

Vergleich der Fluglärmimmission eines parametrischen Einzelschallquell-basierten Rechenprogramms mit einem normierten Rechenverfahren

Jason Blinstrub¹, Rainer Schmid¹, Lothar Bertsch¹

¹ DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik,
Bunsenstr. 10, 37073 Göttingen, E-Mail: Jason.Blinstrub@dlr.de

Einleitung

Zur Berechnung von Fluglärm werden sowohl Best-Practice-Methoden als auch Methoden, welche auf parametrischen Einzelschallquellmodellen basieren, benötigt.

Eine in Deutschland gebräuchliche Best-Practice-Methode ist die AzB („Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzzonen“) [1]. In ihr sind akustisch äquivalenten Luftfahrzeuge zu Gruppen zusammengefasst. Zu jeder Luftfahrzeuggruppe existieren für An- und Abflug Datenblätter sowohl mit flugbetrieblichen Datensätzen (Fixpunktprofile) als auch mit akustischen Daten (Oktavspektren und Richtwirkungsfaktoren). Durch eine Gruppierung lässt sich zwar jeder aktuelle Flugzeugtyp kategorisieren und damit die Lärmimmission bestimmen, jedoch stehen Detailinformationen, wie der Beitrag einzelner Schallquellen zur Gesamtlärmimmission, nicht zur Verfügung. Daher werden Best-Practice-Methoden vor allem für die Berechnung der Lärmimmission von Verkehrsszenarien an Flughäfen verwendet.

Bekanntere Programme, die auf parametrischen Einzelschallquellmodellen basieren, sind PANAM (DLR) [3], ANOPP (NASA) [4] und CARMEN (ONERA) [5]. Diese Programme benötigen sehr detaillierte Eingabedaten, so dass die Lärmimmission nur für entsprechend detailliert beschriebene Flugzeugtypen berechnet werden kann. Dafür eignen sich diese Programme für detaillierte Einzelfluguntersuchungen. Solche Programme werden für Untersuchungen von Retrofitmaßnahmen, den Entwurf lärmarmen Flugzeuge bzw. Flugzeugkonzepte oder die Untersuchung von lärmarmen Start- und Landeverfahren gebraucht.

Für die Betrachtung von Flugverkehrsszenarien, welche weit in der Zukunft liegen, müssen neue lärmarme Flugzeugkonzepte berücksichtigt werden. Im DLR-Projekt FluiD-21 (Entwicklung der Fluglärmsituation in Deutschland im 21. Jahrhundert) [6] konnte die Fluglärmimmission mit dem Vorschlag einer überarbeiteten Datengrundlage der AzB [7] bis in das Jahr 2050 prognostiziert werden. Diese Untersuchung war möglich, da die heute modernen Flugzeugtypen mit Triebwerken mit hohen Nebenstromverhältnissen die Fluglärmsituation bis in das Jahr 2050 dominieren werden. Neue leisere Flugzeugkonzepte werden zwar möglicherweise bis 2050 bereits eingeführt sein, ihr Anteil an der Fluglärmimmission kann bis dahin aber vernachlässigt werden. Im laufenden DLR-Projekt DEPA 2070 hingegen wird eine Prognose bis in das Jahr 2070 vorgenommen. Bis dahin werden auch neue Flugzeugkonzepte für die Fluglärmimmission relevant sein. Für diese Flugzeugkonzepte, wie z.B. in [8] beschrieben, müssen also Datensätze für Best-Practice-Methoden generiert werden, welche nur über Programme wie PANAM erzeugt werden

können. Hierzu muss jedoch zunächst sichergestellt werden, dass die mit PANAM berechnete Lärmimmission vergleichbar mit der Lärmimmission von Best-Practice-Methoden ist.

