

TEXTE

31/2013

Verfahren zur Beurteilung und Festlegung von lärmmindernden Flug- strecken

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3707 54 100
UBA-FB 001575

Verfahren zur Beurteilung und Festlegung von lärmmindernden Flugstrecken

von

Andreas Hotes, Andres Radig
Avistra GmbH, Berlin

Prof. Dr. Gerhard Hüttig, Dr. Oliver Lehmann, Ekkehart Schubert
Institut für Luft- und Raumfahrt Fachgebiet Flugführung und
Luftverkehr, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4489.html> verfügbar. Hier finden Sie auch eine Kurzfassung und eine englische Version.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Avistra GmbH Reinhardtstr. 58 10117 Berlin	Technische Universität Berlin Institut für Luft- und Raumfahrt Fachbereich Flugführung und Luftverkehr Marchstraße 12 10587 Berlin
Abschlussdatum:	Februar 2010	
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/	
Redaktion:	Fachgebiet I 3.3 Lärminderung im Verkehr Jörn Lindmaier, Thomas Myck	

Dessau-Roßlau, Mai 2013

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3. FKZ 3707 54 100
4. Titel des Berichts Verfahren zur Beurteilung und Festlegung von lärmmindernden Flugstrecken		
5. Autoren Hotes, Andreas Radig, Andres Hüttig, Gerhard Lehmann, Oliver Schubert, Ekkehart	8. Abschlussdatum 12.02.2010	
	9. Veröffentlichungsdatum	
	10. UFOPLAN-Nr. 3707 54 100	
	11. Seitenzahl 117	
6. Durchführende Institution Avistra GmbH, Reinhardtstr. 58, 10117 Berlin Technische Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachbereich Flugführung und Luftverkehr, Marchstraße 12, 10587 Berlin	12. Literaturangaben 52	
	13. Tabellen und Diagramme 13	
7. Fördernde Institution Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau	14. Abbildungen 46	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Zur Verbesserung der Fluglärmsituation wurde 2007 durch eine Änderung des § 32 des Luftverkehrsgesetzes festgelegt, dass das Umweltbundesamt bei der Festlegung von Flugrouten und -verfahren zu beteiligen ist. Bisher stützte sich die Bewertung von Vorschlägen zur Änderung von Flugrouten primär auf operationelle und sicherheitsrelevante Kriterien. Von den Fluglärm-Betroffenen wurde in den letzten Jahren geringe Transparenz des Bewertungsverfahrens und unzureichende Berücksichtigung des Lärmschutzes kritisiert. Im Rahmen dieser Studie soll ein Vorschlag für ein verbessertes Beurteilungsverfahren ausgearbeitet werden, das diesen Kritikpunkten Rechnung trägt. Zunächst wird in der Studie auf die gesetzlichen Grundlagen und das derzeitige Verfahren zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren eingegangen. Dabei werden die beteiligten Akteure ebenso vorgestellt wie Fallbeispiele, um die aktuellen Aktivitäten und Urteile zu verdeutlichen. An- und Abflugverfahren und deren Potential zur Minderung von Fluglärm werden erläutert und ein Einblick in die aktuellen Bewertungskriterien und -verfahren vermittelt. Eine Vergleichsanalyse von international anerkannten Bewertungsverfahren dient der Ermittlung von „Best-Practice“-Beispielen. Zudem werden aktuelle Tendenzen und Entwicklungen in die Studie einbezogen. Schwerpunkt dieser Studie ist die Ermittlung eines Kriterienkatalogs, der die verschiedenen kapazitiven, umweltbezogenen und operationellen Aspekte vereint. In dem entwickelten 5-phasigen Modell zur Bewertung von Flugrouten wird eine eindeutige Definition der Kriterien getroffen. Die quantitative Einteilung und Normierung der Aspekte ist entscheidend, um eine objektive Beurteilung zu gewährleisten. Die Bewertungsmethode stützt sich auf den Züricher Fluglärmindex. Abschließend wird die praktische Anwendung anhand eines Beispiels erläutert.		
17. Schlagwörter Luftverkehr, Flugrouten, Flugstrecken, An- und Abflugverfahren, Lärm, Lärmschutz, Fluglärm, Kriterien, Bewertungsverfahren		
18. Preis	19.	20.

3.3	Überblick der aktuell verwendeten Kriterien und Verfahren zur Festlegung von Flugrouten	25
3.3.1	Operationelle und sicherheitsrelevante Kriterien	25
3.3.2	Fluglärmberechnungsprogramm NIROS der DFS	29
3.3.3	Konstruktion von Flugerwartungsgebieten.....	32
3.3.4	Flugspuraufzeichnungssystem FANOMOS	33
3.3.5	Direktfreigaben	34
3.4	Überblick über die aktuell geltenden europäischen und internationalen Regelungen zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren.....	34
3.4.1	Allgemeines.....	34
3.4.2	Vergleichsanalyse bei der Festlegung von Abflugrouten.....	35
3.4.3	Flugroutenfestlegungsverfahren in den USA	40
3.4.4	Flugroutenfestlegungsverfahren in der Schweiz.....	41
3.4.5	Flugroutenfestlegungsverfahren in Großbritannien	46
3.5	Derzeitige Entwicklungen und Tendenzen	47
3.5.1	Allgemeines.....	47
3.5.2	Lärmmindernde Flugverfahren: <i>Continuous Descent Approach</i>	48
3.5.3	Lärmmindernde Flugverfahren: Steilstartverfahren	49
3.5.4	Lärmmindernde Flugverfahren: Versetzte Landebahnschwelle	50
3.5.5	Lärmmindernde Flugverfahren: Alternative Klappenstellung im Anflug.....	51
3.5.6	Airbus Projekt QICE	51
KAPITEL 4	Kriterienkatalog	53
4.1	Allgemeines.....	53
4.2	Operationelle Kriterien	54
4.3	Kapazitätsaspekte.....	56
4.4	Umweltkriterien zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren.....	57
4.4.1	Allgemeines.....	57
4.4.2	Fluglärm	58
4.4.3	Schadstoffemissionen	58
KAPITEL 5	Beurteilungsverfahren	59
5.1	Allgemeines.....	59
5.2	Quantitative Einteilung und Normierung der Kriterien	60
5.2.1	Allgemeines.....	60
5.2.2	Operationelle Kriterien	63
5.2.3	Kapazitätsaspekte.....	66
5.2.4	Umweltkriterien	68

5.2.4.1	Schadstoffimmissionen	68
5.2.4.2	Fluglärm	69
5.3	Zusammenfassung der Einzelkriterien	77
5.4	Gewichtung der Kriterien	77
KAPITEL 6	Exemplarische Anwendung.....	81
6.1	Allgemeines.....	81
6.2	Anwendung des Kriterienkatalogs	82
6.2.1	Allgemeine Hinweise	82
6.2.2	Operationelle Kriterien	83
	Fliegbarkeit	83
	Piloten- und Lotsenbelastung	83
	Passagierkomfort.....	86
6.2.3	Kapazität	86
6.2.4	Umwelt	87
6.2.4.1	Schadstoff-Emissionen/-Immissionen	87
6.2.4.2	Berechnung der Fluglärmimmissionen	88
6.2.4.3	Berechnung der HA-Komponente	90
6.2.4.4	Berechnung der HSD-Komponente	93
6.2.4.5	Bestimmung des Fluglärmindex'	96
6.3	Anwendung des Beurteilungsverfahrens	97
KAPITEL 7	Zusammenfassung.....	101
	Quellenverzeichnis	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Schematische Darstellung der Neufestsetzung und Änderung von Flugrouten	7
Abbildung 2-2:	Ausschnitt aus dem Flugerwartungsgebiet Frankfurt/Main im Jahr 2000 (links) und nach dem 19. April 2001 (rechts) [10]	13
Abbildung 2-3:	TABUM Routenvergleich Alt/Neu vom 10. März 2004 [10]	15
Abbildung 2-4:	Ausschnitt zur aktuellen Situation der Minimum Noise Routing mit Flugerwartungsgebieten am Flughafen Bremen [11]	19
Abbildung 3-1:	Segmente eines Standard-Instrumentenanflug [49]	25
Abbildung 3-2:	Abflugsektor Frankfurt/Main West-Traffic (RWY 25L und 25R) [35]	27
Abbildung 3-3:	Anflugsektor Frankfurt/Main West-Traffic (25L und 25R) [35]	27
Abbildung 3-4:	Transition Frankfurt/Main RWY 07 [11]	28
Abbildung 3-5:	Programmoberfläche Bevölkerungsdichte in NIROS [12]	29
Abbildung 3-6:	Übersicht der TABUM Varianten [36]	32
Abbildung 3-7:	Häufung von Directs im Abflug von Frankfurt/Main (TABUM Route) [36]	34
Abbildung 3-8:	Flugsicherungsunternehmen im Umfeld der DFS	36
Abbildung 3-9:	Ergebnisse der Umfrage "internationales Benchmarking"	37
Abbildung 3-10:	Beispiel für An- und Abflugrouten in den USA [15]	41
Abbildung 3-11:	Verlauf des gekröpten Nordanfluges [18]	42
Abbildung 3-12:	Start- und Landebahnsystem des Zürcher Flughafens [18]	43
Abbildung 3-13:	Anflugrouten Zürich (Schweiz) [18]	43
Abbildung 3-14:	Überflogene Siedlungsgebiete Nordanflug [20]	44
Abbildung 3-15:	Überflogene Siedlungsgebiete Ost-/Süd-Anflug [20]	45
Abbildung 3-16:	Typische NPRs des Flughafen Heathrow für 2003 und 2007 [25]	46
Abbildung 3-17:	Continuous Descent Approach [37]	49
Abbildung 3-18:	Geschwindigkeitsprofile -Vergleich ICAO A mit mod. ATA Verfahren [35]	49
Abbildung 3-19:	Steigprofile - Vergleich ICAO A mit mod. ATA Verfahren [35]	50
Abbildung 3-20:	Funktionsprinzip der versetzten Landebahnschwelle	51

Abbildung 5-1:	Übersicht über das Verfahren zur Beurteilung von Flugrouten und -verfahren	60
Abbildung 5-2:	Übertragungsfunktion zwischen dem Lärmindex und der normierten Skala ..	61
Abbildung 5-3:	Übertragungsfunktion zwischen dem Lärmindex und der normierten Skala (nah)	62
Abbildung 5-4:	Fragebogen zur Arbeitsbelastung (NASA TLX) [39]	65
Abbildung 5-5:	Übersicht zur Ermittlung des ZFI [11]	71
Abbildung 5-6:	Dosis-Wirkungsbeziehung zur Bestimmung des Prozentsatzes für starke Belästigung %HA	72
Abbildung 5-7:	Dosis-Wirkungsbeziehung zur Bestimmung des %HSD für einen, fünf, zehn und zwanzig Überflüge.....	73
Abbildung 5-8:	Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen L_{DN} und %HA für verschiedene Flughäfen [42]	74
Abbildung 5-9:	Beispielhafte Darstellung zweier Anflugprofile in INM 7.0	76
Abbildung 5-10:	Darstellung der Gewichtungsfaktoren.....	78
Abbildung 5-11:	Beispielhafte Gewichtung der Kriterien.....	78
Abbildung 6-1:	Darstellung der beispielhaft untersuchten Routenvarianten	82
Abbildung 6-2:	Beschreibung der SIDs für Frankfurt im AIP-Deutschland	84
Abbildung 6-3:	Auszug aus dem AIP-Deutschland der Abflugrouten von Frankfurt (SID).....	85
Abbildung 6-4:	Im Modell hinterlegte Topografie und Bevölkerungsverteilung.....	89
Abbildung 6-5:	L_{DN} -Konturen für die Routenvariante TAB G1.....	90
Abbildung 6-6:	L_{DN} -Konturen für die Routenvariante TAB NEU.....	91
Abbildung 6-7:	L_{DN} -Konturen für die Routenvariante TAB N.....	91
Abbildung 6-8:	L_{Amax} -Konturen für die Routenvariante TAB G1	94
Abbildung 6-9:	L_{Amax} -Konturen für die Routenvariante TAB NEU	94
Abbildung 6-10:	L_{Amax} -Konturen für die Routenvariante TAB N	95
Abbildung 6-11:	Ergebnis der Bewertung in Abhängigkeit der Gewichtung	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1:	Bewertungsbeispiel Fliegbarkeit	83
Tabelle 6-2:	Bewertungsbeispiel Piloten- und Lotsenbelastung	86
Tabelle 6-3:	Bewertungsbeispiel Passagierkomfort.....	86
Tabelle 6-4:	Bewertungsbeispiel Kapazität.....	87
Tabelle 6-5:	Bewertungsbeispiel Emissionen	88
Tabelle 6-6:	Ergebnistabelle L_{DN} [dB].....	92
Tabelle 6-7:	Bewertung HA-Komponente	93
Tabelle 6-8:	Ergebnistabelle L_{Amax} [dB]	96
Tabelle 6-9:	Bewertung HSD-Komponente.....	96
Tabelle 6-10:	Bewertungsbeispiel Lärm.....	97
Tabelle 6-11:	Zusammenfassung der Einzelkriterien.....	98
Tabelle 6-12:	Verwendete Gewichtungsfaktoren innerhalb der drei Kriterien-Kategorien....	98
Tabelle 6-13:	Bewertungsbeispiele der Kriterien-Kategorien.....	99

Abkürzungsverzeichnis & Begriffe

AIP	A eronautical I nformation P ublication (Luftfahrthandbuch)
ATC	A ir T raffic C ontrol
AzB	Anleitung zur B erechnung von Lärmschutzbereichen
BAF	B undes a ufsichtsamt für F lugsicherung
BASUM	Abflugrouten (BASUM 1Q, 2A, 6K, etc.) am Verkehrsflughafen Bremen über den Wegpunkt BASUM
BMVBS	B undes m inisterium für V erkehr, B au- und S tadtentwicklung Ministerium welches die politische Verantwortung für das LBA hat
BVerwG	B undes v erwaltungsgericht
BvF	B undes v ereinigung gegen F luglärm
CDA	C ontinuous D escent A pproach
dB	Dezibel. Hilfsmaßeinheit zur Beschreibung eines Schallpegels
DES	D atenerfassungssystem
DFS	D eutsche F lugsicherung GmbH
DLR	D eutsches Zentrum für L uft- und R aumfahrt
DME	D istance M easuring E quipment, funktechnisches Entfernungsmessgerät für den Luftfahrzeuge
EAM	E urocontrol A irspace M odel
EANS	E uropean A ircraft N oise S ervices, ein Europäisches Netzwerk zur Erfassung von Fluglärm und Flugspuren
ECAC	E uropean C ivil A viation C onference
Emission	Abgabe von Verunreinigungen, Lärm u.a. an Wasser, Boden oder Luft
FAF	F inal A pproach F ix
FANOMOS	F light T rack and A ircraft N oise M onitoring S ystem, ein Flugspuraufzeichnungssystem mit dem man die real geflogenen Flugrouten aufzeichnen kann.
FEG	F lugerwartungsgebiet
FLK	F lug l ärm k ommission
FMS	F light M anagement S ystem

Fraport	Name der Betreibergesellschaft des Flughafens Frankfurt/Main
ft	Engl. Abk. von 'feet' (Fuß); Längenmaß (1 ft = 0,3048 m)
GBAS	Ground Based Augmentation System
GPS	hier: NAVSTAR Global Positioning System
HA	Highly Annoyed - Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen
HALS/DTOP	High Approach Landing System / Dual Threshold Operation
HMWVL	H essisches M inisterium für W irtschaft, V erkehr und L andesentwicklung
HSD	Highly Sleep Disturbed - Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen
IAF	I nitial A pproach F ix
IATA	I nternational A ir T ransport A ssociation
ICAO	I nternational C ivil A viation O rganisation ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die sich mit Standards für den zivilen Luftverkehr befasst.
IFR	I nstrument F light R ules
ILS	I nstrument L anding S ystem
Immission	Einwirkungen von Emissionen auf Lebewesen
INM	I ntegrated N oise M odel
kn	Abk. von ' K noten'; Maß für Geschwindigkeit (1 kn = 1,852 km/h)
Lärm	unerwünschter, störender oder gesundheitsschädlicher Schall
LBA	L uftfahrt- B undesamt
L_{eq}	Energieäquivalenter Dauerschallpegel als Maß für eine durchschnittliche Lärmbelastung.
LuftVG	L uftverkehrsgesetz
LuftVO	L uftverkehrs- O rdnung
LuftVZO	L uftverkehrs- Z ulassungs- O rdnung
MLS	M icrowave L anding S ystem
MNR	M inimum N oise R oute
NASA-TLX	N ational A eronautics and S pace A dministration T ask L oad I ndex
NAVSTAR	N avigational S atellite T iming and R anging
NDB	N on D irectional B eacon, ungerichtetes Funkfeuer
NfL	N achrichten für L uftfahrer
NIROS	N oise I mpact R eduction and O ptimization S ystem, Lärmberechnungsprogramm der DFS für Flugrouten.
NM	N autische M eile; 1 NM = 1,852 km
PANS-OPS	P rocedures for A ir N avigation S ervices – Aircraft O perations (ICAO Doc. 8168)
PFV	P lanfeststellungsverfahren

	Die Planfeststellung ist in Deutschland ein (förmliches) Verwaltungsverfahren zur verbindlichen behördlichen Feststellung eines Bauvorhabens mit besonderer Tragweite. Das Planfeststellungsverfahren wird in den §§ 72 bis 78 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) bzw. in den zumeist inhaltsgleichen Parallelvorschriften der Landesverwaltungsverfahrensgesetze näher geregelt.
QICE	Q uiet I nnovative C ommuter
RDF	R egionales D ialogforum
RNAV	R andom N avigation, A rea N avigation; Flächennavigation
SID	S tandard I nstrument D eparture
STAR	S tandard T erminal A rrival R oute
UBA	U mwelt b undesamt
VGH	V erwaltungs g erichtshof
VwVfG	V erwaltungs v erfahrensb g esetz
ZFI	Z üricher F luglärm- I ndex

KAPITEL 1 Einleitung

Das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF) legt die Flugstrecken¹ und -verfahren – also den horizontalen und vertikalen Verlauf von An- und Abflugstrecken sowie Platzrunden an Flugplätzen – durch Rechtsverordnung fest. Die vorangehende technische Planung von An- und Abflugstrecken wird von der Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS) wahrgenommen. Dabei hat die DFS internationale Richtlinien und Vorschriften der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ICAO (*International Civil Aviation Organization*) zu beachten und nach dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) auf den Schutz der Bevölkerung vor unzumutbarem Fluglärm hinzuwirken; die Aspekte der Flugsicherheit haben jedoch immer Vorrang [1]. Dieses Abwägungs- und Festlegungsverfahren ist in den letzten Jahren kritisiert worden. Hauptkritikpunkte der Fluglärm-Betroffenen sind fehlende Transparenz des Verfahrens, unzureichende Berücksichtigung von Lärmkriterien und unzureichende Öffentlichkeitsbeteiligung.

Mit der Novellierung des Fluglärmgesetzes vom 7. Juni 2007 wurden zusätzliche umweltbezogene Bestimmungen in das Luftverkehrsgesetz aufgenommen [2]. Als eine der neuen Forderungen gemäß § 32 Abs. 3 LuftVG werden nunmehr Flugstrecken und -verfahren, die für die betroffene Bevölkerung hinsichtlich Fluglärm von besonderer Bedeutung sind, im Benehmen mit dem Umweltbundesamt festgelegt. Damit soll ein Ausgleich zwischen den teilweise gegensätzlichen ökonomischen und ökologischen Interessenlagen geschaffen und die Bevölkerung besser von Fluglärm geschützt werden.

Ziel dieser Studie ist die Erarbeitung eines Vorschlags für ein verbessertes Beurteilungsverfahren zur Festlegung von Flugrouten und -verfahren. Der Schwerpunkt der Studie liegt in der Bewertung der einzelnen Aspekte unter den Gesichtspunkten der Kapazität, operationeller Faktoren und Umwelt. Des Weiteren soll mit dem hier entwickelten Verfahren ein Werkzeug geschaffen werden, welches erlaubt, unter Einbeziehung aller notwendigen Gesichtspunkte (Umwelt-

¹ In dieser Studie werden die Begriffe "Flugstrecke" und "Flugroute" synonym verwendet

schutz, Operationelles, Kapazität), eine Bewertung der einzelnen Flugrouten und –verfahren durchzuführen.

Hierzu werden zunächst im Kapitel 2 die aktuellen gesetzlichen Grundlagen zur Festlegung von Flugrouten und Flugverfahren in Deutschland vorgestellt sowie der Festlegungsprozess mit den beteiligten Akteuren anhand konkreter Fallbeispiele (Flughäfen Frankfurt/Main, Zürich und Bremen) veranschaulicht. Weiterhin wird ein Überblick über die international anzuwendenden Regelwerke gegeben.

Im dritten Kapitel wird eine Auswahl internationaler Regelungen zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren erörtert sowie gegebenenfalls vorhandene Abweichungen herausgearbeitet. Alle vorgestellten Modellierungsprozesse und Auswahlverfahren sollen die stark differierenden Kriterien zusammenführen, um einen objektiven Interessenausgleich zwischen allen Beteiligten zu schaffen. Danach werden operationelle und sicherheitsrelevante Faktoren, die bei der Auswahl entsprechender Routen zum Tragen kommen, näher erläutert. Darüber hinaus wird auf Umweltaspekte bei der Festlegung von Flugrouten und –verfahren eingegangen. Dabei wird auch das von der DFS genutzte Planungstool NIROS (*Noise Impact Reduction and Optimization System*) vorgestellt.

Im vierten Kapitel wird ein Kriterienkatalog zur Bewertung von Flugrouten und –verfahren erarbeitet, der die Grundlage des späteren Beurteilungsverfahrens bildet. Grundsätzlich unterscheidet diese Studie operationelle, kapazitive und umweltbezogene Kriterien. Die Auswahl der Kriterien soll der Abwägung der verschiedenen Interessen zwischen den Beteiligten dienen und muss transparent und reproduzierbar sein.

Darauf aufbauend wird im Kapitel 5 – Beurteilungsverfahren – eine Quantifizierung, Klassifizierung und Gewichtung der einzelnen Kriterien beziehungsweise der Kriteriengruppen vorgenommen. Die genaue Gewichtung und Quantifizierung der Kriterien im Beurteilungsprozess muss immer an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden und ist Grundlage einer objektiven Bewertung. Das Kapitel gibt einen Überblick, wie die identifizierten Kriterien normiert werden können. Abschließend wird die praktische Anwendung anhand eines Beispiels demonstriert.

KAPITEL 2 Status-quo-Analyse

2.1 Allgemeines

Die Festlegung von Flugrouten und -verfahren hat unmittelbaren Einfluss auf die Lärmbelastung der Anwohner in der Flughafenumgebung. Beim Modellierungsprozess und Auswahlverfahren kollidieren oftmals wirtschaftliche Interessen der Luftfahrt, der Bedarf der Allgemeinheit an Mobilität und die Umweltauswirkungen des Luftverkehrs. Daher wurde eine Vielzahl von nationalen und internationalen Bestimmungen festgelegt, um die verschiedenen Anforderungen und Belange zu berücksichtigen und zusammenzuführen. In diesem Kapitel werden diese Bestimmungen vorgestellt und anhand von Beispielen erläutert. Dabei werden sowohl die Akteure, die bei der Festlegung von Flugrouten beteiligt sind, als auch das derzeitige Beurteilungsverfahren dargestellt.

Für die Studie wurde der Flughafen Frankfurt/Main als Beispielflughafen ausgewählt, da er mit knapp 500.000 Flugbewegungen jährlich der bedeutendste Flughafen Deutschlands ist. Die Ausbaupläne des Flughafens haben bereits in der Vergangenheit zu starken Protesten der Bevölkerung geführt. Hauptargument der Ausbaugegner ist der dadurch zunehmende Fluglärm, aber auch die notwendige Abholzung von ca. 400 Hektar Waldfläche. Bereits im Vorfeld der formalen juristischen Verfahren wurde daher im Jahr 2000 eine Mediation² abgeschlossen. Dieses im Rahmen eines Flughafenausbaus erstmalig angewendete Mediationsverfahren sollte sowohl Befürwortern als auch Kritikern Gelegenheit geben, ihre Positionen im Dialog darzustellen und abzustimmen. Mit der anschließenden Einrichtung eines regionalen Dialogforums sollte erreicht werden, dass die Ergebnisse des Mediationsverfahrens umgesetzt und die Vereinbarungen eingehalten werden (siehe hierzu [32]).

² *Mediation* (lat. Vermittlung) ist ein strukturiertes freiwilliges Verfahren zur konstruktiven Beilegung oder Vermeidung eines Konfliktes. Die Konfliktparteien - Medianden genannt - wollen mit Unterstützung einer dritten unparteiischen Person (Mediator) zu einer einvernehmlichen Vereinbarung gelangen, die ihren Bedürfnissen und Interessen entspricht.

2.2 Rechts- und Verfahrenslage zur Festlegung von Flugrouten in Deutschland

Den nationalen Rechtsvorschriften zur Festlegung von Flugrouten und -verfahren liegen internationale Vorschriften zugrunde.

2.2.1 Internationale Vorschriften

Bei der Planung von Flugrouten und -verfahren sind insbesondere die Bestimmungen der ICAO zu beachten, die in den PANS-OPS³ festgelegt sind. Dies ist ein international angewendetes Regelwerk über die Konstruktion von Flugrouten und Verfahrensschutzräumen zur Vermeidung von Kollisionen. Es erfolgt hierbei jedoch keine Optimierung unter Lärmgesichtspunkten. Diese werden lediglich unter Beachtung der Flugsicherheit empfohlen.

Das ICAO-Dokument 8168-OPS/611, *Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations*, kurz PANS-OPS, wurde 1951 zum ersten Mal veröffentlicht. Seitdem wurde das Dokument regelmäßig überarbeitet und weiterentwickelt. Es besteht gegenwärtig aus zwei Teilen:

- *Volume 1* – Flugverfahren

Dieser Teil beschreibt Verfahren, die von Piloten einzuhalten sind. Außerdem werden zahlreiche Parameter spezifiziert, auf denen Kriterien des Volume 2 aufbauen.

- *Volume 2* – Konstruktion von Sicht- und Instrumentenflugverfahren

Dieser Teil beschreibt die für die Planung entscheidenden Gebiete, sowie die Anforderungen an die Hindernisfreiheit mit dem Ziel, einen sicheren und regelmäßigen Flugbetrieb nach Instrumenten zu ermöglichen. Er beinhaltet die grundlegenden Richtlinien für Staaten und solche Organisationen, die Flugverfahren planen und erstellen.

Für die Planung und Festlegung von Flugrouten ist somit *Volume 2* relevant, welcher sich in sechs Teile gliedert und zusätzlich mit zahlreichen Anhängen versehen ist. Die darin festgelegten Standards bezüglich An- und Abflugverfahren müssen von den Mitgliedstaaten der ICAO in nationales Recht umgesetzt werden.

2.2.2 Nationale gesetzliche Grundlagen zur Festlegung von Flugrouten

Die rechtliche Grundlage zur Festlegung von Flugrouten ergibt sich aus dem deutschen Luftverkehrsgesetz, das u. a. auf die ICAO-Standards Bezug nimmt. Dieses ermächtigt das Bundesmi-

³ *Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations* (ICAO Doc. 8168)

nisterium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung dazu, Rechtsverordnungen über das Verhalten im deutschen Luftraum und am Boden zu erlassen (§ 32 Abs.1 Satz 1 Nr.1 LuftVG).

Die Verantwortung für die Festlegung von Flugverfahren (einschließlich der Flugwege, Flughöhen und Meldepunkte) ist in § 27a der Luftverkehrsordnung (LuftVO) geregelt. Bisher erließ das LBA diese in Form von Rechtsverordnungen, was jedoch seit Inkrafttreten des Gesetzes zur Errichtung eines Bundesaufsichtsamtes für Flugsicherung (BAF) am 4. August 2009 geändert hat.

§ 27a LuftVO,

- (1) Soweit die zuständige Flugverkehrskontrollstelle keine Flugverkehrskontrollfreigabe nach § 26 Abs. 2 Satz 2 erteilt, hat der Luftfahrzeugführer bei Flügen innerhalb von Kontrollzonen, bei An- und Abflügen zu und von Flugplätzen mit Flugverkehrskontrollstelle und bei Flügen nach Instrumentenflugregeln die vorgeschriebenen Flugverfahren zu befolgen.*
- (2) **Das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung wird ermächtigt, die Flugverfahren nach Absatz 1 einschließlich der Flugwege, Flughöhen und Meldepunkte durch Rechtsverordnung festzulegen.** Zur Abwehr von Gefahren für die Sicherheit des Luftverkehrs sowie für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung kann die Flugsicherungsorganisation im Einvernehmen mit dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung im Einzelfall Flugverfahren durch Allgemeinverfügung festlegen; [...] die Dauer der Festlegung [...] darf drei Monate nicht überschreiten. [Hervorhebung durch Verfasser]*

In einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 28. Juni 2000 (Az. 11 C 13/99) zu Widerspruchsmöglichkeiten von Flughafenanwohnern gegen die Festlegung von An- und Abflugstrecken heißt es:

„Gegen die Festlegung von An- und Abflugstrecken von und zu Flugplätzen gemäß §27a Abs. 2 Satz 1 LuftVO durch Rechtsverordnung können betroffene Flughafenanwohner Rechtsschutz im Wege der Feststellungsklage erlangen. Die Klage kann nur dann Erfolg haben, wenn das Interesse eines Klägers am Schutz vor unzumutbaren Lärmbeeinträchtigungen willkürlich unberücksichtigt geblieben ist.“

Daher erfolgt in Fällen der Änderung oder Einführung von Flugrouten üblicherweise eine umfassende Information der Planungsabsichten der DFS gegenüber der Fluglärmkommission (FLK). Die FLK hat allerdings nur beratenden Charakter und ein Vorschlagsrecht für Maßnahmen zum

Schutz der Bevölkerung gegen Fluglärm. Die DFS setzt diese Maßnahmen soweit wie möglich um und informiert bei gegebenenfalls notwendigen Abweichungen die FLK.

2.2.3 Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung

Das BAF ist eine im Aufbau befindliche Bundesoberbehörde, die nach Inkrafttreten des entsprechenden Gesetzes am 18. September 2009 in Langen gegründet wurde. Es fungiert als deutsche Aufsichtsbehörde für den Bereich der zivilen Flugsicherung im Sinne der europäischen Verordnungen zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Luftraums. Es untersteht der Aufsicht des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

Das BAF stellt sicher, dass alle in Deutschland tätigen Flugsicherungsunternehmen die für sie geltenden Bedingungen und hohen Sicherheitsanforderungen erfüllen. Es beaufsichtigt die grenzüberschreitenden Flugsicherungsdienste und arbeitet dabei eng mit den nationalen Aufsichtsbehörden der Nachbarstaaten zusammen.

Eine wichtige Aufgabe des BAF ist die förmliche Festlegung von Flugrouten. Damit übernimmt es diese Aufgabe vom LBA; die Flugroutenplanung wird weiterhin von der Deutschen Flugsicherung (DFS) wahrgenommen.

2.2.4 Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm

In 2007 trat das novellierte Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in Kraft. Dieses Gesetz sieht die Festlegung von Lärmschutzbereichen an bestehenden und wesentlich baulich veränderten zivilen und militärischen Flugplätzen vor. Der Lärmschutzbereich eines Flugplatzes wird nach dem Ausmaß der Lärmbelastung in zwei Schutzzonen für den Tag und eine Schutzzone für die Nacht gegliedert. In der Tag-Schutzzone 1 und der Nacht-Schutzzone werden auf Kosten des Flugplatzhalters bauliche Schallschutzmaßnahmen an bestehenden Wohngebäuden erstattet. In der Nacht-Schutzzone ist darüber hinaus vorgesehen, dass der Flugplatzhalter Aufwendungen für den Einbau von Lüftungseinrichtungen in Räumen erstattet, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden. Die Festlegung der Lärmschutzbereiche erfolgt durch Rechtsverordnung der jeweiligen Landesregierung. Im Rahmen der Novellierung des Fluglärmsgesetzes wurde auch eine Änderung des § 32 LuftVG vorgenommen. Zukünftig werden Flugrouten und -verfahren, die für die betroffene Bevölkerung hinsichtlich des Fluglärms von besonderer Bedeutung sind, im Benehmen mit dem Umweltbundesamt festgelegt. Damit soll ein Ausgleich zwischen den teilweise gegensätzlichen ökonomischen und ökologischen Interessenlagen geschaffen werden.

2.2.5 Beteiligte Akteure

Im Folgenden werden daher zunächst die beteiligten Akteure bei der Planung und Festsetzung von Flugrouten dargestellt.

Die wichtigste Aufgabe sowohl im Bereich der Flugroutenplanung als auch bei der Flugführung obliegt der DFS. Nach § 27c LuftVG dient die Flugsicherung der sicheren, geordneten und flüssigen Abwicklung des Luftverkehrs. Die DFS und die zuständigen Luftfahrtbehörden haben dabei auf den Schutz der Bevölkerung vor unzumutbarem Fluglärm hinzuwirken (§ 29b Abs. 2 LuftVG). Strittig ist jedoch die Richtigkeit und Verbindlichkeit der hierbei angewandten allgemeinen Planungsrichtlinie der DFS. In dieser Richtlinie wird am Tage (06:00 – 23:00Uhr) der flüssigen Verkehrsführung, also der Realisierung einer möglichst hohen Verkehrsdichte, Vorrang vor den Lärmschutzbelangen eingeräumt. Nur in den Nachtstunden (23:00 – 06:00Uhr) wird den Lärmschutzbelangen ein höherer Stellenwert als den wirtschaftlichen Aspekten eingeräumt. Die Flugsicherheit besitzt dabei generell eine übergeordnete Priorität [1][48].

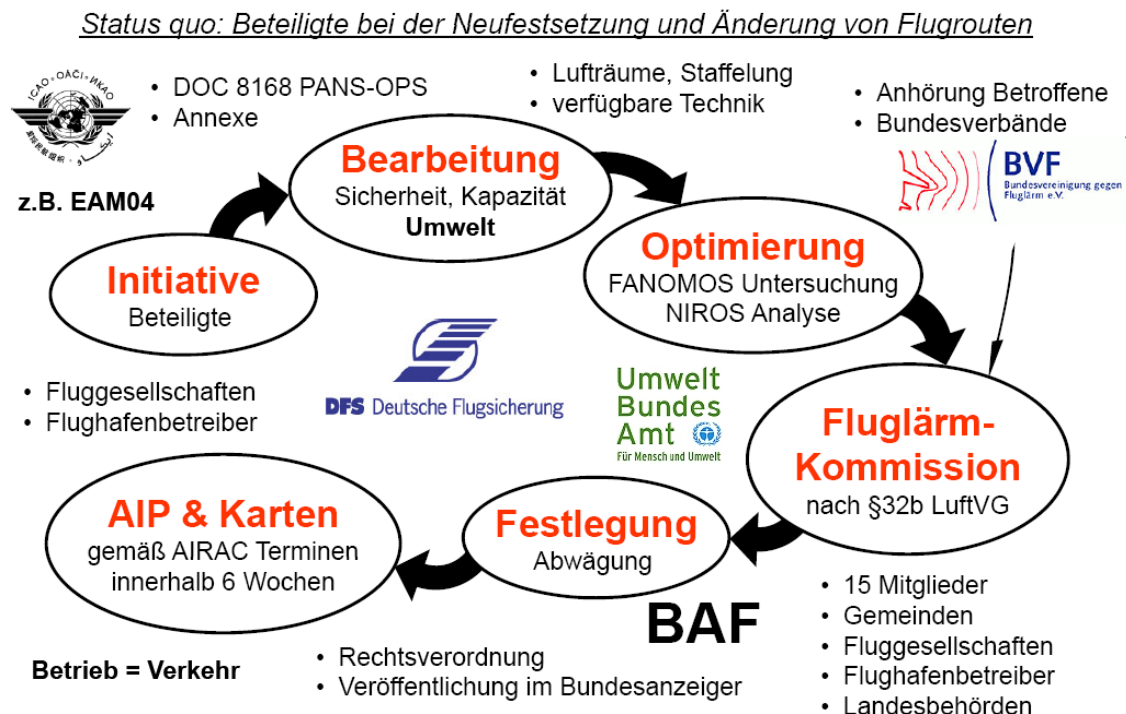


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung der Neufestsetzung und Änderung von Flugrouten

Die Initiative für eine Flugroutenänderung geht von einem oder mehreren Beteiligten aus (DFS, Fluggesellschaft, FLK oder einer lokalen Behörde) (Abbildung 2-1). Die Initiative kann verschiedene Gründe haben. Hierzu zählen Flugsicherheitserfordernisse, neue flugbetriebliche Möglichkeiten (z. B. Flächennavigationsverfahren) oder die gezielte Verringerung der bestehenden Fluglärmbelastung. Im Rahmen dieses Festlegungsprozesses werden verschiedene Varianten

für eine Flugroute geplant und hinsichtlich der drei Hauptkriterien Sicherheit, Kapazität und Umweltschutz analysiert. Grundlage für die Planung sind die Verfahrenskriterien nach ICAO Doc. 8168 (PANS-OPS) zur Flugroutenauslegung sowie die Ergebnisse der von der DFS zur lärmfachlichen Bewertung eingesetzten Software NIROS. Die DFS erarbeitet dann verschiedene Optionen für die anschließende Beratung innerhalb der örtlichen FLK.

Die Fluglärmkommissionen sind nach dem Luftverkehrsgesetz an jedem Verkehrsflughafen, der dem Fluglinienverkehr angeschlossen ist und für den ein Lärmschutzbereich nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm festzusetzen ist, gebildet worden:

§ 32b LuftVG, Fluglärmkommission

- (4) Der Kommission sollen angehören: Vertreter der vom Fluglärm in der Umgebung des Flugplatzes betroffenen Gemeinden, Vertreter der Bundesvereinigung gegen Fluglärm, Vertreter der Luftfahrzeughalter, Vertreter der für die Flugverkehrskontrolle zuständigen Stelle, Vertreter des Flugplatzunternehmers, Vertreter der von der Landesregierung bestimmten obersten Landesbehörden. In die Kommission können weitere Mitglieder berufen werden, soweit es die besonderen Umstände des Einzelfalles erfordern. In die Kommission sollen nicht mehr als 15 Mitglieder berufen werden. Die Mitgliedschaft ist ehrenamtlich.*

Aufgabe der FLK ist die Beratung der Genehmigungsbehörde und der Flugsicherung über Maßnahmen zum Schutz gegen Fluglärm und gegen Luftverunreinigungen durch Luftfahrzeuge.

Nach der Bearbeitung durch die DFS unter Berücksichtigung der Beratungsergebnisse der FLK werden die Vorschläge für neue Flugrouten dem BAF vorgelegt. Das BAF stellt dann das Benehmen nach § 32 Abs. 3 LuftVG mit dem Umweltbundesamt her:

- (3) Rechtsverordnungen bedürfen nicht der Zustimmung des Bundesrates, wenn sie der Durchführung von Richtlinien und Empfehlungen der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) dienen. Das Gleiche gilt für Rechtsverordnungen, die die zur Gewährleistung der Sicherheit des Luftverkehrs und der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung notwendigen Einzelheiten über die Durchführung der Verhaltensvorschriften nach Absatz 1 Satz 1 Nr. 1 und über die Durchführung der Ausbildungs- und Prüfvorschriften für Luftfahrtpersonal nach Absatz 1 Satz 1 Nr. 4 und 5 regeln. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung kann die Ermächtigung zum Erlass von Verordnungen nach Satz 2 und von Verordnungen, die die zur Gewährleistung der Sicherheit des Luftverkehrs und der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung notwendigen Einzelheiten über die Durchführung der Bau-, Prüf- und Betriebsvorschriften nach Absatz 4 Satz 1 Nr. 1 regeln, durch Rechtsverordnung auf das Luftfahrt-*

Bundesamt übertragen. Verordnungen nach Satz 3, die von besonderer Bedeutung für den Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm sind, werden im Benehmen⁴ mit dem Umweltbundesamt erlassen.

Nach lärmfachlicher Prüfung der Flugroutenvorschläge durch das Umweltbundesamt werden die Prüfergebnisse dem BAF vorgelegt. Unter Berücksichtigung der Urteile über die Festlegung von Flugrouten des Bundesverwaltungsgerichts (siehe Kapitel 2.2.2), nimmt das BAF eine Abwägung und Gewichtung der einzelnen Belange vor. Dabei hat das BAF einen gewissen Ermessensspielraum. Anschließend wird die Flugroutenänderung durch Rechtsverordnung erlassen. Es erfolgt abschließend die Veröffentlichung der Flugrouten im Bundesanzeiger, den Nachrichten für Luftfahrer (NfL) und im Luftfahrthandbuch Deutschland (Aeronautical Information Publication, AIP Germany).

