

Lärmpunktsysteme zur vereinfachten Bewertung von Fluglärmentwicklungen

Till Raitor¹, Jason Blinstrub¹, Rainer Schmid¹

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

Einleitung

Wegen des weltweit wachsenden Flugverkehrs bleibt der Fluglärm auch zukünftig ein erhebliches Umweltproblem in urbanen Umgebungen von Flughäfen. Daher ist es wichtig, den Fluglärm und dessen zukünftige Entwicklung beurteilen zu können. Die detaillierte Beurteilung von Fluglärmsituationen, besonders bei gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer Flughäfen, erfordert jedoch aufwändige Rechnungen. In bestimmten Anwendungsfällen, insbesondere für die Beurteilung der Entwicklung von Fluglärmsituationen, ist jedoch ein deutlich reduzierter Detaillierungsgrad ausreichend. Hierfür eignet sich das Konzept der Lärmpunkte, bei dem jedem Flugzeugtyp ein lärm-äquivalenter Wert, ein sogenannter Lärmpunkt, zugewiesen wird. Dieser gibt an, wie viele Flugbewegungen eines Referenzflugzeugs der gleichen Lärmbelastung eines Fluges des betreffenden Flugzeugs entsprechen. In einem Verkehrsszenario ergibt die Summe der Lärmpunkte der Flugbewegungen in dem zu berücksichtigenden Zeitraum ein Maß der Lärmbelastung. So kann der Einfluss von Änderungen der Flughäufigkeit und der Anteile der beteiligten Flugzeugtypen auf die Schallimmissionen schnell dokumentiert und bewertet werden.

Im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt wurde im Rahmen des Projektes „DEPA 2070“ [1] und dem Nachfolgeprojekt „DEPA ext“ [2] ein neues Lärmpunktesystem entwickelt.[3] Dieses Lärmpunktesystem ist speziell erarbeitet worden, um die Flächenbelastung von Dauerschallpegeln gut abzubilden.

International gibt es noch weitere Systeme, die prinzipiell für ähnliche Zwecke genutzt werden können. Diese Systeme sind zwar meist geringfügig anders aufgebaut, lassen sich aber so anpassen, dass die resultierenden Größen mit den Lärmpunkten des DLR vergleichbar sind.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, das vom DLR entwickelte System mit zwei anderen Systemen, die im Rahmen dieser Studie entsprechend angepasst wurden, zu vergleichen. Die zwei weiteren Systeme sind zum einen das dänische System des TDENL und zum anderen das britische Quota Count System.

Die hier vorgestellten Methoden zur Bestimmung von Lärmpunkten werden auf die vorgeschlagenen Flugzeuggruppen AzB21 [4] der Berechnungsmethode AzB [5] angewendet.

Bestimmung von Lärmpunkten

Lärmpunktesystem des DLR für AzB21 Flugzeuggruppen

Das Konzept des Lärmpunktesystems des DLR basiert auf der Berechnung von Konturflächen der Schall-exposi-

tionspegel für je einen An- und Abflug in Richtung Ost und West auf einem generischen Einbahnflughafen mit geradlinigen Flugrouten. Der resultierende Schall-expositionspegel wird für jede Flugzeuggruppe durch energetische Mittelung aller vier Flugoperationen mit einer Verteilung von 70 % West und 30 % Ost der Flugrichtungen ermittelt. Bei Flugzeuggruppen mit mehreren Auslastungen für den Start wird dabei immer die schwerere Auslastung (Auslastung „B“) verwendet.

In Abb. 1 sind die Konturen des Schall-expositionspegels L_{pAE} der Flugzeuggruppe S3.M130.T2.N7 (s. [4]) dargestellt, die hier als Referenz gilt, weil dies die immisions-relevanteste Flugzeuggruppe in Bezug auf Fluglärm an den meisten deutschen Flughäfen ist. Die gestrichelte Kurve in Abb. 1 oben ist die Isolinie des Schall-expositionspegels der Referenzgruppe von 80 dB. Sie umfasst eine Fläche von 24.2 km² und bildet somit die Referenzfläche A_{ref} .

