



NLR-CR-2003-280

Fluglärmmonitoring am Flughafen Frankfurt / Main

Der Beitrag der Deutschen Flugsicherung
Version 1.1

J. Middel, H.W. Veerbeek, J.A.J. van Engelen, R.J.D. Verbeek

Dieser Bericht darf unter Verweis auf NLR und die Autoren zitiert werden.

Kunde:	IFOK GmbH
Vertragsnummer:	NLR 2492022
Eigentümer:	Regionales Dialog Forum Frankfurt
Abteilung	Air Transport
Verteilung:	Begrenzt
Klassifizierung:	Keine
	Juni 2003



Document change log

Version	Status	Date issued
0.7	Intermediate report	January 23 rd , 2003
1.0	Draft report	April 10 th , 2003
1.1	Final report	June 6 th , 2003

Zusammenfassung

Dieser Bericht stellt den aktuellen Beitrag der Deutschen Flugsicherung (DFS) zum Fluglärmmonitoring am Flughafen Frankfurt/Main vor. Verantwortungsbereich, Tools und Verfahren der DFS werden dabei unter den Gesichtspunkten Planung, täglicher Betrieb und Analyse untersucht. Besonders ausführlich werden die Tools FANOMOS, ein System zur Flugspurenaufzeichnung, und NIROS, ein Programm zur Planung von Strecken minimaler Lärmbelastung, beschrieben.

Nach Ansicht der NLR verfügt die DFS neben ihrer umfangreichen Erfahrung auch über die geeigneten Tools, um eine übermäßige Lärmbelastung der Umwelt zu verhindern. Es darf angemerkt werden, dass diesem Thema bei der DFS viel Zeit und Mühe gewidmet wird. Im Zuge neuer Entwicklungen wird die DFS ihre Effizienz in Umweltfragen weiter steigern können. Insbesondere durch die deutschen Bestimmungen zum Datenschutz ist die DFS jedoch auch Einschränkungen unterworfen.

Abschließend stellt die NLR einige Verbesserungsvorschläge für das künftige Fluglärmmonitoring am Flughafen Frankfurt/Main vor.

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Aufgaben und Tätigkeitsbereiche des NLR	8
2.1	Ansatz	8
2.2	Aktivitäten	8
3	Tools und Verfahren in der DFS im Bereich Fluglärm	9
3.1	Einleitung	9
3.1.1	Aufgabe der DFS im Hinblick auf die Lärmbelastung in Flughafennähe	9
3.1.2	Die Vorschriften der ICAO	10
3.1.3	Tätigkeitsbereich und Leistungsbeschreibung der DFS	12
3.2	FANOMOS	13
3.2.1	Geschichte der Entwicklung von FANOMOS	13
3.2.2	Bei der DFS betriebene FANOMOS-Version	15
3.3	NIROS	15
3.3.2	Funktionsweise und Zweck von NIROS	17
3.3.3	Routenplanung und -beschreibung	18
3.3.4	Berechnung der Fluglärmbelastung	19
3.3.5	Bevölkerungsdichte und Flugzeugdaten	20
3.4	Lärmbezogene Aspekte im Hinblick auf die Planungsphase	21
3.4.1	Aktueller Stand	21
3.5	Lärm Aspekte im Hinblick auf den täglichen Flugbetrieb	28
3.5.1	Aktueller Stand	28
3.5.2	Verbesserungsmöglichkeiten	35
3.6	Lärmbezogene Aspekte im Hinblick auf die Analysephase	37
3.6.1	Aktueller Stand	37
3.6.2	Verbesserungsmöglichkeiten	39
4	Kopplung von Flugdaten mit Informationen aus anderen Systemen	41
4.1	Kopplung der Lärmmessungen und Berechnungen	41
4.1.1	Aktueller Stand	41
4.1.1.1	Allgemeine Feststellung einer Lärmbelastung	41
4.1.2	Empfehlungen	44
4.2	Kopplung mit Lärmberechnung	45



4.2.1	Aktueller Stand	45
4.2.2	Verbesserungsmöglichkeiten	46
4.3	Verwendung für Darstellungszwecke	47
4.3.1	Aktueller Stand	47
4.3.2	Empfehlungen	48
5	Allgemeine Bewertung und abschließende Bemerkungen	48
6	Nachtrag: Fragebogen an die DFS	50
7	Abkürzungen und Definitionen	50
8	Quellenverzeichnis	51
Anhang A	Beispiele für FANOMOS-Output	53
Anhang B	Auszüge aus ICAO PANS-OPS: Lärmschutzverfahren	56
Anhang C	NIROS im Detail	64

1 Einleitung

Das Regionale Dialogforum (RDF) Flughafen Frankfurt ist in die Weiterentwicklung des Frankfurter Flughafens und damit in die entsprechenden heutigen und künftigen Auswirkungen für die Rhein-Main-Region eingebunden. Das RDF wurde auf Empfehlung der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt von der hessischen Landesregierung geschaffen. In diesem Forum sind 32 Institutionen vertreten. Es soll eine offene Diskussion zwischen allen Beteiligten erleichtern, die in den Ausbau des Gebietes um den Frankfurter Flughafen involviert sind.

Es wurden als Unterstützung für das RDF in der Ausführung des Arbeitsprogramms fünf Projektteams gebildet. In den Projektteams arbeiten auch Vertreter/-innen aus Institutionen mit, die nicht im Regionalen Dialogforum vertreten sind. Diese Projektteams werden vom RDF für bestimmte Teile des allgemeinen Arbeitsprogramms eingeteilt. Ihre Aufgabe besteht darin, dem RDF vorzugsweise einstimmig gefasste Empfehlungen zu den offenen Fragen zu unterbreiten.

Eines dieser Teams ist der Anti-Lärm-Pakt. Das fünfte Treffen des Anti-Lärm-Paktes im Mai 2001 endete mit der Empfehlung, ein Gutachten zum Thema „Fluglärmmonitoring am Flughafen Frankfurt/Main“ in Auftrag zu geben. Dieses Gutachten sollte die Themen angehen, welche mit den Unterschieden und Unsicherheiten in punkto Fluglärmmessungen und Fluglärmrechnungen in Verbindung stehen, aber auch der Forderung der Öffentlichkeit nach einer schnellen Antwort auf detaillierte Informationen zum derzeit auftretenden Fluglärm Rechnung tragen.

Die Fragen und Problemstellungen, welche darin Berücksichtigung finden müssen, sind in der „Leistungsbeschreibung für ein Gutachten ‘Fluglärmmonitoring am Flughafen Frankfurt/Main’“ vom 25. September 2001 erörtert worden. Für das oben genannte Gutachten wurden drei Forschungsgebiete identifiziert, wobei jedes in einem Arbeitspaket (Work Package) zusammengefasst wurde:

- Beitrag der Flugsicherung
- Akustik
- Kommunikation.

Das niederländische National Aerospace Laboratory NLR wurde mit der Prüfung des „Beitrages der Flugsicherung“ für dieses optimierte Lärmmonitoringsystem beauftragt. Die vom Anti-Lärm-Pakt und dem Forum aufgeworfenen Fragen nehmen Bezug auf die Möglichkeiten und die Nützlichkeit einer (künftigen) Kopplung von einzelnen Flugbewegungen mit Lärmmessungen oder -kalkulationen. Zudem betreffen einige zu Grunde liegende

Fragestellungen die Tools, Prozesse und Kommunikation der Deutschen Flugsicherung (DFS) auf den so genannten Strecken minimaler Lärmbelastung (*Minimum Noise Routes*).

Der hierzu von Seiten des NLR gewählte Ansatz ist im Projektplan [Quelle 1] nachzulesen. Die Berichtsstruktur konzentriert sich vorrangig auf die in der „Leistungsbeschreibung“ aufgeworfenen Fragen und für die Beschreibung der Arbeit des DFS auf die natürliche Reihenfolge der Arbeit in der Flugsicherung: (Routen-) Planung, täglicher Betrieb und (Lärm- und Verkehrs-) Analyse. In getrennten Kapiteln werden die entsprechenden Tools (NIROS und FANOMOS) erörtert.

Die „Leistungsbeschreibung“ setzt sich mit Fragen auf verschiedenen Abstraktionsebenen auseinander, die sich auch in der Ausführung von Details deutlich unterscheiden. Dies spiegelt sich in dem vorliegenden Dokument wider. Auf Details wird, wann immer dies möglich ist, in einem Anhang eingegangen.

Rechtliche Änderungsempfehlungen sind nicht Teil dieser Arbeit.

Jedes Thema wird in zwei Schritten behandelt: Zunächst wird der Ist-Zustand bestimmt, gefolgt von Möglichkeiten für weitere Verbesserungen („Soll-Zustand“). Als eine Benchmark hat NLR seine weit reichenden Erfahrungen mit Luftverkehrsanalyzesystemen (FANOMOS) genutzt, insbesondere mit jenen, die am Flughafen Amsterdam/Schiphol eingesetzt werden. Die Bewertung basiert auf den von dem Projektteam definierten Kriterien und dem Stand der Technik. Hier gilt es zu beachten, dass dieser Ist-Zustand eine reine Momentaufnahme ist. Der beschriebene Ist-Zustand wird durch die laufenden Entwicklungen sowohl hinsichtlich der DFS, Fraport und anderen Stakeholdern Veränderungen erfahren.

Der vorliegende Bericht beinhaltet ein separates Kapitel zu den allgemeinen Erkenntnissen und Verbesserungsmöglichkeiten.

Die Ergebnisse dieses Berichtes können dem Regionalen Dialogforum als Hilfestellung dienen, wenn es bei der Weiterentwicklung des Frankfurter Flughafens um die Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten zur Lärminderung geht. NLR wird das Regionale Dialogforum bei der Erarbeitung von Empfehlungen oder Prozessen innerhalb des Regionalen Dialogforums unterstützen.

2 Aufgaben und Tätigkeitsbereiche des NLR

2.1 Ansatz

Das Institut für Organisationskommunikation (IFOK GmbH) wurde von der hessischen Landesregierung mit der Organisation und der Überwachung des allgemeinen Projektes betraut. Ein anderes Institut wurde mit Qualitätskontrolle und wissenschaftlicher Unterstützung beauftragt.

Das Arbeitspaket „Beitrag der Flugsicherung“ wurde NLR zugeteilt. Der anzuwendende Arbeitsansatz wurde im NLR-Projektplan vom 23. Juli 2002 [Quelle 1] festgelegt. Dieser Projektplan wurde während des ersten Treffens zwischen dem Projektteam Anti-Lärm-Pakt und NLR erörtert und angenommen. Er beschreibt die folgenden Schritte:

- Sammlung von Frankfurt-spezifischen Informationen mittels eines Gesprächs und der darauf folgenden E-Mail-Konversationen mit der Deutschen Flugsicherung (DFS) und möglicherweise anderen Beteiligten.
- Prüfung der gesammelten Daten und Informationen.
- Verarbeitung und Analyse der Daten und Informationen.
- Ergebnisbericht.