Die Bundesvereinigung gegen Fluglärm e.V. (BvF) engagiert sich vor allem für die Verbesserung des Schutzes der Bevölkerung vor Fluglärm und nennt als allgemeine Ziele und Forderungen: [34]

- „Reduzierung der zulässigen Fluglärmbelastung auf die „Belästigungsgrenze“, nicht auf der Grenze der Gesundheitsgefährdung.
- Reduzierung der Nachtflüge und Nachtflugverbote.
- Die sofortige Übernahme von Schallschutzmaßnahmen (z.B. Lärmschutzfenster und Belüftungsanlage) in Wohnungen bei Überschreitung der zulässigen Werte, und nicht erst nach Jahren.“

Die derzeitigen Regelungen und Praktiken für Änderungen und Neufestlegungen von Flugstrecken sieht die BVF aus Umweltschutzsicht teilweise als völlig unzulänglich und hat hierzu ein Positionspapier erarbeitet. In diesem beschreibt sie die aus ihrer Sicht zu beachtenden Rechten und Pflichten aller von der Änderungen und Neufestlegungen von Flugstrecken betroffenen Akteuren. In diesem Positionspapier enthalten ist eine ausführliche Checkliste der erforderlichen Unterlagen und Prüfungen, die ihrer Ansicht hierbei berücksichtigt werden sollten. Konkret stellt die BVF in einer Zusammenfassung daher folgende Forderungen auf, was „bei Streckenfestlegungen und Auslastungsänderungen zu beachten“ ist [49]:

- „Zutreffende Ermittlung des jetzigen und des künftigen Verkehrs und der Typenverteilung.

⁴ „Im Benehmen“: Form der Mitwirkung einer Stelle (z.B. Behörde) bei einem Rechtsakt, deren Einwilligung allerdings nicht benötigt wird, im Gegensatz zu „im Einvernehmen“. Allerdings muss dieser Stelle Gelegenheit zur Stellungnahme gegeben werden und diese in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

- Zutreffende Ermittlung der Betroffenheit mit Schallimmissionsplänen und Konfliktplänen, in denen Richtwertüberschreitungen - getrennt nach Beurteilungszeiträumen – zu erfassen sind. (Ohnehin aufgrund der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie erforderlich). Die Lage und Funktion der berührten Gebiete, Art und Bestand der Bauungsstruktur und der Nutzungen sind derart zu erfassen, dass schutzbedürftige Gebiete und Einrichtungen erkennbar werden. (Aufgabe der jeweiligen Gemeinde)
- Der Schutz der Gesundheit hat Vorrang vor wirtschaftlichen Überlegungen
- Bisher erheblich Belastete dürfen keinesfalls noch höher belastet werden.
- Neu Belastete dürfen keinesfalls mit mehr als tags $L_{Aeq} = 60 \text{ dB(A)}$, abends $L_{Aeq} = 55 \text{ dB(A)}$ und nachts $L_{Aeq} = 50 \text{ dB(A)}$ belastet werden. Neubelastete haben Anspruch auf Schutzmaßnahmen.
- Eine konkrete und durch umfangreiche und zugängliche Dokumentation nachvollziehbare Alternativenprüfung
- Betroffene Kommunen und Bürger sind zu beteiligen.“

Am Lärmberechnungs- und -bewertungsverfahren NIROS (vgl. Kap 3.3.2) kritisiert die BVF in diesem Positionspapier von 2004 einige Punkte, welche die inzwischen von der DFS eingesetzte überarbeitete NIROS-Version nicht mehr betreffen (z.B. die alleinige Dokumentation der Streckenbewertung anhand des einzahligen „Gütwerts“). Die BVF fordert eine sachgerechte Bewertungsbelastung nach einer Aufschlüsselung der Betroffenenanzahlen in einzelnen 5dB- Belastungskategorien vorzunehmen. Hierbei sollte mit fortschrittlicheren Fluglärmberechnungsmethoden⁵ eine Berechnung des L_{DEN} -Index erfolgen und diesbezüglich ein Vergleich zwischen der bisherigen und geplanten Flugstrecke (und möglichen Alternativen) erfolgen. Diese differenzierte Auswertung ermögliche die Prüfung der zentralen Forderung der BVF, bisher erheblich Belastete ($L_{DEN} \geq 55 \text{ dB(A)}$ oder $L_{night} \geq 45 \text{ dB(A)}$) keinesfalls noch höher zu belasten. In der Checkliste wird darüber hinaus eine Beurteilung der Maximalpegelhöhe und –verteilung gefordert [49].

Diesen Forderungen wird im Rahmen der hier vorgeschlagenen Vorgehensweise dahingehend Rechnung getragen, dass eine ausführliche Dokumentation sämtlicher Zwischenergebnisse der Lärmrechnungen erfolgen sollte. Während für eine abschließende Bewertung zwar zum Beispiel die Tages- und Nachtbewertung in einer Kennzahl verflochten werden, so sind die entsprechenden Berechnungen separat zu dokumentieren. Weiterhin werden zum Beispiel für die Be-

⁵ Zu diesem Stand (vor Verabschiedung des FluglärmG 2007 und der AzB 2008) wurde die Verwendung von FLULA oder hilfsweise einer AzB-99-Implementierungen wie CADNA gefordert.

trachtung der Tagesstunden nur diejenigen in die Bewertung einbezogen, die mindestens einem L_{eq16} von 47 dB ausgesetzt sind. Nichtsdestotrotz kann insbesondere für die Ermittlung von Neu-Belasteten auch die Darstellung der Betroffenenzahlen unterhalb dieser Bewertungsschwelle sinnvoll sein.

Weiterhin wird im Rahmen des hier vorgestellten Verfahrens darauf gedrungen, dass insbesondere die Gewichtung der verschiedenen Kriterien untereinander im Rahmen eines transparenten und nachvollziehbaren Dialogs mit sämtlichen Beteiligten bzw. Betroffenen erfolgen sollte. Diese Aspekte werden in den entsprechenden Kapiteln nochmals separat aufgegriffen.

2.3 Fallbeispiele zur Darstellung von Akteuren bei der Festlegung bzw. Änderung von Flugrouten

Der Prozess der Festlegung von Flugrouten in Deutschland ist nicht ohne Kritik zu sehen, wie die folgenden Fallbeispiele zeigen. Problematisch ist gerade in Bezug auf die Thematik Fluglärm das immer noch bestehende Ungleichgewicht der Mitbestimmung der beteiligten Akteure. Speziell die betroffenen Anwohner und Gemeinden können oft nur reagieren, da sie von der Planung der Routen ausgeschlossen sind und es oft an Transparenz fehlt. Formell besteht für sie zwar die Möglichkeit der Mitsprache, diese besteht aber meist nur in Empfehlungen ohne Rechtsverbindlichkeit.

2.3.1 Anti-Lärm-Pakt

Die Beteiligung von Akteuren und Betroffenen hat in der Vergangenheit mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Ein Beispiel hierfür ist das im Jahr 2000 abgeschlossene Mediationsverfahren am Flughafen Frankfurt. Die konkreten Empfehlungen des Mediationsverfahrens lauten:

- Kapazitätserweiterung durch Ausbau des Flughafens (neue Landebahn, Erweiterung der Terminalflächen) bei gleichzeitiger Optimierung des vorhandenen Systems z.B. durch HALS/DTOP (*High Approach Landing System / Dual Threshold Operation*),
- Gründung eines „Anti-Lärm-Paktes“,
- striktes Nachtflugverbot,
- Fortführung der im Mediationsverfahren begonnenen Gespräche im sogenannten Regionalen Dialogforum (RDF).

Das RDF wurde von der hessischen Landesregierung im Jahr 2000 ins Leben gerufen und in die Weiterentwicklung des Frankfurter Flughafens und damit in die entsprechenden Planungen für die Rhein-Main-Region eingebunden. Im RDF waren bis zum Juni 2008 insgesamt 33 Mit-

glieder aus 27 Institutionen vertreten [36]. Es sollte die offene Diskussion zwischen allen Beteiligten erleichtern, die in den Ausbau des Gebietes um den Frankfurter Flughafen involviert sind.

Zur Bearbeitung des umfangreichen Arbeitsprogramms des RDF wurden insgesamt fünf Projektteams zu verschiedenen Themenschwerpunkten gebildet. In den Projektteams arbeiteten auch Vertreter aus Institutionen mit, die nicht direkt im RDF vertreten waren. Ihre Aufgabe bestand darin, dem RDF vorzugsweise einstimmig gefasste Empfehlungen zu offenen Fragen zu unterbreiten. Ein Projektteam bearbeitete dabei konkrete Fragestellungen zur Umsetzung des Anti-Lärm-Pakts. Die vom Anti-Lärm-Pakt und dem RDF aufgeworfenen Fragen befassten sich u. a. mit den Planungswerkzeugen und -prozessen sowie die Kommunikation der DFS für die Definition von Flugrouten minimaler Lärmbelastung (*Minimum Noise Routes*).

Konkrete Ergebnisse des RDF waren unter anderem [47]:

- Aufnahme des Nachtflugverbots in den Antrag der Fraport AG zum Planfeststellungsverfahren
- Test und betriebliche Aufnahme von lärm mindernden Anflugverfahren (z.B. CDA, *Continuous Descent Approach*) vgl. 3.5.2, alternative Landeklappenstellung)
- Transparenz für die Öffentlichkeit (z.B. Flugspuren „live“ durch die DFS)

Nach Beendigung der offiziellen Arbeit des RDF am 17. Juni 2008 waren sich alle Mitglieder einig: der Dialog muss weitergehen. Die Landesregierung hatte dafür bereits am 13. Juni 2008 in einem Kabinettsbeschluss neue Strukturen für ein "Forum Flughafen und Region" geschaffen, welches aus den drei Säulen: „Expertengremium Aktiver Schallschutz“, „Konvent Flughafen und Region“ sowie dem „Umwelthaus mit Bürgerbüro“ bestehen soll. Überdacht werden soll dieses Forum durch einen Koordinierungsrat mit drei gleichberechtigten Vorsitzenden. Diese neue differenzierte Struktur ist dem zukünftigen Bedarf an Dialog, Umsetzung und regionaler Transparenz angepasst und folgt damit wesentlichen Wünschen der RDF-Mitglieder.

2.3.2 Abflugrouten über den Taunus (TABUM)

Angesichts prognostizierter Kapazitätsengpässe in Teilen des deutschen Luftraums und der gleichzeitigen Forderung der betroffenen Luftverkehrsgesellschaften nach optimalen Flugprofilen, entschloss sich die DFS frühzeitig neue Strukturen zu entwerfen und diese mittels Schnell- und Realzeitsimulationen auf ihre Umsetzbarkeit hin zu untersuchen. Werkzeug für die Schnellzeitsimulationen war das *Eurocontrol Airspace Model (EAM)* Simulationstool. Die Ergebnisse der Simulationen aus EAM 04 wurden als deutscher Beitrag in die Entwicklung des Streckenmodells ARN Version 3 (*ATS Routes and Associated Navigation Means Version 3*) eingebracht und international abgestimmt. Seit dem 19. April 2001 wird daher u.a. der gesamte Ost-West-Verkehr am Flughafen Frankfurt/M. mit nördlicher Destinationen, der bis dahin über das Funk-

feuer TAU geleitet wurde, über die neuen Wegpunkte TABUM und GOGAS geführt. GOGAS befindet sich nahe St. Goarshausen und TABUM ca. 10 km östlich von Bad Camberg.

Die TABUM-Route wird für Abflüge Richtung Norden genutzt. Während Flugzeuge mit normaler Steigrate soweit wie möglich der Autobahn in nordwestlicher Richtung folgen und somit weniger bewohntes Gebiet überfliegen, halten Luftfahrzeuge, die die Steigvorgaben nicht erreichen, in Richtung Westen auf Mainz zu, bis sie eine Höhe von 3.500 ft durchstiegen haben, um dann Wiesbaden in nordwestlicher Richtung zu überfliegen. Nach einer weiteren Rechtskurve überfliegen dann alle Flugzeuge gebündelt den Hochtaunus, sobald sie eine Höhe von 4.400 ft (ca. 1.330 m) erreicht haben.

Die Darstellung der Flugerwartungsgebiete in Abbildung 2-2 zeigt, dass durch die neue Flugroutenführung große Teile des Main-Taunus-Kreises mit Fluglärm belastet wurden. Dieses führte zu erheblichen Protesten der dortigen Bevölkerung, zumal die Änderung ohne vorherige Anhörung der Vertreter von betroffenen Städten und Gemeinden durchgeführt wurde:

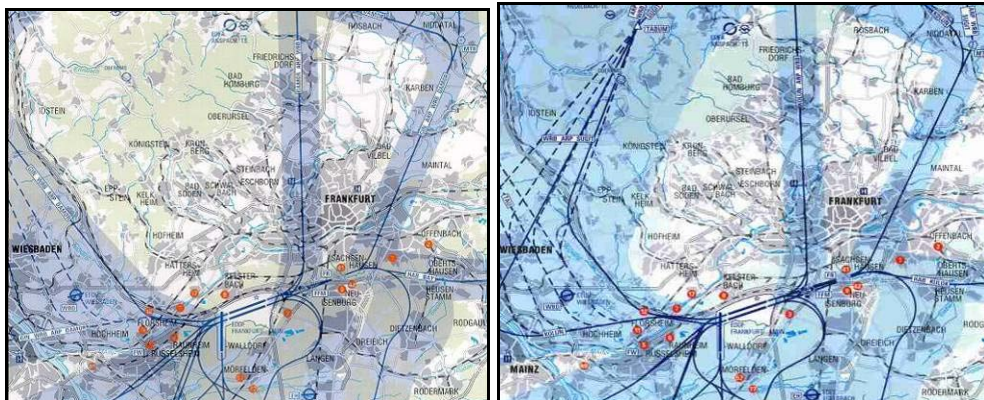


Abbildung 2-2: Ausschnitt aus dem Flugerwartungsgebiet Frankfurt/Main im Jahr 2000 (links) und nach dem 19. April 2001 (rechts) [10]

Im Folgenden der Auszug einer gemeinsamen Pressemitteilung der Taunusstädte Bad Soden, Eppstein, Glashütten, Kelkheim und Schmittgen vom 8. März 2001.

[...] Alle Bürgermeister sind sich darüber einig, dass die Informationspolitik der DFS in höchstem Maße unprofessionell ist. Keine Stadt/Gemeinde wurde im Vorfeld der Entscheidung der Flugroutenänderung informiert noch offiziell beteiligt. Während die MTK-Städte erst am 01.03. erstmals offiziell im Kreishaussitz unterrichtet wurden, sind die Städte des Hochtaunuskreises erst am 08.03. von der DFS offiziell in Kenntnis gesetzt worden. Dies ist erst vier Wochen (!) nach der DFS-Presseveröffentlichung geschehen.

Vor dem Hintergrund der Ausbaudiskussion, wo umfangreiche Mediationsver-

fahren vorgeschaltet sind, ist die im vorliegenden Fall praktizierte Informationspolitik von DFS und Luftfahrtbundesamt nicht nachzuvollziehen. [...]

Die von der neuen Flugroute betroffenen Gemeinden schlossen sich deshalb zusammen und klagten vor dem Hessischen Verwaltungsgerichtshof (VGH) gegen die Festlegung neuer Abflugrouten im Nordwesten des Flughafens Frankfurt am Main.

Der Eilantrag auf einstweiligen Rechtsschutz wurde vom VGH in Kassel mit Beschluss vom 18. April 2001 abgelehnt (Az. 2 Q 1064/01). Der Hessische VGH begründet sein Urteil damit, dass die Kläger, die ja selbst Träger hoheitlicher Befugnisse sind, sich gegenüber dem Staat nicht auf Grundrechte - wie das Eigentumsrecht - als Abwehrrecht berufen können. Dies können vielmehr nur die betroffenen Bürger selbst.

In dem folgenden Urteil des VGH vom 11. Februar 2003 haben dann die Kläger einen Teilerfolg erreicht. Geklagt haben gegen diese Flugrouten in einem ersten Verfahren (Az. 2 A 1062/01) die Städte Bad Soden, Eppstein, Kelkheim und Königstein sowie die Gemeinden Glashütten, Schmitten und Niedernhausen und in einem zweiten Verfahren (Az. 2 A 1569/01) vier private Kläger aus Kelkheim, Schmitten und Glashütten. Das Gericht hat festgestellt, dass das LBA bei der Routenausweisung die spezifischen topografischen Verhältnisse nicht ausreichend berücksichtigt habe. Die Lärminderung, die sonst mit zunehmender Flughöhe eintrete, werde durch den beachtlichen Anstieg des Geländes weitgehend neutralisiert, zumindest aber erheblich relativiert. Deshalb müsse das LBA die Routenführung unter Berücksichtigung der realen Flughöhen über Grund überprüfen, zumal nicht auszuschließen sei, dass eine mögliche geringe Verschiebung der Route zu einer insgesamt lärm mindernden Alternative führe. Um zu vermeiden, dass infolge dieser Entscheidung Risiken für die Sicherheit des Luftverkehrs oder Mehrbelastungen für Gebiete entstehen, die schon jetzt erheblich lärm belastet sind, hat der VGH dem LBA einen Übergangszeitraum von drei Monaten eingeräumt, in denen die Kläger die Flugverfahren trotz des Planungsfehlers zu dulden haben. Der VGH stellt allerdings klar, dass einer Routenführung über bisher nicht belastete Taunus-Regionen keine grundsätzlichen Hindernisse entgegenstünden. Je nach dem Ergebnis der Überprüfung der von dem Gericht beanstandeten Verfahren sei es daher nicht ausgeschlossen, dass das LBA diese oder ähnliche Flugrouten neu festsetzt. Keinen Erfolg hatten die Klagen, soweit sie sich gegen Anflugverfahren oder diejenigen Abflugverfahren richteten, die von dem Flughafen zunächst in südlicher und südwestlicher Richtung verlaufen und dann in einer großen Rechtskurve nach Nordosten über TABUM geführt werden. Diese ohnehin nur relativ selten genutzten Verfahren sind nach den Feststellungen des VGH planungsrechtlich nicht zu beanstanden. Der Verwaltungsgerichtshof hat die Revision nicht zugelassen; gegen diese Entscheidung können die Beteiligten Beschwerde beim Bundesverwaltungsgericht einlegen.

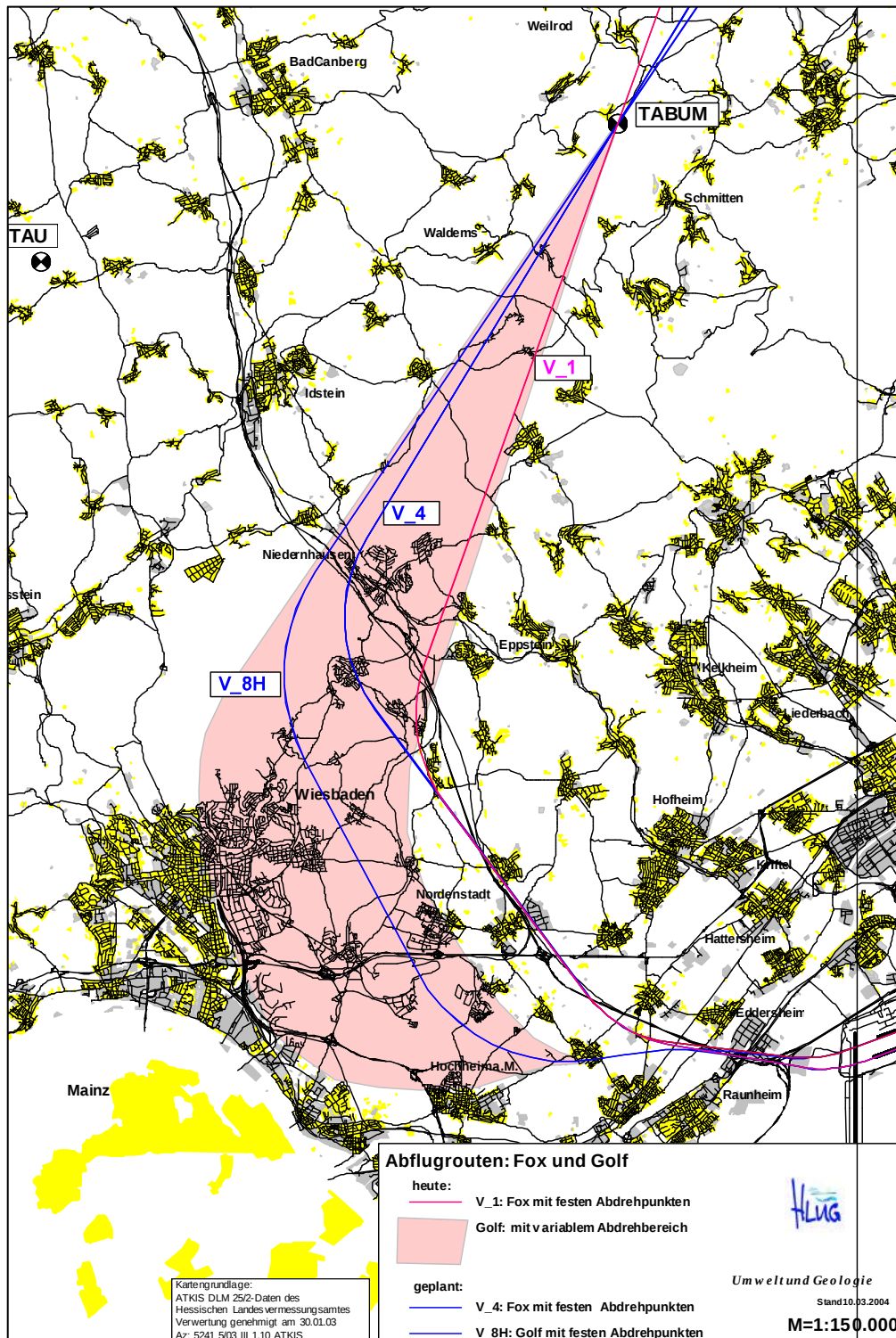


Abbildung 2-3: TABUM Routenvergleich Alt/Neu vom 10. März 2004 [10]

Das LBA hat daraufhin am 17. April 2003 gegen zwei Urteile des VGH Beschwerde beim Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) wegen der Nichtzulassung zur Revision eingelegt:

[...] LBA und DFS verkennen nicht die Ausgewogenheit der Entscheidungen des VGH, die auch aus ihrer Sicht weitgehend praktikable Ansätze zur tatsächlichen und rechtlichen Beurteilung der Festlegung von Flugverfahren beinhalten. Mit der Beschwerde sollen vornehmlich die Feststellungen des Gerichts zu den Fluglärmwerten angegriffen werden, ab denen zwingend eine Abwägung zwischen betrieblichen Belangen und Lärmschutzinteressen vorzunehmen ist und zu dem Grad der Betroffenheit, ab dem eine Rechtsverletzung vorliegen kann. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung dieser Fragestellung, die der Gesetzgeber bisher offen gelassen hat, soll eine Klärung durch das Bundesverwaltungsgericht herbeigeführt werden. Unabhängig von dieser Entscheidung wurden die Simulationsmodelle der DFS an die Topographie angepasst und alternative Flugrouten geprüft. [...]

Am 29. Juli 2003 wurden die Kläger der Taunusschiene zu einer Sitzung der Frankfurter Fluglärmkommission eingeladen, um ihr Anliegen vorzutragen. Die Fluglärmkommission befasste sich ausführlich mit der Angelegenheit, wobei verschiedene mögliche Routenführungen geprüft wurden. Abbildung 2-3 zeigt beispielhaft zwei Flugroutenvarianten.

Das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig hat am 24. Juni 2004 die Urteile des VGH aufgehoben und die Klagen abgewiesen. Das Flugroutensystem im Raum Frankfurt ist u.a. deshalb neu geordnet worden, um die durch Fluglärm stark beeinträchtigten Gemeinden im westlichen Umland des Flughafens zu entlasten. Im Rahmen der Neuregelung hat das LBA nach den Feststellungen des VGH Vorsorge dafür getroffen, dass der Bereich des Hochtaunus nur von Flugzeugen überflogen wird, die eine Mindestflughöhe von 4.400 ft über Normal Null (NN) erreicht haben. Hierdurch wird nach Ansicht des Gerichts sichergestellt, dass keine unzumutbaren Fluglärmbelastungen hervorgerufen werden, da die Mittelungspegel maximal 50 dB(A) am Tag und 43 dB(A) in der Nacht betragen. Es bestand daher kein Anlass zu der Annahme, dass das LBA bei der von ihm vorgenommenen Alternativprüfung Varianten der Flugroutenführung nur deshalb übersehen haben könnte, weil es die Geländeverhältnisse in den betroffenen Hochtaunusgemeinden nicht zum Gegenstand genauerer Ermittlungen gemacht hat (Az. BVerwG 4 C 11.03 und 4 C 15.03).

Die Konsequenz aus diesem Urteil wäre also, als langfristiges Ziel grundsätzlich die Fluglärmbelastung unterhalb dieser Werte zu halten. Da es bindend ist und nicht mehr angefochten werden kann, ist laut Bundesverwaltungsgericht für alle Beteiligten Rechtssicherheit eingekehrt.

Am 6. Dezember 2004 gibt die DFS die folgende Pressemitteilung heraus:

[...] Die so genannte TABUM-Route wird geringfügig in Richtung Westen verschoben. Dies ist das Ergebnis der Untersuchungen durch die DFS Deutsche Flugsicherung

GmbH. Die neue Route wurde bereits mit dem Vorstand der Fluglärmkommission besprochen und wird Anfang nächsten Jahres in Betrieb gehen. Die bei Westwind genutzte neue Abflugroute vom Frankfurter Flughafen verläuft zunächst, wie bisher, an Flörsheim, Wallau und der A3 entlang und später dann aber westlich an Schlossborn und Glashütten vorbei. Nach Prüfung aller Möglichkeiten, den Wünschen der Bevölkerung entgegen zu kommen, hat sich die in aufwändigen Untersuchungen gefundene Lösung als bestmögliche herauskristallisiert. Neben dieser hauptsächlich genutzten so genannten „TABUM FOX-Route“ verschiebt sich auch der Ausflugpunkt für die relativ wenige Anzahl der schweren Flugzeuge (so genannte „TABUM GOLF-Route“) leicht nach Westen. Die mit dieser Streckenführung verbundene Streuung im ersten Streckensegment bleibt vorerst bestehen. Der angepasste Routenverlauf ist das Ergebnis einer mehrjährigen Diskussion um die Fluglärmbelastung im Taunus. Mit der in einer ausführlichen Abwägung erarbeiteten Lösung schöpft die DFS das geringe Optimierungspotential [Sicherheit, Kapazität, Umwelt, Anm. d. Red.] voll aus. In Gesprächen mit der Fluglärmkommission waren die unterschiedlichen Varianten beraten worden. Letztendlich hat sich gezeigt, dass der Spielraum zur Entlastung einzelner Gegenden ohne Erzeugen neuer Betroffenen sehr gering ist [...]

Es sei bemerkt, dass die Flugrouten in der Umgebung des Flughafens Frankfurt/Main in der Zwischenzeit erneut geändert wurden und nunmehr ein fester Abdrehpunkt für die Abflüge nach Norden eingeführt ist (s. Luftfahrthandbuch Deutschland).

2.3.3 Das Rilax-Urteil des Verwaltungsgerichtshofes Baden-Württemberg über die Neuordnung von Flugrouten zum Flughafen Zürich

Im Zuge einer Neuordnung der Flugrouten auf europäischer Ebene erließ das LBA im Mai 2000 eine Rechtsverordnung, die den Navigationspunkt RILAX für den Anflug aus Norden auf den Flughafen Zürich festlegt. Dieser Punkt befindet sich über dem östlichen Stadtrand von Donaueschingen. Zugleich legt die Verordnung für diesen Bereich einen Warteraum (Holding) für Flugzeuge fest, die in Zürich nicht sofort landen können. Diese Rechtsverordnung ist von Städten Donaueschingen und Villingen-Schwenningen sowie weiterer acht Städte und Gemeinden beklagt worden. Der Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg hatte am 22. März 2002 entschieden, dass die Rechtsverordnung nicht rechtmäßig zustande gekommen war (Az. 8 S 1271/01). Als Begründung wurde angegeben, dass die betroffenen Städte und Gemeinden nicht vor dem Erlass der Verordnung informiert wurden. Zudem hatten die betroffenen Städte und Gemeinden keine Gelegenheit, zu den geplanten Regelungen Stellung zu nehmen. Darüber hinaus war eine Untersuchung von Alternativen zu dem gewählten Anflugpunkt unterblieben.

Dieses Urteil zeigt, dass bisher keine förmliche Beteiligung von Städten und Gemeinden bei Flugroutenänderungen vorgesehen war.

Das LBA hatte gegen das Urteil Revision eingelegt, da der Beschwerde gegen die Nichtzulassung zur Revision beim Bundesverwaltungsgericht mit Beschluss vom 19. September 2002 stattgegeben wurde. Die Zulassung der Revision hat das Bundesverwaltungsgericht mit der grundsätzlichen Bedeutung der Rechtssache begründet. Vor allem die Frage, ob betroffene Kommunen bei der Festlegung eines Warteverfahrens informiert und angehört werden müssten, bedürfe einer Entscheidung durch das Bundesverwaltungsgericht.

Das Bundesverwaltungsgericht hat am 26. November 2003 im Revisionsverfahren das Urteil des Verwaltungsgerichtshofes Baden-Württemberg aufgehoben und die Klagen abgewiesen. Es hält das LBA nicht für verpflichtet, vor Erlass einer Verordnung zur Festlegung von Flugverfahren die betroffenen Gemeinden anzuhören. Ein solches Beteiligungsrecht der Gemeinden sei im Gesetz nicht vorgesehen und auch verfassungsrechtlich nicht geboten. Auch eine willkürliche Missachtung der Lärmschutzinteressen der betroffenen Gemeinden und Anwohner könne dem LBA nicht vorgeworfen werden. So sei mit Rücksicht auf die Lärmschutzinteressen der Anwohner die Mindestflughöhe für das Warteverfahren von ursprünglich 7.000 ft auf 13.000 ft angehoben worden.

2.3.4 Wiedereinführung „Wesertalroute“ am Flughafen Bremen im Juni 2007

Im Juni 2007 wurde nach langen fachlichen Diskussionen die sogenannte „Wesertalroute“ wiedereingeführt.

In den Jahren 2006 bis Mitte 2007 erfolgten am Verkehrsflughafen Bremen die Abflüge in Richtung Osten mit südlichem Ziel über die sogenannte „Hemelingenroute“. Diese Abflugroute verlief über das Funkfeuer „Hemelingen (HIG)“, so dass über den Wohnbereichen von Hemelingen und Osterholz nach Süden abgedreht wurde. Da diese Routenführung zu zahlreichen Lärmbeschwerden führte, wurde über die Wiedereinführung der sogenannten „Wesertalroute“ diskutiert. Hierbei wird nicht bis zum Funkfeuer Hemelingen geflogen, sondern bereits bei Erreichen der Weser nach Süden abgelenkt. Zur Beurteilung der Fluglärmsituation führte im Frühjahr 2006 die DFS eine NIROS-Berechnung durch. Diese Fluglärm-Berechnung erfolgte jedoch auf der theoretischen Idealfuglinie und berücksichtigte nicht die laterale Streuung der Flüge. Als Ergebnis dieser Berechnung wären bei der Wesertalroute weniger Personen von Fluglärm betroffen gewesen als bei der Hemelingenroute.

Zeitgleich zur NIROS-Berechnung wurde vom Bremer Senator für Bau, Umwelt und Verkehr ein Ingenieurbüro mit der Berechnung des Fluglärms nach der EG-Umgebungslärmrichtlinie beauftragt. Hierbei wurde auf der Grundlage des Flugbetriebs am Flughafen Bremen im Jahr 2005 die Fluglärmbelastung bestimmt und in Lärmkarten dargestellt. Im Rahmen dieser Berechnung

gen wurden auch unterschiedliche Routenführungen untersucht (Varianten „Hemelingen“ und „Wesertal“). Auch dieses Gutachten kommt zum Ergebnis einer geringfügigen Entlastung in den Bereichen nördliches Hemelingen und Osterholz bei der Wiedereinführung der Wesertalroute (Details siehe [9]). Die wesentlichen Gründe waren:

- Entlastung der Bereiche Osterholz und Hemelingen, die zusätzlich von weiteren Lärmquellen (Autobahn, Eisenbahn, Gewerbe/Industrie) betroffen sind.
- Eine nicht höhere Belastung von Habenhausen.
- In der Nacht ergibt sich bei Nutzung der Wesertalroute keine Veränderung.

Ein Presseartikel vom 30.11.2006 weckte in der Bevölkerung das Interesse, die Auswirkungen einer Flugroutenverlegung genauer zu erfahren. Daraufhin wurde am 06.12.2006 von Bremer Senator für Bau- und Umwelt eine Informationsveranstaltung mit der Vorstellung der Berechnungsergebnisse zur Umgebungslärmrichtlinie durchgeführt.

Nach intensiver Diskussion und Auswertung der zwei Untersuchungen sowie des Sondermessprogramms Hemelingen/Arsten/Weyhe, hat die Bremer Fluglärmmmission am 12.02.2007 der DFS die Wiedereinführung der Wesertalroute mit Drehpunkt bei 2,8 NM DME (*Distance Measuring Equipment*) empfohlen.

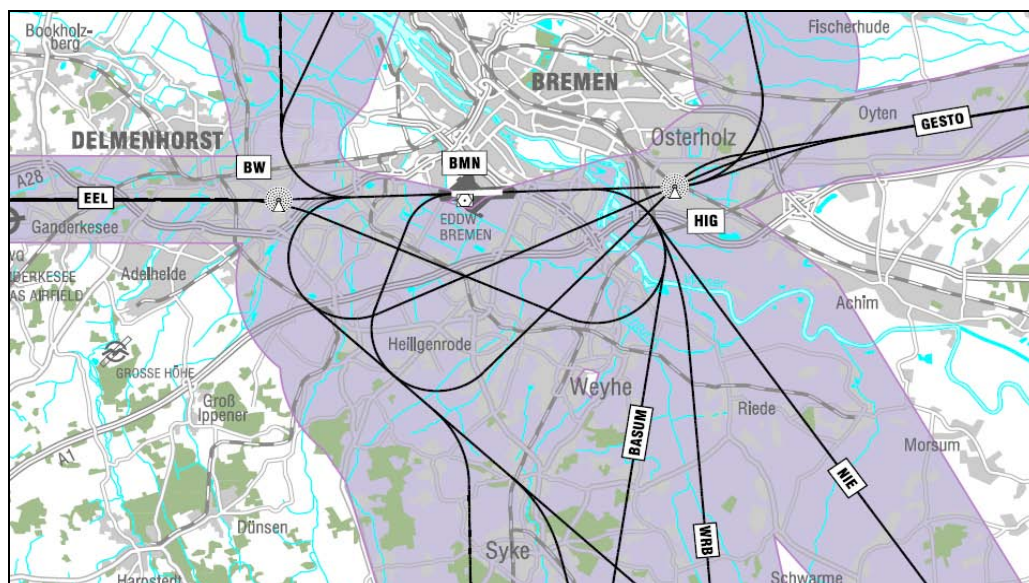


Abbildung 2-4: Ausschnitt zur aktuellen Situation der Minimum Noise Routing mit Flugerwartungsgebieten am Flughafen Bremen [11]

Die Wesertalroute (siehe Flugrouten BASUM, WRB und NIE in Abbildung 2-4) wurde dann zum 7. Juni 2007 in Kraft gesetzt.

Dieser konkrete Fall der Verlegung einer Flugroute bekräftigt das starke öffentliche Interesse an Aufklärung und Präsentation der fachlichen Ergebnisse. Hierbei spielt die transparente Darstellung der beiden unabhängigen Einzelgutachten mit zwar gleichen bzw. ähnlichen Ergebnissen jedoch unterschiedlichen Vorgehensweisen eine große Rolle. Allerdings konnten anscheinend nicht alle Belange vollständig und zufriedenstellend berücksichtigt werden, denn die Abflugroute ist weiterhin Gegenstand eines anhängigen Verfahrens vor dem Petitionsausschuss der Bremer Bürgerschaft [8].

2.3.5 Erfahrungen aus der Anwendung der Benehmensregelung nach § 32 LuftVG

Seit der Änderung des § 32 LuftVG wurden erste Erfahrungen im Entscheidungsfindungsprozess und der Zusammenarbeit mit den beteiligten Institutionen gesammelt. Das BAF legt dem UBA für die Beurteilung der Flugroutenvorschläge verschiedene Unterlagen vor, die primär von der DFS erarbeitet wurden. Hierzu gehören insbesondere schriftliche und grafische Beschreibungen der Flugrouten, die Aufschlüsselung der Streckenbelegung auf einzelne Luftfahrzeugmuster und die Ergebnisse der NIROS-Berechnungen. Darüber hinaus wird die Stellungnahme der örtlichen FLK zu den Flugroutenvorschlägen dem UBA vorgelegt. Da in der FLK unterschiedliche Interessengruppen vertreten sind und damit bereits ein Meinungsbildungsprozess vor Ort erfolgt ist, und die FLK zudem mit der örtlichen Situation genau kennt, ist die Stellungnahme der FLK für das UBA von großer Bedeutung. Auf der Grundlage dieser Unterlagen nimmt das UBA dann eine lärmfachliche Bewertung der Flugroutenvorschläge vor. Die bisherigen Flugroutenbewertungen zeigen, dass die vorgelegten Unterlagen zwar eine solide Basis für die Flugroutenbeurteilung sind, aber noch Defizite aufweisen. So ist mitunter die Ausgangssituation nicht eindeutig beschrieben, so keine genauen Rückschlüsse auf die Veränderung der Betroffenenzahlen gezogen werden können. Zudem fehlt ein umfassendes Beurteilungsverfahren. Dieser Mangel soll durch die vorliegende Studie behoben werden.

KAPITEL 3 Benchmarking

3.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die national und international gültigen Regelwerke und Vorgehensweisen bei der Festlegung oder Änderung von Flugrouten und –verfahren gegeben.

Grundsätzlich unterliegt jedes Flugverfahren gewissen Ungenauigkeiten, die vor allem durch Windeinfluss und Navigation entstehen. Daher wurden von der ICAO im Dokument 8168 (PANS-OPS – *Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations*) weltweit gültige Kriterien und Vorgaben für die Durchführung von Warte-, Anflug- und Abflugverfahren festgelegt. Die PANS-OPS sind international angewendete Richtlinien für Navigationsdienste im Luftverkehr.

Die in der Praxis angewendeten flugbetrieblichen Verfahren hängen von der aktuellen Wetterlage ab, also vor allem von den Wind- und den Sichtverhältnissen. Aus flugphysikalischen Gründen sollten Starts oder Landungen immer gegen den Wind erfolgen. Dementsprechend werden Start- und Landebahnen möglichst in Richtung der typisch vorherrschenden Windrichtung geplant und gebaut. Darüber hinaus müssen Start- und Landebahnen Vorgaben bezüglich der beim An- und Abflug zu fliegenden Kurvenradien, Steig- und Sinkgradienten sowie Sicherheitsabständen zu Hindernissen genügen, welche ebenfalls als Richtlinien in den PANS-OPS festgelegt sind. Aus flugbetrieblichen Gründen müssen sich An- und Abflugrouten optimal an Flugrouten in größeren Höhen anschließen, was innerhalb Europas zurzeit eine internationale Abstimmung, z.B. mit Eurocontrol, erforderlich macht. Nicht zuletzt muss der Flugverkehr sicher, umweltschonend, effizient und kundenorientiert abgewickelt werden, was gegebenenfalls zu weiteren Randbedingungen in der Streckenführung führen kann.

Die Entscheidungsfreiheit der DFS als national vom Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung mit der Planung neuer Flugrouten betraute Organisation wird somit durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Daher werden im folgenden Kapitel zunächst allgemein An- und Abflugverfahren beschrieben. Anschließend erfolgt eine Darstellung der operationellen und sicherheitsrelevanten

ten Faktoren und Kriterien, nach denen eine Flugroute festgelegt wird, sowie hierfür eingesetzte Verfahren und Hilfsmittel. Danach werden im europäischen und internationalen Umfeld vorhandenen Regelungen zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren aufgezeigt, um abschließend neue Entwicklungen und Tendenzen darzulegen.

3.2 An- und Abflugverfahren

Oberste Priorität bei der Festlegung von An- und Abflugverfahren ist der sichere Flugbetrieb. Deshalb muss sich ein Luftfahrzeug jederzeit innerhalb seiner spezifischen flugbetrieblichen Grenzen bewegen, wofür die Cockpitbesatzung verantwortlich ist. Darüber hinaus ist ein von der Flugphase abhängiger Mindestabstand zu anderen Luftfahrzeugen einzuhalten, wofür grundsätzlich die Fluglotsen verantwortlich sind. Auch hierfür wurden von der ICAO entsprechende Vorschriften entwickelt. Besonders im Luftraum⁶ unmittelbar über einem Flughafen müssen Luftfahrzeuge die festgelegten horizontalen Standard-Instrumenten-Flugrouten (SID/STAR)⁷ strikt einhalten. Ausnahmen hiervon können nur vom zuständigen Fluglotsen angewiesen werden.