In dieser Studie wird daher die Lärmimmission von PANAM mit der Lärmimmission der DIN 45689-1 verglichen, um festzustellen, wie vergleichbar die berechneten Immissionspegel für identische Flugzeugtypen auf definierten Flugprozeduren sind. Des Weiteren wird die Frage verfolgt, ob sich aus dem Vergleich Informationen bzgl. der dominierenden Schallquellen an durchflogenen Betriebszuständen ziehen lassen.

Programme und Methoden

Best-Practice-Methode DIN 45689-1

Die DIN 45689-1 [2] (im Folgenden nur als DIN bezeichnet) hat eine feinere Gruppierung mit Luftfahrzeugfamilie und Luftfahrzeugtypen als die AzB, was das Anwendungsspektrum erweitert. Das Gruppierungsschema ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Unterteilung einer AzB-Luftfahrzeuggruppe für die DIN [7] („Lfz.“: Luftfahrzeug)

Lfz.-gruppe (AzB21)	Lfz.-familie	Lfz.-typen
S3_M130_T2_N7	A32X	A319...A321
• Mind. ICAO Kap. 3	B737_NG	B737_700..._900
• MTOM 70-130 t	Übrige Lfz. aus der AzB-Gruppe	
• $2 \leq \text{BPR} < 7$	(z.B. B757, Tu-204)	

Für alle Typen dieser Familie gilt der gleiche flugbetriebliche Datensatz (Fixpunktprofil) und die gleichen akustischen Daten. Sie unterscheiden sich aber in der Lärmemission durch typenspezifische Pegelzuschläge.

Die AzB bzw. DIN ist im DLR mit dem Rechenprogramm AZBPLUS [9] umgesetzt, welches für das Framework AIRNAF in Python übersetzt wurde. Im Gegensatz zur AzB basiert AZBPLUS auf einem Zeitschrittverfahren. Die sich ergebenden Differenzen sind jedoch vernachlässigbar [7].

Einzelschallquell-Programm PANAM

Das am DLR entwickelte Programm PANAM (Parametric Aircraft Noise Analysis Module) [3] kombiniert die Modelle von relevanten Einzelschallquellen. Das heißt, für Fan (inkl. akustische Liner), Triebwerksstrahl, Landeklappen, Vorflügel und Fahrwerk ist jeweils ein eigenes parametrisches Quellmodell implementiert. Im Rahmen des Flugzeugvorentwurfs kann somit die Schallemission gezielt berechnet und entsprechend durch Entwurfsanpassungen reduziert werden (siehe z.B. [8]). Jedoch benötigt PANAM detaillierte Information über die Flugzeug- und Triebwerksgeometrie und den Betrieb (insbesondere Triebwerksparameter, wie

Austrittsgeschwindigkeiten, Temperaturen, etc.), welche nur für einige existierende Flugzeuge bzw. Triebwerke verfügbar sind.

Flugbahnberechnungs-Programm FLIPNA2

Für die Berechnung von Flugbahnen zur Lärmberechnung wurde am DLR das Programm FLIPNA2 (FLIght Paths for Noise Analyses) [10] erarbeitet. Die implementierte Methodik in der Version 2 basiert auf dem ECAC Doc 29 [11], wobei die Aerodynamik und das Triebwerkskennfeld aus dem Flugzeugvorentwurf verwendet werden kann.

Simulationsaufbau

Für den Vergleich der beiden Rechenmethoden wurde eine A319 ausgewählt. Zu diesem Flugzeug existiert sowohl ein detailliertes nachentworfenes Flugzeug als auch ein detailliertes Triebwerkskennfeld (CFM56-5A5). Auch in der DIN existiert ein entsprechender Datensatz. Die Referenzversion für diesen Datensatz in der DIN ist eine A320. Für den Anflug wird für die A319 ein Pegelzuschlag von -0.5 dB und für den Abflug von -1.0 dB angesetzt.

