle, Planfeststellung Start- und Landebahn Süd mit Vorfeld. Bodenlärmgutachten. cdf Schallschutz, Dresden 22.09.2003 mit Ergänzungen vom 07.04.2004 und 20.04.2007
22. Flughafen Hof-Plauen, Planfeststellungsverfahren Erweiterung. Bodenlärmgutachten, KSZ Ingenieurbüro, Berlin 17.11.2004
23. Flughafen Braunschweig, Planfeststellungsverfahren Ausbau. Bodenlärmgutachten, KSZ Ingenieurbüro, Berlin 14.04.2005
24. Militärischer Flugplatz Spangdahlem, Änderungsgenehmigungsverfahren. Bodenlärmgutachten, KSZ Ingenieurbüro, Berlin 03.07.2001
25. Militärischer Flugplatz Ramstein, Änderungsgenehmigungsverfahren. Bodenlärmgutachten, KSZ Ingenieurbüro, Berlin 15.04.2002
26. Militärischer Flugplatz Wunstorf, Ausbau für das Transportflugzeug Airbus A 400 M. Bodenlärmgutachten, KSZ Ingenieurbüro, Berlin 05.12.2006
27. OTL Bähr, Führungsstab der Luftwaffe, Umweltabteilung. persönliche Mitteilung
28. [www.boeing.com/commercial/noise/updates.html](http://www.boeing.com/commercial/noise/updates.html)
29. A380-Werft Flughafen Frankfurt Main, Planfeststellungsverfahren Erweiterungsmaßnahmen für die Wartung von A380 Flugzeugen (A380-Werft). Gutachten G 6.2, Schalltechnische Untersuchung Bodenlärm, Obermeyer Planen und Beraten, Frankfurt am Main, 08.05.2003
30. Herr Kraft, Aerodata Braunschweig GmbH, persönliche Mitteilung
31. Flughafen Berlin-Tegel, Bodenlärmgutachten, KSZ Ingenieurbüro, Berlin 26.03.2002
32. BAYR, M.: Untersuchung über den Einsatz von Lärmschutzeinrichtungen bei Triebwerksprobeläufen am Verkehrslandeplatz Mönchengladbach. Umweltbundesamt, Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben 105 05 401/04, August 1983
33. Dr. Vogelsang, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, persönliche Mitteilung

34. Flughafen Hamburg, Planfeststellungsverfahren Vorfeld 2, Lärmphysikalisches Gutachten Bodenlärm. Masuch und Olbrisch Beratende Ingenieure, Hamburg, 17.12.1996
35. SCHMID, R.: Physikalische Modellierung der Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Nebenstromtriebwerken. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Forschungsbericht 1999-47, Göttingen 1999
36. DIN 45635-1 Geräuschmessung an Maschinen. Luftschallemission - Hüllflächenverfahren - Rahmenverfahren für 3 Genauigkeitsklassen. April 1984
37. EN ISO 3744 - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene. September 1995
38. BAYR, M.: Planungshandbuch für die Konzeption von Lärmschutzeinrichtungen für Triebwerksprobeläufe an Landeplätzen. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 105 05 401/04, August 1983
39. VOGEL, G.; SCHWÄCKE, P.: Untersuchung über die Wirksamkeit von Lärmschutzeinrichtungen für Triebwerksprobeläufe an Flughäfen. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 80-105 05 401/01, Oktober 1985
40. DIN 45643-1 Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen - Mess- und Kenngrößen. Oktober 1984
41. DIN 45681 Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen. März 2005 und Berichtigung 1 von August 2005
42. Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998
43. Herr Meyer, LSB Gesellschaft für Schallschutz mbH, persönliche Mitteilung
44. Preliminary Investigations for Options of Reducing Ground Noise at the Ramstein Military Air Base. KSZ Ingenieurbüro, Berlin April 2003 (unveröffentlicht)
45. Flugplatz Ramstein - Nachweis der Wirksamkeit des C-130 indoor-Propellerteststandes. KSZ Ingenieurbüro, Berlin 2005 (unveröffentlichter Messbericht)
46. Lärmbekämpfung '88. Umweltbundesamt (Hrsg.). Erich Schmidt Verlag Berlin 1989
47. Geräuschimmissionsmessungen im Einwirkungsbereich der Lärmschutzhalle für Triebwerksprobeläufe des Flughafens Hamburg. Schalltechnischer Messbe-