Darüber hinaus müssen insbesondere in der Nähe von Flughäfen Mindestabstände eingehalten werden, da durch die Bündelung des Gesamtverkehrs eine Konzentration erfolgt. Eine Homogenisierung des Verkehrs macht eine effiziente und sichere Verkehrsabwicklung erst möglich. Dies wird zum einen durch allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkungen realisiert (z.B. maximal 250 kts IAS⁸ unterhalb Flugfläche 100 (ca. 3.000 m)) zum anderen durch die direkte Zuweisung von Geschwindigkeiten durch den zuständigen Fluglotsen. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Flugzeugmuster in Abhängigkeit ihrer aktuellen Masse unterschiedliche Landegeschwindigkeiten besitzen, die aus Sicherheitsgründen nicht unter- oder überschritten werden dürfen. Zum Erreichen der Landegeschwindigkeit wird die Konfiguration des Luftfahrzeuges in einer festgelegten Reihenfolge verändert. Hierzu zählen das schrittweise Ausfahren der Landeklappen und ggf. Vorflügel sowie des Fahrwerks. In der sogenannten Landekonfiguration ist die Steuerbarkeit eines Luftfahrzeuges im Allgemeinen reduziert, darüber hinaus ist der fliegbare Geschwindigkeitsbereich stark eingeschränkt. Grundsätzlich muss ein Luftfahrzeug aus Sicherheitsgründen seinen Anflug spätestens 1.000 ft (300 m) über Grund

⁶ Luftraum im Sinne der Luftfahrt ist ein horizontal und vertikal klar abgegrenzter Bereich, in dem eindeutige Regeln für die Flugdurchführung gelten (z.B. zugelassene Verkehrsarten (Sicht- oder/und Instrumentenflug), Meldepflichten (Funk), Höchstgeschwindigkeiten, Mindestsichtweiten usw.)

⁷ Standard Anflugroute – Instrumentenflug = *Standard Arrival Chart – Instrument (STAR)*; Standard Abflugroute – Instrumentenflug = *Standard Departure Chart – Instrument (SID)*,

⁸ IAS = *Indicated Airspeed*, Angezeigte Fahrt, die barometrisch ermittelt wird.

stabilisiert haben (Landekonfiguration und -geschwindigkeit, nur geringe Ablagen von der Soll-Trajektorie).

Der Anflug erfolgt aus Sicherheitsgründen grundsätzlich entgegen der aktuellen Windrichtung, da sich hierdurch bei gleicher Anfluggeschwindigkeit (relativ zur umgebenen Luft) die Geschwindigkeit gegenüber dem Boden, und damit der Bremsweg, verringert. Bei den Standard-Instrumentenanflügen folgen die Piloten den exakten Vorgaben für die Route, verringern die Höhe und Geschwindigkeit und stellen die Klappen zu den festgesetzten Punkten.

Der erste Teil eines Standard-Instrumentenanflugs⁹ beginnt mit der STAR am *Initial Approach Fix* (IAF) und führt über das *Initial Approach Segment* und das *Intermediate Approach Segment* zum *Final Approach Fix* (FAF), dem Beginn des Endanflugs. In diesem Teil folgt der Pilot exakt der vorgegebenen Route, verringert Höhe und Geschwindigkeit und wählt die hierfür notwendige Stellung der Landeklappen (Abbildung 3-1). Hierbei ist zu bemerken, dass grundsätzlich erst ab dem *Intermediate Approach*, ein Luftfahrzeug eine Höhe von 7.000 ft (2.134 m) verlässt und damit im Allgemeinen lärmrelevant wird. Nach dem FAF beginnt der Endanflug unter Zuhilfenahme des Instrumentenlandesystems (ILS), welches das weltweit am weitesten verbreitete Anflugverfahren darstellt.

Zuerst wird der Kurs des Luftfahrzeugs über Grund unter Zuhilfenahme des Signals des ILS-Landekurssenders (*Localizer*) in Verlängerung der Mittellinie der Landebahn ausgerichtet. Der *Localizer* befindet sich jeweils am Ende der Landebahn und strahlt ein Signal aus, an Hand dessen der Pilot über eine Anzeige im Cockpit seine momentane Lage bezüglich des Landekurses mitgeteilt bekommt. Hierbei befindet sich das Luftfahrzeug grundsätzlich im Horizontalflug (z.B. 3.000 ft). Anschließend wird bei Erreichen des Gleitweges (Signal des ILS-Gleitwegsenders (*Glide slope*)), steht auf Höhe des Aufsetzpunkts neben der Landebahn) der finale Sinkflug eingeleitet. Dieser führt standardmäßig in einem Winkel von 3,0° zum Aufsetzpunkt der Landebahn. Wie bei der lateralen Abweichung erhält der Pilot mit Hilfe des Gleitwegsenders eine Anzeige über seine vertikale Abweichung bezüglich des idealen Gleitwegs. Einige Flughäfen nutzen aus topographischen Gründen größere Anflugwinkel (z.B. Innsbruck mit 3,8°). Der Anflugwinkel kann nicht beliebig erhöht werden, da die Fluggeschwindigkeit sonst für Landungen oftmals zu hoch wäre. Für ein Standard-Anflugverfahren ist der Anflugwinkel deshalb nach PANS-OPS auf maximal 3,5° limitiert.

⁹ Im weiteren Verlauf wird ein ILS-Präzisionsanflug beschrieben. Andere Präzisionsanflugverfahren (z.B. MLS (*Microwave Landing System*) oder GBAS (*Ground Based Augmentation System*)) bzw. Nichtpräzisionsanflüge verlaufen in diesem Zusammenhang ähnlich.

Startverfahren beginnen mit dem Setzen der Vorflügel und Klappen. Nach der Beschleunigung des Luftfahrzeugs und dem Erreichen der Startgeschwindigkeit kann es abheben. Ist eine deutlich positive Steigrate erreicht, wird das Fahrwerk eingefahren. Ab einer Höhe von 500 ft. (152 m) sind unterschiedliche Startverfahren durchführbar, welche mit speziellen Klappenstellungen und Triebwerksleistungen geflogen werden. Nach dem Abheben folgt das Luftfahrzeug der vorher ausgewählten Standardabflugroute (SID)¹⁰, um zur Reiseroute zu belangen bzw. kann auch eine Freigabe zum direkten Anflug auf den nächsten Wegpunkt von der Flugsicherung bekommen, wenn die Verkehrssituation und Sicherheit dies zulassen.

Startverfahren beginnen mit dem Setzen der Vorflügel und Klappen. Anders als beim Anflug werden die Klappen jedoch nicht voll ausgefahren, da dies aufgrund des dann deutlich höheren Widerstands die Startstrecke verlängern würde. Beim Start wird der berechnete Startschub gesetzt, der geringer als der maximal mögliche Schub sein kann. Das Luftfahrzeug beschleunigt anschließend über die Geschwindigkeit V_1 bis zur Rotationsgeschwindigkeit V_R und hebt ab¹¹. Nach dem Erreichen einer deutlich positiven Steigrate wird das Fahrwerk eingefahren. Ab einer Höhe von 500 ft. sind unterschiedliche Startverfahren durchführbar, welche mit speziellen Klappenstellungen und Triebwerksleistungen geflogen werden. Weitere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 3.5.3.

Nach einem normalen Start folgt das Luftfahrzeug der vorher ausgewählten SID um zur Reiseroute zu gelangen bzw. bekommt von der Flugsicherung eine Freigabe zum direkten Anflug auf den nächsten Wegpunkt, sofern Sicherheit und Verkehrssituation dies zulassen.

Bei der Planung neuer Flugstrecken muss eine Vielzahl von Parametern beachtet werden. Allein die flugsicherheitsrelevanten Faktoren grenzen den Spielraum für die Planung enorm ein. Allgemeine flugbetriebliche Randbedingungen bei der Festlegung von Abflugrouten sind beispielsweise die Begrenzung des Rollwinkels¹² für nach dem Start geflogene Kurven auf 15° (keine Kurven bis 500 ft. über dem Boden) sowie die Begrenzung auf erfliegbare Steiggradianten bzw. Steigraten.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Planung neuer Flugrouten minimaler Lärmbelastung für Abflüge im Bereich ab einer Mindesthöhe von 500 ft über dem Boden bis zum An-

¹⁰ SID: Standard Instrument Departure

¹¹ V_1 *Critical Engine Failure Recognition Speed* - Geschwindigkeit, nach deren Überschreiten bei Triebwerksausfall der Start nicht mehr abgebrochen werden sollte; V_R *Rotation Speed* – Geschwindigkeit, ab der das Luftfahrzeug durch Betätigen des Höhenruders zum Rotieren (Abheben) gebracht wird; V_2 *Takeoff Climb Speed* – Mindestgeschwindigkeit mit der bei Triebwerksausfall Hindernisse von 35 ft überflogen werden können.

¹² auch Querneigungswinkel, Winkel um die Flugzeuglängsachse im flugzeugfesten Koordinatensystem

schluss an die höher gelegenen Reiseflugrouten angesiedelt sind. Die Planung für IFR-Anflüge sollte sich auf die Segmente vom IAF (*Initial Approach Fix*) bis zum FAF (*Final Approach Fix*) konzentrieren.

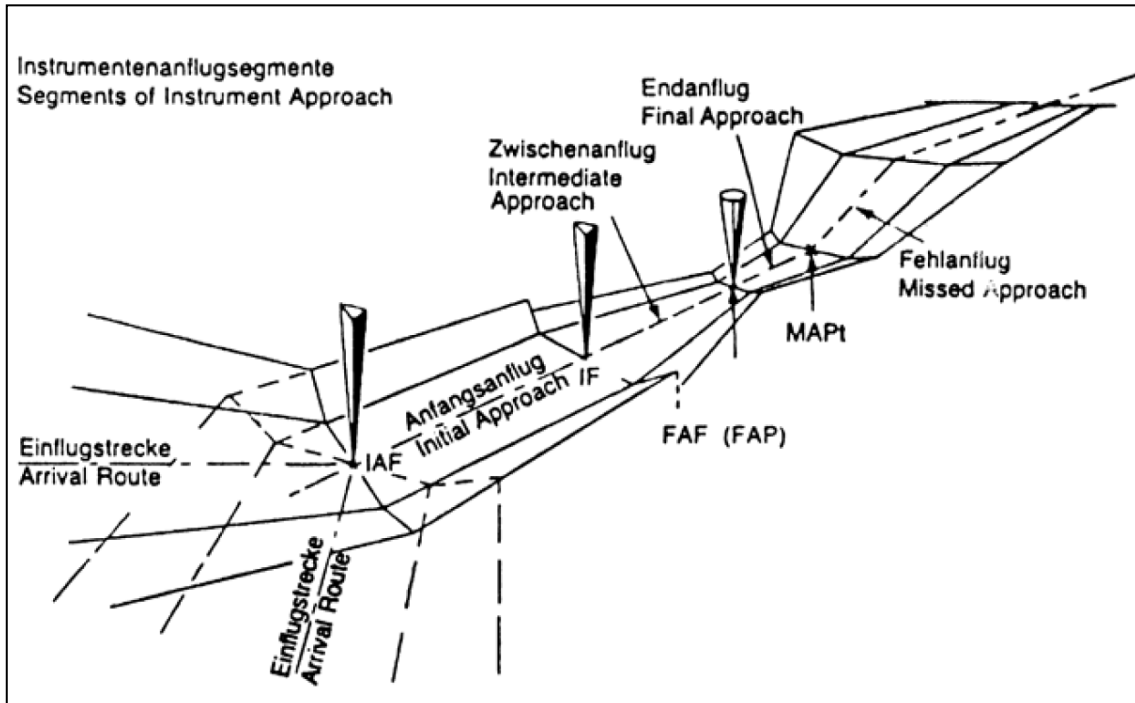


Abbildung 3-1: Segmente eines Standard-Instrumentenanflugs [51]

3.3 Überblick der aktuell verwendeten Kriterien und Verfahren zur Festlegung von Flugrouten

3.3.1 Operationelle und sicherheitsrelevante Kriterien

Bei der Entwicklung und Auswahl neuer An- und Abflugrouten sind neben Aspekten der Flugsicherheit auch verschiedene operationelle sowie umweltrelevante Kriterien von Bedeutung. Dabei lassen sich bord- und bodenseitige Faktoren unterscheiden.

Bordseitig spielen vor allem die unterschiedlichen Triebwerksleistungen und Abflugmassen der verschiedenen Luftfahrzeugmuster sowie die daraus resultierenden Steigleistungen eine große Rolle. Auf Grund von Mindestabständen zum Boden können bei geringen Steigleistungen nicht alle Routen geflogen werden. Außerdem sind Kurvenradien und die Genauigkeit der Navigationsanlagen einzubeziehen, da die eingesetzten Systeme gewisse Toleranzen aufweisen. Einfach gestaltete Flugrouten sind grundsätzlich genauer fliegbar, als komplexe mit beispielsweise mehreren Kurven, bei denen auch die Arbeitsbelastung der Piloten steigen kann. Dem Verfah-

rensplaner sind durch diese Bedingungen Grenzen bei der Konstruktion der neuer Flugrouten gesetzt.

Bodenseitige Faktoren sind meist sicherheitsrelevante Bestimmungsgrößen. Die Flugsicherung ist bei der Kontrolle dafür verantwortlich, Sicherheitsabstände von grundsätzlich entweder lateral 5 NM (9,3 km) oder horizontal 1.000 ft. (300 m) zwischen den einzelnen Luftfahrzeugen einzuhalten. Gerade in der Nähe eines Flughafens wird dies durch die Horizontalbewegungen der an- und abfliegenden Luftfahrzeuge erschwert. Es wird deshalb versucht, die verschiedenen Verkehrsströme so lange lateral voneinander zu trennen bis die Höhenstaffelung wieder hergestellt ist, d.h. die anfliegenden Luftfahrzeuge unter den abfliegenden Luftfahrzeugen sind. Dies ist am Beispiel des Frankfurter Flughafens in Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 zu erkennen. Sämtlicher ankommender Verkehr wird weitestgehend aus dem Norden und Osten an den Endanflug herangeführt, der abfliegende Verkehr dagegen zuerst Richtung Süden und Westen, um dann sich in ausreichender Höhe auch in andere Richtungen zu bewegen. Abfliegender Verkehr Richtung Norden wird unter dem ankommenden Verkehr aus dem Norden hindurch geführt (blau: hohe Höhe, gelb/grün: niedrige Höhe). Ist dies nicht möglich, müssen Segmente mit gleicher Höhe geflogen werden, was sowohl eine erhöhte Lärmentwicklung als auch einen höheren Treibstoffverbrauch und damit mehr CO₂-Emissionen zur Folge hat. Dies sollte deshalb so weit wie möglich vermieden werden, der An- vom Abflugsektor also voneinander getrennt werden.

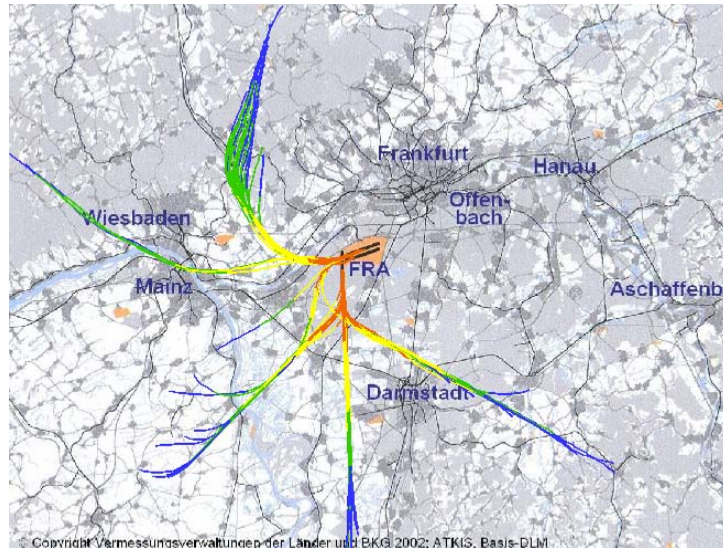


Abbildung 3-2: Abflugsektor Frankfurt/Main West-Traffic (RWY 25L und 25R) [37]

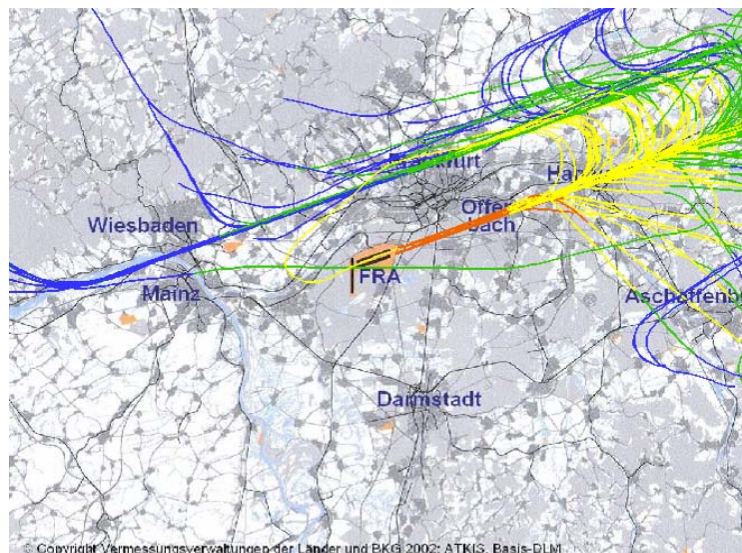


Abbildung 3-3: Anflugsektor Frankfurt/Main West-Traffic (25L und 25R) [37]

Andererseits sollten möglichst viele verschiedene Abflugrouten zur Verfügung stehen, um die Kapazität eines Flughafens zu erhöhen. Werden abfliegende Luftfahrzeuge durch unterschiedliche Abflugroutenführung schnellst möglich zu einander separiert, so sind mehr Abflüge in derselben Zeit möglich; hintereinander gestartete Luftfahrzeuge laufen nicht Gefahr ihren Mindestabstand zu unterschreiten. Auch die Gefahr durch Wirbelschleppen von voraus fliegenden Luftfahrzeugen wird durch schnellstmögliche Streuung der Flugwege verringert. Anflugrouten werden durch die Einführung neuer Navigationssysteme immer mehr erweitert und bieten eine bessere Führung des Verkehrs. Endeten sie früher meist weit vor dem finalen Endanflug und wurden dann durch individuelle Radarführung des Approachlotsen weitergeführt, führen sie nun das Luftfahrzeug in sogenannten *Transitions* bis kurz vor das *Final Approach Fix*, bieten aber den-

noch dem Lotsen genug Möglichkeiten, die Luftfahrzeuge in eine entsprechende Anflugreihenfolge zu bringen. Entsprechend definierte Wegpunkte ermöglichen es in bestimmten Abständen auf den Endanflug einzudrehen, so dass auch die vorgeschriebene Wirbelschleppenstaffelung eingehalten wird. Die Verwendung der *Transitions* führte gerade bei hochfrequentierten Flughäfen zu einer erheblich besseren und nachvollziehbareren Streckenföhrung der anfliegenden Luftfahrzeugen, auch das Überfliegen von bestimmten Gebieten in niedriger Höhe kann besser gesteuert und kontrolliert werden. Dabei müssen die Routen aber immer entsprechende Sicherheitsabstände zum Boden und Hindernissen einhalten, und sich gut in das sie umgebende Streckennetz einfügen.

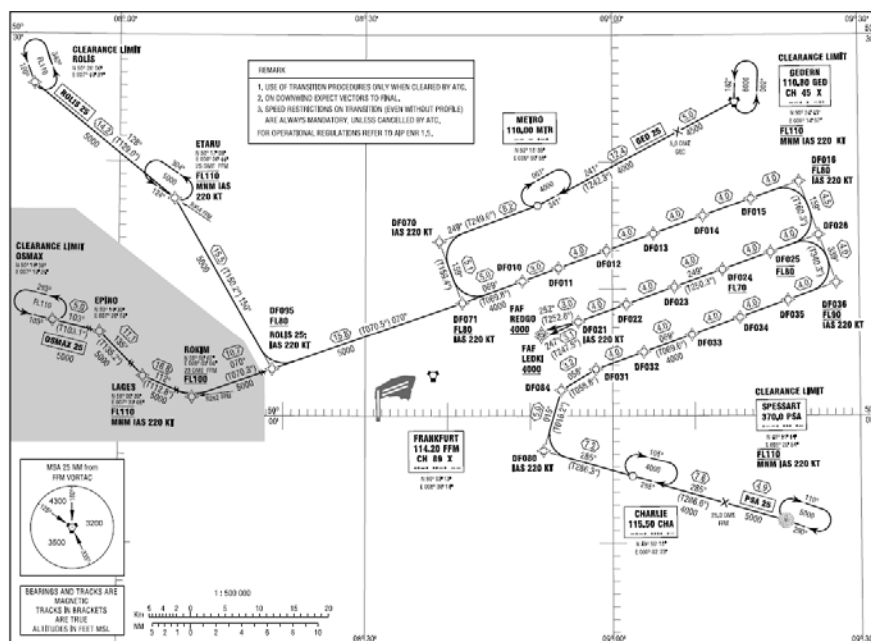


Abbildung 3-4: Transition Frankfurt/Main RWY 07 [11]

Trotz der Vielzahl von zu beachtenden Einflüssen wird durch die Flugsicherung zumeist ein umfangreiches Netz von An- und Abflugrouten definiert, um die Kapazitäten des Flughafens optimal auszunutzen. Die schnelle Separation ab einer Flughöhe von 500 ft verringert die Gefahr von Wirbelschleppen für den nachfolgenden Verkehr und verteilt den Lärm gleichmäßiger. Trotz des technologischen Fortschritts im Bereich lärmarmere Luftfahrzeuge nehmen die Fluglärmbelastungen örtlich teilweise zu. Aus diesem Grund rückt mehr und mehr der Lärm und seine Beurteilung bei der Festlegung von Flugrouten in den Vordergrund.

Die DFS betreibt Simulationsprogramme, um schon während des Planungsprozesses verschiedene Routenalternativen hinsichtlich ihrer Lärmauswirkungen zu prüfen.

3.3.2 Fluglärmberechnungsprogramm NIROS der DFS

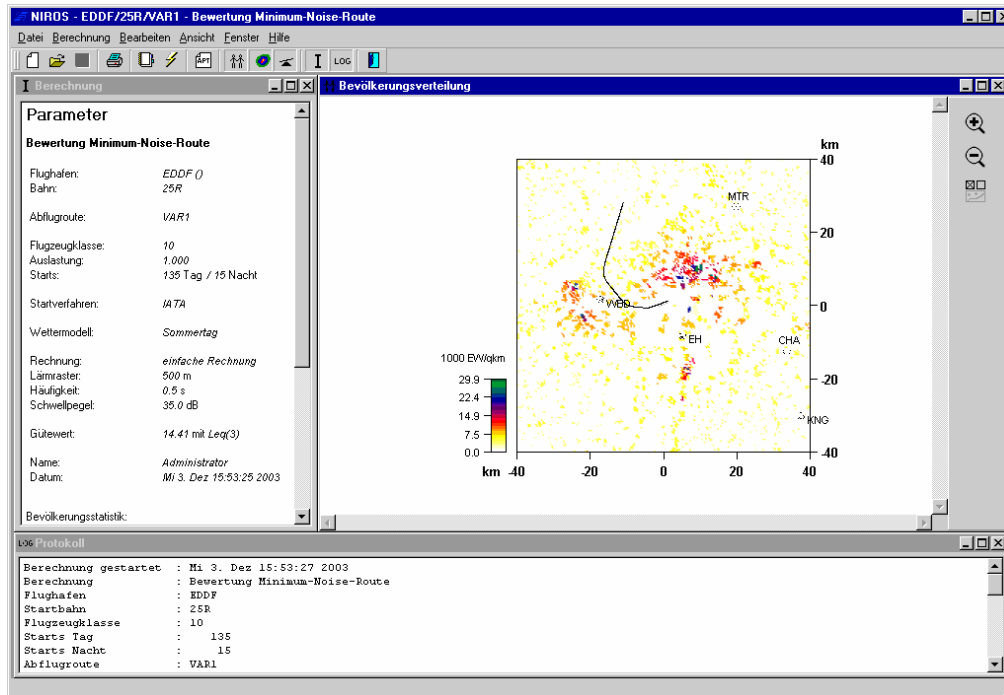


Abbildung 3-5: Programmoberfläche Bevölkerungsdichte in NIROS [13]

Das bei der DFS eingesetzte Analysesystem NIROS (*Noise Impact Reduction and Optimisation System*) ermöglicht die lärmfachliche Beurteilung von Standard-Instrumentenabflugstrecken (SIDs). NIROS wurde zunächst im Auftrag der DFS in einer Forschungsarbeit zum Thema „Rechnergestützte Bestimmung von Strecken minimaler Lärmbelastung“ entwickelt. Das Projekt wurde an der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt und 1998 abgeschlossen [4].

In den Jahren 2002 bis 2007 wurde NIROS im Rahmen des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsverbunds „Leiser Verkehr“ (Bereich: „Leises Verkehrsflugzeug – Lärmoptimierte An- und Abflugverfahren (LAnAb)“) weiterentwickelt. Dabei wurde nicht nur das Programmpaket NIROS auf eine moderne Betriebssystemoberfläche portiert, sondern eine Anpassung an flexiblere Verfahren zur Generierung von Flugbahnen vorgenommen. Hierzu wurde das aktuelle Dokument 29 (3. Ausgabe) der Europäischen Zivilluftfahrt-Konferenz ECAC implementiert. Dieses Dokument beschreibt ein Fluglärmberechnungsverfahren, das die Möglichkeit zur flexiblen Flugbahngenerierung auf der Grundlage eines flugmechanischen Massenpunktmodells bietet. Außerdem sind dem Verfahren mit der internationalen „Aircraft Noise and Performance Database ANP“ Daten für eine große Anzahl von Luftfahr-

zeugmustern hinterlegt¹³. Sie wird zurzeit von Eurocontrol in Zusammenarbeit mit der amerikanischen Bundesluftfahrtbehörde FAA verwaltet.

ECAC Doc 29 repräsentiert den aktuellen Kenntnisstand für die praxisnahe Berechnung von Fluglärm in der Umgebung von Verkehrsflughäfen. Das Verfahren wurde Anfang des Jahres 2007 auch von der ICAO adaptiert und wird in naher Zukunft als ICAO-Dokument herausgegeben.

Zur ersten Verifikation der implementierten Algorithmen in NIROS, wurden durch die DFS und DLR Vergleichsrechnungen mit der vorläufigen Implementierung der von der FAA entwickelten Fluglärmrechnungssoftware *Integrated Noise Model* (INM) Version 7.0 durchgeführt. Dieser Version liegen ebenfalls die neuen ECAC Doc 29-Verfahren zugrunde, daher wurde eine weitgehende Übereinstimmung der Ergebnisse mit NIROS erwartet. Zur Überprüfung wurden vier Fluglärmrechnungen (jeweils zwei Trajektorien mit SEL- und $L_{A_{MAX}}$ -Werten) durchgeführt und die erzeugten Lärmkonturen verglichen. Diese zeigten bei allen Rechnungen relativ gute Übereinstimmung, die auftretenden Differenzen können durch leichte Abweichungen bei der Trajektoriengenerierung erklärt werden.

Um Aussagen über die Praxisrelevanz von NIROS zu treffen, wurde als abschließendes Arbeitspaket zur Neustrukturierung von NIROS eine Validierung durchgeführt. Hierzu wurde ein Vergleich mit Messwerten, die von der Fluglärmmessanlage des Flughafens München stammten, vorgenommen. Die gemessenen Lärmpegel streuen distanzbereinigt nur um wenige Dezibel, so dass der Vergleich mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist. Die Validierung sollte daher zukünftig durch die Ergebnisse weiterer Fluglärmmessanlagen gestützt werden. Trotz der notwendigen Vereinfachungen in der Parametrisierung der NIROS-Rechnung zeigen die berechneten Werte eine hohe Korrelation zu den gemessenen Werten, was für eine deutliche Praxisnähe spricht. Das neue Tool wird seit 2008 bei der DFS für die lärmfachliche Bewertung von Flugroutenalternativen eingesetzt.

Folgende Optionen sind für eine zukünftige Weiterentwicklung von NIROS vorgesehen:

- Erweiterung auf Anflüge,
- Implementierung eines zielführenden Optimierungsalgorithmus.

Darüber hinaus sollte laut DFS untersucht werden, ob die mit NIROS berechenbaren Streubreiten mit den Flugerwartungsgebieten des Systems FANOMOS in Übereinstimmung gebracht werden können [13].

¹³ Diese Datenbank ist im Internet als Website unter www.aircraftnoisemodel.org verfügbar.

NIROS ermittelt unter Berücksichtigung der Besiedlungsstruktur im betroffenen Gebiet eine Lärmbelastungs-Kennzahl (sog. „Gütwert“) für die untersuchte Flugroute. Dabei wird die berechnete Fluglärmbelastung mit der Bevölkerungsdichte der überflogenen Flächenelemente gewichtet. Dadurch ergibt sich für jedes Flächenelement eine Belastungskennzahl, wobei die Flächenelemente eine Größe von 100 x 100 m haben. Durch die Integration der Belastungskennzahlen ergibt sich ein Belastungsmaß für das gesamte betrachtete Gebiet, der Gütwert. Zudem werden noch die Isolinien der einzelnen Lärmpegelklassen sowie die Bevölkerungsichte- und die Verteilung der Belastungskennzahlen ausgegeben. Anhand dieser Berechnungsergebnisse lassen sich verschiedene Flugroutenalternativen miteinander vergleichen. Dabei bedeutet ein höherer Gütwert einer Flugroute, dass durch diese Flugroute eine höhere Lärmbelastung entsteht als durch die Vergleichsroute.

Die Eignung von NIROS zur lärmfachlichen Beurteilung von Flugrouten wurde in Zusammenhang mit den folgenden Aspekten kritisch gesehen:

- **Quantifizierung der Fluglärmbelastung:** Die Lärmbelastung in Flughafennähe wird in einer einzigen Zahl, dem Gütwert, ausgedrückt. Zur Beurteilung der Lärmbelastung zweier Flugroutenalternativen ist ein Einzahlwert jedoch häufig unzureichend, da daraus die Differenzen in einzelnen Pegelklassen nicht ersichtlich sind. Zudem stellt sich die Frage, ob das zu Grunde liegende Kriterium allgemein verständlich ist, und ob es von den Beteiligten als ein gültiges Kriterium für die Routenoptimierung angesehen wird. Dieser Kritik wurde inzwischen Rechnung getragen, indem neben dem Einzahlwert auch Werte für die einzelnen Pegelklassen vorgelegt werden.
- **Flugbetrieb und bevölkerungsbezogene Daten:** Bei NIROS wird die Lärmbelastung mit der lokalen Bevölkerungsdichte gewichtet und diese Daten im untersuchten Gebiet integriert. Dabei ergibt sich die Frage ob, die Daten hinreichend genau, vollständig und aktuell sind, um den Flugverkehr und die Lärmbelastung in Flughafennähe angemessen wiederzugeben? Diese Frage muss im jeweiligen Anwendungsfall geklärt werden. Dies gilt ebenso für die verwendete Datenbank mit den Bevölkerungsangaben.

Ein Anwendungsbeispiel für die NIROS-Berechnungen ist der Planungsprozess über die Neufestlegung der Frankfurter TABUM-Abflugrouten. Die TABUM-Routen waren am 19. April 2001 im Rahmen einer neuen europäischen Luftraumstruktur als Abflugrouten vom Flughafen Frankfurt/M. in Betrieb genommen worden. Diese Abflugrouten verliefen über den Hochtanus und haben dort zu neuen Betroffenen im Hinblick auf Fluglärm geführt. Gegen die Abflugrouten hatte sich bereits vor der Inbetriebnahme großer Protest in der dort lebenden Bevölkerung erhoben. Daraufhin prüfte die DFS gemeinsam mit der Frankfurter Fluglärmkommission verschiedene Routenalternativen. Dabei wurden die möglichen Routenver-

läufe zuerst auf ihre flugbetriebliche Durchführbarkeit sowie Sicherheit und Konformität mit den Vorgaben der PANS-OPS geprüft. Hierbei spielten die besondere topographische Gegebenheiten des Hochtaunus eine große Rolle, da gerade schwere Langstreckenflugzeuge auf Grund ihrer geringen Steigleistung zuerst einen weiteren Bogen über Wiesbaden fliegen müssten, um dann mit ausreichender Höhe und Sicherheitsabstand Richtung Nordosten nach TABUM zu drehen. Außerdem sollten die neuen Vorschläge die gleichen Kapazitäten gegenüber der bestehenden TABUM-Route haben. Würde eine neue Flugroute für viele Luftfahrzeugtypen nicht fliegar sein, so würde dies eine Einschränkung der Kapazität bedeuten und damit keine ausreichende Alternative darstellen. Abschließend wurde eine Lärmbewertung mit Hilfe des NIROS-Programms durchgeführt. Abbildung 3-6 zeigt eine Übersicht über mögliche Alternativen, wie sie zwischen der DFS und Fluglärmkommission besprochen wurden. Als Ergebnis der mehrere Jahre andauernden Diskussionen wurde schließlich die TABUM-Route (Variante 1 in Abbildung 3-6) ausgewählt (welche im Jahr 2005 noch geringfügig nach Westen verschoben wurde).

Variante	Betrieb	PANS-OPS	Kapazität	Lärmbelastung	Ausschlussgründe
1	ja	ja	ja	(NIROS 10.50)	Ist-Zustand
2	nein				Neubelastung Erbenheim
3	ja	ja	nein		Steiggradient für viele zu hoch
4	ja	ja	ja	(NIROS 10.60)	keine
5	ja	ja	ja	(NIROS 10.51)	keine
6	ja	ja	ja	(NIROS 10.61)	keine
7	ja	ja	ja	Einzelflug-Ereignisse	Ist-Zustand
8	ja	ja	ja	Einzelflug-Ereignisse	keine
9	ja	ja	ja	(NIROS 10.58)	Neubelastung Breckenheim
10	ja	ja	ja	(NIROS 10.54)	keine
11	ja	nein			Nicht mit Strecken-System vereinbar

Abbildung 3-6: Übersicht der TABUM Varianten [38]

3.3.3 Konstruktion von Flugerwartungsgebieten

Wie bereits ausgeführt, wird die Einhaltung einer Flugroute vor allem durch Wind und Navigation beeinflusst. In Anlehnung an die Regeln des PANS-OPS wird deshalb von der DFS entlang der Flugrouten jeweils ein Flugerwartungsgebiet (FEG) konstruiert. Dabei wird eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 95 % (2 Sigma) zu Grunde gelegt, d. h. es wird davon ausgegangen, dass sich 95 % aller Flüge innerhalb des Flugerwartungsgebiets befinden. Hierdurch wird

die Kollisionsfreiheit von Instrumentenflügen gewährleistet. Verlässt ein Luftfahrzeug das FEG ohne zwingenden Grund, wird durch das LBA ein Ordnungswidrigkeitsverfahren eingeleitet.

3.3.4 Flugspuraufzeichnungssystem FANOMOS

Das von der DFS betriebene Flugspuraufzeichnungssystem FANOMOS (*Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System*) ist ein Tool, das die Darstellung und Auswertung der IFR-Ab- und Anflüge (Flugspuren) in der Umgebung der meisten deutschen Verkehrsflughäfen ermöglicht. Es wird für vielfältige Zwecke eingesetzt. Hierzu gehören die Bearbeitung von Beschwerdefällen, die Kontrolle der Flugwegeinhaltung und ggf. Ahndung von luftrechtlichen Verstößen sowie die Festlegung von Korridorbreiten für Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen nach dem Fluglärmgesetz.

FANOMOS wurde 1982 vom niederländischen Luft- und Raumfahrtforschungszentrum NLR (*Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium*) im Zusammenhang mit der Planung von *Minimum Noise Routes* für den Amsterdamer Flughafen Schiphol entwickelt. Hauptaufgabe dieses Aufzeichnungssystems ist die Überprüfung, ob Luftfahrzeuge die vorgeschriebenen Abflugrouten einhalten. Hierzu sollten dem System folgende Informationen zur Verfügung gestellt werden:

- Radardaten der tatsächlich geflogenen Flugwege (Flugspuren) und
- Flugplaninformationen, die eine Identifizierung einzelner Flüge und die Korrelation zur Flugroute ermöglichen.
- Die Beobachtung kann damit als ein vollständig automatisierter, kontinuierlicher Prozess durchgeführt werden. Als Ergebnis dieses Prozesses werden die Flüge identifiziert, welche in einem bestimmten Maße von der vorgeschriebenen Instrumenten-Abflugstrecke (SID) abweichen.

Die FANOMOS-Funktionen wurden im Laufe der Jahre sukzessive erweitert. Die zurzeit in der Entwicklung befindliche Version unterstützt auch die 4D-Darstellung von Flugspuren, so dass neben der Darstellung von x-Achse, y-Achse und Höhe auch die Zeitdimension als Animation abgebildet werden kann. Wesentliche Teile der Verarbeitung von Flugspuren mittels FANOMOS sind auch in den Fluglärm-messanlagen der Flughäfen enthalten werden. Diese Systeme sind auf mehr als 100 Flughäfen auf der ganzen Welt installiert worden. Sollte sich beispielsweise herausstellen, dass die real geflogenen Routen stark von der eigentlich veröffentlichten Route abweichen, so ist gegebenenfalls eine Neufestlegung der Strecke ratsam.

Das aktuelle FANOMOS-System bei der DFS verwendet als Eingangsgrößen Primär- und Sekundärradardaten, die über ein internes DFS-Netzwerk zugeführt werden [7].

3.3.5 Direktfreigaben

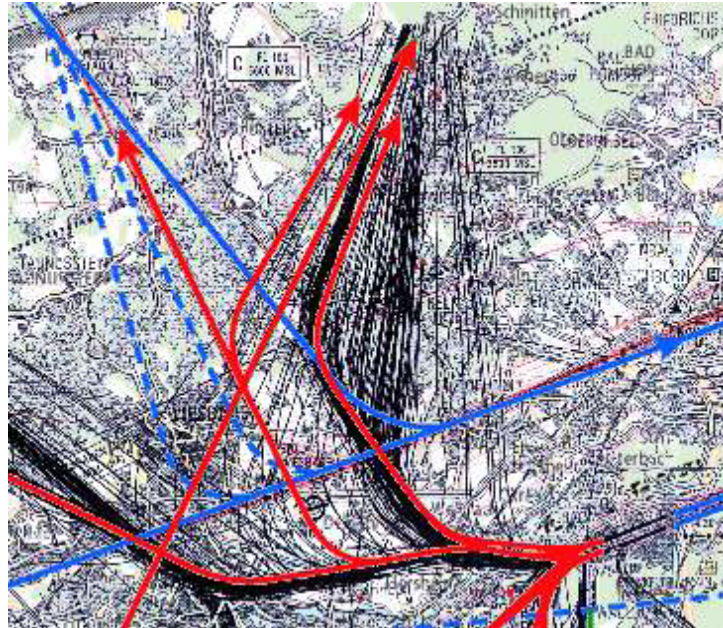


Abbildung 3-7: Häufung von Directs im Abflug von Frankfurt/Main (TABUM Route) [38]

Die im Luftfahrthandbuch Deutschland (AIP Germany) veröffentlichten Instrumentenflugrouten sind vom Piloten zu benutzen. Es ist jedoch dem Lotsen überlassen, in seinem Ermessen einzelnen Luftfahrzeugen eine *Direct* Freigabe zu erteilen, um den Flugweg zu verkürzen oder die Anflugreihenfolge bzw. Staffeln zu optimieren. Diesen vor Ort getroffenen Einzelfallentscheidungen geht somit keine Abwägungsentscheidung durch das BAF voraus. Um die Lärmauswirkungen der Direkt-Freigaben in Grenzen zu halten, muss der Lotse bestimmte Mindesthöhen beachten. So darf er nach DFS-Betriebsvorschriften Propellerflugzeuge erst ab ca. 3.000 ft und Strahlflugzeuge ab ca. 6.000 ft über Grund von der veröffentlichten Abflugroute nehmen. Ausnahmeregelungen hiervon bestehen beispielsweise am Flughafen Leipzig/Halle, wo ein Luftfahrzeug am Tage erst ab ca. 9.000 ft und nachts erst ab ca. 11.000 ft von der Abflugroute genommen werden darf [48].

