

Luftfahrt bewegt.  BDL

Lärm berechnen:
Wie vergleicht bzw. bewertet man
Lärminderungsmaßnahmen?

Experte: Dr. Ullrich Isermann, DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Moderator: Dr. Gerd Saueressig, Deutsche Lufthansa AG

BDL-Forum »Lärmschutz im Luftverkehr« Berlin, 5. März 2013



Informationen zur Berechnung von Fluglärm findet man z.B. auf der Homepage des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik:

http://www.dlr.de/as/desktopdefault.aspx/tabid-192/402_read-28546/

Hier sind folgende Berichte eingestellt

- U. Isermann / R. Schmid: Bewertung und Berechnung von Fluglärm
- Abschlussberichte zum DLR-Projekt Leiser Flugverkehr

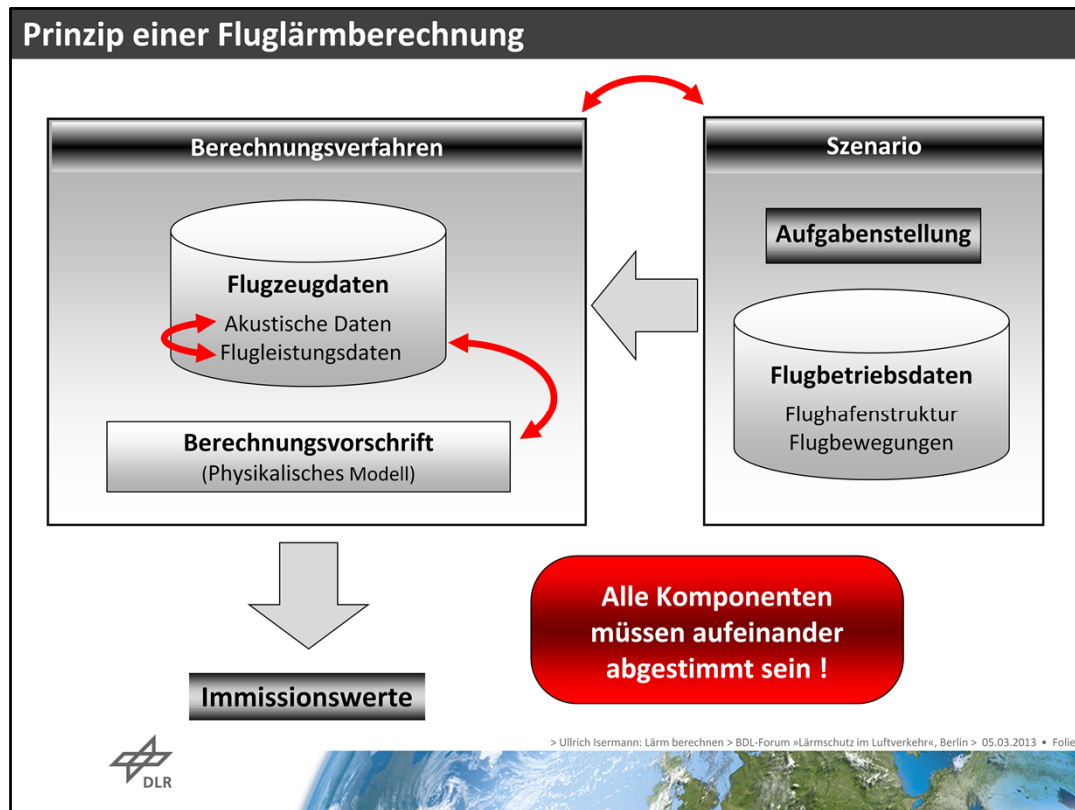
Außerdem findet man unter dem Punkt Veröffentlichungen noch Material auf der Homepage des *Forschungsverbundes Leiser Verkehr*:

<http://www.fv-leiserverkehr.de/>

Dr. Ullrich Isermann

DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Abteilung Hubschrauber
Bunsenstrasse 10
37073 Göttingen

Tel. 0551 709 2255
EMail ullrich.isermann@dlr.de



Eine Fluglärmrechnung setzt in der Regel auf einem sog. *Szenario* auf. Ein solches umfasst eine Aufgabenstellung und einen Satz von Daten, der den zu untersuchenden Flugbetrieb charakterisiert. Dieser Datensatz enthält eine geometrische Beschreibung der Start- und Landebahnen und der An- und Abflugstrecken sowie eine Beschreibung der Verteilung der Flugbewegungen auf diese Strecken. Diese Daten werden in das für die Untersuchung benutzte Berechnungsverfahren eingegeben. Das Resultat sind dann der Aufgabenstellung entsprechende Immissionswerte.

