

Modelle und Daten zur Entwicklung von aktiven Schallschutzmaßnahmen im Luftverkehr

MODAL

Verbundprojekt im Rahmen des
Luftfahrtforschungsprogramms LuFo IV-4

Schlussbericht

Förderkennzeichen: 20A1104F
Laufzeit: 01/2012 – 03/2015

Fraport AG

Berichtersteller:

M. Conrady, M. Brendle, M. Faust, A. Kluthe, D. Goldmann

Projektleitung: Dipl.-Phys. Daphne Goldmann
Frankfurt im September 2015



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie* unter dem Förderkennzeichen 20A1104F gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Zusammenfassung

Eine Vielzahl von Forschungsvorhaben hat in der Vergangenheit das Lärminderungspotenzial verschiedener Maßnahmen deutlich gemacht. Bei Untersuchungen zu Schallquellen ist i.d.R. aber das Lärminderungspotenzial der Einzelquelle oder bei Flugverfahren ist nur das Einzelflugereignis betrachtet worden, nicht jedoch ein ganzes Flugbetriebsszenario. Hierfür eingesetzte Werkzeuge zur Fluglärm-berechnung dienen primär zur Flughafen- und Siedlungsplanung sowie zur Ermittlung gesetzlich vorgeschriebener Lärmschutzzonen. Hinsichtlich des Einsatzes zur Optimierung von Lärminderungsstrategien sind sie nur begrenzt verwendbar.

Hochwertige Berechnungswerkzeuge wie z.B. das DLR-Modell SIMUL sind notwendig, um die Schallquellen am Flugzeug in Abhängigkeit vom Flugverfahren adäquat modellieren zu können. Sie benötigen Quellendaten, welche nur durch kostenaufwändige Messungen gewonnen werden können. Praxisorientierte Verfahren wie die deutsche AzB verfügen über akustische Daten für die wichtigsten der derzeit am Flugverkehr teilnehmenden Flugzeugmuster und eingesetzten Standardflugverfahren. Allerdings ist der Detaillierungsgrad dieser Daten in vielen Fällen zur Untersuchung von Lärminderungsmaßnahmen nicht ausreichend.

Dieser Missstand soll durch die neue DIN-Norm 45689 „Ermittlung von Fluggeräuschemissionen an Flughäfen“ behoben werden. Das DLR arbeitet dazu an einer ersten Realisierung der DIN 45689 in Form eines Rechenprogramms (Prototyp 45689). Der Verbund MODAL hat hierzu unter der Führung des DLR erste Datensätze ermittelt, die für diesen Prototyp, aber auch für die deutsche AzB und das DLR-Modell SIMUL verwendet werden können, um Maßnahmen des aktiven Schallschutzes in adäquaterer Art und Weise berechnen und beurteilen zu können.

Die wesentlichen Ziele des Projektes sind:

- Schaffung einer Datenbasis für neue Fluglärm-berechnungsmethoden mit spezieller Zielsetzung im Hinblick auf die DIN 45689 (flexibles Verfahren zur Berechnung von Flughafenverkehrsszenarien unter detaillierter Berücksichtigung von Flugleistungsparametern) (AP 2)
- Anwendung der ersten Realisierung der DIN 45689 (Prototyp 45689) zur Analyse und Bewertung der Wirkung von verschiedenen Lärminderungsmaßnahmen in komplexen Verkehrsszenarien (AP 3)
- Gesamtbewertung und Vergleich von identifizierten Lärminderungsmaßnahmen im Einzelereignis und in Flughafenverkehrsszenarien (AP 3)

Zur Erstellung und Verifizierung der operationellen und akustischen Basisdaten ist ein auf sich aufbauende Zusammenarbeit der Partner im Verbundvorhaben Modal notwendig gewesen.

Am Anfang dieser Arbeitskette stehen die automatischen Fluglärmüberwachungsstationen der an dem Vorhaben beteiligten Flughäfen. Die Daten dieser Anlagen umfassen sowohl Verkehrs- und Radardaten sowie akustische Daten und meteorologische Daten. Darüber hinaus sind einige Messstationen in der Lage über A-bewertete Pegel (LAS,max und SEL) hinaus auch sekundliche Terzbandzeitreihen aufzunehmen, die zur Ermittlung von Richtcharakteristiken benötigt werden. Die Daten sind durch Fraport für das Kalenderjahr 2013 erhoben und aufgearbeitet worden. Dies umfasste u.a. Korrekturen der Verkehrs- und Bahndaten und Zuordnung der akustischen Daten zu den Radardaten.

Im DLR sind daraus für lärmrelevante Flugzeugmuster bei DLR FT-FS in Braunschweig die operationellen Basisdaten und bei DLR AS-HEL in Göttingen die akustischen

Basisdaten ermittelt worden. In diese sind auch die Erkenntnisse aus der Analyse der Einzelschallquellen des AP 1 eingeflossen.

Die Lärmsignifikanz einzelner Flugzeugmuster konnte auf Basis der Verkehrsstatistik und einem vom DLR entwickelten Bewertungsmodell unterschiedlicher Flugzeugtypen herausgearbeitet und so die wesentlichen lärmrelevanten Flugzeugtypen bestimmt werden. Für die charakteristischen An- und Abflugverfahren am Flughafen Frankfurt sind für diese auf Basis von Lärmmessungen die akustischen Referenzdatensätze erstellt worden. Zudem sind Flugprofile erstellt worden, die zusammen mit den Referenzdatensätzen als Grundlage für den Prototyp der DIN 45689 dienen.

Im Unterauftrag der Fraport AG hat das DLR AS-HEL modifizierte vereinfachte Datensätze für das AzB-Berechnungsverfahren für die als lärmrelevant geltenden Flugzeugtypen erstellt, sogenannte MODAL AzB-Gruppen. Für diese wurden je drei Abflug- und vier Anflugverfahren modelliert.

Diese wurden den beteiligten Flughäfen zur Verfügung gestellt, um in AP 3 Validierungen anhand von Messdaten und Berechnungen von ganzen Verkehrsszenarien durchzuführen.

Zur Validierung der erarbeiteten Datensätze wurden Lärmwerte von Immissionspunktberechnungen mit gemessenen Werten verglichen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass weitere Iterationsschritte und Nachjustierungen bei den abgeleiteten MODAL AzB-Datensätze notwendig sind. Dies gilt insbesondere für die Anflugverfahren, bei denen die Abweichungen der Lärmwerte aus der Messung und Berechnung an Immissionspunkten entlang des Anflugpfades auffällig stark variieren. Während beim Abflug die flugtechnischen Gegebenheiten sehr gut in den modellierten Datensätzen abgebildet sind, besteht bei den Anflugverfahren noch Nachbesserungsbedarf.

Ergänzend sind Konturenberechnungen durchgeführt worden. Im ersten Schritt wurden sog. Footprints einzelner Flugzeugmuster analysiert. Um herauszufinden, welche der im Rahmen von MODAL abgeleiteten AzB-Datensätze bei der Anwendung auf eine Szenarienberechnung zu einer Verringerung der Leq-Fluglärmkonturen führen könnten, geben die Flächen der Footprints wichtige Hinweise.

Zudem sind drei Flugbetriebsszenarien für den Flughafen Frankfurt unter der Annahme von Kombinationen aus bestimmten An- und Abflugverfahren berechnet und ausgewertet worden.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	9
1.1 Hintergrund und Einbettung des Projektes in den aktuellen Stand des Wissens und der Technik	9
1.1.1 Aktive Schallschutzmaßnahmen	9
1.1.2 Berechnungswerkzeuge zur Prognose von aktiven Schallschutzmaßnahmen	10
1.2 Aufgabenstellung	11
1.2.1 AP2 - Erarbeitung einer standardisierten Fluglärmdatenbasis als Grundlage für die sachgerechte Realisierung der DIN 45689	11
1.2.2 AP3 - Analyse und Bewertung von ausgewählten Lärminderungsmaßnahmen	12
1.3 Voraussetzungen des Vorhabens	13
1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens	14
1.5 Zusammenarbeit	14
2 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse	16
2.1 AP2 - Erarbeitung einer standardisierten Fluglärmdatenbasis als Grundlage für die sachgerechte Realisierung der DIN 45689	16
2.1.1 AP 2.1 Verkehrsstatistiken an deutschen Flughäfen	16
2.1.2 AP 2.3 Charakteristische An- und Abflugverfahren.....	18
2.1.3 AP 2.4 Erstellung von akustischen Referenzdatensätzen	20
2.2 AP3 Analyse und Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen	21
2.2.1 AP 3.1 Validierung der Berechnungswerkzeuge (Maßnahmenpakete FRA) ..	21
2.2.2 AP 3.2 Anwendung der Berechnungswerkzeuge	28
3 Literatur	33
4 Anlagen	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Meilensteine, die im Verbundprojekt unter Fraport-Beteiligung erreicht wurden	14
Tabelle 2: Verkehrsstatistik am Flughafen Frankfurt des Jahres 2012	16
Tabelle 3: S5-2 Lärmäquivalent der AzB-Klassen	17
Tabelle 4: Lärmrelevante Flugzeugmuster, AzB-Profile und akustische Datensätze	21
Tabelle 5: B747-400 Abflug-Einzelschallereignisse (LpAe) in dB(A) – Berechnung auf Basis der AzB08- sowie der MODAL AzB-Datensätze und gemessene Werte	25
Tabelle 6: Unterschied zwischen MOD-ATA Verfahren mit Cutback 1.500 ft bzw. 1.000 ft – Vergleich Berechnung und Messung	26
Tabelle 7: B747-400 Anflug-Einzelschallereignisse (LpAe) in dB(A) – Berechnung auf Basis der AzB08- sowie der MODAL AzB-Datensätze und gemessener Werte	26
Tabelle 8: A340-641 Anflug-Einzelschallereignisse (LpAe) in dB(A) – Berechnung auf Basis der AzB08- sowie der MODAL AzB-Datensätze und gemessene Werte	27
Tabelle 9: Unterschied zwischen L32- und LDP-Verfahren – Vergleich Berechnung und Messung	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: zeitlicher Verlauf der einzelnen Arbeitspakete	14
Abbildung 2: Beiträge einzelner Flugzeugmuster zur Gesamtlärmmenge des Jahres 2012 (in %)	18
Abbildung 3: Verteilung der am Flughafen Frankfurt genutzten Startverfahren (Befragung von 27 Airlines)	19
Abbildung 4: Steigprofile für die B747-400 der AzB-Klasse S7 b.) und den ermittelten MODAL-AzB-Datensätzen	22
Abbildung 5: Geschwindigkeitsprofile für die B747-400 der AzB-Klasse S7 b.) und den ermittelten MODAL AzB-Datensätzen	22
Abbildung 6: Beschreibung von Anflugstrecken durch den Gleitwinkel w , die Zwischenanflughöhe h_0 und die Länge des Zwischenanflugsegments S_z nach AzB08. ...	23
Abbildung 7: Beschreibung von Anflugstrecken durch die zusätzlichen Parameter Sinkwinkel w_0 , Verzögerungsstrecke S_D und Sinkwinkel w_C bei den MODAL AzB-Datensätzen	24
Abbildung 8: Flächen der LpAe = 85 dB(A) Start-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze	29
Abbildung 9: Flächen der LAS,max = 75 dB(A) Start-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze	29
Abbildung 10: Flächen der LpAe = 85 dB(A) Anflug-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze	30
Abbildung 11: Flächen der LAS,max = 75 dB(A) Anflug-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze Ziel des Arbeitspakets war	30
Abbildung 12: Flächen der LAeq-Tag-Konturen für 3 Szenarien bei 60 dB(A) und 55 dB(A)	32
Abbildung 13: Empfohlenes Startverfahren nach AIP Germany– ENR 1.5 für Chapter 3 Flugzeuge	34

Abbildung 14: Startverfahren ICAO-A (Steilstartverfahren)/. Empfohlenes Startverfahren nach AIP Germany – ENR 1.5 für Chapter 2 Flugzeuge.....	34
Abbildung 15: NADP 2 nach ICAO Doc 8168.....	35
Abbildung 16: NADP 1 nach ICAO Doc 8168.....	35
Abbildung 17: Vergleich der Steigprofile für die A340-641 der AzB-Klasse S.6.3 und den ermittelten MODAL-Datensätzen.....	36
Abbildung 18: Vergleich der Geschwindigkeitsprofile für die A340-641 der AzB-Klasse S.6.3 und den ermittelten MODAL-Datensätzen.....	36
Abbildung 19: Standorte der Messanlagen.....	37
Abbildung 20: Start B747-400 Footprints der Einzelereingispegel LpAe von 80 dB(A) und 85 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen.....	38
Abbildung 21: Start B747-400 Footprints der Maximalpegel LASmax von 70 dB(A) und 80 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen.....	39
Abbildung 22: Landung B747-400 Footprints der Einzelereingispegel LpAe von 80 dB(A) und 85 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen.....	40
Abbildung 23: Landung B747-400 Footprints der Maximalpegel LASmax von 70 dB(A) und 80 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen.....	41
Abbildung 24: LAeq-Tag-Konturen von 55 dB(A) und 60 dB(A) für die Berechnung der Flugbetriebsszenarien.....	42

Abkürzungsverzeichnis

AIP	Luftfahrthandbuch, <i>Aeronautical Information Publication</i>
ANP	Aircraft Noise and Performance Database
AP	Arbeitspaket
AzB08	Anleitung zur Berechnung (von Fluglärm gemäß Fluglärmschutzgesetz)
BADA	Base of Aircraft Data
bpf	Blattpassierfrequenz des Fans
CDA	Continuous Descent Approach
CDO	Continuous Descent Operations
CGN	Flughafen Köln/Bonn GmbH
dB(A)	Dezibel, A-bewertet
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLH	Deutsche Lufthansa AG
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DLR AS-HEL	DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Abt. Hubschrauber
DLR AS-TEA	DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Abt. Technische Akustik
DLR AT-TRA	DLR Institut für Antriebstechnik, Abt. Triebwerksakustik
DLR FT-FS	DLR Institut für Flugsystemtechnik, Abt. Flugdynamik und Simulation
DUS	Flughafen Düsseldorf GmbH
ENR	<i>En-Route</i> , Teil des Luftfahrthandbuchs mit Informationen, die während des Fluges von Bedeutung sind
FRA	Fraport AG
Ft	Fuß (entspricht 30,48 Zentimeter)
ICAO	International Civil Aviation Organization
INM	Integrated Noise Model
km ²	Quadratkilometer
L32	Anflugverfahren mit 3,2° Anfluggleitwinkel
LpAe	Einzelschallereignispegel eines Vorbeiflugs
LAS,max	Maximalpegel eines Einzelschallereignisses
LDP	Low Drag – Low Power – Anflugverfahren
LHT	Lufthansa Technik AG
LuFo	Nationales ziviles Luftfahrtforschungsprogramm des Bundes
MOD-ATA	Modified - Air Transport Association
NADP	Noise Abatement Departure Procedure

ODP	Optimiertes Low Drag – Low Power - Anflugverfahren
SIMUL	Simulationsmodell des DLR zur Fluglärmrechnung
SXF	Flughafen Berlin Schönefeld GmbH
T10-Zeit	Dauer während eines Einzelschallereignisses, währenddessen der Pegel maximal 10 dB unter dem Maximalpegel liegt
Ts-Zeit	Dauer eines Einzelschallereignisses
TOP	Topsonic Systemhaus GmbH
UA	Unterauftrag

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Einbettung des Projektes in den aktuellen Stand des Wissens und der Technik

1.1.1 Aktive Schallschutzmaßnahmen

Das erklärte Ziel der Luftverkehrsindustrie ist es, die Auswirkungen des geplanten und prognostizierten Luftverkehrswachstums (mindestens) umweltneutral zu gestalten. Zur Erreichung dieser Zielsetzung ist zum einen der Einsatz modernster Fluggeräte förderlich, zum anderen sind aufgrund der langen Flugzeugentwicklungs- und Nutzungszyklen auch kurz- und mittelfristig wirksame operationelle Maßnahmen für vorhandenes Fluggerät notwendig.

Insbesondere an Ausbaustandorten entsteht ein zunehmender öffentlicher und politischer Druck, Kompensationen für den wachsenden Flugbetrieb umzusetzen, um so Optionen für weiteres Wachstum und zur Steigerung der Transportleistung zu schaffen. Infolgedessen wurde am Flughafen Frankfurt bereits ein Jahr vor der im Herbst 2011 in Betrieb genommenen neuen Landebahn Nordwest ein erstes Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz einvernehmlich von Industrie und Kommunen geschnürt, mit dem Ziel die Zahl der Lärmbetroffenen zu reduzieren.

Eine dieser Maßnahmen war die von Lufthansa 2010 beschlossene Umrüstung von Boeing 737-Flugzeugen mit neuen „acoustic panels“ im Triebwerkseinlauf. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Lärminderung in diesem Fall geringer ausfiel als erwartet. Hingegen hat die Ausrüstung der A320-Familie mit Wirbelgeneratoren die prognostizierte Lärmreduzierung in vollem Umfang erreicht. Beide Beispiele bestätigen den Bedarf, auch für lärmintensive Großraumflugzeuge wie z.B. des Typs B747 oder MD11 genauere Analysen von Lärmquellen durchzuführen und Möglichkeiten zur Minderung zu entwickeln.