2.2 Aktivitäten

Der gewählte Ansatz (siehe Beschreibung im voranstehenden Abschnitt) führte zu den folgenden Aktivitäten:

- Zunächst wurde eine Bestandsaufnahme der notwendigen Daten und Dokumente durchgeführt. Zu Beginn des Projektes stellte sich heraus, dass Frankfurt-spezifische Informationen nicht sofort verfügbar waren, weder öffentlich noch über das RDF. Diese Verfügbarkeit von Informationen war jedoch eine Grundvoraussetzung des NLR-Angebotes für die Aufnahme der Arbeiten. Diese Situation zwang das NLR daher, seine ursprünglichen Pläne zu ändern und folgendermaßen vorzugehen:
- Basierend auf den Ergebnissen der ersten Aktivität hat sich das NLR mit dem IFOK darauf verständigt, auf der Grundlage der Problemstellungen aus der Ausschreibung des „Beitrages der Flugsicherung“ einen Fragebogen zu entwickeln und diesen der DFS zuzusenden.
- Die DFS hat darauf mit einer Einladung reagiert und die Erörterung der in dem Fragebogen angesprochenen Probleme angeboten. Dies führte zu einem Besuch bei der DFS im Juni 2002. Grund hierfür waren die vielen Gesichtspunkte, die es zu berücksichtigen gilt und das Know-how der DFS, das für die Abdeckung aller Themen notwendig war. In den Diskussionen wurden viele Fragen der Lärmbelastung besprochen, die mit DFS-Aktivitäten verbunden sind, einschließlich Planungs-, Betriebs- und Analysephase. Der Fragebogen stellte sich als ein wertvoller Leitfaden für die Strukturierung der Diskussion heraus.

Während dieses Treffens hat die DFS dem NLR zusätzliche, relevante Informationen zu verschiedenen Themengebieten vorgelegt.

- Das NLR übernahm die Zusammenstellung der Antworten des Fragebogens und sandte diese zur weiteren Stellungnahme an die DFS. Das NLR hat die Anmerkungen der DFS erhalten und das Material im notwendigen Maße überarbeitet.
- Die verfügbaren relevanten Informationen wurden verarbeitet, und die Optionen/Antworten auf in der Ausschreibung aufgeworfene Fragen formuliert. Sowohl der derzeitige Stand als auch Verbesserungsvorschläge fanden Berücksichtigung.
- Schließlich wurde dieser Bericht in zwei Schritten abgeschlossen: Ausgehend von einem Zwischenbericht wird ein Entwurf des Schlussberichts und dann die Endversion dieses Berichts erstellt, einschließlich des Feedbacks der Textprüfer: der Anti-Lärm-Pakt und die für Qualitätssicherung und wissenschaftliche Unterstützung zuständigen Institute.

3 Tools und Verfahren in der DFS im Bereich Fluglärm

3.1 Einleitung

Die Zunahme des Luftverkehrs in den siebziger Jahren und das wachsende Umweltbewusstsein in der Bevölkerung führten dazu, dass das Thema Fluglärm stärkere Beachtung fand. Dies löste zahlreiche Bemühungen aus, die Folgen der Lärmbelästigung zu verstehen, zu quantifizieren und ihnen entgegenzuwirken. So wurden beispielsweise Fluglärmmessprogramme entwickelt, um objektive Informationen zu erhalten. Auch Vorschriften zur Reduzierung der Fluglärmbelastung für die Gemeinschaft wurden umgesetzt. Ein Beispiel für eine solche Vorschrift ist die Entwicklung von Strecken minimaler Lärmbelastung (*Minimum Noise Routes*) für Standardabflugstrecken (*Standard Instrument Departure Routes*) für die direkte Umgebung eines Flughafens.

Aufgrund ihrer Verantwortung für die Entwicklung von Flugrouten kommt der DFS dabei eine Schlüsselrolle zu. Die daraus resultierenden Flugverfahren sind in einer Rechtsverordnung des Luftfahrtbundesamts (LBA) geregelt.

3.1.1 Aufgabe der DFS im Hinblick auf die Lärmbelastung in Flughafennähe

Die Deutsche Flugsicherung (DFS) ist ein privatrechtlich organisiertes Unternehmen im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland, welches sich für eine sichere, geordnete und zügige Abwicklung des Flugverkehrs einsetzt (§ 27c LuftVG). Darüber hinaus obliegt es der DFS gemäß § 29b LuftVG, die Bevölkerung vor unnötiger Fluglärmbelästigung zu schützen. Ferner ist die DFS seit 1993 durch den Bundesverkehrsminister mit der Durchführung der

Flugsicherung beauftragt. Die DFS ist sowohl auf regulatorischer als auch auf operativer Ebene tätig. Ihre Aktivitäten und Verantwortungsbereiche sind in § 32 LuftVG umfassend geregelt. Bei der Entwicklung von Flugrouten kommt der DFS eine Schlüsselrolle zu. So ist sie durch nationale Vorschriften (§ 27c FlugVG) dazu verpflichtet, An- und Abflugrouten festzulegen. Die daraus resultierenden Flugverfahren werden vom LBA gesetzlich geregelt. § 32b LuftVG sieht vor, dass die DFS in Fluglärmfragen von einer Kommission beraten wird. Als zivile Betreiberin des Flughafens Frankfurt/Main ist die Fraport-Gesellschaft für Lärmmessungen zuständig (§ 19a LuftVG). Diesbezügliche Gesetze fallen in den Verantwortungsbereich des LBA.

Für die Erstellung von Rechtsvorschriften gilt die folgende Hierarchie :

- Nationale Bestimmungen müssen internationale n Vorschriften (ICAO) entsprechen.
- Sicherheit hat stets Priorität vor allen anderen Punkten, z.B. Kapazität/Wirtschaftlichkeit und Fluglärm/Lärmschutz.

Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organisation*, ICAO) hat in ICAO DOC 8168 PANS-OPS detailliert festgelegt, wie An- und Abflugverfahren zu planen sind. Die sogenannten PANS-OPS der ICAO sind international vereinbarte Verfahren für Navigationsdienste im Luftverkehr (*Procedures for Air Navigation Services regarding aircraft OPerationS*). Sie enthalten genaue Vorgaben für (die Abwicklung von) Flugverfahren. Darüber hinaus müssen An- und Abflugrouten reibungslos an Flugrouten in größeren Höhen anschließen, was eine Abstimmung mit Eurocontrol erforderlich macht. Die Entscheidungsfreiheit der DFS bei der Planung neuer Routen wird durch all diese Faktoren eingeschränkt.

3.1.2 Die Vorschriften der ICAO

Nach den Standardbetriebsvorschriften der ICAO muß sich ein Luftfahrzeug jederzeit innerhalb bestimmter Sicherheitstoleranzen bewegen, wofür der Pilot verantwortlich ist, und einen bestimmten Abstand zu anderen Luftfahrzeugen einhalten, wofür hauptsächlich die Fluglotsen verantwortlich sind. Um jederzeit einen sicheren Flugbetrieb und die Wahrung von Mindestabständen zu gewährleisten, wurden internationale Vorschriften entwickelt. Besonders im Luftraum unmittelbar über einem Flughafen müssen an- und abfliegende Flugzeuge die (horizontalen) Flugrouten, nämlich *Standard Arrival Routes* (STARs) und *Standard Instrument Departure routes* (SIDs), strikt einhalten. Zur sicheren und zügigen Abwicklung des Flugverkehrs wurden weitere Flugrouten entwickelt. Da die Abstände zwischen einzelnen Luftfahrzeugen in Flughafennähe geringer werden, bemüht man sich auch, den Verkehrsfluß so homogen wie möglich zu gestalten. Häufig heißt dies, dass Geschwindigkeitsbeschränkungen



eingeführt werden, die zusammen mit der Flugzeugkonfiguration (Klappen, Vorflügel, Fahrwerk) die Möglichkeit, ein einzelnes Flugzeug optimal zu steuern, weiter verringern.

Der Lärm, der von einem Flugzeug erzeugt wird, entsteht durch das Zusammenwirken von Vortrieb, Geschwindigkeit, Höhe und Konfiguration (Fahrwerk ein- oder ausgefahren, Klappenauswahl). Normalerweise regelt der Pilot Vortrieb, Geschwindigkeit und Konfiguration, im Einzelfall auch andere Einstellungen. Generell sollten Flugrouten entwickelt werden, die von allen Luftfahrzeugen und Piloten angeflogen werden können (für Frankfurt obliegt dies der DFS).

Das ICAO-Dokument PANS-OPS 8168 „Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations“ befasst sich auch mit Lärmschutzmaßnahmen. In Anhang B wird das für diesen Bericht wichtige Kapitel „Lärmschutzverfahren“ („*Noise abatement procedures*“) in Auszügen zitiert.

Beim Start wird normalerweise am Anfang der Startbahn der Startschub eingesetzt, wodurch das Flugzeug beschleunigt, bis es abhebt. Nach dem Abheben beginnt der Steigflug sowie eine Beschleunigung zu noch größerer Geschwindigkeit. Das Verhältnis zwischen Steigwinkel und Beschleunigung hängt von der jeweiligen Startstrategie ab. Normalerweise wird die Geschwindigkeit auf einer festgelegten, sicheren Mindestgeschwindigkeit plus Spielraum konstant gehalten, um so schnell wie möglich an Höhe zu gewinnen. Das Fahrwerk wird so bald wie möglich eingeholt, um den Luftwiderstand zu verringern. In einer gewissen Höhe (450 m nach dem ICAO A-Verfahren) wird der Vortrieb auf maximalen Steigschub reduziert. Der Steigschub beträgt gewöhnlich etwa 80% des Startschubs. Sobald das Flugzeug auf 900 m (nach dem ICAO A- und B-Verfahren) gestiegen ist, wird die Reiseflugkonfiguration eingestellt und das Flugzeug beschleunigt und steigt weiter.

Bei einem normalen Start muß das Luftfahrzeug einer bestimmten Route (SID) folgen, auf der es von der Startbahn zu seiner Reiseroute geführt wird. Diese Routen richten sich zwar nach dem jeweiligen Flughafen und Reiseziel, haben jedoch einige gemeinsame Merkmale. Dazu zählt, dass Luftfahrzeuge in einer Höhe von weniger als 150 m über dem Boden bzw. dem höchsten Hindernis unter der Flugstrecke keine Kurven fliegen dürfen. Der Querneigungswinkel (der Winkel zwischen der Tragfläche und dem Horizont) für nach dem Start geflogene Kurven ist normalerweise auf 15 Grad beschränkt. Das Fliegen von Kurven bei gleichzeitig verringerter Leistung im Zusammenhang mit Lärmschutzmaßnahmen ist nicht erlaubt.

