

Standardisierte akustische Quellendaten für Fluglärmrechnungen (SAND)

Walter Krebs¹, Maria Balmer², Ernst Lobsiger³,

¹ Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, CH-8600 Dübendorf,

Email: walter.krebs@empa.ch

² Bundesamt für Umwelt BAFU, CH-3003 Bern, ³ Lobsiger Consulting, CH-3123 Belp

Einleitung

Das Ausmass von Fluglärmimmissionen wird in der Schweiz wie in den meisten anderen Ländern grundsätzlich rechnerisch ermittelt. Im Gegensatz zu Deutschland beispielsweise wird aber in der Schweiz kein spezielles Rechenverfahren explizit vorgeschrieben, es gilt eine weitgehende Methodenfreiheit. Um die Vollzugskontinuität zu gewährleisten und um sicherzustellen, dass unterschiedliche Programme vergleichbare Ergebnisse liefern, müssen deshalb gewisse Mindestkriterien definiert werden. Hierzu gehören insbesondere Angaben zu den akustischen Quellendaten. Da sich die in den einzelnen Berechnungsprogrammen verwendeten Quellenmodelle bezüglich Darstellungsform und Datenstruktur sehr stark unterscheiden, ist eine direkte Vorgabe der zu verwendenden Quellendaten nicht ohne weiteres möglich. Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Umwelt BAFU die Entwicklung eines zentralen, nicht programm-spezifischen Datensatzes in Auftrag gegeben [1]. Im vorliegenden Beitrag wird das allgemeine Konzept dieses neuen Quellendatensatzes vorgestellt.

Konzept

Mit dem neu entwickelten Quellendatensatz SAND (Swiss Aircraft Noise Database) werden die für Fluglärmrechnungen relevanten akustischen Kennzahlen in einer programmunabhängigen, maschinenlesbaren Form definiert. In der bereitgestellten Form können die Daten jedoch nicht direkt mit real existierenden Rechenverfahren verwendet werden. Vielmehr sollen die von einzelnen Programmen eingesetzten Quellendaten derart modifiziert bzw. kalibriert werden, dass die in SAND vorgegebenen Kennzahlen möglichst genau wiedergegeben werden. Damit soll sichergestellt werden, dass die mit unterschiedlichen Programmen ausgeführten Berechnungen unter den vorgegebenen Bedingungen gleichwertige Ergebnisse liefern.

Die Schallabstrahlung von Flugzeugen im Flug ist sehr komplex und hängt von vielen Parametern ab, deren Einfluss auf den resultierenden Immissionspegel in der Regel nicht vollständig bekannt ist. Für eine praxisorientierte Quellenbeschreibung ist man daher immer auf gewisse Vereinfachungen und Approximationen angewiesen. Um eine modellunabhängige Quellenbeschreibung zu realisieren wird beim Konzept SAND von den am Immissionsort direkt zugänglichen akustischen Kennzahlen ausgegangen. Im Idealfall ist das der gesamte spektrale Pegel-Zeit-Verlauf zusammen mit den dazugehörigen geometrischen Informationen bezüglich Quelle und Empfänger (vgl. Abbildung 1). Da diese Daten in der Regel nicht vorliegen, werden in

SAND nur die wichtigsten, bei einem Überflug am Immissionsort direkt messbaren Kennzahlen definiert. Dazu gehören primär der Ereignispegel L_{AE} und der Maximalpegel $L_{A,max}$ für einen geradlinigen Überflug unter Referenzbedingungen (Überflughöhe $H = 305$ m, Geschwindigkeit $v = 160$ kt, Temperatur $T = 15^\circ\text{C}$, rel. Feuchte $q = 70\%$).

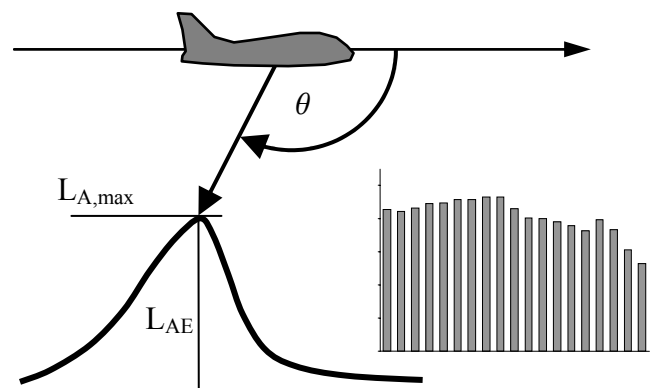


Abbildung 1: Schematische Darstellung der in SAND spezifizierten akustischen Kennzahlen.