- richt Nr. 02-02-1. Ingenieurbüro für Schallschutz Dipl.-Ing. Volker Ziegler, Mölln  
18.01.2002
48. VDI 3760 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen.  
Februar 1996
49. Weniger Lärm bei Triebwerkstandläufen - Die Lärmschutzhalle. Informations-  
broschüre Rhein-Ruhr Flughafen Düsseldorf
50. HIRSCH, K.-W.: Aspekte eines technischen Schallausbreitungsmodells für  
große Entfernungen. Fortschritte der Akustik DAGA `06, Band II S. 651-652
51. IMAGINE - Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of  
Noise in the Environment. Bericht IMA10TR-040423 AEATNL32 vom  
14.10.2004
52. Nordic Environmental Noise Prediction Methods, Nord2000, Summary Report.  
Nordic Noise Group 31.12.2001, revised 30.06.2002
53. Herr Schaal, Braunstein & Berndt GmbH, persönliche Mitteilung
54. Untersuchung von Schallemissionen aus Parkplätzen, Autohöfen und Omni-  
busbahnhöfen sowie von Parkhäusern und Tiefgaragen (Parkplatzlärmstudie)  
Schriftenreihe Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, 6. Auflage 2007
55. Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemission durch Lastkraft-  
wagen auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern, Spediti-  
onen und Verbrauchermärkten sowie weiterer typischer Geräusche insbeson-  
dere von Verbrauchermärkten. Umwelt und Geologie - Lärmschutz in Hessen,  
Heft 3, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2005
56. Mediationsverfahren Flughafen Frankfurt/Main – Landebahn Nord des Flugha-  
fens Frankfurt/Main – Rolllärmuntersuchung für die Varianten 9a und 9b.  
Obermeyer Planen + Beraten, München 13.01.2000

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Last-Zeit-Profile verschiedener Untersuchungen an Zivilflughäfen .....                                                                                                         | 27 |
| Tabelle 2: Durchschnittliche und maximale Dauer (in Klammern) von<br>Probeläufen verschiedener militärischer Luftfahrzeuge<br>(Angaben in min; n: Anzahl der jeweiligen Probeläufe) ..... | 28 |
| Tabelle 3: Geräuschemission bei Triebwerksprobeläufen .....                                                                                                                               | 31 |
| Tabelle 4: Tonhaltigkeit bei unterschiedlichen Randbedingungen.....                                                                                                                       | 46 |
| Tabelle 5: Tonhaltigkeit in Abhängigkeit von Flugzustand und Messentfernung<br>bei unterschiedlichen Luftfahrzeugen .....                                                                 | 47 |
| Tabelle 6: Tonhaltigkeit bei Triebwerksprobeläufen von militärischen<br>Transportflugzeugen.....                                                                                          | 47 |
| Tabelle 7: Vergleich der Anforderungen für eine Berechnungsmethodik für<br>Triebwerksprobeläufe in Abhängigkeit von der Einordnung in das<br>bestehende Regelwerk.....                    | 66 |

## Bildverzeichnis

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1: Pegel-Zeitverlauf bei einem Probelauf eines Strahlflugzeuges<br>in ca. 100 m Entfernung.....                                       | 24 |
| Bild 2: Pegel-Zeitverlauf bei unterschiedlichen Lastzuständen<br>in ca. 50 m Entfernung.....                                               | 25 |
| Bild 3: Frequenzabhängige Geräuschemission bei einem Triebwerkprobelauf<br>einer C-5 „Galaxy“.....                                         | 33 |
| Bild 4: Richtcharakteristik Airbus-Familie bei Maximallast am Boden.....                                                                   | 36 |
| Bild 5: Richtcharakteristik Airbus-Familie bei Leerlaufschub am Boden<br>(ground idle).....                                                | 37 |
| Bild 6: Frequenzabhängige Richtcharakteristik dargestellt am Beispiel A321<br>mit Triebwerk V2500-A5 [13] .....                            | 38 |
| Bild 7: Richtcharakteristik in Abhängigkeit unterschiedlicher Laststufen<br>dargestellt am Beispiel A321 mit Triebwerk V2500-A5 [13] ..... | 39 |
| Bild 8: Richtcharakteristik eines Turbopropflugzeuges C-130 für<br>unterschiedliche Laststufen .....                                       | 40 |
| Bild 9: Richtcharakteristik verschiedener Kampfflugzeuge für<br>unterschiedliche Laststufen .....                                          | 41 |
| Bild 10: Tonhaltigkeit beim Triebwerksprobelauf .....                                                                                      | 44 |
| Bild 11: Tonhaltigkeit bei Landeanflug eines Strahlflugzeuges A 319.....                                                                   | 44 |
| Bild 12: Pegel-Zeitverlauf bei einem Probelauf eines Turbopropflugzeuges<br>C-130 in 60 m Entfernung.....                                  | 51 |
| Bild 13: Schallschutzhalle Flughafen Leipzig-Halle.....                                                                                    | 54 |
| Bild 14: Prinzipdarstellung einer Lärmschutzhalle für Kampfflugzeuge<br>(Quelle: Firmenprospekt G+H Schallschutz GmbH) .....               | 56 |
| Bild 15: Beispiel für die Berücksichtigung von Lärmschutzhallen mittels<br>Richtwirkungsfaktoren.....                                      | 58 |
| Bild 16: Berechnungsunterschiede unterschiedlicher Ausbreitungsmodelle .....                                                               | 62 |

## **Anhang**

Vorschlag des Landes Niedersachsen für die 847. Sitzung des Bundesrates  
zur Änderung der AzB

262 / TOP 21 / NI 3

**Antrag**

des Landes Niedersachsen

zur

**1. FlugLSV / Ergänzung Triebwerksprobeläufe**

**BR-Drs. 566/08**

**1. FlugLSV:**

- Am Ende von § 2, Abs. 1 der 1 FlugLSV werden nach dem Wort „Flugzeuge“ die Wörter „und Triebwerksprobeläufe“ eingefügt.