Das Fluglärmberechnungsverfahren besteht immer aus einer *Berechnungsvorschrift*, die u.a. ein Schallausbreitungsmodell realisiert. Dazu kommt als integraler Bestandteil eine *Datenbasis*, die akustische Datensätze für die Beschreibung des Flugzeuges als Schallquelle sowie Flugleistungs-Datensätze zur Ermittlung der Flugbahn bereitstellt. Berechnungsvorschrift und Datengrundlage müssen einander angepasst sein. In der Praxis bestimmt dabei in der Regel die Verfügbarkeit an akustischen Daten und an Flugleistungsdaten den Anwendungsbereich des Verfahrens und die Auslegung der Rechenvorschrift.

Wichtig ist auch, dass bei einem für den praktischen Einsatz konzipierten Verfahren zur Berechnung von Fluglärm Rechenvorschrift und Form der Datenbasis eindeutig und widerspruchsfrei definiert sind. Nur so kann gewährleistet werden, dass verschiedene Implementierungen des Verfahrens in Form von Computerprogramm identische Ergebnisse liefern. Dieser Punkt ist besonders dann von Bedeutung, wenn – wie bei der deutschen AzB – die nach dem Verfahren berechneten Ergebnisse die Grundlage für die Lärmschutzgesetzgebung bilden.

Wenn eine Fluglärmrechnung belastbare Ergebnisse liefern soll, dann ist es erforderlich, dass das Berechnungsverfahren auch auf das zu untersuchende Szenario abgestimmt ist. Es macht wenig Sinn, mit einem für Untersuchungen von Einzelflügen ausgelegten hochwertigen Modell ganze Flugbetriebe zu untersuchen. Und es ist genau so wenig angebracht, mit einem einfachen Rechenverfahren Aufgabenstellungen zu untersuchen, die eine komplexe Schallquellenmodellierung erfordern (wie z.B. die Lärmoptimierung von Anflugverfahren).

Anforderungsprofile

„Klassische“ Aufgaben ☞ „Best-Practice“-Modelle

- **Berechnung von Schutz- und Planungszonen**
 - Umsetzung Fluglärmgesetz
 - Umsetzung EU-Umgebungslärmrichtlinie
- **Szenarienvergleiche („What-If-Studies“)**
 - Neu- und Ausbauplanung
 - Ausmusterungs- und Umschichtungsszenarien

Aufgaben mit erweiterten Anforderungen

- **Entwicklung lärmoptimierter Flugverfahren**
- **Beurteilung / Optimierung von Lärminderungsmaßnahmen an der Quelle**

Zukünftige Zielsetzung

- **Lärmoptimierte Auslegung schon in der Entwurfsphase („Design to Noise“)**



> Ulrich Isermann: Lärm berechnen > BDL-Forum »Lärmschutz im Luftverkehr«, Berlin > 05.03.2013 • Folie 3



Prinzipiell kann man zwei Haupt-Anforderungsprofile für Fluglärmrechnungen unterscheiden. Die klassische Aufgabenstellung ist z.B. die Berechnung der Lärmbelastung im Rahmen von legislativen Vorgaben. In Deutschland wäre hier primär die Berechnung der *Lärmschutzzonen* nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm anzuführen. Sie erfordert die Anwendung einer bestimmten Rechenvorschrift („AzB“), die in der 1. Fluglärmschutzverordnung festgeschrieben ist. Im Rahmen der Umsetzung der *EU-Umgebungslärmrichtlinie* sind die Mitgliedstaaten ebenfalls zu regelmäßigen Fluglärmrechnungen mit einem definierten Berechnungsverfahren (wahrscheinlich *ECAC Doc.29*) verpflichtet. Beide Berechnungsverfahren fallen in die Kategorie der *Best-Practice-Verfahren* – also Verfahren, die der Problemstellung im Rahmen des Standes der Technik angepasst sind. Derartige Verfahren werden auch bei der Neu- und Ausbauplanung von Flughäfen sowie für „*What-If-Studies*“ eingesetzt. Solche Untersuchungen befassen sich z.B. mit den Effekten von Änderungen in der Verkehrszusammensetzung oder einfachen Abschätzungen der Auswirkung von strengeren Vorgaben bei der Lärmzulassung.