Seit 1999 widmet sich der Forschungsverbund Leiser Verkehr in zahlreichen Projekten der Analyse von Schallquellen und der Entwicklung von Lärminderungsmaßnahmen. Mehrfach wurden Überflugmessungen durchgeführt, mit denen einzigartige Datenbasen für einzelne Flugzeugmuster geschaffen wurden. Den vorläufigen Abschluss der Messreihe bilden die Überflugmessungen an einer Boeing 747-400, die DLR und Lufthansa im Rahmen des LuFo III-Verbundes FREQUENZ durchführten und mit denen die Schallemissionen dieses Flugzeugtyps in einem bis dato nicht verfügbaren Umfang systematisch vermessen wurden.

Solche Messungen sind zum einen die grundlegende Voraussetzung zur Identifizierung und zur Quantifizierung von Einzelschallquellen an Verkehrsflugzeugen. Darauf aufbauend können die Schallentstehungsmechanismen von Einzelschallquellen entschlüsselt und Lärminderungsmaßnahmen zur Nachrüstung entwickelt werden.

Zum anderen diente die Auswertung der B747-Messdaten aber auch der Weiterentwicklung des DLR-Fluglärmsimulationswerkzeugs SIMUL, mit dem die Wirkung und Effektivität von identifizierten Maßnahmen untersucht werden. Das SIMUL-Verfahren kann somit auch eingesetzt werden um Voruntersuchungen und Verifikationen für die erste Realisierung der DIN 45689 durchzuführen.

Ein weiteres wesentliches Potenzial zur Minderung von Fluglärmbelastungen im Umfeld von Flughäfen liegt in lärmindernden Flugverfahren. Am Flughafen Frankfurt ist bereits ein Bündel von Maßnahmen in Umsetzung bzw. in Planung, um die Flughöhe bei Starts und Landungen anzuheben. Zu diesen Verfahren zählen die Anhebung des Anfluggleitwinkels auf 3,2° bei Landungen auf der Landebahn Nordwest oder die Steigerung des Anteils der Continuous Descent Operations, CDO.

Die Erfahrungen zeigen allerdings, dass einige Maßnahmen nicht ohne weiteres mit vorhandenen Lärmberechnungsmethoden adäquat berechnet und analysiert werden können. Dies ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung sowohl zur technisch-wirtschaftlichen Bewertung als auch für die politische Akzeptanz einer Maßnahme.

1.1.2 Berechnungswerkzeuge zur Prognose von aktiven Schallschutzmaßnahmen

Eine Vielzahl von Forschungsvorhaben auf nationaler und internationaler Ebene hat in der Vergangenheit das Lärminderungspotenzial verschiedener Maßnahmen deutlich gemacht. Bei Untersuchungen zu Schallquellen ist i.d.R. aber das Lärminderungspotenzial der Einzelquelle ermittelt worden, nicht jedoch die Auswirkung einer entsprechenden Maßnahme auf die gesamte Schallemission des Flugzeugs, geschweige denn für ein ganzes Flugbetriebsszenario.

Auch bei Untersuchungen zu Flugverfahren wurden überwiegend Einzelflugereignisse betrachtet und bewertet wurden zumeist nur die Lärmpegel unter dem Flugpfad. Die Pegelentwicklung seitlich des Flugpfades, wo bspw. im Bereich von Abflugrouten die Wohnbebauung normalerweise zu finden ist, wurden oft nicht untersucht, ebenso wenig wie die Auswirkungen auf ganze Flughafenverkehrsszenarien. Der Grund hierfür ist die mangelnde Qualität bzw. Verfügbarkeit der von den Rechenverfahren benötigten Eingabedaten.

Im Bereich der Fluglärmrechnung werden derzeit meist Werkzeuge eingesetzt, die dem „Best-Current-Practice“ entsprechen. Es handelt sich dabei um Rechenverfahren, die zur Flughafen- und Siedlungsplanung sowie zur Ermittlung gesetzlich vorgeschriebener Lärmschutzzonen eingesetzt werden. Zielsetzung ist hier nicht die Modellierung des Einzelereignisses oder die Optimierung von Lärminderungsstrategien – hinsichtlich dieses Einsatzes sind die Verfahren in der Regel nur begrenzt verwendbar.

Ein alternatives Berechnungswerkzeug wäre das amerikanische INM, das begrenzte Möglichkeiten zur Modellierung von Flugverfahren bietet. Allerdings beschränkt sich die Anwendungsmöglichkeit hier auf die Untersuchung von Abflugverfahren. Zudem besteht in Deutschland eine höhere Akzeptanz gegenüber dem etablierten Berechnungsmodell AzB.

Um einzelne Schallentstehungsmechanismen modellieren und damit sowohl technische als auch operationelle Maßnahmen zur Lärminderung wiedergeben zu können, sind hochwertige Berechnungswerkzeuge wie z. B. das DLR-Modell SIMUL notwendig. Solche Berechnungswerkzeuge benötigen Quellendaten, die nur durch kostenaufwändige Messungen gewonnen werden können. Derzeit technisch realisierbar sind daher nur Berechnungen für einzelne Flugzeugmuster, so dass diese Modelle nicht für komplexe Verkehrsszenarien eingesetzt werden können.

Praxisorientierte Verfahren wie die deutsche AzB oder das amerikanische INM verfügen zwar über akustische Daten für die wichtigsten der derzeit am Flugverkehr teilnehmenden Flugzeugmuster. Allerdings ist der Detaillierungsgrad dieser Daten in vielen Fällen zur Untersuchung von Lärminderungsmaßnahmen nicht ausreichend.

Dieser Missstand soll durch die neue DIN-Norm 45689 „Ermittlung von Fluggeräuschmissionen an Flughäfen“ behoben werden. Das DLR arbeitet dazu an einer ersten Realisierung der DIN 45689 in Form eines Rechenprogramms (Prototyp 45689). Der Verbund MODAL hat hierzu unter der Führung des DLR erste Datensätze ermittelt, die für diesen Prototyp aber auch für die deutsche AzB und das DLR-Modell SIMUL verwendet werden können, um Maßnahmen in adäquaterer Art und Weise berechnen und beurteilen zu können.

1.2 Aufgabenstellung

Der Verbund MODAL hat sich zur Aufgabe gestellt, Beiträge und Lösungen zu den folgenden Zielen zu liefern:

- Identifikation der wesentlichen Lärmquellen der Boeing 747-400, Entschlüsselung der Schallentstehungsmechanismen und Konzeptentwicklung von Lärminderungsmaßnahmen für einzelne Schallquellen und für Flugverfahren (AP 1)
- Untersuchung zur Blattpassierfrequenz (bpf) des CF6-80-Triebwerks weiterführen mit dem Ziel, konkrete Nachrüstmaßnahmen (z.B. optimierter acoustic panels) zu definieren (AP 1)
- Untersuchung des Schallquellmechanismus der Krüger Klappen der B747 und Entwicklung von Lärminderungsmaßnahmen (AP 1)
- Erweiterung des Fluglärmsimulationstools SIMUL auf 4-strahlige „wide-body“-Flugzeuge (B747) (AP 1)
- Anwendung von SIMUL zur Analyse und Bewertung der Wirkung von verschiedenen Lärminderungsmaßnahmen für Einzelflüge (AP 1)
- Schaffung einer Datenbasis für neue Fluglärmrechnungsmethoden mit spezieller Zielsetzung im Hinblick auf die DIN 45689 (flexibles Verfahren zur Berechnung von Flughafenverkehrsszenarien unter detaillierter Berücksichtigung von Flugleistungsparametern) (AP 2)
- Anwendung der ersten Realisierung der DIN 45689 (Prototyp 45689) zur Analyse und Bewertung der Wirkung von verschiedenen Lärminderungsmaßnahmen in komplexen Verkehrsszenarien (AP 3)
- Gesamtbewertung und Vergleich von identifizierten Lärminderungsmaßnahmen im Einzelereignis und in Flughafenverkehrsszenarien (AP 3)
- Beitrag zur Versachlichung der z.T. emotional geführten gesellschaftlichen Diskussion des Themas Fluglärm liefern und gleichzeitig Ansehen, Zukunftschancen und langfristigen, wirtschaftlichen Erfolg des Industriezweigs sichern helfen

Dabei hat die Fraport AG zur Erarbeitung der Zielsetzung bezogen auf AP 2 einen grundlegenden und hinsichtlich AP 3 einen wichtigen praxisbezogenen Beitrag geleistet.

1.2.1 AP2 - Erarbeitung einer standardisierten FluglärmDatenbasis als Grundlage für die sachgerechte Realisierung der DIN 45689

Auf Basis des in AP 1 weiterentwickelten Simulationswerkzeug SIMUL, das primär zur Untersuchung von Einzelflügen ausgelegt ist, wird die Entwicklung eines verbesserten „Best-Current-Practice“-Verfahrens zur Berechnung von Flugverkehrsszenarien in AP2 durchgeführt.

Da jedes Fluglärmrechnungsverfahren auf einer Datengrundlage aufsetzt, ist der Ausgangspunkt der Arbeiten die Erstellung einer Flugleistungsdatenbasis und korrespondierenden akustischen Parametern. Der Aufbau und der Umfang dieser Datengrundlage müssen auf den Anwendungsbereich des Rechenverfahrens zugeschnitten sein. Insofern ist die Erarbeitung einer FluglärmDatenbasis der wichtigste Teil bei der Entwicklung eines neuen Fluglärmrechnungsverfahrens.

Die Arbeiten orientieren sich an den Anforderungen der neuen DIN 45689 „Ermittlung von Fluggeräuschmissionen an Flughäfen“, die parallel und in Abstimmung mit dem Projekt MODAL durch den Unterausschuss „Fluggeräusche“ im DIN erarbeitet wird.

Im Rahmen von MODAL wird auf eine erste Realisierung der DIN 45689 in Form eines Prototyps zurückgegriffen, der durch DLR AS-HEL als flexible und modulare Testplattform zur Erarbeitung der Norm entwickelt wird. Dieser Prototyp ist so ausgelegt, dass er wie SIMUL auf der Basis einer Diskretisierung der Flugbahn in Einzelpunkte, die in festen Zeitabständen durchflogen werden, basiert. Bei seiner Entwicklung wird auf die mit SIMUL gewonnenen Erkenntnisse und Programmieretechniken aufgesetzt. Dabei wird die Schallquellenmodellierung so ausgelegt, dass mit SIMUL gewonnene Ergebnisse zu lärmindernden Modifikationen oder speziellen Quellmechanismen durch geeignete Vereinfachungen integriert werden können.

Die erarbeitete Datengrundlage sollte folgenden Anforderungen genügen:

- Sie sollte mindestens flugzeugtypenspezifisch ausgelegt sein. Eine Unterscheidung bezüglich unterschiedlicher Triebwerksausstattung ist wünschenswert.
- Sie muss die Generierung von prozeduralen Flugprofilen erlauben und zumindest flugmechanische Rechnungen auf der Basis eines einfachen Massenpunktmodells erlauben. Dies ist essentielle Voraussetzung für die Untersuchung von Flugverfahren.
- Die Emissionsdaten müssen spektral vorliegen und eine explizite Beschreibung von Richtcharakteristiken beinhalten. Emission und Ausbreitung müssen dabei streng getrennt werden.
- Die Datenbasis sollte flexibel und erweiterbar ausgelegt werden. Dazu gehört z.B. die Bereitstellung von Leistungsdaten, die möglichen Erweiterungen von Rechenverfahren Rechnung tragen (z.B. Nebenstromverhältnis, Strahlgeschwindigkeiten etc.).
- Die Daten müssen durch Messungen verifiziert bzw. kalibriert werden.
- Bei der Erstellung sollte sich zunächst an den wichtigsten an deutschen Verkehrsflughäfen operierenden Flugzeugmustern orientiert werden.

Die Schritte in Arbeitspaket 2 zur Erarbeitung einer standardisierten FluglärmDatenbasis als Grundlage für die sachgerechte Realisierung der DIN 45689 gliedern sich wie folgt:

- 2.1 Auswertung der Verkehrsstatistiken der beteiligten Flughäfen, Bewegungshäufigkeiten, Identifikation typischer Destinationen und lärmrelevanter Flugzeugmuster (Flughäfen, DLR, DLH)
- 2.2 Ermittlung von Flugleistungsdaten für die wichtigsten Flugzeugmuster aus verschiedenen Quellen (ANP, BADA), Vergleich und Verifizierung, Integration in die Datenbasis (DLR, DLH)
- 2.3 Bereitstellung von für deutsche Flughäfen charakteristischen An- und Abflugverfahren in Form prozeduraler Beschreibungen (Flughäfen, DLR, DLH, Topsonic)
- 2.4 Erstellung und Kalibrierung von akustischen Referenzdatensätzen auf der Basis von Messdaten von Fluglärmmessanlagen, Integration in die Datenbasis (Flughäfen, DLR, Topsonic)

1.2.2 AP3 - Analyse und Bewertung von ausgewählten Lärminderungsmaßnahmen

Die in AP 1 und AP 2 entwickelten Berechnungswerkzeuge werden in der ersten Einzelaufgabe zur Verifizierung der operationellen Maßnahmen angewendet, die in Frankfurt im Rahmen der Maßnahmenpakete Aktiver Schallschutz umgesetzt werden, bisher aber mit den Mitteln der AzB nur bedingt modellierbar waren.

Auf der Basis von Flight-Data-Recorder-Daten (soweit verfügbar), Flugleistungsrechnungen und Auswertung von Radarinformationen werden durch DLR FT-FS die in den

Maßnahmenpaketen eingeführten Flugverfahren soweit nachgebildet, dass sie als Eingabe für SIMUL bzw. den Prototyp 45689 dienen können. Mit diesen Programmen werden dann durch DLR AS-HEL modifizierte AzB Datensätze generiert, die von der Fraport AG in die dort benutzte AzB-Software implementiert werden. Im Rahmen der Adaption werden dabei die für A320 und B747 gewonnenen Erkenntnisse in Form einer Näherung auf andere Flugzeugmuster übertragen.

Anschließend werden durch Fraport Immissionsberechnungen durchgeführt und mit den im Rahmen der Monitoring-Aktivitäten zu den Maßnahmenpaketen gemessenen Immissionswerten verglichen. Nach erfolgreicher Verifizierung ist damit eine Prozesskette auf der Basis der neu entwickelten Verfahren verfügbar, die es ermöglicht, weitergehende Maßnahmen des aktiven Schallschutzes besser und effizienter planen und ausgestalten zu können.

Eine entsprechende Prozesskette kann natürlich auch für andere Flughäfen bzw. mit veränderten Zielsetzungen generiert werden. Damit befasst sich AP 3.2, an dem auch die übrigen Flughäfen beteiligt sind. Hier werden anhand von standortspezifische Anwendungsbeispielen und Analysen die Lärminderungspotenziale durch verbesserte operationellen Verfahren abgeschätzt.

1.3 Voraussetzungen des Vorhabens

Zu einem systematischen Vorgehen bedarf es der Weiterentwicklung von computerbasierten Simulationswerkzeugen und deren Datenbasis, um Analyse und Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen zu untersuchen. In diesem Sinne sind sowohl das Simulationsprogramm SIMUL des DLR als auch die neue flexible Fluglärm-berechnungsmethode nach DIN 45689 die weiterzuentwickelnden Hilfsmittel. Die Erstellung einer Fluglärm-datenbasis für die DIN 45689 erfolgt weiterhin in enger Abstimmung mit dem Unterausschuss „Fluggeräusche“ im Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik im DIN/VDI. Dieser Ausschuss ist für die Bearbeitung der DIN 45689 zuständig. Da der stellvertretende Obmann und einige Mitglieder des UA „Fluggeräusche“ Projektpartner sind, ist eine ausgezeichnete Kooperationsgrundlage gegeben.

Durch ihr Auflösungsvermögen und die kombinierte Anwendung der oben genannten Berechnungswerkzeuge können viele vorgeschlagene Lärminderungsmaßnahmen überhaupt erst abgebildet und fundiert untersucht werden. Darüber hinaus ermöglichen beide Berechnungswerkzeuge auch den systematischen Vergleich der Wirkung von verschiedensten Lärminderungsmaßnahmen, eine wichtige Voraussetzung für Kosten/Nutzen-Analysen und letztlich Entscheidungen über die Umsetzung von Maßnahmen.

Dadurch, dass sich die Kompetenz und langjährige Erfahrung der Partner auf die Gebiete Flughafenbetrieb, Lärmschutz, Flugbetrieb, Fluglärmmonitoring, Flugsicherheit, Flugzeugwartung, Entwicklung von Flugzeugkomponenten, Schallquellenvermessung, Aufbau von Simulationswerkzeugen zur Fluglärm-berechnung, Auslegung von Flugverfahren und ihre umfassende Bewertung erstreckt, sind sowohl die Weiterentwicklungen der computerbasierten Berechnungswerkzeuge als auch die Analyse der Einzelschallquellen und Entschlüsselung der Quellmechanismen möglich.

