

TEXTE

148/2023

Vergleichende Fluglärmrechnungen nach AzB mit aktueller und überarbeiteter Datengrundlage

Abschlussbericht

von:

Florian Hoffmann, Hartmut Leive, Christian Schäffer, Maximilian Zirpel
OTSD – Optimized Traffic Systems Development GmbH, Bremen

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 148/2023

Projektnummer 157861

FB001196

Vergleichende Fluglärmrechnungen nach AzB mit aktueller und überarbeiteter Datengrundlage

Abschlussbericht

von

Florian Hoffmann, Hartmut Leive, Christian Schäffer,
Maximilian Zirpel
OTSD – Optimized Traffic Systems Development GmbH,
Bremen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Die Autoren bedanken sich für die fachliche und
organisatorische Unterstützung bei der Durchführung
dieses Vorhabens bei:

Dr. Berthold Vogelsang (Hannover),
Sebastian Eggers, LÄRMKONTOR GmbH (Hamburg)

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

OTSD – Optimized Traffic Systems Development GmbH
Anne-Conway-Straße 2
28359 Bremen

Abschlussdatum:

September 2023

Redaktion:

Fachgebiet I 2.3 Lärminderung im Verkehr
Juliane Bopst, Roman Thierbach

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Vergleichende Fluglärmrechnungen nach AzB mit aktueller und überarbeiteter Datengrundlage

Das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm regelt die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an bestimmten Flugplätzen in Deutschland. Das Verfahren zur Ermittlung dieser Lärmschutzbereiche wird durch die „1. Fluglärmschutzverordnung“ konkretisiert, die auf die „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB) sowie die „Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb“ (AzD) verweist.

Die teils vor Jahrzehnten festgeschriebenen akustischen und flugbetrieblichen Daten der AzB können den Flugbetrieb in Deutschland nur noch bedingt abbilden. So wurden in den letzten Jahren beispielsweise neue Luftfahrzeugmuster mit modernen Triebwerken eingeführt und ältere Muster stillgelegt oder modernisiert.

Um diesen Tatsachen Rechnung zu tragen, wurde im Forschungsvorhaben „Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm“ die Datengrundlage für zivile Luftfahrzeuge der AzB vollständig überarbeitet. Im Zuge dieser Überarbeitung wurde ein neues Gruppierungsschema für Luftfahrzeuge entwickelt und eine Anpassung der akustischen und flugbetrieblichen Daten vorgenommen.

Das hier beschriebene Vorhaben wendet diese neue akustische Datengrundlage erstmals für realitätsnahe Verkehrsszenarien an. Basierend auf den Erfahrungen der Autoren aus der Erstellung einer Vielzahl von sog. Datenerfassungssystemen (DES), bei denen die flugbetriebliche Praxis in Modellen für die Fluglärmrechnung abgebildet wird, wurden Fluglärmrechnungen für drei große Verkehrsflughäfen in Deutschland durchgeführt.

Ergebnis sind detaillierte graphische Darstellungen der berechneten Fluglärmsituation für verschiedene Szenarien einschließlich einer Differenzbetrachtung zwischen aktueller und überarbeiteter akustischer Datengrundlage.

Abstract: Comparison of aircraft noise calculations according to current and revised AzB aircraft class data

According to German law noise protection areas have to be defined for certain airports in Germany. The procedures for determining these areas is described in two documents called AzB („Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“) and AzD („Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb“).

The acoustic and flight operation data of the AzB, some of which were laid down decades ago, can only represent flight operations in Germany to a limited extent. In recent years, for example, new aircraft types with modern engines have been introduced and older types were decommissioned or modernized.

In order to take these facts into account, the data basis for civil aircraft of the AzB was completely revised in the research project "Review and Improvement of Aircraft Noise Calculation Procedures". In the course of this revision, a new grouping scheme for aircraft was developed and an adjustment of the acoustic and flight operational data was made.

The project described here applies this new acoustic data basis to realistic traffic scenarios for the first time. Based on the authors' experience from the creation of a large number of so-called data acquisition systems (DAS), in which flight operational practice is represented in models for aircraft noise calculation, aircraft noise calculations were carried out for three large commercial airports in Germany.

The results are detailed graphical representations of the calculated aircraft noise situation for various scenarios, including a difference analysis between the current and revised acoustic data basis.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	12
Summary.....	23
1 Projektbeschreibung.....	33
1.1 Problemstellung.....	33
1.2 Zielsetzung.....	34
1.3 Vorgehensweise.....	34
2 Erstellung von Datenerfassungssystemen.....	36
2.1 Grundlegende Vorgehensweise.....	36
2.2 Modellierung von Flugstreckensystemen.....	37
2.2.1 Flughafen Frankfurt/Main.....	37
2.2.2 Flughafen Köln/Bonn.....	39
2.2.3 Flughafen Leipzig/Halle.....	43
3 Verkehrsszenarien.....	46
3.1 Grundlegende Vorgehensweise.....	46
3.2 Überlegungen zur Flottenentwicklung.....	49
3.3 Entwicklung von Verkehrsszenarien.....	51
3.3.1 Flughafen Frankfurt/Main.....	51
3.3.1.1 Ist-Szenario 2019.....	51
3.3.1.2 Prognoseszenario 2030.....	52
3.3.2 Flughafen Köln/Bonn.....	58
3.3.2.1 Ist-Szenario 2019.....	58
3.3.2.2 Prognoseszenario 2030.....	59
3.3.3 Flughafen Leipzig/Halle.....	64
3.3.3.1 Ist-Szenario 2019.....	64
3.3.3.2 Prognoseszenario 2030.....	65
4 Fluglärmrechnungen nach AzB.....	70
4.1 Grundlegende Vorgehensweise.....	70
4.2 Ermittelte Kennzahlen.....	71
4.3 Darstellung der Ergebnisse.....	73
4.3.1 Flughafen Frankfurt/Main.....	76

4.3.1.1	Ist-Szenario 2019	76
4.3.1.2	Prognoseszenario 2030.....	80
4.3.2	Flughafen Köln/Bonn	86
4.3.2.1	Ist-Szenario 2019	86
4.3.2.2	Prognoseszenario 2030.....	92
4.3.3	Flughafen Leipzig/Halle.....	99
4.3.3.1	Ist-Szenario 2019	99
4.3.3.2	Prognoseszenario 2030.....	102
5	Zusammenfassung und Fazit	107
6	Quellenverzeichnis	112
A	Exkurs: Qualitätssicherung der AWR-Berechnung	116
B	Berechnungsergebnisse: Flughafen Frankfurt/Main (EDDF).....	117
C	Berechnungsergebnisse: Flughafen Köln/Bonn (EDDK)	118
D	Berechnungsergebnisse: Flughafen Leipzig/Halle (EDDP).....	119
E	Flächenangaben der berechneten Isolinien.....	120
E.1	Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) Ist-Szenario 2019.....	121
E.2	Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) Prognoseszenario 2030	121
E.3	Flughafen Köln/Bonn (EDDK) Ist-Szenario 2019	122
E.4	Flughafen Köln/Bonn (EDDK) Prognoseszenario 2030.....	122
E.5	Flughafen Leipzig/Halle (EDDP) Ist-Szenario 2019.....	123
E.6	Flughafen Leipzig/Halle (EDDP) Prognoseszenario 2030	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	DES-Flugstreckenmodell für An- und Abflüge (Beispiel)	14
Abbildung 2:	Berechnete Isolinien nach AzB-2008 und AzB-ND (Beispiel).....	18
Abbildung 3:	Differenzraster AzB-ND minus AzB-2008 (Beispiel).....	19
Abbildung 4:	Vergleich des Prognoseszenarios 2030 mit LSB-Konturen (Beispiel)	19
Abbildung 5:	Flugstreckenmodell EDDF BR West (An- und Abflüge).....	38
Abbildung 6:	Flugstreckenmodell EDDF BR Ost (An- und Abflüge).....	39
Abbildung 7:	Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 32).....	40
Abbildung 8:	Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 14).....	41
Abbildung 9:	Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 24).....	42
Abbildung 10:	Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 06).....	43
Abbildung 11:	Flugstreckenmodell EDDP BR West (An- und Abflüge)	44
Abbildung 12:	Flugstreckenmodell EDDP BR Ost (An- und Abflüge)	45
Abbildung 13:	Verwendete Farben für die Darstellung von Isolinien (Tag).....	74
Abbildung 14:	Verwendete Farben für die Darstellung von Isolinien (Nacht).....	74
Abbildung 15:	Verwendete Farben für die Darstellung von Isolinien (AWR)	74
Abbildung 16:	Verwendete Farben für die Darstellung von Pegeldifferenzen.....	75
Abbildung 17:	Berechnung EDDF (Tag) Ist-Szenario 2019	77
Abbildung 18:	Differenzberechnung EDDF (Tag) Ist-Szenario 2019	78
Abbildung 19:	Berechnung EDDF (Nacht) Ist-Szenario 2019	78
Abbildung 20:	Differenzberechnung EDDF (Nacht) Ist-Szenario 2019.....	79
Abbildung 21:	Berechnung EDDF (AWR) Ist-Szenario 2019	80
Abbildung 22:	Berechnung EDDF (Tag) Prognoseszenario 2030	81
Abbildung 23:	Differenzberechnung EDDF (Tag) Prognoseszenario 2030.....	82
Abbildung 24:	Vergleich EDDF (Tag) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen	82
Abbildung 25:	Berechnung EDDF (Nacht) Prognoseszenario 2030.....	83
Abbildung 26:	Differenzberechnung EDDF (Nacht) Prognoseszenario 2030.....	83
Abbildung 27:	Vergleich EDDF (Nacht) Prognoseszenario 2030 mit LSB- Konturen.....	84
Abbildung 28:	Berechnung EDDF (AWR) Prognoseszenario 2030	85
Abbildung 29:	Berechnung EDDK (Tag) Ist-Szenario 2019	87
Abbildung 30:	Differenzberechnung EDDK (Tag) Ist-Szenario 2019	88
Abbildung 31:	Berechnung EDDK (Nacht) Ist-Szenario 2019	89
Abbildung 32:	Differenzberechnung EDDK (Nacht) Ist-Szenario 2019	90
Abbildung 33:	Berechnung EDDK (AWR) Ist-Szenario 2019.....	91
Abbildung 34:	Berechnung EDDK (Tag) Prognoseszenario 2030	92
Abbildung 35:	Differenzberechnung EDDK (Tag) Prognoseszenario 2030	93
Abbildung 36:	Vergleich EDDK (Tag) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen	94
Abbildung 37:	Berechnung EDDK (Nacht) Prognoseszenario 2030	95
Abbildung 38:	Differenzberechnung EDDK (Nacht) Prognoseszenario 2030.....	96
Abbildung 39:	Vergleich EDDK (Nacht) Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) mit LSB-Kontur (AzB-2008)	97

Abbildung 40:	Berechnung EDDK (AWR) Prognoseszenario 2030.....	98
Abbildung 41:	Berechnung EDDP (Tag) Ist-Szenario 2019.....	100
Abbildung 42:	Differenzberechnung EDDP (Tag) Ist-Szenario 2019	100
Abbildung 43:	Berechnung EDDP (Nacht) Ist-Szenario 2019	100
Abbildung 44:	Differenzberechnung EDDP (Nacht) Ist-Szenario 2019	101
Abbildung 45:	Berechnung EDDP (AWR) Ist-Szenario 2019.....	101
Abbildung 46:	Berechnung EDDP (Tag) Prognoseszenario 2030	102
Abbildung 47:	Differenzberechnung EDDP (Tag) Prognoseszenario 2030	102
Abbildung 48:	Vergleich EDDP (Tag) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen	103
Abbildung 49:	Berechnung EDDP (Nacht) Prognoseszenario 2030	103
Abbildung 50:	Differenzberechnung EDDP (Nacht) Prognoseszenario 2030.....	104
Abbildung 51:	Vergleich EDDP (Nacht) Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) mit LSB-Kontur (AzB-2008)	104
Abbildung 52:	Berechnung EDDP (AWR) Prognoseszenario 2030.....	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Flugbewegungen EDDF Ist-Szenario 2019 (AzB-2008)	51
Tabelle 2:	Flugbewegungen EDDF Ist-Szenario 2019 (AzB-ND)	52
Tabelle 3:	Annahmen zur Flottenentwicklung EDDF bis 2030	54
Tabelle 4:	Flottenzusammensetzung EDDF Ist-Szenario 2019 und Prognoseszenario 2030	56
Tabelle 5:	Flugbewegungen EDDF Prognoseszenario 2030 (AzB-2008).....	57
Tabelle 6:	Flugbewegungen EDDF Prognoseszenario 2030 (AzB-ND).....	57
Tabelle 7:	Flugbewegungen EDDK Ist-Szenario 2019 (AzB-2008)	58
Tabelle 8:	Flugbewegungen EDDK Ist-Szenario 2019 (AzB-ND)	59
Tabelle 9:	Annahmen zur Flottenentwicklung EDDK bis 2030.....	60
Tabelle 10:	Flottenzusammensetzung EDDK Ist-Szenario 2019 und Prognoseszenario 2030	62
Tabelle 11:	Flugbewegungen EDDK Prognoseszenario 2030 (AzB-2008)	63
Tabelle 12:	Flugbewegungen EDDK Prognoseszenario 2030 (AzB-ND)	63
Tabelle 13:	Flugbewegungen EDDP Ist-Szenario 2019 (AzB-2008)	64
Tabelle 14:	Flugbewegungen EDDP Ist-Szenario 2019 (AzB-ND)	65
Tabelle 15:	Annahmen zur Flottenentwicklung EDDP bis 2030.....	66
Tabelle 16:	Flottenzusammensetzung EDDP Ist-Szenario 2019 und Prognoseszenario 2030	68
Tabelle 17:	Flugbewegungen EDDP Prognoseszenario 2030 (AzB-2008)	69
Tabelle 18:	Flugbewegungen EDDP Prognoseszenario 2030 (AzB-ND)	69
Tabelle 19:	Betroffene Personen und Flächen EDDF Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) und LSB-Konturen (AzB-2008).....	86
Tabelle 20:	Betroffene Personen und Flächen EDDK Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) und LSB-Konturen (AzB-2008).....	99
Tabelle 21:	Betroffene Personen und Flächen EDDP Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) und LSB-Konturen (AzB-2008).....	106

Tabelle 22: Flächenvergleich der Isolinien nach AzB-ND und AzB-2008.....	109
Tabelle 23: Flächenvergleich der Isolinien nach AzB-ND mit bestehenden LSB- Konturen.....	110
Tabelle 24: Flächen der Isolinien für EDDF, Ist-Szenario 2019.....	121
Tabelle 25: Flächen der Isolinien für EDDF, Prognoseszenario 2030.....	121
Tabelle 26: Flächen der Isolinien für EDDK, Ist-Szenario 2019.....	122
Tabelle 27: Flächen der Isolinien für EDDK, Prognoseszenario 2030.....	122
Tabelle 28: Flächen der Isolinien für EDDP, Ist-Szenario 2019.....	123
Tabelle 29: Flächen der Isolinien für EDDP, Prognoseszenario 2030.....	123

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
6vM	6 verkehrsreichste Monate
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e.V. (Flughafenverband ADV)
AIP	Aeronautical Information Publication (Luftfahrthandbuch)
AirTRACS	Air Traffic and Air Traffic Control Simulation (Software-Plattform von OTSD)
AP	Arbeitspaket
ARC	Airport Research Center GmbH
ARP	Aerodrome Reference Point (Flugplatzbezugspunkt)
ATD	Aircraft Type Designator (Luftfahrzeugtyp bzw. -typgruppe)
AUA	Austrian Airlines
AWR	Aufwachreaktion(en)
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzB-2008	AzB mit aktueller Datengrundlage (2008)
AzB-ND	AzB mit neuer, überarbeiteter Datengrundlage (2021)
AzD	Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BR	Betriebsrichtung
CEO	Current Engine Option
CMO	Commercial Market Outlook
DAS	Data Acquisition System (engl. für DES)
dB(A)	Dezibel (A-bewertet)
DEGA	Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V.
DES	Datenerfassungssystem
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen
DGM	Digitales Geländemodell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLH	Deutsche Lufthansa
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DTK50	Digitale Topografische Karte im Maßstab 1 : 50.000
EAT	European Air Transport

Abkürzung	Bedeutung
EDDF	ICAO-Flugplatzcode für den Flughafen Frankfurt/Main
EDDK	ICAO-Flugplatzcode für den Flughafen Köln/Bonn
EDDP	ICAO-Flugplatzcode für den Flughafen Leipzig/Halle
EU	Europäische Union
FANOMOS	Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System
GMF	Global Market Forecast
HMWEVW	Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules (Flugbetrieb nach Instrumentenflugregeln)
km	Kilometer (Längenmaß)
km²	Quadratkilometer (Flächenmaß)
LEQ	Äquivalenter Dauerschallpegel (engl. equivalent continuous sound level)
LFZ	Luftfahrzeug
LSB	Lärmschutzbereich
NALS	Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik
NAT	Number Above Threshold (Anzahl der Schwellwertüberschreitungen)
NEO	New Engine Option
OTSD	Optimized Traffic Systems Development GmbH, Bremen
PDF	Portables Dokumentenformat
QSI	Qualitätssicherung für Software-Erzeugnisse zur Immissionsberechnung (hier: QSI-Schnittstelle, Datenformat)
RWY	Runway (Start-/Landebahn)
SID	Standard Instrument Departure (Route)
STAR	Standard Arrival Route
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UPS	United Parcel Service
UTM	Universal Transverse Mercator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VFR	Visual Flight Rules (Flugbetrieb nach Sichtflugregeln)
WP	Work Package (engl. für Arbeitspaket)
XML	eXtensible Markup Language

Zusammenfassung

Problemstellung

Das „Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm“ [1] sieht die Festsetzung von Lärmschutzbereichen (LSB) an bestimmten Verkehrsflughäfen, größeren Verkehrslandeplätzen und verschiedenen militärischen Flugplätzen vor. Das Verfahren zur Ermittlung der Lärmschutzbereiche wird durch die „1. Fluglärmschutzverordnung“ [2] konkretisiert, die auf die untergesetzlichen Regelwerke „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB) und „Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb“ (AzD) [3] verweist.

Die teils vor Jahrzehnten festgeschriebenen akustischen und flugbetrieblichen Daten der AzB (im Folgenden mit AzB-2008 bezeichnet) können den Flugbetrieb in Deutschland nur noch bedingt abbilden. So wurden in den letzten Jahren neue Luftfahrzeugmuster eingeführt und ältere Muster stillgelegt oder modernisiert. Der zunehmende Einsatz moderner Triebwerke führt zu Änderungen der Fluglärmimmissionen, die in den akustischen Klassendaten der AzB nicht abgebildet sein können. Schließlich wurden alternative Flugverfahren entwickelt und vermehrt in die flugbetriebliche Praxis überführt, was ebenfalls nicht in den Annahmen des aktuellen Regelwerkes abgebildet ist.

Um diesen Tatsachen Rechnung zu tragen, wurde in einem vom Umweltbundesamt initiierten Forschungsvorhaben „Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm“ [4] des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) die Datengrundlage für viele zivile Luftfahrzeuge der AzB vollständig überarbeitet und auf einen aktuellen Stand gebracht (im Folgenden mit AzB-ND für „AzB mit neuer Datengrundlage“ bezeichnet). Im Zuge dieser Überarbeitung wurde ein neues Gruppierungsschema für Luftfahrzeuge entwickelt und eine Anpassung der akustischen und flugbetrieblichen (Klassen-)Daten vorgenommen.

Die vom DLR erarbeiteten neuen Klassendaten für startende und landende Luftfahrzeuge können als überarbeitete Datengrundlage für Berechnungen nach den Vorschriften der AzB verwendet werden. Eine Anpassung des Berechnungsverfahrens der AzB ist hierfür nicht notwendig. Das DLR-Vorhaben beschreibt demnach auch keine neue Fassung der AzB sondern ändert lediglich die verwendeten Klassendaten. Hierzu wird ein Großteil der im Anhang der AzB aufgeführten Datenblätter mit akustischen und flugbetrieblichen Luftfahrzeugklassendaten ersetzt (siehe [4] Anhang 1 Kapitel 3). Ein Ersatz der bisherigen AzB durch eine neue Fassung mit geänderten Klassendaten wäre also zukünftig möglich.

Eine umfassende Berechnung der Fluglärmsituation für reale Verkehrsszenarien auf Basis der neuen Datengrundlage ist bisher nicht erfolgt. Inwieweit sich eine Verwendung der AzB-ND auf die berechnete Lärmsituation an einem realen Verkehrsflughafen auswirken würde, lässt sich aus den Ergebnissen der DLR-Studie nicht ableiten.

Da zu erwarten ist, dass das Ergebnis einer Vergleichsrechnung von AzB-2008 und AzB-ND in hohem Maße von den betrachteten Szenarien abhängig sein wird, sollte dies in einer breit angelegten Studie untersucht werden, die möglichst unterschiedliche Flughäfen bzw. deren Verkehrsszenarien betrachtet.

Zielsetzung

Das in diesem Bericht beschriebene Vorhaben baut auf den Ergebnissen des DLR-Vorhabens [4] auf und verwendet diese für Fluglärmrechnungen in mehreren realitätsnahen Verkehrsszenarien.

Im Fokus des Vorhabens steht die Frage, inwieweit sich die Berechnungsergebnisse eines Verkehrsszenarios für einen Großflughafen ändern, wenn statt der aktuellen Klassendaten der AzB-2008 die überarbeitete Datengrundlage AzB-ND zur Anwendung kommt.

Die vergleichende Betrachtung ist insbesondere für die Festlegung von Lärmschutzbereichen interessant, da hier aus den Rechenergebnissen nach AzB weitreichende Folgen in Bezug auf Bauverbote oder passiven Schallschutz folgen können. Die Ergebnisse des Vorhabens sind also auch vor dem Hintergrund einer möglichen Neufassung der AzB-2008 mit neuen, überarbeiteten Klassendaten zu sehen.

Als Ergänzung zu den nach AzB zu ermittelnden Kennzahlen soll außerdem das aus der Lärmwirkungsforschung resultierende Kriterium der „Anzahl der Aufwachreaktionen“ (AWR) [5] als Maß für die nächtliche Fluglärmbelastung betrachtet werden.

Vorgehensweise

Das Vorhaben wurde in mehrere, aufeinander aufbauende Arbeitspakete gegliedert:

- ▶ AP 1 – Datenbeschaffung und --aufbereitung
- ▶ AP 2 – DES-Modellierung
- ▶ AP 3 – Erstellung von Flugbewegungszahlen und Prognosedaten
- ▶ AP 4 – Fluglärmrechnungen
- ▶ AP 5 – Dokumentation, Karten und Berichte

Zu Beginn des Vorhabens mussten umfangreiche Daten angefordert, aufbereitet und analysiert werden (AP 1), die für den Aufbau der Rechenmodelle bzw. die Modellierung von Datenerfassungssystemen (DES-Modellierung) benötigt wurden. Die Bereitstellung erfolgte durch das Umweltbundesamt, die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Vertreter der betrachteten Flughäfen sowie die für die Festlegung der Lärmschutzbereiche zuständigen Landesbehörden.

Basierend auf den Erfahrungen der Autoren aus der Erstellung einer Vielzahl von Datenerfassungssystemen (DES), bei denen die flugbetriebliche Praxis in Modellen für die Fluglärmrechnung abgebildet wird, wurden DES-Modelle mit An- und Abflugstrecken für drei große Verkehrsflughäfen in Deutschland modelliert (AP 2): Für die Flughäfen

- ▶ Frankfurt/Main (ICAO-Flughafencode¹ EDDF),
- ▶ Köln/Bonn (ICAO-Flughafencode EDDK) und
- ▶ Leipzig/Halle (ICAO-Flughafencode EDDP)

wurde jeweils ein realitätsnahes Ist-Szenario mit den Daten des Jahres 2019 in Form eines DES modelliert. Darüber hinaus wurden für alle drei Flugplätze (vereinfachte) Prognoseszenarien entwickelt, die erwartete bzw. mögliche Änderungen der eingesetzten Luftfahrzeugflotte bis 2030 abbilden. Der Aufbau dieser Szenarien wurde im AP 3 bearbeitet.

Für die insgesamt sechs DES wurden Fluglärmrechnungen jeweils nach aktueller (AzB-2008) und neuer, überarbeiteter (AzB-ND) Datengrundlage durchgeführt und miteinander verglichen (AP 4). Zum Vergleich wurden sowohl die berechneten Lärmkonturen als auch die aus der Lärmwirkungsforschung stammende Kennzahl „Aufwachreaktionen“ (AWR) herangezogen.

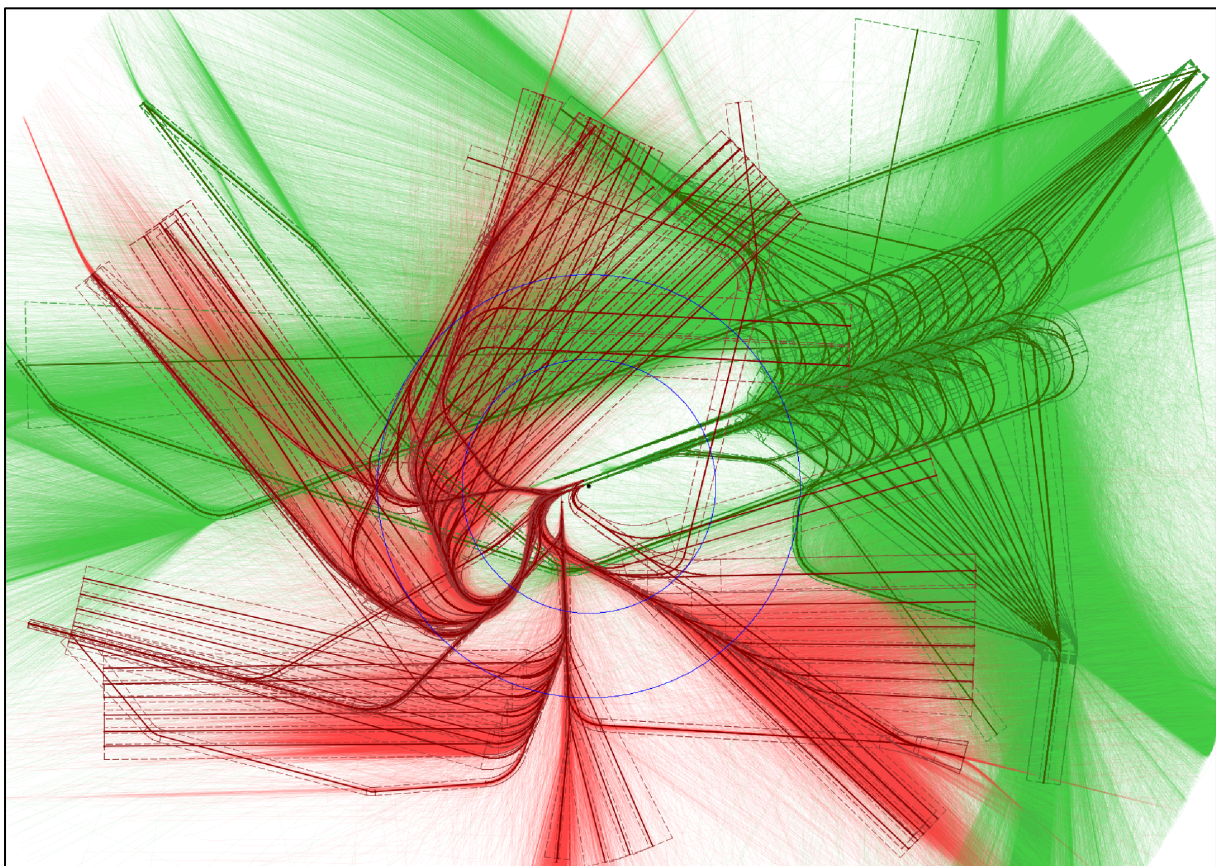
¹ In diesem Bericht werden die Flughäfen auch mit ihrem Flughafencode der International Civil Aviation Organization (ICAO) bezeichnet.

Ergebnis des Vorhabens sind detaillierte graphische Darstellungen der berechneten Fluglärmsituation für alle Szenarien einschließlich einer Differenzbetrachtung zwischen aktueller und überarbeiteter akustischer Datengrundlage (AP 5).

Erstellung von Datenerfassungssystemen

Der Aufbau von Modellen der Flughafeninfrastruktur sowie der An- und Abflugstrecken für die drei betrachteten Flughäfen war wesentlicher Bestandteil der ersten Projektphase, die sich vom Beginn des Vorhabens bis etwa zur Hälfte der geplanten Bearbeitungszeit erstreckte. Für jeden Flughafen wurde ein DES-Flugstreckenmodell erstellt, das auf Daten von 2019 basiert (Beispiel siehe Abbildung 1). Zusammen mit den anschließend entwickelten Verkehrsszenarien (Flugbewegungszahlen) wurden diese Modelle zu vollständigen Datenerfassungssystemen des Flugbetriebs nach Instrumentenflugregeln (IFR) kombiniert.

Abbildung 1: DES-Flugstreckenmodell für An- und Abflüge (Beispiel)



Auszug der An- und Abflugstrecken im Modell für den Flughafen Frankfurt/Main (EDDF)
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die Vorgehensweise hierbei orientierte sich an der von OTSD in den vergangenen 15 Jahren entwickelten und verfeinerten Methodik zu Erstellung von Datenerfassungssystemen (DES), die so oder ähnlich bereits für eine Vielzahl von DES nach unterschiedlichen Regelwerken angewendet wurde:

1. Beschaffung aller für das DES wesentlichen Eingangsdaten des betrachteten Flugplatzes, insbesondere der Veröffentlichungen des Luftfahrthandbuchs (Aeronautical Information Publication, AIP) [7] für den Luftverkehr nach Instrumentenflugregeln (IFR).
2. Beschaffung, Aufbereitung und Klassifikation der Flugverlaufsdaten des Systems FANOMOS (Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System) der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

- (DFS). Hierbei wurde jeweils der Zeitraum Mai bis Oktober 2019 betrachtet und als Referenz für die sechs verkehrsreichsten Monate (6vM) des Jahres 2019 herangezogen.
3. Erfassung der Flughafeninfrastruktur mit allen für das DES wesentlichen Angaben zum betrachteten Flugplatz. Hierzu gehören der Flugplatzbezugspunkt (ARP), sowie die Daten zu den Start-/Landebahnen mit den Landeswellen und Startpunkten.
 4. Modellierung der An- und Abflugstrecken für den betrachteten Flugplatz mit der OTSD-Software „DES-Editor“, zunächst in einer Form, die dem (theoretischen) Verlauf der Flugwege nach den Veröffentlichungen in der AIP entspricht.
 5. Anpassung des Flugstreckenmodells an die flugbetriebliche Praxis. Hierbei wurde die sog. „Backbone-Methode“ angewendet, bei der der modellierte Streckenverlauf so erfasst wird, dass dieser möglichst dort verläuft, wo die Mehrheit der in Praxis beobachteten Flugverläufe lokalisiert werden kann. Zu diesem Schritt der Modellentwicklung gehörte auch die Bildung von sog. Stellvertreterstrecken im DES, die in der Praxis häufig zu beobachtende Direktführungen erfassen, die durch die Arbeitsweise bzw. Freigaben der Flugverkehrslotsen begründet sind.
 6. Aus der Klassifikation der FANOMOS-Flugspuren konnte ein Mengengerüst der Flugbewegungen im Analyse- bzw. Referenzzeitraum (6vM 2019) abgeleitet werden. Dieses Mengengerüst bildet die Grundlage für die Fluglärmrechnungen der Ist-Szenarien 2019 sowie eine Weiterentwicklung für die Prognoseszenarien 2030.

Das Flugstreckenmodell beschreibt An- und Abflüge nach Instrumentenflugregeln (IFR). Flugbewegungen nach Sichtflugregeln (VFR) wurden nicht betrachtet. Abflugstrecken wurden jeweils als Starts vom Bahnanfang bzw. der ersten Aufrollmöglichkeit der Startbahn beschrieben, um den Modellierungsaufwand im Rahmen des Projektbudgets in Grenzen zu halten.

Des Weiteren konzentrierte sich die Betrachtung ausschließlich auf die für die überarbeitete Datengrundlage (AzB-ND) neu definierten bzw. aktualisierten Klassendaten für größere, schwerere Luftfahrzeuge. Flugbewegungen mit Kleinflugzeugen der in der AzD definierten Gruppen P 1.0 bis P 1.4 und mit Hubschraubern der Gruppen H 1.0 bis H 2.2 wurden nicht betrachtet. Flugbewegungen mit militärischen Flugzeugen (P-MIL- und S-MIL-Gruppen der AzD) wurden ebenfalls nicht zur Modellbildung verwendet. Die akustischen und flugbetrieblichen Daten dieser Gruppen wurden durch das DLR nicht überarbeitet. Änderungen der Rechenergebnisse im Sinne des Vorhabens sind von Flugbewegungen mit Luftfahrzeugen dieser Gruppen nicht zu erwarten, weil diese in den Verkehrsszenarien aller drei Plätze eine untergeordnete Rolle spielen und von den wenigen zugehörigen Bewegungen keine wesentlichen Auswirkungen auf die zu berechnenden Lärmkonturen zu erwarten sind.

Die DES-Modellierung erfolgte mit der speziell für die Erstellung und Qualitätssicherung von Datenerfassungssystemen entwickelten Software „DES-Editor“ von OTSD. Das System ermöglicht eine Modellierung von Flugstreckensystemen aus flugbetrieblicher Sicht und eine detaillierte Qualitätssicherung der erstellten DES-Modelle. Die Prüfung umfasst u. a. die bereits in der AzD formulierten Qualitätskriterien (siehe [3] Kapitel 4) sowie zahlreiche formale und inhaltliche Prüfpunkte, die einen reibungslosen Export der Modelle über die sog. QSI-Schnittstelle [8] sowie die Berechnung in einem beliebigen AzB-kompatiblen Fluglärmrechnungsprogramm sicherstellen.

Aufbau von Verkehrsszenarien

Die für die Fluglärmrechnungen in diesem Vorhaben verwendeten Flugstreckenmodelle basieren auf Ist-Daten der Monate Mai bis Oktober des Jahres 2019. Zum Aufbau dieser Modelle wurden neben Veröffentlichungen im Luftfahrthandbuch AIP vor allem Flugspuraufzeichnungen des Systems FANOMOS verwendet, das von der DFS betrieben wird.

Für die Berechnungen wurde jeweils ein vollständiges Datenerfassungssystem (DES) benötigt, das aus dem Flugstreckenmodell und den zugehörigen Flugbewegungszahlen nach der AzD besteht. Daten zu Starts und Landungen sind hier pro (DES-)Flugstrecke und Luftfahrzeugklasse sowie differenziert nach TAG (6 bis 22 Uhr Ortszeit) und NACHT (22 bis 6 Uhr Ortszeit) anzugeben. Für die Anwendung der sog. Sigma-Regelung nach AzB Abschnitt 3.3 sind weitere statistische Daten zur Nutzung der verschiedenen „bahnbezogenen Betriebsrichtungen“ erforderlich (vgl. AzD Kapitel 6).

Die vergleichende Betrachtung mit aktueller (AzB-2008) und überarbeiteter (AzB-ND) Datengrundlage erfolgte auf Basis von zwei unterschiedlichen Verkehrsszenarien für jeden der betrachteten Flugplätze:

- a) Ein **Ist-Szenario 2019** bildet den Flugbetrieb in den Monaten Mai bis Oktober 2019 ab. Die hierin enthaltenen Flugbewegungen wurden den FANOMOS-Daten entnommen. Eine Anwendung der sog. Sigma-Regelung war laut der Leistungsbeschreibung zum Vorhaben nicht vorgesehen.
- b) Das **Prognoseszenario 2030** enthält Flugbewegungsdaten für ein (hypothetisches) Zukunftsszenario mit Daten für die sechs verkehrsreichsten Monate (6vM) des Jahres 2030. Für das Prognoseszenario wurde die sog. Sigma-Regelung berücksichtigt.

Für die Entwicklung der **Ist-Szenarien** wurden zunächst die von der DFS bereitgestellten FANOMOS-Flugspuren mit Hilfe der Software „DES-Editor“ aufbereitet, visualisiert und den einzelnen DES-Flugstrecken zugeordnet. Hierbei wurden fehlerhafte oder nicht verwertbare Flugspuren (z. B. solche ohne Angaben zum Luftfahrzeugtyp oder ohne Bezug zum betrachteten Flugplatz) aussortiert. Für jede Flugspur wurde außerdem der angegebene Luftfahrzeugtyp (in der Regel ein ICAO-Code gemäß Doc 8643, siehe [9]) einer Luftfahrzeuggruppe der AzB-2008 und (falls möglich) der AzB-ND zugeordnet. Zusammen mit den in den FANOMOS-Daten ebenfalls erfassten tatsächlichen Start- bzw. Landezeiten wurde jede auf diese Weise klassifizierte Flugspur in eine Flugbewegung für das DES transformiert.

Bei der Erzeugung von Flugbewegungsdaten für das jeweilige Ist-Szenario aus den FANOMOS-Daten wurde grundsätzlich wie folgt vorgegangen:

- ▶ Die Zuordnung einer Luftfahrzeuggruppe nach AzB-2008 bzw. AzB-ND erfolgte auf Basis der in den FANOMOS-Daten enthaltenen Luftfahrzeugtypen.
- ▶ In den Szenarien wurden ausschließlich Flugbewegungen erfasst, für deren zugehörige Luftfahrzeuggruppe sowohl eine aktuelle als auch eine überarbeitete Datengrundlage der AzB-ND zur Verfügung stand. Für dieses Vorhaben sind dies die folgenden Gruppen der AzB-2008:
 - P 2.1 und P 2.2
 - S 3.2
 - S 5.1, S 5.2 und S 5.3
 - S 6.1, S 6.2 und S 6.3

- S 7 und S 8
- ▶ Für die überwiegende Mehrzahl der in den FANOMOS-Daten enthaltenen Flugbewegungen konnte unterstellt werden, dass diese nach Instrumentenflugregeln (IFR) durchgeführt wurden oder zumindest einem hierfür typischen Flugweg folgten. Vereinzelt in den Daten enthaltene Flugbewegungen, die offensichtlich nach Sichtflugregeln (VFR) operierten, wurden aussortiert.
- ▶ Für die Abbildung im DES wird statt einer Luftfahrzeuggruppe eine Luftfahrzeugklasse nach AzB mit den Datensätzen für den Start („S-Klasse“) oder Landung („L-Klasse“) benötigt. Für die Mehrzahl der Gruppen konnte dies durch Anhängen des entsprechenden Suffixes automatisiert werden. Bei Gruppen, denen mehrere Klassen für unterschiedliche Auslastungen beim Start zugeordnet sind, wurde jeweils die Klasse mit der höheren Auslastung gewählt (z. B. „S 7 b) – S“ für Starts der Gruppe „S 7“ nach AzB-2008).
- ▶ Abschließend wurden ausschließlich An- und Abflüge bzw. Landungen und Starts in das Szenario übernommen. Vereinzelt Überflüge des Bahnsystems, etwa in Folge von Fehlanflügen oder Platzrundenflügen, wurden nicht erfasst.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise ist garantiert, dass die zwei Ist-Szenarien 2019 nach AzD-2008 und AzB-ND für einen Platz jeweils exakt dieselben Flugbewegungen enthalten. Diese unterscheiden sich im Modell nur durch die Zuordnung der Luftfahrzeugklasse des jeweiligen Regelwerkes.

Die aus der Flugspurklassifikation der FANOMOS-Daten für das Ist-Szenario 2019 folgenden DES-Flugbewegungszahlen sind in den folgenden Abschnitten jeweils tabellarisch zusammengefasst. Detaillierte Flugbewegungsangaben können den DES-Datenblättern entnommen werden, die diesem Bericht in den Anhängen B bis D beigelegt sind.

Die **Prognoseszenarien** basieren zunächst auf dem jeweiligen Ist-Szenario 2019 nach AzB-2008. Auftragsgemäß wurden hieraus mit Hilfe einfacher Annahmen Szenarien für den Flugbetrieb in den 6vM 2030 entwickelt. Diese unterscheiden sich von der Situation 2019 im Wesentlichen durch eine geänderte Zusammensetzung des Mengengerüsts für die Flugbewegungen und damit eine geänderte Nutzung der verschiedenen Flugstrecken im DES. Die Erstellung einer detaillierten Luftverkehrsprognose, wie sie für die Überprüfung oder Festsetzung eines Lärmschutzbereiches nach AzB erforderlich ist, war nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Insofern beschreiben die Prognoseszenarien zwar eine realitätsnahe Verkehrssituation für 2030, sind aber nicht mit einem DES auf Basis einer fundierten und detaillierten Prognose gleichzusetzen.

Für die Prognoseszenarien wurden außerdem Annahmen zur Entwicklung der bis 2030 eingesetzten Luftfahrzeugmuster entwickelt und bei der Erstellung der Mengengerüste für die DES-Modelle berücksichtigt. Auf diese Weise konnte unterschiedliche Flottenzusammensetzungen untersucht werden.

Für den Prognosefall wurde dasselbe Flugstreckenmodell wie 2019 verwendet. Eventuell nach 2019 veröffentlichte Änderungen der An- oder Abflugstrecken eines Platzes sind – aus Gründen der Vergleichbarkeit der Rechenergebnisse – im Modell nicht abgebildet. Somit ist gewährleistet, dass Änderungen der berechneten Lärmkonturen ausschließlich aus einer geänderten Nutzung des Streckensystems resultieren, nicht jedoch aus Änderungen der Flugstreckenverläufe im DES.

Fluglärmrechnungen nach AzB

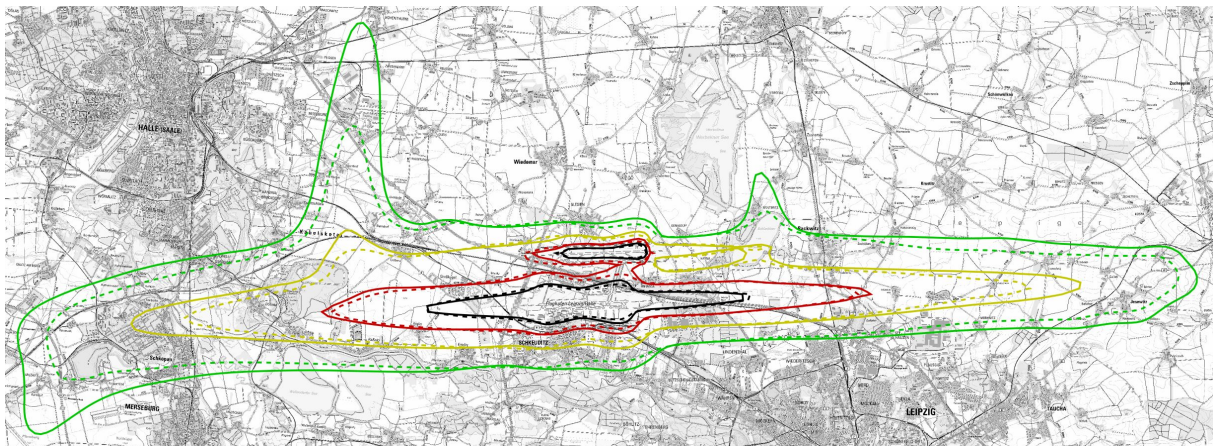
Aus den DES-Flugstreckenmodellen und den für die verschiedenen Verkehrsszenarien ermittelten Flugbewegungszahlen wurde für jedes Szenario ein vollständiges DES in Form eines QSI-Projektes nach DIN 45687 [8] erstellt.

Die QSI-Projektdateien wurden in die OTSD-Software AirTRACS Acoustics eingelesen und nach AzB berechnet. Die Software unterstützt akustische Klassendaten mit Angaben zu Oktavpegeln (O_n , wie in der AzB-2008) sowie Schalleistungspegeln ($L_{W,n}$, wie in der AzB-ND) sodass die Klassendaten der AzB-ND direkt verwendet werden konnten. Die Übertragung der Klassendaten der AzB-ND in die Software erfolgte über eine im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) entwickelte XML-Schnittstelle, deren Veröffentlichung voraussichtlich Ende 2023 in einem zweiten Teil der Norm DIN 45689 [6] erfolgen wird.

Die Berechnungen nach AzB erfordern eine große Rechenleistung bzw. Rechenzeit und wurden daher auf mehreren Server-Systemen mit jeweils 32 Prozessorkernen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zunächst als Raster ausgegeben. Als Zellgröße für diese Raster wurde einheitlich für alle Szenarien 250 mal 250 Meter gewählt. Damit konnte der Zeitaufwand für die Berechnungen in einem für den Projektplan des Vorhabens akzeptablen Maß gehalten werden. Der Detailgrad der Ergebnistraster wurde in Abstimmung mit dem UBA für den Zweck des Vorhabens als ausreichend beurteilt. Für jeden Flugplatz wurde die zu berechnende Fläche und damit die Größe der Ergebnistraster jeweils so angepasst, dass für jede Kenngröße die in der Leistungsbeschreibung des Vorhabens geforderten Wertebereiche abgedeckt werden konnten.

Für jedes Szenario wurden Rasterberechnungen mit einer Zellgröße von 250 mal 250 Metern für die Kennzahlen LEQ (Tag), LEQ (Nacht) und AWR (Nacht) durchgeführt. Für die Prognoseszenarien wurde zusätzlich die Kennzahl NAT (Nacht) berechnet.

Abbildung 2: Berechnete Isolinien nach AzB-2008 und AzB-ND (Beispiel)

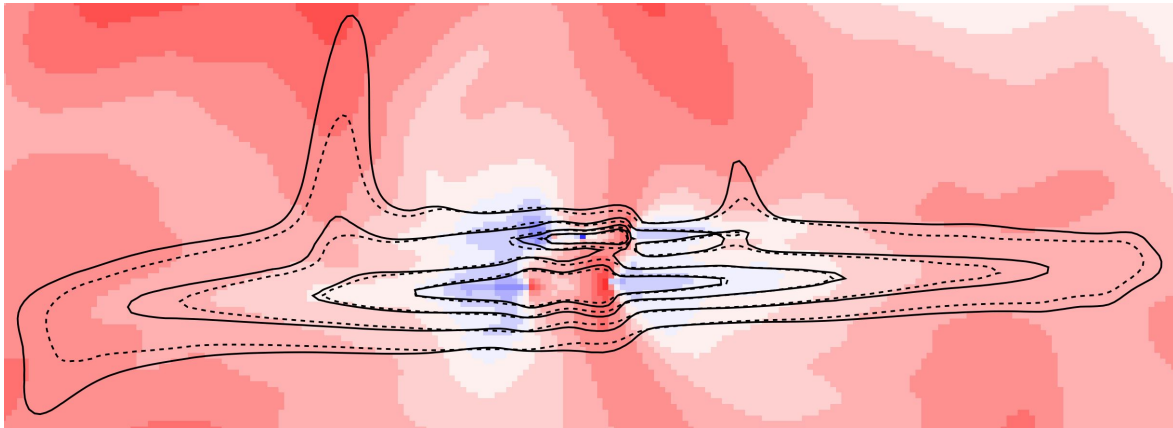


Flughafen Leipzig/Halle (Ist-Szenario): Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)²

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

² Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 3: Differenzraster AzB-ND minus AzB-2008 (Beispiel)

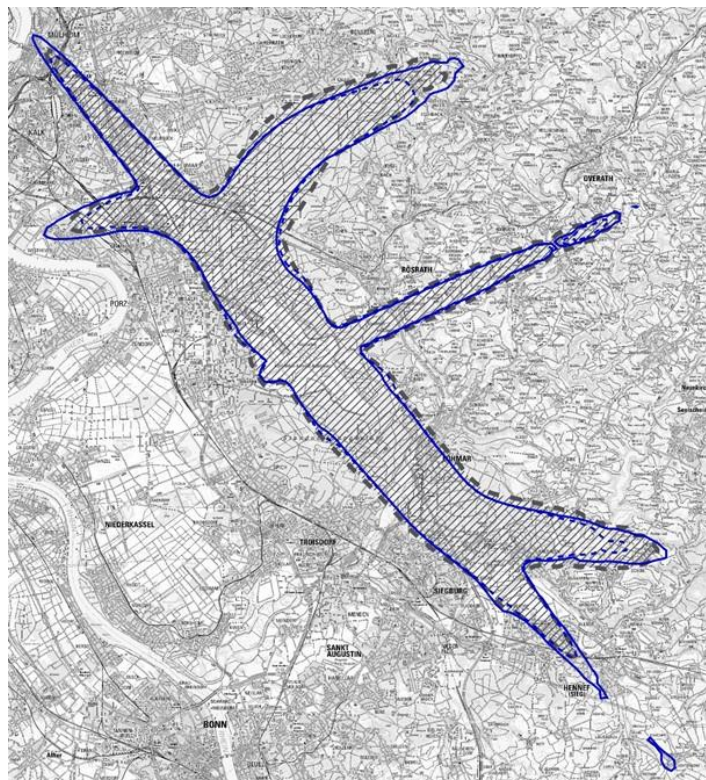


Flughafen Leipzig/Halle (Ist-Szenario): Differenzraster und Isolinien für LEQ^* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A) nach AzB-2008 (gestrichelt) und AzB-ND (durchgezogene Linien)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die berechneten Ergebnisraster wurden anschließend benutzt, um Isolinien und Differenzraster (Beispiele siehe Abbildung 2 und Abbildung 3) zu bestimmen, die in die graphische Darstellung aufgenommen wurden. Zusätzlich wurden die für das Prognoseszenario nach AzB-ND berechneten Konturen mit den Schutzzonen des aktuell festgesetzten Lärmschutzbereiches des jeweiligen Platzes verglichen (Beispiel siehe Abbildung 4).

Abbildung 4: Vergleich des Prognoseszenarios 2030 mit LSB-Konturen (Beispiel)



Flughafen Köln/Bonn: Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für $LEQ+NAT$ (blau) sowie Nacht-Schutzzone des LSB (grau, gestrichelt) nach AzB-2008³

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

³ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Für jeden Flugplatz wurden schließlich zehn georeferenzierte Kartendarstellungen im Format DIN A3 erstellt, fünf Karten für das Ist-Szenario 2019 und fünf Karten für das Prognoseszenario 2030. Die Darstellungen enthalten jeweils die Ergebnisse nach AzB-2008 und AzB-ND:

- ▶ Darstellung von Isolinien mit topographischer Karte [48] im Hintergrund für
 - LEQ (Tag) bzw. LEQ* (Tag) von 50 dB(A) bis 70 dB(A) mit einer Schrittweite von 1 dB(A), einschließlich der bestehenden Tag-Schutzzonen 1 und 2 des nach AzB-2008 festgelegten Lärmschutzbereichs für die Prognoseszenarien,
 - LEQ (Nacht) bzw. LEQ* (Nacht) von 45 dB(A) bis 60 dB(A) mit einer Schrittweite von 1 dB(A), einschließlich der bestehenden Nacht-Schutzzone des nach AzB-2008 festgelegten Lärmschutzbereichs sowie einer berechneten Isolinie für LEQ+NAT für die Prognoseszenarien,
 - AWR (Nacht) bzw. AWR* (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR mit einer Schrittweite von 0,1 AWR,
- ▶ Differenzkarten als Rasterdarstellung inkl. der Isolinien für
 - LEQ (Tag) bzw. LEQ* (Tag)
 - LEQ (Nacht) bzw. LEQ* (Nacht)

Eine Legende am rechten unteren Blattrand enthält Angaben zum dargestellten Szenario, den ermittelten Kennzahlen sowie Erklärungen zur Visualisierung, und eine Maßstabsangabe.

Weitere Abbildungen zu den Berechnungsergebnissen sind im Abschnitt 4.3 dargestellt, die Anhänge B, C und D enthalten alle Kartendarstellungen im PDF-Format.

Projektergebnis und Fazit

Die mit aktueller (AzB-2008) und neuer (AzB-ND) Datengrundlage berechneten Isolinien bzw. Lärmkonturen für die Kenngröße LEQ (Tag oder Nacht) zeigen für alle untersuchten Szenarien eine ähnliche Tendenz: Die nach AzB-ND berechneten Konturen weisen in einer Umgebung von wenigen Kilometern um den Flugplatzbezugspunkt einen ähnlichen Flächeninhalt auf wie die nach AzB-2008 berechneten Isolinien. Mit zunehmender Entfernung vom Flugplatz wächst allerdings die von den nach AzB-ND berechneten Konturen begrenzte Fläche über das Maß der Vergleichskonturen nach AzB-2008 hinaus.

Erwartungsgemäß zeigen sich die durch den Wechsel der Datengrundlage hervorgerufenen Effekte bei den untersuchten Szenarien an unterschiedlichen Orten (in Bezug auf die Lage in Relation zum Flugplatz) und betreffen jeweils unterschiedliche Isolinien der verschiedenen Kennzahlen. Dies war der Grund für die Wahl möglichst unterschiedlicher Flugplätze und Verkehrsszenarien.