3.4 Überblick über die aktuell geltenden europäischen und internationalen Regelungen zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren

3.4.1 Allgemeines

Der Ablauf bei der Festlegung von Ab- und Anflugrouten in Europa bzw. international ist ähnlich mit dem innerhalb Deutschlands praktiziertem Verfahren. Aus einer Initiative heraus wird die Route meist vom entsprechenden Flugsicherungsanbieter geplant, wobei operationelle Aspekte

und Umweltschutzgesichtspunkte eine immer größere Bedeutung gewinnen. Zusätzlich müssen oft spezielle nationale Gesetze bezüglich der Auslegung und Lärmvermeidung beachtet werden. Nach dem Planungsprozess wird die neue Flugroute von der jeweiligen nationalen Behörde festgelegt und im Luftfahrthandbuch (AIP) veröffentlicht. In einigen Ländern haben neben Flughäfen und Luftfahrtgesellschaften auch Gruppen des öffentlichen Interesses Einfluss auf die Auslegung neuer Flugrouten. Dies geschieht in Diskussionsforen oder an sogenannten *Round Tables*, an denen lokale Interessensgruppen teilnehmen können.

3.4.2 Vergleichsanalyse bei der Festlegung von Abflugrouten

Für einen Überblick über die international angewendeten Verfahren zur Festlegung von Flugrouten wurde zunächst eine ausführliche Literaturrecherche und eine Recherche in den Informationsplattformen im Internet durchgeführt. Darüber hinaus wurde der Versuch unternommen, mit Hilfe eines kurzen standardisierten Fragebogens ein Überblick über das Festlegungsverfahren im internationalen Vergleich zu erhalten. Hierzu wurden Flugsicherungsunternehmen der europäischen Nachbarstaaten, sowie Kanada, Australien und die USA ausgewählt. Ziel ist die Feststellung, welche Interessengruppen (Akteure) einen Einfluss auf den Entwicklungsprozess haben und ob es eine Plattform zum Dialog untereinander gibt. Der Umfang des Fragebogens wurde auf wesentliche Punkte beschränkt, um eine zügige Beantwortung zu ermöglichen.

Es wurden insgesamt 20 Flugsicherungsunternehmen angeschrieben, von denen sich elf bereit erklärten (fett markiert), an der Befragung teilzunehmen:

1. *Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea* (Spanien / www.aena.es)
2. *Air Navigation Services of the Czech Republic* (Tschechien / www.ans.cz)
3. ***Air Services Australia*** (Australien / www.airservicesaustralia.com)
4. ***Austro Control*** (Österreich / www.austrocontrol.at)
5. ***Avinor ANS*** (Norwegen / www.avinor.no)
6. ***Belgocontrol*** (Belgien / www.belgocontrol.be)
7. *Direction des Services de la Navigation Aérienne*
(Frankreich / www.aviation-civile.gouv.fr)
8. ***Federal Aviation Administration*** (USA / www.faa.gov)
9. *Finavia* (Finnland / www.finavia.fi/home)
10. *HungaroControl* (Ungarn / www.hungarocontrol.hu)
11. ***Irish Aviation Authority*** (Irland / www.iaa.ie)

12. *Italian Company for Air Navigation Services* (Italien / www.enav.it)

13. *Luftfartsverket* (Schweden / www.lfv.se)

14. ***Luchtverkeersleiding Nederland*** (Niederlande / www.lvnl.nl)

15. *National Air Traffic Services* (Großbritannien / www.nats.co.uk)

16. ***NAV Canada*** (Kanada / www.navcanada.ca)

17. *NAV Portugal* (Portugal / www.nav.pt)

18. ***Naviair*** (Dänemark / www.naviair.dk)

19. ***Polish Air Navigation Services Agency*** (Polen / www.pansa.pl)

20. ***Skyguide*** (Schweiz / www.skyguide.ch)

In der nachfolgenden Karte ist die Lage der angeschriebenen Flugsicherungsunternehmen innerhalb Europas dargestellt.



Abbildung 3-8: Flugsicherungsunternehmen im Umfeld der DFS

Die Umfrageergebnisse sind in Abbildung 3-9 zusammengefasst dargestellt. ATC steht hier für *Air Traffic Control*, was häufig gleichbedeutend mit der nationalen Flugsicherungsbehörde ist. Einflussfaktoren wie *Operations*, *Geographie* oder *Safety* wurden bereits in Kapitel 3.3.1 erläutert.

	Initiative	Entwicklung	Einflussfaktoren	Gesetzeslage (Lärmschutz)	Interessensverbände	„runder Tisch“	Veröffentlichung
Deutschland	ATC, Flughäfen, Airlines	ATC	Operations, Technik, Lärmschutz	Fluglärm Kommission (Luft-VG/VO/NZO)	Airlines, Flughäfen, Kommunen	Vorhanden, z.B. Frankfurt	AIP Germany durch ATC
Australien	ATC	ATC (Procedure Design Section)	Operations, Geographie, Technik, Lärmschutz	Flughafen spezifische Vorschriften	Nicht vorhanden	möglich (z.B. mit Militär)	AIP Australia durch ATC
Belgien	Verkehrsministerium, ATC, Flughäfen, Airlines	ATC	Safety, Operations, Lärmschutz, Umweltschutz	Flughafen spezifische Vorschriften	vorhanden	Brüssel und vier Regionalflughäfen	AIP Belgium durch ATC
Dänemark	ATC, Flughäfen	ATC	Operations, Technik, Lärmschutz, Safety	Flughafen spezifische Vorschriften	vorhanden (Airlines)	nicht vorhanden	AIP Denmark durch CAA
Irland	ATC, Flughäfen	ATC, Flughäfen	Operations, Geographie, Technik, Lärmschutz	Keine speziellen Vorschriften	vorhanden (Kommune)	nicht vorhanden	AIP Irland durch CAA
Kanada	ATC, Airlines	ATC	Operations, Lärmschutz	TP308, FAA Order 8260.44	vorhanden (Kommune)	vorhanden (mit ATC Airports, Kommune)	Canada Air Pilot CAP durch ATC
Niederlande	Verkehrsministerium, ATC, Flughäfen, Airlines, Anwohner	ATC, (Flight Procedure Designer)	Operations, Technik, Lärmschutz	Speziell für Amsterdam Schiphol	vorhanden (Kommune, Airlines)	Schiphol	AIP Netherland durch CAA
Norwegen	ATC, Airline, Flughäfen	ATC, Airline, Flughäfen	Operations, Technik, Lärmschutz	Speziell für Flughafen Oslo	nicht vorhanden	nicht vorhanden	AIP Norway durch CAA
Österreich	ATC, Airlines	ATC	Operation, Technik, Lärmschutz	Flughafen spezifische Vorschriften	vorhanden (Kommune, Airlines)	Wien „Dialogforum Vienna“	AIP Austria durch ATC
Schweiz	Verkehrsministerium, ATC, Flughäfen	IFP Entwicklungsbüro	Operation, Technik, Lärmschutz	Flughafen spezifische Vorschriften	vorhanden	vorhanden (mit ATC, Airports, Kommune)	AIP Suisse durch ATC
Polen	ATC, Flughäfen, Airlines	ATC	Operations, Lärmschutz, Safety	Polnisches Lärmschutzgesetz	vorhanden (Flughäfen)	nicht vorhanden	AIP Poland durch ATC

Abbildung 3-9: Ergebnisse der Umfrage "internationales Benchmarking"

Die Initiative zur Festlegung einer neuen Abflugroute liegt bei allen befragten Ländern beim jeweiligen nationalen Flugsicherungsanbieter. Dazu haben oft noch die Flughäfen und dort operierenden Luftfahrtunternehmen die Möglichkeit, Einfluss zu nehmen, und eigene Vorschläge mit einzubringen. In den Niederlanden steht dies auch den Flughafenanwohnern zu. In Australien liegt das Recht der Initiative ausschließlich bei „Air Service Australia“, dem nationalen Flugsicherungsanbieter.

Die technische und geographische Planung liegt ausschließlich in der Hand der Flugsicherungsanbieter. Im Vordergrund stehen dabei die PANS-OPS, die von allen befragten Ländern beachtet und, an nationale Bedürfnisse angepasst, umgesetzt werden. Weitere Faktoren sind Luftraumstruktur, Fliegbarkeit, Sicherheit und vorhandene Technik auf der operationellen Seite, sowie Fluglärminderung und Verringerung der CO₂-Emissionen auf der Seite der Aspekte des Umweltschutzes. Die Befragung zeigt sehr einheitliche Ergebnisse, Fluglärmschutz wurde durchgängig von allen Ländern als wichtiger Punkt angegeben. Dies soll durch die Anwendung lärmindernder Flugverfahren, dem Einsatz neuer Technologien und der Gestaltung der Flugroutenführung unter Lärmaspekten erzielt werden. Die gesetzlichen Grundlagen und Bestimmungen unterscheiden sich jedoch voneinander, teilweise sind sie sehr speziell formuliert, aber auch ganz allgemeine Regularien sind vorhanden. In Irland gelten nur allgemeine Vorschriften, die auf europäischer Ebene festgelegt wurden. Dänemark, Norwegen, Australien und Belgien geben in ihrer jeweilige AIP spezielle Vorgaben zur Lärmvermeidung. Polen reguliert mit einem speziellen Gesetz die höchstzulässige Fluglärmbelastung in der Umgebung der Flughäfen. Kanada und die Schweiz bestätigen zwar das Vorhandensein diesbezüglicher Vorschriften, machten aber keine genauen Angaben. Die Niederlande dagegen schreiben für ihren Großflughafen Amsterdam/Schiphol weitreichende Regelungen zum Fluglärmschutz vor (jährliche Lärmkontingente, „Lärmkorridore“ definiert durch Lärmmesspunkte, Sanktionsmöglichkeiten u. a.).

In Österreich gibt es Fluglärmbeschränkungen und Richtlinien speziell für den Flughafen Wien, die im Einklang mit den beteiligten Akteuren stehen. Sie müssen mit dem „Dialogforum Vienna“, welches im Anschluss an das „Mediationsverfahren Flughafen Wien“ 2005 gegründet wurde, abgeglichen werden [32]. Das „Dialogforum Vienna“ bietet durch die Teilnahme von mehr als 100 Gemeinden, Umweltschutzvereinen und überregionalen Fluglärm-Bürgerinitiativen mehr als 20% der österreichischen Bevölkerung die Möglichkeit, an der Gestaltung des Flugverkehrs rund um den Flughafen Wien teilzunehmen. Dies ist eine Vorgehensweise, die zum Teil auch in den anderen befragten Ländern angewendet wird oder sich im Aufbau befindet. So wurde in Belgien ein Dialogforum für den Flughafen Brüssel und weitere vier Regionalflughäfen eingerichtet, um wichtige Änderungen der Flugrouten zu diskutieren. An den Sitzungen nehmen sowohl Luftverkehrsgesellschaften als auch Vertreter militärische Dienststellen teil. In den Niederlanden existiert ein *Round Table* für Flughafen Amsterdam-Schiphol mit betroffenen Anwoh-

nern, Gemeinden, Verwaltung und den dort operierenden Luftverkehrsgesellschaften, von denen jedoch nur sogenannte *Home Carrier* in Prozess eingebunden sind. Die Besprechungen haben das Ziel, Vereinbarungen über den Betrieb neuer Abflugrouten zu finden. In der Schweiz hat das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) ein solches Forum mit den Flughafenbetreibern, der Zivilluftfahrt, der Flugsicherung, den Gemeinden und Bürgervertretungen einberufen. Vor allem am Flughafen Zürich wird intensiv an der Minderung des Fluglärms unter Berücksichtigung der betroffenen Anwohner gearbeitet. Die Initiative zur Änderung oder Neufestlegung einer Route bleibt jedoch allein der Flugsicherung, dem Flughafenbetreiber oder dem BAZL vorbehalten. In Kanada gibt es regionalspezifische *Noise Commitees*, die aus lokalen Interessensverbänden, Flughafenbetreibern und Flugsicherung bestehen. Sie haben die Möglichkeit, Neufestlegungen zu verhindern und Veränderungen bestehender Abflugrouten zu initiieren, wobei dies teilweise Entscheidungen entgegen operationeller Bedürfnisse der Flugsicherung hervorruft.

In Polen gibt es dagegen noch keine derartigen Foren und Einrichtungen an Flughäfen, eine Entwicklung in diese Richtung ist aber absehbar. Australien und Norwegen haben zwar keine speziellen Dialogplattformen für Fluglärmproblematik, die Einbeziehung der betroffenen Anwohner im Bereich der Abflugrouten findet aber trotzdem statt. Dänemark und Irland verneinen Aktivitäten dieser Art zur Einbeziehung von Interessensverbänden zum Schutz vor Fluglärm. Die endgültige Festlegung der geplanten Abflugroute erfolgt in allen befragten Ländern durch die Luftfahrtbehörde, veröffentlicht wird sie durch den Flugsicherungsanbieter oder die Luftfahrtbehörde im Luftfahrthandbuch der jeweiligen Staaten.

Es ist zu erkennen, dass sich der Prozess der Festlegung neuer Abflugrouten international grundsätzlich sehr ähnelt. In vielen Ländern spielt mittlerweile auch öffentliches Interesse eine große Rolle und die Faktoren Lärmschutz und Umweltschutz werden vermehrt beachtet. Interessensverbände der betroffenen Flughafenanoher, aber auch Luftfahrtgesellschaften und Flughafenbetreiber haben die Möglichkeit, auf unterschiedlichen Wegen an der Planung und Festlegung der Flugrouten teilzunehmen und darauf Einfluss zu nehmen. Operationelle und wirtschaftliche Faktoren stehen nicht mehr allein im Vordergrund, ein Austausch zwischen allen Parteien wird angestrebt. Es sind somit erste Schritte erfolgt, die Initiative zur Änderung einer Flugroute aber noch fast ausschließlich bei der Flugsicherung, den Flughafenbetreibern oder den Behörden. Somit haben Bürgerinitiativen und Lärmforen oft nur die Möglichkeit auf Entscheidungen und Probleme zu reagieren. Es sollte daher eine weitere Integrierung in den Festlegungsprozess erfolgen, um allen beteiligten Interessen gerecht zu werden. Beispiele wie die Schweiz oder Österreich zeigen, dass eine Institution in Form eines „Runden Tisches“ mehr Rechte haben muss, um ein wirksames Werkzeug der Mitbestimmung zu sein.

3.4.3 Flugroutenfestlegungsverfahren in den USA

Der US-Kongress erlässt in den USA die Gesetze zum Flugbetrieb und zur Vermeidung des Fluglärms. Die Bundesluftfahrtbehörde FAA (*Federal Aviation Administration*) erlässt die entsprechenden Regularien und nimmt bundesstaatenübergreifend die Planung vor. Die Hauptaufgabe der Behörde besteht darin, Sicherheitsvorschriften und Richtlinien (*Federal Aviation Regulations* - FARs) für den gesamten Luftverkehr der USA zu erlassen. Sie erstellt Flugrouten (*Air Travel Routes*) und Flugverfahren und ist generell für die Flugführung verantwortlich. Alle ATCs arbeiten für die FAA als Bestandteil eines nationalen Luftraumsystems. Andere Luftfahrtorganisationen inklusive Flughäfen und Airlines können zwar eine Petition für ein Flugverfahren an die FAA richten. Allerdings kann nur die FAA entscheiden, was sicher und akzeptabel ist. Nur die FAA-Flugsicherung darf Flugrouten und -verfahren anordnen [15].

Flughäfen sind im Allgemeinen ein Teil bundesstaatlicher oder örtlicher Regierung. Beispielsweise ist der Flughafen San Francisco International Airport (SFO) eine Abteilung der Stadt San Francisco. Das Büro zur Minderung des Fluglärms (*Aircraft Noise Abatement Office*) ist maßgeblich an der Planung und Realisierung von Lärminderungsprogrammen beteiligt. Diese Lärminderungsprogramme beinhalten auch die Festlegung von lärm mindernden Flugrouten (*Noise Abatement Flight Tracks*) über dicht besiedelten Gegenden [30].

Der Flughafen von San Francisco hat einen Runden Tisch (*San Francisco Airport/Community Round Table*) zur Erörterung von Fluglärmproblemen eingerichtet. Dieses Gremium wurde 1981 gegründet und besteht aus 45 Vertretern der Stadt und des Landes San Francisco und San Mateo sowie beratenden Mitgliedern, Chefpiloten und FAA-Personal. Das Forum tagt monatlich und ist die treibende Kraft hinter vielen Lärmprogrammen. Der *Round Table* des SFO ist die erste Institution dieser Art in den USA gewesen und dient deshalb oft als Vorbild für andere Nachbarschaftsgruppen [16].

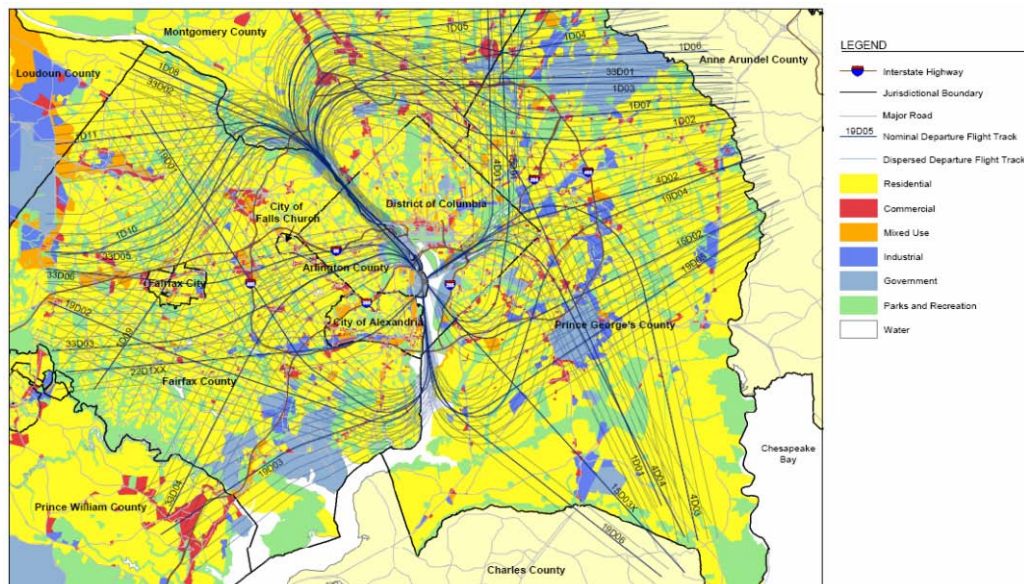


Abbildung 3-10: Beispiel für An- und Abflugrouten in den USA [15]

3.4.4 Flugroutenfestlegungsverfahren in der Schweiz

Für die Ausarbeitung der Flugrouten ist die Schweizer Flugsicherung *Skyguide* verantwortlich, während das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) die Genehmigung erteilt. An diesem Verfahren wird auch das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) beteiligt. In ähnlicher Weise ist auch die Änderung des Betriebsreglements ein genau festgelegter Prozess, in dem die Flughafen Zürich AG die Antragstellerin ist. Bei lärmrelevanten Aspekten des Betriebsreglements hat zudem der Regierungsrat des Kantons Zürich als ehemaliger Eigentümer mit seiner Sperrminorität ein Vetorecht im Verwaltungsrat der Flughafen Zürich AG, alle weiteren angrenzenden Kantone jedoch nicht. Verantwortlich für die Genehmigung des Betriebsreglements ist auch in diesem Fall das Bundesamt für Zivilluftfahrt.

Der Schweizer Bundesrat stützt sich bei seinen Entscheidungen und Gesetzesvorlagen im Bereich der Luftfahrt auch auf die Eidgenössische Luftfahrtkommission als beratendes Organ in wichtigen Fragen der Luftfahrt. Diese ständige außerparlamentarische Kommission, die vom Bundesrat ernannt wird, besteht aus Fachleuten der Luftfahrt sowie weiteren interessierten Kreisen. Bei der Ernennung der Mitglieder berücksichtigt der Bundesrat die Vorschläge der darin vertretenen Organisationen.

Am 7. Juli 2004 wurde die Volksinitiative „Für eine realistische Flughafenpolitik“ eingereicht. Die Initiative wollte den Kanton Zürich verpflichten, beim Bund darauf hinzuwirken, dass die Zahl der jährlichen Starts und Landungen am Flughafen Zürich auf 250.000 begrenzt und die bestehenden Nachtflugbeschränkungen auf neun Stunden ausgedehnt werden. Der Regierungsrat empfahl dem Kantonsrat einen Gegenvorschlag. Dieser Vorschlag bestand darin, dass ein neu

einzuführender Richtwert die Zahl der vom Fluglärm stark gestörten Personen einmalig festlegt und damit begrenzt. Sollte es sich zeigen, dass diese Zahl überschritten wird, ergreifen die Behörden des Kantons rechtzeitig Maßnahmen bzw. beantragen solche bei den dafür zuständigen Stellen, damit die Zahl der vom Fluglärm stark gestörten Personen wieder auf das Niveau des Richtwertes sinkt. Der Regierungsrat verpflichtete sich, dem Kantonsrat und der Öffentlichkeit jährlich Bericht zu erstatten, der über die Lärmentwicklung und die eingeleiteten Maßnahmen zur Fluglärminderung behandelt.

Am 26. März 2007 lehnte der Kantonsrat die Volksinitiative „Für eine realistische Flughafenpolitik“ ab und stimmte dem Gegenvorschlag, dem Zürcher Fluglärm-Index (ZFI), zu. Darüber hinaus ergänzte der Kantonsrat den Gegenvorschlag dahin gehend, dass der Rat bei Erreichen von 320.000 Flugbewegungen pro Jahr auf Antrag der Regierung darüber Beschluss fasst, ob der Staat auf eine Bewegungsbeschränkung hinwirken soll. Dieser Beschluss unterliegt dem fakultativen Referendum. Zudem wird der Kanton verpflichtet, sich für eine siebenstündige Nachtflugbeschränkung einzusetzen.

Nach der Annahme des Gegenvorschlags durch die Zürcher Bevölkerung am 25. November 2007 setzte die Volkswirtschaftsdirektion des Zürcher Fluglärm-Index (ZFI) um. Die entsprechende Änderung des Flughafengesetzes trat am 1. März 2008 in Kraft.

Der erste ZFI-Bericht wurde am 26. Mai 2008 der Öffentlichkeit vorgestellt. Darin werden die Jahre 2005 und 2006 miteinander verglichen. Die Zunahme um rund 8,5 % durch Fluglärm stark belästigte Personen innerhalb eines Jahres ist vor allem auf Veränderungen bei der Belegung verschiedener sowie auf die Bevölkerungszunahme in der Flughafenumgebung [12].

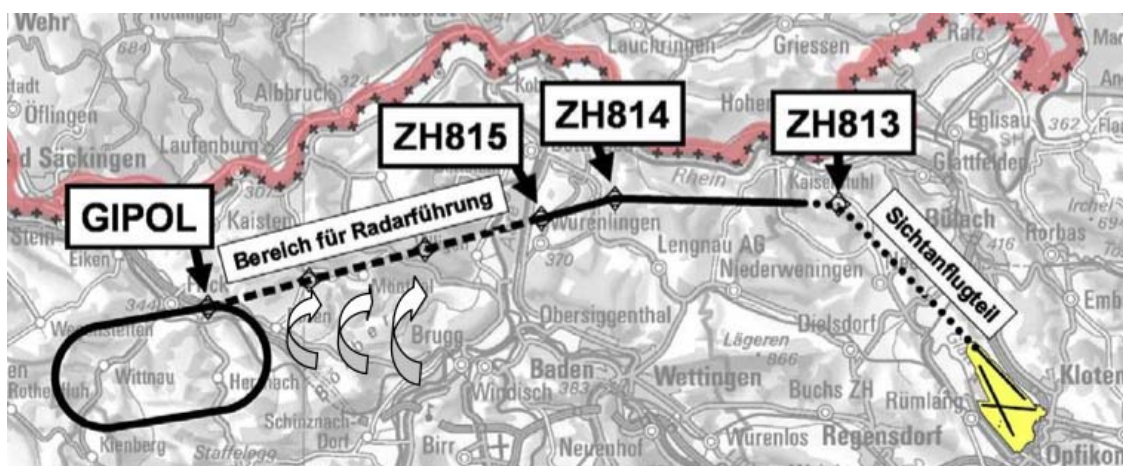


Abbildung 3-11: Verlauf des gekröpften Nordanfluges [19]

Der Gekröpfte Nordanflug (kurz GNA, manchmal auch NAPP14 oder Short 14 genannt) ist ein geplantes alternatives Anflugverfahren als Ergänzung zu den bestehenden Nordanflügen auf die Start- und Landebahnen 14 und 16 am Flughafen Zürich zwischen 6 und 7 Uhr morgens (s. Abbildung 3-11 und Abbildung 3-12).

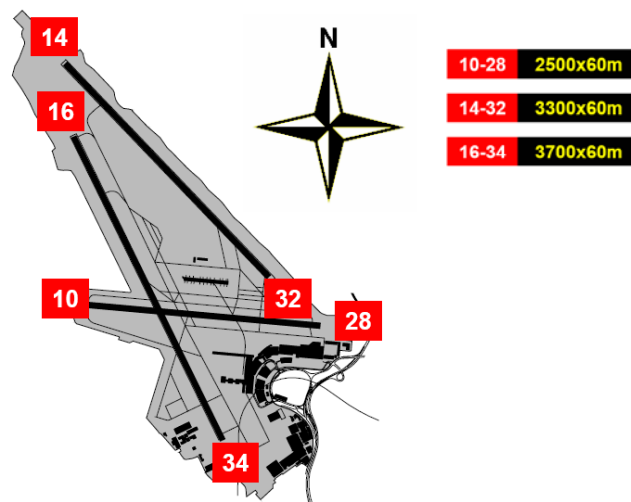


Abbildung 3-12: Start- und Landebahnsystem des Zürcher Flughafens [19]

Der geplante gekröpfte Nordanflug verläuft nicht direkt von Norden her über deutsches Territorium, sondern von Westen kommend und ausschließlich im Luftraum der Schweiz. Dabei wird in zwei Rechtskurven auf der Anfluggrundlinie der Start- und Landebahn 14 einschwenkt. Damit wird der Nordanflug „gekröpft“ bzw. der Anflug auf Bahn 14 abgekürzt (daher die Bezeichnung „Short 14“).

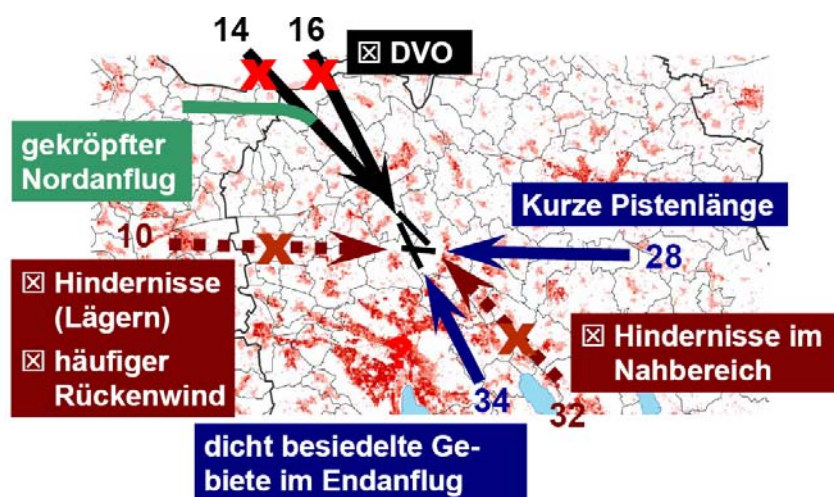


Abbildung 3-13: Anflugrouten Zürich (Schweiz) [19]

Am 20. Juli 2005 fanden Probeflüge für den GNA statt, die durch das BAZL und SKYGUIDE koordiniert wurden. Ende März 2008 lehnte der Schweizer Pilotenverband Aeropers den gekröpften Nordanflug auf den Flughafen Zürich entschieden ab, weil dadurch die Flugsicherheit verschlechtert werden könnte. Am 3. Juli 2008 lehnte dann das BAZL den gekröpften Nordanflug ab. Begründet wird die Ablehnung mit Sicherheitsbedenken insbesondere in Zusammenhang mit der auf Sicht geflogenen Kurve beim Einschwenken auf die Pistenachse. Laut BAZL sei dieses Anflugverfahren nur mittels Satellitennavigation durchführbar und bewilligungsfähig. Die Bürgerinitiativen im Süden und Osten des Flughafens Zürich waren über diese Entscheidung enttäuscht. Laut dem Verein „Flugschneise Süd – Nein“, ist eine Gelegenheit zur Entlastung von Hunderttausenden von Menschen verpasst worden. Zufrieden mit der Entscheidung zeigte sich dagegen der Kanton Aargau, der von der Flugroute besonders betroffen gewesen wäre [20].

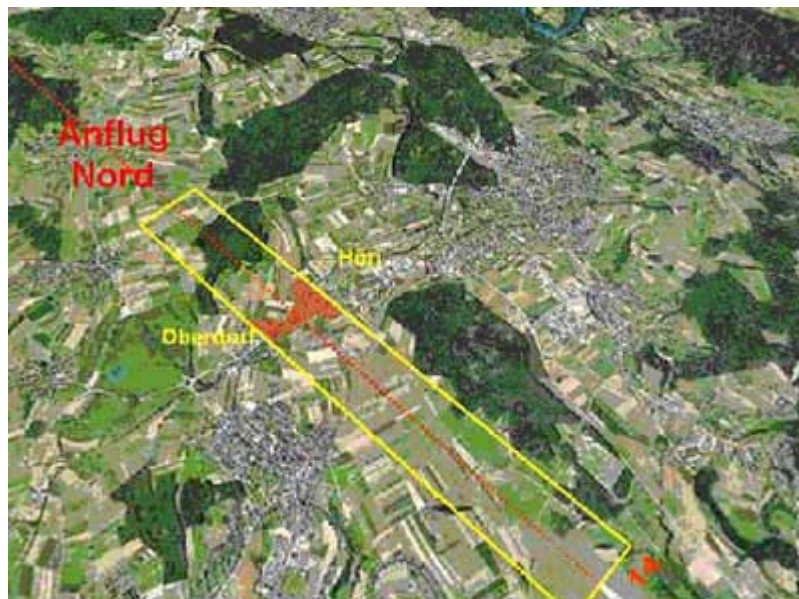


Abbildung 3-14: Überflogene Siedlungsgebiete Nordanflug [21]

Abbildung 3-14 und Abbildung 3-15 zeigen im Vergleich den Nord- vs. Ost-/Südanflug und die überflogenen Siedlungsgebiete. Die gelbe Umrandung zeigt einen Bereich der 6 Kilometer vor der Bahn beginnt und 600 m breit ist. Die rote Schraffierung veranschaulicht die Besiedlung innerhalb dieses Bereichs.



Abbildung 3-15: Überflogene Siedlungsgebiete Ost-/Süd-Anflug [21]

Der „Sachplan Infrastruktur Luftfahrt (SIL)“ ist das zentrale Planungs- und Koordinationsinstrument des Bundes für den Infrastrukturbereich der Zivilluftfahrt. Der SIL ist eigentlich ein Instrument der Raumplanung. Seine richtungsweisenden Ziele machen ihn aber auch zu einem wichtigen Instrument der Luftfahrtpolitik. Im Rahmen des SIL werden für jede Luftfahrtanlage in der Schweiz sog. Objektblätter erarbeitet. Der Erarbeitung des Objektblattes für den Flughafen Zürich als nationale Schlüsselinfrastruktur kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. In diesem gegenwärtig laufenden Verfahren arbeitet das federführende Bundesamt für Zivilluftfahrt eng mit dem Kanton Zürich, der Flughafen Zürich AG und den betroffenen Nachbarkantonen zusammen [22].

Unter Berücksichtigung der Stellungnahmen der Nachbarkantone und nach Rücksprache mit dem Kanton Zürich und der Flughafen Zürich AG hat der Bund entschieden, dass die drei optimierten Betriebsvarianten als Basis für das Objektblatt verwenden werden sollen. Dadurch bleiben sowohl der Entwicklungsspielraum des Flughafens als auch alle Optionen für die Gespräche mit Deutschland über die Nutzung des süddeutschen Luftraumes erhalten. Es handelt sich um die Varianten E-optimiert und E-DVO auf dem bestehenden Start- und Landebahnsystem sowie die Variante J-optimiert auf dem System mit verlängerten Bahnen. Die Varianten enthalten Spielraum, damit sich der Flughafen weiterentwickeln kann. Sie sind das Ergebnis umfangreicher Optimierung, sowohl hinsichtlich der Umweltauswirkungen als auch im Hinblick auf die Anforderungen an die Sicherheit und die Kapazität des Flughafenbetriebs. Eine abschließende Genehmigung des Objektblattes und der kantonalen Richtpläne durch den Bundesrat ist in 2010 vorgesehen [23].

3.4.5 Flugroutenfestlegungsverfahren in Großbritannien

Die CAA ist die Luftfahrtbehörde von Großbritannien. Im britischen Luftverkehrsgesetz (*Civil Aviation Act*) sind die Befugnisse der CAA geregelt. Die CAA verfasst Air Navigation Orders und General Regulations und veröffentlicht die Civil Aviation Publications (CAPs) [25].

Paragraph 371 des *Greater London Authority Act* 1999 besagt, dass jede Änderung von Flugrouten oder Flugverfahren, die Einfluss auf den Lärmsituation haben, mit der CAA besprochen werden muss. Als für den Flugbetrieb zuständige Behörde (*regulatory authority*) ist sie für die Überwachung der technischen Entwürfe von Flugrouten verantwortlich. Die NATS (*National Air Traffic Services*) ist die nationale Flugsicherung der UK. Sie ist für die Umsetzung der Änderungen von Flugrouten und für die Flugführung verantwortlich. In den letzten 40 Jahren wurden die Flugrouten von London nur minimal verändert. Die NPRs (*Noise Preferential Routes*) von London Heathrow sind beispielsweise seit 1962 nur geringfügig verändert worden. NPRs werden im UK „*Air Pilot*“ veröffentlicht, so dass sie allen Piloten bekannt sind. Das DfT (*Department for Transport*) ist für die Verkehrspolitik und den Erlass von NPRs verantwortlich. NPRs dienen dazu, dass das Überfliegen von bebauten Gebieten so weit wie möglich zu vermeiden. Dies sind praktisch Flugkorridore von 3 km Breite, in denen sich 95% aller Flugzeuge aufhalten sollen. Die Einhaltung NPRs wird mit einem der *Noise and Track Keeping Monitoring System* (NTK) kontrolliert [26]. Diese Flugkorridore führen von den Start- und Landebahnen des Flughafens bis zu den Hauptluftverkehrswegen und bilden den ersten Teil der Standard-Instrumenten-Abflugrouten (SID). Sie werden im „*UK Aeronautical Information Package*“ der CAA UK und im „*Air Pilot*“ veröffentlicht.

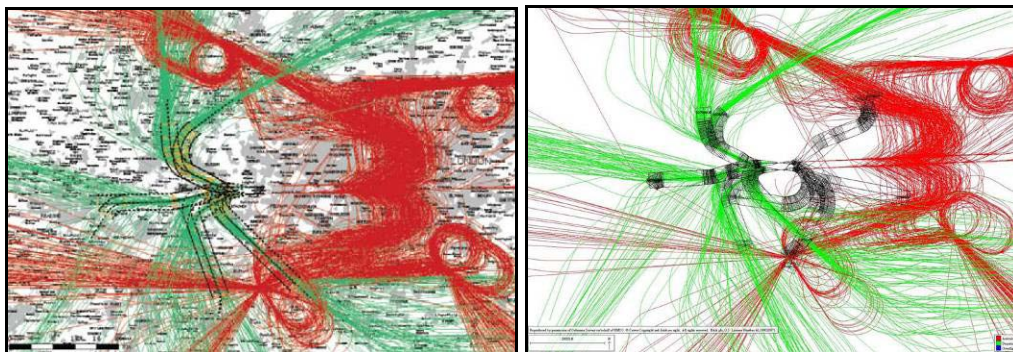


Abbildung 3-16: Typische NPRs des Flughafen Heathrow für 2003 und 2007 [26]

Abbildung 3-16 zeigt die NPRs (schwarze Punktlinie) sowie die Abflugwege in grün. Die Einhaltung der NPRs nur bis zu einer Flughöhe von 4.000 ft vorgeschrieben. Moderne Flugzeuge erreichen diese Flughöhe relativ schnell. Das NATS kann dann entscheiden, ob es dem Flugzeug eine direktere Flugrichtung zuweist. Dies erklärt das Abweichen der grünen Abflugwege von den NPRs.

Wenn Anträge für eine Veränderung der An- oder Abflugrouten gestellt werden, sind sie zunächst von CAS (*Controlled Airspace Section of the Directorate of Airspace Policy*) zu bestätigen. Die vorgeschlagenen Flugroutenführungen müssen den operativen Anforderungen entsprechen. Anschließend wird die Veränderung an das NATS AIS übergeben und diese die Flugroutenänderung im britischen Luftfahrthandbuch bekannt geben. Damit ist der Änderungsprozess abgeschlossen [27].

Im Jahr 2000 entschied der britische Verkehrsminister, dass ein Verhaltenskodex festgelegt werden sollte. Vertreter von DTLR, NATS, die *British Airport Authorities* (BAA), British Airways und CAA/ERCD erstellten daraufhin einen *Code of Practice*. Dieser Kodex beinhaltet die Definition eines lärm mindernden Anflugverfahrens (CDA), die Einweisung der Flugsicherung und der Luftfahrzeugbesatzung zur Durchführung des CDA, ein Feedbacksystem vom NTK Flughafensystem an die ATC und die Airlines sowie die Herausgaben von Anflugkarten.

Das *Heathrow Airport Consultative Committee* (HACC) ist eine gesetzliche Einrichtung aus Vertretern von Anwohnern, lokalen Behörden, Umweltschutzgruppen und Wirtschaftsvertretern für den Flughafen London Heathrow. Das *Heathrow Area Transport Forum* spielt eine bedeutende Rolle, wenn es um die Flächennutzung des Flughafens geht. Eine *Noise and Track Keeping Working Group* (NTKWG) beschäftigt sich mit Methoden zur Lärmreduzierung. Außerdem überwacht sie die Einhaltung der Flugwege innerhalb der festgelegten Flugrouten (NPRs). Jährliche Lärmberichte werden seit 2000/2001 veröffentlicht. Sie beinhalten u.a. Angaben über jährliche Flugbewegungen, Passagierzahlen, Lärmflächenkonturen, Anwohnerzahl, Anzahl durchgeführte CDAs, Nachtbeschränkungen sowie Flugwegabweichungen.

3.5 Derzeitige Entwicklungen und Tendenzen

3.5.1 Allgemeines

Im folgenden Abschnitt werden aktuelle Entwicklungen und Tendenzen bezüglich lärm mindernder Flugverfahren aufgezeigt. Dabei lassen sich grundsätzlich zwei Bereiche abgrenzen. Zum einen wird versucht, durch Veränderungen im flugbetrieblichen Ablauf Lärmemissionen direkt am Luftfahrzeug zu verringern. Zum anderen soll durch veränderte Flugverläufe der Bereich durch Lärmemission betroffener Gebiete verkleinert werden. Dies wird im Vertikalen durch dahingehend optimierte Steig- und Sinkprofile realisiert. Horizontal kann mit Hilfe der seit langem etablierten Flächennavigation (RNAV) hierfür eine weitgehend flexible Routenführung umgesetzt werden. Beides kann wie z.B. beim nachfolgend aufgeführten CDA-Anflug auch kombiniert werden. Darüber hinaus wird in Kapitel 3.5.6 exemplarisch ein Entwicklungsvorhaben eines u.a. besonders lärmarmen Luftfahrzeuges vorgestellt.

3.5.2 Lärmmindernde Flugverfahren: *Continuous Descent Approach*

Unter einem CDA (*Continuous Descent Approach*) versteht man ein Anflugverfahren, bei dem die Lotsen die Luftfahrzeuge vom *Initial Approach Fix* (bzw. im Idealfall ausgehend von der Reiseflughöhe) durch Radarführung bis zu einem Punkt führen, ab dem mittels eines kontinuierlichen Sinkfluges der zur Höhenführung genutzte Leitstrahl des Instrumentenlandesystems (ILS) erflogen werden kann. Vor allem aufgrund der veränderten Flugbahn (siehe Abbildung 3-17) sowie der geringeren Triebwerksleistung können in einer Entfernung von ca. 10 bis 25 NM zum Aufsetzpunkt unterhalb der Flugbahn Lärminderungen erzielt werden [54]. Innerhalb Deutschlands wurde dieses Verfahren bereits an mehreren Verkehrsflughäfen testweise angewandt.

In London Heathrow wird ein CDA-Verfahren tagsüber bei ca. 80% und während der Nachtzeit bei ca. 93% der Anflüge eingesetzt. Am Flughafen Amsterdam-Schiphol wird dagegen das sogenannte *Advanced-CDA*-Verfahren während der Nacht auf der Bahn 06 durchgeführt. Es sind ca. 15 Anflüge pro Stunde ohne Einfluss auf die Kapazität möglich.