Kalenderjahr 2014 aufgearbeitet worden. Dies umfasste u.a. Korrekturen der Verkehrs- und Bahndaten und Zuordnung der akustischen Daten zu den Radardaten.

Im DLR sind daraus bei DLR FT-FS in Braunschweig die operationellen Basisdaten und bei DLR AS-HEL in Göttingen die akustischen Basisdaten ermittelt worden. In diese sind auch die Erkenntnisse aus der Analyse der Einzelschallquellen des AP 1 eingeflossen.

Mit Hilfe der so ermittelten operationellen und akustischen Basisdaten sind Verifizierungen von Maßnahmen für den Einzelflügen von AS durchgeführt worden. Darüber hinaus haben die beteiligten Flughäfen auch Berechnungen von ganzen Verkehrsszenarien durchgeführt. Hieraus können die Wirkung von Maßnahmen auf die Lärmimmission in der Umgebung des entsprechenden Flughafens abgeleitet werden.

In AP3 werden die in AP1 identifizierten Maßnahmen systematisch analysiert und die in AP1 und AP2 erstellten Berechnungswerkzeuge und Datengrundlagen systematisch eingesetzt.

2 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse

Dieses Kapitel befasst sich insbesondere mit den von Fraport im Projekt erarbeiteten Ergebnissen und den für den Flughafen Frankfurt gewonnenen Erkenntnisse.

2.1 AP2 - Erarbeitung einer standardisierten Fluglärmdatenbasis als Grundlage für die sachgerechte Realisierung der DIN 45689

2.1.1 AP 2.1 Verkehrsstatistiken an deutschen Flughäfen

Grundlage der Einzelaufgabe ist eine umfassende Verkehrsanalyse an den beteiligten Flughäfen.

Diese umfasst eine Aufschlüsselung der Flugbetriebszahlen nach Häufigkeiten einzelner Flugzeugmuster. Insgesamt verkehrten im Jahr 2012 169 verschiedene Flugzeugmuster am Flughafen Frankfurt. Knapp 91 Prozent aller Flugbewegungen wurden von lediglich 24 Flugzeugtypen durchgeführt. In der folgenden Tabelle sind die Bewegungszahlen für die am häufigsten am Flughafen Frankfurt verkehrenden Flugzeugmuster des Jahres 2012 aufgeführt.

Flugzeug -typ	Hersteller	Bezeichnung	Anzahl Beweg ungen	Anteil in %
A321	Airbus		78391	16,3
A320	Airbus		61537	12,8
A319	Airbus		46409	9,6
CRJ7	Bombardier Inc.	Regional Jet RJ-700	33000	6,8
B733	Boeing	B737-300	31610	6,6
B735	Boeing	B737-500	24660	5,1
E190	Embraer	190,195,ERJ-190,Lineage 1000	23647	4,9
B744	Boeing	B747-400	22897	4,7
B738	Boeing	B737-800/BBJ2	16468	3,4
A343	Airbus	A340-300	11465	2,4
A333	Airbus	A330-300	11444	2,4
B763	Boeing	B767-300	10747	2,2
B77W	Boeing	B777-300ER	7750	1,6
MD11	McDonnell Douglas Corporation	MD-11	7620	1,6
DH8D	De Havilland of Canada Ltd.	DHC-8-400 Dash 8	6818	1,4
A346	Airbus	A340-600	6790	1,4
A388	Airbus	A380-800	6109	1,3
E170	Embraer	170,175,ERJ-170	6020	1,2
A332	Airbus	A330-200 (KC-30)	5669	1,2
B772	Boeing	B777-200	5501	1,1
A318	Airbus		4666	1,0
B77L	Boeing	B777-200LR/LRF	4199	0,9
B753	Boeing	B757-300	3901	0,8
Sonstige			44921	9,3
Gesamt 2012			482239	

Tabelle 2: Verkehrsstatistik am Flughafen Frankfurt des Jahres 2012

Um die lärm-signifikanten Flugzeugmuster identifizieren zu können, hat das DLR-Institut DLR AS/HEL eine Systematik zur lärmbezogenen Klassifizierung verschiedener Flugzeugtypen entwickelt. Das Bewertungssystem basiert auf Überflugpegeln an Punkten in 5, 10, 15 und 20 km Abstand vom Startpunkt der Flugstrecke. Die berechneten Überflugpegel werden zu einer Referenz-AzB-Klasse in Bezug gesetzt. Als Referenz-AzB-Klasse wird die S5.2 genutzt. Aus dem Mittelwert der Pegeldifferenzen der Abflugpegel (L_{max} und L_{pAe}) der jeweiligen AzB-Klasse zu den Abflugpegeln der Klasse S5.2 ($\Delta L(S5.2)$) ergeben sich die S5.2-Äquivalente einer Flugzeuggruppe durch $10^{\Delta L(S5.2)/10}$. In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Pegeldifferenzen der AzB-Gruppen zu der Klasse S5.2 sowie das jeweilige S5.2-Äquivalent angegeben.

AzB-Gruppe	$\Delta L_{max}(S5.2)$ [dB]	$\Delta L_{pAe}(S5.2)$ [dB]	$\Delta L(S5.2)$ [dB]	S5.2-Äquivalent
P2.1	-4,1	-3,8	-4	0,4
P2.2	3,4	3,7	3,6	2,3
S5.1	-4	-4,4	-4,2	0,4
S5.2	0	0	0	1
S5.3	6,9	6,8	6,8	4,8
S6.1	0,5	0,6	0,5	1,1
S6.2	7,7	7,4	7,5	5,6
S6.3	11,2	9,4	10,3	10,7
S7	14,2	12,8	13,5	22,2

Tabelle 3: S5-2 Lärmäquivalent der AzB-Klassen

Diese S5.2-Äquivalente werden als Multiplikator für die Bewegungszahl genutzt, um die Lärmmenge einzelner Flugzeugmuster zu bestimmen. Bezogen auf die gesamte Lärmmenge der Flugbewegungen eines Jahres lassen sich die Beträge einzelner Flugzeugmuster ableiten. Die Lärm-signifikanz einzelner Flugzeugmuster ist in der nachfolgenden Grafik ablesbar.

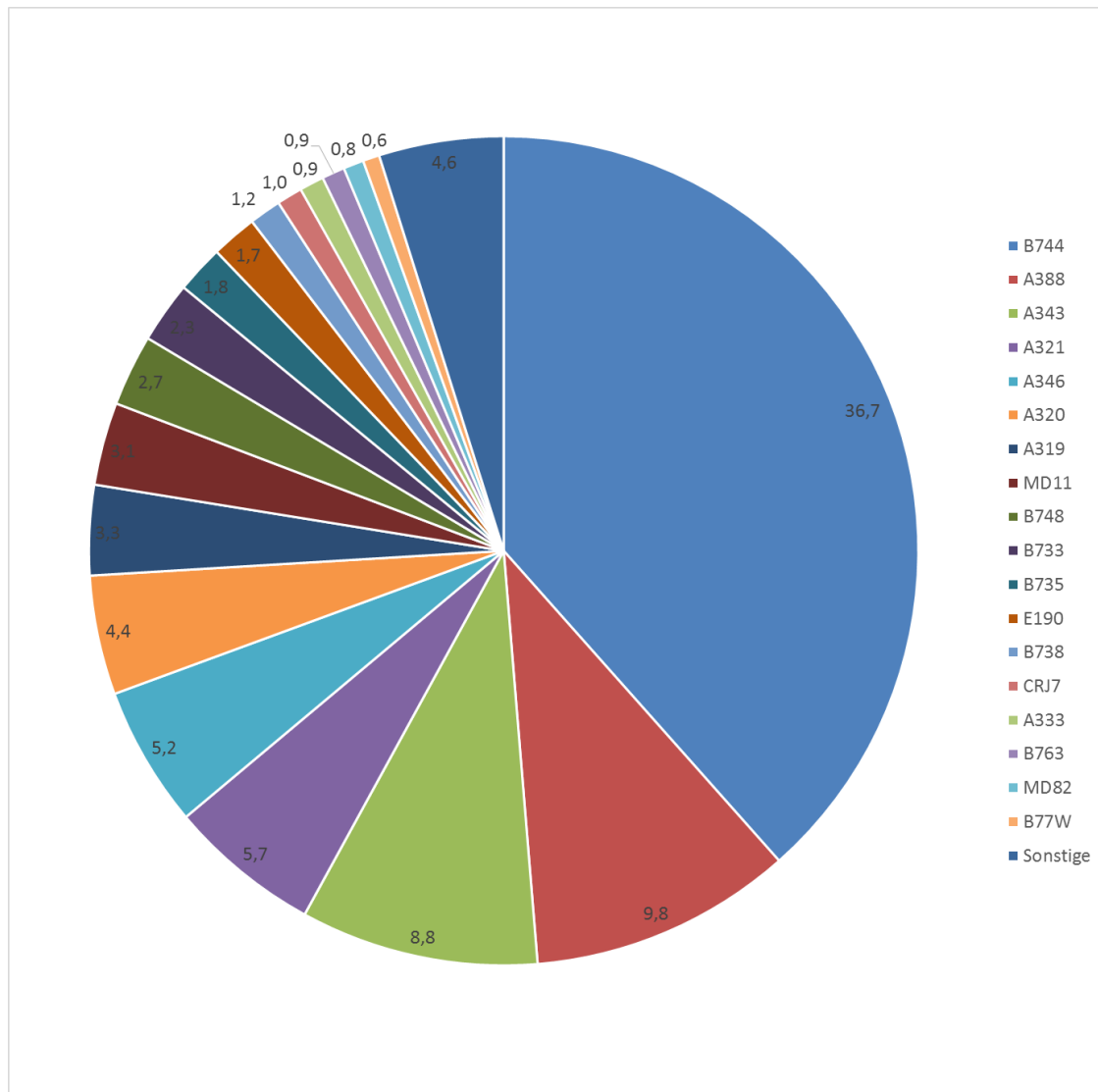


Abbildung 2: Beiträge einzelner Flugzeugmuster zur Gesamtlärmmenge des Jahres 2012 (in %)

Allein die Flugzeugtypen B744 und A388, die lediglich einen Verkehrsanteil von 6 Prozent haben, verursachen rund 46 Prozent der gesamten Lärmmenge.

2.1.2 AP 2.3 Charakteristische An- und Abflugverfahren

Die angedachte Vorgehensweise zur Ableitung von Prozedurparametern musste aufgrund des Umfangs und der Datenqualität der Radardaten angepasst werden. Der alternative Arbeitsplan sah folgende Vorgehensweise vor:

1. Die Flughäfen liefern Beschreibungen der lokal benutzten Prozeduren für An- und Abflüge für die lärmrelevanten Airlines.
2. Lufthansa stellt Flugleistungsdaten sowie für DLH charakteristische Verfahrensbeschreibungen zur Verfügung. Die Berechnung erfolgt durch Lufthansa Systems (Lido).
3. DLR FT-FS ermittelt davon ausgehend charakteristische An- und Abflugprofile der für die Flughäfen lärmrelevanten Flugzeuge.

4. DLR AS-HEL gleicht diese Profile mit von Topsonic bereitgestellten Radardaten für die lärmrelevanten Flugzeugmuster ab und implementiert die Flugleistungsdaten und Profile in die DIN-Datenbasis.

Zur Ermittlung der benutzten Prozeduren für die Abflüge (Punkt 1) hat Fraport bereits 2012 eine Befragung der lärmrelevanten Airlines durchgeführt. Der verwendete Fragebogen und die Ergebnisse wurden den am Projekt beteiligten Flughäfen zur Verfügung gestellt und dienten als Vorlagen.

Die Befragung am Flughafen Frankfurt, an der 27 Airlines teilnahmen, ergab, dass von den lärmarmen Startverfahren nach ICAO Doc 8168 (Procedures for Air Navigation Services, Aircraft Operations) lediglich das sogenannte ICAO-A (Steilstartverfahren), NADP1 und NADP2, genutzt wird. Es gab keine Airline, die das ICAO-B Verfahren anwendet. Die neuen ICAO Verfahren NAPD1 und NAPD2 sind gegenüber den alten ICAO-A und ICAO-B-Verfahren variabler und geben lediglich Rahmenbedingungen vor. Damit können die Airlines spezifische Verfahren für sich definieren.

Laut AIP Germany – ENR 1.5 (Holding, Approach and Departure Procedures) werden zwei Startverfahren getrennt für Chapter 2 und Chapter 3 Flugzeuge empfohlen, die im Folgenden wie folgt abgekürzt werden:

AIP (1): Startverfahren für „Chapter 2“-Flugzeuge

AIP (2): Startverfahren für „Chapter 3“-Flugzeuge

Das Startverfahren für „Chapter 2“-Flugzeuge nach AIP Germany entspricht dem Startverfahren ICAO-A nach ICAO, während das AIP (2) Startverfahren dem MOD-ATA-Verfahren entspricht. Die empfohlene Cutback Höhe bei diesen Verfahren liegt bei 1500 ft.

Die prozeduralen Beschreibungen der am Flughafen Frankfurt maßgeblichen Startverfahren sind in Abbildung 13 bis Abbildung 16 im Anhang dargestellt.

Abbildung 3 gibt an, wie viele der an der Befragung teilnehmenden Airlines die oben genannten Startverfahren nutzen.

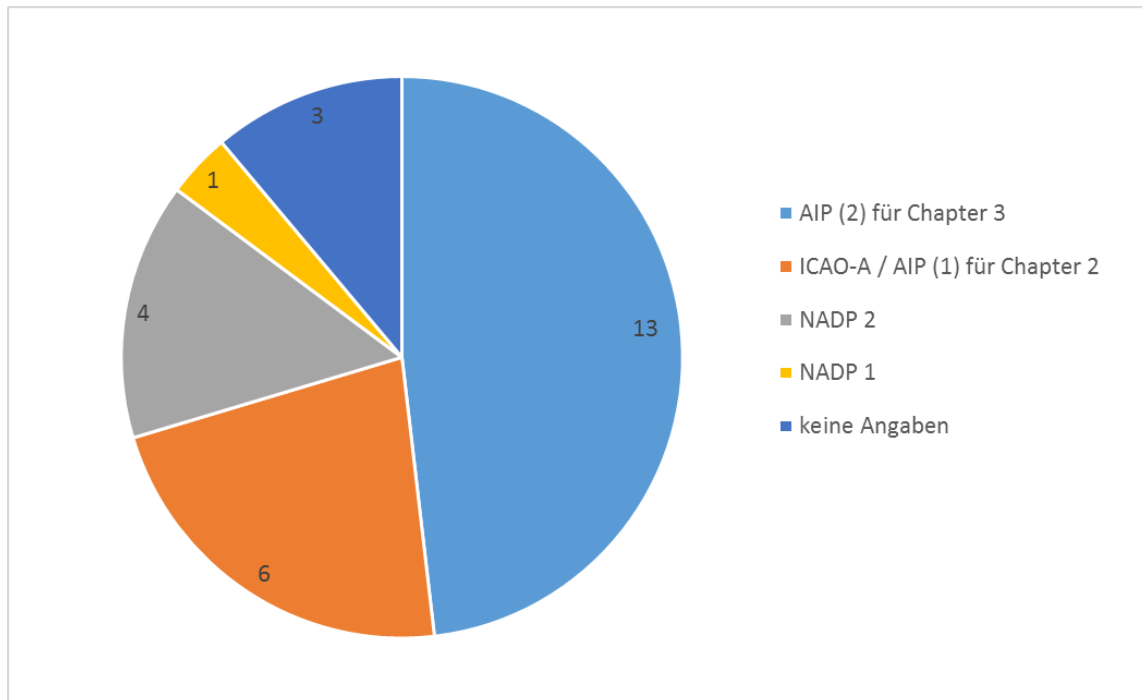


Abbildung 3: Verteilung der am Flughafen Frankfurt genutzten Startverfahren (Befragung von 27 Airlines)

Neunzehn der befragten Airlines - und damit der überwiegende Teil - nutzen Abflugverfahren mit einer Cutback Höhe von 1500 ft. Bei den Airlines, die das NADP 1- oder NADP 2-Startverfahren anwenden, liegt die Cutback Höhe zwischen 800 ft und 1.000 ft.

2.1.3 AP 2.4 Erstellung von akustischen Referenzdatensätzen

Im Rahmen der Einzelaufgabe AP2.4 wurde der akustische Teil der Datengrundlage erarbeitet. Diese Arbeiten basierten auf den durch die Verkehrsflughäfen bereitgestellten Daten der jeweiligen Überwachungsanlagen von Fluggeräuschen für das Kalenderjahr 2013.