Bei Aufgaben mit erweiterten Anforderungen reichen die Möglichkeiten der Best-Practice-Verfahren in der Regel nicht mehr aus. Solche Aufgaben befassen sich aktuell mit der Entwicklung von lärmoptimierten Flugverfahren oder der Beurteilung bzw. Optimierung von technischen Maßnahmen zur Lärminderung an der Quelle – beides Kernpunkte des *ICAO Balanced Approach*.

Die zukünftige Zielsetzung wird dann ein „*Design to Noise*“ sein, also eine lärmoptimierte Auslegung des Flugzeuges schon beim Entwurf. Die hier zum Einsatz kommenden Rechenverfahren sind zwangsläufig sehr komplex. Die zu Grunde liegenden theoretischen Modelle sind zwar weitgehend bekannt, Schwachstelle ist aber die Verfügbarkeit der benötigten flugzeugspezifischen Eingabedaten.

Fluglärmrechnungsmodelle sind jetzt und auch in Zukunft die Werkzeuge, mit denen effizient und kostengünstig Ansätze zur Fluglärminderung wie der *Balanced Approach* realisiert und auch kontrolliert werden können. Ihrer Weiterentwicklung ist sowohl unter Umwelt- und letztendlich auch Wirtschaftsaspekten Priorität zuzuordnen.

Modellansätze

Konventionelle Modelle (praktischer Einsatz)

- **CPA-Verfahren:** AzB-1975 (D) – veralteter Ansatz
 - Immissionsberechnung für den kürzesten Vorbeiflugabstand – „*Closest Point of Approach*“
- **Segmentierungsverfahren:** AzB-2008 (D), ECAC Doc.29 (EU/ICAO), INM (USA)
 - Segmentierung der Flugbahn, jedes Segment trägt zur Immission bei
- **Zeitschrittverfahren:** FLULA-2 (CH) „Current Best Practice“
 - Modell der bewegten Punktschallquelle mit Richtwirkung

Simulationsmodelle (erweiterte Anforderungen / wissenschaftlicher Einsatz)

- **empirische Quellmodelle:** SIMEX2 (DLR)
 - rein empirische Beschreibung der Schallabstrahlung (Basis: Vermessung)
- **halbempirische Mehrquellenmodelle:** SIMUL (DLR)
 - die wichtigsten Quellen werden vermessen, physikalische Effekte werden berücksichtigt
- **parametrische Verfahren:** PANAM (DLR), ANOPP (NASA)
 - alle Quellmechanismen werden rein parametrisch beschrieben



> Ulfried Isenmann: Lärm berechnen > BDL-Forum »Lärmschutz im Luftverkehr«, Berlin > 05.03.2013 • Folie 4



Entsprechend der Unterteilung der Anforderungsprofile kann man auch die Berechnungsmodelle grob in zwei Kategorien einteilen. Bei den *konventionellen Modellen* für die klassischen Aufgaben definieren derzeit Segmentierungsmodelle und Zeitschrittverfahren die „*Current Best Practice*“. Bei beiden Ansätzen wird die Flugbahn in einzelne Segmente zerlegt, von denen jedes als Quelle aufgefasst wird. Segmentierungsverfahren wie die AzB oder das ECAC Doc.29 gehen hier von einer akustisch angepassten Segmentierung der Flugbahn in verschiedenen Detaillierungsgraden aus. Zeitschrittverfahren wie das eidgenössische FLULA2-Modell segmentieren in festen Zeitschritten (üblicherweise 1 Sekunde). Mit Zeitschrittverfahren kann man auch den zeitlichen Schallpegelverlauf am Immissionsort ermitteln. Der Ansatz des CPA-Verfahrens, der für die Immissionsberechnung nur den kürzesten Vorbeiflugabstand („*Closest Point of Approach*“) heranzieht, ist mittlerweile veraltet.

Für erweiterte Anforderungen bzw. den wissenschaftlichen Einsatz werden *Simulationsmodelle* benutzt. Diese gehen wie die Zeitschrittverfahren vom Modell der bewegten Punktschallquelle aus, beschreiben aber die Quelle wesentlich detaillierter. Die hochwertigen Verfahren trennen dabei unterschiedliche Schallquellmechanismen wie Triebwerks- und Umströmungslärm. Der komplexeste Ansatz sind hier die parametrischen Verfahren, die auf Konstruktionsparametern von Triebwerken und Zelle aufsetzen. Halbempirische Mehrquellenmodelle beschreiben auf der Basis von Vermessung die wichtigsten Quellmechanismen und setzen darüber hinaus auf einer physikalischen Modellierung zusätzlicher Einflussfaktoren auf. Der einfachste Ansatz einer vollständigen Quellbeschreibung ist die empirische Vermessung für alle möglichen Betriebszustände unter kontrollierten Bedingungen. Das entspricht dem Ansatz der konventionellen Modelle.

