

Gutachten

Untersuchung des Startverfahrens am Flughafen Frankfurt

Auftraggeber (AG):



Umwelt- und
Nachbarschaftshaus

– Dresden, 16.02.2022 –

Umfang:

Dieser Bericht umfasst 79 Seiten.

Dokumentenname: UNH_Fixpunktprofile_NADP_Endbericht_2.4_ct160222.docx



Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH

Hermann-Prell-Str. 8
01324 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 273260-3

Fax: +49 (0) 351 273260-4

URL: www.gfl-consult.de

E-Mail: info@gfl-consult.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Kurzfassung.....	7
1 Ausgangslage und Leistungsbeschreibung.....	9
2 Lärm mindernde Abflugverfahren der ICAO	10
3 Literaturanalyse	12
3.1 Einleitung	12
3.2 Schalltechnische Grundlagen.....	12
3.3 Vergleichbare Studien zur Lärmwirkung der NADP-Startverfahren.....	13
3.3.1 ICAO Circular 317	13
3.3.2 Departure Noise Mitigation am Flughafen London Heathrow.....	16
3.3.3 Abflugverfahren am Flughafen Düsseldorf.....	21
3.3.4 Postflüge am Flughafen Berlin-Tegel.....	25
3.3.5 FBB Fluglärmbericht 2017.....	28
3.4 Weitere Studien zur Lärmwirkung unterschiedlicher Abflugverfahren	29
3.4.1 Alternative Abflugverfahren zur Lärminderung, Atlanta Airport	29
3.4.2 Lärminderung durch Wechsel NADP1/NADP2, Amsterdam Schiphol.....	30
3.4.3 Modelle und Daten zur Entwicklung von aktiven Schallschutzmaßnahmen im Luftverkehr (MODAL)	30
3.4.4 Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm, UBA	31
3.5 Fazit der Recherche	32
4 Eingangsdaten und Randbedingungen	33
4.1 Abflugverfahren/Szenarien	33
4.2 Luftfahrzeugmuster	35
4.3 Variation der Abflugmasse: Masseszenarien.....	35
4.4 Abfluggeschwindigkeiten: Festlegung von V_2	36
4.5 Klappenstellungen: Flap Schedule Modell.....	36
4.6 Sonstige Randbedingungen	38
5 Bestimmung der Fixpunktprofile.....	39
5.1 B737-800.....	39
5.2 B747-400.....	42
5.3 B747-8	44
5.4 B777-300ER.....	46
5.5 A320-211.....	48
5.6 A380-841.....	50
6 Sensitivitätsanalysen	52
6.1 Randbedingungen	52
6.2 Geschwindigkeitsbegrenzung.....	53

6.2.1	Szenariobeschreibung	53
6.2.2	Sensitivitätsanalysen A320-211	54
6.2.3	Sensitivitätsanalysen B777-300ER	57
6.2.4	Sensitivitätsanalysen A380-841	59
6.3	Höhenvorgabe	62
6.3.1	Szenariobeschreibung	62
6.3.2	Sensitivitätsanalysen A320-211	63
6.3.3	Sensitivitätsanalysen B777-300ER	63
6.3.4	Sensitivitätsanalysen A380-841	63
6.4	Kurvenflug	66
6.4.1	Szenariobeschreibung	66
6.4.2	Sensitivitätsanalysen A320-211	67
6.4.3	Sensitivitätsanalysen B777-300ER	68
6.4.4	Sensitivitätsanalysen A380-841	69
6.5	Intersection Take Off	70
6.5.1	Szenariobeschreibung	70
6.5.2	Sensitivitätsanalysen A320-211	71
	Abkürzungsverzeichnis	74
	Abbildungsverzeichnis	76
	Tabellenverzeichnis	78
	Literatur- und Quellenverzeichnis	79

Kurzfassung

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie sind die Auswirkungen von nach ICAO PANS OPS Doc. 8168 standardisierten lärm mindernden Abflugverfahren NADP1 und NADP2 (*Noise Abatement Departure Procedure*, vgl. Kapitel 2) am Flughafen Frankfurt/Main.

Die Untersuchungen wurden nach den sog. *Common Noise Assessment Methods* CNOSSO-EU durchgeführt. Sie stellen eine europaweit vereinheitlichte Methode zur Beurteilung des Umgebungslärms, also Lärmeinwirkungen der Schallquellen Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr sowie der Industrie dar. Der für den Luftverkehr relevante Teil findet sich in ECAC Doc. 29. Mit Anhang B zu Doc. 29 werden Berechnungsvorschriften zu Flugleistungen und der Schallausbreitung spezifiziert. Kennwerte der Berechnung sind der *Aircraft Noise and Performance* Datenbank der EUROCONTROL zu entnehmen. Weiterhin wurden die gemäß Untersuchungsauftrag adaptierten und nach Doc.29 generierten Steigprofile in AzB-konforme Fixpunktprofile zu überführt, um eine Weiterverarbeitung in entsprechenden Berechnungsprogrammen Dritter zu gewährleisten.

Im Rahmen einer Literaturanalyse wurden zunächst Projekte, Studien und weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Wirkung unterschiedlicher lärm mindernder Abflugverfahren recherchiert. Der Fokus wurde hierbei auf Studien gelegt, welche die lärm mindernden Abflugverfahren NADP1 und NADP2 vergleichen bzw. Optimierungen der Lärmemission durch Anpassung von Abflugverfahren untersuchten (vgl. Kapitel 3).

Auftragsgemäß wurden die Fixpunktprofile für die lärm mindernden Abflugverfahren der ICAO mit folgenden Profileckpunkten ermittelt (vgl. Kapitel 4.1):

- NADP1 mit Schubrücknahme in 1.500 Fuß Flugplatzhöhe und Beschleunigung in 3.000 Fuß
- NADP2 mit Schubrücknahme in 1.000 Fuß Flugplatzhöhe und Beschleunigung (NADP2-10) und
- NADP2 mit Schubrücknahme in 1.500 Fuß Flugplatzhöhe und Beschleunigung (NADP2-15).

Diese wurden für insgesamt:

- sechs LFZ-Muster (vgl. Kapitel 4.2):
 - Boeing B737-800,
 - Boeing B747-400,
 - Boeing B747-8,
 - Boeing B777-3ER,
 - Airbus A320-211,
 - Airbus A380-841,
- zwei unterschiedliche Masseszenarien, je nach LFZ-Muster (vgl. Kapitel 4.1):
 - 95% bzw. 100% des MTOM sowie
 - 75% bzw. 85% des MTOM und
- zwei unterschiedliche Geschwindigkeitsszenarien (vgl. Kapitel 4.4):
 - Begrenzung auf 220 kt CAS sowie
 - unbegrenzt,

ermittelt. Weitere Randbedingungen (wie bspw. Klappenstellung) wurden in Absprache mit dem Auftraggeber (AG) festgelegt (vgl. Kapitel 4.4 bis 4.6). Insgesamt wurden so für 3 Abflugverfahren mit je 2 Geschwindigkeitsprofilen und je 2 Auslastungen für 6 LFZ Muster =

72 Fixpunktprofile bestimmt, deren spezifische Ausgestaltung Kapitel 5 zu entnehmen ist. Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den Anhängen A1 und A2 zum Gutachten. Durch Ermittlung der Fixpunktprofile im AzB-Format ist es möglich, den Einfluss spezifischer flugbetrieblicher Parameter oder spezifischer Routenvorgaben hinsichtlich des resultierenden Fluglärms gemäß gesetzlichen Vorgaben zu bewerten.

Im Rahmen von weiterführenden Sensitivitätsuntersuchungen wurden daher die Auswirkungen der Änderung ausgewählter Parameter auf den Fluglärm untersucht (vgl. Kapitel 6).

Anhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung von 220 kt auf 250 kt (vgl. Kapitel 6.2):

Es zeigt sich, dass über alle betrachteten LFZ-Muster die Begrenzung der maximalen Abfluggeschwindigkeit auf 220 kt bis 10 NM Entfernung vom Flughafen Frankfurt/Main durchgängig zu Lärminderung direkt unterhalb der Abflugroute führt, während in deutlich größeren Bereichen querab der Abflugroute der Lärm steigt.

Auswirkungen spezifischer Höhengvorgaben (vgl. Kapitel 6.3):

Im Rahmen der Untersuchungen zur Höhengvorgabe wurde exemplarisch die Abflugroute CINDY 1S auf der Startbahn 18 des Flughafens Frankfurt/Main ausgewählt, an deren Wegpunkt DF159 eine Höhengvorgabe (mindestens 2.500 ft MSL) eingerichtet ist.

Im Ergebnis sind nur geringe Lärmauswirkungen festzustellen. Lediglich für den A380 resultiert im Flachstartverfahren (NADP2) ein abweichendes Profil mit höherem Steiggradienten, dessen Auswirkung auf den Fluglärm allerdings gering ist. Es findet vorrangig eine Lärmverschiebung statt. Kleine Bereiche direkt unterhalb der Abflugroute erfahren durch die Höhengrestriktion eine leichte Lärminderung. Deutlich größere Bereiche abseits der Abflugroute sind hingegen von geringem Lärmzuwachs betroffen.

Auswirkungen von Kurvenflügen (vgl. Kapitel 6.4):

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollte ermittelt werden, inwieweit die rechnerische Berücksichtigung des Kurvenfluges Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Fluglärmrechnung mit sich bringt. Hierfür wurde die gekurvte Abflugroute TOBAK 2W von der Startbahn 25C des Flughafens Frankfurt/Main gewählt.

Im Ergebnis liefert die Berücksichtigung des Kurvenfluges erwartungsgemäß höhere Fluglärmwerte aufgrund flacherer Flugprofile. Allerdings zeigen sich diese Auswirkungen erst bei Entfernungen deutlich größer 40 km vom Flughafen. In Flughafennähe ist der Effekt vernachlässigbar (Abweichung < 0,5 dB).

Auswirkungen von Intersection Take Offs (vgl. Kapitel 6.5):

Es wurde das Verschieben des Startpunktes auf der Startbahn 18 (sog. *Intersection Take Off*, Aufrollen auf die Piste 18 über den TWY S) auf den Fluglärm untersucht.

Im Ergebnis zeigt sich eine signifikante Lärmerhöhung ab Hälfte der Startbahn bis ca. 15 km Flugentfernung nach dem Startpunkt. Lärminderung wird hingegen erwartungsgemäß hauptsächlich auf dem Flughafengelände erreicht. Dieses Szenario berücksichtigt allerdings keine ggf. geänderte Klappenstellung (Klappenstellung „Flaps 2“) beim Start aufgrund fehlender Daten in der ANP-Datenbank. Hierdurch könnte das von Lärmsteigerung betroffene Gebiet ggf. verkleinert werden.

Die Sensitivitätsanalysen haben im Ergebnis gezeigt, dass mit Hilfe individueller Fixpunktprofile auf Basis von Flugleistungsberechnungen nach Doc. 29 eine Vielzahl an spezifischen Fluglärmanalysen durchgeführt werden kann, auch über die hier exemplarisch durchgeführten hinaus. Aus prozeduralen Profilen gewonnene Fixpunktprofile stellen somit ein adäquates Analyseinstrument in der Fluglärmbewertung dar und erlauben Untersuchungen, die mit den standardisierten Fixpunktprofilen der AzB so nicht durchführbar sind.

1 Ausgangslage und Leistungsbeschreibung

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie sind die lärmindernden Abflugverfahren NADP1 und NADP2 (siehe zur Definition Kapitel 2) nach ICAO PANS OPS Doc. 8168 [4], deren lärmspezifische Auswirkungen am Flughafen Frankfurt/Main untersucht werden sollen.

Die Untersuchungen werden nach den sog. *Common Noise Assessment Methods* CNOSSOS-EU¹ durchgeführt. Sie stellen eine europaweit vereinheitlichte Methode zur Beurteilung des Umgebungslärms für die Verkehrsträger Straße, Schiene und Flug sowie der Industrie dar² und sind per Richtlinie (EU) 2015/996³ der Kommission vom 19. Mai 2015 mit Änderungen vom 10. Januar 2018⁴ standardisiert. Der für den Luftverkehr relevante Teil findet sich in ECAC Doc. 29⁵; die Anwendung für die Lärmkartierung wurde nun auch für Deutschland rechtsverbindlich geregelt (siehe Bundesanzeiger, BAnz AT 28.12.2018 B7). Mit Anhang B zu Doc. 29 werden Berechnungsvorschriften zu Flugleistungen und der Schallausbreitung spezifiziert. Kennwerte der Berechnung sind der *Aircraft Noise and Performance* Datenbank der EUROCONTROL zu entnehmen.

Im Vergleich zur bisherigen Methodik AzB'08 besteht der Hauptunterschied der Doc. 29 in der Beschreibung vertikaler Flugprofile⁶. Per AzB'08 werden diese durch eine Zuordnung zwischen zurückgelegtem Flugweg und erreichter Flughöhe beschrieben (sog. Fixpunkt-Profile). Dem gegenüber ist in Doc. 29 auch eine prozedurale Beschreibung vorgesehen, welche durch Anwendung von Flugleistungsberechnungen aus Anhang B des Dokuments in die zuvor genannte Form überführt werden kann. Hierbei werden nun zusätzliche Variablen aus der Praxis benötigt und sodann auch berücksichtigt (bei Berechnung nach AzB'08 in Form des repräsentativen Vertikalprofils der betrachteten Lärmklasse hingegen pauschalisiert):

- Auswahl des Abflugverfahrens (= Prozedurale Profilbeschreibung),
- Reduktion des Startschubs (Minderung von Verschleiß und Emissionen),
- variable Luftfahrzeugmasse (indirekt: Auslastung des Fluges),
- variable maximale Abfluggeschwindigkeit (220 kt vs. unlimitiert), im Rahmen der Sensitivitätsanalysen ergänzend auch 250 kt Limitierung,
- Flugleistungen des konkreten Baumusters (z.B. A320 vs. B737).

Da die lärmindernden Abflugverfahren, formalisiert als NADP1 und NADP2, bisher keinen Eingang in ECAC Doc. 29 fanden, wird in vorliegender Studie deren ergänzende Berechnung auf Basis der Verfahrensbeschreibung und der Kennwerte unter weiterer Berücksichtigung der Vorgaben aus ECAC Doc. 29 durchgeführt. Weiterhin werden die so generierten Vertikalprofile in AzB-konforme Profile überführt, um eine Weiterverarbeitung in entsprechenden Berechnungsprogrammen Dritter zu gewährleisten (vgl. Kapitel 5).

Ergänzend wird die gegenständliche Fachliteratur analysiert (vgl. Kapitel 3) und die Qualität der Berechnungen durch Sensitivitätsanalysen gesichert (mögliche Fehler und Unsicherheiten, vgl. Kapitel 6).

¹ Siehe: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/common-noise-assessment-methods-europe-cnossos-eu>

² Zitiert aus: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/cnossos.html

³ Siehe: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996&from=DE>

⁴ Siehe: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996R\(01\)&from=DE](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996R(01)&from=DE)

⁵ Siehe: <https://www.ecac-ceac.org/ecac-docs>

⁶ Siehe Kapitel 2.5 in: <https://www.researchgate.net/publication/291397723>

2 Lärmindernde Abflugverfahren der ICAO

Die ICAO hat gemäß ICO PANS OPS [4] zwei Vorschläge für lärmindernde Abflugverfahren veröffentlicht, deren lärmindernde örtliche Wirkung aus aerodynamischer Sicht offensichtlich stark vom Luftfahrzeugtyp, den Triebwerken, der angewandten Schub- und Klappenkonfiguration sowie der resultierenden Überflughöhe abhängig ist. Diese Faktoren können also je nach Kombination von Luftfahrzeug-Typ, Triebwerk und Verfahren in sehr unterschiedlichen Lärmimmissionen resultieren. Daher wird den Betreibern von Luftfahrzeugen zur Umsetzung von lärmoptimalen Verfahren viel Freiraum gelassen, um das jeweilige Optimum zu erreichen.

Das erste Verfahren, bezeichnet als „*Noise Abatement Departure Procedure 1*“ (NADP1), beschreibt eine Möglichkeit, Lärminderung vorrangig in Gebieten unmittelbar in der Nähe des Flughafens zu erreichen.

Das zweite Verfahren, bezeichnet als „*Noise Abatement Departure Procedure 2*“ (NADP2), tendiert hingegen dazu, Lärminderung in weiter entfernten Gebieten zu erreichen. Eine Definition, welchen Entfernungen „*Flughafennähe*“ bzw. „*Flughafenferne*“ entspricht, ist jedoch nicht gegeben.

Die zwei vorgestellten Verfahren unterscheiden sich grundlegend darin, dass das Beschleunigungssegment, in welchem das Luftfahrzeug (LFZ) erstmals von der initialen Startgeschwindigkeit beschleunigt wird und die Auftriebshilfen eingefahren werden, entweder weit vor dem Erreichen einer beschriebenen Maximalhöhe oder erst bei Erreichen der Maximalhöhe eingeleitet wird. Diese unterschiedliche Herangehensweise resultiert in einem voneinander abweichenden vertikalen Abflugprofil, welches wiederum in einer unterschiedlichen Lärmwirkung am Boden resultieren soll. Weiterhin spielt auch der Zeitpunkt und die damit verbundene Flughöhe, in dem der Startschub auf Steigschub (sog. *Cutback*) reduziert wird, eine große Rolle in der Lärmoptimierung.

Das NADP1-Verfahren beinhaltet eine Reduktion des Cutbacks auf einer Mindestflughöhe von 800 Fuß über Grund und das verspätete Einfahren der Klappen auf einer Flughöhe von 3.000 Fuß. Erst dann wird das Beschleunigungssegment eingeleitet, und das LFZ beschleunigt unter Beibehaltung einer positiven Steigrate auf eine Zielgeschwindigkeit. Dieses Verfahren wird auch als „*Steilstartverfahren*“ bezeichnet, da durch die vollständige Umsetzung des Schubes in Steigen ein steiles Profil resultiert. Dieses NADP1 bezeichnete Verfahren zeigt nachfolgende Abbildung 1:

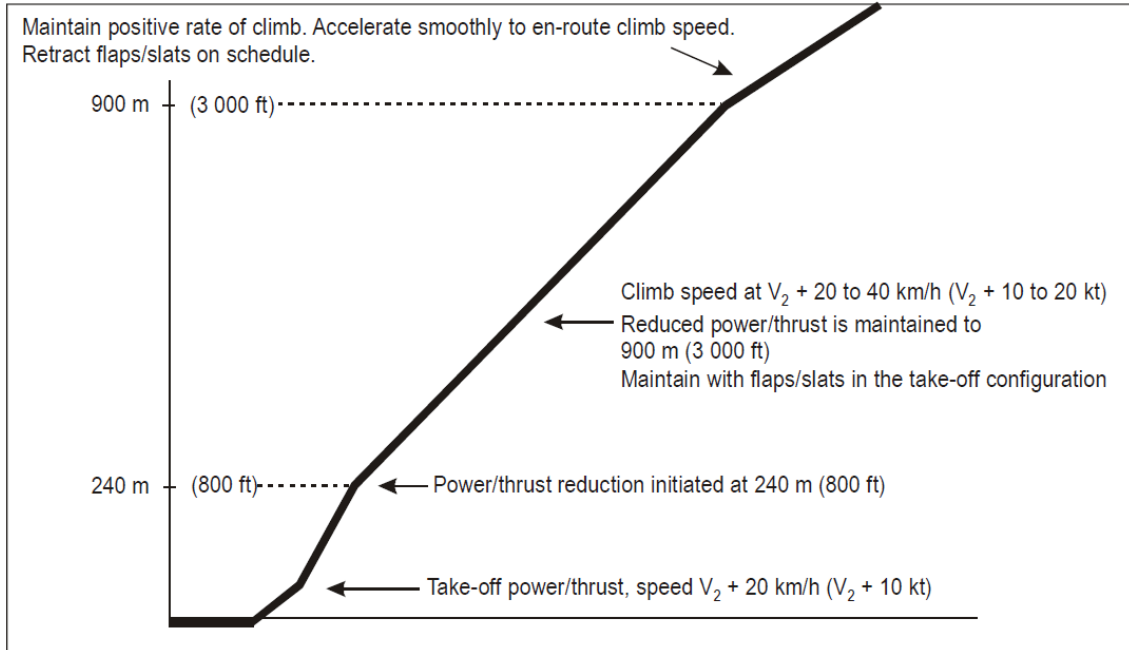


Abbildung 1: NADP1-Verfahren gemäß ICAO PANS OPS [4]

Das NADP2-Verfahren (vgl. nachfolgende Abbildung 2) beinhaltet hingegen die Einleitung des Beschleunigungssegmentes bereits auf einer sog. Mindestflughöhe von 800 Fuß über Grund. Im Beschleunigungssegment werden die Auftriebsbeihilfen eingefahren und auf eine Zielgeschwindigkeit unter Beibehaltung einer positiven Steigrate beschleunigt. Erst während des Einfahrens der Klappen wird zusätzlich der Schub reduziert. Auf einer Höhe von 3.000 Fuß über Grund wird dann auf die Steiggeschwindigkeit des Reiseflugsegments beschleunigt. Da in diesem Verfahren schon sehr zeitig die verfügbare Energie der Triebwerke in eine Beschleunigung investiert wird, resultiert daraus ein flacheres Abflugprofil. Daher wird dieses Verfahren auch als „Flachstartverfahren“ bezeichnet.

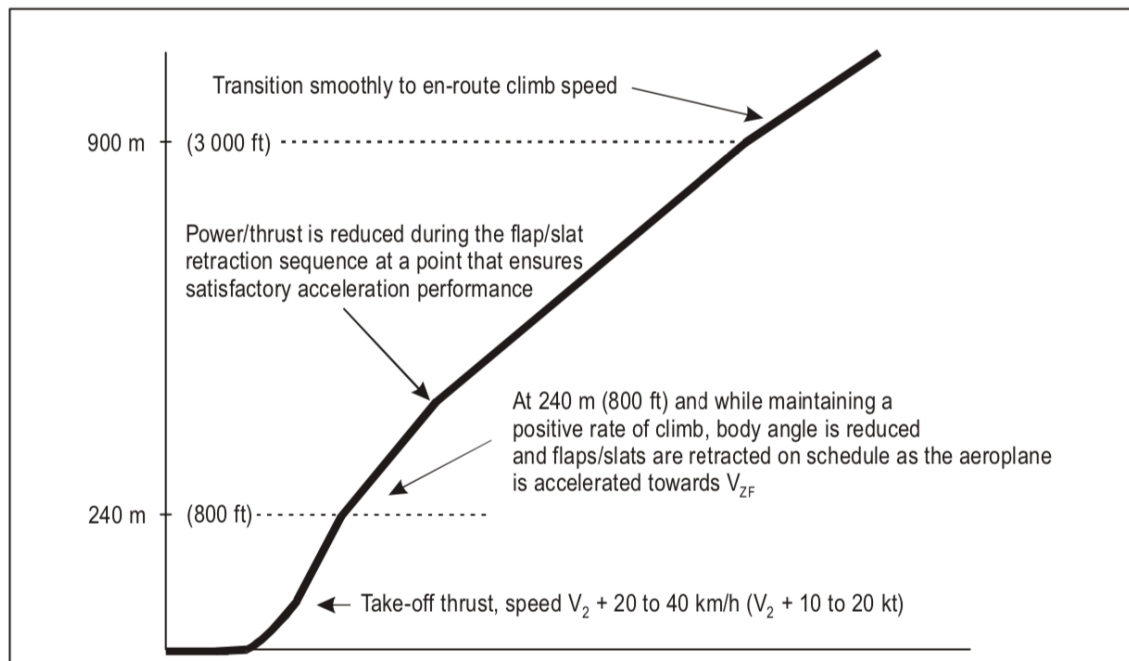


Abbildung 2: NADP2-Verfahren gemäß ICAO PANS OPS [4]

3 Literaturanalyse

3.1 Einleitung

Im Rahmen der Literaturanalyse wurden Projekten, Studien und sonstige wissenschaftliche Veröffentlichungen recherchiert, welche die Wirkung unterschiedlicher lärmmindernder Abflugverfahren hinsichtlich ihrer Lärmverursachung bewerten. Der Fokus wurde hierbei auf Studien gelegt, die die im ICAO Doc. 8168 [4] beschriebenen lärmmindernden Abflugverfahren NADP1 und NADP2 vergleichen oder Optimierungen hinsichtlich der Lärmemission anhand von angewandten Abflugverfahren untersuchten. Es wurde analysiert, unter welchen Umständen ggf. eine Lärminderung durch eine Anpassung der Abflugprofile realisiert werden kann, und ob generell die Anwendung eines spezifischen Verfahrens Vorteile im Sinne der Lärminderung generiert.

Zur Einordnung der in den untersuchten Studien bereichsweise unterschiedlichen eingeführten Lärm-Bewertungspegel wird im nachfolgenden Kapitel 3.2 ein kurzer Exkurs in schalltechnische Grundlagen gegeben.

3.2 Schalltechnische Grundlagen

Entsprechend den Ausführungen der Fachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) e.V., Arbeitsring Lärm, wird der Begriff *Lärm* wie folgt definiert: „Subjektive Geräuschwahrnehmung, in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel, aber auch z.B. von der persönlichen Einstellung zur Schallquelle. Lärm ist jede Art von Schall, der stört oder belästigt oder die Gesundheit schädigen kann.“ [1]

Der Schalldruckpegel wird zur Beurteilung seiner Wirkung auf den Menschen frequenzbewertet. Aufgrund der Anatomie des menschlichen Gehörs werden verschiedene Frequenzen unterschiedlich laut wahrgenommen. Die maximale Sensitivität des menschlichen Gehörs liegt im Bereich zwischen 1,0 und 4,0 kHz. Höhere und niedrigere Frequenzen werden bei konstantem Schalldruck leiser wahrgenommen. In nachfolgender Abbildung 3 ist anhand sog. Isophonen für jeweils konstant laut empfundene Schalldrücke der tatsächliche Schalldruck dargestellt:

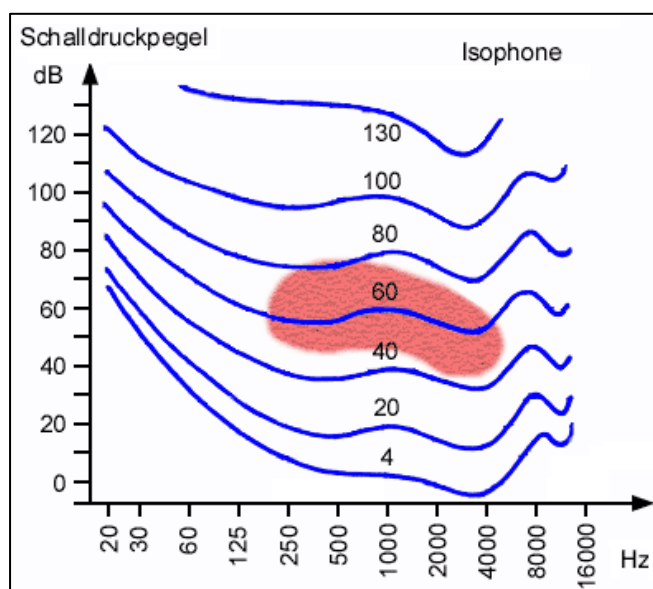


Abbildung 3: Isophone; konstant laut empfundener Schalldruck in Abhängigkeit der Frequenz [2]

Bspw. werden Schalldrücke im Bereich von 20 – 30 Hz und ca. 100 dB mit nur 60 dB deutlich geringer wahrgenommen. Dieser A-bewertete Schalldruck wird in der Einheit dB(A) (A-bewertete Dezibel) angegeben. Das Bel (oder hier Dezibel als ein Zehntel Bel) dient dabei zur Kennzeichnung des dekadischen Logarithmus des Verhältnisses zweier Druckwerte, hier des gemessenen Schalldrucks zu einem Referenz-/ Umgebungsdruck.

Zusätzlich zu diesem Bewertungsverfahren werden zur Beurteilung des Lärmereignisses in der Regel folgende Messwerte herangezogen.

- Der A-bewertete Maximalpegel ($L_{A,max}$) bildet den maximalen gemessenen Wert eines Lärmereignisses an einem Messpunkt ab. Dieser Messwert beinhaltet keinerlei Bewertung hinsichtlich der Dauer des Lärmereignisses. Ein kurzer, aber lauter Lärmimpuls wird i.d.R. als weniger störend empfunden als ein etwas leiseres Lärmereignis, das dafür länger andauert.
- Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$) mittelt alle Lärmereignisse über einen gegebenen Zeitraum, in der Regel für Tag und Nacht.
- Der A-bewertete Schallereignispegel (Sound Exposure Level, SEL) berücksichtigt ähnlich dem $L_{A,eq}$ sowohl die Dauer, als auch die Intensität eines Lärmereignisses. Dieser Wert ist jedoch auf eine Dauer von einer Sekunde normiert. Der SEL ist am besten geeignet, um die Energie verschiedener Lärmereignisse zu vergleichen und Bewertungen einzelner Flugereignisse durchzuführen [3].

Es wurde im Rahmen der Literaturanalyse festgestellt, dass sich zahlreiche Studien zum Vergleich von NADP-Verfahren auf die Auswertung des $L_{A,max}$ fokussieren.

3.3 Vergleichbare Studien zur Lärmwirkung der NADP-Startverfahren

3.3.1 ICAO Circular 317

Das ICAO Circular 317: *Effect of PANS-OPS Noise Abatement Departure Procedures on Noise and Gaseous Emissions* [5] erläutert Verfahren zur Umsetzung der in den PANS-OPS beschriebenen NADP, um Flughäfen und Luftverkehrsgesellschaften mit Informationen zur Verfahrensplanung und der Bewertung der Effekte auf die Umwelt unter der Voraussetzung eines sicheren Betriebes zu versorgen.