Für die Berechnung der Lärmimmission werden die gleichen Einstellungen hinsichtlich der Schallausbreitung verwendet. Die Berechnung der atmosphärischen Dämpfung erfolgt nach ISO9613-1 [12] und die Bodenzusatzdämpfung nach AzB [1].

Insgesamt wird in dieser Studie die Lärmimmission von vier Flugbahnen untersucht, wobei beim Abflug jeweils nur die schwerere Auslastung „B“ untersucht wird (Abfluggewicht größer 85% des maximalen Startgewichts):

- „S2“: ein NADP2-Abflugverfahren mit einer Cutback-Höhe von 1000 ft (entspricht dem im AzB-Überarbeitungsvorschlag [7] definierten Abflugverfahren für die übergeordnete AzB-Gruppe).
- „S1“: ein NADP1-Abflugverfahren mit einer Cutback-Höhe von 1500 ft.
- „LDLP1“: ein LDLP-Anflugverfahren mit einem Sinkwinkel von -3° , einem Zwischenanflug in 4000 ft Höhe mit einer Länge von 12 km, und einem Sinkwinkel im Endanflug von 3° . Auf dem Zwischenanflug wird zuerst verzögert und dann die Fluggeschwindigkeit konstant gehalten.
- „LDLP2“: ein LDLP-Anflugverfahren mit den gleichen Einstellungen wie „LDLP1“, jedoch wird auf dem Zwischenanflug zuerst die Fluggeschwindigkeit konstant gehalten und anschließend verzögert.

Zu jeder Flugbahn existiert in der DIN ein entsprechendes Fixpunktprofil, wobei das Fixpunktprofil für „LDLP1“ und „LDLP2“ identisch ist. Für die Berechnung mit PANAM muss jedes Profil mit dem Programm FLIPNA2 nachgebildet werden. Da keine Informationen über den Zeitpunkt des Ein- bzw. Ausfahrens des Hochauftriebssystems vorliegen, werden die Zeitpunkte im Rahmen der Berechnung durch FLIPNA2 bestimmt.

Ergebnisse

Abflug

Das Fixpunktprofil „S2“ der DIN sowie die Nachbildung mit FLIPNA2 sind in den oberen beiden Diagrammen in Abbildung 1 als schwarze bzw. rote Linie dargestellt. Der Kreis stellt dabei den Zeitpunkt des Einfahrens des Hochauftriebssystems dar. Die unteren beiden Diagramme in Abbildung 1 stellen die Lärmimmission in Form des A-bewerteten Maximalschalldruckpegels unter der Flugspur sowie die Differenz $\Delta L = L_{PANAM} - L_{DIN}$ dar.

Die Abbildung zeigt, dass das Fixpunktprofil der DIN gut nachgebildet werden kann. Lediglich in größerer Entfernung kommt es zu Abweichungen im Höhenprofil. Die Tatsache, dass das Geschwindigkeitsprofil geringfügig niedriger liegt, ist nachvollziehbar, da bei der DIN der operationelle Datensatz einer etwas schwereren A320 hinterlegt ist.

Die Differenz in der Lärmimmission von PANAM im Vergleich zur DIN liegt größtenteils im Bereich von 0.0 dB bis +2.5 dB. Wie in Abbildung 1 zu erkennen, ist bis zu einer Entfernung von 10 km auf Grund des bis dahin ausgefahrenen Hochauftriebssystems der Zellenlärm geringfügig relevant, jedoch nicht dominant.