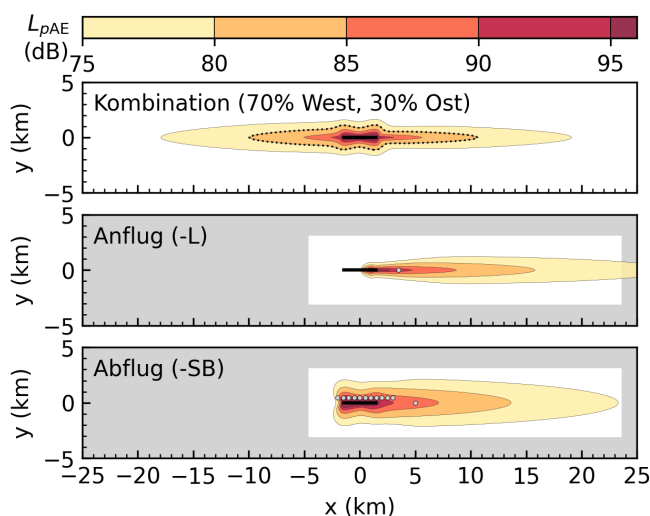


Abbildung 1: Lärmkonturen der AzB21-Gruppe S3.M130.T2.N7

Oben: Gemittelter Einzelflug bestehend aus 70% Betriebsrichtung West und 30% Betriebsrichtung Ost.

Mitte und Unten: Landung und Start mit der Auslastung B. Die grauen Punkte markieren die Zertifizierungspunkte, d.h. 2km vor Landeschwelle, 6.5 km nach Brake-release und lautester Pegel 450 m neben dem Runway (s. [6]).

Für die Bestimmung der Lärmpunkte wird für jede Flugzeuggruppe g derjenige Schall-expositionspegel bestimmt, dessen Isolinie der gemittelten Einzelflüge die gleiche Referenzfläche umschließt. Dieser Pegelwert ist der assoziierte Schall-expositionspegel $L_{pAE,asc,g}$. Die Bestimmung der Lärmpunkte erfolgt gemäß Gl. 1, wobei für den Immissionspegel L_g der $L_{pAE,g}$ verwendet wird. Analog dazu

wird für den Referenz-Immissionspegel in Gl.1 der assoziierte Schallexpositionspiegel der Referenzgruppe $L_{pAE,ref}$ eingesetzt.

$$P_g = 10^{\frac{L_g - L_{ref}}{10}}. \quad (1)$$

Das Lärmpunktesystem des DLR ist in [3] ausführlich beschrieben.

Das dänische System – TDENL-System

In Dänemark wurden in der Vergangenheit sogenannte TSEL/TDENL (*total sound exposure level/total day evening night level*) verwendet.[7]

Ein TSEL-Wert für einen Start bzw. eine Landung einer Flugzeuggruppe ergibt sich durch energetische Summation der Schallexpositionspiegel L_{pAE} innerhalb eines definierten Rechengebiets:

$$TSEL = 10 \lg \left(\frac{\Delta A}{A_0} \sum_i \sum_j 10^{0.1 \cdot L_{pAE,i,j}} \right), \quad (2)$$

wobei ΔA der Inhalt eines Flächenelements des Berechnungsgitters ist und i, j die Laufvariablen der Flächenelemente in x - bzw. y -Richtung sind. $A_0 = 1 \text{ km}^2$ ist die Bezugsfläche.

Die Darstellungen in der Mitte und unten von Abb. 1 zeigen die Konturen einer Landung (Mitte) und eines Starts mit der Auslastung B (unten), in bzw. aus Richtung Ost eines Flugzeugs der Referenzgruppe. Die weiß markierten Areale zeigen die definierten Rechengebiete.

Analog dazu ergibt sich der TDENL-Wert für ein Verkehrsszenario über die energetische (und gewichtete) Summierung der TSEL-Werte.

Um die TSEL-Werte der Flugzeuggruppe g mit den DLR-Lärmpunkten vergleichen zu können, werden sie analog dazu auf einen Referenzwert bezogen und die Lärmpunkte des dänischen Systems nach dem Prinzip von Gl. 1 gebildet.

Quota-Count-System

Das Quota-Count-System wurde zunächst für drei Londoner Flughäfen eingeführt, um u.a. den Einsatz leiserer Flugzeuge zu fördern.[8]

Hierbei wird zunächst, basierend auf den Zertifizierungspegeln (EPNL) [6] eines Flugzeugtyps, ein charakteristischer Pegelwert, ein sogenannter Qualifizierungspegel [8], für den Start L_S und die Landung L_L ermittelt:

$$L_S = \frac{1}{2} (EPNL_{flyover} + EPNL_{lateral}) \quad (3)$$

$$L_L = EPNL_{approach} - 9 \text{ dB}, \quad (4)$$

Anhand dieser Qualifizierungspegel der einzelnen Flugzeugtypen erfolgt eine Zuordnung der Quota-Counts. Das sind Klassifizierungsbereiche von $\Delta L = 3 \text{ dB}$, beginnend ab 81 dB.[8] Das System ist so aufgebaut, dass Flugzeuge mit doppelter Lärminmission (+3 dB) einen doppelt so hohen Quota-Count erhalten.