Aufgrund des hohen Messaufwands sind konventionelle Modelle auf wenige Betriebszustände des Flugzeugs beschränkt. Dafür decken ihre Datengrundlagen aber alle relevanten, am Luftverkehr teilnehmenden Flugzeugmuster ab. Simulationsmodelle verfügen demgegenüber nur über Daten für eine geringe Anzahl von Flugzeugen, da vollständige akustische Datensätze nur aufwändig und unter hohen Kosten gewonnen werden können.

Roadmap für die kommenden Jahre

Weiterentwicklung von Berechnungsverfahren

- **Lücke zwischen konventionellen und wissenschaftlichen Modellen schließen**
Modelle erstellen, die sowohl für klassische Anwendungen als auch für Aufgaben mit erweiterten Anforderungen geeignet sind
Derzeitige Aktivität: Erarbeitung der DIN 45689
- **Parametrische Verfahren verbessern und validieren**
⇒ Harmonisierung der wissenschaftlichen Ansätze
⇒ Benchmarking unterschiedlicher Ansätze

Weiterentwicklung von Fluglärm-Datengrundlagen

- **Optimierte Aufbereitung von Messungen aus Fluglärm-Überwachungsanlagen**
Derzeitige Aktivität: LuFo4-Projekt MODAL
- **Definition von umfassenden Datengrundlagen zur verbesserten Modellierung**
Betrifft sowohl akustische Eigenschaften als auch aerodynamische Performance

Essentiell – und nur durch Unterstützung seitens der Luftfahrtindustrie möglich !



> Ulrich Isermann: Lärm berechnen > BDL-Forum »Lärmschutz im Luftverkehr«, Berlin > 05.03.2013 • Folie 5



In den kommenden Jahren muss sich die Weiterentwicklung der Rechenmodelle auf zwei Punkte konzentrieren: Die Lücke zwischen den konventionellen Verfahren und den Simulationsmodellen muss geschlossen werden. Mindestanforderung ist die Schaffung von Verfahren für den praktischen Einsatz, die in der Lage sind, Umströmungs- und Triebwerkslärm separat zu modellieren. Dies ist die Grundvoraussetzung zur Auslegung lärmoptimierter Anflugverfahren. Derzeit wird dazu die Norm DIN 45689 erarbeitet. Die Verbesserung und Validierung der parametrischen Verfahren ist die zweite wichtige zukünftige Aufgabe, da diese Verfahren die Grundlage für ein „Design to Noise“ sind. Erste Aktivitäten zur Harmonisierung werden derzeit von DLR, NASA und ONERA initiiert.

Da jedes Berechnungsverfahren nur so gut wie die unterlegte Datengrundlage sein kann, muss in Zukunft massiv an der Verbesserung insbesondere der akustischen Datenbasen gearbeitet werden. Derzeit befasst sich das durch das 4. Luftfahrtforschungsprogramm geförderte Projekt MODAL mit dieser Aufgabe. Die Möglichkeiten sind hier aber begrenzt, da nur auf die Lärmessdaten und Radaraufzeichnungen der Fluglärmüberwachungsanlagen an sechs deutschen Verkehrsflughäfen zurückgegriffen werden kann. Diese Messungen sind – insbesondere was die Radaraufzeichnungen angeht – nur von limitierter Genauigkeit. Es muss sich also zum Teil auf statistische Methoden zur Datenanalyse beschränkt werden.

Dies ist insofern unbefriedigend, als die Triebwerks- und Flugzeughersteller einen Großteil der für die Lärmmodelle notwendigen Daten schon vermessen haben. Teilweise werden diese Daten auch in den eigenen Lärmmodellen verwendet. Hier kann nur an die Luftfahrtindustrie mit der dringenden Bitte um Unterstützung appelliert werden. Es kann nicht angehen, dass Daten, die seitens der Hersteller schon ermittelt wurden, durch umfangreiche und teure Vermessung seitens der Forschung neu bestimmt werden müssen.