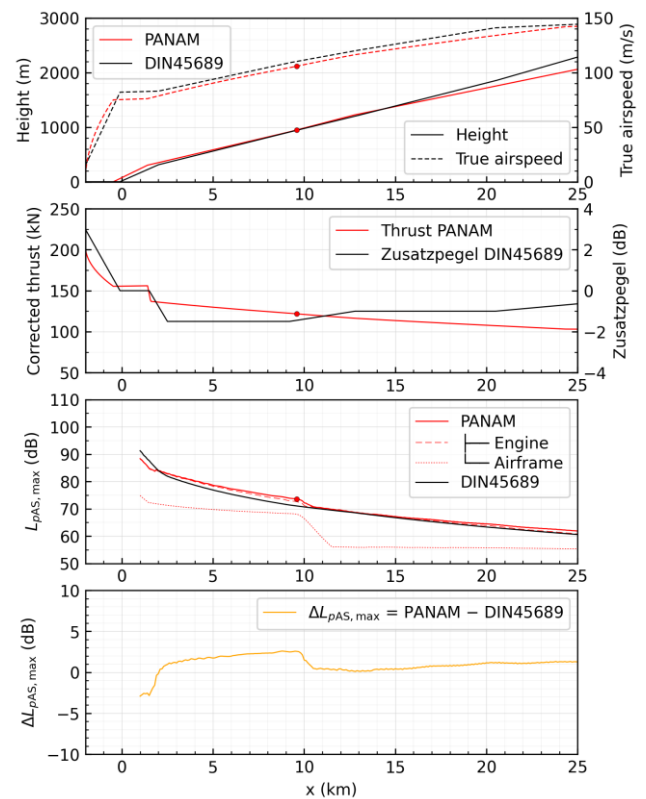


Abbildung 1: Vergleich der „S2“-Flugbahn (FLIPNA2) und der Lärmimmission (PANAM) eines A319 mit dem Fixpunktprofil und der Lärmimmission der DIN-Klasse. Der Kreis stellt das Einfahren des Hochauftriebssystems dar.

Die Abbildung 2 zeigt komplementär zu Abbildung 1 den flächigen Vergleich. Dargestellt sind die Konturen $L_{pAS,max} = 60, 70$, und 80 dB. Farblich hinterlegt sind die Pegeldifferenzen $\Delta L = L_{PANAM} - L_{DIN}$.

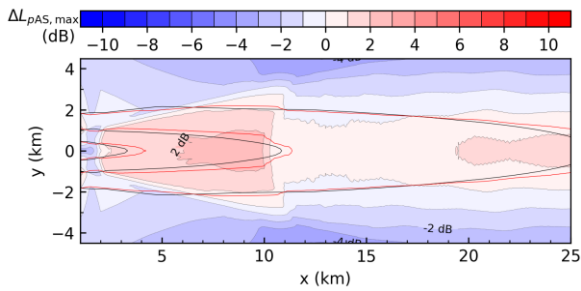


Abbildung 2: Vergleich der Lärmimmission (PANAM) eines A319 mit der Lärmimmission der DIN-Klasse für die Flugbahn „S2“. Dargestellt sind die Konturen $L_{pAS,max} = 60, 70$ und 80 dB. Farbiger hinterlegt sind die Pegeldifferenzen $\Delta L = L_{pANAM} - L_{pDIN}$.

In Abbildung 3 ist der Vergleich für das Abflugprofil „S1“ dargestellt. Das Fixpunktprofil der DIN kann hier ebenfalls gut nachgebildet werden. Die Differenzen der Lärmimmission bewegen sich hier größtenteils im Bereich von -0.5 dB bis $+1.5$ dB.