In [5] wurden die resultierenden Lärmpegel unterschiedlicher NADP-Abflugverfahren in gleichmäßigen Abschnitten entlang des Abflugpfades bis zu einer Höhe von 10.000 Fuß berechnet und vergleichend gegenübergestellt. Ausgewertet wurde der $L_{A,max}$ -Pegel. Die Lärmpegel wurden mit einem internen Lärmberechnungsprogramm und die Flugprofile mit Hilfe der Performance Engineering Software der Luftfahrzeughersteller berechnet. Ergänzend wurde jeweils die Fluglärmdifferenz zweier Abflugverfahren bestimmt. Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt die so berechneten Lärmpegel und Pegeldifferenzen beispielhaft:

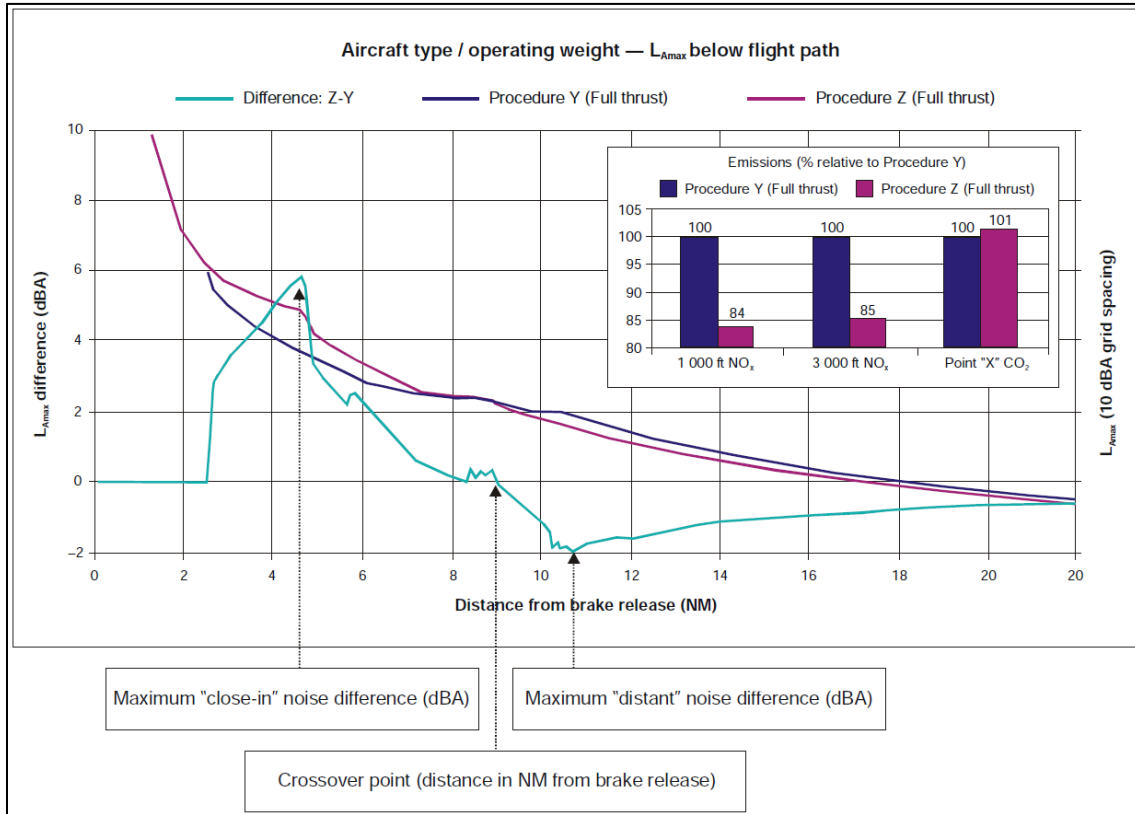


Abbildung 4: Beispielhafte Lärmpegel und Pegeldifferenzen gemäß [5]

Zur Analyse der verschiedenen NADP-Verfahren wurden zwei NADP1-Verfahren (als P1 & P2 bezeichnet) sowie zwei NADP2-Verfahren (P3 & P4) untersucht, welche in nachfolgender Abbildung 5 prozedural beschrieben sind:

Procedure 1	Procedure 2	Procedure 3	Procedure 4
Take-off thrust, lowest flap setting ¹	Take-off thrust, lowest flap setting ¹	Take-off thrust, lowest flap setting ¹	Take-off thrust, lowest flap setting ¹
Climb at $V_2 + 15 \text{ KIAS}^2$ to 800 ft AGL	Climb at $V_2 + 15 \text{ KIAS}^2$ to 1 500 ft AGL	Climb at $V_2 + 15 \text{ KIAS}^2$ to 800 ft AGL	Climb at $V_2 + 15 \text{ KIAS}^2$ to 800 ft AGL
Cut back to MCLT	Cut back to MCLT	Accelerate and retract flaps ³	Cut back to MCLT ⁴
		At zero flap cut back to MCLT	Accelerate and retract flaps ³
Constant speed climb to 3 000 ft AGL	Constant speed climb to 3 000 ft AGL	Constant speed climb to 3 000 ft AGL	Constant speed climb to 3 000 ft AGL
Accelerate to 250 KIAS while retracting flaps ³	Accelerate to 250 KIAS while retracting flaps ³	Accelerate to 250 KIAS ³	Accelerate to 250 KIAS ³
Climb at constant speed to 10 000 ft AGL	Climb at constant speed to 10 000 ft AGL	Climb at constant speed to 10 000 ft AGL	Climb at constant speed to 10 000 ft AGL
End profile at 10 000 ft ⁵	End profile at 10 000 ft ⁵	End profile at 10 000 ft ⁵	End profile at 10 000 ft ⁵

1. Flap/slat setting according to the most commonly used flap/slat setting for a given aircraft type.
2. $V_2 + 15 \text{ kt}$ is considered to be the default, unless the aircraft operations manual recommends another take-off speed.
3. During the acceleration and climb phases, the energy share between acceleration and climb performance is as applied by the manufacturer for the given aircraft.
4. The moment at which the cutback made is compatible with the performance of a specific aircraft in the study and in line with manufacturer's standard operating procedures.
5. For noise predictions the profile end is assumed at 10 000 ft. For the CO₂ analysis the profile continues until the adapted start-of-cruise point.

Abbildung 5: Untersuchte Abflugverfahren in [5]

P1 und P2 sollen den Effekt der Änderung der Cutback-Höhe aufzeigen, P3 und P4 illustrieren den Effekt, den ein Verschieben des Cutbacks vom Anfang hin zum Ende des *Flap Retraction and Acceleration* Beschleunigungssegments mit sich bringt. Die ausgewählten Verfahren erlauben zusätzlich einen Vergleich zwischen NADP1- und NADP2-Verfahren.

Zur Auswertung wurden mit insgesamt acht Luftfahrzeugtypen verschiedene Vergleiche durchgeführt, um die Effekte der einzelnen Abflugverfahren sowie den Einfluss des Zeitpunktes und der Höhe der Durchführung des Cutbacks aufzuzeigen:

- Einfluss der Cutback-Höhe für das NADP1-Verfahren (Cutback-Höhe variiert von 800 Fuß bis 1.500 Fuß über Grund),
- Vergleich NADP1 zu NADP2 mit spätem Cutback,
- Einfluss des Zeitpunktes des Cutbacks für das NADP2-Verfahren.

Um auch den Einfluss des *Take-Off Thrust Settings* (Startschubeinstellung) und der Abflugmasse aufzuzeigen, wurde die Studie parallel für folgende zwei Fälle durchgeführt:

1. *Full Thrust Take-Off Setting* mit MTOM,
2. *Derated Take-Off Thrust Setting* bei limitierter Startmasse (10 % bis 12 % Schubreduktion).

Beim Vergleich der Verfahren P1 und P2 wurden sehr ähnliche Trends für die verschiedenen Luftfahrzeugtypen festgestellt: Das Herabsetzen der Cutback-Höhe von 1.500 Fuß auf 800 Fuß über Grund führt zu einer Lärminderung im Flughafennahbereich, was auf die verminderte Lärmgenerierung am Triebwerk zurückzuführen ist. Eine Lärminderung der Größenordnung 0,6 bis 5,3 dB(A) des $L_{A,max}$ ist hier typischerweise gegeben. In entfernteren Gebieten wird mit ca. 0,2 bis 2,0 dB(A) größerem Lärm gerechnet. Die Lage des sog. *Crossover-Punktes*, also jener Punkt, an dem ein Startverfahren vertikal das verglichene schneidet, variiert stark mit der Größe des Luftfahrzeuges und reicht von 1,9 NM für kleine Business Jets bis hin zu 4,1 NM für große Verkehrsflugzeuge.

Im Vergleich der Verfahren P1 und P3 werden die Unterschiede der NADP1- und NADP2-Verfahren aufgezeigt: Beim Abflugverfahren P3 wird der Cutback am Ende des Beschleunigungssegmentes mit Einfahren der Klappen durchgeführt. Hier zeigt sich eine bessere Steigleistung bei P1 bis zu 3.000 Fuß über Grund, dafür eine bessere Steigleistung bei P3 danach, also ab 3.000 Fuß über Grund. Hierdurch ergibt sich eine $L_{A,max}$ -Lärmreduktion bei P1 von 3,5 bis 8,1 dB(A) im Flughafennahbereich. Weiter entfernt wird der $L_{A,max}$ mit 0,2 bis 3,7 dB(A) hingegen weniger stark erhöht. Der *Crossover-Punkt* variiert zwischen 5,5 NM und 8,1 NM Entfernung (Businessjet: 3,3 NM) zum *Break-Release-Punkt* (Lösen der Bremsen zum Beginn des Startlaufs).

Beim Vergleich der Verfahren P1 und P4 mit Cutback am Anfang des Beschleunigungssegments fällt auf, dass das Vertikalprofil des Abflugverfahrens P4 weniger steil ist als jenes des P1. Hieraus resultiert für P1 im Vergleich zu P4 eine Lärminderung von 3,0 bis 7,0 dB(A) im Flughafennahbereich. In entfernteren Gebieten verringert sich bei P4 der $L_{A,max}$ jedoch um bis zu 2,6 dB(A). Der *Crossover-Punkt* liegt zwischen 7,8 und 11 NM entfernt zum *Break-Release-Punkt*.

Der Vergleich der NADP2-Verfahren P3 und P4, also der Unterschied zwischen Cutback am Anfang oder Ende des Beschleunigungssegments, zeigt, dass durch ein steileres Steigen bei P3 eine Reduktion des Lärms im Flughafennahbereich zu erreichen ist. Die Reduktion des $L_{A,max}$ reicht von 0,8 bis 5,5 dB(A) durch die reduzierte Lärmentstehung an den Triebwerken. Weiter entfernt wird eine Lärmsteigerung des $L_{A,max}$ von 0,4 bis 4,2 dB(A) verzeichnet. Der *Crossover-Punkt* liegt in ca. 2,4 NM bis 5,5 NM Entfernung zum *Break-Release-Punkt*.

Die durchgeführten Analysen zeigen im Ergebnis, dass erwartungskonform das NADP1-Verfahren Lärm im Flughafennahbereich verringert, das NADP2-Verfahren hingegen Potential zur Lärminderung in entfernteren Gebieten aufweist. Es wurde zudem festgestellt, dass die Unterschiede im Flughafennahbereich größer als im Fernbereich sind. Weiterhin hat die Höhe

des Cutbacks einen signifikanten Einfluss auf die Lärmentwicklung bei beiden NADP-Verfahren.

3.3.2 Departure Noise Mitigation am Flughafen London Heathrow

Motivation

Im Zuge des *Aviation Policy Framework*⁷ der britischen Regierung vom März 2013, vertreten durch das Department of Transport (DoT), wurde angekündigt, die seit dem Jahr 2000 an den Londoner Flughäfen, speziell am Flughafen London Heathrow (LHR) angewandten Lärmrestriktionen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Mit dieser Überprüfung sollte erreicht werden, die fortschreitende Entwicklung der Lärminderung durch angepasste Grenzwerte und Strafzahlungen bei Verstößen anzuregen, sowie das Potential verschiedener Faktoren wie Abflugverfahren, Massen Anpassungen oder Flottenstrukturen aufzuzeigen [6].

Im Zuge dieser Ankündigung wurde die *ANMAC Technical Working Group* unter Führung der CAA, bestehend aus Vertretern verschiedener Institutionen der Regierung sowie Flughäfen und Flugsicherung berufen, die derzeit angewandten Regulierungen zu überprüfen, sowie die angestrebten Ergebnisse eines „*Departure Noise Managements*“ aufzuzeigen, um Kriterien zu etablieren, unter welchen die erwarteten Ergebnisse erreichbar würden. Solche Ergebnisse könnten bspw. die Anregung zum Betreiben leiserer Fluggeräte oder die Verminderung unnötiger Lärmstehung durch Sanktionen sein. Gegebenenfalls sollten weitere oder alternative Ergebnisse diesen Kriterien hinzugefügt werden. Des Weiteren sollte eine systematische Analyse angefertigt werden, welche lärmindernden Verfahren generell angewandt werden, um zu verstehen, welchen Einfluss diese auf zu erwartende Ergebnisse haben können. Hierfür wurde analysiert, durch welche Verfahren eine Reduktion der Lärmgrenzen zu realisieren ist, ohne dabei die Anzahl der Überschreitung der Lärmgrenzen signifikant zu erhöhen. Zusätzlich wurde überprüft, ob die bisher einheitliche Anwendung der Lärmrestriktionen an den verschiedenen Flughäfen sinnvoll ist, oder ggf. individuell angepasst werden sollte [6].

Ausgangslage

Da am Flughafen London Heathrow nur wenige Flüge die Lärmrestriktionen verletzen, die sodann auch überwiegend mit älteren Fluggeräten wie B744, A342 und A343 durchgeführt wurden, wurde davon ausgegangen, dass bis zur kompletten Stilllegung der B744 ein Herabsetzen bzw. Verschärfen der Lärmrestriktionen wenig wirksam wäre. Jedoch wurde postuliert, dass andere Restriktionen wie bspw. Mindestüberflughöhen oder Mindeststeiggradienten Potential zur Lärminderung haben. Von den Luftverkehrsgesellschaften (LVG) wurde erwartet, dass sie im Sinne der Lärmreduktion operationelle Anpassungen wie

- unterschiedliche Abflugverfahren,
- Startmassenreduktion,
- Umsortieren der LFZ Typen innerhalb der existierenden Flotte (bspw. neuere, leisere Typen nachts), sowie
- generell den Einsatz leiserer LFZ-Muster

umsetzen können.

Zur Analyse der Lärmentwicklung standen fest installierte Lärmmessstationen zur Verfügung. Diese befinden sich in einem Bogen nahe eines festgelegten Referenzpunktes, 6,5 km entfernt vom Beginn des Startlaufes. 15 zusätzliche Messstationen zur Verifikation der Lärmreduktionen wurden entlang der untersuchten Abflugrouten installiert [6].

⁷ siehe [Aviation policy framework - GOV.UK \(www.gov.uk\)](http://www.gov.uk), ISBN 9780101858427

Zur näheren Untersuchung der Lärmentwicklung am Flughafen London Heathrow wurden zunächst Daten des aktuellen Zustandes an den betrachteten Flughäfen gesammelt. Hierfür wurden Flugprofile und -routen für Flüge seit 2011 über bestimmten Gebieten untersucht. Es wurde festgestellt, dass einige Flüge mehr in geringeren Höhen über den betrachteten Gebieten in ca. 11 km Abstand vom Aufrollen auf die Startbahn operierten als noch im Jahr 2011. Zum Beispiel wird für die *Detling*-Standard-Instrumenten-Abflugroute (SID) von der Start- und Landebahn (SLB) 09R festgestellt, dass die durchschnittlichen Überflughöhen um bis zu 300 Fuß geringer sind. Dies wird darauf zurückgeführt, dass zum einen der Anteil an größeren und schwereren LFZ-Mustern signifikant zugenommen hat und sich zum anderen die Auslastung der LFZ erhöhte, was aufgrund der damit höherer Abflugmassen zu flacheren Profilen führt. Zusätzlich wurden im Jahr 2013 weiter entfernte Ziele angefliegen als im Jahr 2011 und die Luftverkehrsgesellschaften (LVG) passten ihre Abflugverfahren zur Effizienzsteigerung zunehmend flacheren Profilen an. Dies wird als Schlüsselfaktor der *ANMAC Technical Working Group* zur Lärmoptimierung angesehen.

Da zudem der Anteil der Airbus-A380-Muster in diesem Zeitraum signifikant stieg und dieses LFZ nach Ausmusterung der Boeing B747-400 dann das lauteste in LHR operierende Muster sein wird, bezieht sich die Analyse der Lärmrestriktionen auf dieses Muster. Zusätzlich wurde nach der Analyse der Abflugprofile festgestellt, dass der A380 des Betreibers Emirates am LHR beide Abflugverfahren NADP1 und NADP2 anwendet. Dies eröffnet die Möglichkeit, die modellierten Ergebnisse bestmöglich zu validieren.

Durchführung

Zur Ermittlung des Potentials der Lärmreduktion durch Veränderungen in den angewandten Abflugverfahren wurden Szenarien entwickelt. Hierbei wurde der Fokus auf eine Änderung vom NADP2-Verfahren mit reduziertem Startschub als Ausgangssituation hin zu einem NADP1-Steilstartverfahren gesetzt. Erwartet wurde, dass der Maximalpegel aufgrund einer erhöhten Überflughöhe am Referenzpunkt, 6,5 km entfernt vom Aufrollpunkt, geringer sei. Zusätzlich wurden Szenarien mit maximalem Startschub, reduziertem Steigschub sowie Szenarien mit einem sogenannten Deep Cutback (minimale sichere Steigleistung) untersucht, um vielfältige Optionen zur Lärmreduktion zu berücksichtigen. Um auch andere häufig eingesetzte Flugzeugtypen zu untersuchen, wurden ähnliche, aber weniger umfängliche Studien mit dem Airbus A320, der Boeing B737-800 sowie der Boeing B777-300ER durchgeführt.

Diese unterschiedlichen Szenarien wurden in vier Fallstudien für den A380 sowie jeweils eine Fallstudie für die anderen angegebenen Luftfahrzeugmuster betrachtet [6].

Vor Beginn der Lärmmodellierung wurden mittels Daten aus der ANP-Datenbank Flugprofile der jeweiligen Fallstudien generiert und anhand detaillierter Analysen der tatsächlich geflogenen Flugprofile validiert. Auch das angewandte Lärmmodell, das *CAA Aircraft Noise Model*, wurde mit Messwerten aus den Flügen im Sommer 2017 und hinsichtlich SEL- und $L_{A,max}$ -Werten aus dem „*Heathrow Noise and Track Keeping System*“ validiert. Diese Validierung basiert auf einem Netz aus 15 Lärmmessstationen, die entlang der *Detling*-SID am LHR, zwischen 6,5 und 11 km vom Aufrollpunkt entfernt, platziert wurden. Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt die durchschnittlichen Flugprofile und Lärmesswerte entlang der *Detling*-SID:

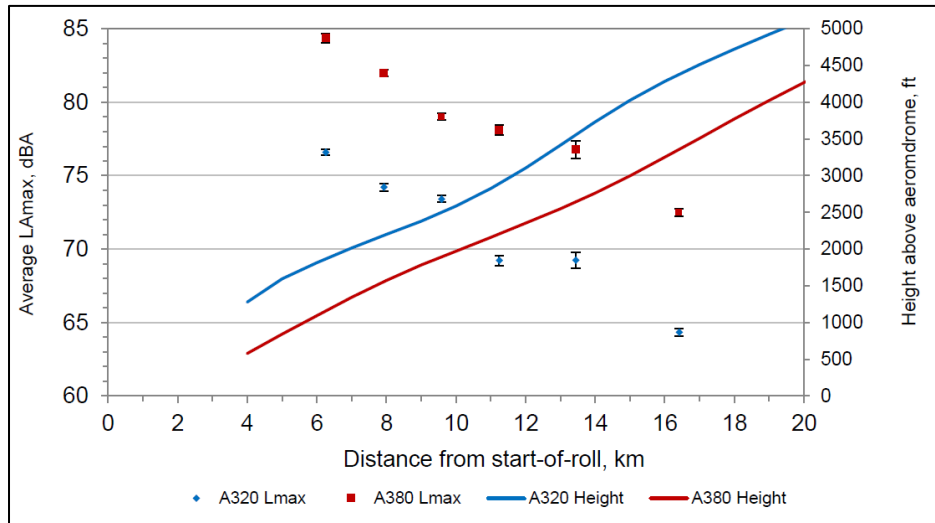


Abbildung 6: Durchschnittliche $L_{A,max}$ -Werte und Abflugprofile, Flughafen London Heathrow, Detling-SID, Sommer 2017 [6]

Eine identische Validierung wurde an den Flughäfen Stansted und Gatwick für die restlichen LFZ-Typen durchgeführt. Aus dieser Validierung wurden zur weiteren Verarbeitung Datensets von Emirates-A380-Flügen für die beiden Abflugverfahren NADP1 und NADP2 sowie Datensets des Singapore Airlines A380 und Malaysia Airlines A380 für das NADP2-Verfahren extrahiert.

Für den Airbus A380 wurden in London überwiegend das NADP2-Verfahren mit Cutback in 1.000 Fuß Höhe, sowie das NADP2-Verfahren mit Cutback in 1.500 Fuß Höhe angewandt. Daher wird in einer ersten Fallstudie das NADP2-Verfahren mit reduziertem Schub und Cutback in 1.000 Fuß als Betrachtungsgrundlage dem NADP1-Verfahren mit reduziertem Schub und Cutback in 1.000 Fuß Höhe gegenübergestellt (siehe Abbildung 7).

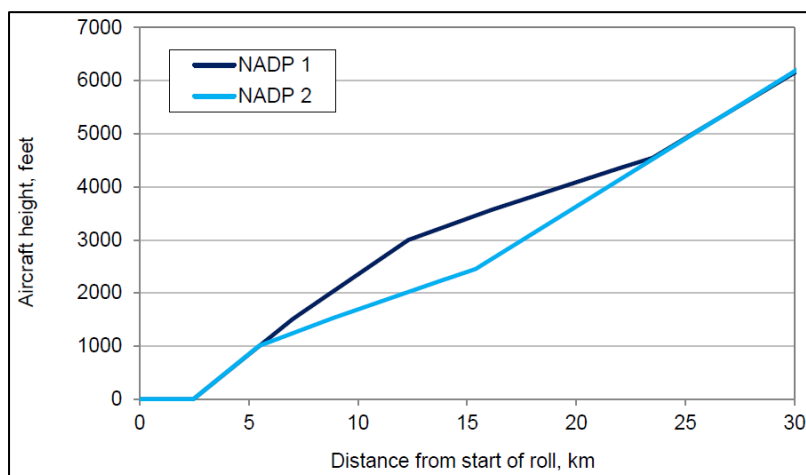


Abbildung 7: Höhenprofile für Fallstudie zu NADP1- und NADP2-Verfahren mit reduziertem Schub, Airbus A380 [6]

Wie Abbildung 7 zeigt, ist die Überflughöhe im Bereich von ca. 6 km bis 24 km Entfernung zum Aufrollpunkt um bis zu ca. 1.000 Fuß erhöht. Dies resultiert zu einem leichten Herabsetzen der $L_{A,max}$ -Werte unterhalb des Flugprofils, erhöht jedoch den SEL-Wert seitlich der Abflugstrecke, was auf eine längere Überflugdauer durch eine verringerte Fluggeschwindigkeit zurückzuführen ist, wie in nachfolgender Abbildung 8 für den A380 dargestellt:

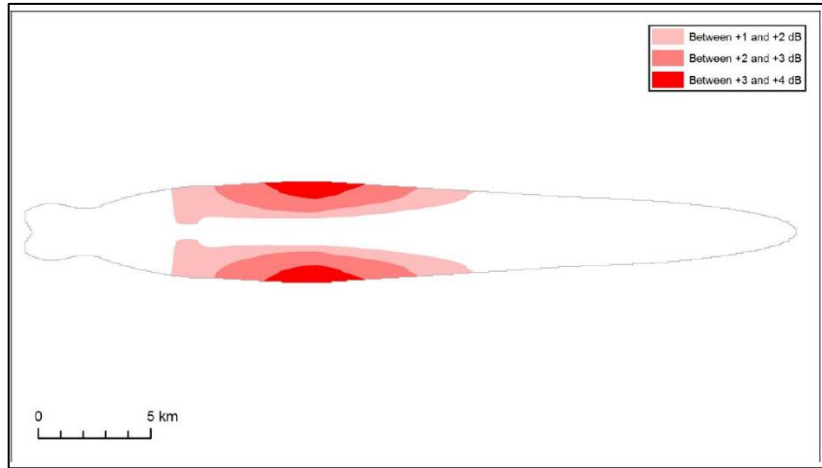


Abbildung 8: Abweichungen des SEL bei NADP1 mit reduziertem Schub, Airbus A380 [6]

In einer zweiten Fallstudie wird das grundlegende NADP2-Verfahren einem mit Deep Cutback auf 1.000 Fuß Höhe gegenübergestellt. Mit Anwendung des Deep Cutback ergibt sich eine Reduktion des $L_{A,max}$ um 2,8 dB im 6,5-km-Referenzpunkt. Jedoch werden in größerer Entfernung vom Aufrollpunkt signifikante Erhöhungen des $L_{A,max}$ festgestellt, was auf die verringerte Überflughöhe zurückzuführen ist. Abbildung 9 zeigt das resultierende Flugprofil:

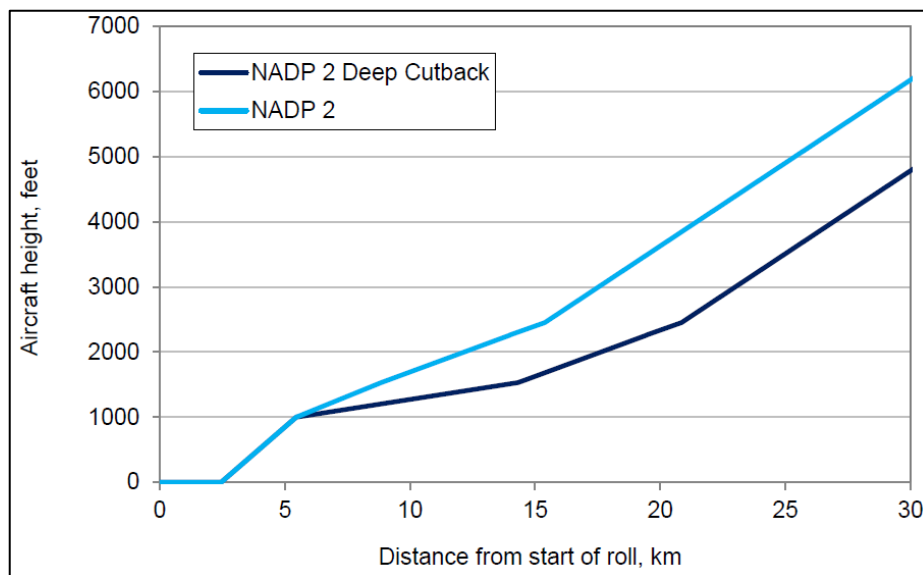


Abbildung 9: Höhenprofil für Fallstudie zu NADP2 mit reduziertem Schub vs. NADP2 Deep Cutback, Airbus A380 [6]

Die Reduktion im 6,5-km-Punkt ist auf die stark herabgesetzte Leistung der Triebwerke zurückzuführen, da die Überflughöhe nahezu identisch ist. Auch die Werte des SEL sind in einer Entfernung ab ca. 10 km durch die um ca. 1.000 Fuß verringerte Flughöhe wesentlich erhöht (siehe Abbildung 10).

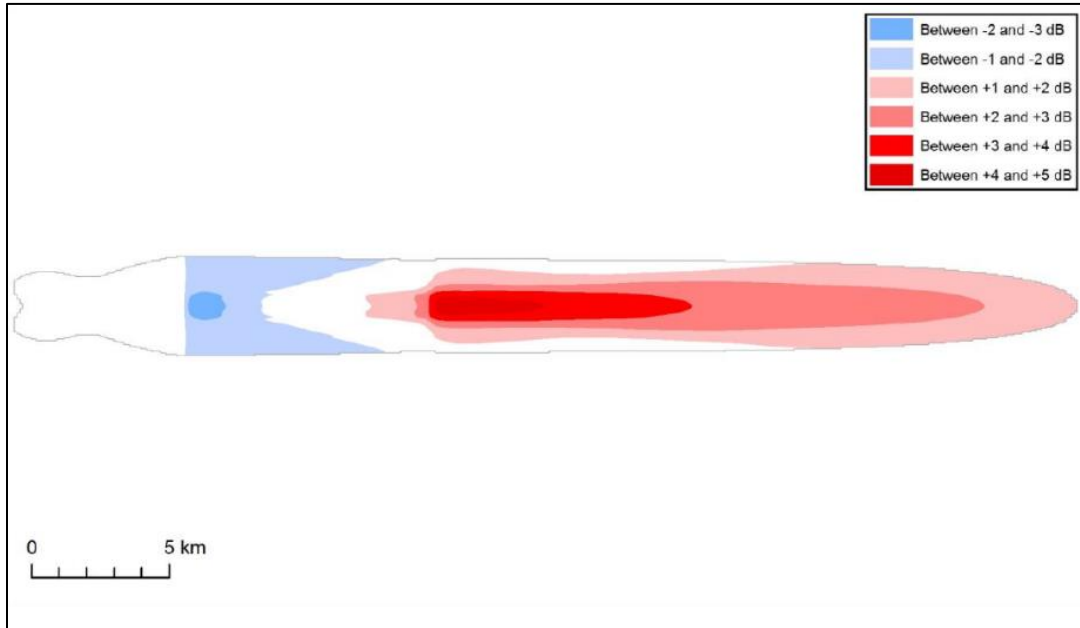


Abbildung 10: Abweichungen des SEL bei NADP2 mit Deep Cutback, Airbus A380 [6]

In der dritten und vierten Fallstudie wird das NADP2-Verfahren jeweils im Vergleich zu einem NADP2 mit voller Steigleistung betrachtet. In der dritten Fallstudie geschieht dies für eine Flugstrecke von 3.000 NM und in der vierten Fallstudie für eine Flugstrecke von 5.500 NM. Die resultierenden Flugprofile sind in Abbildung 11 gegenübergestellt. In beiden Fällen wird durch eine größere Überflughöhe im 6,5-km-Referenzpunkt eine leichte Minderung des $L_{A,max}$, jedoch erneut eine Erhöhung des SEL an den Seiten der Flugstrecke festgestellt (siehe Abbildung 12). Diese Erhöhung lässt sich in allen Fallstudien auf die unterschiedliche Ausbreitungscharakteristik von Schall in Abhängigkeit des Winkels zur Lärmquelle zurückführen.

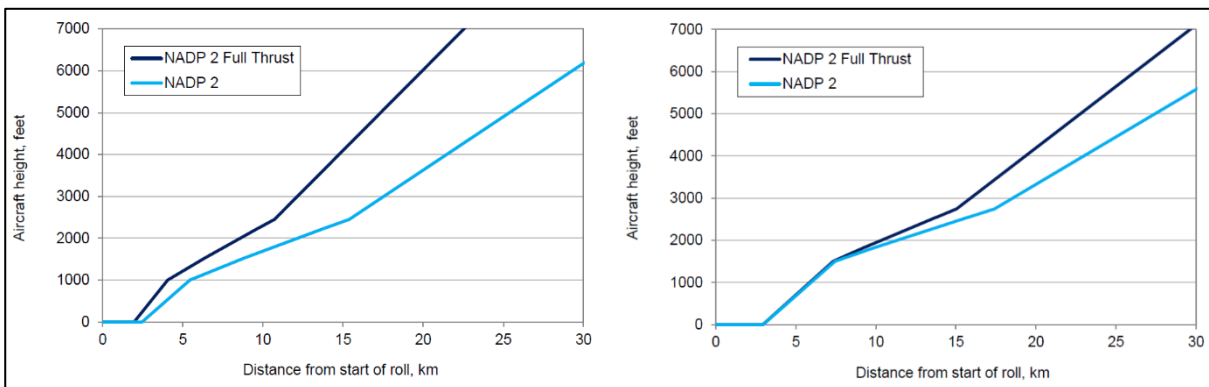


Abbildung 11: Höhenprofil für Fallstudie zu NADP2 mit reduziertem Schub vs. NADP2 mit vollem Schub (Full Thrust), Airbus A380 [6]

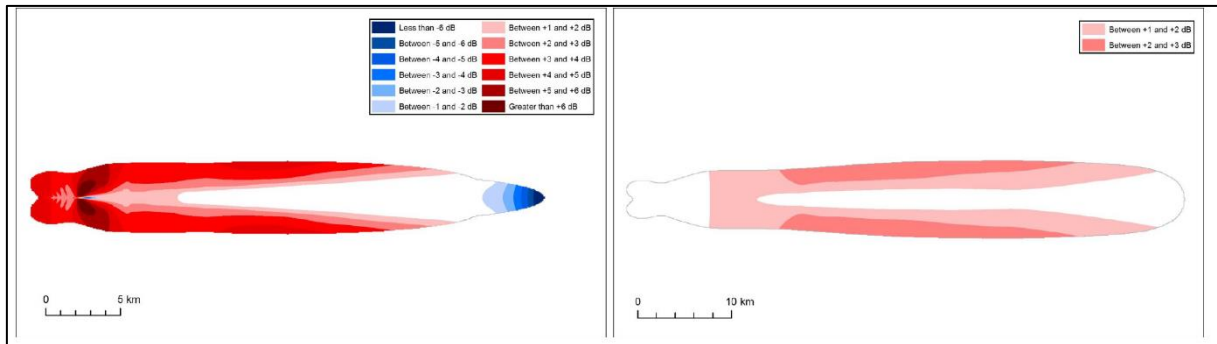


Abbildung 12: Abweichungen des SEL bei NADP2 mit reduziertem Schub vs. NADP2 mit vollem Schub (3.000 NM und 5.500 NM Flugstrecke), Airbus A380 [6]

Darüber hinaus wurden weitere Fallstudien zur Lärmwirkung der unterschiedlichen Abflugverfahren mit unterschiedlichen Cutback-Höhen und weiteren LFZ-Mustern (A320, B737, B777-300ER) durchgeführt, die jedoch keine abweichenden Erkenntnisse erbrachten.

Ergebnisse

In der Anpassung der Abflugverfahren liegt nach den Ergebnissen der Fallstudien nur wenig bis kein Potential zur Adaption der Lärmrestriktionen an den untersuchten Flughäfen. Es wurde festgestellt, dass kein NADP-Verfahren Lärm generell verringert. Lärm wird in der Regel nur verschoben. Zusätzlich wird aufgezeigt, dass das NADP1-Verfahren durchaus Potential hat, den gemessenen $L_{A,max}$ Wert durch vergrößerte Überflughöhen in steigender Entfernung zum Flughafen zu verringern. Bei der Betrachtung der SEL-Werte fällt auf, dass vermeintlich leisere, da steilere Verfahren, eher zu einer erhöhten Lärmbelastung (steigender SEL) trotz geringerer $L_{A,max}$ Werte führen, da das Lärmereignis durch langsamere Überflüge von längerer Dauer ist.