In dieser Studie werden die Qualifizierungspegel für die AzB21-Gruppen bestimmt. Abweichend von den Quota-Counts werden hier, um eine Vergleichbarkeit zu dem

DLR-System herbeizuführen, Lärmpunkte nach dem Prinzip von Gl. 1 ermittelt. Die Immissionspegel L_g und L_{ref} sind hier die entsprechenden EPNL-Werte.

In Tab. 1 sind die Lärmpunkte der relevantesten Flugzeuggruppen AzB21 aller drei Systeme mit der Referenzgruppe S3_M130_T2_N7 gegenübergestellt.

Tabelle 1: Übersicht der ermittelten Lärmpunkte für die AzB21-Gruppen.

AzB-Gruppe	DLR-System	DK-System	QC-System
P0_MXXX_TU	2.685	1.574	2.862
P3_M015_TU	0.135	0.094	0.179
P3_MXXX_TU	0.303	0.212	0.442
S3_M020_TU_NU	0.329	0.295	0.283
S3_M050_TU_N7	0.469	0.412	0.442
S3_M050_TU_NX	0.260	0.188	0.271
S3_M070_TU_N7	0.905	0.806	0.914
S3_M070_TU_NX	0.415	0.333	0.433
S3_M100_TU_N2	4.021	3.871	2.926
S3_M130_T2_N7	1.000	1.000	1.000
S3_M130_T2_NX	0.547	0.474	0.522
S3_M220_T2_N7	1.990	2.194	2.189
S3_M220_T4_N7	3.988	3.472	3.948
S3_M320_T2_N7	2.346	2.224	2.337
S3_M320_T2_NX	1.012	0.905	1.077
S3_M320_T3_N7	4.568	4.701	4.942
S3_M320_T4_N7	3.288	2.519	2.897
S3_M500_T2_NX	1.992	2.017	2.221
S3_M500_T4_N7	6.684	6.267	7.052
S3_M500_T4_NX	4.771	3.948	4.705
S3_MXXX_T4_NX	3.226	2.257	2.931

Vergleich der Lärmpunktsysteme bei der Abschätzung der Fluglärmentwicklung

Die Lärmentwicklung wurde für die generischen Flughäfen ONE als Einbahn- und TWO als Zweibahnssystem mit Verkehrsszenarien aus dem Projekt „Fluid-21“ [9] für den Zeitraum von 2020 bis 2050 untersucht. Beide Flughäfen haben vier Abflugrouten, die nach einem kurzen Geradeausflug nach Norden bzw. Süden abbiegen und zwei (ONE) bzw. vier (TWO) gerade Anflugrouten.

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des Flugverkehrs, d.h. die Entwicklung der Anzahl die Flugbewegungen und der beteiligten Flugzeuggruppen beider Flughäfen sowie der Lärmpunktsummen (rote Linien) aller drei Systeme von 2020 bis 2050. In beiden Verkehrsszenarien werden über die Jahre vermehrt größere Flugzeugtypen eingesetzt. Außerdem werden ältere Flugzeugmuster (N7-Flugzeuggruppen) durch modernere mit Triebwerken mit einem höheren Bypassverhältnis (NX-Flugzeuggruppen) kontinuierlich ersetzt. Während die Flugbewegungen beim Flughafen ONE kontinuierlich steigen, ist beim Flughafen TWO ab 2030 das Kapazitätslimit erreicht. Dort ist dann ein Wachstum nur noch über den Einsatz größerer Flugzeugtypen möglich. Diese Änderungen wirken sich auf die Schallimmissionen aus, die sich sehr gut über die Lärmpunktsummen veranschaulichen lassen.