Eine Weiterentwicklung des CDA-Verfahrens (*Segmented CDA*) befindet sich derzeit in der Untersuchung (Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung „Leiser Luftverkehr“) und, modernste Flugführungssystem an Bord der Flugzeuge vorausgesetzt, erhöht das Lärminderungspotential weiter. Die Anwendung des CDA bietet grundsätzlich ein beträchtliches Lärminderungspotential, jedoch kann es auch zu Lärmverlagerungseffekten in den Nahbereich des Flughafens kommen. Daher ist eine Optimierung des Verfahrens auf die lokale Situation erforderlich, was auch im Hinblick auf die Lärmwirkung zu bewerten ist. Daher sollte das hier vorgestellte Beurteilungsverfahren auch in der Lage sein, nicht nur Veränderungen in den Routen sondern auch in den Flugverfahren zu bewerten.

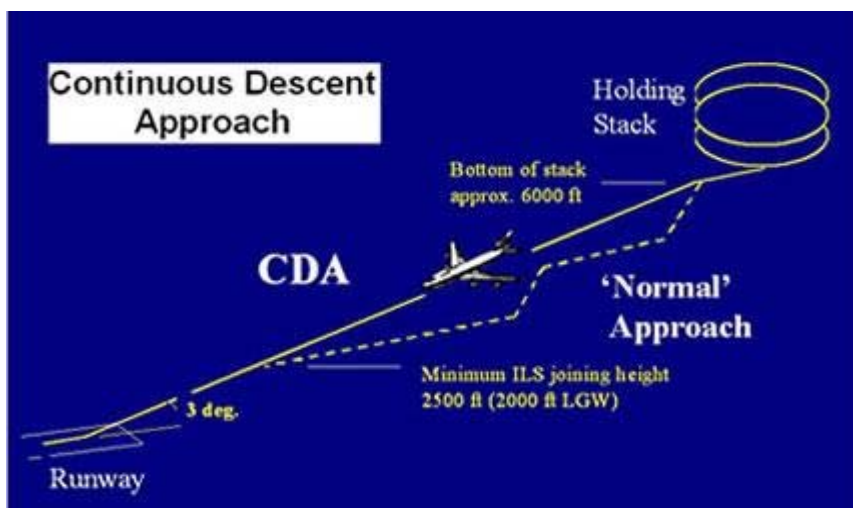


Abbildung 3-17: Continuous Descent Approach [39]

3.5.3 Lärmindernde Flugverfahren: Steilstartverfahren

Das Steilstartverfahren (ICAO Procedure A) unterscheidet sich vom Schnellstartverfahren (= mod. ATA-Verfahren oder ICAO Procedure B) ab einer Flughöhe von ca. 1.500 ft. Das Aufholen von Geschwindigkeit im Steigflug und das Einziehen der Auftriebshilfen erfolgt beim Steilstartverfahren erst ab 3.000 ft, beim Schnellstartverfahren bereits ab 1.500 ft Höhe. Es liegt beiden Verfahren die gleiche Triebwerksleistung zugrunde, wobei sie sich bei der Umsetzung in Geschwindigkeit bzw. Höhe unterscheiden. Der Vorteil von Steilstartverfahren ist das schnellere Erreichen größerer Flughöhen, so im Regelfall eine deutliche Lärminderung für Bereiche ca. 6 bis 12 km ab Abhebeort unterhalb des Abflugpfads erzielt werden kann.

Zurzeit wird am Flughafen Frankfurt/Main das sogenannte modifizierte ATA-Verfahren zum Einsatz empfohlen. Es ist wiederholt gefordert worden, stattdessen das Steilstartverfahren einzuführen, weil es als lärmärmer einzustufen ist [54]. An diversen internationalen Flughäfen wird derzeit das Steilstartverfahren eingesetzt (z. B. Amsterdam, Zürich, Paris-Charles de Gaulle, Mailand-Linate). Aus Sicht der DFS besteht zwischen beiden Abflugverfahren kein Unterschied bei der flugsicherungstechnischen Abwicklung. Im AIP Deutschland wird für Flugzeuge, die nach ICAO Anhang 16, Band I, Kapitel 3 zugelassen sind, das Schnellstartverfahren empfohlen.

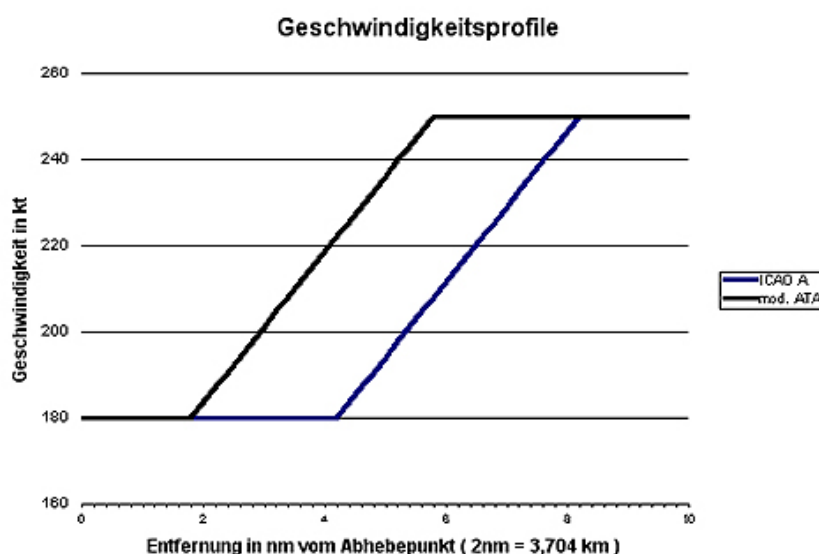


Abbildung 3-18: Geschwindigkeitsprofile -Vergleich ICAO A mit mod. ATA Verfahren [35]

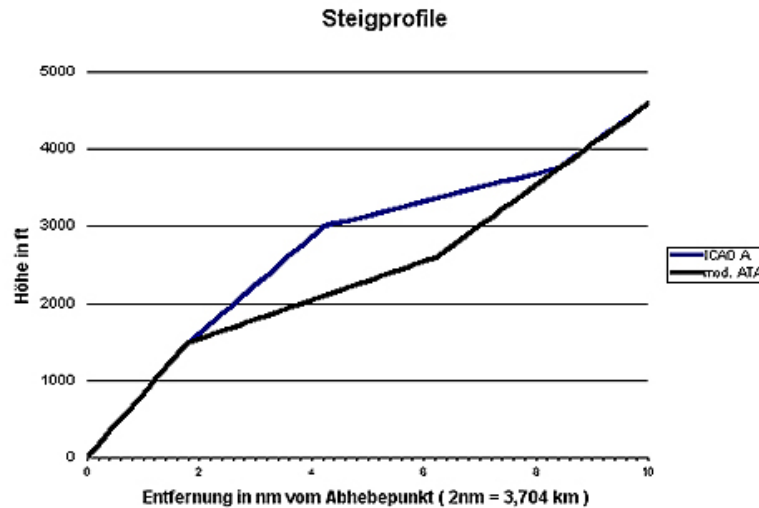


Abbildung 3-19: Steigprofile - Vergleich ICAO A mit mod. ATA Verfahren [35]

3.5.4 Lärmindernde Flugverfahren: Versetzte Landebahnschwelle

Am Flughafen Frankfurt/Main wurde im Rahmen des Projektes HALS/DTOP erstmalig eine versetzte Landeschwelle im regulären Flugbetrieb getestet. Auf Grund des zu kleinen Abstands der beiden parallelen Start- und Landebahnen (25 R und 25 L) zueinander können sie nicht im Parallelbetrieb genutzt werden. Anfliegende Luftfahrzeuge müssen deshalb im Endanflug in einem Abstand von mindestens 2,5 NM (4,6 km) gestaffelt sein. Bei unterschiedlichen Luftfahrzeugkategorien besteht hierbei jedoch die Gefahr durch Wirbelschleppen, weshalb eine erhebliche Vergrößerung der Stafflungsabstände von 4 bis 6 NM (7 bis 11 km) erforderlich ist. Da dies negative Auswirkungen auf die Kapazität des Flughafens hat, wurde gemeinsam von Fraport, DFS und Lufthansa das HALS/DTOP-Verfahren entwickelt. Dabei wurde die Landeschwelle der Bahn 25L um 1.500 m versetzt und somit eine neue Landebahn festgelegt (Bezeichnung der neuen Bahn 26L). Dies hat zur Folge, dass die Flugbahn bei Anflügen um ca. 80 m vertikal verschoben wird, so dass keine Gefahr durch Wirbelschleppen besteht und aufgrund der längeren Ausbreitungswege ein kleiner Lärminderungseffekt erzielt werden kann (s. Abbildung 3-20). Vorteilhaft ist zudem, dass durch die bessere Nutzung der vorhandenen Bahnen eine Kapazitätserhöhung (höhere Landefrequenz) erreicht wird. Gegen das HALS/DTOP-Verfahren sprachen sich vor allem die Piloten aus, die ein erhöhtes Sicherheitsrisiko in der verkürzten Landebahn sahen, da das Luftfahrzeug im Notfall auf einer kürzeren Bahn abgebremst werden müsste.

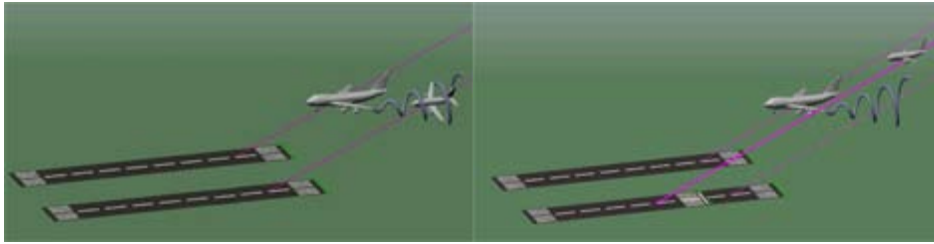


Abbildung 3-20: Funktionsprinzip der versetzten Landebahnschwelle

3.5.5 Lärmindernde Flugverfahren: Alternative Klappenstellung im Anflug

Zurzeit existieren bei den Fluggesellschaften und Flugzeugherstellern unterschiedliche Regelungen und Empfehlungen zum Einsatz der Landeklappenstellungen während des Endanflugs. Es werden u.a. nach Flugzeugtypen differenzierte Vorgaben gegeben, in welcher Reihenfolge Landeklappen und Fahrwerk gefahren werden sollen. Durch eine zusätzliche Reduzierung der Landeklappenstellung¹⁴ um eine Stellung (z.B. 25° statt 30°) und ein späteres Ausfahren des Fahrwerks kann eine Lärminderung erzielt werden. Weil sowohl Auftrieb als auch Widerstand verringert werden, ist eine geringere Triebwerksleistung nötig, so dass auch geringere Lärmemissionen der Triebwerke entstehen. Dadurch ist mit relativ geringem Aufwand eine Lärminderung von ca. 1 bis 2 dB im Bereich zwischen dem Aufsetzpunkt und den letzten 4 NM (7 km) des Endanflugs möglich. Nachteilig wirkt sich dieses Verfahren aber durch eine leicht erhöhte Anfluggeschwindigkeit und einer damit verbundenen stärkeren Belastung der Fahrwerksstruktur und Bremsen aus.

3.5.6 Airbus Projekt QICE

Im Rahmen des Verbundvorhabens „Hochtechnologien der neuen Generation“ (HiT) wird unter dem Dach des vierten Luftfahrtforschungsprogramms erstmals ein vollständiges, auf den zuvor entwickelten Technologien basierendes Luftfahrzeug und ein dazu passendes Luftverkehrskonzept untersucht. Es handelt sich dabei um den sogenannten *Quiet Innovative Commuter* (QICE). Dieses QICE-Luftfahrzeug verfügt über ausgesprochene Kurzstart- und -landeeigenschaften (*Short Takeoff and Landing*, STOL). Zudem sollen die Lärmemissionen auf Grund des Einsatzes in dicht besiedelten Gebieten durch neuartige Triebwerksintegration in den Rumpf drastisch gesenkt werden [50]. Als Haupteinsatzgebiete des QICE sind innerstädtische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen sowie Zubringerdienste vorgesehen. Um dies zu ermöglichen müssten zur entsprechenden Konstruktion des Luftfahrzeuges neue, lärmarme An- und Abflugverfahren benötigt. Ziel der Beteiligung der DFS ist die Vorentwicklung der benötigten An- und

¹⁴ Final Flap Setting während des Anflugs bei einer Höhe von ca. 1.000 ft (300 m)

Abflugverfahren, die Integration dieser Verfahren in das bestehende Lufttransportsystem sowie die (Teil-)Validierung in einer Echtzeitsimulation.

Die Verfahren für das innovative QICE-Luftfahrzeug könnten sich in folgenden Punkten von bisher üblichen Verfahren unterscheiden:

- Kontinuierliches Ausfahren der Auftriebshilfen (*Auto Flaps/Slats*),
- Steiler Anflug (z. B. 6° statt bisher 3°),
- deutlich geringere Anfluggeschwindigkeit,
- mehrfach gekrümmte Anflüge.

Da das QICE-Luftfahrzeug vor allem von stadtnahen oder sogar innerstädtischen Flughäfen operieren soll, sind die Anforderungen auf dem Gebiet der Umweltverträglichkeit sehr hoch. Die größten Herausforderungen liegen bei einem solchen Konzept insbesondere darin, die Lärmbelastung durch den Flugbetrieb mit QICE-Luftfahrzeugen an innerstädtischen Flughäfen in vertretbaren Grenzen zu halten. Daher müssen für dieses Konzept sowohl neue Wege vor allem in der Konzeption des Luftfahrzeuges und der Integration seines Antriebs als auch in der Entwicklung von lärmreduzierten An- und Abflugverfahren gegangen werden. Die im Rahmen dieses Projektes gemachten Erfahrungen und die Möglichkeiten der erweiterten Infrastruktur können auch in die weitere Entwicklung konventioneller Luftfahrzeuge und An- und Abflugverfahren einfließen [14]. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass gerade die veränderten Verfahren teilweise ein völlig neues Konzept bedingen. Anfluggeschwindigkeit und Anflugwinkel lassen sich bei heutigen Luftfahrzeugen nicht beliebig verändern. Dazu sind gerade mehrfach gekrümmte Anflüge stark Wetter abhängig, so dass es abzuwarten gilt, in wie weit die Entwicklung diesbezüglich fortschreitet.

KAPITEL 4 Kriterienkatalog

4.1 Allgemeines

Als Grundlage des Bewertungssystems wird zunächst ein Kriterienkatalog entwickelt, der die verschiedenen Aspekte berücksichtigt, die bei der Festlegung von Flugrouten eine Rolle spielen. Hierbei wird nach drei grundlegenden Bereichen unterschieden: operationelle Kriterien, die einen Einzelflug betrachten, kapazitive Kriterien¹⁵, die eine Mengenbetrachtung¹⁶ darstellen, sowie umweltbezogene Kriterien, die sich wiederum in Lärmaspekte und Schadstoffemissionen unterteilen.

Die Vorauswahl von Kriterien dient in erster Linie als Grundlage für die später durchzuführende Abwägung zwischen den verschiedenen Interessen. Um eine ausgewogene Bewertung zu ermöglichen, muss diese transparent und reproduzierbar sein. Dabei sind die jeweiligen Kriterien, nach denen die Bewertung erfolgen soll, bereits im Vorfeld festzulegen. Diese Festlegung sollte bereits Teil des Abstimmungsprozesses zwischen den jeweiligen Beteiligten bzw. Betroffenen sein.

Diese Kriterien werden später im Verlauf des Beurteilungsprozesses untereinander gewichtet, um so zu einer Gesamtbewertung und schließlich zu einer Empfehlung für eine der untersuchten Flugrouten zu gelangen.

Die Auswahl der zu betrachtenden Kriterien gleicht zunächst einem „Brainstorming“-Prozess, bei dem mögliche Aspekte bei der Flugroutenfestlegung durchdacht werden. Erst im Rahmen der späteren Gewichtung wird sich zeigen, ob die Kriterien, die in die Bewertung einfließen, tatsächlich eine Rolle spielen. Darüber hinaus hängt die Auswahl der Kriterien stark von den lokalen Gegebenheiten des betrachteten Flughafens ab, da hier jeweils unterschiedliche Aspekte

¹⁵ Aspekte, die die maximale Anzahl von Flugbewegungen je Zeiteinheit beeinflussen

¹⁶ Berechnung/ Ermittlung der Kapazität bzw. Mengen pro Zeiteinheit, Durchsatzbestimmung

zum Tragen kommen können. Um sämtliche Aspekte umfassend zu berücksichtigen, wären teilweise sehr langwierige und kostenintensive Untersuchungen notwendig, deren Nutzen mitunter nicht den Aufwand rechtfertigt.

So wären beispielsweise im Hinblick auf die einzelflugbezogenen, operationellen Kriterien Untersuchungen notwendig, die Flugversuche oder zumindest Versuche im Flugsimulator erforderlich machen würden. Dieser Aspekt kommt insbesondere bei der Beurteilung der Pilotenbelastung bei bestimmten Verfahren zum Tragen. Es sollte daher soweit wie möglich auf bereits verfügbare Untersuchungen zurückgegriffen werden sollte. Aus diesem Grund kann es vorkommen, dass sich bereits die Kriterienauswahl an der Datenverfügbarkeit orientiert.

Für kapazitive Betrachtungen wiederum sind für eine umfassende Berücksichtigung aller Wechselwirkungen zwischen einzelnen Routen in einem Gesamtsystem umfangreiche Luftraumsimulationen notwendig. Auch dieser Aufwand steht mitunter in einem Missverhältnis zum erhofften Nutzen. Sollte allerdings die Kapazität eine ausschlaggebende Rolle bei der Festlegung oder Veränderung von Flugrouten spielen, so kann diese Vorgehensweise notwendig werden.

Im Bereich der umweltbezogenen Kriterien empfiehlt es sich eine Berechnung der Fluglärmbelastung für die jeweils untersuchten Varianten durchzuführen.

4.2 Operationelle Kriterien

Operationelle Kriterien umfassen alle Aspekte, die jeweils einen einzelnen Flug betreffen. Sie geben Auskunft, inwieweit sich einzelne Flugrouten bei der Betrachtung eines einzelnen Fluges unterscheiden. Daher spielen unter anderem Humanfaktoren eine wichtige Rolle. So sollte z.B. eine zusätzliche Belastung der Piloten durch neuartige Anflugverfahren oder durch zahlreiche Lastzustandsänderungen vermieden werden. Die operationellen Kriterien werden daher einzelflugbezogen sowohl für den Anflug als auch den Abflug aufgestellt.

Mögliche operationelle Kriterien, die im Rahmen einer Bewertung von Flugrouten zu betrachten wären, sind unter anderem die Fliegbarkeit, die Piloten- und Lotsenbelastung oder der Passagierkomfort.

Als weiteres Kriterium bei der Einzelflugbetrachtung ist die Flugsicherheit zu nennen. Die Einhaltung der entsprechenden Vorschriften zur Sicherheit wird als gegeben angesehen, da die Nicht-Einhaltung von Sicherheitsaspekten in der Luftfahrt ein Ausschlusskriterium für die Route darstellen würde.

Nachfolgend wird auf die operationelle Kriterien Fliegbarkeit, Piloten- und Lotsenbelastung sowie Passagierkomfort näher eingegangen, um den Umgang mit diesen Kriterien im Rahmen der Gesamtbetrachtung zu erläutern.

Fliegbarkeit

Der Bereich Fliegbarkeit ist ein grundlegendes Kriterium für die Beurteilung von Flugrouten. Ähnlich der Flugsicherheit muss die Fliegbarkeit für jede der betrachteten Routen grundsätzlich gegeben sein. Eine Abstufung ist jedoch sinnvoll, da sich die Fliegbarkeit für verschiedene Luftfahrzeugmuster unterschiedlich darstellen kann. Insbesondere im Hinblick auf die Flächennavigation (RNAV) ist eine Unterscheidung hinsichtlich der Fliegbarkeit sinnvoll, da mitunter nicht alle Luftfahrzeuge über die entsprechende Navigationsausrüstung verfügen. Das ist darin begründet, dass die Routenführung bei RNAV flexibler ist, da die Routen nicht von bodengebundenen Funkfeuer abhängig sind.

Weiterhin hängt es von Flugleistungsdaten ab, ob bestimmte Flugprofile geflogen werden können, so dass auch in der Vertikalen eine Abstufung der Bewertung nach der Fliegbarkeit sinnvoll ist.

Generell wird zwar davon ausgegangen, dass die zu untersuchenden Flugrouten den PANS-OPS-Vorgaben entsprechen, dennoch kann im Einzelfall eine weitergehende Untersuchung erforderlich sein.

Piloten- und Lotsenbelastung

Die Piloten- und Lotsenbelastung ist das zweite Kriterium, das in die operationellen Aspekte einfließt. Bestimmte Routen erfordern von den Piloten und Lotsen erhöhte Aufmerksamkeit und Interaktion mit den Systemen und anderen Beteiligten. Es soll daher bewertet werden, inwieweit sich die untersuchten Flugrouten hinsichtlich der Belastung für die Piloten und die Lotsen unterscheiden.

Dabei ist zwischen dem tatsächlichen Arbeitsaufwand bzw. der Komplexität der Aufgabe (Belastung) und der daraus resultierenden Beanspruchung beim Piloten zu unterscheiden. Während die Belastung anhand einer Beschreibung der für die Erfüllung der Aufgabe erforderlichen Handlungen erfolgen kann, ist für die Untersuchung der resultierenden Belastung die Einbeziehung von Piloten in die Untersuchung selbst notwendig. Der zur Beurteilung der Piloten- und Lotsenbelastung erforderliche Aufwand sollte deshalb an die lokalen Gegebenheiten und Erfordernisse angepasst werden. Für zahlreiche Verfahren existieren bereits umfangreiche Untersuchungen, auf die gegebenenfalls zurückgegriffen werden kann. Dies gilt insbesondere für verschiedene An- und Abflugverfahren, bei denen die Pilotenbelastung im Rahmen von Flug- und Simulator-Versuchen untersucht wurde.

Bei einem Vergleich verschiedener Flugrouten ergibt sich für die Lotsen beispielsweise hinsichtlich der einzuhaltenden Staffelungsabstände zwischen zwei aufeinander folgenden Luftfahrzeu-

gen eine unterschiedliche Belastung bzw. Beanspruchung, die zu einer unterschiedlichen Bewertung der jeweiligen Routen führen kann.

Für die Beurteilung gilt: Je geringer die Belastung bei einer Flugroute oder einem Flugverfahren ist, umso besser ist diese zu bewerten. Wie bei der Fliegbarkeit so gilt auch für die Piloten- und Lotsenbelastung, dass im Idealfall davon ausgegangen werden kann, dass sich die vorgeschlagenen Routen hinsichtlich ihrer Bewertung nicht oder nur wenig voneinander unterscheiden, da Aspekte der generellen Fliegbarkeit und der Belastung bereits bei der Definition der Flugrouten berücksichtigt werden. Sollten sich jedoch, zum Beispiel bei der Einführung neuer Flugverfahren, die Anforderungen an die Piloten oder die Lotsen signifikant verändern, so ist dies in einer Gesamtbetrachtung mit zu berücksichtigen.

Passagierkomfort

Während die beiden vorhergehend beschriebenen Kriterien einen starken Bezug zur Sicherheit haben, bezieht sich der Passagierkomfort ausschließlich auf die Wahrnehmung durch die Passagiere. Ausschlaggebend für den Komfort der Passagiere sind beispielsweise die Lastzustandsänderungen während der Start- und Landephase. Häufiges Abbremsen und Beschleunigen empfinden die Passagiere im Allgemeinen als unangenehm, weshalb Verfahren mit weniger Lastzustandsänderungen besser bewertet werden.

4.3 Kapazitätsaspekte

Während die operationellen Kriterien einzelflugbezogen sind, stellen die Kapazitätsaspekte eine Mengenbetrachtung dar. Die Nutzung der Flugroute steht hierbei im Fokus.

Allgemein wird die Kapazität im Luftraum auf bestimmten Routen dadurch bestimmt, wie viele Luftfahrzeuge in einem definierten Zeitabschnitt die jeweils betrachtete Route passieren können. Ausschlaggebend hierfür ist der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Luftfahrzeugen, die sogenannte Staffelung. Sie ist von zahlreichen Faktoren abhängig, wie zum Beispiel von der Größe des vorausfliegenden und des nachfolgenden Flugzeugs, von den meteorologischen Bedingungen oder von der technischen Ausstattung der Luftfahrzeuge und des Flughafens bzw. der Flugverkehrskontrolle. In Abhängigkeit von der Kombination der Größe des vorausfliegenden und des nachfolgenden Luftfahrzeugs sind seitens des Gesetzgebers Mindestabstände definiert, die in keinem Fall unterschritten werden dürfen. Diese Abstände erhöhen sich zum Teil signifikant, wenn das nachfolgende Luftfahrzeug schneller fliegt als das vor ihm fliegende. Da die Staffelung im Anflug bezogen auf die Landebahnschwelle nicht unterschritten werden darf, sind für diesen Fall entsprechend größere Abstände einzuhalten. Gleiches gilt sinngemäß auch bei Abflügen zweier Luftfahrzeuge auf ein und derselben Route.

Da sich insbesondere bei unterschiedlichen An- und Abflugverfahren die Geschwindigkeiten zum Teil stark voneinander unterscheiden können, können hierdurch Kapazitätseinbußen die Folge sein.

Aber auch im Bezug auf die laterale Routenführung können sich im Hinblick auf die Kapazität Effekte einstellen, die eine gesonderte Bewertung erfordern. Insbesondere die Abhängigkeit verschiedener Routen untereinander, beispielsweise im Extremfall bei Routenkreuzungen, sind negative kapazitive Effekte nicht auszuschließen. Auch die Wechselwirkungen zwischen An- und Abflugrouten spielen hierbei eine Rolle.

Aufgrund dieser starken Abhängigkeiten ist im Normalfall nur eine Betrachtung des Gesamtsystems zielführend, da eine isolierte Betrachtung einer einzelnen Flugroute die zuvor beschriebenen Effekte nicht erfassen kann. Bei der kapazitiven Bewertung einzelner Flugrouten ist somit auch deren Interaktion mit den weiteren Routen zu berücksichtigen. Für eine valide Bewertung von Kapazitätsaspekten ist deshalb zumeist eine Luftraumsimulation notwendig. Da jedoch meist kleinere Änderungen von Flugrouten zu Veränderungen der anderen Aspekte, jedoch nicht zu Kapazitätsveränderungen führen, sind derartige Betrachtungen nicht grundsätzlich notwendig. In die Kapazitäts-Bewertung müssen auch Restriktionen einfließen, um beispielsweise Lärmkontingente oder ähnliche Beschränkungen zu beachten.

Allgemein kann für die spätere Gesamtbetrachtung davon ausgegangen werden, dass eine Routenvariante bzw. ein Flugverfahren umso besser abschneidet, je höher die Kapazität des Gesamtsystems mit der entsprechenden Route ist. Sofern sich für eine zu untersuchende Routenvariante kapazitive Einschränkungen ergeben, so ist eine hieraus resultierende Verringerung der Flugbewegungszahlen auf dieser Route im Rahmen der Lärm- und Schadstoffberechnungen durch eine Verlagerung auf andere Routen auszugleichen, um sicherzustellen, dass die Gesamtbelastung jeweils vergleichbar ist und sich bei der Bewertung aufgrund der kapazitiven Einschränkungen nicht automatisch eine Verringerung der Umweltbelastung ergeben würde.

4.4 Umweltkriterien zur Festlegung von Flugrouten und –verfahren

4.4.1 Allgemeines

Ein wesentlicher Aspekt bei der Bewertung von Flugrouten und –verfahren sind die Umweltkriterien. Grundlegend wird hierbei zwischen Lärmaspekten und der Betrachtung von Schadstoffen und klimawirksamen Gasen unterschieden. Wichtigstes Entscheidungskriterium bei der Bewertung von Flugrouten und -verfahren ist jedoch der Lärm, da die Fluglärmbelastung im Nahbereich eines Flughafens im Allgemeinen von wesentlicher größer Bedeutung als die Schadstoff-

belastung ist. Der Schwerpunkt der weiteren Betrachtungen liegt deshalb auf einer Bewertung der Lärm Aspekte.

4.4.2 Fluglärm

Für die Bewertung der Auswirkungen von Neufestlegungen oder Veränderungen von Flugrouten und –verfahren hinsichtlich des Fluglärms existieren verschiedene Berechnungsmethoden und Vorgehensweisen. Bei nahezu allen ist jedoch die grundlegende Vorgehensweise ähnlich.

Zunächst wird für ein bestimmtes Untersuchungsgebiet, welches die zu betrachtende(n) Flugroute(n) enthält, eine Lärmberechnung durchgeführt. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage des Flugbetriebs auf diesen Routen. Im Ergebnis erhält man für den gewählten Lärmpegel Konturen gleicher Lärmbelastung, sogenannte Isophonen.

Die ermittelten Konturen werden im Anschluss mit der jeweils innerhalb dieser Konturen wohnenden Bevölkerungsanzahl überlagert. Somit kann man abschätzen, wie viele Menschen welcher Lärmbelastung ausgesetzt sind.

In einem dritten Schritt wird dann untersucht, in welchem Maße sich diese Menschen von Fluglärm betroffen fühlen, ab welchem Schwellenwert eine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist oder inwieweit sich der Fluglärm auf weitere Aspekte des Lebens auswirkt oder auswirken könnte.

In Anlehnung an diese grundlegende Vorgehensweise wurden bereits verschiedene sogenannte Lärmindizes definiert, die bei der Bewertung von Fluglärm herangezogen werden. Beispielfhaft seien hier der Züricher oder der Frankfurter Fluglärmindex genannt, die in Kapitel 5 näher erläutert werden und die auch die Grundlage für die hier vorgeschlagene Vorgehensweise bilden.

4.4.3 Schadstoffemissionen

Aufgrund der ohnehin hohen Triebwerksleistung beim Start mit dem entsprechenden Kerosinverbrauch, ergeben sich bei unterschiedlichen Abflugverfahren nur geringe Unterschiede im Ausstoß von Schadstoffen und klimawirksamen Gasen. Aus diesem Grund erfolgt hierzu keine nähere Betrachtung in der Studie. Durch lokale Gegebenheiten oder Änderungen in der Gesetzgebung kann jedoch eine Betrachtung erforderlich werden, insbesondere wenn sich die zu untersuchenden Routenvarianten hinsichtlich ihrer Länge stark voneinander unterscheiden. In diesem Fall sind aufwendige Emissions- und Immissionsberechnungen notwendig, um valide Aussagen über die unterschiedlichen Schadstoffbelastungen der verschiedenen Flugrouten bzw. -verfahren machen zu können.

KAPITEL 5 Beurteilungsverfahren

5.1 Allgemeines

Die genaue Quantifizierung der einzelnen Kriterien und deren Darstellung ist die Basis einer objektiven Bewertung von Flugrouten und –verfahren. Sie erfolgt mit dem im Folgenden vorgestellten Modell, das in fünf Phasen untergliedert ist. Der Prozess beginnt mit der Festlegung der notwendigen Kriterien, die bei der Bewertung einbezogen werden sollen. Die Herausforderung ist dabei die eindeutige Definition der Kriterien vor dem Hintergrund einer quantitativen Darstellungsmöglichkeit. Hierbei sind einige Kriterien leicht zu quantifizieren, da sie bereits in skaliert Form vorliegen. Hierzu zählen beispielsweise die Anzahl der Flugbewegungen pro Stunde oder die Anzahl der vom Fluglärm betroffenen Personen in einem bestimmten Untersuchungsgebiet. Es gibt aber auch Kriterien, die zunächst in eine quantitative Form überführt werden müssen, wie beispielsweise die Pilotenbelastung oder der Passagierkomfort.

Die nächste Phase umfasst daher zunächst die quantitative Einteilung der in die Untersuchung einzubeziehenden Kriterien und wird in Kapitel 5.2. näher erläutert.

Sobald sämtliche Kriterien in einer zahlenmäßig erfassbaren Form vorliegen, werden sie in der dritten Phase in eine Skala von 0 bis 10 Punkten überführt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass für manche Faktoren eine umgekehrte Proportionalität besteht, wie beispielsweise bei der Betrachtung der vom Fluglärm betroffenen Personen. Je mehr Personen betroffen sind, umso geringer wird der Index auf der Skala. Bei der Festlegung der Übertragungsfunktion kann auch ein nichtlinearer Zusammenhang bestehen, der beispielsweise dem Umstand Rechnung trägt, dass bereits eine geringe Anzahl an Mehrbelasteten zu einem starken Abfall des Index' führt, während bei anderen Kriterien eine gewisse Toleranz zugestanden wird.

Nachdem für alle Einzelkriterien eine quantitative Darstellung auf einer Skala von 0 bis 10 vorliegt, werden diese nunmehr den drei Hauptkategorien Operationelles, Kapazität und Umwelt zugeordnet und innerhalb dieser Kategorien gewichtet. Im Bereich Umwelt bedeutet dies zum Beispiel, die Themen Lärm und Schadstoffemissionen untereinander abzuwägen.

Abschließend werden die drei Kategorien untereinander gewichtet, um zu einem Gesamtindex zu gelangen. Der gesamte Ablauf von der Festlegung und Quantifizierung der Kriterien bis hin zur Gewichtung ist in Abbildung 5-1 zusammenfassend dargestellt.



Abbildung 5-1: Übersicht über das Verfahren zur Beurteilung von Flugrouten und -verfahren

5.2 Quantitative Einteilung und Normierung der Kriterien

5.2.1 Allgemeines

Für die Beurteilung der Kriterien ist eine quantitative Darstellung erforderlich. Nur so ist es möglich, eine Vergleichbarkeit verschiedener Varianten herzustellen und dabei sämtliche Teilaspekte angemessen zu berücksichtigen. Dabei gibt es Kriterien, die bereits als messbare Werte vorliegen, und andere, die anhand von Skalen zunächst zu quantifizieren sind.

Weiterhin muss die Quantifizierung dahingehend unterteilt werden, ob die zu beurteilenden Werte eine absolute Darstellung erlauben, oder ob lediglich ein relativer Vergleich der untersuchten Varianten untereinander möglich ist. Diese Unterscheidung ist wichtig, um bei der Normierung der Kriterien sinnvolle Ober- und Untergrenzen der Bewertung zu definieren.

Für die Überführung in die normierte Skala gibt es dabei grundlegend zwei verschiedene Wege. Ziel ist es jeweils, die entsprechende Bewertung in eine Skala von 0 bis 10 Punkten zu überführen. Um hierbei zunächst die Extremwerte abzubilden (0 oder 10 Punkte), ist eine entsprechende Referenz zu definieren, die diesen Punkten entspricht. Dies kann einerseits derart erfolgen, dass die höchste Punktzahl dann erreicht ist, wenn zum Beispiel im Bereich der Lärmbelastung kein einziger (10 Punkte) oder alle (0 Punkte) der Flughafenanwohner vom Lärm beeinträchtigt

sind. Diese Sichtweise hat den Vorteil, dass eine absolute Aussage über die Lärmbelastung möglich ist und somit auch bessere Vergleichsmöglichkeiten gegeben sind. Nachteilig bei dieser Variante stellt sich jedoch die sehr geringe Differenzierung der zu betrachtenden Routen untereinander dar, da hierbei die Ergebnisse zumeist sehr dicht beieinander liegen. Dieser Fall ist in den beiden nachfolgenden Abbildungen als blaue gestrichelte Linie dargestellt.

Die andere mögliche Sichtweise geht davon aus, dass die untersuchte Route die Maximalpunktzahl erhält, die die geringste Lärmbelastung aufweist, während die Route mit der höchsten Belastung entsprechend 0 Punkte bekommt. Diese Sichtweise erlaubt eine sehr hohe Differenzierung der Routen untereinander. Eine absolute Aussage ist hingegen nicht möglich, da nur ein Vergleich der Routen untereinander stattfindet.

Es kann darüber hinaus bei dieser Betrachtungsweise auch eine unter Lärmaspekten absolut gesehen positiv zu bewertende Route im Vergleich mit den anderen Routen gegebenenfalls mit 0 Punkten bewertet werden könnte. Dieser Fall ist in Abbildung 5-2 f. als rot gestrichelte Linie dargestellt.

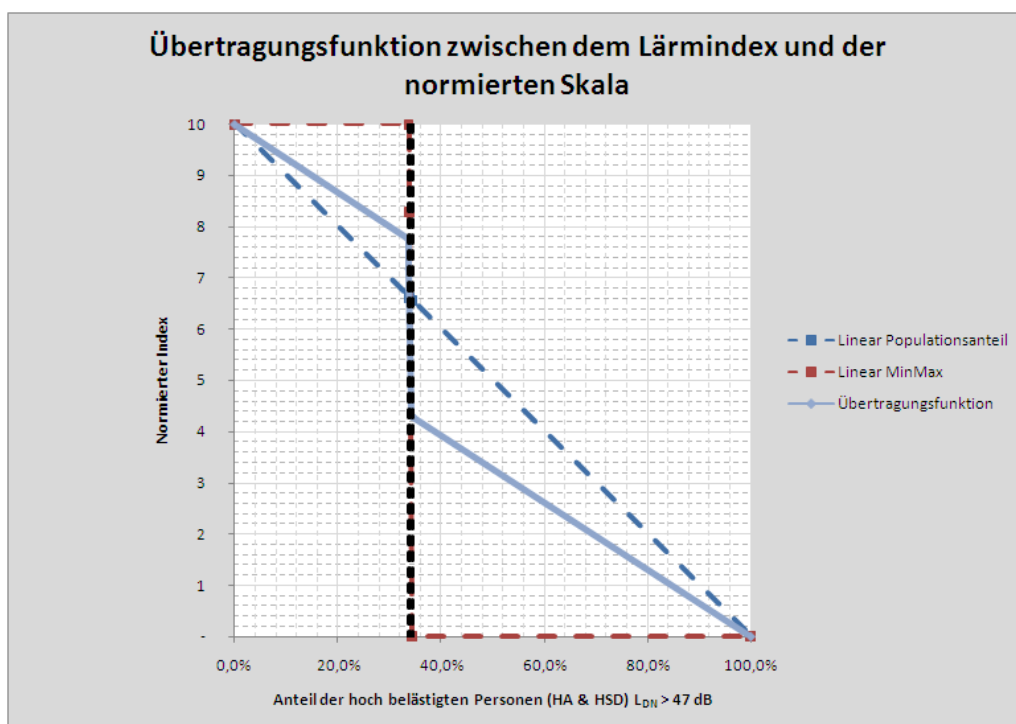


Abbildung 5-2: Übertragungsfunktion zwischen dem Lärminindex und der normierten Skala

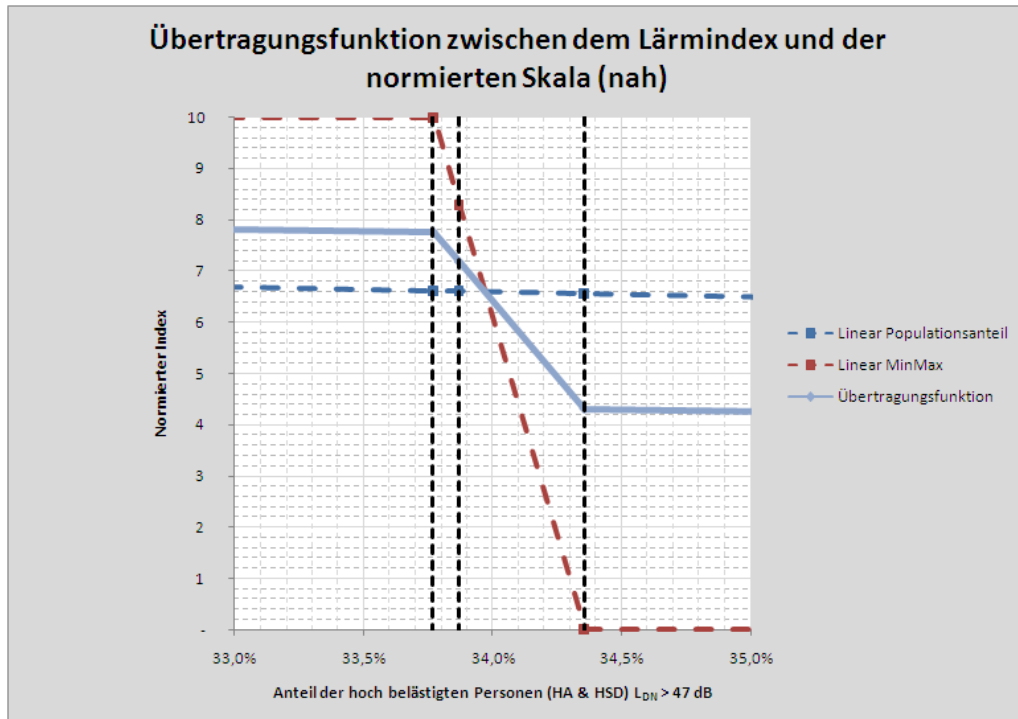


Abbildung 5-3: Übertragungsfunktion zwischen dem Lärmindex und der normierten Skala (nah)

Beide Vorgehensweisen haben somit sowohl Vor- als auch Nachteile, so dass es sich anbietet, sie miteinander zu verknüpfen. Dies geschieht, indem zunächst anhand der Berechnungsergebnisse die Grenzen der untersuchten Routen bestimmt werden, also die Variante mit der geringsten Belastung und die Variante mit der höchsten Belastung.