3.3.3 Abflugverfahren am Flughafen Düsseldorf

Motivation

Die Lufthansa wendet am Flughafen Düsseldorf (DUS) gemäß [7] das NADP2-Abflugverfahren an. Im September 2014 kündigte die Luftverkehrsgesellschaft (LVG) an, die bisher angewandte Cutback-Höhe von 1.500 Fuß auf 1.000 Fuß herabzusetzen. Seit der Umsetzung dieser Ankündigung empfinden vor allem die Anwohner nordwestlich des Flughafen Düsseldorf eine höhere Lärmbelastung. Im Jahr 2017 wurde sodann durch die Unabhängige Wählergemeinschaft (UWG) Meerbusch eine Forderung nach der verpflichtenden Anwendung des NADP1-Abflugverfahren formuliert, um die seinerzeitigen Überflughöhen anzuheben und damit die Lärmbelastung zu verringern.

Um die Beschwerden und Forderungen der Anwohner validieren zu können, führte der Flughafen Düsseldorf in den Jahren 2017 und 2018 eine Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Abflugverfahren auf die Lärmentwicklung durch.

Ausgangslage

Zur Untersuchung der Wirkung der verschiedenen Abflugverfahren am DUS wurden Messwerte der bereits installierten Lärmmessstationen in den An- und Abflugbereichen des Flughafens herangezogen. Diese befinden sich zwischen 3,5 und 15 km entfernt von der Startschwelle und überwiegend unterhalb der An- bzw. Abflugrouten. Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt die Lage der Messstationen:

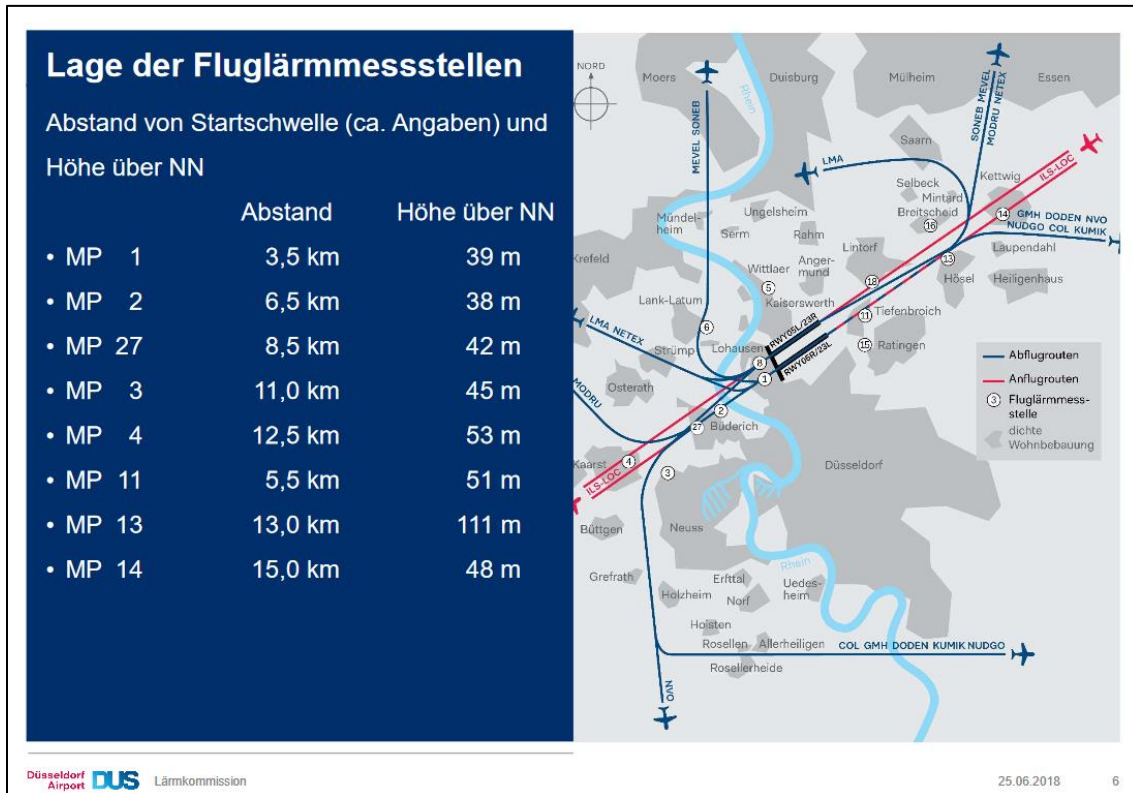


Abbildung 13: Lage der Fluglärmmessstationen am Flughafen Düsseldorf [7]

Nach Auswertung von Flugspuren und Befragung von Piloten wurden Air China (CCA) und Alitalia (AZA) als jene Flughafennutzer identifiziert, welche NADP1 am Flughafen Düsseldorf anwenden. Im Rahmen weiterführender Untersuchungen zum Einfluss der Abflugverfahren auf die Lärmentwicklung wurden zwei Fallstudien (Airbus A330 der LVG CCA, Lufthansa (LH) und Air Berlin (AB) auf Nordabflugrouten und A320 von Alitalia und Eurowings mit Destination Rom auf Südrouen) durchgeführt.

Durchführung

Zunächst wurden für die zweite Fallstudie zur Validierung der Messwerte an den einzelnen Messpunkten alle Flugprofile der Eurowings sowie der Alitalia mit Destination Rom (FCO) im Zeitraum 05/2017 bis 10/2017 aufgezeichnet und daraus ein mittleres Flugprofil für jedes Abflugverfahren erstellt (siehe Abbildung 14).

Zur Analyse der Lärmentwicklung wurden an den verschiedenen Messpunkten Lärmereignisse in Abhängigkeit von der Überflughöhe für die relevanten Flugereignisse der Fallstudien aufgezeichnet. Hierbei wurden sowohl $L_{A,max}$ - als auch $L_{A,eq}$ -Werte über die Überflughöhe indirekt in Abhängigkeit des angewandten Abflugverfahrens betrachtet.

Es handelt sich hierbei folglich nicht um eine Modellierung der Lärmereignisse, sondern um die Bewertung von Messergebnissen. Die Messergebnisse werden in Diagrammen zum Vergleich der verschiedenen Abflugverfahren hinsichtlich ihrer Lärmwirkung dargestellt.

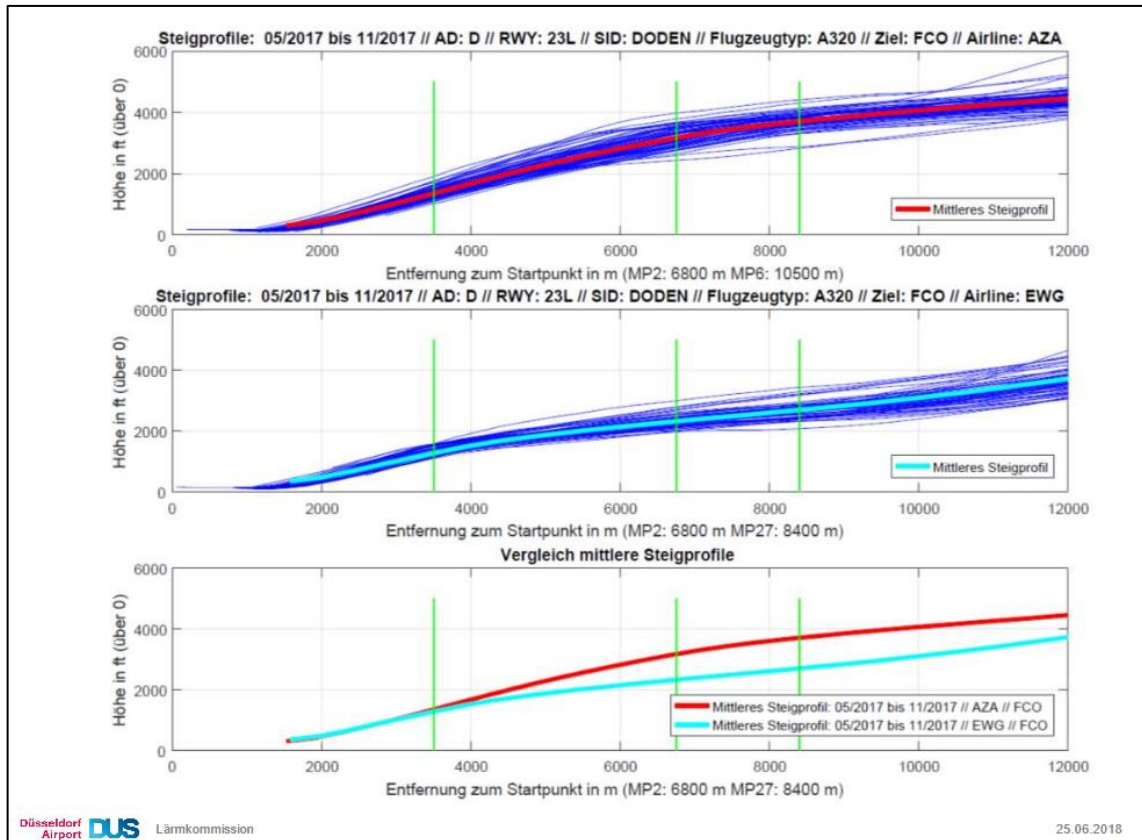


Abbildung 14: Erstellung der mittleren Steigprofile für DUS-FCO im Jahr 2017 [7]

Ergebnisse

Zwischen den unterschiedlichen Abflugverfahren NADP1 und NADP2 konnten gemäß [7] kaum Unterschiede festgestellt werden. Lediglich die LVG Air Berlin verursachte in der ersten Fallstudie durch die Anwendung leiserer Triebwerke geringere Lärmemissionen als Lufthansa und Air China.

Die Punktwolken, mit welchen die Lärmemissionen den einzelnen Überflughöhen zugeordnet wurden, weisen kaum Unterschiede trotz Abweichungen in der Überflughöhe auf. Weder in Flughafennähe (Messpunkt - MP1 gemäß Abbildung 13) noch in Flughafenferne (MP13) konnten signifikante Verbesserungen durch die Anwendung von NADP1 festgestellt werden.

Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt beispielhaft den Vergleich der Abflugverfahren des A320 im Flughafennahbereich (MP1). Die oberen Diagramme zeigen die $L_{A,max}$ und $L_{A,eq}$ Pegel für NADP2, die unteren stellen die $L_{A,max}$ und $L_{A,eq}$ Werte für NADP1 dar.

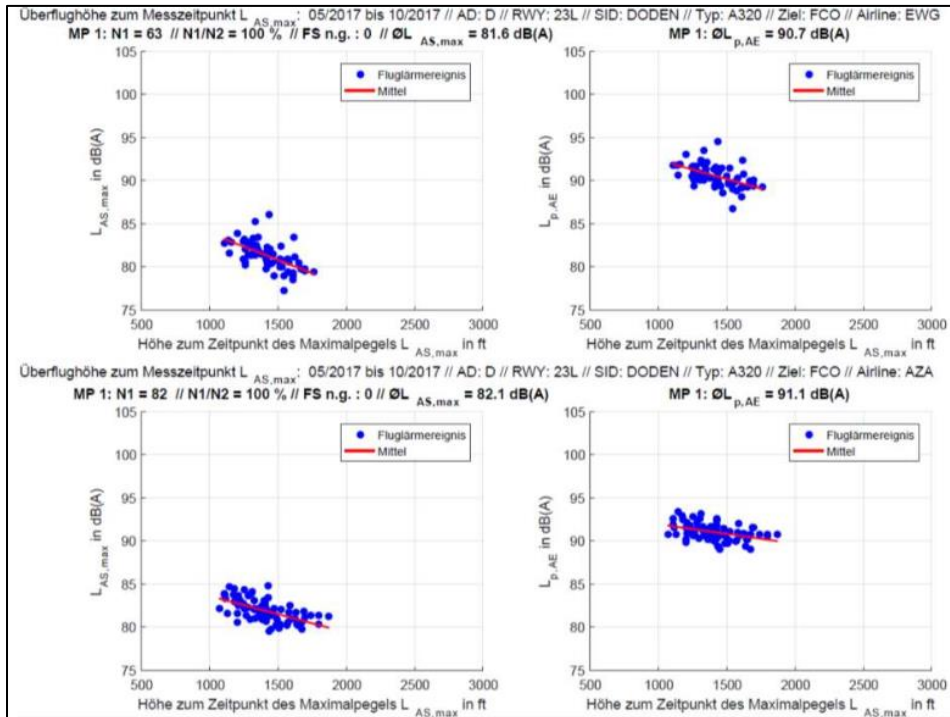


Abbildung 15: Vergleich NADP1 und NADP2, Airbus A320, MP1 Flughafen DUS [7]

In Abbildung 15 ist zwar zu erkennen, dass der $L_{A,max}$ durch Anwendung des NADP1 im Durchschnitt um 1,1 dB(A) geringer ausfällt, der $L_{A,eq}$ jedoch mit 0,1 dB(A) Differenz nahezu gleich bleibt.

Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt analog die Messergebnisse in weiterer Entfernung zur Startschwelle am MP13. Auch hier kann eine leichte Verbesserung des $L_{A,max}$ festgestellt werden, jedoch bleibt ebenfalls der $L_{A,eq}$ im Durchschnitt nahezu unverändert.

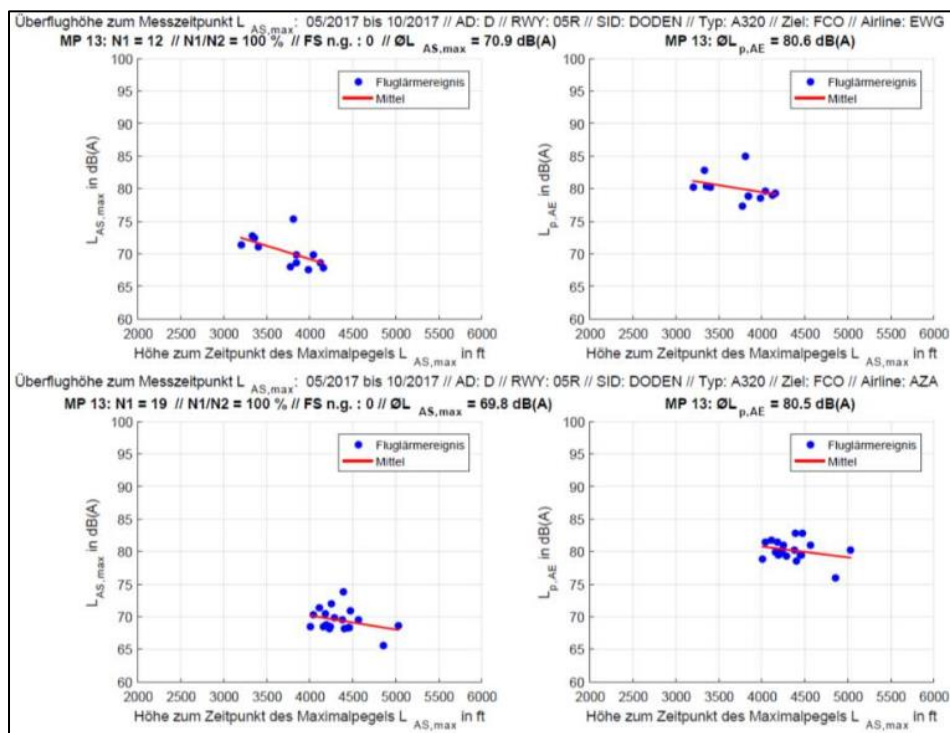


Abbildung 16: Vergleich NADP1 und NADP2, Airbus A320, MP13, Flughafen DUS [7]

Schlussfolgernd wird in [7] festgestellt, dass in den unterschiedlichen Verfahren im unmittelbaren Nahbereich des Flughafens keinerlei Unterschiede in der Lärmauswirkung resultieren. Im Bereich von 5-10 km Entfernung zur Startschwelle erzeugt das NADP1-Verfahren niedrigere Maximalpegel, sowie geringere Beiträge zum äquivalenten Dauerschallpegel. Ab Entfernungen von 10 km gleichen sich die Maximalpegel der beiden Verfahren an, wobei im NADP2-Verfahren die Beiträge zum äquivalenten Dauerschallpegel tendenziell etwas geringer sind.

3.3.4 Postflüge am Flughafen Berlin-Tegel

Motivation

Am Flughafen Berlin-Tegel wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der TU Berlin [8] Optimierungspotenzial in der Lärmbelastung festgestellt. Dies äußert sich hauptsächlich in der hohen nächtlichen Lärmsensitivität der Bevölkerung. Zusätzlich geben die geringe Verkehrslast zu dieser Zeit sowie die geringe Gesamtlärmbelastung eine genaue Möglichkeit der Validierung der verschiedenen Abflugverfahren.

Da bereits vor der Durchführung der Studie festgestellt wurde, dass eine Lärminderung nur bedingt möglich ist, wurde in dieser Untersuchung der Fokus auf eine Umverteilung der Lärmbelastung gelegt [8].

Ausgangslage

Mit der ausschließlichen Betrachtung der werktäglichen Postflüge der Germanwings/Eurowings aus Berlin Tegel nach Stuttgart um 00:20 Uhr im Zeitraum August 2016 bis Mai 2017 wurde Vergleichbarkeit erzeugt, da es sich stets um ein isoliertes (kein weiterer Linienverkehr um diese Uhrzeit) Lärmereignis handelt, welches regelmäßig unter konstanten Voraussetzungen stattfindet. Zur Auswertung der Flugprofile wurden FANOMOS-Daten zur Betrachtung lateraler und vertikaler Flugverläufe herangezogen. Zusätzlich konnten durch eine Kooperation mit der LVG Eurowings reale vertikale Abflugverfahren erprobt werden. Eine Korrelation bzw. Validierung von nach ECAC Doc. 29 Vol. 2 berechneten $L_{A,max}$ wurde anhand der Messdaten der Flughafengesellschaft FBB durchgeführt.

Durchführung

Zur Optimierung der Lärmentwicklung im Abflug der Postflüge nach Stuttgart wurden verschiedene Szenarien modelliert:

- Cutback auf 1.000 Fuß Höhe
- Beschleunigung auf 1.000 / 2.000 / 3.000 Fuß Höhe, sowie
- Kontinuierliches Steigen bis 5.000 Fuß Höhe mit konstanter Geschwindigkeit.

Zunächst wurden die Profile dieser Szenarien für Einzelflüge gemäß ECAC Doc. 29 modelliert. Die Lärmberechnung erfolgte sodann mit dem *Aviation Environmental Design Tool* (AEDT 2d) für den Airbus A319-112 unter ISA-Bedingungen. Zusätzlich wurde die Demografie im Flughafennahbereich zur Ermittlung der Lärmbetroffenheit berücksichtigt.

Die resultierenden $L_{A,max}$ -Lärmkonturen der o.g. Abflugverfahren sind in nachfolgender Abbildung 17 dargestellt:

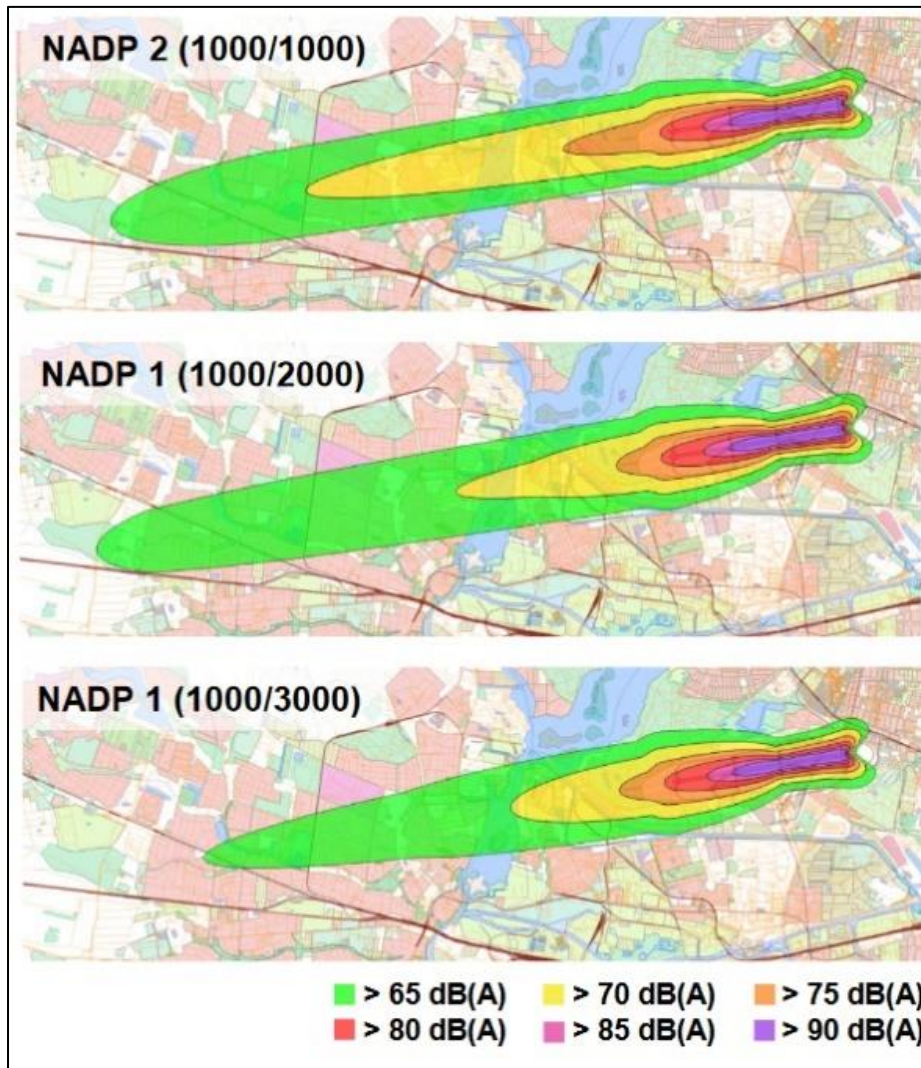


Abbildung 17: $L_{A,max}$ für unterschiedliche NADP1/2-Verfahren, Flughafen Berlin Tegel, Airbus A319 [8]

Wie in Abbildung 17 zu sehen, resultieren für die NADP1 Verfahren erwartungsgemäß kürzere, aber auch leicht breitere Konturen gegenüber jene für das NADP2 Verfahren.

Zur Validierung der modellierten Flugprofile und der berechneten Lärmbelastung wurden reale Messergebnisse aus 15 Testflügen herangezogen. Hierbei wurde festgestellt, dass der Einfluss der meteorologischen Umgebungsbedingungen sehr groß ist. Daher wurde bei den Testflügen der Einfluss des Windes und der Temperatur korrigiert, um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit mit den Modellergebnissen zu erzeugen.

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Flugspuren der Testflüge im Vergleich zu Flugprofilen, extrahiert aus der FANOMOS-Datenbank.

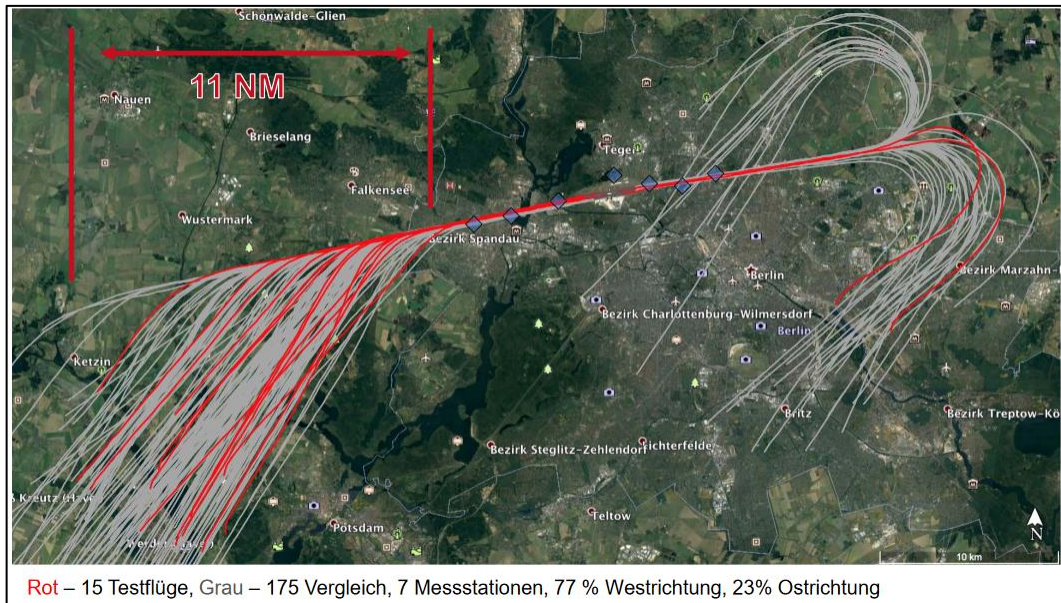


Abbildung 18: Horizontalprofile aus Testflügen und Fanomos-Aufzeichnungen, Flughafen Berlin Tegel [8]

Die Lärmemissionswerte wurden an sieben Messstationen entlang der Abfluggrundlinie im Bereich von ca. 2,0 bis 5,0 NM Entfernung zum Aufrollpunkt ermittelt. Während der Versuchsflüge wurden alle oben genannten Szenarien angewandt.

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt die einzelnen Profile der verschiedenen Abflugverfahren:

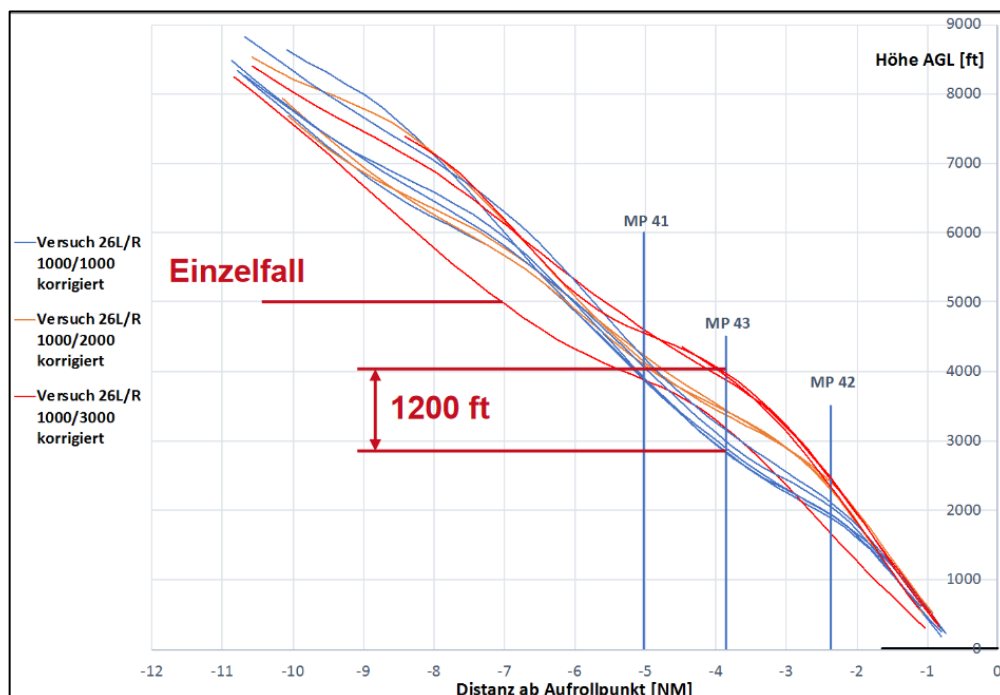


Abbildung 19: Vertikalprofile der Versuchsflüge [8]

Ergebnisse

Anhand der modellierten Versuchsergebnisse in einem Vergleich der 70-dB(A)-L_{A,max}-Lärmkonturen konnte festgestellt werden, dass die erzeugte Lärmbelastung in ca. fünf nautischen Meilen Entfernung zum Aufrollpunkt durch die Anwendung eines NADP1-

(1000/3000)-Verfahrens um bis zu vier dB(A) gegenüber eines NADP2-(1000/1000)-Standardverfahrens verringert ist [8]. Dies ist in nachfolgender Abbildung 20 dargestellt:

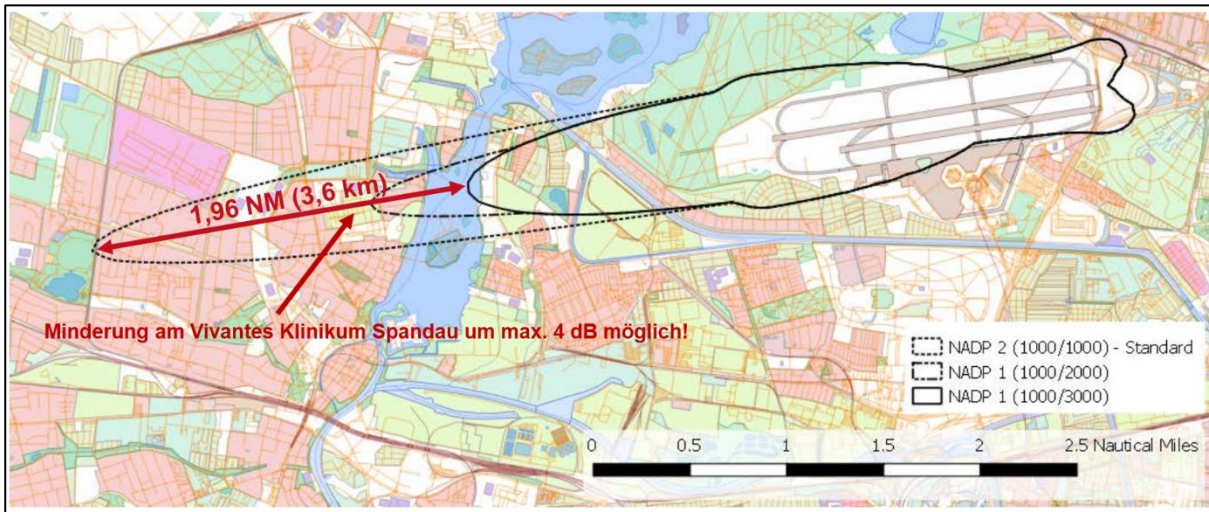


Abbildung 20: Vergleich der 70-dB(A)- L_{Amax} -Konturen [8]

Diese Verbesserung der Lärmbelastung wird anhand der Profile der Versuchsflüge, auf die um bis zu 1.200 Fuß gesteigerte Überflughöhe zurückgeführt. Ab ca. 5.000 Fuß Höhe weisen die Profile einen ähnlichen Verlauf auf. Jedoch wird in dieser Analyse keinerlei Betrachtung der SEL- oder $L_{A,eq}$ -Werte durchgeführt, was zu einem abweichenden Bewertungen der Lärmempfindung der Bevölkerung führen könnte.

3.3.5 FBB Fluglärmbericht 2017

Nach einer Expansion des Flugangebotes am Flughafen Berlin Schönefeld wendet die LVG Ryanair zum Ausgleich der erzeugten Lärmerhöhung das NADP1-Abflugverfahren an. Hierbei wurde eine Lärminderung erwartet, welche, bedingt durch die Herabsetzung der Cutback-Höhe sowie die Beibehaltung der Fluggeschwindigkeit, aus einer Erhöhung der Überflughöhe resultiert. Die FBB begleitete die Anpassung der Abflugverfahren durch die Auswertung von Messdaten. Hierbei wurde festgestellt, dass im Vergleich zu anderen LVG mit gleichem LFZ-Typ (Boeing B737-800) eine Reduktion des $L_{A,max}$ um bis zu drei dB(A) erreicht werden kann. Dies konnte jedoch nicht eindeutig auf das Abflugverfahren zurückgeführt werden, da bspw. der Einfluss der Startmasse nicht berücksichtigt wurde [9]. Zudem fand keine Validierung der Flugprofile statt, welche die Erkenntnisse gestützt hätten.