In der Betrachtung für den Flughafen Frankfurt/Main wurden beispielsweise die Isolinien für den LEQ (Tag) und die Werte 60, 65 und 70 dB(A) sowie für LEQ (Nacht) 55 und 60 dB(A) nach AzB-ND kleiner berechnet als nach AzB-2008. Die Isolinien für LEQ (Tag) 50 und 55 dB(A) sowie LEQ (Nacht) 45 und 50 dB(A) ergaben dagegen eine eher größere Fläche. Würden also die Tag- und Nacht-Schutzzonen auf Basis des vereinfachten Prognoseszenarios aus diesem Vorhaben ermittelt, so würde die Tag-Schutzzone 1 nach AzB-ND kleiner ermittelt als nach AzB-2008. Die Tag-Schutzzone 2 sowie die Nacht-Schutzzone würden dagegen eine größere Fläche umfassen. Eine Neuberechnung der Nacht-Schutzzone LEQ+NAT (Nacht) würde unter den hier dargestellten Annahmen zwar zu einem ähnlich großen Flächeninhalt der Kontur führen, ihre

Ausdehnung wäre in Ost-West-Richtung in Verlängerung der Landebahnen des Parallelbahnsystems jedoch größer als die aktuell festgesetzte Nacht-Schutzzone.

Für den Flughafen Köln/Bonn würden auf Basis des (vereinfachten) Prognoseszenarios sowohl die beiden Tag-Schutzzone als auch die für die Nacht-Schutzzone relevante LEQ-Kontur kleiner aus der Berechnung nach AzB-ND hervorgehen. Die aus den Kenngrößen LEQ (Nacht) und NAT abgeleitete Nacht-Schutzzone würde dagegen größer ausfallen. Im Ist-Szenario, ohne eine Berücksichtigung der für die Flottenentwicklung getroffenen Annahmen, ergibt sich lediglich eine marginale Änderung der für die Tag-Schutzzone relevanten Konturen.

Die Rechenergebnisse für den Flughafen Leipzig/Halle zeigen eine Verkleinerung der Fläche der für die beiden Tag-Schutzzone relevanten Isolinien bei einer Berechnung nach AzB-ND, die im Prognoseszenario (mit Berücksichtigung der angenommenen Flottenentwicklung) deutlicher ausfällt. Die für die Nacht-Schutzzone relevanten LEQ-Konturen werden dagegen größer, wobei die Vergrößerung im Prognoseszenario nur marginal ausfällt. Im Prognoseszenario wird die der Nacht-Schutzzone entsprechende Kontur LEQ+NAT nach AzB-ND deutlich größer.

Der geforderte Vergleich mit den jeweils gültigen Lärmschutzbereichen zeigt insgesamt ein relativ einheitliches Bild. Für die Flughäfen Frankfurt/Main und Köln/Bonn fallen alle nach AzB-ND berechneten Konturen kleiner aus als die Konturen der aktuell festgelegten Lärmschutzbereiche. Dagegen fallen beim Flughafen Leipzig/Halle die Nacht-Konturen signifikant größer aus als die entsprechenden Konturen des aktuell festgelegten Lärmschutzbereichs.

Die sich aus der Verwendung der neuen Klassen ergebenden Pegeldifferenzen sowohl für das Ist- als auch das Prognoseszenario lassen sich aufgrund der hohen Aggregation nicht einfach erklären. Detaillierte Einzelvergleiche für Pegeldifferenzen zwischen alten und neuen Luftfahrzeugklassen lassen sich dem DLR-Bericht [4] entnehmen.

Hinzu kommen Effekte der verschiedenen Verkehrsszenarien. Dies betrifft zum einen die mengenmäßig dominierenden Luftfahrzeuggruppe S 5.2 (bis 130 t maximaler Abflugmasse), sowie insbesondere die schwerere Luftfahrzeuggruppe S 6.1 (mit 2 Triebwerken und bis zu 500 t maximaler Abflugmasse). Erstere wird gemäß AZD-ND in 4 Gruppen unterteilt, während letztere sogar in 5 Gruppen unterteilt wird. Die Differenzen der Schallleistungspegel der neuen Klassen weisen hier eine große Bandbreite im Vergleich zur jeweiligen Gruppe der AzB-2008 auf. Im Mittel über alle betrachteten Gruppen nähern sich die berechneten Immissionspegel jedoch wieder an. Dadurch fällt der Einfluss der geänderten Emissionen eher gering aus. Je größer der gruppenspezifische Anteil von Luftfahrzeugen mit hohem Bypass-Verhältnis (Klassen mit dem Suffix „NX“) ist, umso geringer sind die Immissionen, insbesondere beim Start. Dies ist vor allem für Prognoseszenarien von Bedeutung.

Jedoch lassen sich gewisse Plausibilitätsargumente anhand der Datenblätter zu den Luftfahrzeugklassen der AzB-ND im Grundsatz ableiten. So fällt auf, dass für die Mehrzahl der Anflugdatensätze („L-Klassen“) im Vergleich zu den Klassendaten der AzB-2008 in den letzten Zeilen des Datenblattes der Zusatzpegel „Z“ während des sog. Zwischenanflugs deutlich verändert wurde: Während dieser für die meisten Datensätze der AzB-2008 negativ ist (z. B. -1 für die Klasse S 5.2 – L) ist der Z-Wert bei den Anflugdatensätzen der AzB-ND in der Regel positiv (z. B. +3 für die Klasse S3_M130_T2_N7-L). Somit ergibt sich – bei identischen LFZ-Typen – bereits rechnerisch eine positive Differenz in der Größenordnung von 4 dB der ermittelten Pegelwerte für viele Flugbewegungen. Hierbei ist die Entfernung vom Flugplatz, ab der diese Pegeldifferenz das Ergebnis beeinflusst, vor allem von der Zwischenanflughöhe und der Länge des Zwischenanflugsegments abhängig. Dies zeigt sich insbesondere für den Flugplatz Frankfurt (siehe Abschnitt 3.3.1). Neben den Änderungen der akustischen Daten für startende Luftfahrzeuge („S-Klassen“) wurden auch die angenommenen Startstrecken angepasst. Diese

wurden im Vergleich zur AzB-2008 teilweise verkürzt, sodass startende Flugzeuge früher eine größere Flughöhe erreichen (z. B. 1.900 m Startstrecke der Klasse S 5.2 – S gegenüber einer Startstrecke von 1.300 m bzw. 1.700 m für die Klassen S3_M130_T2_N7-SA bzw. S3_M130_T2_N7-SB).

Beide Änderungen wirken zusammen, sodass die Auswirkungen sich nur schwer an den Isolinien festmachen lassen.

Die für die Kenngröße AWR berechneten Konturen umfassen für die in diesem Vorhaben untersuchten Szenarien grundsätzlich bei der Berechnung nach AzB-ND eine größere Fläche als bei einer Berechnung nach AzB-2008. Dies lässt sich teilweise bereits aus den neuen akustischen Klassendaten herleiten, d. h. den Schalleistungspegeln sowie den jeweiligen luftfahrzeugspezifischen Fixpunktprofilen.

Hinzu kommt die Belegung von solchen Untergruppen der Luftfahrzeuggruppe, wie S3_M320_T2_N7 bzw. S3_M500_T2_NX, die einen größeren Schalleistungspegel sowohl für den Start als auch für die Landung im Vergleich zu S 6.1 aufweisen.

Ein hoher Anteil dieser Luftfahrzeuggruppen in den Szenarien nach AzB-ND führt daher zwangsläufig zur Berechnung größerer Maximalpegel für dasselbe Luftfahrzeug und damit zu größeren Konturen für die Kennzahl AWR. Bei allen drei betrachteten Flughäfen ist der Nachtflugbetrieb durch einen hohen Anteil dieser schwereren, lauterer Luftfahrzeuge charakterisiert, sodass die Ergebnisse hier plausibel erscheinen.

Summary

Problem Description

The German "Act for Protection against Aircraft Noise" [1] provides for the establishment of noise protection areas at certain commercial airports, larger commercial and some military airfields. The procedure for determining these areas (in German: "Lärmschutzbereiche", LSB) is specified by the two documents AzB [2] and AzD [3] issued in 2008.

The acoustic and flight operation data of the AzB (hereinafter referred to as AzB-2008), some of which were laid down decades ago, can only represent flight operations in Germany to a limited extent. In recent years, new aircraft types have been introduced and older types decommissioned or modernized. The increasing use of modern engines leads to changes in aircraft noise immissions that are not represented in the acoustic class data of the AzB. Finally, alternative flight procedures have been developed and increasingly put into flight operational practice, which is also not reflected in the assumptions of the current rulebook.

In order to take these facts into account, the data basis for many civil aircraft of the AzB was completely revised and updated in a research project "Review and Improvement of Calculation Procedures for Aircraft Noise" [4] of the German Aerospace Center (DLR) initiated by UBA (hereinafter referred to as AzB-ND for "AzB with a new data basis"). In the course of this revision, a new grouping scheme for aircraft was developed and an adjustment of the acoustic and flight operational (class) data was made.

The new class data for departing and arriving aircraft developed by DLR can be used as a revised data basis for calculations according to the regulations of the AzB. Changes to the calculation procedure of the AzB are not necessary for this. Accordingly, the DLR project does not describe a new version of the AzB, but merely changes the aircraft class data used. For this purpose, a large part of the data sheets listed in the annex of the AzB will be replaced with acoustic and flight operational aircraft class data (see [4] Annex 1 Chapter 3). Replacement of the current AzB by a new version with modified class data would therefore be possible in the future.

A comprehensive calculation of the aircraft noise situation for real traffic scenarios based on the new data basis has not yet been performed. To what extent the use of the AzB-ND would affect the calculated noise situation at a real commercial airport cannot be derived from the results of the DLR study.

Since it is to be expected that the result of a comparative calculation of AzB-2008 and AzB-ND will be highly dependent on the scenarios considered, this should be investigated in a broad-based study that considers different airports or rather their traffic scenarios as far as possible.

Aim of the Project

The project described in this report is based on the results of the DLR project [4] and uses the newly defined aircraft class data from it for aircraft noise calculations in several realistic traffic scenarios.

The project focuses on the question of the extent to which the calculation results of a traffic scenario for a major airport change when the revised data basis AzB-ND is used instead of the current class data of AzB-2008.

The comparative analysis is particularly interesting for the definition of noise protection areas (LSB), since far-reaching consequences can follow from the calculation results according to AzB with regard to building bans or passive noise protection measures. The results of the project should therefore also be seen in the context of a possible new version of the AzB-2008 with new, revised class data.

In addition to the noise-related indicators to be determined according to AzB, the criterion of the "number of awakening reactions" (AWR) [5] resulting from noise impact research is also considered as a measure of nighttime aircraft noise exposure.

Method applied in the project

The project was divided into five work packages (WP):

- ▶ WP 1 - Data acquisition and preparation
- ▶ WP 2 - DAS modeling
- ▶ WP 3 - Preparation of flight movement data
- ▶ WP 4 - Aircraft noise calculations
- ▶ WP 5 - Documentation, map creation and reports

At the beginning of the project, extensive data had to be requested, prepared, and analyzed (WP 1), which were required for the development of the computational models or the modeling of Data Acquisition Systems (DAS modeling). The data was provided by UBA, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, representatives of the airports modeled, and the authorities responsible for defining noise protection areas.

Based on the authors' experience from the creation of a large number of Data Acquisition Systems (DAS), in which flight operational practice is represented in models for aircraft noise calculation, DAS models were modeled with arrival and departure routes for three major commercial airports in Germany (WP 2): For the airports

- ▶ Frankfurt/Main (ICAO airport code⁴ EDDF),
- ▶ Cologne/Bonn (ICAO airport code EDDK) and
- ▶ Leipzig/Halle (ICAO airport code EDDP)

a realistic scenario with actual traffic data was modeled in each case with the data for the year 2019. In addition, (simplified) prognosis scenarios were developed for all three airports that depict expected or possible changes in the aircraft fleet in use up to 2030. The construction of these scenarios was addressed in WP 3.

For the total of six DAS, aircraft noise calculations were performed according to the current (AzB-2008) and the new, revised (AzB-ND) data basis and compared with each other (WP 4). For comparison, both the calculated noise contours and the key figure "awakening reactions" (AWR), which originates from noise impact research, were used.

The results of the project are detailed graphical representations of the calculated aircraft noise situation for all scenarios including a difference analysis between the current and revised acoustic data basis (WP 5).

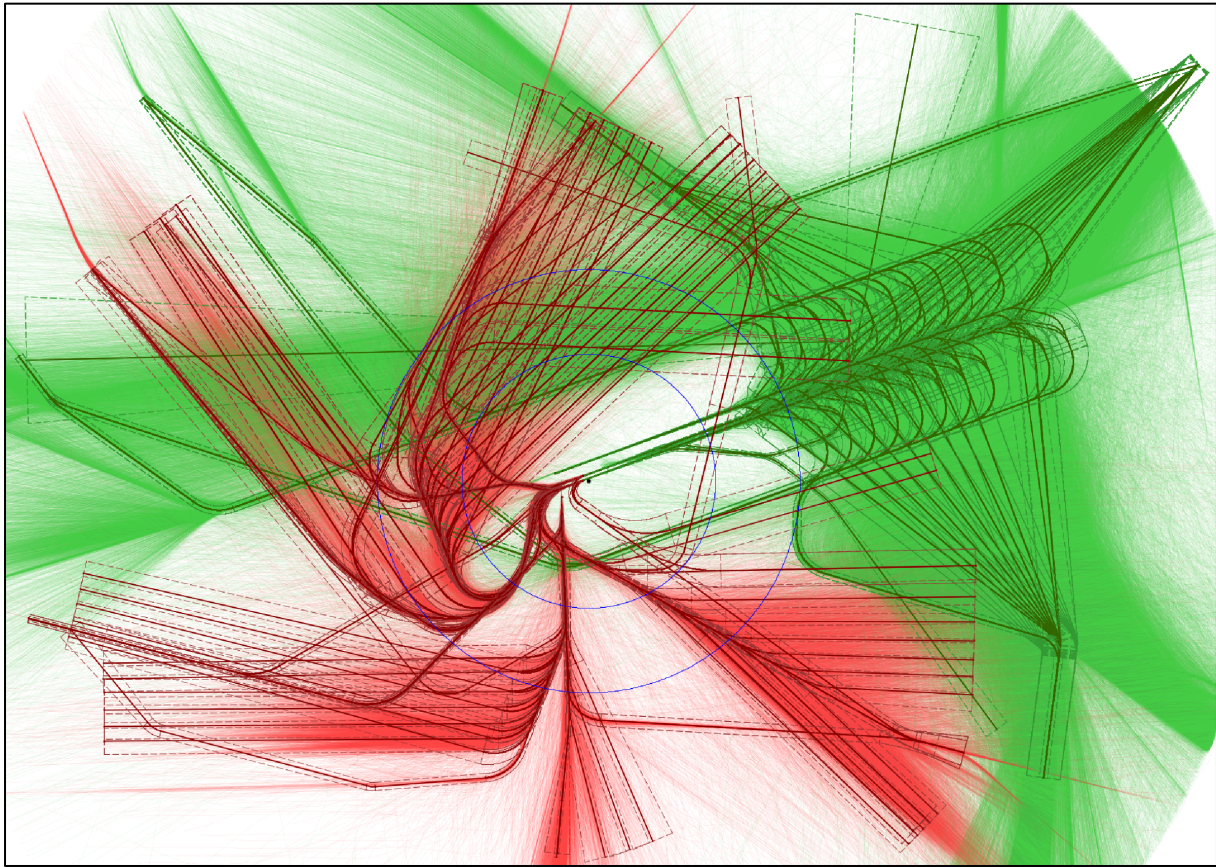
Modeling of Data Acquisition Systems

Building models of airport infrastructure and arrival and departure routes for the three airports analyzed was an essential part of the first half of the project. A detailed airspace route model was created for each airport based on 2019 data (see Figure 1 for an example). Together with

⁴ In this report the airports are also referenced by their airport designator issued by the International Civil Aviation Organization (ICAO).

the subsequently developed traffic scenarios, these models were combined to form complete DAS of instrument flight (IFR) operations.

Figure 1: Arrival and departure routes modeled in the DAS (example)



Extract from complete model for Frankfurt/Main Airport (EDDF)
Source: own illustration, OTSD GmbH

The method used was based on the methodology developed and refined by OTSD over the past 15 years for the creation of data acquisition systems (DAS), which has already been used in this way or in a similar way for a large number of DAS according to different sets of regulations:

1. Acquisition of all input data essential for the DAS of the airport analyzed, in particular the publications of the Aeronautical Information Publication (AIP) [7] for air traffic according to instrument flight rules (IFR).
2. Acquisition, processing and classification of flight track data from the FANOMOS (Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System) system operated by DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS). For all airports, the period May to October 2019 was considered and used as a reference for the six months with a maximum number of movements in the year.
3. Description of the airport infrastructure with all essential data for the DAS. This includes the aerodrome reference point (ARP), as well as runway data with landing thresholds and takeoff-roll starting points.
4. Modeling of the arrival and departure routes for each airport under consideration with the OTSD software "DES-Editor", initially in a form that corresponds to the (theoretical) flight procedures according to the publications in the AIP.
5. Adaptation of the airspace route model to the flight operational practice. In this process, the so-called "backbone method" was applied, in which the modeled flight path is described in

such a way that it located, as far as possible, where the majority of the flight paths observed in practice can be localized. This step of model development also included the definition of so-called proxy routes in the DAS, which capture direct routings that are frequently observed in practice and are justified by the mode of operation or clearances of air traffic controllers.

6. From the classification of the FANOMOS flight tracks, it was possible to derive a quantity structure of aircraft movements in the analysis or reference period (six months of 2019). This movement data forms the basis for the aircraft noise calculations of the scenarios for 2019 as well as a further development for the prognosis scenarios 2030.

The airspace route model describes arrivals and departures according to instrument flight rules (IFR). Flights according to visual flight rules (VFR) were not considered. Departure routes were modeled in each case to start their takeoff-roll from the beginning of the runway in order to keep the modeling effort within the project budget.

Furthermore, the consideration focused exclusively on the class data for larger, heavier aircraft that were newly defined or updated for the revised data basis (AzB-ND). Aircraft movements with small aircraft of the groups P 1.0 to P 1.4 defined in AzD and with helicopters of the groups H 1.0 to H 2.2 were not considered. Aircraft movements with military aircraft (P-MIL and S-MIL groups of AzD) were also disregarded. The acoustic and flight operational data of these groups were not revised by DLR. Changes of the calculation results in the sense of the project are therefore not to be expected from aircraft movements with aircraft of these groups, since the mentioned groups play a minor role in the traffic scenarios of all three airports and no significant effects on the noise contours which are to be calculated are to be expected from the few associated movements.

DAS modeling was performed using OTSD's "DES Editor" software, which was developed specifically for the creation and quality assurance of Data Acquisition Systems. The system allows modeling of airspace route systems from a flight operations perspective and detailed quality assurance of the created DAS models. The verification includes, among other things, the quality criteria formulated in the AzD (see [3] chapter 4) as well as numerous formal and content-related aspects, which ensure a correct export of the models via the so-called QSI interface [8] as well as the calculation in any AzB-compatible aircraft noise calculation program.

Development of traffic scenarios

The airspace route models used for the aircraft noise calculations in this project are based on actual data for the months of May to October of 2019. In addition to publications in the Aeronautical Information Publication AIP, flight tracks recorded by the FANOMOS system operated by DFS were primarily used to build these models.

For the calculations, a complete Data Acquisition System (DAS) was required in each case, consisting of the airspace route model and the associated flight movement data according to AzD. Data related to departures and arrivals are to be entered here per (DAS) flight route and aircraft class as well as differentiated by DAY (6 a.m. to 10 p.m. local time) and NIGHT (10 p.m. to 6 a.m. local time). For the application of the so-called sigma rule according to AzB section 3.3, further statistical data on the use of the different "runway-related operating directions " are required (see AzB chapter 6).

The comparative analysis with current (AzB-2008) and revised (AzB-ND) data basis was performed on the basis of two different traffic scenarios for each of the airports considered:

- a) An actual scenario 2019 depicts flight operations in the months of May to October 2019. The aircraft movements included in this scenario were taken from the FANOMOS data. An

application of the so-called sigma rule was not planned according to the work specification for the project.

- b) The 2030 prognosis scenario contains aircraft movement data for a (hypothetical) future scenario with data for the six busiest months of 2030. The so-called sigma rule was taken into account for the prognosis scenario.

For the development of the actual scenarios, the FANOMOS flight tracks provided by DFS were first processed, visualized and assigned to the individual DAS routes using the "DES Editor" software. In the process, erroneous or unusable flight tracks (e.g., those without information on the aircraft type or without reference to the runway used) were sorted out. For each flight track, the specified aircraft type (usually an ICAO code according to Doc 8643, see [9]) was also assigned to an aircraft group of the AzB-2008 and (if possible) of the AzB-ND. Together with the actual times of arrival or departure also recorded in the FANOMOS data, each flight track classified in this way was transformed into a flight movement for the DAS.

To generate flight movement data for the 2019 scenario from the FANOMOS data, the following basic procedure was followed:

- ▶ The assignment of an aircraft group according to AzB-2008 or AzB-ND was based on the aircraft types contained in the FANOMOS data.
- ▶ In the scenarios, only aircraft movements were recorded for whose associated aircraft group both a current and a revised AzB-ND data basis were available. For this project, these are the following AzB-2008 aircraft groups:
 - P 2.1 and P 2.2
 - S 3.2
 - S 5.1, S 5.2 and S 5.3
 - S 6.1, S 6.2 and S 6.3
 - S 7 and S 8
- ▶ For the majority of flight movements contained in the FANOMOS data, it could be assumed that they were performed according to instrument flight rules (IFR) or at least followed a flight path typical for IFR. A small number of tracks contained in the data that obviously operated according to visual flight rules (VFR) were sorted out.
- ▶ For the DAS, an aircraft class according to AzB with the data records for takeoff ("S class") or landing ("L class") is required instead of an aircraft group. For the majority of groups, this could be automated by appending the appropriate suffix. For groups to which several classes are assigned for different takeoff weights, the class with the higher weight was selected in each case (e. g. "S 7 b) - S" for takeoffs of the group "S 7" according to AzB-2008).
- ▶ Finally, only arrivals and departures or landings and takeoffs were included in the scenario. Overflights of the runway system, e. g. as a result of missed approaches or aerodrome circuits, were not recorded.

The method described guarantees that the two actual scenarios for 2019 according to AzD-2008 and AzB-ND each contain exactly the same aircraft movements for an airport. These differ in the model only by the assignment of the aircraft class of the respective regulations.

The DAS aircraft movement data resulting from the flight track classification of the FANOMOS data for the 2019 scenario are summarized in tabular form in the following sections. Detailed

aircraft movement data can be found in the DAS data sheets attached to this report in Appendices B through D.

The prognosis scenarios are initially based on the respective actual scenario 2019 according to AzB-2008. Scenarios for flight operations in 2030 were developed from this using simple assumptions. These differ from the situation in 2019 mainly by a changed composition of the quantity structure for aircraft movements and thus a changed use of the various flight routes in the DAS. The preparation of a detailed air traffic forecast, as required for the review or determination of a noise protection area according to AzB, was not the subject of this project. In this respect, although the prognosis scenarios describe a realistic traffic situation for 2030, they cannot be equated with a DAS based on a well-founded and detailed prognosis.

Assumptions were also developed for the prognosis scenarios regarding the development of aircraft types in use by 2030 and were taken into account when creating the movement data for the DAS models. In this way, different fleet compositions could be examined.

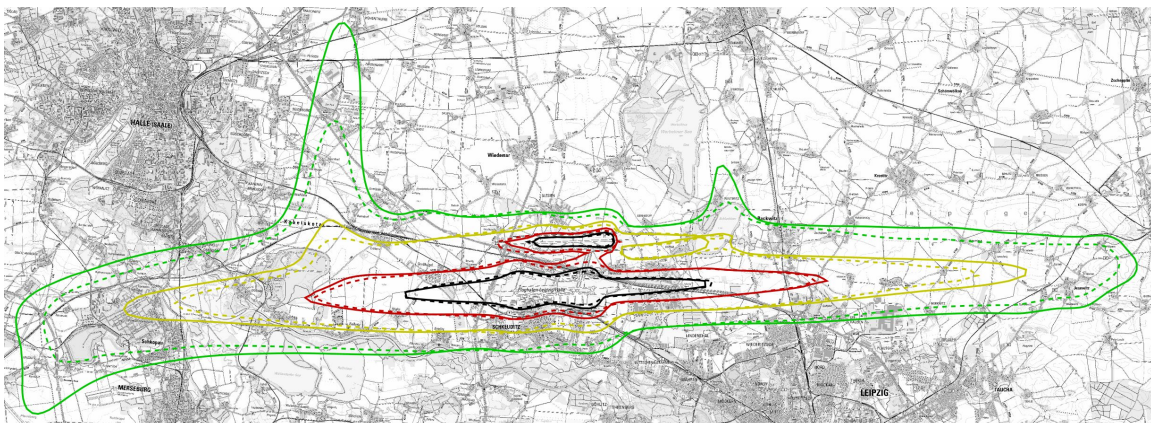
The same airspace route model as 2019 was used for the prognosis case. Any changes to the arrival or departure routes of an airport published after 2019 are - for reasons of comparability of the calculation results - not represented in the model. This ensures that changes in the calculated noise contours result exclusively from a change in the use of the route system, but not from changes in the flight routes in the DAS.

Aircraft noise calculations according to AzB

From the DAS airspace route models and the aircraft movement data determined for the various traffic scenarios, a complete DAS was created for each scenario in the form of a QSI project according to DIN 45687 [8].

The QSI project files were read into the OTSD software AirTRACS Acoustics and calculated according to AzB. The software supports acoustic class data with information on octave levels (O_n , as in AzB-2008) as well as sound power levels ($L_{W,n}$, as in AzB-ND) so that the class data of AzB-ND could be used directly. The transfer of the class data of the AzB-ND into the software was done via an XML interface developed in the DIN/VDI standards committee NALS, the publication of which is expected by the end of 2023 in a second part of the standard DIN 45689 [6].

Figure 2: Isolines calculated according to AzB-2008 and AzB-ND (example)



Leipzig/Halle Airport (scenario 2019): Isolines according to AzB-2008 (dashed lines) and AzB-ND (solid lines) for LEQ* (night) from 45 to 60 dB(A): 45 dB(A) (green), 50 dB(A) (yellow), 55 dB(A) (red), 60 dB(A) (black)⁵

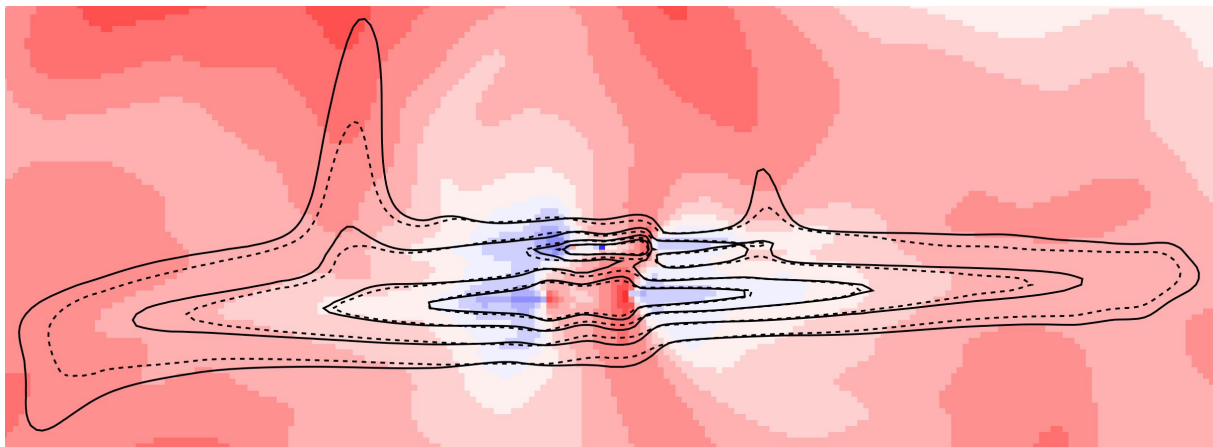
Source: own illustration, OTSD GmbH

⁵ Map data: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), data changed

The calculations according to AzB require a large computing power or computing time and were therefore performed on several server systems with 32 processor cores each. The results were first output as rasters. As cell size for these rasters 250 by 250 meters was chosen uniformly for all scenarios. This allowed the time required for the calculations to be kept at an acceptable level for the project schedule. The level of detail of the result grids was judged to be sufficient for the purpose of the project in consultation with UBA. For each airport, the area to be calculated, and thus the size of the result grids, was adjusted in each case to cover the range of values required by the project's terms of reference for each metric.

For each scenario, grid calculations were performed with a cell size of 250 by 250 meters for the LEQ (day), LEQ (night), and AWR (night) metrics. For the prognosis scenarios, the metric NAT (night) was also calculated.

Figure 3: Difference raster AzB-ND minus AzB-2008 (example)

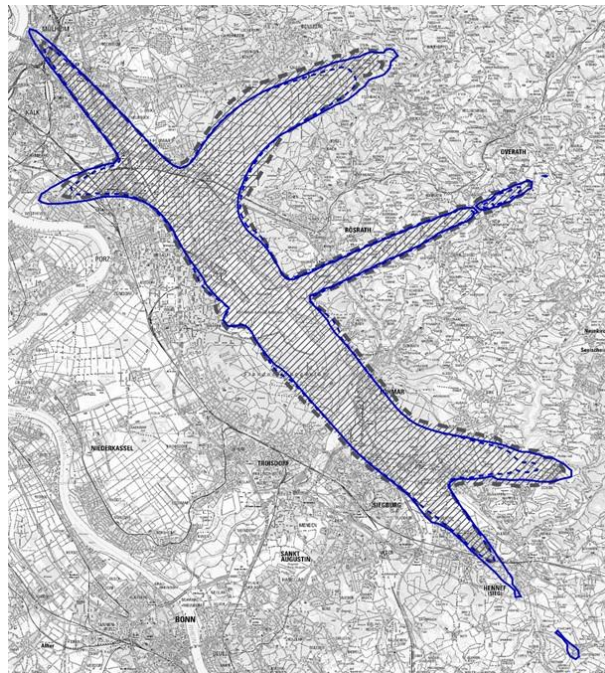


Leipzig/Halle Airport (scenario 2019): Difference raster and isolines for LEQ* (night) from 45 to 60 dB(A) according to AzB-2008 (dashed lines) and AzB-ND (solid lines)

Source: own illustration, OTSD GmbH

The calculated result rasters were then used to determine isolines and difference rasters (examples see Figure 2 and Figure 3), which were included in the graphical representation. In addition, the contours calculated for the prognosis scenario according to AzB-ND were compared with the zones of the currently defined noise protection area of the respective airport (example see Figure 4).

Figure 4: Comparison of prognosis scenario 2030 against LSB contours (example)



Köln/Bonn Airport: Isolines according to AzB-2008 (dashed lines) and AzB-ND (solid lines) for LEQ+NAT (blue) of scenario 2030 and the night protection area of the LSB (grey, dashed lines) according to AzB-2008⁶
Source: own illustration, OTSD GmbH

Finally, ten georeferenced map representations in DIN A3 format were created for each airport, five maps for the 2019 scenario and five maps for the prognosis scenario in 2030. The representations each contain the results according to AzB-2008 and AzB-ND:

- ▶ Plot of isolines with topographic map [48] in the background for
 - LEQ (day) or LEQ* (day) from 50 dB(A) to 70 dB(A) with a step size of 1 dB(A), together with the existing contours of the current noise protection area (day 1/2) according to AzB-2008 for the prognosis scenarios,
 - LEQ (night) or LEQ* (night) from 45 dB(A) to 60 dB(A) with a step size of 1 dB(A), together with existing contours of the noise protection area (night) according to AzB-2008 and a calculated contour for LEQ+NAT for the prognosis scenarios,
 - AWR (night) or AWR* (night) from 0.2 to 1.0 AWR with a step size of 0.1 AWR,
- ▶ difference rasters including the isolines mentioned above for
 - LEQ (day) resp. LEQ* (day)
 - LEQ (night) resp. LEQ* (night)

A legend at the bottom right of the sheet contains information on the scenario shown, the key figures determined, as well as explanations on the visualization, and a scale indication.

Additional figures for the calculation results are shown in Section 4.3, and Appendices B, C, and D contain all map representations in PDF format.

⁶ Map data: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), data changed

Project results and conclusion

The isolines or noise contours calculated with the current (AzB-2008) and new (AzB-ND) data basis for the parameter LEQ (day or night) show a similar tendency for all scenarios analyzed: In the vicinity of the airport, a few kilometers around the aerodrome reference point, the calculated contours according to AzB-ND show a similarly area than the isolines calculated according to AzB-2008. With increasing distance from the airfield, however, the area bounded by the contours calculated according to AzB-ND grows beyond the dimension of the contours according to AzB-2008.

As expected, the effects caused by the change in the data basis show up at different locations (in relation to the location in relation to the airfield) in the scenarios examined and affect different isolines in each case. This was the reason for choosing airports and traffic scenarios that were as different as possible.

In the analysis for Frankfurt/Main Airport, for example, the isolines for LEQ (day) and the values 60, 65 and 70 dB(A) as well as for LEQ (night) 55 and 60 dB(A) were calculated smaller according to AzB-ND than according to AzB-2008. In contrast, the isolines for LEQ (day) 50 and 55 dB(A) as well as LEQ (night) 45 and 50 dB(A) resulted in a rather larger area. Thus, if the daytime and nighttime protection zones were determined on the basis of the (simplified) forecast scenario from this project, the daytime protection zone 1 would be determined smaller according to AzB-ND than according to AzB-2008. In contrast, the daytime protection zone 2 as well as the the nighttime protection zone would cover a larger area. A recalculation of the nighttime protection zone LEQ + NAT (night) with these assumptions would result in a contour area with a similar size but its extent would be larger in an east-west direction of the runways of the parallel runway system than the currently assigned nighttime protection zone.

For Cologne/Bonn Airport, on the basis of the (simplified) forecast scenario, both the two daytime protection zones as well as the nighttime protection zone would emerge smaller from the calculation according to AzB-ND. On the other hand the nighttime protection zone would be larger when derived from LEQ (night) and NAT. In the actual scenario, without taking into account the assumptions made for the fleet development, there is only a marginal change in the contours relevant for the daytime protection zones.

The calculation results for Leipzig/Halle Airport show a reduction in the area of the isolines relevant for the two daytime protection zones, which is more pronounced in the forecast scenario (with consideration of the assumed fleet development). On the other hand, the LEQ+NAT contour calculated for the forecast scenario, which is relevant for the night protection zone, becomes significantly larger, although the increase related to the relevant LEQ-based part of it is only marginal.

The comparison with the respective current noise protection areas shows a relatively uniform picture overall. For Frankfurt/Main and Cologne/Bonn airports, all contours calculated according to AzB-ND are smaller than the contours of the currently defined noise protection areas. In contrast, the night contours at Leipzig/Halle Airport are significantly larger than the corresponding contours of the currently defined noise protection area.

The differences resulting from the use of the new classes for both the actual and forecast scenarios cannot be easily explained due to the high level of aggregation. Detailed individual comparisons for noise level differences between old and new aircraft classes can be found in the DLR report [4].

Added to this are the effects of the various traffic scenarios. On the one hand, this affects the aircraft group S 5.2 (up to 130 t maximum takeoff weight), which dominates in terms of volume, and in particular the heavier aircraft group S 6.1 (with 2 engines and up to 500 t maximum

takeoff weight). The former is subdivided into 4 groups according to AZD-ND, while the latter is even subdivided into 5 groups. The differences in the sound power levels of the new classes show a wide range here compared to the respective group of the AzB-2008. However, on average over all groups considered, the calculated immission levels converge again. Thus, the influence of the changed emissions turns out to be rather small. The larger the group-specific share of aircraft with a high bypass ratio (classes with the suffix "NX"), the lower the immission levels, especially during takeoff. This is particularly important for (future) forecast scenarios.

However, certain plausibility arguments can be derived in principle from the aircraft class data sheets of AzB-ND. For example, it is noticeable that for the majority of approach data sets ("L-classes"), the additional level "Z" during the so-called intermediate approach was significantly changed in the last lines of the data sheet compared to the class data of AzB-2008: While this is negative for most of the AzB-2008 data sets (e. g. -1 for class S 5.2 - L), the Z value is usually positive for the AzB-ND approach data sets (e. g. +3 for class S3_M130_T2_N7-L). Thus – with identical aircraft types – already arithmetically a positive difference in the order of 4 dB of the determined level values results for many aircraft movements. Here, the distance from the airfield, from which this level difference influences the result, depends above all on the intermediate approach altitude and the length of the intermediate approach segment. This is particularly evident for Frankfurt airfield (see Section 3.3.1). In addition to the changes in the acoustic data for taking-off aircraft ("S classes"), the assumed take-off distances were also adjusted. These were partly shortened compared to AzB-2008, so that starting aircraft reach a higher flight altitude earlier (e. g. 1,900 m take-off distance for class S 5.2 - S compared to a take-off distance of 1,300 m and 1,700 m for classes S3_M130_T2_N7-SA and S3_M130_T2_N7-SB, respectively).

Both changes have an effect together, so that it is difficult to determine the effects on the isolines.

The contours calculated for the parameter AWR for the scenarios investigated in this project generally cover a larger area in the calculation according to AzB-ND than in a calculation according to AzB-2008. This can already be derived in part from the new acoustic class data, i. e. the sound power levels as well as the respective aircraft-specific fixed-point profiles.

In addition, there is the usage of such aircraft groups as S3_M320_T2_N7 and S3_M500_T2_NX, respectively, which have a larger sound power level for both takeoff and landing compared to S 6.1.

Therefore, a high proportion of these aircraft groups in the scenarios according to AzB-ND inevitably leads to the calculation of larger maximum levels for the same aircraft and thus to larger contours for the AWR indicator. At all three airports considered, night operations are characterized by a high proportion of these heavier, noisier aircraft, so the results here appear plausible.

1 Projektbeschreibung

1.1 Problemstellung

Das „Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm“ [1] sieht die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an bestimmten Verkehrsflughäfen, größeren Verkehrslandeplätzen und verschiedenen militärischen Flugplätzen vor. Das Verfahren zur Ermittlung der Lärmschutzbereiche wird durch die „1. Fluglärmschutzverordnung“ [2] konkretisiert, die auf die untergesetzlichen Regelwerke „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB) und „Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb“ (AzD) [3] verweist.

Die teils vor Jahrzehnten festgeschriebenen akustischen und flugbetrieblichen Daten der AzB können den Flugbetrieb in Deutschland nur noch bedingt abbilden. So wurden in den letzten Jahren neue Luftfahrzeugmuster eingeführt und ältere Muster stillgelegt oder modernisiert. Der zunehmende Einsatz moderner Luftfahrzeuge führt zu Änderungen der Fluglärmimmissionen, die in den akustischen Klassendaten der AzB nicht sachgerecht abgebildet werden. Schließlich wurden alternative Flugverfahren entwickelt und vermehrt in die flugbetriebliche Praxis eingeführt, was ebenfalls nur unzureichend in dem aktuellen Regelwerk abgebildet ist.

Um diesen Tatsachen Rechnung zu tragen, wurde in einem vom Umweltbundesamt initiierten Forschungsvorhaben „Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm“ [4] des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) die Datengrundlage für viele zivile Luftfahrzeuge der AzB vollständig überarbeitet und auf einen aktuellen Stand gebracht. Im Zuge dieser Überarbeitung wurde ein neues Gruppierungsschema für Luftfahrzeuge entwickelt und eine Anpassung der akustischen und flugbetrieblichen Luftfahrzeugklassendaten vorgenommen.

Die vom DLR erarbeiteten neuen Klassendaten für startende und landende Luftfahrzeuge können als überarbeitete Datengrundlage für Berechnungen nach der AzB verwendet werden. Eine Anpassung des Berechnungsverfahrens der AzB ist hierfür nicht notwendig. Das DLR-Vorhaben beschreibt demnach auch keine neue Fassung der AzB, sondern aktualisiert lediglich die verwendeten Klassendaten. Hierzu wird ein Großteil der im Anhang der AzB aufgeführten Datenblätter mit akustischen und flugbetrieblichen Luftfahrzeugklassendaten ersetzt (siehe [4] Anhang 1 Kapitel 3). Ein Ersatz der bisherigen AzB durch eine neue Fassung mit geänderten Klassendaten wäre also zukünftig möglich.

Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge werden in diesem Dokument die folgenden Bezeichnungen verwendet:

- ▶ **„AzB“** bezeichnet das Berechnungsverfahren für Fluglärm nach der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ [3]. Dieses gilt sowohl für die aktuelle als auch die überarbeitete Datengrundlage.
- ▶ **„AzB-2008“** wird verwendet, wenn auf Daten oder Berechnungen nach der aktuell gültigen Fassung der AzB von 2008 Bezug genommen wird. Dies betrifft sowohl die Zuordnung von Luftfahrzeugen zu Luftfahrzeuggruppen und -klassen als auch die Ergebnisse der Fluglärmrechnung. AzB-2008 entspricht der „aktuellen Datengrundlage“.
- ▶ **„AzB-ND“** zeigt an, dass die vom DLR erarbeiteten neuen Luftfahrzeugklassendaten verwendet wurden. Verkehrsszenarien oder Ergebnisse der Fluglärmrechnung, die auf dieser Basis entstanden sind, werden auch als „neue, überarbeitete Datengrundlage“ bezeichnet.

Für die Entwicklung der AzB-ND-Klassendaten durch das DLR wurden Daten von Fluglärmmessanlagen in der Nähe mehrerer Verkehrsflughäfen ausgewertet und exemplarische Berechnungen der Fluglärmimmissionen für einzelne Luftfahrzeugmuster bzw. deren zugehörigen Luftfahrzeugklassen durchgeführt. Die umfangreichen Differenzdarstellungen im Anhang der Studie (siehe [4] Anhang 1 Kapitel 2) lassen erahnen, dass die Berechnung eines DES für ein reales, vollständiges Verkehrsszenario zwangsläufig zu anderen Ergebnissen führen wird als eine Berechnung nach AzB-2008.

Eine umfassende Berechnung der Fluglärmsituation für reale Verkehrsszenarien war allerdings nicht Gegenstand des DLR-Forschungsvorhabens. Inwieweit sich eine Verwendung der AzB-ND auf die berechnete Lärmsituation an einem realen Verkehrsflughafen auswirken würde, lässt sich aus den Ergebnissen der DLR-Studie nicht ableiten.

Da zu erwarten ist, dass das Ergebnis einer Vergleichsrechnung von AzB-2008 und AzB-ND in hohem Maße von den betrachteten Szenarien abhängig sein wird, sollte dies in einer breit angelegten Studie untersucht werden, die möglichst unterschiedliche Flughäfen bzw. deren Verkehrsszenarien betrachtet.

1.2 Zielsetzung

Das in diesem Bericht beschriebene Vorhaben „Vergleichende Fluglärmrechnungen nach AzB mit aktueller und überarbeiteter Datengrundlage“ baut auf den Ergebnissen des DLR-Vorhabens [4] auf und verwendet diese für Fluglärmrechnungen in mehreren realitätsnahen Verkehrsszenarien.

Im Fokus des Vorhabens steht die Frage, inwieweit sich die Berechnungsergebnisse eines Verkehrsszenarios für einen Großflughafen ändern, wenn statt der aktuellen Klassendaten der AzB-2008 die überarbeitete Datengrundlage AzB-ND zur Anwendung kommt.

Die vergleichende Betrachtung ist insbesondere für die Festlegung von Lärmschutzbereichen interessant, da aus den Rechenergebnissen nach AzB weitreichende Folgen in Bezug auf Bauverbote oder passiven Schallschutz folgen können. Die Ergebnisse des Vorhabens sind also auch vor dem Hintergrund einer möglichen Neufassung der AzB-2008 mit neuen, überarbeiteten Klassendaten zu sehen.

Als Ergänzung zu den nach AzB zu ermittelnden Kennzahlen soll außerdem das aus der Lärmwirkungsforschung resultierende Kriterium der „Anzahl der Aufwachreaktionen“ (AWR) [5] als Maß für die nächtliche Fluglärmbelastung betrachtet werden.

1.3 Vorgehensweise

Das Vorhaben wurde in mehrere, aufeinander aufbauende Arbeitspakete gegliedert:

- ▶ AP 1 – Datenbeschaffung und --aufbereitung
- ▶ AP 2 – DES-Modellierung
- ▶ AP 3 – Erstellung von Flugbewegungszahlen und Prognosedaten
- ▶ AP 4 – Fluglärmrechnungen
- ▶ AP 5 – Dokumentation, Karten und Berichte

Zu Beginn des Vorhabens mussten umfangreiche Daten angefordert, aufbereitet und analysiert werden (AP 1), die für den Aufbau der Rechenmodelle bzw. die Modellierung von Datenerfassungssystemen (DES-Modellierung) benötigt wurden. Die Bereitstellung erfolgte

durch das Umweltbundesamt, die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, die betrachteten Flughäfen sowie die für die Festlegung der Lärmschutzbereiche zuständigen Landesbehörden.

Basierend auf den Erfahrungen der Autoren aus der Erstellung einer Vielzahl von Datenerfassungssystemen (DES), bei denen die flugbetriebliche Praxis in Modellen für die Fluglärmrechnung abgebildet wird, wurden DES-Modelle mit An- und Abflugstrecken für drei große Verkehrsflughäfen in Deutschland modelliert (AP 2): Für die Flughäfen

- ▶ Frankfurt/Main (ICAO-Flughafencode⁷ EDDF),
- ▶ Köln/Bonn (ICAO-Flughafencode EDDK) und
- ▶ Leipzig/Halle (ICAO-Flughafencode EDDP)

wurde jeweils ein realitätsnahes Ist-Szenario mit den Daten des Jahres 2019 in Form eines DES modelliert. Darüber hinaus wurden für alle drei Flugplätze (vereinfachte) Prognoseszenarien entwickelt, die erwartete bzw. mögliche Änderungen der eingesetzten Luftfahrzeugflotte bis 2030 abbilden. Der Aufbau dieser Szenarien wurde im AP 3 bearbeitet.

Für die insgesamt sechs DES wurden Fluglärmrechnungen jeweils nach aktueller (AzB-2008) und neuer, überarbeiteter (AzB-ND) Datengrundlage durchgeführt und miteinander verglichen (AP 4). Zum Vergleich wurden sowohl die berechneten Lärmkonturen als auch die aus der Lärmwirkungsforschung stammende Kennzahl „Aufwachreaktionen“ (AWR) herangezogen.

Ergebnis des Vorhabens sind detaillierte graphische Darstellungen der berechneten Fluglärmsituation für alle Szenarien einschließlich einer Differenzbetrachtung zwischen aktueller und überarbeiteter akustischer Datengrundlage (AP 5).

Eine detaillierte Beschreibung der im Rahmen von AP 1 und AP 2 durchgeführten Arbeiten ist in Kapitel 2 dieses Berichts zu finden. Kapitel 3 beschreibt die Erstellung von Verkehrsszenarien (AP 3). Eine Beschreibung der durchgeführten Fluglärmrechnungen nach AzB (AP 4) sowie Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse (AP 5) sind in Kapitel 4 zu finden.

Ein Exkurs in Anhang A geht kurz auf die Berechnung von Aufwachreaktionen als Kennzahl für die Fluglärmbelastung ein.

Die Anhänge B, C und D enthalten für alle drei Flughäfen die erstellten Datenerfassungssysteme und die aus den Berechnungsergebnissen erstellten Kartendarstellungen.

⁷ In diesem Bericht werden die Flughäfen auch mit ihrem Flughafencode der International Civil Aviation Organization (ICAO) bezeichnet.

2 Erstellung von Datenerfassungssystemen

2.1 Grundlegende Vorgehensweise

Der Aufbau von Modellen der Flughafeninfrastruktur sowie der An- und Abflugstrecken für die drei betrachteten Flughäfen war wesentlicher Bestandteil der ersten Projektphase, die sich vom Beginn des Vorhabens bis etwa zur Hälfte der geplanten Bearbeitungszeit erstreckte. Für jeden Flughafen wurde ein DES-Flugstreckenmodell erstellt, das auf Daten von 2019 basiert. Zusammen mit den anschließend entwickelten Verkehrsszenarien (Flugbewegungszahlen) wurden diese Modelle zu vollständigen Datenerfassungssystemen des IFR-Flugbetriebs kombiniert.

Die Vorgehensweise hierbei orientierte sich an der von OTSD in den vergangenen 15 Jahren entwickelten und verfeinerten Methodik zu Erstellung von Datenerfassungssystemen (DES), die so oder ähnlich bereits für eine Vielzahl von DES nach unterschiedlichen Regelwerken angewendet wurde:

1. Beschaffung aller für das DES wesentlichen Eingangsdaten des betrachteten Flugplatzes, insbesondere der Veröffentlichungen des Luftfahrthandbuchs (Aeronautical Information Publication, AIP) [7] für den Luftverkehr nach Instrumentenflugregeln (IFR).
2. Beschaffung, Aufbereitung und Klassifikation der Flugspurdaten des Systems FANOMOS (Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System) der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS). Hierbei wurde jeweils der Zeitraum Mai bis Oktober 2019 betrachtet und als Referenz für die sechs verkehrsreichsten Monate (6vM) des Jahres 2019 herangezogen.
3. Erfassung der Flughafeninfrastruktur mit allen für das DES wesentlichen Angaben zum betrachteten Flugplatz. Hierzu gehören der Flugplatzbezugspunkt (ARP), sowie die Daten zu den Start-/Landebahnen mit den Landeswellen und Startpunkten.
4. Modellierung der An- und Abflugstrecken für den betrachteten Flugplatz mit der OTSD-Software „DES-Editor“, zunächst in einer Form, die dem (theoretischen) Verlauf der Flugwege nach den Veröffentlichungen in der AIP entspricht.
5. Anpassung des Flugstreckenmodells an die flugbetriebliche Praxis. Hierbei wurde die sog. „Backbone-Methode“ angewendet, bei der der modellierte Streckenverlauf so erfasst wird, dass dieser möglichst dort verläuft, wo die Mehrheit der in Praxis beobachteten Flugverläufe lokalisiert werden kann. Zu diesem Schritt der Modellentwicklung gehörte auch die Bildung von sog. Stellvertreterstrecken im DES, die in der Praxis häufig zu beobachtende Direktführungen erfassen, die durch die Arbeitsweise bzw. Freigaben der Flugverkehrslotsen und -lotsinnen begründet sind.
6. Aus der Klassifikation der FANOMOS-Flugspuren konnte ein Mengengerüst der Flugbewegungen im Analyse- bzw. Referenzzeitraum (6vM 2019) abgeleitet werden. Dieses Mengengerüst bildet die Grundlage für die Fluglärmrechnungen der Ist-Szenarien 2019 sowie eine Weiterentwicklung für die Prognoseszenarien 2030.

Das Flugstreckenmodell beschreibt An- und Abflüge nach Instrumentenflugregeln (IFR). Flugbewegungen nach Sichtflugregeln (VFR) wurden nicht betrachtet. Abflugstrecken wurden jeweils als Starts vom Bahnanfang bzw. der ersten Aufrollmöglichkeit der Startbahn beschrieben, um den Modellierungsaufwand im Rahmen des Projektbudgets in Grenzen zu halten.

Des Weiteren konzentrierte sich die Betrachtung ausschließlich auf die für die überarbeitete Datengrundlage (AzB-ND) neu definierten bzw. aktualisierten Klassendaten für größere, schwerere Flugzeuge. Flugbewegungen mit Kleinflugzeugen der in der AzD definierten Gruppen P 1.0 bis P 1.4 und mit Hubschraubern der Gruppen H 1.0 bis H 2.2 wurden nicht betrachtet. Flugbewegungen mit militärischen Flugzeugen (P-MIL- und S-MIL-Gruppen der AzD) wurden

ebenfalls nicht zur Modellbildung verwendet. Die akustischen und flugbetrieblichen Daten dieser Gruppen wurden durch das DLR nicht überarbeitet. Änderungen der Rechenergebnisse im Sinne des Vorhabens sind von Flugbewegungen mit Luftfahrzeugen dieser Gruppen nicht zu erwarten, weil diese in den Verkehrsszenarien aller drei Plätze eine untergeordnete Rolle spielen und von den wenigen zugehörigen Bewegungen keine wesentlichen Auswirkungen auf die zu berechnenden Lärmkonturen zu erwarten sind.