**Anlage 1 (AzD):**

- S. 47: Einschub hinter Abschnitt 5.4.2.3

5.4.2.4 Triebwerksprobeläufe

5.4.2.4.1 Koordinaten der Triebwerksprobelaufposition (UTM32/33 (ETRS89))

|  |
|--|
|  |
|--|

|  |
|--|
|  |
|--|

**5.4.2.4.2 Betriebsdaten**

| Luftfahrzeug-<br>gruppe | Anzahl der Trieb-<br>werksprobeläufe<br><br>Tag<br>(06.00 bis 22.00 Uhr) | Anzahl der Trieb-<br>werksprobeläufe<br><br>Nacht<br>(22.00 bis 06.00 Uhr) | Dauer der Laststufe [s] |         |         |         |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|
|                         |                                                                          |                                                                            | Stufe 1                 | Stufe 2 | Stufe 3 | Stufe 4 |
| P 1.4                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| P 2.1                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| P 2.2                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 1.0                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 1.1                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 1.2                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 1.3                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 2                     |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 3.1                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 3.2                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 4                     |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 5.1                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 5.2                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 5.3                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 6.1                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 6.2                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 6.3                   |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 7                     |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S 8                     |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |

| Luftfahrzeug-<br>gruppe | Anzahl der Trieb-<br>werksprobeläufe<br><br>Tag<br>(06.00 bis 22.00 Uhr) | Anzahl der Trieb-<br>werksprobeläufe<br><br>Nacht<br>(22.00 bis 06.00 Uhr) | Dauer der Laststufe [s] |         |         |         |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|
|                         |                                                                          |                                                                            | Stufe 1                 | Stufe 2 | Stufe 3 | Stufe 4 |
| P-MIL 2                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S-MIL 1                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S-MIL 2                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S-MIL 3                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S-MIL 4                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S-MIL 5                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| S-MIL 6                 |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |
| insgesamt               |                                                                          |                                                                            |                         |         |         |         |

S. 17: Einschub hinter der Erläuterung „zu Abschnitt 5.4.2.3“

**„Zu Nr. 5.4.2.4:**

Für die Modellierung der Triebwerksprobeläufe sind in das Datenerfassungssystem die Koordinaten der Positionen der Luftfahrzeuge, an denen Triebwerksprobeläufe durchgeführt werden, bezogen auf Gitter-Nord (UTM-Abbildung, entsprechend der Lage des Flugplatzes in Zone 32 oder 33 (Mittelmeridian 9° oder 15°), Ellipsoid GRS80, Datum ETRS89), einzutragen.

Darüber hinaus ist für die einzelnen Luftfahrzeuggruppen der Nutzungsumfang der Triebwerksprobeläufe während der Beurteilungszeit (180 Tage) anzugeben. Dabei ist zwischen Tag und Nacht zu unterscheiden.

In der AzB werden unter Abschnitt 7.4.1 folgende Standardwerte für die Laststufendauern verwendet:

- Laststufe 1 (Volllast): 120 s
- Laststufe 2 (hohe Teillast): 600 s

- Laststufe 3 (niedrige Teillast): 600 s
- Laststufe 4 (Leerlauf): 2280 s

Angaben zum Nutzungsumfang der Triebwerksprobeläufe sind deshalb im Datenerfassungssystem nur erforderlich, wenn an einem Flugplatz davon abweichende Informationen – bezogen auf den Prognosezeitraum – vorliegen.

### Anlage 2 (AzB):

- S. 40: Einschub hinter Abschnitt 7.3

### **7.4 Berechnung der Beiträge von Triebwerksprobeläufen**

Triebwerksprobeläufe werden zur Überprüfung oder Wartung der Triebwerke der Luftfahrzeuge auf dem Flugplatzgelände durchgeführt. Sie erfolgen in mehreren Phasen (Laststufen), die sich hinsichtlich der Dauer und der Triebwerksleistung unterscheiden. In der AzB werden diese Parameter für eine durch den Index  $m$  gekennzeichnete Laststufe durch folgende Größen beschrieben:

|              |                                               |
|--------------|-----------------------------------------------|
| $t_{TW,m}$   | Dauer der Laststufe $m$ [s],                  |
| $O_{TW,n,m}$ | Oktavschalldruckpegel der Laststufe $m$ [dB], |
| $Z_{TW,m}$   | Zusatzpegel der Laststufe $m$ [dB].           |

Die AzB unterscheidet folgende vier Laststufen:

- Laststufe 1 (Volllast)
- Laststufe 2 (hohe Teillast)
- Laststufe 3 (niedrige Teillast)
- Laststufe 4 (Leerlauf).

Die Laststufendauern  $t_{TW,m}$  sind Nr. 5.4.2.4.2 DES zu entnehmen. Sofern für eine Laststufe die Dauer Null gesetzt ist, wird diese Laststufe im Rahmen eines Probelaufes nicht gefahren.