Im April 2017 schloss sich die LVG Easyjet dem Projekt an. Die FBB verglich daraufhin die Fluglärmesswerte von April bis Dezember 2016 vor Einführung des NADP1 mit Werten aus dem gleichen Zeitraum im Jahr 2017 nach Einführung des NADP1. Hierbei konnte eine Reduktion der $L_{A,max}$ -Lärmemissionen um bis zu 2,2 dB(A) festgestellt werden (siehe Abbildung 21, Messpunkt 11). Jedoch war auch hier eine Erhöhung der Messwerte seitlich versetzt zur Abfluggrundlinie beobachtet worden (bspw. Messpunkt 13 in Abbildung 21).

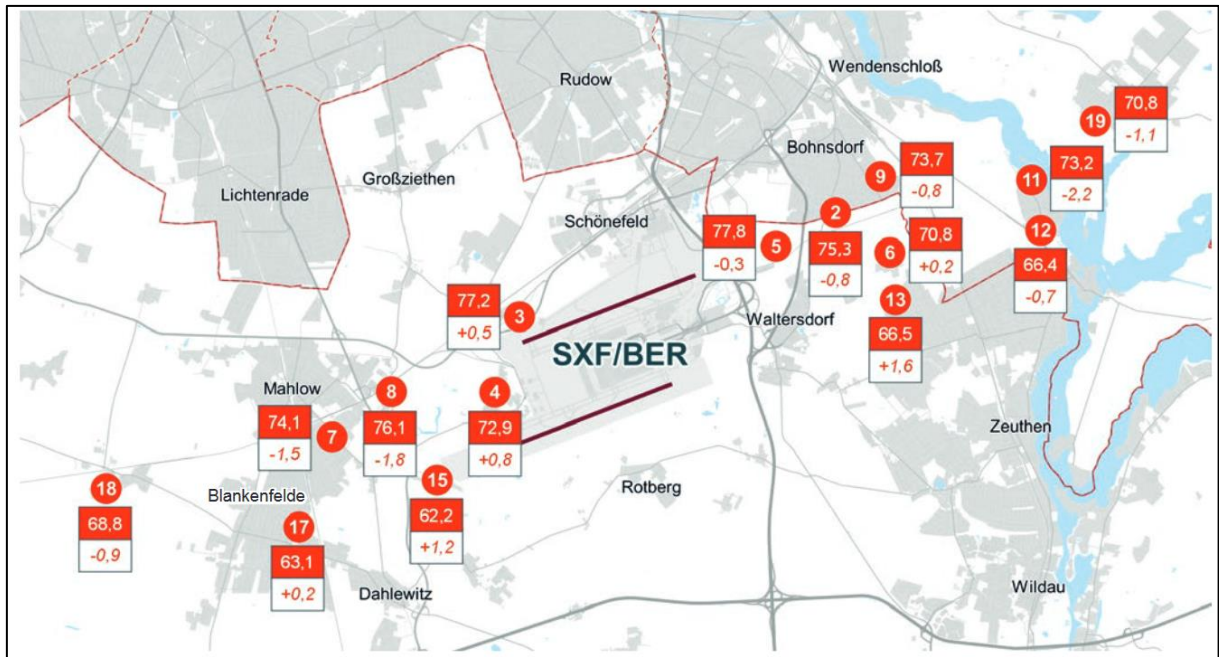


Abbildung 21: Vergleich der Messwerte vor/ nach Einführung NADP1, Boeing B737-800, Flughafen Berlin Schönefeld [9]

Im Rahmen von [9] wurde weiterführend beobachtet, dass die Verwendung von neueren Fluggeräten einen wesentlich größeren Einfluss auf die Entwicklung der Lärmemissionen als der Verfahrenswechsel aufzeigt. Als Beispiel wird hier das Ersetzen der recht alten Avro RJ100 durch neuere Muster der C-Series durch die LVG SWISS genannt. Hierdurch konnte rechnerisch eine Reduktion der $L_{A,max}$ -Pegel um bis zu fünf dB(A), eine etwaige Halbierung der Lärmkonturen und eine Reduktion der belasteten Bevölkerung um etwa zwei Drittel erreicht werden.

3.4 Weitere Studien zur Lärmwirkung unterschiedlicher Abflugverfahren

Weitere Studien betrachten ebenfalls die Wirkung verschiedener Abflugverfahren hinsichtlich ihrer Lärmentwicklung im Flughafenumfeld. Trotz der weniger umfänglichen Analyse der Lärmemissionen wird auch hier überwiegend festgestellt, dass durch die Abänderung der Abflugverfahren nur wenig Spielraum in der Lärmoptimierung vorhanden ist.

3.4.1 Alternative Abflugverfahren zur Lärminderung, Atlanta Airport

Wie in Abbildung 22 und Abbildung 23 zu erkennen, stellt das *Georgia Institute of Technology* in der Studie „*Alternate Departure Procedures for Takeoff Noise Mitigation at Atlanta Hartsfield-Jackson International Airport*“ [10] fest, dass der Fluglärm in der Regel nicht vermieden, jedoch aber verschoben werden kann. Mehr Potential zur Lärminderung wird dem eingesetzten Fluggerät zugesagt.

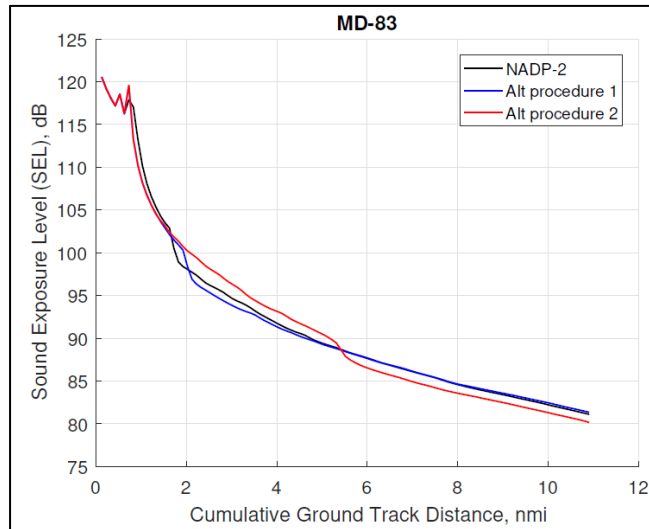


Abbildung 22: SEL untersuchter Abflugverfahren, MD-83, Flughafen ATL [10]

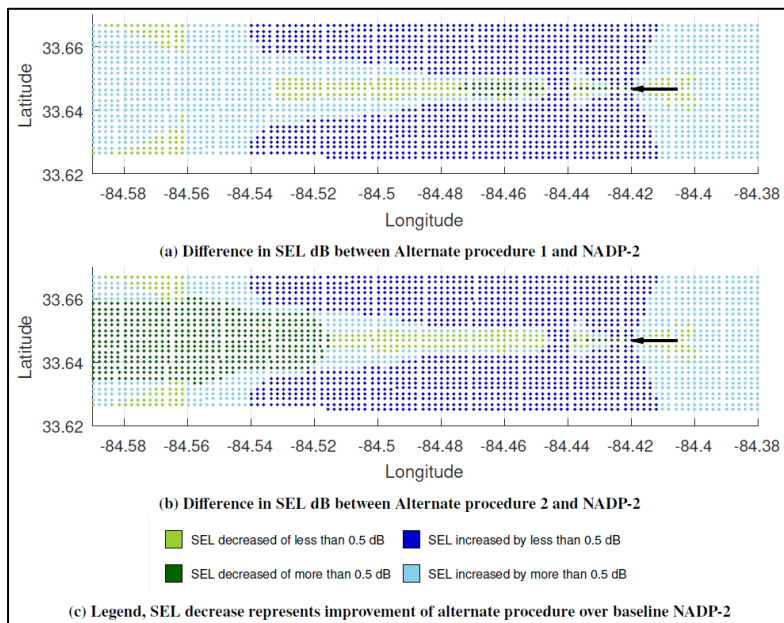


Abbildung 23: SEL-Lärmteppich, MD-83, Flughafen ATL [10]

3.4.2 Lärminderung durch Wechsel NADP1/NADP2, Amsterdam Schiphol

Eine weitere Studie [11], durchgeführt in Amsterdam, versucht eine Lärminderung durch einen inversen Wechsel von NADP1 zu NADP2 zu erreichen. Zusätzlich wird sich dadurch eine Reduktion des Treibstoffverbrauches um bis zu 4 % erhofft. Es wird festgestellt, dass andere Faktoren wie die Lage der SIDs und die betroffene Bevölkerungsstruktur im Einzelfall herangezogen werden müssen, um eine Verbesserung der Lärmbelastung in der spezifischen Situation zu erreichen. Auch hier kann kein Verfahren genannt werden, welches generell Verbesserungen erzeugt.

3.4.3 Modelle und Daten zur Entwicklung von aktiven Schallschutzmaßnahmen im Luftverkehr (MODAL)

Der Verbund MODAL führte in den Jahren 2012-2015 Arbeiten zu verschiedenen Einzelaspekten von Fluglärm durch [12], auszugsweise die Identifikation wesentlicher Lärmquellen der B747-400 einschließlich Klappen und Triebwerkslärm mit Fokus auf

Nachrüstungsoptionen und Ertüchtigung von Simulationstools zur Erfassung möglicher Lärmwirkungen dieser Maßnahmen. Im Weiteren stand der Fokus auf der Erzeugung einer Datenbasis für neue Fluglärmrechnungen in Bezug auf die Anforderungen nach der seinerzeit in der Entstehung befindlichen DIN 45689⁸ „Berechnung von Schallimmissionen in der Umgebung von Flugplätzen“. Diese Arbeiten führten sodann auch zu ersten Anwendungen der o.g. DIN zur Analyse und Bewertung der Wirkung von verschiedenen Lärminderungsmaßnahmen an Flughäfen mit komplexer Verkehrsstruktur. In Bezug auf die vorliegende Studie befasst sich der Verbund auch mit den Verfahren NADP1 und NADP2 und deren weiterführende Konzepte speziell durch die Deutsche Lufthansa (DLH) am Flughafen Frankfurt/Main. Diese wurden wie folgt zusammengefasst:

ICAO-A (AIP1)	ICAO-B	NADP1	NADP2	MOD-ATA	
				DLH al (AIP2)	DLH neu
at 1500 ft climb power at 3000 ft accelerate flaps clean accelerate to 250 kt	at 1000 ft accelerate flaps clean climb power accelerate to 250 k	at 800 ft climb power at 3000 ft accelerate flaps clean accelerate to 250 kt	at 800 ft takeoff power accelerate flaps clean climb power accelerate to 250 kt	at 1500 ft climb power. accelerate flaps clean accelerate to 250 kt	at 1000 ft climb power. accelerate flaps clean accelerate to 250 kt

Tabelle 1: Prozeduraler Ablauf bestehender Verfahren, MODAL-Analyse, aus [12]

Es erfolgte eine Abfrage von über 30 in Frankfurt operierenden LVG zu den jeweilig angewandten Abflugverfahren, aus denen auch seinerzeit (im Jahr 2012) keine eindeutige Aussage zur Anwendung lärmmindernder Verfahren ableitbar war.

Das Projekt MODAL, das im Rahmen des nationalen Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo) durchgeführt wurde, beschäftigte sich in analoger Tiefe auch mit lärmmindernden Anflugverfahren. Im Ergebnis wurde ein erster Einsatz von neu definierten AzB-Daten durch verschiedene Flughäfen – in Ergänzung zu Frankfurt/Main – durchgeführt und Vergleiche zu Messwerten und der Original AzB angestellt.

3.4.4 Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm, UBA

Ausgehend vom Fluglärmgesetz, das die Festsetzung von Lärmschutzbereichen (LSB) an zivilen und militärischen Flugplätzen u.a. auf Basis der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)“ von 2008 vorsieht, beschäftigte sich diese vom UBA beauftragte Studie [13] mit flugbetrieblichen Neuerungen in Bezug auf neue LFZ-Muster, der Stilllegung älterer Baumuster und neuen Flugverfahren, da die aktuelle Fassung den heutigen Flugbetrieb nur noch bedingt abbilden kann. Die Studie soll so ebenfalls der Fortentwicklung der AzB-Datenbasis dienen. Die im Projekt gewonnene Datenstruktur, die sich an Arbeiten des Unterausschusses „Fluggeräusche“ des DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) orientiert (DIN 45689), wird als Nachfolgekandidat der AzB-2008 und zugehöriger AzD gesehen. Um die Wirkungen der im Projekt erzeugten Datenbank operationell beurteilen zu können, wurden charakteristische Flugbetriebszenarien generiert und auf diese Berechnungen sowohl nach AzB-2008 als auch DIN 45689 durchgeführt.

⁸ Siehe z.B. [DIN 45689-1 - 2020-11 - Beuth.de](https://www.beuth.de/de/din/45689-1-2020-11)

3.5 Fazit der Recherche

Nach vorliegender Analyse aktueller Projekte zur Untersuchung des Lärminderungspotentials von Abflugprozeduren zeigt sich, dass kein Verfahren konkret identifiziert werden kann, das Lärmmissionen universell minimiert. Die Ergebnisse der einzelnen Studien weisen je nach Herangehensweise vielmehr deutliche Unterschiede auf. Die Ausgangslage zur Lärmoptimierung wird in den Studien teils gegensätzlich angegangen (NADP1 versus NADP2), wie z.B. die Studie zu Amsterdam-Schiphol [11] zeigt. Hieraus lässt sich ein nur marginaler Spielraum in der Minimierung und eine starke Abhängigkeit zu den jeweils gegebenen Umgebungsfaktoren vor Ort ableiten.

In einem Großteil der Studien wird allerdings weitestgehend festgestellt, dass einzelne Lärmereignisse durch die Anwendung des NADP1-Verfahrens im Maximalpegel leiser sind. Jedoch wird dieser Vorteil dadurch konterkariert, dass durch die längere Überflugdauer, bedingt durch geringere Geschwindigkeiten, das Lärmereignis länger anhält und in Folge die SEL-Werte erhöht werden. Zusätzlich wird der Lärm durch eine angehobene Überflughöhe seitlich des Flugpfades weiter gestreut. Je nach Bevölkerungsstruktur können dadurch Anwohner zusätzlich von Fluglärm betroffen werden.

Mehr Potential im Sinne der Lärmoptimierung kann prinzipiell der Lage der Abfluggrundlinien zugesprochen werden, sofern die geographischen Gegebenheiten dies zulassen. Außerdem ist die gegebene Flottenstruktur maßgebend: Je moderner die eingesetzten LFZ-Typen sind, desto weniger Lärm ist im Flughafenumfeld zu erwarten [6].

Es wird geschlussfolgert, dass jeweils der Einzelfall zu untersuchen ist: Ob in Abhängigkeit der Verkehrs- und Bevölkerungsstruktur des einzelnen Flughafens bestimmte Verfahren Vor- oder Nachteile hinsichtlich ihrer Lärmentwicklung generieren, kann nicht universell beantwortet werden.

4 Eingangswdaten und Randbedingungen

4.1 Abflugverfahren/Szenarien

Für die Bestimmung der Fixpunktprofile sind vielzählige Eingangsdaten erforderlich, die in Abstimmung mit dem AG festgelegt wurden. Dies umfasst zunächst die zu untersuchenden Abflugverfahren. Auftragsgemäß werden die Fixpunktprofile für die lärmindernden Abflugverfahren der ICAO (NADP1 und NADP2) mit folgenden Profileckpunkten ermittelt:

- NADP1 mit Schubrücknahme in 1.500 Fuß und Aufnahme der Beschleunigung in 3000 Fuß (nachfolgend als „**NADP1**“ bezeichnet)
- NADP2 mit Schubrücknahme in 1.000 Fuß und sofortiger Aufnahme der Beschleunigung (nachfolgend als „**NADP2-10**“ bezeichnet) und
- NADP2 mit Schubrücknahme in 1.500 Fuß und sofortiger Aufnahme der Beschleunigung (nachfolgend als „**NADP2-15**“ bezeichnet)

Weiterhin werden zwei unterschiedliche Geschwindigkeitsszenarien in Bezug auf die maximale Geschwindigkeit im Abflug untersucht:

- Geschwindigkeitsszenario 1: begrenzt auf 220 kt CAS
- Geschwindigkeitsszenario 2: unbegrenzt

Die Szenarien mit unlimitierter Geschwindigkeit sind nachfolgend stets mit dem Zusatz „-UNL“ versehen (z.B. „NADP1-UNL“), um Differenzierbarkeit zu gewährleisten. Nachfolgend sind die prozeduralen Profilbeschreibungen für alle Szenarien aufgeführt:

Abflugverfahren mit auf 220 kt begrenzter Fluggeschwindigkeit

Im Detail ergibt sich die prozedurale Profilbeschreibung für das **NADP1** mit limitierter Abfluggeschwindigkeit wie in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt:

Nr	Name	Typ	Cutback	Flap Setting	Thrust Rating	End Condition Value	Bank Angle
1.	Take Off	TO	0.	5.	MaxTakeoff	v2+15	0.
2.	Climb to 1500 ft	CS	0.	5.	MaxTakeoff	1500.	0.
3.	Climb to 3000 ft	CS	1.	5.	MaxClimb	3000.	0.
4.	Accel. to Flaps 1 Speed	ACC	0.	5.	MaxClimb	F1	0.
5.	Accel. to Flaps 0 Speed	ACC	0.	1.	MaxClimb	F0	0.
6.	Accelerate to 220 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	220.	0.
7.	Climb to 10000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	10 000.	0.
8.	Climb to 15000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	15 000.	0.

Tabelle 2: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP1-Verfahrens

Die prozedurale Profilbeschreibung für das Abflugverfahren mit begrenzter Fluggeschwindigkeit **NADP2-10** ergibt sich wie folgt (Fokus auf Zeile 2):

Nr	Name	Typ	Cutback	Flap Setting	Thrust Rating	End Condition Value	Bank Angle
1.	Take Off	TO	0.	5.	MaxTakeoff	v2+15	0.
2.	Climb to 1000 ft	CS	0.	5.	MaxTakeoff	1000.	0.
3.	Accel. to Flaps 1 Speed	ACC	1.	5.	MaxClimb	F1	0.
4.	Accel. to Flaps 0 Speed	ACC	0.	1.	MaxClimb	F0	0.
5.	Accelerate to 220 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	220.	0.
6.	Climb to 10000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	10000.	0.
7.	Climb to 15000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	15000.	0.

Tabelle 3: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-10-Verfahrens

Die prozedurale Profilbeschreibung für das Abflugverfahren mit begrenzter Fluggeschwindigkeit **NADP2-15** ergibt sich wie folgt (Fokus auf Zeile 2):

Nr	Name	Typ	Cutback	Flap Setting	Thrust Rating	End Condition Value	Bank Angle
1.	Take Off	TO	0.	5.	MaxTakeoff	v2+15	0.
2.	Climb to 1500 ft	CS	0.	5.	MaxTakeoff	1500.	0.
3.	Accel. to Flaps 1 Speed	ACC	1.	5.	MaxClimb	F1	0.
4.	Accel. to Flaps 0 Speed	ACC	0.	1.	MaxClimb	F0	0.
5.	Accelerate to 220 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	220.	0.
6.	Climb to 10000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	10000.	0.
7.	Climb to 15000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	15000.	0.

Tabelle 4: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-15-Verfahrens

Abflugverfahren ohne Begrenzung der Fluggeschwindigkeit

Da der ECAC-Doc.-29-Berechnungsalgorithmus stets eine Zielgeschwindigkeit für Beschleunigungssegmente benötigt, ist keine direkte Berechnung des Profils mit unbegrenzter Beschleunigung möglich. Ersatzweise wurde daher das unlimitierte Beschleunigen über insgesamt 3 einzelne Beschleunigungssegmente mit je 30 kt Geschwindigkeitssteigerung bis zum Erreichen von 280 kt CAS modelliert. Das Erreichen von 280 kt liegt zumeist bereits oberhalb von 10.000 Fuß Höhe, so dass ein weiteres Beschleunigungssegment obsolet ist.

Im Detail ergibt sich die prozedurale Profilbeschreibung für das NADP1-Verfahren ohne Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit (**NADP1-UNL**) gemäß Tabelle 5:

Nr	Name	Typ	Cutback	Flap Setting	Thrust Rating	End Condition Value	Bank Angle
1.	Take Off	TO	0.	5.	MaxTakeoff	v2+15	0.
2.	Climb to 1500 ft	CS	0.	5.	MaxTakeoff	1500.	0.
3.	Climb to 3000 ft	CS	1.	5.	MaxClimb	3000.	0.
4.	Accel. to Flaps 1 Speed	ACC	0.	5.	MaxClimb	F1	0.
5.	Accel. to Flaps 0 Speed	ACC	0.	1.	MaxClimb	F0	0.
6.	Accelerate to 220 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	220.	0.
7.	Accelerate to 250 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	250.	0.
8.	Accelerate to 280 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	280.	0.
9.	Climb to 15000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	15000.	0.

Tabelle 5: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP1-UNL-Verfahrens

Die prozedurale Profilbeschreibung für das Abflugverfahren ohne Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit **NADP2-10-UNL** ergibt sich wie folgt (Fokus auf Zeile 2):

Nr	Name	Typ	Cutback	Flap Setting	Thrust Rating	End Condition Value	Bank Angle
1.	Take Off	TO	0.	5.	MaxTakeoff	v2+15	0.
2.	Climb to 1000 ft	CS	0.	5.	MaxTakeoff	1000.	0.
3.	Accel. to Flaps 1 Speed	ACC	1.	5.	MaxClimb	F1	0.
4.	Accel. to Flaps 0 Speed	ACC	0.	1.	MaxClimb	F0	0.
5.	Accelerate to 220 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	220.	0.
6.	Accelerate to 250 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	250.	0.
7.	Accelerate to 280 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	280.	0.
8.	Climb to 15000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	15000.	0.

Tabelle 6: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-10-UNL-Verfahrens

Die prozedurale Profilbeschreibung für das Abflugverfahren ohne Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit **NADP2-15-UNL** ergibt sich wie folgt:

Nr	Name	Typ	Cutback	Flap Setting	Thrust Rating	End Condition Value	Bank Angle
1.	Take Off	TO	0.	5.	MaxTakeoff	v2+15	0.
2.	Climb to 1500 ft	CS	0.	5.	MaxTakeoff	1500.	0.
3.	Accel. to Flaps 1 Speed	ACC	1.	5.	MaxClimb	F1	0.
4.	Accel. to Flaps 0 Speed	ACC	0.	1.	MaxClimb	F0	0.
5.	Accelerate to 220 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	220.	0.
6.	Accelerate to 250 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	250.	0.
7.	Accelerate to 280 kt	ACC	0.	0.	MaxClimb	280.	0.
8.	Climb to 15000 ft	CS	0.	0.	MaxClimb	15000.	0.

Tabelle 7: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-15-UNL-Verfahrens

4.2 Luftfahrzeugmuster

Die Festlegung der zu untersuchenden LFZ-Muster erfolgte durch den AG, wie in nachfolgender Tabelle 8 dargestellt:

Kurzbezeichnung	LFZ-Muster	Triebwerk (ANP)	MTOM [kg]
B737-800	Boeing 737-800	CFM56-7B26	79.015
B747-400	Boeing 747-400	PW4056	385.000
B747-8	Boeing 747-8F	GENx-2B67	442.000
B777-3ER	Boeing 777-300ER	GE90-115B-EIS	347.800
A320-211	Airbus A320-211	CFM56-5A1	73.500
A380-841	Airbus A380-841	RR Trent 970	560.000

Tabelle 8: Untersuchte LFZ-Muster

4.3 Variation der Abflugmasse: Masseszenarien

Für jedes dieser sechs LFZ-Muster wurden zwei unterschiedliche Auslastungen (nachfolgend Masseszenarien genannt) festgelegt, wie vom AG vorgegeben und in nachfolgender Tabelle 9 dargestellt sind:

Kurzbezeichnung	Masseszenario 1		Masseszenario 2	
	Beschreibung	Abflugmasse (kg)	Beschreibung	Abflugmasse (kg)
B737-800	95 % MTOM	75.064	85 % MTOM	67.163
B747-400	100 % MTOM	385.000	75 % MTOM	288.750
B747-8	100 % MTOM	442.000	75 % MTOM	331.500
B777-3ER	100 % MTOM	347.800	75 % MTOM	260.850
A320-211	95 % MTOM	69.825	85,7 % MTOM (typischer Wert)	63.000
A380-841	100 % MTOM	560.000	75 % MTOM	420.000

Tabelle 9: Masseszenarien für jedes LFZ Muster

4.4 Abfluggeschwindigkeiten: Festlegung von V_2

Für die jeweilig vorgegebene Masse ist die Geschwindigkeit im Abflug auf Basis der *Takeoff Safety Speed* V_2 (bei Erreichen von 35 Fuß über der Schwelle) zu bestimmen. Diese wird auf Basis der Flugleistungsberechnungssoftware der Hersteller, bereitgestellt durch den AG, wie folgt festgelegt:

Kurzbezeichnung	V_2 [kt]	
	Masseszenario 1	Masseszenario 2
B737-800	155	147
B747-400	180	155
B747-8	179	157
B777-3ER	182	161
A320-211	152	147
A380-841	170	153

Tabelle 10: Festlegung der V_2 je LFZ-Muster und Masseszenario

Die *Climb Out Speed* ergibt sich sodann durch Zuschlag einer Geschwindigkeitsmarge auf die *Takeoff Safety Speed*, hier 15 kt ($V_2 + 15$) für alle LFZ-Muster und Szenarien.

4.5 Klappenstellungen: Flap Schedule Modell

Weiterhin sind die Klappenstellung und die zugehörigen Minimalgeschwindigkeiten festzulegen, bei denen die Klappen eingefahren werden können, da akustisch bedeutsam. Diese Minimalgeschwindigkeiten werden modellseitig als *Flap Reduction Speed* gewählt, wie in Tabelle 11 und Tabelle 12 für beide Masseszenarien dargestellt.

Masseszenario 1						
LFZ-Muster		Flaps Take Off / V_2	Flap Reduction 1	Flap Reduction 2	Flap Reduction 3	Flap Reduction 4
B737-800	Flap Setting	5	1	UP		
	Speed [kt]	155	209	229		
B747-400	Flap Setting	20	10	5	1	UP
	Speed [kt]	180	200	220	240	280
B747-8	Flap Setting	20	10	5	1	UP
	Speed [kt]	179	200	220	240	280
B777-3ER	Flap Setting	5	1	UP		
	Speed [kt]	182	242	262		
A320-211	Flap Setting	1+F	1	UP		
	Speed [kt]	152	210	225		
A380-841	Flap Setting	1+F	1	UP		
	Speed [kt]	170	212	242		

Tabelle 11: Modellierter *Flap Reduction* Prozess je LFZ-Muster, Masseszenario 1

Die Klappenreduktion für das Masseszenario 2 ist analog in nachfolgender Tabelle 12 dargestellt:

Masseszenario 2						
LFZ-Muster		Flaps Take Off / V_2	Flap Reduction 1	Flap Reduction 2	Flap Reduction 3	Flap Reduction 4
B737-800	Flap Setting	5	1	UP		
	Speed [kt]	147	192	212		
B747-400	Flap Setting	20	10	5	1	UP
	Speed [kt]	155	175	195	215	235
B747-8	Flap Setting	20	10	5	1	UP
	Speed [kt]	157	176	196	216	256
B777-3ER	Flap Setting	5	1	UP		
	Speed [kt]	161	209	229		
A320-211	Flap Setting	1+F	UP			
	Speed [kt]	147	211			
A380-841	Flap Setting	1+F	UP			
	Speed [kt]	153	209			

Tabelle 12: Modellierter *Flap Reduction* Prozess je LFZ-Muster, Masseszenario 2

4.6 Sonstige Randbedingungen

Über die bereits genannten Eingangsdaten hinaus werden noch folgende Randbedingungen zur Bestimmung der Fixpunktprofile gemäß Vorgaben des AG berücksichtigt:

- Startbahnlänge 4.000 m, keine Bahnneigung (longitudinal slope),
- Straight-out-Abflug (Strecke ohne Kurven),
- kein Wind,
- Start mit reduziertem Startschub in Abhängigkeit der Abflugmasse, Berechnung nach ECAC Doc. 29 Vol. 2, Gleichung B-7:

$$\frac{F_n}{\delta} = \left(\frac{F_n}{\delta} \right)_{Max} \times \frac{ATOM}{MTOM}$$

- Schubrücknahme auf maximalen Steigschub (*Max Climb*) am Cutback-Punkt und
- Ansetzen von 50 % der maximal verfügbaren Beschleunigung bei Beschleunigungssegmenten.