Die DES-Modellierung erfolgte mit der speziell für die Erstellung und Qualitätssicherung von Datenerfassungssystemen entwickelten Software „DES-Editor“ von OTSD. Das System ermöglicht eine Modellierung von Flugstreckensystemen aus flugbetrieblicher Sicht und eine detaillierte Qualitätssicherung der erstellten DES-Modelle. Die Prüfung umfasst u. a. die bereits in der AzD formulierten Qualitätskriterien (siehe [3] Kapitel 4) sowie zahlreiche formale und inhaltliche Prüfpunkte, die einen reibungslosen Export der Modelle über die sog. QSI-Schnittstelle [8] sowie die Berechnung in einem beliebigen AzB-kompatiblen Fluglärmrechnungsprogramm sicherstellen.

Alle Flugstrecken in den nachfolgenden Abbildungen im Abschnitt 2.2 sind mit den nach der AzD zu beschreibenden Korridoren dargestellt. Im Hintergrund der Darstellungen sind die für die Modellbildung verwendeten FANOMOS-Flugspurdaten zu erkennen. Flugspuren von Abflügen sind hier rot, Anflüge in grün dargestellt. Die beiden blauen Kreise markieren jeweils einen Umkreis von 15- bzw. 25-Kilometern um den Flugplatzbezugspunkt ARP.

2.2 Modellierung von Flugstreckensystemen

2.2.1 Flughafen Frankfurt/Main

Der Flughafen Frankfurt/Main (ICAO-Code EDDF) verfügt über vier Start- bzw. Landebahnen (Runways, RWY):

- ▶ Die zwei parallelen Bahnen 07C/25C (Center-Bahn) und 07R/25L (Südbahn) mit einer Länge von 4.000 Metern können für Starts und Landungen genutzt werden.
- ▶ Die hierzu parallele Bahn 07L/25R (Nordwestbahn) mit einer Länge von 2.800 Metern ist ausschließlich für Landungen nutzbar.
- ▶ Die Bahn 18 (Startbahn West) mit einer Länge von 4.000 Metern wird ausschließlich für Starts genutzt.

Das Bahnsystem wird in zwei unterschiedlichen Betriebsrichtungen (West, RWY 25 und Ost, RWY 07) betrieben. Starts auf RWY 18 erfolgen unabhängig von der Betriebsrichtung.

In der flugbetrieblichen Praxis 2019 bis heute erfolgen Landungen hauptsächlich auf den beiden äußeren Parallelbahnen (Nordwestbahn RWY 07L/25R und Südbahn 07R/25L). Vereinzelt Landungen finden auch auf der Center-Bahn (RWY 07C/25C) statt.

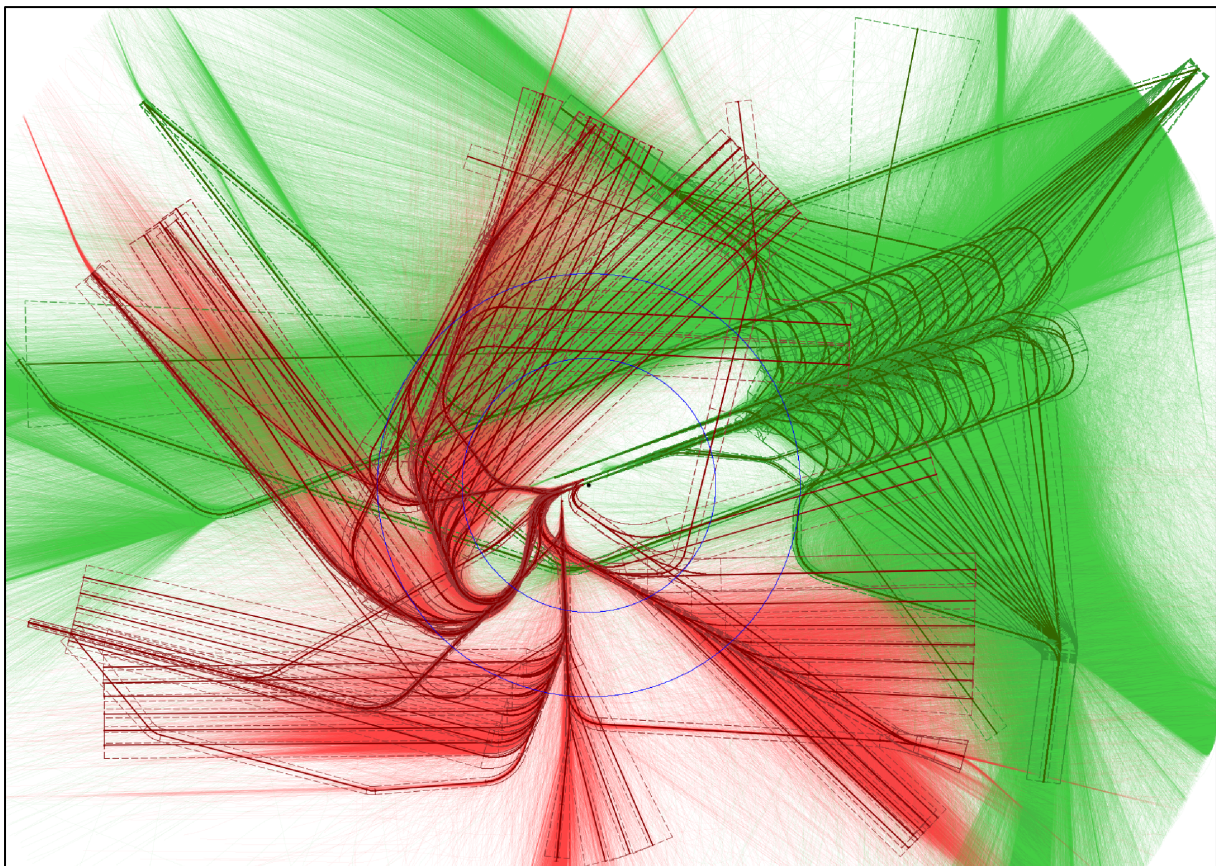
Starts erfolgen hauptsächlich von der mittleren Parallelbahn (Center-Bahn, RWY 07C/25C) sowie von der Startbahn West (RWY 18). In geringem Umfang wird auch von der Südbahn (RWY 07R/25L) gestartet.

Das Modell der Flugstrecken für den Flughafen Frankfurt/Main basiert – in Absprache mit dem UBA, der FRAPORT AG und dem Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (HMWEVW) auf früheren DES-Modellen von OTSD für den Flughafen Frankfurt/Main. Auf diese Weise wird eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Berechnungen ermöglicht.

Das Modell enthält eine detaillierte Erfassung der Standardabflugstrecken (SIDs) sowie ein vereinfachtes Modell der Anflugverfahren (sowohl sog. Transition-Anflugverfahren als auch Direktführungen von den vier Haupteinflugpunkten).

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen, getrennt nach den Betriebsrichtungen (BR) West (25) und Ost (07), das Modell der An- und Abflugstrecken im DES. Starts der RWY 18 sind in allen Abbildungen dargestellt, da diese unabhängig von der Betriebsrichtung erfolgen.

Abbildung 5: Flugstreckenmodell EDDF BR West (An- und Abflüge)



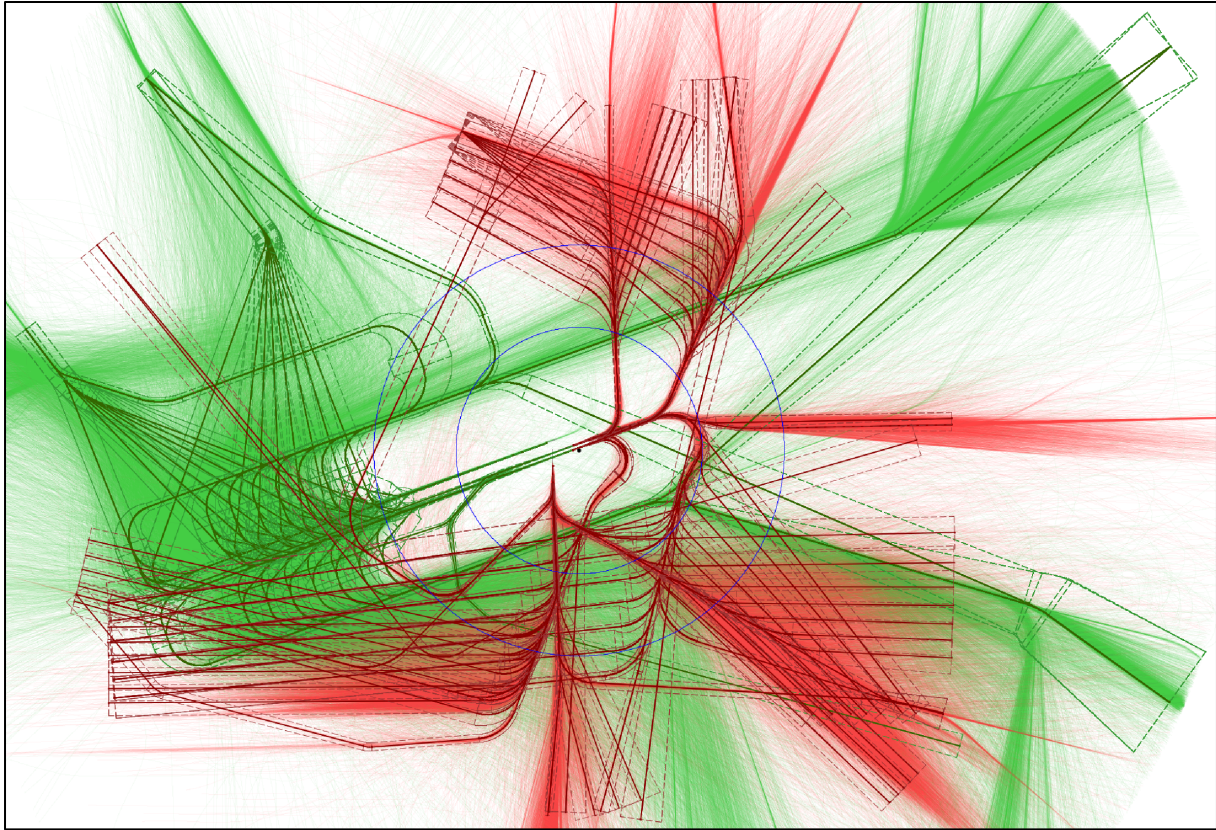
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der IFR-Anflugstrecken EDDF für die Betriebsrichtung West (Abbildung 5) erfasst Anflüge von den vier Haupteinflugpunkten KERAX (im Nordosten), PSA (im Südosten), ROLIS (im Norden) und UNOKO (im Westen) auf das Parallelbahnsystem. Außerdem sind DES-Anflugstrecken für das alternative Anflugverfahren „Segmented Approach“ enthalten. Für Anflüge, die während des Endanflugs die Landebahn wechseln (sog. Swing-Over) sind zusätzliche DES-Anflugstreckenvarianten im Modell erfasst.

Abflüge werden im DES über Stellvertreterstrecken erfasst, die sich an den im Luftfahrthandbuch veröffentlichten Standardabflugstrecken (SIDs) orientieren. Hierbei wurden aus der Vielzahl von SIDs teilweise Strecken mit gleichem oder ähnlichem lateralem Verlauf im Nahbereich zusammengefasst. Bezeichnungen von DES-Abflugstrecken enthalten jeweils die Bezeichnung eines Wegpunktes der SID. Für Abflüge vom Parallelbahnsystem bei BR West sind dies ANEKI, CINDY, MARUN, OBOKA, SOBRA und TOBAK. Abflugstrecken von der Startbahn West (RWY 18) tragen die Bezeichnungen ANEKI, CINDY, MARUN, OBOKA, SOBRA, SULUS, TOBAK und ULKIG.

Existieren mehrere für das DES unterscheidbare Varianten einer SID im Luftfahrthandbuch, so wird dies durch Streckenvarianten mit einem Buchstaben als Suffix im DES angezeigt (siehe z. B. „MARUN_F“ und „MARUN_G“).

Abbildung 6: Flugstreckenmodell EDDF BR Ost (An- und Abflüge)



Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der IFR-Anflugstrecken EDDF für die Betriebsrichtung Ost (Abbildung 6) erfasst ebenfalls Anflüge von den vier Haupteinflugpunkten auf das Parallelbahnsystem. Anflugstrecken für einen „Segmented Approach“ sowie Swing-Over-Strecken sind auch hier modelliert.

Abflugstrecken vom Parallelbahnsystem bei BR Ost enthalten die Bezeichnung eines der Wegpunkte ANEKI, CINDY, KOMIB, MARUN, OBOKA, SOBRA oder TOBAK.

Abflugstrecken von der Startbahn West (RWY 18) sind für die BR West und Ost identisch.

2.2.2 Flughafen Köln/Bonn

Der Flughafen Köln/Bonn (ICAO-Code EDDK) verfügt über drei Start- und Landebahnen:

- ▶ zwei parallele Bahnen 14L/32R (Länge 3.815 Meter) und 14R/34L (Länge 1.863 Meter) sowie
- ▶ eine kreuzende Bahn 06/24 mit einer Länge von 2.459 Metern.

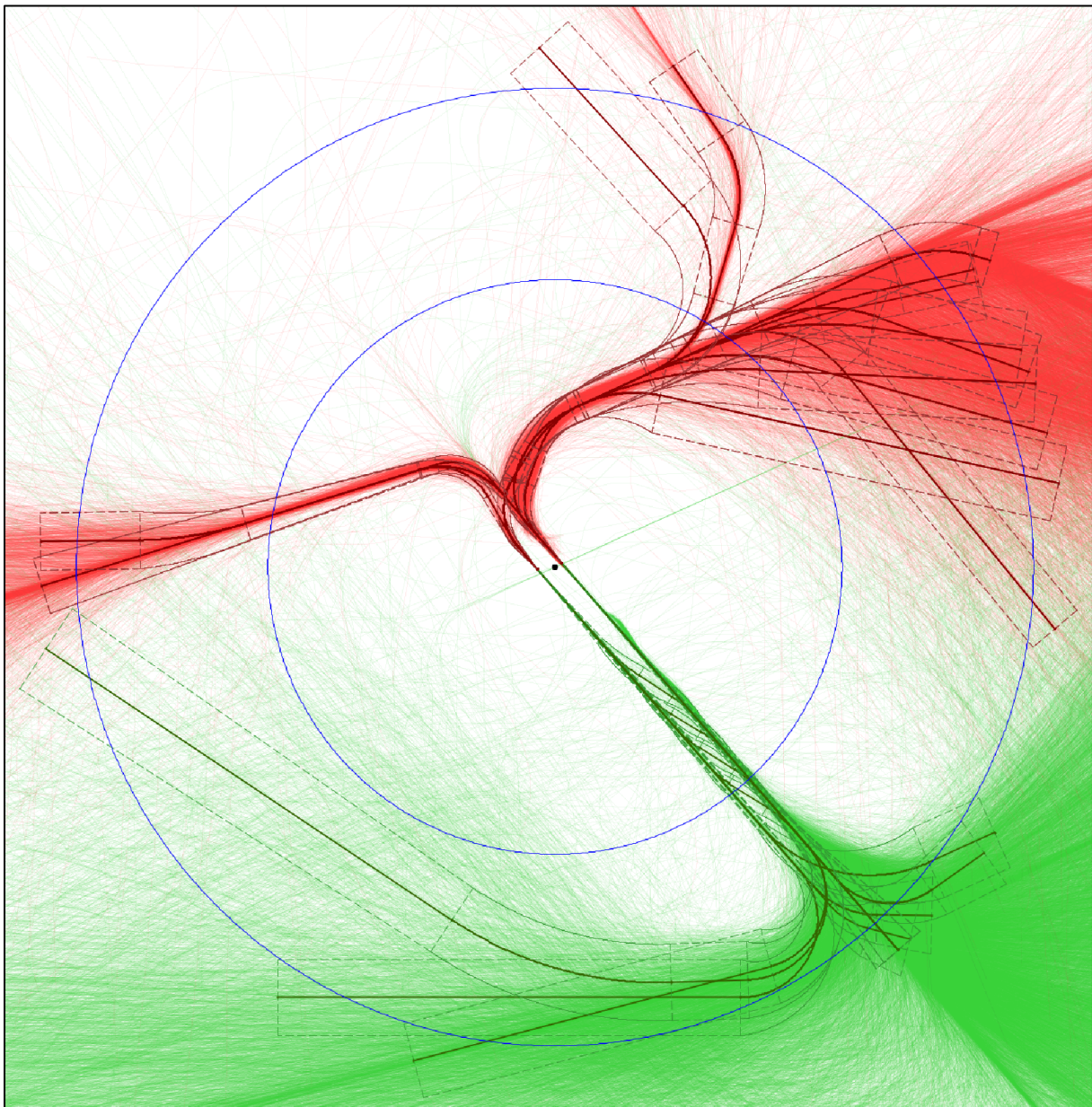
Die Bahnen werden in unterschiedlichen Konfigurationen genutzt. Der überwiegende Teil der Starts und Landungen wird auf RWY 14L/32R abgewickelt. Hinzu kommt ein größerer Anteil der Landungen auf RWY 24.

Das Modell der Flugstrecken für den Flughafen Köln/Bonn enthält eine detaillierte Erfassung der Standardabflugstrecken (SIDs) sowie der häufig genutzten Direktführungen für Anflüge über die sog. Standardanflugstrecken (STARs).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das An- und Abflugstreckenmodell für den Flughafen Köln/Bonn, jeweils getrennt für jede Bahnnutzungs- bzw. Betriebsrichtung. Hierbei wurden die Starts und Landungen auf RWY 14L/14R bzw. RWY 32L/32R zu den Betriebsrichtungen 14 und 32 zusammengefasst.

Im Hintergrund sind wiederum die für die Modellierung verwendeten Flugspuren zu erkennen. Die blauen Kreise markieren auch hier einen Umkreis von 15 bzw. 25 Kilometern um den Flugplatzbezugspunkt.

Abbildung 7: Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 32)



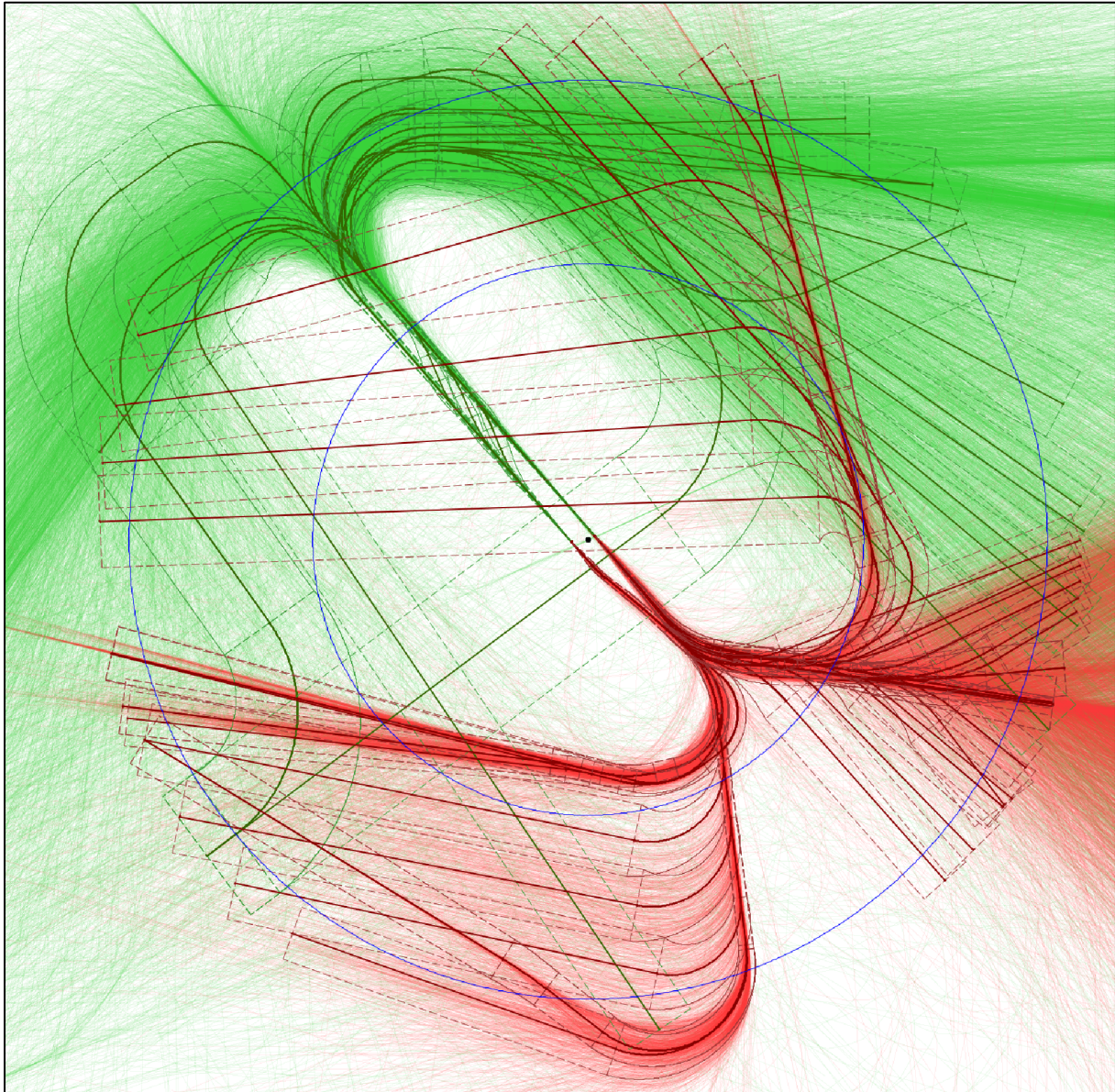
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der An- und Abflugstrecken für die RWY 32L und 32R ist in Abbildung 7 dargestellt.

Für Landungen auf dem Parallelbahnsystem RWY 32L und 32R sind im DES Anflugstrecken erfasst, die nach den STARs DEPOK, ERNEP, GULKO und KOPAG bezeichnet sind. Außerdem sind Swing-Over-Anflugstrecken von RWY 32R auf 32L im Modell enthalten.

Starts erfolgen über Abflugstrecken, die sich an den SID-Bezeichnungen COL, KUMIK, NVO, PODIP und WYP orientieren.

Abbildung 8: Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 14)



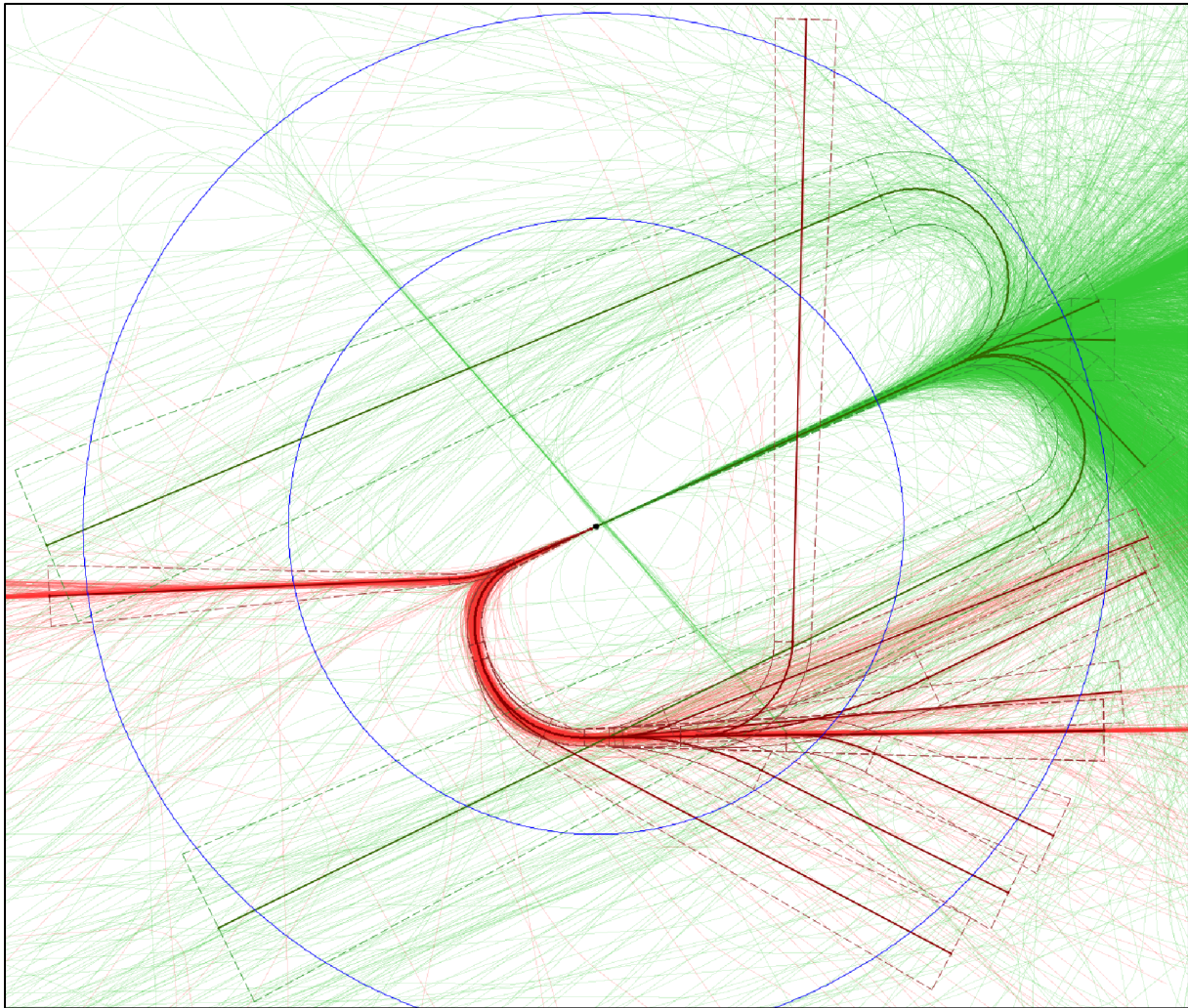
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der An- und Abflugstrecken für RWY 14L und 14R ist in Abbildung 8 dargestellt.

Für Landungen auf dem Parallelbahnsystem RWY 14L und 14R sind im DES Anflugstrecken erfasst, die nach den STARs DEPOK, ERNEP, GULKO und KOPAG bezeichnet sind. Außerdem sind Swing-Over-Anflugstrecken von RWY 14L auf 14R im Modell enthalten.

Starts erfolgen über Abflugstrecken, die sich an den SID-Bezeichnungen COL, KUMIK, NVO, PODIP und WYP orientieren.

Abbildung 9: Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 24)

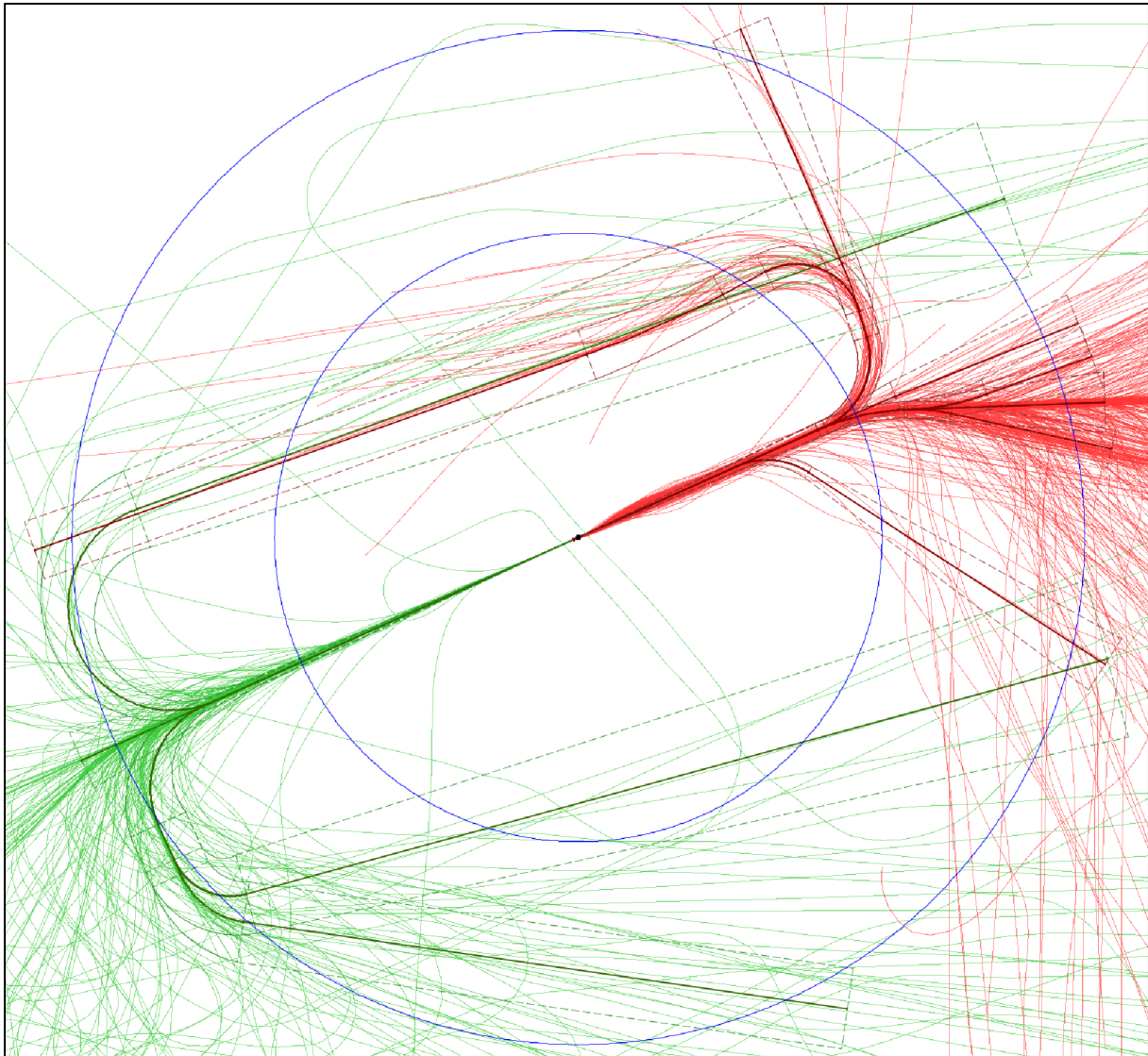


Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der An- und Abflugstrecken für RWY 24 ist in Abbildung 9 dargestellt.

Für Landungen auf RWY 24 sind im DES Anflugstrecken erfasst, die nach den STARs DEPOK, ERNEP, GULKO und KOPAG bezeichnet sind. Starts erfolgen auch hier über Abflugstrecken, die sich an den SID-Bezeichnungen COL, KUMIK, NVO, PODIP und WYP orientieren.

Abbildung 10: Flugstreckenmodell EDDK (An- und Abflüge BR 06)



Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der An- und Abflugstrecken für RWY 06 ist in Abbildung 10 dargestellt.

Für Landungen auf RWY 06 sind im DES Anflugstrecken erfasst, die nach den STARs DEPOK, ERNEP, GULKO und KOPAG bezeichnet sind. Starts erfolgen auch hier über Abflugstrecken, die sich an den SID-Bezeichnungen COL, KUMIK, NVO, PODIP und WYP orientieren.

2.2.3 Flughafen Leipzig/Halle

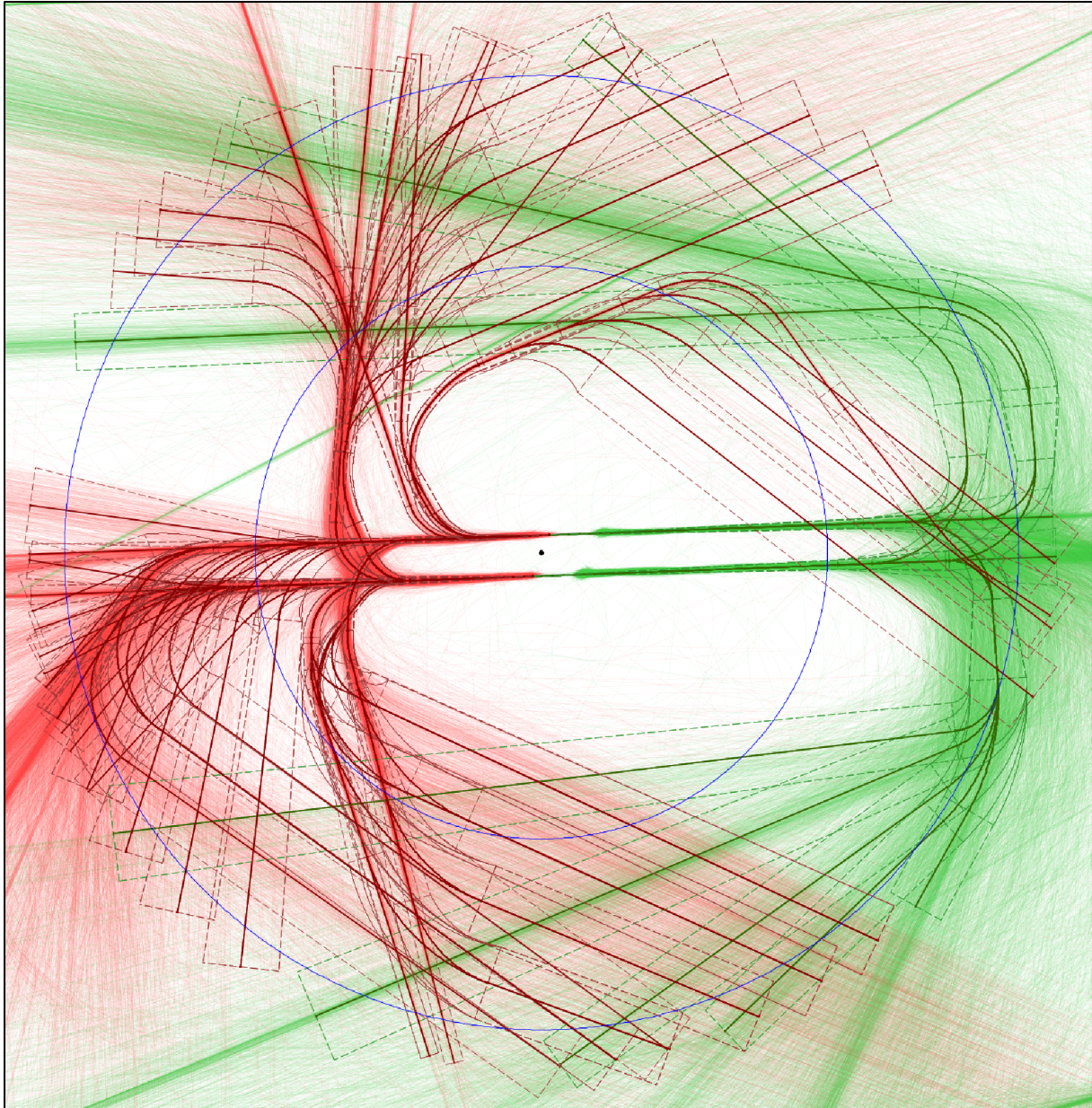
Der Flughafen Leipzig/Halle verfügt über zwei parallele Start-/Landebahnen RWY 08L/26R und RWY 08R/26L, die für Starts und Landungen genutzt werden. Beide Bahnen haben jeweils eine Gesamtlänge von 3.600 Metern.

Das Flugstreckenmodell für den Flughafen Leipzig/Halle enthält eine detaillierte Erfassung der Standardabflugstrecken (SID) sowie der häufig genutzten Direktführungen für Anflüge über die sog. Standardanflugstrecken (STARs).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das An- und Abflugstreckenmodell für den Flughafen Leipzig/Halle, getrennt nach Betriebsrichtungen West (26) und Ost (08).

Im Hintergrund sind wiederum die für die Modellierung verwendeten Flugspuren zu erkennen. Die blauen Kreise markieren auch hier einen Umkreis von 15 bzw. 25 Kilometern um den Flugplatzbezugspunkt.

Abbildung 11: Flugstreckenmodell EDDP BR West (An- und Abflüge)

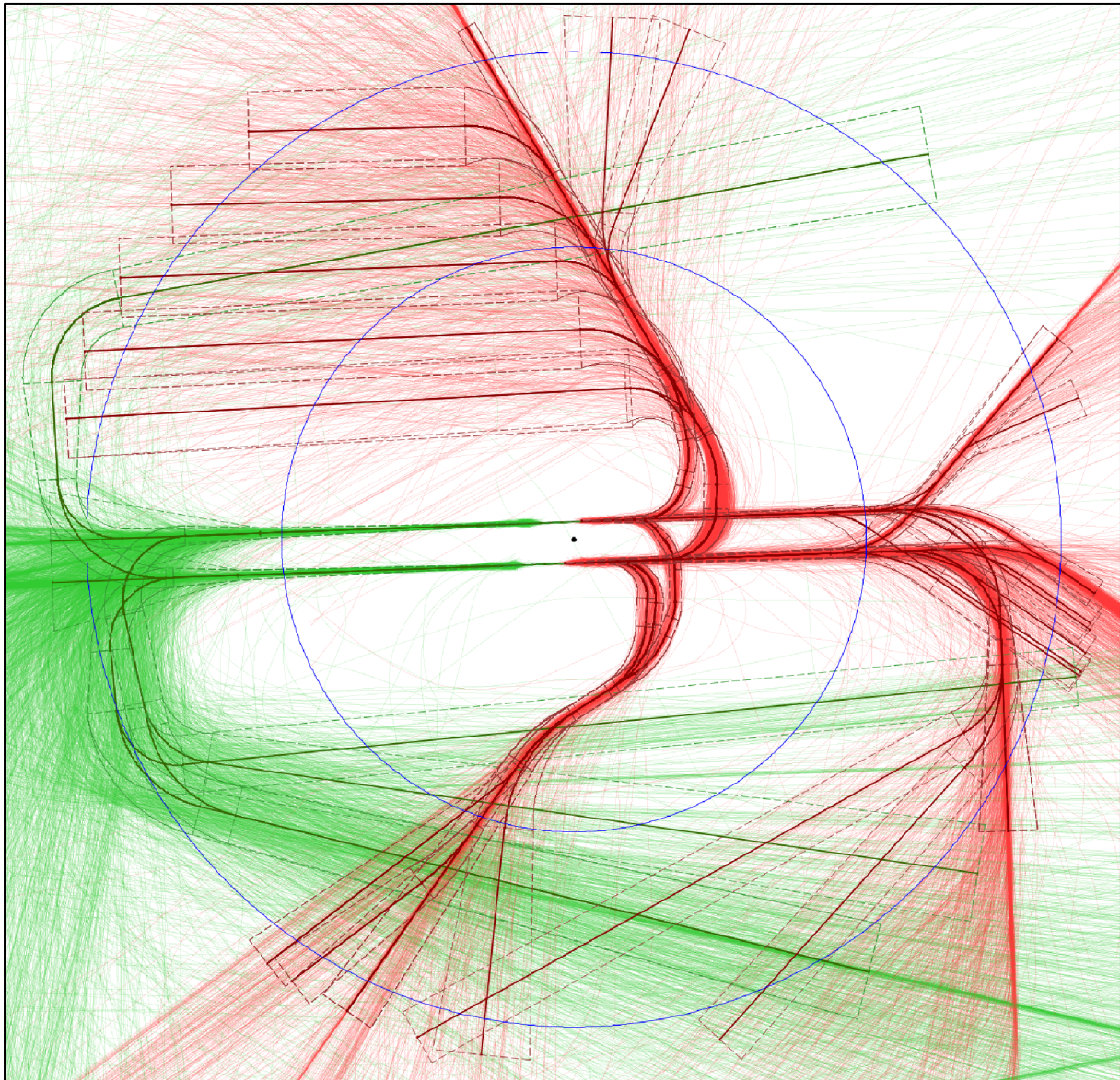


Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der IFR-Anflugstrecken EDDP für die Betriebsrichtung West (Abbildung 11) erfasst Anflüge über die Standardanflugstrecken BARAP, GERDO, LASTO und TAVSO auf das Parallelbahnsystem. Außerdem sind DES-Anflugstrecken für direkte Anflüge aus Richtung Osten (EAST) enthalten.

Abflüge werden im DES über Stellvertreterstrecken erfasst, die sich an den im Luftfahrthandbuch veröffentlichten Standardabflugstrecken (SIDs) orientieren. Bezeichnungen von DES-Abflugstrecken enthalten jeweils die Bezeichnung eines Wegpunktes der SID. Für Abflüge vom Parallelbahnsystem bei BR West sind dies DRN, GOLAT, NEVKO, ODLUN, ORTAG, RUDAK, TORPU und UMBAL.

Abbildung 12: Flugstreckenmodell EDDP BR Ost (An- und Abflüge)



Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Das Modell der IFR-Anflugstrecken EDDP für die Betriebsrichtung Ost (Abbildung 12) erfasst Anflüge über die Standardanflugstrecke NERID im Norden und im Süden des Platzes auf das Parallelbahnsystem. Alle anderen Anflüge sind als Direktführung aus Richtung Westen (WEST) abgebildet.

Abflüge werden im DES über Stellvertreterstrecken erfasst, die sich an den im Luftfahrthandbuch veröffentlichten Standardabflugstrecken (SIDs) orientieren. Bezeichnungen von DES-Abflugstrecken enthalten jeweils die Bezeichnung eines Wegpunktes der SID. Für Abflüge vom Parallelbahnsystem bei BR Ost sind dies DRN, GOLAT, NEVKO, PENEM, RUDAK und UMBAL.

3 Verkehrsszenarien

3.1 Grundlegende Vorgehensweise

Die für die Fluglärmrechnungen in diesem Vorhaben verwendeten Flugstreckenmodelle basieren auf Ist-Daten der Monate Mai bis Oktober des Jahres 2019 (siehe Kapitel 2). Zum Aufbau dieser Modelle wurden neben Veröffentlichungen im Luftfahrthandbuch AIP vor allem Flugspuraufzeichnungen des Systems FANOMOS verwendet, das von der DFS betrieben wird.

Für die Berechnungen wurde jeweils ein vollständiges Datenerfassungssystem (DES) benötigt, das aus dem Flugstreckenmodell und den zugehörigen Flugbewegungszahlen nach der AzD besteht. Daten zu Starts und Landungen sind hier pro (DES-)Flugstrecke und Luftfahrzeugklasse sowie differenziert nach TAG (6 bis 22 Uhr Ortszeit) und NACHT (22 bis 6 Uhr Ortszeit) anzugeben. Für die Anwendung der sog. Sigma-Regelung nach AzB Abschnitt 3.3 sind weitere statistische Daten zur Nutzung der verschiedenen „bahnbezogenen Betriebsrichtungen“ erforderlich (vgl. AzD Kapitel 6).

Die vergleichende Betrachtung mit aktueller (AzB-2008) und überarbeiteter (AzB-ND) Datengrundlage erfolgte auf Basis von zwei unterschiedlichen Verkehrsszenarien für jeden der betrachteten Flugplätze:

- a) Ein **Ist-Szenario 2019** bildet den Flugbetrieb in den Monaten Mai bis Oktober 2019 ab. Die hierin enthaltenen Flugbewegungen wurden den FANOMOS-Daten entnommen. Eine Anwendung der sog. Sigma-Regelung war laut der Leistungsbeschreibung zum Vorhaben nicht vorgesehen.
- b) Das **Prognoseszenario 2030** enthält Flugbewegungsdaten für ein (hypothetisches) Zukunftsszenario mit Daten für die sechs verkehrsreichsten Monate (6vM) des Jahres 2030. Für das Prognoseszenario wurde die sog. Sigma-Regelung berücksichtigt.

Für die Entwicklung der **Ist-Szenarien** wurden zunächst die von der DFS bereitgestellten FANOMOS-Flugspuren mit Hilfe der Software „DES-Editor“ aufbereitet, visualisiert und den einzelnen DES-Flugstrecken zugeordnet. Hierbei wurden fehlerhafte oder nicht verwertbare Flugspuren (z. B. solche ohne Angaben zum Luftfahrzeugtyp oder ohne Bezug zum betrachteten Flugplatz) aussortiert. Für jede Flugspur wurde außerdem der angegebene Luftfahrzeugtyp (in der Regel ein ICAO-Code gemäß Doc 8643, siehe [9]) einer Luftfahrzeuggruppe der AzB-2008 und (falls möglich) der AzB-ND zugeordnet. Zusammen mit den in den FANOMOS-Daten ebenfalls erfassten tatsächlichen Start- bzw. Landezeiten wurde jede auf diese Weise klassifizierte Flugspur in eine Flugbewegung für das DES transformiert.

Bei der Erzeugung von Flugbewegungsdaten für das jeweilige Ist-Szenario aus den FANOMOS-Daten wurde grundsätzlich wie folgt vorgegangen:

- Die Zuordnung einer Luftfahrzeuggruppe nach AzB-2008 bzw. AzB-ND erfolgte auf Basis der in den FANOMOS-Daten enthaltenen Luftfahrzeugtypen.

- ▶ In den Szenarien wurden ausschließlich Flugbewegungen erfasst, für deren zugehörige Luftfahrzeuggruppe sowohl eine aktuelle als auch eine überarbeitete Datengrundlage der AzB-ND zur Verfügung stand. Für dieses Vorhaben sind dies die folgenden Gruppen der AzB-2008:
 - P 2.1 und P 2.2
 - S 3.2
 - S 5.1, S 5.2 und S 5.3
 - S 6.1, S 6.2 und S 6.3
 - S 7 und S 8
- ▶ Für die überwiegende Mehrzahl der in den FANOMOS-Daten enthaltenen Flugbewegungen konnte unterstellt werden, dass diese nach Instrumentenflugregeln (IFR) durchgeführt wurden oder zumindest einem hierfür typischen Flugweg folgten. Vereinzelt in den Daten enthaltene Flugbewegungen, die offensichtlich nach Sichtflugregeln (VFR) operierten, wurden aussortiert.
- ▶ Für die Abbildung im DES wird statt einer Luftfahrzeuggruppe eine Luftfahrzeugklasse nach AzB mit den Datensätzen für den Start („S-Klasse“) oder Landung („L-Klasse“) benötigt. Für die Mehrzahl der Gruppen konnte dies durch Anhängen des entsprechenden Suffixes automatisiert werden. Bei Gruppen, denen mehrere Klassen für unterschiedliche Auslastungen beim Start zugeordnet sind, wurde jeweils die Klasse mit der höheren Auslastung gewählt (z. B. „S 7 b) – S“ für Starts der Gruppe „S 7“ nach AzB-2008).
- ▶ Abschließend wurden ausschließlich An- und Abflüge bzw. Landungen und Starts in das Szenario übernommen. Vereinzelt Überflüge des Bahnsystems, etwa in Folge von Fehlanflügen oder Platzrundenflügen, wurden nicht erfasst.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise ist garantiert, dass die zwei Ist-Szenarien 2019 nach AzD-2008 und AzB-ND für einen Platz jeweils exakt dieselben Flugbewegungen enthalten. Diese unterscheiden sich im Modell nur durch die Zuordnung der Luftfahrzeugklasse des jeweiligen Regelwerkes.

Die aus der Flugspurklassifikation der FANOMOS-Daten für das Ist-Szenario 2019 folgenden DES-Flugbewegungszahlen sind in den folgenden Abschnitten jeweils tabellarisch zusammengefasst. Detaillierte Flugbewegungsangaben können den DES-Datenblättern entnommen werden, die diesem Bericht in den Anhängen B bis D beigefügt sind.

Die **Prognoseszenarien** basieren zunächst auf dem jeweiligen Ist-Szenario 2019 nach AzB-2008. Auftragsgemäß wurden hieraus mit Hilfe einfacher Annahmen Szenarien für den Flugbetrieb in den 6vM 2030 entwickelt. Diese unterscheiden sich von der Situation 2019 im Wesentlichen durch eine geänderte Zusammensetzung des Mengengerüsts für die Flugbewegungen und damit eine geänderte Nutzung der verschiedenen Flugstrecken im DES. Die Erstellung einer detaillierten Luftverkehrsprognose, wie sie für die Überprüfung oder Festsetzung eines Lärmschutzbereiches nach AzB erforderlich ist, war nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Insofern beschreiben die Prognoseszenarien zwar eine realitätsnahe Verkehrssituation für 2030, sind aber nicht mit einem DES auf Basis einer fundierten und detaillierten Prognose gleichzusetzen.

Für den Prognosefall wurde dasselbe Flugstreckenmodell wie 2019 verwendet. Eventuell nach 2019 veröffentlichte Änderungen der An- oder Abflugstrecken eines Platzes sind – aus Gründen

der Vergleichbarkeit der Rechenergebnisse – im Modell nicht abgebildet. Somit ist gewährleistet, dass Änderungen der berechneten Lärmkonturen ausschließlich aus einer geänderten Nutzung des Streckensystems resultieren, nicht jedoch aus Änderungen der Flugstreckenverläufe im DES.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Entwicklung der Prognoseszenarien bestand aus den folgenden Arbeitsschritten:

- ▶ Zunächst wurde eine Zielgröße für die Anzahl der Flugbewegungen in den 6vM 2030 festgelegt und ein Mengengerüst für die Aufteilung dieser Bewegungen auf die Gruppen der AzB-2008 entwickelt. Als Grundlage hierfür dienten frei zugängliche oder vom UBA bereitgestellte Dokumente sowie von den Autoren entwickelte Annahmen.
- ▶ Die im so erzeugten Mengengerüst enthaltenen Flugbewegungen wurden dann, differenziert nach AzB-2008-Luftfahrzeuggruppe, Start/Landung sowie den Zeitbereichen TAG oder NACHT nach AzB, auf die DES-Flugstrecken verteilt. Die Zuweisung einer im DES enthaltenen An- oder Abflugstrecke erfolgte durch Anwendung der aus der Klassifikation der FANOMOS-Flugspurdaten 2019 (s. o.) für den jeweiligen Platz gewonnenen Verteilung. Die (anteilige) Nutzung der verschiedenen DES-Flugstrecken wird so pro Gruppe der AzB-2008 im Wesentlichen erhalten. Für das Prognoseszenario wurden die Verkehrsmengen – wie von der AzD gefordert – so angepasst, dass für jede Luftfahrzeuggruppe die Anzahl der Starts der Anzahl der Landungen entspricht.
- ▶ Die so generierten Flugbewegungsdaten bilden zusammen mit dem DES-Flugstreckenmodell das Prognoseszenario 2030 mit aktueller Datengrundlage (AzB-2008).
- ▶ Zur Berücksichtigung der sog. Sigma-Regelung nach AzB wurden in den DES für die Prognoseszenarien zusätzlich statistische Daten zur Nutzung der verschiedenen bahnbezogenen Betriebsrichtungen (vgl. DES-Datenblätter nach Kapitel 6 der AzD) erfasst. Diese Daten wurden entweder von Mitarbeitenden der modellierten Flugplätze zur Verfügung gestellt oder ersatzweise aus bestehenden DES-Modellen übernommen.
- ▶ Während bei den Ist-Szenarien eine eindeutige Zuordnung der Luftfahrzeugtypen jeder einzelnen Flugbewegung zu den Gruppen der AzB-2008 und AzB-ND gegeben war, mussten für die Prognosesituation 2030 zusätzliche Überlegungen angestellt werden. In der Prognose sollten schließlich die Möglichkeiten einer deutlich feineren Gliederung der Luftfahrzeuggruppen genutzt und mögliche Änderungen in der Zusammensetzung der globalen Luftfahrzeugflotte bis zum Prognosehorizont berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden zunächst einige generelle sowie flugplatzspezifische Überlegungen zur Flottenentwicklung bis 2030 angestellt und hieraus Annahmen für die Verkehrsszenarien entwickelt (siehe Abschnitt 3.2).
- ▶ Für jeden Flugplatz wurden dann auf Basis der Vorüberlegungen zur Flottenentwicklung Annahmen getroffen, wie sich die Flugbewegungen je Gruppe der AzB-2008 zukünftig auf die deutlich feiner unterteilten Gruppen der AzB-ND verteilen werden. Auf diese Weise konnten beispielsweise Entwicklungen wie der Trend zu neueren Luftfahrzeugmustern und Triebwerken durch geänderte Anteile der jeweiligen Gruppen modelliert werden.
- ▶ Die Prognoseszenarien 2030 mit überarbeiteter Datengrundlage (AzB-ND) ergeben sich schließlich aus den Ist-Szenarien nach AzB-2008. Die hierin enthaltenen (auf die Gruppen der AzB-2008 bezogenen) Flugbewegungen wurden auf die neuen Gruppen der AzB-ND umverteilt. Zur Vermeidung größerer Rundungsfehler wurden die Flugbewegungszahlen für diese Szenarien mit einer Nachkommastelle (1/10 Flugbewegungen) erstellt.

Die verwendeten Mengengerüste, Quellen und zugehörigen Annahmen sind in den nachfolgenden Abschnitten je Flugplatz erläutert. Außerdem ist jeweils das Ergebnis der Überlegungen zur Flottenentwicklung als Tabelle für jeden Flugplatz dargestellt.

3.2 Überlegungen zur Flottenentwicklung

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Überlegungen zur Entwicklung des in Deutschland und global eingesetzten Fluggerätes gelten in ähnlicher Weise für alle drei betrachteten Flugplätze. Abweichungen hiervon und eventuelle Ergänzungen sind den bei der Beschreibung der Prognoseszenarien je Flugplatz dargestellt.