### Anmerkung 1:

Sofern im DES keine Dauern der Laststufe  $m$  angegeben sind, gelten die folgenden Werte:  $t_{TW,1} = 120$  s,  $t_{TW,2} = 600$  s,  $t_{TW,3} = 600$  s und  $t_{TW,4} = 2280$  s.

Als Oktavpegel  $O_{TW,n}$  für die Laststufen 1 und 2 werden die Oktavpegel  $O_n$  der Abflugdatensätze (Datensatz Nr. (1) der Datenblätter nach Abschnitt 5.3) zu Grunde gelegt. Für die Laststufen 3 und 4 sind die Oktavpegel der Anflugdatensätze zu benutzen.

Die Zusatzpegel  $Z_{TW,m}$  für die Laststufen sind Tabelle 10 zu entnehmen.

| Luftfahrzeug-<br>gruppe | Zusatzpegel für die Laststufe [dB] |         |         |         |
|-------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|
|                         | Stufe 1                            | Stufe 2 | Stufe 3 | Stufe 4 |
| P 1.4                   | 0                                  | -5      | 0       | -7      |
| P 2.1                   | 0                                  | -2      | 0       | -7      |
| P 2.2                   | 0                                  | -1      | 0       | -7      |
| S 1.0                   | 3                                  | 0       | 0       | -7      |
| S 1.1                   | 3                                  | 0       | 0       | -7      |
| S 1.2                   | 3                                  | 0       | 0       | -7      |
| S 1.3                   | 3                                  | 0       | 0       | -7      |
| S 2                     | 3                                  | 0       | 0       | -7      |
| S 3.1                   | 0                                  | -3      | 0       | -7      |
| S 3.2                   | 0                                  | -3      | 0       | -7      |
| S 4                     | 3                                  | 1,5     | 0       | -7      |
| S 5.1                   | 0                                  | -1      | 0       | -7      |

| Luftfahrzeug-<br>gruppe | Zusatzpegel für die Laststufe [dB] |         |         |         |
|-------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|
|                         | Stufe 1                            | Stufe 2 | Stufe 3 | Stufe 4 |
| S 5.2                   | 0                                  | -3      | 0       | -7      |
| S 5.3                   | 0                                  | -2      | 0       | -7      |
| S 6.1                   | 0                                  | -2,5    | 0       | -7      |
| S 6.2                   | 0                                  | -3      | 0       | -7      |
| S 6.3                   | 0                                  | -2      | 0       | -7      |
| S 7                     | 0                                  | -4,5    | 0       | -7      |
| S 8                     | 0                                  | -4,5    | 0       | -7      |
| P-MIL 2                 | 0                                  | -2      | 0       | -7      |
| S-MIL 1                 | 3                                  | 1,5     | 0       | -7      |
| S-MIL 2                 | 0                                  | -6      | 0       | -7      |
| S-MIL 3                 | 4,5                                | -1,5    | 0       | -7      |
| S-MIL 4                 | 0                                  | -6      | 0       | -7      |
| S-MIL 5                 | 0                                  | -2      | 0       | -7      |
| S-MIL 6                 | 0                                  | -6      | 0       | -7      |

Tabelle 10: Werte des Zusatzpegels  $Z_{TW,m}$  für die vier Laststufen bei Triebwerksprobeläufen

Der AS-bewertete Schalldruckpegel  $L_{PAS,m}$  durch Triebwerksprobeläufe bei eingestellter Laststufe  $m$  ergibt sich aus den Oktavpegeln  $O_n$  der jeweiligen Luftfahrzeugklasse nach folgender Gleichung:

$$L_{pAS,m} = 10 \lg \left( \sum_{n=1}^8 10^{0,1 \cdot (L_{n,m} + A_n)} \right) \text{ dB} \quad (48)$$

mit

$$L_{n,m} = L_{W,n,m} + D_{I,n} + D_s + D_{L,n} + D_{Z,n} + D_{\Omega} \text{ dB} \quad (49)$$

und

$$L_{W,n,m} = O_{TW,n,m} + Z_{TW,m} - D_s(s_{On}) - D_{L,n}(s_{On}) - D_{\Omega,0} \text{ dB} \quad (50)$$

wobei:

|                |                                                                       |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| n              | laufende Oktavbandnummer                                              |
| $A_n$          | Frequenzkorrektur für die A-Bewertung für das n-te Oktavband          |
| $L_{W,n}$      | Schallleistungspegel des Hilfstriebwerks für das n-te Oktavband       |
| $O_{TW,n,m}$   | Oktavschalldruckpegel für Laststufe m und Bezugsentfernung $s_{On}$   |
| $Z_{TW,m}$     | Zusatzpegel für die Laststufe m                                       |
| $D_{\Omega,0}$ | Raumwinkelmaß für Bezugsbedingungen ( $D_{\Omega,0} = 3 \text{ dB}$ ) |
| $D_s$          | Abstandsmaß                                                           |
| $D_{L,n}$      | Luftabsorptionsmaß für das n-te Oktavband                             |
| $D_{Z,n}$      | Bodendämpfungsmaß für das n-te Oktavband                              |

