

# Meteorologisch bedingte Unsicherheiten bei der Berechnung von Fluglärm

Uta Binder

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik,  
Bunsenstrasse 10, D-37083 Göttingen, E-Mail: uta.binder@dlr.de

## Einleitung

Die Temperatur, die relative Feuchte und der Wind haben einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Schallausbreitung (atmosphärische Absorption, Ausbreitungsgeometrie), d.h., die herrschenden Wetterbedingungen haben auch immer einen Einfluss auf die Fluglärmimmissionen. Konventionelle Fluglärmrechnungsverfahren, wie z.B. die AzB, das ECAC Doc. 29 und das INM, berücksichtigen den Einfluss der Atmosphäre auf die Schallausbreitung aber lediglich in standardisierter Form; sie gehen von einer räumlich und zeitlich konstanten Atmosphäre aus.

Ziel dieser Untersuchung war es, die Differenzen der Immissionspegel zu quantifizieren, die gegenüber der pauschalen Berücksichtigung der meteorologischen Gegebenheiten im Vergleich zu realen Verhältnissen auftreten können.

## Berechnungsgrundlagen

Der Schwerpunkt liegt auf der Quantifizierung der Auswirkungen variabler meteorologischer Bedingungen bei freier Schallausbreitung und Quellen in größeren Höhen (2, 3 und 10 km), ohne direkten Bezug zu einem Flughafen zu nehmen und ohne die Effekte, die die Schallausbreitung in Bodennähe beeinflussen, zu berücksichtigen.

Das frequenzabhängige Immissionsspektrum kann daher durch das Emissionsspektrum, die geometrische Dämpfung und die atmosphärische Absorption bestimmt werden. Das Emissionsspektrum ist ein gemessenes Terzspektrum für einen A320, das als ungerichtete stationäre Punktschallquelle behandelt und auf ein horizontales Emissionsgitter 1 m unterhalb der Quelle normiert wird. Diese Art das Emissionsgitter zu definieren bietet den Vorteil, dass die geometrische Ausbreitungsdämpfung unabhängig vom Abstrahlwinkel ist.

Die Auswirkungen von Wind, Windgradient und Temperaturgradient auf die Ausbreitungsgeometrie (Refraktion) werden mit Hilfe von Ray-Tracing-Gleichungen [1] berechnet. Sind die Ausbreitungswege bekannt muss nicht mehr auf die idealisierte Annahme der Ausbreitung als Kugelwellen zurückgegriffen werden und die geometrische Dämpfung,  $A_{div}$ , wird aufgrund der Flächenvergrößerung zwischen Emission-,  $F_0$ , und Immissionsgitter,  $F$ , berechnet.

$$A_{div} = 10 \cdot \log\left(\frac{F}{F_0}\right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Die atmosphärische Absorption,  $A_{am}$ , [2] wird bestimmt durch den frequenzabhängigen Absorptionskoeffizienten,  $\alpha_n$ , und die vom Schall zurückgelegte Entfernung,  $s$ .

$$A_{am,n} = \alpha_n \cdot s \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Die Modellrechnungen basieren auf Radiosondenaufstiegen des Observatoriums Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Jahr 2004. Dieses Jahr war klimatologisch repräsentativ für Deutschland [3]. Des Weiteren finden als Referenz zwei standardisierte Modellatmosphären Verwendung: Zum einen die internationale Standardatmosphäre [4] mit einem in der Praxis gebräuchlichen Standardwert von 70 % relativer Feuchte und zum anderen eine isotrope Atmosphäre, so wie sie von den meisten konventionellen Fluglärmrechnungsverfahren angenommen wird (konstante Temperatur 15 °C, konstanter Druck 1013.25 hPa und konstante relative Feuchte 70 %).

## Verteilungen der Pegel am Boden für 2004

### Geometrische Dämpfung

Die aus den berechneten Verteilungen der Pegelminderungen durch geometrische Dämpfung für das Jahr 2004 resultierenden Mittelwerte werden in Tabelle 1 für Quellen in 2 und 10 km Höhe mit den Werten für die beiden Modellatmosphären verglichen. Insgesamt sind die so berechneten Pegelvariationen aufgrund der variablen meteorologischen Bedingungen zwischen dem Emissions- und dem Immissionsgitter klein.