Der erste Teil eines typischen Instrumentenanflugs beginnt mit der Standardanflugroute (STAR) und führt mit Hilfe der Radarsteuerung durch die Fluglotsen zum sogenannten *Final Approach*

Fix (FAF). In diesem Teil der Landung folgt der Pilot einer angegebenen Route, verringert Höhe und Geschwindigkeit und wählt die für die jeweilige Geschwindigkeit beste Klappeneinstellung aus. Nach dem FAF beginnt der Endanflug unter Zuhilfenahme des Instrumentenlandesystems (ILS). Während des Endanflugs wird das Flugzeug zunächst unter Steuerung durch das ILS-Landesignal über der Landebahn ausgerichtet. Geleitet vom ILS-Gleitwegsignal erreicht das Flugzeug dann den Gleitweg. Dieser führt normalerweise vom Aufsetzpunkt an in einem Winkel von 3 Grad nach oben. Diesen Gleitweg aus einer Höhe von beispielsweise 2000 Fuß anzusteuern, bedeutet, dass im letzten Stadium des Anflugs von der Landebahnschwelle an entlang der Landebahnmittellinie eine Entfernung von etwa 11,5 km zurückgelegt wird, aus einer Höhe von 3000 Fuß sind es dann über 17 km usw. Abweichungen vom nominellen Gleitweg von 3 Grad dürfen gemäß den Standardbetriebsvorschriften maximal 0,25 Grad betragen; auch darf der Pilot den Gleitweg nicht von oben ansteuern. Wie auch beim Abflug ist es darüber hinaus sicherer, die Landebahn bei Gegenwind anzufliegen, da dies die Geschwindigkeit über Grund verringert und den Bremsweg verkürzt.

Vor diesem Hintergrund sollte deutlich werden, dass die Planung neuer Strecken minimaler Lärmbelastung für Abflüge am effektivsten ist, wenn sie in dem Bereich ab einer Mindesthöhe von 150 m bis zum Anschluß an die höher gelegenen Reiseflugrouten angesiedelt ist. Die Routenplanung für Anflüge sollte sich im großen und ganzen auf den Flugabschnitt vom Instrumentenanflug (Initial Approach Fix) bis zum FAF(Final Approach Fix) konzentrieren.

3.1.3 Tätigkeitsbereich und Leistungsbeschreibung der DFS

Der Zuständigkeitsbereich der DFS sowie ihre Aktivitäten zur Fluglärmreduzierung sind in zahlreiche Prozesse und Aktivitäten eingebettet oder werden daran deutlich. Der Schwerpunkt dieses Berichts liegt auf (lärmbezogenen) Aktivitäten der DFS in Bereichen wie Routenplanung, täglicher Flugbetrieb, Luftfahrthandbücher (AIP) und der Umgang mit Flugzeugen, welche die vorgegebene Route nicht einhalten. Diese Problematiken stehen im Mittelpunkt der Fragen des RDF gemäß der Leistungsbeschreibung „Fluglärmmonitoring Frankfurt, Beitrag der Flugsicherung“.

Nachstehend werden Tools, welche in der Planung und Analyse des Flugverkehrs zum Einsatz kommen (insbesondere FANOMOS und NIROS), erörtert. NIROS ist ein Tool zur Unterstützung der Planung von Strecken minimaler Lärmbelastung (Minimum Noise Routes); FANOMOS ist ein Tool zur Verarbeitung von Radardaten, um aufgezeichnete Flugspuren zum Zwecke des Lärmmonitorings und der Analyse zu erstellen.

Die Aktivitäten der DFS sind in drei typische, zeitlich und örtlich getrennte Prozesse eingeordnet:



- Planungsphase: In diesem Prozess finden alle künftigen Aspekte des Flugverkehrs Berücksichtigung. Diese Aktivitäten beinhalten die Planung und Modifizierung von Routen und die Entwicklung von Arbeitsverfahren zur Kontrolle des Flugbetriebs und darüber hinaus die Bodennutzungsplanung sowie die Absprache mit dem LBA hinsichtlich der Gesetzgebungsverfahren.
- Täglicher Betrieb, in dem der Fluglotse die Flüge aktiv kontrolliert.
- Analysephase, in der der tägliche Flugbetrieb rückblickend bewertet wird, z. B. Verarbeitung und Auswertung von Radardaten (für einzelne Luftfahrzeuge ebenso wie für Jahresberichte etc.). Hierzu zählt auch die Kommunikation mit der Öffentlichkeit.

Die folgenden Abschnitte (3.2 und 3.3) geben zunächst eine allgemeine Einführung in die Tools NIROS und FANOMOS. Die *Nutzung* der Tools FANOMOS und NIROS wird weiter gehend entsprechend den drei typischen DFS-Prozessen erörtert: Planung, täglicher Betrieb und Analyse (Abschnitte 3.4, 3.5. und 3.6).

Weiterführende Informationen zu NIROS sind gesondert in Anhang C zu finden. Dort wird NIROS auf Grund der speziellen Fragen, welche von dem Projektteam Anti-Lärm-Pakt des RDF aufgeworfen worden, noch detaillierter beschrieben.

3.2 FANOMOS

3.2.1 Geschichte der Entwicklung von FANOMOS

Das Flugspurenaufzeichnungssystem FANOMOS ist ein Tool, welches bei der DFS in der Planungsphase (Routenplanung) und in der (Flugverkehrs-) Analysephase eingesetzt wird.

FANOMOS wurde entwickelt als Reaktion auf die öffentliche Diskussion über die Auswirkungen von Fluglärm. Im Zusammenhang mit der Planung von *Minimum Noise Routes* für den Amsterdamer Flughafen Schiphol wurde 1982 ein Flugspurenaufzeichnungssystem entwickelt. Hauptaufgabe dieses Aufzeichnungssystems mit Namen FANOMOS (Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System) war und ist bis heute die Überprüfung, ob Luftfahrzeuge entlang der vorgeschriebenen Abflugrouten geflogen werden. Hierzu können dem System die folgenden Informationen bereitgestellt werden:

1. Radardaten zur Rekonstruktion der tatsächlich geflogenen Flugrouten;
2. Flugplaninformationen, die administrative Daten mit folgenden Zielsetzungen liefern:
 - genaue Identifizierung einzelner Flüge und
 - Herstellung einer Verbindung zu der vorgeschriebenen Abflugroute;
3. Definitionsdaten, welche die Flughafengeometrie und z. B. gewährte Routentoleranzen definieren.

Das Flugroutenmonitoring kann damit als ein vollständig automatisierter, kontinuierlicher Prozess durchgeführt werden. Als Ergebnis dieses Prozesses werden die Flüge identifiziert, welche zu weit von der vorgeschriebenen Standard Instrument Departure Route abweichen.

Inakzeptable Abweichungen von der Ideallinie werden identifiziert, indem die *Toleranzbereiche* um die Ideallinie der tatsächlich geflogenen Route gegenübergestellt werden.

Die Untersuchung von Flügen, welche von der vorgegebenen Ideallinie abweichen, kann über die auf der grafischen Benutzeroberfläche verfügbare Funktionalität erfolgen.

Die FANOMOS-Funktionen wurden im Laufe der Jahre erweitert. Ermöglicht wurden diese Erweiterungen durch eine immer größere Kapazität der verwendeten Hardware:

- a) mehr Speicherplatz erleichterte die Speicherung von mehr Flugdaten und
- b) durch eine Erhöhung der Verarbeitungskapazität wurden berechnungsintensive Verfahren ermöglicht.

Beispiele für diese Erweiterungen der FANOMOS-Funktionen sind (s. Anhang A):

- Aufzeichnung der Flugspuren („Massenplots“) – zeigt die Flugwege mehrerer Flüge an;
- Statistiken zu administrativen Flugdaten zur Analyse der statistischen Verteilung von Start- und Landebahnen, Flugrouten oder Flugzeugtypen;
- Statistische Berechnung von Flugrouten, womit umfangreiche Informationen über Flugwege, z.B. den durchschnittlichen Flugweg, gewonnen werden können;
- Berechnung von Dichteplots auf den Flugrouten, wodurch große Mengen von Flugwegdaten besser analysiert werden können;
- Berechnung der Fluglärmbelastung, womit die Lärmbelastung für die Anwohner als Ergebnis tatsächlicher Flugdaten (sowohl Flugspuren als auch administrativer Daten) dargestellt werden kann.

Weitere funktionelle Erweiterungen und Upgrades als Ergebnis der Einführung einer neuen Computerhardware und –software erfolgen im Zuge der laufenden Entwicklungen für FANOMOS. Die neueste FANOMOS-Erweiterung, die derzeit noch entwickelt wird, unterstützt auch die 3D- bzw. 4D-Darstellung von Flugspuren, womit neben der Darstellung von x-Achse, y-Achse und Höhe auch die Zeitdimension als Animation abgebildet werden kann. Einige dieser Erweiterungen werden bzw. wurden auch der DFS zur Verfügung gestellt.

In den letzten 10 Jahren haben Flughäfen ein stetig steigendes Interesse an der Nutzung der Funktion Flugspurenaufzeichnung gezeigt. Viele Flughäfen haben ihre Fluglärmmonitoringsysteme durch *integrierte* Lärm- und Flugspurenaufzeichnungssysteme ersetzt oder entsprechende Systeme neu entwickelt. In einem solchen integrierten System dienen die Flugspuren nicht nur der vorstehend genannten Funktionalität, sondern verbessern auch die Messungen von Fluglärm (siehe Abschnitt 5).

Die durch den Betrieb eines Flugspurenaufzeichnungssystems verfügbaren Ergebnisse können auf den Websites verschiedener großer Flughäfen auf der ganzen Welt eingesehen werden;

einige Quellen sind in Kapitel 9 angegeben. Die FANOMOS-Funktionen entsprechen den Funktionen, die die von diesen Flughäfen verwendeten Flugspurenaufzeichnungssysteme aufweisen.

Wesentliche Teile der Verarbeitung von Flugspuren mittels FANOMOS sind seit Beginn der neunziger Jahre in Systemen enthalten, welche von Lochard Pty Ltd (Melbourne, Australien) entwickelt und installiert werden. Diese Systeme sind auf mehr als 100 Flughäfen auf der ganzen Welt installiert worden. FANOMOS, entweder für sich genommen oder integriert in andere Systeme, kann als eine dem neuesten Stand der Technik entsprechende Lösung angesehen werden.

3.2.2 Bei der DFS betriebene FANOMOS-Version

Ein Teil der FANOMOS-Funktionen wurde auf eine neue Workstation-Hardware umgeschrieben und der Deutschen Flugsicherung (DFS) 1988 zur Verfügung gestellt. Das System wurde zunächst als ein Offline-System betrieben, welches Bänder mit Radardaten verarbeitete. Das System wurde dann im Jahre 1992/1994 zu einem Online-System erweitert.