In Abbildung 19 der Anlage ist die Lage der genutzten Messeinrichtungen dargestellt. Die durch Fraport bereitgestellten akustischen, flugbetrieblichen und meteorologischen Daten umfassten:

- spektral aufgelöste zeitliche Schallpegelverläufe aufgezeichnet an 6 Messstationen
- Einzelschallereignisse der Fluggeräusche von 25 Messstationen und einer mobilen Messanlage einschließlich der Angaben über z.B. Maximalpegel (LAS,max), T10- und Ts-Zeiten sowie den zugeordneten Flugbewegungen
- Flugplandaten
- Radardaten
- Meteorologische Daten über Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung- und Geschwindigkeit

Begleitend zur Einführung der Anhebung des Anfluggleitwinkels auf 3,2° für Anflüge auf die Landebahn Nordwest wurde zusätzlich zu vier bereits vorhandenen stationären Messanlagen eine mobile Messanlage eingerichtet, welche für die Dauer eines Jahres akustische Datensätze aufzeichnen sollte. Diese mobile Messanlage war bis Oktober 2013 im Einsatz. Die erhobenen Messdaten flossen in die Bearbeitung des AP 2.4. mit ein.

Die von Fraport 2013 erhobenen akustischen Daten wurden direkt an DLR AS-HEL zur weiteren Analyse und Verarbeitung übermittelt.

Auf Basis der spektral aufgelösten zeitlichen Schallpegelverläufe, die mit Positionsdaten des Flugzeugs korreliert wurden, ermittelte das DLR-Institut DLR AS-HEL im ersten Schritt Referenzspektren sowie Referenz-Richtcharakteristiken. Hierzu entwickelte das DLR AS-HEL Computerprogramme, welche vollautomatisch einerseits aus den Radardatensätzen analytische Ansätze zur Bestimmung der Position eines Flugzeugs als Funktion der Zeit erstellen sowie andererseits spektrale Richtcharakteristiken referenziert auf 1m berechnen.

Diese Referenzdatensätze bildeten eine Grundlage für den Prototyp der DIN 45689. Weiterhin flossen die als Ergebnisse von AP 2.2 ermittelten Flugprofile als Basis des Berechnungswerkzeugs ein. Die damit berechneten Fluggeräuschwerte wurden anschließend mit den Einzelschallereignis-Messdaten der Überwachungsanlagen der am Projekt beteiligten Flughäfen verglichen, um eine Verifizierung bzw. Kalibrierung der abgeleiteten Referenzdaten durchzuführen.

2.2 AP3 Analyse und Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen

2.2.1 AP 3.1 Validierung der Berechnungswerkzeuge (Maßnahmenpakete FRA)

Auf Basis der in AP 1 und AP 2 entwickelten Berechnungswerkzeuge (SIMUL und Prototyp 45689) generierte das DLR AS-HEL im Unterauftrag der Fraport AG modifizierte vereinfachte Datensätze für das AzB-Berechnungsverfahren, sogenannte MODAL AzB-Gruppen.

In Absprache mit den am Projekt beteiligten Flughäfen wurden AzB-Profile und akustische Datensätze für solche Flugzeugmuster gebildet, die maßgeblich zur Fluglärmbelastung an deutschen Flughäfen beitragen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Flugzeugmuster aufgeführt, die als lärmrelevant gelten und für die die sogenannten MODAL AzB-Gruppen bereitgestellt wurden.

MODAL AzB-Gruppe	Flugzeugmuster	MTOM
MS5.1.A	CRJ-900-ER	37 t
MS5.1.B	Embraer-E-190	46 t
MS5.2.A	A320-211	77 t
MS5.2.B	B737-500	58 t
MS5.2.C	B737-700	68 t
MS5.2.D	B737-800	78 t
MS6.1.A	A330-343	233 t
MS6.1.B	B767-300	167 t
MS6.1.C	B777-300	289 t
MS6.3.A	A340-642	368 t
MS7.1.A	B747-400	397 t
MS8.1.A	A380-841	569 t

Tabelle 4: Lärmrelevante Flugzeugmuster, AzB-Profile und akustische Datensätze

Für die im Rahmen von MODAL zu untersuchenden Abflugverfahren wurden drei Varianten festgelegt, die gekennzeichnet sind durch

- _S-ICA für: ICAO-A-Verfahren
- _S-M10 für: MOD-ATA-Verfahren mit Cutback in 1.000 ft
- _S-M15 für: MOD-ATA-Verfahren mit Cutback in 1.500 ft

Die für die oben genannten Flugzeugmuster jeweils ermittelten Profile gehen vom Höchstabfluggewicht und einem maximalen Startschub, gekennzeichnet durch „_A-F“, aus. Jedes Profil wurde bis 10.000 ft Höhe berechnet, danach wurde ein Steigsegment mit konstanter Geschwindigkeit angehängt.

Die Abbildungen im Folgenden zeigen exemplarisch für die AzB-Klasse S.7 b.), welcher das Flugzeugmuster B747-400 zugeordnet ist, die Steig- und Geschwindigkeitsprofile nach AzB08 im Vergleich zu den ermittelten MODAL-Datensätzen.

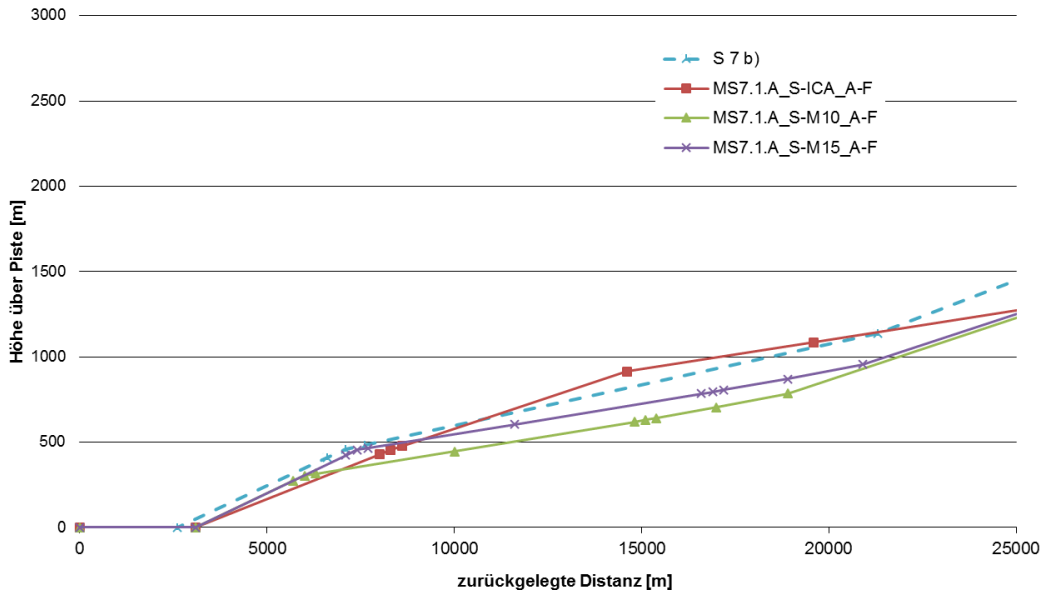


Abbildung 4: Steigprofile für die B747-400 der AzB-Klasse S7 b.) und den ermittelten MODAL-AzB-Datensätzen

Die Streckenkoordinate Sigma wurde für jedes Flugzeugmuster den Erfordernissen entsprechend angepasst. Dabei wurden die betrachteten Streckenlängen entlang der Flugstrecke deutlich vergrößert. Das Höhenprofil reicht nun bis in eine Höhe von 3050m (10000ft). Bei der klassischen AzB08-Beschreibung sind die Streckenlängen bis etwa 20km und die Höhenprofile bis ca. 1200m Höhe beschrieben.

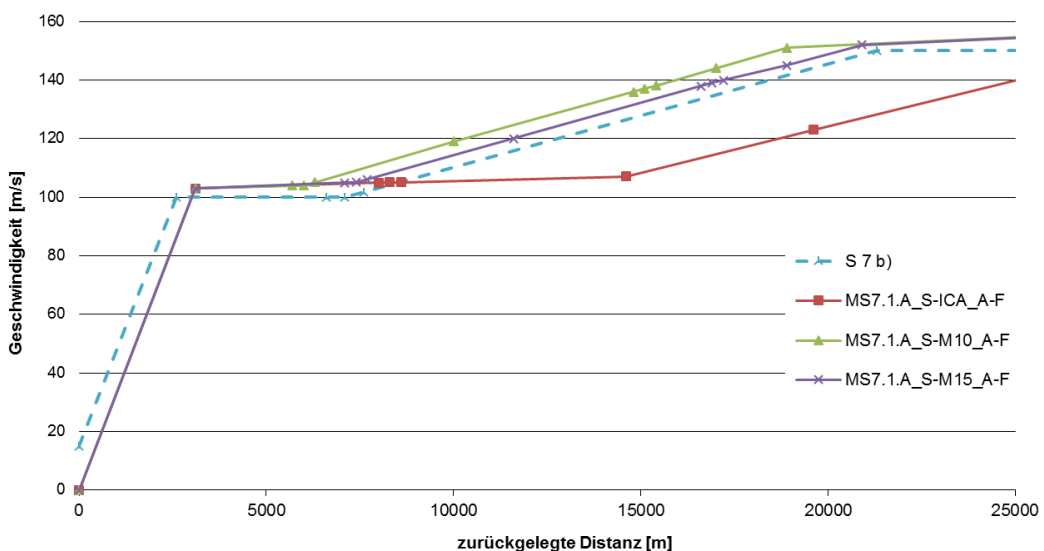


Abbildung 5: Geschwindigkeitsprofile für die B747-400 der AzB-Klasse S7 b.) und den ermittelten MODAL AzB-Datensätzen

Die Geschwindigkeitsprofile der betrachteten Flugzeugmuster wurden bis hin zu 150m/s fortgeschrieben. Dies gilt sowohl für Start als auch für Landung. Entsprechend der AzB08

werden Geschwindigkeiten bis zu ca. 135 m/s beim Start und 108m/s bei der Landung berücksichtigt.

Die Grafiken verdeutlichen, dass die B747-400 Profile der AzB08 zwischen den Steig- bzw. Geschwindigkeitsprofilen des ICAO-A-Verfahrens einerseits und den beiden Varianten der MOD-ATA-Verfahren andererseits rangieren. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für die bezüglich der A380-841 abgeleiteten Profile.

Hingegen liegen die Steig- und Geschwindigkeitsprofile der Azb-Klasse S6.3, welcher das Flugzeugmuster A340-642 zugeordnet ist, über weite Strecken des Abflugpfads unterhalb der abgeleiteten MODAL-Profile dieses Flugzeugtyps. Die entsprechenden Profile sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 der Anlage dargestellt.

Bei den Anflügen geht die AzB von einem Low Drag - Low Power - Verfahren (LDP) aus. Zur Beschreibung der Anflugstrecken werden folgende Größen benötigt.

- Gleitwinkel w
- Zwischenanflughöhe h_0
- Länge S_z des Zwischenanflugsegmentes

Die genannten Größen sind in Abbildung 6 dargestellt.

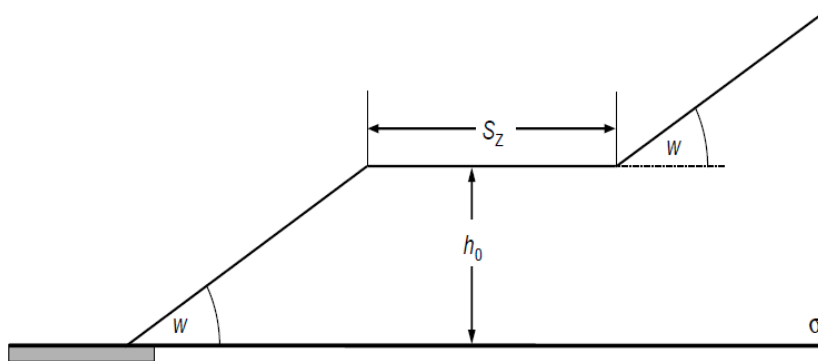


Abbildung 6: Beschreibung von Anflugstrecken durch den Gleitwinkel w , die Zwischenanflughöhe h_0 und die Länge des Zwischenanflugsegments S_z nach AzB08.

Im Rahmen von MODAL wurden drei weitere Anflugverfahren modelliert:

- Optimierte Low Drag / Low Power Anflugverfahren (LDP) mit einer optimalen Länge der Zwischenanflughöhe bei 3000ft
- Continuous Descent Approach (CDA)
- Steilere Anflüge mit $3,2^\circ$ Anflugwinkel (L32)

Zur Modellierung dieser Anflugverfahren wurden den flugbetrieblichen Erfordernissen der gegebenen Verfahren entsprechend Anpassungen vorgenommen, die durch folgende Größen beschrieben sind (Abbildung 7):

- Einführung eines Sinkwinkels w_0 für den Open Descent (in der AzB wird hier der Gleitwinkel w angenommen).
- Einführung einer Verzögerungsstrecke S_D , längs der von der Geschwindigkeit im Open Descent auf die Geschwindigkeit beim Anschneiden des Gleitpfades reduziert wird.
- Die Geschwindigkeit im Open Descent wird mit 250 kt, die Geschwindigkeit beim Anschneiden des Gleitpfades mit 190 kt angenommen.

- Das Horizontalflugsegment der Länge S_z wird beim CDA-Verfahren durch ein Segment mit Sinkwinkel w_c ersetzt, der in die Berechnung der Verzögerungslänge einging.

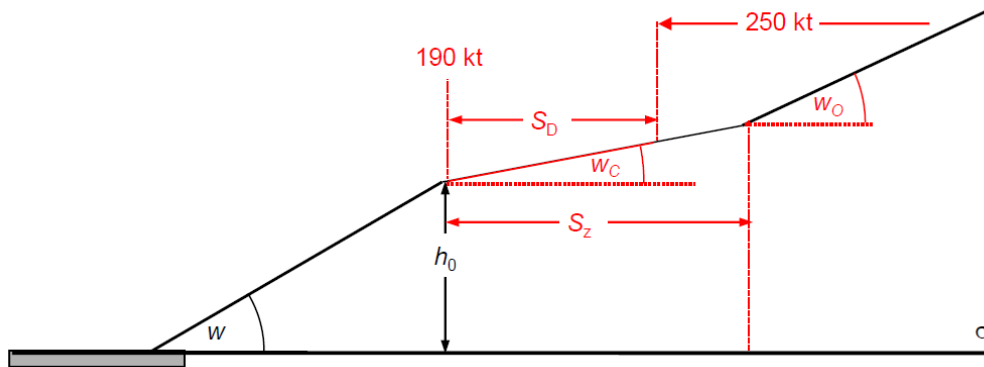


Abbildung 7: Beschreibung von Anflugstrecken durch die zusätzlichen Parameter Sinkwinkel w_0 , Verzögerungsstrecke S_D und Sinkwinkel w_c bei den MODAL AzB-Datensätzen

Die Anpassung der akustischen Daten erfolgte über eine Vielzahl neu eingeführter Zusatzpegel Z. In der AzB08 sind nur wenige Stützstellen (Stellen an dem der Zusatzpegel fest vorgegeben ist) angegeben. In den modifizierten Klassen sind teilweise mehr als 15 Stützstellen definiert, die sich zum Teil um nur wenige zehntel dB unterscheiden.

Die Profile für die modifizierten Anflugverfahren sind fest für eine Zwischenanflughöhe von 3000ft (914m) vorgegeben. Aus diesem Grund ist eine Umstellung von 3000ft auf 4000 bzw. 5000ft, wie es für Frankfurt notwendig wäre, nicht möglich.

Die modifizierten AzB-Datensätze für die betrachteten Start- und Anflugverfahren wurden den am Projekt beteiligten Flughäfen zur Implementierung in die jeweils genutzten kommerziellen Fluglärmerechnungsprogramme zur Verfügung gestellt. Fraport hat zur Durchführung der Fluglärmerechnungen das Programm CadnaA genutzt.

Für die Arbeiten im AP 3.1 wurden in einem ersten Arbeitsschritt Immissionspunktberechnungen zu den verschiedenen Flugverfahren getrennt nach Flugzeugtypen und Flugstrecken bezogen auf die Standorte der Fluglärmerechnungsanlage vorgenommen. Ergänzend zu den Berechnungen auf Basis der MODAL AzB-Datensätze fanden ebenfalls Berechnungen mit den AzB08-Datensätzen statt. In die Berechnungen ging der Flugverkehr der sechs verkehrsreichsten Monate 2013 ein. Die Ergebnisse der Modelrechnungen wurden den entsprechenden Messwerten der Fluglärmerechnungsanlagen gegenübergestellt. Als Vergleichsgröße wurde der Einzelschallereignispegel L_{pAe} genutzt. Diese Kenngröße berücksichtigt sowohl den Maximalpegel als auch die zeitliche Einwirkungsdauer des Fluggeräusches.

Im Rahmen dieses Berichtes werden die Ergebnisse der Berechnung konsequent für den Flugzeugtyp B747-400 dargestellt. Zur Veranschaulichung spezieller Ergebnisse werden zusätzlich die Daten für andere Flugzeugtypen dokumentiert.