Tabelle 1: Geometrische Dämpfung

	Pegelminderung $A_{div}$ in dB			
	Quelle in Höhe			
	2 km Senk- recht	2 km Westen (43.5 °)	2 km Osten (43.5 °)	10 km Senk- recht
Isotrope Atm.	66.02	66.02	66.02	80.00
Standardatm.	66.12	66.15	66.15	80.58
Mittelwert 2004	66.11	66.14	66.13	80.59
Standardabw. 2004	0.034	0.104	0.103	0.093

Für eine Quelle in 2 km Höhe liegen die meisten der entlang des vertikal abgestrahlten Schalls berechneten Pegelminderungen oberhalb der Pegelminderung, die aufgrund einer stationären isotropen Atmosphäre berechnet wird. Der Umstand, dass der Mittelwert der Verteilung sowie die berechnete Pegelminderung für standardatmosphärische Bedingungen sich nur geringfügig voneinander unterscheiden, zeigt bereits den Einfluss des Temperaturgradienten auf die Schallausbreitung.

Dieser Einfluss wird noch deutlicher, wenn die Berechnungen entlang des vertikal abgestrahlten Schalls bei einer Quelle in 10 km Höhe betrachtet werden. Die durchschnittliche Pegelreduzierung, die basierend auf realen atmosphärischen Bedingungen berechnet wird, liegt rund 0.6 dB über der, die auf isotropen stationären atmosphärischen Bedingungen

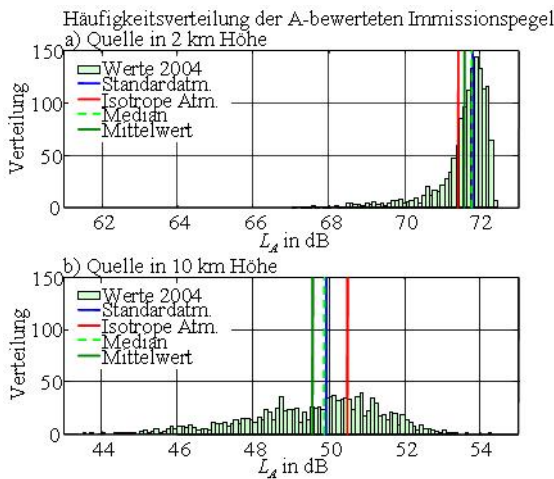
beruht. Sie stimmt aber fast mit der überein, die aufgrund der Standardatmosphäre berechnet wird.

In Tabelle 1 sind auch die Pegelreduzierungen eingetragen, die für eine Quelle in 2 km Höhe entlang des in einem Winkel von 43.5 ° abgestrahlten Schalls berechnet wurden (nach Westen bzw. Osten). Die berechneten Schallstrahlen treffen in einer Entfernung von ca. 2 km neben dem Punkt unterhalb der Quelle auf dem Boden auf.

Alle berechneten Verteilungen weisen eine zunehmende Standardabweichung mit steigender Quellhöhe- oder zunehmendem Abstrahlwinkel auf. Diese Zunahme ist durch die längeren Ausbreitungswege und den dadurch erhöhten Einfluss des Temperaturgradienten, der Windgeschwindigkeit und des Windgradienten erklärbar. Im Gegensatz zu diesem Anstieg bleibt die geometrische Dämpfung unter stationären isotropen atmosphärischen Bedingungen auch bei seitlicher Ausbreitung konstant, da sie nur vom vertikalen Abstand zwischen Emissions- und Immissions-Punkt abhängt.

### Atmosphärische Absorption

Die Ergebnisse der Berechnungen für die atmosphärische Absorption sind als Immissionspegel in Abbildung 1 dargestellt. Hier fallen die Effekte im Gegensatz zu den Ergebnissen der geometrischen Dämpfung deutlich ausgeprägter aus.