Die aktuellen FANOMOS-Systeme bei der DFS (Version 1, in Flughäfen eingesetzt) verwenden einen Radardaten-Input über ein internes DFS-Netzwerk. Die Verbindung zu diesen Daten wird über eine von der DFS bereitgestellte Softwarelösung ermöglicht. Die von FANOMOS ermittelten Flugspuren können an ein zentrales FANOMOS-System in Langen (Version 6) übertragen werden. Im Zentralsystem können Flugplaninformationen aus dem STANLY-System der DFS, einem Computersystem, welches Flugsicherungs- und Flugplandaten liefert, manuell in das FANOMOS-System eingespeist werden. Dies ist jedoch ein zeitraubender Vorgang.

Basierend auf diesen Daten betreibt die DFS standardmäßige FANOMOS-Funktionen, welche auch für FANOMOS-Nutzer außerhalb Deutschlands verfügbar sind. Aufgrund der Art von Aufgaben, welche die DFS im Bereich der Fluglärminderung innehat, ist ein Teil der verfügbaren FANOMOS-Funktionen für die DFS in keinerlei Hinsicht von Nutzen. Diese Funktionen, z. B. die Beschwerde/Ereignis-Korrelation und die Lärmbelastungsberechnung, werden daher aus der bei der DFS eingesetzten FANOMOS-Version entfernt. Die Art und Weise der Einbindung der FANOMOS-Funktionalität in den täglichen Betrieb bei der DFS wird im nächsten Kapitel dieses Berichtes beschrieben.

3.3 NIROS

NIROS wird in der Planungsphase von neuen oder geänderten Routen eingesetzt. Die Planung und Änderung von An- und Abflugrouten ist ein multidisziplinärer Prozess mit vielen zu berücksichtigenden Gesichtspunkten, der die Sichtweisen und Einschätzungen von mehreren

Experten aus verschiedenen Fachgebieten erfordert. Alle diese Gesichtspunkte sind auf eines oder mehrere der folgenden drei Hauptkriterien zurückzuführen:

- Die Sicherheitsstandards müssen zu jedem Zeitpunkt eingehalten werden.
- Die verfügbare Kapazität, die Anzahl der Bewegungen entlang einer Route pro Stunde, muss die Mindestanforderungen übersteigen.
- Die Lärmbelastung in bewohnten Gebieten muss so weit wie möglich verringert werden.

Diese drei Kriterien bilden, in dieser Reihenfolge, die Grundlage für die Planung von Routen und die Änderung von Flugrouten. Diese Basis wird weltweit akzeptiert und spiegelt sich in Vorschriften wieder, die in ICAO DOC 8168 PANS-OPS [Quelle 2] nachzulesen sind. Im Prozess der Änderung von bestehenden oder neu entworfenen Abflugrouten steht man den beiden folgenden lärmbezogenen Fragen gegenüber:

- Wie groß ist die Lärmbelastung für die Umwelt, ausgedrückt in einem objektiven Kriterium (bzw. einer Zahl)?
- Ist die geplante Route im Hinblick auf diese Lärmbelastung optimal?

Eines der von der DFS zur Beantwortung dieser Fragen eingesetzten Tools ist NIROS. NIROS ist ein elektronisches Hilfsmittel, welches eine Auswahl von Routenparametern im Hinblick auf ein nach Bevölkerungsdichte gewichtetes Lärmkriterium optimiert. So können Ausgangsrouten objektiv verglichen und verbessert werden. Es wird implizit davon ausgegangen, dass die optimierten Routenparameter die geringste Lärmbelastung für die Bevölkerung bedeuten.

3.3.1 Geschichte von NIROS

Die allgemeine Zunahme des Flugverkehrs sowie die Frage der Landnutzung in Flughafennähe haben die Fluglärmproblematik in das Bewußtsein der Öffentlichkeit gerückt. Die Zivilluftfahrt versucht dem vor allem dadurch zu begegnen, dass z.B. bei Routenplanung und Flugbetriebsverfahren heute stärker nach Maßgaben der geringsten Lärmbelästigung gearbeitet wird. Die Planung von Flugrouten ist auch heute noch eine Kunst, bei der mit Landkarten, intuitiven Arbeitsweisen, Lehrbuchmethoden und speziell angepassten Gesichtspunkten des gesamten Routenplanungsprozesses (eingebettet in einen Gesamtprozessablauf) vorgegangen wird. Das Ergebnis einer solchen Planungsarbeit wird auf Vereinbarkeit mit dem ICAO-Dokument 8168 PANS-OPS geprüft. Aufgrund der Komplexität dieser Aufgabe und dem großen Interesse an Sicherheit wurden bisher nur wenig computergestützte Hilfsmittel wie z.B. FANOMOS eingesetzt. Programme wie NIROS, die mit Hilfe von Optimierungstechniken die geringste Lärmbelästigung globaler Flugrouten ermitteln, haben sich noch nicht durchgesetzt. Die vielfältigen Aspekte der Planung einer lärmoptimierten Flugroute sind Gegenstand weltweiter Forschung. Der Computercode NIROS hat dabei bereits einen Entwicklungsgrad

erreicht, der die professionelle Anwendung ermöglicht. NIROS ist das Produkt einer von der DFS in Auftrag gegebenen Forschungsarbeit zum Thema „Rechnergestützte Bestimmung von Strecken minimaler Lärmbelastung“. Das Projekt wurde an der Technischen Hochschule Darmstadt durchgeführt und 1998 abgeschlossen.

Der NLR sind keine weiteren Softwareprogramme bekannt, die in ähnlichen Anwendungen, d.h. für Routenplanung und Flugsicherung, eingesetzt werden.

In Anhang C findet sich eine detaillierte Beschreibung von NIROS. Dieses Kapitel beinhaltet eine weniger ausführliche und eher allgemeine Zusammenfassung des Anhangs.

3.3.2 Funktionsweise und Zweck von NIROS

Mit NIROS kann eine (Abflug-)Route jedes Flugzeugtyps im Hinblick auf die geringste Lärmbelastung für die Bevölkerung optimieren. NIROS prüft hauptsächlich (kleine) Veränderungen oder Abwandlungen von Flugrouten und schätzt den Einfluss auf die Gesamtlärmbelastung ab. Im Rahmen des Routenoptimierungsprozesses quantifiziert NIROS die Lärmbelastung, wobei lokaler Lärmpegel und lokale Bevölkerungsdichte eines großen Gebietes berücksichtigt werden. NIROS kann einen Lärmbelastungsparameterwert berechnen und so eine (vorgeschlagene) Flugroute auf ihre Lärmauswirkungen prüfen.

Diese Funktion ermöglicht es, mehrere Flugrouten im Hinblick auf die jeweils geringste Lärmbelastung zu vergleichen.

Die Qualität (oder die allgemeine Akzeptanz einer optimalen Route) von NIROS bei der Frage nach der minimalen Lärmbelastung steht mit den folgenden vier Aspekten in Verbindung:

- Routenbeschreibung: Wie gut ist eine Route in Bezug auf die „fliegerische Machbarkeit“ mathematisch modelliert?
- Quantifizierung der Lärmbelastung: Die Lärmbelastung in Flughafennähe wird in einer einzigen Zahl ausgedrückt. Ist das zugrundeliegende Kriterium (bzw. diese Zahl) allgemein verständlich und wird es von den Beteiligten als ein gültiges Kriterium für die Routenoptimierung angesehen?
- Optimierungsprozess: Erreicht der Prozess sein (Lärmminimum-) Ziel?
- Flugbetrieb und bevölkerungsbezogene Daten: Sind die Daten hinreichend genau und vollständig, um den Flugverkehr und die Lärmbelastung in Flughafennähe angemessen auszudrücken?

Die Leistungsbeschreibung für das Gutachten enthält spezielle Fragen zu NIROS. Diese Fragen stehen in keiner besonderen Beziehung zum DFS-Betrieb; sie beziehen sich auf die

Entwicklung und Umsetzung von NIROS. Dieses Kapitel enthält zur Beantwortung dieser Fragen eine detailliertere Analyse des NIROS-Systems.

3.3.3 Routenplanung und -beschreibung

In NIROS wird eine Route gemäß dem Schema in Abb. 1 definiert.

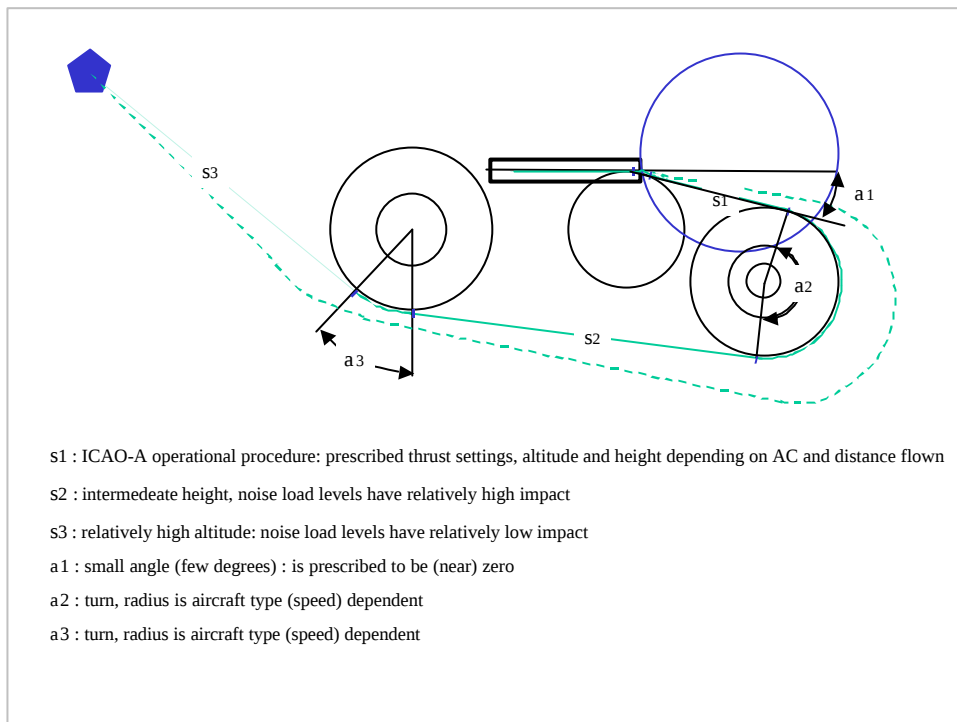


Abbildung 1 Routenfestlegung in NIROS

Die berücksichtigten Routen sind mathematisch über eine begrenzte Anzahl von geraden Strecken und Kurven definiert. Die aktuelle Version von NIROS ist in der Anzahl der Parameter begrenzt, die optimiert werden können. Die NIROS-Version, so wie sie von der DFS eingesetzt wird, optimiert 1 oder 2 Kurven, die mit geraden Strecken verbunden sind (Verbindung der Kurven). Der Radius der Kurve ist spezifisch für einen (benutzerdefinierten) Flugzeugtyp. Die Längen der geraden Strecken (s1, s2) und die Änderungen der Kurven (Winkel a1, a2) unterliegen dem Optimierungsprozess. Die Radii der Kurven hängen von den Flugzeugeigenschaften ab, die sich während des Startvorgangs entwickeln.