In Absprache mit dem UBA konzentrieren sich auch die Überlegungen zur Flottenentwicklung auf die Luftfahrzeuggruppen, für die eine aktuelle und eine überarbeitete Datengrundlage zur Verfügung stehen.

Die Zusammensetzung der Luftfahrzeuggruppen (gem. AzB-2008) P 2.1, P 2.2 und S 5.1 wurden in der Prognose der Flottenzusammensetzung für 2030 nicht verändert. Diese Gruppen fassen teils viele unterschiedliche Luftfahrzeugmuster zusammen, die oft nur in geringer Zahl in der Gesamtverkehrsmenge enthalten sind. Eine belastbare und belegbare Entwicklung zu neuen Luftfahrzeugmustern, die hinsichtlich der Studie die Ergebnisse beeinflussen würde, konnte hier nicht erkannt werden.

Die Luftfahrzeuge der Familien Airbus A320 und Boeing B737 stellen innerhalb der Luftfahrzeuggruppe S 5.2 (AzB-2008) im betrachteten Zeitraum Mai bis Oktober 2019 den dominierenden Anteil. Bis zum Prognosehorizont 2030 wird hier generell von einer Erhöhung der Anteile der Baureihen Airbus A319/320/321NEO (New Engine Option) bzw. der Baureihen Boeing B737MAX ausgegangen. Für die Berechnungen nach AzB-ND ist dies insofern relevant, da in der neuen Datengrundlage die älteren Luftfahrzeuge der A320/B737-Familien einer anderen Gruppe (S3_M130_T2_N7) als die NEO/MAX Luftfahrzeuge dieser Luftfahrzeugfamilien (S3_M130_T2_NX) zugeordnet sind.

Am Beispiel Airbus wurde für das Jahr 2030 von den Autoren folgende überschlägige Rechnung durchgeführt: Im Juni 2022 befanden sich insgesamt ca. 7.400 Luftfahrzeuge der Typen A319/320/321CEO (Current Engine Option) weltweit im Dienst, zusätzlich ca. 2.250 vom Typ A319/320/321NEO [17]. Der Anteil der im Dienst befindlichen NEO-Luftfahrzeuge an der Gesamtzahl der eingesetzten Luftfahrzeuge der A320-Familie betrug also etwa 23 %.

Bei Airbus sind ca. 8.000 Luftfahrzeuge der A320NEO Familie bestellt [17]. Bei einer beabsichtigten Produktion von 65 oder mehr Luftfahrzeugen dieser Baureihe im Monat werden bis in die zweite Hälfte des Jahres 2030 weitere ca. 6.300 NEO Luftfahrzeuge gebaut und ausgeliefert sein [18]. Der Boeing Commercial Market Outlook (CMO) prognostiziert, dass im Zeitraum 2022 bis 2041 jedes zweite weltweit neu gebaute Luftfahrzeug ein älteres Luftfahrzeug vollständig ersetzen wird [15]. Für denselben Zeitraum geht auch der Global Market Forecast (GMF) von Airbus von einem hohen Bedarf neuer Luftfahrzeuge aus [16]. Diese Quellen als Grundlage nehmend, sollte die Zahl der Airbus CEO-Luftfahrzeuge der A320-Familie 2030 auf ca. 4.250 sinken und die Zahl der Airbus NEO-Luftfahrzeuge der Familie auf ca. 8.850 steigen. Der NEO-Anteil an der Gesamtzahl der weltweit eingesetzten Luftfahrzeuge der A320-Familie würde dann ca. 68 % betragen.

In Gänze vergleichbare Quellen zur B737 konnten im Rahmen der Recherche nicht gefunden werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass seit 1967 ca. 11.000 B737-Versionen ausgeliefert wurden, die selbstverständlich nicht mehr alle im Dienst sind. Luftfahrzeuge vom Typ B737MAX sind ca. 400 bisher ausgeliefert, weitere ca. 4.200 sind bestellt [19] [26]. Probleme mit der Baureihe Boeing B737MAX haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass es

hier keine kontinuierliche Entwicklung der Auslieferungszahlen gegeben hat [27] [28] [34]. Es ist aber davon auszugehen, dass Boeing bemüht sein wird, hohe monatliche Produktions- und Auslieferungszahlen der MAX-Versionen zu erreichen. Die B737-Familie ist bereits sehr lange mit vielen älteren Versionen, auch als Frachter, weltweit im Dienst. Ein ähnlich hoher Anteil an MAX-Luftfahrzeugen wie bei den NEO-Typen von Airbus wird für 2030 von den Autoren daher nicht erwartet.

Es wird in dieser Studie – was Airbus angeht eher konservativ - davon ausgegangen, dass 2030 an allen drei betrachteten Flughäfen die moderneren NEO- und MAX-Versionen einen Anteil von 50 % in ihren jeweiligen Luftfahrzeugfamilien stellen.

Dem Boeing CMO ist außerdem zu entnehmen, dass auf den Langstrecken die vierstrahligen Großraumluftfahrzeuge verstärkt durch neue zweistrahlige Großraumluftfahrzeuge ersetzt werden [15]. Für dieses Vorhaben wird davon ausgegangen, dass vierstrahlige Großraumluftfahrzeuge nach der Corona-Pandemie nur vorübergehend wieder in Dienst gestellt werden, bis die bestellten zweistrahligen Großraumluftfahrzeuge ausgeliefert werden.

Im Frachtbereich prognostizieren sowohl Boeing wie auch Airbus für 2022 bis 2041 einen Bedarf an 2.800 bzw. 2.400 zusätzlichen Frachtflugzeugen. Boeing spricht dabei von einem Bedarf von ca. 900 neu gebauten Großraum-Modellen und zahlreichen Umbauten zu Frachtern im Sektor der Großraumluftfahrzeuge, aber auch kleinerer Modelle. Airbus spricht auch von einem Bedarf von ca. 900 neu zu bauenden Frachtflugzeugen, ohne die Größe zu spezifizieren. Im Segment der Frachter ist also zu berücksichtigen, dass sowohl im Airbus GMF wie auch im Boeing CMO prognostiziert wird, dass nur ca. ein Drittel des vorhergesagten Bedarfs an Frachtern durch Neubauten gedeckt werden wird [15][16]. Zwei Drittel des Bedarfs werden demnach durch Umbauten von Passagierflugzeugen zu Frachtflugzeugen gedeckt werden. Es muss also für 2030 auch mit Frachtflugzeugen gerechnet werden, die durch Umbauten entstanden sind.

Die genannten allgemeinen Prognosen finden in dieser Studie grundsätzlich Anwendung, eventuelle Abweichungen hiervon sind nachfolgend je Flugplatz beschrieben.

3.3 Entwicklung von Verkehrsszenarien

3.3.1 Flughafen Frankfurt/Main

3.3.1.1 Ist-Szenario 2019

Die Flugbewegungsdaten des Ist-Szenarios für 2019 wurden nach dem oben beschriebenen Verfahren aus den FANOMOS-Flugspurdaten der DFS erzeugt. Beide DES für AzB-2008 und AzB-ND enthalten 277.507 Flugbewegungen des Zeitraums Mai bis Oktober 2019.

Am Flughafen Frankfurt/Main sind nahezu keine VFR-Flüge zu verzeichnen. Aus diesem Grund konnten aus den FANOMOS-Daten fast 100 % der vom Flughafenverband ADV für diesen Zeitraum gezählten 278.223 Flugbewegungen [10] in die DES übernommen werden. Der ADV-Statistik zufolge machen die Flugbewegungen der Monate Mai bis Oktober 2019 ca. 54 % der Jahresflugbewegungen aus.

Die geringe Differenz zwischen der Anzahl von An- und Abflügen im Betrachtungszeitraum ist durch eine nicht zu 100 % vollständige und fehlerfreie Erfassung der Flugbewegungen im System FANOMOS zu erklären.

Tabelle 1: Flugbewegungen EDDF Ist-Szenario 2019 (AzB-2008)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008, Daten für Mai bis Oktober 2019

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P 2.1	1.106	217	1.323	1.279	43	1.322	2.385	260	2.645
S 5.1	14.538	412	14.950	14.253	724	14.977	28.791	1.136	29.927
S 5.2	87.432	4.201	91.633	84.684	6.995	91.679	172.116	11.196	183.312
S 5.3	38	2	40	40	0	40	78	2	80
S 6.1	15.525	2.850	18.375	16.398	2.002	18.400	31.923	4.852	36.775
S 6.2	838	182	1.020	838	182	1.020	1.676	364	2.040
S 6.3	2.021	876	2.897	2.433	479	2.912	4.454	1.355	5.809
S 7	5.387	608	5.995	4.983	1.020	6.003	10.370	1.628	11.998
S 8	2.281	176	2.457	2.095	369	2.464	4.376	545	4.921
Summe:	129.166	9.524	138.690	127.003	11.814	138.817	256.169	21.338	277.507

Die Zusammensetzung der Flugbewegungen für das Ist-Szenario 2019 nach AzB-2008 ist in Tabelle 1 dargestellt. Dieselben Flugbewegungen wurden für das Szenario nach AzB-ND den Gruppen der neuen Datengrundlage zugeordnet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Flugbewegungen EDDF Ist-Szenario 2019 (AzB-ND)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2019

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P3_M015_TU	33	2	35	33	2	35	66	4	70
P3_MXXX_TU	1.073	215	1.288	1.246	41	1.287	2.319	256	2.575
S3_M020_TU_NU	1.432	33	1.465	1.457	24	1.481	2.889	57	2.946
S3_M050_TU_N7	13.106	379	13.485	12.796	700	13.496	25.902	1.079	26.981
S3_M070_TU_N7	10.102	209	10.311	9.991	326	10.317	20.093	535	20.628
S3_M070_TU_NX	977	0	977	960	19	979	1.937	19	1.956
S3_M100_TU_N2	38	2	40	40	0	40	78	2	80
S3_M130_T2_N7	65.306	4.232	69.538	63.271	6.289	69.560	128.577	10.521	139.098
S3_M130_T2_NX	12.058	204	12.262	11.394	872	12.266	23.452	1.076	24.528
S3_M220_T2_N7	3.120	249	3.369	3.104	260	3.364	6.224	509	6.733
S3_M320_T2_N7	4.232	1.073	5.305	5.206	119	5.325	9.438	1.192	10.630
S3_M320_T3_N7	838	182	1.020	838	182	1.020	1.676	364	2.040
S3_M320_T4_N7	1.539	541	2.080	1.800	293	2.093	3.339	834	4.173
S3_M320_T2_NX	2.699	286	2.985	2.644	351	2.995	5.343	637	5.980
S3_M500_T2_NX	4.463	798	5.261	4.512	761	5.273	8.975	1.559	10.534
S3_M500_T4_N7	2.273	274	2.547	2.128	423	2.551	4.401	697	5.098
S3_M500_T4_NX	3.596	669	4.265	3.488	783	4.271	7.084	1.452	8.536
S3_MXXX_T4_NX	2.281	176	2.457	2.095	369	2.464	4.376	545	4.921
Summe:	129.166	9.524	138.690	127.003	11.814	138.817	256.169	21.338	277.507

3.3.1.2 Prognoseszenario 2030

Die Verkehrsmengen sowie die Flottenzusammensetzung für den Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) in 2030 wurden von den Autoren auf Basis öffentlich verfügbarer Informationen bzw. Pressemeldungen entwickelt. Prognosedaten über die geplante Entwicklung des Flugbetriebs oder zukünftig erwartete Verkehrsmengen standen anders als für die Flughäfen Leipzig/Halle und Köln/Bonn für den Flughafen Frankfurt/Main nicht zu Verfügung.

Ausgangspunkt der Überlegungen waren die für das Referenzjahr 2019 vom Flughafenverband ADV veröffentlichten Verkehrsdaten [10]. Demnach fanden 2019 insgesamt 513.912 Starts und Landungen statt. Auf die für die DES-Erstellung betrachteten Monate Mai bis Oktober entfielen hiervon 278.223 Flugbewegungen, dies sind etwa 54 % der Jahresbewegungen.

Die Auswirkungen der Corona-Pandemie sind bis heute für alle deutschen Verkehrsflughäfen spürbar. Die Anzahl der Flugbewegungen 2020 und 2021 war gegenüber 2019 stark eingebrochen. Der Boeing CMO stellt jedoch fest, dass sich in 2022 das Segment der innereuropäischen Flüge bereits wieder auf hohem Niveau erholt hat und sich mindestens für Low Cost Carrier bereits wieder über dem Niveau von 2019 befindet. Die Zahl der heute noch von der Pandemie stärker betroffenen Interkontinentalflüge erwartet der Boeing CMO 2022 in der weltweiten Prognose in 2023 oder 2024 wieder auf dem Niveau von 2019 [15].

Auch Airbus sagt in seinem Global Market Forecast (GMF) einen erholten Luftfahrtmarkt voraus, der sich hinsichtlich der Verkehrszahlen zwischen 2023 und 2025 wieder auf dem Niveau von vor der Pandemie befinden wird, mit hohem Bedarf an neuen Luftfahrzeugen [16]. Für die weitere Betrachtung im Rahmen dieser Studie wird daher davon ausgegangen, dass der Flughafen Frankfurt/Main im Jahr 2024 über alle Verkehrsarten wieder Verkehrsmengen wie 2019 abwickeln wird.

Für die Folgejahre 2025 bis 2030 wird ein vergleichsweises moderates Wachstum der Flugbewegungen von 2 % pro Jahr unterstellt. Der Boeing CMO prognostiziert für Europa sogar 3 % und weltweit 3,8 % jährliches Wachstum des Luftverkehrs. Wegen des Krieges in der Ukraine wurden von Boeing dabei keine Prognosen für Russland und Zentralasien erstellt [15]. Die positiven Erwartungen zur Entwicklung des Luftverkehrs werden im Airbus GMF mitgetragen, hier werden weltweit 3,6 % im Passagierbereich und 3,2 % im Frachtbereich jährlich bis 2041 prognostiziert [16].

Auf Basis dieser (stark vereinfachten) Annahmen ergeben sich für 2030 insgesamt etwa 577.400 Flugbewegungen (Starts und Landungen). Hiervon entfallen statistisch etwa 313.400 Flugbewegungen auf die Monate Mai bis Oktober.

Statistische Daten zur Nutzung der verschiedenen bahnbezogenen Betriebsrichtungen (vgl. Datenblätter der AzD im Kapitel 6) für die Anwendung der sog. Sigma-Regelung nach AzB wurden OTSD von der FRAPORT AG zur Verfügung gestellt. Für die DES-Modelle des Prognoseszenarios wurden Daten der Kalenderjahre 2012 bis 2019 verwendet, da in den Jahren vor 2012 die Landebahn Nordwest (RWY 07L/25R) noch nicht ganzjährig in Betrieb war und die Jahre nach 2019 durch die Corona-Pandemie stark beeinträchtigt waren.

In Bezug auf die zukünftige Flottenzusammensetzung und das 2030 eingesetzte Fluggerät wurden Annahmen getroffen, die sich an Veröffentlichungen bzw. Absichtserklärungen der Lufthansa-Gruppe orientieren [35]. Die Lufthansa-Gruppe führte im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 mit den Fluggesellschaften Lufthansa (ca. 153.000), Eurowings (25), Swiss (ca. 2.700), Brussels Airlines (8), Austrian Airlines (ca. 6.500) und Lufthansa Cargo (ca. 3.600) für ca. 60 % der Flugbewegungen am Flughafen Frankfurt/Main durch. Die auch zur Lufthansa Gruppe gehörenden Edelweiss Air und Eurowings Discover hatten keine Flugbewegungen in EDDF. Die verbleibenden 40 % aller Flugbewegungen teilen sich auf eine große Zahl weiterer Nutzer des Flughafens Frankfurt/Main auf, deren Flottenentwicklung über das Maß der allgemeinen Aussagen des Boeing CMO und des Airbus GMF nur in einer sehr umfangreichen detaillierten Untersuchung prognostizierbar wäre [15] [16].

In der folgenden Tabelle sind die Feststellungen und Annahmen für einzelne Gruppen nach AzB-2008 kurz zusammengefasst:

Tabelle 3: Annahmen zur Flottenentwicklung EDDF bis 2030

Darstellung wesentlicher Entwicklungen je LFZ-Gruppe der AzB-2008

LFZ-Gruppe	Feststellungen und Annahmen zur Flottenentwicklung
S 5.2	<p>Diese Luftfahrzeuggruppe ist in 2030 am Flughafen Frankfurt/Main gekennzeichnet von der Zunahme der NEO und MAX Versionen der Baureihen der A320 und B737 bei gleichzeitigem Rückgang älterer Versionen dieser Luftfahrzeugfamilien. Zusätzlich wirkt sich hier der Trend aus, von den Embraer E190 und E195 in den Luftfahrzeugflotten umzusteigen auf den Airbus A220 oder die Embraer E290 und E295 [21] [31].</p>
S 6.1	<p>Diese Luftfahrzeuggruppe ist gekennzeichnet von verschiedenen Luftfahrzeugmustern, die nicht alle über die Flotte der Lufthansa Gruppe definiert werden können.</p> <p>Im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 wurden ca. 2.900 Flugbewegungen mit dem Baumuster Boeing B757-300 (B753) am Flughafen Frankfurt/Main verzeichnet. Fast 99 % davon mit B753 der Fluggesellschaft Condor. Die Leasingverträge für die B753 der Condor enden in den Jahren 2026 und 2028. Condor hat noch keine Entscheidung über ein Nachfolgemuster gefällt, aber ein passender Ersatz wären die Baureihen Airbus A321LR und XLR [40]. Das Luftfahrzeugmuster A300-600 (A306) wird auch in Frankfurt/Main zu ca. 90 % von DHL gestellt. Wie aus Leipzig bekannt, wird dieses Muster bei DHL für 2030 als ausgemustert, mindestens aber stark rückläufig erwartet. Der Ersatz bei DHL sollen Frachter der A330-Baureihe sein [23].</p> <p>Das Luftfahrzeug Boeing B767 ist in EDDF nahezu ausschließlich in der Version B767-300 (B763) vertreten. Von den ca. 6.000 B767 Flugbewegungen im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 entfallen ca. 65 % auf Condor und weitere 18 % auf die Fluggesellschaft Delta Air Lines. Condor ist bereits im Umstieg von B767 auf die A330 [40] [41]. Condor hat A330NEO neu bestellt, hat aber auch ältere A330 im Dienst. Delta Air Lines modernisiert ebenfalls seine Flotte, es konnten aber keine Absichten zu einem B767-Nachfolger identifiziert werden [42].</p> <p>Für die neuen Luftfahrzeugmuster der Baureihen Boeing B777 und B787 sowie Airbus A350 gibt es eine zunehmende Tendenz am Flughafen Frankfurt/Main, da sich nicht zuletzt der Frankfurter Hauptkunde Lufthansa auch für diese Luftfahrzeuge in der zukünftigen Flotte entschieden hat [20].</p>
S 6.2	<p>Ausschließlich McDonnell Douglas (Boeing) MD11 Luftfahrzeuge sind in dieser Gruppe von Mai bis Oktober 2019 in EDDF registriert worden. Ca. 94 % davon gehörten Lufthansa Cargo. Die Frachtfluggesellschaft hat inzwischen alle MD11 durch Frachter der Baureihe Boeing B777 ersetzt [25]. Auch die anderen Betreiber der MD11 in 2019 waren Frachtfluggesellschaften. Die MD11 wird an anderen Flughäfen für 2030 als rückläufig bis ausgemustert vorhergesagt [13] [14].</p>
S 6.3	<p>Von den etwa 5.800 Flugbewegungen der Baureihe Airbus A340 (A343 und A346) am Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 entfallen etwa 94 % auf Flugbewegungen der Lufthansa. Von diesen sind etwa drei Viertel A343. Als Reaktion auf die Corona-Pandemie begann Lufthansa, die A340 zusammen mit anderen vierstrahligen Luftfahrzeugen ihrer Flotte stillzulegen [20] [39]. Als Ersatz sind neue, zweistrahlige Großraumluftfahrzeuge bestellt. Dies entspricht der Prognose von Boeing im CMO zum erwarteten weltweiten Verhalten von Fluggesellschaften [15]. Bei Lufthansa werden diese neuen Großraumluftfahrzeuge der Airbus A350, die Boeing B777 und neuerdings auch die Baureihe Boeing B787 sein [20] [21]. Nach der Corona-Pandemie hat Lufthansa jedoch begonnen, wieder eine geringere Zahl Luftfahrzeuge der A340 für einen begrenzten Zeitraum zu aktivieren. Dies geschieht als Ausgleich der verspäteten Auslieferung der neuen zweistrahligen Großraumluftfahrzeuge [38].</p>

LFZ-Gruppe	Feststellungen und Annahmen zur Flottenentwicklung
S 7	In dieser Luftfahrzeuggruppe sind in Frankfurt/Main (EDDF) von Mai bis Oktober 2019 ca. 12.000 Flugbewegungen erfasst, ausschließlich mit Luftfahrzeugen der Baureihe Boeing 747, ca. 5.100 mit B747-400 (B744) und ca. 6.900 mit B747-800 (B748). Dabei entfielen ca. 71 % der Flugbewegungen mit B744 und ca. 80 % der Flugbewegungen mit B748 auf Lufthansa. Auch bei Lufthansa geht der Trend weg von den vierstrahligen hin zu den zweistrahligen Großraumflugzeugen [19] [21] [39]. Die zeitweilige Reaktivierung einiger A380 und B744 nach der Pandemie ist auch mit der verzögerten Auslieferung der bestellten B777, A350 und B787 zu erklären. Es gibt aber keine Anzeichen, dass die B748 in 2030 nicht mehr zur Flotte gehören wird.
S 8	Dieser Luftfahrzeuggruppe gehört nur der Airbus A380 (A388) an. Mit diesem Luftfahrzeugmuster wurden von Mai bis Oktober 2019 am Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) ca. 5.000 Flugbewegungen verzeichnet, davon etwa die Hälfte durch Lufthansa. Nachdem die Lufthansa zunächst beschlossen hatte, nach der Corona Pandemie keinen A388 wieder in Dienst zu nehmen, ist nun geplant, einige A388 (max. 8 von ehemals 14) zeitweilig weiter zu betreiben, da sich die als Ersatz bestellten Großraumluftfahrzeuge später ausgeliefert werden [36]. Mit Ausnahme der Fluggesellschaft Emirates, hier setzt man den Flugbetrieb mit der weltweit größten A388-Flotte einer Fluggesellschaft planmäßig fort, scheinen die anderen Gesellschaften genau wie Lufthansa nach der Pandemie in EDDF zunächst mit einer reduzierten A388 Flotte weiterzumachen [37]. Ungeachtet dessen geht der Trend laut Boeing CMO aber trotzdem generell weg von vierstrahligen hin zu zweistrahligen Großraumflugzeugen [15].

Mit den oben dargestellten Annahmen wurde für das Mengengerüst der Flugbewegungen der 6vM 2030 folgende Anteile geschätzt und im Vergleich zu 2019 verändert:

- ▶ Anteile der Flugbewegungen einer LFZ-Gruppe nach AzB-2008 an den Gesamtflugbewegungen (angepasst gegenüber 2019 bei der Gruppe S 5.3 und allen größeren, schwereren Gruppen),
- ▶ Anteile der Flugbewegungen einer LFZ-Gruppe nach AzB-ND an den Flugbewegungen einer Gruppe nach AzB-2008 (geändert gegenüber 2019 für die Zerlegung der Gruppen S 5.2, S 6.1, S 6.3 und S 7).

Das resultierende Mengengerüst für das Prognoseszenario ist, zusammen mit den geschätzten Werten für die anteilige Zerlegung der Verkehrsmengen in die verschiedenen Gruppen der AzB-2008 und AzB-ND, in Tabelle 4 dargestellt. In der letzten Spalte rechts in der Tabelle sind jeweils typische Luftfahrzeugmuster für die Gruppen der AzB-ND angegeben. Typbezeichnungen in eckigen Klammern beziehen sich dabei auf Luftfahrzeuge, die perspektivisch für 2030 erwartet werden, jedoch 2019 noch nicht beobachtet werden konnten.

Tabelle 4: Flottenzusammensetzung EDDF Ist-Szenario 2019 und Prognoseszenario 2030

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008 und AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2019 bzw. 2030

Luftfahrzeuggruppe		Anzahl AzB-2008-Gruppe		Anzahl AzB-ND-Gruppe		Anteil AzB-2008-Gruppe (%)		AzB-ND-Gruppe (% innerhalb der Gruppe)		Exemplarische Luftfahrzeugtypen (ICAO ATD nach Doc 8643)
AzB-2008	AzB-ND	2019	2030	2019	2030	2019	2030	2019	2030	
P 2.1	P3_M015_TU	2.645	3.134	70	94	1,0 %	1,0 %	3 %	3 %	B350, D328
	P3_MXXX_TU			2.575	3.040			97 %	97 %	AT72, AT75, DH8D
S 5.1	S3_M020_TU_NU	29.927	33.798	2.946	3.380	10,8 %	10,8 %	10 %	10 %	C25A, C56X, CL35, E55P, F2TH
	S3_M050_TU_N7			26.981	30.418			90 %	90 %	CRJ9, CRJX, E170, E75L
S 5.2	S3_M070_TU_N7	183.312	207.022	20.628	12.421	66,1 %	66,1 %	11 %	6 %	B733, B736, E190, E195
	S3_M070_TU_NX			1.956	12.421			1 %	6 %	BCS1, BCS3, [E290, E295]
	S3_M130_T2_N7			136.200	91.090			74 %	44 %	A319, A320, A321, B738
	S3_M130_T2_NX			24.528	91.090			13 %	44 %	A20N, A21N, [B37M, B38M, B39M]
S 5.3	S3_M100_TU_N2	80	0	80	0	0,03 %	0,00 %	100 %	0 %	MD82
S 6.1	S3_M130_T2_N7	36.775	56.412	2.898	0	13,3 %	18,0 %	8 %	0 %	B753
	S3_M220_T2_N7			6.733	4.513			18 %	8 %	A306, A310, B763, B764
	S3_M320_T2_N7			10.630	6.769			29 %	12 %	A332, A333, B772
	S3_M320_T2_NX			5.980	22.565			16 %	40 %	A359, B788, B789, B78X, [A338, A339]
S 6.2	S3_M500_T2_NX	2.040	0	10.534	22.565	0,7 %	0,0 %	29 %	40 %	B77L, B77W
	S3_M320_T3_N7			2.040	0			100 %	0 %	MD11
S 6.3	S3_M320_T4_N7	5.809	1.222	4.173	0	2,1 %	0,4 %	72 %	0 %	A343
	S3_M500_T4_NX			1.636	1.222			28 %	100 %	A346
S 7	S3_M500_T4_N7	11.998	9.308	5.098	2.327	4,3 %	3,0 %	42 %	25 %	B744
	S3_M500_T4_NX			6.900	6.981			58 %	75 %	B748
S 8	S3_MXXX_T4_NX	4.921	2.504	4.921	2.504	1,8 %	0,8 %	100 %	100 %	A388
Summe:		277.507	313.400	277.507	313.400	100,0 %	100,0 %			

Die für das Prognoseszenario 2030 entwickelten und in die DES-Modelle übernommenen Mengengerüste der Flugbewegungen nach AzB-2008 und AzB-ND sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 5: Flugbewegungen EDDF Prognoseszenario 2030 (AzB-2008)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008, Daten für Mai bis Oktober 2030

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P 2.1	1.309	258	1.567	1.516	51	1.567	2.825	309	3.134
S 5.1	16.435	464	16.899	16.082	817	16.899	32.517	1.281	33.798
S 5.2	98.766	4.745	103.511	95.611	7.900	103.511	194.377	12.645	207.022
S 6.1	23.835	4.371	28.206	25.136	3.070	28.206	48.971	7.441	56.412
S 6.3	429	182	611	510	101	611	939	283	1.222
S 7	4.181	473	4.654	3.862	792	4.654	8.043	1.265	9.308
S 8	1.163	89	1.252	1.064	188	1.252	2.227	277	2.504
Summe:	146.118	10.582	156.700	143.781	12.919	156.700	289.899	23.501	313.400

Tabelle 6: Flugbewegungen EDDF Prognoseszenario 2030 (AzB-ND)⁸

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2030

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P3_M015_TU	38	7	45	48	1	49	86	8	94
P3_MXXX_TU	1.271	251	1.522	1.468	50	1.518	2.739	301	3.040
S3_M020_TU_NU	1.643	45	1.688	1.611	81	1.692	3.254	126	3.380
S3_M050_TU_N7	14.792	419	15.210	14.472	736	15.208	29.264	1.155	30.418
S3_M070_TU_N7	5.927	285	6.211	5.736	474	6.210	11.663	758	12.421
S3_M070_TU_NX	5.927	285	6.211	5.736	474	6.210	11.663	758	12.421
S3_M130_T2_N7	43.458	2.091	45.548	42.065	3.477	45.542	85.522	5.568	91.090
S3_M130_T2_NX	43.458	2.091	45.548	42.065	3.477	45.542	85.522	5.568	91.090
S3_M220_T2_N7	1.905	348	2.253	2.015	245	2.260	3.920	593	4.513
S3_M320_T2_N7	2.861	526	3.387	3.013	370	3.382	5.874	896	6.769
S3_M320_T2_NX	9.534	1.746	11.280	10.058	1.227	11.285	19.592	2.973	22.565
S3_M500_T2_NX	9.534	1.746	11.280	10.058	1.227	11.285	19.592	2.973	22.565
S3_M500_T4_N7	1.046	119	1.165	963	199	1.162	2.009	318	2.327
S3_M500_T4_NX	3.566	536	4.101	3.407	695	4.102	6.973	1.230	8.203
S3_MXXX_T4_NX	1.163	89	1.252	1.064	188	1.252	2.227	277	2.504
Summe:	146.119	10.582	156.701	143.779	12.920	156.699	289.899	23.501	313.400

⁸ Die Zahlen werden gerundet dargestellt.

3.3.2 Flughafen Köln/Bonn

3.3.2.1 Ist-Szenario 2019

Die Flugbewegungsdaten des Ist-Szenarios 2019 für den Flughafen Köln/Bonn wurden nach dem oben beschriebenen Verfahren aus den FANOMOS-Flugspurdaten der DFS erzeugt. Beide DES für AzB-2008 und AzB-ND enthalten 78.830 Flugbewegungen des Zeitraums Mai bis Oktober 2019.

Aus den FANOMOS-Daten konnten ca. 97 % der vom Flughafenverband ADV für diesen Zeitraum gezählten 80.988 Flugbewegungen in die DES übernommen werden. Die Differenz der nicht erfassten Flugbewegungen ist hauptsächlich durch in Köln/Bonn beobachtete VFR-Flugbewegungen zu erklären.

Der ADV-Statistik zufolge machen die Flugbewegungen der Monate Mai bis Oktober 2019 ca. 57 % der Jahresflugbewegungen aus.

Die erzeugten Mengengerüste der Flugbewegungen für die Monate Mai bis Oktober 2019 sind für AzB-2008 und AzB-ND in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 7: Flugbewegungen EDDK Ist-Szenario 2019 (AzB-2008)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008, Daten für Mai bis Oktober 2019

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P 2.1	281	1.102	1.383	298	1.108	1.406	579	2.210	2.789
P 2.2	2	0	2	2	0	2	4	0	4
S 5.1	2.437	236	2.673	2.549	89	2.638	4.986	325	5.311
S 5.2	21.468	8.538	30.006	23.060	7.126	30.186	44.528	15.664	60.192
S 5.3	34	101	135	135	0	135	169	101	270
S 6.1	850	3.213	4.063	773	3.257	4.030	1.623	6.470	8.093
S 6.2	272	166	438	171	268	439	443	434	877
S 6.3	54	13	67	56	11	67	110	24	134
S 7	432	149	581	264	314	578	696	463	1.159
S 8	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Summe:	25.831	13.518	39.349	27.308	12.173	39.481	53.139	25.691	78.830

Tabelle 8: Flugbewegungen EDDK Ist-Szenario 2019 (AzB-ND)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2019

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P0_MXXX_TU	1	0	1	1	0	1	2	0	2
P3_M015_TU	33	3	36	26	8	34	59	11	70
P3_MXXX_TU	249	1.099	1.348	273	1.100	1.373	522	2.199	2.721
S2_M100_TU_NU	1	0	1	1	0	1	2	0	2
S3_M020_TU_NU	1.614	169	1.783	1.717	56	1.773	3.331	225	3.556
S3_M050_TU_N7	822	67	889	831	33	864	1.653	100	1.753
S3_M070_TU_N7	1.072	974	2.046	958	1.071	2.029	2.030	2.045	4.075
S3_M100_TU_N2	34	101	135	135	0	135	169	101	270
S3_M130_T2_N7	20.127	7.240	27.367	21.845	5.722	27.567	41.972	12.962	54.934
S3_M130_T2_NX	269	328	597	262	333	595	531	661	1.192
S3_M220_T2_N7	301	2.974	3.275	267	2.979	3.246	568	5.953	6.521
S3_M320_T2_N7	105	141	246	101	141	242	206	282	488
S3_M320_T3_N7	242	156	398	143	258	401	385	414	799
S3_M320_T4_N7	83	23	106	84	20	104	167	43	210
S3_M320_T2_NX	2	0	2	1	0	1	3	0	3
S3_M500_T2_NX	442	94	536	399	137	536	841	231	1.072
S3_M500_T4_N7	261	39	300	144	154	298	405	193	598
S3_M500_T4_NX	172	110	282	120	161	281	292	271	563
S3_MXXX_T4_NX	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Summe:	25.831	13.518	39.349	27.308	12.173	39.481	53.139	25.691	78.830

3.3.2.2 Prognoseszenario 2030

Die Verkehrsmengen des Szenarios 2030 für den Flughafen Köln/Bonn (EDDK) wurden von den Autoren in Absprache mit dem UBA einer von den Firmen Intraplan Consult GmbH und Airport Research Center GmbH (ARC) erstellten Luftverkehrsprognose für das Jahr 2030 [14] entnommen. Hierin enthaltene Aussagen über die erwartete Flottenzusammensetzung im Jahr 2030 wurden in die Betrachtungen einbezogen.

Ergänzt wurden diese Informationen durch zusätzliche aktuelle Angaben aus Telefonaten und einer Videokonferenz am 14.10.2022 mit dem Flughafen Köln/Bonn sowie eigene Recherchen unter Nutzung öffentlich verfügbarer Dokumente.

In Tabelle 9 sind die Feststellungen und Annahmen für einzelne Gruppen nach AzB-2008 kurz zusammengefasst:

Tabelle 9: Annahmen zur Flottenentwicklung EDDK bis 2030

Darstellung wesentlicher Entwicklungen je LFZ-Gruppe der AzB-2008

LFZ-Gruppe	Feststellungen und Annahmen zur Flottenentwicklung
S 5.2	<p>Die Baureihen Embraer E190/195 wurden im Flugbetrieb in EDDK im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 hauptsächlich durch Austrian Airlines (AUA), Deutsche Lufthansa (DLH) und TAP Air Portugal gestellt. Bei AUA und DLH ist es wahrscheinlich, dass sie sich für den A220 und/oder Embraer E290/295 als Ersatz für ältere Embraer entscheiden werden. Der Zeitpunkt ist aber noch nicht bekannt [31]. Von TAP Air Portugal gibt es bisher keine Informationen zur Zukunft der E190/195. In Summe wird grundsätzlich von einem Rückgang dieser Gruppe älterer Luftfahrzeuge zugunsten des A220 und der E290/E295 ausgegangen [21] [22] [31].</p> <p>Die Intraplan- und ARC-Prognose zur Flottenzusammensetzung 2030 geht davon aus, dass die heutigen B757-200 Frachter durch B737 oder A321 Umbaufrachter ersetzt werden [14]. Im Passagierbereich sieht die Prognose eine Steigerung der Luftfahrzeugmuster der A320 und B737 Familien vor. In beiden Familien werden heute nur noch NEO und MAX Versionen gebaut und diese Prognose ist ebenfalls ein deutliches Indiz für eine Steigerung des NEO und MAX Anteils [14].</p>
S 6.1 S 6.2	<p>Sowohl die Prognose der Flottenzusammensetzung von Intraplan und ARC wie auch der Flughafen Köln/Bonn erwarten die Baureihe der McDonnell Douglas (bzw. Boeing) MD 11 für 2030 als ausgemustert. Als Ersatz werden in der Prognose B777 und Airbus A330 Frachter erwartet.</p> <p>Prognostiziert sind Verschiebungen von der Boeing 767-200 (B762) hin zur Boeing 767-300 (B763) und Zunahmen bei der Baureihe Airbus A300-600 (A306). Der Flughafen Köln/Bonn sieht beide Entwicklungen sicher bei United Parcel Service (UPS). UPS betreibt am Flughafen Köln/Bonn seinen Hauptumschlagplatz für Luftfracht in Europa und ist im Sektor Luftfracht der Hauptkunde des Flughafens. Ebenso wird vom Flughafen Köln/Bonn für 2030 erwartet, dass die Baureihen Airbus A350 und Boeing B787 als Frachter in Köln/Bonn vertreten sein werden. Die Prognose der Flottenzusammensetzung von Intraplan und ARC ist zu alt, um A350 und B787 Frachter zu berücksichtigen. Ein A350-Frachter wird von Airbus ab 2025 ausgeliefert, ein Frachter auf Basis der B787 ist bisher von Boeing noch nicht beschlossen. Der Beschluss des ICAO-Rats zum CO₂-Standard kann jedoch bedeuten, dass die Baureihe B767 nach 2028 nicht mehr gebaut wird und, dass ein Beschluss von Boeing, als Ersatz einen Frachter auf Basis der B787 zu bauen, durchaus realistisch ist [29] [30][33].</p> <p>Intraplan und ARC gehen auch im Passagierbereich von einer Steigerung des Anteils der A330 aus [14].</p>
S 6.3	<p>Entgegen der Entwicklung an anderen Flughäfen wird das Luftfahrzeugmuster Airbus A340-300 (A343) in Köln/Bonn auch weiter erwartet, denn etwa zwei Drittel der ca. 130 registrierten Flugbewegungen dieses Luftfahrzeugmusters entfielen im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 auf die in Köln/Bonn stationierte Flugbereitschaft des Bundesministeriums der Verteidigung. Zur Flugbereitschaft gibt es keine Erkenntnisse, dass das Luftfahrzeugmuster A343 ausgemustert würde.</p>
S 7	<p>Intraplan und ARC wie auch der Flughafens Köln/Bonn gehen hinsichtlich der Baureihen der Boeing B747 bei den Frachtern von einer Verlagerung von B747-400 (B744) zur B747-800 (B748) aus. Bereits 2019 betrug bei dem in EDDK mit diesen Luftfahrzeugen beherrschenden Kunden UPS der Anteil der B748 etwa 50 %. Angesichts dieses Trends wird von einer auch nach 2019 sich fortsetzenden Zunahme der B748 Frachter ausgegangen [14].</p>

Mit den oben dargestellten Annahmen wurde für das Mengengerüst der Flugbewegungen der 6vM 2030 der Anteil der Flugbewegungen einer LFZ-Gruppe nach AzB-ND an den Flugbewegungen einer Gruppe nach AzB-2008 geschätzt. Anpassungen gegenüber 2019 wurden hier bei den Gruppen S 5.2, S 6.1 und S 7 vorgenommen.

Der Anteil aller Flugbewegungen einer Gruppe nach AzB-2008 an den Gesamtflugbewegungen wurde aus der INTRAPLAN-Prognose übernommen. Daten zur sog. Sigma-Regelung konnten für die Jahre 2005 bis 2014 einem vom UBA bereitgestellten DES für den Flughafen Köln/Bonn [11] entnommen werden. Neuere Daten ab 2015 waren nicht verfügbar.

Das resultierende Mengengerüst für das Prognoseszenario ist, zusammen mit den geschätzten Werten für die anteilige Zerlegung der Verkehrsmengen, in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Flottenzusammensetzung EDDK Ist-Szenario 2019 und Prognoseszenario 2030

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008 und AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2019 bzw. 2030

Luftfahrzeuggruppe		Anzahl AzB-2008-Gruppe		Anzahl AzB-ND-Gruppe		Anteil AzB-2008-Gruppe (%)		AzB-ND-Gruppe (% innerhalb der Gruppe)		Exemplarische Luftfahrzeugtypen (ICAO ATD nach Doc 8643)																																																																																																																																																																																				
AzB-2008	AzB-ND	2019	2030	2019	2030	2019	2030	2019	2030																																																																																																																																																																																					
P 2.1	P3_MXXX_TU	2.789	4.140	2.719	4.016	3,5 %	5,1 %	97 %	97 %	AT72, AT75, ATP B350, D328																																																																																																																																																																																				
	P3_M015_TU			70	124			3 %	3 %		P 2.2	P0_MXXX_TU	4	58	2	29	0,0 %	0,1 %	50 %	50 %	AN12 AN26	P3_MXXX_TU	2	29	50 %	50 %	S 3.2	S3_M220_T4_N7	0	6	0	6	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	IL76 (keine Flugbewegungen in 2019)	S 5.1	S3_M020_TU_NU	5.311	5.304	3.556	3.554	6,7 %	6,5 %	67 %	67 %	C25A, C56X, LJ35 CL60, CRJ9, GL5T GLF3	S3_M050_TU_N7	1.753	1.750	33 %	33 %	S2_M100_TU_NU	2	0	0 %	0 %	S 5.2	S3_M070_TU_N7	60.192	56.176	4.075	1.685	76,4 %	69,2 %	7 %	3 %	B734, E195 [BCS1, BCS3, E290, E295] A319, A320, B738 A20N, A21N, [B37M, B38M, B39M]	S3_M070_TU_NX	0	1.685	0 %	3 %	S3_M130_T2_N7	54.925	26.403	91 %	47 %	S3_M130_T2_NX	1.192	26.403	2 %	47 %	S 5.3	S3_M100_TU_N2	270	0	270	0	0,3 %	0,0 %	100 %	100 %	MD82	S 6.1	S3_M130_T2_N7	8.093	12.802	9	0	10,3 %	15,8 %	0 %	0 %	B753 A306, A310, B762, B763 A332, A333, B772 A359, B789, [A338, A339] B77L, B77W	S3_M220_T2_N7	6.521	8.322	81 %	65 %	S3_M320_T2_N7	488	1.920	6 %	15 %	S3_M320_T2_NX	3	1.280	0 %	10 %	S3_M500_T2_NX	1.072	1.280	13 %	10 %	S 6.2	S3_M320_T3_N7	877	232	799	211	1,1 %	0,3 %	91 %	91 %	MD11 C17	S3_M320_T4_N7	78	21	9 %	9 %	S 6.3	S3_M320_T4_N7	134	124	132	122	0,2 %	0,2 %	99 %	99 %	A343 A346	S3_M500_T4_NX	2	2	1 %	1 %	S 7	S3_M500_T4_N7	1.159	2.346	598	587	1,5 %	2,9 %	52 %	25 %	A124, B744 B748	S3_M500_T4_NX	561	1.759	48 %	75 %	S 8	S3_MXXX_T4_NX	1	2	1	2	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	A388	Summe:		78.830	81.190	78.830
P 2.2	P0_MXXX_TU	4	58	2	29	0,0 %	0,1 %	50 %	50 %	AN12 AN26																																																																																																																																																																																				
	P3_MXXX_TU			2	29			50 %	50 %		S 3.2	S3_M220_T4_N7	0	6	0	6	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	IL76 (keine Flugbewegungen in 2019)	S 5.1	S3_M020_TU_NU	5.311	5.304	3.556	3.554	6,7 %	6,5 %	67 %	67 %	C25A, C56X, LJ35 CL60, CRJ9, GL5T GLF3	S3_M050_TU_N7	1.753	1.750	33 %	33 %		S2_M100_TU_NU			2	0			0 %	0 %		S 5.2	S3_M070_TU_N7	60.192	56.176	4.075	1.685	76,4 %	69,2 %	7 %	3 %		B734, E195 [BCS1, BCS3, E290, E295] A319, A320, B738 A20N, A21N, [B37M, B38M, B39M]			S3_M070_TU_NX	0			1.685	0 %		3 %	S3_M130_T2_N7	54.925	26.403	91 %	47 %	S3_M130_T2_NX	1.192	26.403	2 %	47 %	S 5.3	S3_M100_TU_N2	270	0	270	0	0,3 %	0,0 %	100 %	100 %	MD82	S 6.1	S3_M130_T2_N7	8.093	12.802		9			0	10,3 %			15,8 %	0 %		0 %	B753 A306, A310, B762, B763 A332, A333, B772 A359, B789, [A338, A339] B77L, B77W	S3_M220_T2_N7	6.521	8.322	81 %	65 %	S3_M320_T2_N7	488	1.920	6 %	15 %	S3_M320_T2_NX	3	1.280	0 %	10 %	S3_M500_T2_NX	1.072	1.280	13 %	10 %	S 6.2	S3_M320_T3_N7	877	232	799	211	1,1 %	0,3 %	91 %	91 %	MD11 C17	S3_M320_T4_N7	78	21	9 %	9 %	S 6.3	S3_M320_T4_N7	134	124	132	122	0,2 %	0,2 %	99 %	99 %	A343 A346	S3_M500_T4_NX	2	2	1 %	1 %	S 7	S3_M500_T4_N7	1.159	2.346	598	587	1,5 %	2,9 %	52 %	25 %	A124, B744 B748	S3_M500_T4_NX	561	1.759	48 %	75 %	S 8	S3_MXXX_T4_NX	1	2	1	2	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	A388	Summe:		78.830
S 3.2	S3_M220_T4_N7	0	6	0	6	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	IL76 (keine Flugbewegungen in 2019)																																																																																																																																																																																				
S 5.1	S3_M020_TU_NU	5.311	5.304	3.556	3.554	6,7 %	6,5 %	67 %	67 %	C25A, C56X, LJ35 CL60, CRJ9, GL5T GLF3																																																																																																																																																																																				
	S3_M050_TU_N7			1.753	1.750			33 %	33 %																																																																																																																																																																																					
	S2_M100_TU_NU			2	0			0 %	0 %																																																																																																																																																																																					
S 5.2	S3_M070_TU_N7	60.192	56.176	4.075	1.685	76,4 %	69,2 %	7 %	3 %	B734, E195 [BCS1, BCS3, E290, E295] A319, A320, B738 A20N, A21N, [B37M, B38M, B39M]																																																																																																																																																																																				
	S3_M070_TU_NX			0	1.685			0 %	3 %																																																																																																																																																																																					
	S3_M130_T2_N7			54.925	26.403			91 %	47 %																																																																																																																																																																																					
	S3_M130_T2_NX			1.192	26.403			2 %	47 %																																																																																																																																																																																					
S 5.3	S3_M100_TU_N2	270	0	270	0	0,3 %	0,0 %	100 %	100 %	MD82																																																																																																																																																																																				
S 6.1	S3_M130_T2_N7	8.093	12.802	9	0	10,3 %	15,8 %	0 %	0 %	B753 A306, A310, B762, B763 A332, A333, B772 A359, B789, [A338, A339] B77L, B77W																																																																																																																																																																																				
	S3_M220_T2_N7			6.521	8.322			81 %	65 %																																																																																																																																																																																					
	S3_M320_T2_N7			488	1.920			6 %	15 %																																																																																																																																																																																					
	S3_M320_T2_NX			3	1.280			0 %	10 %																																																																																																																																																																																					
	S3_M500_T2_NX			1.072	1.280			13 %	10 %																																																																																																																																																																																					
S 6.2	S3_M320_T3_N7	877	232	799	211	1,1 %	0,3 %	91 %	91 %	MD11 C17																																																																																																																																																																																				
	S3_M320_T4_N7			78	21			9 %	9 %																																																																																																																																																																																					
S 6.3	S3_M320_T4_N7	134	124	132	122	0,2 %	0,2 %	99 %	99 %	A343 A346																																																																																																																																																																																				
	S3_M500_T4_NX			2	2			1 %	1 %																																																																																																																																																																																					
S 7	S3_M500_T4_N7	1.159	2.346	598	587	1,5 %	2,9 %	52 %	25 %	A124, B744 B748																																																																																																																																																																																				
	S3_M500_T4_NX			561	1.759			48 %	75 %																																																																																																																																																																																					
S 8	S3_MXXX_T4_NX	1	2	1	2	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	A388																																																																																																																																																																																				
Summe:		78.830	81.190	78.830	81.190	100,0 %	100,0 %																																																																																																																																																																																							

Die für das Prognoseszenario 2030 entwickelten Mengengerüste der Flugbewegungen nach AzB-2008 und AzB-ND sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 11: Flugbewegungen EDDK Prognoseszenario 2030 (AzB-2008)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008, Daten für Mai bis Oktober 2030

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P 2.1	713	1.357	2.070	806	1.264	2.070	1.519	2.621	4.140
P 2.2	0	29	29	0	29	29	0	58	58
S 3.2	3	0	3	3	0	3	6	0	6
S 5.1	2.425	227	2.652	2.547	105	2.652	4.972	332	5.304
S 5.2	21.173	6.915	28.088	24.016	4.072	28.088	45.189	10.987	56.176
S 6.1	2.185	4.216	6.401	2.093	4.308	6.401	4.278	8.524	12.802
S 6.2	96	20	116	76	40	116	172	60	232
S 6.3	58	4	62	55	7	62	113	11	124
S 7	886	287	1.173	508	665	1.173	1.394	952	2.346
S 8	1	0	1	1	0	1	2	0	2
Summe:	27.540	13.055	40.595	30.105	10.490	40.595	57.645	23.545	81.190

Tabelle 12: Flugbewegungen EDDK Prognoseszenario 2030 (AzB-ND)⁹

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2030

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
PO_MXXX_TU	0	15	15	0	15	15	0	29	29
P3_M015_TU	22	40	62	24	38	62	46	78	124
P3_MXXX_TU	691	1.331	2.022	782	1.241	2.022	1.473	2.572	4.045
S3_M020_TU_NU	1.625	152	1.777	1.707	70	1.777	3.331	223	3.554
S3_M050_TU_N7	801	75	875	840	35	875	1.641	110	1.750
S3_M070_TU_N7	635	207	843	720	122	843	1.356	329	1.685
S3_M070_TU_NX	635	207	843	720	122	843	1.356	329	1.685
S3_M130_T2_N7	9.951	3.250	13.201	11.287	1.914	13.201	21.238	5.164	26.403
S3_M130_T2_NX	9.951	3.250	13.201	11.287	1.914	13.201	21.238	5.164	26.403
S3_M220_T2_N7	1.420	2.741	4.161	1.361	2.799	4.161	2.781	5.540	8.321
S3_M220_T4_N7	3	0	3	3	0	3	6	0	6
S3_M320_T2_N7	328	632	960	314	646	960	642	1.278	1.920
S3_M320_T3_N7	87	19	106	69	36	106	156	55	211
S3_M320_T4_N7	57	4	61	54	7	61	112	11	123
S3_M320_T2_NX	219	421	640	210	430	640	429	852	1.280
S3_M500_T2_NX	219	421	640	210	430	640	429	852	1.280
S3_M500_T4_N7	230	73	304	134	170	304	365	243	607
S3_M500_T4_NX	665	215	880	381	499	880	1.046	714	1.761
S3_MXXX_T4_NX	1	0	1	1	0	1	2	0	2
Summe:	27.541	13.054	40.595	30.106	10.489	40.595	57.647	23.543	81.190

⁹ Die Zahlen werden gerundet dargestellt.

3.3.3 Flughafen Leipzig/Halle

3.3.3.1 Ist-Szenario 2019

Die Flugbewegungsdaten des Ist-Szenarios 2019 für den Flughafen Leipzig/Halle wurden nach dem oben beschriebenen Verfahren aus den FANOMOS-Flugspurdaten der DFS erzeugt. Beide DES für AzB-2008 und AzB-ND enthalten 38.640 Flugbewegungen des Zeitraums Mai bis Oktober 2019.

Aus den FANOMOS-Daten konnten ca. 92,3 % der vom Flughafenverband ADV für diesen Zeitraum gezählten 41.875 Flugbewegungen in die DES übernommen werden. Die Differenz der nicht erfassten Flugbewegungen ist hauptsächlich durch in Leipzig/Halle beobachtete VFR-Flugbewegungen mit Kleinflugzeugen und Hubschraubern zu erklären, die für das erwartete Rechenergebnis im Sinne dieser Studie keine Rolle spielen.

Der ADV-Statistik zufolge machen die Flugbewegungen der Monate Mai bis Oktober 2019 ca. 53 % der Jahresflugbewegungen aus.

