

Interner Bericht

DLR-IB-AS-GO-2026-75

Untersuchung der Fluglärmbelastung von operationellen Maßnahmen am Flughafen Bremen

Studie

Autoren:

Felix Löble, Till Raitor, Jason Blinstrub,
Rainer Schmid

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt



Titel: Untersuchung der Fluglärmbelastung von operationellen Maßnahmen am Flughafen Bremen

Übersicht/Abstract:

Im Rahmen des DLR-Projekts Luftverschmutzung, Lärm, Lichtverschmutzung und Klimaänderung (3LK) wird der Einfluss verschiedener betrieblicher und technischer Randbedingungen auf die Fluglärmbelastung am Flughafen Bremen untersucht. Aufgrund der vergleichsweise kurzen Start- und Landebahn bestehen in Bremen Einschränkungen hinsichtlich der eingesetzten Luftfahrzeuge. Die vorliegende Studie untersucht daher den Einfluss einer beidseitigen Startbahnverlängerung sowie unterschiedlicher Steil- und Flachstartverfahren auf die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens für Einzelflüge und Verkehrsszenarien. Die Berechnungen werden mit dem Aircraft Noise Analyses Framework des DLRs in Anlehnung an die AzB-Berechnungsvorschrift sowie nach DIN 45689 durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl unterschiedliche Startverfahren als auch die allgemeine beidseitige Startbahnverlängerung nur geringfügige lokale Veränderungen der Fluglärmbelastung bewirken. Steilstartverfahren reduzieren die Lärmbelastung direkt unter der Flugbahn, während Flachstartverfahren seitlich der Flugbahn Vorteile aufweisen. Die Nutzung der verlängerten Startstrecke führt aufgrund der höheren Flugbahn ebenfalls zu einer Entlastung unter der Flugbahn, gleichzeitig jedoch zu erhöhten Pegeln im Bereich seitlich des Startrollpunkts.

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V.

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

Institutsleiter:

(Prof. Dr. Andreas Dillmann)

Abteilungsleiter:

(Dr. habil. Anthony D. Gardner)

Verfasser:

(Dr. Felix Löble)

(Dr. Till Raitor)

(Dr. Jason Blinstrub)

(Dr. Rainer Schmid)

Datum:	August 2026	Abteilung:	AS-HEL	Bericht:	IB-AS-GO-2026-75
Bearbeitet:	Felix Löble				

Dokumenteigenschaften

Titel	<u>Untersuchung der Fluglärmbelastung von operationellen Maßnahmen am Flughafen Bremen</u>
Betreff	<u>Flughafen Bremen, Fluglärm, operationelle Maßnahmen, AIRNAF, AzB, DIN45689</u>
Institut	<u>Aerodynamik und Strömungstechnik (AS-GÖ)</u>
Erstellt von	<u>Felix Lößle, Till Raitor, Jason Blinstrub, Rainer Schmid</u>
Beteiligte	<u>-</u>
Geprüft von	<u>-</u>
Freigabe von	<u>Andreas Dillmann</u>
Zugänglichkeit	☒ Stufe 1: Allgemein zugänglich (in elib ohne Zugangsbeschränkung)
	☐ Stufe 2: DLR intern zugänglich (in elib mit Beschränkung „nur DLR-intern zugänglich“)
Datum	<u>19.08.2026</u>
Version	<u>1.0</u>
Datei Info	<u></u>

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	7
2.	Datengrundlage	9
2.1.	Flugrouten	9
2.2.	Bewegungszahlen des Referenzszenarios	10
3.	Fluglärmberechnungen	14
3.1.	Berechnungsvorschriften	14
3.2.	Berechnungsprogramm AIRNAF	14
3.3.	Datensätze der verwendeten Berechnungsvorschriften	15
3.4.	Metriken.....	17
4.	Ergebnisse.....	19
4.1.	Einfluss von Flugverfahren	19
4.1.1.	Einfluss von Flugverfahren im Einzelflug.....	20
4.1.2.	Einfluss von Flugverfahren im Szenario	27
4.2.	Einfluss von einer Verlängerung der Startbahn um ca. 300m	29
4.2.1.	Einfluss einer Startbahnverlängerung im Einzelflug	29
4.2.2.	Einfluss einer Startbahnverlängerung im Szenario	31
5.	Zusammenfassung	34
6.	Offene Fragen und Ausblick	35
7.	Literaturverzeichnis.....	36
8.	Anhang: Vergleiche von Verfahren und Programmen	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Bewegungen des Referenzszenarios für den Flughafen Bremen, angelehnt an das DES für die 6 verkehrsreichsten Monate für das Jahr 2030 [4] für AzB 2008-Gruppen [3]. Die leichte Auslastung bei Start ist durch (A) gekennzeichnet.	11
Tabelle 2-2: In der Studie benutzte Übersetzung von AzB08-Gruppen [3] in DIN 45689-2-Gruppen [2];	12
Tabelle 2-3: Bewegungen des Referenzszenarios für den Flughafen Bremen, angelehnt an das DES für die 6 verkehrsreichste Monate für das Jahr 2030 [4] für DIN 45689-2-Gruppen [2]. Die mit (A) oder (*) markierten Gruppen wurden mit Auslastung A (Abfluggewicht < 85% MTOW) berechnet. Für die mit (**) markierte Gruppe wird Auslastung B auf Startbahn 09X/27X berechnet.	12
Tabelle 3-1: Oktav-Schallleistungspegel $L_{w,n}$ für die startende A320_CLAS-S2B nach DIN 45689-2 [2]	16
Tabelle 3-2: Richtungsfaktoren R_n für die startende A320_CLAS-S2B nach DIN 45689-2 [2] ...	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Routenstruktur des Flughafens Bremen, Abflugrouten in blau, Anflugrouten in rot; Strichstärke proportional zur Bewegungsanzahl des DES [4]	9
Abbildung 2-2: Start-/Landebahnen des Flughafens Bremen. Die mit X bezeichneten Start-/Landebahnen stellen die beidseitig um ca. 300 m längere Bahnen dar.	10
Abbildung 3-1: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klasse A320_CLAS-S1B (NADP1) und A320_CLAS-S2B (NADP2)	17
Abbildung 4-1: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klassen A320_CLAS-S1A (NADP1) und A320_CLAS-S2A (NADP2)	21
Abbildung 4-2: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten der in DIN 45689-2 [2] definierten Startverfahren A320_CLAS-S1A (NADP1) und A320_CLAS-S2A (NADP2) für eine Abflugroute am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen der Startverfahren A320_CLAS-S1A (NADP1) zu A320_CLAS-S2A (NADP2).	22
Abbildung 4-3: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klasse A320_CLAS-S2A und des konstruierten NADP2-Profiles mit einer Cutbackhöhe von 1500 ft	24
Abbildung 4-4: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten für das in DIN 45689-2 [2] definierte Startverfahren A320_CLAS-S2A (NADP2) und eines daran angelehnten Startverfahrens mit einer Cutbackhöhe von 1500 ft für eine Abflugroute am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen des konstruierten Startverfahren zum Startverfahren A320_CLAS-S2A.	25
Abbildung 4-5: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klassen A320_CLAS-S2B und A320_CLAS-S2A	26
Abbildung 4-6: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten der in DIN 45689-2 [2] definierten Startverfahren A320_CLAS-S2B (hohe Auslastung) und A320_CLAS-S2A (niedrige Auslastung) für eine Abflugroute am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen der Startverfahren A320_CLAS-S2B zu A320_CLAS-S2A (beide NADP2).	27
Abbildung 4-7: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für die Bewegungen des Referenzszenarios für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind die mit der DIN 45689 berechneten Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) für die in der DIN hinterlegten Flachstartverfahren (NADP2).	28

Abbildung 4-8: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für die Bewegungen des Referenzszenarios für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind die mit der DIN 45689 berechneten Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) für die in der DIN hinterlegten Steilstartverfahren (NADP1) und Flachstartverfahren (NADP2), farblich hinterlegt sind die Pegeldifferenzen Steilstartverfahren zu den Flachstartverfahren. 29

Abbildung 4-9: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten für das in DIN 45689-2 [2] definierte Startverfahren A320_CLAS-S2A (Flachstartverfahren mit geringer Auslastung A) für einen Start auf der Startbahn 09/27 und für einen Start um ca. 300 m nach Westen verschoben auf der Startbahn 09X/27X auf einer Route bei Ostbetrieb am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen für einen Start von der Startbahn 09X/27X zur Startbahn 09/27. . 30

Abbildung 4-10: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten für das in DIN 45689-2 [2] definierte Startverfahren A320_CLAS-S2A (Flachstartverfahren mit geringer Auslastung A) für einen Start auf der Startbahn 09/27 und für einen Start um ca. 300 m nach Osten verschoben auf der Startbahn 09X/27X auf einer Route bei Westbetrieb am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen für einen Start von der Startbahn 09X/27X zur Startbahn 09/27. . 31

Abbildung 4-11: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind in Anlehnung an die AzB berechnete Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten). 32

Abbildung 4-12: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Szenario X (ca. 300 m längere Startrollstrecken im Vergleich zum Referenzszenario) und das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind in Anlehnung an die AzB berechnete Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten), farblich hinterlegt sind die Pegeldifferenzen des Szenario X zum Referenzszenario. 33

Abbildung 8-1: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen (unter Berücksichtigung der im DES hinterlegten Korridorbreiten ohne 3σ -Regelung). Dargestellt sind Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) berechnet in Anlehnung an die AzB 2008 mit AIRNAF und nach AzB 2008 mit SOUNDPLAN. Farbig hinterlegt sind die Pegeldifferenzen der Berechnungen mit AIRNAF zu SOUNDPLAN. 37

Abbildung 8-2: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) von Berechnungen mit der DIN 45689 und Berechnungen in Anlehnung an die AzB

2008 Berechnungsvorschrift. Farbig hinterlegt sind die Pegeldifferenzen der Berechnungen DIN 45689 zu AzB 2008.	38
--	----

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
3LK	DLR-Projekt Luftverschmutzung, Lärm, Lichtverschmutzung und Klima- änderung
AIRNAF	<i>Aircraft Noise Analyses Framework</i>
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
DES	Datenerfassungssystem
DIN	Deutsches Institut für Normung
Einzelereignispegel	A-bewerteter Schalldruckexpositionspegel L_{pAE}
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IAS	<i>Indicated Airspeed</i>
Maximalpegel	maximaler AS-bewerteter Schalldruckpegel $L_{pAS,max}$
MTOW	Maximales Abfluggewicht
NADP	<i>Noise abatement departure procedure</i>
SOUNDPLAN	Zertifiziertes Berechnungsprogramm für Lärmimmissionen

1. Einführung

Das DLR-Projekt **Luftverschmutzung, Lärm, Lichtverschmutzung und Klimaänderung** (3LK) hat neben der Untersuchung von weiteren Umweltbelastungen das Ziel den Fluglärm in der Umgebung der internationalen deutschen Verkehrsflughäfen für das Jahr 2025 und 2030 zu kartografieren. Darüber hinaus sind im Projekt die Fokusregionen Bremen, Hamburg und München definiert, in denen gezielt Maßnahmen untersucht werden, die eine Entlastung der Umwelt versprechen.

Der Flughafen der Fokusregion Bremen zeichnet sich dadurch aus, dass die für den kommerziellen Luftverkehr relevante Start- und Landebahn in Ausrichtung Ost/West (im Folgenden als Startbahn 09/27 bezeichnet) eine Länge von lediglich 2024 m hat, was im Vergleich zu anderen internationalen Verkehrsflughäfen kurz ist. An beiden Enden der Startbahn 09/27 sind jeweils weitere ca. 300 m Startbahn mit dazu gehörigen Startrollpunkten vorhanden, die aber nur in Ausnahmefällen benutzt werden dürfen (im Folgenden als Startbahn 09X/27X bezeichnet). Weiterhin besitzt der Flughafen Bremen noch eine Nebenstartbahn mit einer Länge von 700 m (im Folgenden als Startbahn 23 bezeichnet), welche jedoch nur für die allgemeine Luftfahrt genutzt wird. Auf Grund der verhältnismäßig kurzen Startbahn 09/27 können am Flughafen in der Regel nur kleine- und mittelschwere Luftfahrzeuge verkehren. Für große Luftfahrzeuge, wie sie typischerweise im Interkontinentalverkehr eingesetzt werden, ist die Startbahn 09/27 mit einer Länge von 2024 m zu kurz.