Der Ansatz, den NIROS bei dem Problem der Berechnung einer Minimum Noise Route anwendet, impliziert, dass der Minimierungsprozess mit einer Ausgangsroute beginnt, die bereits auf Sicherheit und Kapazität hin überprüft worden ist. Dies bedeutet, dass nur relativ kleine Änderungen an den Routen vorgenommen werden. Falls eine optimierte Route sehr viel anders ist als die ursprüngliche Ausgangsroute, sollten Sicherheit und Kapazität erneut bewertet werden.

Es können natürlich viele andere mögliche Ausgangsrouten bewertet werden.

3.3.4 Berechnung der Fluglärmbelastung

Für eine gegebene Route ist die Lärmbelastungsberechnung ein klar definierter Vorgang, wie aus Abbildung 2 ersichtlich wird. Die NIROS-Berechnungen beginnen mit der Auswahl des Flugzeugtyps, des Betriebsverfahrens, der verwendeten Startbahn und der Ausgangsroute.

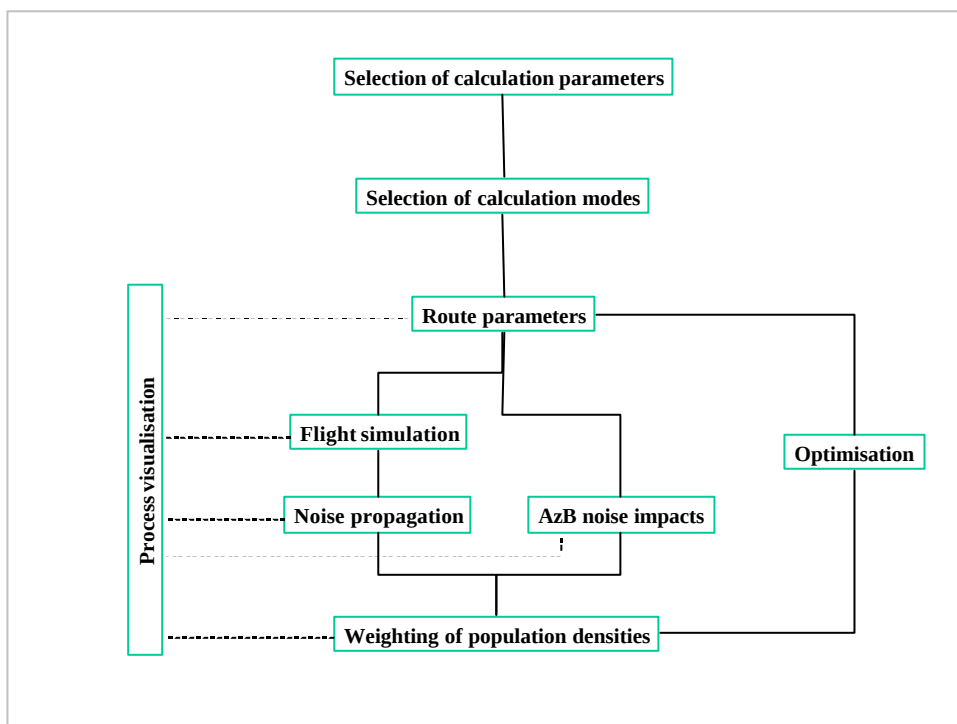


Abbildung 2 Berechnung der Fluglärmbelastung

Es gibt zwei unterschiedliche Methoden zur Berechnung der Lärmbelastung.

? Die eine ist der deutsche Berechnungsstandard für die Fluglärmbelastung, AzB – Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen [Quelle 17 und 18]. Die AzB-Methode ist genau



definiert, sehr bekannt und anerkannt. Die aktuelle NIROS-Version basiert auf dem AzB-Standard vom 10.03.1994.

? Bei den meisten Optimierungsberechnungen wird jedoch mit einer anderen Methode gearbeitet. Diese Methode zur Berechnung der Lärmausbreitung basiert auf einer Flugsimulation (horizontale Position, Höhe und Geschwindigkeit unterliegen der Kontrolle des Piloten oder des Flugmanagementsystems). Die sich daraus ergebende Position, Höhe, Geschwindigkeit und Schubstellung als Funktion der geflogenen Zeit oder Entfernung werden dann in ein Modell eingegeben, in dem die Lärmeigenschaften des Motors (einschließlich Richtwirkung und Lärmpegel) und die Lärmausbreitung über die Atmosphäre enthalten sind. Dieses Modell bietet prinzipiell die Möglichkeit einer sehr realistischen und detaillierten Lärmbelastungsberechnung. Bei dieser alternativen Methode werden jedoch wesentlich genauere Angaben benötigt, die von den Flugzeugherstellern nur begrenzt verfügbar sind. NIROS erlaubt daher nur die Auswahl aus einer begrenzten Zahl von Flugzeugen.

Die berechnete Lärmbelastung unterscheidet sich je nach geographischer Lage, wie auch die Bevölkerungsdichte eine Rolle spielt. Bei NIROS wird die lokale Lärmbelastung mit der lokalen Bevölkerungsdichte gewichtet und diese Daten im untersuchten Gebiet integriert. Das Ergebnis ist eine einzige Zahl, die ein Gesamtlärmbelastungskriterium darstellt. Die nächsten Kapitel beschreiben einige Details.

Hier gilt es zu beachten, dass es zum heutigen Entwicklungsstand der Technik keine gesicherte Quantität gibt, welche die auf die Bevölkerungsdichte bezogene Lärmbelastung in einem größeren Gebiet in einer einzigen Zahl quantifiziert. Für NIROS wird ein solches auf die Bevölkerungsdichte bezogenes Lärmbelastungskriterium absichtlich definiert (Siehe Anhang C).

3.3.5 Bevölkerungsdichte und Flugzeugdaten

Eine Voraussetzung für die Berechnung einer Lärmminimierungsrouten ist die Verfügbarkeit von hinreichend genauen, zuverlässigen und eindeutigen geographischen Informationen, um die Kalkulationen durchführen zu können, aber auch, um Zweifel an der Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu vermeiden. Für NIROS wird die geographische Verteilung der Bevölkerungsdichte zusammengetragen. Diese Datenbank zur Bevölkerungsdichte wird aus zwei anderen Datenbanken zusammengestellt, die der DFS von externen Quellen zur Verfügung gestellt wurden: eine Datenbank zur Anzahl der Menschen pro Verwaltungsbezirk und eine zur geographischen Darstellung der bebauten Gebiete. Mit einigem Arbeitsaufwand kann diese Datenbank alle paar Jahre aktualisiert werden. Die aktuelle Datenbank zur Bevölkerungsdichte erlaubt tägliche Änderungen und verfügt über eine Auflösung von 100 x 100 Metern. Die

Qualität der darin enthaltenen Informationen sowie die Auflösung sind später für die Genauigkeit der berechneten Lärmrouten entscheidend.

3.3.6 Geografische Information

Bei den Berechnungen von NIROS wird seit 2001 die Landschaftshöhe mit einbezogen.

3.4 Lärmbezogene Aspekte im Hinblick auf die Planungsphase

Die DFS spielt bei der Planung von Abflugrouten rund um den Flughafen Frankfurt/Main eine wichtige Rolle. Hierzu werden Tools wie FANOMOS und NIROS eingesetzt. In den nächsten Kapiteln werden die Rolle der DFS und der Einsatz dieser Systeme im Detail beschrieben.

3.4.1 Aktueller Stand

3.4.1.1 Routenplanung: Prozesse und Arbeitsverfahren der DFS

Der (High Level) Prozess der Routenplanung von der Initiierung bis zur Einführung von neuen oder geänderten Routen ist genau definiert und strukturiert (siehe Abbildung 3).

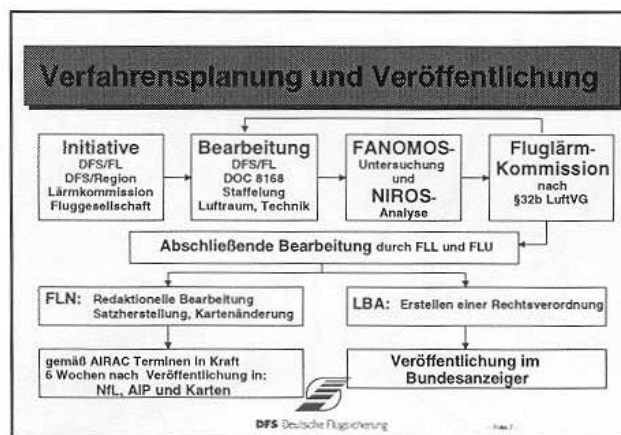


Abbildung 3 Prozess der Routenplanung und -veröffentlichung (ohne Abwägungsprozess)

Diese Abbildung dokumentiert die Verantwortungsbereiche, Aufgaben und die Strukturierung der Aufgaben.

- Die Initiative, einen Planungsprozess einzuleiten, geht von einem Beteiligten aus, z. B. der DFS, der Fluggesellschaft, der „Fluglärmkommission“ oder einer lokalen Behörde.
- Eine solche Initiative führt zu einem Prozess, in dessen Rahmen eine neue Route geplant und auf die drei Hauptkriterien hin analysiert werden muss: Sicherheit, Kapazität und Umwelt (Lärm). In diesen Prozess sind drei Parteien eingebunden – die DFS, die Fluglärmkommission und das LBA. Die Arbeit beinhaltet die Analyse mit den Tools FANOMOS und NIROS. Die Planung selbst basiert auf den Verfahren und Vorschriften des ICAO DOC 8168 PANS-OPS und wird auf Vereinbarkeit mit diesen geprüft. Vor der

endgültigen Entscheidung steht der Gewichtungsprozess, in dem die Vor- und Nachteile verschiedener Routen und ihre Auswirkungen auf die Anwohner abgewogen werden.

Falls ein solcher Planungsprozesses erfolgreich zum Abschluss gebracht wird, d. h., wenn die Initiative tatsächlich zu einer neuen oder geänderten Route geführt hat, werden weitere Aktivitäten eingeleitet:

- Der Planungsprozess muss von den DFS-Abteilungen FLL und FLU beendet werden.
- Das Luftfahrthandbuch (AIP), einschließlich Diagramme und Beschreibungen, sowie die Bekanntgabe von Änderungen müssen entsprechend den genau definierten internationalen Standards erstellt und veröffentlicht werden.
- Das LBA prüft die Routenvorschläge. Bei positivem Bescheid erlässt das LBA eine Rechtsverordnung (§27a(2) LuftVO), die im Bundesanzeiger veröffentlicht werden muss.