In Tabelle 5 sind die Berechnungs- und Messdaten der B747-400 Abflug-Einzelschallereignisse an ausgewählten Messstandorten aufgeführt. Es wurden Messstationen gewählt, welche an Abflugrouten positioniert sind, die keine oder nur wenige Kurvenflüge aufweisen.

Runway	MP	Berechnung LpAe				Messung		Δ (Messung – Berechn.)		
		S7	M15	M10	ICA	LpAe	Erfas- sungsrate	M15	M10	ICAO
07C	41	89,8	87,3	87,4	88	88,3	100%	1,0	0,9	0,3
07C	42	87,9	85,2	85,1	86,2	84,3	100%	-0,9	-0,8	-1,9
18W	51	89,1	86,4	86,5	87,3	89,6	100%	3,2	3,1	2,3
18W	52	88,6	85,8	85,8	86,7	87,8	99%	2,0	2,0	1,1
18W	55	90	87,6	88,1	87,9	89,5	100%	1,9	1,4	1,6

Tabelle 5: B747-400 Abflug-Einzelschallereignisse (LpAe) in dB(A) – Berechnung auf Basis der AzB08- sowie der MODAL AzB-Datensätze und gemessene Werte

Die Gegenüberstellung in Tabelle 5 zeigt, dass die Ergebnisse auf Basis der MODAL AzB-Datensätze (M15, M10 und ICA) für die Startverfahren an allen Immissionspunkten geringer ausfallen als die Berechnung nach AzB08 (S7). Sie liegen 1,7 bis 2,8 dB(A) unter den AzB08-Berechnungsergebnissen. Die geringsten Pegelwerte der Berechnung ergeben sich an fast allen Immissionspunkten durch die Datensätze des MOD ATA-Verfahren mit Cutback in 1.500 ft (M15) Höhe.

Die Airlines am Flughafen Frankfurt nutzen zwar verschiedene Abflugverfahren, zum überwiegenden Teil kommt jedoch das MOD ATA mit 1.500 ft zur Anwendung. Vor diesem Hintergrund wäre zu erwarten, dass die gemessenen Pegelwerte die geringste Abweichung zu den berechneten Werten für das M15-Abflugverfahren aufweisen würden. Der Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Ergebnissen deutet jedoch auf eine grundsätzliche Unterschätzung in der Berechnung auf Basis der MODAL AzB-Datensätze hin. Demgegenüber führen die AzB08-Datensätze tendenziell zu einer Überschätzung in der Berechnung. Die Ursache für die Unterschätzung in der Berechnung auf Basis der MODAL AzB-Datensätze muss jedoch nicht allein in den abgeleiteten akustischen Datensätzen liegen. Auch durch die Beschreibung der Abflugstrecken und der unterstellten Korridorbreiten können Verzerrungen hervorgerufen werden. Eine detaillierte Prüfung, welche Auswirkungen die Beschreibung der Flugstrecken Parameter auf die Berechnungsergebnisse hat, erscheint im Vorfeld einer Nachjustierung der akustischen Datensätze geboten.

Tendenziell liefern die Abflugverfahren M15 und M10 relativ zueinander hingegen sehr valide Ergebnisse. Lufthansa hat im August 2013 für Abflüge von der Startbahn West probeweise ein Abflugverfahren mit Cutback 1.000 ft eingeführt. Anstelle des Abflugverfahrens mit Cutback bei 1.500 ft wurde die Cutback Höhe auf 1.000 ft abgesenkt.

Nach Abschluss der Probephase im August 2014 wurden für verschiedene Flugzeugtypen die Messwerte während der Probephase mit den Messwerten vor der Probephase verglichen. Die Differenzen der Messwerte für die Auswerteperioden, in denen die Cutback Höhe 1.500 ft (M15) bzw. 1.000 ft (M10) betrug, sind in Tabelle 6 angegeben. Darüber hinaus sind die Ergebnisse aus der Berechnung an den entsprechenden Messpunkten aufgeführt.

		Berechnung	Messung
Runway	MP	M15 – M10	M15 – M10
18W	51	-0,1	-0,1
18W	52	0	-0,4
18W	55	0,5	0,4

Tabelle 6: Unterschied zwischen MOD-ATA Verfahren mit Cutback 1.500 ft bzw. 1.000 ft – Vergleich Berechnung und Messung

Der Vergleich der Differenzen bestätigt, dass die flugtechnischen Eingangsgrößen der modellierten Datensätze die Veränderungen der Abflugverfahren sehr gut abbilden.

Tabelle 7 gibt analog zur Vorgehensweise bei den Abflugverfahren die Berechnungs- und Messdaten der B747-400 Anflug-Einzelschallereignisse an ausgewählten Messstandorten an. Die Messstandorte wurden nach dem Abstand zur Landeschwelle absteigend sortiert.

Runway	MP	Berechnung LpAe					Messung		Δ (Messung – Berechnung)			
		S7	LDP	ODP	L32	CDA	LpAe	Erfas- sungs- rate	LDP	ODP	L32	CDA
25L	02	81,7	82,2	82,2	81,8	82,3	80,7	100%	-1,5	-1,5	-1,1	-1,6
07R	89	84,0	84,0	84,0	83,5	84,1	83,4	99%	-0,6	-0,6	-0,1	-0,7
25L	01	84,4	84,3	84,3	83,9	84,3	83,6	99%	-0,7	-0,7	-0,3	-0,7
07R	05	88,0	88,9	88,9	88,4	88,9	87,4	100%	-1,5	-1,5	-1,0	-1,5
07R	06	91,8	92,3	92,3	91,7	92,3	92,2	99%	-0,1	-0,1	0,5	-0,1

Tabelle 7: B747-400 Anflug-Einzelschallereignisse (LpAe) in dB(A) – Berechnung auf Basis der AzB08- sowie der MODAL AzB-Datensätze und gemessener Werte

Im Ergebnis der Berechnungen zeigen sich bei den modellierten AzB-Datensätzen für das Low Drag / Low Power (LDP), das optimierte Low Drag / Low Power- (ODP) und das CDA-Anflugverfahren lediglich geringe Unterschiede von 0,1 dB(A). Für diese Flugverfahren liegen die berechneten Einzelschallereignisse in der Regel knapp über den Berechnungsergebnissen auf Basis der AzB08. Abweichend davon ergeben sich jedoch an den Messpunkten 02 und 05 deutlich höhere Werte als in der AzB08-Berechnung.

Auch im Vergleich der berechneten Werte mit den Messwerten weisen die Messpunkte 02 und 05 eine auffällige Abweichung von 1,0 bis 1,6 dB(A) auf. Im Bereich dieser Messstandorte sind womöglich Zusatzpegel wirksam, die zu den höheren Abweichungen führen. Darüber hinaus kann aus diesen Vergleichen nicht geklärt werden, welchen Einfluss die festgeschriebene Zwischenanflughöhe von 3.000 ft hat.

Die berechneten Einzelschallereignisse auf Basis des Anflugverfahrens mit 3,2° Gleitwinkel fallen erwartungsgemäß niedriger aus als die der anderen Anflugverfahren. Für den Vergleich mit Messwerten sind die Werte der B747-400 nicht geeignet.

Die Erhöhung des Anfluggleitwinkels auf 3,2° wurde im Oktober 2012 auf der Landebahn Nordwest im Probetrieb eingeführt. Da die Landebahn Nordwest für Flugzeuge des Typs B747-400 nicht zugelassen ist, sind in der nachfolgenden Tabelle die Berechnungs- und Messwerte der A340-641 an Messpunkten entlang der Anfluggrundlinie auf die Landebahn Nordwest aufgeführt.

Runway	MP	Berechnung LpAe					Messung		Δ (Messung – Berechnung)			
		S6.3	LDP	ODP	L32	CDA	LpAe	Erfassungsrate	LDP	ODP	L32	CDA
25R	44	82,5	84,0	84,0	83,2	84,1	84,9	99%	0,9	0,9	1,7	0,8
07L	14	81,4	84,2	84,2	82,9	84,1	85,9	100%	1,7	1,7	3,0	1,8
07L	11	87,5	91,0	91,0	90,4	91	88,1	100%	-2,9	-2,9	-2,3	-2,9

Tabelle 8: A340-641 Anflug-Einzelschallereignisse (LpAe) in dB(A) – Berechnung auf Basis der AzB08- sowie der MODAL AzB-Datensätze und gemessene Werte

Obwohl bei der Messung Anflüge mit einem Gleitwinkel von 3,2° erfasst wurden, liegen die berechneten Pegelwerte auf Basis der abgeleiteten MODAL AzB-Datensätze in größerer Entfernung zu Landeschwelle (MP 11 und MP 14) unter den Messwerten. Demgegenüber werden jedoch an der Messstation 11 deutlich höhere Pegelwerte berechnet als gemessen. Sofern die Überhöhung der berechneten Pegel am MP 11 durch Zusatzpegel verursacht werden, legen die Ergebnisse es nahe, diese Zusatzpegel im Bereich größerer Entfernung zur Landeschwelle zum Ansatz zu bringen.

Im Bericht über die Schallpegelmessungen zur Maßnahme „Anhebung ILS-Gleitwinkel (3,2°)“ auf der Landebahn Nordwest [1] wurden für die A340-641 Minderungen des Einzelschallereignispegels infolge der Anhebung des Gleitwinkels von 3,0° auf 3,2° ermittelt. Ausgehend davon, dass das Low Drag / Low Power-Anflugverfahren mit 3,0° durchgeführt wird und dem Anflugverfahren vor der Anhebung des Gleitwinkels entspricht, stellt Tabelle 9 die Pegeldifferenzen der beiden Anflugverfahren auf Basis der Berechnung und Messung dar.

Runway	MP	Berechnung	Messung
		L32 – LDP	L32 – LDP
25R	44	-0,8	-1,2
07L	14	-1,3	-0,5
07L	11	-0,6	-0,2

Tabelle 9: Unterschied zwischen L32- und LDP-Verfahren – Vergleich Berechnung und Messung

Beide Ergebnistabellen verdeutlichen, dass weitere Iterationsschritte notwendig sind, um die Anflugverfahren sowohl aus flugtechnischer als auch aus akustischer Sicht adäquat in den Datensätzen abbilden zu können. Diese Nachjustierung der modellierten Datensätze ist im Rahmen eines DLR-internen Forschungsprogramms avisiert. Als Grundlage hierfür wurden dem DLR AS-HEL die Ergebnisse aus den Berechnungen und Messungen an allen maßgeblichen Fraport Messstationen übergeben.

2.2.2 AP 3.2 Anwendung der Berechnungswerkzeuge

Ergänzend zu den in AP 3.1 durchgeführten Immissionspunktberechnungen und Vergleichen mit Messwerten wurden in AP 3.2 Konturenberechnungen durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurden Berechnungen von Konturen gleicher Einzelschallereignispegel L_{pAe} und Maximalpegel $L_{AS,max}$, sogenannte Footprints, vorgenommen. Exemplarische Berechnungsergebnisse für den Flugzeugtyp B747-400 sind in der Anlage für den Start in den Abbildung 20 und Abbildung 21 und für die Landung in den Abbildung 22 und Abbildung 23 dargestellt.

Für eine Einschätzung darüber, welche der im Rahmen von MODAL abgeleiteten AzB-Datensätze bei der Anwendung auf eine Szenarienberechnung zu einer Verringerung der Leq -Fluglärmkonturen führen könnten, geben die Flächen der Footprints wichtige Hinweise.

Im Fluglärmgesetz werden Lärmwerte genannt, die zur Ausweisung des Lärmschutzbereiches heranzuziehen sind.

Der Lärmschutzbereich besteht aus zwei Tag-Schutzzonen und einer Nacht-Schutzzone. Das Kriterium zur Abgrenzung der Tag-Schutzzonen ist der Dauerschallpegel. Der Dauerschallpegel $Leq(3)$ übersteigt in der Tag-Schutzzone 1 den Wert von 60 dB(A), in der Tag-Schutzzone 2 den Wert von 55 dB(A) (Werte für Neubau- und Ausbauf Flughäfen).

In der Nachtzeit kommen zwei Kriterien zur Anwendung. Die Nacht-Schutzzone erstreckt sich auf Orte, in denen für die Zeit von 22 bis 6 Uhr Dauerschallpegel von mindestens 50 dB(A) und/oder pro Nacht mindestens sechs Überschreitungen eines Maximalpegels von 53 dB(A) im Innenraum (68 dB(A) im Außenbereich) zu erwarten sind (Werte für Neubau- und Ausbauf Flughäfen).

Das Fluglärmgesetz stellt somit neben dem $Leq(3)$ auch auf ein Pegelhäufigkeitskriterium ab. Insofern ist die Auswertung der Footprints bezogen auf die Einzelschallereignispegel L_{pAe} und die Maximalpegel $L_{AS,max}$ für eine umfassende Einschätzung erforderlich.

In Abbildung 8 bis Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Flächenermittlung der Footprints des Einzelschallereignispegels $L_{pAe} = 85$ dB(A) und des Maximalpegels $L_{AS,max} = 75$ dB(A) für Start und Landung der am Flughafen Frankfurt als lärmrelevant eingestuften Flugzeugtypen dargestellt.

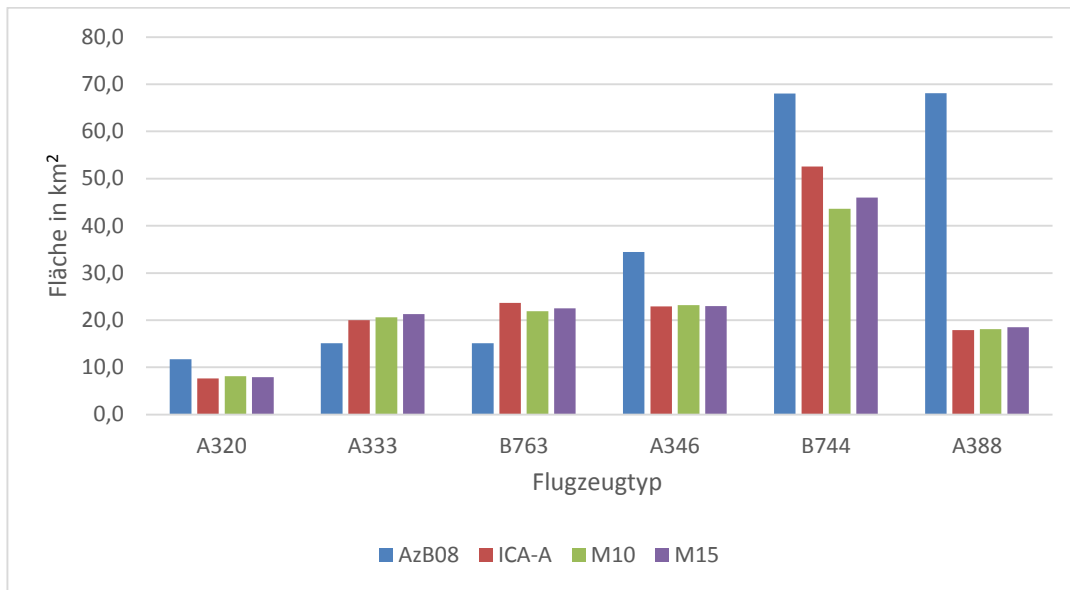


Abbildung 8: Flächen der LpAe = 85 dB(A) Start-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze

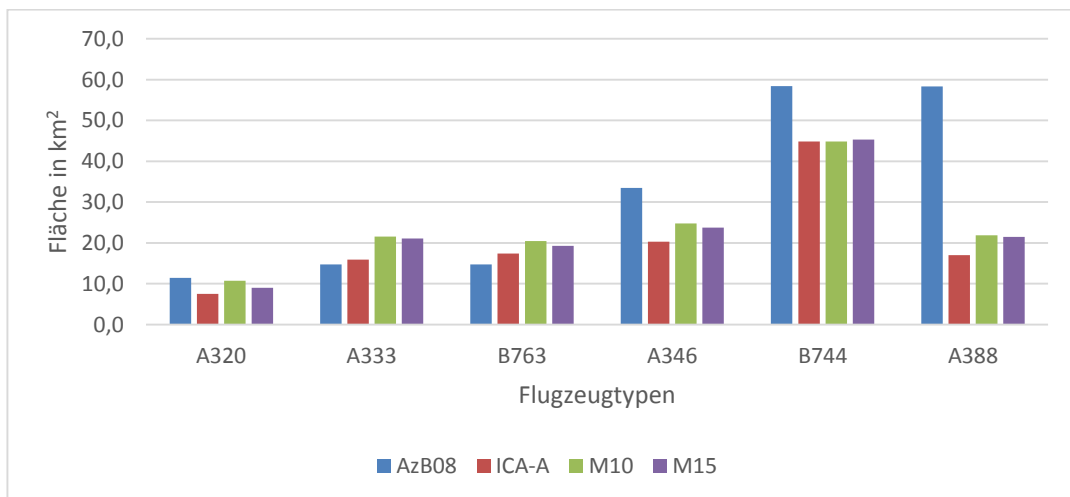


Abbildung 9: Flächen der LAS,max = 75 dB(A) Start-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze

Hier zeigt sich am Beispiel B744 für die Fläche des Footprints beim Maximalpegel von 75 dB(A), dass sich die drei Abflugverfahren nur unwesentlich voneinander unterscheiden. Aufschlussreicher ist dagegen die Betrachtung der Flächen der Footprints beim Einzelereignispegel LpAe von 85 dB(A). Hier unterscheiden sich die Verfahren voneinander. Das ICAO-A-Verfahren ist mit einer Fläche von 52,6 km² deutlich ungünstigster als die Verfahren M10 (43,6 km²) und M15 (46 km²). Zurückzuführen ist dies auf die Eigenschaft des ICAO-A Verfahrens, dass auf Höhengewinn anstatt Beschleunigung gesetzt wird. Aufgrund der geringeren Geschwindigkeit (vgl. Abbildung 5) verlängert sich die Dauer des Einzelschallereignisses, was sich im LpAe durch eine Erhöhung bemerkbar macht.