Für die Region Bremen ist daher von Interesse wie sich die auf die Flotte und die Flugverfahren beschränkende Nutzung dieser kurzen Startbahn 09/27 auf den Fluglärm auswirkt und wie sich eine Nutzung von den vorhandenen zusätzlichen ca. 300 m für den Start (Startbahn 09X/27X) auf die Fluglärmbelastung auswirken würde. Weiterhin ist von Interesse, wie sich typische Steilstart- und Flachstartverfahren auf den Fluglärm in der Umgebung des Flughafens auswirken. Diese Studie soll diese zwei Sachverhalte untersuchen, indem exemplarisch Einzelflugberechnungen und Szenarienberechnungen für eine Verkehrsprognose für das Jahr 2030 für den Flughafen Bremen mit normierten Fluglärmberechnungsverfahren durchgeführt werden.

Die Berechnungen in dieser Studie wurden mit dem normierten Fluglärmberechnungsverfahren DIN 45689-1 [1] in Kombination mit der Datengrundlage der DIN 45689-2 [2] und in Anlehnung an die AzB 2008 [3] durchgeführt. Die AzB 2008 ist momentan die gesetzlich vorgeschriebene Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der Lärmschutzgebiete. Für manche Anwendungsbereiche, wie z. B. Szenarien zur Ausmusterung oder Umschichtung von Luftfahrzeugmustern oder Untersuchungen zu Flugverfahren, können Berechnungen mit der AzB 2008 fallweise nur begrenzt geeignet sein. Daher wird dieses Berechnungsverfahren in dieser Studie nur für Szenarienberechnungen zur allgemeinen Nutzung der Startbahn 09X/27X benutzt. Das DIN-

Fluglärmberechnungsverfahren eignet sich insbesondere für Untersuchungen zu operationellen Startverfahren (siehe Kapitel Berechnungsvorschriften 3.1). Daher wird in dieser Studie dieses Berechnungsverfahren für alle Einzelflugberechnungen und für die Szenarienberechnung zu Flugverfahren benutzt.

Die Datengrundlage für Szenarienberechnungen bildet in dieser Studie ein Datenerfassungssystem (DES) für den Flughafen Bremen für die 6 verkehrsreichsten Monate für das Jahr 2030 [4], das dem DLR zur Verfügung gestellt wurde. Dieses DES ist auf Grundlage der Flugzeuggruppen der AzB 2008 [3] erstellt worden. Für die Szenarienberechnungen zu Flugverfahren, die mit der DIN 45689 durchgeführt worden sind, wurden Annahmen getroffen um diesen Flugverkehr auf die DIN 45689-2 Flugzeuggruppen abzubilden (siehe Kapitel 2.2).

2. Datengrundlage

Grundlagen der Berechnungen ist ein DES für den Flughafen Bremen für die 6 verkehrsreichsten Monate für das Jahr 2030, das 2019 von OTSD erstellt wurde [4]. Unter anderem enthält es Lage der Start- und Landebahnen, Geometrie der Routen und die Bewegungszahlen aufgeschlüsselt nach Routen, AzB 2008-Gruppen [3] und Tageszeit.

2.1. Flugrouten

In Abbildung 2-1 ist die Routenstruktur am Flughafen Bremen dargestellt. Abflugrouten sind in blau und Anflugrouten in rot gekennzeichnet. Die Häufigkeit der Bewegungen auf den Routen, die sich aus dem DES ergeben, wird durch die Dicke der Linien wiedergegeben. Nach DES [4] ist die Betriebsrichtungsverteilung ca. 62% Westbetrieb und 38% Ostbetrieb. Von den Starts auf der Startbahn 09/27 nutzen 7,7% einen *intersection takeoff* (ausschließlich kleine Propellerflugzeuge bis AzB 2008-Gruppe P1.4) und 0,6% die Startbahn 09X/27X (ausschließlich Flugzeuge der AzB 2008-Gruppe S6.1). Die am häufigsten benutzte Route für den Start in westliche Richtung wird von 15,6% und in östliche Richtung von 11,4% der Flugbewegungen verwendet. Abbildung 2-2 zeigt schematisch die Startrollpunkte der Start-/Landebahnen in Bremen.

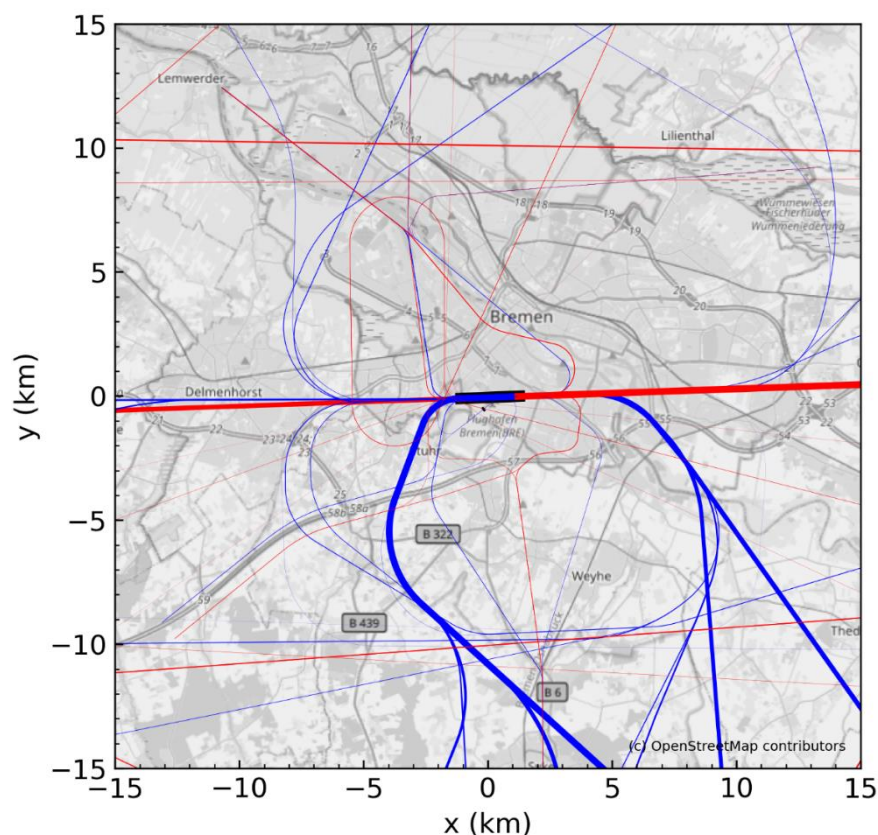


Abbildung 2-1: Routenstruktur des Flughafens Bremen, Abflugrouten in blau, Anflugrouten in rot; Strichstärke proportional zur Bewegungsanzahl des DES [4]

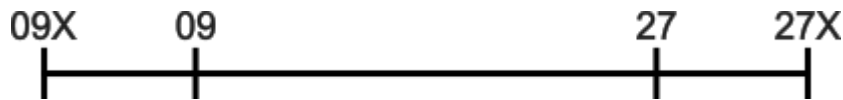


Abbildung 2-2: Start-/Landebahnen des Flughafens Bremen. Die mit X bezeichneten Start-/Landebahnen stellen die beidseitig um ca. 300 m längere Bahnen dar.

2.2. Bewegungszahlen des Referenzszenarios

Der in diesem Bericht betrachtete Verkehr ist an das oben genannte DES angelehnt. Im Unterschied zum DES werden keine Vorfeldaktivitäten (Rollen, APU-Betrieb), *missed approaches* oder Platzrunden berücksichtigt. Ebenfalls nicht betrachtet werden die Bewegungen, die auf der Startbahn 23 stattfinden (nur ca. 0,4% der Flüge aus dem DES), Hubschrauberbewegungen und militärische Bewegungen (AzB 2008-Gruppen mit der Bezeichnung „mil“). Außerdem werden Bewegungen kleiner Propellerflugzeuge (AzB 2008-Gruppen P1.0 bis P1.4) nicht berücksichtigt, da ihr Einfluss auf die Lärmbelastung vernachlässigbar ist. Das so bewegungsreduzierte DES wird im Folgenden als Referenzszenario bezeichnet.

Weil im Referenzszenario in der Nacht deutlich weniger Bewegungen in Bremen stattfinden, wurden in den Untersuchungen lediglich der Tageszeitraum 6 bis 22 Uhr betrachtet. In Tabelle 2-1 sind die Flugbewegungen des Referenzszenarios am Tag (6-22 Uhr) für die 6 verkehrsreichsten Monate für die AzB 2008-Klassen [3] aufgelistet.

Da die AzB 2008 im Gegensatz zur DIN 45689 keine Untersuchung unterschiedlicher Startverfahren vorsieht, wurden Ergebnisse zu Startverfahren mithilfe der DIN 45689 erzeugt. Das in den Untersuchungen zu Grunde liegende DES [4] war aber lediglich nach AzB 2008-Klassen [3] aufgeschlüsselt. Daher wurden die Luftfahrzeugbewegungen nach AzB 2008-Klassen gemäß einer Eingruppierungsvorschrift in ein oder mehrere DIN 45689-2-Klassen überführt. Hierzu wurden in dieser Untersuchung Annahmen getroffen, wie die Bewegungen aus einer AzB 2008-Klasse [3] in DIN45689-2-Klassen [2] überführt wurden (dargestellt in Tabelle 2-2). Diese Annahmen haben zwar auf die absolute Pegelhöhe einen Einfluss, wenn jedoch lediglich Pegeldifferenzen zweier Szenarien auf Grundlage des Referenzszenarios betrachtet werden sollen, ist dieser Einfluss vernachlässigbar.

Der Hauptunterschied des Gruppierungsschemas der AzB 2008 [3] und des der DIN 45689-2 [2] ist, dass die Flugzeuggruppen der DIN feiner unterteilt sind. Unter anderem wird mit der Unterscheidung des Nebenstromverhältnisses berücksichtigt, dass moderne Luftfahrzeuge mit Triebwerken mit einem Nebenstromverhältnis größer 7 bei Starts erheblich leiser sind als ältere Luftfahrzeuge mit Triebwerken mit einem Nebenstromverhältnis kleiner 7 (siehe [5]). Diese

Unterscheidung bietet die AzB 2008 nicht und moderne Luftfahrzeuge können nur wie ältere behandelt werden, was im Bereich der Abflugrouten zu Überschätzungen führt, wenn eine größere Anzahl an modernen Flugzeugen im Einsatz ist. Insgesamt ist die Anzahl der Flugzeuggruppen bei der AzB 2008 [3] kleiner als bei der DIN 45689-2 [2].

Nach AzB 2008 werden die Gruppen S6.2 und S7 für den Start in eine leichte Auslastung A und eine schwerer Auslastung B unterteilt. Nach DES werden alle Starts dieser Gruppen mit der leichteren Auslastung A durchgeführt. Für andere Gruppen des Referenzszenarios gibt es diese Unterscheidungsmöglichkeit nicht. In der DIN 45689 besteht aber die Möglichkeit für mehr Flugzeuggruppen nach Auslastung zu unterscheiden. Aufgrund der für internationale Verkehrsflughäfen vergleichsweise kurzen Startbahn des Flughafens Bremen wurde für die in Tabelle 2-3 mit (*) markierten DIN 45689-2-Gruppen beim Start von der leichteren Auslastung A (Abfluggewicht < 85% MTOW) ausgegangen.

Im Referenzszenario sind auch Bewegungen der AzB 2008-Flugzeuggruppe S6.1 bzw. DIN 45689-2-Flugzeuggruppe A300_600 enthalten, die auf der Startbahn 09X/27X starten. Für diese wurde bei DIN-Berechnungen von der Auslastung B ausgegangen.

Der sich ergebende Verkehr für Bremen für die DIN 45689-2-Klassen ist in Tabelle 2-3 dargestellt.

Tabelle 2-1: Bewegungen des Referenzszenarios für den Flughafen Bremen, angelehnt an das DES für die 6 verkehrsreichsten Monate für das Jahr 2030 [4] für AzB 2008-Gruppen [3]. Die leichte Auslastung bei Start ist durch (A) gekennzeichnet.