Diese Grenzwerte werden nunmehr für den Minimalwert überhöht und für den Maximalwert verringert, um zwischen diesen Werten eine bessere Differenzierung vornehmen zu können. Die Überhöhung des Minimalwertes erfolgt dabei um den prozentualen Wert, mit dem beispielsweise die Bevölkerung gemäß der zuvor angestellten Berechnungen betroffen ist. Im später betrachteten Beispielfall (vgl. Kapitel 6) wird also der ermittelte Wert für die lärmbezogen beste Route TAB NEU von 6,62 Punkten um den Bevölkerungsanteil von 33,77% überhöht. Für den Maximalwert der Route TAB N, der bei der linearen Betrachtung bei einem Bevölkerungsanteil von 34,35% zunächst 6,56 Punkte beträgt, erfolgt eine Verminderung um eben diesen Anteil von 34,35%, so dass sich nunmehr ein Wert von 4,32 Punkten ergibt.

Zwischen den so ermittelten Grenzwerten wird nunmehr linear interpoliert, so dass sich für die weiteren Varianten Zwischenwerte ergeben, die einen Vergleich untereinander erlauben. Dieser Fall ist in Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 als durchgezogene blaue Linie dargestellt.

Die Herausforderung bei der oben beschriebenen Vorgehensweise liegt nunmehr darin, sinnvolle absolute Werte für die Maximal-/Minimalwerte zu finden, die eine Aussage darüber ermöglichen sollen, wie gut oder schlecht jede einzelne der untersuchten Varianten ist. Diese Maximal-/Minimalwerte haben zum Teil einen theoretischen Charakter, da sie nie erreicht werden können. Diese hierauf basierenden Aussagen sind dann zunächst unabhängig von der Güte der anderen untersuchten Varianten. Erst im Anschluss kann dann untersucht werden, inwieweit sich die Routen untereinander unterscheiden, bevor die absolute und die relative Sichtweise nach oben beschriebenem Prinzip kombiniert werden.

Für das dargestellte Beispiel der Lärmbelästigung kann festgehalten werden, dass sich bezogen auf das Untersuchungsgebiet die maximal mögliche Anzahl an Belasteten als untere Grenze und der Fall, dass niemand belastet wird als obere Grenze eignen.

5.2.2 Operationelle Kriterien

Die in Kapitel 4.2 erarbeiteten operationellen Kriterien Fliegbarkeit, Piloten- und Lotsenbelastung sowie Passagierkomfort werden einzelflugbezogen für An- und Abflug betrachtet und unterschiedlich quantifiziert.

Fliegbarkeit

Für eine quantitative Beurteilung der Fliegbarkeit ist zunächst zu untersuchen, ob die Vorgaben nach PANS-OPS eingehalten werden. Es ist davon auszugehen, dass bereits bei der Konstruktion der Routenvarianten diese Vorgaben erfüllt werden. Falls dies nicht der Fall ist, werden keine Punkte vergeben, d. h. die Route wird wegen der Nicht-Fliegbarkeit ausgeschlossen.

Wenn die Voraussetzungen nach PANS-OPS erfüllt sind, ist eine Betrachtung der Nutzbarkeit für die verschiedenen am Flughafen operierenden Luftfahrzeugmuster ratsam. Wenn die Route bzw. das Flugverfahren aufgrund der Anforderungen an die Flugleistungen oder die Navigationsausrüstung nur für eine beschränkte Anzahl von Flügen nutzbar ist, so führt dies zu einem Punktabzug. Beispielsweise ist ein Anflug mit einem zu steilen Gleitwinkel von mehr als den üblichen 3,0 Grad (z.B. London City mit 5,5 Grad) nicht für alle Luftfahrzeugmuster fliegbar. Nicht zwangsläufig müssen die zu vergleichenden Flugrouten und -verfahren ähnliche Vertikalprofile aufweisen, weshalb die Fliegbarkeit von speziellen Flugzeugmustern bei einer Route nicht gegeben sein kann. Während sich also im Hinblick auf die Fliegbarkeit als untere Grenze die Kriterien der PANS-OPS anbieten, deren Nichtbeachtung zu 0 Punkten in der Bewertungsskala führt, kann als obere Grenze mit 10 Punkten der Fall betrachtet werden, in dem sämtliche am Flughafen operierenden Luftfahrzeugmuster die zu untersuchende Route unter allen Bedingungen nutzen kann.

Bei einem Punktabzug aufgrund von Einschränkungen ist zu beachten, dass die eingeschränkte Nutzbarkeit einer Route durch die Fliegbarkeit von Flugzeugmustern auch Auswirkungen auf die Kapazität haben kann.

Piloten- und Lotsenbelastung

Die Beurteilung der Piloten- und Lotsenbelastung kann auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Einerseits kann man anhand einer Beschreibung der notwendigen Handlungen deren Komplexität und Häufigkeit ermitteln. Dies lässt Rückschlüsse über die Belastung der Piloten oder Lotsen zu.

Andererseits kann die Piloten- und Lotsenbelastung mithilfe eines von der NASA (*National Aeronautic and Space Administration*) entwickelten „*Task Load Index*“ ermittelt werden. Beim NASA-TLX handelt es sich um eine multidimensionale Skala, bei der durch die Probanden (Piloten/Lotsen) Ratings auf unterschiedlichen Subskalen abgegeben werden müssen, die schließlich zu einem Gesamtwert integriert werden können. Der Gesamtpunktzahl des NASA-TLX basiert auf gewichteten Ratings bezüglich folgender Subskalen:

- geistige Anforderung,
- körperliche Anforderung,
- zeitliche Anforderung,
- Aufgabenerfüllung,
- Anstrengung und
- Frustration.

Drei der Dimensionen beziehen sich ausschließlich auf die gestellten Anforderungen an die Versuchsperson (geistige, körperliche, zeitliche Anforderung), während die übrigen die Interaktion mit der Aufgabe erfassen. Ein Beispiel für einen solchen Fragebogen befindet sich nachfolgend in Abbildung 5-4.

CODE: _____ DATUM: _____ ZEIT: _____

NASA-TLX (Task Load Index)

Auf den beiden Seiten finden Sie sechs Skalen, die verschiedene Beanspruchungsaspekte erfassen, die zu der Gesamtbeanspruchung bei der Arbeit im Flugzeug beitragen.

Bitte schätzen Sie Ihre durchschnittliche Beanspruchung während des zurückliegenden Flugabschnitts auf diesen sechs Skalen retrospektiv ein.

Geistige Anforderungen

Wie hoch waren die geistigen Anforderungen der Aufgabe?

sehr niedrigsehr hoch

Körperliche Anforderungen

Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen der Aufgabe?

sehr niedrigsehr hoch

Zeitliche Anforderungen

Wie hoch war das Tempo, mit dem die einzelnen Arbeitsschritte der Aufgabe aufeinander folgten?

sehr niedrigsehr hoch

Leistung

Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Aufgabe Ihrer Ansicht nach durchgeführt?

perfekter ErfolgMißerfolg

Anstrengung

Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um Ihre Leistung zu erreichen?

sehr wenigsehr stark

Frustration

Wie verunsichert, entmutigt, gereizt und verärgert waren Sie?

sehr wenigsehr stark

Abbildung 5-4: Fragebogen zur Arbeitsbelastung (NASA TLX) [41]

Um die Einzelkategorien zu gewichten, wird einmal ein weiterer Fragenkatalog zusätzlich vorgelegt, der den einzelnen Kategorien im Direktvergleich nach ihrer persönlichen Wichtigkeit einen Rang zuordnet (der Rang erreicht einen Wert zwischen 0 (unwichtig) und 5 (sehr wichtig)). Jede Einzelkategorie (z.B.: „Geistige Anforderungen“) führt zu einem Zahlenwert zwischen 0 und 20. Multipliziert man diesen Wert mit dem dazu gehörigen Rang und summiert die sechs Kategorien pro Fragebogen auf, so erhält man den Belastungswert für jeden Fragebogen [41]. Der Wert liegt zwischen 0 (keine Arbeitsbelastung) und 600 (sehr hohe Arbeitsbelastung).

Diese Punktzahl wird im Anschluss in die normierte Skala von 0 bis 10 überführt. Dabei führt ein Wert von 600 Punkten im NASA-TLX zu null Punkten bei der Bewertung, da bei der Beurteilung der Flugrouten und –verfahren eine möglichst geringe Arbeitsbelastung angestrebt wird. Null Punkte im NASA-TLX führen entsprechend zu vollen zehn Punkten der Bewertungsskala für die betrachtete Route oder das Flugverfahren. Zwischen diesen Werten wird linear interpoliert.

Es sollte erwähnt werden, dass sich nicht zwangsläufig die Lotsen- und Pilotenbelastung bei dem Einsatz von lärmarmen Flugverfahren ändert. Weiterhin sollte eine steigende Belastung der Beteiligten eher ein Ausschlusskriterium bzw. ein Nicht-Anwendungskriterium darstellen, da oftmals durch eine steigende Belastung die Sicherheit sinkt. Aus diesem Grund werden lärmarme Flugverfahren oftmals nur bei geringer Verkehrsbelastung durchgeführt bzw. angewendet (vgl. Flughafen München CDA-Verfahren, welche meist nur in der Nacht eingesetzt werden).

Passagierkomfort

Der Passagierkomfort als letztes der hier beispielhaft vorgestellten, einzelflugbezogenen Kriterien kann zum Beispiel durch eine Bewertung der Anzahl der auf der jeweiligen Route bzw. bei dem jeweiligen Verfahren notwendigen Lastzustandsänderungen¹⁷ erfolgen. Hierbei ist eine geeignete Übertragungsfunktion zwischen der tatsächlichen Anzahl der mit Lastzustandsänderungen verbundenen Routensegmente und der normierten Skala zu finden. Generell ist hierbei zu beachten, dass eine höhere Anzahl an Segmenten zu einer geringeren Bewertung führt.

Im Normalfall sollten bei in erster Linie sich horizontal voneinander unterscheidenden Routen der Passagierkomfort in jedem Fall gegeben sein. Dieser Aspekt kommt daher eher dann zum Tragen, wenn unterschiedliche An- oder Abflugverfahren bewertet werden sollen. Die Kriterien, die dabei jeweils zu einer möglichen Beeinträchtigung des Passagierkomforts beitragen können, sind daher im Einzelfall zu bestimmen. Generell gilt dabei, dass dem Aspekt des Passagierkomforts allein schon aufgrund der sehr subjektiven Wahrnehmung im Rahmen der Gesamtbewertung eine untergeordnete Rolle zukommen dürfte. Sollten zukünftig Verfahren entwickelt werden, die diesen Aspekt in den Vordergrund rücken, so sind gegebenenfalls hierfür Untersuchungen unter Einbeziehung von Passagieren ratsam, die dann valide Aussagen erlauben, ähnlich, wie es bei den Dosis-Wirkungs-Beziehungen im Lärmbereich praktiziert wurde. Für die vorliegende Untersuchung soll daher vereinfachen davon ausgegangen werden, dass bei „normalen“ Routenbewertungen der Passagierkomfort außer Acht gelassen werden bzw. pauschal mit 10 Punkten bewertet werden kann.

5.2.3 Kapazitätsaspekte

Nachdem für die drei einzelflugbezogenen, operationellen Kriterien eine Einteilung in der normierten Skala von 0 bis 10 vorliegt, sind die mengenbezogenen Kapazitätsaspekte zu untersuchen. Wie bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben, ist aufgrund der üblicherweise vorliegenden Abhängigkeit der zu betrachtenden Flugrouten bzw. -verfahren mit den restlichen An-

¹⁷ Beschleunigungsphasen, Abbremsphasen, Kurvenflüge

und Abflugrouten des Flughafens eine Simulation unumgänglich. Hierfür gibt es zahlreiche, kommerziell verfügbare Systeme, wie beispielsweise Simmod [45] oder TAAM (*Total Airspace & Airport Modeller*) [46]. Simmod hat den Vorteil, dass die Datengrundlage bei gleichzeitiger Analyse des Fluglärms mit dem *Integrated Noise Model* (INM) und der Schadstoffemissionen mit Hilfe des ebenfalls von der FAA entwickelten *Emissions and Dispersion Modeling Systems* (EDMS) identisch ist.

Simmod ist ein generisches Simulationsmodell, mit dem der Verkehrsablauf an einem beliebigen Flughafen simuliert werden kann. Es ist explizit auf die Simulation von luftseitigen Flughafenprozessen ausgerichtet und somit sehr gut für die Anforderungen an eine Modellierung der Detailprozesse eines Flughafens geeignet. Auch die bereits im Modell hinterlegten Daten, wie z.B. Flugleistungsdaten oder eine Rollführungsoptimierung, ermöglichen einen hohen Detaillierungsgrad. Simmod ist das durch die FAA zumeist angewandte Standard-Modell zur Bestimmung von Kapazitäten. Mit Hilfe dieses Modells ist eine Kapazitätsberechnung möglich, die die Anzahl der Flugbewegungen in einem bestimmten Zeitabschnitt, üblicherweise über eine Stunde, bei einer vorgegebenen (akzeptierten) Verspätung ergibt. Im Rahmen mehrerer Szenarien, die sich im Hinblick auf die verschiedenen zu untersuchenden Flugrouten oder –verfahren unterscheiden, kann somit für jede Variante die stündliche Kapazität ermittelt werden. Diese Kapazität entspricht der Gesamtkapazität aller Flugrouten eines Flughafens

Die Anzahl der Flugbewegungen pro Stunde, die so ermittelt wurde, kann dann wiederum in eine Skala von 0 bis 10 Punkten überführt werden. Wiederum gilt es, die Kapazitätswerte zu ermitteln, bei denen 10 Punkte bzw. null Punkte vergeben werden. Für die theoretische Untergrenze bietet es sich an, eine Kapazität von null möglichen Flugbewegungen anzusetzen. Zwar ist dieser Fall eher theoretischer Natur, dennoch eröffnet diese Betrachtung erst die Möglichkeit, absolute Aussagen zu verschiedenen Routenvarianten zu treffen. Den Gegenpol hierzu bildet die Variante, bei der in Abhängigkeit des Bahnsystems die technische Kapazität ausgeschöpft werden kann.

Diese Größe bezieht sich auf die maximale, theoretisch erreichbare Anzahl von Flugbewegungen eines Start- und Landebahn- Systems in einem definierten Zeitintervall, die man auch Grenz- oder Sättigungskapazität bezeichnet. Diese Definition setzt eine stationäre Nachfrage und optimale Betriebsbedingungen voraus, d.h. es besteht ein stetiger Zufluss im Anflug und es stehen stets Flugzeuge zum Abflug bereit. Bei dieser Betrachtung werden die in der Praxis üblichen Wartezeiten nicht berücksichtigt bzw. es wird davon ausgegangen, dass die Luftfahrzeuge immer ohne Verzögerung starten und landen können. Diese Bedingungen sind im praktischen Betrieb nicht dauerhaft zu gewährleisten, so dass die Anzahl der Flugbewegungen in der Praxis immer mit Verzögerungen verknüpft ist, insbesondere wenn eine hohe Auslastung des Start- und Landebahnsystems erzielt werden soll.

5.2.4 Umweltkriterien

5.2.4.1 Schadstoffimmissionen

Für die quantitative Darstellung der Schadstoffimmissionen sowie des CO₂-Ausstoßes ist zunächst eine Berechnung der jeweiligen Emissionen anhand eines geeigneten Modells notwendig. Hierfür eignet sich beispielsweise das EDMS der FAA, da die Datengrundlage dieselbe ist wie für die Berechnung des Fluglärms mit Hilfe des Programms INM. Hierauf aufbauend erfolgt anhand einer Verteilungsrechnung die Ermittlung der Immissionen, die schließlich als Bewertungsgrundlage dienen.

Um verschiedene Flugrouten untereinander zu vergleichen, müssen bei der Betrachtung der Schadstoffimmissionen sämtliche Routen mit in die Berechnung einbezogen werden, um die resultierende Gesamtbelastung ermitteln und diese schließlich den Grenzwerten gegenüberstellen zu können. Es ist zudem für einen sinnvollen Vergleich darauf zu achten, dass die Gesamtzahl der Flugbewegungen auf den verschiedenen Flugrouten für die Berechnungen der Immissionen gleich ist, da anderenfalls keine Vergleichbarkeit der zu untersuchenden Szenarien untereinander mehr gegeben wäre.

Das Ergebnis der Berechnungen lässt sich schließlich als Stoffmenge des jeweiligen Schadstoffs bzw. anhand des Kerosinverbrauchs darstellen. Auch hier ist für die Normierung wiederum davon auszugehen, dass für die Maximalpunktzahl von 10 Punkten der rein theoretische Wert von null Immissionen ausschlaggebend wäre, der zwar nicht erreicht werden kann, der aber eine absolute Einordnung ermöglicht. Komplizierter stellt es sich für die untere Grenze der Bewertung dar, da (ebenfalls theoretisch) beliebig hohe Immissionen denkbar wären. Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass die Immissionen in erster Linie von der Anzahl der Flugbewegungen und weniger von der Lage der An- und Abflugstrecken abhängig sind, insbesondere im Hinblick auf CO₂. Eine reine Mengenbetrachtung liefert daher keine sinnvolle Differenzierung der Routen untereinander.

Die einzige Alternative hierzu ist wiederum eine umfassende Emissions-/ Immissionsberechnung, die analog zu den Lärmrechnungen Auskunft darüber gibt, welche Gebiete und somit wie viele Menschen potentiell Schadstoffen ausgesetzt sind. Als Bemessungsgrundlage und somit als untere Grenze von null Punkten können hierfür die geltenden Grenzwerte herangezogen werden, die unter anderem in der 22. BImSchV festgehalten sind. Werden diese Grenzwerte an bestimmten Orten überschritten, so ist diese Variante abzulehnen und mit null Punkten zu bewerten.

5.2.4.2 Fluglärm

Die Ermittlung der Fluglärmbelastung der Bevölkerung im Umfeld eines Flughafens kann, neben anderen Methoden, anhand des Lärmberechnungsverfahrens des *ECAC Doc 29 (3rd Edition)* und zum Beispiel unter Verwendung der Software INM (*Integrated Noise Model*) berechnet werden. Dieses Berechnungsverfahren erlaubt eine relativ differenzierte Betrachtung alternativen Flugrouten und –verfahren. Geeignete Größen für die Beurteilung der Lärmbelastung sind der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} und/oder die Anzahl und Höhe der der Maximalpegel L_{max} . Wesentliche Unterschiede bestehen noch in der Anzahl der betrachteten Zeiträumen, sowie deren Beaufschlagung mit einem Mali für die erhöhte Störwirkung in diesem Zeitabschnitt. So gibt es die Unterscheidung zwischen Tages- und Nachtstunden im L_{DN} oder die zusätzliche Berücksichtigung der Abend- (L_{DEN}) oder der Morgenstunden, die mit unterschiedlichen Mali beaufschlagt werden (z.B. 5 dB für den Abend und 10 dB für die Nacht). Auch die Berücksichtigung von Bodenlärm oder von Reflexionen und Abschirmungen bei der Berechnung führt zu Unterschieden in den Berechnungsvorschriften. Daher bieten verschiedene, kommerziell erhältliche Programme zur Lärmberechnung zumeist eine Vielzahl von Lärmkennzahlen, die berechnet werden können.

Insbesondere jedoch bei der Beurteilung der lärmpsychologischen Aspekte, also der Lärmwirkungsforschung, besteht Diskussions- und Forschungsbedarf. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass kontinuierlich neue Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Lärmeinwirkung und den gesundheitlichen und sozialen Folgen gewonnen werden, die in entsprechende Verfahren einfließen. Grundlegende Einigkeit besteht jedoch darin, dass im Rahmen der Bewertung eine getrennte Betrachtung der Tages- und der Nachtstunden erfolgen muss, da dem Schutz der Bevölkerung vor Lärm während der Nacht eine besondere Bedeutung zukommt. Nach aktuellen Erkenntnissen ist für die Beurteilung des Lärms während der Nacht die Betrachtung der durch Fluglärm verursachten Aufwachreaktionen ein geeignetes Mittel. Strittig ist bislang jedoch inwieweit die Ergebnisse für den Tag und die Nacht in einer Gesamtbewertung miteinander verknüpft werden können. Wenngleich dies aufgrund der unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten eine Vereinfachung darstellt, so ist doch für eine abschließende Gesamtbewertung diese Verknüpfung sinnvoll. Im Hinblick auf die Nachvollziehbarkeit ist hingegen sicherzustellen, dass beide Indizes einzeln aufgeführt und somit bewertbar bleiben.

Als die derzeit am weitesten entwickelten Verfahren zur Beurteilung von Lärmwirkungen gelten der Züricher Fluglärm Index (ZFI) sowie der ähnlich gestaltete Frankfurter Lärmindex.

Nachfolgend wird der Züricher Fluglärmindex näher vorgestellt und darauf aufbauend das vorgeschlagene Bewertungsverfahren erläutert. Hierbei wird insbesondere auf die hier vorgenommenen Änderungen des ZFI eingegangen, die zu dem in dieser Studie verwendeten Index führen.

Zürcher Fluglärm-Index und seine Abwandlung

Der Zürcher Fluglärm Index (ZFI) ist eine Einzahlgröße, die sich aus der Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen (*Highly Annoyed* - HA) und der Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen (*Highly Sleep Disturbed* - HSD) zusammensetzt. Die HA werden mittels einer Dosis-Wirkungsbeziehung von Henk M.E. Miedema, die HSD über die Anzahl der durch Fluglärm induzierten zusätzlichen Aufwachreaktionen (AWR) ermittelt.

Der Zürcher Fluglärmindex ist wie folgt definiert:

$$ZFI = HA + HSD$$

Der Wert der HA-Komponente (*Highly Annoyed Day*) entspricht der Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen für einen Dauerschallpegel $Leq_{16} > 47$ dB(A). Die zugrunde liegende Dosis-Wirkungs-Beziehung (vgl. Abbildung 5-6) wurde eigentlich für einen Tag-Nacht-Pegel L_{DN} ermittelt, bei dem üblicherweise die Nachtstunden durch einen Malus von 10 dB stärker gewichtet werden. Beim ZFI wird jedoch abweichend hiervon der Leq_{16} verwendet, weil man aufgrund der in Zürich herrschenden Nachtflugbeschränkungen davon ausgeht, dass die Abweichungen gering ausfallen und somit vernachlässigbar sind. Der Leq_{16} wird hierbei für den Tag von 06 bis 22 Uhr berechnet, wobei die beiden Tagesrandstunden (06 bis 07 Uhr und 21 bis 22 Uhr) mit einem Malus von 5 dB beaufschlagt werden.

Die HSD-Komponente (*Highly Sleep Disturbed*) entspricht der Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen für einen Dauerschallpegel von $Leq_8 > 37$ dB(A). Der Index HSD wird nur für die Nacht (22 bis 06 Uhr) berechnet. Diese Vorgehensweise ist in der folgenden Abbildung nochmals schematisch zusammengefasst.

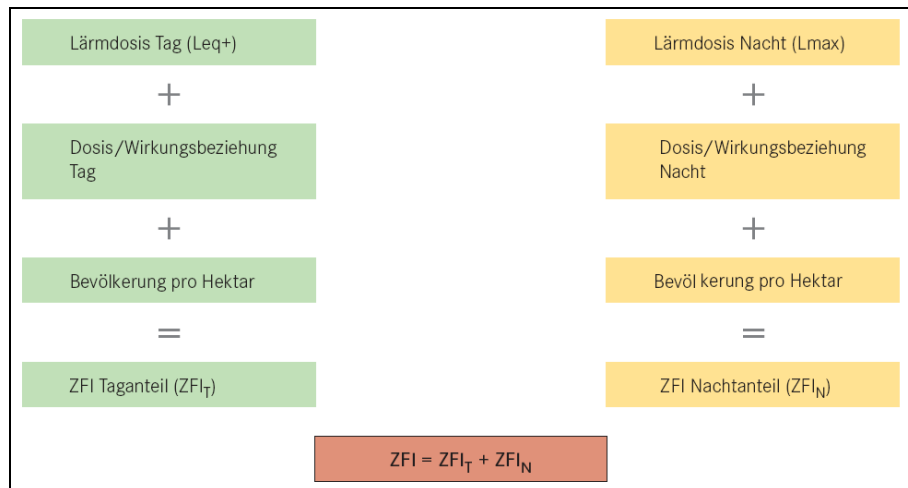


Abbildung 5-5: Übersicht zur Ermittlung des ZFI [12]

Grundlage ist demnach für die Berechnung der Lärmbelastung am Tage der 16-h-Mittelungspegel und für die Nacht die Anzahl und Höhe der A-bewertete Maximalpegel. Für diese Lärmgrößen werden zunächst Fluglärmkonturen berechnet. Auf der Basis einer Bevölkerungsverteilung wird dann die Anzahl der Einwohner innerhalb dieser Konturen bestimmt.

Anschließend werden dann anhand der Dosis-Wirkungsbeziehungen die jeweiligen Anteile der Bevölkerung ermittelt, die am Tag stark beeinträchtigt (HA) oder in der Nacht (HSD) stark im Schlaf gestört werden. Die entsprechenden Zusammenhänge basieren auf wissenschaftlichen Untersuchungen, die so zunächst nur für den Flughafen Zürich gelten. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 5-6 für den Tag und in Abbildung 5-7 für die Nacht dargestellt.

Diese Zusammenführung der beiden im Grunde unterschiedlichen Komponenten ist durchaus umstritten, weil den Berechnungen grundlegend unterschiedliche Größen zugrunde liegen, die eigentlich keine Addition erlauben. Es werden hierbei von einem Dauerschallpegel betroffene Personen am Tage mit Personen vermischt, die sich nachts stark im Schlaf gestört fühlen. Hinzu kommt, dass durch die Aufsummierung der Aufwachreaktionen eine Mehrfachzählung der nächtlichen Betroffenen möglich ist, so dass die im Resultat ermittelten Personenzahlen nur sehr schwer zu interpretieren sind.

Auf der anderen Seite ist es sinnvoll, für eine Gesamtbetrachtung zu einem ausschlaggebenden Gütewert zu gelangen, der die Grundlage für die Empfehlung einer Route bzw. eines Verfahrens ermöglicht. Aus diesem Grund ist eine Vermischung der Komponenten „Betroffene am Tag“ und „Aufwachreaktionen in der Nacht“ für eine Gesamtbetrachtung als etabliertes Verfahren anerkannt und wurde daher auch hier so praktiziert. Durch die transparente Darstellung der Zwischenergebnisse ist gewährleistet, dass Informationen über die Herkunft der Ergebnisse

erhalten bleiben. Aus diesem Grund soll im Rahmen der vorliegenden Studie an der Addition der beiden Lärmkomponenten festgehalten werden.

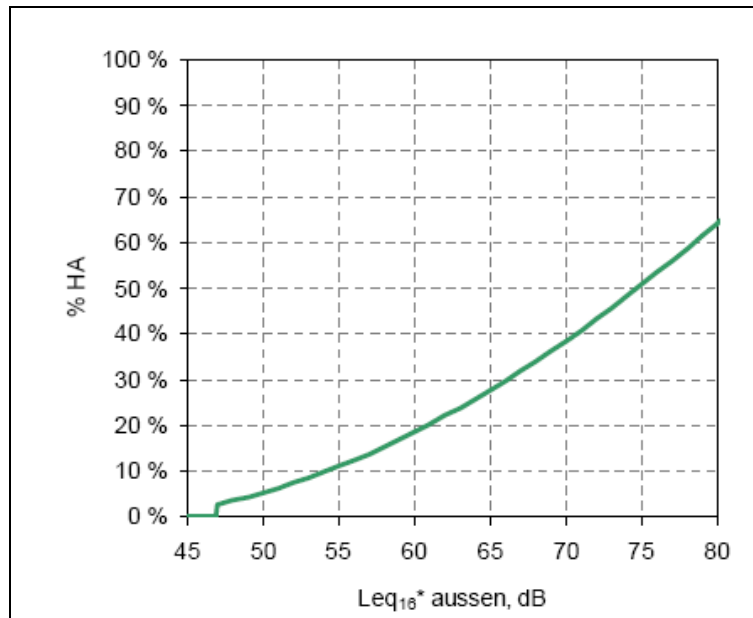


Abbildung 5-6: Dosis-Wirkungsbeziehung zur Bestimmung des Prozentsatzes für starke Belästigung %HA

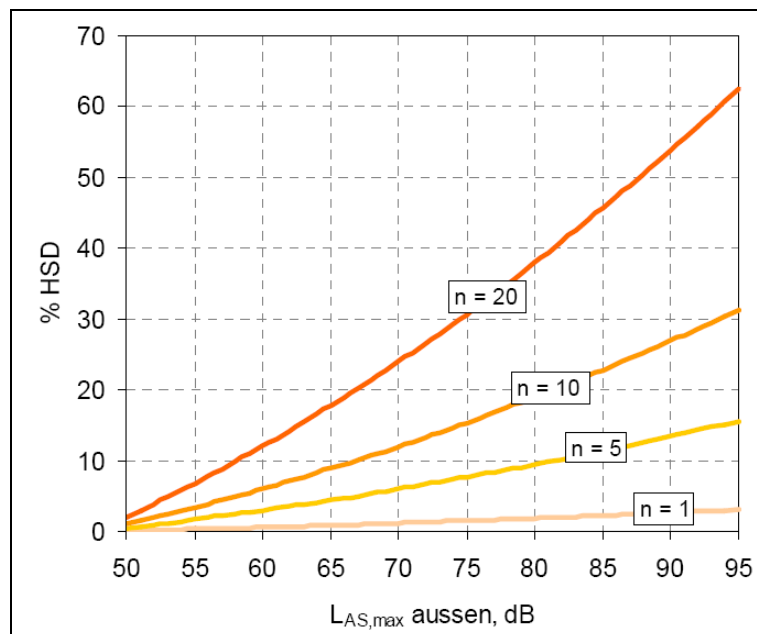


Abbildung 5-7: Dosis-Wirkungsbeziehung zur Bestimmung des %HSD für einen, fünf, zehn und zwanzig Überflüge

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte der Ermittlung des in dieser Studie verwendeten Fluglärmindex näher erläutert. Ausgangspunkt für die Bestimmung des HA-Anteils ist abweichend vom ZFI zunächst die Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels für einen 24h-Tag unter gesonderter Bewertung der „gesetzlichen Nacht“ (8 bis 22 Uhr) und der Morgenstunden von 6 bis 7 Uhr. Dies erfolgt nach folgender Gleichung:

$$L_{DN} = 10 \cdot \lg \left(\frac{15}{24} \cdot 10^{0.1 \cdot L_{day}} + \frac{9}{24} \cdot 10^{0.1 \cdot (L_{night} + 10)} \right)$$

Hierbei sind	L_{DN}	Day-Night-Level
	L_{day}	A-bewerteter 15h-Mittelungspegel während der Tageszeit (07 bis 22 Uhr)
	L_{night}	A-bewerteter 9h-Mittelungspegel während der Nachtzeit (22 bis 07 Uhr)

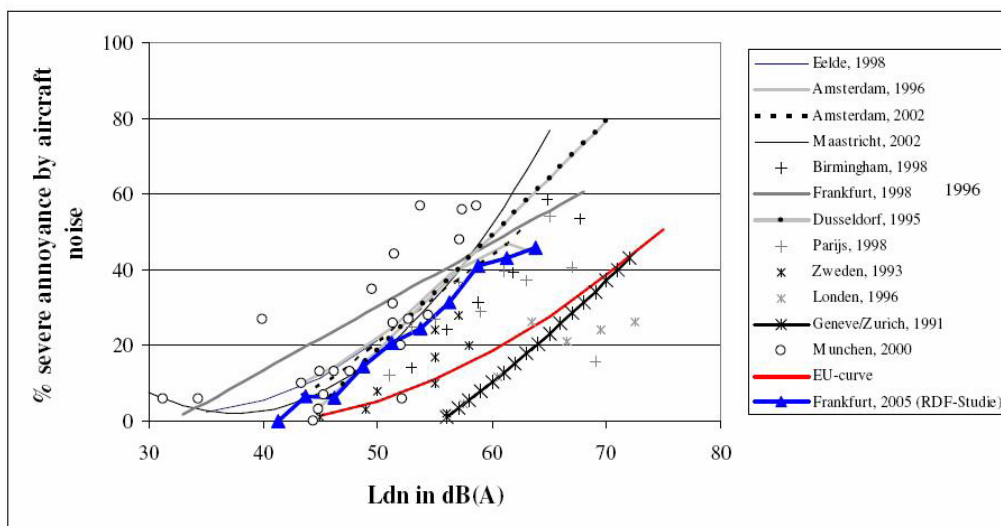
Eine Unterscheidung der einzelnen Zeitscheiben unter zusätzlicher Berücksichtigung der Tages-/Nacht-Randzeiten wird hierbei nicht vorgenommen, um die Dosis-Wirkungs-Beziehung auf der Grundlage des L_{DN} anwenden zu können. Abweichend hiervon kann es sinnvoll sein, die Abend- oder Tagesrandstunden als besonders lärmsensible Zeiten mit einem Malus von 5 dB zu beaufschlagen und somit einen L_{DEN} zugrunde zu legen. Hierfür wären allerdings zusätzliche Untersuchungen notwendig, die die Übertragbarkeit der Dosis-Wirkungs-Kurven bestätigen, die sich im Regelfall auf L_{DN} -Werte beziehen. Hierin liegt somit eine der erwähnten Abweichungen der vorgeschlagenen Vorgehensweise zum Züricher Fluglärm-Index.

In einem weiteren Schritt wird für jeden sogenannten Hektarpunkt, also für ein Raster von Gebieten mit der Kantenlänge 100 x 100 Metern, jeweils der Anteil der Hochbelasteten (%HA) ermittelt, wobei für Zürich die in Abbildung 5-6 dargestellte Dosis-Wirkungs-Kurve zur Anwendung kommt, obwohl diese eigentlich den Zusammenhang zwischen Tag-Nacht-Pegel L_{DN} und %HA beschreibt. Dieser stimmt zwar gemäß Vergleichsrechnungen (vgl. Berechnungsvorschriften Züricher Fluglärm Index) im Mittel praktisch mit dem L_{DN} überein, allerdings kann die Dosis-Wirkungs-Beziehung ohnehin lokal sehr unterschiedlich ausfallen, so dass auch hier gegebenenfalls eine Abweichung zum Züricher Vorgehen möglich oder gar ratsam ist. Abbildung 5-8 zeigt verschiedene Kurven, die den Zusammenhang von %HA und L_{DN} ebenfalls beschreiben. Im Rahmen dieser Studie wird aufgrund des später dargestellten Fallbeispiels in Anlehnung an

den Flughafen Frankfurt die entsprechende Kurve für den Flughafen Frankfurt für das Jahr 2005 gewählt. Diese Kurve kann nach [43] durch eine lineare Gleichung angenähert werden:

$$\%HA = 2,18 \cdot L_{DN} [dB] - 91$$

Durch das lokal und regional sehr unterschiedlichen Lärmempfinden müsste für jede Untersuchung der Flugrouten und Verfahren eine neue Dosis-Wirkungs-Beziehung aufgestellt werden, die insbesondere auch den entsprechenden Regelungen des Nachfluges Rechnung trägt.



Quelle: van Kempen, und van Kamp (2005, S. 25, Fig 3b; ergänzt um Daten der RDF-Studie).
Die aus dem Original stammende niederländische Schreibweise der in der Legende aufgeführten Orte wurde hier beibehalten.

Abbildung 5-8: Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen L_{DN} und %HA für verschiedene Flughäfen [44]

Durch die Anwendung der Dosis-Wirkungs-Beziehung erhält man für jede der untersuchten Rasterzellen den Anteil bzw. die Anzahl der durch Fluglärm stark Belästigten. Durch eine Integration (Aufsummierung der Raster) ergibt sich schließlich die Gesamtzahl der stark belästigten Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Dabei werden gemäß dem ZFI ausschließlich Personen berücksichtigt, die einem Leq_{16} von mehr als 47 dB ausgesetzt sind.

Für die Betrachtung der Nachtstunden zwischen 22 und 6 Uhr sind zunächst die Maximalpegel L_{ASmax} mit einem Lärmberechnungsprogramm zu bestimmen. Anhand des in Abbildung 5-7 dargestellten Zusammenhangs zwischen der Anzahl und Höhe der Maximalpegel und dem Anteil der stark Schlafgestörten lässt sich dann dieser Anteil für die jeweilige Rasterzelle ermitteln. Erneut wird durch eine Aufsummierung über sämtliche Rasterzellen die Gesamtzahl der Schlafgestörten bestimmt. Die Gleichung, die der Abbildung 5-7 zugrunde liegt, lautet:

$$\%HSD_i = GsS \cdot AWR_i = 26 \cdot AWR_i \quad \text{für } Leq_{8,i} \geq 37dB$$

$$\%HSD_i = 0 \quad \text{für } Leq_{8,i} < 37dB$$

Der Faktor GsS ist ein Gewichtungsfaktor für starke Schlafstörungen. Er besagt, dass eine zusätzliche Aufwachreaktion 26% HSD entspricht.

Der zweite Faktor der Gleichung, AWR_i , bezeichnet die Anzahl der zusätzlichen Aufwachreaktionen, die sich nach folgender Gleichung ergibt:

$$AWR_i = \sum_j AWR_{ij} = \sum_j n_j \cdot \int H_{ij}(L_{AS,max} + D) \cdot P_{AWR,ij}(L_{AS,max} + D) dL_{AS,max}$$

AWR_i	Anzahl durch den Fluglärm induzierte zusätzliche Aufwachreaktionen am Hektarpunkt i.
j	Index für den Flugzeugtyp.
n_j	Anzahl Bewegungen des Flugzeugtyps j.
H_{ij}	Häufigkeitsverteilung der Maximalpegel des Flugzeugtyps j am Hektarpunkt i.
$L_{AS,max,j}$	A-bewerteter Maximalpegel des Flugzeugtyps j am Hektarpunkt i.
D	Einfügungsdämpfung für den Übergang vom Aussen- zum Innenpegel. Für gekipptes Fenster rund -15 dB
$P_{AWR,ij}$	Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufwachreaktion durch ein Fluggeräusch des Flugzeugtyps j am Immissionsort i

Die Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufwachreaktion durch Fluglärmereignisse wird durch folgende Gleichung bestimmt:

$$P_{AWR,ij}(L_{AS,max} + D) = 1.894 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{AS,max,j} + D)^2 + 4.008 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{AS,max,j} + D) - 3.3243 \cdot 10^{-2}$$

Möchte man nun beispielsweise die Frage beantworten, wie hoch der Anteil der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet (%HSD) ist, der von (fluglärminduzierten, zusätzlichen) Aufwachreaktionen AWR bei einem Maximalpegel (außen) von beispielsweise 65 dB betroffen ist, wenn dieser Pegel pro Nacht fünfmal auftritt, so kann man anhand der Abbildung 5-7 ablesen, dass dies ca. 10 Prozent betrifft. Hierbei ist zu beachten, dass die Dämpfung (allgemein üblich ist die Annahmen -15dB bei einem angekippten Fenster) von dem Außenschallpegel abgezogen wird.

Für Berechnung der lärmphysikalischen Größen wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung das Programm INM verwendet. Dieses weltweit benutzte Programm basiert auf dem Berechnungsalgorithmus gemäß ECAC Doc 29 (3rd Edition) und eignet sich zur Beurteilung von alternativen Flugrouten und -verfahren. Das Programm ermöglicht die Eingabe spezieller Flugprofile für einzelne Flugzeugtypen beziehungsweise Flugzeugklassen. Im INM können beliebige An- und Abflugverfahren modelliert werden, wie Abbildung 5-9 beispielhaft zeigt.