Auf der technischen Ebene/Arbeitsebene existiert derzeit, d. h. Stand Sommer 2002, kein festes und genau definiertes Arbeitsverfahren, wie und wann NIROS (und FANOMOS) im Prozess der Planung und Änderung von Routen einzusetzen sind. Das entsprechende Tool wird auf einer Ad-hoc-Basis eingesetzt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Routen nicht entsprechend den ICAO-Standards entworfen werden, sondern lediglich, dass es keine strukturierte Vorgehensweise gibt, die einen rückverfolgbaren und wiederholbaren strukturierten Arbeitsablauf garantiert.

3.4.1.2 Initiierte Verbesserungen

Die DFS hat einen Prozess initiiert, der die Entwicklung eines Qualitätssicherungssystems mit genau festgelegten Arbeitsverfahren auf Arbeitsebene zum Ziel hat.

3.4.1.3 Empfehlungen für eine verbesserte Routenplanung

Der heutige Navigationsstandard beruht auf einem Konzept, bei dem der Flugweg durch den Flug von Funkfeuer zu Funkfeuer festgelegt wird. RNAV (Flächennavigation) ist eine Navigationsmethode, die es (mit einem Flight Management System ausgestatteten Flugzeugen) ermöglicht, entlang eines gewünschten Flugwegs zu fliegen: Sogenannte „user preferred routes“. Ein RNAV Overlay¹ ist eine Flugbahn, die RNAV einsetzt, dies jedoch entlang der gegenwärtig verfügbaren Routen von Funkfeuer zu Funkfeuer. Daher ist es sozusagen eine Kopie der bestehenden Navigationsrouten. Ein Overlay wird deshalb verwendet, weil ein Flugzeug so die gegenwärtig verfügbare Route mit weniger Abweichungen von der

¹ Das RNAV-Verfahren wurde entwickelt, um ein konventionelles Verfahren widerzuspiegeln.



Nominalroute fliegen kann, weil es heute möglich ist, die Route unter Verwendung des Flight Management Systems („Autopilot“) zu fliegen. Die Präzision, die bei einem Navigationssystem benötigt wird, hängt von der Anwendungsform ab, d.h. beim Anflug auf einen Flughafen ist die Präzision höher als während des Fluges bei Reisegeschwindigkeit und –höhe. Der RNAV-Grundpräzisionslevel kann für Anwendungen während des Fluges bei Reisegeschwindigkeit und –höhe eingesetzt werden.

Derzeit sind RNAV Overlays für viele Abflugrouten im Luftfahrthandbuch (*Aeronautical Information Publication*; AIP) nachzulesen. Dies verringert die tatsächliche Streuung um die Ideallinien (so kann z.B. der Flugcomputer programmiert werden, die angegebene Route automatisch zu fliegen).

Flächennavigation (RNAV) kann in Zukunft genutzt werden, um die Planung von Routen für die Terminal Area flexibler zu gestalten. Dies birgt Vorteile für die Planung der Abflugrouten, da andere als die bodenbasierten Navigationspunkte für die Routenführung verwendet werden könnten. Das Ergebnis könnten dann separate RNAV-Abflugrouten sein, welche mit den konventionellen Routen nicht notwendigerweise übereinstimmen.

RNAV wird in der Terminal Area immer häufiger genutzt werden, da mit P-RNAV (*Precision Area Navigation*) ausgestattete Flugzeuge mehr und mehr zum Standard werden. Das präzisere P-RNAV kann auf einem Teil der Anflugstrecke auf den Flughafen eingesetzt werden. Nicht alle Maschinen mit RNAV-Grundzulassung verfügen auch über die P-RNAV-Zulassung. In den letzten Jahren kamen viele unterschiedliche RNAV-Versionen auf den Markt. Jede Version hatte ihre eigene Anwendung und ihren eigenen Zertifizierungsstandard. Um einen Vergleich dieser unterschiedlichen RNAV-Systeme zu ermöglichen, wurde ein allgemeiner Zertifizierungsstandard namens RNP RNAV (Required Navigational Precision Area Navigation) eingeführt. Für jede Anwendung wird eine unterschiedliche Navigationspräzision gefordert und festgelegt (z.B. RNP RNAV 0.3 für den teilweisen Einsatz während des Landeanflugs und RNP RNAV 5 für den Reiseflug). P-RNAV bietet eine Genauigkeit von $\pm 1\text{Nm}$ für 95% der Flugzeit (entspricht etwa dem derzeit verfügbaren Genauigkeitsstandard für den Luftraum über Flughäfen). Nach P-RNAV wird RNP-RNAV 0.3 (*Required Navigational Performance*) eine Option sein. Damit sind Abflüge bis zu einer Genauigkeit von $\pm 0.3\text{NM}$ vorstellbar.

3.4.1.4 Minimum Noise Route Charts

Nachdem die (Neu-) Planung oder Änderung einer Route abgeschlossen ist, müssen diese Informationen aufgenommen und weitergegeben werden. Teil dieses Prozesses ist die Erstellung von Lärminderungskarten, den Minimum Noise Route Charts.

Die Minimum Noise Route Charts (siehe Abbildung 2) sind Teil des Luftfahrthandbuchs (AIP). Diese Veröffentlichung wird herausgegeben von einem Staat oder mit der Genehmigung eines Staates und enthält fortwährend gültige Luftfahrtinformationen, welche für die Luftfahrtnavigation von entscheidender Bedeutung sind. Das Luftfahrthandbuch ist somit eine wesentliche Informationsquelle für Fluggesellschaften. Die dort enthaltenen Informationen umfassen Angaben zu Routen, Öffnungszeiten und Verfahren zur Lärminderung.

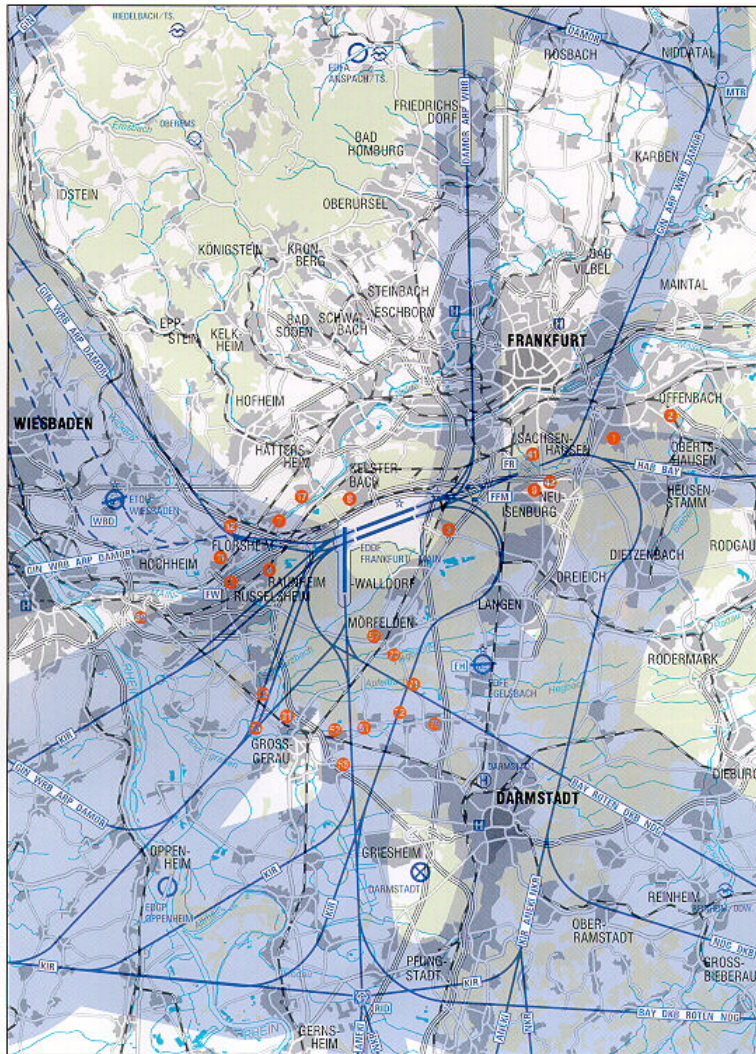


Abbildung 4 Ideallinien (blaue Linien) mit den entsprechenden Flugerwartungsgebieten (blau) und den Standorten des Lärmmonitorings (rot) [Quelle 14].

Minimum Noise Route Charts beziehen sich ausschließlich auf Abflugrouten. Die Karten zeigen die Ideallinie (Standard Instrument Departure – SID) und einen Toleranzbereich um die Ideallinie herum, innerhalb dessen das abfliegende Flugzeug bleiben sollte.

Für Piloten sind die wichtigsten Teile (z.B. Ideallinien ohne Toleranzbereiche) des Luftfahrthandbuches in Jeppesen Karten/Handbüchern enthalten (siehe Abb. 5). Die Piloten entnehmen dem Jeppesen vor und während des Fluges die relevanten Informationen in Bezug auf die einzuhaltenden Routen.

Die Minimum Noise Route Charts (siehe Abb. 4) würden dem Piloten nur ungefähr die zu fliegende Route zeigen. Eine solche Karte zeigt nicht an, wie die Route zu fliegen ist. Dies wird in einem Abflugverfahren (wie auf der Jeppesen-Karte abgebildet) festgelegt, welches angibt, was zu tun ist, wenn bestimmte Kriterien zutreffen, z. B. „turn right, 019° track to TABUM“. Dies bedeutet, dass der Pilot während des Fluges nicht korrigierend eingreift, um das Flugzeug in den Routentoleranzbereichen zu halten.

Auch den Fluglotsen erleichtern die SIDs ihre Arbeit. Durch die Standardisierung der Routen lässt sich besser bestimmen, zu welchem Zeitpunkt des Abflugs das Flugzeug welche Position und Höhe haben wird. Die Routen sind von Anfang bis Ende vordefiniert; Piloten und Fluglotsen wissen, dass sie über die gleiche Route sprechen (z. B. „fly ARP 2F departure“). Andernfalls müssten die Fluglotsen den Piloten jedes Mal über Funk mitteilen, wie genau diese aus dem Frankfurter Luftraum herauszufliegen haben (z. B. „Climb to FFM 5 DME or 800 ft, whichever is later, turn RIGHT, ..., intercept ARP R-130 inbound to ARP“). Die Fluglotsen aus den angrenzenden Bereichen erwarten, dass das Flugzeug diese standardisierten Routen fliegt. Sie legen ihren Entscheidungen teilweise diese Erwartungen zu Grunde (z. B. „ein Flugzeug, das ARP 2F Abflug fliegt, braucht 5 Minuten, bis es in meinen Sektor kommt“). Dennoch lenken Fluglotsen aus Sicherheitsgründen Flugzeuge von der Standardroute weg, um beispielsweise Überschneidungen im Luftverkehr zu vermeiden.