AzB 2008-Gruppe	Starts tags (6-22Uhr)	Landungen tags (6-22Uhr)
P2.1	1312	1312
P2.2	35	35
S5.1	3721	3721
S5.2	7107	6151
S5.3	3	3
S6.1	197	197
S6.2 (A)	3	3
S6.3	4	4
S7 (A)	3	3

Tabelle 2-2: In der Studie benutzte Übersetzung von AzB08-Gruppen [3] in DIN 45689-2-Gruppen [2];

AzB 2008-Gruppe	DIN 45689-2-Gruppe	Anteil
P2.1	P3_M015_TU	0,5
	P3_MXXX_TU	0,5
P2.2	P0_MXXX_TU	1
S5.1	EMBRAER_17X	1
S5.2	EMBRAER_19X	0,18
	EMBRAER_19XE2	0,12
	A320_CLAS	0,42
	A320NEO	0,28
S5.3	S3_M100_TU_N2	1
S6.1	A300_600	1
S6.2	S3_M220_T4_N7	1
S6.3	A340_CLAS	1
S7	B747_400	1

Tabelle 2-3: Bewegungen des Referenzszenarios für den Flughafen Bremen, angelehnt an das DES für die 6 verkehrsreichste Monate für das Jahr 2030 [4] für DIN 45689-2-Gruppen [2]. Die mit (A) oder (*) markierten Gruppen wurden mit Auslastung A (Abfluggewicht < 85% MTOW) berechnet. Für die mit () markierte Gruppe wird Auslastung B auf Startbahn 09X/27X berechnet.**

DIN 45689-2-Gruppe	Starts tags (6-22Uhr)	Landungen tags (6-22Uhr)
P3_M015_TU	656	656
P3_MXXX_TU	656	656
P0_MXXX_TU	35	35
EMBRAER_17X	3721	3721
EMBRAER_19X	1279	1107

EMBRAER_19XE2	853	738
A320_CLAS (*)	2985	2584
A320NEO (*)	1990	1722
S3_M100_TU_N2	3	3
A300_600 (*)	117	117
A300_600 (**)	80	80
S3_M220_T4_N7 (A)	3	3
A340_CLAS (*)	4	4
B747_400 (A)	3	3

3. Fluglärmberechnungen

3.1. Berechnungsvorschriften

In Deutschland schreibt der Gesetzgeber zwei Verfahren zur Berechnung von Fluglärm vor. Mit der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB) [3] werden gemäß dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm¹ die Lärmschutzbereiche in der Umgebung von Flughäfen festgelegt. Die Lärmkartierung gemäß der EU-Umgebungslärmrichtlinie² erfolgt hingegen mit der „Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von Flugplätzen“ (BUF) [6] [7]. Beide Verfahren sind streng normiert. Die DIN 45689-1 [1] ist eine Fluglärmberechnungsvorschrift, mit der detailliertere Untersuchungen zu Fluglärmimmissionen an Flughäfen durchgeführt werden können. Daten für die DIN werden im zweiten Teil der Norm (DIN 45689-2 [2]) veröffentlicht.

Über die eigentliche Berechnungsmethode hinaus kommt in der AzB 2008 die Sigma-Regelung zum Einsatz. Für die Sigma-Regelung wird für jeden Immissionsort aus Fluglärmberechnungen der Betriebsrichtungsverteilung der letzten 10 Jahre eine Standardabweichung berechnet. Diese werden abschließend als 3-facher Zuschlag auf die berechneten Pegel an den jeweiligen Immissionsorten addiert und erzeugt somit dementsprechend höhere Pegel bei offiziellen Berechnungen zu Lärmschutzbereichen. Die Sigma-Regelung wurde in der Studie auch für AzB 2008-Berechnungen nicht angewendet. Weiterhin wurden in der Studie auch kein Geländemodell und keine Bebauungen berücksichtigt.

Fluglärmimmissionen von Berechnungen nach AzB 2008 und DIN 45689 können sich vor allen in der Nähe von Starttrouten signifikant unterscheiden, da modernere Flugzeugtypen in der AzB 2008 nicht mehr sachgerecht beschrieben sind (diese Flugzeugtypen werden bei der AzB 2008 lediglich wie ältere entsprechende Flugzeugmuster behandelt). In Abbildung 8-2 sind die Unterschiede zwischen Berechnungen nach AzB 2008 und DIN 45689 für das Referenzszenario dargestellt.

3.2. Berechnungsprogramm AIRNAF

Die Berechnungen in dieser Untersuchung erfolgten mit dem Aircraft Noise Analyses Framework (AIRNAF) Version 0.15.1 des DLR. Die Ergebnisse wurden in Anlehnung an die AzB

¹ Der Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, *Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV) vom 27. Dezember 2008*, 2008.

² Kommission der europäischen Gemeinschaften, *Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm*, 2002.

Berechnungsvorschrift [3] oder mit der DIN 45689-1 Berechnungsvorschrift [1] erzeugt, die in AIRNAF implementiert sind.

Die Flugbahn wird in AIRNAF nicht nach einem Segmentierungsverfahren zerlegt, sondern nach einem für Fluglärmrechnungen vorteilhaften Zeitschrittverfahren. Diese und weitere unterschiedliche Umsetzungen der Berechnungsvorschriften in AIRNAF gegenüber zertifizierten Berechnungsprogrammen wurden schon in [5] dargestellt und sind im Grunde vernachlässigbar. In Abbildung 8-1 im Anhang sind diese als Differenz zu einer Berechnung mit dem zertifizierten Berechnungsprogramm SOUNDPLAN [8] für das Referenzszenario quantifiziert.

3.3. Datensätze der verwendeten Berechnungsvorschriften

Die Berechnungen wurden in Anlehnung an die AzB 2008 [3] Berechnungsmethode oder mit dem DIN 45689-1 „Berechnungsverfahren“ [1] durchgeführt. Neben der Berechnungsvorschrift sind für diese Verfahren in AZB 2008 [3] und DIN-45689-2 [2] Standardprofile definiert. Die DIN-45689-2 „Auswertung und Generierung von ergänzenden Eingangsdaten für die Berechnung – Flugverlaufsdaten und Datenerfassungssystem“ [2] ist verabschiedet und wird noch im Jahr 2026 veröffentlicht. In dieser Norm sind Flugzeuggruppen und Flugzeugklassendaten enthalten, mit dem die derzeitigen Flotten an deutschen Flughäfen fluglärmtechnisch adäquat abgebildet werden können. Im Auftrag des Umweltbundesamts wurden für die DIN 45689-2 [2] Flugzeuggruppen und Flugzeugklassen im Forschungsvorhaben „Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm“ [5] vom DLR erarbeitet. Diese sind unverändert in die DIN 45689-2 [2] als Standardprofile eingeflossen und können schon jetzt aus diesem Forschungsbericht entnommen werden.

Die Datensatzstrukturen der AzB 2008-Klassen [3] und DIN 45689-2-Klassen [2] sind vergleichbar. Sie bestehen jeweils aus einem akustischen und einem betrieblichen Teil. Als ein Beispiel sind für die DIN 45689-2-Klasse A320_CLAS-S2B in Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 akustische Daten (Daten sind identisch mit der Klasse A320_CLAS-S1B) dargestellt. Außerdem unterscheidet die DIN 45689 zwei unterschiedliche Startverfahren. Das in den Datensätzen hinterlegte Steilstartverfahren ist an ein *noise abatement departure procedure 1* (NADP1), das Flachstartverfahren an ein NADP2 angelehnt. In Abbildung 3-1 sind die betrieblichen Daten für die beiden Startverfahren mit hoher Auslastung B dargestellt. Alle weiteren Informationen zu den verwendeten Standarddatensätzen sind für die AzB 2008 aus [3] und für die DIN 45689-2 aus [2] zu entnehmen.

Tabelle 3-1: Oktav-Schallleistungspegel $L_{W,n}$ für die startende A320_CLAS-S2B nach DIN 45689-2 [2]

	$L_{W,1}$ [dB]	$L_{W,2}$ [dB]	$L_{W,3}$ [dB]	$L_{W,4}$ [dB]	$L_{W,5}$ [dB]	$L_{W,6}$ [dB]	$L_{W,7}$ [dB]	$L_{W,8}$ [dB]
A320_CLAS-S2B	141,5	145,0	143,5	142,0	140,0	138,5	140,0	136,0

Tabelle 3-2: Richtungsfaktoren R_n für die startende A320_CLAS-S2B nach DIN 45689-2 [2]

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
A320_CLAS-S2B	{1,-1,1}	{1,-1,1}	{1,-1,1}	{1,-1,1}	{1,-1,1}	{1,-1,1}	{1,-1,1}	{1,-1,1}

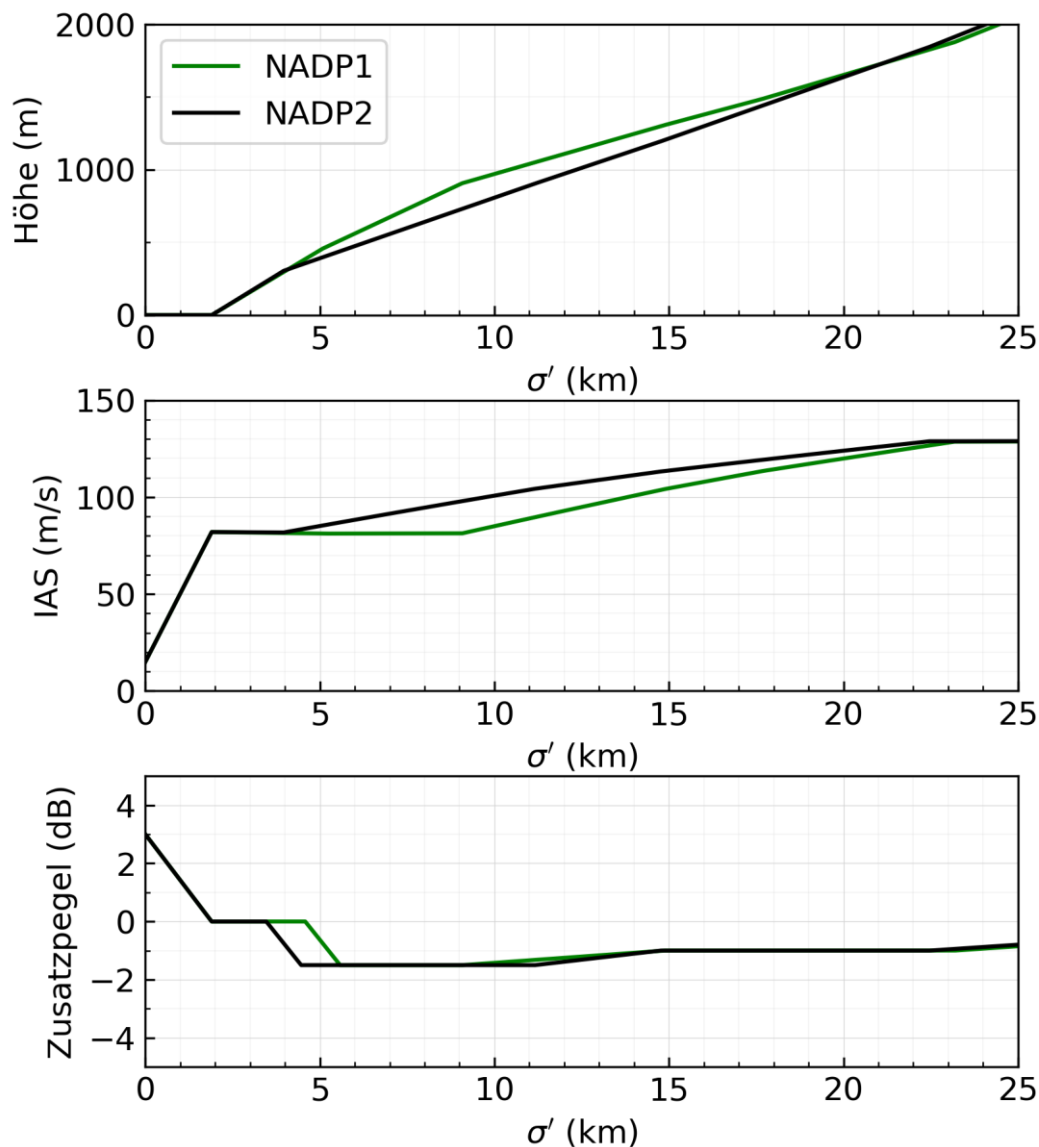


Abbildung 3-1: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klasse A320_CLAS-S1B (NADP1) und A320_CLAS-S2B (NADP2)

3.4. Metriken

Der maximale AS-bewertete Schalldruckpegel $L_{pAS,max}$ (im Folgenden auch kurz mit Maximalpegel bezeichnet) gibt den Maximalwert des AS-bewerteten Schalldruckpegels eines Fluglärmereignisses an [1]. Diese Maximalwerte werden unter anderem als Basisgrößen benutzt, um die Situation während des Nachtschlafes zu beurteilen, die hauptsächlich von der Pegelhöhe eines Schallereignisses abhängig ist.

Der A-bewertete Schalldruckexpositionspegel L_{pAE} (im Folgenden auch kurz mit Einzelereignispegel bezeichnet) gibt den zehnfach dekadischen Logarithmus des Verhältnisses der Schallexposition E zur Bezugsschallexposition $E_0 = (400 \text{ } (\mu\text{Pa})^2\text{s})$ an [1].