Die erzeugten Mengengerüste der Flugbewegungen für die 6vM 2019 sind für AzB-2008 und AzB-ND in Tabelle 13 und Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 13: Flugbewegungen EDDP Ist-Szenario 2019 (AzB-2008)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008, Daten für Mai bis Oktober 2019

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P 2.1	822	51	873	831	39	870	1.653	90	1.743
P 2.2	115	8	123	111	11	122	226	19	245
S 3.2	91	9	100	55	44	99	146	53	199
S 5.1	1.328	191	1.519	1.501	31	1.532	2.829	222	3.051
S 5.2	4.999	5.610	10.609	5.226	5.356	10.582	10.225	10.966	21.191
S 5.3	56	0	56	54	2	56	110	2	112
S 6.1	983	4.309	5.292	1.535	3.739	5.274	2.518	8.048	10.566
S 6.3	1	0	1	1	0	1	2	0	2
S 7	682	83	765	571	195	766	1.253	278	1.531
Summe:	9.077	10.261	19.338	9.885	9.417	19.302	18.962	19.678	38.640

Tabelle 14: Flugbewegungen EDDP Ist-Szenario 2019 (AzB-ND)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2019

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
PO_MXXX_TU	114	4	118	106	10	116	220	14	234
P3_M015_TU	75	38	113	82	30	112	157	68	225
P3_MXXX_TU	748	17	765	754	10	764	1.502	27	1.529
S3_M020_TU_NU	445	30	475	482	25	507	927	55	982
S3_M050_TU_N7	883	161	1.044	1.019	6	1.025	1.902	167	2.069
S3_M070_TU_N7	718	1.330	2.048	712	1.314	2.026	1.430	2.644	4.074
S3_M070_TU_NX	86	0	86	85	0	85	171	0	171
S3_M100_TU_N2	56	0	56	54	2	56	110	2	112
S3_M130_T2_N7	4.037	4.267	8.304	4.255	4.040	8.295	8.292	8.307	16.599
S3_M130_T2_NX	182	19	201	201	5	206	383	24	407
S3_M220_T2_N7	224	3.165	3.389	268	3.109	3.377	492	6.274	6.766
S3_M220_T4_N7	91	9	100	55	44	99	146	53	199
S3_M320_T2_N7	108	498	606	109	495	604	217	993	1.210
S3_M320_T4_N7	1	0	1	1	0	1	2	0	2
S3_M500_T2_NX	627	640	1.267	1.131	132	1.263	1.758	772	2.530
S3_M500_T4_N7	559	68	627	470	158	628	1.029	226	1.255
S3_M500_T4_NX	123	15	138	101	37	138	224	52	276
Summe:	9.077	10.261	19.338	9.885	9.417	19.302	18.962	19.678	38.640

3.3.3.2 Prognoseszenario 2030

Die für das Szenario 2030 angenommenen Verkehrsmengen für den Flughafen Leipzig/Halle (EDDP) basieren auf einer von der Firma Intraplan Consult GmbH für das Jahr 2032 erstellten Luftverkehrsprognose [13]. Da alle Prognoseszenarien auf das Jahr 2030 bezogen werden sollten, wurden die für 2032 prognostizierten Flugbewegungen – unter Annahme eines konstanten Wachstums bis zum Prognosehorizont – auf Werte für das Jahr 2030 herunterskaliert.

Aussagen zur Flottenzusammensetzung waren im Prognosegutachten für 2032 nur begrenzt beschrieben. Über die o. a. allgemeinen Prognosen zur Flottenzusammensetzung hinaus wurden daher von den Autoren zusätzlich Angaben des Flughafens Leipzig/Halle sowie eigene Recherchen auf Basis öffentlich verfügbarer Informationen ausgewertet.

In der folgenden Tabelle sind die Feststellungen und Annahmen für einzelne Gruppen nach AzB-2008 kurz zusammengefasst:

Tabelle 15: Annahmen zur Flottenentwicklung EDDP bis 2030

Darstellung wesentlicher Entwicklungen je LFZ-Gruppe der AzB-2008

LFZ-Gruppe	Feststellungen und Annahmen zur Flottenentwicklung
S 5.2	<p>In der Entwicklung bis 2030 wird erwartet, dass die Zahl der Luftfahrzeuge der Baureihe Airbus A220 und Embraer E290/E295 als Nachfolger der heutigen Baureihen Embraer E190/195 zunehmen wird. Diese Erwartung beruht darauf, dass am Flughafen Leipzig/Halle die Fluggesellschaften Swiss, Austrian Airlines (AUA) und Deutsche Lufthansa der Lufthansa Gruppe (DLH) den größten Anteil an den E190/195 Flugbewegungen stellen. Dabei hat Swiss bereits entschieden und begonnen, auf den A220 umzusteigen, bei Austrian Airlines und Deutsche Lufthansa ist diese Entscheidung noch nicht gefallen [20][21][22][31].</p> <p>Luftfahrzeuge der Baureihe Boeing B757, hier die B757-200 (B752) und in der Gruppe S 6.1 die B757-300 (B753), waren im Zeitraum Mai bis Oktober 2019 am Flughafen Leipzig/Halle stark vertreten. In der Luftverkehrsprognose 2032 wird davon ausgegangen, dass die B757 als Frachter in Leipzig/Halle nicht mehr eingesetzt wird. Der Flughafen selbst stellt fest, dass die Zahl der B757 abnehmend erwartet wird. Mit ca. 7.400 von etwas mehr als 7.500 Flugbewegungen mit B757 in Mai bis Oktober 2019 wird der bestimmende Anteil der B757 am Flughafen Leipzig/Halle durch die Fluggesellschaft European Air Transport (EAT) mit B752 gestellt. EAT ist eine Tochtergesellschaft der Deutsche Post AG und betreibt alle Luftfahrzeuge für DHL Aviation. DHL hat einen Umbauftrag von Luftfahrzeugen der Baureihe Airbus A330 zu Frachtern erteilt und hat auch schon die ersten in Nutzung [23]. Die Annahme des Ersatzes der B752 durch A330 Frachter wird auch gestützt durch die Luftverkehrsprognose 2032, in der im Frachtbereich die Luftfahrzeugmuster Boeing B777 und B767 sowie Airbus A330 als „Zukunftsflotte“ bezeichnet werden [13]. Hinsichtlich der Zukunft der B767 nach 2028 ist die ICAO Beschlusslage zum CO₂-Standard von Bedeutung [29] [30].</p>
S 6.1	<p>Die Prognose zur Verkehrsmenge 2032 sieht für diese Gruppe deutlich mehr als eine Verdoppelung voraus. Anzunehmen sind Zuwächse bei den A330 und bei den Luftfahrzeugen der Baureihe Boeing B777 (Stichwort „Zukunftsflotte“). Die Masse der Flugbewegungen der B777 ist Aerologic zuzurechnen. Diese Airline ist ein Joint Venture von DHL und Lufthansa Cargo. Bei Lufthansa Cargo ist die B777 das bestimmende Luftfahrzeug. [25]</p> <p>Heute operieren am Flughafen Leipzig/Halle zahlreiche Frachter der Baureihe Airbus A300/600. In der Luftverkehrsprognose 2032 von Intraplan werden sie für 2032 als vollständig ersetzt angenommen, der Flughafen Leipzig/Halle nimmt die Zahl der A300/600 nur als rückläufig an und erwartet, dass sie durch A330 Frachter ersetzt werden. Auch hier wurde die „Zukunftsflotte“ aus der Luftverkehrsprognose 2032 in den Annahmen berücksichtigt [23] [13] [32].</p> <p>In der Luftverkehrsprognose 2032 für den Flughafen Leipzig/Halle sind in der „Zukunftsflotte“ der Frachter keine Luftfahrzeuge der Baureihen Airbus A350 und Boeing B787 vorgesehen. Ein Frachter auf Basis des A350 wird von Airbus gebaut und auch vor 2030 ausgeliefert werden. Ein Frachter auf Basis der B787 ist bisher von Boeing noch nicht beschlossen. Es ist möglich, dass wegen der Vorgaben zum CO₂-Standard der ICAO die Produktion der B767 vollständig eingestellt wird. Das könnte eine positive Entscheidung der Firma Boeing zum Bau eines Boeing 787 (B787) Frachters entscheidend beeinflussen [29] [30][33].</p>
S 7	<p>Die Gruppe S 7 erfährt in der Luftverkehrsprognose 2032 eine Steigerung um ca. 150 %. Die Gruppe wird bisher dominiert von Luftfahrzeugen der Baureihe Boeing B747-400 (B744) mit 1.095 Flugbewegungen von Mai bis Oktober 2019 gegen 276 der Baureihe Boeing B747-800 (B748). Für 2030 wird von den Autoren auch für EDDP ausgegangen, dass sich das zugunsten der B748 verschieben wird. Dies entspricht dem Trend auch an den Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt/Main [24] [13] [14].</p>

Mit den oben dargestellten Annahmen wurde für das Mengengerüst der Flugbewegungen der 6vM 2030 der Anteil der Flugbewegungen einer LFZ-Gruppe nach AzB-ND an den Flugbewegungen einer Gruppe nach AzB-2008 geschätzt. Anpassungen gegenüber 2019 wurden hier bei den Gruppen S 5.2, S 6.1, S 6.3 und S 7 vorgenommen.

Der Anteil aller Flugbewegungen einer Gruppe nach AzB-2008 an den Gesamtflugbewegungen wurde aus der INTRAPLAN-Prognose übernommen.

Statistische Daten zur sog. Sigma-Regelung konnten für die Jahre 2009 bis 2018 einem vom UBA bereitgestellten DES für den Flughafen Leipzig/Halle [12] entnommen werden.

Das resultierende Mengengerüst für das Prognoseszenario ist, zusammen mit den geschätzten Werten für die anteilige Zerlegung der Verkehrsmengen, in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Flottenzusammensetzung EDDP Ist-Szenario 2019 und Prognoseszenario 2030

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008 und AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2019 bzw. 2030

Luftfahrzeuggruppe		Anzahl AzB-2008-Gruppe		Anzahl AzB-ND-Gruppe		Anteil AzB-2008-Gruppe (%)		Anteil AzB-ND-Gruppe (%)		Exemplarische Luftfahrzeugtypen (ICAO ATD nach Doc 8643)
AzB-2008	AzB-ND	2019	2030	2019	2030	2019	2030	2019	2030	
P 2.1	P0_MXXX_TU			1	0			0 %	0 %	M28
	P3_M015_TU	1.743	3.348	225	435	4,5 %	6,2 %	13 %	13 %	D328, SF34, SW4
	P3_MXXX_TU			1.517	2.913			87 %	87 %	DH8D, AT43, AT72
P 2.2	P0_MXXX_TU	245	0	233	0	0,6 %	0,0 %	95 %	95 %	AN12
	P3_MXXX_TU			12	0			5 %	5 %	AN26
S 3.2	S3_M220_T4_N7	199	148	199	148	0,5 %	0,3 %	100 %	100 %	IL76
S 5.1	S3_M020_TU_NU	3.051	3.634	982	1.163	7,9 %	6,7 %	32 %	32 %	C25A, C525, C56X
	S3_M050_TU_N7			2.069	2.471			68 %	68 %	CRJ9, RJ85, CRJX
S 5.2	S3_M070_TU_N7			4.074	2.497			19 %	13 %	B734, E190
	S3_M070_TU_NX			171	1.345			1 %	7 %	BCS1, BCS3, [E290, E295]
	S3_M130_T2_N7	21.191	19.212	16.539	7.685	54,8 %	35,5 %	78 %	40 %	A320, A321, B738, B752
	S3_M130_T2_NX			407	7.685			2 %	40 %	A20N, A21N, [B37M, B38M, B39M]
S 5.3	S3_M100_TU_N2	112	106	112	106	0,3 %	0,2 %	100 %	100 %	MD82
S 6.1	S3_M130_T2_N7			60	0			1 %	0 %	B753
	S3_M220_T2_N7			6.766	9.442			64 %	40 %	A306, A310, B762, B763
	S3_M320_T2_N7	10.566	23.606	1.210	4.721	27,3 %	43,7 %	11 %	20 %	A332, A333
	S3_M320_T2_NX			0	2.361			0 %	10 %	[A338, A339, A359, B789]
	S3_M500_T2_NX			2.530	7.082			24 %	30 %	B77L
S 6.3	S3_M320_T4_N7	2	326	2	163	0,0 %	0,6 %	100 %	50 %	A343
	S3_M500_T4_NX			0	163			0 %	50 %	[A346]
S 7	S3_M500_T4_N7	1.531	3.694	1.255	924	4,0 %	6,8 %	82 %	25 %	A124, B744
	S3_M500_T4_NX			276	2.770			18 %	75 %	B748
S8	S3_MXXX_T4_NX	0	4	0	4	0,0 %	0,0 %	100 %	100 %	A388
Summe:		38.640	54.078	38.640	54.078	100,0 %	100,0 %			

Quellen: OTSD GmbH, Verkehrsmengen 2030 aus INTRAPLAN-Prognose, Seite 84 (angepasst, sodass Starts = Landungen pro Gruppe)

Die für das Prognoseszenario 2030 entwickelten Mengengerüste der Flugbewegungen nach AzB-2008 und AzB-ND sind in Tabelle 17 und Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 17: Flugbewegungen EDDP Prognoseszenario 2030 (AzB-2008)

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-2008, Daten für Mai bis Oktober 2030

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P 2.1	1.565	109	1.674	1.521	153	1.674	3.086	262	3.348
S 3.2	67	7	74	67	7	74	134	14	148
S 5.1	1.794	23	1.817	1.807	10	1.817	3.601	33	3.634
S 5.2	6.036	3.570	9.606	5.888	3.718	9.606	11.924	7.288	19.212
S 5.3	53	0	53	53	0	53	106	0	106
S 6.1	3.689	8.114	11.803	4.385	7.418	11.803	8.074	15.532	23.606
S 6.3	153	10	163	158	5	163	311	15	326
S 7	1.237	610	1.847	1.154	693	1.847	2.391	1.303	3.694
S 8	2	0	2	1	1	2	3	1	4
Summe:	14.596	12.443	27.039	15.034	12.005	27.039	29.630	24.448	54.078

Tabelle 18: Flugbewegungen EDDP Prognoseszenario 2030 (AzB-ND)¹⁰

Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND, Daten für Mai bis Oktober 2030

LFZ-Gruppe	Anflüge			Abflüge			Gesamt		
	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe	Tag	Nacht	Summe
P3_M015_TU	203	14	218	198	20	218	401	34	435
P3_MXXX_TU	1.362	95	1.456	1.323	133	1.456	2.685	228	2.913
S3_M020_TU_NU	574	7	581	578	3	581	1.152	11	1.163
S3_M050_TU_N7	1.220	16	1.236	1.229	7	1.236	2.449	22	2.471
S3_M070_TU_N7	785	464	1.249	765	484	1.249	1.550	948	2.498
S3_M070_TU_NX	423	250	672	413	260	672	835	509	1.345
S3_M100_TU_N2	53	0	53	53	0	53	106	0	106
S3_M130_T2_N7	2.414	1.428	3.842	2.355	1.487	3.842	4.769	2.915	7.685
S3_M130_T2_NX	2.414	1.428	3.842	2.355	1.487	3.842	4.769	2.915	7.685
S3_M220_T2_N7	1.476	3.246	4.721	1.755	2.967	4.721	3.230	6.212	9.442
S3_M220_T4_N7	67	7	74	67	7	74	134	14	148
S3_M320_T2_N7	738	1.623	2.361	877	1.483	2.361	1.615	3.106	4.721
S3_M320_T4_N7	76	5	82	78	3	82	155	8	163
S3_M320_T2_NX	369	812	1.180	439	742	1.180	807	1.553	2.361
S3_M500_T2_NX	1.107	2.434	3.541	1.316	2.225	3.541	2.422	4.660	7.082
S3_M500_T4_N7	309	153	462	288	174	462	598	326	924
S3_M500_T4_NX	1.004	463	1.467	944	523	1.467	1.948	985	2.933
S3_MXXX_T4_NX	2	0	2	1	1	2	3	1	4
Summe:	14.596	12.444	27.039	15.034	12.005	27.039	29.629	24.449	54.078

¹⁰ Die Zahlen werden gerundet dargestellt.

4 Fluglärmrechnungen nach AzB

Fluglärmrechnungen wurden für insgesamt 12 Szenarien bzw. Rechenmodelle durchgeführt, die nach den folgenden Kriterien zu unterscheiden sind:

- ▶ Betrachteter Flugplatz (EDDF, EDDK, EDDP),
- ▶ Verkehrsszenario (Ist-Szenario 2019 oder Prognoseszenario 2030),
- ▶ Datengrundlage der Luftfahrzeugklassen (AzB-2008 oder AzB-ND).

Für die Berechnungen kam das von OTSD entwickelte und vom UBA validierte Fluglärmrechnungssystem AirTRACS Acoustics zum Einsatz, das u. a. für Berechnungen nach AzB-2008 entwickelt wurde.

4.1 Grundlegende Vorgehensweise

Aus den DES-Flugstreckenmodellen (siehe Kapitel 2) und den für die verschiedenen Verkehrsszenarien ermittelten Flugbewegungszahlen (siehe Kapitel 3) wurde für jedes Szenario ein vollständiges DES in Form eines QSI-Projektes nach DIN 45687 [8] erstellt. Für DES-Modelle mit Flugbewegungsdaten der AzB-ND wurden in der Tabelle „Flugzahlen“ die Bezeichnungen der Klassen aus der überarbeiteten Datengrundlage verwendet und das Spaltenformat für „CLASS_ID“ aufgrund der längeren Klassenbezeichnungen auf 20 Zeichen (C20) geändert (vgl. [8] Abschnitt 5.3.1.4). Diese für die Datenübertragung erforderliche Änderung des Datenformates wurde im Vorfeld mit anderen Herstellern von Fluglärmrechnungssystemen abgestimmt und ebenso bereits für DES angewendet, die bei der EU-Umgebungslärmkartierung 2022 verwendet wurden.

Die QSI-Projektdateien wurden in die OTSD-Software AirTRACS Acoustics eingelesen und nach AzB berechnet. Die Software unterstützt akustische Klassendaten mit Angaben zu Oktavpegeln (O_n , wie in der AzB-2008) sowie Schalleistungspegeln ($L_{W,n}$, wie in der AzB-ND), sodass die Klassendaten der AzB-ND direkt verwendet werden konnten. Die Übertragung der Klassendaten der AzB-ND in die Software erfolgte über eine im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) entwickelte XML-Schnittstelle, deren Veröffentlichung voraussichtlich Ende 2023 in einem zweiten Teil der Norm DIN 45689 [6] erfolgen wird.

Die Luftfahrzeugklassendaten für Landungen („L-Klassen“) der AzB-ND enthalten im Vergleich zu den Klassendaten der AzB-2008 eine zusätzliche Variable (γ_{0D}), die einen zweiten Sinkwinkel vor dem Erreichen des sogenannten Zwischenanflugs beschreibt.

Für die Berechnungen wurde zusätzlich ein digitales Geländemodell verwendet (siehe Abschnitt 7.2.8 der AzB). Hierfür kam das Digitale Geländemodell (DGM) des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie (BKG) mit einer Gitterweite von 50 Metern (DGM50) zum Einsatz [46]. Für die Flughäfen Frankfurt/Main und Köln/Bonn wurde die UTM-Abbildung in Zone 32 und für Leipzig/Halle die UTM-Abbildung in Zone 33 verwendet.

Die Berechnungen nach AzB erfordern eine große Rechenleistung bzw. Rechenzeit und wurden daher auf mehreren Server-Systemen mit jeweils 32 Prozessorkernen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zunächst als Raster ausgegeben. Als Zellgröße für diese Raster wurde einheitlich für alle Szenarien 250 mal 250 Meter gewählt. Damit konnte der Zeitaufwand für die Berechnungen in einem für den Projektplan des Vorhabens akzeptablen Maß gehalten werden. Der Detailgrad der ErgebnISRaster wurde in Abstimmung mit dem UBA für den Zweck des Vorhabens als ausreichend beurteilt. Für jeden Flugplatz wurde die zu berechnende Fläche und

damit die Größe der Ergebnisraaster jeweils so angepasst, dass für jede Kennzahl die in der Leistungsbeschreibung des Vorhabens geforderten Wertebereiche abgedeckt werden konnten.

Die berechneten Ergebnisraaster wurden anschließend benutzt, um Isolinien und Differenzraaster zu bestimmen, die für die graphische Darstellung benötigt wurden. Zusätzliche wurden für vom UBA ausgewählte Isolinien der Prognoseszenarien die Anzahl der betroffenen Personen und der Flächeninhalt bestimmt. Diese Werte wurden schließlich auf gleiche Weise für Konturen des aktuell festgesetzten Lärmschutzbereiches ermittelt und verglichen.

4.2 Ermittelte Kennzahlen

Für jedes Szenario wurden Rasterberechnungen mit einer Zellgröße von 250 mal 250 Metern für die Kennzahlen LEQ (Tag), LEQ (Nacht) und AWR (Nacht) durchgeführt. Für die Prognoseszenarien wurde zusätzlich die Kennzahl NAT (Nacht) berechnet.

Als LEQ wird im Folgenden der äquivalente Dauerschallpegel (L_{pAeq}^* bzw. L_{pAeq}) nach den Formeln (1) bis (4) im Abschnitt 3.1 der AzB [3] bezeichnet. Die mit einem Stern versehenen Bezeichnungen (z. B. LEQ*) beziehen sich auf die Berechnung des „unkorrigierten Wertes“ (ohne Anwendung der sog. Sigma-Regelung nach AzB Abschnitt 3.3) für die Ist-Szenarien. Für alle Prognoseszenarien war eine Berechnung mit Sigma-Regelung gefordert. Für diese „korrigierten Werte“ werden Bezeichnungen der Kenngrößen ohne Stern verwendet.

Als NAT („number above threshold“) wird die Anzahl der Überschreitungen eines Schwellenwerts des AS-bewerteten Maximalschalldruckpegels $L_{pAS,max}$ nach der Formel (54) bzw. (57) im Abschnitt 7.5.2 der AzB [3] bezeichnet.

Die Berechnung der Kennzahl für die Anzahl der nächtlichen Aufwachreaktionen (AWR) basiert auf einer Studie des DLR (vgl. [5]). Die Studie beschreibt eine Dosis-Wirkungsbeziehung, die auf den in Innenräumen gemessenen Maximalpegeln beruht. Für die rechnerische Ermittlung dieser Kenngröße im Rahmen dieses Vorhabens wurde der nach AzB berechnete maximale (Außen-) Pegel ($L_{pAS,max}$) herangezogen und eine Differenz von 15 dB zwischen Außen- und Innenpegel unterstellt („gekipptes Fenster“). Die Anzahl der AWR kann damit nach den Formeln (2) bis (5) in [5] berechnet werden.

Die AWR-Berechnung wurde für dieses Vorhaben im System AirTRACS Acoustics zusätzlich implementiert und getestet (siehe Anhang A). Die Umsetzung erfolgte analog zu dem in der AzB formulierten NAT-Kriterium auf Basis einer berechneten Maximalpegelhäufigkeitsverteilung (vgl. Abschnitt 7.5 der AzB). Für die Kenngröße AWR wird wiederum AWR* für unkorrigierte Werte und AWR für korrigierte Werte benutzt.

Für jeden Flugplatz wurden folgende Kenngrößen bzw. Ergebnisraaster berechnet:

- ▶ AWR* (Nacht) nach AzB-2008 für 2019,
- ▶ AWR* (Nacht) nach AzB-ND für 2019,
- ▶ AWR (Nacht) nach AzB-2008 für 2030,
- ▶ AWR (Nacht) nach AzB-ND für 2030,
- ▶ LEQ* (Tag) nach AzB-2008 für 2019,
- ▶ LEQ* (Tag) nach AzB-ND für 2019,
- ▶ LEQ (Tag) nach AzB-2008 für 2030,

- ▶ LEQ (Tag) nach AzB-ND für 2030,
- ▶ LEQ* (Nacht) nach AzB-2008 für 2019,
- ▶ LEQ* (Nacht) nach AzB-ND für 2019,
- ▶ LEQ (Nacht) nach AzB-2008 für 2030,
- ▶ LEQ (Nacht) nach AzB-ND für 2030,
- ▶ NAT (Nacht) nach AzB-2008 für 2030,
- ▶ NAT (Nacht) nach AzB-ND für 2030.

Aus den Ergebnisrastern wurden gemäß Leistungsbeschreibung des Vorhabens Isolinien für folgende Wertebereiche bestimmt:

- ▶ AWR: 0,2 bis 1,0 AWR mit einer Schrittweite von 0,1 AWR,
- ▶ LEQ (Tag) bzw. LEQ* (Tag): 50 dB(A) bis 70 dB(A) mit einer Schrittweite von 1 dB(A),
- ▶ LEQ (Nacht) bzw. LEQ* (Nacht): 45 dB(A) bis 60 dB(A) mit einer Schrittweite von 1 dB(A) und
- ▶ LEQ + NAT (Nacht): Vereinigung der Isolinien für LEQ (EDDF: 50 dB(A), EDDK und EDDP: 55 dB(A)) und NAT (EDDF: 6x68 dB(A), EDDK und EDDP: 6x72 dB(A)).

Auf Basis der Raster für LEQ bzw. LEQ* wurden Differenzraster (AzB-ND minus AzB-2008) berechnet, um die Differenz zwischen den Ergebnissen nach neuer und aktueller Datengrundlage zu erhalten:

- ▶ LEQ*-Differenz (Tag) 2019,
- ▶ LEQ-Differenz (Tag) 2030,
- ▶ LEQ*-Differenz (Nacht) 2019,
- ▶ LEQ-Differenz (Nacht) 2030.

Für die in der Leistungsbeschreibung des Vorhabens geforderte exemplarische Bestimmung der betroffenen Personen bzw. Flächen sollten Isolinien durch das UBA ausgewählt werden. In Absprache mit dem UBA wurde entschieden, die jeweils zu den Konturen der nach AzB-2008 berechneten Tag- und Nacht-Schutzzone des aktuellen Lärmschutzbereiches (LSB) passenden Isolinien der nach AzB-ND berechneten Prognoseszenarien zu wählen.

Für den Lärmschutzbereich am Flughafen Frankfurt/Main wurden die im Fluglärmgesetz [1] für „neue oder wesentlich baulich erweiterte“ zivile Flugplätze angegebenen Isolinien verwendet:

- ▶ LEQ (Tag) 60 dB(A) als Kenngröße für die Festlegung der Tag-Schutzzone 1,
- ▶ LEQ (Tag) 55 dB(A) als Kenngröße für die Festlegung der Tag-Schutzzone 2 und
- ▶ LEQ (Nacht) 50 dB(A) als Kenngröße für die Festlegung der Nacht-Schutzzone, sowie
- ▶ NAT (Nacht) 6x68 dB(A) als zusätzliche Kenngröße für die Festlegung der Nacht-Schutzzone.

Die Flugplätze Köln/Bonn und Leipzig/Halle gelten als „bestehende zivile Flugplätze“ (vgl. [1]). Es wurden daher folgende Isolinien gewählt:

- ▶ LEQ (Tag) 65 dB(A) als Kenngröße für die Festlegung der Tag-Schutzzone 1,
- ▶ LEQ (Tag) 60 dB(A) als Kenngröße für die Festlegung der Tag-Schutzzone 2 und
- ▶ LEQ (Nacht) 55 dB(A) als Kenngröße für die Festlegung der Nacht-Schutzzone, sowie
- ▶ NAT (Nacht) 6x72 dB(A) als zusätzliche Kenngröße für die Festlegung der Nacht-Schutzzone.

Die Nacht-Schutzzone der nach AzB-2008 berechneten Lärmschutzbereiche entsteht durch Verschmelzung der auf den Kennzahlen LEQ und NAT basierenden Isolinien (vgl. Kapitel 8 der AzB). Für den Vergleich wurde die Kontur der Nacht-Schutzzone des LSB mit einer auf dieselbe Art und Weise ermittelten Kontur LEQ+NAT verglichen.

Die für die Ermittlung der betroffenen Personen verwendeten Einwohnerdaten [47] wurden jeweils in ein Raster mit einer Zellgröße von 50 mal 50 Metern umgewandelt. Der Einwohnerwert einer Zelle wurde dann zum Bereich einer Isolinie dazugezählt, wenn sich der Mittelpunkt der Rasterzelle innerhalb der betrachteten Kontur befand. Die Berechnung des Flächeninhalts der Konturen basiert auf den UTM-Koordinaten und wird in Quadratmetern bzw. Quadratkilometern angegeben.

4.3 Darstellung der Ergebnisse

Für jeden Flugplatz wurden zehn georeferenzierte Kartendarstellungen im Format DIN A3 erstellt, fünf Karten für das Ist-Szenario 2019 und fünf Karten für das Prognoseszenario 2030. Die Darstellungen enthalten immer die Ergebnisse nach AzB-2008 und AzB-ND. Für beide Verkehrsszenarien wurden jeweils folgende Karten erstellt:

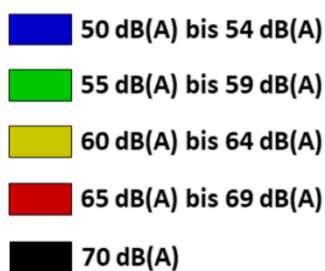
- ▶ Darstellung von Isolinien mit topographischer Karte [48] im Hintergrund für
 - LEQ (Tag) bzw. LEQ* (Tag) von 50 dB(A) bis 70 dB(A) mit einer Schrittweite von 1 dB(A), einschließlich der bestehenden Tag-Schutzzonen 1 und 2 des nach AzB-2008 festgelegten Lärmschutzbereichs für die Prognoseszenarien,
 - LEQ (Nacht) bzw. LEQ* (Nacht) von 45 dB(A) bis 60 dB(A) mit einer Schrittweite von 1 dB(A), einschließlich der bestehenden Nacht-Schutzzone des nach AzB-2008 festgelegten Lärmschutzbereichs sowie einer berechneten Isolinie für LEQ+NAT für die Prognoseszenarien,
 - AWR (Nacht) bzw. AWR* (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR mit einer Schrittweite von 0,1 AWR.
- ▶ Differenzkarten als Rasterdarstellung inkl. der oben genannten Isolinien für
 - LEQ (Tag) bzw. LEQ* (Tag)
 - LEQ (Nacht) bzw. LEQ* (Nacht)

Der Maßstab wurde für jede Karte individuell gewählt, um die berechneten Konturen jeweils vollständig darstellen zu können. Eine Legende am rechten unteren Blattrand enthält Angaben zum dargestellten Szenario, den ermittelten Kennzahlen sowie Erklärungen zur Visualisierung, und eine Maßstabsangabe.

Isolinien, die durch Berechnungen nach AzB-ND entstanden sind, werden als durchgezogene Linien gezeichnet, Isolinien nach AzB-2008 dagegen als gestrichelte Linien. Bei der Berechnung ergeben sich teilweise Enklaven oder Exklaven für die verschiedenen Konturen, weil in diesem Vorhaben mit einer relativ großen Rasterweite von 250 m x 250 m gerechnet wurde. In diesen Fällen werden je nach betrachtetem Pegel- oder AWR-Wert mehrere Isolinien in derselben Farbe dargestellt.

Für die Darstellungen mit Kartenhintergrund werden die Isolinien je nach maßgeblichem Pegel- bzw. AWR-Wert in verschiedenen Farben gezeichnet. Die Zuordnung von Farben zu den Werten ist in der Legende erklärt. Die für die Zeitbereiche Tag und Nacht (nach AzB) verwendeten Farben sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt. In den Differenzkarten sind die Isolinien generell einfarbig in schwarz gezeichnet.

Abbildung 13: Verwendete Farben für die Darstellung von Isolinien (Tag)



Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 14: Verwendete Farben für die Darstellung von Isolinien (Nacht)

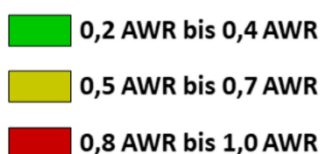


Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Neben den in Abbildung 14 gezeigten Farben wird für die Darstellung der LEQ+NAT-Isolinien in den Kartendarstellungen für die Nacht des Prognoseszenarios die Farbe Blau verwendet.

Die Darstellungen der auf die Kennzahl AWR bzw. AWR* bezogenen Isolinien verwenden die Farben Grün, Gelb und Rot zur Unterscheidung der Wertebereiche 0,2 bis 0,4, 0,5 bis 0,7 und 0,8 bis 1,0 (siehe Abbildung 15).

Abbildung 15: Verwendete Farben für die Darstellung von Isolinien (AWR)

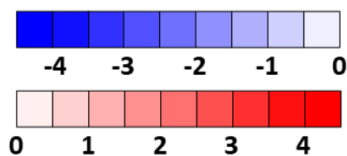


Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Als Kartenmaterial für die Hintergrundkarten wird die Digitale Topografische Karte im Maßstab 1 : 50 000 (DTK50) des BKG verwendet [48]. Für die Flugplätze Frankfurt/Main und Köln/Bonn wird auch hier die UTM-Abbildung in Zone 32 und für Leipzig/Halle die UTM-Abbildung in Zone 33 verwendet. Die Hintergrundkarte wird in Grautönen dargestellt und ihre Bildauflösung wurde deutlich reduziert, um den Speicherbedarf der erzeugten PDF-Dateien in einem für ein Download-Angebot akzeptablen Bereich zu halten.

Die Differenzraster wurden so dargestellt, dass Bereiche mit negativen Werten in Blautönen und Bereiche mit positiven Werten in Rottönen markiert sind. Je höher der Differenzbetrag ist, desto kräftiger ist der Farbton. In der Legende für die Differenzkarten ist eine Farbskala mit einem Wertebereich von (-4) bis 4 dB(A) mit einer Schrittweite von 0,5 dB(A) angegeben. Die Differenzkarten zeigen die Differenz der nach AzB-ND und AzB-2008 ermittelten Pegelwerte (AzB-ND minus AzB-2008). Blaue Bereiche zeigen demnach „leisere“ Orte, an denen im Vergleich zur AzB-2008 kleinere Pegel nach AzB-ND berechnet wurden. Rote Bereiche kennzeichnen analog „lautere“ Orte, an denen nach AzB-ND größere Pegelwerte berechnet wurden.

Abbildung 16: Verwendete Farben für die Darstellung von Pegeldifferenzen



Angaben für Pegeldifferenzen AzB-ND minus AzB-2008 in dB(A).

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Bei den Karten für LEQ (Tag) und LEQ (Nacht) des Prognoseszenarios werden zusätzlich die jeweils relevanten Konturen des aktuell festgesetzten Lärmschutzbereiches zum Vergleich dargestellt (nicht bei den Differenzkarten). Für die Darstellung des LEQ (Tag) sind die Tag-Schutzzonen 1 und 2 enthalten. Die Karte für LEQ (Nacht) enthält die Nacht-Schutzzone und zusätzlich die Isolinien für LEQ+NAT nach AzB-2008 und AzB-ND.

Einzelne Elemente der Darstellungen lassen sich als Ebenen (Layer) im PDF-Anzeigeprogramm aus- und wieder einblenden. Die Hintergrundkarte bzw. das Differenzraster, die Legende, die Isolinien und die Konturen der Lärmschutzbereiche befinden sich auf jeweils separaten Layern (ggf. mit weiteren untergeordneten Layern). Die Bezeichnungen der Layer ist wie folgt aufgebaut:

- ▶ Die Darstellung von Isolinien ist unter einem Layer gruppiert, dessen Bezeichnung aus der Angabe der Kennzahl, der Jahreszahl und dem verwendeten Regelwerk besteht. Hierunter befinden sich weitere Layer für jeden Wert bzw. jede Isolinie des berechneten Wertebereichs (Beispiel: „LEQ* (Tag) 2019 AzB-2008“ mit jeweils einem untergeordneten Layer für die Werte von 50 bis 70 dB(A)).
- ▶ Die Layer-Bezeichnung für ein Differenzraster besteht aus der Angabe der Kennzahl und der Jahresangabe, gefolgt von dem Wort „Differenzraster“ (Beispiel: „LEQ* (Tag) 2019 Differenzraster“).
- ▶ Die Layer für die Konturen des Lärmschutzbereichs sind mit „Lärmschutzbereich“ und der Jahresangabe der Veröffentlichung bezeichnet. Für jede Schutzzone bzw. Kontur wurde ein separater Layer erstellt.
- ▶ Der Layer für die Hintergrundkarte ist mit „DTK50“ bezeichnet.

► Für die Legende lautet die Layer-Bezeichnung „Legende“.

Nachfolgend werden die Berechnungsergebnisse für die drei betrachteten Flughäfen kurz vorgestellt. Aufgrund der Vielzahl der ermittelten Kennzahlen und erstellten Ergebnisdokumente kann an dieser Stelle allerdings nur eine exemplarische Darstellung erfolgen. Auch reicht die Bildauflösung in diesem Berichtsdokument nicht aus, um jedes Detail wiederzugeben. Die Darstellungen sind daher lediglich als Übersichten der Ergebnisse zu betrachten, denen nicht jedes Detail zu entnehmen ist.

Weitere Details der Berechnungsergebnisse können den georeferenzierten Kartendarstellungen in den Anhängen B bis D dieses Berichts entnommen werden. Die in den folgenden Abschnitten gezeigten Abbildungen zeigen jeweils einen Ausschnitt aus diesen Dokumenten. Alle Abbildungen können mit Hilfe eines PDF-Anzeigeprogramms und durch Aus- bzw. Abwahl der entsprechenden Ebenen (Layer) mit den PDF-Dokumenten im Anhang reproduziert werden.

Auf eine Erläuterung oder Bezeichnung jedes Details der Abbildungen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet – hierzu sei auf die in den Darstellungen enthaltene Legende bzw. die verschiedenen auswählbaren Ebenen der PDF-Dokumente verwiesen.

Die Abbildungen in diesem Dokument verwenden – der besseren Übersicht wegen und abweichend von den PDF-Dokumenten im Anhang – eine Schrittweite von 5 dB(A) für auf LEQ bzw. LEQ* bezogene Darstellungen. Für die Nacht werden Isolinien für 45, 50, 55 und 60 dB(A) dargestellt, für den Tag die Werte 50, 55, 60 und 65 dB(A). Die zusammengehörenden Darstellungen der Konturen auf dem Kartenhintergrund und dem Differenzraster zeigen jeweils dieselben Konturen, sodass evtl. durch den Hintergrund schlecht erkennbare Konturen nachvollzogen werden können.

Abbildungen, die die Kennzahl AWR bzw. AWR* darstellen, verwenden eine Schrittweite von 0,2 AWR und zeigen Isolinien für 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 und 1,0 AWR.

Die verwendeten Farben und Linienarten entsprechen denen aus den PDF-Dokumenten im Anhang. Die Isolinien zu den größeren Zahlenwerten befinden sich in der Regel jeweils näher am Flugplatz als solche mit kleineren Werten.

4.3.1 Flughafen Frankfurt/Main

Für den Flughafen Frankfurt/Main wurde ein Rechengebiet mit einer Ausdehnung von 100 km x 75 km gewählt, das sich in Bezug auf den Flugplatzbezugspunkt ARP jeweils 50 km nach Westen, Osten und Süden sowie 25 km in nördlicher Richtung erstreckt.

Die berechneten Konturen zeigen die für den Platz typische große Ausdehnung in Ost-West-Richtung sowie nach Süden. Während die Konturen im Osten und Westen durch Anflüge bzw. Landungen dominiert sind, ist die Ausdehnung in Richtung Süden hauptsächlich durch Starts auf der Startbahn West (RWY 18) und die hierfür genutzten Abflugstrecken zu erklären.

4.3.1.1 Ist-Szenario 2019

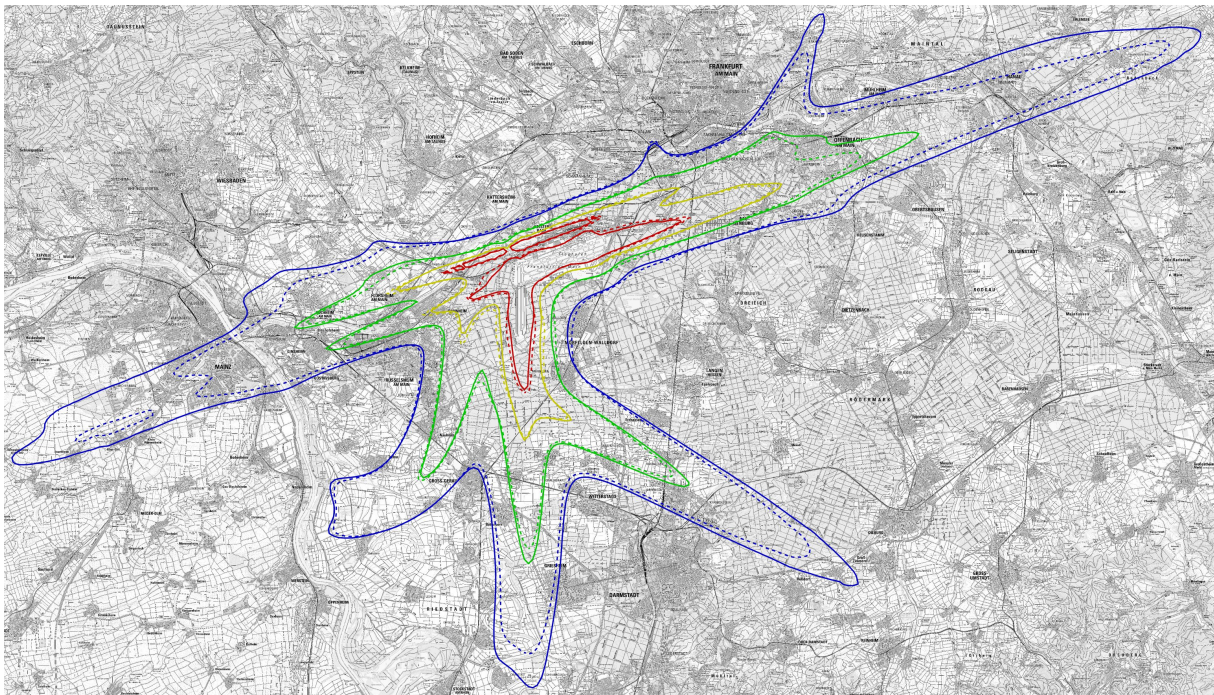
Die Darstellungen für das Ist-Szenario 2019 und die Kennzahl LEQ* (siehe Anhang B.1.3 bis B.1.6) verwenden einen Maßstab von 1 : 200.000 und bilden etwa ein Gebiet von 77 km x 53 km ab.

Für die Berechnung am Tag (Abbildung 17 und Abbildung 18) weist die größte dargestellte Kontur der Isolinie 50 dB(A) nach AzB-ND eine Ausdehnung in Richtung des Parallelbahnsystems von ca. 75 km und vom ARP in Richtung Süden von ca. 25 km auf.

Die größte berechnete Kontur für die Nacht ist der Isolinie 45 dB(A) nach AzB-ND zuzuordnen (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20). Hier beträgt die Ausdehnung in Richtung des Parallelbahnsystems (einschließlich einer berechneten Exklave im Westen) ca. 65 km und in Richtung Süden ca. 30 km.

Generell gilt für die dargestellten Konturen für LEQ*, dass in größerer Entfernung zum Platz jeweils nach AzB-ND die Isolinien eine größere Ausdehnung aufweisen als die Isolinien desselben Wertes nach AzB-2008. Nach AzB-ND wurden also mit zunehmender Entfernung vom Platz größere Pegelwerte berechnet. Im Nahbereich von wenigen Kilometern um den Platz wurden dagegen eher vergleichbare oder geringere Werte nach AzB-ND berechnet. Dies ist in den Differenzdarstellungen (Abbildung 18 und Abbildung 20) gut zu erkennen.

Abbildung 17: Berechnung EDDF (Tag) Ist-Szenario 2019

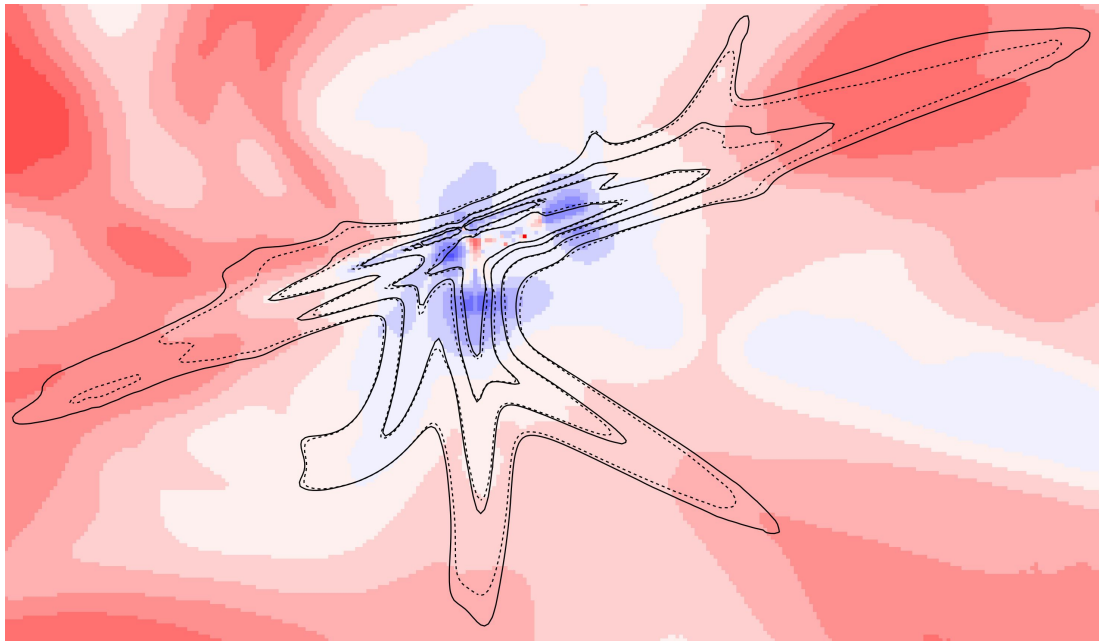


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Tag) von 50 bis 65 dB(A):
50 dB(A) (blau), 55 dB(A) (grün), 60 dB(A) (gelb), 65 dB(A) (rot)¹¹

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

¹¹ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

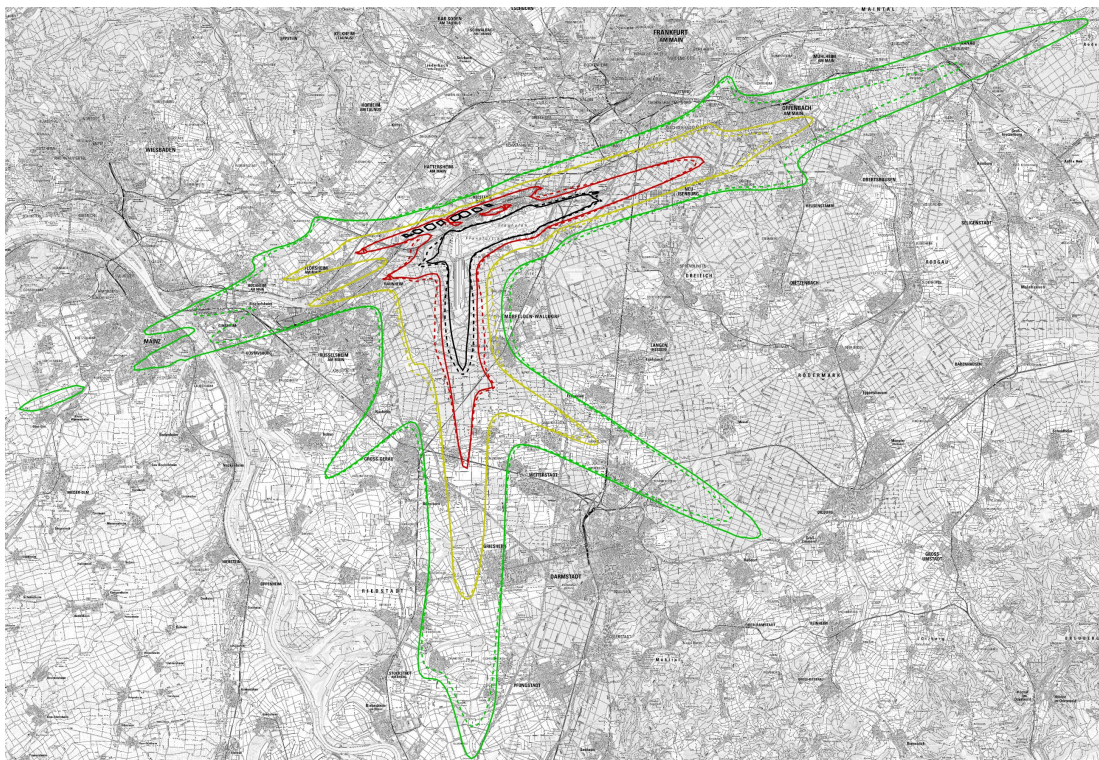
Abbildung 18: Differenzberechnung EDDF (Tag) Ist-Szenario 2019



Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Tag) von 50 bis 65 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 19: Berechnung EDDF (Nacht) Ist-Szenario 2019

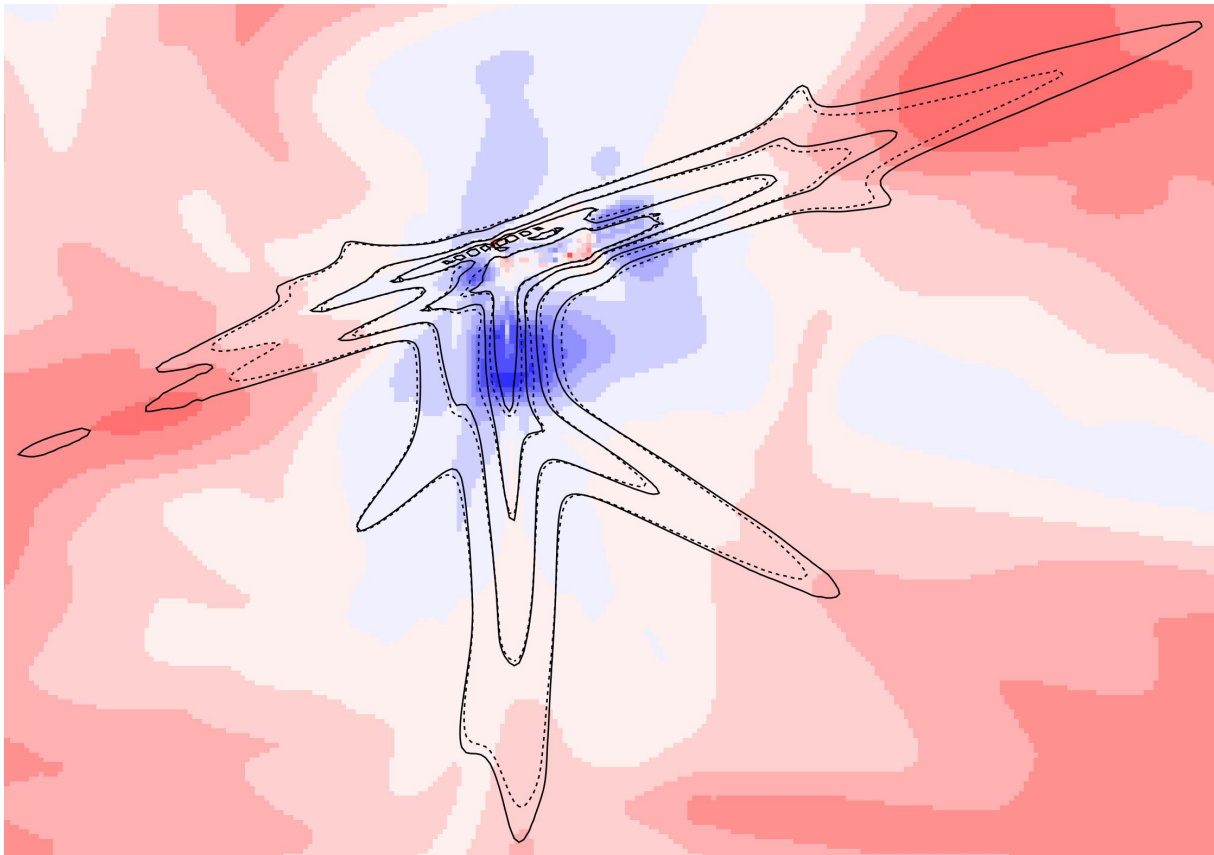


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)¹²

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

¹² Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 20: Differenzberechnung EDDF (Nacht) Ist-Szenario 2019



Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A)

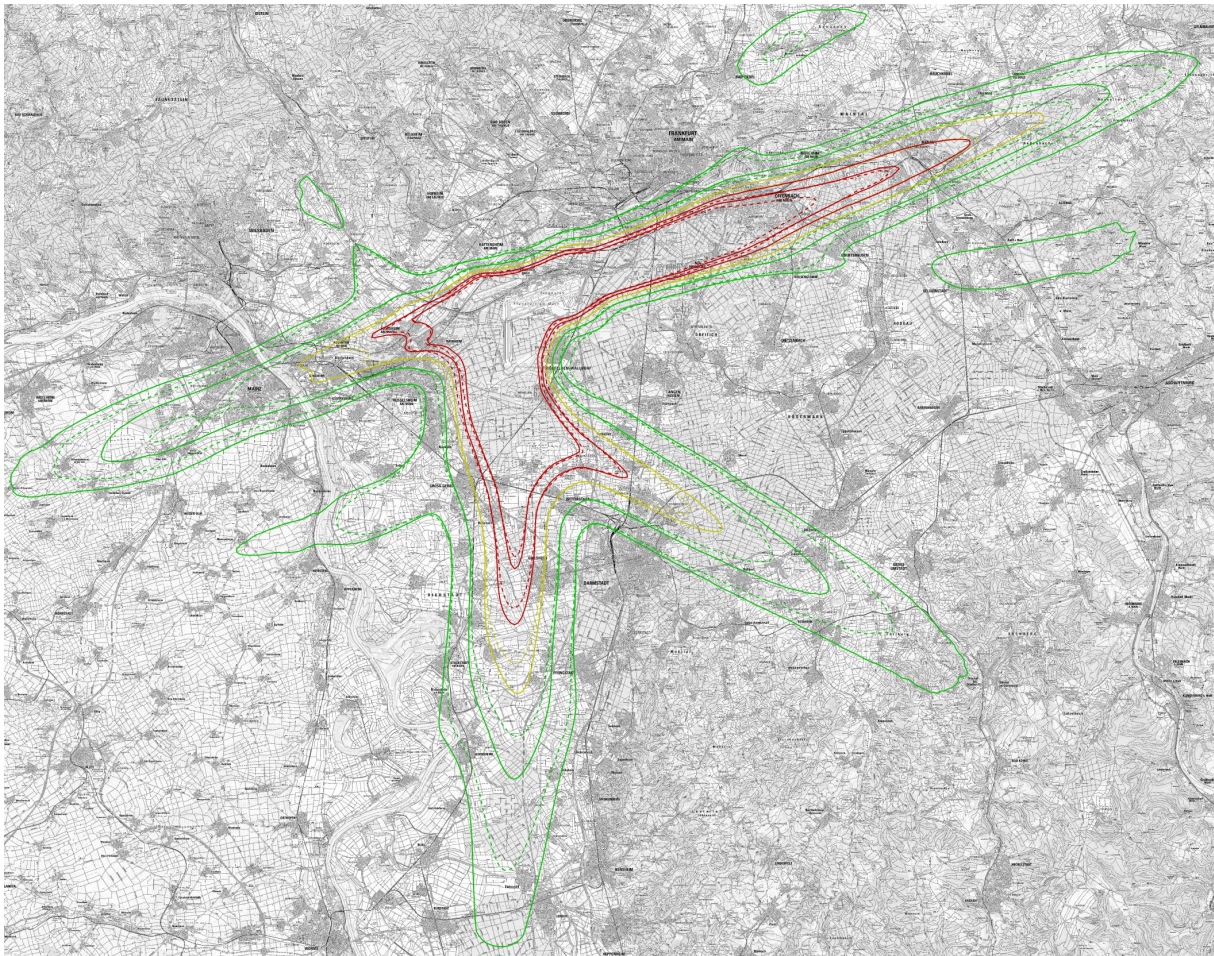
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Für die auf AWR* (Nacht) bezogene Kartendarstellung (Anhang B.1.7) wurde ein Maßstab von 1 : 250.000 gewählt, um alle Konturen im Format DIN A3 abbilden zu können. Die Karte stellt ein Gebiet von etwa 96 km x 66 km dar.