Aufgrund der operationellen Unterschiede zwischen verschiedenen Flügen (Wetter, Gewicht des Luftfahrzeuges) und besonderen Anweisungen von Seiten des Fluglotsen treten Abweichungen von der Ideallinie auf. Die Flugzeuge müssen von Hindernissen am Boden und vom übrigen Luftverkehr ferngehalten werden. Um operationelle von irrtümlichen Abweichungen zu unterscheiden, wird ein Toleranzbereich, ein Flugerwartungsgebiet, um die Ideallinie herum festgelegt. Dieser Toleranzbereich wird entsprechend den Richtlinien des ICAO-PANS-OPS² [Quelle 2] festgelegt. Diese Richtlinien basieren auf einer verbindlichen, zur Navigation benötigten Mindestausstattung, die an Bord jedes Flugzeugs vorhanden sein muss.

² ICAO PANS-OPS sind die international vereinbarten Verfahren für Navigationsdienste im Luftverkehr (Procedures for Air Navigation Services regarding aircraft OperationS). Sie enthalten detaillierte Betriebspraktiken hinsichtlich (der Entwicklung der) Flugverfahren.

Die Flugwartungsgebiete beschreiben einen definierten Toleranzbereich (2 s), innerhalb dessen erwartungsgemäß 95 % der Luftfahrzeuge fliegen, wenn die speziellen Routenanweisungen beachtet werden.

In der Praxis scheint dieser Prozentwert sogar noch höher zu sein. Dies ist zu erwarten, da die meisten modernen Flugzeuge ohne Probleme in der Lage sind, genauer zu fliegen, als dies gemäß den Annahmen zur Festlegung des Toleranzbereichs geschehen würde.

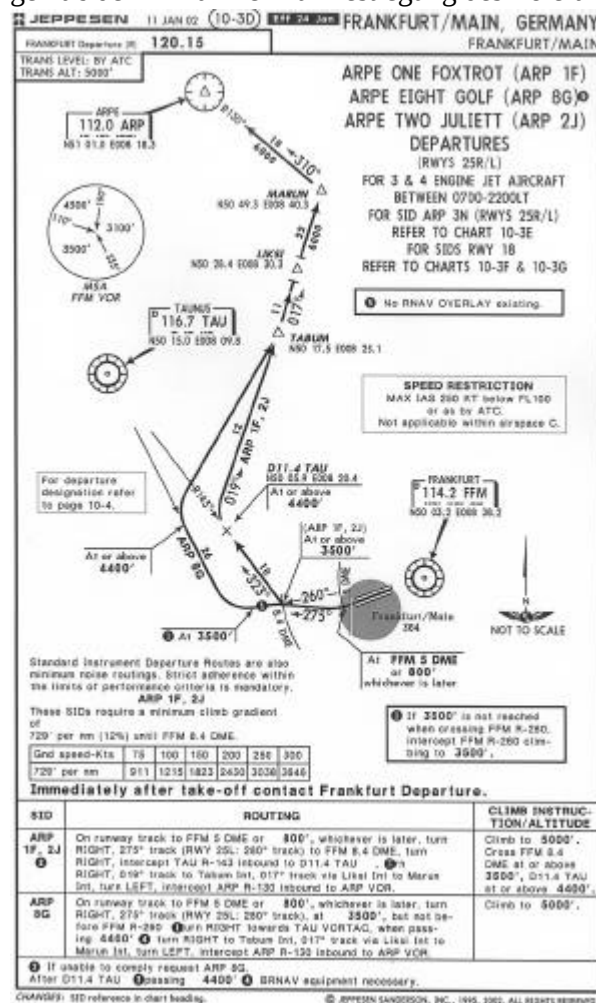


Abbildung 5 Jeppesen-Karte mit Beschreibung einer Nominal Departure Route (SID) für die Piloten.

Wie bereits vorstehend angemerkt, wurden diese Toleranzbereiche für Abflugrouten entwickelt. Es ist dennoch möglich, dass ein Flugzeug außerhalb dieser Toleranzbereiche fliegt. Dies geschieht zum Beispiel im Falle spezieller Anweisungen des Fluglotsen (z. B. aufgrund der Verkehrssituation).

Beim Anflug nutzt die Flugsicherung meist die Methode der Radarführung (der Pilot erhält kontinuierlich genaue Informationen, wie er zu fliegen hat), da andernfalls kein flüssiger



Flugbetrieb anfliegender Flugzeuge sichergestellt werden kann. Der Fluglotse ist dafür verantwortlich, das jeweilige Luftfahrzeug von am Boden befindlichen Hindernissen und anderem Verkehr in der Terminal Manoeuvring Area (TMA) fernzuhalten. Eine TMA ist der Übergangsbereich zwischen dem Reiseflug und der Endanflugsphase bzw. umgekehrt zwischen dem Abheben und dem Reiseflug. Dieser Bereich liegt normalerweise zwischen 500 und 3000m Höhe, was jedoch in starkem Maße von der spezifischen Gestaltung des Luftraums (vor Ort) abhängt. In diesem Fall werden keine Routentoleranzbereiche festgelegt, da keinen bestimmten Routen gefolgt wird. Zur Lärmvermeidung werden jedoch einfache Maßnahmen entwickelt, wie z.B. ein Flugzeug lange in größtmöglicher Höhe zu halten.

Für das Missed Approach³-Verfahren werden ebenso Toleranzbereiche festgelegt. Die Missed Approach-Verfahren sind ein normaler Vorgang, kommen jedoch nicht häufig vor. Die Flugsicherung könnte von der Ideallinie des Missed Approach abweichen, um das entsprechende Flugzeug wieder in den geordneten und zügigen Strom anderer anfliegender Flugzeuge einzureihen.

3.4.1.4.1 Erstellung von Minimum Noise Route Charts

Minimum Noise Route Charts (MNR, s. Abb.4) sind eine visuelle Darstellung der Abflugrouten einschließlich der Toleranzbereiche auf einer Bodenkarte.

Für die Erstellung der Karten wendet die DFS folgendes Verfahren an: Nach Berechnung und Planung der Standard Instrument Departure Route durch die DFS-Abteilung FLL sowie der Toleranzbereiche durch die Abteilung FLU wird diese an die Abteilung LDM/FN zur Vorbereitung der offiziellen Veröffentlichung im Luftfahrthandbuch weitergeleitet. FLN erstellt die Karte mit den Minimum Noise Routes (MNR) [Quelle 13].

Auf der Karte ist nur die Summendarstellung abgebildet, d. h. die Summe aller Bereiche der Flugerwartungsgebiete. Der genaue Bereich des einzelnen Flugerwartungsgebietes ist hieraus nicht ersichtlich [Quelle 13].

Die Genauigkeit einer solchen Karte hängt in Bezug auf die Zeichnung von zwei Kriterien ab – der Genauigkeit der Route und der Toleranzbereiche und der Genauigkeit der Karte, welche diesen Routen zu Grunde liegt. Laut DFS sind die Routen und die Toleranzbereiche mit einer

³ Abgebrochene Landung (z. B. weil sich noch ein anderes Flugzeug auf der Landebahn befindet)

⁴ Diese Kriterien werden weltweit eingesetzt und stellen sicher, dass das Flugzeug, welches zertifizierte Navigationsgeräte einsetzt, sicher in allen Bereichen betrieben werden kann, die über zertifizierte Bodennavigationsinstrumente verfügen.

Toleranz von ± 3 Zentimeter (reale Entfernung) definiert. Die Genauigkeit der zu Grunde liegenden Karte ist nicht bekannt.

3.5 Lärmaspekte im Hinblick auf den täglichen Flugbetrieb

Die der DFS zugewiesene Aufgabe der Lärminderung wird im täglichen Flugbetrieb offensichtlich. Die Minimum Noise Routes und die damit in Zusammenhang stehende/n Kommunikation/Publikationen bilden die Grundlage für den eigentlichen Betrieb. Das Tool FANOMOS unterstützt diese Phase, indem es reelle Flugdaten liefert. Der DFS-Fluglotse kontrolliert zudem den Luftverkehr, wobei er gleichzeitig Sicherheit, Kapazität und Lärminderung sicherstellt.

Dieses Kapitel dient der detaillierteren Erörterung der lärmbezogenen Aspekte des täglichen Flugbetriebs.

3.5.1 Aktueller Stand

3.5.1.1 Unterstützung des täglichen Flugbetriebs durch FANOMOS

3.5.1.1.1 FANOMOS-Betrieb im Allgemeinen

Wie vorstehend bereits erläutert, betreibt die DFS FANOMOS seit 1988 für alle großen Flughäfen in Deutschland. Die für den DFS-Betrieb verfügbaren Funktionen haben den Schwerpunkt immer auf die Verarbeitung von Radardaten und Flugrouten gelegt und beinhalten:

- Rekonstruktion der Flugroute basierend auf den der DFS bereitgestellten Radardaten;
- Prüfung der Routentoleranz auf der Basis der Flugerwartungsgebiete (ICAO Doc 8168);
- Untersuchung einzelner Flüge;
- ‚Massenplots‘ der Flugrouten;
- Flugroutenstatistik;
- Höhenprofilanalysen;
- Luftraumstrukturanalysen.

Die Erfassung von Radardaten und die Rekonstruktion von Flugrouten werden als ein kontinuierlicher Prozess nahezu in Echtzeit durchgeführt. Die aktuellen FANOMOS-Systeme (Version 1 in den Flughäfen, Version 6 in Langen) werden nicht mit einem beständigen Fluss an Flugplandaten gespeist. Daher kann die Routentoleranzprüfung auch nicht *automatisch* durchgeführt werden.

Ein Luftfahrzeug kann während des Fluges seine Flughöhe mit Hilfe eines Höhenmessers ermitteln, welcher mit einem Referenzdruck und dem Umgebungsdruck in der entsprechenden Höhe arbeitet. Als Referenzdruck wird bei geringerer Flughöhe der (Referenz-)Luftdruck am



Flughafen (in Abhängigkeit vom bestehenden Luftdruck vor Ort) verwendet, für größere Höhen wird ein Standardreferenzdruck von 1013 hPa (entspricht in etwa Millibar) angenommen. Zur Rekonstruktion der wahren Höhe eines Luftfahrzeugs wird ein automatischer Daten-Input für den barometrischen Luftdruck verwendet; dieser ist bei der DFS jedoch nicht Teil der aktuellen FANOMOS-Umgebung. Das Fehlen des Flughafen-Luftdrucks (QNH) führt in Bezug auf die Flughöhe zu Werten, welche sich an dem (fließenden) 1013-mbar Höhenwert orientieren.