$L_{pAE} = 10 \lg \left(\frac{E}{E_0} \right) \text{ dB mit } E = \int p^2(t) dt$	3-1
--	-----

Diese Größe enthält also Informationen über die Pegelhöhe und Geräuschkdauer. A-bewertete Schalldruckexpositionspegel L_{pAE} dienen daher als Basisgrößen zur Beurteilung der Belästigung.

Energieäquivalente Dauerschallpegel werden für Fluglärm durch Summation aller Schalldruckexpositionspegel in einem Zeitintervall T berechnet.

$L_{pAeq} = 10 \lg \left(\frac{T_0}{T} \sum_{n=1}^N 10^{0.1 L_{pAE}} \right)$	3-2
--	-----

Die Bezugszeit beträgt $T_0 = 1 \text{ s}$. Diese Größe enthält also Informationen über die Pegelhöhe, Geräuschkdauer und Häufigkeit und eignet sich zur Beurteilung der Fluglärmsituation von Verkehrsszenarien. Häufig werden alle Ereignisse in den Tagesstunden zum $L_{pAeq,D}$ oder in den Nachtstunden zum $L_{pAeq,N}$ berechnet. Darüber hinaus werden auch Dauerschallpegel mit Gewichtungsfaktoren für den Tageszeitraum, Abendzeitraum und den Nachtzeitraum berechnet um 24 Stunden wirkungsäquivalenter zu beurteilen (siehe [6] [7]).

4. Ergebnisse

Dieser Bericht umfasst hauptsächlich zwei Untersuchungsgegenstände. In Kapitel 4.1 wird gezeigt, welchen Einfluss typische Steilstart- und Flachstartverfahren sowie abgeleitete Varianten davon auf den Fluglärm in der Umgebung des Flughafens Bremen haben. In Kapitel 4.2 wird gezeigt, wie sich eine auf beiden Seiten um ca. 300 m verlängerte Startstrecke (Nutzung der gesamten vorhandenen Startbahn 09X/27X) auf die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Bremen auswirkt (Startbahnszenario). Dabei wird jeweils zunächst an einer Abflugroute oder zwei Abflugrouten exemplarisch gezeigt, wie sich diese Untersuchungsgegenstände auf den Fluglärm von Einzelflügen auswirken. Anschließend werden Ergebnisse für das Referenzszenario vorgestellt. Mit Ausnahme der Abbildung 8-1 im Anhang werden in den Szenarienberechnungen die im DES hinterlegten Korridorbreiten nicht berücksichtigt.

4.1. Einfluss von Flugverfahren

Während in der AzB 2008 [3] lediglich ein Startverfahren verankert ist, werden durch die DIN 45689-2 [2] ein typisches Steilstartverfahren und ein typisches Flachstartverfahren bereitgestellt. Darüber hinaus bietet die DIN 45689 eine Methode, modifizierte Startverfahren zu entwickeln. Daher werden die Untersuchungen zu Startverfahren am Flughafen Bremen mit der DIN 45689 durchgeführt.

Zunächst wird in Kapitel 4.1.1 untersucht wie sich die Lärmimmission eines Einzelflugs von unterschiedlichen Startverfahren mit einem Flugzeugtyp aus der DIN-Flugzeuggruppe A320_CLAS auswirken, welche die für den Flughafen Bremen bezüglich des Lärms eine der wichtigsten Flugzeuggruppen ist. Als erstes wird das in der DIN 45689 definierte Steilstartverfahren A320_CLAS-S1A (NADP1) mit dem Flachstartverfahren A320_CLAS-S2A (NADP2) verglichen. Diese beiden in der DIN 45689 definierten Startverfahren unterscheiden sich sowohl in der Höhe in dem der Cutback (Reduzierung des Schubs von Startschub zu Steigschub; wird im Folgenden als Cutbackhöhe bezeichnet) stattfindet als auch im Energy Sharing, (Anteil der Energie, die für den Höhengaufbau bzw. für die Beschleunigung nach dem Cutback verwendet wird).

Anschließend wird für Flachstartverfahren gezeigt, wie sich unterschiedliche Cutbackhöhen und Auslastungen (also Startgewichte) auf die Lärmimmission auswirken.

In Kapitel 4.1.2 werden die Auswirkung der in der DIN 45689-2 definierten Steil- und Flachstartverfahren auf das Referenzszenario nach DES [4] für das Jahr 2030 untersucht.

4.1.1. Einfluss von Flugverfahren im Einzelflug

Startverfahren

Standardmäßig sind in der DIN 45689-2 [2] ein typisches Steilstartverfahren (mit -S1 bezeichnet – abgeleitet von dem NADP1-Verfahren aus [9]) und ein typisches Flachstartverfahren (mit -S2 bezeichnet – abgeleitet von dem NADP2-Verfahren aus [9]) definiert. Für größere Luftfahrzeuge sind außerdem zwei Auslastungsstufen standardmäßig vorhanden: Eine niedrige Auslastung mit einem Startgewicht kleiner 85% des maximalen Startgewichts (MTOW) (gekennzeichnet mit A) und eine höhere Auslastung mit einem Startgewicht größer 85% MTOW (gekennzeichnet mit B). Diese werden im Allgemeinen auch als Standardprofile bzw. Standarddatensätze bezeichnet. Als Beispiel sind in Abbildung 4-1 die betrieblichen Daten für eine startende A320_CLAS für die Auslastung A dargestellt. Die Abbildung zeigt den Verlauf der Höhe, der Geschwindigkeit (Indicated Airspeed (IAS)) und des Zusatzpegels für das Steilstartverfahren (NADP1) und das Flachstartverfahren (NADP2). Während bei den in der DIN 45689 definierten Steilstartverfahren die Schubrücknahme (Cutback) in einer Höhe von 1500 ft (457 m) erfolgt, findet beim Flachstartverfahren die Schubrücknahme bereits in einer Höhe von 1000 ft (305 m) statt. Des Weiteren wird beim Steilstartverfahren nach dem Cutback zunächst bei konstanter Geschwindigkeit Höhe aufgebaut, während beim Flachstartverfahren direkt nach dem Cutback auch die Geschwindigkeit erhöht wird und dementsprechend langsamer gestiegen wird.

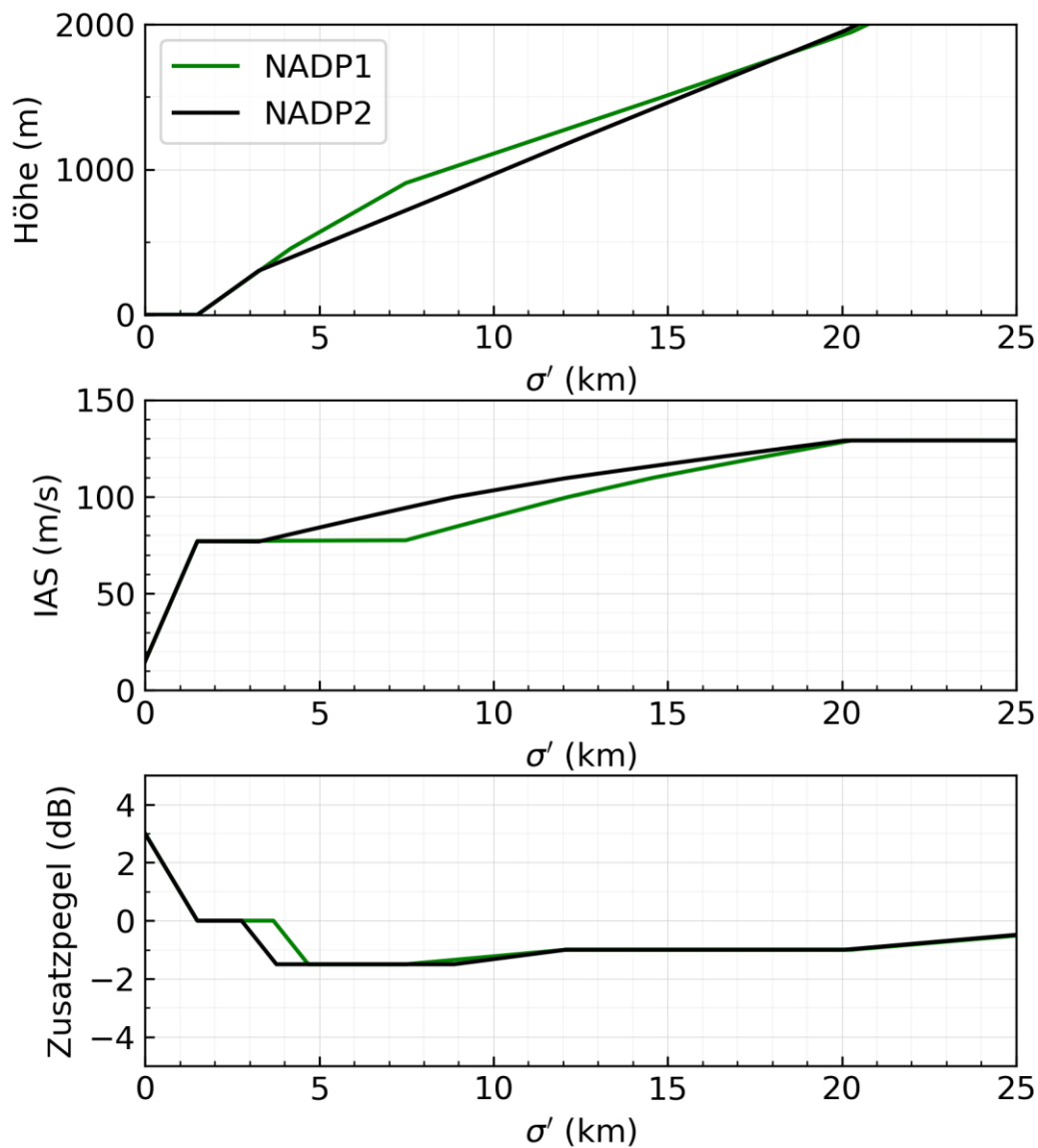


Abbildung 4-1: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klassen A320_CLAS-S1A (NADP1) und A320_CLAS-S2A (NADP2)

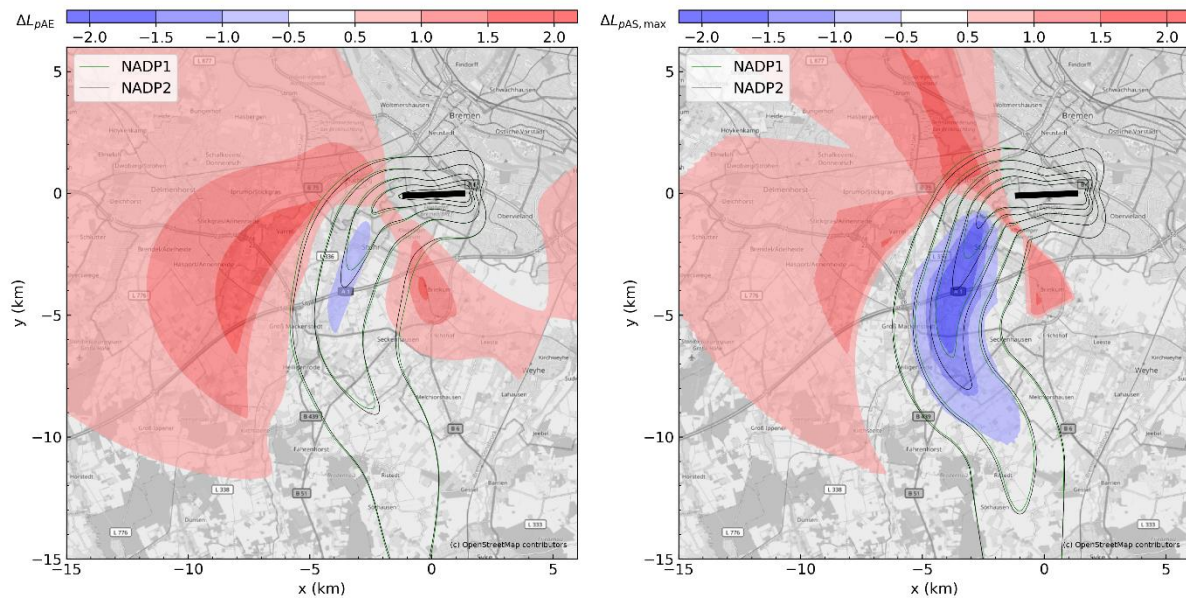


Abbildung 4-2: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten der in DIN 45689-2 [2] definierten Startverfahren A320_CLAS-S1A (NADP1) und A320_CLAS-S2A (NADP2) für eine Abflugroute am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen der Startverfahren A320_CLAS-S1A (NADP1) zu A320_CLAS-S2A (NADP2).