Der durch Triebwerksprobeläufe der Luftfahrzeuggruppe k an der Probelaufposition l an einem Immissionsort hervorgerufene äquivalente Dauerschallpegel  $L_{pAeq,TW,Tr}$ , bezogen auf die Beurteilungszeit  $T_r$ , ergibt sich durch einen dreifachen Summationsprozess:

1. Summation über alle  $N_{TW}$  Triebwerksprobelaufpositionen
2. Summation über alle  $N_{Lk}$  Luftfahrzeuggruppe
3. Summation über alle  $N_{LS}$  Laststufen

$$L_{pAeq,TW,Tr} = 10 \lg \left[ g_r \cdot \frac{T_0}{T_E} \sum_{l=1}^{N_{TW}} \sum_{k=1}^{N_{Lk}} \sum_{m=1}^{N_{LS}} n_{Tr,TW,k,l} 10^{L_{pAS,TW,k,l,m}(s_l)/10} \cdot t_{TW,k,m} \right] \quad (51)$$

mit:

|                         |                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_{pAS,TW,k,l,m}(s_l)$ | AS-bewerteter Schalldruckpegel, der am Immissionsort durch die Laststufe $m$ eines Triebwerksprobelaufes der Luftfahrzeuggruppe $k$ auf einer Triebwerksprobelaufposition $l$ erzeugt wird |
| $T_E$                   | Erhebungszeit ( $T_E = 1,5552 \cdot 10^7$ s, d. h. 180 Tage)                                                                                                                               |
| $g_r$                   | Gewichtsfaktor zur Umrechnung der Erhebungszeit auf die Beurteilungszeit (1,5 für tags und 3 für nachts)                                                                                   |
| $t_{TW,k,m}$            | Dauer der Laststufe $m$ eines Triebwerksprobelaufs der Luftfahrzeuggruppe $k$                                                                                                              |
| $n_{Tr,TW,k,l}$         | Anzahl der Triebwerksprobelaufe der Luftfahrzeuggruppe $k$ auf der Triebwerksprobelaufposition $l$ während der Beurteilungszeit $T_r$ innerhalb der Erhebungszeit $T_E$                    |
| $s_l$                   | Entfernung der Triebwerksprobelaufposition $l$ vom Immissionsort                                                                                                                           |
| $l = 1, \dots, N_{TW}$  | laufender Index über die Triebwerksprobelaufposition                                                                                                                                       |
| $k = 1, \dots, N_{Lk}$  | laufender Index über die Luftfahrzeuggruppe                                                                                                                                                |
| $m = 1, \dots, N_{LS}$  | laufender Index über die Laststufen                                                                                                                                                        |

Der durch einen Triebwerksprobelauf der Luftfahrzeuggruppe  $k$  an der Probelaufposition  $l$  an einem Immissionsort hervorgerufene AS-bewertete Maximalschalldruckpegel  $L_{pAS,max,TW,k,l}$  ergibt sich aus dem bei Vollaststufe erzeugten AS-bewerteten Schalldruckpegel:

$$L_{pAS,max,TW,k,l} = L_{pAS,TW,k,l,m=1} \quad \text{dB} \quad (52)$$

mit

|                      |                                                                                                                                                                         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_{pAS,max,TW,k,l}$ | größter am Immissionsort durch einen Triebwerksprobelauf der Luftfahrzeuggruppe $k$ an der Probelaufposition $l$ hervorgerufener AS-bewerteter Schalldruckpegel         |
| $L_{pAS,TW,k,l,m}$   | am Immissionsort durch einen Triebwerksprobelauf der Luftfahrzeuggruppe $k$ bei Laststufe 1 an der Probelaufposition $l$ hervorgerufener AS-bewerteter Schalldruckpegel |

### Anmerkung 2:

Die Dämpfung aufgrund von Abschirmung wird nach DIN ISO 9613-2:1999, Abschnitt 7.4, berechnet. Bei der Berechnung der Abschirmwirkung durch Hindernisse bei Triebwerksprobeläufen im Freien (z. B. Wällen) ist zu beachten, dass bei Beugung an der Oberkante eines Hindernisses anstelle der in DIN ISO 9613-2:1999 benutzten Größe Bodendämpfung in  $A_{gr}$  die dazu analoge Größe  $D_{z,n}$  nach Abschnitt 7.2.5 zu verwenden ist.