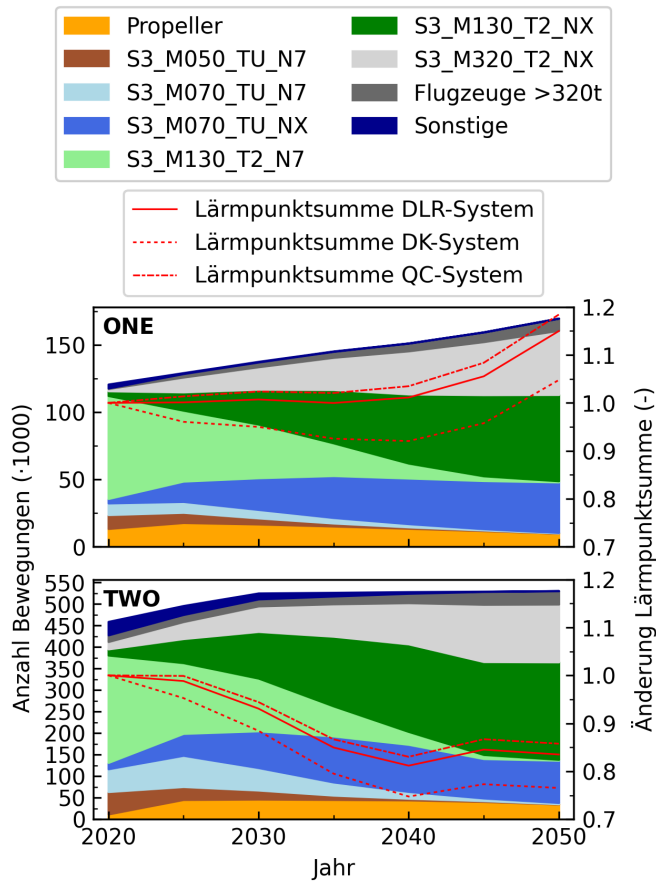


Abbildung 2: Entwicklung der AzB-Flugzeuggruppen und der verschiedenen Lärmpunktsysteme an den generischen Flughäfen ONE und TWO.

Beim Flughafen ONE werden im Laufe der Zeit kontinuierlich sowohl schwerere als auch modernere Luftfahrzeuge eingesetzt. Daher ist zu beobachten, dass die Lärmpunktsummen des DLR- und des Quota-Count Systems bis 2040 zunächst relativ konstant bleiben. Ab 2040 steigen diese Summen, da ab diesem Zeitpunkt alle älteren Luftfahrzeuge ersetzt wurden.

Das dänische System berücksichtigt den Anstieg der Lärmbelastung durch die Zunahme schwererer Flugzeuge weniger, wodurch die Lärmpunktsumme zunächst sinkt. Diese Trends ändern sich im Jahr 2040, wenn die Flugzeuge der Gruppe S3_M130_T2_N7 bis zu einem gewissen Grad ausgetauscht wurden.

Bei dem Zweibahnflughafen TWO bleiben die Lärmpunktsummen des DLR- und des Quota-Count Systems bis 2025 nahezu konstant, während die des dänischen System sinken, erst nach 2025 ist hier bei allen Lärmpunktsystemen ein Abwärtstrend zu beobachten, für den hier die Entwicklung zu moderneren und leiseren Flugzeugtypen sowie die Konstanz des Gesamtverkehrsaufkommens sorgt. Erst wenn fast alle älteren Flugzeuge mit niedrigerem Beipassverhältnis ersetzt sind, steigen ab 2040 die Lärmpunktsummen durch den Zuwachs an schwereren Flugzeugen (S3_M320_T2_NX). Ab 2045 verändert sich die Zusammensetzung des Verkehrs und somit auch die Lärmpunktsummen kaum noch.

Vergleich der Entwicklung der Lärmpunktsummen mit der Entwicklung der Lärmkonturen

In Abb. 3 sind die Lärmkonturen der äquivalenten Dauerschallpegel $L_{pAeq,24h}$ für beide Flughäfen für das Jahr 2020 dargestellt. Die gestrichelten Linien zeigen die für das DLR-System verwendete Referenzfläche von $A_{ref} = 24.2 \text{ km}^2$. Die weißen Flächen kennzeichnen das Rechengebiet für das dänische System.

Bei dem Flughafen ONE (121 000 Bewegungen in 2020) beträgt der assoziierte äquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,asc} = 55.1 \text{ dB}$, bei dem Flughafen TWO (459 000 Bewegungen in 2020) 62.2 dB . Die Differenz von 7.1 dB wird hauptsächlich durch das höhere Verkehrsaufkommen und den größeren Anteil schwererer Flugzeuge am Flughafen TWO verursacht.