In Abbildung 4-2 sind für die in der DIN 45689 definierten Startverfahren A320_CLAS-S1A (NADP1) und A320_CLAS-S2A (NADP2) die Isokonturlinien des Einzelereignispegels L_{pAE} (links) und des maximalen AS-bewerteten Schalldruckpegels $L_{pAS,max}$ (rechts) für einen typischen Start in westliche Richtung eingezeichnet. Zusätzlich sind die Differenzen zwischen den beiden Startverfahren farblich dargestellt. Unter der Flugbahn ist zu beobachten, dass sowohl der Einzelereignispegel als auch der Maximalpegel aufgrund des späteren Cutbacks beim Steilstartverfahren unterhalb des Pegels des Flachstartverfahrens liegt. Da nach dem Cutback beim Steilstartverfahren zunächst schneller Höhe aufgebaut wird, liegt sowohl der Einzelereignis- als auch der Maximalpegel weiterhin unter den Pegeln des Flachstartverfahrens. Dabei sind aufgrund der größeren Fluggeschwindigkeit und der damit kürzeren Exposition die Pegeldifferenzen des Einzelereignispegels geringer als die des Maximalpegels. Seitlich der Flugschur sind die Pegel beim Steilstartverfahren höher als beim Flachstartverfahren. Dies liegt auch an der geringeren Bodendämpfung, die sich beim Steilstartverfahren aufgrund der höheren Ausbreitungswinkel einstellt. Es ist zu beachten, dass in den seitlichen Bereichen, in denen das Flachstartverfahren leiser ist als das Steilstartverfahren, der Einzelereignispegel unter 75 dB und der Maximalpegel unter 60 dB liegen und damit schon sehr niedrig sind.

Cutbackhöhe

Die in der DIN 45689-2 [2] dargestellten Startverfahren beschreiben ein typisches Steilstart- und Flachstartverfahren. Darüber hinaus sind aber nach ICAO [9] viele Varianten der Steilstartverfahren (NADP1-Verfahren) und Flachstartverfahren (NADP2-Verfahren) möglich, da ein beträchtlicher Höhenbereich (800 ft bis 3000 ft) erlaubt ist, in dem der Cutback erfolgen kann. Um den Einfluss der Cutbackhöhe zu untersuchen, wurden die in der DIN 45689-2 [2] definierten Standardprofile ergänzt, sodass weitere Profile mit Cutbackhöhen von 1000 ft und 1500 ft erzeugt wurden. Bei der Konstruktion dieser Profile wird angenommen, dass die Steiggradienten vor und nach dem Cutback gleich groß sind, wie in den in der DIN 45689 definierten Standardprofilen. In Abbildung 4-3 ist neben dem in DIN 45689-2 [2] definierten NADP2-Standardprofil mit einer Cutbackhöhe von 1000 ft ein abgeleitetes NADP2-Profil mit einer Cutbackhöhe von 1500 ft dargestellt. Das abgeleitete Profil weist die gleiche Cutbackhöhe auf wie das in der DIN 45689-2 [2] definierte Steilstartverfahren.

In Abbildung 4-4 sind für das in der DIN 45689-2 [2] definierte Startverfahren A320_CLAS-S2A (NADP2, 1000 ft Cutbackhöhe) und das an dieses Verfahren angelehnte Flachstartverfahren mit höherer Cutbackhöhe (NADP2, 1500 ft Cutbackhöhe) die Isokonturlinien des Einzelereignispegels L_{pAE} (links) und des Maximalpegels $L_{pAS,max}$ (rechts) für eine stark beflogene Route bei Westbetrieb eingezeichnet. Zusätzlich sind die Differenzen zwischen den beiden Startverfahren farblich dargestellt. Der Vergleich mit Abbildung 4-2 zeigt, dass die Differenzen im Immissionspegel in dieser Darstellung zum Teil auf die unterschiedlichen Cutbackhöhen zurückgeführt werden können.

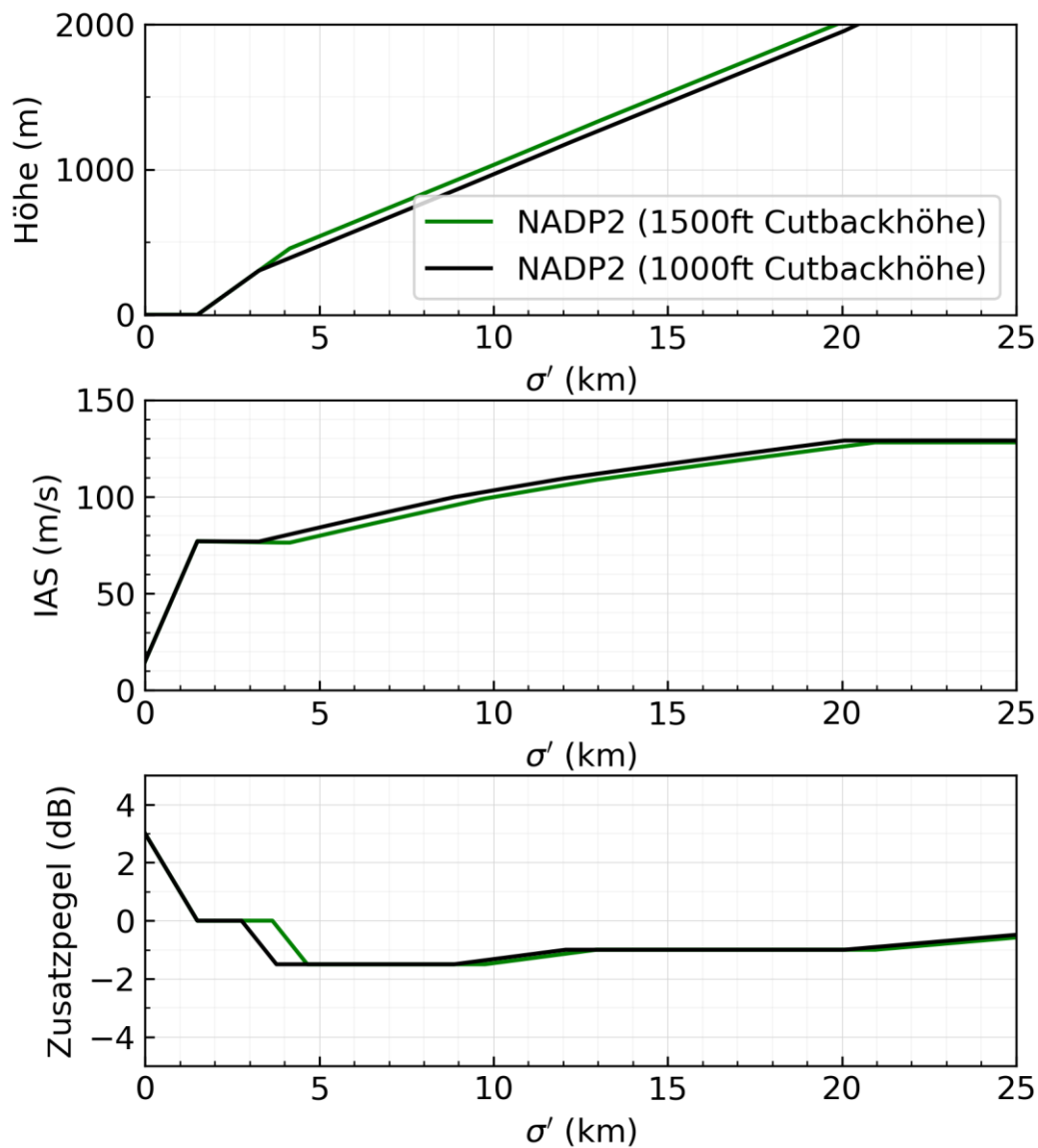


Abbildung 4-3: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klasse A320_CLAS-S2A und des konstruierten NADP2-Profiles mit einer Cutbackhöhe von 1500 ft

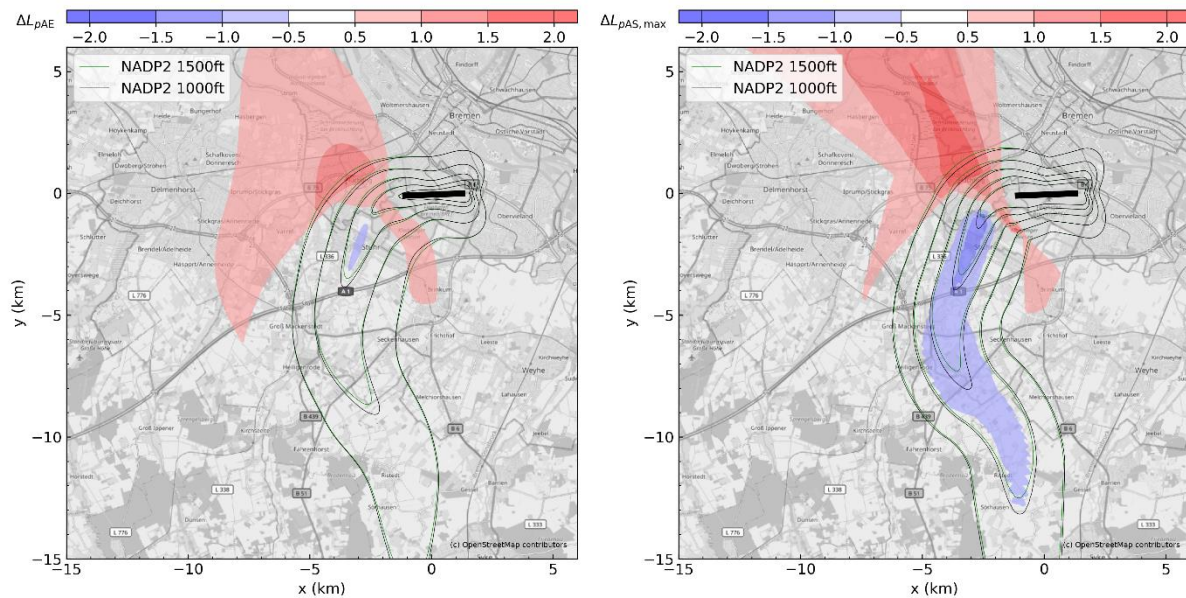


Abbildung 4-4: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten für das in DIN 45689-2 [2] definierte Startverfahren A320_CLAS-S2A (NADP2) und eines daran angelehnten Startverfahrens mit einer Cutbackhöhe von 1500 ft für eine Abflugroute am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen des konstruierten Startverfahrens zum Startverfahren A320_CLAS-S2A.

Auslastung

Im Allgemeinen hat die Auslastung (also das Startgewicht) eines Luftfahrzeugs in den in der DIN 45689-2 [2] definierten Startverfahren einen größeren Einfluss auf die Lärmimmission als die unterschiedlichen Typen von Startverfahren. Um dies zu verdeutlichen sind in Abbildung 4-6 die Isokonturlinien für die DIN-Flugzeugklasse A320_CLAS-S2A (geringe Auslastung) und die DIN-Flugzeugklasse A320_CLAS-S2B (hohe Auslastung) des Einzelereignispegels (links) und des Maximalpegels (rechts) eingezeichnet. Die entsprechend farblich dargestellte Differenzen der Flugzeugklasse A320_CLAS-S2B zur DIN-Flugzeugklasse A320_CLAS-S2A sind ebenfalls in der Abbildung enthalten. Der Hauptunterschied der Immissionspegel ist dabei auf den geringeren Höhengewinn aufgrund des höheren Gewichts zurückzuführen, wie Abbildung 4-5 der dazu gehörigen betrieblichen Datensätze zeigt.