S. 40: Kap 7.4 (alt) ist wie folgt zu ändern

## 7.5 Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels

Die Beiträge des fliegenden Verkehrs zum äquivalenten Dauerschallpegel ergeben sich durch einen dreifachen Summationsprozess:

1. Summation über alle  $N_{Ts}$  Teilstücke eines Flugwegs
2. Summation über alle  $N_{Fw}$  Flugwege
3. Summation über alle  $N_{Lk}$  Luftfahrzeugklassen

Der auf die Beurteilungszeit  $T_r$  bezogene äquivalente Dauerschallpegel  $L^*_{pAeq,T_r}$  an einem Immissionsort ergibt sich dann durch Kombination dieses Beitrags mit den Beiträgen des APU-Betriebs und der Triebwerksprobeläufe:

$$L^*_{pAeq,T_r} = 10 \cdot \lg \left( g_r \cdot \frac{T_0}{T_E} \left[ \sum_{k=1}^{N_{Lk}} \sum_{l=1}^{N_{Fw}} \sum_{m=1}^{N_{Ts}} n_{Tr,k,l} \cdot 10^{\frac{L_{pAE,k,l,m}(s_{k,l,m})}{10}} \right] + 10^{\frac{L_{pAeq,APU,T_r}}{10}} + 10^{\frac{L_{pAeq,TW,T_r}}{10}} \right) \text{ dB} \quad (53)$$

mit:

|                  |                                                                                                                                            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L^*_{pAeq,T_r}$ | äquivalenter Dauerschallpegel zur Beurteilungszeit $T_r$                                                                                   |
| $T_E$            | Erhebungszeit ( $T_E = 1,5552 \cdot 10^7$ s, d. h. 180 Tage)                                                                               |
| $T_0$            | Bezugszeit ( $T_0 = 1$ s)                                                                                                                  |
| $g_r$            | Gewichtsfaktor zur Umrechnung der Erhebungszeit auf die Beurteilungszeit (1,5 für tags und 3 für nachts)                                   |
| $L_{pAE,k,l,m}$  | der von einer Bewegung der Luftfahrzeuggruppe k auf dem Teilstück m des Flugweges l am Immissionsort hervorgerufene Schallexpositionspegel |

|                        |                                                                                                                                           |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_{pAeq,APU,Tr}$      | der vom APU-Betrieb hervorgerufene äquivalente Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit $T_r$                                        |
| $L_{pAeq,TW,Tr}$       | der durch Triebwerksprobeläufe hervorgerufene äquivalente Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit $T_r$                             |
| $n_{Tr,k,l}$           | Anzahl der Flugbewegungen der Luftfahrzeugklasse k auf dem Flugweg l während der Beurteilungszeit $T_r$ innerhalb der Erhebungszeit $T_E$ |
| $S_{k,l,m}$            | Entfernung des Luftfahrzeugs der Klasse k auf dem Teilstück m des Flugwegs l vom Immissionsort [m]                                        |
| $k = 1, \dots, N_{Lk}$ | laufender Index über die Luftfahrzeugklassen                                                                                              |
| $l = 1, \dots, N_{FW}$ | laufender Index über die Flugwege                                                                                                         |
| $m = 1, \dots, N_{Ts}$ | laufender Index der Teilstücke auf einem Flugweg                                                                                          |

- S. 41: Die Gleichungen (49) bis (53) im Kap 7.5.1 (alt) gehen damit in (54) bis (58) über.
- S. 42: Kap 7.5.2 (alt) ist wie folgt zu ändern

## 7.6.2 Berechnung von Pegelhäufigkeitskriterien

Die Anzahl  $NAT(L_{p,Schw})$  der Überschreitungen eines Schwellenwerts  $L_{p,Schw}$  des AS-bewerteten Maximalschalldruckpegels  $L_{pAS,max}$  an einem gegebenen Immissionsort ergibt sich aus einer Summation der Flugbewegungen über alle Luftfahrzeugklassen und Flugwege sowie einer Summation der Triebwerksprobeläufe über alle Luftfahrzeuggruppen und Triebwerksprobelauf-Standorten als:

$$\begin{aligned}
 NAT(L_{p,Schw}) = & \sum_{l=1}^{N_{FW}} \sum_{k=1}^{N_{Lk}} n_{Tr,k,l} \cdot F(L_{pAS,max,k,l}) \\
 & + \sum_{l=1}^{N_{TW}} \sum_{k=1}^{N_{Lg}} n_{Tr,TW,k,l} \cdot F(L_{pAS,max,TW,k,l})
 \end{aligned} \tag{59}$$

mit:

$$F(L_{p,max}) = \begin{cases} 1 & \text{für } L_{p,max} > L_{p,Schw} \\ 0 & \text{für } L_{p,max} \leq L_{p,Schw} \end{cases} \tag{60}$$

wobei:

|                        |                                                                                                                                                            |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_{pAS,max,k,l}$      | größter am Immissionsort durch eine Bewegung der Luftfahrzeugklasse k auf dem Flugweg l hervorgerufener AS-bewerteter Maximalschalldruckpegel nach Gl.(58) |
| $L_{pAS,TW,max,k,l}$   | durch einen Triebwerksprobelauf der Luftfahrzeuggruppe k am Standort l am Immissionsort hervorgerufener AS-bewerteter Maximalschalldruckpegel nach Gl.(52) |
| $L_{p,Schw}$           | durch das Pegelhäufigkeitskriterium vorgegebener Schwellenwert des AS-bewerteten Maximalschalldruckpegels                                                  |
| $n_{Tr,k,l}$           | Anzahl der Flugbewegungen der Luftfahrzeugklasse k auf dem Flugweg l während der Beurteilungszeit $T_r$ innerhalb der Erhebungszeit $T_E$                  |
| $n_{Tr,TW,k,l}$        | Anzahl der Triebwerksprobeläufe der Luftfahrzeugklasse k am Standort l während der Beurteilungszeit $T_r$ innerhalb der Erhebungszeit $T_E$                |
| $F(L_{p,max})$         | die zur Beschreibung des Pegelhäufigkeitskriteriums notwendige Gewichtungsfunktion                                                                         |
| $k = 1, \dots, N_{Lk}$ | laufender Index über die Luftfahrzeugklassen                                                                                                               |
| $k = 1, \dots, N_{Lg}$ | laufender Index über die Luftfahrzeuggruppen                                                                                                               |
| $l = 1, \dots, N_{FW}$ | laufender Index über die Flugwege                                                                                                                          |
| $l = 1, \dots, N_{TW}$ | laufender Index über die Standort der Triebwerksprobeläufe                                                                                                 |