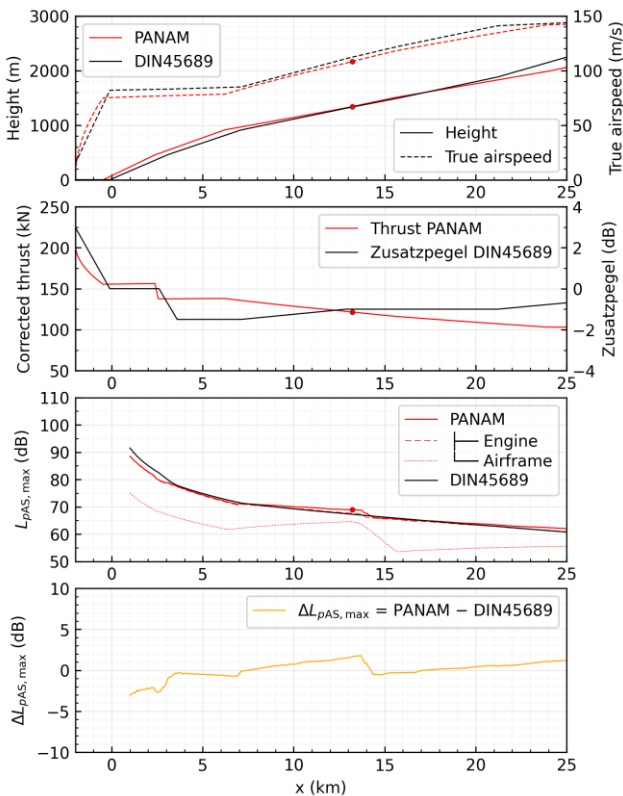


Abbildung 3: Vergleich der „S1“-Flugbahn (FLIPNA2) und der Lärmimmission (PANAM) eines A319 mit dem Fixpunktprofil und der Lärmimmission der DIN-Klasse. Der Kreis stellt das Einfahren des Hochauftriebssystems dar.

Anflug

Die Abbildung 4 zeigt den Vergleich für das Anflugprofil „LDLP1“ mit früher Konfigurationsänderung. In Abbildung 5 ist der dazugehörige flächige Vergleich dargestellt. Abbildung 6 zeigt den Vergleich für das Anflugprofil „LDLP2“ mit später Konfigurationsänderung.

Bei beiden Anflugprofilen zeigt sich gemäß den Eingaben eine exakte Übereinstimmung des Höhenprofils. Das Geschwindigkeitsprofil unterscheidet sich deutlich für

$x < -25$ km. Dies liegt jedoch in der Modellierung der DIN-Fixpunktprofile begründet. In der AzB/DIN wird ausgehend vom Beginn des Sinkfluges in 3050 m Höhe bis zum Eintritt in den Gleitpfad linear verzögert, um somit sowohl eine Verzögerung modellieren zu können, als auch Sprünge für den Fall ohne Zwischenanflug zu vermeiden. Dies entspricht zwar nicht den in der Praxis geflogenen Verfahren, jedoch werden damit die bei der Bestimmung der Fixpunktprofile verwendete Flugverlaufsdaten gut wiedergegeben. Dementsprechend sind die hier dargestellten Differenzen im Geschwindigkeitsprofil begründbar.