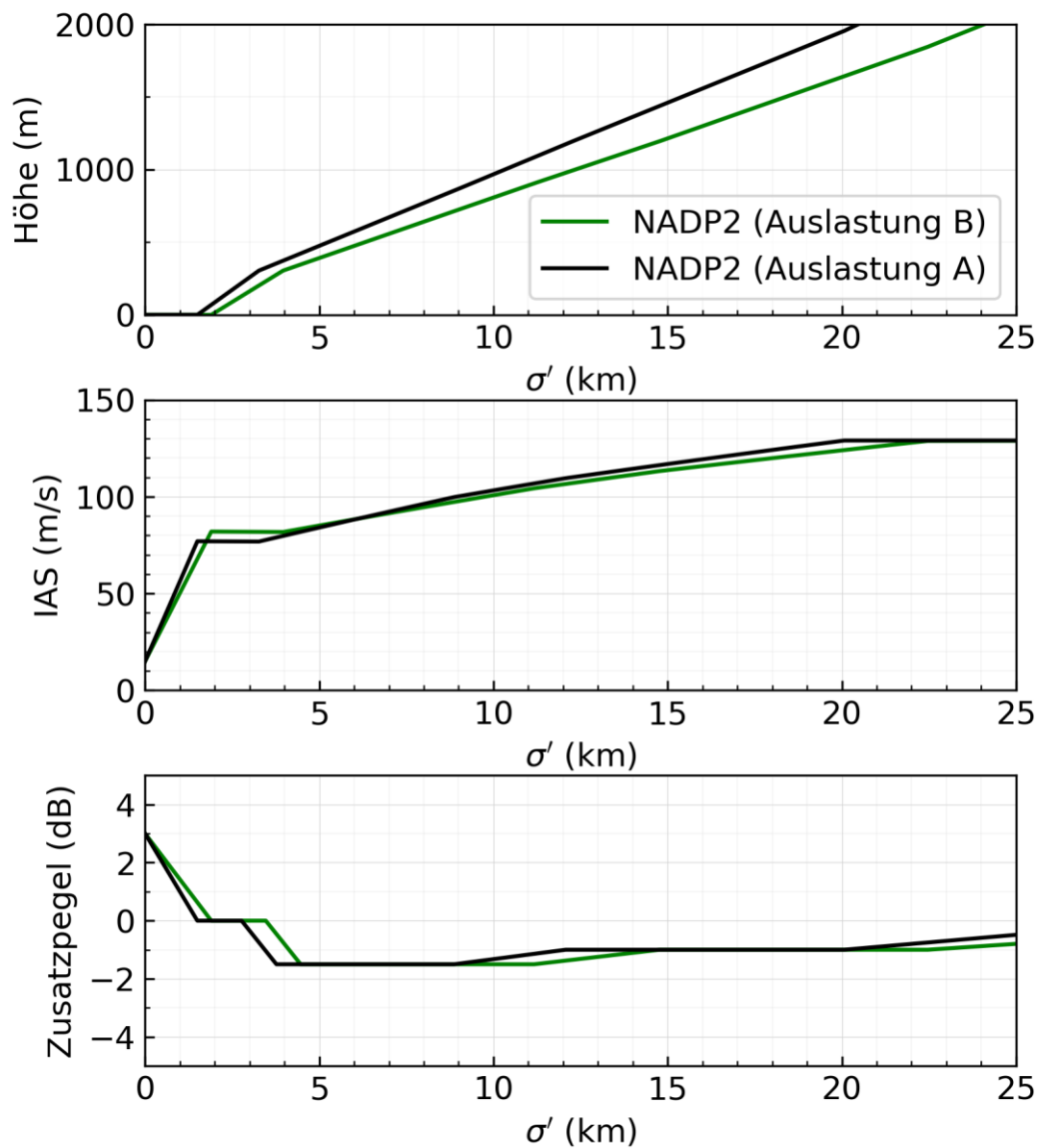


Abbildung 4-5: Höhen-, Geschwindigkeits- und Zusatzpegelverlauf der DIN-Klassen A320_CLAS-S2B und A320_CLAS-S2A

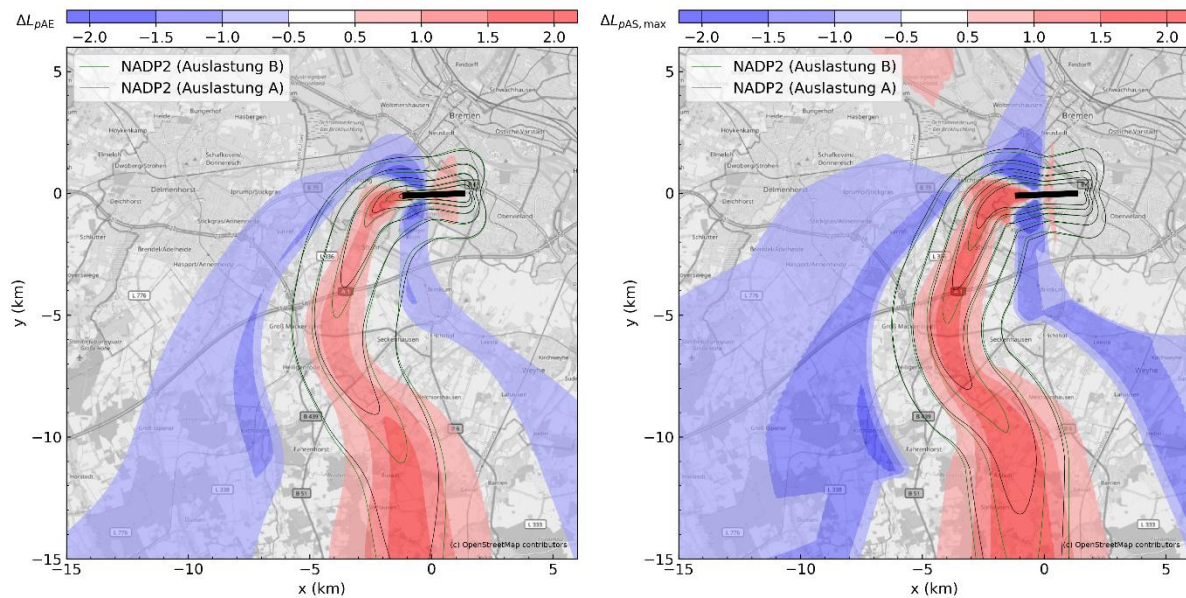


Abbildung 4-6: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten der in DIN 45689-2 [2] definierten Startverfahren A320_CLAS-S2B (hohe Auslastung) und A320_CLAS-S2A (niedrige Auslastung) für eine Abflugroute am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen der Startverfahren A320_CLAS-S2B zu A320_CLAS-S2A (beide NADP2).

4.1.2. Einfluss von Flugverfahren im Szenario

Für die Untersuchung des Einflusses von Startverfahren auf die Immissionspegel im Szenario wird das Referenzszenario zugrunde gelegt, dessen Bewegungen von AzB 2008-Klassen in DIN 45689-Klassen überführt wurden (siehe Kapitel 2.2).

Da es sich um Prognosedaten handelt, unterliegen die absoluten nach Klassen und Flugrouten aufgeteilten Bewegungszahlen einer Vorhersageunsicherheit. Auch die in Kapitel 2.2 dargestellten Annahmen zur Überführung der AzB 2008-Klassen in DIN 45689-Klassen beinhalten Unsicherheiten. Diese Vorhersageunsicherheiten und Annahmen wirken sich zwar auf die absoluten Pegelhöhen aus. Dagegen haben diese auf die folgenden berechneten Pegeldifferenzen kaum einen Einfluss. Die im Folgenden gezeigten Pegeldifferenzen würden sich daher auch bei ähnlichen Verkehren ohne signifikante Unterschiede ergeben und können somit als repräsentativ für die Situation am Flughafen Bremen angesehen werden.

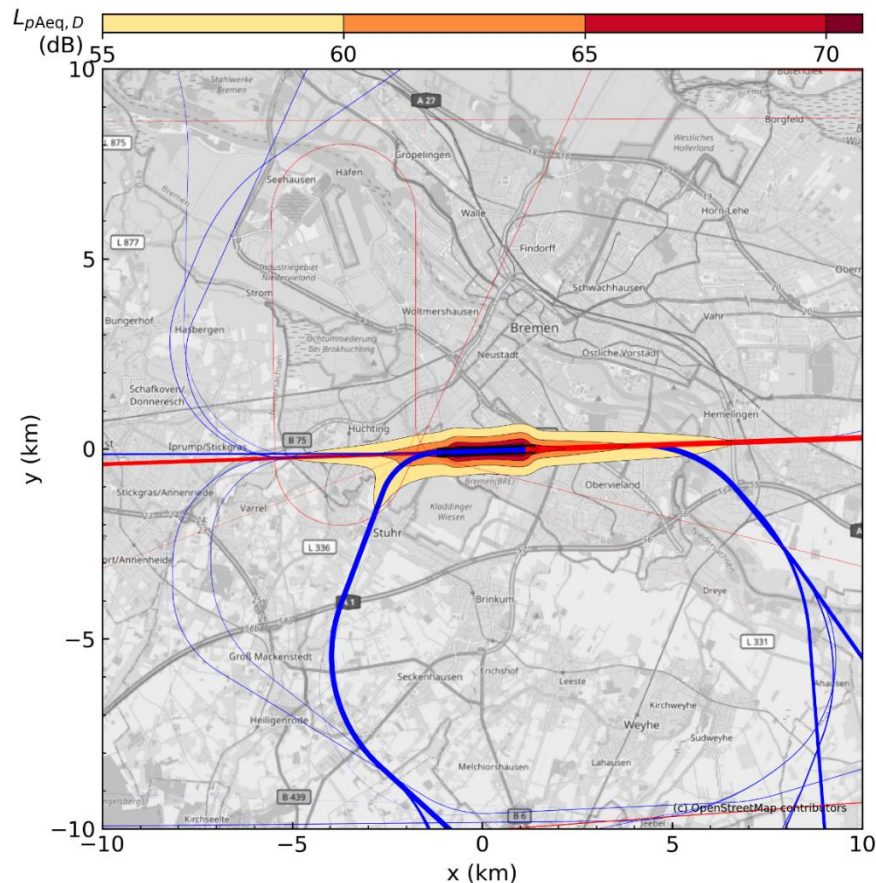


Abbildung 4-7: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für die Bewegungen des Referenzszenarios für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind die mit der DIN 45689 berechneten Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) für die in der DIN hinterlegten Flachstartverfahren (NADP2).

In Abbildung 4-7 sind die mit der DIN 45689 berechneten Isokonturen des energieäquivalenten Dauerschallpegels Tag $L_{pAeq,D}$ für den Fall dargestellt, dass alle Flugzeuge des Referenzszenarios das in der DIN 45689-2 [2] zur Verfügung gestellte Flachstartverfahren S2 benutzen. In Abbildung 4-8 sind die Differenzen vom Steilstartverfahren S1 zu den Flachstartverfahren S2 für den energieäquivalenten Dauerschallpegels Tag $L_{pAeq,D}$ dargestellt. Zusätzlich sind die entsprechenden Isokonturlinien für das Steilstartverfahren S1 bzw. Flachstartverfahren S2 eingezeichnet. Der Vergleich zeigt, dass die Pegel der beiden Startverfahren im Szenario nur lokale Unterschiede (Konturverlauf leicht verschoben) aufweisen. Diese liegen meist unter 1dB für den Dauerschallpegel. Unter den nach Süden abbiegenden Hauptabflugrouten im Westen und Osten des Bremer Flughafens kommt es bei Anwendung des Steilstartverfahrens S1 zu leicht geringeren Dauerschallpegeln als bei Anwendung des Flachstartverfahrens S2. Seitlich der Flugspur kann es allerdings zu einem leichten Ansteigen der Pegel bei niedrigeren Absolutpegeln kommen. Insgesamt sind diese Pegelunterschiede zwar berechenbar aber nicht signifikant, sodass diese messtechnisch eher nicht erfasst werden können.

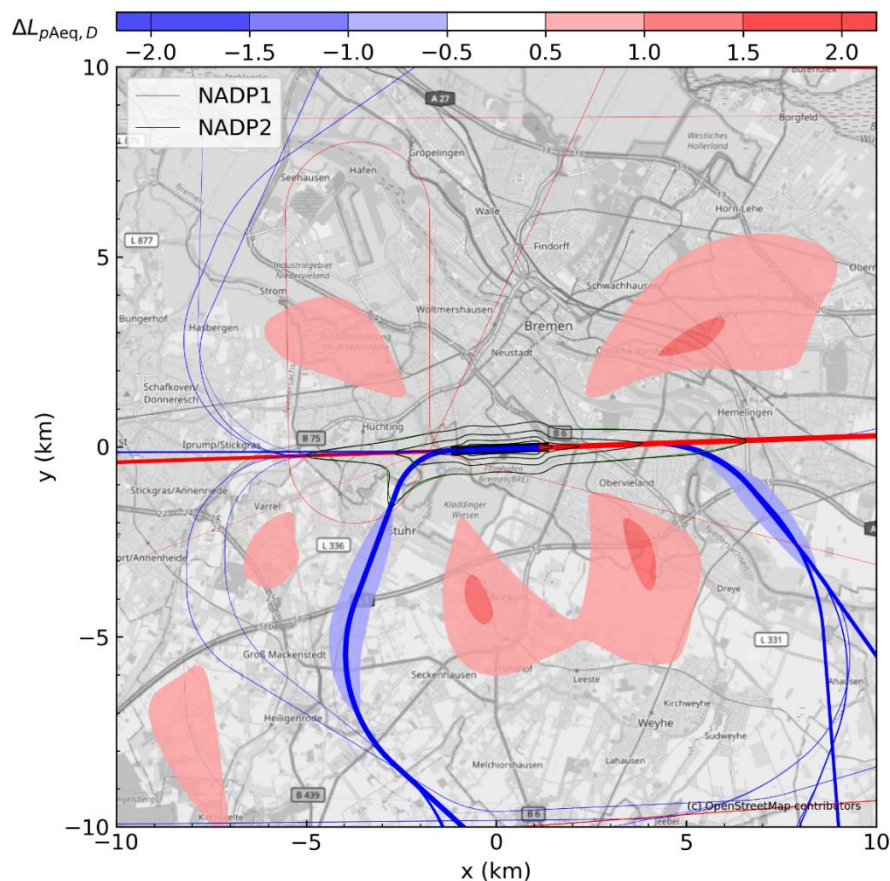


Abbildung 4-8: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für die Bewegungen des Referenzszenarios für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind die mit der DIN 45689 berechneten Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) für die in der DIN hinterlegten Steilstartverfahren (NADP1) und Flachstartverfahren (NADP2), farblich hinterlegt sind die Pegeldifferenzen Steilstartverfahren zu den Flachstartverfahren.