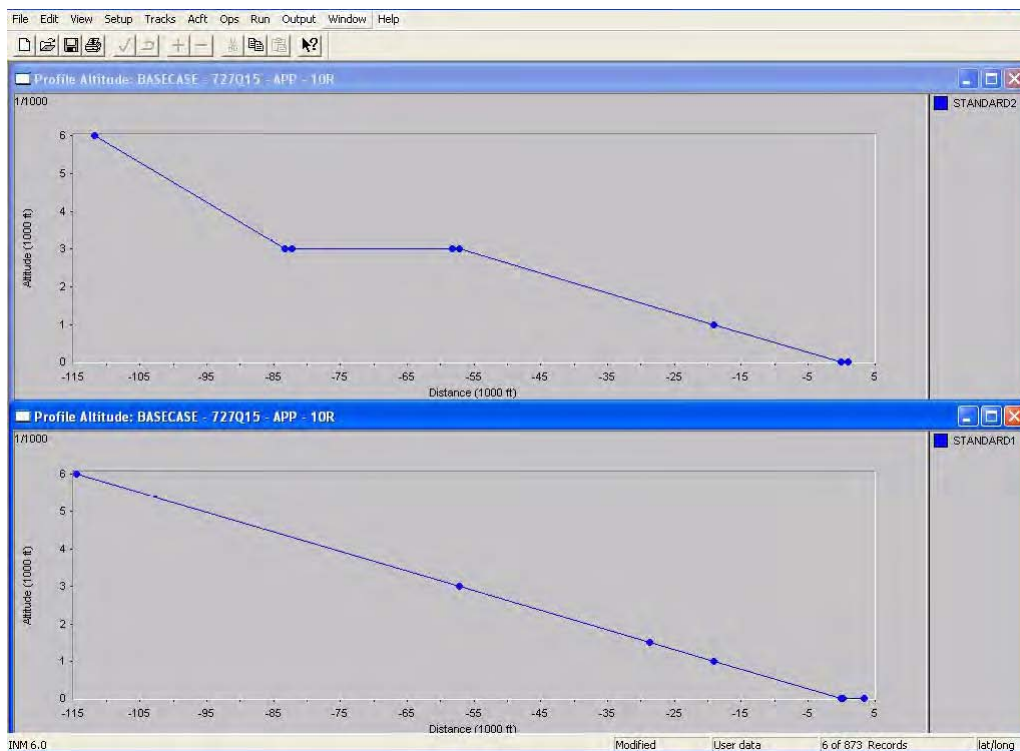


Abbildung 5-9: Beispielhafte Darstellung zweier Anflugprofile in INM 7.0

Die mit INM ermittelten Fluglärmkonturen für verschiedene Lärmkennzahlen, also den äquivalenten Dauerschallpegel für die Tagesbewertung und den Maximalpegel für die Nacht, können dann mit der Personenzahl im entsprechenden Rasterpunkt verschnitten werden. Anschließend wird anhand der oben beschriebenen Dosis-Wirkungs-Beziehungen der jeweilige Anteil der stark Belasteten bzw. der stark Schlafgestörten bestimmt.

Im Ergebnis erhält man schließlich für jede der untersuchten Routen(-varianten) die Anzahl der vom Fluglärm innerhalb der Lärmkontur stark belästigten oder stark schlafgestörten Personen. Durch die Addition dieser absoluten Zahlen der Betroffenen (HA am Tage und HSD in der Nacht) lässt sich dann in einem weiteren Schritt die Güte einer Flugroute bzw. eines Verfahrens im Gesamtkontext aller Flugrouten und -verfahren anhand der normierten Skala von 0 bis 10 darstellen. Dabei erhält die Variante mit der geringsten Belastung die tendenziell höhere Punktzahl. Als untere Grenze zählt der theoretische Fall, dass alle im Untersuchungsgebiet wohnhaften Menschen betroffen wären, während der wohl ebenfalls theoretische Fall, dass niemand von Fluglärm belästigt wird, die obere Bewertungsgrenze darstellt. Auch wenn diese beiden Grenzen nie erreicht werden dürften, ermöglicht diese Betrachtungsweise jedoch wiederum eine absolute Aussage über die Güte der untersuchten Route im Hinblick auf Lärm Aspekte. Hierbei ist anzumerken, dass die Abgrenzung des Untersuchungsgebiets eine weitere Schwierigkeit darstellt. Hier wird empfohlen, die räumliche Abgrenzung so zu wählen, dass sämtliche potentiell zu untersuchenden Routen innerhalb dieses Untersuchungsraumes liegen würden.

Entscheidend bei den Lärmberechnungen ist, dass diese für den gesamten Flughafen und nicht nur für die jeweils zu untersuchenden Routen(alternativen) durchzuführen sind. Hintergrund dieser Forderung ist, dass für eine absolute Aussage über die zu erwartende Lärmbelastung der Bevölkerung auch der Lärm einzubeziehen ist, der sich aufgrund von Flugbewegungen ergibt, die andere als die zu untersuchenden Flugstrecken befliegen. Nur durch die (logarithmische) Addition des aus allen Bewegungen resultierenden Lärms lässt sich eine valide Aussage zu der zu erwartenden Lärmbelastung treffen. Wenngleich bei dieser Betrachtungsweise der relative Unterschied zwischen den untersuchten Routen kleiner ausfallen wird als bei einem ausschließlich direkten Vergleich, so kann dieser Unterschied dennoch im Nachhinein auch anhand der absoluten Belastetenzahlen innerhalb der einzelnen Konturen darstellen.

5.3 Zusammenfassung der Einzelkriterien

Die zuvor ermittelten Einzelkriterien werden innerhalb der verschiedenen Kategorien zusammengefasst, um insgesamt für jeden der drei Bereiche Operationelles, Kapazität und Umwelt einen einzelnen Gütewert für jede der untersuchten Routen oder Flugverfahren zu erhalten. Durch diese Abgrenzung können später mögliche Zielkonflikte transparenter dargestellt und im Rahmen einer Gesamtbetrachtung abschließend bewertet werden.

Diese Gesamtbewertung erfolgt ebenfalls anhand eines normierten Index. Dieser Index kann für jeden der drei Bereiche Werte von null Punkten (für ungünstige operationelle Bedingungen, hohe Umweltbelastung und geringe Kapazität) bis hin zu 10 Punkten (für entsprechend beste Bedingungen) annehmen. Durch die Einführung eines solchen Index ist auch ein Vergleich verschiedener Flughäfen untereinander möglich, solange die Bewertung nach dem gleichen Verfahren erfolgt (normierte/absolute Bewertung, gleiche Kriterien, etc.).

5.4 Gewichtung der Kriterien

Als ganz wesentlicher Punkt erfolgt abschließend eine Gewichtung der drei Kategorien Operationelles, Kapazität und Umwelt untereinander, was schließlich zu einem „Flugroutenbewertungsindex“ (FBI) führt. Diese Gewichtung ist ebenfalls variabel zu gestalten, um lokale Besonderheiten bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

Der Grundgedanke der Gewichtung ist die Darstellung der drei Teilaspekte der Bewertung in einem dreidimensionalen Raum, wie Abbildung 5-10 zeigt. Durch Multiplikation der drei Faktoren miteinander entsteht somit ein Quader, dessen Volumen ein Maß für die Güte der betrachteten Strecke ist. Ist beispielsweise eine Dimension gleich Null (Ausschlusskriterium), so würde diese Flugroute bzw. dieses Flugverfahren bei der Bewertung durchfallen, da das Volumen

gleich Null wäre. Der dargestellte Fall geht zunächst davon aus, dass alle drei Teilaspekte gleichermaßen in die Bewertung eingehen, also dass noch keine Gewichtung zugunsten eines Teilaspekts erfolgt ist.

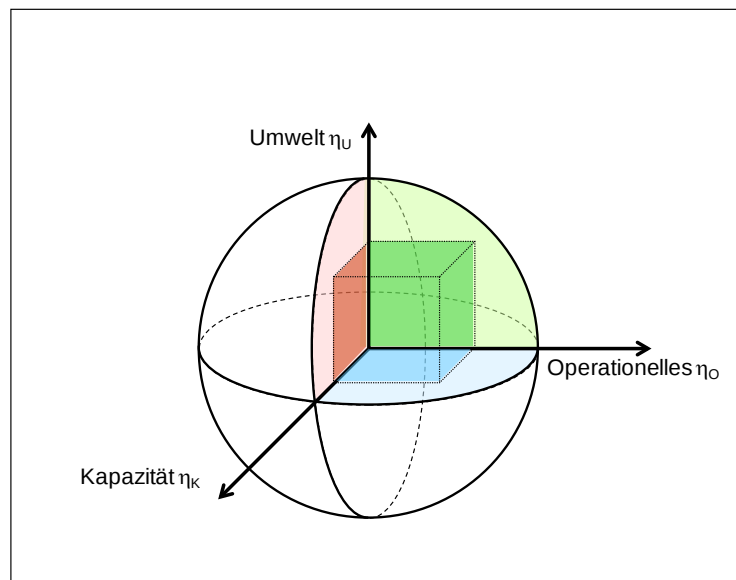


Abbildung 5-10: Darstellung der Gewichtungsfaktoren

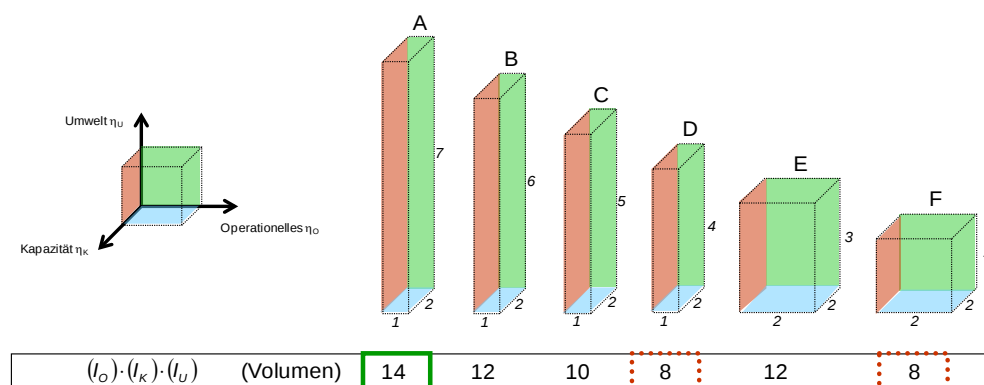


Abbildung 5-11: Beispielhafte Gewichtung der Kriterien

Um lokale Anforderungen bei der Bewertung zu berücksichtigen (z.B. besonders lärmsensible Gebiete oder erhebliche Kapazitätsprobleme des Flughafens), ist eine Gewichtung der Faktoren untereinander notwendig. Maßgaben bei der Gestaltung des FBI waren die Transparenz der Vorgehensweise sowie die Forderung nach konstanten Substitutionselastizitäten. Die Substitutionselastizität gibt an, inwieweit sich die Eingangsgrößen bei konstantem Endergebnis gegeneinander ersetzen lassen, also inwieweit die relative Änderung eines Einzelindex um x% durch

eine relative Änderung eines anderen Einzelindex um $y\%$ ausgeglichen werden kann. Beispielsweise führt die Erhöhung des Index I_n um $x\%$ zu einer Erhöhung des FBI um $\eta_n \cdot x\%$. Erst wenn alle Einzelindizes jeweils um 1% erhöht werden, erhöht sich der FBI ebenfalls um 1% . Die Gleichung, die diese Bedingungen erfüllt, lautet wie folgt:

$$FBI = (I_O)^{(\eta_O)} \cdot (I_K)^{(\eta_K)} \cdot (I_U)^{(\eta_U)} \quad \text{mit } (\eta_O) + (\eta_K) + (\eta_U) = 1$$

Zunächst werden demnach die drei Teilbereiche im Sinne eines Quadervolumens mit einander multipliziert. Zusätzlich, um eine entsprechende Gewichtung vorzunehmen, wird jedem der drei Bereiche ein Gewichtungs-„Faktor“ zugeordnet, der als Exponent in die Bewertung eingeht. Die Summe aller drei Gewichtungs-Exponenten muss immer 1 ergeben, um die Forderung nach konstanten Substitutionselastizitäten zu erfüllen. Wenn also ein Exponent steigt, muss mindestens ein anderer einen geringeren Wert annehmen.

Schließlich erhält man mit dieser Vorgehensweise einen Bewertungsindex, dessen Höhe über die Qualität der jeweiligen Flugroute oder des -verfahrens Auskunft gibt. Die Route oder das Verfahren mit dem größten FBI wird schließlich zu Umsetzung empfohlen.

KAPITEL 6 Exemplarische Anwendung

6.1 Allgemeines

Die Vorgehensweise in dieser Studie entwickelten Beurteilungsverfahren für Flugrouten und – verfahren soll im Folgenden anhand eines praktischen Beispiels illustriert werden. Für das Anwendungsbeispiel anhand einer Flugstreckendiskussion zum Ausbau des Verkehrsflughafen Frankfurt/M kann eine umfangreiche Datenlage genutzt werden. Durch vorgenommene Vereinfachungen sind die hier dargestellten Ergebnisse jedoch nicht mit den offiziellen Ergebnissen vergleichbar, sie dienen vielmehr ausschließlich der Demonstration des Beurteilungsverfahrens. Die für den Vergleich herangezogenen Routen wurden danach ausgewählt, das Vorgehen möglichst anschaulich darzustellen. Insgesamt werden drei verschiedene Abflugrouten in Richtung Norden über TABUM miteinander verglichen: TAB N, TAB G1 sowie TAB NEU (s. Abbildung 6-1).

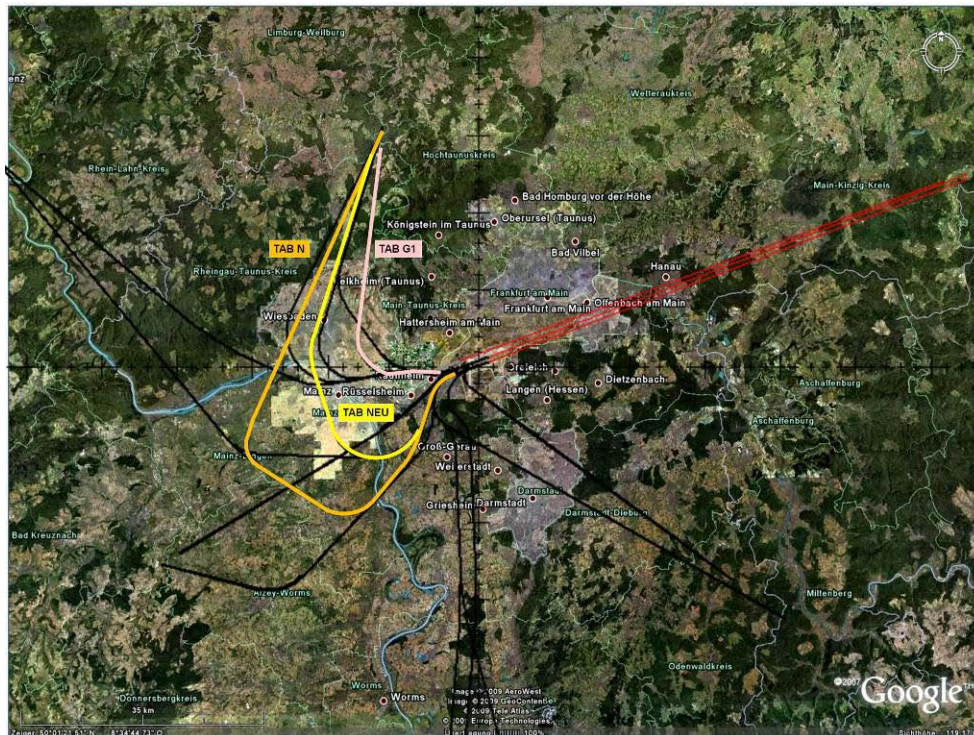


Abbildung 6-1: Darstellung der beispielhaft untersuchten Routenvarianten

6.2 Anwendung des Kriterienkatalogs

6.2.1 Allgemeine Hinweise

Wie in Kapitel 4 beschrieben, kann für die Bewertung ein jeweils an die lokalen Gegebenheiten angepasstes Gerüst an Kriterien ausgewählt werden, weshalb die Einbeziehung der hier vorgestellten Kriterien nur exemplarisch ist. Für den jeweiligen konkreten Anwendungsfall können Kriterien entfallen oder hinzugefügt werden.

Im Beispiel kommt ein lokal angepasstes Gerüst von Kriterien zum Einsatz, welches die Situation am Flughafen Frankfurt/M. exemplarisch beschreibt. Die Festlegung der Kriterien und deren spätere Gewichtung müssen aus einem umfassenden Abstimmungsprozess hervorgehen, bei dem Flugsicherung, Flughafen, Fluggesellschaften, Gemeinden und Verbände zusammenarbeiten. Die Aufstellung des Kriterienkatalogs ist ausschlaggebend, um alle Interessen so wie möglich zu berücksichtigen. Dazu wurden im vorliegenden Fall die Fliegbarkeit, die Piloten- und Lotsenbelastung und der Passagierkomfort auf der Seite der operationellen Kriterien ausgewählt. Bei der Kapazität erfolgt keine weitere Unterscheidung hinsichtlich weiterer Unterkriterien. Bei der Umweltkomponente wird zwischen der Schadstoffbelastung und der Fluglärmemissionen (schwerpunktmäßig) unterschieden.

Da die betrachteten Flugrouten gemäß PANS-OPS erstellt wurden, kommt die Flugsicherheit als Ausschlusskriterium nicht zum Tragen.

6.2.2 Operationelle Kriterien

Fliegbarkeit

Die Fliegbarkeit wird für alle hier untersuchten Routenvarianten unterstellt, da sämtliche Routen nach den Planfeststellungsunterlagen als mögliche Varianten den Vorgaben gemäß PANS-OPS entsprechen.

Aus den im Rahmen der Bewertung für die TABUM-Routen seitens der DFS durchgeführten Untersuchungen ist ersichtlich, dass beispielsweise für Routenvarianten, die noch weiter östlich als die hier dargestellte TAB G1 Route bzw. die durch die DFS ebenfalls untersuchten Foxtrott-Varianten der TABUM-Routen liegen, Einschränkungen hinsichtlich der Vereinbarkeit mit dem Flugroutensystem bestehen bzw. für eine Variante ein zu hoher Steiggradient vorlagen. Diese Variationen würden bei einer Bewertung entsprechend durchfallen bzw. eine geringere Punktzahl erhalten.

Für die drei hier betrachteten Flugrouten bestehen hingegen keine Unterschiede hinsichtlich der Fliegbarkeit, so dass alle drei Routen die volle Anzahl von 10 Punkten erhalten (siehe Tabelle 6-1).

Route	Beschreibung	Punktzahl [0-10]
TAB G1	Keine Einschränkungen in der Fliegbarkeit	10
TAB NEU	Keine Einschränkungen in der Fliegbarkeit	10
TAB N	Keine Einschränkungen in der Fliegbarkeit	10

Tabelle 6-1: Bewertungsbeispiel Fliegbarkeit

Piloten- und Lotsenbelastung

Hinsichtlich der Pilotenbelastung soll stark vereinfacht angenommen werden, dass die Komplexität der Flugroute durch die Anzahl der Kurven repräsentiert wird. Bei allen drei Routen sind bis zum Wegpunkt TABUM jeweils vier Richtungsänderungen notwendig, was zu einer identischen Bewertung führen würde. Für eine differenziertere Bewertung wird deshalb zusätzlich die Abfolge der Handlungen betrachtet. Zwei der hier untersuchten Routen (TAB N und TAB G1) sind in Abbildung 6-3 als Auszug aus dem AIP-Deutschland dargestellt, die jeweilige Beschreibung der

Routen ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Für die hier untersuchte Route TAB NEU gibt es bislang keine veröffentlichten Karten.

MARUN 1N	MARUN ONE NOVEMBER On RWY track to 4.5 DME FFM or 800, whichever is later; LT (MAX IAS 220 KT until established on track 184°), on track 184° to intercept R223 FFM; on R223 FFM to 14.0 DME FFM; RT, on R302 RID to 16.0 DME RID; RT, on track 023° to TABUM; LT, on track 018° to LIKS; LT, on track 016° via LORPA to MARUN (Δ). GPS/FMS RNAV: [A800-] - DF134 (25R)(L) / DF135 (25L)(L) - DF162 (25R)(K220-) / DF165 (25L)(K220-) - DF166(R) - DF164(R) - DF161(R) - TABUM(L) - LIKS(L) - LORPA - MARUN.			After 16.0 DME RID BRNAV equipment necessary.
MARUN 1G	MARUN ONE GOLF On RWY track to 5.0 DME FFM or 800, whichever is later; RT MT 276° (RWY 25L; MT 279°) on R259 FFM to 3500; RT to TAU, but not before reaching R259 FFM; when passing 4400; RT to TABUM; on track 018° to LIKS; LT, on track 016° via LORPA to MARUN (Δ).		Langen Radar 120.150°	After 4400 BRNAV equipment necessary.

Abbildung 6-2: Beschreibung der SIDs für Frankfurt im AIP-Deutschland

Wie aus der Flugroutenbeschreibung ersichtlich, dürfen die Routen TAB N und TAB G1 nur von Luftfahrzeugen benutzt werden, die über eine Flächennavigationsausrüstung (RNAV) verfügen. Zudem sind sie ähnlich komplex gestaltet, so dass sie unter diesen Aspekten ungefähr gleichwertig sind. Unterschiede bestehen höchstens in der Zeitkomponente, da sich die erforderlichen Steuereingaben bei der G-Variante (TAB G1) im Vergleich zur N-Variante (TAB N) in wesentlich dichter Abfolge abspielen. Zudem ist die RNAV-Fähigkeit bei der N-Variante erst viel später erforderlich als bei der G-Variante, was ebenfalls ein Indikator für die höhere Komplexität der G-Variante ist. Die Route TAB NEU liegt zwischen den beiden vorab genannten Routen und dürfte somit auch in der Komplexität und der Pilotenbelastung entsprechen bewertet werden.

Bezüglich der Lotsenbelastung lässt sich kein direkter Unterschied zwischen den drei Flugrouten erkennen. Es sei aber erwähnt, dass bei der Beurteilung der TABUM-Routen durch die DFS seinerzeit festgestellt wurde, dass eine der vorgeschlagenen Varianten aufgrund einer befürchteten Verwechslungsgefahr ausgeschlossen wurde.

Die vorstehenden Betrachtungen zeigen, dass sich die Flugrouten hinsichtlich der Pilotenbelastung geringfügig unterscheiden, so dass hierfür unterschiedliche Punktzahlen vergeben wurden (s. Tabelle 6-2). In Ermangelung von entsprechenden Zahlen, die sich aus einer Belastungs-/Beanspruchungsuntersuchung (z.B. NASA-TLX) ergeben, werden für dieses Beispiel lediglich Annahmen bezüglich einer möglichen Bewertung getroffen.

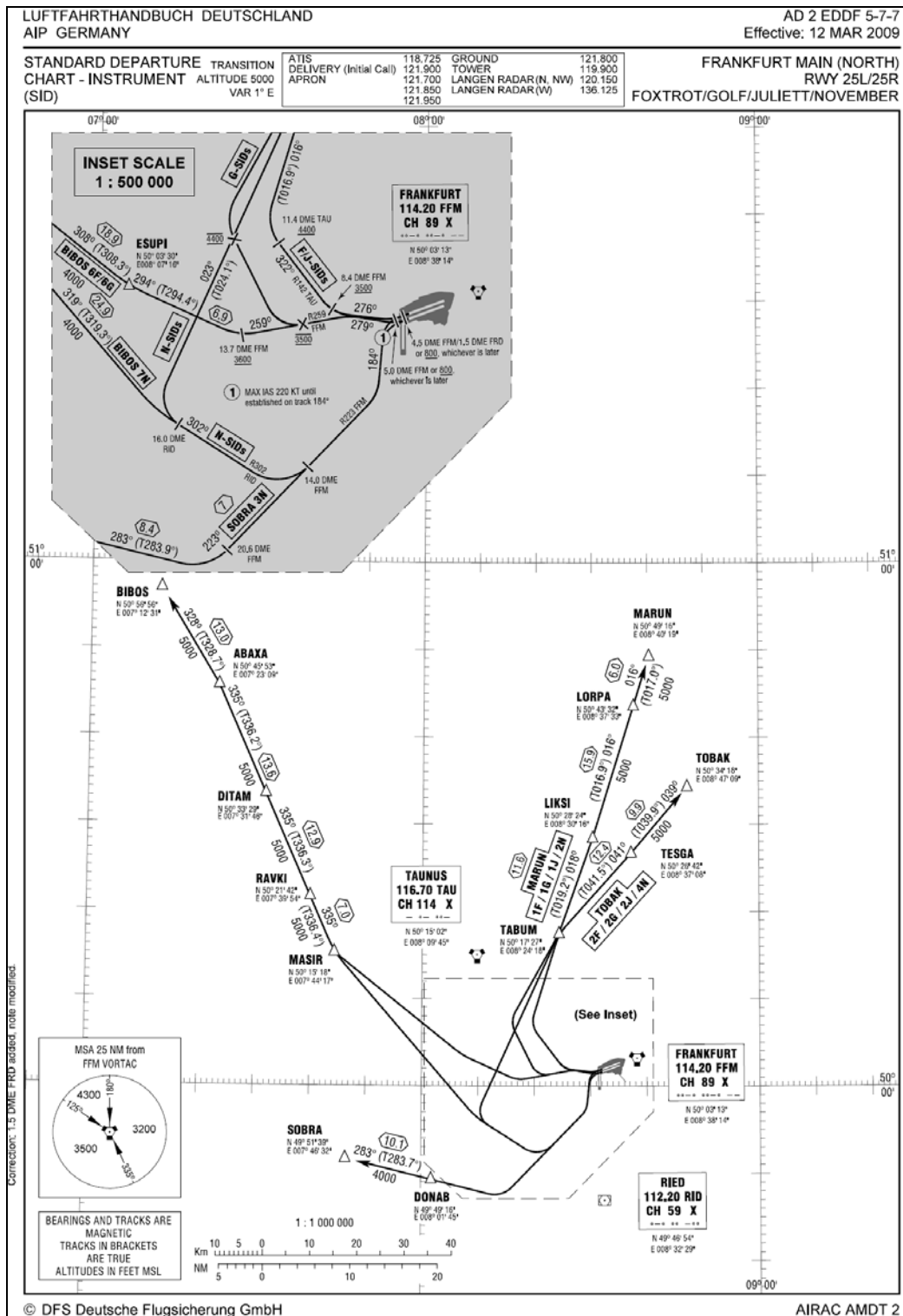


Abbildung 6-3: Auszug aus dem AIP-Deutschland der Abflugrouten von Frankfurt (SID)

Route	Beschreibung	Punktzahl [0-10]
TAB G1	Aufgrund der schnellen Abfolge der notwendigen Steuereingaben Punktabzug bei der Pilotenbelastung	6
TAB NEU	Mittlere Pilotenbelastung	7
TAB N	Im direkten Vergleich der Varianten die günstigste Route, deren Komplexität aber dennoch zu einem Punktabzug führt	8

Tabelle 6-2: Bewertungsbeispiel Piloten- und Lotsenbelastung

Passagierkomfort

Der Passagierkomfort der jeweiligen Abflugrouten lässt sich nicht nachvollziehbar unterscheiden, da dieser Bereich eher bei der Unterscheidung von Vertikalprofilen zum Tragen kommt. Aus diesem Grund werden alle drei Routen in diesem Beispiel mit 10 Punkten bewertet.

Route	Beschreibung	Punktzahl [0-10]
TAB G1	Keine erkennbaren Einschränkungen im Passagierkomfort	10
TAB NEU	Keine erkennbaren Einschränkungen im Passagierkomfort	10
TAB N	Keine erkennbaren Einschränkungen im Passagierkomfort	10

Tabelle 6-3: Bewertungsbeispiel Passagierkomfort

6.2.3 Kapazität

Zur Beurteilung der Kapazität wäre, wie in Kapitel 4 beschrieben, für eine valide Aussage eine aufwändige Berechnung der Gesamtkapazität des Routensystems notwendig. Dies könnte zum Beispiel durch eine Simulation erfolgen. Da dies jedoch nicht im Rahmen der vorliegenden Untersuchung geleistet werden kann, wird hier eine qualitative Abschätzung vorgenommen.

Bezüglich der durch die DFS untersuchten TABUM-Routen ist anzumerken, dass eine der vorgeschlagenen Varianten ausschied, weil sie aufgrund des zu hohen Steiggradienten nicht von allen Luftfahrzeugmustern hätte genutzt werden können, so dass Kapazitätseinbußen befürchtet wurden.

Bezüglich der drei hier beispielhaft untersuchten Varianten gibt es jedoch in punkto der Fliegbarkeit und einer damit verbundenen flugleistungsbedingten Kapazitätseinbuße keine Einschränkungen. Einzige Bedingung wäre die erforderliche RNAV-Fähigkeit, so dass keine der drei Routen uneingeschränkt nutzbar ist. Daher ergibt sich für dieses Kriterium ein Punktabzug, wenngleich eine Differenzierung der Routen untereinander anhand der Kapazität nicht erkennbar ist.

Route	Beschreibung	Punktzahl [0-10]
TAB G1	Geringe Einschränkungen durch RNAV-Fähigkeit	8
TAB NEU	Geringe Einschränkungen durch RNAV-Fähigkeit	8
TAB N	Geringe Einschränkungen durch RNAV-Fähigkeit	8

Tabelle 6-4: Bewertungsbeispiel Kapazität

6.2.4 Umwelt

6.2.4.1 Schadstoff-Emissionen/-Immissionen

Für eine exakte Aussage bezüglich der Schadstoffimmissionen und der CO₂-Emissionen durch den Flugverkehr auf den betrachteten Routen ist eine Emissions-/Immissionsberechnung erforderlich, was jedoch aus Aufwandsgründen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ausscheidet. Da es sich bei den Vertikalprofilen um ähnliche Flugverläufe handelt, ist zudem hinsichtlich der lastzustandsabhängigen Schadstoffe keine Differenzierung zu erwarten.

Eine Unterscheidung der Routen untereinander soll vereinfachend in diesem Beispiel anhand der Routenlänge, da sich die Routen in diesem Punkt signifikant voneinander unterscheiden. Die Länge der Route TAB G1 beträgt ca. 37 km, die Route TAB NEU ist ca. 55 km und die Route TAB N ca. 74 km lang. Somit ergibt sich für den Kerosinverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen eine Unterscheidungsmöglichkeit, die sich in nachfolgender Tabelle widerspiegelt. Die Grenzwerte mit theoretischen null Immissionen für 10 Punkte und einer Überschreitung von Grenzwerten mit null Punkten werden nicht erreicht.

Route	Beschreibung	Punktzahl [0-10]
TAB G1	Länge ca. 37 km	8
TAB NEU	Länge ca. 55 km	7
TAB N	Länge ca. 74 km	6

Tabelle 6-5: Bewertungsbeispiel Emissionen

Unter der Maßgabe, dass zur Minimierung der Schadstoffemissionen und des Kerosinverbrauchs möglichst kurze Wege zurückgelegt werden sollten, stellt die Variante TAB G1 bereits ein Optimum dar. Hierbei wird bereits kurz nach dem Abheben in Richtung des Wegpunktes geflogen, an dem die drei Routenalternativen wieder zusammentreffen. Für die Routen TAB NEU und TAB N werden hingegen Umwege in Kauf genommen.

6.2.4.2 Berechnung der Fluglärmimmissionen

Bei der Beurteilung von Flugrouten und -verfahren liegt der Schwerpunkt auf der ausführlichen Betrachtung der Auswirkungen des Fluglärms. Hierfür wurden in diesem Beispiel zunächst mit Hilfe des Lärmberechnungsprogramms INM die schalltechnischen Größen berechnet, die für die spätere Bewertung eine Rolle spielen. Dies sind für den Tag der L_{DN} zur Bestimmung der HA-Komponente des Lärmindezes, sowie der L_{Amax} für die Nacht zur Bestimmung der HSD-Komponente.

Die Fluglärmberechnungen wurden auf der Grundlage des für das Jahr 2020 prognostizierten Flugbetriebs am Flughafen Frankfurt/M. durchgeführt. Dabei wurde vom geplanten 4-Bahnsystem ausgegangen. Die drei zu untersuchenden Routenvarianten wurden exemplarisch ausgewählt, weil die nachfolgenden Berechnungen ausschließlich der Illustration der Vorgehensweise bei der Routenbewertung dienen.

Die Fluglärmberechnungen wurden unter Berücksichtigung der Topografie in der relevanten Umgebung des Flughafens durchgeführt. Hierfür wurden die Daten des dem US-amerikanischen *Department of Commerce* unterstellten *National Geophysical Data Centers* eingepflegt, die in einer Auflösung von 1.000 x 1.000 Metern frei verfügbar waren. Zwischen den Stützstellen wurde für das Modell linear interpoliert. Für eine tatsächliche Anwendung wären gegebenenfalls höhere Auflösungen sinnvoll, die kommerziell verfügbar sind. Die in INM eingepflegte Topografie ist in Abbildung 6-4 dargestellt.

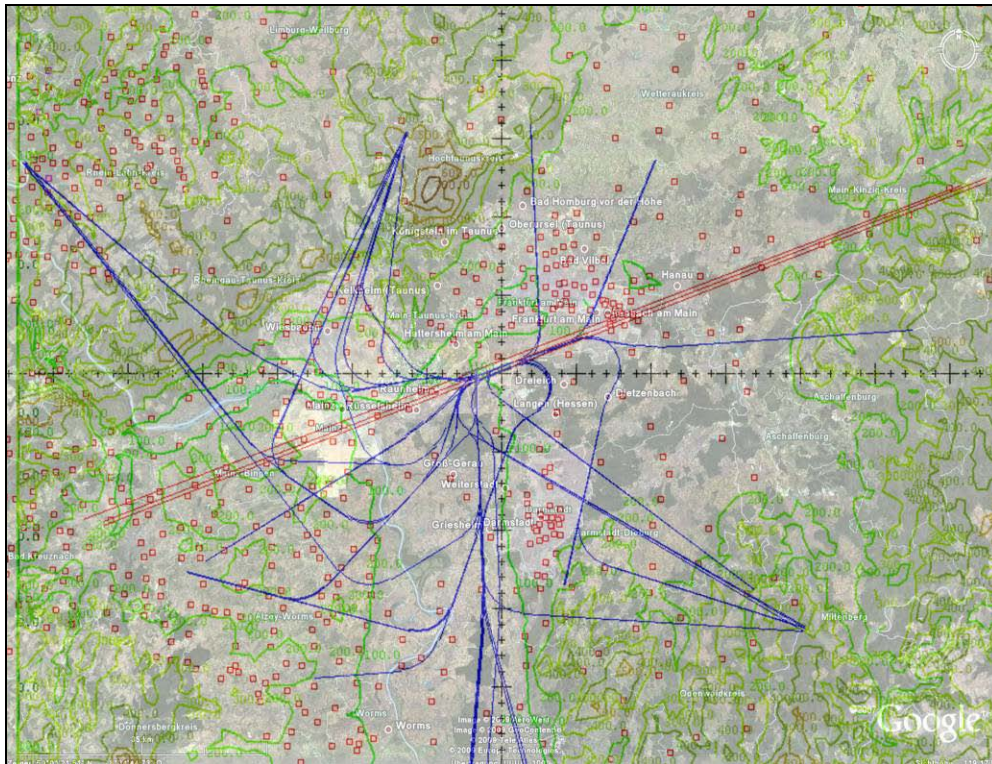


Abbildung 6-4: Im Modell hinterlegte Topografie und Bevölkerungsverteilung

Gleiches gilt für die Bevölkerungszahlen, die für die vorliegende Studie auf der Basis der Angaben der statistischen Landesämter sowie dem Gemeinderegister des Statistischen Bundesamtes auf Gemeindeebene eingegeben wurden. Auch hier kann eine genauere Auflösung kommerziell erworben werden. Für die Ballungsräume wurde auf der Basis von Angaben der Gemeinden selbst entsprechend eine Auflösung auf Bezirks-Ebene ausgewertet, so dass sich für die untersuchten Routen eine ausreichende Unterscheidungsmöglichkeit der Betroffenenzahlen ergeben hat. Die Bevölkerungszahlen werden in INM als sogenannte *Population Points* (Bevölkerungspunkte) eingegeben, bei denen bestimmten geografischen Koordinaten Bevölkerungszahlen zugeordnet sind. Die im Modell eingegebenen Bevölkerungspunkte sind ebenfalls in Abbildung 6-4 dargestellt.

Auf dieser Datengrundlage wurden die Fluglärmberechnungen durchgeführt. Für die Unterscheidung der Routenvarianten untereinander wurde die im Planungsflugplan hinterlegte Belastung der Route TAB NEU jeweils auf die beiden hier betrachteten Alternativrouten verlegt, während die anderen, nicht im Fokus der Untersuchung stehenden Routen, die jedoch für die Ermittlung der Gesamtbelastungen ebenfalls berechnet wurden, in allen drei Szenarien gleich gehalten wurden. Somit ist sichergestellt, dass die sich ergebenden Unterschiede in den Betroffenenzahlen tatsächlich auf die jeweilige Belegung der drei untersuchten Routen zurückzuführen

sind und nicht auf ihr Horizontal- oder Vertikalprofil, welches eventuell eine größere Fläche abdeckt.

6.2.4.3 Berechnung der HA-Komponente

Für den ZFI wurde für die Berechnung der HA-Komponente der L_{eq16} verwendet, der einen 16h-Tag betrachtet. Zusätzlich wurden beim ZFI die Tagesrandstunden mit einem Malus von 5dB beaufschlagt, um diesen besonders sensiblen Zeiten besonderes Gewicht zu geben. Die Berechnung der HA-Komponente anhand einer Dosis-Wirkungs-Beziehung erfolgt hingegen allgemein anhand des L_{DN} . Daher wurde im Rahmen der praktischen Anwendung für das Frankfurter Beispiel ebenfalls der L_{DN} als Basis verwendet und mit Hilfe des INM berechnet.

Das Ergebnis der Berechnungen ist in Abbildung 6-5 bis Abbildung 6-7 dargestellt. Man sieht deutlich, wie sich die drei Varianten im nordwestlichen Bereich voneinander unterscheiden.