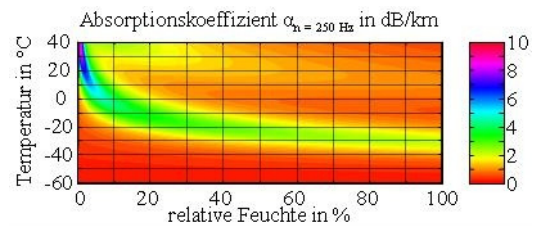
**Abbildung 1:** Häufigkeitsverteilungen der Immissionspegel, die auf der atmosphärischen Absorption, der geometrischen Dämpfung und den 2004 gemessenen Vertikalprofilen der relativen Feuchte und Temperatur basieren

Die Verteilung der Immissionspegel bei einer Quelle in 2 km Höhe (vgl. Abbildung 1a) umfasst einen Spanne von etwa 5 dB. Der jährliche durchschnittliche Pegel weist mit 71.6 dB einen Wert auf, der zwischen den Standardwerten von 71.4 dB für die isotrope und 71.8 dB für die Standardatmosphäre liegt. Die gesamte Verteilung ist asymmetrisch. Besonders der Bereich mit hohen Anzahlen und Pegeln oberhalb des Mittelwerts ist schmal im Vergleich zu der gesamten Verteilung.

Die Schwankungen der Immissionspegel, die bei einer Quelle in 10 km Höhe (vgl. Abbildung 1b) auftreten, sind beträchtlich größer. Die Verteilung umschließt einen Pegelbereich zwischen 43.5 und 54.2 dB. Der arithmetische Mittel-

wert von 49.6 dB liegt unterhalb des Pegels von 49.9 dB für die Standardatmosphäre und des Pegels von 50.5 dB für die isotrope Atmosphäre. Die gesamte Verteilung ist symmetrischer als für niedrigere Schallquellen und aufgrund der größeren Variabilität der atmosphärischen Parameter deutlich breiter aufgefächert.

Die Asymmetrie der Verteilungen ist mit Hilfe des Absorptionskoeffizienten (vgl. Abbildung 2) erklärbar. Bei einer Quelle in 2 km Höhe und unter den realen meteorologischen Bedingungen für mittlere Breiten erreichen die gemessenen Profile der Temperatur und der relativen Feuchte kaum niedrigere Absorptionskoeffizienten. Für höher gelegene Quellen wird die Absorption deutlich davon beeinflusst, wie weit das Temperatur-Feuchte-Profil in den Bereich sehr kleiner Absorptionskoeffizienten bei niedrigen Temperaturen reicht.



**Abbildung 2:** Absorptionskoeffizient bei Normaldruck

### Schlussfolgerung

Insgesamt ergibt sich im Jahresmittel eine gute Übereinstimmung der aufgrund realer atmosphärischer Verhältnisse berechneten Dämpfungen mit denjenigen Werten, die auf einer stationären isotropen Atmosphäre basieren. Konventionelle Fluglärmrechnungsverfahren modellieren bei Langzeitberechnungen die Ausbreitungsmechanismen also mit akzeptabler Genauigkeit. Tendenziell schätzen sie die Ausbreitungseffekte eher konservativ ab, das bedeutet: die Immissionswerte werden eher überschätzt. In Einzelfällen können aber deutliche Unterschiede auftreten; die Variation der atmosphärischen Bedingungen innerhalb eines Jahres führen dazu, dass sich durch die atmosphärische Absorption Variationen der Immissionspegel bis zu 5 dB bei einer Quelle in 2 km Höhe und bis zu 11 dB bei einer Quelle in 10 km Höhe ergeben können.

### Literatur

- [1] Pierce, A.D.: Acoustics – An Introduction to Its Physical Principles and Applications; McGraw-Hill series in mechanical engineering
- [2] International Organization for Standardization (ISO): Acoustics – Attenuation of Sound during Propagation Outdoors – Part 1: Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere”, ISO 9613-1, 1993
- [3] Müller-Westermeier, G.; Riecke, W: Die Witterung in Deutschland 2004 – DWD Klimastatusbericht 2004. URL: <http://www.dwd.de>
- [4] International Organization for Standardization (ISO): Standard Atmosphere, ISO 2533, 1993