5 Bestimmung der Fixpunktprofile

5.1 B737-800

Masseszenario 1

Das Masseszenario 1 unterstellt für die B737-800 eine Abflugmasse von 95 % MTOM. Für dieses Szenario ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren wie in nachfolgender Abbildung 24 tabellarisch dargestellt. Die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung sind dabei neuerlich durch den Zusatz „-UNL“ gekennzeichnet:

737800 95% MTOM			
NADP1			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0
2480	-3	88	0
5360	-3	90	-
5860	-	90	457
6360	-2,5	-	-
9470	-2,5	92	914
13330	-3,5	114	1148
14580	-3,5	121	1226
18520	-3	123	1653
19750	-3,5	129	1724
33140	-4,5	175	2448
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 33140	0	0	0,077
NADP2-10			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0
2480	-3	88	0
4210	-3	89	-
4710	-	89	305
5210	-4	-	-
8110	-4	111	524
9210	-4	117	597
18500	-3	123	1639
19720	-3,5	129	1710
33070	-4,5	175	2432
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 33070	0	0	0,077
NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0
2480	-3	88	0
5360	-3	90	-
5860	-	90	457
6360	-3,5	-	-
9370	-3,5	112	680
10510	-4	118	754
18510	-3	123	1644
19730	-3,5	129	1715
33100	-4,5	175	2438
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 33100	0	0	0,077
NADP1-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0
2480	-3	88	0
5360	-3	90	-
5860	-	90	457
6360	-2,5	-	-
9470	-2,5	92	914
13330	-3,5	114	1148
15700	-3,5	126	1294
27820	-4,5	171	1977
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 27820	0	0	0,079
NADP2-10-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0
2480	-3	88	0
4210	-3	89	-
4710	-	89	305
5210	-4	-	-
8110	-4	111	524
10200	-4	122	660
20750	-5,5	165	1290
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 20750	0	0	0,084
NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0
2480	-3	88	0
5360	-3	90	-
5860	-	90	457
6360	-3,5	-	-
9370	-3,5	112	680
11520	-4	123	818
22450	-5	167	1462
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 22450	0	0	0,083

Abbildung 24: Fixpunktprofile B737-800 – Masseszenario 1 (95 % MTOM)

Masseszenario 2

Das Masseszenario 2 unterstellt für die B737-800 eine Abflugmasse von 85 % des MTOM. Für dieses Szenario ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren gemäß nachfolgender Abbildung 25:

737800																																																																																																																																																																		
85% MTOM																																																																																																																																																																		
NADP1		NADP2-10		NADP2-15																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>Z [dB]</th> <th>V [m/s]</th> <th>H [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-4,5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2190</td><td>-4,5</td><td>84</td><td>0</td></tr> <tr><td>5000</td><td>-4,5</td><td>86</td><td>-</td></tr> <tr><td>5500</td><td>-</td><td>86</td><td>457</td></tr> <tr><td>6000</td><td>-4</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>9000</td><td>-4</td><td>88</td><td>914</td></tr> <tr><td>11620</td><td>-4,5</td><td>105</td><td>1081</td></tr> <tr><td>13640</td><td>-5</td><td>116</td><td>1212</td></tr> <tr><td>14520</td><td>-5</td><td>121</td><td>1270</td></tr> <tr><td>18520</td><td>-5</td><td>124</td><td>1730</td></tr> <tr><td>33060</td><td>-6</td><td>176</td><td>2532</td></tr> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>dZ/dσ' [dB/m]</th> <th>dV/dσ' [1/s]</th> <th>dH/dσ'</th> </tr> <tr> <td>> 33060</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,078</td> </tr> </tbody> </table>	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	0	-4,5	0	0	2190	-4,5	84	0	5000	-4,5	86	-	5500	-	86	457	6000	-4	-	-	9000	-4	88	914	11620	-4,5	105	1081	13640	-5	116	1212	14520	-5	121	1270	18520	-5	124	1730	33060	-6	176	2532	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	> 33060	0	0	0,078	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>Z [dB]</th> <th>V [m/s]</th> <th>H [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-4,5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2190</td><td>-4,5</td><td>84</td><td>0</td></tr> <tr><td>3870</td><td>-4,5</td><td>85</td><td>-</td></tr> <tr><td>4370</td><td>-</td><td>85</td><td>305</td></tr> <tr><td>4870</td><td>-5</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>6670</td><td>-5</td><td>101</td><td>461</td></tr> <tr><td>8440</td><td>-5,5</td><td>113</td><td>584</td></tr> <tr><td>9210</td><td>-5,5</td><td>117</td><td>638</td></tr> <tr><td>18510</td><td>-4,5</td><td>124</td><td>1751</td></tr> <tr><td>33020</td><td>-6</td><td>176</td><td>2555</td></tr> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>dZ/dσ' [dB/m]</th> <th>dV/dσ' [1/s]</th> <th>dH/dσ'</th> </tr> <tr> <td>> 33020</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,078</td> </tr> </tbody> </table>	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	0	-4,5	0	0	2190	-4,5	84	0	3870	-4,5	85	-	4370	-	85	305	4870	-5	-	-	6670	-5	101	461	8440	-5,5	113	584	9210	-5,5	117	638	18510	-4,5	124	1751	33020	-6	176	2555	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	> 33020	0	0	0,078	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>Z [dB]</th> <th>V [m/s]</th> <th>H [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-4,5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2190</td><td>-4,5</td><td>84</td><td>0</td></tr> <tr><td>5000</td><td>-4,5</td><td>86</td><td>-</td></tr> <tr><td>5500</td><td>-</td><td>86</td><td>457</td></tr> <tr><td>6000</td><td>-5</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>7880</td><td>-5</td><td>102</td><td>616</td></tr> <tr><td>9730</td><td>-5,5</td><td>114</td><td>741</td></tr> <tr><td>10520</td><td>-5,5</td><td>118</td><td>796</td></tr> <tr><td>18500</td><td>-5</td><td>124</td><td>1738</td></tr> <tr><td>33070</td><td>-6</td><td>176</td><td>2540</td></tr> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>dZ/dσ' [dB/m]</th> <th>dV/dσ' [1/s]</th> <th>dH/dσ'</th> </tr> <tr> <td>> 33070</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,077</td> </tr> </tbody> </table>	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	0	-4,5	0	0	2190	-4,5	84	0	5000	-4,5	86	-	5500	-	86	457	6000	-5	-	-	7880	-5	102	616	9730	-5,5	114	741	10520	-5,5	118	796	18500	-5	124	1738	33070	-6	176	2540	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	> 33070	0	0	0,077
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]																																																																																																																																																															
0	-4,5	0	0																																																																																																																																																															
2190	-4,5	84	0																																																																																																																																																															
5000	-4,5	86	-																																																																																																																																																															
5500	-	86	457																																																																																																																																																															
6000	-4	-	-																																																																																																																																																															
9000	-4	88	914																																																																																																																																																															
11620	-4,5	105	1081																																																																																																																																																															
13640	-5	116	1212																																																																																																																																																															
14520	-5	121	1270																																																																																																																																																															
18520	-5	124	1730																																																																																																																																																															
33060	-6	176	2532																																																																																																																																																															
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'																																																																																																																																																															
> 33060	0	0	0,078																																																																																																																																																															
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]																																																																																																																																																															
0	-4,5	0	0																																																																																																																																																															
2190	-4,5	84	0																																																																																																																																																															
3870	-4,5	85	-																																																																																																																																																															
4370	-	85	305																																																																																																																																																															
4870	-5	-	-																																																																																																																																																															
6670	-5	101	461																																																																																																																																																															
8440	-5,5	113	584																																																																																																																																																															
9210	-5,5	117	638																																																																																																																																																															
18510	-4,5	124	1751																																																																																																																																																															
33020	-6	176	2555																																																																																																																																																															
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'																																																																																																																																																															
> 33020	0	0	0,078																																																																																																																																																															
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]																																																																																																																																																															
0	-4,5	0	0																																																																																																																																																															
2190	-4,5	84	0																																																																																																																																																															
5000	-4,5	86	-																																																																																																																																																															
5500	-	86	457																																																																																																																																																															
6000	-5	-	-																																																																																																																																																															
7880	-5	102	616																																																																																																																																																															
9730	-5,5	114	741																																																																																																																																																															
10520	-5,5	118	796																																																																																																																																																															
18500	-5	124	1738																																																																																																																																																															
33070	-6	176	2540																																																																																																																																																															
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'																																																																																																																																																															
> 33070	0	0	0,077																																																																																																																																																															
NADP1-UNL		NADP2-10-UNL		NADP2-15-UNL																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>Z [dB]</th> <th>V [m/s]</th> <th>H [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-4,5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2190</td><td>-4,5</td><td>84</td><td>0</td></tr> <tr><td>5000</td><td>-4,5</td><td>86</td><td>-</td></tr> <tr><td>5500</td><td>-</td><td>86</td><td>457</td></tr> <tr><td>6000</td><td>-4</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>9000</td><td>-4</td><td>88</td><td>914</td></tr> <tr><td>11620</td><td>-4,5</td><td>105</td><td>1081</td></tr> <tr><td>13640</td><td>-5</td><td>116</td><td>1212</td></tr> <tr><td>27520</td><td>-6,5</td><td>171</td><td>2022</td></tr> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>dZ/dσ' [dB/m]</th> <th>dV/dσ' [1/s]</th> <th>dH/dσ'</th> </tr> <tr> <td>> 27520</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,08</td> </tr> </tbody> </table>	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	0	-4,5	0	0	2190	-4,5	84	0	5000	-4,5	86	-	5500	-	86	457	6000	-4	-	-	9000	-4	88	914	11620	-4,5	105	1081	13640	-5	116	1212	27520	-6,5	171	2022	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	> 27520	0	0	0,08	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>Z [dB]</th> <th>V [m/s]</th> <th>H [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-4,5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2190</td><td>-4,5</td><td>84</td><td>0</td></tr> <tr><td>3870</td><td>-4,5</td><td>85</td><td>-</td></tr> <tr><td>4370</td><td>-</td><td>85</td><td>305</td></tr> <tr><td>4870</td><td>-5</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>6670</td><td>-5</td><td>101</td><td>461</td></tr> <tr><td>8440</td><td>-5,5</td><td>113</td><td>584</td></tr> <tr><td>20460</td><td>-7</td><td>165</td><td>1332</td></tr> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>dZ/dσ' [dB/m]</th> <th>dV/dσ' [1/s]</th> <th>dH/dσ'</th> </tr> <tr> <td>> 20460</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,085</td> </tr> </tbody> </table>	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	0	-4,5	0	0	2190	-4,5	84	0	3870	-4,5	85	-	4370	-	85	305	4870	-5	-	-	6670	-5	101	461	8440	-5,5	113	584	20460	-7	165	1332	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	> 20460	0	0	0,085	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>Z [dB]</th> <th>V [m/s]</th> <th>H [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-4,5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2190</td><td>-4,5</td><td>84</td><td>0</td></tr> <tr><td>5000</td><td>-4,5</td><td>86</td><td>-</td></tr> <tr><td>5500</td><td>-</td><td>86</td><td>457</td></tr> <tr><td>6000</td><td>-5</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>7880</td><td>-5</td><td>102</td><td>616</td></tr> <tr><td>9730</td><td>-5,5</td><td>114</td><td>741</td></tr> <tr><td>22240</td><td>-7</td><td>167</td><td>1504</td></tr> <tr> <th>σ' [m]</th> <th>dZ/dσ' [dB/m]</th> <th>dV/dσ' [1/s]</th> <th>dH/dσ'</th> </tr> <tr> <td>> 22240</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,084</td> </tr> </tbody> </table>	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	0	-4,5	0	0	2190	-4,5	84	0	5000	-4,5	86	-	5500	-	86	457	6000	-5	-	-	7880	-5	102	616	9730	-5,5	114	741	22240	-7	167	1504	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	> 22240	0	0	0,084																								
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]																																																																																																																																																															
0	-4,5	0	0																																																																																																																																																															
2190	-4,5	84	0																																																																																																																																																															
5000	-4,5	86	-																																																																																																																																																															
5500	-	86	457																																																																																																																																																															
6000	-4	-	-																																																																																																																																																															
9000	-4	88	914																																																																																																																																																															
11620	-4,5	105	1081																																																																																																																																																															
13640	-5	116	1212																																																																																																																																																															
27520	-6,5	171	2022																																																																																																																																																															
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'																																																																																																																																																															
> 27520	0	0	0,08																																																																																																																																																															
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]																																																																																																																																																															
0	-4,5	0	0																																																																																																																																																															
2190	-4,5	84	0																																																																																																																																																															
3870	-4,5	85	-																																																																																																																																																															
4370	-	85	305																																																																																																																																																															
4870	-5	-	-																																																																																																																																																															
6670	-5	101	461																																																																																																																																																															
8440	-5,5	113	584																																																																																																																																																															
20460	-7	165	1332																																																																																																																																																															
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'																																																																																																																																																															
> 20460	0	0	0,085																																																																																																																																																															
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]																																																																																																																																																															
0	-4,5	0	0																																																																																																																																																															
2190	-4,5	84	0																																																																																																																																																															
5000	-4,5	86	-																																																																																																																																																															
5500	-	86	457																																																																																																																																																															
6000	-5	-	-																																																																																																																																																															
7880	-5	102	616																																																																																																																																																															
9730	-5,5	114	741																																																																																																																																																															
22240	-7	167	1504																																																																																																																																																															
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'																																																																																																																																																															
> 22240	0	0	0,084																																																																																																																																																															

Abbildung 25: Fixpunktprofile B737-800 – Masseszenario 2 (85 % MTOM)

Zusammenfassung Vertikalprofile B737-800

Die nachfolgende Abbildung 26 zeigt alle Vertikalprofile für die B737-800 vergleichend. Die oberen beiden Diagramme zeigen die Szenarien mit Begrenzung der maximalen Abflugeschwindigkeit auf 220 kt CAS, die unteren beiden ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Links ist jeweils das Masseszenario 1, rechts das Masseszenario 2 dargestellt.

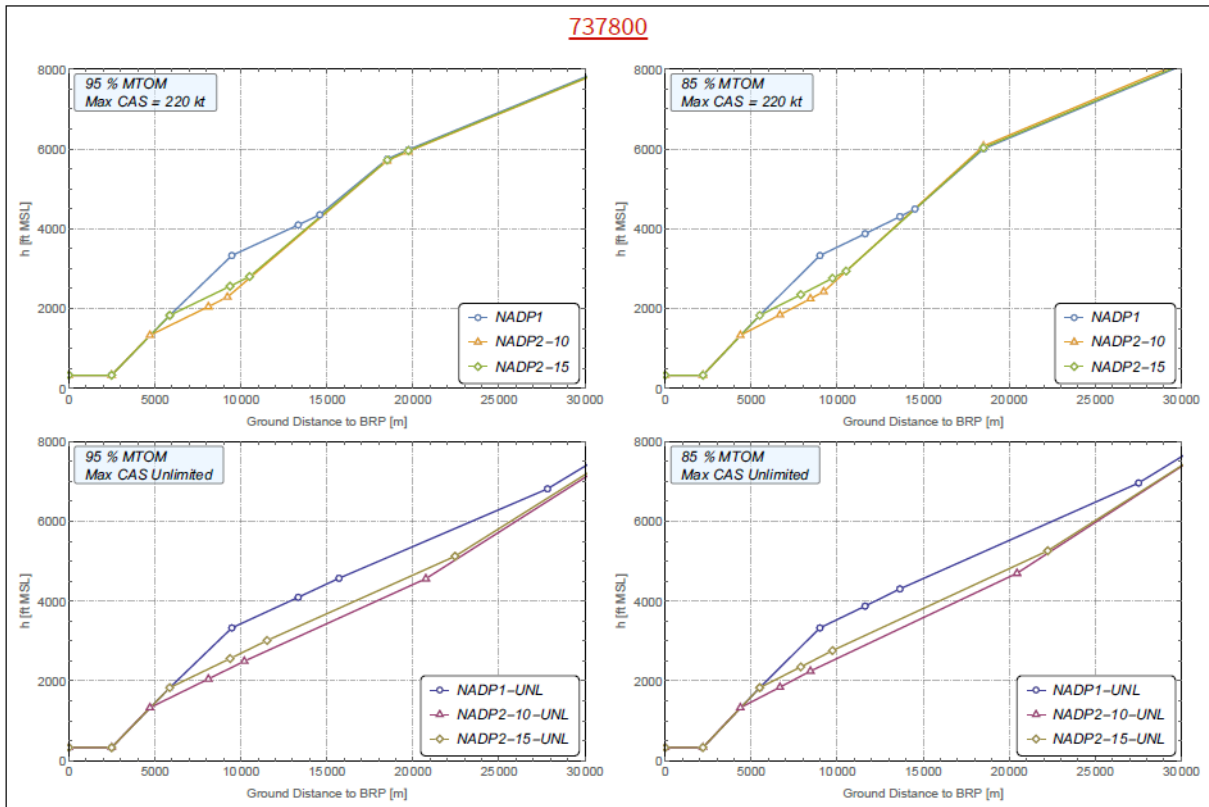


Abbildung 26: Zusammenfassung Vertikalprofile B737-800 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien

Wie in Abbildung 26 zu sehen, sind die Szenarien erwartungsgemäß ohne Geschwindigkeitsbegrenzung grundsätzlich flacher als jene mit Begrenzung auf 220 kt CAS. Zudem ist bei den unlimitierten Szenarien kein Crossover-Punkt (also jener Punkt, an dem die Flachstartverfahren (NADP2-10 und NADP2-15) vertikal über das Steilstartverfahren (NADP1) hinaus gehen) erkennbar, da dieser Punkt für die auf 220 kt CAS begrenzten Verfahren bei ca. 15 bis 30 km nach Startlaufbeginn liegt.

Positive Effekte aus den Flachstartverfahren in Bezug auf den resultierenden Fluglärm sind folglich nur in entsprechenden Entfernungen zum Flughafen zu erwarten.

Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den Anhängen A1 und A2 (in separaten Dateien) zum Gutachten.

5.2 B747-400

Für die B747-400 ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren wie in nachfolgender Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt:

747400															
100% MTOM															
NADP1				NADP2-10				NADP2-15							
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
3120	-1	101	0	3120	-1	101	0	3120	-1	101	0	3120	-1	101	0
7480	-0,5	103	-	5820	-0,5	102	-	7480	-0,5	103	-	7480	-0,5	103	-
7980	-	103	457	6320	-	102	305	7980	-	103	457	7980	-	103	457
8480	-2,5	-	-	6820	-3	-	-	8480	-3	-	-	8480	-3	-	-
14780	-2,5	105	914	7120	-3	105	334	8810	-3	106	487	8810	-3	106	487
15710	-2,5	108	945	10290	-3	116	460	12090	-3	117	615	12090	-3	117	615
19380	-2,5	120	1080	18510	-2,5	120	1098	18510	-2,5	120	1107	18510	-2,5	120	1107
23170	-3	132	1232	22320	-3	132	1250	22330	-3	132	1260	22330	-3	132	1260
31590	-3	156	1597	30770	-3	157	1616	30800	-3	157	1626	30800	-3	157	1626
36630	-3,5	170	1815	35840	-3,5	170	1834	35880	-3,5	170	1845	35880	-3,5	170	1845
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 36630	0	0	0,066	> 35840	0	0	0,066	> 35880	0	0	0,065	> 35880	0	0	0,065
NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL							
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
3120	-1	101	0	3120	-1	101	0	3120	-1	101	0	3120	-1	101	0
7480	-0,5	103	-	5820	-0,5	102	-	7480	-0,5	103	-	7480	-0,5	103	-
7980	-	103	457	6320	-	102	305	7980	-	103	457	7980	-	103	457
8480	-2,5	-	-	6820	-3	-	-	8480	-3	-	-	8480	-3	-	-
14780	-2,5	105	914	7120	-3	105	334	8810	-3	106	487	8810	-3	106	487
15710	-2,5	108	945	10290	-3	116	460	12090	-3	117	615	12090	-3	117	615
19380	-2,5	120	1080	13580	-3,5	128	602	15500	-3	129	760	15500	-3	129	760
23170	-3	132	1232	20910	-3,5	152	941	23070	-3,5	153	1104	23070	-3,5	153	1104
31590	-3	156	1597	25270	-4	164	1142	27590	-4	165	1309	27590	-4	165	1309
36630	-3,5	170	1815												
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 36630	0	0	0,066	> 25270	0	0	0,069	> 27590	0	0	0,068	> 27590	0	0	0,068

Abbildung 27: Fixpunktprofile B747-400 – Masseszenario 1 (100 % MTOM)

747400															
75% MTOM															
NADP1				NADP2-10				NADP2-15							
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0
2150	-4,5	88	0	2150	-4,5	88	0	2150	-4,5	88	0	2150	-4,5	88	0
5720	-4,5	90	-	4340	-4,5	89	-	5720	-4,5	90	-	5720	-4,5	90	-
6220	-	90	457	4840	-	89	305	6220	-	90	457	6220	-	90	457
6720	-4	-	-	5280	-4,5	92	330	6680	-4,5	93	483	6680	-4,5	93	483
10550	-4	92	914	7100	-4,5	103	440	8570	-4,5	104	594	8570	-4,5	104	594
11060	-4	95	941	9080	-5	114	564	10610	-5	115	721	10610	-5	115	721
13140	-4,5	106	1058	9570	-5	117	598	11120	-5	118	756	11120	-5	118	756
15390	-4,5	118	1191	18500	-4	123	1646	18520	-4	123	1615	18520	-4	123	1615
15960	-4,5	121	1227	20490	-4,5	132	1767	20500	-4,5	132	1735	20500	-4,5	132	1735
18520	-4,5	122	1519	32060	-5	175	2441	32020	-5	175	2407	32020	-5	175	2407
20460	-4,5	132	1638												
31710	-5	174	2299												
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 31710	0	0	0,087	> 32060	0	0	0,086	> 32020	0	0	0,086	> 32020	0	0	0,086
NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL							
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0
2150	-4,5	88	0	2150	-4,5	88	0	2150	-4,5	88	0	2150	-4,5	88	0
5720	-4,5	90	-	4340	-4,5	89	-	5720	-4,5	90	-	5720	-4,5	90	-
6220	-	90	457	4840	-	89	305	6220	-	90	457	6220	-	90	457
6720	-4	-	-	5280	-4,5	92	330	6680	-4,5	93	483	6680	-4,5	93	483
10550	-4	92	914	7100	-4,5	103	440	8570	-4,5	104	594	8570	-4,5	104	594
11060	-4	95	941	9080	-5	114	564	10610	-5	115	721	10610	-5	115	721
13140	-4,5	106	1058	9570	-5	117	598	11120	-5	118	756	11120	-5	118	756
15390	-4,5	118	1191	11180	-5	126	705	12790	-5	127	865	12790	-5	127	865
15960	-4,5	121	1227	20330	-5,5	165	1293	22280	-5,5	167	1465	22280	-5,5	167	1465
17780	-4,5	130	1342												
28310	-5	171	1980												
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 28310	0	0	0,089	> 20330	0	0	0,094	> 22280	0	0	0,092	> 22280	0	0	0,092

Abbildung 28: Fixpunktprofile B747-400 – Masseszenario 2 (75 % MTOM)

Zusammenfassung Vertikalprofile B747-400

Die nachfolgende Abbildung 29 zeigt alle Vertikalprofile für die B747-400 vergleichend. Erneut zeigen die oberen beiden Diagramme die Szenarien mit Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit, die unteren beiden die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung, links wiederum Masseszenario 1 und rechts Masseszenario 2:

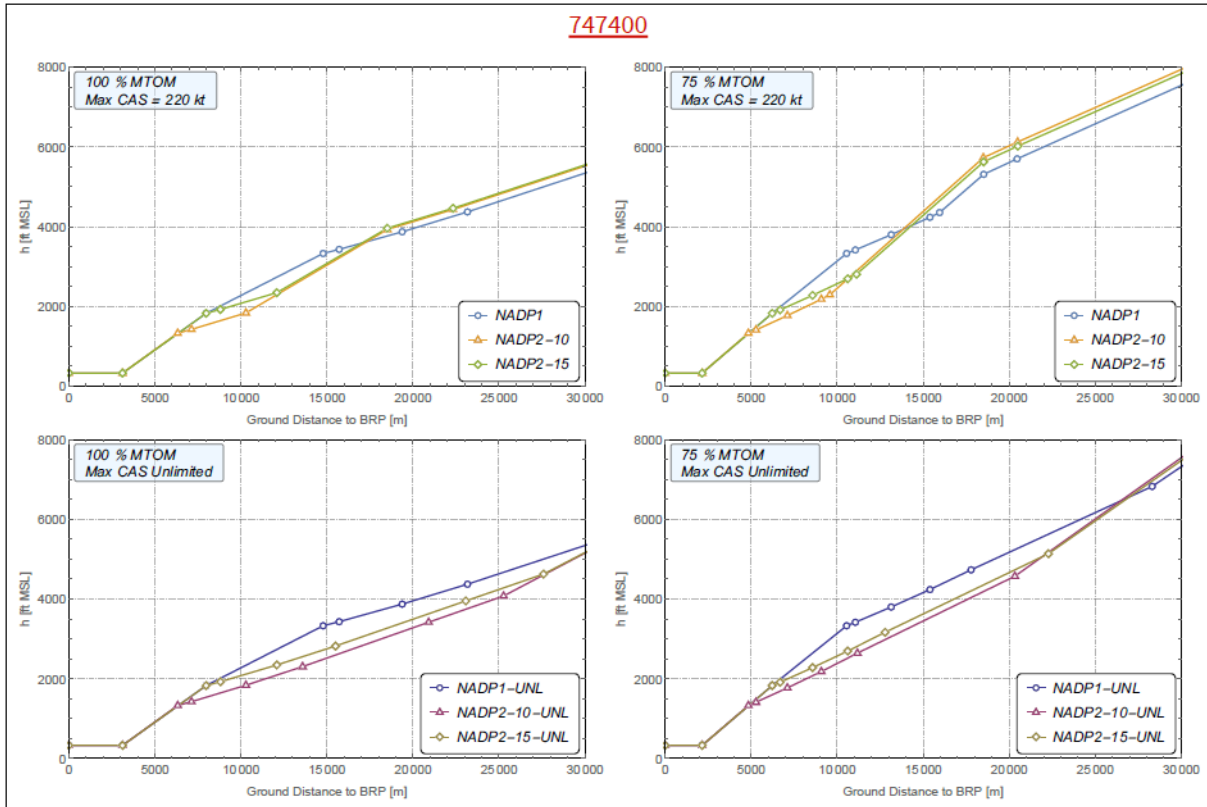


Abbildung 29: Zusammenfassung Vertikalprofile B747-400 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenerien

Wie in Abbildung 29 zu sehen, liegt für die geschwindigkeitsbeschränkten Szenarien der Crossover-Punkt mit ca. 14 bis 17 km in recht geringer Entfernung zum Flughafen. Zudem ist ein deutlicher Vorteil für die NADP2-Verfahren in Bezug auf das Vertikalprofil erkennbar. Ohne Geschwindigkeitsbeschränkung jedoch, ist bei maximaler Abflugmasse das NADP1-Verfahren vorteilhaft. Dieselbe Aussage kann über die Vertikalprofile mit verringerter Abflugmasse getroffen werden, wobei bei ca. 26 km Entfernung zum Flughafen ein Crossover-Punkt vorhanden ist. Positive Effekte aus den Flachstartverfahren in Bezug auf den resultierenden Fluglärm sind folglich für die B747-400 ab etwa 15 km Entfernung zum Flughafen zu erwarten, jedoch auf die geschwindigkeitsbegrenzten Szenarien beschränkt.

Zudem sind die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung erneut etwas flacher als jene mit Begrenzung auf 220 kt CAS.

Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den Anhängen A1 und A2 zum Gutachten.

5.3 B747-8

Für die B747-8 ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren gemäß nachfolgender Abbildungen:

7478											
100% MTOM											
NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-0,5	0	0	0	-0,5	0	0	0	-0,5	0	0
3210	-0,5	100	0	3210	-0,5	100	0	3210	-0,5	100	0
7150	-0,5	102	-	5640	-0,5	102	-	7150	-0,5	102	-
7650	-	102	457	6140	-	102	305	7650	-	102	457
8150	-2	-	-	6640	-2,5	-	-	8150	-2,5	-	-
13990	-2	105	914	7030	-2,5	105	340	8580	-2,5	106	493
15030	-2	108	952	9970	-2,5	116	466	11620	-2,5	117	621
18420	-2	120	1086	18530	-2	120	1166	18500	-2	120	1179
18520	-2	132	1247	22170	-2	132	1320	22160	-2	132	1333
22100	-2	157	1612	30680	-2,5	157	1689	30700	-2,5	157	1703
30460	-2,5	170	1831	35470	-2,5	170	1910	35500	-2,5	170	1924
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 35150	0	0	0,088	> 35470	0	0	0,068	> 35500	0	0	0,068
NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-0,5	0	0	0	-0,5	0	0	0	-0,5	0	0
3210	-0,5	100	0	3210	-0,5	100	0	3210	-0,5	100	0
7150	-0,5	102	-	5640	-0,5	102	-	7150	-0,5	102	-
7650	-	102	457	6140	-	102	305	7650	-	102	457
8150	-2	-	-	6640	-2,5	-	-	8150	-2,5	-	-
13990	-2	105	914	7030	-2,5	105	340	8580	-2,5	106	493
15030	-2	108	952	9970	-2,5	116	466	11620	-2,5	117	621
18420	-2	120	1086	13070	-2,5	128	608	14830	-2,5	129	766
21990	-2	132	1239	20280	-3	152	948	22290	-2,5	153	1112
30330	-2,5	166	1604	24310	-3	164	1149	26470	-3	165	1317
35020	-2,5	170	1822	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 35020	0	0	0,068	> 24310	0	0	0,072	> 26470	0	0	0,071

Abbildung 30: Fixpunktprofile B747-8 – Masseszenario 1 (100 % MTOM)

7478											
75% MTOM											
NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0	0	-3	0	0	0	-3	0	0
2140	-3	89	0	2140	-3	89	0	2140	-3	89	0
5170	-3	91	-	3960	-3	90	-	5170	-3	91	-
5670	-	91	457	4460	-	90	305	5670	-	91	457
6170	-3	-	-	4770	-3	92	325	5990	-3	93	478
9420	-3	93	914	6360	-3,5	103	436	7640	-3	104	590
9780	-3	95	936	8100	-3,5	115	561	9440	-3,5	116	718
11590	-3	107	1054	8460	-3,5	117	589	9820	-3,5	118	746
13580	-3	118	1188	18490	-2,5	125	1870	18500	-2,5	124	1840
13990	-3	121	1217	23500	-3	147	2187	23510	-3	147	2156
18520	-3	124	1775	31370	-3	177	2688	31360	-3	177	2655
23450	-3	147	2088	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
31170	-3	176	2583	> 31370	0	0	0,096	> 31360	0	0	0,095
NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-3	0	0	0	-3	0	0	0	-3	0	0
2140	-3	89	0	2140	-3	89	0	2140	-3	89	0
5170	-3	91	-	3960	-3	90	-	5170	-3	91	-
5670	-	91	457	4460	-	90	305	5670	-	91	457
6170	-3	-	-	4770	-3	92	325	5990	-3	93	478
9420	-3	93	914	6360	-3,5	103	436	7640	-3	104	590
9780	-3	95	936	8100	-3,5	115	561	9440	-3,5	116	718
11590	-3	107	1054	12240	-3,5	138	862	13740	-3,5	139	1023
13580	-3	118	1188	18040	-4	165	1286	19780	-3,5	167	1456
18330	-3,5	142	1510	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
25060	-3,5	171	1969	> 18040	0	0	0,106	> 19780	0	0	0,104

Abbildung 31: Fixpunktprofile B747-8 – Masseszenario 2 (75 % MTOM)

Zusammenfassung Vertikalprofile B747-8

Die nachfolgende Abbildung 32 zeigt alle berechneten Vertikalprofile für die B747-8 vergleichend. Erneut zeigen die oberen beiden Diagramme die Szenarien mit Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit, die unteren beiden die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung, links wiederum Masseszenario 1 und rechts Masseszenario 2:

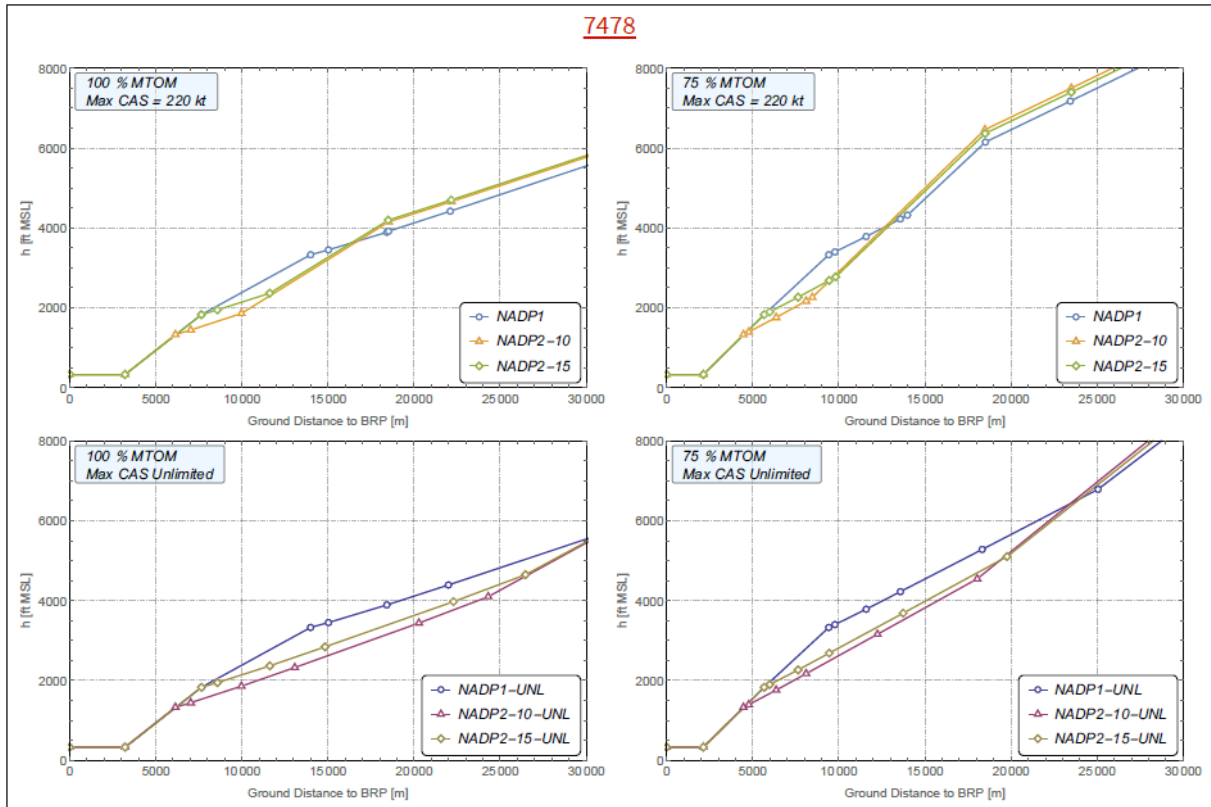


Abbildung 32: Zusammenfassung Vertikalprofile B747-8 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien

Wie in Abbildung 32 zu sehen, liegt für die Szenarien mit Geschwindigkeitsbegrenzung der Crossover-Punkt mit ca. 14 bis 17 km erneut in recht geringer Entfernung zum Flughafen. Für die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung liegt dieser mit ca. 23 km bei verringertem maximalen Abfluggewicht deutlich weiter vom Flughafen entfernt oder ist auf Grund ähnlichen Steigverhaltens gar nicht vorhanden. Positive Effekte aus den Flachstartverfahren in Bezug auf den resultierenden Fluglärm sind folglich für die B747-8 nur für die Szenarien mit Geschwindigkeitsbegrenzung zu erwarten.

Erneut sind die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung etwas flacher als jene mit Begrenzung auf 220 kt CAS.

Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den entsprechenden Anhängen A1 und A2 zum Gutachten.