Die größte berechnete Kontur für AWR* ist auf 0,2 AWR nach AzB-ND bezogen und weist eine Ausdehnung in Richtung des Parallelbahnsystems von ca. 88 km und fast 45 km in Richtung Süden auf (siehe Abbildung 21).

Die nach AzB-ND berechneten Isolinien für die Kennzahl AWR* umgrenzen jeweils eine größere Fläche als die für dieselben Werte nach AzB-2008 berechneten Konturen.

Abbildung 21: Berechnung EDDF (AWR) Ist-Szenario 2019



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für AWR* (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR: 0,2 und 0,4 (grün), 0,6 (gelb), 0,8 und 1,0 (rot)¹³

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

4.3.1.2 Prognoseszenario 2030

Die für das das Prognoseszenario 2030 berechneten Konturen weisen aufgrund der erhöhten Flugbewegungszahlen in den DES erwartungsgemäß eine größere Ausdehnung auf als im Ist-Szenario. Die grundsätzliche Tendenz zu größeren Konturen nach AzB-ND (im Vergleich zur Berechnung nach AzB-2008) in größerer Entfernung zum Platz sowie kleineren bzw. gleich großen Konturen im Nahbereich des Platzes gilt auch hier.

Die Darstellungen für das Prognoseszenario 2030 und die Kennzahl LEQ (siehe Anhang B.2.3 bis B.2.6) verwenden einen Maßstab von 1 : 250.000 und bilden etwa ein Gebiet von 96 km x 66 km ab.

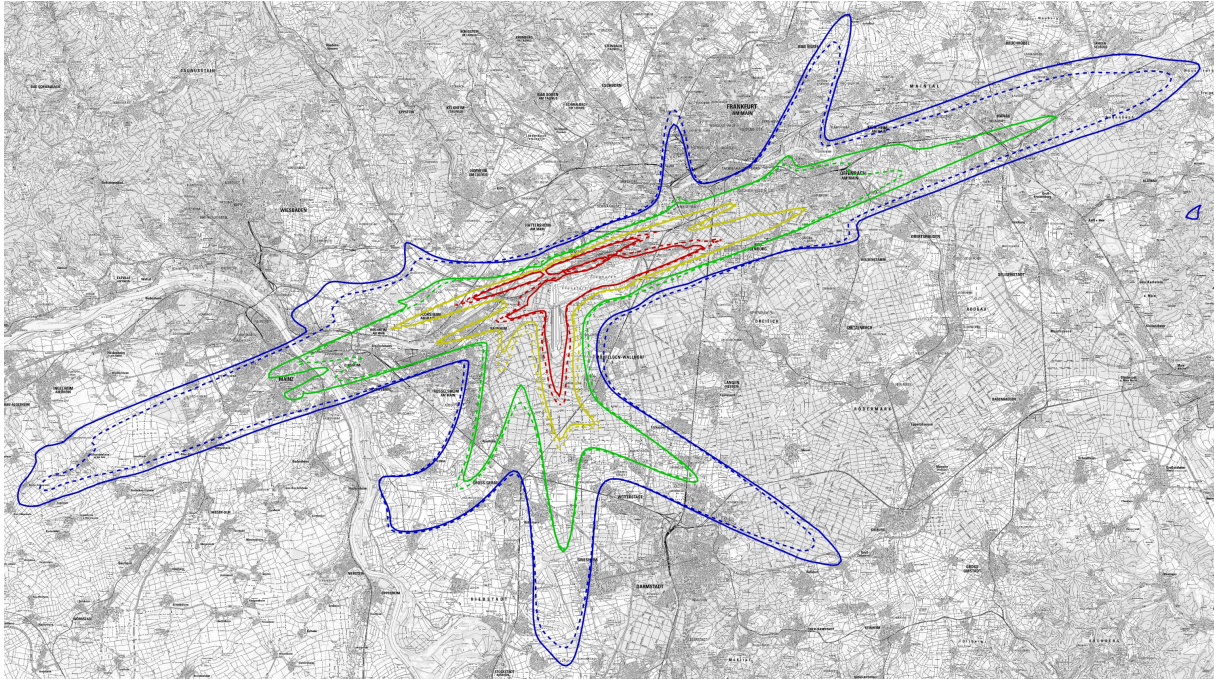
Für die auf AWR (Nacht) bezogene Kartendarstellung (Anhang B.2.7) wurde ein Maßstab von 1 : 300.000 gewählt, um alle Konturen im Format DIN A3 abbilden zu können. Die Karte stellt ein Gebiet von etwa 166 km x 79 km dar.

Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen eine Auswahl der nach AzB-2008 und AzB-ND berechneten Isolinien für die Kenngröße LEQ (Tag), darunter auch die Isolinien für 60 bzw. 55 dB(A), die bei Berechnungen nach AzB-2008 auch für die Festlegung der Tag-Schutzzonen 1

¹³ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

und 2 des aktuellen LSB [43] herangezogen wurden. Demnach sind die für 65 und 60 dB(A) berechneten Konturen nach AzB-ND kleiner als die Isolinie der Ergebnisse nach AzB-2008. Im Gegensatz dazu sind die 55 und 50 dB(A)-Konturen nach AzB-ND deutlich größer als die vergleichbare Kontur nach AzB-2008, vor allem in Verlängerung der Landebahnen des Parallelbahnsystems. Bei der Isolinie für 50 dB(A) treten größere Differenzen auch entlang des Verlaufs der Abflugstrecken der RWY 18 auf. Im Vergleich mit den Konturen des aktuellen LSB fällt auf, dass die Konturen in Richtung Süden kleiner berechnet wurden als die bzgl. derselben Kennzahlen berechneten Konturen der Tag-Schutzzonen 1 und 2 (vgl. Abbildung 24).

Abbildung 22: Berechnung EDDF (Tag) Prognoseszenario 2030

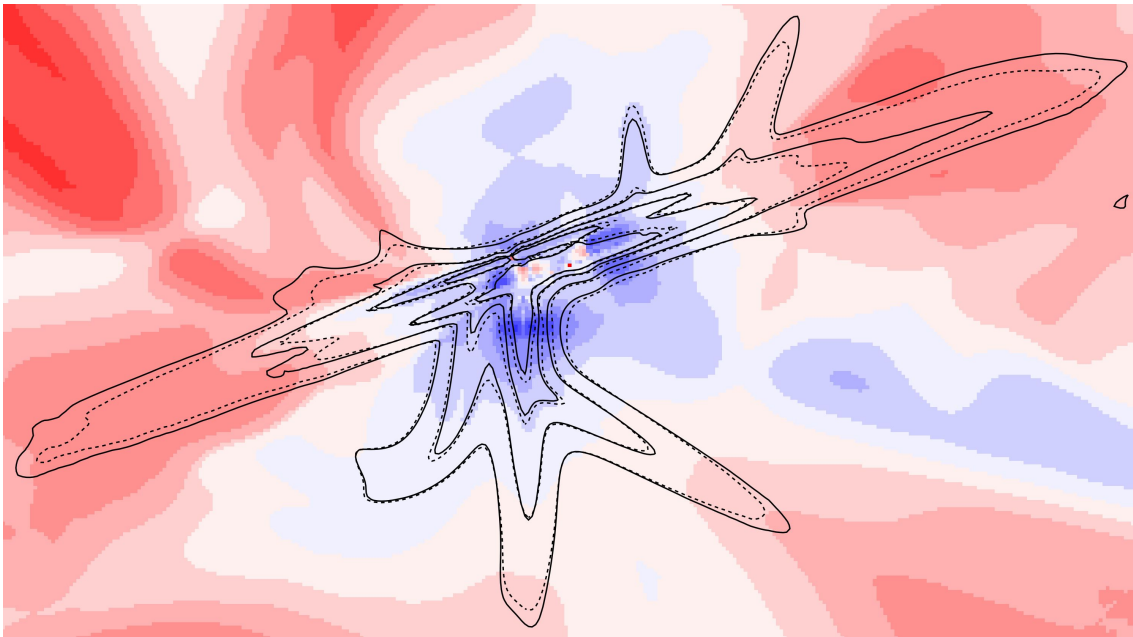


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) von 50 bis 65 dB(A): 50 dB(A) (blau), 55 dB(A) (grün), 60 dB(A) (gelb), 65 dB(A) (rot)¹⁴

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

¹⁴ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

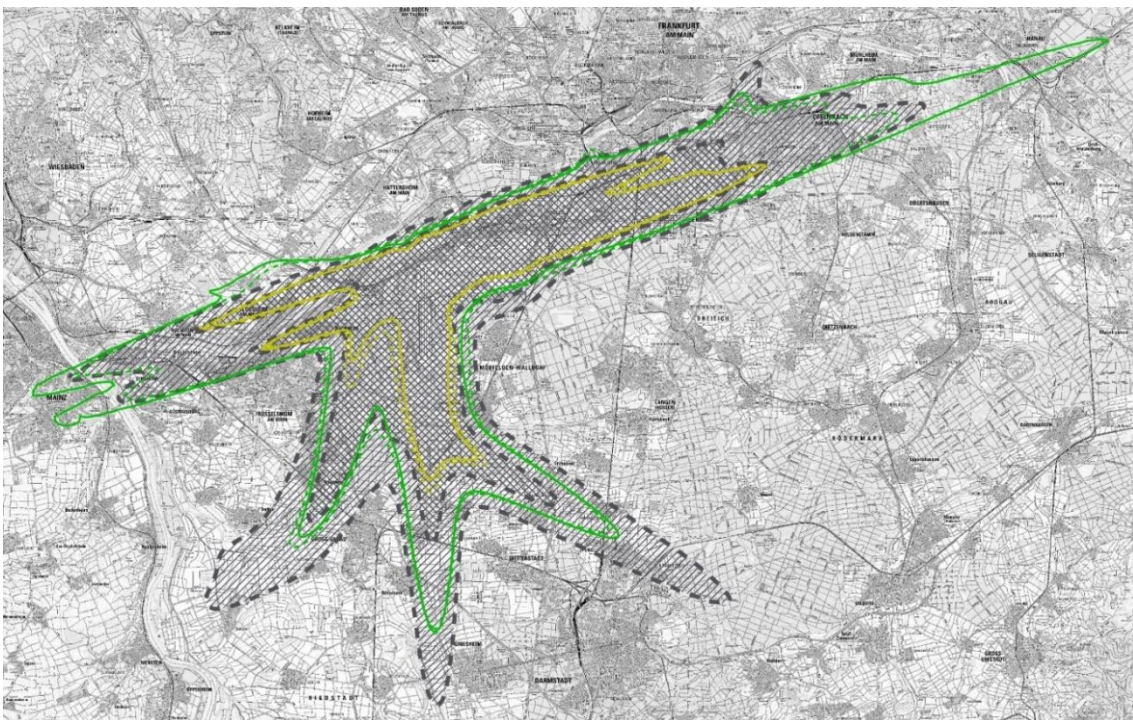
Abbildung 23: Differenzberechnung EDDF (Tag) Prognoseszenario 2030



Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) von 50 bis 65 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 24: Vergleich EDDF (Tag) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen

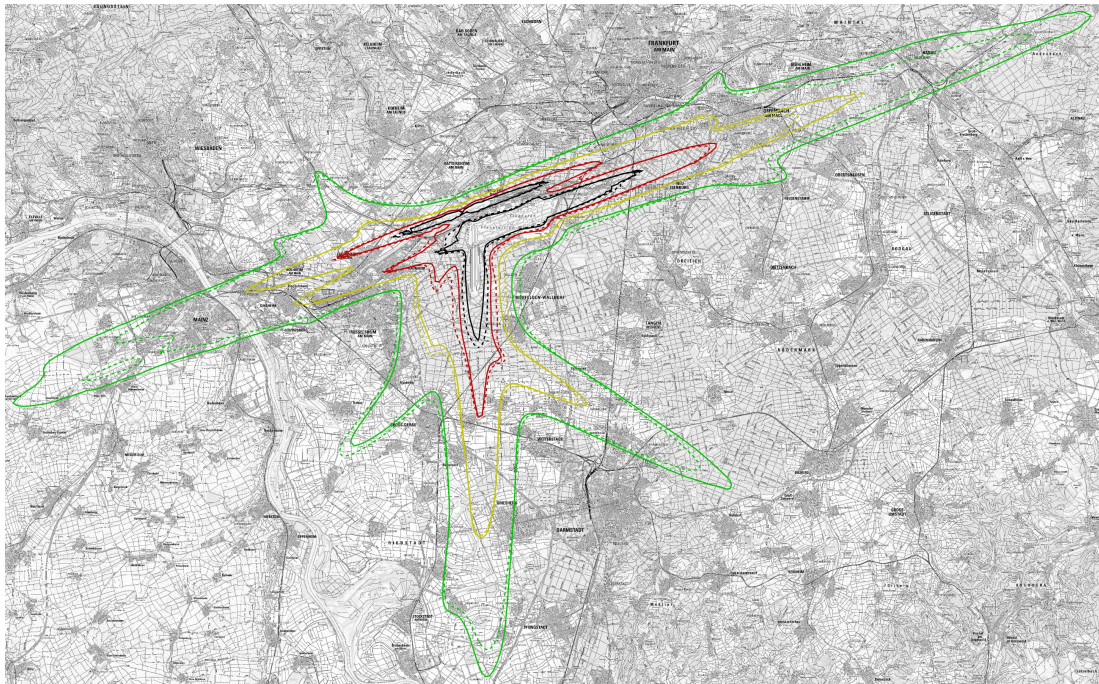


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) und 55 (grün) bzw. 60 (gelb) dB(A) sowie Tag-Schutzzone 1 (grau, gestrichelt, innen) und 2 (grau, gestrichelt, außen) nach AzB-2008¹⁵

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

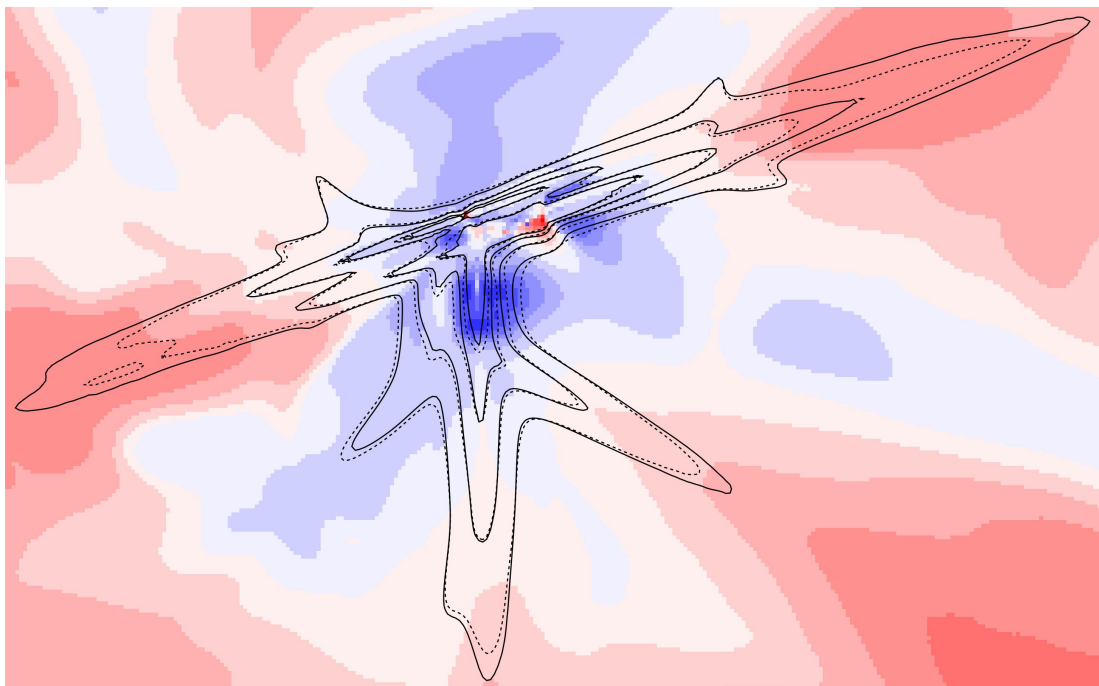
¹⁵ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 25: Berechnung EDDF (Nacht) Prognoseszenario 2030



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)¹⁶, Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 26: Differenzberechnung EDDF (Nacht) Prognoseszenario 2030



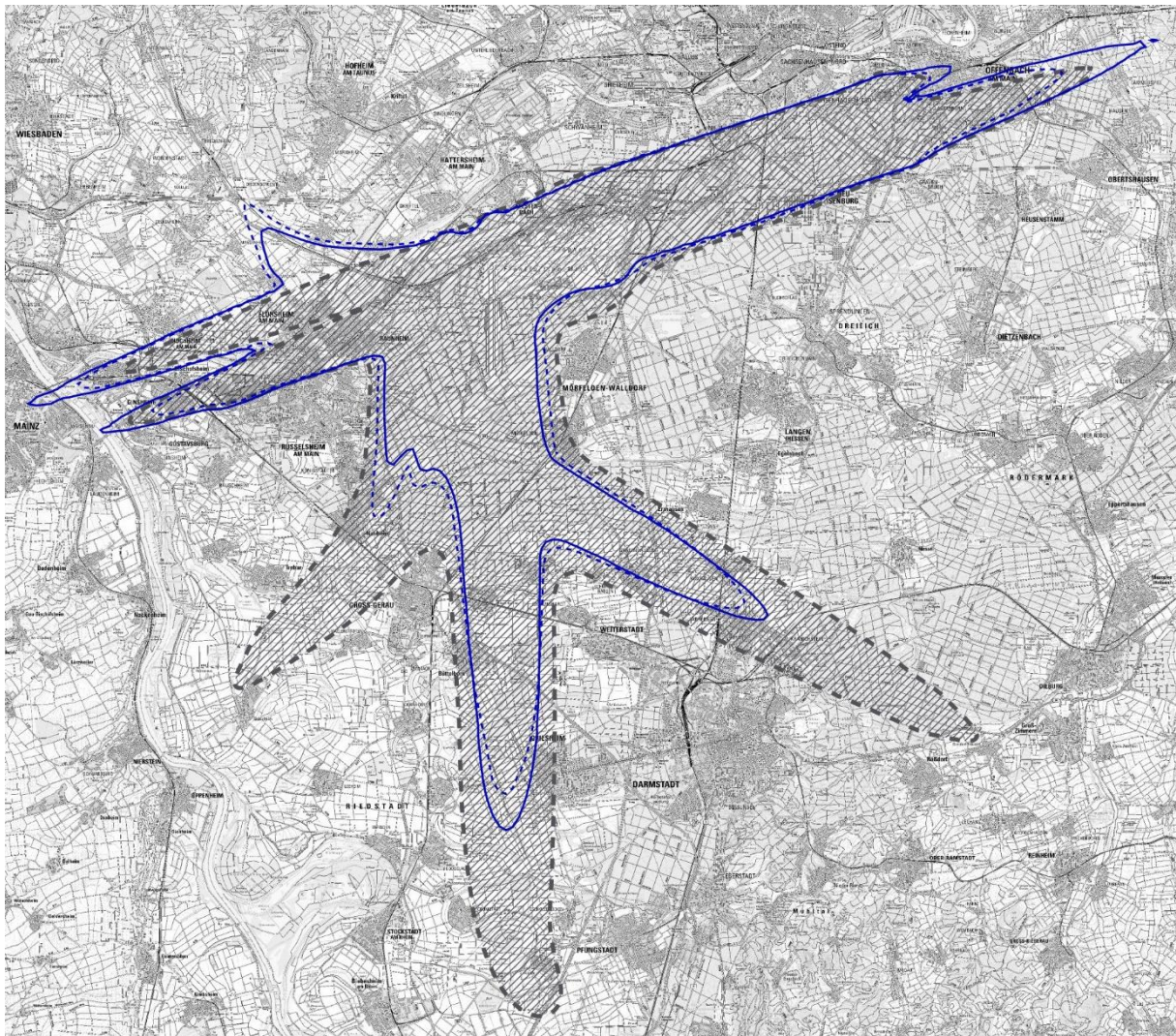
Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Nacht) von 45 bis 60 dB(A), Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die Visualisierung der Ergebnisse für den Nacht-Zeitraum zeigt ein ähnliches Bild: Die nach AzB-ND berechneten Isolinien für die Kennzahl LEQ und die Werte 60 bzw. 55 dB(A) im

¹⁶ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Nahbereich des Platzes umfassen eine kleinere Fläche als die Konturen nach AzB-2008. Für die Werte 50 und 45 dB(A) in größerer Entfernung zum Platz sind wiederum die Konturen nach AzB-ND größer als die nach AzB-2008 berechneten. Auch hinsichtlich des Vergleichs mit dem aktuellen Lärmschutzbereich gleichen sich die Ergebnisse: Die nach AzB-ND berechnete LEQ+NAT-Kontur ist in Ost-West-Richtung größer, die Starts in Richtung Süden führen wiederum zu einer kleineren Kontur als im LSB (vgl. Abbildung 27).

Abbildung 27: Vergleich EDDF (Nacht) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen



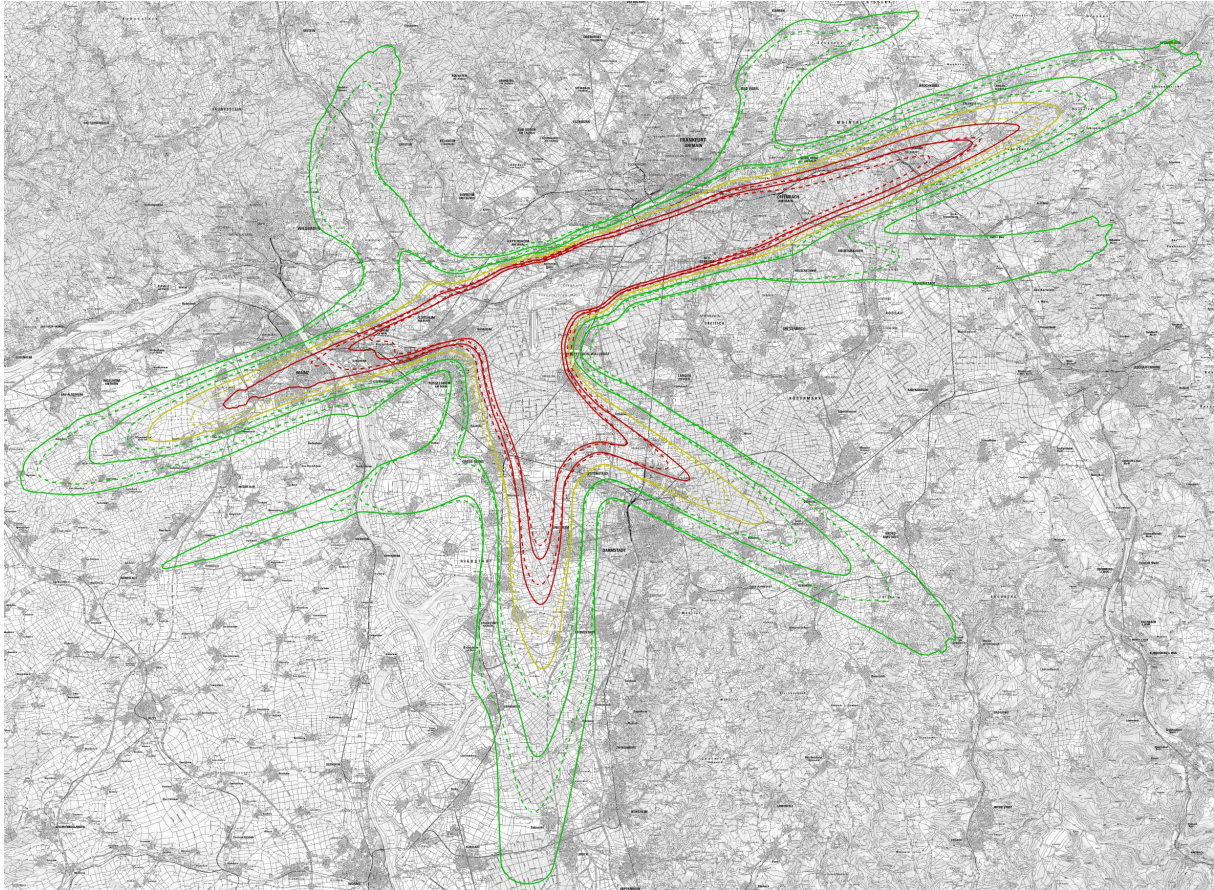
Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ+NAT (blau) sowie Nacht-Schutzzone des LSB (grau, gestrichelt) nach AzB-2008¹⁷

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

¹⁷ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Wie schon bei der Betrachtung der Ergebnisse für die Kennzahl AWR am Tag sind auch in der Nacht die berechneten Konturen nach AzB-ND generell größer als nach AZB-2008 (siehe Abbildung 28).

Abbildung 28: Berechnung EDDF (AWR) Prognoseszenario 2030



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für AWR (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR: 0,2 und 0,4 (grün), 0,6 (gelb), 0,8 und 1,0 (rot)¹⁸

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Zum Vergleich der nach AzB-ND berechneten Isolinien mit den Konturen der Schutzzonen des LSB [43] oben sei an dieser Stelle angemerkt, dass das für die Berechnungen verwendete DES Prognoseszenarios nur bedingt mit dem DES vergleichbar ist, das für die Berechnung des Lärmschutzbereiches verwendet wurde. Es basierte gemäß der Leistungsbeschreibung zu diesem Vorhaben auf simplen Annahmen zur Verkehrsentwicklung bis 2030 und nicht auf einer fundierten Luftverkehrsprognose.

In Tabelle 19 sind die Ergebnisse der Vergleichsrechnung zwischen Prognoseszenario und aktuellem LSB bzgl. der Fläche und der Anzahl betroffener Einwohner aufgeführt. Die ausgewählten Konturen des Prognoseszenarios schließen hierbei jeweils eine kleinere Fläche ein als die Vergleichskontur des Lärmschutzbereiches. Außerdem sind jeweils weniger Personen innerhalb der zugehörigen Flächen betroffen als von den Konturen des LSB.

¹⁸ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Tabelle 19: Betroffene Personen und Flächen EDDF Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) und LSB-Konturen (AzB-2008)

Kenngröße	Prognoseszenario (AzB-ND)		Lärmschutzbereich (LSB) nach AzB-2008			Differenz (AzB-ND – LSB)	
	Fläche (km ²)	Einwohner	Kontur	Fläche (km ²)	Einwohner	Fläche (km ²)	Einwohner
LEQ Tag - 60 dB(A)	77,49	18.152	Tag-Schutzzone 1	127,59	31.504	-50,10	-13.352
LEQ Tag - 55 dB(A)	246,86	256.306	Tag-Schutzzone 2	299,94	292.426	-53,08	-36.120
LEQ 50 dB(A) + NAT 6 x 68 dB(A)	214,64	154.657	LSB Nacht-Schutzzone	307,33	199.517	-92,69	-44.860

Die Flächenangaben sind auf zwei Nachkommastellen gerundet.

Eine auf Basis des Prognoseszenarios nach AzB-ND ermittelte Tag-Schutzzone 2 würde Teile von Mainz im Westen bzw. Hanau im Osten zusätzlich umfassen (siehe Abbildung 24). Die in der Abbildung erkennbare, deutliche Verkleinerung der Konturen in Richtung Süden ist dagegen (unter Einbeziehung der Abbildung 22) nicht durch den Wechsel der Datengrundlage zu erklären. Vielmehr muss davon ausgegangen werden, dass die DES-Modellierung der Starts von RWY 18 in Richtung Süden hierfür maßgeblich ist. Im Gegensatz zu dem für die Festlegung des Lärmschutzbereichs verwendeten DES wurde für diese Studie auf die Modellierung von sog. Intersection-Starts verzichtet. Alle Starts erfolgen im Modell vom Anfang der Startbahn, was zu kleineren Konturen im weiteren Verlauf der Abflugstrecken führt, da im Modell startende Flugzeuge früher eine bestimmte Flughöhe erreichen.

4.3.2 Flughafen Köln/Bonn

Für den Flughafen Köln/Bonn wurde ein Rechengebiet von 60 km x 60 km um den Flugplatzbezugspunkt ARP gewählt.

Alle berechneten Konturen weisen eine charakteristische Form auf, bei der die größte Ausdehnung der Isolinien in Verlängerung der Start-/Landebahn 14L/32R sowie in Richtung Nordosten bzw. Osten zu erkennen ist.

4.3.2.1 Ist-Szenario 2019

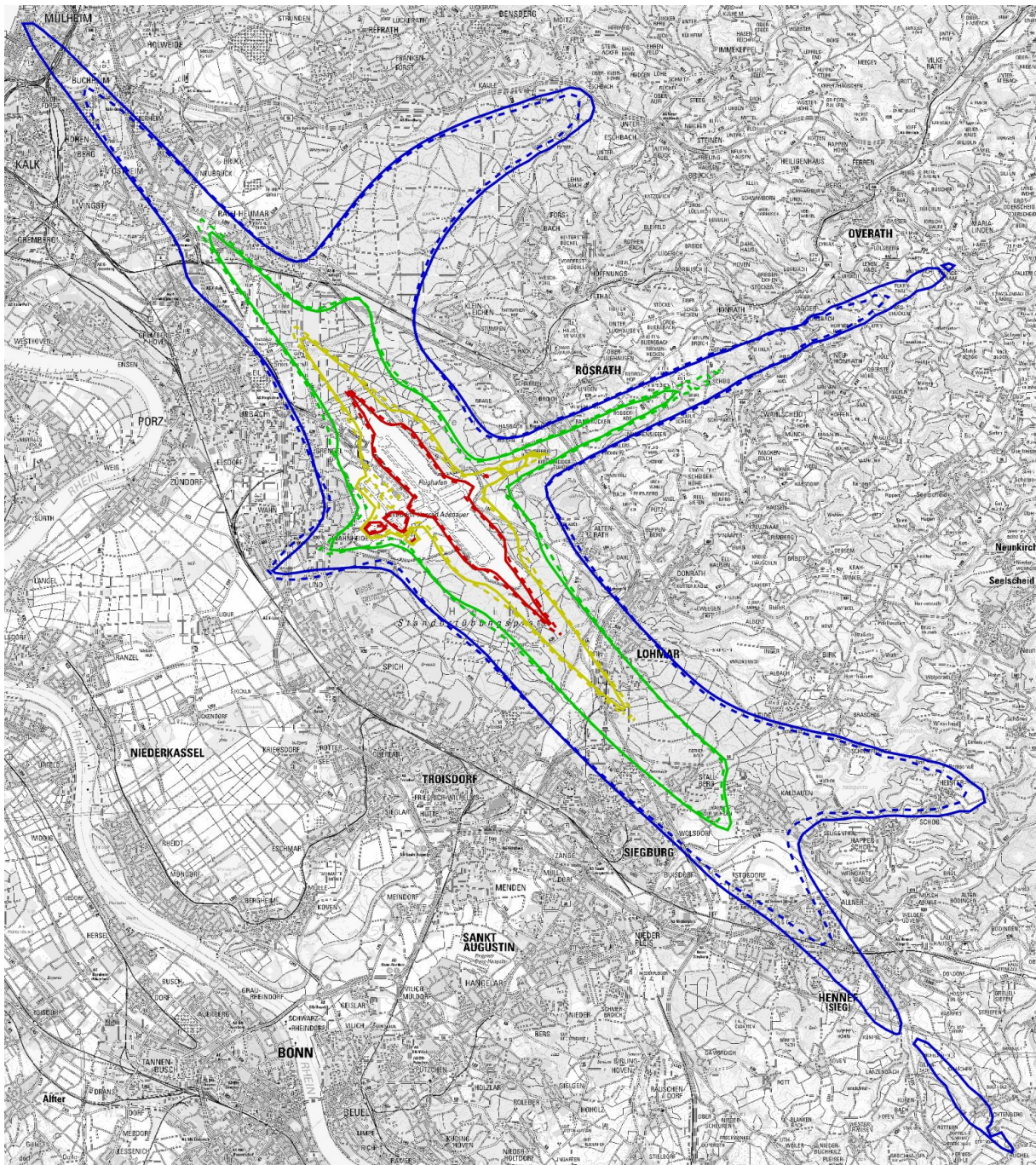
Die Darstellungen der Ergebnisse mit der Kennzahl LEQ* (Tag) (Anhang C.1.3 und C.1.4) verwenden einen Maßstab von 1 : 150.000 und bilden ein Gebiet von ungefähr 42 km x 40 km ab. Für die Kartendarstellungen LEQ* (Nacht) und AWR* (Nacht) wurde ein Maßstab von 1 : 200.000 gewählt (Anhänge C.1.5 bis C.1.7). Die Karten bilden ein Gebiet von etwa 56 km x 53 km ab. Alle Karten sind so ausgerichtet, dass der ARP der Mittelpunkt der Karte ist.

Auch für die Berechnungen der auf die Kennzahl LEQ* bezogenen Szenarien des Flughafens Köln/Bonn ist zu beobachten, dass die nach AzB-ND berechneten Konturen im Nahbereich des Platzes eher kleiner sind als die vergleichbaren Isolinien nach AzB-2008. In unmittelbarer Nähe der Start-/Landebahnen treten jedoch auch im Vergleich höhere Pegelwerte nach AzB-ND auf, die jedoch keinen wesentlichen Beitrag zur Bestimmung der hier betrachteten Isolinien leisten.

Mit zunehmender Entfernung vom Platz kehrt sich dieser Effekt um, sodass die nach AzB-ND berechneten Konturen eine größere Ausdehnung aufweisen als die nach AzB-2008 berechneten.

Für die nach AzB-ND am Tag berechneten Konturen sind die Isolinien für LEQ* und die Werte 65, 60 und 55 dB(A) eher kleiner und für den Wert 50 dB(A) größer als die entsprechenden Konturen nach AzB-2008 (vgl. Abbildung 29 und Abbildung 30).

Abbildung 29: Berechnung EDDK (Tag) Ist-Szenario 2019

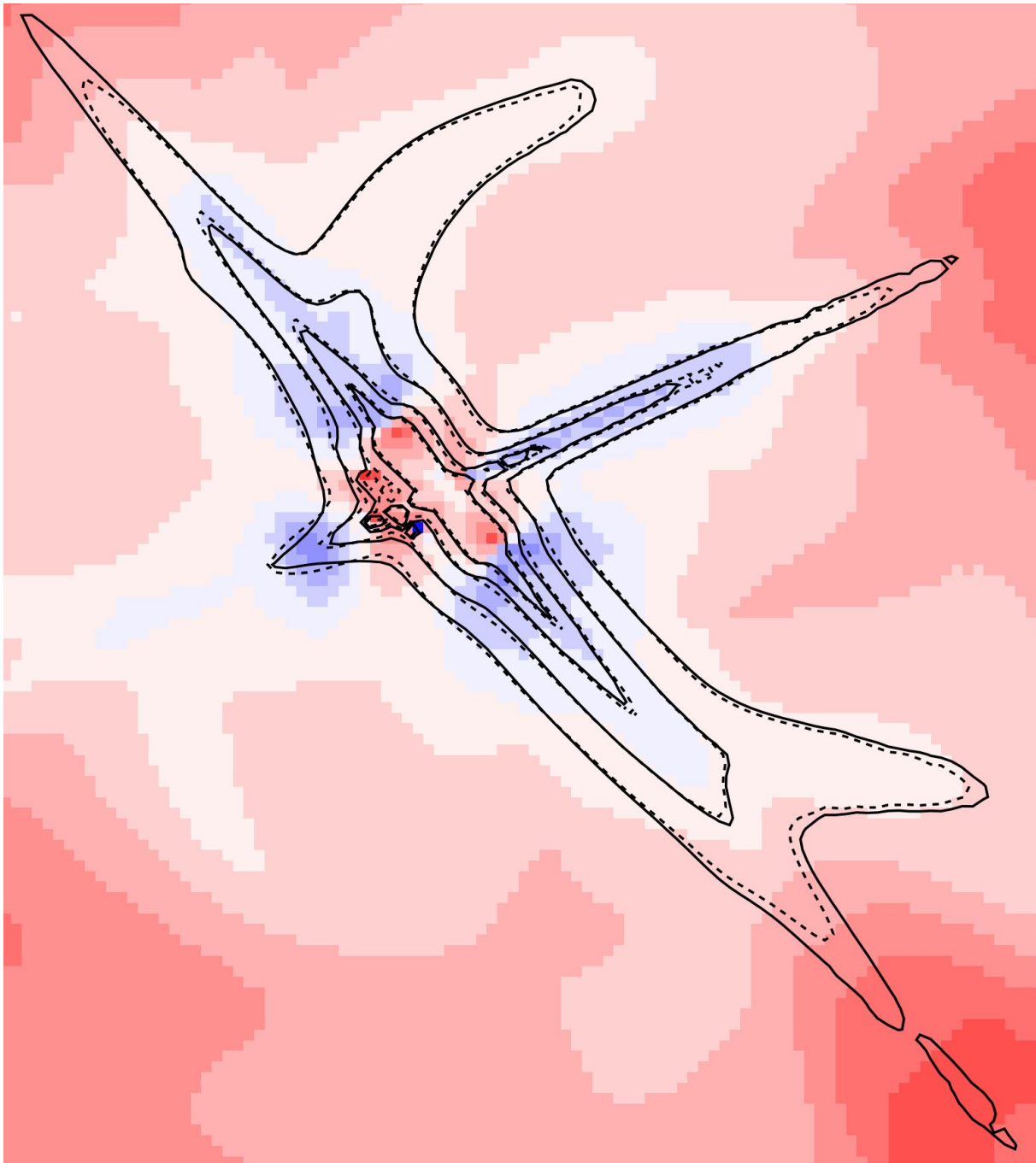


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ^* (Tag) von 50 bis 65 dB(A): 50 dB(A) (blau), 55 dB(A) (grün), 60 dB(A) (gelb), 65 dB(A) (rot)¹⁹

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

¹⁹ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 30: Differenzberechnung EDDK (Tag) Ist-Szenario 2019

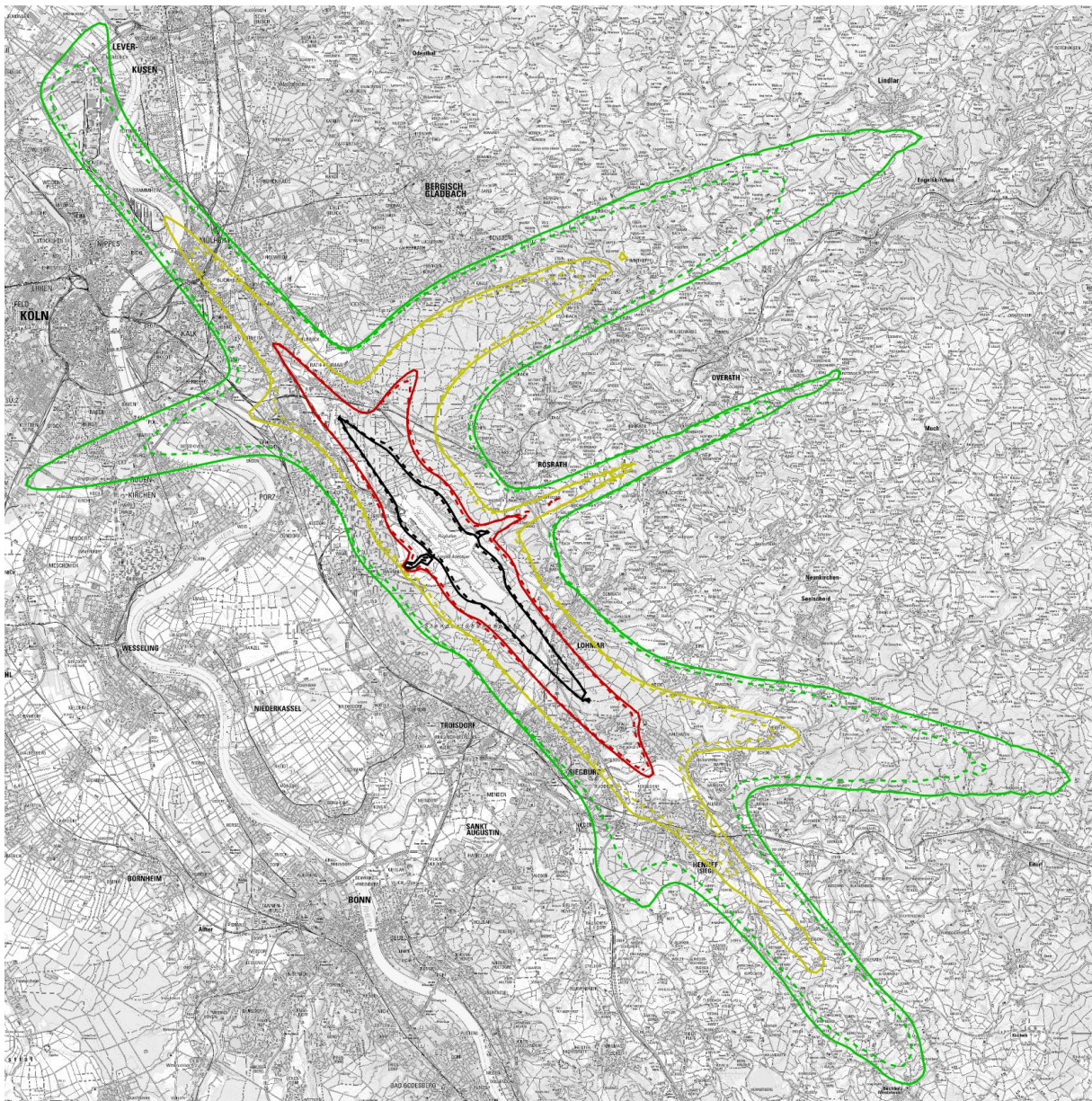


Differenzraaster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ^* (Tag) von 50 bis 65 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Ein ähnliches Bild ergibt sich wiederum bei der Darstellung der Ergebnisse für den Nacht-Zeitraum nach AzB (vgl. Abbildung 31 und Abbildung 32): Die Konturen der Isolinien für LEQ^* 60 und 55 dB(A) weisen eine ähnliche Größe bei Berechnung nach AzB-ND und AzB-2008 auf. Für die Konturen 50 und 45 dB(A) fällt die Berechnung nach AzB-ND deutlich größer aus.

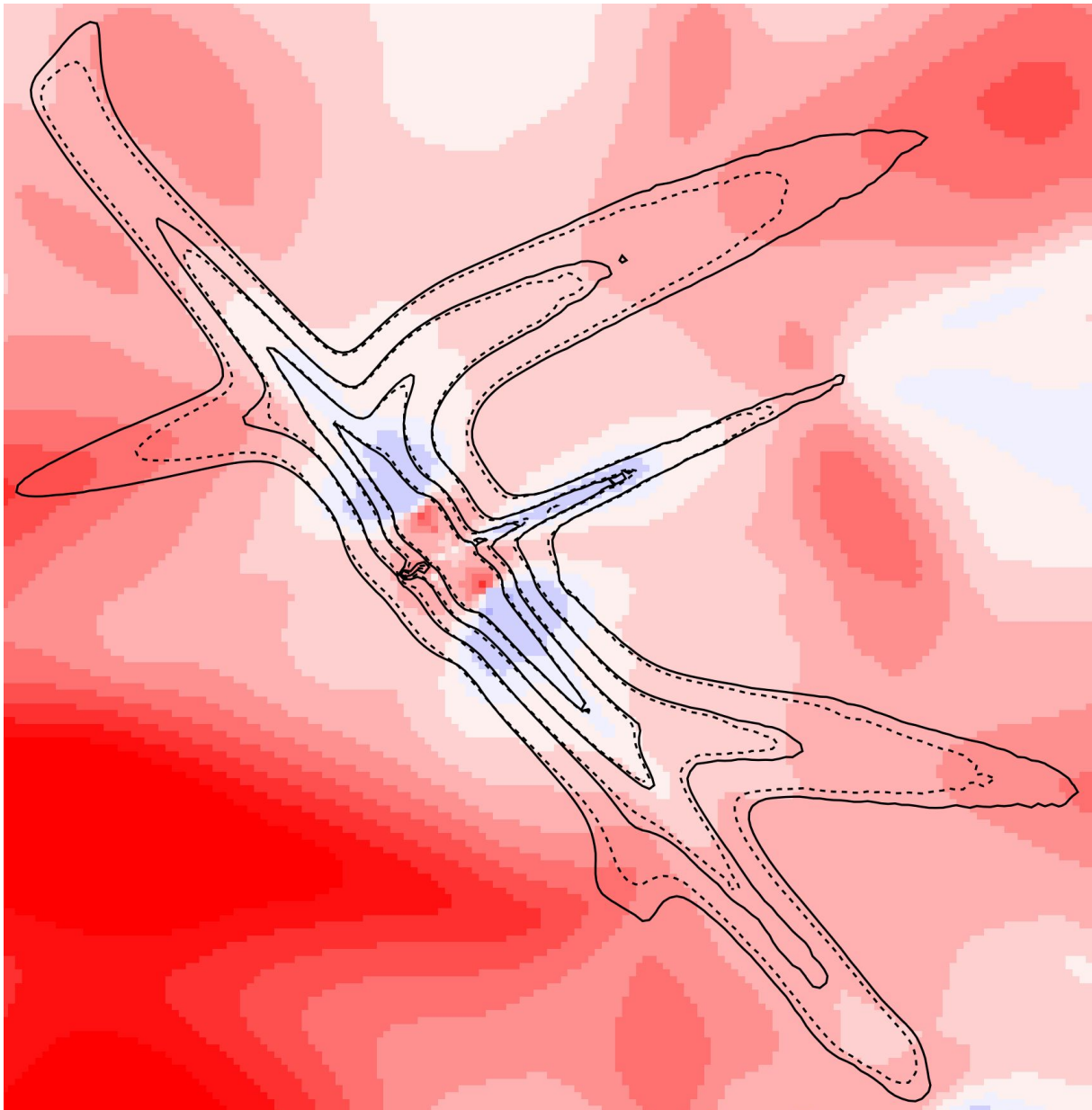
Abbildung 31: Berechnung EDDK (Nacht) Ist-Szenario 2019



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)²⁰

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

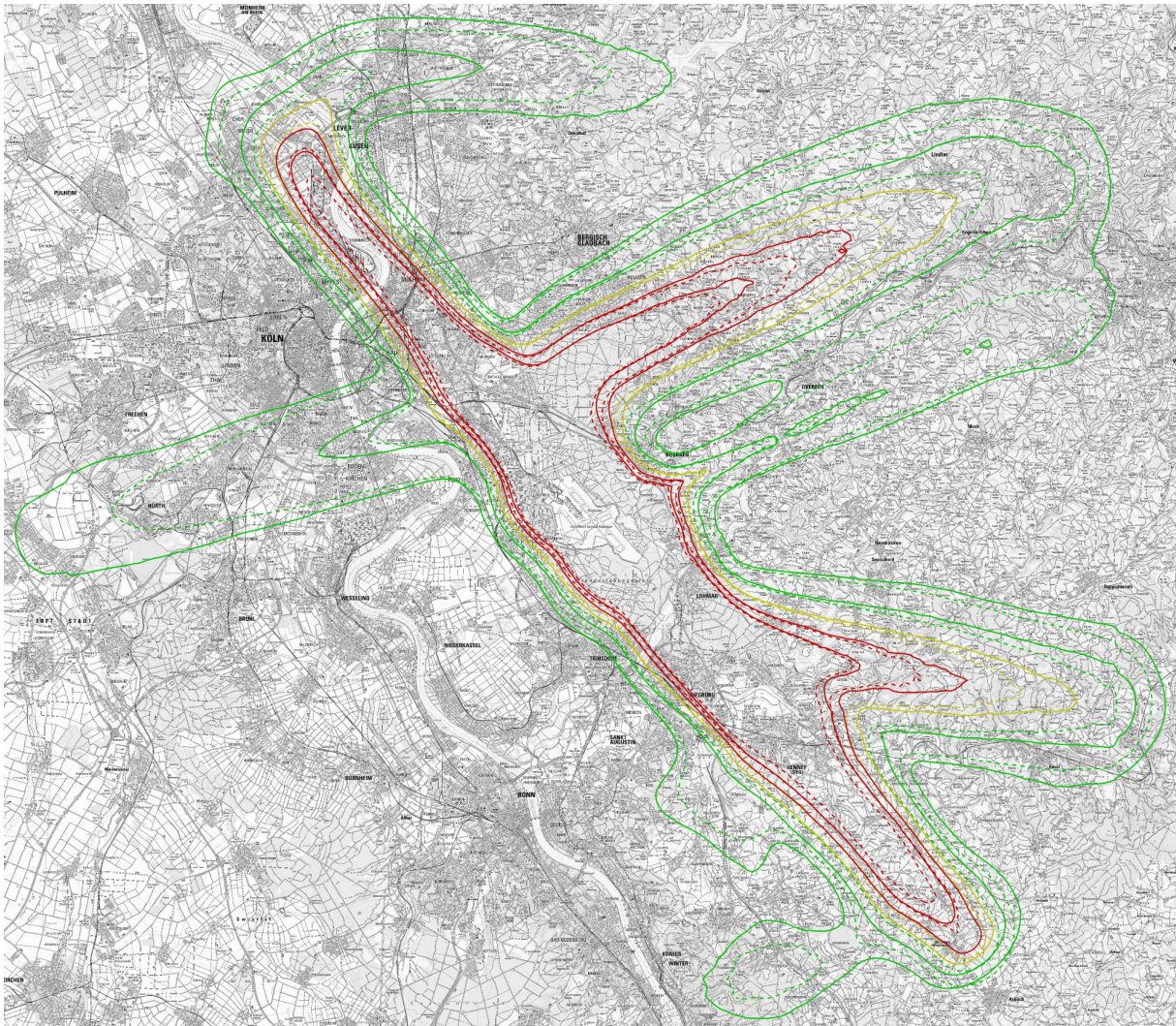
Abbildung 32: Differenzberechnung EDDK (Nacht) Ist-Szenario 2019



Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 33: Berechnung EDDK (AWR) Ist-Szenario 2019



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für AWR* (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR: 0,2 und 0,4 (grün), 0,6 (gelb), 0,8 und 1,0 (rot)²¹

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Auch für den Flughafen Köln/Bonn fällt auf, dass die nach AzB-ND berechneten Konturen für die Kennzahl AWR generell größer ausfallen als bei einer Berechnung nach AzB-2008.