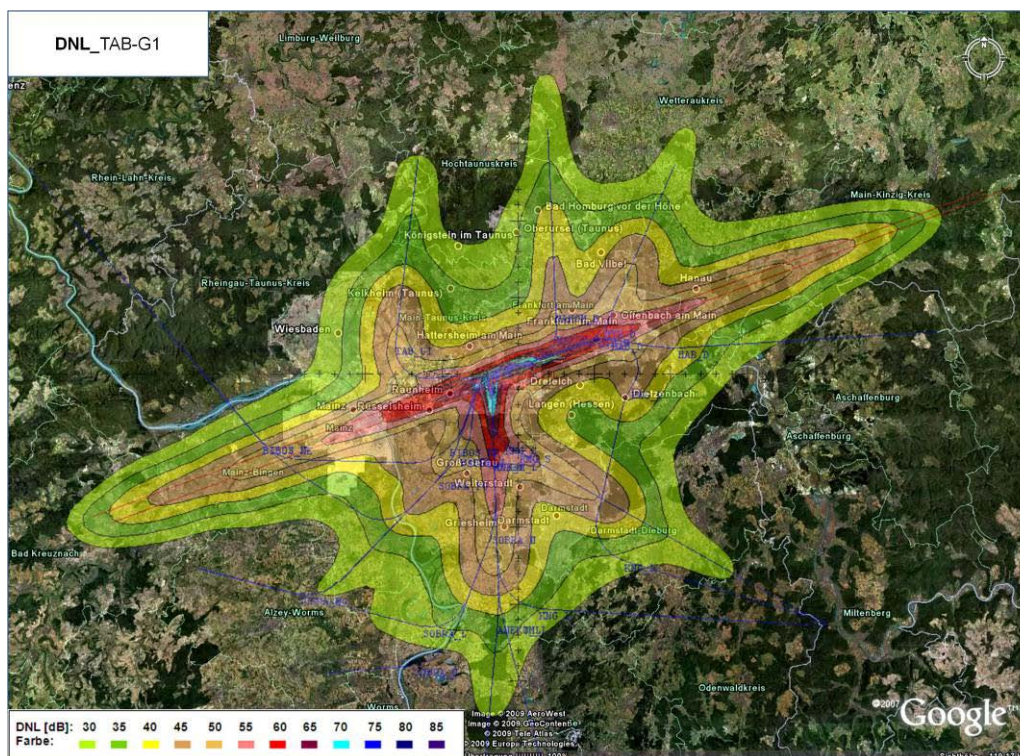


Abbildung 6-5: L_{DN} -Konturen für die Routenvariante TAB G1

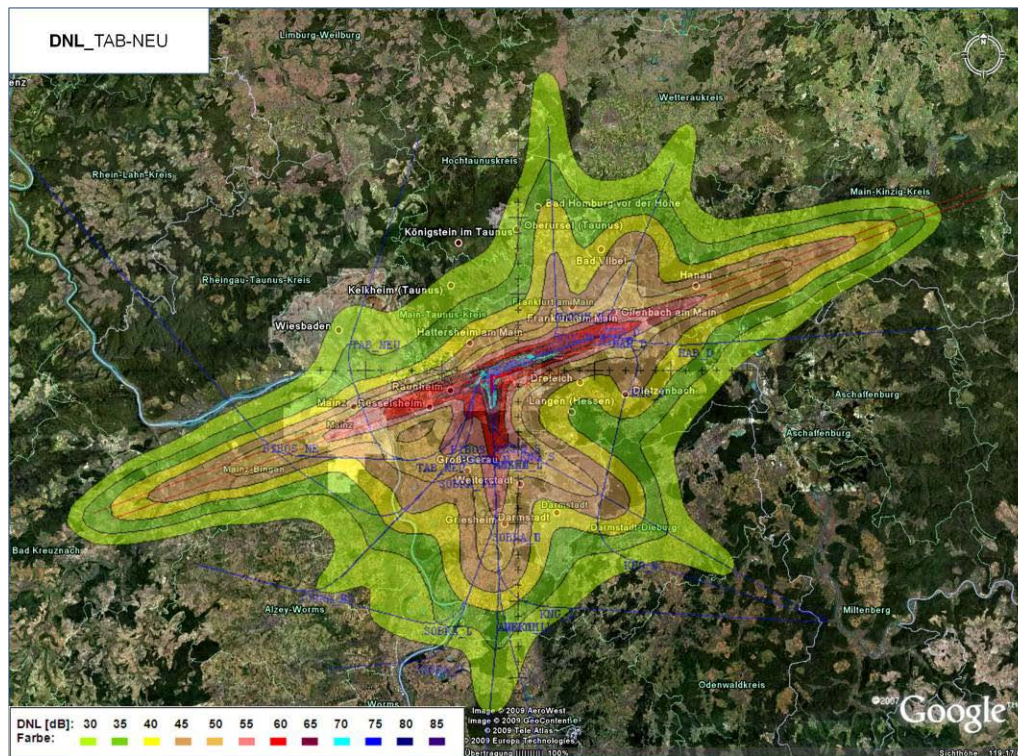


Abbildung 6-6: L_{DN} -Konturen für die Routenvariante TAB NEU

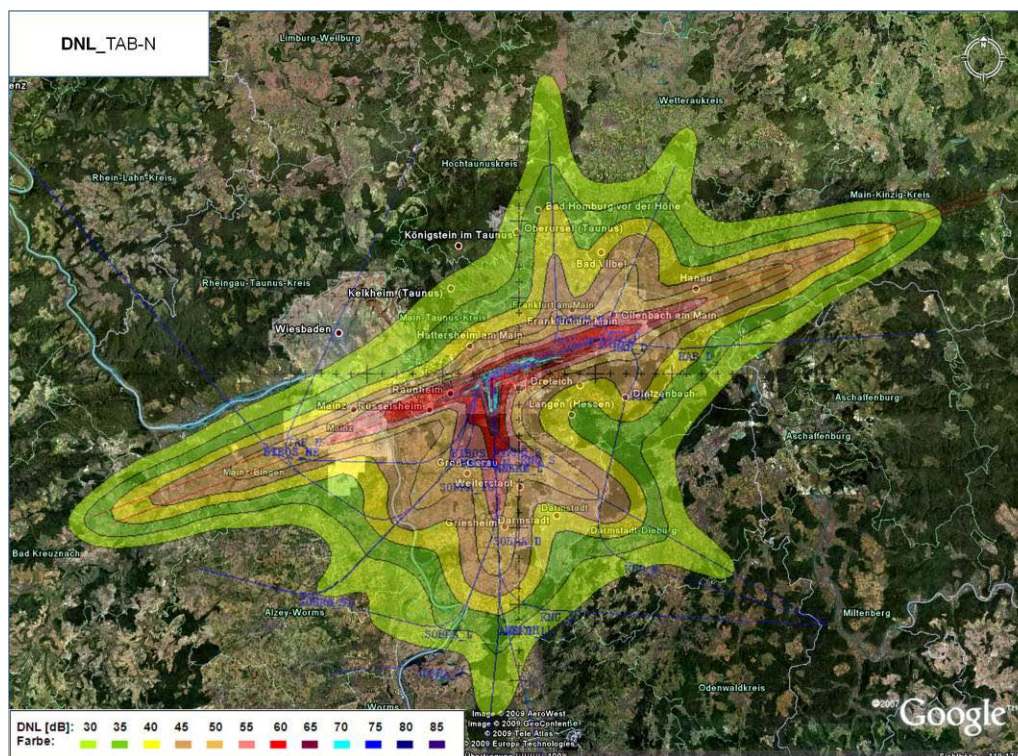


Abbildung 6-7: L_{DN} -Konturen für die Routenvariante TAB N

Die so ermittelten Lärmkonturen wurden anschließend mit den im Modell hinterlegten Bevölkerungszahlen an den „Population Points“ überlagert (siehe Abbildung 6-4), um die jeweiligen Betroffenenanzahlen innerhalb der Konturen zu bestimmen. Diese Auswertung ergab das in Tabelle 6-6 dargestellte Ergebnis. Zusätzlich sind hier die Flächenangaben der jeweiligen Fluglärmkonturen dargestellt.

L _{DN} (dB)	TAB G1 - Nutzung		TAB NEU - Nutzung		TAB N - Nutzung	
	POPULATION	SQ.KM	POPULATION	SQ.KM	POPULATION	SQ.KM
<30.0	625.700	894	635.940	854	566.800	820
30.0-35.0	530.940	632	540.710	599	501.950	590
35.0-40.0	726.970	564	648.350	518	669.160	520
40.0-45.0	427.244	498	423.440	435	394.819	455
45.0-50.0	458.015	316	420.461	318	425.277	310
50.0-55.0	106.523	132	131.821	133	150.546	131
55.0-60.0	102.328	65	102.328	67	102.328	68
60.0-65.0	20.320	28	20.320	28	20.320	28
65.0-70.0	0	10	0	10	0	10
70.0-75.0	0	6	0	6	0	6
75.0-80.0	0	2	0	2	0	2
80.0-85.0	0	1	0	1	0	1

Tabelle 6-6: Ergebnistabelle L_{DN} [dB]

Auf der Basis dieser Bevölkerungszahlen innerhalb der jeweiligen Konturen wurde im Anschluss anhand der in Kapitel 5 vorgestellten Dosis-Wirkungs-Beziehung die Anzahl der stark Betroffenen bestimmt:

$$\%HA = 2,18 \cdot L_{DN} [dB] - 91$$

Anhand der vorstehenden Gleichung wurde die Betroffenenanzahlen zunächst für jede der berechneten Fluglärmkonturen ermittelt und dann aufsummiert. Damit ergeben sich für die drei Routen die folgenden Zahlen an stark Betroffenen, wobei in der Tabelle exemplarisch die Werte mit einer Auflösung von 5 dB dargestellt wurden. Die Berechnungen wurden hingegen mit einer Genauigkeit von 1-dB-Schritten durchgeführt, um dem Abbruchkriterium von >47 dB bei der HA-Komponente gerecht zu werden. Insgesamt ist anzumerken, dass die Genauigkeit der Ergebnisse stark von der Genauigkeit der Bevölkerungszahlen abhängig ist, so dass auch mit IsoPhonen in einer höheren Auflösung im Hinblick auf die Betroffenenanzahlen keine höhere Genauigkeit erzielt wird.

Route	HA-Komponente [EW]
TAB G1	194.591
TAB NEU	194.872
TAB N	199.119

Tabelle 6-7: Bewertung HA-Komponente

Aus den relevanten Zahlen in Tabelle 6-7 ist ersichtlich, dass bei der Bewertung der stark Betroffenen am Tage die Route TAB G1 leicht besser abschneidet als TAB NEU. Der Abstand zu Route TAB N ist entsprechend etwas größer. Bei einem Vergleich mit den absoluten Zahlen in Tabelle 6-6 wird aber auch deutlich, dass die größten Unterschiede zwischen den Routen im Bereich unterhalb von 45 dB (L_{DN}) liegen, was aber durch die Festlegung der Übertragungsfunktion nicht mit in die Bewertung einfließt, da hier definitionsgemäß erst Lärmpegel oberhalb von 47 dB mit einbezogen werden.

Dennoch ermöglicht diese differenzierte Darstellung auch von Lärmpegeln unterhalb der Bewertungsschwelle eine umfassende Beurteilung insbesondere der Anzahl von Neu-Belasteten, was auch in zahlreichen Diskussionen immer wieder gefordert wird.

6.2.4.4 Berechnung der HSD-Komponente

Grundlage für die Ermittlung der Aufwachreaktionen in der Nacht ist zunächst die Bestimmung des L_{Amax} . Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind wiederum in Abbildung 6-8 bis Abbildung 6-10 dargestellt.

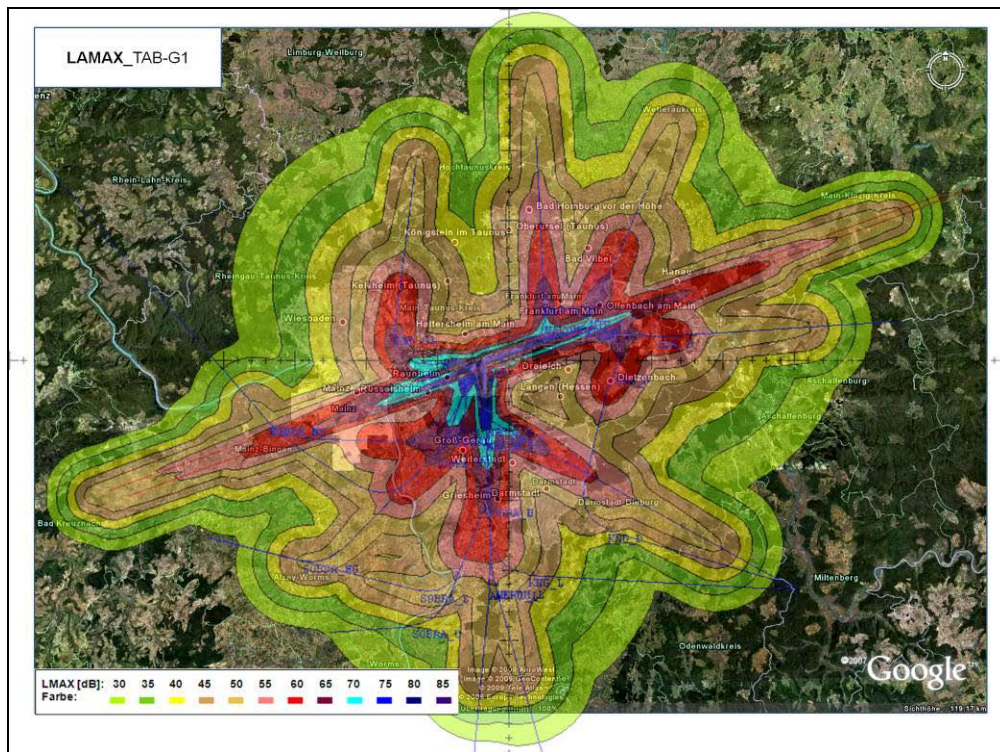


Abbildung 6-8: L_{Amax} -Konturen für die Routenvariante TAB G1

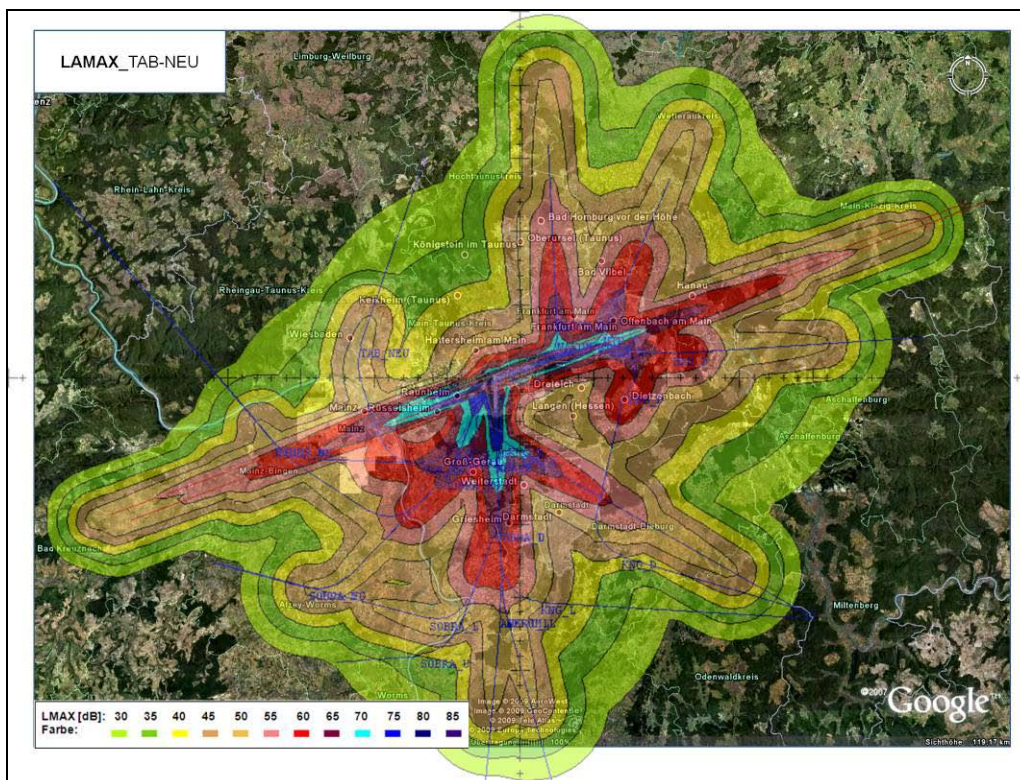


Abbildung 6-9: L_{Amax} -Konturen für die Routenvariante TAB NEU

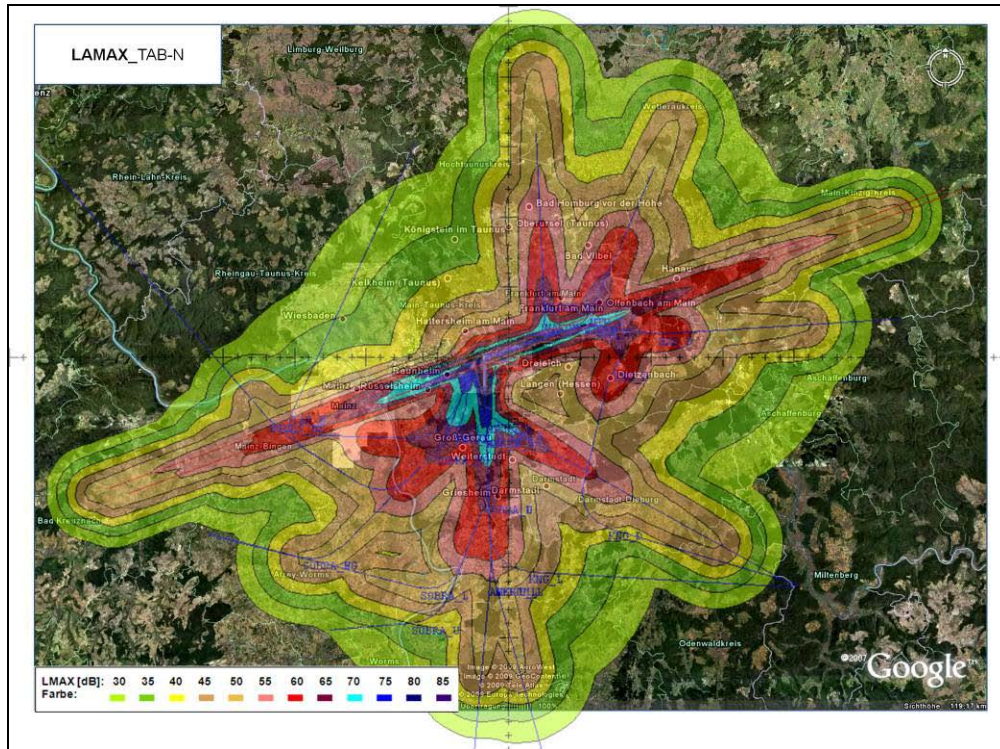


Abbildung 6-10: L_{Amax} -Konturen für die Routenvariante TAB N

Tabellarisch zusammengefasst ergeben sich die in Tabelle 6-8 dargestellten Werte für die Bevölkerungszahlen innerhalb der L_{Amax} -Konturen, in denen der entsprechende Pegel mindestens einmal auftritt. In der Tabelle sind 5 dB-Pegelklassen ausgewiesen, während für die HSD-Ermittlung die Anzahl der jeweiligen Maximalpegel in 1-dB-Pegelklassen ausgewertet wird. Außerdem sind auch die Flächenangaben der jeweiligen Konturen verzeichnet.

Auf die dort dargestellten Werte wird nun die Gleichung zur Bestimmung der HSD-Komponente angewendet, wie sie in Kapitel 5 beschrieben wurde.

L_{Amax} (dB)	TAB G1 - Nutzung		TAB NEU - Nutzung		TAB N - Nutzung	
	POPULATION	SQ.KM	POPULATION	SQ.KM	POPULATION	SQ.KM
30.0	340.410	1.086	331.400	1.065	453.270	1.117
35.0	273.070	938	285.060	893	354.550	928
40.0	555.280	845	463.280	801	438.100	780
45.0	505.800	904	599.290	842	469.180	800
50.0	828.180	984	749.840	923	713.770	886
55.0	523.208	555	495.538	501	504.357	504
60.0	559.047	486	553.834	442	545.015	437
65.0	222.989	208	217.982	187	217.982	185
70.0	129.536	85	129.536	75	129.536	79
75.0	218	32	218	30	218	31
80.0	20.102	15	20.102	15	20.102	15
85.0	0	16	0	16	0	16

Tabelle 6-8: Ergebnistabelle L_{Amax} [dB]

Die HSD-Komponente hängt nicht nur von L_{Amax} ab, sondern auch von der Anzahl der Überflüge, die den entsprechenden Maximalpegel verursachen. Durch die zugrunde liegenden Zusammenhänge der Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Nacht zwischen Maximalpegel und der Aufwachreaktionen sind erst Außenpegel von mehr als 50 dB relevant. Durch die im Rahmen der Studie vereinfachte Anwendung der Übertragungsfunktion für eine Flugbewegung des Maximalpegels im Nachtzeitraum würden sich die folgenden in Tabelle 6-9 dargestellten Einwohnerzahlen ergeben, die sich in der Nacht stark im Schlaf gestört fühlen.

Route	HSD-Komponente [EW]
TAB G1	38.154
TAB NEU	37.188
TAB N	36.955

Tabelle 6-9: Bewertung HSD-Komponente

6.2.4.5 Bestimmung des Fluglärmindex'

Bei Anwendung der Gleichung für den ZFI und gleichzeitiger Bestimmung der beiden Komponenten für den Tag und die Nacht ergibt sich die Gesamtbewertung durch einfache Addition der beiden Teil-Indizes. Diese Addition ergibt die in Tabelle 6-10 dargestellten Werte sowie deren mögliche Übertragung in die normierte Skala.

Route	Beschreibung	Punktzahl [1-10]
TAB G1	HA + HSD = 232.745 (entspricht einem Anteil an der Gesamtbevölkerung (>47 dB) von 33,87%)	7
TAB NEU	HA + HSD = 232.060 (entspricht einem Anteil an der Gesamtbevölkerung (>47 dB) von 33,77%)	8
TAB N	HA + HSD = 236.074 (entspricht einem Anteil an der Gesamtbevölkerung (>47 dB) von 34,35%)	4

Tabelle 6-10: Bewertungsbeispiel Lärm

Die Route mit den wenigsten Betroffenen ist die Route TAB NEU, wobei auch die Route TAB G1 nur unwesentlich mehr Belastete aufzuweisen hat. Die Route TAB N hat zwar den geringsten HSD-Wert, schneidet bei der Gesamtbetrachtung mit 4.000 mehr Belasteten jedoch deutlich schlechter ab. Sofern keine Aufteilung der Flugbewegungen auf verschiedene Routen in Abhängigkeit der Tages- und Nachtzeiten möglich ist, wäre von den drei untersuchten Varianten unter Lärmgesichtspunkten demnach die Route TAB NEU zu empfehlen.

Die Grenzen zwischen 0 und 10 Punkten würden sich dann derart darstellen, dass sich bei keinen Belasteten 10 Punkte und bei 100 Prozent Belasteten 0 Punkte ergäben. Die Schwierigkeit besteht bei dieser Vorgehensweise darin, das Untersuchungsgebiet entsprechend abzugrenzen. Als Lösungsvorschlag wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung davon ausgegangen, dass die Grundmenge (100 Prozent der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet) dadurch bestimmt wird, wie viele Personen einem L_{DN} von mehr als 47 dB ausgesetzt sind, da dies für die Bestimmung der HA-Komponente das Abbruchkriterium darstellt. Im vorliegenden Fall entspräche dies 687.186 Personen.

6.3 Anwendung des Beurteilungsverfahrens

Auf der Grundlage der vorstehend ermittelten Teilbewertungen wird abschließend, eine Gesamtbewertung vorgenommen. Hierbei ist eine transparente und den lokalen Gegebenheiten angepasste Vorgehensweise notwendig. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Einzelbewertungen zusammengefasst dargestellt.

Einzelkriterium	TAB G1	TAB NEU	TAB N
Operationelles			
Fliegbarkeit	10	10	10
Piloten-/Lotsenbelastung	6	7	8
Passagierkomfort	10	10	10
Kapazität			
Kapazität	8	8	8
Umwelt			
Schadstoffemissionen	8	7	6
Lärm	7	8	4

Tabelle 6-11: Zusammenfassung der Einzelkriterien

Aus diesen Einzelkriterien gilt es zunächst, innerhalb der jeweiligen Kategorien Operationelles, Kapazität und Umwelt ein Bewertungskriterium zu finden. Hierfür sind jeweils Annahmen zu treffen, die lokale Gegebenheiten entsprechend berücksichtigen. Die Gewichtung innerhalb der Kategorien erfolgt anhand folgender Tabelle, die auf einer Einschätzung der Relevanz durch die Autoren der vorliegenden Studie basiert. Diese Gewichtung ist demnach nicht ohne weiteres auf andere Anwendungsfälle übertragbar, da die Ergebnisfindung auch ein Ergebnis eines Abstimmungsprozesses zwischen den verschiedenen Beteiligten sein sollte.

Einzelkriterium	Gewichtungsfaktor [%]
Operationelles	
Fliegbarkeit	80
Piloten-/Lotsenbelastung	15
Passagierkomfort	5
Kapazität	
Kapazität	100
Umwelt	
Schadstoffemissionen	10
Lärm	90

Tabelle 6-12: Verwendete Gewichtungsfaktoren innerhalb der drei Kriterien-Kategorien

Auf der Grundlage dieser Gewichtung ergeben sich für die drei Kategorien Operationelles, Kapazität und Umwelt für die drei Routenvarianten die nachfolgend dargestellten Werte:

Kriterium	TAB G1	TAB NEU	TAB N
Operationelles (I_O)	9,40	9,55	9,70
Kapazität (I_K)	8,00	8,00	8,00
Umwelt (I_U)	7,30	8,00	4,20

Tabelle 6-13: Bewertungsbeispiele der Kriterien-Kategorien

Diese in Tabelle 6-13 dargestellten Bewertungen gehen nun in die Ermittlung des Gesamt-Flugroutenbewertungsindex (FBI) ein. Hierfür wird das Produkt aus den jeweiligen Teilbereichen gebildet. Zusätzlich werden die Bereiche untereinander anhand der Exponenten gewichtet, wie die Gleichung des FBI zeigt:

$$FBI = (I_O)^{(\eta_O)} \cdot (I_K)^{(\eta_K)} \cdot (I_U)^{(\eta_U)} \quad \text{mit } (\eta_O) + (\eta_K) + (\eta_U) = 1$$

Inwieweit die jeweiligen Exponenten für die Gewichtung der drei Kategorien untereinander gewählt werden, ist ebenfalls in einem Abstimmungsprozess der Beteiligten festzulegen. In jedem Fall ist es ratsam, eine Sensitivitätsanalyse vorzunehmen, um den Einfluss einer unterschiedlichen Gewichtung auf das Endergebnis besser zu verstehen. Generell empfiehlt es sich, auch sämtliche Teilschritte transparent in einer Berechnung darzustellen, wobei hieraus direkt ersichtlich sein sollte, welche Auswirkungen entsprechende Änderungen an den Eingangsdaten bzw. an der Gewichtung zu Folge haben.

In Abbildung 6-11 ist eine solche Auswertung beispielhaft dargestellt. Jede Gruppe von Balken repräsentiert eine andere Verteilung der Gewichtungen zwischen operationellen Aspekten, Kapazität und Umweltbelangen. Jede Farbe entspricht einer der untersuchten Routen. Es ist zu erkennen, dass in dem gewählten Beispiel die Gewichtung nur eine untergeordnete Rolle spielt, da bis auf wenige Ausnahmen bei extremer Gewichtung (z.B. ausschließliche Betrachtung operationeller Kriterien) in allen anderen Fällen immer die Route TAB NEU die meisten Punkte erhält. Dieser Trend spricht dafür, dass die Route TAB NEU in allen Teilaspekten auch bei unterschiedlicher Gewichtung am besten den Anforderungen entspricht. Aus diesen Gründen wird für das hier illustrierte Beispiel eine Umsetzungsempfehlung für diese Route ausgesprochen.

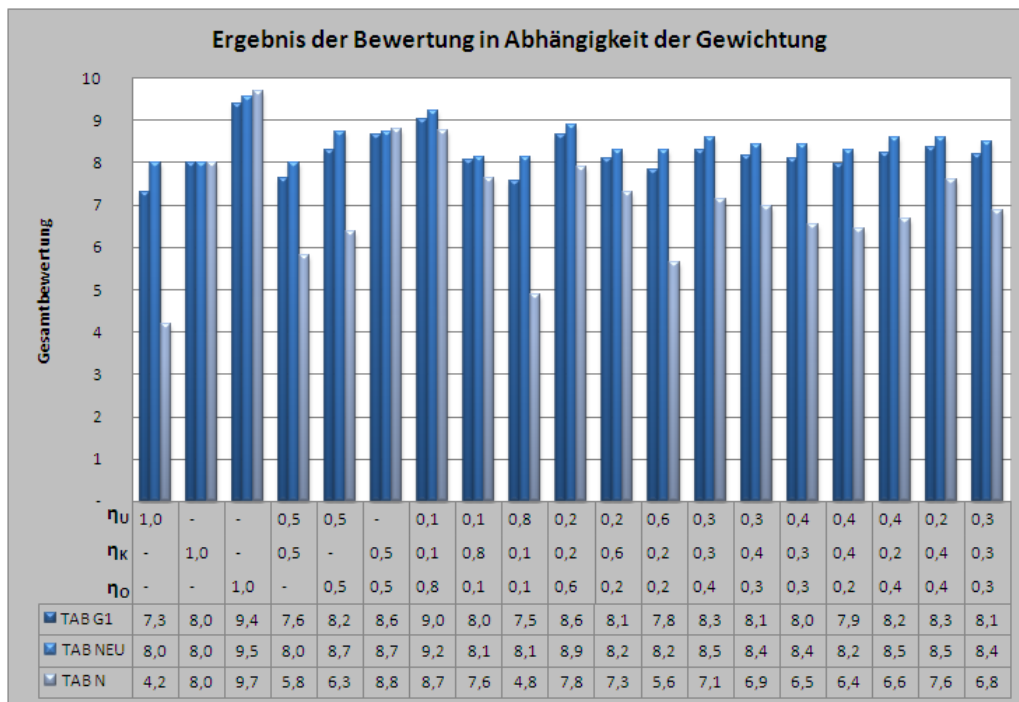


Abbildung 6-11: Ergebnis der Bewertung in Abhängigkeit der Gewichtung

KAPITEL 7 Zusammenfassung

Zur Verbesserung der Fluglärmsituation wurde 2007 durch eine Änderung des § 32 des Luftverkehrsgesetzes festgelegt, dass das Umweltbundesamt bei der Festlegung von Flugrouten und -verfahren zu beteiligen ist. Derzeitig stützt sich die Bewertung von Vorschlägen zur Änderung von Flugrouten primär auf operationelle und sicherheitsrelevante Kriterien. Von den Fluglärm-Betroffenen wurde in den letzten Jahren geringe Transparenz des Bewertungsverfahrens und unzureichende Berücksichtigung des Lärmschutzes kritisiert. Im Rahmen dieser Studie soll ein Vorschlag für ein verbessertes Beurteilungsverfahren ausgearbeitet werden, das diesen Kritikpunkten Rechnung trägt.

Zunächst wird in der Studie auf die gesetzlichen Grundlagen und das derzeitige Verfahren zur Festlegung von Flugrouten und -verfahren eingegangen. Dabei werden die beteiligten Akteure ebenso vorgestellt wie Fallbeispiele, um die aktuellen Aktivitäten und Urteile zu verdeutlichen. An- und Abflugverfahren und deren Potential zur Minderung von Fluglärm werden erläutert und ein Einblick in die aktuellen Bewertungskriterien und -verfahren vermittelt. Eine Vergleichsanalyse von international anerkannten Bewertungsverfahren dient der Ermittlung von „Best-Practice“-Beispielen. Zudem werden aktuelle Tendenzen und Entwicklungen in die Studie einbezogen.

Schwerpunkt dieser Studie ist die Ermittlung eines Kriterienkatalogs, der die verschiedenen kapazitiven, umweltbezogenen und operationellen Aspekte vereint. In dem entwickelten 5-phasigen Modell zur Bewertung von Flugrouten wird eine eindeutige Definition der Kriterien getroffen. Die quantitative Einteilung und Normierung der Aspekte ist entscheidend, um eine objektive Beurteilung zu gewährleisten. Die Bewertungsmethode stützt sich auf den Züricher Fluglärmindex. Abschließend wird die praktische Anwendung anhand eines Beispiels erläutert.

Quellenverzeichnis

- [1] Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS), **Rechtsfragen zur Festlegung von An- und Abflugverfahren**, <http://www.dfs.de>, Zugriff: 17. März 2008.
- [2] Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 56, **Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm vom 31.10.2007**, ausgegeben zu Bonn am 9. November 2007.
- [3] Fuld, B.: **Flugroutenfest- und Verlegungen: 2. Genehmigungsverfahren, Betroffenheitsermittlungen, Beteiligungen** - Vortrag auf dem BVF-Seminar Mörfelden-Walldorf am 07.11.2003.
- [4] Leder, J.: **Ein Verfahren zur Optimierung dreidimensionaler Flugtrajektorien im Hinblick auf eine minimale Fluglärmbelastung der Bevölkerung mittels eines physiologisch geprägten Gütekriterium**, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 1998
- [5] Isermann, U: **Die Überarbeitung des Dokumentes ECAC Doc. 29**, BMVBS Präsentation am 17. Januar 2006, DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen
- [6] Thierbach, R.: **Untersuchung verschiedener Flugverkehrsszenarien zur Minimierung von Fluglärm im Vorfeld der Flughafenplanung durch Einsatz eines Fluglärmbe-rechnungsverfahrens**, Diplomarbeit bei Prof. Dr.-Ing. G. Hüttig, Technische Universität Berlin, 2006
- [7] Middel, J. et al., **Fluglärmmonitoring am Flughafen Frankfurt/Main, Der Beitrag der Deutschen Flugsicherung Version 1.1**, Bericht des National Aerospace Laboratory NLR, Dokument NLR-CR-2003-280, Juni 2003
- [8] Bremische Bürgerschaft Landtag 17. Wahlperiode, **Lärmentwicklung und Schadstoffemissionen am Flughafen Bremen**, Mitteilung des Senats vom 4. März 2008, Drucksache 17/304

-
- [9] **Hintergrundinformation der Fluglärmkommission zur aktuellen Diskussion der Wiedereinführung Wesertalroute**, 13.12.2006, Website Bremer Umweltinformationssystem, <http://www.umwelt.bremen.de/> (Zugriff am 27.06.2008)
 - [10] **Website Eppsteiner gegen Fluglärm**: <http://www.fluglaerm-eppstein.de>, <http://www.fluglaerm-eppstein.de/BI/index.htm>, (Zugriff am 14.11.2009)
 - [11] AIP Germany November 2007
 - [12] **Website zum Züricher Lärmindex**, Kanton Zürich, Bereich Flughafenpolitik <http://www.vd.zh.ch/internet/vd/de/Themen/Flughafen/Themen/ZFI.html> (Zugriff am 27.06.2008)
 - [13] Neise, Koch, **Übertragung von Teilergebnissen der Programmpakete 1620 und 1640 in das Programm NIROS der Deutschen Flugsicherung**, Abschlußbericht Forschungsverbund Leiser Verkehr, Bereich Leises Verkehrsflugzeug, Projekt 1600 Lärmoptimierte An- und Abflugverfahren (LAnAb) Programmpaket 1650, DFS, Langen, Oktober 2007
 - [14] **TE im Fokus 2/07**, Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, ISSN 1861-6372 (Internet Version), 12. Dezember 2007
 - [15] **Website San Francisco International Airport**, Aircraft Noise Abatement Office, Partners That Work With Sfo <http://www.flyquietsfo.com/AviationPartners.htm> (Zugriff am 15.08.2008)
 - [16] **Website San Francisco International Airport**, Aircraft Noise Abatement Office, San Francisco Airport/Community Roundtable <http://www.flyquietsfo.com/AviationPartners.htm> (Zugriff am 15.08.2008)
 - [17] **Website Unique**, Veranstaltung Fluglärmforum Süd, „Handlungsmacht und Handlungswillen der Flughafen Zürich AG zur Deblockierung der Südanflugthematik rund um den Flughafen“ http://www.staefa.ch/documents/20060703_Redetext_Andreas_Schmid.pdf (Zugriff am 10.09.2008)
 - [18] **Website Aero Suisse**, 10 Thesen zur Schweizer Luftfahrtpolitik <http://www.aerosuisse.ch/docsAero/10-thesen-zur-schweizer-luftfahrtpolitik-2004-d.pdf> (Zugriff am 09.08.2008)
 - [19] Felder J., Hildebrand R.: Medienkonferenz Unique, **Nordanflüge im CH-Luftraum „gekröpfter Nordanflug“**, Flughafen Zürich AG, 11. Januar 2005
 - [20] Häne S., Imfeld C.: Tagesanzeiger, **Der «Gekröpfte» ist zu gefährlich**, 03. Juli 2008
-

-
- [21] **Website Flugschneise Süd- Nein**, Vergleich Nord- vs. Ost-/Süd-Anflug,
<http://www.vfsn.ch/index.php?option=content&task=view&id=84&Itemid=57> (Zugriff am 01.09.2008)
 - [22] **Website Kanton Zürich Volkswirtschaftsdirektion**, Sil-Prozess Flughafen Zürich
<http://www.vd.zh.ch/internet/vd/de/Themen/Flughafen/Themen/SIL.html>, (Zugriff am 28.07.2008)
 - [23] **Website Schweizerische Eidgenossenschaft**, SIL-Prozess Flughafen Zürich: Bund für drei Betriebsvarianten und gegen Parallelpiste
<http://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=19983>, (Zugriff am 28.08.2008)
 - [24] Thomann H.R, Verein Zürich-Nord gegen Fluglärm, **Stellungnahme zum Bericht über die Luftfahrtpolitik der Schweiz**, 31. August 2004
 - [25] Civil Aviation Authority, Safety Regulation Group, CAP 670, **Air Traffic Services Safety Requirements**
 - [26] BAA Heathrow, **Flight Evaluation Report 2005/06 and 2006/07**
 - [27] **Website Civil Aviation Authority**, Instrument Flight Procedures - Process for requesting changes or new designs
<http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=7&pagetype=90&pageid=2368>, (Zugriff am 25.08.2008)
 - [28] Direction Générale de l'Aviation Civile, **Projekt ILS 34, Auswirkungen auf die Umwelt**, Vernehmlassungsbericht Teil 3, März 2005
 - [29] Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), **Instrumentenlandesystem Piste 34 auf dem Flughafen Basel-Mülhausen**, April 2005
 - [30] San Francisco International Airport, **Mayor Newsom to Power-up SFO's New Aircraft Noise Monitoring System**, 8. März 2008
<http://www.flysfo.com/web/export/sites/default/download/about/news/pressrel/pdf/SF-06-11.pdf> (Zugriff am 05.09.2008)
 - [31] Direction Générale de l'Aviation Civile, **Projekt ILS 34, Ein neues Landeverfahren**, Flughafen Basel-Mulhouse
 - [32] Verein Dialogforum Flughafen Wien, **Ergebnisse zum Mediationsverfahren Flughafen Wien – Überblick**, Juni 2005, Webiste: <http://www.viemediation.at>
 - [33] Milde, A.: **Kleine ATC-Weisheiten (3) - Abflugrouten contra Lärm**, AG ATS der Vereinigung Cockpit, VC-Info 11-12/2003
-

-
- [34] Bundesvereinigung gegen Fluglärm e.V.; Website; **Ziele und Forderungen**;
<http://www.fluglaerm.de/bvf/Ziele.htm>; 29. April 2009
 - [35] **Fluglärmreport 2/2004**, Bericht über die Ergebnisse der Fluglärmüberwachung am Flughafen Frankfurt Berichtshalbjahr November 2003 bis April 2004, Fraport AG, 2004
 - [36] Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt; Website; **Arbeit des RDF**;
<http://www.dialogforum-flughafen.de/index.php?id=9>; 29. April 2009
 - [37] **Deutsche Flugsicherung GmbH, Stanley Track**, Website:
http://www.dfs.de/dfs/internet_2008/module/fliegen_und_umwelt/deutsch/fliegen_und_umwelt/flugverlaeuft/flughafen_frankfurt/index.html; (Zugriff am 25. Mai 2009)
 - [38] DFS, **Unterlagen zur Sitzung der Fluglärmkommission am 29.07.2003**
 - [39] **Website British Airways**, http://www.britishairways.com/travel/crnoise/public/de_de (Zugriff am 25.05.2009)
 - [40] Department for Transport (DfT), **Noise from Arriving Aircraft- An Industry Code of Practice**
 - [41] Hart, S. G., & Staveland, L. E.: **Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research**, 1988. In: PA Hancock, N. Meshkati (eds): Human Mental Workload. North Holland, Amsterdam, pp139 – 183
 - [42] Donnerhack, S.: **Präsentation-Beiträge der Flugtriebwerke zur Schadstoffreduktion im Luftverkehr**, MTU Aero Engines, München, 2005
 - [43] Schreckenber, D., Basner, M., Thomann, G.: **Wissenschaftliche Bewertung der im Rahmen des Ausbauverfahrens Frankfurter Flughafen entwickelten Vorschläge für einen oder mehrere Fluglärmindizes für das Regionale Dialogforum**, Bensheim: IFOK, 2008
 - [44] Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt, **Erläuterungen zum Lärmindex des Anti-Lärm-Pakts**, Frankfurt a.M., 2007
 - [45] **Website ATAC**: Erläuterungen zum Simulationsmodell SIMMOD
<http://www.atac.com/AboutATAC.html> (Zugriff am: 09.10.2009)
 - [46] **Website Jeppesen**: Erläuterungen zum Simulationsmodell TAAM (Total Airspace and Airport Modeller) <http://www.jeppesen.com/industry-solutions/aviation/government/total-airspace-airport-modeler.jsp> (Zugriff am: 09.10.2009)
 - [47] **Website Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt**: Erfolge des RDF:
<http://regionales-dialogforum.de/index.php?id=49> (Zugriff am 16.11.2009)
-

- [48] Deutsche Flugsicherung GmbH, **Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolle DFS** (BA-FVK), 2000
- [49] Bundesvereinigung gegen Fluglärm e.V., BVF-Merkblatt BV008, „**Checkliste für Änderung oder Neufestlegung von Flugstrecken [...]**“, <http://www.fluglaerm.de/Merkblaetter/BVF17-MB-BV008vs-Flugrouten-402.pdf> (Zugriff am 17.11.2009)
- [50] Universität Stuttgart, **Verbund Projekt QUICE** <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/index.php/en/forschung/flugzeugentwurf/41-fe-strukturentwurf/191-qice> (Zugriff am 18.11.2009)
- [51] Mensen, Heinrich (2004): **Moderne Flugsicherung**, Seite 178; 2. Neubearbeitete Auflage; Springer-Verlag; Berlin
- [52] **Website des Deutschen Bundestages**; http://www.bundestag.de/bundestag/ausschuesse/a16/anhoerungen/oeff_anhoer_fluglaerm/a_drs_16_16_22.pdf; Ausschüsse Anhörung Fluglärm, Seite 26, Absatz 12 (Zugriff am 24.11.2009)
- [53] Arndt, Wulf-Holger et al.: **Bewertungsverfahren des novellierten Fluglärmgesetzes** Seite 39 ff, Technische Universität Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr, Berlin, 2007
- [54] Deutsche Luft- und Raumfahrt DLR, „**Projekt leiser Flugverkehr**“ http://www.dlr.de/as/Portaldatas/5/Resources/dokumente/abteilungen/abt_ts/vortrag5_flugverfahren.pdf (Zugriff am 8.02.2010)