Für die Beschreibung der Richtwirkung werden zusätzlich der zum Pegelmaximum gehörende Emissionswinkel θ bezüglich der Flugrichtung sowie ein Asymmetrieparameter η zur Charakterisierung der unterschiedlichen Schallabstrahlung nach vorne und nach hinten definiert. Der Asymmetrieparameter η beschreibt das Verhältnis der vor bzw. nach dem Pegelmaximum beim Empfänger eintreffenden Schallenergie:

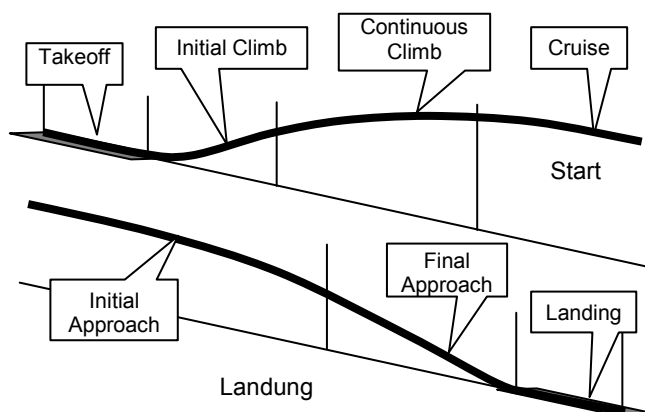
$$\eta = \frac{10^{L_{AE,1}/10} - 10^{L_{AE,2}/10}}{10^{L_{AE,1}/10} + 10^{L_{AE,2}/10}} \quad (1)$$

$L_{AE,1}$ und $L_{AE,2}$ bezeichnen dabei die Teilereignispegel vor bzw. nach Erreichen von $L_{A,max}$. Zur Charakterisierung der Ausbreitungsdämpfung wird zusätzlich das auf 305 m bezogene Quellenspektrum beim Maximalpegel in Form von 24 Terzbandpegeln vorgegeben. Der Einfachheit halber wird dabei von einem richtungsunabhängigen Quellenspektrum ausgegangen. Dieser vereinfachte Ansatz wurde gewählt, weil einerseits die Datengrundlagen für richtungsabhängige Spektren fehlen und weil die Mehrzahl der heutigen Berechnungsprogramme keine Richtungsabhängigkeit der Ausbreitungsdämpfung berücksichtigen kann. Eine Übersicht über die in SAND definierten akustischen Kennzahlen ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: In SAND definierte akustische Kennzahlen.

Akust. Grösse	Beschreibung
$L_{A,max}$	A-bewerteter Maximalpegel bei einem geradlinigen Überflug unter Referenzbedingungen
L_{AE}	A-bewerteter Ereignispegel bei Überflug unter Referenzbedingungen
θ	massgeblicher Emissionswinkel bezüglich Flugrichtung bei $L_{A,max}$
η	Asymmetrieparameter
$L_{p,i}$	Terzbandpegel $L_{p,i}$ von 50 Hz bis 10 kHz, normiert auf $L_p(1000 \text{ Hz}) = 70 \text{ dB}$

Zur Berücksichtigung der während dem Start und dem Landeanflug variierenden Schallabstrahlung werden verschiedene Flugzustände entlang der Flugbahn spezifiziert. Für die schweren Flugzeuge wird zusätzlich eine Differenzierung für unterschiedliche Leistungssetzungen bei Starts mit hohem und mit mittlerem Abfluggewicht vorgenommen. Eine schematische Darstellung der verschiedenen Flugzustände ist in Abbildung 2 wiedergegeben.