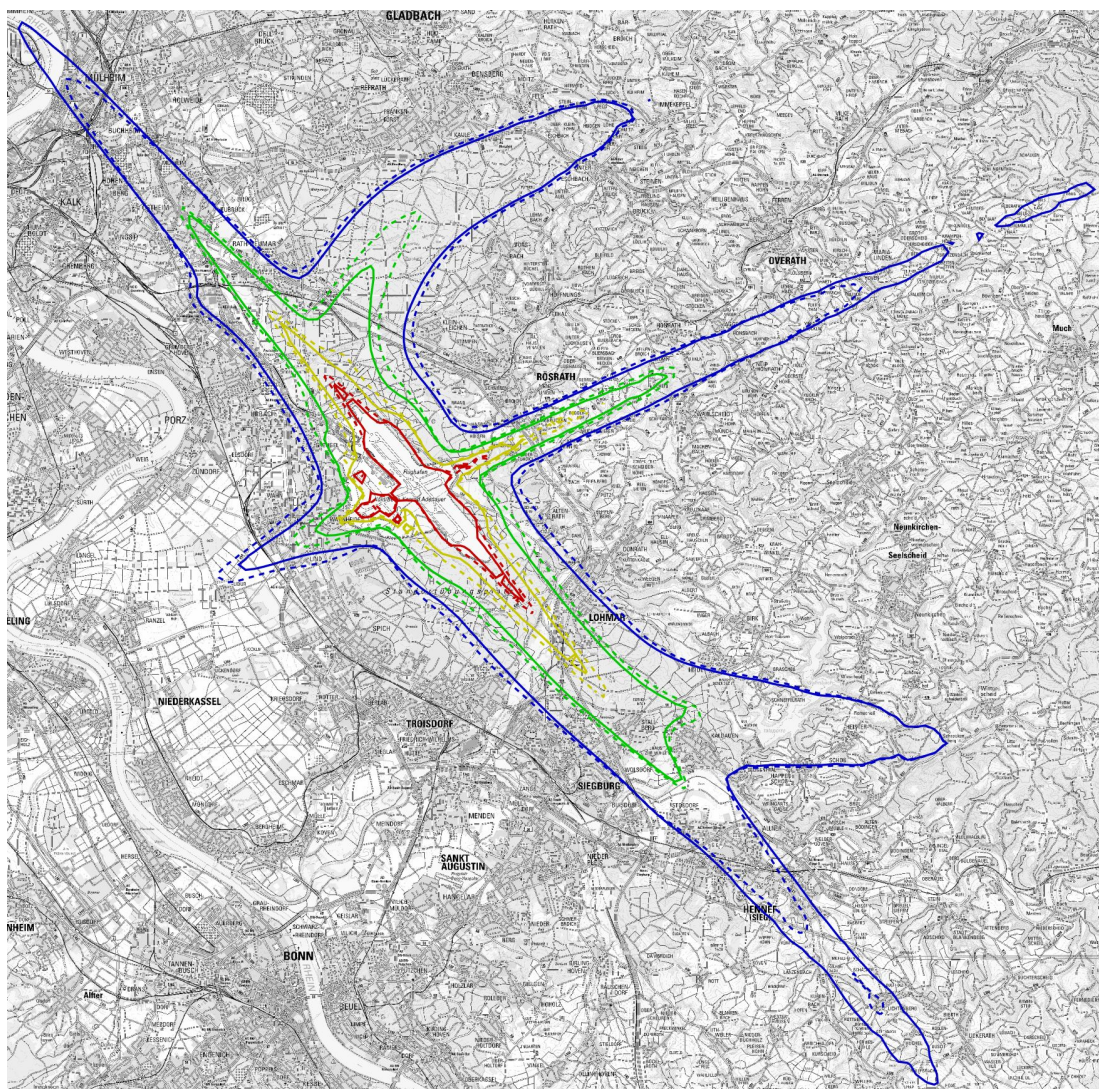
²¹ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

4.3.2.2 Prognoseszenario 2030

Das Prognoseszenario für den Flughafen Köln/Bonn weist nur eine geringfügig höhere Flugbewegungszahl als das Ist-Szenario auf. Daher konnten hier zur Darstellung dieselben Maßstäbe verwendet werden wie für das Ist-Szenario. Ein Maßstab von 1 : 150.000 wird für die Tag-Karten (Anhänge C.2.3 und C.2.4) und 1 : 200.000 für die Nacht-Karten (Anhänge C.2.5, C.2.6 und C.2.7) verwendet.

Trotz ähnlicher Verkehrsmengen lassen sich im Detail Unterschiede der Konturen erkennen, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Veränderungen in der Flottenzusammensetzung für 2030 zu tun haben: In der Darstellung der Konturen für LEQ (Tag) in Abbildung 34 und Abbildung 35 fällt beispielsweise auf, dass die Konturen für LEQ 50 dB(A) im Norden und Südosten des Platzes nach AzB-ND nun kleiner ausfallen als bei der Berechnung nach AzB-2008.

Abbildung 34: Berechnung EDDK (Tag) Prognoseszenario 2030

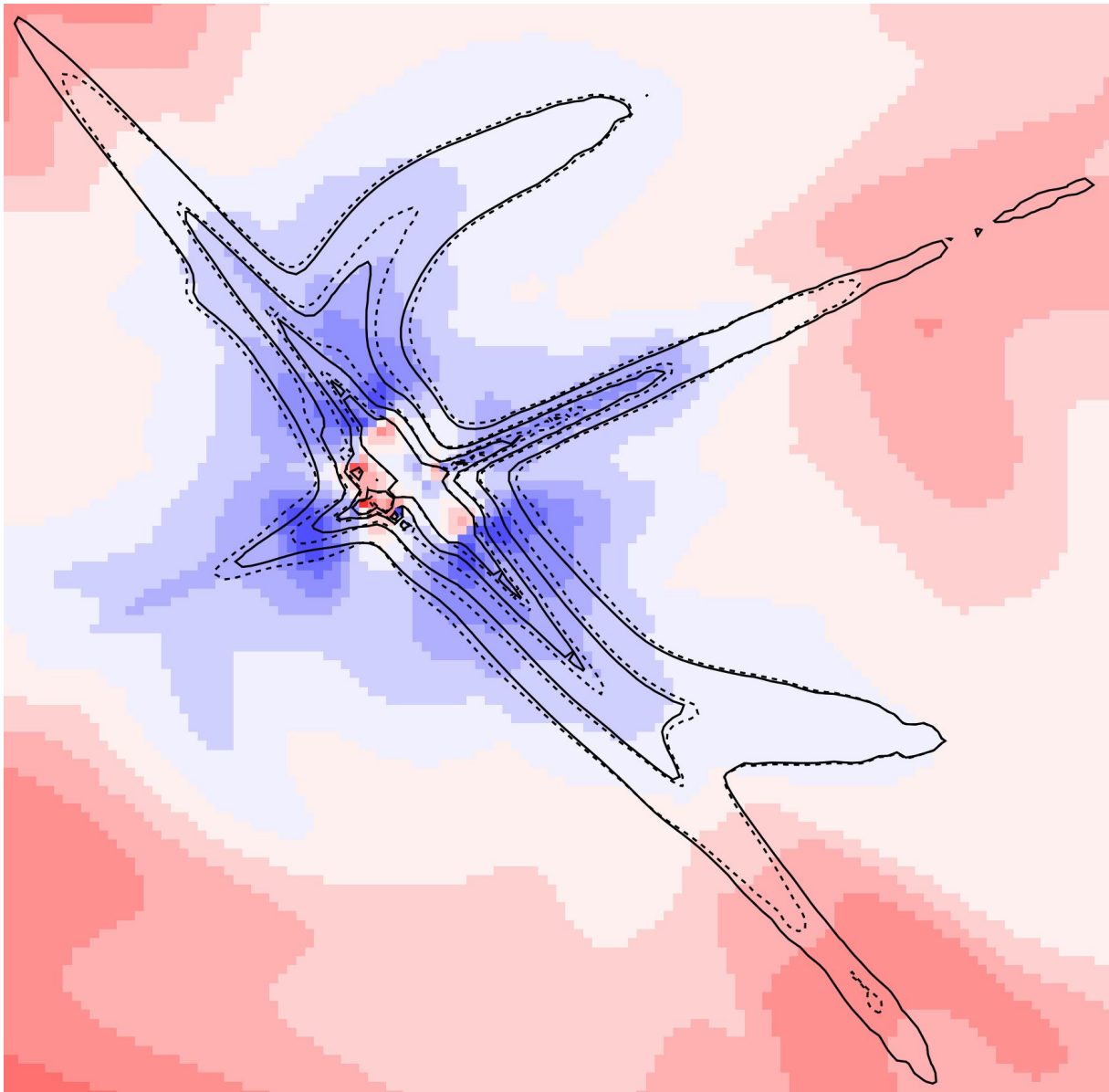


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) von 50 bis 65 dB(A): 50 dB(A) (blau), 55 dB(A) (grün), 60 dB(A) (gelb), 65 dB(A) (rot)²²

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

²² Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

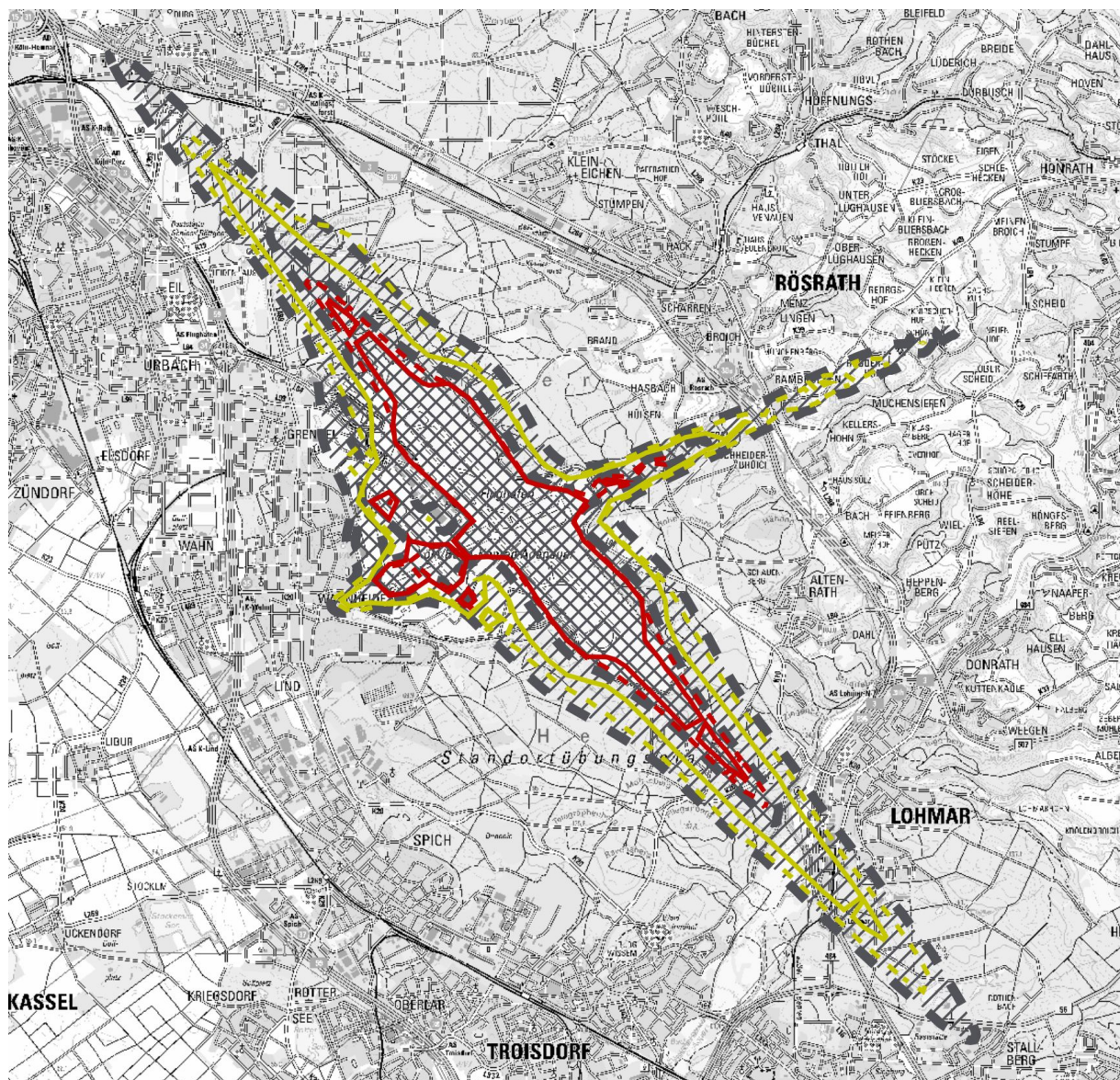
Abbildung 35: Differenzberechnung EDDK (Tag) Prognosezenario 2030



Differenzraaster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) von 50 bis 65 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 36: Vergleich EDDK (Tag) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen

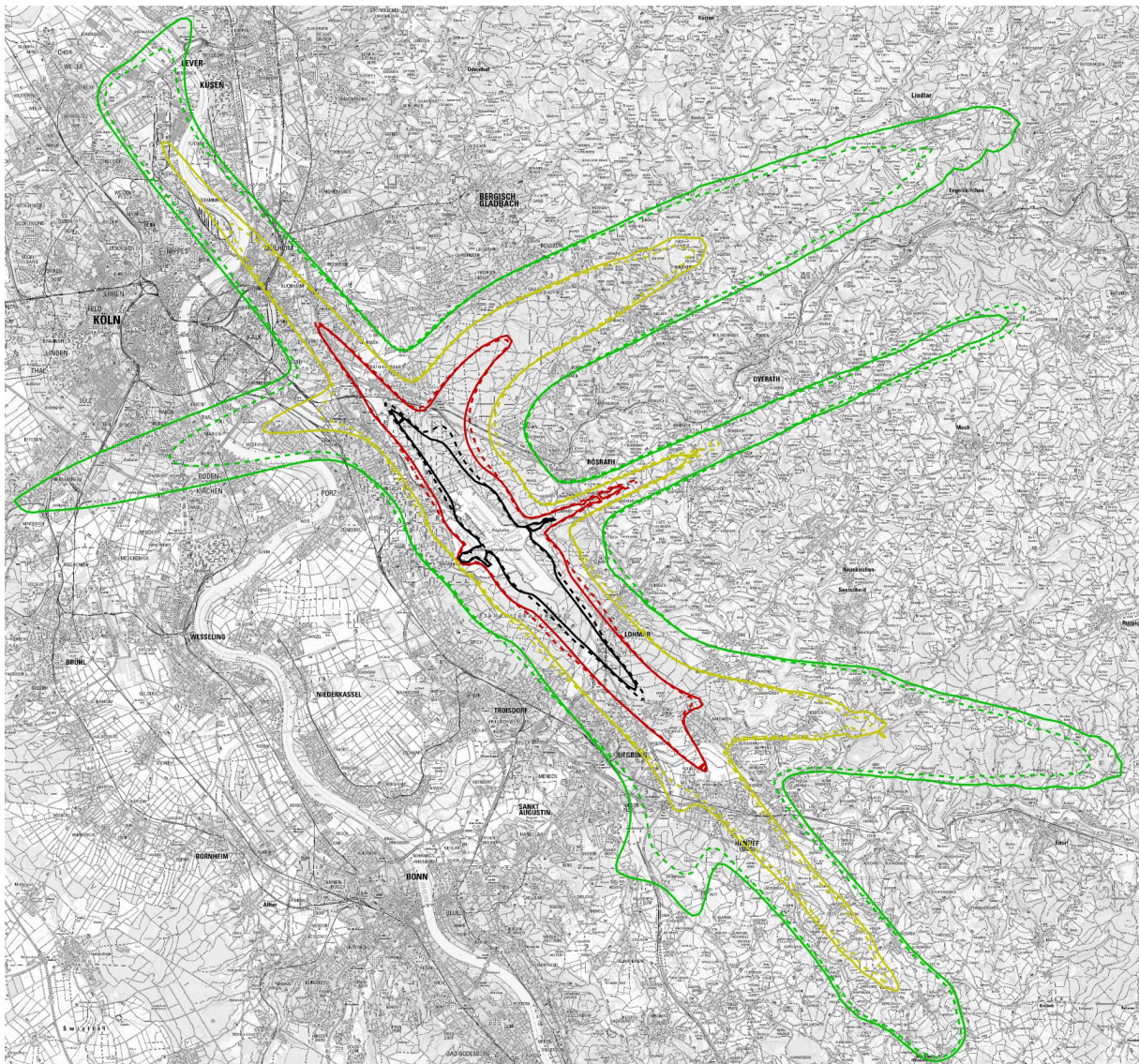


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) und 60 (gelb) bzw. 65 (rot) dB(A) sowie Tag-Schutzzonen 1 (grau, gestrichelt, innen) und 2 (grau, gestrichelt, außen) nach AzB-2008²³
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die für das Prognoseszenario nach AzB-ND berechneten Konturen für LEQ 60 und 65 dB(A) fallen jeweils kleiner aus als die nach denselben Kennzahlen ermittelten Konturen der Tag-Schutzzonen 1 und 2 des aktuellen LSB [44] (siehe Abbildung 36). In Kombination mit Abbildung 35 lässt sich hieraus schließen, dass unter den für die Studie getätigten Annahmen die Tag-Schutzzonen des Lärmschutzbereiches kleiner ausfallen würden.

²³ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 37: Berechnung EDDK (Nacht) Prognoseszenario 2030



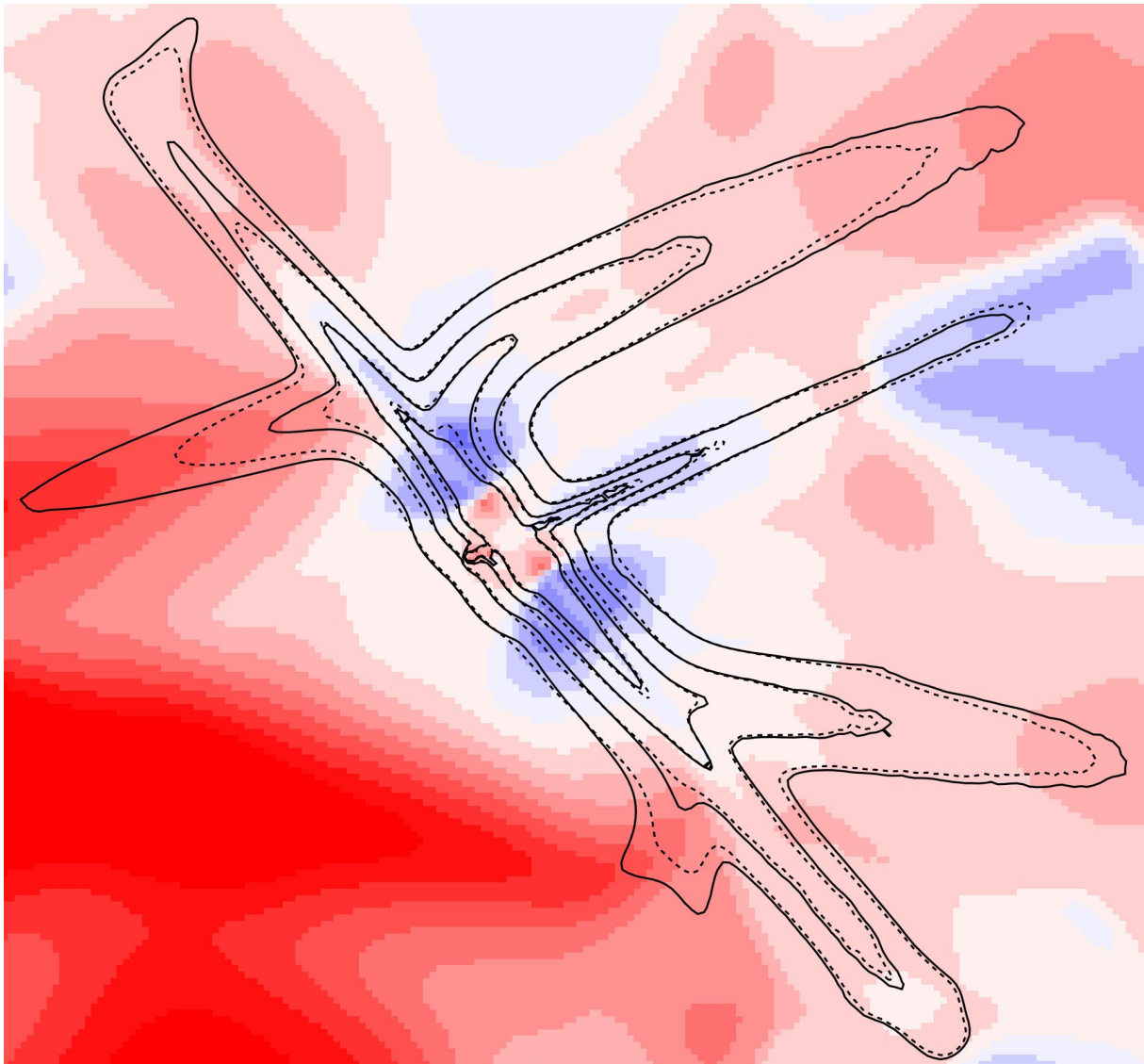
Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)²⁴

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die Berechnungen für die Kennzahl LEQ in der Nacht zeigen eine ähnliche Tendenz wie bei den anderen betrachteten Szenarien: Für die LEQ-Werte 60 und 55 dB(A) werden bei der Vergleichsrechnung eher kleinere Gebiete nach AzB-ND berechnet. Für die Werte 50 und 45 dB(A) ist das nach AzB-ND berechnete Gebiet jeweils deutlich größer als die Vergleichskontur nach AzB-2008 (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38).

²⁴ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

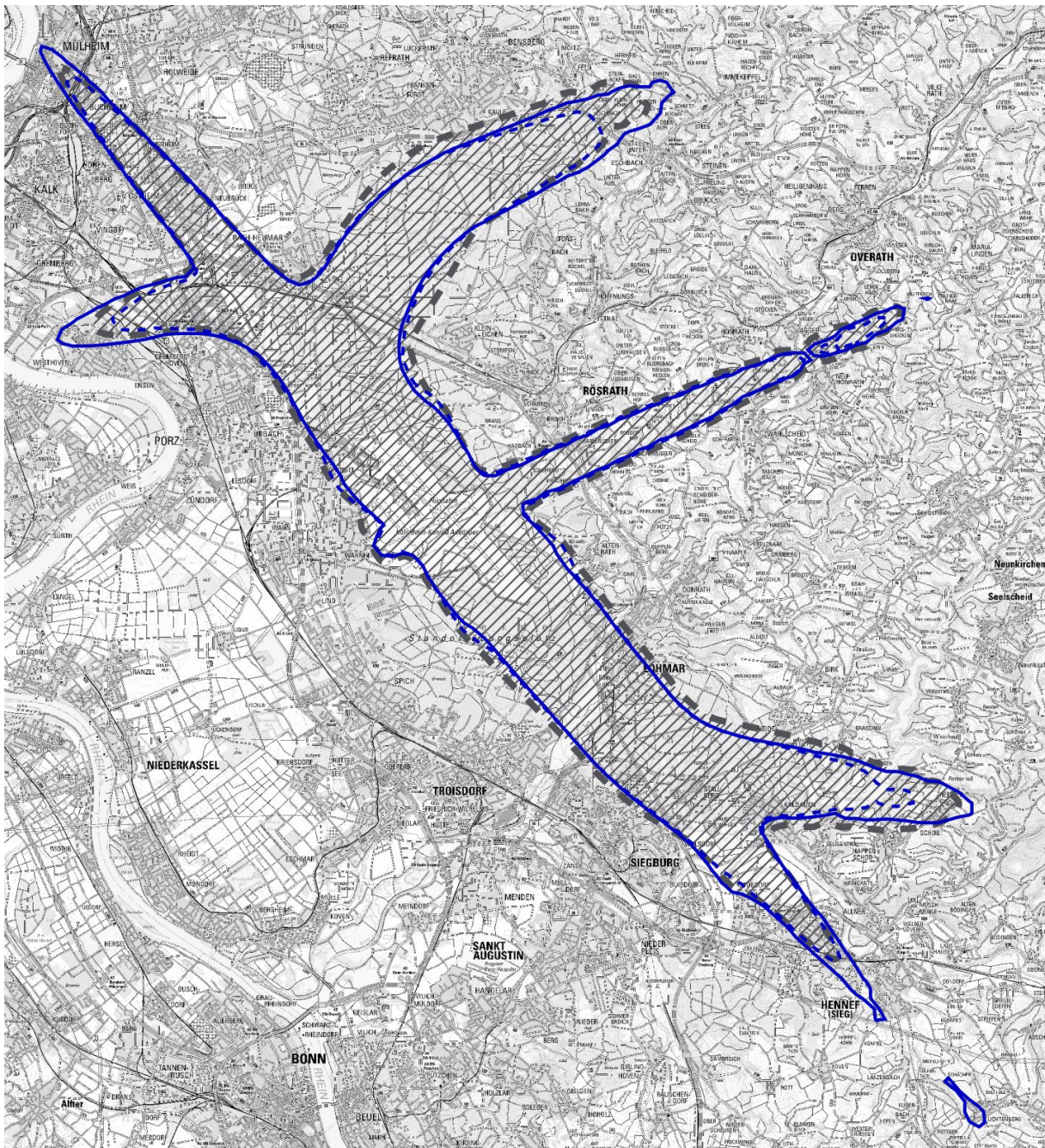
Abbildung 38: Differenzberechnung EDDK (Nacht) Prognoseszenario 2030



Differenzraaster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Nacht) von 45 bis 60 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 39: Vergleich EDDK (Nacht) Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) mit LSB-Kontur (AzB-2008)



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ+NAT (blau) sowie Nacht-Schutzzone des LSB (grau, gestrichelt) nach AzB-2008²⁵

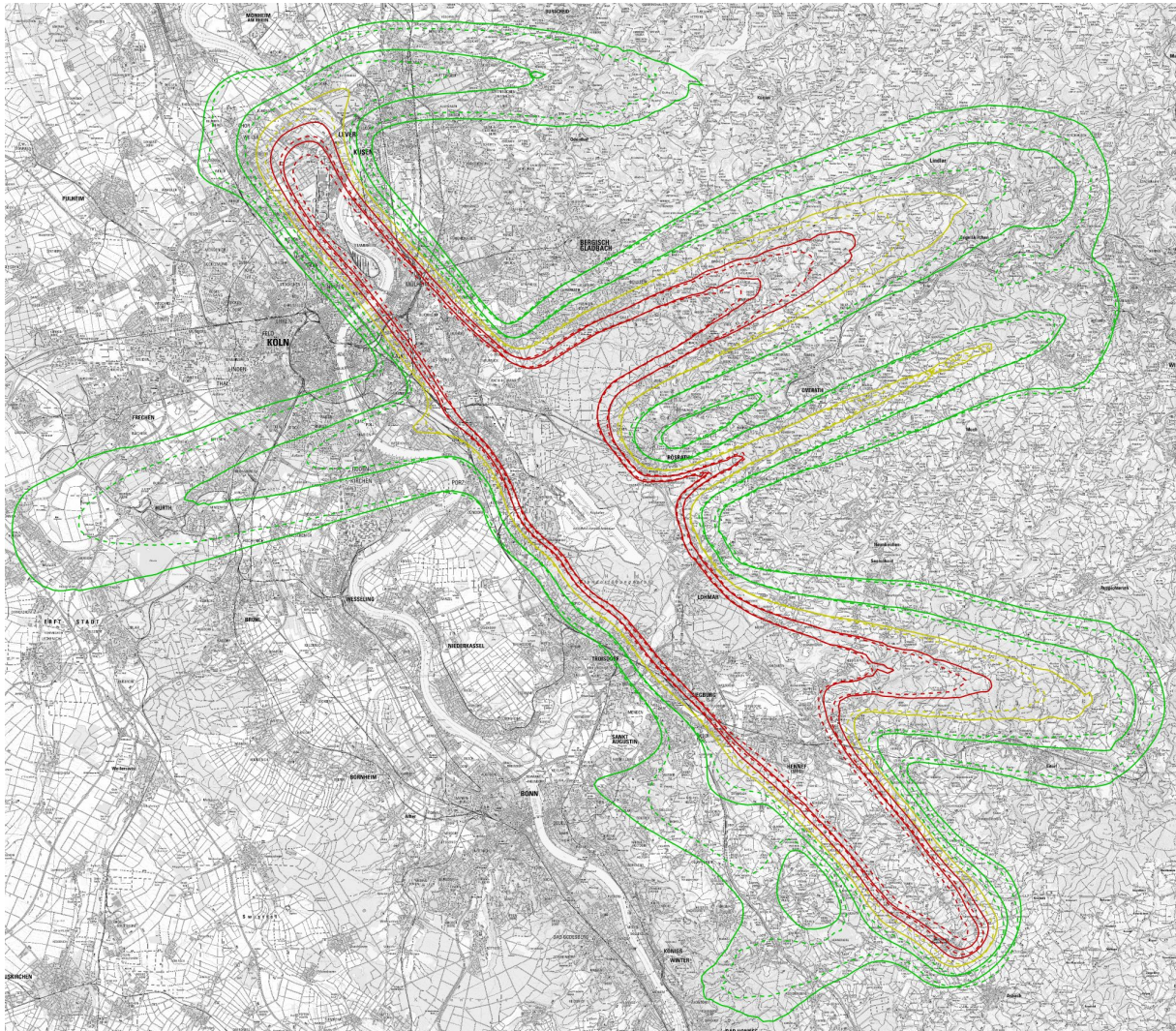
Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Der Vergleich der LEQ+NAT-Isolinien mit der Nacht-Schutzzone des Lärmschutzbereichs zeigt kein einheitliches Bild. Die nach AzB-ND berechnete Fläche ist kleiner als die der Nacht-Schutzzone. Dennoch weist die nach AzB-ND berechnete Kontur an einigen Stellen eine größere Ausdehnung auf.

²⁵ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Da die LSB-Konturen und die berechneten Konturen des Prognoseszenarios auf unterschiedlichen DES basieren, lässt sich hieraus keine eindeutige Tendenz hinsichtlich der Ausdehnung zukünftiger Nacht-Schutzzonen ableiten.

Abbildung 40: Berechnung EDDK (AWR) Prognoseszenario 2030



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für AWR (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR: 0,2 und 0,4 (grün), 0,6 (gelb), 0,8 und 1,0 (rot)²⁶

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Auch im Prognoseszenario 2030 für den Flughafen Köln/Bonn ergaben sich für die Kennzahl AWR jeweils größere Konturen bei der Berechnung nach AzB-ND im Vergleich zu den nach AzB-2008 ermittelten Konturen.

Die Visualisierung der im Prognoseszenario nach AzB-ND berechneten Isolinien zeigt für EDDK eine große Ähnlichkeit mit den nach AzB-2008 berechneten Konturen des aktuellen Lärmschutzbereichs [44]. Dies gilt, obwohl die verwendeten DES nur bedingt mit dem für die Berechnung des LSB verwendeten DES vergleichbar sind.

²⁶ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse der Vergleichsrechnung für den Flughafen Köln/Bonn. Analog zu den Ergebnissen für Frankfurt zeigt sich auch hier, dass die ausgewählten Konturen des Prognoseszenarios kleinere Flächen umfassen und weniger Personen betreffen.

Tabelle 20: Betroffene Personen und Flächen EDDK Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) und LSB-Konturen (AzB-2008)

Kenngröße	Prognoseszenario (AzB-ND)		Lärmschutzbereich (LSB) nach AzB-2008			Differenz (AzB-ND – LSB)	
	Fläche (km ²)	Einwohner	Kontur	Fläche (km ²)	Einwohner	Fläche (km ²)	Einwohner
LEQ Tag - 65 dB(A)	5,66	0	Tag-Schutzzone 1	10,04	4	-4,38	-4
LEQ Tag - 60 dB(A)	14,37	268	Tag-Schutzzone 2	24,41	2.582	-10,04	-2.314
LEQ 55 dB(A) + NAT 6 x 72 dB(A)	94,11	48.430	LSB Nacht-Schutzzone	101,91	43.387	-7,80	5.043

Die Flächenangaben sind auf zwei Nachkommastellen gerundet.

4.3.3 Flughafen Leipzig/Halle

Für die Berechnungen der DES-Modelle für den Flughafen Leipzig/Halle wurde ein Rechengebiet von 70 km x 60 km (35 km in westlicher und östlicher Richtung vom ARP und 30 km in nördlicher und südlicher Richtung vom ARP) gewählt.

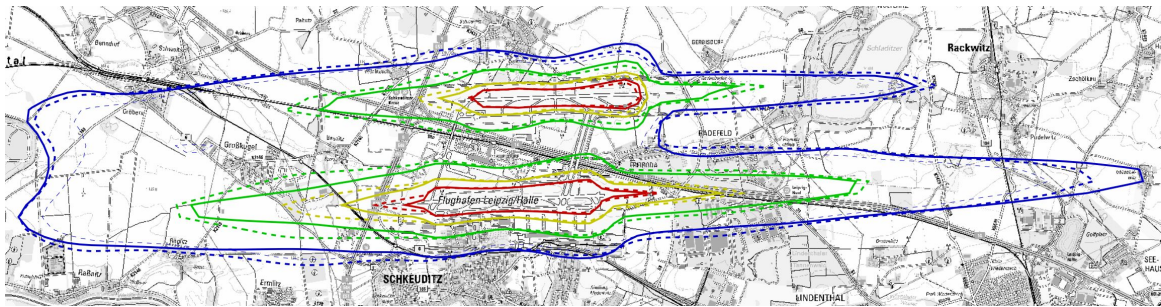
Die berechneten Konturen sind grundsätzlich deutlich in Ost-West-Richtung ausgedehnt, was der Ausrichtung der Start-/Landebahnen 08L/26R und 08R/26L entspricht. Die für die Kennzahl AWR ermittelten Isolinien weisen darüber hinaus noch eine deutliche Ausdehnung nach Norden bzw. Süden auf.

4.3.3.1 Ist-Szenario 2019

Die Darstellungen der Rechenergebnisse für die Kennzahl LEQ* (Tag) in den Anhängen D.1.3 und D.1.4 verwenden einen Maßstab von 1 : 100.000 und bilden etwa ein Gebiet von 28 km x 26 km ab. Für LEQ* (Nacht) wird in den Karten (Anhänge D.1.5 und D.1.6) ein Maßstab von 1 : 200.000 verwendet und ein Gebiet von etwa 57 km x 53 km abgebildet.

Die Konturen für die Kennzahl AWR* (Nacht) im Anhang D.1.7 mussten im Maßstab von 1 : 250.000 dargestellt werden, um alle Konturen zu erfassen. Diese Karte stellt ein Gebiet von etwa 72 km x 66 km dar.

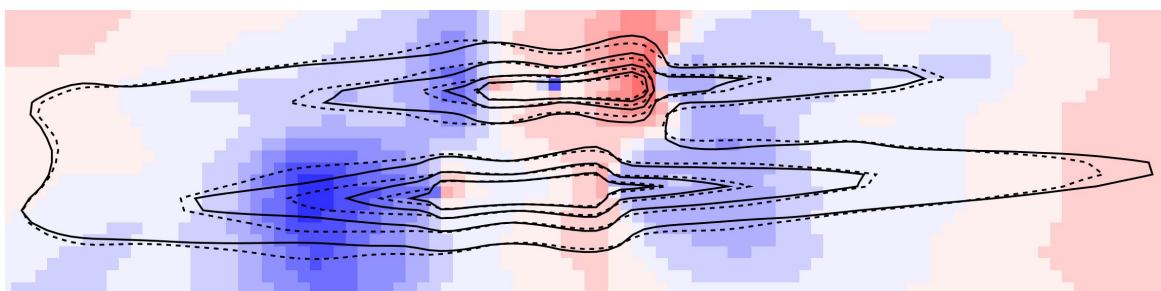
Abbildung 41: Berechnung EDDP (Tag) Ist-Szenario 2019



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ^* (Tag) von 50 bis 65 dB(A): 50 dB(A) (blau), 55 dB(A) (grün), 60 dB(A) (gelb), 65 dB(A) (rot)²⁷

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 42: Differenzberechnung EDDP (Tag) Ist-Szenario 2019

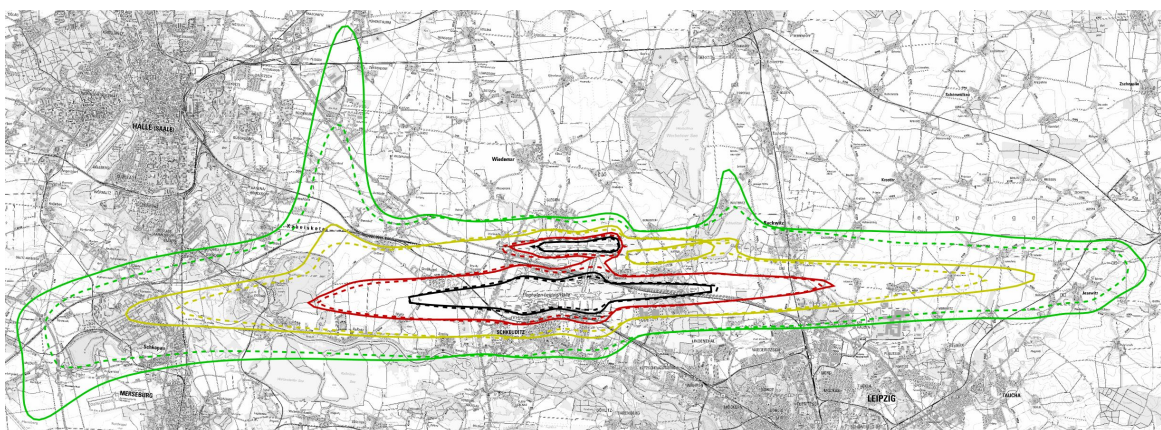


Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ^* (Tag) von 50 bis 65 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Anhand der Visualisierung der relativ kleinen Konturen zur Kennzahl LEQ^* (Tag) lässt sich nicht feststellen, dass eine Kontur nach AzB-ND oder AzB-2008 generell kleiner oder größer berechnet wurde (siehe Abbildung 41 und Abbildung 42).

Abbildung 43: Berechnung EDDP (Nacht) Ist-Szenario 2019



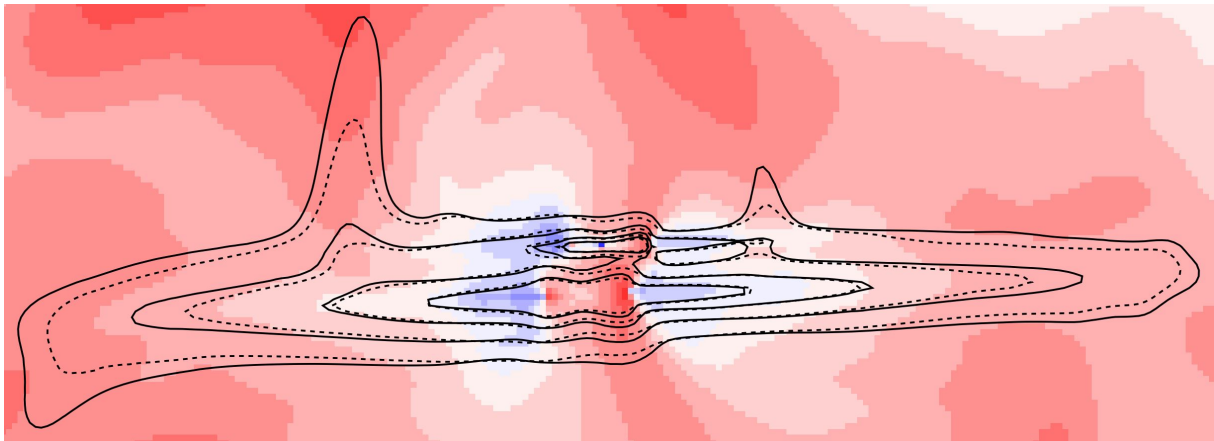
Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ^* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)²⁸

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

²⁷ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

²⁸ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 44: Differenzberechnung EDDP (Nacht) Ist-Szenario 2019

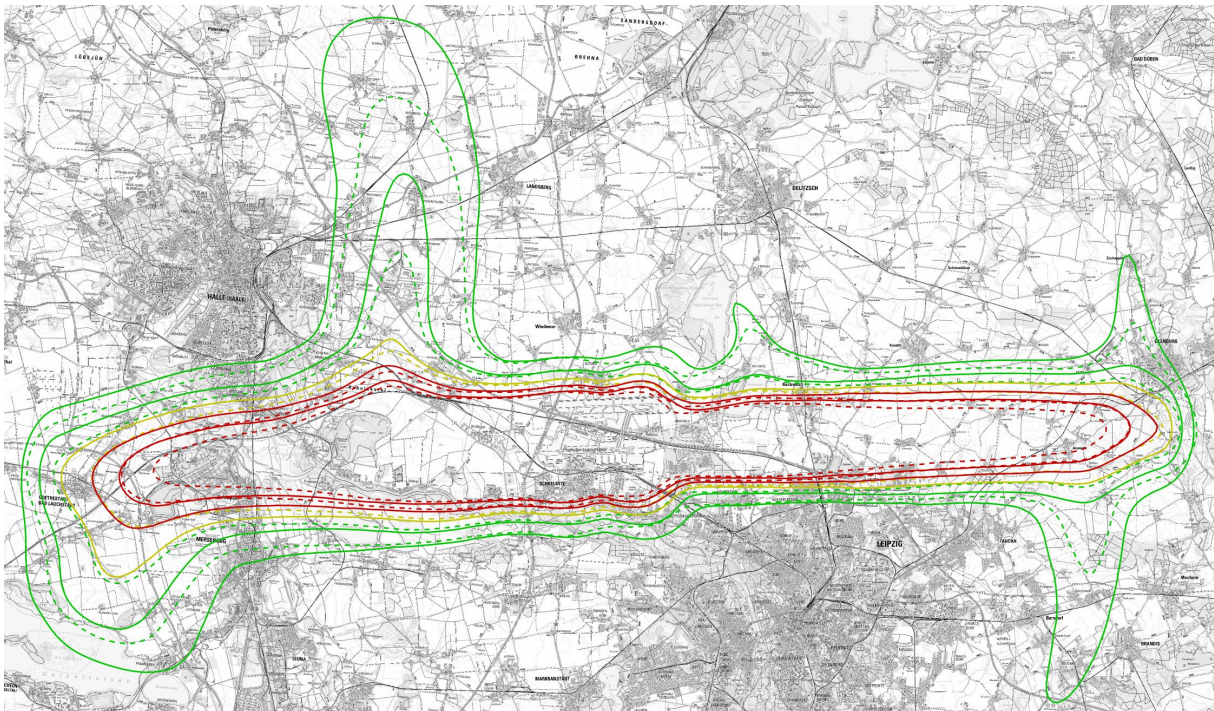


Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ* (Nacht) von 45 bis 60 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Für den Nachtzeitraum zeigt sich dagegen sowohl für LEQ* als auch für AWR, dass die nach AzB-ND berechneten Konturen eine größere Ausdehnung aufweisen als bei einer Berechnung nach AzB-2008.

Abbildung 45: Berechnung EDDP (AWR) Ist-Szenario 2019



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für AWR* (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR: 0,2 und 0,4 (grün), 0,6 (gelb), 0,8 und 1,0 (rot)²⁹

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

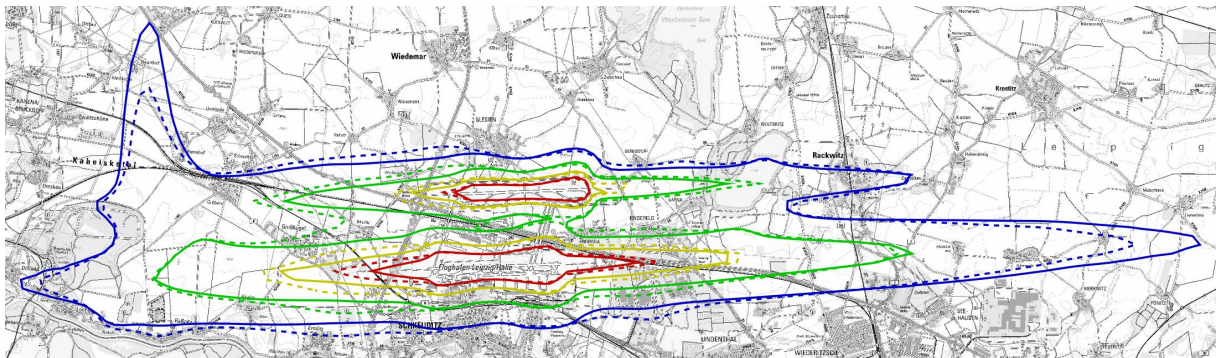
²⁹ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

4.3.3.2 Prognoseszenario 2030

Die Darstellungen der Ergebnisse des Prognoseszenarios für den Flughafen Leipzig/Halle und die Kennzahl LEQ (Tag) in den Anhängen D.2.3 und D.2.4 verwenden einen Maßstab von 1 : 150.000 und bilden ein Gebiet von etwa 96 km x 66 km ab. Die Karten für LEQ (Nacht) in den Anhängen D.2.5 und D.2.6 verwenden einen Maßstab von 1 : 200.000 und zeigen ein Gebiet von 57 km x 53 km.

Die Darstellungen zur Kennzahl AWR (Nacht) im Anhang D.2.7 mussten aufgrund der großen Ausdehnung der Konturen im Maßstab 1 : 250.000 dargestellt werden und bilden ein Gebiet von etwa 72 km x 66 km ab.

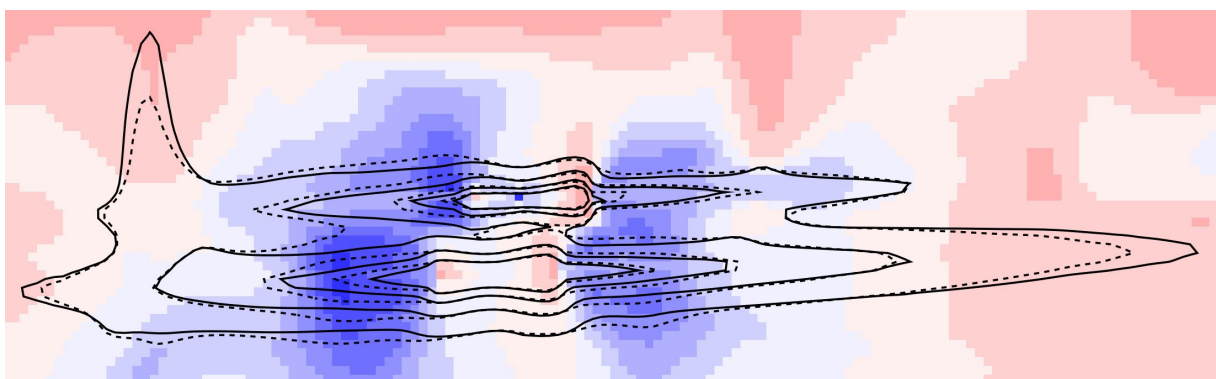
Abbildung 46: Berechnung EDDP (Tag) Prognoseszenario 2030



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) von 50 bis 65 dB(A): 50 dB(A) (blau), 55 dB(A) (grün), 60 dB(A) (gelb), 65 dB(A) (rot)³⁰.

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Abbildung 47: Differenzberechnung EDDP (Tag) Prognoseszenario 2030



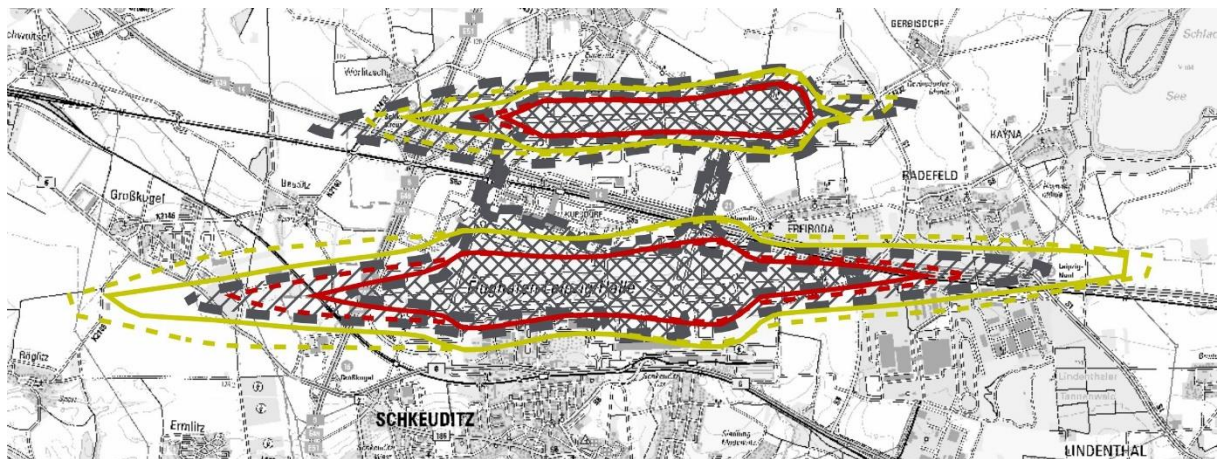
Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) von 50 bis 65 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die Berechnungen der Isolinien für LEQ (Tag) und die Werte 65, 60 und 55 dB(A) führen im Prognoseszenario für AzB-ND zu kleineren Konturen als nach AzB-2008. Lediglich die Kontur für den Wert 50 dB(A) nach AzB-ND weist an einigen Stellen eine deutlich größere Ausdehnung – bei einem insgesamt ähnlichen Flächeninhalt – auf.

³⁰ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 48: Vergleich EDDP (Tag) Prognoseszenario 2030 mit LSB-Konturen

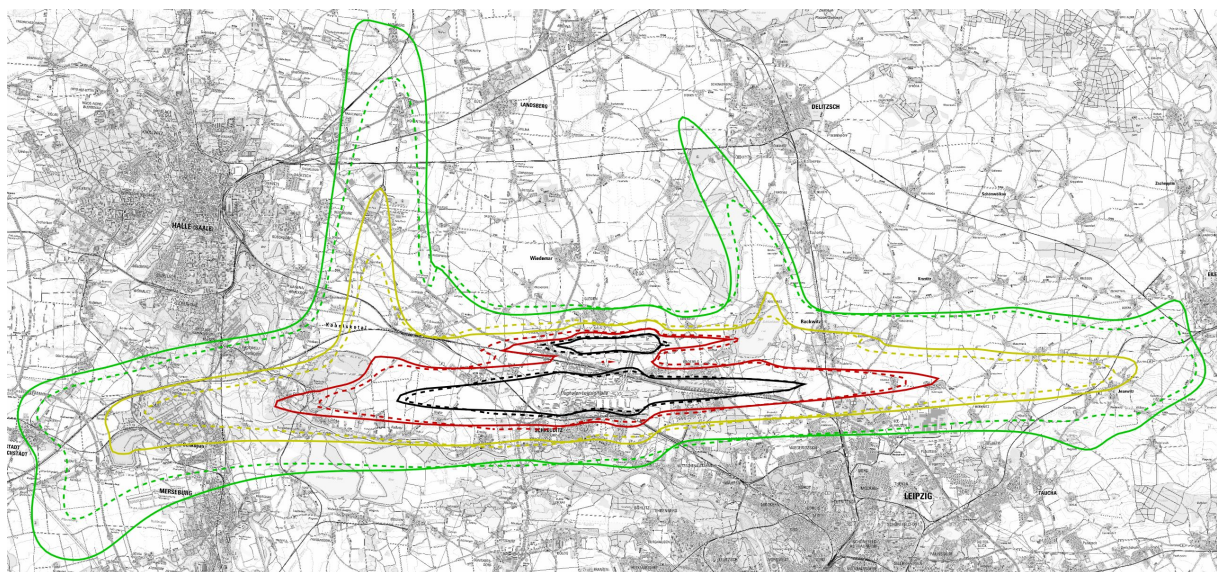


Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Tag) und 60 (gelb) bzw. 65 (rot) dB(A) sowie Tag-Schutzzonen 1 (grau, gestrichelt, innen) und 2 (grau, gestrichelt, außen) nach AzB-2008³¹

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Ein Vergleich der für das Prognoseszenario berechneten Isolinien LEQ (Tag) mit den Werten 65 bzw. 60 dB(A) mit den Konturen der Tag-Schutzzonen 1 und 2 des LSB [45] ergibt ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 48). In Anbetracht der Unterschiede bei den verwendeten DES und den relativ geringen Flugbewegungszahlen am Tag lassen sich hieraus keine generellen Aussagen über die Größe zukünftiger Tag-Schutzzonen ableiten.