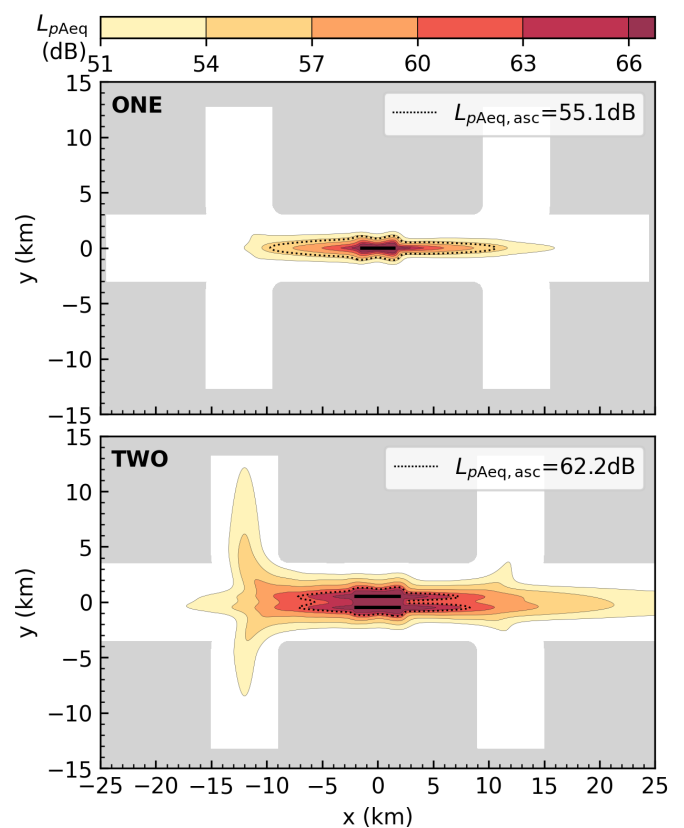


Abbildung 3: $L_{pAeq,24h}$ -Lärmkonturen der generischen Flughäfen ONE und TWO. Die gestrichelte Linie zeigt die für das DLR-System verwendete Referenzfläche mit entsprechenden $L_{pAeq,asc}$.

In Abb. 4 wird die Entwicklung der Fluglärmsituation an den beiden Flughäfen für die drei Lärmpunktsysteme dargestellt. Die gestrichelten Kurven zeigen die Entwicklungen der Lärmpunktsummen der drei Systeme. Mit den durchgezogenen Linien werden die Verläufe der $L_{pAeq,24h}$ -Flächen für 57 dB (rot), 60 dB (blau) und 63 dB (grün) und des delogarithmierten TDENL ($10^{\text{TDENL}/10}$) dargestellt.

Alle drei Systeme bilden die Entwicklung der vom Lärm beaufschlagten Flächen um Flughäfen ab. Das DLR-

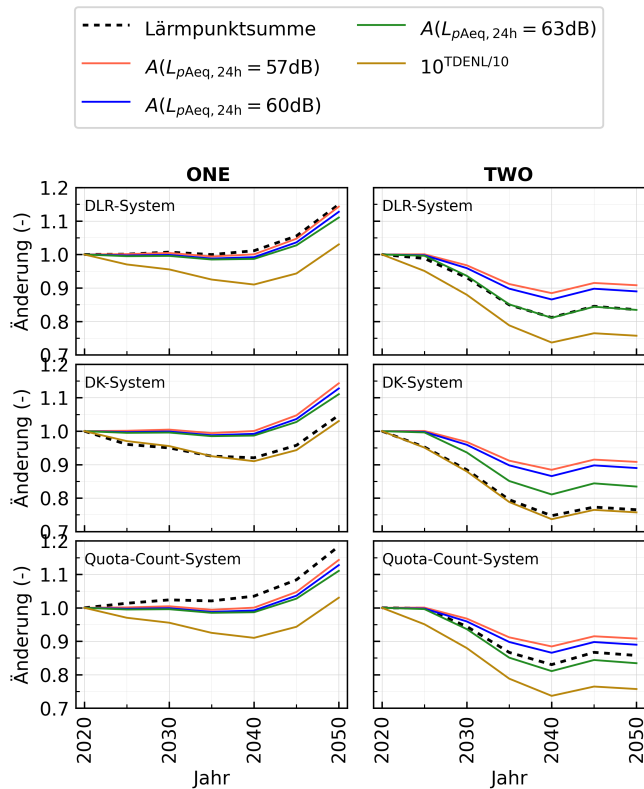


Abbildung 4: Entwicklung der Fluglärmsituation an den beiden Flughäfen ONE und TWO – Gegenüberstellung der Abschätzung mit Hilfe der Lärmpunktsummen mit den Verläufen der 57 dB- $L_{pAeq,24h}$, der 60 dB- $L_{pAeq,24h}$, der 63 dB- $L_{pAeq,24h}$ -Fläche und dem delogarithmierten TDENL ($10^{TDENL/10}$).