4.2. Einfluss von einer Verlängerung der Startbahn um ca. 300m

In diesem Kapitel wird gezeigt, wie sich eine auf beiden Seiten um ca. 300 m verlängerte Startstrecke (Nutzung der gesamten vorhandenen Startbahn 09X/27X „aller“ Luftfahrzeuge) auf die Fluglärmbelastung auswirkt. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass mit einer Veränderung der Startrollstrecke eine Veränderung der Schubsetzung der startenden Flugzeuge einhergeht. Die Ergebnisse werden so erzeugt, wie sich diese mit Hilfe der normativen deutschen Berechnungsvorschriften analog ergeben würden (siehe dazu auch Kapitel 3.1).

4.2.1. Einfluss einer Startbahnverlängerung im Einzelflug

In Abbildung 4-9 sind die Isolinien des Einzelereignispegels L_{pAE} (links) und des Maximalpegels $L_{pAS,max}$ (rechts) für die Flugzeugklasse A320_CLAS-S2A für die Hauptabflugroute bei Ostbetrieb mit Start ab Startschwelle der Startbahn 09/27 und ab Startschwelle der Startbahn 09X/27X

dargestellt. Zusätzlich sind die sich ergebenden Differenzen (Start auf Startbahn 09X/27X zu Start auf Startbahn 09/27) farblich hinterlegt. Im Westen des Flughafens führt die verschobene Startschwelle zu einer Erhöhung der Lärmpegel, da sich die Flugzeuge beim Losrollen näher an diesen Gebieten befinden. Im Osten kommt es unter der Flugbahn zu geringeren Pegeln, da die Flugzeuge weiter im Westen abheben und somit die Abstände zum Boden höher sind. In Abbildung 4-10 sind die Ergebnisse analog Abbildung 4-9 für eine Abflugroute bei Westbetrieb dargestellt.

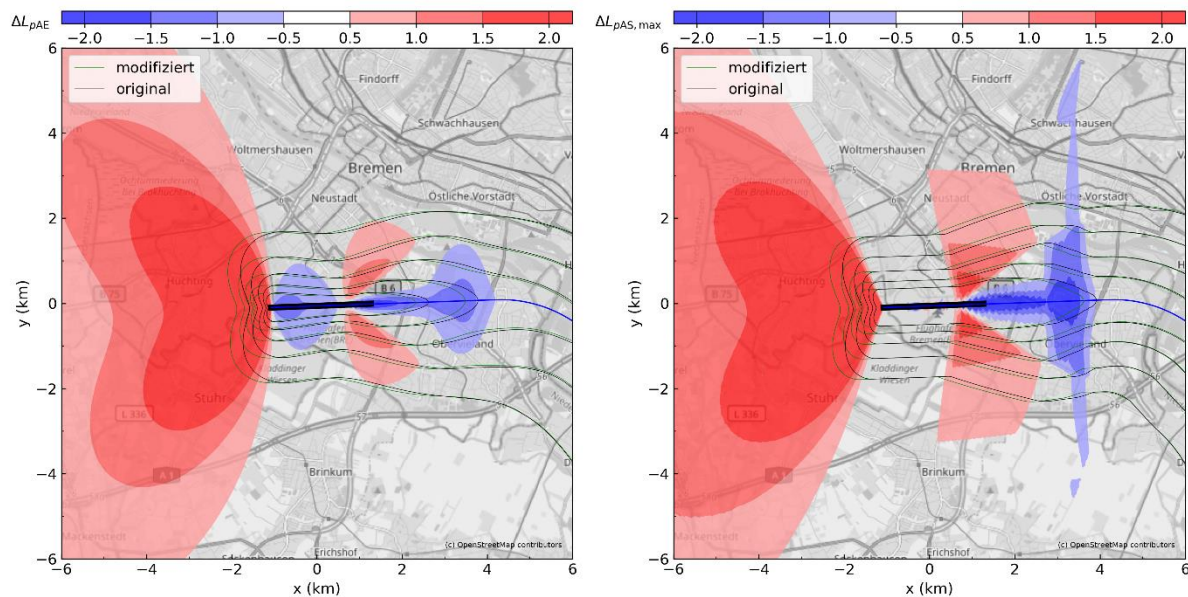
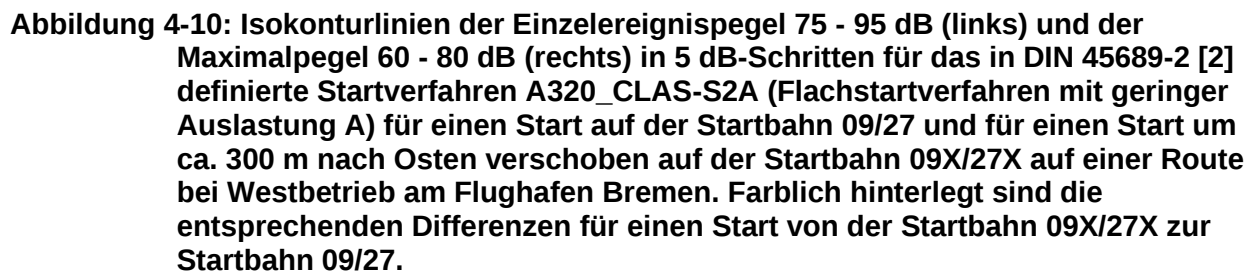


Abbildung 4-9: Isokonturlinien der Einzelereignispegel 75 - 95 dB (links) und der Maximalpegel 60 - 80 dB (rechts) in 5 dB-Schritten für das in DIN 45689-2 [2] definierte Startverfahren A320_CLAS-S2A (Flachstartverfahren mit geringer Auslastung A) für einen Start auf der Startbahn 09/27 und für einen Start um ca. 300 m nach Westen verschoben auf der Startbahn 09X/27X auf einer Route bei Ostbetrieb am Flughafen Bremen. Farblich hinterlegt sind die entsprechenden Differenzen für einen Start von der Startbahn 09X/27X zur Startbahn 09/27.



Für diese Szenarioberechnung wurden alle Starts des Referenzszenarios auf die längere Startbahn 09X/27X verschoben, sodass dadurch die Startbahn sowohl in Bahnbetriebsrichtung 09 als auch in 27 faktisch um ca. 300 m länger ist. Dieses Szenario wird im Folgenden als „Szenario X“ bezeichnet. Die Berechnungen wurden nach AzB 2008 durchgeführt. Da diese Untersuchung nicht auf die Unterschiede des Startverfahrens abzielt, ist eine Berechnung nach DIN 45689 nicht notwendig. In Abbildung 4-11 sind die Isokonturlinien des energieäquivalenten Dauerschallpegels Tag $L_{pAeq,D}$ des Referenzszenarios dargestellt.

31

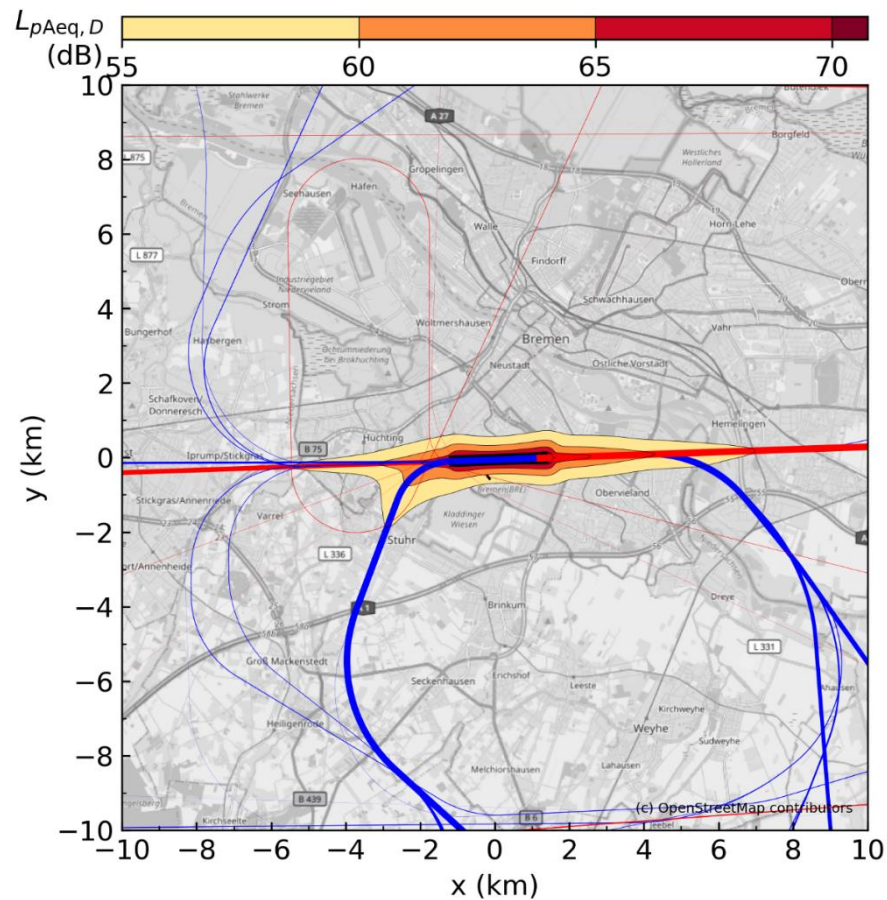


Abbildung 4-11: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind in Anlehnung an die AzB berechnete Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten).

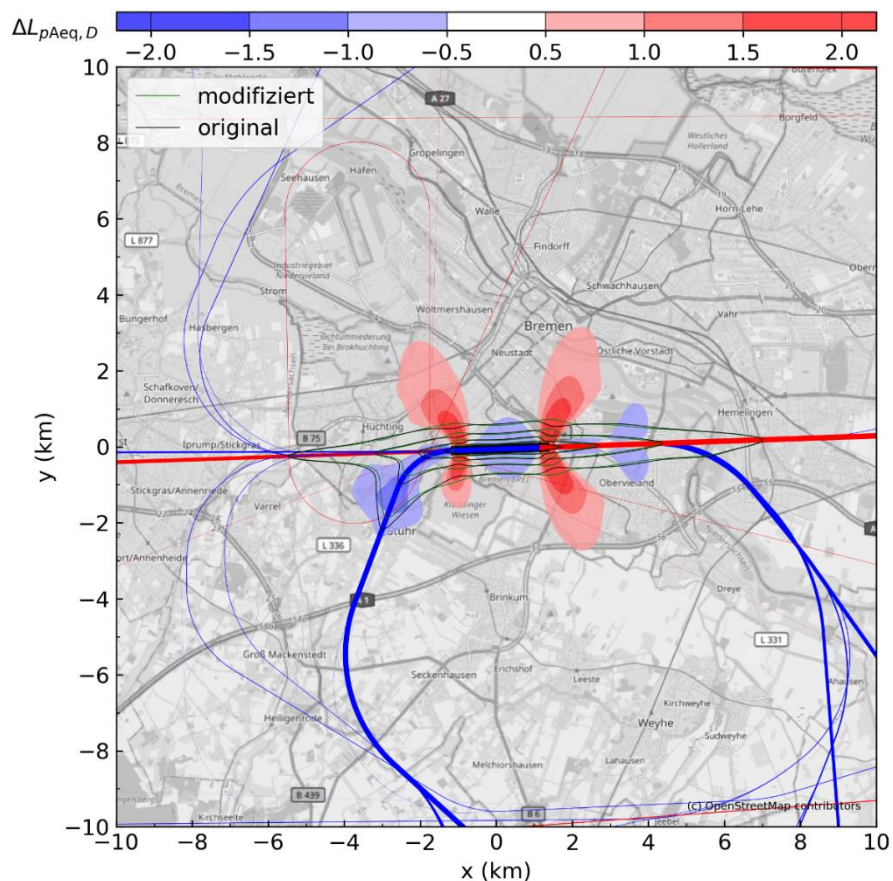


Abbildung 4-12: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Szenario X (ca. 300 m längere Startrollstrecken im Vergleich zum Referenzszenario) und das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind in Anlehnung an die AzB berechnete Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten), farblich hinterlegt sind die Pegeldifferenzen des Szenario X zum Referenzszenario.