Wenngleich sich für die A333 und B763 bei Anwendung der MODAL AzB-Datensätze gegenüber den Footprints auf Basis der AzB08-Daten größere Konturenflächen ergeben, ist zu erwarten, dass die Anwendung der MODAL-Datensätze auf ein

Flugverkehrsszenario in Bereichen, in denen die Lärmbelastung durch Abflug geprägt wird, insgesamt lärmindernde Auswirkungen haben wird. Denn die lärmrelevanten Flugzeugmuster A340-600, B747-400 und A380-800 weisen mit den MODAL-Datensätzen kleinere Footprints als die AzB08 basierten auf.

Für die Berechnung der Verkehrsszenarien wurden die AzB08-Daten für das Referenzszenario gewählt und aus den MODAL-Datensätzen das ICAO-A-Verfahren sowie das MOD ATA Verfahren mit 1.000 ft. Cutback.

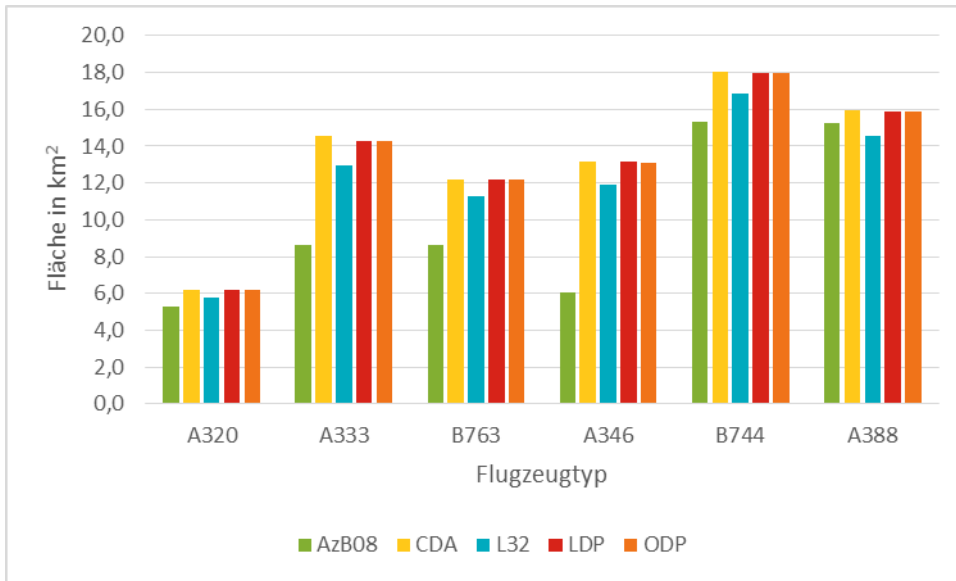


Abbildung 10: Flächen der LpAe = 85 dB(A) Anflug-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze

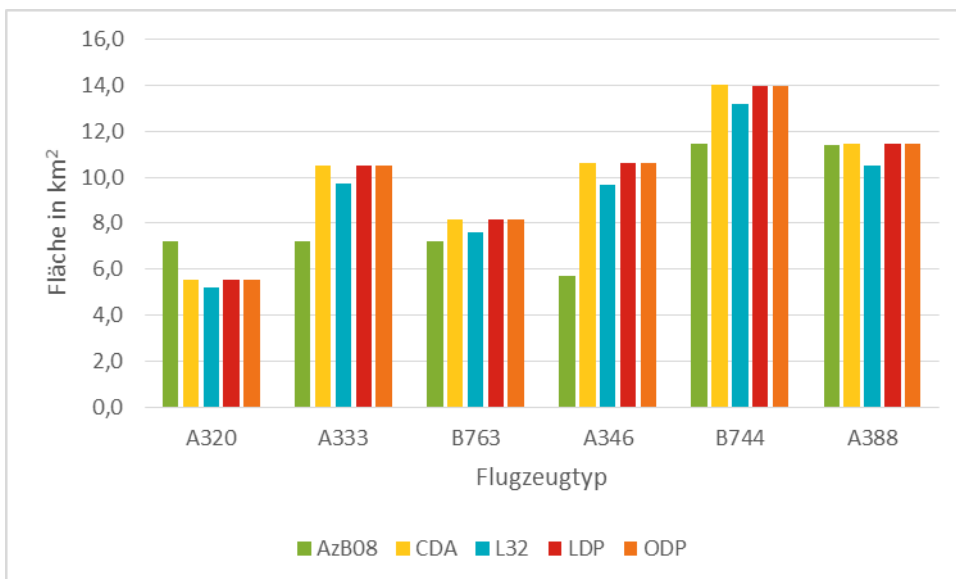


Abbildung 11: Flächen der LAS,max = 75 dB(A) Anflug-Footprints verschiedener Flugzeugtypen auf Basis der AzB08- und der MODAL AzB-Datensätze Ziel des Arbeitspakets war

Im Anflug sind geringere Unterschiede zwischen den Verfahren festzustellen als im Abflug. Zwischen CDA, LDP und OPD ist praktisch kein Unterschied im $L_{AS,max}$ und L_{pAe} erkennbar. Lediglich das L32-Verfahren mit $3,2^\circ$ Gleitwinkel verhält sich in Bezug auf die Fläche des Footprints der übrigen MODAL AzB-Datensätze etwas günstiger. Diese Ergebnisse zeigten sich bereits bei den Untersuchungen der Immissionspunktberechnung in AP 3.1. Anhand der Abbildung 22 und Abbildung 23 ist zu erkennen, dass sich die Unterschiede der modellierten Anflugverfahren im Abstand über 17 km von der Landeschwelle, also vor dem Einfliegen auf den Gleitpfad, deutlich ausprägen. In diesem Bereich tritt außerdem eine Minderung der Lärmwerte gegenüber den AzB08-Datensätzen auf, während im Nahbereich des Flughafens die AzB08-Datensätze geringere Lärmwerte liefern als die MODAL AzB-Datensätze.

Für die Szenarienberechnungen wurden auch im Anflug die AzB08 für das Referenzszenario herangezogen. Außerdem wurden von den MODAL-Datensätzen das optimierte Low Drag -Low Power Anflugverfahren (ODP) sowie das Anflugverfahren mit $3,2^\circ$ Gleitwinkel (L32) genutzt.

Auf Basis der Footprintflächen wurden die An- und Abflugverfahren ausgewählt, welche in den Szenarienberechnungen unterstellt werden sollten. Für die drei berechneten Szenarien wurden folgende Kombinationen gewählt:

- Referenzszenario: AzB08
- Szenario 1: ICAO A Abflug (ICA-A) / Optimiertes Low Drag -Low Power Anflugverfahren (ODP)
- Szenario 2: Cutback 1000 ft Abflug (M10) / $3,2^\circ$ Gleitwinkel Anflug (L32)

In Szenario 2 werden An- und Abflugverfahren berücksichtigt, die zumindest teilweise bereits am Flughafen Frankfurt realisiert wurden.

Die Szenarienberechnungen für die Tagzeit der sechs verkehrsreichsten Monate 2013 berücksichtigt insgesamt 236.151 Flugbewegungen, wobei davon 90.926 Bewegungen (entspricht 38,5 Prozent aller Bewegungen) durch MODAL AzB-Datensätze abgebildet werden. Für die lärmrelevanten Flugzeugtypen kommen somit die MODAL AzB-Datensätze zum Ansatz. Alle übrigen Bewegungen gingen mit den jeweiligen AzB08-Datensätzen in die Berechnung ein.

Die L_{Aeq} -Tag-Konturen von 55 dB(A) und 60 dB(A) aus der Berechnung der Flugbetriebsszenarien sind in Abbildung 24 in der Anlage abgebildet.

Zur Auswertung und ergänzenden Darstellung der Ergebnisse werden die Flächen der berechneten L_{Aeq} -Konturen in Vergleich gesetzt. In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass Szenario 2 das günstigste Ergebnis liefert. Die Flächenreduktion gegenüber dem AzB08-Referenzszenario prägt sich in größeren Entfernungen zum Flughafen, das heißt in den L_{Aeq} -Tag-Konturen von 55 dB(A) deutlicher aus als in L_{Aeq} -Tag-Konturen von 60 dB(A).

Anhand von Abbildung 24 lässt sich im Bereich der Südabflügen erkennen, dass diese Verringerung hauptsächlich auf die Abflüge zurückzuführen ist, wo sich ICAO-A und M10 stark vom Referenzszenario absetzen. In den östlichen und westlichen Regionen des Flughafens, die durch Fluggeräusche anfliegender Flugzeuge geprägt sind, ergeben sich auf Basis der AzB08-Datensätze die geringsten Ausdehnungen der $L_{eq,Tag}$ -Konturen. Für das L32- Anflugverfahren weisen sie $L_{eq,Tag}$ -Konturen gegenüber dem CDA-Verfahren eine kleinere Fläche auf. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus Abbildung 10 und Abbildung 11 und führt auch dazu, dass das Szenario 2 insgesamt günstiger ist als Szenario 1.

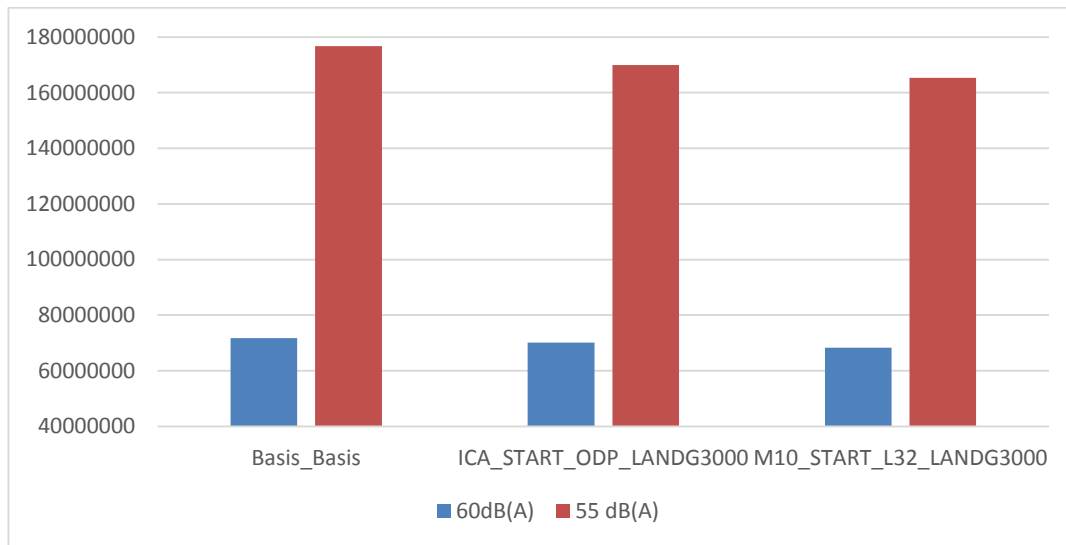


Abbildung 12: Flächen der LAeq-Tag-Konturen für 3 Szenarien bei 60 dB(A) und 55 dB(A)

3 **Literatur**

Abschlussbericht Schallpegelmessungen zur Maßnahme „Anhebung ILS-Gleitwinkel (3,2°)“ auf der Landebahn Nordwest, Flughafen Frankfurt/Main, Institutsbericht IB 111-2014/18, Dr.-Ing. Reinhard König, Dipl.-Ing. Stefan Kreth, Institut für Flugsystemtechnik, DLR Braunschweig, Mai 2014 [1]

Procedures for Air Navigation Services, Aircraft Operations, Doc. 8168, Volume 1 Flight Procedures, International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006.

Review of noise abatement procedure research & development and implementation rules, Discussion of survey results, International Civil Aviation Organization (ICAO), 2007.

LUFTFAHRTHANDBUCH DEUTSCHLAND, AIP GERMANY, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV), BGBl. Teil I Nr. 64 vom 29. Dezember 2008, S. 2980 - 2982

Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb – AzD, Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen – AzB, 19. November 2008, BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008

Ergebnisprotokoll der Besprechung vom 09.01.2015 bei DLR-FT, MODAL-Aktivitäten AS / FT in 2015

DIN 45643 Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen, Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, Beuth Verlag, Februar 2011

4 Anlagen

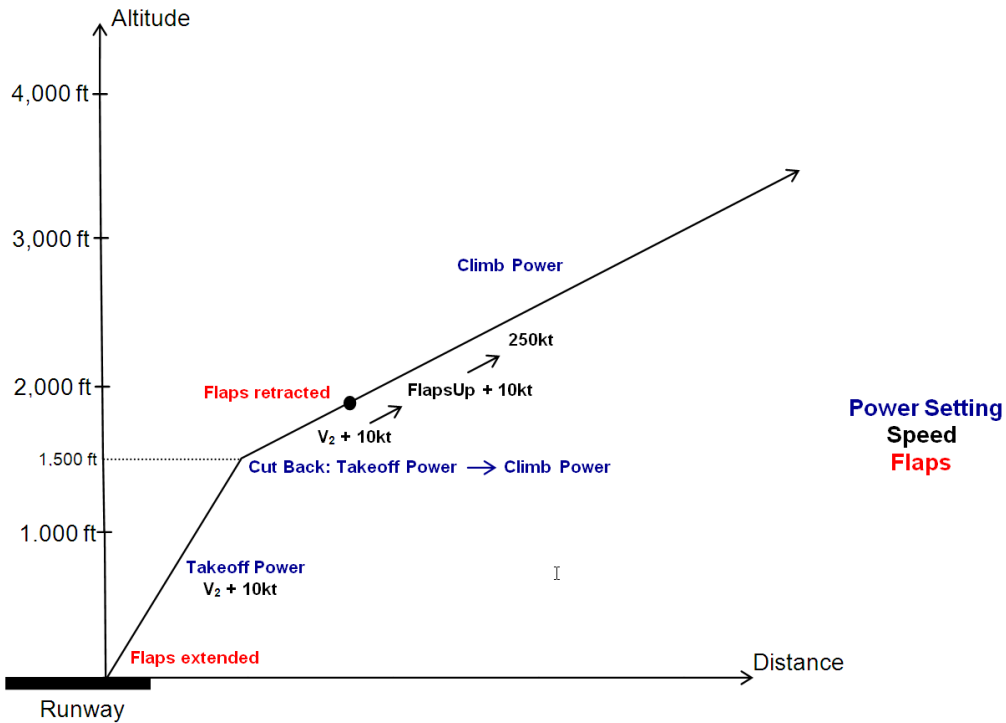


Abbildung 13: Empfohlenes Startverfahren nach AIP Germany- ENR 1.5 für Chapter 3 Flugzeuge

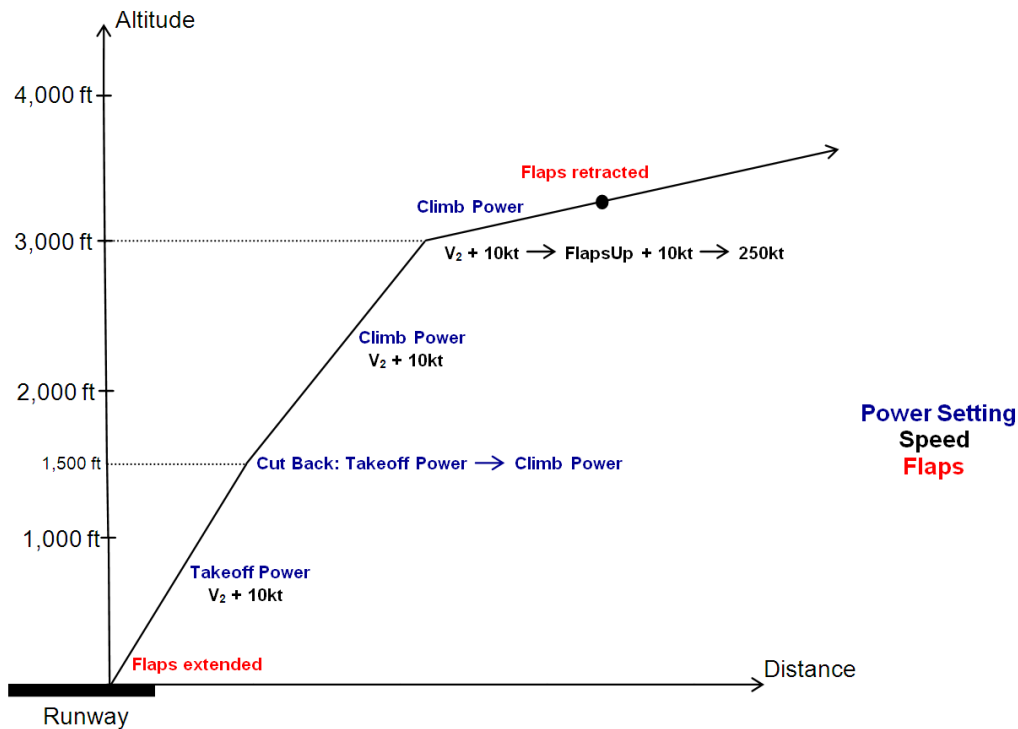


Abbildung 14: Startverfahren ICAO-A (Steilstartverfahren)./ Empfohlenes Startverfahren nach AIP Germany – ENR 1.5 für Chapter 2 Flugzeuge..