System ist auf die $L_{pAeq,asc}$ -Flächen kalibriert, deshalb passen hier die Verläufe der $L_{pAeq,24h}$ -Flächen, die den $L_{pAeq,asc}$ nahe kommen (55 dB für ONE und 63 dB für TWO, vgl. Abb. 3), gut. Hier sei noch erwähnt, dass mit Hilfe einer berechenbaren Korrektur (siehe [3]) das DLR-System zur Wiedergabegenauigkeit auf jede Höhe der $L_{pAeq,24h}$ -Flächen angepasst werden kann. Das dänische System baut auf den TSEL auf, daher passen die Verläufe der Abschätzungen gut zu den delogarithmierten TDENL-Werten (gelbe Kurven in Abb. 3 Mitte). Das Quota-Count-System basiert auf den Zertifizierungspegeln. Trotz gewisser Abweichungen ist der Verlauf des Quota-Count-System durchaus mit den $L_{pAeq,24h}$ -Flächen vergleichbar.

Zusammenfassung

Die Lärmpunktsysteme erlauben schnelle und unkomplizierte Abschätzungen von Lärmimmissionen in der Umgebung von Flughäfen. Besonders gut können damit Änderungen von Lärmsituationen infolge von Änderungen beim Flugverkehr bewertet werden.

Das DLR-System hat den Vorteil, dass sich recht genaue Rückschlüsse auf Lärmkonturflächen ziehen lassen, weil es darauf kalibriert ist. Das Dänische System ist, abgesehen von der Wahl des Rechengitters, energetisch korrekt. Die Grundlagen des Quota-Count-Systems bilden die Zertifizierungspegel, die in relativer Nähe der

Runways erhoben werden. Diese Zertifizierungspegel sind überall verfügbar, was die Handhabbarkeit des Quota-Count-Systems sehr einfach macht. Dafür muss aber in kauf genommen werden, dass die Genauigkeiten geringer sind, weil vor allem bei Anflügen von moderneren Flugzeugen der Umströmungslärm in größeren Entfernungen eine größere Rolle spielt.

Literatur

- [1] Leipold, A., Baier, F., Bauder, U., Blinstrub, J., Buchtal, K.A., Borrás, E., Campillo, Clococeanu, M., Eckel, G., Ennen, D. und N. Fläthmann, et al.: *Development Pathways for Aviation up to 2070 - Study Report (DEPA2070)*. Technischer Bericht, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln, 2025.
- [2] DEPA-ext: *Development Pathways for Aviation extended*, 2025. <https://www.dlr.de/de/lv/forschung-transfer/projekte/depa-ext> [Zugriff am: 2026-01-09].
- [3] Blinstrub, J. und Schmid, R.: *Aircraft Noise Assessment Using Noise Points: Conception and Verification*. MDPI, Aerospace 2025, 1, 930, 2025.
- [4] Blinstrub, J., Isermann, U., Raitor, T. und Schmid, R.: *Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm*. Abschlussbericht Forschungskennzahl 3717 54 101 0 FB000511, Umweltbundesamt, 2021.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: *Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2008.
- [6] International Civil Aviation Organization: *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation - Environmental Protection Volume I - Aircraft Noise, Eighth Edition*. ICAO, Juli 2017.
- [7] Michelsen, N., Borglund, P., Plovsing, B. und Svane, C.: *The TDENL-Method (Total Day Evening Night Level) A Tool for Airport Noise Control*. interneise, 1988.
- [8] White, S., Ollerhead, J. B., Cadoux, R.E. und Smith, M. J. T.: *ERCD Report 0205 Quota Count Validation Study: Noise Measurements and Analysis*. Technischer Bericht, Environmental Research and Consultancy Department, 2003.
- [9] Schmid, R., Blinstrub, J., Raitor, T., Grimme, W., Gelhausen, M., Ehmer, H., Claßen, A., Müller, L., Kurz, J., Schmitz, G., Bartels, S., Quehl, J., Fritsch, K. und Aeschbach, D.: *Entwicklung der Fluglärmsituation in Deutschland im 21. Jahrhundert - FLUID-21*. Wissenschaftlicher Abschlussbericht DLR-IB-AS-GO-2023-130, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, November 2021.