Abbildung 49: Berechnung EDDP (Nacht) Prognoseszenario 2030



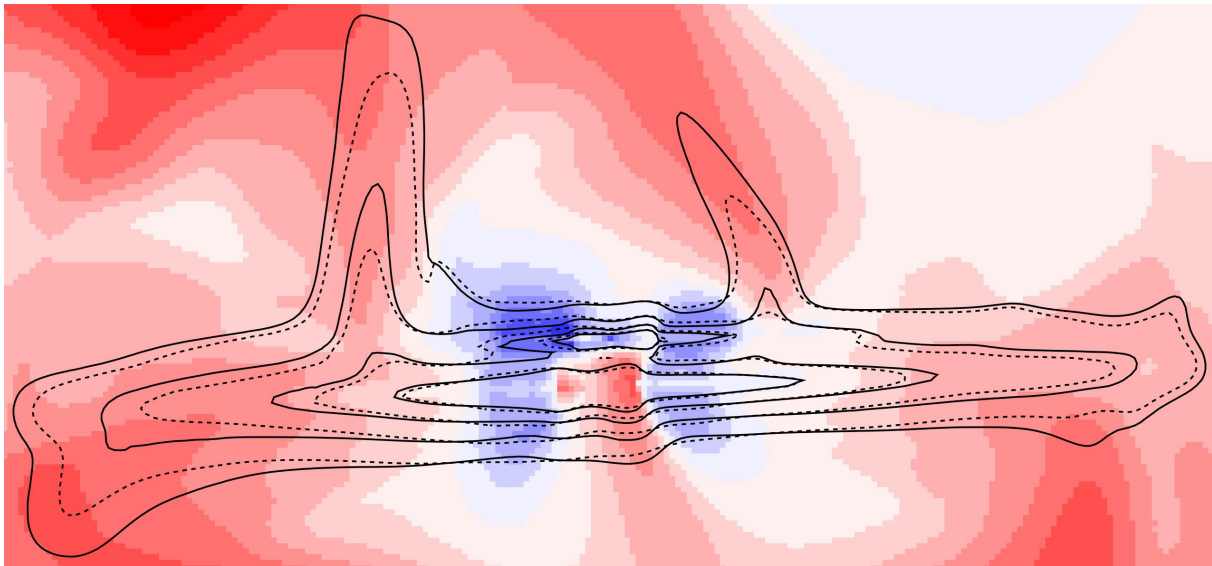
Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Nacht) von 45 bis 60 dB(A): 45 dB(A) (grün), 50 dB(A) (gelb), 55 dB(A) (rot), 60 dB(A) (schwarz)³²

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

³¹ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

³² Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Abbildung 50: Differenzberechnung EDDP (Nacht) Prognoseszenario 2030



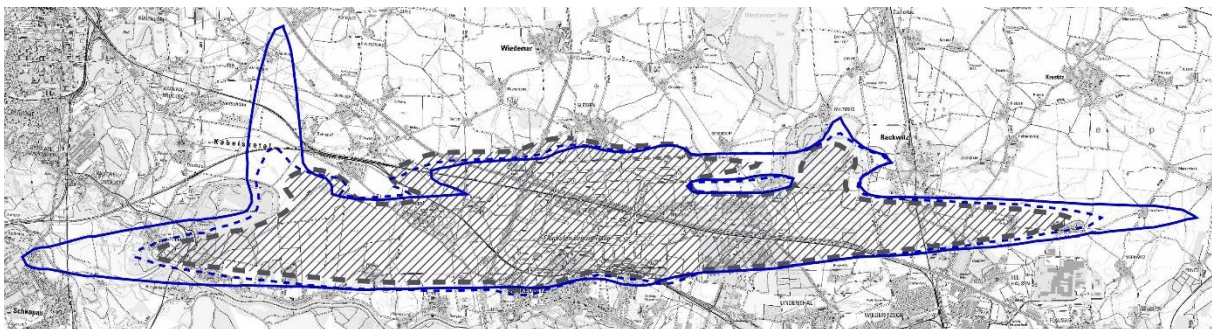
Differenzraster und Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ (Nacht) von 45 bis 60 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

Die Betrachtung der Rechenergebnisse für die Kennzahl LEQ (Nacht) im Prognoseszenario für den Flughafen Leipzig/Halle zeigt für alle Isolinien eine deutliche Vergrößerung der berechneten Flächen nach AzB-ND im Vergleich zu den entsprechenden Konturen nach AzB-2008 (siehe Abbildung 49 und Abbildung 50).

Ebenso zeigt der Vergleich der nach AzB-ND berechneten Isolinien für LEQ+NAT (Nacht 55 dB(A) und 6x72 dB(A)) eine deutlich größere Kontur als die der Nacht-Schutzzone des aktuellen LSB [45]. Eine nach AzB-ND berechnete Nacht-Schutzzone würde also deutlich größer ausfallen als im aktuell festgesetzten LSB. Eine Überprüfung dieser These sollte jedoch auf Basis einer fundierten Luftverkehrsprognose und eines hieraus abgeleiteten DES erfolgen.

Abbildung 51: Vergleich EDDP (Nacht) Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) mit LSB-Kontur (AzB-2008)



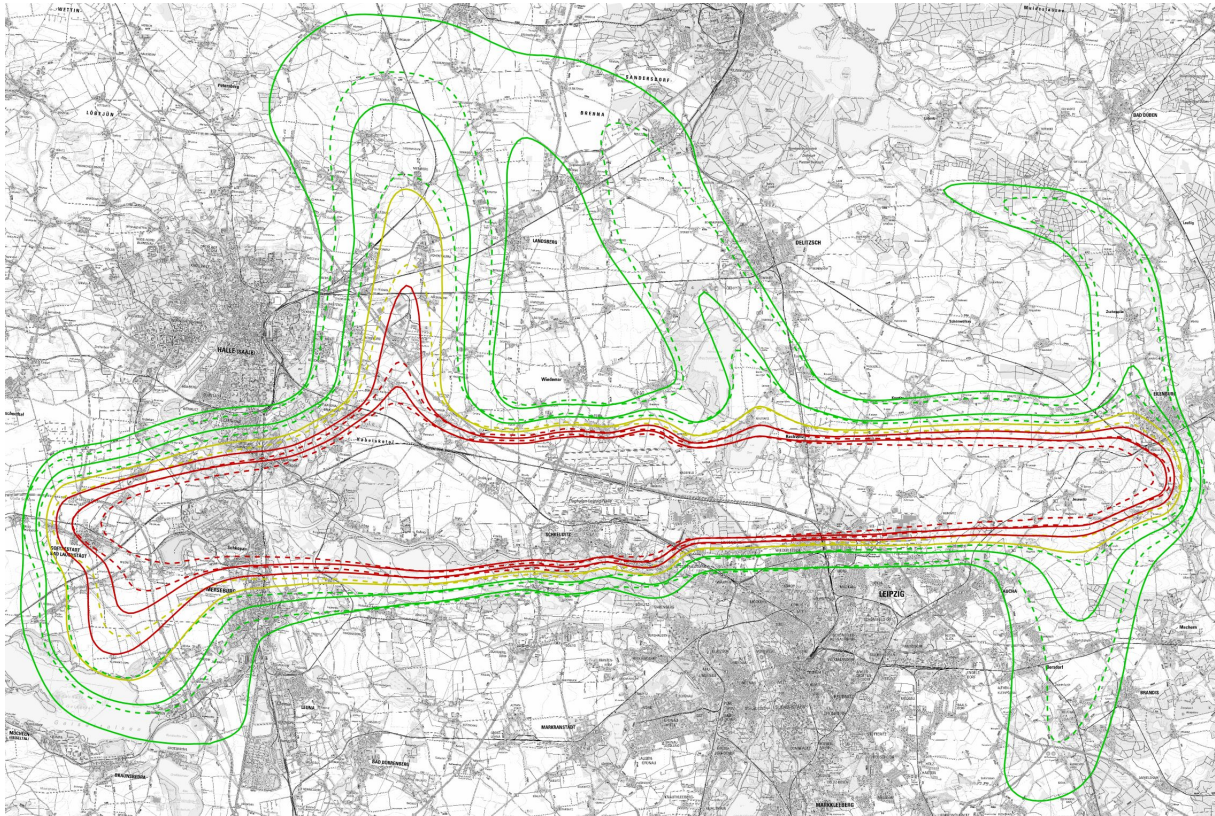
Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für LEQ+NAT (blau) sowie Nacht-Schutzzone des LSB (grau, gestrichelt) nach AzB-2008³³

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

³³ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

Die für die Kennzahl AWR berechneten Konturen weisen wiederum bei der Berechnung nach AzB-ND eine deutlich größere Ausdehnung auf als bei einer Berechnung nach AzB-2008 (siehe Abbildung 52).

Abbildung 52: Berechnung EDDP (AWR) Prognoseszenario 2030



Isolinien nach AzB-2008 (gestrichelte Linien) und AzB-ND (durchgehende Linien) für AWR (Nacht) von 0,2 bis 1,0 AWR: 0,2 und 0,4 (grün), 0,6 (gelb), 0,8 und 1,0 (rot)³⁴

Quelle: eigene Darstellung, OTSD GmbH

³⁴ Kartenhintergrund: ©GeoBasis-DE / BKG (2022), Daten verändert

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse des Vergleichs ausgewählter Isolinien mit den Konturen des LSB für den Flughafen Leipzig/Halle aufgeführt. Im Gegensatz zu den Ergebnissen für die Flughäfen Frankfurt/Main und Köln/Bonn sind hier innerhalb der Konturen des Prognoseszenarios mehr Personen betroffen als innerhalb der aktuellen Nacht-Schutzzone.

Tabelle 21: Betroffene Personen und Flächen EDDP Prognoseszenario 2030 (AzB-ND) und LSB-Konturen (AzB-2008)

Kenngröße	Prognoseszenario (AzB-ND)		Lärmschutzbereich (LSB) nach AzB-2008			Differenz (AzB-ND – LSB)	
	Fläche (km ²)	Einwohner	Kontur	Fläche (km ²)	Einwohner	Fläche (km ²)	Einwohner
LEQ Tag - 65 dB(A)	6,21	0	Tag-Schutzzone 1	7,00	0	-0,79	0
LEQ Tag - 60 dB(A)	14,89	18	Tag-Schutzzone 2	14,79	2	0,10	16
LEQ 55 dB(A) + NAT 6 x 72 dB(A)	102,30	9.416	LSB Nacht-Schutzzone	76,83	5.495	25,47	3.921

Die Flächenangaben sind auf zwei Nachkommastellen gerundet.

5 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Vorhaben wurde erstmals die vom DLR entwickelte neue akustische Datengrundlage für die Berechnung von Fluglärm nach der AzB für mehrere realitätsnahe Szenarien angewendet. Das Vorhaben war in die Teilprojekte DES-Erstellung, Entwicklung von Verkehrsszenarien sowie die Durchführung von Fluglärmrechnungen nach AzB untergliedert. Die Ergebnisse sind im vorliegenden Abschlussbericht sowie den Anhängen zu den verwendeten DES sowie graphischen Darstellungen der Berechnungsergebnisse dargestellt.

Die DES-Erstellung für die Flughäfen Frankfurt/Main, Köln/Bonn und Leipzig/Halle orientierte sich dabei an Erfahrungen der Autoren aus über 50 Projekten, bei denen in den vergangenen Jahren DES-Modelle für unterschiedlichste Flugplätze erstellt wurden. So entstanden Flugstreckenmodelle als Abbildung des realen Flugbetriebs von 2019, die als Grundlage für die späteren Fluglärmrechnungen dienten.

Entwickelt wurden sechs verschiedene Verkehrsszenarien für die drei betrachteten Flughäfen, jeweils eine Ist-Betrachtung der Monate Mai bis Oktober 2019 und ein Prognoseszenario für die sechs verkehrsreichsten Monate 2030. Für die Prognoseszenarien wurden Annahmen über die zukünftigen globalen und flughafenspezifischen Flottenzusammensetzungen entwickelt und grob abgeschätzt, wie sich der Einsatz bestimmter Luftfahrzeugtypen bzw. -gruppen bis zum Jahr 2030 entwickeln wird. Während die angenommenen Entwicklungen in Bezug auf die Luftfahrzeuggruppen der AzB-2008 nur wenige Auswirkungen auf die Struktur der in den DES erfassten Verkehrsmengen hatten, führte die feinere Untergliederung der neuen Datengrundlage zu deutlichen Verschiebungen der anteiligen Nutzung von Luftfahrzeuggruppen nach AzB-ND für 2030.

Die mit aktueller (AzB-2008) und neuer (AzB-ND) Datengrundlage berechneten Isolinien bzw. Lärmkonturen für die Kenngröße LEQ (Tag oder Nacht) zeigen für alle untersuchten Szenarien eine ähnliche Tendenz: Die nach AzB-ND berechneten Konturen weisen in einer Umgebung von wenigen Kilometern um den Flugplatzbezugspunkt einen ähnlichen Flächeninhalt auf wie die nach AzB-2008 berechneten Isolinien. Mit zunehmender Entfernung vom Flugplatz wächst allerdings die von den nach AzB-ND berechneten Konturen begrenzte Fläche über das Maß der Vergleichskonturen nach AzB-2008 hinaus.

Erwartungsgemäß zeigen sich die durch den Wechsel der Datengrundlage hervorgerufenen Effekte bei den untersuchten Szenarien an unterschiedlichen Orten (in Bezug auf die Lage in Relation zum Flugplatz) und betreffen jeweils unterschiedliche Isolinien der verschiedenen Kennzahlen. Dies war der Grund für die Wahl möglichst unterschiedlicher Flugplätze und Verkehrsszenarien.

In der Betrachtung für den Flughafen Frankfurt/Main wurden beispielsweise die Isolinien für den LEQ (Tag) und die Werte 60, 65 und 70 dB(A) sowie für LEQ (Nacht) 55 und 60 dB(A) nach AzB-ND kleiner berechnet als nach AzB-2008. Die Isolinien für LEQ (Tag) 50 und 55 dB(A) sowie LEQ (Nacht) 45 und 50 dB(A) ergaben dagegen eine eher größere Fläche. Würden also die Tag- und Nacht-Schutzzonen auf Basis des (vereinfachten) Prognoseszenarios aus diesem Vorhaben ermittelt, so würde die Tag-Schutzzone 1 nach AzB-ND kleiner ermittelt als nach AzB-2008. Die Tag-Schutzzone 2 würde dagegen eine größere Fläche umfassen. Eine Neuberechnung der Nacht-Schutzzone LEQ+NAT (Nacht) würde unter den hier dargestellten Annahmen zwar zu einem ähnlich großen Flächeninhalt der Kontur führen, ihre Ausdehnung wäre in Ost-West-Richtung in Verlängerung der Landebahnen des Parallelbahnsystems jedoch größer als die aktuell festgesetzte Nacht-Schutzzone.

Für den Flughafen Köln/Bonn würden auf Basis des (vereinfachten) Prognoseszenarios sowohl die beiden Tag-Schutzzonen als auch die für die Nacht-Schutzzone relevante LEQ-Kontur kleiner aus der Berechnung nach AzB-ND hervorgehen. Die aus den Kenngrößen LEQ (Nacht) und NAT abgeleitete Nacht-Schutzzone würde dagegen größer ausfallen. Im Ist-Szenario, ohne eine Berücksichtigung der für die Flottenentwicklung getroffenen Annahmen, ergibt sich lediglich eine marginale Änderung der für die Tag-Schutzzonen relevanten Konturen.

Die Rechenergebnisse für den Flughafen Leipzig/Halle zeigen eine Verkleinerung der Fläche der für die beiden Tag-Schutzzonen relevanten Isolinien bei einer Berechnung nach AzB-ND, die im Prognoseszenario (mit Berücksichtigung der angenommenen Flottenentwicklung) deutlicher ausfällt. Die für die Nacht-Schutzzone relevanten LEQ-Konturen werden dagegen größer, wobei die Vergrößerung im Prognoseszenario nur marginal ausfällt. Im Prognoseszenario wird die der Nacht-Schutzzone entsprechende Kontur LEQ+NAT nach AzB-ND deutlich größer.

Tabelle 22 stellt für alle drei Flughäfen die im Ist- und Prognoseszenario berechneten prozentualen Veränderungen der Flächeninhalte für die Isolinien von 50 bis 70 dB(A) am Tag und von 45 bis 60 dB(A) in der Nacht, jeweils in 5 dB-Schritten, dar. Außerdem wurden für die Prognoseszenarien in der Nacht die prozentualen Flächenveränderungen in Bezug auf die für Ermittlung der Nacht-Schutzzone relevante Kennzahl LEQ+NAT aufgeführt.

Die Angaben der Tabelle sind als grobe Tendenzen für eine Veränderung der Tag- und Nacht-Schutzzonen anzusehen, sollten diese zukünftig auf Basis der neuen Datengrundlage AzN-ND ermittelt werden.

Die für die Festlegung der Tag- und Nacht-Schutzzonen relevanten Werte sind zusätzlich mit „(Tag 1)“, „(Tag 2)“ oder „(Nacht)“ gekennzeichnet. Der für die Ermittlung des LEQ-basierten Teils der Nacht-Schutzzone relevante Wert ist mit „(Nacht/LEQ)“ versehen.

Tabelle 22: Flächenvergleich der Isolinien nach AzB-ND und AzB-2008

Flughafen	Szenario	TAG					NACHT				LEQ + NAT
		50	55	60	65	70	45	50	55	60	
EDDF	2019	+ 23 %	+ 8 % (Tag 2)	- 5 % (Tag 1)	- 16 %	- 16 %	+ 15 %	+ 2 % (Nacht/LEQ)	- 10 %	- 19 %	-
	2030	+ 13 %	+ 10 % (Tag 2)	- 12 % (Tag 1)	- 17 %	- 21 %	+ 14 %	+ 1 % (Nacht/LEQ)	- 12 %	- 19 %	+ 1 % (Nacht)
EDDK	2019	+ 10 %	- 4 %	- 3 % (Tag 2)	+ 0 % (Tag 1)	+ 15 %	+ 26 %	+ 16 %	+ 3 % (Nacht/LEQ)	- 1 %	-
	2030	+ 1 %	- 19 %	- 24 % (Tag 2)	- 14 % (Tag 1)	+ 1 %	+ 16 %	+ 10 %	- 6 % (Nacht/LEQ)	- 14 %	+ 10 % (Nacht)
EDDP	2019	- 3 %	- 15 %	- 14 % (Tag 2)	- 2 % (Tag 1)	+ 10 %	+ 24 %	+ 16 %	+ 6 % (Nacht/LEQ)	+ 0 %	-
	2030	+ 1 %	- 16 %	- 21 % (Tag 2)	- 15 % (Tag 1)	- 4 %	+ 21 %	+ 18 %	+ 2 % (Nacht/LEQ)	- 4 %	+ 16 % (Nacht)

Veränderung der berechneten Flächeninhalte (AzB-ND im Vergleich mit AzB-2008), basierend auf den Flächenangaben in Anhang E und gerundet auf ganze Prozentwerte, Zellenhintergrund weiß: mehr als 3,5 % kleinere Fläche; grau: Veränderung -3,5 % bis 3,5 %; schwarz: mehr als 3,5 %

Ein Vergleich der Flächen der nach AzB-ND berechneten Konturen mit den jeweils gültigen Konturen des bestehenden Lärmschutzbereichs ist in Tabelle 23 dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass die für dieses Vorhaben verwendeten Modelle auf z. T. deutlich anderen Datengrundlagen beruhen als die, vor Jahren erstellten, Datenerfassungssysteme zur Festlegung der bestehenden Lärmschutzbereiche. Die durch den Wechsel der Datengrundlage und der (erwarteten) Flottenzusammensetzung resultierenden Effekte aus Tabelle 22 treten hier in Wechselwirkung mit einem geänderten Flugstreckensystem sowie anderen Annahmen zu den prognostizierten Verkehrsmengen. Die Änderungen der berechneten Flächen sind daher nur sehr bedingt mit den Ergebnissen aus Tabelle 22 vergleichbar.

Für die Flughäfen Frankfurt/Main und Köln/Bonn fallen alle nach AzB-ND berechneten Konturen kleiner aus als die Konturen der aktuell festgelegten Lärmschutzbereiche. Dagegen fallen beim Flughafen Leipzig/Halle die der Nacht-Schutzzone entsprechenden Konturen signifikant größer aus als die entsprechenden Konturen des aktuell festgelegten Lärmschutzbereichs.

Tabelle 23: Flächenvergleich der Isolinien nach AzB-ND mit bestehenden LSB-Konturen

Flughafen	Tag-Schutzzone 1	Tag-Schutzzone 2	Nacht-Schutzzone
EDDF	- 39 %	- 18 %	- 30 %
EDDK	- 44 %	- 41 %	- 8 %
EDDP	- 11 %	+ 1 %	+ 33 %

Veränderung der berechneten Flächeninhalte (AzB-ND im Vergleich mit der maßgeblichen LSB-Kontur), gerundet auf ganze Prozentwerte, Zellenhintergrund weiß: mehr als 3,5 % kleinere Fläche; grau: Veränderung -3,5 % bis 3,5 %; schwarz: mehr als 3,5 %

Die sich aus der Verwendung der neuen Klassen ergebenden Pegeldifferenzen sowohl für das Ist- als auch da Prognoseszenario lassen sich aufgrund der hohen Aggregation nicht einfach erklären. Detaillierte Einzelvergleiche für Pegeldifferenzen zwischen alten und neuen Luftfahrzeugklassen lassen sich dem DLR-Bericht [4] entnehmen.

Hinzu kommen Effekte der verschiedenen Verkehrsszenarien. Dies betrifft zum einen die mengenmäßig dominierende Luftfahrzeuggruppe S 5.2 (bis 130 t maximaler Startmasse, MTOM), sowie insbesondere die schwerere Luftfahrzeuggruppe S 6.1 (mit 2 Triebwerken und bis zu 500 t MTOM). Erstere wird gemäß AzD-ND in 4 Gruppen unterteilt, während letztere sogar in 5 Gruppen unterteilt wird. Die Differenzen der Schalleistungspegel der neuen Klassen weisen hier eine große Bandbreite im Vergleich zur jeweiligen Gruppe der AzB-2008 auf. Im Mittel über alle betrachteten Gruppen nähern sich die berechneten Immissionspegel jedoch wieder an. Dadurch fällt der Einfluss der geänderten Emissionen eher gering aus. Je größer der gruppenspezifische Anteil von Luftfahrzeugen mit Triebwerken mit hohem Bypass-Verhältnis (Klassen mit dem Suffix „NX“) ist, umso geringer sind die Immissionen, insbesondere beim Start. Dies ist vor allem für Prognoseszenarien von Bedeutung.

Es lassen sich jedoch gewisse Plausibilitätsargumente anhand der Datenblätter zu den Luftfahrzeugklassen der AzB-ND im Grundsatz ableiten. So fällt auf, dass für die Mehrzahl der Anflugdatensätze („L-Klassen“) im Vergleich zu den Klassendaten der AzB-2008 in den letzten Zeilen des Datenblattes der Zusatzpegel „Z“ während des sog. Zwischenanflugs deutlich verändert wurde: Während dieser für die meisten Datensätze der AzB-2008 negativ ist (z. B. -1 für die Klasse S 5.2 – L) ist der Z-Wert bei den Anflugdatensätzen der AzB-ND in der Regel positiv (z. B. +3 für die Klasse S3_M130_T2_N7-L). Somit ergibt sich – bei identischen LFZ-Typen – bereits rechnerisch eine positive Differenz in der Größenordnung von 4 dB der ermittelten

Pegelwerte für viele Flugbewegungen. Hierbei ist die Entfernung vom Flugplatz, ab der diese Pegeldifferenz das Ergebnis beeinflusst, vor allem von der Zwischenanflughöhe und der Länge des Zwischenanflugsegments abhängig. Dies zeigt sich insbesondere für den Flughafen Frankfurt/Main (siehe Abschnitt 3.3.1). Neben den Änderungen der akustischen Daten für startende Luftfahrzeuge („S-Klassen“) wurden auch die angenommenen Startstrecken angepasst. Diese wurden im Vergleich zur AzB-2008 teilweise verkürzt, sodass startende Flugzeuge früher eine größere Flughöhe erreichen (z. B. 1.900 m Startstrecke der Klasse S 5.2 – S gegenüber einer Startstrecke von 1.300 m bzw. 1.700 m für die Klassen S3_M130_T2_N7-SA bzw. S3_M130_T2_N7-SB). Beide Änderungen wirken zusammen, sodass die Auswirkungen sich nur schwer an den Isolinien festmachen lassen.

Die für die Kenngröße AWR berechneten Konturen umfassen für die in diesem Vorhaben untersuchten Szenarien grundsätzlich bei der Berechnung nach AzB-ND eine größere Fläche als bei einer Berechnung nach AzB-2008. Dies lässt sich teilweise bereits aus den neuen akustischen Klassendaten herleiten, d. h. den Schalleistungspegeln sowie den jeweiligen luftfahrzeugspezifischen Fixpunktprofilen.

Hinzu kommt die Belegung von solchen Untergruppen der Luftfahrzeuggruppe, wie S3_M320_T2_N7 bzw. S3_M500_T2_NX, die einen größeren Schalleistungspegel sowohl für den Start als auch für die Landung im Vergleich zu S 6.1 aufweisen.

Ein hoher Anteil dieser Luftfahrzeuggruppen in den Szenarien nach AzB-ND führt daher zwangsläufig zur Berechnung größerer Maximalpegel für dasselbe Luftfahrzeug und damit zu größeren Konturen für die Kennzahl AWR. Bei allen drei betrachteten Flughäfen ist der Nachtflugbetrieb durch einen hohen Anteil dieser schwereren, lauterer Luftfahrzeuge charakterisiert, sodass die Ergebnisse hier plausibel erscheinen.

6 Quellenverzeichnis

- [1] Der Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm vom 31.10.2007, Bundesgesetzblatt Teil 1, 2007, Nr. 56, S. 2550
- [2] Der Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2008): Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm 1. FlugLSV, Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen vom 27. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2980), die zuletzt durch Artikel 101 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2008): Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) und Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB), Bekanntmachung vom 19.11.2008 im Bundesanzeiger 195a/2008 vom 23.12.2008
- [4] Blinstrub, J.; Isermann, U.; Raitor, T.; Schmid, R. (2021): Überprüfung und Verbesserung der Berechnungsverfahren beim Fluglärm, Umweltbundesamt (Hrsg.), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., UBA Texte 93/2021
- [5] Basner, M.; Isermann, U.; Samel, A. (2005): Die Umsetzung der DLR-Studie in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 2005, Nr. 4 – Juli, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 109 – 123
- [6] Deutsches Institut für Normung (DIN), Akustik - DIN 45689-1: Ermittlung von Fluggeräuschemissionen an Flugplätzen - Teil 1: Berechnungsverfahren, 2020.
- [7] DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (2019): Luftfahrthandbuch Deutschland (IFR), Aeronautical Information Publication (AIP), Veröffentlichungen im Zeitraum 25.04.2019 bis 10.10.2019.
- [8] Deutsches Institut für Normung (DIN) (2011): Dokumentation zur Qualitätssicherung von Software zur Geräuschemissionsberechnung nach DIN 45687, 1. Dokumentation-QSI-Datenschnittstelle-DIN_45687, Fassung 2011-07.1
- [9] International Civil Aviation Organization (2022): Doc 8643 Aircraft Type Designators <https://www.icao.int/publications/DOC8643/Pages/Search.aspx> (25.01.2023)
- [10] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e.V. (Flughafenverband ADV): Verkehrszahlen <https://www.adv.aero/service/downloadbibliothek> (16.01.2023)
- [11] Petz, M.; Leitenstorfer, U. (2016): Planfeststellungsverfahren Flughafen Köln/Bonn, Erstellung der Datenerfassungssysteme Status Quo 2015, Prognosenullfall 2030 und Prognoseplanfall 2030, Accon GmbH, Greifenberg
- [12] Bartel, R.; Künzel L.; Truong, A. D. (2020): Flughafen Leipzig/Halle: Bericht über die Erstellung der Datenerfassungssysteme (DES) für den Planfall 2032 und den Prognosenullfall 2032, AVIA Consult GmbH, Strausberg
- [13] Schubert, M. (2020): Luftverkehrsprognose 2032 für den Flughafen Leipzig/Halle im Zusammenhang mit der geplanten Erweiterung des Vorfeldes 4, Intraplan Consult GmbH, März 2020
- [14] Jacobson, R.; Schubert, M. (2016): Planfeststellungsverfahren Flughafen Köln/Bonn, Verkehrsprognose für den Flughafen Köln/Bonn für das Jahr 2030, Airport Research Center GmbH, Aachen und INTRAPLAN GmbH, München
- [15] Boeing Corporation (2022): Commercial Market Outlook 2022 – 2041. <https://www.boeing.com/commercial/market/commercial-market-outlook/index.page> (17.01.2023)

- [16] Airbus SE (2022): Global Market Forecast 2022-2041. <https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/market/global-market-forecast> (17.01.2023)
- [17] Wikipedia (2022): Verkaufszahlen und Nutzung der Airbus-A320-Familie. https://de.wikipedia.org/wiki/Verkaufszahlen_und_Nutzung_der_Airbus-A320-Familie (17.01.2023)
- [18] aeroTELEGRAPH (2022): Airbus plant 2022 720 Auslieferungen. <https://www.aerotelegraph.com/airbus-will-2022-ingesamt-720-flugzeuge-ausliefern-prueft-erhoehung-der-a320-produktionsrate-auf-ueber-65> (17.01.2023)
- [19] Boeing Corporation (2022): Airplane orders and deliveries. <https://www.boeing.com/commercial/#/orders-deliveries> (17.01.2023)
- [20] Lufthansa Group (2022): Flotte der Lufthansa Gruppe. <https://www.lufthansagroup.com/de/unternehmen/flotte.html> (17.01.2023)
- [21] Lufthansa Group (2018): Flottenentwicklung Lufthansa Gruppe. <https://www.lufthansagroup.com/de/themen/flottenentwicklung.html> (17.01.2023)
- [22] Frommberg, L.; aeroTELEGRAPH (2022): Lufthansa könnte mit A220 und Embreer E2 fliegen. <https://www.aerotelegraph.com/lufthansas-regionalflotte-koennte-auch-kuenftig-gemischt-sein> (17.01.2023)
- [23] Elbe Flugzeugwerke GmbH (2020): Umrüstfrachter A330P2F mit höchster Nutzlast an DHL geliefert. <https://www.elbeflugzeugwerke.com/de/ueber-uns/news/detail/umruestfrachter-a330p2f-mit-hoechster-nutzlast-an-dhl-geliefert-58/> (17.01.2023)
- [24] Boeing corporation: Boeing 747-8. <https://www.boeing.com/commercial/747/> (17.01.2023)
- [25] Lufthansa Cargo AG (2022): Lufthansa Cargo Flotte. <https://lufthansa-cargo.com/de/fleet-ulds/fleet> (17.01.2023)
- [26] Flugrevue (2017): Boeing 737 – Die Versionen. <https://www.flugrevue.de/zivil/erfolgreichste-jet-familie-der-welt-boeing-737-die-versionen/> (17.01.2023)
- [27] Hegmann, G.; Welt (2019): Das Boeing – Desaster wird jeden Tag größer. <https://www.welt.de/wirtschaft/article192682387/Boeing-Probleme-mit-737-Max-weiten-sich-aus.html> (17.01.2023)
- [28] Beutelsbacher, S.; Welt (2021): Nach dem Absturz-Drama erlebt die B737 MAX jetzt ihr großes Comeback. <https://www.welt.de/wirtschaft/article232196071/Boeing-737-MAX-Das-grosse-Comeback-des-Krisenjets.html> (17.01.2023)
- [29] Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft (2016): Der ICAO CO₂-Standard für Flugzeuge. <https://www.bdl.aero/wp-content/uploads/2018/08/Fragen-und-Antworten-zum-ICAO-CO2-Standard-Februar-2016.pdf> (17.01.2023)
- [30] ICAO – International Civil Aviation Organization (2017): ICAO Council adopts new CO₂ emissions standard for aircraft. <https://www.icao.int/newsroom/pages/icao-council-adopts-new-co2-emissions-standard-for-aircraft.aspx> (17.01.2023)
- [31] Nowack, T.; aeroTELEGRAPH (2022): Lufthansa geht Erneuerung der Kurzstreckenflotte an. <https://www.aerotelegraph.com/lufthansa-geht-erneuerung-der-kurzstreckenflotte-an> (17.01.2023)
- [32] aero.de (2018): Airbus tüftelt an Frachtersversion der A330NEO. <https://www.aero.de/news-28797/Airbus-prueft-Frachtversion-der-A330neo.html> (17.01.2023)
- [33] Nowack, T.; aeroTELEGRAPH (2022): Boeing denkt über Frachtersversion der B787 nach. <https://www.aerotelegraph.com/die-boeing-787-koennte-es-bald-auch-als-frachter-geben> (17.01.2023)

- [34] Klay, A.; Hamburger Abendblatt (2021): Boeing 737 MAX: Katastrophenjet kommt auch nach Deutschland. <https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article232031543/Boeing-737-Max-Katastrophenjet-kommt-auch-nach-Deutschland.html> (17.01.2023)
- [35] Lufthansa Group (2022): Lufthansa Group – Unternehmensprofil, Kennzahlen. <https://www.lufthansagroup.com/de/unternehmen.html> (17.01.2023)
- [36] Lufthansa Group (2022): Lufthansa reaktiviert A380. <https://www.lufthansagroup.com/de/newsroom/meldungen/lufthansa-reaktiviert-airbus-a380.html> (17.01.2023)
- [37] Deutsche Welle, dpa (2022): Emirates setzt wieder auf den Super-Airbus A380. <https://www.dw.com/de/emirates-setzt-wieder-auf-den-super-airbus-a380/a-62218675> (17.01.2023)
- [38] Nowack, T.; aeroTELEGRAPH (2022): Lufthansa fliegt wieder mit ihrem längsten Airbus. <https://www.aerotelegraph.com/so-bringt-lufthansa-den-airbus-a340-600-zurueck> (17.01.2023)
- [39] Stoffels, F.; aeroTELEGRAPH (2022): Die ältesten Flieger der Lufthansa Gruppe. <https://www.aerotelegraph.com/das-sind-die-aeltesten-flieger-der-lufthansa-gruppe> (17.10.2023)
- [40] Nowack, T.; aeroTELEGRAPH (2021): Condor packt Nachfolge der B757 an. <https://www.aerotelegraph.com/condor-bekommt-zwei-weitere-airbus-a330> (17.01.2023)
- [41] Condor Flugdienst GmbH: Unsere Flotte – Condor Boeing 767-300ER. <https://www.condor.com/de/fliegen-geniessen/condor-partner/unsere-flotte/boeing-767-300er.jsp> (17.01.2023)
- [42] Delta Air Lines, Inc. (2021): Delta Flotte in Anbetracht der steigenden Nachfrage mit Flugzeugen von Airbus und Boeing. <https://news.delta.com/delta-vergrossert-flotte-anbetracht-der-steigenden-nachfrage-mit-flugzeugen-von-airbus-und-boeing> (17.01.2023)
- [43] Hessische Staatskanzlei, Wiesbaden [Hrsg.] (2011): Verordnung über die Festsetzung des Lärmschutzbereichs für den Verkehrsflughafen Frankfurt Main. A. Bernecker Verlag GmbH, Melsungen, Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen Teil I (GVBL 2011 18(S.437-528)). <https://starweb.hessen.de/starweb/LIS/amtsblaetter.htm> (02.02.2023), Konturen bereitgestellt von: FRAPORT AG
- [44] Im Namen der Landesregierung Nordrhein-Westfalen, das Ministerium des Innern NRW, Düsseldorf [Hrsg.] (2011): Verordnung über die Festsetzung des Lärmschutzbereichs für den Verkehrsflughafen Köln/Bonn (FluglärmSchutzverordnung Köln/Bonn-FluLärmKölnV). A. Bagel Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf, Gesetz- und Verordnungsblatt (GV. NRW., S. 610) https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=100000000000000000761 (02.02.2023), Konturen bereitgestellt von: Flughafen Köln/Bonn GmbH, ACCON GmbH
- [45] Sächsische Staatskanzlei, Dresden [Hrsg.] (2012): Verordnung der Sächsischen Staatsregierung über die Festsetzung der Lärmschutzbereiche für den Verkehrsflughafen Dresden und für den Verkehrsflughafen Leipzig/Halle. SV SAXONIA VERLAG für Recht, Wirtschaft und Kultur GmbH, Dresden, Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt (SächsGVBl., S. 66) (2012), <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/12229-VO-Festsetzung-Laermschutzbereiche-Verkehrsflughafen-Dresden-und-Leipzig-Halle-> (02.02.2023), Konturen bereitgestellt von: Mitteldeutsche Flughafen AG
- [46] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2016): Digitales Geländemodell Gitterweite 50 Meter (DGM50), UTM-Zone 32 und 33, bereitgestellt von Umweltbundesamt
- [47] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2020): Einwohnerdaten Haushalte Einwohner Bund, Produktstand November 2020, als Rasterdaten aufbereitet und bereitgestellt von Umweltbundesamt

- [48] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2020): Digitale Topografische Karte 1 : 50 000 (DTK50), UTM-Zone 32 und UTM-Zone 33, bereitgestellt von Umweltbundesamt
- [49] Brink, M.; Schierz, Ch.; Basner, M.; Samel, A.; Spreng, M.; Scheuch, K.; Stahel, W.; Bögli, H. (2006): Bericht zum Workshop "Aufwachwahrscheinlichkeit". Bestimmung lärminduzierter Aufwachwahrscheinlichkeiten in der Nachtlärmwirkungsforschung und Anwendung entsprechender Wirkungsmodelle für Prognosezwecke. ETH Zürich, Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=485> (19.01.2023)
- [50] Umweltbundesamt [Hrsg.] (2017): Dokumente für Teilnehmer am AzB 08-Überprüfungsverfahren. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/dokumente-fuer-teilnehmer-am-azb-08-0> (19.01.2023)
- [51] Schäffer, C.; Zirpel, M.; Vogelsang, B. (2023): Qualitätsgesicherte Berechnung von Aufwachreaktionen als Beurteilungskriterium für die Fluglärmbelastung. Jahrestagung für Akustik DAGA 2023 Hamburg, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA). https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2023/data/daga23_proceedings.pdf (17.05.2023), ab S. 758

A Exkurs: Qualitätssicherung der AWR-Berechnung

Die Leistungsbeschreibung des Vorhabens sah für den Vergleich der aktuellen und überarbeiteten AzB-Datengrundlage nicht nur die Berechnung der in der AzB definierten und für die Auslegung von Lärmschutzbereichen relevanten Kennzahlen vor. Zusätzlich wurden Berechnungen der Anzahl der durch Fluglärm induzierten nächtlichen Aufwachreaktionen (AWR) gefordert.

Diese Kenngröße basiert auf einer Dosis-Wirkungsbeziehung, die aus einer umfangreichen Studie in den Jahren 1999 bis 2004 vom DLR abgeleitet wurde (vgl. [49]). Die Anzahl der durch Fluglärm hervorgerufenen nächtlichen Aufwachreaktion lässt sich als Funktion des Maximalpegels an einem Immissionsort beschreiben und kann so – ähnlich wie das sog. NAT-Kriterium der AzB – von einer Fluglärmrechnungssoftware berechnet werden [5].

Nach Gesprächen mit dem Umweltbundesamt und mehreren Herstellern von Fluglärmrechnungsprogrammen wurde klar, dass die Berechnung der Kennzahl AWR zwar in [5] gut beschrieben ist, aber die Umsetzung in Software bisher nicht qualitätsgesichert wurde.

Für das Berechnungsverfahren nach der AzB-2008 wurde eine aufwändige Qualitätssicherung mit Hilfe von Testaufgaben eines imaginären Testflugplatzes [50] durchgeführt. Das von OTSD eingesetzte Berechnungsprogramm AirTRACS Acoustics erfüllt die für diese Testaufgaben formulierten Qualitätskriterien. Für die AWR-Berechnung fehlen solche Testaufgaben.

In Zusammenarbeit mit Dr. Berthold Vogelsang und den Herstellern der Systeme CadnaA und Soundplan wurden daher zusätzliche Vergleichsrechnungen durchgeführt. Basis hierfür war das zum AzB-Testflugplatz gehörende DES.

Ergebnis des Vergleichs waren unerwartet große Abweichungen der berechneten Konturen für auf AWR bezogenen Isolinien. Nach einigen Anpassungen der verschiedenen Software-Produkte und Dank der engagierten Mitarbeit aller Beteiligten konnte schließlich eine weitgehende Übereinstimmung der Konturen und somit ein Mindestmaß an Qualitätssicherung für die Ermittlung der Kenngröße AWR erreicht werden.

Die durchgeführten Arbeiten waren nicht Bestandteil des in diesem Bericht beschriebenen Vorhabens und wurden daher separat publiziert. Eine Vorstellung der Ergebnisse erfolgte auf der Jahrestagung für Akustik DAGA 2023 der Deutschen Gesellschaft für Akustik e. V. (DEGA) (siehe [51]).

B Berechnungsergebnisse: Flughafen Frankfurt/Main (EDDF)

Die nachfolgende Unterstruktur zeigt die Berechnungsergebnisse für den Flughafen Frankfurt/Main auf, die als separate Datei erhältlich sind.

Diese Datei beinhaltet die Datenblätter der DES mit dem Ist-Szenario 2019 und dem Prognoseszenario 2030. Zusätzlich sind die Ergebnisse als vergleichende Kartendarstellungen enthalten (siehe Kapitel 4).

- ▶ B.1 – Ist-Szenario 2019 (EDDF)
 - B.1.1 – DES-Datenblätter gemäß AzB-2008
 - B.1.2 – DES-Datenblätter gemäß AzB-ND
 - B.1.3 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (TAG)
 - B.1.4 – Differenzdarstellung LEQ (TAG)
 - B.1.5 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (NACHT)
 - B.1.6 – Differenzdarstellung LEQ (NACHT)
 - B.1.7 – Vergleichende Kartendarstellung AWR
- ▶ B.2 – Prognoseszenario 2030 (EDDF)
 - B.2.1 – DES-Datenblätter gemäß AzB-2008
 - B.2.2 – DES-Datenblätter gemäß AzB-ND
 - B.2.3 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (TAG)
 - B.2.4 – Differenzdarstellung LEQ (TAG)
 - B.2.5 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (NACHT)
 - B.2.6 – Differenzdarstellung LEQ (NACHT)
 - B.2.7 – Vergleichende Kartendarstellung AWR

C Berechnungsergebnisse: Flughafen Köln/Bonn (EDDK)

Die nachfolgende Unterstruktur zeigt die Berechnungsergebnisse für den Flughafen Köln/Bonn auf, die als separate Datei erhältlich sind.

Diese Datei beinhaltet die Datenblätter der DES mit dem Ist-Szenario 2019 und dem Prognoseszenario 2030. Zusätzlich sind die Ergebnisse als vergleichende Kartendarstellungen enthalten (siehe Kapitel 4).

- ▶ C.1 – Ist-Szenario 2019 (EDDK)
 - C.1.1 – DES-Datenblätter gemäß AzB-2008
 - C.1.2 – DES-Datenblätter gemäß AzB-ND
 - C.1.3 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (TAG)
 - C.1.4 – Differenzdarstellung LEQ (TAG)
 - C.1.5 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (NACHT)
 - C.1.6 – Differenzdarstellung LEQ (NACHT)
 - C.1.7 – Vergleichende Kartendarstellung AWR
- ▶ C.2 – Prognoseszenario 2030 (EDDK)
 - C.2.1 – DES-Datenblätter gemäß AzB-2008
 - C.2.2 – DES-Datenblätter gemäß AzB-ND
 - C.2.3 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (TAG)
 - C.2.4 – Differenzdarstellung LEQ (TAG)
 - C.2.5 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (NACHT)
 - C.2.6 – Differenzdarstellung LEQ (NACHT)
 - C.2.7 – Vergleichende Kartendarstellung AWR

D Berechnungsergebnisse: Flughafen Leipzig/Halle (EDDP)

Die nachfolgende Unterstruktur zeigt die Berechnungsergebnisse für den Flughafen Leipzig/Halle auf, die als separate Datei erhältlich sind.

Diese Datei beinhaltet die Datenblätter der DES mit dem Ist-Szenario 2019 und dem Prognoseszenario 2030. Zusätzlich sind die Ergebnisse als vergleichende Kartendarstellungen enthalten (siehe Kapitel 4).

- ▶ D.1 – Ist-Szenario 2019 (EDDP)
 - D.1.1 – DES-Datenblätter gemäß AzB-2008
 - D.1.2 – DES-Datenblätter gemäß AzB-ND
 - D.1.3 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (TAG)
 - D.1.4 – Differenzdarstellung LEQ (TAG)
 - D.1.5 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (NACHT)
 - D.1.6 – Differenzdarstellung LEQ (NACHT)
 - D.1.7 – Vergleichende Kartendarstellung AWR
- ▶ D.2 – Prognoseszenario 2030 (EDDP)
 - D.2.1 – DES-Datenblätter gemäß AzB-2008
 - D.2.2 – DES-Datenblätter gemäß AzB-ND
 - D.2.3 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (TAG)
 - D.2.4 – Differenzdarstellung LEQ (TAG)
 - D.2.5 – Vergleichende Kartendarstellung LEQ (NACHT)
 - D.2.6 – Differenzdarstellung LEQ (NACHT)
 - D.2.7 – Vergleichende Kartendarstellung AWR

E Flächenangaben der berechneten Isolinien

Für alle betrachteten Szenarien wurden Isolinien verschiedener Kenngrößen nach AzB-2008 und AzB-ND berechnet (vgl. Abschnitt 4.2) und im Rahmen der abschließenden Beurteilung miteinander verglichen. Die in Kapitel 5 enthaltene Tabelle 22 zeigt die prozentualen Veränderungen der berechneten Flächeninhalte (AzB-ND minus AzB-2008, angegeben in Prozent der jeweiligen Fläche nach AzB-2008).

Die Berechnung für die Prognoseszenarien erfolgte mit Anwendung der sog. Sigma-Regelung nach AzB [3] Abschnitt 3.3. Die Berechnung für die Ist-Szenarien erfolgte ohne Sigma-Regelung.

Alle Angaben sind auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die Berechnung der Differenzen basiert auf den exakt ermittelten Flächen und nicht auf den hier dargestellten, gerundeten Werten.

E.1 Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) Ist-Szenario 2019

Tabelle 24: Flächen der Isolinien für EDDF, Ist-Szenario 2019

Kenngröße	AzB-2008 Fläche (km ²)	AzB-ND Fläche (km ²)	AzB-ND minus AzB-2008 (%)
LEQ Tag – 50 dB(A)	467,19	574,54	+ 22,98
LEQ Tag – 55 dB(A)	186,27	200,44	+ 7,61
LEQ Tag – 60 dB(A)	74,50	70,93	- 4,79
LEQ Tag – 65 dB(A)	29,78	25,12	- 15,63
LEQ Tag – 70 dB(A)	11,07	9,33	- 15,76
LEQ Nacht – 45 dB(A)	351,26	404,57	+ 15,17
LEQ Nacht – 50 dB(A)	147,57	149,85	+ 1,55
LEQ Nacht – 55 dB(A)	60,20	54,40	- 9,63
LEQ Nacht – 60 dB(A)	23,47	19,02	- 18,93

E.2 Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) Prognoseszenario 2030

Tabelle 25: Flächen der Isolinien für EDDF, Prognoseszenario 2030

Kenngröße	AzB-2008 Fläche (km ²)	AzB-ND Fläche (km ²)	AzB-ND minus AzB-2008 (%)
LEQ Tag – 50 dB(A)	589,12	667,96	+ 13,38
LEQ Tag – 55 dB(A)	225,08	246,86	+ 9,68
LEQ Tag – 60 dB(A)	87,94	77,49	- 11,88
LEQ Tag – 65 dB(A)	35,73	29,68	- 16,91
LEQ Tag – 70 dB(A)	13,08	10,32	- 21,12
LEQ Nacht – 45 dB(A)	426,76	486,24	+ 13,94
LEQ Nacht – 50 dB(A)	176,93	178,77	+ 1,04
LEQ Nacht – 55 dB(A)	74,80	65,49	- 12,45
LEQ Nacht – 60 dB(A)	30,01	24,35	- 18,85
LEQ + NAT	212,49	214,64	+ 1,01

E.3 Flughafen Köln/Bonn (EDDK) Ist-Szenario 2019

Tabelle 26: Flächen der Isolinien für EDDK, Ist-Szenario 2019

Kenngröße	AzB-2008 Fläche (km ²)	AzB-ND Fläche (km ²)	AzB-ND minus AzB-2008 (%)
LEQ Tag – 50 dB(A)	98,51	108,61	+ 10,25
LEQ Tag – 55 dB(A)	36,87	35,51	- 3,68
LEQ Tag – 60 dB(A)	13,47	13,08	- 2,93
LEQ Tag – 65 dB(A)	5,13	5,14	+ 0,20
LEQ Tag – 70 dB(A)	1,98	2,28	+ 15,08
LEQ Nacht – 45 dB(A)	272,20	342,97	+ 26,00
LEQ Nacht – 50 dB(A)	102,64	119,25	+ 16,19
LEQ Nacht – 55 dB(A)	38,86	39,88	+ 2,62
LEQ Nacht – 60 dB(A)	14,70	14,55	- 1,07

E.4 Flughafen Köln/Bonn (EDDK) Prognoseszenario 2030

Tabelle 27: Flächen der Isolinien für EDDK, Prognoseszenario 2030

Kenngröße	AzB-2008 Fläche (km ²)	AzB-ND Fläche (km ²)	AzB-ND minus AzB-2008 (%)
LEQ Tag – 50 dB(A)	136,34	137,53	+ 0,87
LEQ Tag – 55 dB(A)	51,37	41,67	- 18,89
LEQ Tag – 60 dB(A)	18,92	14,37	- 24,01
LEQ Tag – 65 dB(A)	6,61	5,66	- 14,31
LEQ Tag – 70 dB(A)	2,51	2,54	+ 0,94
LEQ Nacht – 45 dB(A)	354,34	412,19	+ 16,33
LEQ Nacht – 50 dB(A)	133,65	146,44	+ 9,57
LEQ Nacht – 55 dB(A)	48,17	45,45	- 5,64
LEQ Nacht – 60 dB(A)	18,10	15,54	- 14,12
LEQ + NAT	85,49	94,11	+ 10,07

E.5 Flughafen Leipzig/Halle (EDDP) Ist-Szenario 2019

Tabelle 28: Flächen der Isolinien für EDDP, Ist-Szenario 2019

Kenngröße	AzB-2008 Fläche (km ²)	AzB-ND Fläche (km ²)	AzB-ND minus AzB-2008 (%)
LEQ Tag – 50 dB(A)	66,39	64,31	- 3,14
LEQ Tag – 55 dB(A)	23,57	19,96	- 15,32
LEQ Tag – 60 dB(A)	8,73	7,54	- 13,58
LEQ Tag – 65 dB(A)	3,69	3,62	- 1,80
LEQ Tag – 70 dB(A)	1,33	1,47	+ 10,44
LEQ Nacht – 45 dB(A)	217,79	269,37	+ 23,68
LEQ Nacht – 50 dB(A)	97,52	113,40	+ 16,29
LEQ Nacht – 55 dB(A)	38,31	40,66	+ 6,13
LEQ Nacht – 60 dB(A)	14,38	14,45	+ 0,45

E.6 Flughafen Leipzig/Halle (EDDP) Prognoseszenario 2030

Tabelle 29: Flächen der Isolinien für EDDP, Prognoseszenario 2030

Kenngröße	AzB-2008 Fläche (km ²)	AzB-ND Fläche (km ²)	AzB-ND minus AzB-2008 (%)
LEQ Tag – 50 dB(A)	111,92	113,32	+ 1,25
LEQ Tag – 55 dB(A)	50,81	42,78	- 15,81
LEQ Tag – 60 dB(A)	18,81	14,89	- 20,87
LEQ Tag – 65 dB(A)	7,33	6,21	- 15,24
LEQ Tag – 70 dB(A)	3,14	3,01	- 4,29
LEQ Nacht – 45 dB(A)	334,96	404,42	+ 20,74
LEQ Nacht – 50 dB(A)	151,71	179,68	+ 18,44
LEQ Nacht – 55 dB(A)	64,67	66,02	+ 2,09
LEQ Nacht – 60 dB(A)	24,57	23,52	- 4,29
LEQ + NAT	87,92	102,30	+ 16,35