5.4 B777-300ER

Für die B777-300ER ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren wie in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt:

7773ER
100% MTOM

NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
3110	-1	103	0	3110	-1	103	0	3110	-1	103	0
5680	-0,5	106	-	4640	-1	105	-	5680	-0,5	106	-
6180	-	106	457	5140	-	105	305	6180	-	106	457
6680	-5,5	-	-	5640	-6	-	-	6680	-6	-	-
10740	-5,5	108	914	7540	-6	116	431	8660	-6	117	585
13480	-5,5	120	1049	18490	-5,5	122	1388	18520	-5,5	122	1436
18510	-5,5	122	1469	22490	-6	135	1562	22560	-6	135	1611
22590	-6	136	1646	26430	-6	147	1743	26550	-6	148	1792
26610	-6	148	1828	35880	-6,5	172	2152	36120	-6,5	173	2205
36270	-6,5	173	2243								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 36270	0	0	0,062	> 35880	0	0	0,062	> 36120	0	0	0,062

NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
3110	-1	103	0	3110	-1	103	0	3110	-1	103	0
5680	-0,5	106	-	4640	-1	105	-	5680	-0,5	106	-
6180	-	106	457	5140	-	105	305	6180	-	106	457
6680	-5,5	-	-	5640	-6,5	-	-	6680	-6,5	-	-
10740	-5,5	108	914	10710	-6,5	129	586	11950	-6,5	130	743
17130	-6	133	1215	13880	-7	140	747	15230	-6,5	142	908
20780	-6,5	145	1389	21390	-7,5	164	1109	23020	-7,5	165	1277
29470	-7	169	1781								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 29470	0	0	0,064	> 21390	0	0	0,068	> 23020	0	0	0,067

Abbildung 33: Fixpunktprofile B777-300ER – Masseszenario 1 (100 % MTOM)

7773ER
75% MTOM

NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-8	0	0	0	-8	0	0	0	-8	0	0
2320	-8	91	0	2320	-8	91	0	2320	-8	91	0
4840	-8	93	-	3810	-8	92	-	4840	-8	93	-
5340	-	93	457	4310	-	92	305	5340	-	93	457
5840	-8	-	-	4810	-8,5	-	-	5840	-8,5	-	-
8540	-8	95	914	6870	-8,5	111	494	8000	-8,5	111	649
11470	-8,5	114	1116	7840	-8,5	117	567	9010	-8,5	118	723
12580	-8,5	121	1194	18480	-8	125	1910	18510	-8	125	1903
18510	-8	125	1910	19620	-8	131	1983	19660	-8	130	1975
19660	-8	131	1983	32490	-9	178	2734	32600	-9	177	2725
32630	-9	178	2734								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 32630	0	0	0,082	> 32490	0	0	0,082	> 32600	0	0	0,082

NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-8	0	0	0	-8	0	0	0	-8	0	0
2320	-8	91	0	2320	-8	91	0	2320	-8	91	0
4840	-8	93	-	3810	-8	92	-	4840	-8	93	-
5340	-	93	457	4310	-	92	305	5340	-	93	457
5840	-8	-	-	4810	-8,5	-	-	5840	-8,5	-	-
8540	-8	95	914	6870	-8,5	111	494	8000	-8,5	111	649
11470	-8,5	114	1116	8700	-9	122	630	9900	-9	123	787
13560	-8,5	126	1261	18120	-10	165	1259	19740	-9,5	166	1429
24490	-9,5	171	1943								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 24490	0	0	0,087	> 18120	0	0	0,092	> 19740	0	0	0,09

Abbildung 34: Fixpunktprofile B777-300ER – Masseszenario 2 (75 % MTOM)

Zusammenfassung Vertikalprofile B777-300ER

Die nachfolgende Abbildung 35 zeigt alle Vertikalprofile für die B777-300ER vergleichend. Erneut zeigen die oberen beiden Diagramme die Szenarien mit Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit, die unteren beiden die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung, links wiederum Masseszenario 1 und rechts Masseszenario 2:

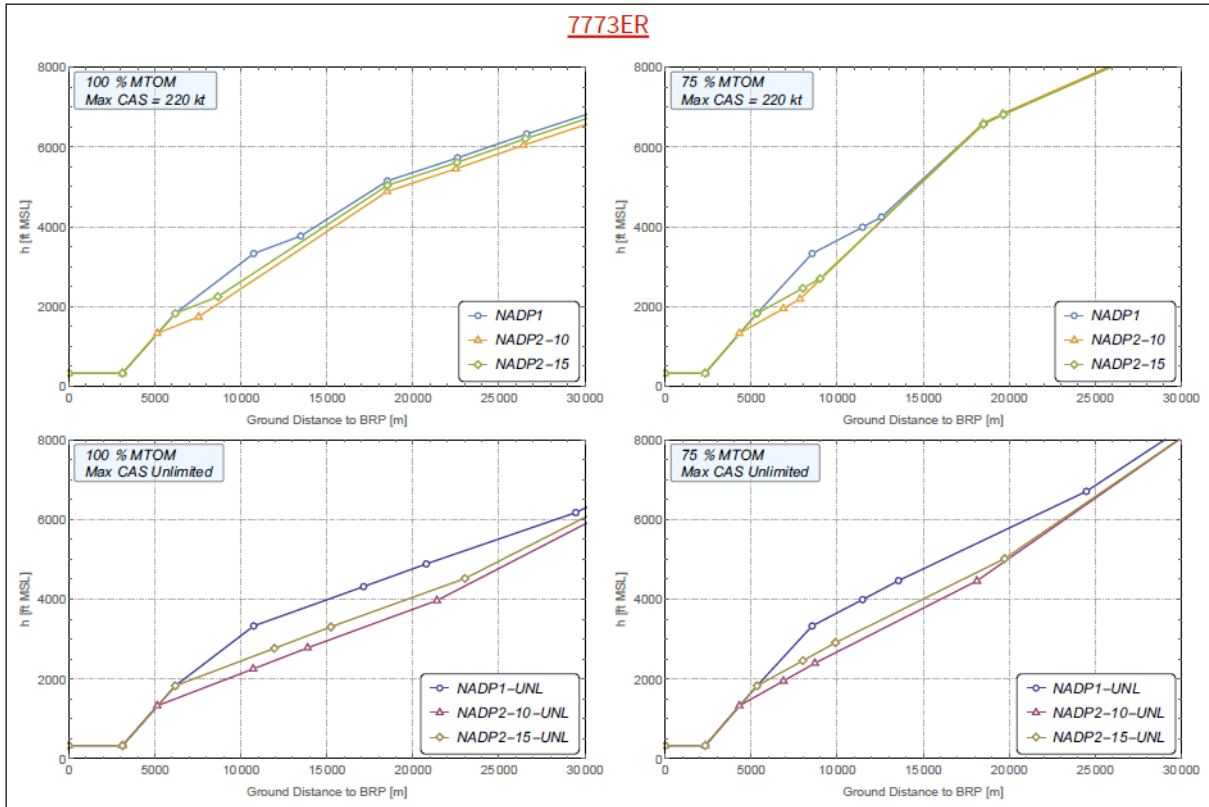


Abbildung 35: Zusammenfassung Vertikalprofile B777-300ER – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien

Wie in Abbildung 35 zu sehen, liegt für die Szenarien mit Geschwindigkeitsbegrenzung der Crossover-Punkt bei mehr als 15 km Entfernung. Für die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung ist kein Crossover-Punkt vorhanden. Positive Effekte aus den Flachstartverfahren in Bezug auf den resultierenden Fluglärm sind folglich für die B777-300ER kaum und nur für die Szenarien mit Geschwindigkeitsbegrenzung zu erwarten.

Hier sind die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung flacher als jene mit Begrenzung auf 220 kt CAS.

Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den entsprechenden Anhängen A1 und A2 zum Gutachten.

5.5 A320-211

Für den A320-211 ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren gemäß nachfolgender Abbildungen:

A320-211
95% MTOM

NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
1660	-1	86	0	1660	-1	86	0	1660	-1	86	0
3950	-0,5	88	-	3010	-1	88	-	3950	-0,5	88	-
4450	-	88	457	3510	-	88	305	4450	-	88	457
4950	-3	-	-	4010	-3,5	-	-	4950	-3	-	-
8220	-3	90	914	7220	-3,5	111	544	8300	-3	112	700
12510	-3	115	1169	8240	-3,5	117	610	9350	-3	118	768
13680	-3	121	1241	18490	-2,5	124	1744	18500	-2,5	124	1767
18520	-2,5	124	1752	19190	-2,5	127	1783	19200	-2,5	127	1806
19220	-2,5	127	1791	32240	-2,5	176	2549	32330	-2,5	176	2575
32290	-2,5	176	2558								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 32290	0	0	0,088	> 32240	0	0	0,088	> 32330	0	0	0,088

NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
1660	-1	86	0	1660	-1	86	0	1660	-1	86	0
3950	-0,5	88	-	3010	-1	88	-	3950	-0,5	88	-
4450	-	88	457	3510	-	88	305	4450	-	88	457
4950	-3	-	-	4010	-3,5	-	-	4950	-3	-	-
8220	-3	90	914	7220	-3,5	111	544	8300	-3	112	700
12510	-3	115	1169	8770	-3,5	120	645	9910	-3	121	803
14300	-3	124	1278	18600	-3	165	1305	20130	-3	167	1477
25770	-2,5	171	1994								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 25770	0	0	0,093	> 18600	0	0	0,098	> 20130	0	0	0,097

Abbildung 36: Fixpunktprofile A320-211 – Masseszenario 1 (95 % MTOM)

A320-211
85% MTOM

NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-2,5	0	0	0	-2,5	0	0	0	-2,5	0	0
1490	-2,5	84	0	1490	-2,5	84	0	1490	-2,5	84	0
3770	-2,5	86	-	2830	-2,5	85	-	3770	-2,5	86	-
4270	-	86	457	3330	-	85	305	4270	-	86	457
4770	-3	-	-	3830	-3,5	-	-	4770	-3,5	-	-
7480	-3	88	914	6920	-3,5	112	575	7990	-3,5	113	731
11600	-3	116	1202	7660	-3,5	117	635	8750	-3,5	118	793
12450	-3	121	1267	18480	-2,5	126	2113	18490	-2,5	126	2110
18510	-2,5	126	2063	31420	-2	180	2961	31420	-2	180	2958
31290	-2,5	179	2906								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 31290	0	0	0,101	> 31420	0	0	0,101	> 31420	0	0	0,101

NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-2,5	0	0	0	-2,5	0	0	0	-2,5	0	0
1490	-2,5	84	0	1490	-2,5	84	0	1490	-2,5	84	0
3770	-2,5	86	-	2830	-2,5	85	-	3770	-2,5	86	-
4270	-	86	457	3330	-	85	305	4270	-	86	457
4770	-3	-	-	3830	-3,5	-	-	4770	-3,5	-	-
7480	-3	88	914	6920	-3,5	112	575	7990	-3,5	113	731
11600	-3	116	1202	16620	-3,5	165	1329	18060	-3	167	1502
22880	-3	171	2021								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 22880	0	0	0,108	> 16620	0	0	0,114	> 18060	0	0	0,113

Abbildung 37: Fixpunktprofile A320-211 – Masseszenario 2 (85 % MTOM)

Zusammenfassung Vertikalprofile A320-211

Die nachfolgende Abbildung 38 zeigt alle Vertikalprofile für den A320-211 vergleichend. Erneut zeigen die oberen beiden Diagramme die Szenarien mit Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit, die unteren beiden die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung, links wiederum Masseszenario 1 und rechts Masseszenario 2:

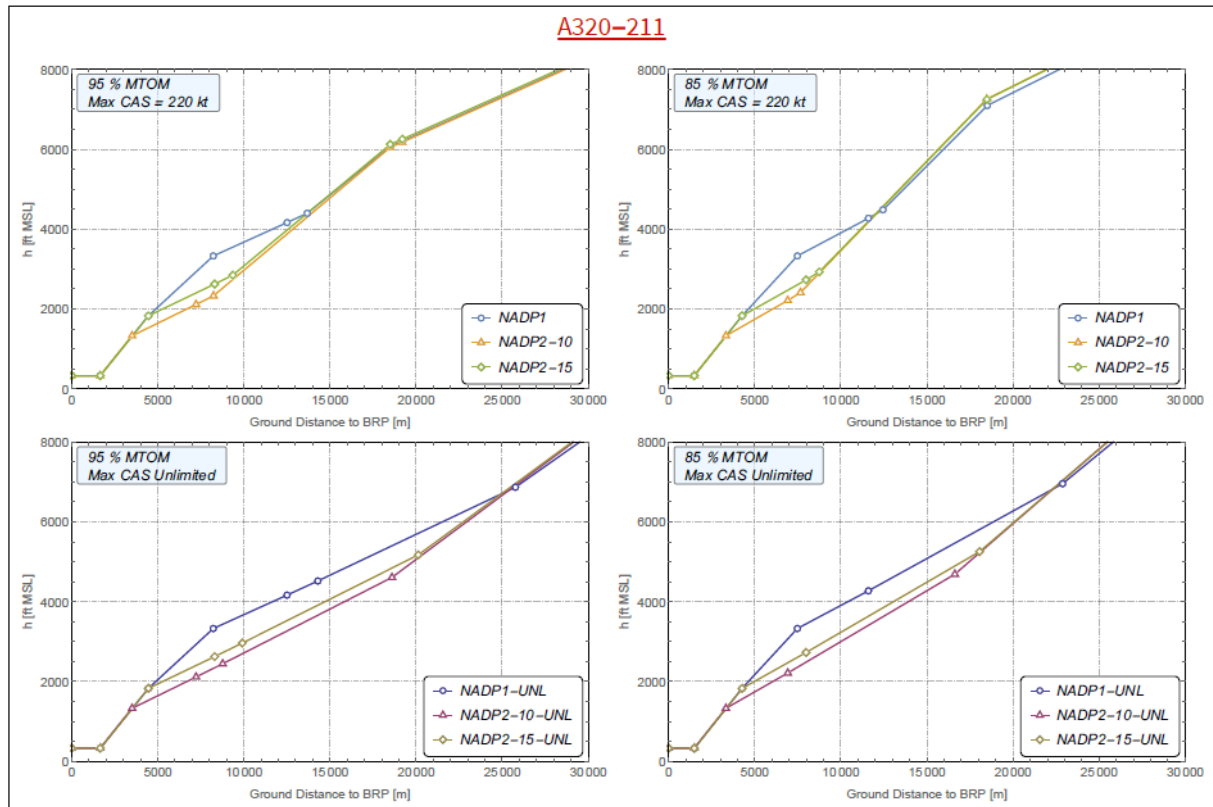


Abbildung 38: Zusammenfassung Vertikalprofile A320-211 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenerien

Wie in Abbildung 38 zu sehen, liegt für die Szenarien mit Geschwindigkeitsbegrenzung der Crossover-Punkt bei ca. 12 bis 17 km Entfernung zum Flughafen. Für die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung ist ein Crossover-Punkt in weiterer Entfernung bei ca. 23 bis 26 km vorhanden. Positive Effekte aus den Flachstartverfahren in Bezug auf den resultierenden Fluglärm sind folglich für den A320-211 nur bei entsprechend größeren Entfernungen zum Flughafen und bei Geschwindigkeitsbeschränkung zu erwarten.

Erneut sind die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung etwas flacher als jene mit Begrenzung auf 220 kt CAS.

Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den entsprechenden Anhängen A1 und A2 zum Gutachten.

5.6 A380-841

Für den A380-841 ergeben sich die Fixpunktprofile im AzB-Format für alle untersuchten Abflugverfahren wie in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt:

A380-841
100% MTOM

NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
3140	-1	96	0	3140	-1	96	0	3140	-1	96	0
7570	-0,5	98	-	5910	-1	97	-	7570	-0,5	98	-
8070	-	98	457	6410	-	97	305	8070	-	98	457
8570	-0,5	-	-	6910	-1	-	-	8570	-1	-	-
13230	-0,5	100	914	9880	-1	112	464	11610	-1	113	619
17130	-0,5	116	1084	10890	-1,5	117	517	12650	-1	117	673
18270	-0,5	120	1141	18510	-0,5	121	1209	18520	-0,5	121	1205
18520	-0,5	120	1163	22120	-1	134	1380	22110	-1	134	1376
22080	-1	133	1333	35140	-1,5	171	1960	35050	-1	171	1956
34880	-1	170	1910								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 34880	0	0	0,061	> 35140	0	0	0,061	> 35050	0	0	0,061

NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
3140	-1	96	0	3140	-1	96	0	3140	-1	96	0
7570	-0,5	98	-	5910	-1	97	-	7570	-0,5	98	-
8070	-	98	457	6410	-	97	305	8070	-	98	457
8570	-0,5	-	-	6910	-1	-	-	8570	-1	-	-
13230	-0,5	100	914	9880	-1	112	464	11610	-1	113	619
17130	-0,5	116	1084	14020	-1,5	129	676	15860	-1,5	130	834
21800	-1	133	1311	25080	-2	164	1205	27270	-1,5	166	1375
34540	-1,5	170	1885								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 34540	0	0	0,062	> 25080	0	0	0,065	> 27270	0	0	0,064

Abbildung 39: Fixpunktprofile A380-841 – Masseszenario 1 (100 % MTOM)

A380-841
75% MTOM

NADP1				NADP2-10				NADP2-15			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0
2370	-4,5	87	0	2370	-4,5	87	0	2370	-4,5	87	0
6810	-4,5	89	-	5150	-4,5	88	-	6810	-4,5	89	-
7310	-	89	457	5650	-	88	305	7310	-	89	457
7810	-4,5	-	-	6150	-4,5	-	-	7810	-4,5	-	-
12480	-4,5	91	914	10680	-4,5	111	533	12470	-4,5	112	689
18170	-4,5	114	1157	12080	-4,5	117	606	13900	-4,5	118	763
19740	-4,5	121	1235	18510	-4,5	121	1191	18520	-4,5	120	1183
36580	-4,5	171	1987	35260	-4,5	171	1938	35150	-4,5	171	1929
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 36580	0	0	0,059	> 35260	0	0	0,059	> 35150	0	0	0,06

NADP1-UNL				NADP2-10-UNL				NADP2-15-UNL			
σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]	σ' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0	0	-4,5	0	0
2370	-4,5	87	0	2370	-4,5	87	0	2370	-4,5	87	0
6810	-4,5	89	-	5150	-4,5	88	-	6810	-4,5	89	-
7310	-	89	457	5650	-	88	305	7310	-	89	457
7810	-4,5	-	-	6150	-4,5	-	-	7810	-4,5	-	-
12480	-4,5	91	914	10680	-4,5	111	533	12470	-4,5	112	689
18170	-4,5	114	1157	26640	-4,5	165	1296	28900	-4,5	167	1468
36500	-4,5	171	1985								
σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'	σ' [m]	dZ/d σ' [dB/m]	dV/d σ' [1/s]	dH/d σ'
> 36500	0	0	0,059	> 26640	0	0	0,063	> 28900	0	0	0,062

Abbildung 40: Fixpunktprofile A380-841 – Masseszenario 2 (75 % MTOM)

Zusammenfassung Vertikalprofile A380-841

Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt alle Vertikalprofile für den A380-841 vergleichend. Erneut zeigen die oberen beiden Diagramme die Szenarien mit Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit, die unteren beiden die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung, links wiederum Masseszenario 1 und rechts Masseszenario 2:

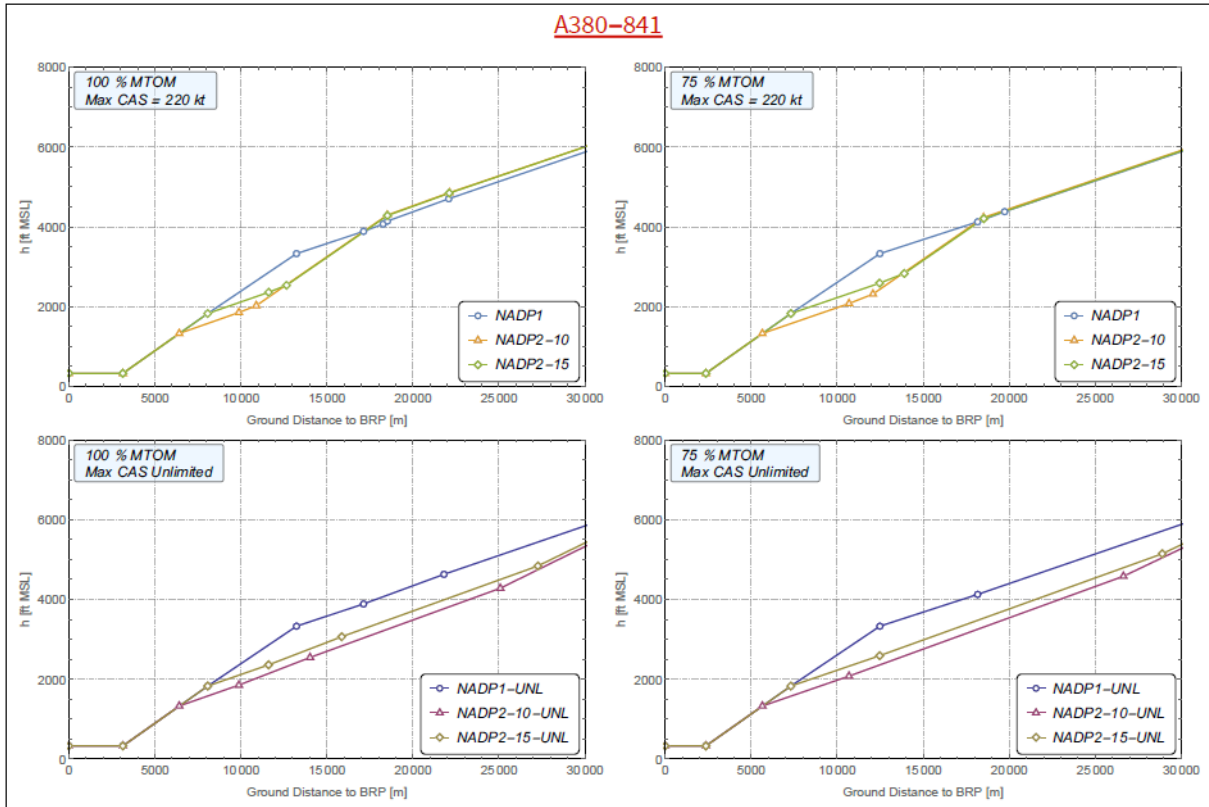


Abbildung 41: Zusammenfassung Vertikalprofile A320-211 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien

Wie in Abbildung 41 zu sehen, liegt für das Szenario mit Geschwindigkeitsbegrenzung und maximaler Abflugmasse der Crossover-Punkt bei ca. 17 km. Für die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung ist erneut kein Crossover-Punkt vorhanden. Positive Effekte aus den Flachstartverfahren in Bezug auf den resultierenden Fluglärm sind folglich für den A380-841 nur bei entsprechend größeren Entfernungen zum Flughafen mit maximaler Abflugmasse zu erwarten.

Erneut sind die Szenarien ohne Geschwindigkeitsbegrenzung etwas flacher als jene mit Begrenzung auf 220 kt CAS.

Die vollständigen Profilbeschreibungen der prozeduralen ECAC-Doc.-29-Profile finden sich in den entsprechenden Anhängen A1 und A2 zum Gutachten.

6 Sensitivitätsanalysen

6.1 Randbedingungen

Im Rahmen von nachfolgenden Sensitivitätsuntersuchungen sollen die Auswirkungen ausgewählter Parameter auf den resultierenden, berechneten Fluglärm untersucht werden. Folgende Parameter werden hierbei berücksichtigt:

- Auswirkungen von spezifischen Geschwindigkeitsbegrenzungen,
- Auswirkungen von spezifischen Höhenvorgaben entlang einer Abflugroute,
- Auswirkungen von Kurvenflügen,
- Auswirkungen von Intersection Take Offs.

Für diese Untersuchungen werden folgende LFZ-Masse-Kombinationen berücksichtigt:

- LFZ- Muster: A320-211, B777-300 ER, A380-841,
- Masseszenario: jeweils die höhere Auslastung (95 % bzw. 100 % MTOM),
- Startverfahren: NADP1, NADP2-10, NADP2-15,
- Abfluggeschwindigkeit max. 220 kt.

Ausnahmen werden für die Untersuchungen zum Intersection Take Off gemacht, die exklusiv für den A320-211 durchgeführt werden. Grund hierfür ist, dass Startverfahren mit stark verkürztem Startlauf nur mit diesem LFZ-Muster nach IR OPS durchgeführt werden können.

Für diese Szenarien und Parameter werden zunächst die jeweiligen Profile auf Basis der ECAC-Doc.-29-Vorgaben ermittelt. Diese werden sodann in eine Fluglärmrechnungssoftware implementiert.

6.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

6.2.1 Szenariobeschreibung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Geschwindigkeitsbegrenzung soll ermittelt werden, inwieweit die Begrenzung der maximalen Abfluggeschwindigkeit bis 10 NM Entfernung am Flughafen Frankfurt/Main zu einer Lärminderung beiträgt (oder ggf. gar zu Lärmerhöhungen führt).

Hierzu werden ergänzende Fixpunktprofile mit einer Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit auf 250 kt analog zu jenen mit 220 kt Maximalgeschwindigkeit bestimmt. Dies erfolgt für die drei oben genannten LFZ-Muster, Abflugverfahren und ein Masseszenario, so dass sich in Summe neun Fixpunktprofile je Geschwindigkeitsszenario ergeben.

Diese Profile werden sodann in die Fluglärmrechnungssoftware IMMI der Firma Wölfel implementiert. Als Anwendungsfall wurde eine generische Abflugroute ohne Kurven am Flughafen Frankfurt/Main auf der Piste 25L implementiert und mit einer Flugbewegung belegt. Die Fluglärmrechnung erfolgte für den SEL und den $L_{A,max}$ (siehe zur Erläuterung Kapitel 3.2).

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde die Differenz des resultierenden Fluglärms aus dem Szenario mit 250 kt und dem Szenario mit 220 kt Geschwindigkeitsbegrenzung für jede Zelle des Untersuchungsraumes gebildet und diese Differenzen als Konturlinien dargestellt. Rechnerisch ergibt sich die Ermittlung der Lärmdifferenzen folglich zu:

$$\Delta SEL = SEL_{v=250} - SEL_{v=220}$$

$$\Delta L_{A,max} = L_{A,max v=250} - L_{A,max v=220}$$

Bereiche, in denen das 250-kt-Szenario mehr Lärm verursacht als das 220-kt-Szenario sind in Rotabstufungen dargestellt, und entsprechend bei Lärminderung des 250-kt-Szenarios ggü. dem 220-kt-Szenario in Blaubstufungen. Lärmdifferenzen unterhalb von +/-0,5 dB(A) sind als neutral eingestuft und nicht eingefärbt. Gebiete, in denen der Fluglärm weniger als 65 dB(A) SEL bzw. 55 dB(A) $L_{A,max}$ betrug, wurden nicht berücksichtigt. Zudem sind Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerte sowie die jeweiligen Flächenanteile je Lärmdifferenzzone innerhalb der jeweiligen Abbildung dargestellt.

6.2.2 Sensitivitätsanalysen A320-211

NADP1

Die nachfolgende Abbildung 42 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP1-Abflugverfahren des A320-211 für SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten):

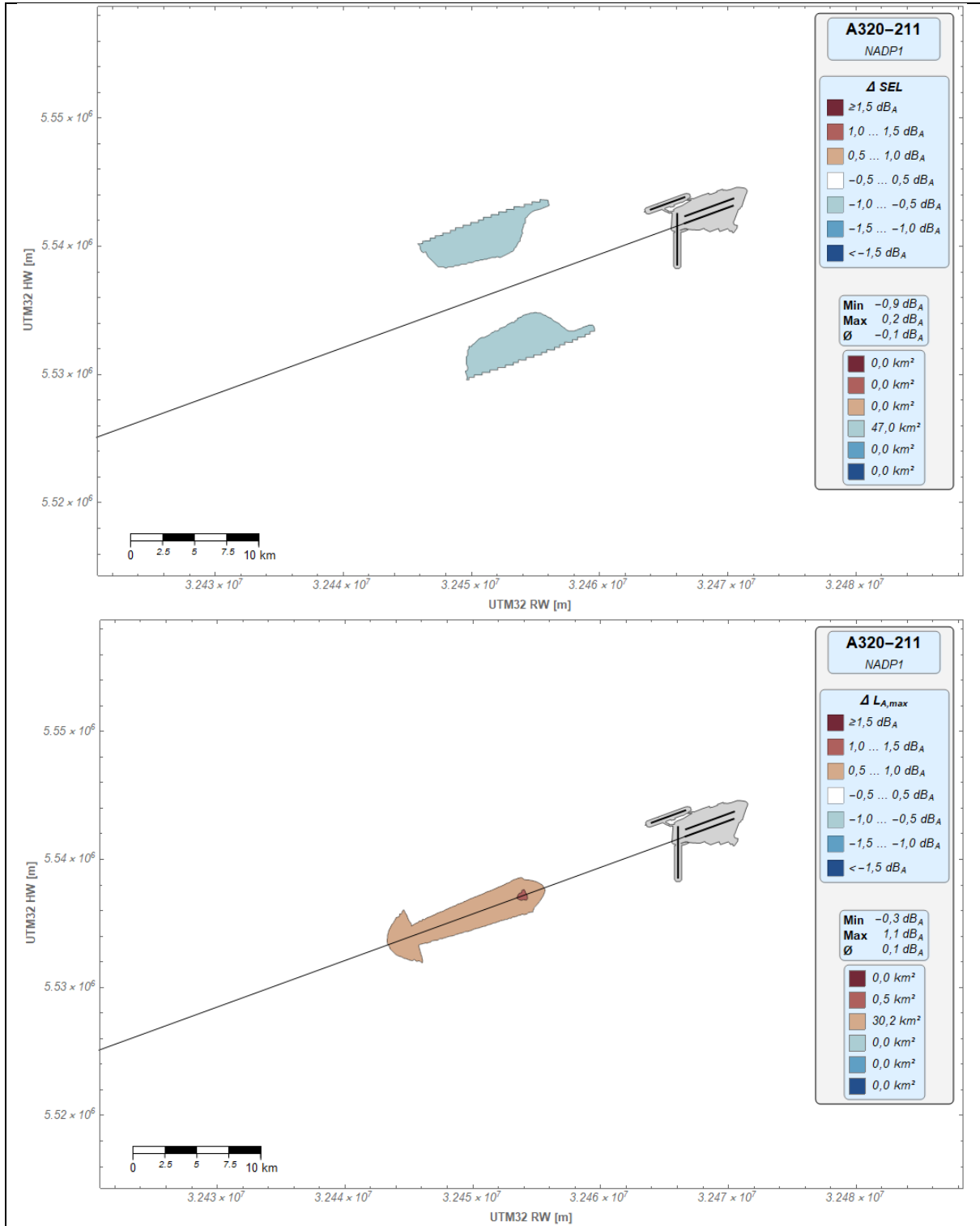


Abbildung 42: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP1

NADP2-10

Die nachfolgende Abbildung 43 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10-Abflugverfahren des A320-211, erneut für den SEL (oben) und den $L_{A,max}$ (unten):

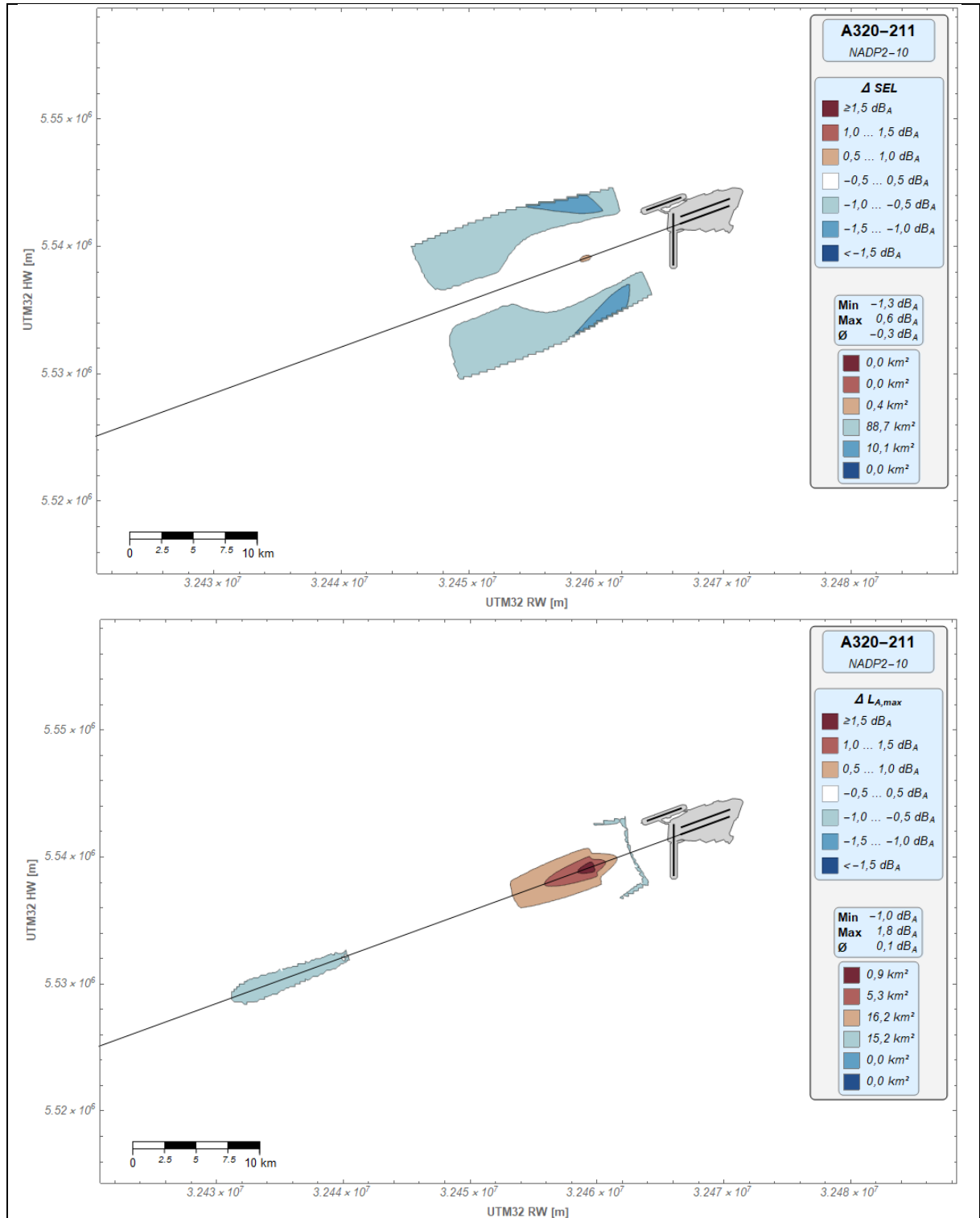


Abbildung 43: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP2-10

NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP2-10 vernachlässigbar sind.