5. Zusammenfassung

Für den Flughafen Bremen wird gezeigt, wie sich Steil- und Flachstartverfahren sowie eine allgemeine Nutzung der Startbahn 09X/27X (Verlängerung der Rollstrecke um ca. 300 m für beide Betriebsrichtungen) für alle Luftfahrzeuge auf die Lärmbelastung in der Umgebung des Flughafens auswirken. Die untersuchten Szenarien basieren auf einem DES für den Flughafen Bremen für das Jahr 2030. Die Berechnungen wurden in Anlehnung an das genormte Berechnungsverfahren AzB 2008 und mit der DIN 45689 durchgeführt. Für Einzelflüge wurde der AS-bewertete maximale Schalldruckpegel $L_{pAS,max}$ und der A-bewertete Schalldruckexpositionspegel L_{pAE} ausgewertet. Die Beurteilung für Szenarien erfolgt anhand der Dauerschallpegel für den Tag $L_{pAeq,D}$.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich sowohl für die Startverfahren als auch für die allgemeine Nutzung der Startbahn 09X/27X nur geringfügige lokale Verschiebungen der Lärmbelastung ergeben. Die Pegelunterschiede der untersuchten Szenarien sind so gering, dass sie bei Umsetzung in den relevanten Gebieten messtechnisch nur schwer nachzuweisen sein werden. Steilstartverfahren haben direkt unter der Flugbahn einen Vorteil gegenüber Flachstartverfahren. Flachstartverfahren haben dagegen seitlich der Flugbahn einen Vorteil gegenüber Steilstartverfahren. Die allgemeine Nutzung der Startbahn 09X/27X hat den Vorteil, dass die Luftfahrzeuge eine höhere Flugbahn haben, und somit unter dieser leiser sind. Dagegen kommt es in der Gegend seitlich des Startrollpunkts der Startbahn 09X/27X zu Pegelerhöhungen. Insgesamt sind die berechneten lokalen Pegelverschiebungen in den untersuchten Szenarien durch die allgemeine Nutzung der Startbahn 09X/27X mit bis zu 1.5 dB etwas höher als die Pegelverschiebungen durch die Startverfahren mit bis zu 1 dB.

6. Offene Fragen und Ausblick

Die Berechnungen erfolgten in Anlehnung an das genormte Berechnungsverfahren AzB 2008 und mit der DIN 45689 und mit den in diesen Normen enthaltenen Standarddatensätzen. Diese Standarddatensätze wurden entwickelt, um die Lärmbelastung für alle deutsche Flughäfen gleichermaßen gut abzubilden. Sie basieren dementsprechend auf Messungen an den internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland. Da der Bremer Flughafen eine im Vergleich kurze Start- und Landebahn hat, ist nicht auszuschließen, dass die Abflüge durch die Airlines in Bremen mit einem höheren Startschub durchgeführt werden und die benutzten normierten Standardprofile die Situation nicht optimal wiedergeben.

Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, am Bremer Flughafen zu untersuchen, inwieweit die gemessenen Pegel durch mit normierten Verfahren berechnete Werte adäquat abgebildet werden. Im Fall einer signifikanten systematischen Über- oder Unterschätzung könnte dann überprüft werden, ob eine entsprechende Anpassung von Profilen für die DIN 45689 zu besseren Ergebnissen führt.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Normung (DIN), *DIN 45689-1: Akustik - Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Flugplätzen - Teil 1: Berechnungsverfahren*, 2020.
- [2] Deutsches Institut für Normung (DIN), *DIN 45689-2: Akustik - Ermittlung von Fluggeräuschen an Flugplätzen - Teil 2: Auswertung und Generierung von ergänzenden Eingangsdaten für die Berechnung - Flugverlaufsdaten und Datenerfassungssystem*, geplante Veröffentlichung 2026.
- [3] Der Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, *Bekanntmachung der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)*, 2008.
- [4] OTSD, „Datenerfassungssystem für den Flughafen Bremen für das Jahr 2030,“ 2019.
- [5] J. Blinstrub, U. Isermann, T. Raitor und R. Schmid, „Überprüfung und Verbesserung der Berechnungs-verfahren beim Fluglärm,“ Umweltbundesamt (UBA), 2021.
- [6] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von Flugplätzen (BUF)*, 2018.
- [7] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Datenbank für die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von Flugplätzen (BUF-D)*, 2021.
- [8] SoundPLAN GmbH, „<https://www.soundplan.eu/de/software/soundplannoise/>,“ Soundplan, 2026. [Online].
- [9] International Civil Aviation Organization (ICAO), „Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations. Volume 1: Flight Procedures. ICAO Document 8168, 5th Edition.,“ 2006.

8. Anhang: Vergleiche von Verfahren und Programmen

Fluglärmimmissionsberechnungen mit AIRNAF und SOUNDPLAN

Das Aircraft Noise Analyses Framework (AIRNAF) des DLR wurde entwickelt, um umfassende Analysen zu Fluglärm durchzuführen. Neben wissenschaftlichen Anwendungsmöglichkeiten sind in AIRNAF auch *best practice* Methoden integriert. Durch den modularen Aufbau können Effekte und Methoden für Untersuchungen zu- und abgeschaltet werden. Daher unterscheiden sich Umsetzungen von normierten Verfahren in AIRNAF auch etwas zu Umsetzungen in zertifizierten Programmen. In [5] wurde schon gezeigt, dass die sich daraus ergebenden Unterschiede der Berechnungsergebnisse im Grunde vernachlässigbar sind. Um diese Umsetzungsunterschiede aufzuzeigen, sind in Abbildung 8-1 für das Referenzszenario die Pegeldifferenzen einer AzB 2008 Berechnung mit AIRNAF zu einer Berechnung mit dem zertifizierten Berechnungsprogramm SOUNDPLAN [8] dargestellt.

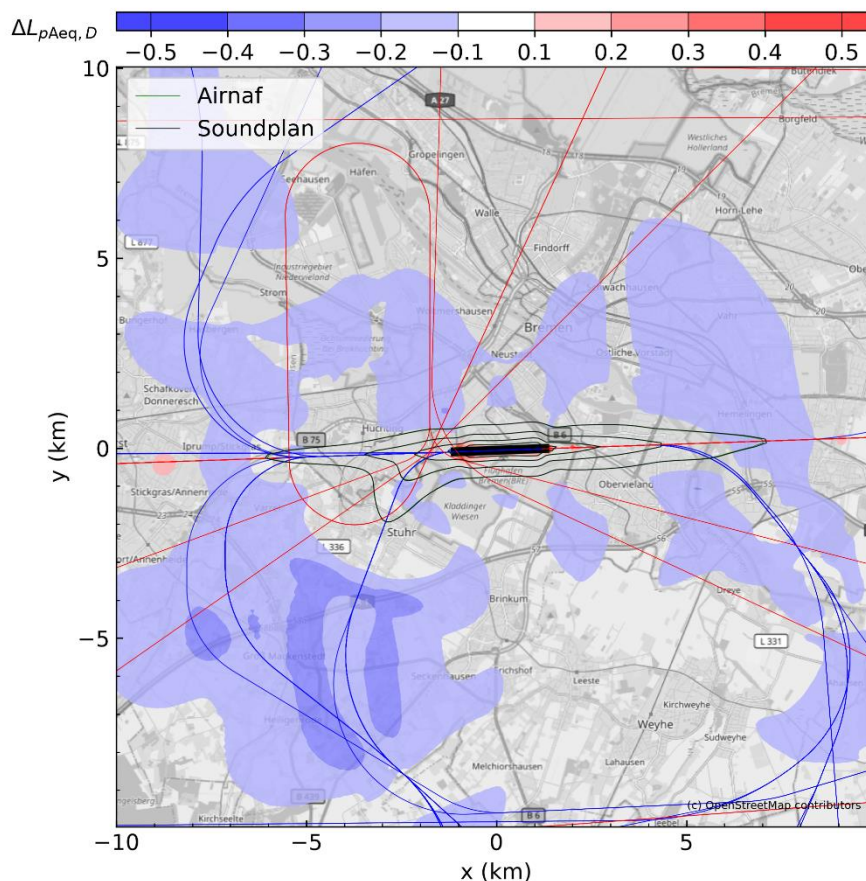


Abbildung 8-1: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen (unter Berücksichtigung der im DES hinterlegten Korridorbreiten ohne 3σ -Regelung). Dargestellt sind Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) berechnet in Anlehnung an die AzB 2008 mit AIRNAF und nach AzB 2008 mit SOUNDPLAN. Farbig hinterlegt sind die Pegeldifferenzen der Berechnungen mit AIRNAF zu SOUNDPLAN.

Fluglärmimmissionsberechnungen mit der AzB 2008 und DIN 45689

Die Untersuchungen der Flugverfahren und alle Einzelfluguntersuchungen wurde mit der DIN 45689 durchgeführt. Die Szenarienuntersuchung zur Startbahnlänge mit der AzB 2008. In Abbildung 8-2 sind für das Referenzszenario die Pegeldifferenzen einer AzB 2008 Berechnung mit AIRNAF ohne 3σ -Regelung zu einer DIN 45689 Berechnung mit AIRNAF für das Referenzszenario dargestellt. Die in Abbildung 8-2 berechneten Pegelunterschiede sind daher hauptsächlich auf die unterschiedliche Beschreibung der verwendeten Luftfahrzeuggruppen zurückzuführen.

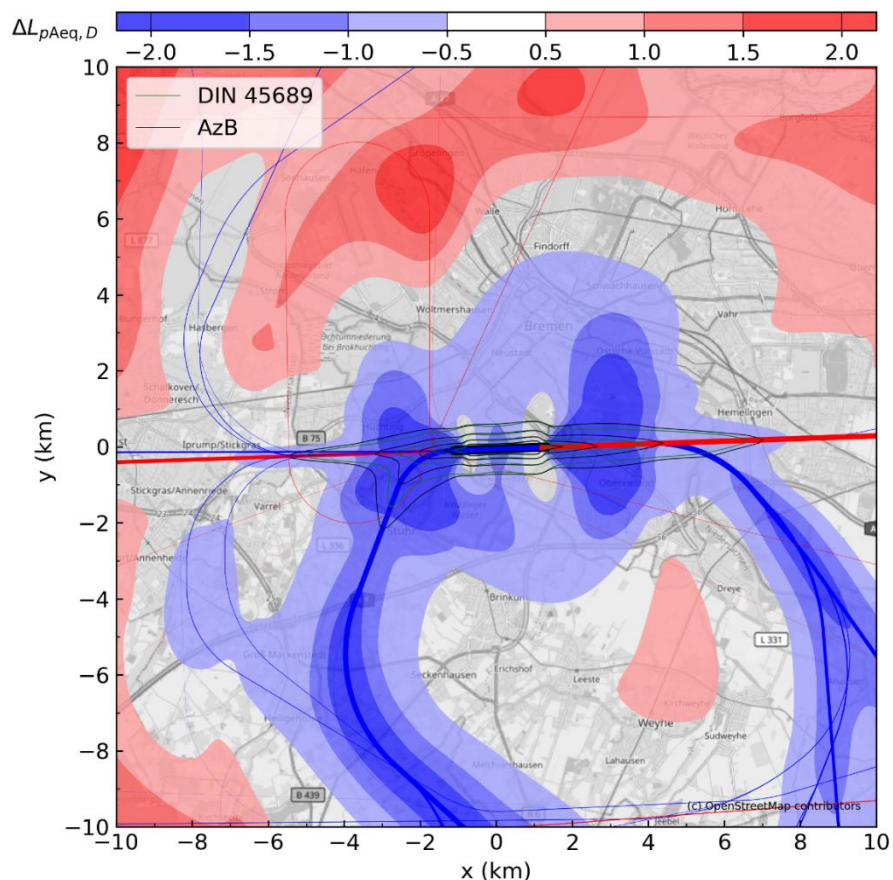


Abbildung 8-2: Energieäquivalente Dauerschallpegel Tag $L_{pAeq,D}$ für das Referenzszenario für das Jahr 2030 am Flughafen Bremen. Dargestellt sind Isokonturlinien (55 - 70 dB, in 5 dB-Schritten) von Berechnungen mit der DIN 45689 und Berechnungen in Anlehnung an die AzB 2008 Berechnungsvorschrift. Farbig hinterlegt sind die Pegeldifferenzen der Berechnungen DIN 45689 zu AzB 2008.