Dieser Ansatz impliziert, dass Vorbeiflüge einer Luftfahrzeugklasse im Abstand s immer den gleichen Maximalpegelwert  $L_{pAS,max}$  am Immissionsort erzeugen. In der Praxis beobachtet man aber Pegelverteilungen, die – für eine feste Kombination von Flugzeugtyp und Flugweg – nahezu einer Normalverteilung entsprechen:

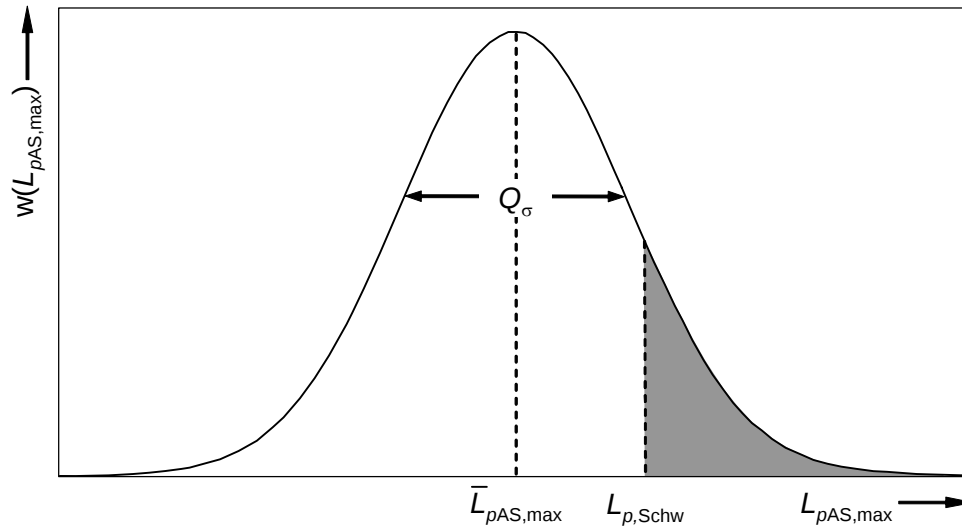
$$w(L_{pAS,max}, \bar{L}_{pAS,max}, Q_\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot Q_\sigma} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{L_{pAS,max} - \bar{L}_{pAS,max}}{Q_\sigma} \right)^2 \right] \quad (61)$$

mit:

$L_{pAS,max}$  AS-bewerteter Maximalschalldruckpegel

$\bar{L}_{pAS,max}$  Mittelwert des AS-bewerteten Maximalschalldruckpegels

$Q_\sigma$  Standardabweichung



**Abbildung 1:** Normalverteilung von AS-bewerteten Maximalschalldruckpegeln mit dem Mittelwert  $\bar{L}_{pAS,max}$  und der Standardabweichung  $Q_\sigma$ .  $L_{p,Schw}$  ist der Schwellenwert, der einem Häufigkeits-Maximalpegelkriterium zu Grunde liegt.

Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, ersetzt man in Gl. (59) die Stufenfunktion F nach Gl. (60) durch eine Normalverteilung mit der luftfahrzeugklassenspezifischen Standardabweichung  $Q_{\sigma,k}$  und integriert über den Teil der Verteilung, der oberhalb des im Häufigkeits-Maximalpegelkriterium spezifizierten Schwellenwerts liegt.

$$\begin{aligned}
 \text{NAT}(L_{p,Schw}) = & \sum_{l=1}^{N_{FW}} \sum_{k=1}^{N_{Lk}} n_{Tr,k,l} \cdot \int_{L_{p,Schw}}^{\infty} w(L_{pAS,max}, L_{pAS,max,k,l}, Q_{\sigma,k}) dL_{pAS,max} \\
 & + \sum_{l=1}^{N_{TW}} \sum_{k=1}^{N_{Lg}} n_{Tr,TW,k,l} \cdot \int_{L_{p,Schw}}^{\infty} w(L_{pAS,max}, L_{pAS,max,TW,k,l}, Q_{\sigma,k}) dL_{pAS,max}
 \end{aligned}
 \tag{62}$$

### Anmerkung:

Die Festlegung der Oktavpegel  $O_n$  erfolgt in der Regel auf einer energetischen Mittelung gemessener Pegelwerte. Der daraus resultierende Mittelwert ist bei Annahme normalverteilter Pegel um  $Q_\sigma^2 \cdot \ln(10)/20 = 0.115 \cdot Q_\sigma^2$  größer als der Mittelwert der Normalverteilung. Bei der Bestimmung des Häufigkeits-Maximalpegelkriteriums wird daher der Mittelwert der Verteilung überschätzt.