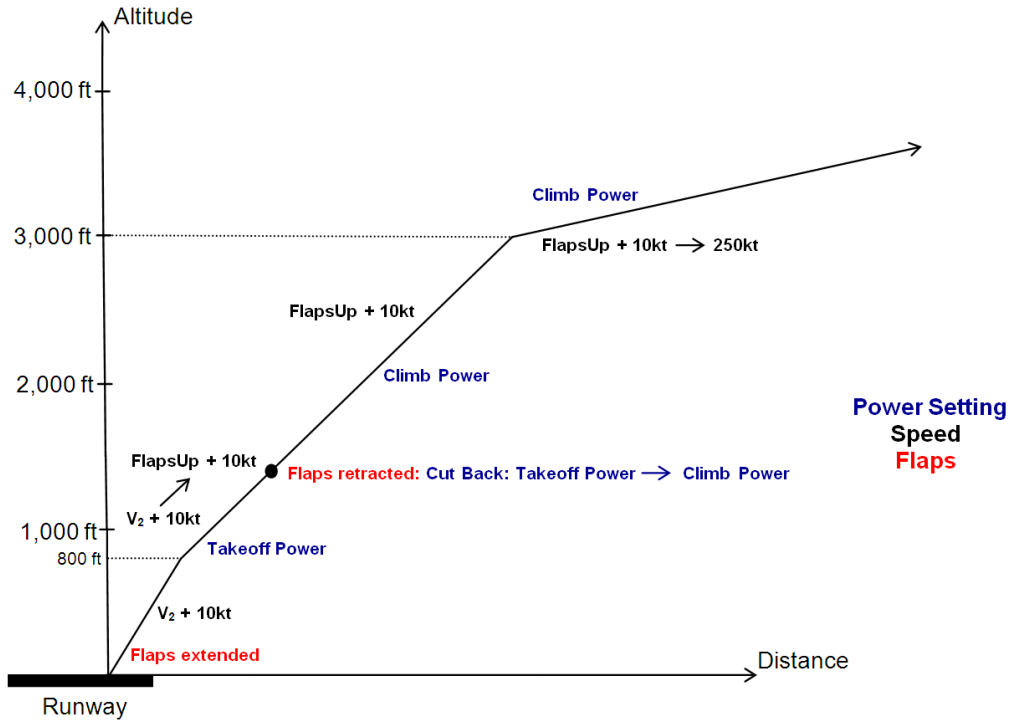


Abbildung 15: NADP 2 nach ICAO Doc 8168

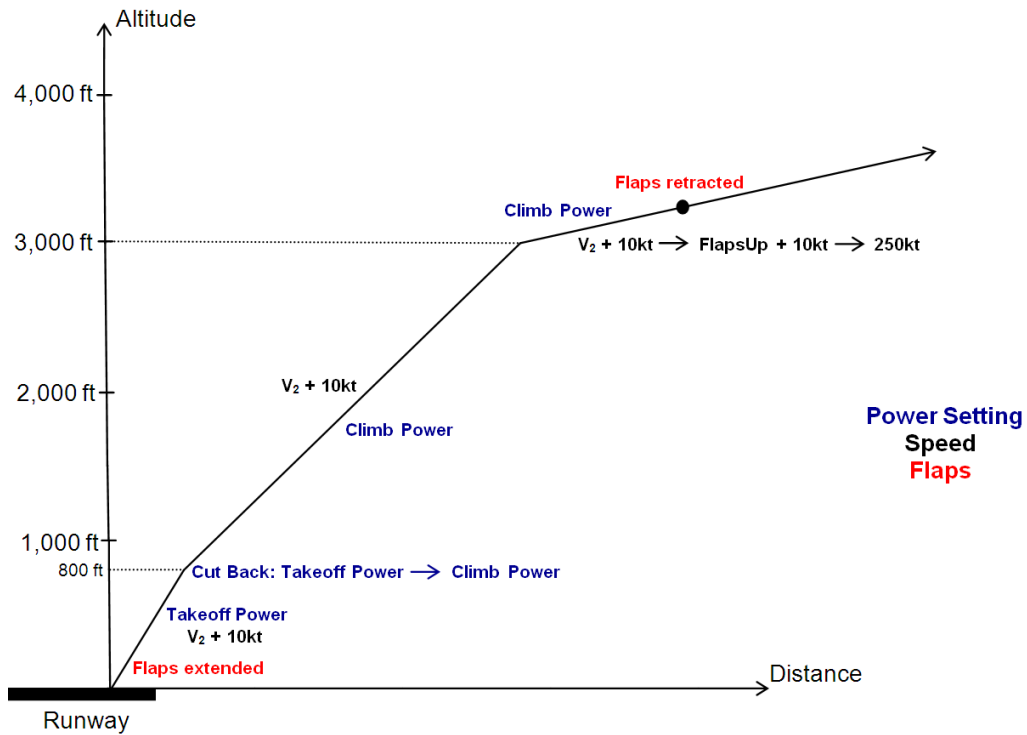


Abbildung 16: NADP 1 nach ICAO Doc 8168

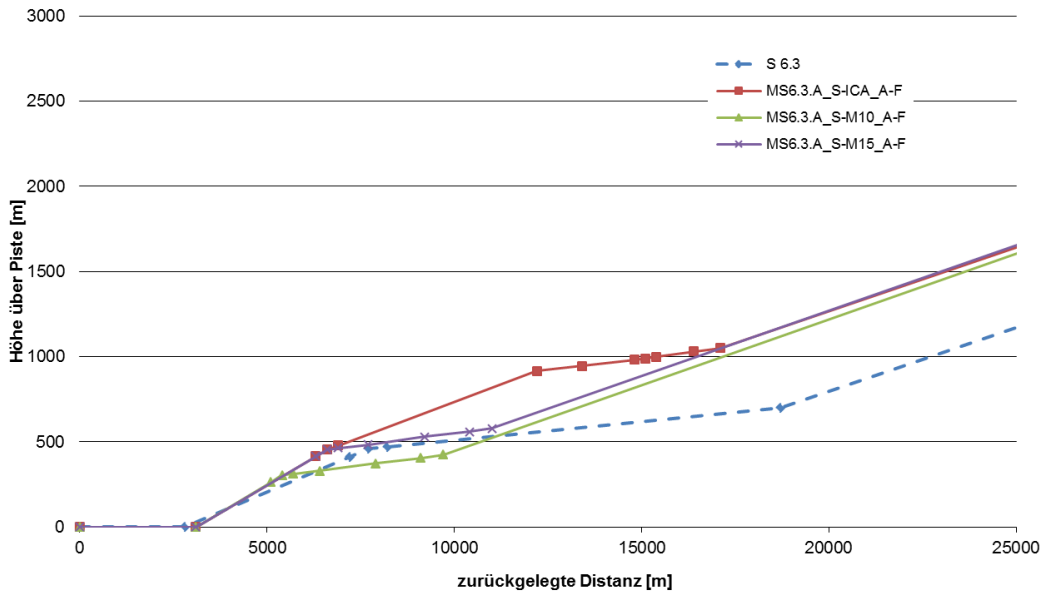


Abbildung 17: Vergleich der Steigprofile für die A340-641 der AzB-Klasse S.6.3 und den ermittelten MODAL-Datensätzen

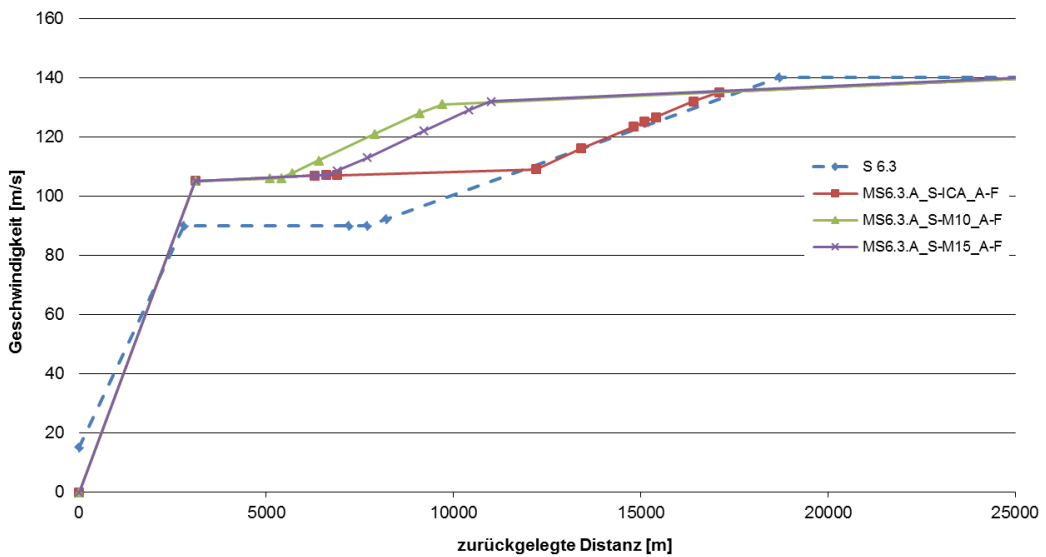


Abbildung 18: Vergleich der Geschwindigkeitsprofile für die A340-641 der AzB-Klasse S.6.3 und den ermittelten MODAL-Datensätzen

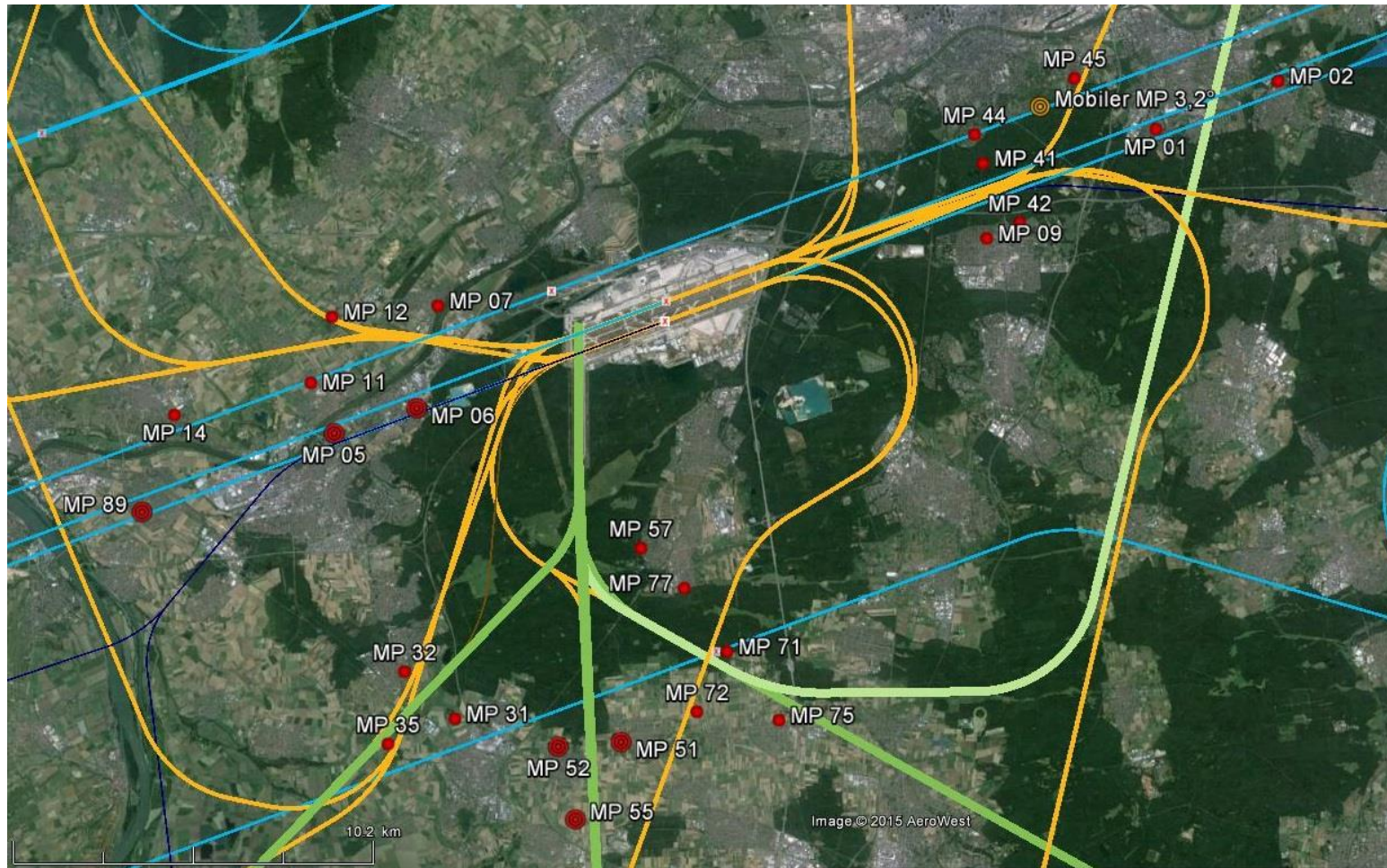


Abbildung 19: Standorte der Messanlagen

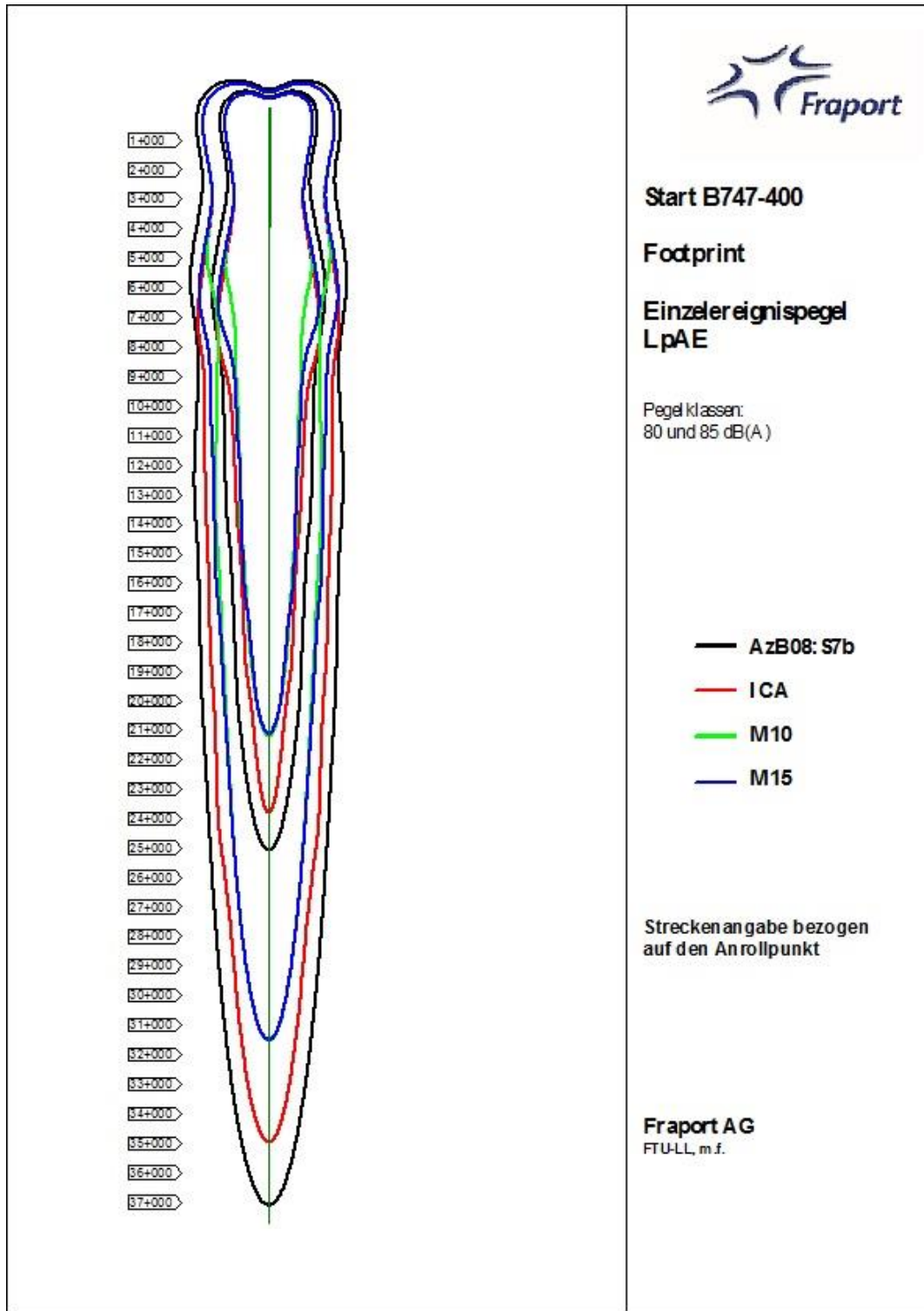


Abbildung 20: Start B747-400 Footprints der Einzelereignispegel LpAe von 80 dB(A) und 85 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen