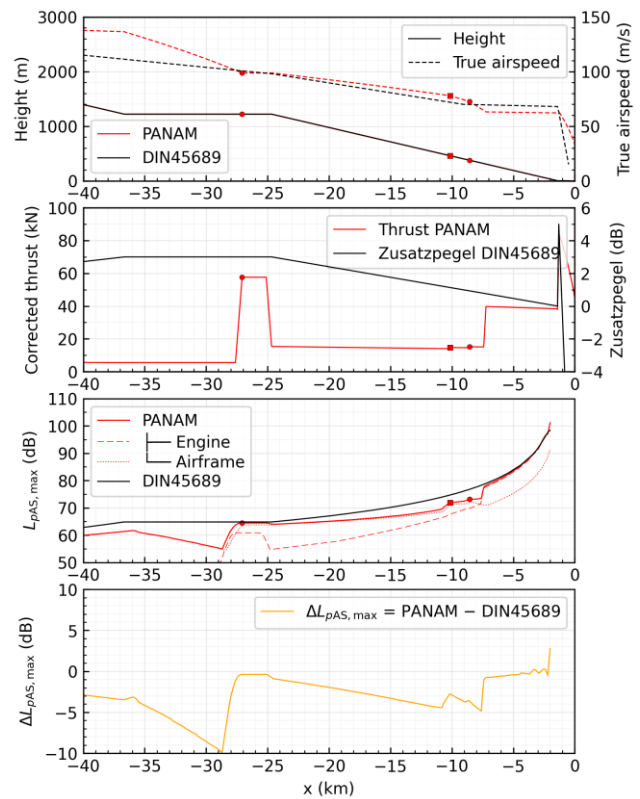


Abbildung 4: Vergleich der „LDLP1“-Flugbahn (FLIPNA2) und der Lärmimmission (PANAM) eines A319 mit dem Fixpunktprofil und der Lärmimmission der DIN-Klasse. Der Kreis stellt das Ausfahren des Hochauftriebssystems und das Quadrat das Ausfahren des Fahrwerks dar.

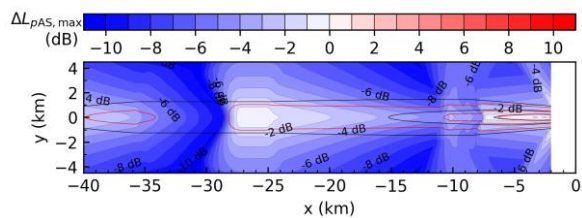


Abbildung 5: Vergleich der Lärmimmission (PANAM) eines A319 mit der Lärmimmission der DIN-Klasse für die Flugbahn „LDLP1“. Dargestellt sind die Konturen $L_{pAS,max} = 60, 70$ und 80 dB. Farbiger hinterlegt sind die Pegeldifferenzen $\Delta L = L_{pANAM} - L_{pDIN}$.

Die Differenzen in der Lärmimmission sind im Vergleich zum Abflug auf Grund der signifikanteren Konfigurations- und Geschwindigkeitsänderungen größer. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die AzB nicht für so große

Entfernungen konzipiert wurde. Ausgehend vom Eintritt in den Gleitpfad bei $x = -25$ km wächst bei PANAM zunächst die Lärmimmission nur geringfügig an, da sowohl Höhe als auch Geschwindigkeit abgebaut werden. Ab etwa $x = 10$ km steigt die Lärmimmission dann aber im Vergleich zur DIN zunächst auf Grund der Konfigurationsänderung und anschließend auf Grund der Schuberrhöhung deutlich stärker an. Die Aufteilung der Schallquellen zeigt, dass für einen Großteil des Anfluges der Zellenlärm dominant ist. Der Triebwerkslärm ist nur im Bereich der konstanten Geschwindigkeit auf dem Zwischenanflug sowie nach der Stabilisierung ab etwa 7 km relevant.