Zusammenfassung A320

Für den A320 ergibt sich in Bezug auf den SEL im Mittel eine **leichte Lärminderung** bei Anhebung der Maximalgeschwindigkeit von 220 kt auf 250 kt (ca. -0,3 dB im Mittel beim NADP2-10-Verfahren). Allerdings ist hinsichtlich des $L_{A,max}$ festzustellen, dass hier lediglich eine Lärmverschiebung stattfindet. Bereiche direkt unterhalb des Flugpfades sind gar von einer Lärmerhöhung betroffen, wohingegen Bereiche mit größeren seitlichen Abständen von einer Lärminderung auf Grund des flacheren Steigprofils profitieren.

6.2.3 Sensitivitätsanalysen B777-300ER

NADP1

Die nachfolgende Abbildung 44 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP1-Abflugverfahren der B777-300ER für den SEL (oben) und den $L_{A,max}$ (unten):

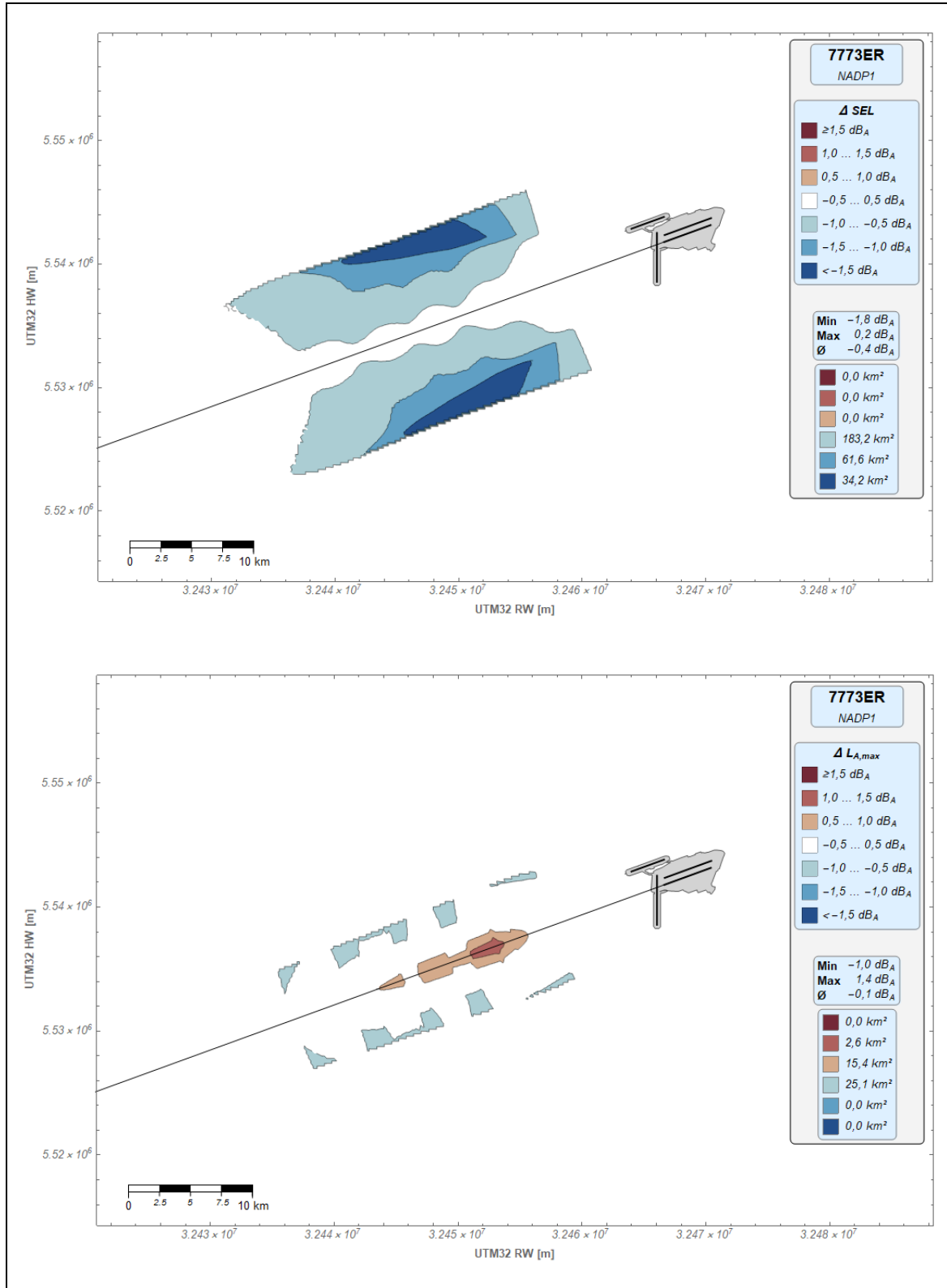


Abbildung 44: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), B777-300ER, NADP1

NADP2-10

Die nachfolgende Abbildung 45 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10-Abflugverfahren der B777-300ER, erneut für den SEL (oben) und den $L_{A,max}$ (unten):

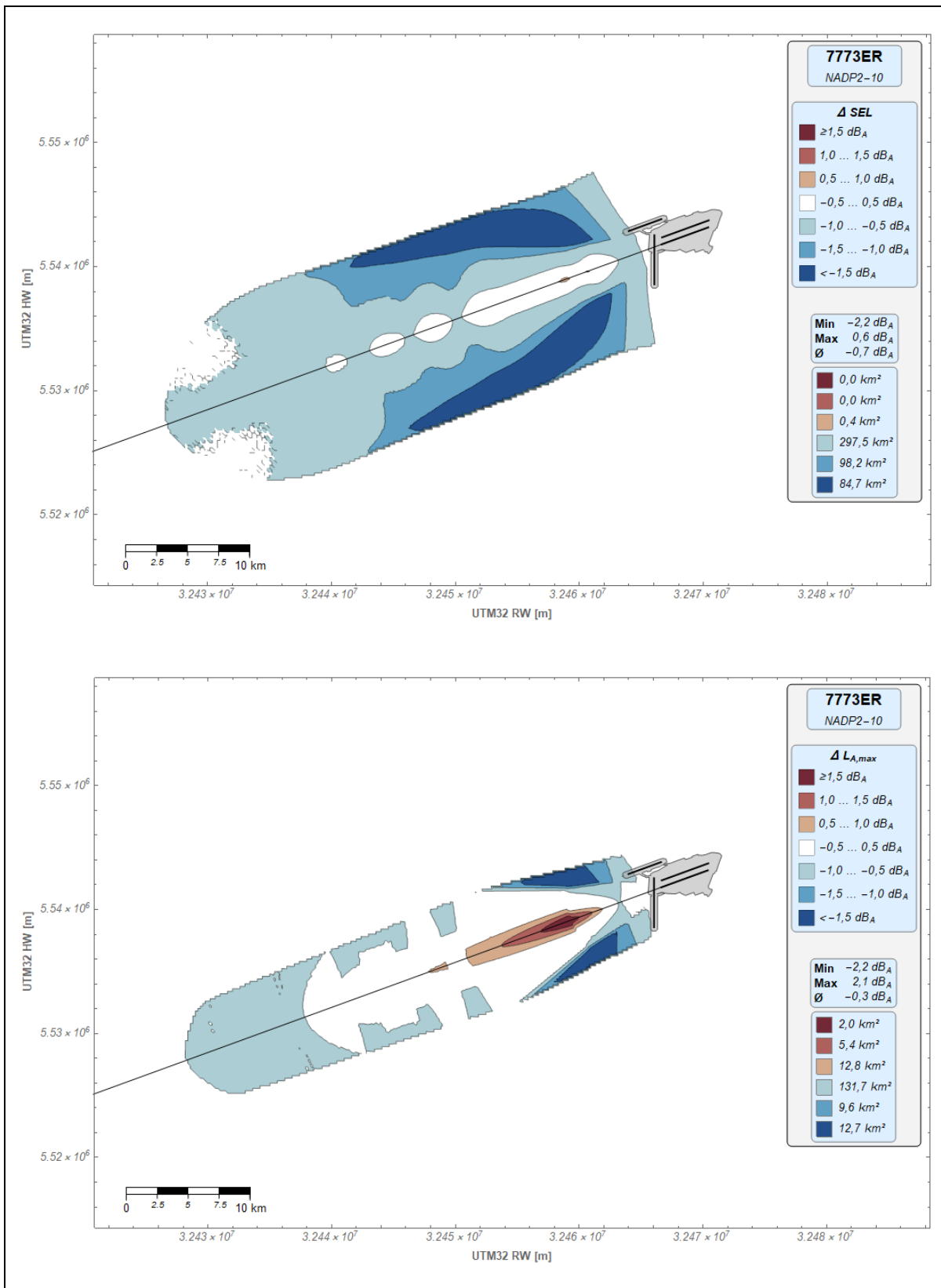


Abbildung 45: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), B777-300ER, NADP2-10

NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle ebenfalls verzichtet, da die Unterschiede zum NADP2-10 marginal sind.

Zusammenfassung B777-300ER

Für die B777-300ER ergibt sich ein ähnliches Bild wie für den A320: In Bezug auf den SEL ist eine leichte Lärminderung bei Anhebung der Maximalgeschwindigkeit von 220 kt auf 250 kt (ca. -0,3 dB im Mittel) zu verzeichnen, insbesondere abseits der Abflugroute in Bereichen von mehr als 2 km seitlichem Abstand. Auch hinsichtlich des $L_{A,max}$ ist festzustellen, dass die Ergebnisse jenen des A320 ähneln. Auch hier ist lediglich eine Lärmverschiebung festzustellen. Bereiche direkt unterhalb des Flugpfades sind hingegen ebenfalls von einer Lärmerhöhung betroffen, wohingegen Bereiche mit größeren seitlichen Abständen von einer Lärminderung auf Grund des flacheren Steigprofils profitieren.

6.2.4 Sensitivitätsanalysen A380-841

NADP1

Für das NADP1-Abflugverfahren sind die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien (220 kt vs. 250 kt) marginal: Hinsichtlich beider Metriken (SEL und $L_{A,max}$) sind die Differenzen in allen Bereichen stets kleiner als 0,5 dB. Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen wird daher an dieser Stelle verzichtet.

NADP2-10

Die nachfolgende Abbildung 46 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10-Abflugverfahren des A380-841 für den SEL (oben) und den $L_{A,max}$ (unten):

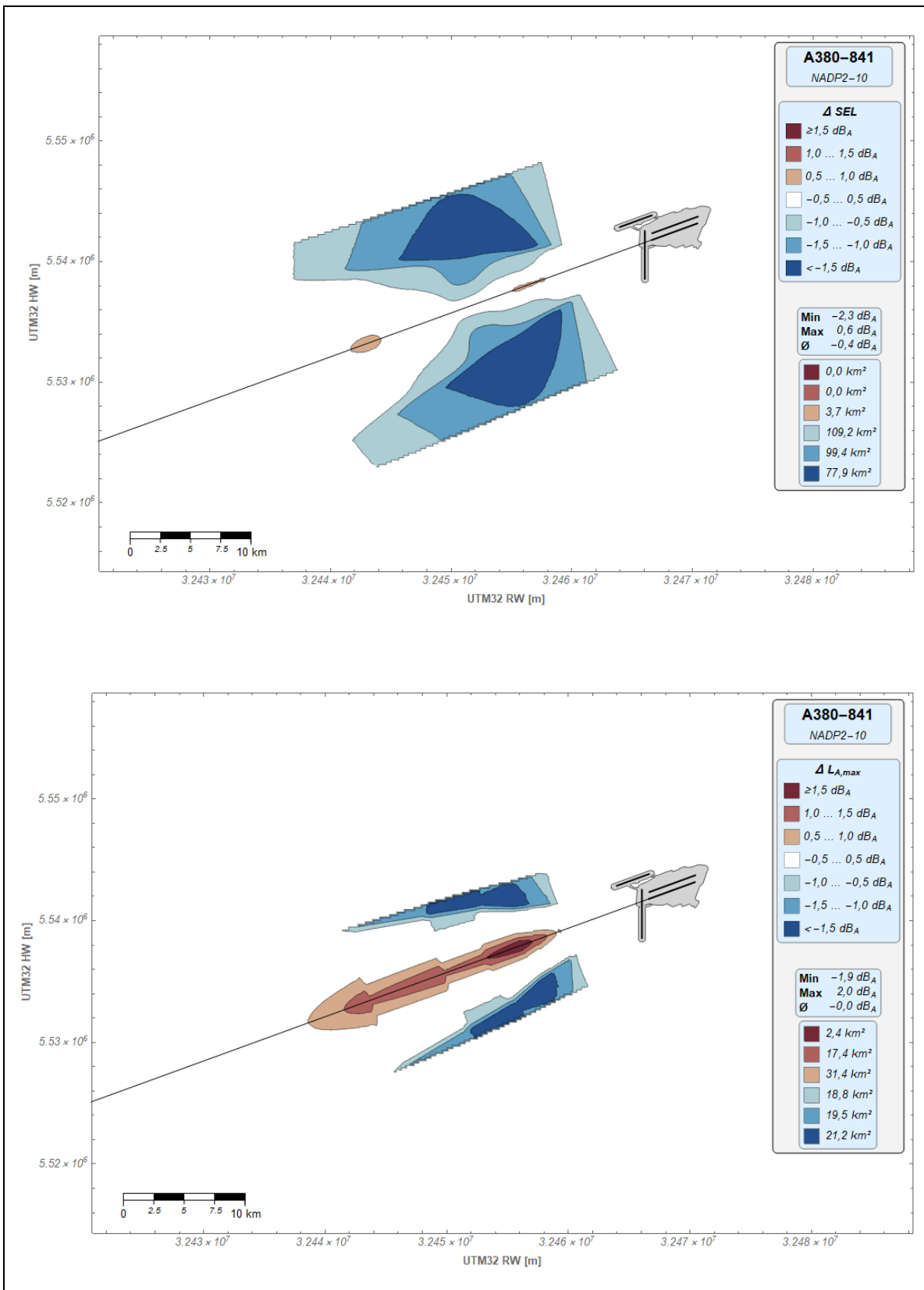


Abbildung 46: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A380-841, NADP2-10

NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP2-10-Verfahren vernachlässigbar sind.

Zusammenfassung A380

Für den A380 ergibt sich für das NADP1-Abflugverfahren ein leicht abweichendes Bild im Vergleich zu den anderen LFZ-Mustern, da hier die Geschwindigkeitsbegrenzung keine Auswirkungen auf den resultierenden Fluglärm hat. In Bezug auf die NADP2-10- und NADP2-15-Abflugverfahren gleichen sich die Muster wieder: Durch die Begrenzung der Abfluggeschwindigkeit auf 220 kt wird eine Lärmverschiebung erreicht. Bereiche direkt unterhalb des Flugpfades profitieren von einer Lärminderung, wohingegen Bereiche mit größeren seitlichen Abständen von einer Lärmerhöhung betroffen sind.

Zusammenfassung aller Muster

Es zeigt sich also, dass über alle betrachteten LFZ-Muster die Begrenzung der maximalen Abfluggeschwindigkeit auf 220 kt ausschließlich Lärminderung direkt unterhalb der Abflugroute erlaubt, in deutlich größeren Bereichen querab der Abflugroute hingegen Lärmerhöhung verursacht.

6.3 Höhengvorgabe

6.3.1 Szenariobeschreibung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Höhengvorgabe soll ermittelt werden, inwieweit die Forderung einer Minimalhöhe an einem spezifischen Wegpunkt einer Abflugroute zu einer Lärminderung beiträgt oder ggf. gar zu Lärmerhöhungen führt. Hierfür wurde die Abflugroute CINDY 1S auf der Startbahn 18 des Flughafens Frankfurt/Main durch den AG als Untersuchungsgegenstand ausgewählt. Für die Abflugroute CINDY 1S ist am Wegpunkt DF159 eine Höhengvorgabe eingerichtet. Abfliegende Luftfahrzeuge müssen an dieser Stelle (11,3 km Entfernung zum Startpunkt) eine minimale Flughöhe von 2.500 Fuß MSL (QNH) aufweisen.

Die nachfolgende Abbildung 47 zeigt die Routenbeschreibung der CINDY 1S mit Höhengvorgabe gemäß AIP:

Designator	Route	After Take-Off		Remarks
		Climb to	Contact	
1	2	3	4	5
CINDY 1S	CINDY ONE SIERRA On RWY track to 800 or 12.0 DME RID (crossing R223 FFM), whichever is later; LT (MAX IAS 220 KT until established on track 117°), on track 117° to AMTIX (Δ); LT, on track 102° to CINDY (Δ). Cross R200 FFM at 2500 or above. GPS/FMS RNAV: [A800+] - DF158[K220-; L] - DF159[A2500+] - AMTIX[L] - CINDY.	4000 ft	Langen Radar 136.130*	1. PDG 9.3% / 570ft/NM until passing 2500 due to airspace structure. If unable to comply, advise EDDF DELIVERY prior to start-up and expect routing via SID CINDY L. 2. After crossing R200 FFM BRNAV equipment necessary. 3. Do not turn before DER.

Abbildung 47: Routenbeschreibung CINDY 1S aus AIP Deutschland, Flughafen Frankfurt/Main

Zur Bestimmung der Lärmdifferenzen wurden ergänzende Fixpunktprofile mit o. g. Höhenrestriktion analog zu denen ohne Höhengvorgabe bestimmt. Diese wurden für die drei oben genannten LFZ-Muster, Abflugverfahren und ein Masseszenario bestimmt, so dass sich in Summe erneut neun Fixpunktprofile je Geschwindigkeitsszenario ergeben.

Diese Profile wurden ebenfalls in die Fluglärmrechnungssoftware IMMI implementiert. Als Anwendungsfall wurde o. g. Abflugroute implementiert und mit einer Flugbewegung belegt. Die Fluglärmrechnung erfolgte für den SEL und den $L_{A,max}$.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde die Differenz des resultierenden Fluglärms aus dem Szenario mit Höhengvorgabe von 2.500 Fuß am DF159 (*min2500*) und dem Szenario ohne Höhengvorgabe (*UNR*) für jede Zelle des Untersuchungsraumes gebildet und diese Differenzen als Konturlinien dargestellt. Rechnerisch ergibt sich die Ermittlung der Lärmdifferenzen folglich zu:

$$\Delta SEL = SEL_{min2500} - SEL_{UNR}$$

$$\Delta L_{A,max} = L_{A,max min2500} - L_{A,max UNR}$$

Die Farbabstufungen der jeweiligen Lärmdifferenzkonturen folgen den Vorgaben des vorangegangenen Kapitels.

6.3.2 Sensitivitätsanalysen A320-211

Für den A320-211 ergeben sich für keines der drei untersuchten Startverfahren steilere Profile für das Szenario mit Höhenrestriktion ggü. dem Szenario ohne Höhenrestriktion, da die Restriktionshöhe von 2.500 Fuß (zum Teil deutlich) vor Erreichen des limitierenden Wegpunktes DF159 erreicht wird.

Die Höhenvorgabe entlang der Route CINDY 1S hat somit keinen Einfluss auf den resultierenden Fluglärm eines A320-211.

6.3.3 Sensitivitätsanalysen B777-300ER

Für die B777-300ER ergeben sich ebenfalls für keines der drei untersuchten Startverfahren abweichende Profile. Die Restriktionshöhe von 2.500 Fuß wird erneut vor Erreichen des Wegpunktes DF159 erreicht wird.

Die Höhenvorgabe entlang der Route CINDY 1S hat somit keinen Einfluss auf den resultierenden Fluglärm einer B777-300ER.

6.3.4 Sensitivitätsanalysen A380-841

NADP1

Für den A380-841 ergeben sich im NADP1-Startverfahren keine abweichenden Profile. Die Restriktionshöhe von 2.500 Fuß wird vor dem Passieren des Wegpunktes DF159 erreicht.

Die Höhenvorgabe entlang der Route CINDY 1S hat somit keinen Einfluss auf den resultierenden Fluglärm eines A380-841 im NADP1-Abflugverfahren.

NADP2-10

Für den A380-841 ergeben sich im NADP2-10-Startverfahren keine abweichenden Profile. Die Restriktionshöhe von 2.500 Fuß wird vor dem Passieren des Wegpunktes DF159 erreicht.

Die Höhenvorgabe entlang der Route CINDY 1S hat somit keinen Einfluss auf den resultierenden Fluglärm eines A380-841 im NADP2-10-Abflugverfahren.

NADP2-15

Die nachfolgende Abbildung 48 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-15-Abflugverfahren des A380-841 für den SEL (oben) und den $L_{A,max}$ (unten):

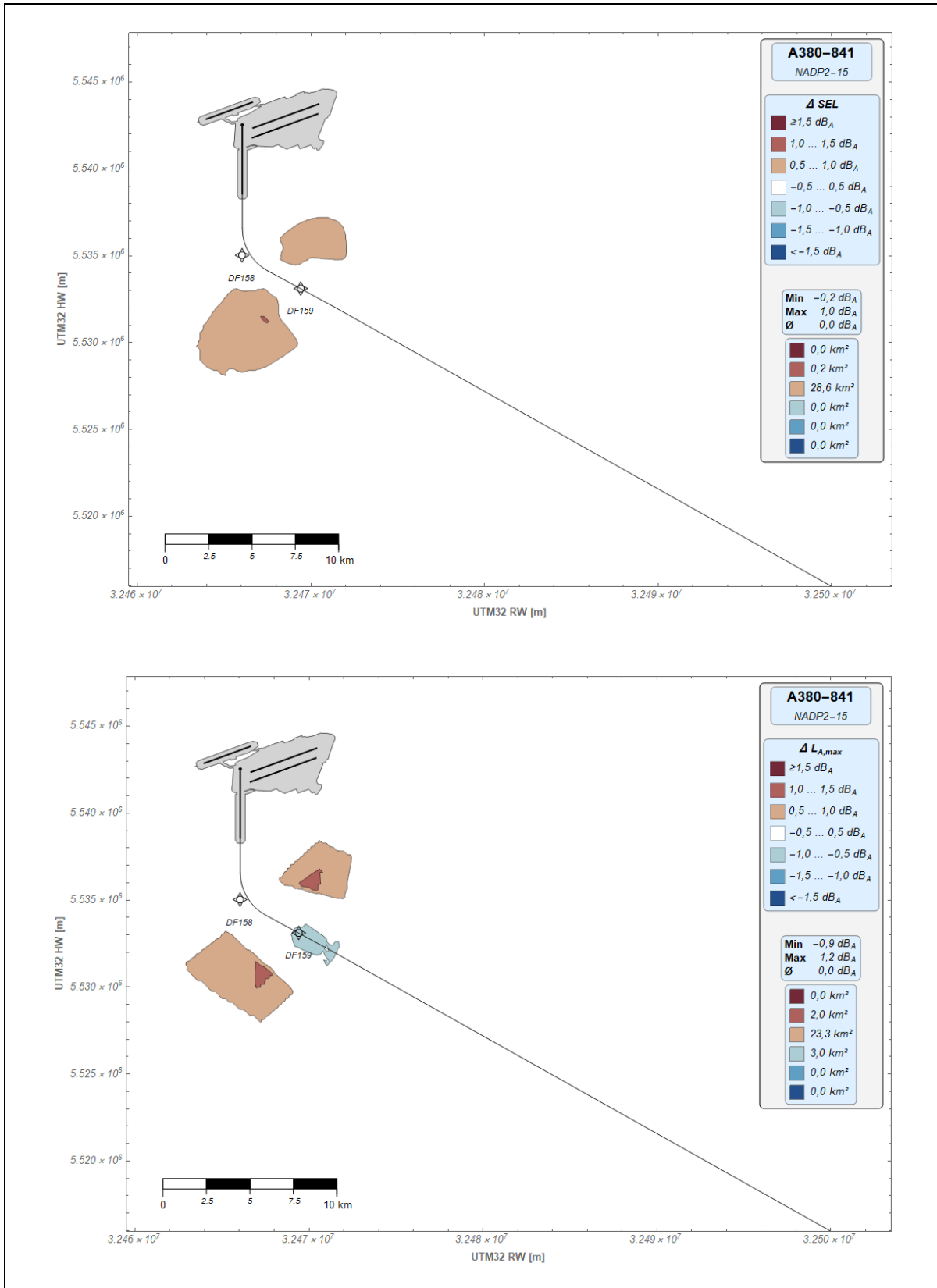


Abbildung 48: Höhengvorgabe – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A380-841, NADP2-10

NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP2-10 nur marginal sind.

Zusammenfassung A380-841

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Höhenrestriktion am DF159 nur geringe Auswirkungen auf den Fluglärm verursacht. Lediglich für den A380 ist im Flachstartverfahren (NADP2) ein abweichendes Profil mit höherem Steiggradienten festzustellen, dessen Auswirkung auf den Fluglärm allerdings gering ist. Es findet vorrangig eine Lärmverschiebung statt. Kleine Bereiche direkt unterhalb der Abflugroute erfahren durch die Höhenrestriktion eine leichte Lärminderung. Deutliche größere Bereiche abseits der Abflugroute sind hingegen von Lärmzuwachs betroffen.

6.4 Kurvenflug

6.4.1 Szenariobeschreibung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Höhenvorgabe soll ermittelt werden, inwieweit die rechnerische Berücksichtigung des Kurvenfluges Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Fluglärmrechnung mit sich bringt. Hierfür wurde die Abflugroute TOBAK 2W von der Startbahn 25C des Flughafens Frankfurt/Main durch den AG als Untersuchungsgegenstand ausgewählt.

Zur Bestimmung der Lärmdifferenzen wurden ergänzende Fixpunktprofile mit Berücksichtigung des Kurvenfluges bei einem Standard-Querneigungswinkel von 25° ($\beta=25$) bestimmt. Diese wurden für die drei oben genannten LFZ-Muster, Abflugverfahren und ein Masseszenario bestimmt, so dass sich in Summe neun Fixpunktprofile je Geschwindigkeitsszenario ergeben.

Diese Profile wurden neuerlich in die Fluglärmrechnungssoftware IMMI implementiert. Als Anwendungsfall wurde o. g. Abflugroute implementiert und mit einer Flugbewegung belegt. Die Fluglärmrechnung erfolgte für den SEL und den $L_{A,max}$.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde die Differenz des resultierenden Fluglärms aus dem Szenario mit Berücksichtigung des Kurvenfluges und dem Szenario ohne Berücksichtigung des Kurvenfluges ($\beta=0$) für jede Zelle des Untersuchungsraumes gebildet und diese Differenzen als Konturlinien dargestellt. Rechnerisch ergibt sich die Ermittlung der Lärmdifferenzen folglich zu:

$$\Delta SEL = SEL_{\beta=25} - SEL_{\beta=0}$$

$$\Delta L_{A,max} = L_{A,max \beta=25} - L_{A,max \beta=0}$$

Die Farbabstufungslogik für die Lärmdifferenzkonturen folgt unverändert den vorangegangenen Kapiteln.

6.4.2 Sensitivitätsanalysen A320-211

NADP1

Die nachfolgende Abbildung 49 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP1-Abflugverfahren des A320-211 für den SEL (links) und den $L_{A,max}$ (rechts):

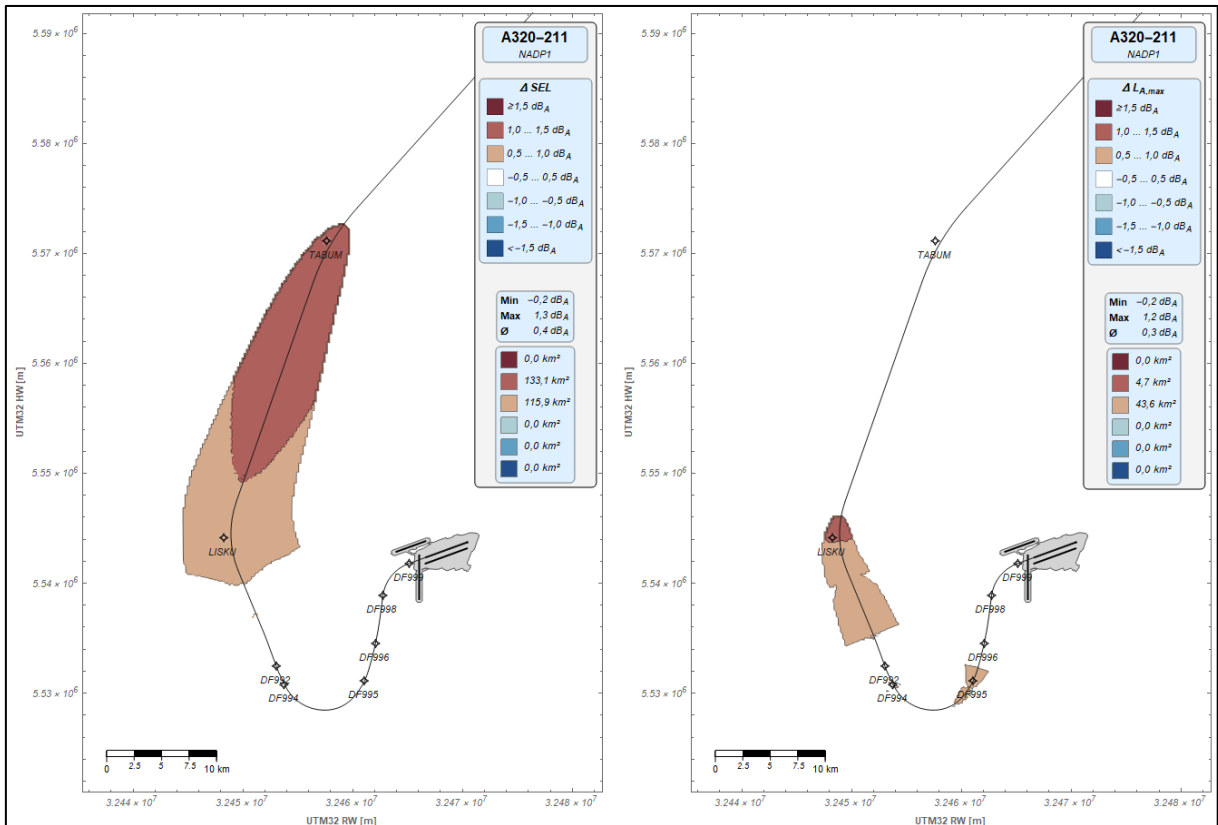


Abbildung 49: Kurvenvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (links) und $L_{A,max}$ (rechts), A320-211, NADP1

NADP2-10 und NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10- und NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP1 zu gering sind.