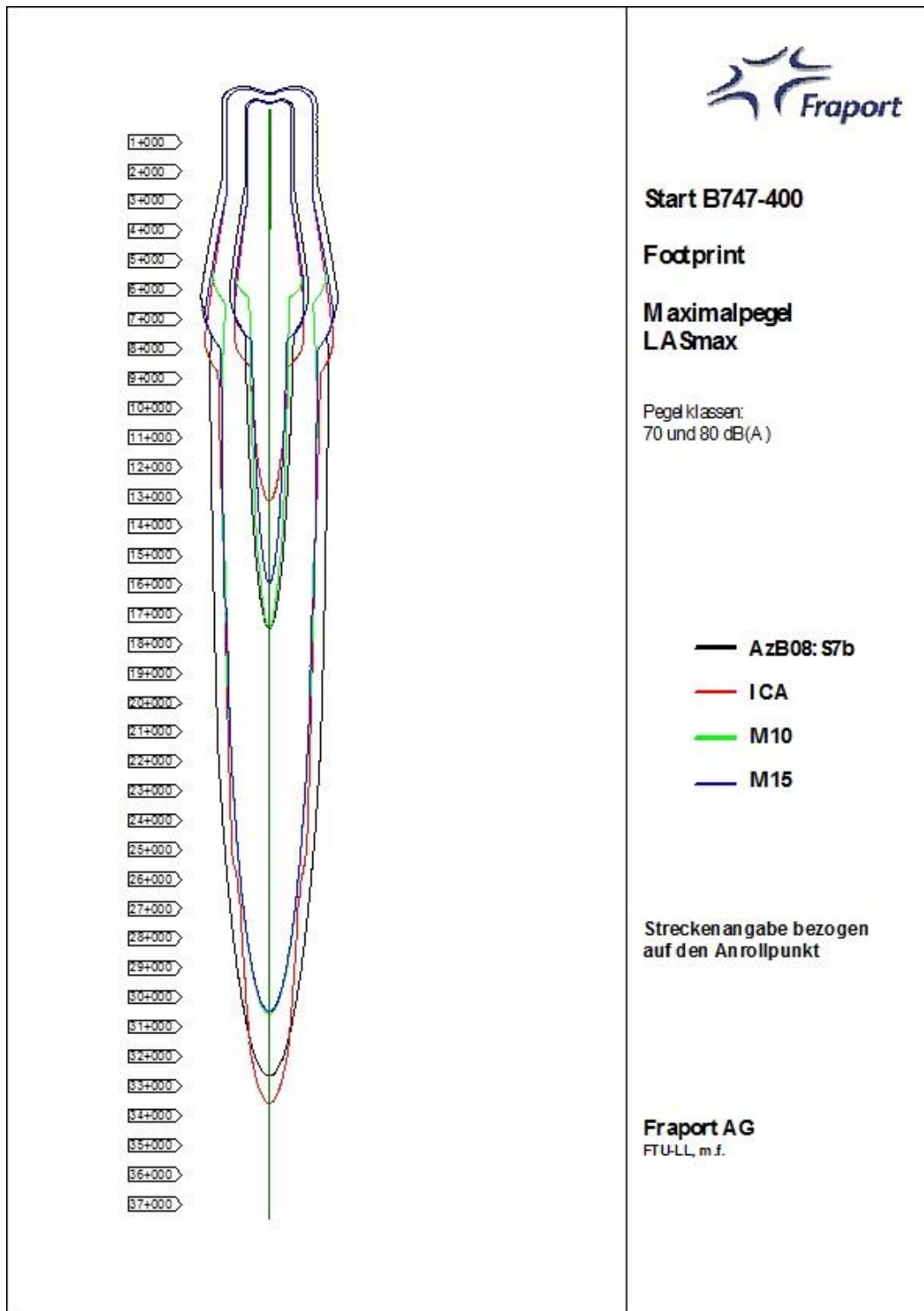


Abbildung 21: Start B747-400 Footprints der Maximalpegel LA Smax von 70 dB(A) und 80 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen

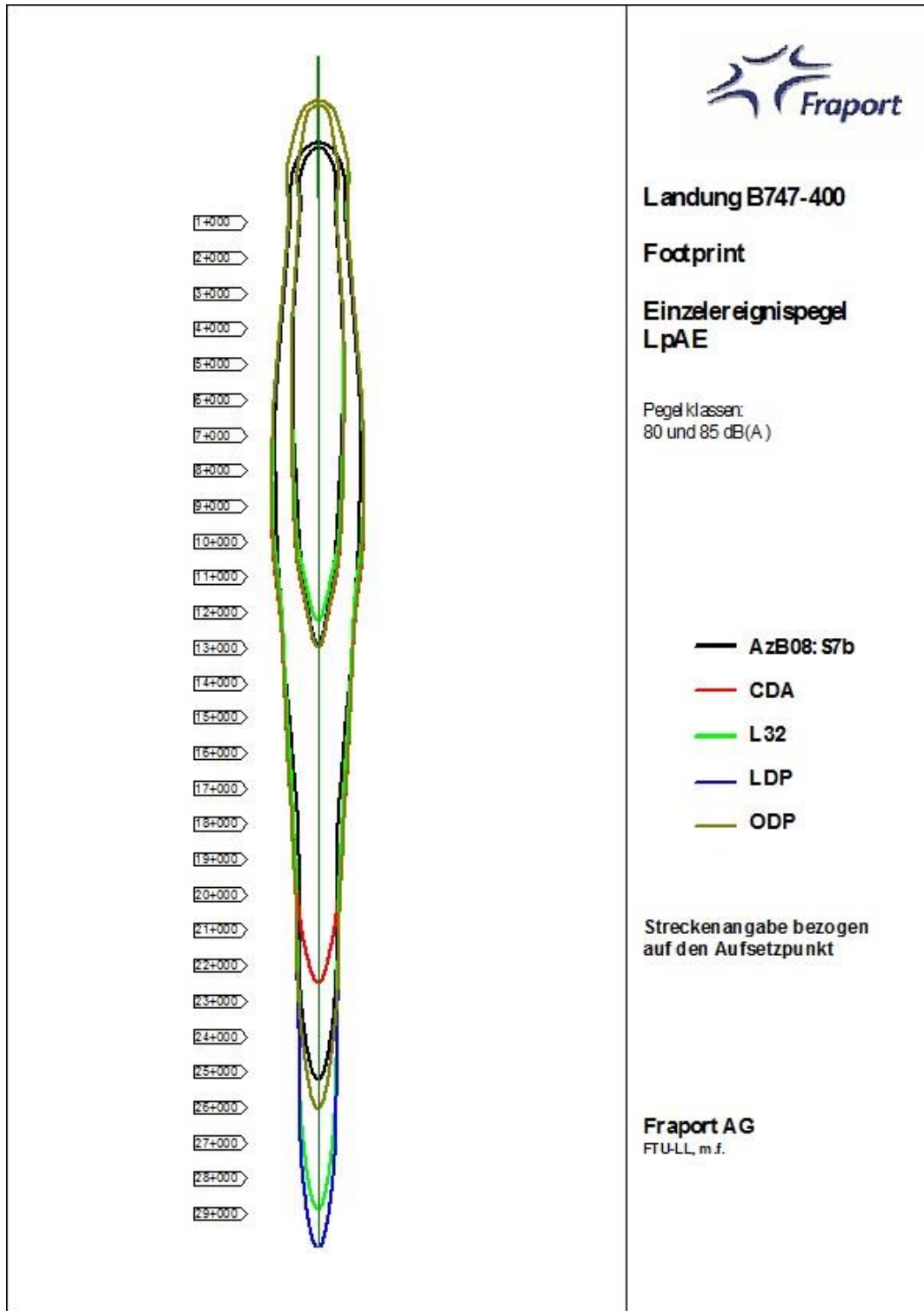


Abbildung 22: Landung B747-400 Footprints der Einzelereignispegel LpAe von 80 dB(A) und 85 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen

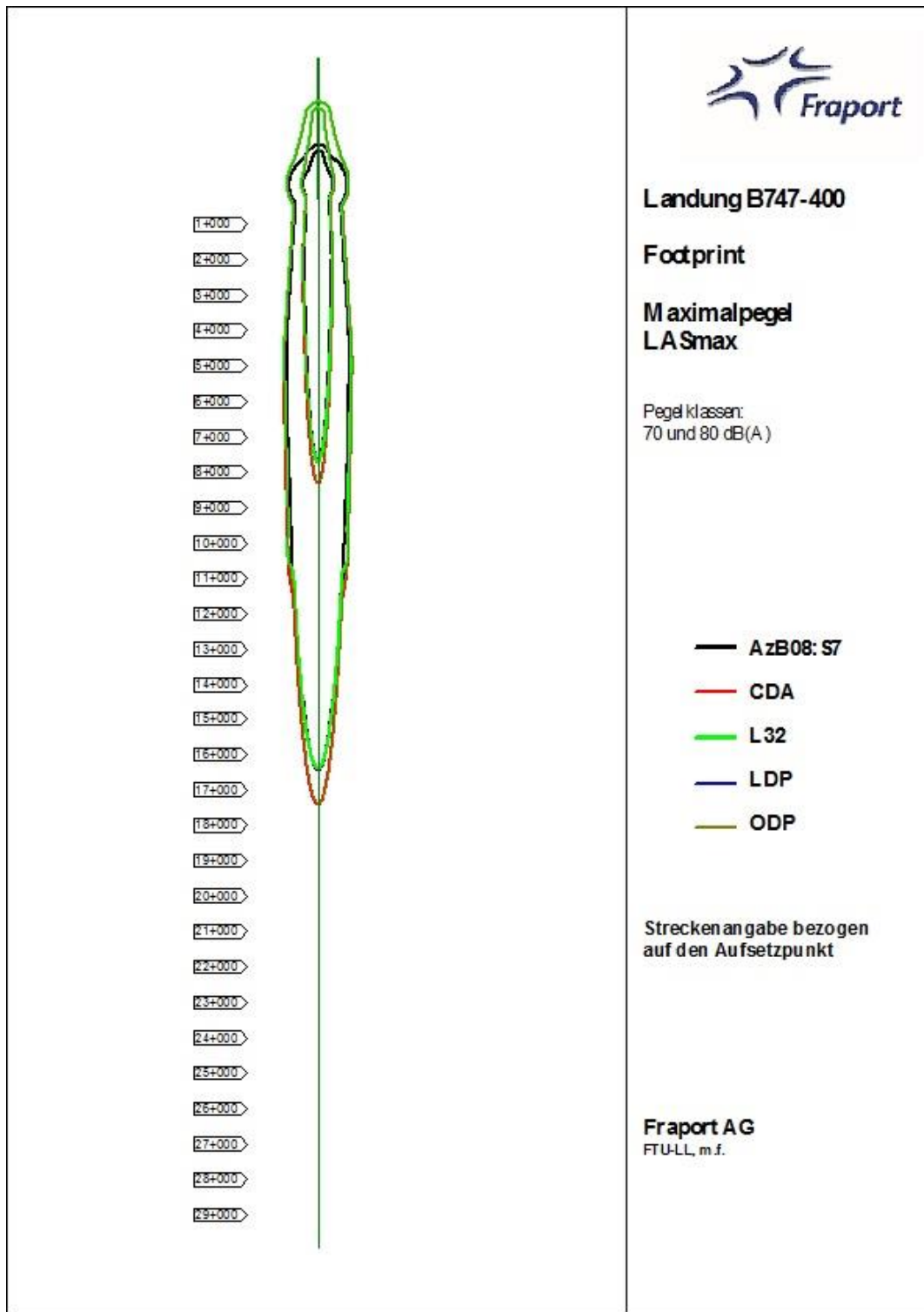
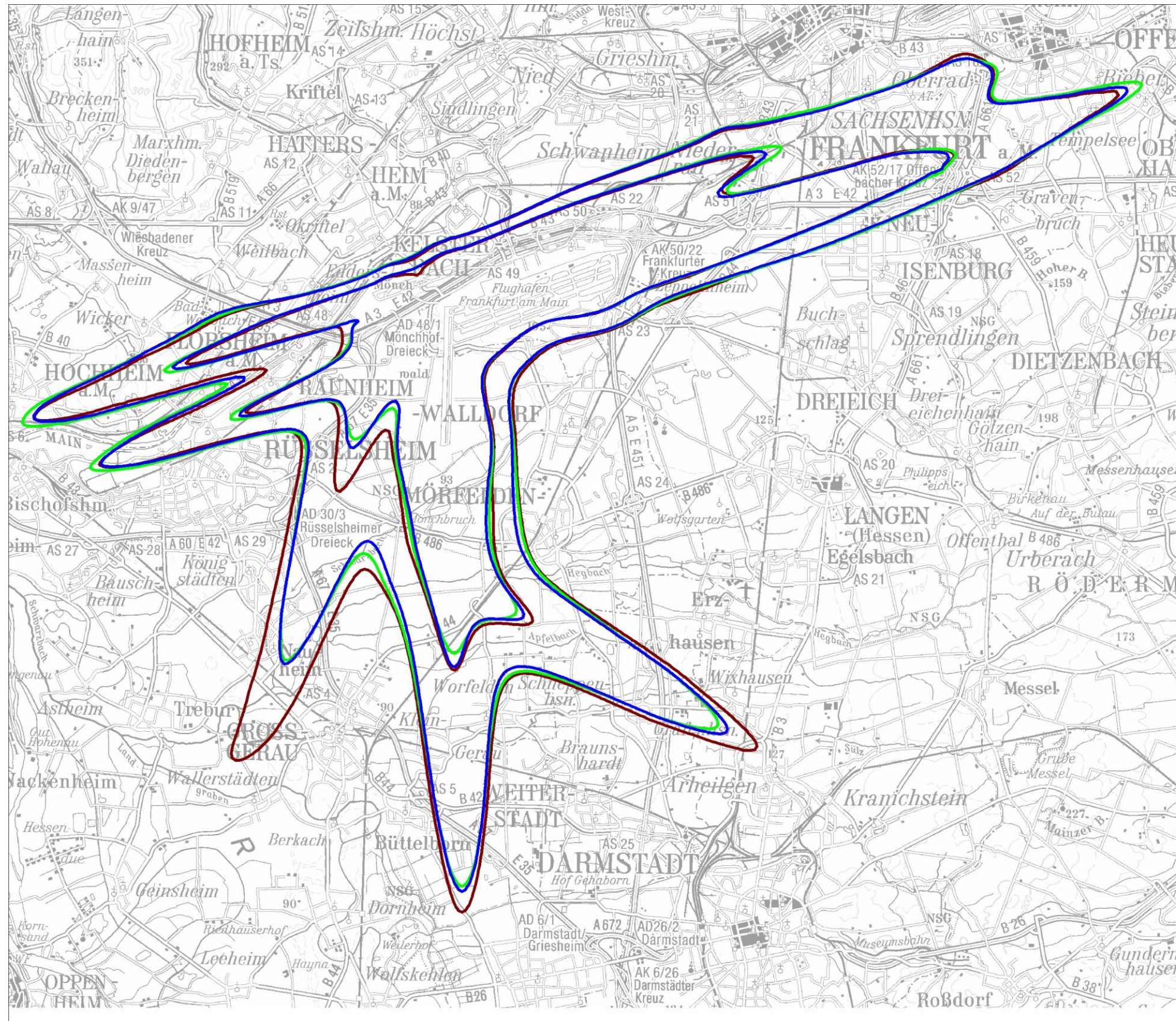


Abbildung 23: Landung B747-400 Footprints der Maximalpegel LASmax von 70 dB(A) und 80 dB(A) auf Basis der AzB08- und modellierten MODAL AzB-Datensätzen



MODAL

Überlagerte Szenarien

**Start und Landung
LAeq, Tag 55 u. 60dB**

- Referenzszenario (AzB08)
- ICA_Start_ODP_Landung
- M10_Start_L32_Landung

Verkehr: 6 v.M. 2013
Betriebsrichtungsverteilung: real

Fraport AG
FTU-LL, m.f.

Abbildung 24: LAeq-Tag-Konturen von 55 dB(A) und 60 dB(A) für die Berechnung der Flugbetriebsszenarien