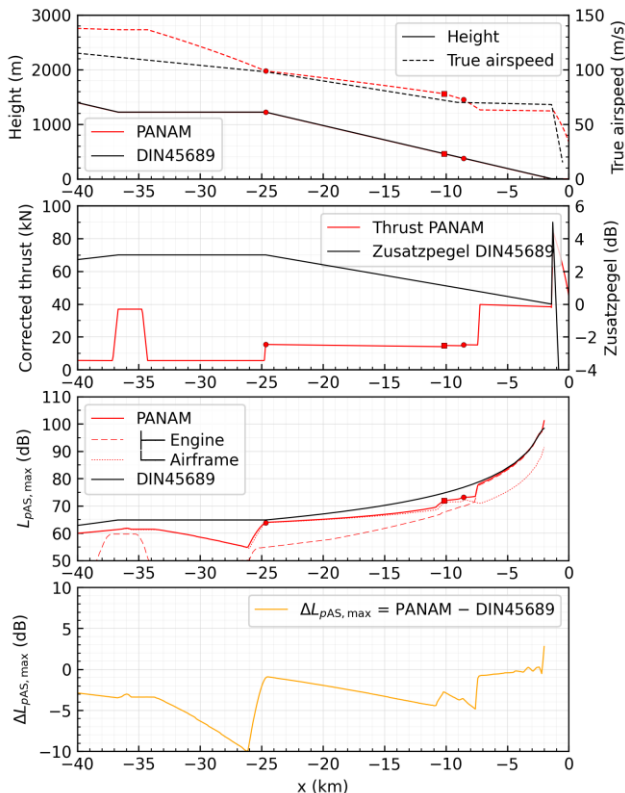


Abbildung 6: Vergleich der „LDLP2“-Flugbahn (FLIPNA2) und der Lärmimmission (PANAM) eines A319 mit dem Fixpunktprofil und der Lärmimmission der DIN-Klasse. Der Kreis stellt das Ausfahren des Hochauftriebssystems und das Quadrat das Ausfahren des Fahrwerks dar.

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die mit der Best-Practice-Methode DIN 45689-1 berechnete Lärmimmission mit der Lärmimmission eines Einzelschallquell-Programms verglichen. Insgesamt fallen die Pegeldifferenzen teilweise geringer aus als erwartet. Signifikante Pegeldifferenzen sind beim Anflug bei Konfigurationsänderungen sichtbar. Ein Grund hierfür ist, dass die Konfigurationsänderung nicht direkt in Best-Practice Methoden wie der DIN 45689-1 abgebildet wird.

Aus der Studie kann geschlussfolgert werden, dass die berechneten Immissionspegel beider Methoden zum großen Teil vergleichbar sind und sich darüber hinaus aus den Ergebnissen des Einzelschallquell-Programms Informationen bzgl. der Dominanz einzelner Schallquellen ziehen lassen. Es

gilt jedoch zu berücksichtigen, dass die hier vorgestellte Ergebnisse nur für diesen Flugzeugtyp gelten.

Im DLR-Projekt DEPA2070 werden mit der berechneten Lärmimmission neuer Flugzeugkonzepte entsprechende AzB/DIN-Datensätze erstellt, um Verkehrsszenarien an Flughäfen für die weite Zukunft (bis zum Jahr 2070) sachgerecht berechnen zu können.

Literatur

- [1] Der Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bekanntmachung der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19. November 2008, BAnz. Nr. 195a vom 23. Dezember 2008.
- [2] Deutsches Institut für Normung (DIN), Akustik - DIN 45689-1: Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Flugplätzen - Teil 1: Berechnungsverfahren, 2020.
- [3] L. Bertsch, „Noise Prediction within Conceptual Aircraft Design,“ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig, 2013.
- [4] L. V. Lopes und C. L. Burley, „ANOPP2 User's Manual Version 1.2,“ NASA Langley Research Center, 2016.
- [5] P. Malbéqui, Y. Rozenberg und J. Bulté, „Aircraft noise modelling and assessment in the IESTA program,“ in *Internoise*, Osaka, Japan, 2011.
- [6] R. Schmid et al., „Entwicklung der Fluglärmsituation in Deutschland im 21. Jahrhundert - FLUID-21 – wissenschaftlicher Abschlussbericht,“ DLR-IB-AS-GO-2023-130, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Göttingen, 2023.
- [7] J. Blinstrub, U. Isermann, T. Raitor und R. Schmid, „Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm,“ Umweltbundesamt, 2021.
- [8] F. Wienke, L. Bertsch, J. Blinstrub, M. Iwanitzki, P. Balack und J. Häßly, „System noise assessment of conceptual tube-and-wing and blended-wing-body aircraft designs,“ in *AIAA AVIATION Forum*, San Diego, CA, 2023.
- [9] U. Isermann, „Dokumentation zum Rechenprogramm AZBPLUS,“ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen, 2019.
- [10] J. Blinstrub, „Immission-Based Noise Reduction within Conceptual Aircraft Design,“ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Göttingen, 2019.
- [11] European Civil Aviation Conference (ECAC), „Methodology for Computing Noise Contours around Civil Airports,“ 4, 2016.
- [12] International Organization for Standardization (ISO), „ISO 9613-1: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere,“ 1993.