6.4.3 Sensitivitätsanalysen B777-300ER

NADP1

Die nachfolgende Abbildung 50 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP1-Abflugverfahren der B777-300ER für den SEL (links) und den $L_{A,max}$ (rechts):

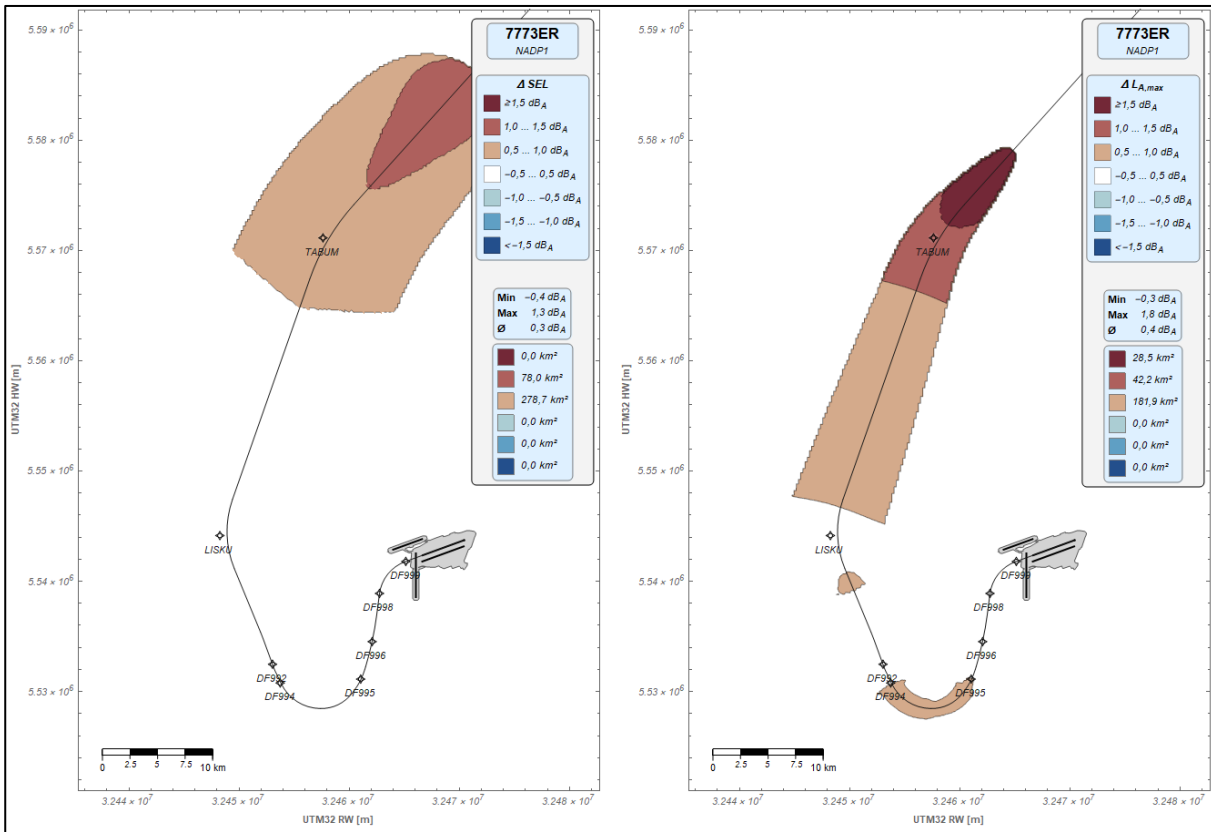


Abbildung 50: Kurvenvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (links) und $L_{A,max}$ (rechts), B777-300ER, NADP1

NADP2-10 und NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10- und NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP1 nur gering sind.

6.4.4 Sensitivitätsanalysen A380-841

NADP1

Die nachfolgende Abbildung 51 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP1-Abflugverfahren des A380-841 für den SEL (links) und den $L_{A,max}$ (rechts):

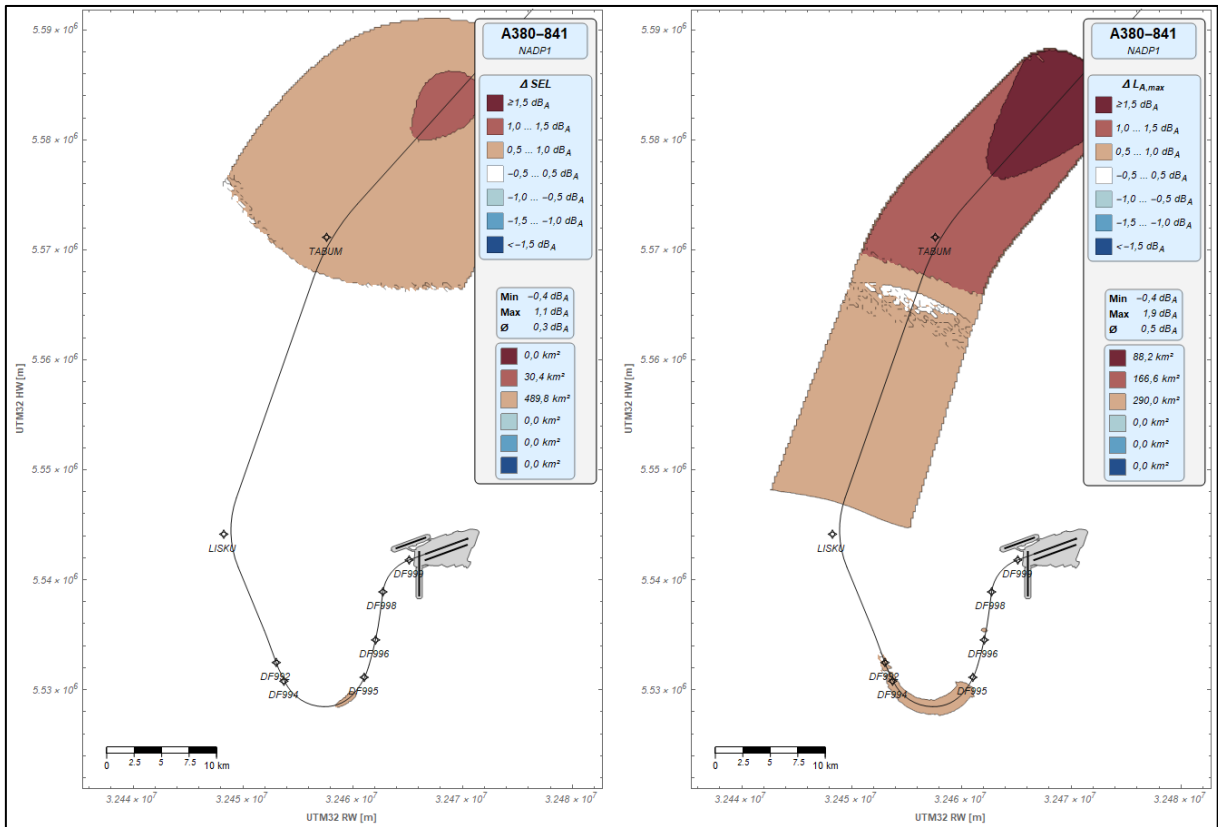


Abbildung 51: Kurvenvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (links) und $L_{A,max}$ (rechts), A380-841, NADP1

NADP2-10 und NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10- und NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP1 zu gering sind.

Zusammenfassung A380-841

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Berücksichtigung des Kurvenfluges bei der Fluglärmrechnung erwartungsgemäß zu insgesamt höheren Fluglärmwerten führt, da flachere Flugprofile entstehen. Allerdings zeigen sich diese Auswirkungen erst bei großen bis sehr großen Entfernungen zum Flughafen. Flughafennahe Bereiche werden auch unter Vernachlässigung des Kurvenflugeinflusses recht präzise (Fehler < 0,5 dB) bestimmt.

6.5 Intersection Take Off

6.5.1 Szenariobeschreibung

Im Rahmen dieser Untersuchungen soll ermittelt werden, inwieweit ein Verschieben des Startpunktes auf der Startbahn 18 des Flughafens Frankfurt/Main (sog. *Intersection Take Off*, Aufrollen auf die Piste 18 über den TWY S) zu einer Lärmerhöhung beiträgt.

Auf Grund der dann nur noch kurzen zur Verfügung stehenden Startstrecke von ca. 2700 m ist der *Intersection Take Off* nur für eines der hier untersuchten LFZ-Muster – die A320-211 – möglich. Zudem ist hier ein Start mit maximalem Schub (TOGA) zu unterstellen, sowie ein abweichendes Flap-Setting (Start mit Flaps 2 anstatt 1+F). Letzteres ist jedoch auf Grund nicht vorliegender Daten innerhalb der ANP-Datenbank nicht abbildbar. Dies ist in der Ergebniswürdigung zu werten, da positive Effekte aus der abweichenden Klappenstellung (steileres Vertikalprofil) eben nicht abgebildet werden können.

Hierzu werden ergänzende Fixpunktprofile mit einer Erhöhung des Startschubes auf TOGA analog zu jenen mit reduziertem Startschub (FLEX Take Off) bestimmt. Dies erfolgt für die drei oben genannten Abflugverfahren und ein Masseszenario, so dass sich in Summe drei Fixpunktprofile je Szenario ergeben.

Diese Profile werden sodann in die Fluglärmerechnungssoftware IMMI der Firma Wölfel implementiert. Als Anwendungsfall wurde die Abflugroute CINDY 1S auf der Startbahn 18 des Flughafens Frankfurt/Main implementiert und mit einer Flugbewegung belegt. Die Fluglärmerechnung erfolgte für den SEL und den $L_{A,max}$ (siehe zur Erläuterung Kapitel 3.2).

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde die Differenz des resultierenden Fluglärms aus dem Szenario bei voller Bahnlänge (also Startlaufbeginn am TWY N) und dem Szenario mit *Intersection Take Off* (Startlaufbeginn am TWY S) für jede Zelle des Untersuchungsraumes gebildet und diese Differenzen als Konturlinien dargestellt. Rechnerisch ergibt sich die Ermittlung der Lärmdifferenzen folglich zu:

$$\Delta SEL = SEL_{TWY N} - SEL_{TWY S}$$

$$\Delta L_{A,max} = L_{A,max TWY N} - L_{A,max TWY S}$$

Die Farbabstufungslogik für die Lärmdifferenzkonturen folgt unverändert den vorangegangenen Kapiteln.

6.5.2 Sensitivitätsanalysen A320-211

NADP1

Die nachfolgende Abbildung 52 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP1-Abflugverfahren des A320-211 für SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten):

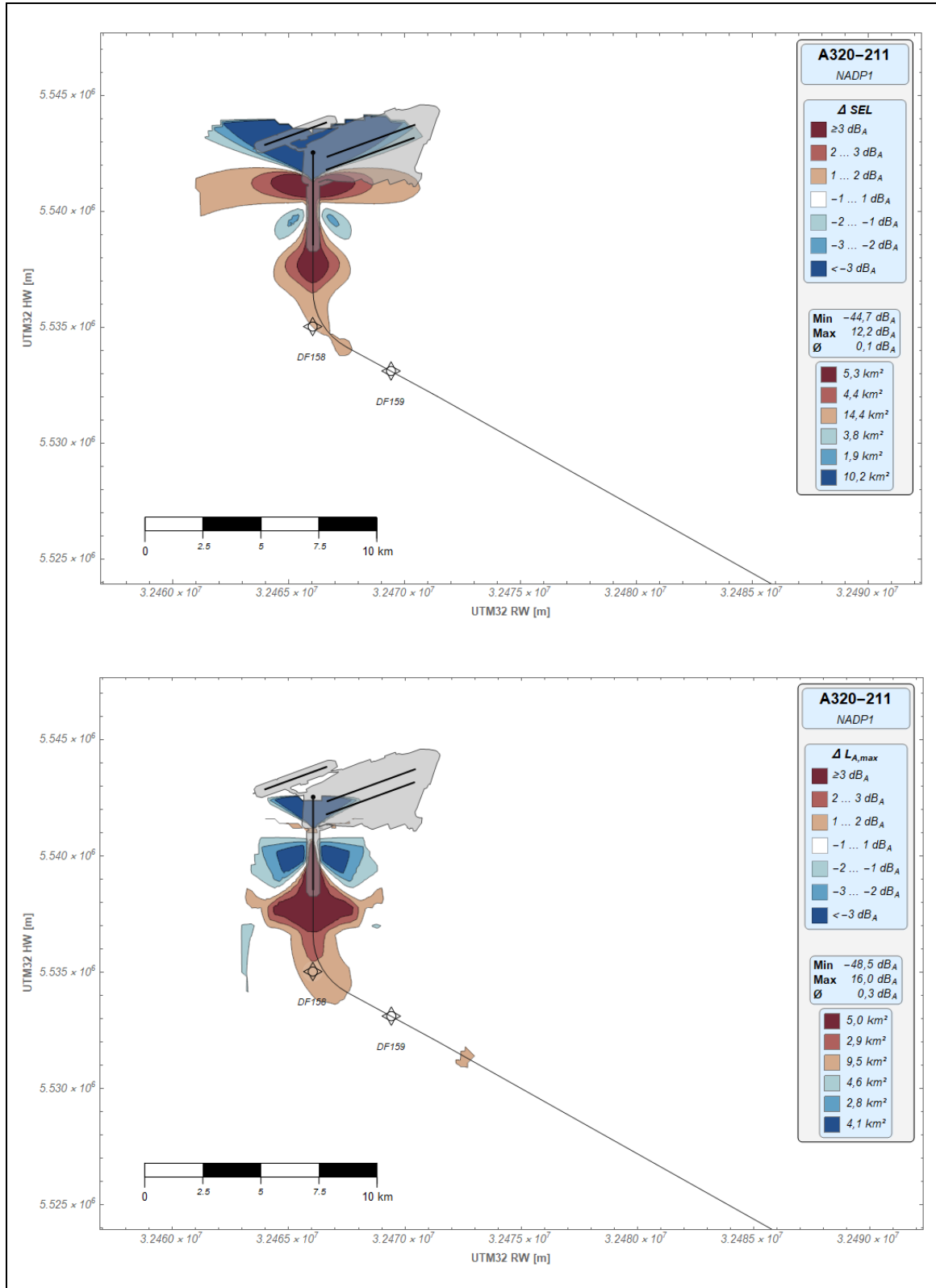


Abbildung 52: Intersection Take Off – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP1

NADP2-10

Die nachfolgende Abbildung 53 zeigt die Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-10-Abflugverfahren des A320-211, erneut für den SEL (oben) und den $L_{A,max}$ (unten):

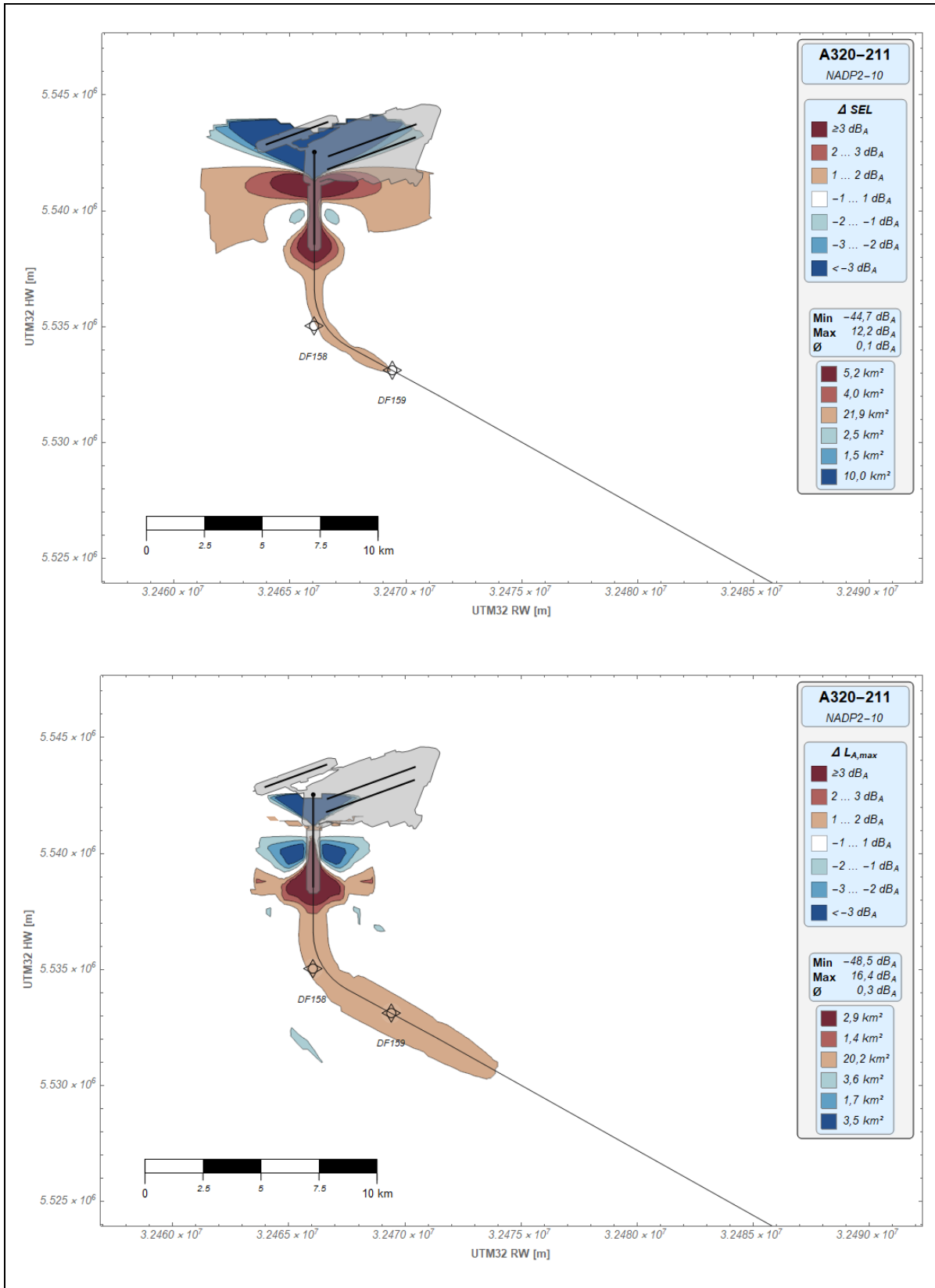


Abbildung 53: Intersection Take Off – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP2-10

NADP2-15

Auf die Darstellung der Lärmdifferenzkonturen für das NADP2-15-Abflugverfahren wird an dieser Stelle verzichtet, da die Unterschiede zum NADP2-10 vernachlässigbar sind.

Zusammenfassung

Für den *Intersection Take Off* ergibt sich hinsichtlich beider Lärmmetriken (SEL und $L_{A,max}$) im Mittel eine Lärmverschiebung. Die Anwendung von *Intersection-Take-Off*-Verfahren führt zu einer signifikanten Lärmerhöhung von in etwa der Hälfte der Startbahn bis ca. 15 km Flugentfernung nach dem Startpunkt. Lärminderung wird lediglich auf dem Flughafengelände erreicht, bzw. in Bezug auf den SEL noch in kleineren Bereichen nordwestlich des Flughafengeländes. Diese Ergebnisse berücksichtigen allerdings keine ggf. positiv wirkenden Effekte aus veränderter Klappenstellung beim Start. Ein Start mit der Klappenstellung „*Flaps 2*“ kann, wie oben bereits erwähnt, auf Grund fehlender diesbezüglicher Daten innerhalb der ANP-Datenbank, rechnerisch nicht abgebildet werden. Die in obigen Abbildungen dargestellten Lärmverschiebungen resultieren folglich ausschließlich aus der veränderten Lage des Startpunktes und des erhöhten Schubbedarfes für das *Intersection-Take-Off*-Szenario.

Abkürzungsverzeichnis

AB	Air Berlin
ACC	Acceleration Segment
AEDT	Aviation Environmental Design Tool
AG	Auftraggeber
ANMAC	Aircraft Noise Monitoring Advisory Committee
ANP	Aircraft Noise and Performance
AZA	Alitalia
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
CAA	Civil Aviation Authority (britische Zivilluftfahrtbehörde)
CAS	Calibrated Airspeed
CCA	Air China
CNOSSOS-EU	Common Noise Assessment Methods in Europe
CS	Climb Segment
dB(A)	A-bewertetes Dezibel
DEGA	Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.
Doc.	Document
DoT	Department of Transport
DUS	Flughafen Düsseldorf
ECAC	European Civil Aviation Conference
EU	Europäische Union
FANOMOS	Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
ft	Fuß (1 ft = 0,3048 m)
GfL	Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
ISA	Internationale Standardatmosphäre (Internationale Normatmosphäre – INA)
kt	Knoten (1 kt = 1,852 km/h)
L_{A,eq}	A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel
L_{A,max}	A-bewerteter Maximalpegel
LFZ	Luftfahrzeug
LH	Lufthansa
LVG	Luftverkehrsgesellschaft (Airline)
MP	Messpunkt
MTOM	Maximum Takeoff Mass (maximale Startmasse)
NADP	Noise Abatement Departure Procedure

NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (Nationales Luft- und Raumfahrtlabor der Niederlande)
NM	Nautische Meile (1 NM = 1,852 km)
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations (ICAO Doc. 8168)
SEL	Sound Exposure Level
SID	Standard Instrument Departure (Standard-Instrumenten-Abflugroute)
SLB	Start- und Landebahn
TOGA	Take Off/Go Around (maximaler Startschub)
TWY	Taxiway
UNL	unlimitiert
UWG	Unabhängige Wählergemeinschaft

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: NADP1-Verfahren gemäß ICAO PANS OPS [4].....	11
Abbildung 2: NADP2-Verfahren gemäß ICAO PANS OPS [4].....	11
Abbildung 3: Isophone; konstant laut empfundener Schalldruck in Abhängigkeit der Frequenz [2].....	12
Abbildung 4: Beispielhafte Lärmpegel und Pegeldifferenzen gemäß [5].....	14
Abbildung 5: Untersuchte Abflugverfahren in [5]	14
Abbildung 6: Durchschnittliche $L_{A,max}$ -Werte und Abflugprofile, Flughafen London Heathrow, Detling-SID, Sommer 2017 [6].....	18
Abbildung 7: Höhenprofile für Fallstudie zu NADP1- und NADP2-Verfahren mit reduziertem Schub, Airbus A380 [6].....	18
Abbildung 8: Abweichungen des SEL bei NADP1 mit reduziertem Schub, Airbus A380 [6]..	19
Abbildung 9: Höhenprofil für Fallstudie zu NADP2 mit reduziertem Schub vs. NADP2 Deep Cutback, Airbus A380 [6].....	19
Abbildung 10: Abweichungen des SEL bei NADP2 mit Deep Cutback, Airbus A380 [6].....	20
Abbildung 11: Höhenprofil für Fallstudie zu NADP2 mit reduziertem Schub vs. NADP2 mit vollem Schub (Full Thrust), Airbus A380 [6]	20
Abbildung 12: Abweichungen des SEL bei NADP2 mit reduziertem Schub vs. NADP2 mit vollem Schub (3.000 NM und 5.500 NM Flugstrecke), Airbus A380 [6]	21
Abbildung 13: Lage der Fluglärmmessstationen am Flughafen Düsseldorf [7]	22
Abbildung 14: Erstellung der mittleren Steigprofile für DUS-FCO im Jahr 2017 [7].....	23
Abbildung 15: Vergleich NADP1 und NADP2, Airbus A320, MP1 Flughafen DUS [7]	24
Abbildung 16: Vergleich NADP1 und NADP2, Airbus A320, MP13, Flughafen DUS [7]	24
Abbildung 17: $L_{A,max}$ für unterschiedliche NADP1/2-Verfahren, Flughafen Berlin Tegel, Airbus A319 [8].....	26
Abbildung 18: Horizontalprofile aus Testflügen und Fanomos-Aufzeichnungen, Flughafen Berlin Tegel [8].....	27
Abbildung 19: Vertikalprofile der Versuchsflüge [8]	27
Abbildung 20: Vergleich der 70-dB(A)- $L_{A,max}$ -Konturen [8]	28
Abbildung 21: Vergleich der Messwerte vor/ nach Einführung NADP1, Boeing B737-800, Flughafen Berlin Schönefeld [9]	29
Abbildung 22: SEL untersuchter Abflugverfahren, MD-83, Flughafen ATL [10]	30
Abbildung 23: SEL-Lärmteppich, MD-83, Flughafen ATL [10]	30
Abbildung 24: Fixpunktprofile B737-800 – Masseszenario 1 (95 % MTOM)	39
Abbildung 25: Fixpunktprofile B737-800 – Masseszenario 2 (85 % MTOM)	40
Abbildung 26: Zusammenfassung Vertikalprofile B737-800 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien.....	41
Abbildung 27: Fixpunktprofile B747-400 – Masseszenario 1 (100 % MTOM)	42
Abbildung 28: Fixpunktprofile B747-400 – Masseszenario 2 (75 % MTOM)	42
Abbildung 29: Zusammenfassung Vertikalprofile B747-400 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien.....	43
Abbildung 30: Fixpunktprofile B747-8 – Masseszenario 1 (100 % MTOM).....	44
Abbildung 31: Fixpunktprofile B747-8 – Masseszenario 2 (75 % MTOM).....	44
Abbildung 32: Zusammenfassung Vertikalprofile B747-8 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien.....	45
Abbildung 33: Fixpunktprofile B777-300ER – Masseszenario 1 (100 % MTOM)	46
Abbildung 34: Fixpunktprofile B777-300ER – Masseszenario 2 (75 % MTOM)	46
Abbildung 35: Zusammenfassung Vertikalprofile B777-300ER – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien.....	47
Abbildung 36: Fixpunktprofile A320-211 – Masseszenario 1 (95 % MTOM).....	48
Abbildung 37: Fixpunktprofile A320-211 – Masseszenario 2 (85 % MTOM).....	48
Abbildung 38: Zusammenfassung Vertikalprofile A320-211 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien.....	49

Abbildung 39: Fixpunktprofile A380-841 – Masseszenario 1 (100 % MTOM).....	50
Abbildung 40: Fixpunktprofile A380-841 – Masseszenario 2 (75 % MTOM).....	50
Abbildung 41: Zusammenfassung Vertikalprofile A320-211 – mit/ohne Begrenzung der Geschwindigkeit, beide Masseszenarien.....	51
Abbildung 42: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP1	54
Abbildung 43: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP2-10	55
Abbildung 44: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), B777-300ER, NADP1.....	57
Abbildung 45: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), B777-300ER, NADP2-10	58
Abbildung 46: Geschwindigkeitsvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A380-841, NADP2-10	60
Abbildung 47: Routenbeschreibung CINDY 1S aus AIP Deutschland, Flughafen Frankfurt/Main.....	62
Abbildung 48: Höhenvorgabe – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A380- 841, NADP2-10.....	64
Abbildung 49: Kurvenvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (links) und $L_{A,max}$ (rechts), A320- 211, NADP1	67
Abbildung 50: Kurvenvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (links) und $L_{A,max}$ (rechts), B777- 300ER, NADP1	68
Abbildung 51: Kurvenvariation – Lärmdifferenzkonturen SEL (links) und $L_{A,max}$ (rechts), A380- 841, NADP1	69
Abbildung 52: Intersection Take Off – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP1.....	71
Abbildung 53: Intersection Take Off – Lärmdifferenzkonturen SEL (oben) und $L_{A,max}$ (unten), A320-211, NADP2-10	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozeduraler Ablauf bestehender Verfahren, MODAL-Analyse, aus [12]	31
Tabelle 2: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP1-Verfahrens	33
Tabelle 3: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-10-Verfahrens	34
Tabelle 4: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-15-Verfahrens	34
Tabelle 5: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP1-UNL-Verfahrens	34
Tabelle 6: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-10-UNL-Verfahrens	35
Tabelle 7: Prozedurale Profilbeschreibung des NADP2-15-UNL-Verfahrens	35
Tabelle 8: Untersuchte LFZ-Muster	35
Tabelle 9: Masseszenarien für jedes LFZ Muster	36
Tabelle 10: Festlegung der V_2 je LFZ-Muster und Masseszenario	36
Tabelle 11: Modellierter <i>Flap Reduction</i> Prozess je LFZ-Muster, Masseszenario 1	37
Tabelle 12: Modellierter <i>Flap Reduction</i> Prozess je LFZ-Muster, Masseszenario 2	37

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] FACHGRUPPE DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR AKUSTIK: *Lärmlexikon*, unter <http://www.ald-laerm.de/publikationen/laermlexikon//> (abgerufen am 15.02.2022)
- [2] UNI BREMEN: *Schalldruck-Pegel: Isophone*, online: http://www.idn.uni-bremen.de/cvpm/content/wellen/show.php?modul=3&file=65&right=we_r_schallwa_hrn5a.html (abgerufen am 15.02.2022)
- [3] CASTLE GROUP: *Sound Exposure Level - What is it and how is it calculated?*, online: <https://www.castlegroup.co.uk/sound-exposure-level/>
<https://www.castlegroup.co.uk/guidance/noise-at-work-assessments/sound-exposure-level> (abgerufen am 15.02.2022)
- [4] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION: *Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations*. PANS-OPS, Doc. 8168, Volume I, Montréal, ICAO, April 2013
- [5] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION: *Effect of PANS-OPS Noise Abatement Departure Procedures on Noise and Gaseous Emissions*. Circular 317, Montréal, ICAO, 2008
- [6] CIVIL AVIATION AUTHORITY: *Departure Noise Mitigation: Main Report*. CAP 1691, West Sussex, CAA, 2018, online: [CAP1691 Departure Noise Mitigation Main Report.pdf](http://www.caa.co.uk/CAP1691_Departure_Noise_Mitigation_Main_Report.pdf) (caa.co.uk) (abgerufen am 15.02.2022)
- [7] DÜSSELDORF AIRPORT: *Startverfahren*. TOP 6 Antrag Meerbusch, Düsseldorf, 25. Juni 2018
- [8] M.Sc.STÜMPFEL, CHRISTOPH (TU BERLIN); B.ENG. MITZKAT, MATHIAS (GERMANWINGS GMBH): *Aktive Lärminderungsstrategien für Postflüge zwischen Berlin-Tegel und Stuttgart*. 71. Sitzung der Fluglärmschutzkommission Berlin-Tegel, Berlin, 24. Januar 2018
- [9] FLUGHAFEN BERLIN BRANDENBURG GMBH: *Fluglärmbericht 2017*. Berlin, FBB, Juni 2018
- [10] BEHERE, AMEYA; LIM, DONGWOOK; KIRBY, MICHELLE; MAVRIS, DIMITRI (GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY): *Alternate Departure Procedures for Takeoff Noise Mitigation at Atlanta Hartsfield-Jackson International Airport*. San Diego, CA, 7.-11. Januar 2019
- [11] VEERBEEK, H.W.; BROUWER, M.A. (NATIONAL AEROSPACE LABORATORY): *Noise measurement analysis during a noise abatement departure procedural trial*. New York, NLR, 20.-22. August 2012
- [12] U. Isermann, R. König, M. Pott-Pollenske, R. Schmid und H. Siller, „Schlussbericht des Vorhabens Modelle und Daten zur Entwicklung von aktiven Schallschutzmaßnahmen im Luftverkehr (MODAL). Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen von LuFo,“ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2015
- [13] J. Blinstrub, U. Isermann, T. Raitor, R. Schmid, „Abschlussbericht: Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm“, Umweltbundesamt, Texte 93/2021, 2021, online https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_93-2021_berechnung_fluglaerm_abschlussbericht.pdf (abgerufen am 15.02.2022)