**Abbildung 2:** In SAND unterscheidbare Flugzustände.

Grundlagen

Die Parameter der in SAND vorgegebenen Daten werden primär aus zwei Datenquellen entnommen: Für Grossflugzeuge, einzelne Helikoptertypen sowie für die in der Schweiz massgebenden Militärflugzeuge werden die Daten direkt aus den zum Simulationsmodell Flula2 der Empa gehörenden Quellenmodellen abgeleitet [2]. Hierbei werden die Kennzahlen L_{AE} , $L_{A,max}$, θ und η mittels Simulation mit Flula2 für einen geradlinigen Überflug berechnet. Die Terzbandspektren werden aus den für die Herleitung der Flula2-Quellendaten erhobenen Messdaten ermittelt. Mangels detaillierterer Informationen werden die Pegeländerungen für die einzelnen Flugzustände beim Start und bei der Landung vorerst lediglich durch eine pauschale Pegelkorrektur berücksichtigt, Spektrum und Richtwirkung bleiben dabei unverändert. Die betreffenden Pegelkorrekturen werden ebenfalls dem Flula2-Modell entnommen.

Die Kennzahlen für Kleinflugzeuge, Motorsegler und für die Mehrzahl der Helikopter basieren auf den Zertifizierungs-

daten des Bundesamtes für Zivilluftfahrt BAZL [3]. Da diese Daten nicht in der gewünschten Detaillierungstiefe vorliegen, mussten für den Datensatz SAND geeignete Annahmen getroffen werden. Für alle aus BAZL-Quellen abgeleiteten Datensätze wird ein Emissionswinkel von $\theta = 90^\circ$ (Propeller Ebene) angenommen und ein symmetrischer Pegel-Zeit-Verlauf mit $\eta = 0$ vorausgesetzt. Die Pegeldifferenz zwischen L_{AE} und $L_{A,max}$ wird für Propellerflugzeuge generell auf 7 dB, für Helikopter auf 8 dB gesetzt. Die für die Ausbreitung massgebenden Spektren wurden den Spektralklassen von INM [4] entnommen.

Der Datensatz SAND

In der aktuellen ersten Version umfasst der Datensatz SAND insgesamt 1829 Typen. Die überwiegende Mehrzahl (1770) dieser Typen bezieht sich auf Kleinflugzeuge und Helikopter aus den BAZL-Daten, 59 Datensätze beziehen sich auf Grossflugzeuge und Militär-Jets aus Empa-Daten.

Die Daten liegen in einer leicht maschinenlesbaren Form als reine ASCII-Textdatei vor. Alle Daten haben eine einheitliche Struktur. Für jedes in SAND definierte Flugzeug wird ein strukturierter Datensatz geschrieben, der alle relevanten Informationen zur akustischen Quellenbeschreibung des betreffenden Flugzeugtyps für die einzelnen Flugzustände beinhaltet. Für eine eindeutige Identifizierung des betreffenden Flugzeugtyps enthält jeder Datensatz neben den akustischen Kennzahlen eine Reihe zusätzlicher Datenfelder. Hierzu gehören u.a. die genaue Typen- und Triebwerksbezeichnung, der ICAO-Code, die zugehörige AzB-Klasse und diverse weitere Parameter.

Fluglärmrechnungen mit SAND

Damit mit einem vorgegebenen Programm auf dem Datensatz SAND basierende Fluglärmrechnungen durchgeführt werden können, müssen zuerst die programmspezifischen Quellendaten mit den vorgegebenen Kennzahlen modifiziert werden. Je nach Programmstruktur können die einzelnen Parameter gegebenenfalls nur bis zu einem gewissen Grad berücksichtigt werden. Erste Vergleiche haben gezeigt, dass auf der Basis von SAND mit allen näher untersuchten Modellen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

Literatur

- [1] Swiss Aircraft Noise Database (SAND) als Teil der Empfehlung für Fluglärmrechnungsverfahren, M. Balmer et al., Beitrag DAGA 2007, Stuttgart
- [2] Flula2, Technische Programmdokumentation, Version 2.1., Empa, Abteilung Akustik, 2005, URL: www.empa.ch/plugin/template/empa/*/37718/---/1=1
- [3] Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, Lärmwerte der in der Schweiz zugelassenen Propellerflugzeuge und Motorsegler, Liste 1 und Liste 2, URL: www.bazl.admin.ch/fachleute/lufttechnik/entwicklung
- [4] Integrated Noise Model INM 6.2, Federal Aviation Administration (FAA), Dep. of Transportation, 2006