### **Folgeänderungen:**

#### Anlage 2 (AzB):

- S. 40: Kap. 7.4 wird zu 7.5
- S. 41: Kap. 7.5 und 7.5.1 wird zu 7.6 und 7.6.1
- S. 42: Kap. 7.5.2 wird zu 7.6.2
- Tabelle 10 im Kap. 8.5.5 wird zu Tabelle 11
- S. 54: Folgende Abkürzungen sind in Abschnitt „12 Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen“ aufzunehmen:

|                         |                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_{pAS,max,TW,k,l}$    | [dB] größter am Immissionsort durch einen Triebwerksprobelauf der Luftfahrzeuggruppe k an der Probelaufposition l hervorgerufener AS-bewerteter Schalldruckpegel                          |
| $L_{pAS,TW,k,l,m}$      | [dB] am Immissionsort durch einen Triebwerksprobelauf der Luftfahrzeuggruppe k bei Laststufe 1 an der Probelaufposition l hervorgerufener AS-bewerteter Schalldruckpegel                  |
| $L_{pAS,TW,k,l,m}(S_l)$ | [dB] AS-bewerteter Schalldruckpegel, der am Immissionsort durch die Laststufe m eines Triebwerksprobelaufes der Luftfahrzeuggruppe k auf einer Triebwerksprobelaufposition l erzeugt wird |
| $n_{Tr,TW,k,l}$         | Anzahl der Triebwerksprobelaufe der Luftfahrzeuggruppe k auf der Triebwerksprobelaufposition l während der Beurteilungszeit $T_r$ innerhalb der Erhebungszeit $T_E$                       |
| $O_{TW,n,m}$            | [dB] Oktavschalldruckpegel der Laststufe m                                                                                                                                                |

|                        |                                                                               |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $s_l$                  | Entfernung der Triebwerksprobelaufposition l vom Immissionsort                |
| $t_{TW,m}$             | [s] Dauer der Laststufe m                                                     |
| $t_{TW,k,m}$           | [s] Dauer der Laststufe m eines Triebwerksprobelaufs der Luftfahrzeuggruppe k |
| $Z_{TW,m}$             | [dB] Zusatzpegel der Laststufe m                                              |
| $l = 1, \dots, N_{TW}$ | laufender Index über die Triebwerksprobelaufposition                          |
| $k = 1, \dots, N_{Lk}$ | laufender Index über die Luftfahrzeuggruppe                                   |
| $m = 1, \dots, N_{LS}$ | laufender Index über die Laststufen                                           |

### Begründung:

Luftfahrzeuggeräusche setzen sich aus Fluggeräuschen und Bodengeräuschen zusammen. Ein Fluggeräusch wird in der Regel definiert, als ein von einem Luftfahrzeug während seines Betriebs auf der Start- und Landebahn des Flugplatzes und/oder in der Luft erzeugtes Geräusch. Das Bodengeräusch hingegen ist definiert als ein von einem Luftfahrzeug auf dem Flugplatz erzeugtes Geräusch, das kein Fluggeräusch ist, d. h. z. B. durch Rollvorgänge der Luftfahrzeuge auf dem Flugplatzgelände, beim Betrieb der Hilfsgasturbinen der Luftfahrzeuge (APUs) oder durch Triebwerksprobelaufe verursacht wird. Dies deckt sich auch mit Definitionen in internationalen Fluglärm-Berechnungsverfahren (s. z. B. ECAC Doc. 29, 3. Auflage).

Es wird immer wieder behauptet, dass der Gesetzgeber die Bedeutung des Begriffs „Fluglärm“ im alten Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm bei der Novellierung dieses Gesetzes beibehalten wollte. Insoweit sei nach wie vor die seit 1971 beim Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm angewandte Abgrenzung zwischen Fluglärm einerseits und Bodenlärm andererseits maßgeblich.

Wenn die Behauptung zutreffen würde, dürften konsequenterweise in der neuen AzD/AzB die Rollvorgänge und der Betrieb von APUs nicht berücksichtigt werden, da dies durch das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm nicht gedeckt wäre. Zielführender ist hingegen Triebwerksprobelaufe in die Fluglärmberechnung mit einzubeziehen, weil diese in der Regel auch den größten Beitrag zu den Bodengeräuschen liefern. Dadurch ergäbe sich eine geschlossene Lösung zur Berechnung von Luftfahrzeuggeräuschen in der Umgebung von Flugplätzen.

Die Berücksichtigung von Triebwerksprobelaufen in der 1. FlugLSV schränkt nicht die Möglichkeiten des Luftverkehrsgesetzes ein, auch weiterhin sein Instrumentarium für Auflagen zur Begrenzung zulässiger akustischer Belastungen in der Nachbarschaft des Flugplatzes zu nutzen.