Die täglichen Prüfungen einzelner Flüge können nur durchgeführt werden, nachdem der Druckwert manuell mit dem Wert ersetzt wurde, der während des Fluges bestand. Mittels dieser Korrektur werden die Höhenangaben richtig ermittelt. Das Filtern der Flugroutendaten, das unter anderem auf Höheninformationen basiert, kann jedoch nicht noch einmal berechnet werden; dies könnte zu verkürzten Flugrouten mit falschen Höhenangaben in Flughafennähe führen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der FANOMOS-Betrieb unter den aktuellen Bedingungen zwar korrekt ausgeführt wird, , doch ist der damit verbundene manuelle Betrieb so aufwändig, dass nicht alle verfügbaren Funktionen für *sämtliche* Flugdaten voll genutzt werden können.

3.5.1.1.2 Untersuchungen der Lärmaspekte

Abgesehen von der regelmäßigen globalen Analyse (siehe Abschnitt 3.6.1.2) führt die DFS auch Untersuchungen zu folgenden Themen durch:

- Flugroutenabweichungen (können ein vom LBA durchgeführtes Ordnungswidrigkeitsverfahren nach sich ziehen);
- Genaue Untersuchungen (Einzeluntersuchungen);
- Flugverhalten Einzelner (wird von der DFS regelmäßig überprüft, auch auf Anfrage möglich);
- Lärmbeschwerden (gemäß Umweltinformationsgesetz oder im Rahmen eines Amtshilfeersuchens).

Laut DFS wird für die meisten der (schwer wiegenden) Abweichungen von Flugrouten für eine solche Untersuchung eine *externe* Anfrage eingereicht.

Die verfügbaren Informationen, welche mit dem FANOMOS-System generiert werden können, werden in dieser Art Untersuchung vollständig genutzt. Das System wird von der DFS als ein wichtiges Tool eingestuft, um die Antworten zu erhalten, die für die Handhabung von Beschwerden und Routenabweichungen nötig sind.

3.5.1.1.3 Von der DFS bereitgestellte Fluginformationen und -daten

Die DFS erhält Anfragen für LIZ (STANLY) Flugplandaten und FANOMOS-Flugspurenaufzeichnungen. Diese Anfragen (gemäß Umweltinformationsgesetz oder als Amtshilfe) stammen von den örtlichen Behörden oder Regierungsbehörden und Privatpersonen, welche sich über Fluglärm beschweren.

Nach diesen Anfragen erstellt die DFS FANOMOS-Plots, welche die Flugrouteninformationen zeigen. Die Ergebnisse der STANLY-Analyse, die Informationen über Flugzeuge in bestimmten Gebieten zusammenstellt, einschließlich der Höhenangaben, sind in den entsprechenden Antworten enthalten. Falls eine Anfrage ein Gebiet betrifft, das außerhalb des FANOMOS-Bereichs liegt, können die STANLY-Flugdaten zur Verfügung gestellt werden. Auf Anfrage können auch binäre FANOMOS-Flugdaten verfügbar gemacht werden; diese müssen jedoch vorverarbeitet werden, um sie für den Empfänger lesbar darzustellen.

Die allgemeine Freigabe von (rohen, unbearbeiteten) Radardaten wird von der DFS nicht in Betracht gezogen, da dies umfassende Verarbeitungskapazitäten auf Seiten des Empfängers erfordert. Die meisten Lärmmonitoringsysteme, die auf dem neuesten Stand der Technik sind, sind indes mit einem Prozessmodul für Radardaten ausgerüstet. Hinsichtlich des FRAPORT-Lärmmonitoringsystems ist ein Vertrag über die Bereitstellung von Radardaten durch Radar Message Conversion and Distribution Equipment (RMCDE) zwischen der DFS und FRAPORT unterzeichnet worden. Diese Radardaten werden ausschließlich zur Unterstützung der Funktionalität des FRAPORT-Lärmmonitoringsystems bereitgestellt. Der Bereich der Radardaten liegt bei etwa 48 NM (89 km) bis zu einer Höhe von FL 120 (3.6 km). Zusätzlich liefert die DFS sekundäre Radardaten (SSR) von dem Überwachungsradar (ASR) südlich oder nördlich des (Frankfurter) Flughafens sowie Code-Callsign-Paare.

Um das Datenschutzgesetz einzuhalten, wird aus den an Privatpersonen freigegebene Daten jeglicher Personenbezug entfernt (d.h., das Callsign oder die Registrierung des Flugzeugs werden nicht verfügbar gemacht; der Luftfahrzeughalter kann angegeben werden).

3.5.1.1.4 Darstellung der Flugdaten

Die DFS hat an der Standardisierung von Karten, die für verschiedene Arten der grafischen Darstellung verwendet werden, gearbeitet. Die aktuellen Darstellungen der FANOMOS-Kartendaten (basierend auf den Versionen 1 und 6) sind jedoch eine Ausnahme von diesem Standard: Die Flugrouten werden hier auf vorgedruckte Karten aufgezeichnet, die sich von den Karten unterscheiden, die z. B. in der Routenplanung eingesetzt werden.

Wenn die Daten an Regierungsbehörden weitergegeben werden, werden diese gleichzeitig auf ihre Verpflichtung zur Einhaltung des Datenschutzgesetzes hingewiesen.

3.5.1.1.5 Genauigkeit der Daten

Die DFS hat Flugtests durchgeführt, um Informationen zur Genauigkeit der von FANOMOS aufgezeichneten Flugspuren zu erhalten. Bei der Analyse der Flugtestdaten kamen äußerst genaue GPS-Daten als Referenz zur Anwendung, um die Qualität der von FANOMOS aufgezeichneten Flugspuren zu bewerten.

Das Ergebnis der Analysen zeigte eine Abweichung zwischen 100 bis 200 Metern auf geraden Flugstrecken und bis zu 400 Metern in Kurven. Diese Abweichungen entsprechen den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen für andere Flughäfen und werden in der Regel als akzeptabel angesehen, wenn sie mit der Genauigkeit der komplexen verwendeten Mess- und Prozesssysteme verglichen werden (z. B. Transponder, Radar).

Die derzeit von der DFS betriebene Version von FANOMOS weist größere Abweichungen auf, wenn die Flugdauer zunimmt und einen bestimmten Wert überschreitet. Für diese Flüge verringert sich insbesondere die Genauigkeit in den Kurvenabschnitten auf Grund FANOMOS-immanenter Grenzen. Bei all diesen Einschränkungen sei an dieser Stelle angemerkt, dass die große Mehrzahl der Flüge über einem Hauptflughafen wie dem Flughafen Frankfurt/Main von relativ kurzer Dauer (10 bis 20 Minuten) ist und nicht viele Kurven enthält.

Im Hinblick auf die vertikale Genauigkeit sei erwähnt, dass die Flughöhe mit Hilfe von Messungen an Bord des Flugzeugs bestimmt wird (siehe Abschnitt 3.5.1.1.1). Die so ermittelten Werte werden in 100-Fuß-Intervallen angegeben und sind daher nur beschränkt genau. Die fehlende QNH-Messung führt zu einer zusätzlichen Abweichung von 27,3 Fuß pro hPa Abweichung in QNH; dies kann sich zu einer Abweichung von mehreren hundert Fuß summieren.

3.5.1.2 Täglicher DFS-Betrieb zur Flugsicherung

Die Flugsicherung dient einer sicheren, geordneten und zügigen Abwicklung des Luftverkehrs. Im täglichen Betrieb wird auch anderen Gesichtspunkten wie Umweltaspekten Rechnung getragen. Im folgenden Abschnitt werden einige Aspekte, welche zum Lärmschutz beitragen, herausgestellt.

Im Hinblick auf die vertikale Genauigkeit sei erwähnt, dass die Flughöhe mit Hilfe von Messungen an Bord des Flugzeugs bestimmt wird (siehe Abschnitt 3.5.1.1.1). Die so ermittelten Werte werden in 100-Fuß-Intervallen angegeben und sind daher nur beschränkt genau. Die fehlende QNH-Messung führt zu einer zusätzlichen Abweichung von 27,3 Fuß pro hPa



Abweichung in QNH; dies kann sich zu einer Abweichung von mehreren hundert Fuß summieren.

3.5.1.2.1 Organisatorische Aspekte

Die Kontrolle und das Monitoring des Luftverkehrs zum/vom Flughafen Frankfurt/Main obliegt verschiedenen (DFS-) Diensten. Ein Abflug beginnt damit, dass der Tower (DFS) die Erlaubnis zum Anlassen der Motoren erteilt. Danach kontrolliert der Flughafen (FRAPORT) die Bodenbewegungen (Rollen) bis zu einer bestimmten Position nahe der Startbahn. Nun wird das Flugzeug wieder dem Tower unterstellt, der für die Startbahnkontrolle und die Starterlaubnis verantwortlich ist. Nach dem Start wird der Luftverkehr an die Abflugkontrolle (DFS) übergeben. Nach Verlassen des von der Abflugkontrolle überwachten Luftraums wird das Flugzeug der Area Control [Quelle 13] übergeben.

Ein Flugzeug, das den Flughafen Frankfurt/Main anfliegt, wird von der Area Control (DFS) an der Grenze zum Frankfurter Flugraum an die Anflugkontrolle (Approach Control) (DFS) übergeben. Die An- und Abflugkontrolle leitet das Flugzeug dann auf die entsprechende Landebahn und stellt sicher, dass der Flugverkehr weiterhin geordnet und zügig abgewickelt wird und das Flugzeug einen Sicherheitsabstand zu Hindernissen und anderen Flugzeugen wahrt. Sobald das Flugzeug den Endanflug beginnt (normalerweise in einer Höhe von 3000 Fuß), wird es an den Tower übergeben. Nach Verlassen der Landebahn übernimmt FRAPORT die Bodenkontrolle.

Der Flugzeugkommandant ist verantwortlich für die Flugvorbereitung, insbesondere für die Auswahl der richtigen Abflugroute, wobei die Wetterbedingungen und die Steiggeschwindigkeit des Flugzeuges aber auch die Verfahren zur Lärminderung zu berücksichtigen sind.

3.5.1.2.2 Auswahl von Start-/Landebahn und SID

Der Tower ist verantwortlich für die Auswahl der entsprechenden Start- und Landebahnkonfiguration. Diese Auswahl unterliegt einem genau definierten Verfahren, welches in [Quelle 15] erläutert wird. Im Allgemeinen finden als Auswahlkriterien Wind, Verfügbarkeit von Navigations- und Landehilfen und erwartetes Flugverkehrsaufkommen Berücksichtigung. Am Flughafen Frankfurt/Main ist Start- und Landebahn 25 die bevorzugte Start- und Landebahn bei bis zu 5 kts Rückenwind. Bei einem Startvorgang über die Startbahn 25 wird vermieden, über Rüsselsheim zu fliegen. Startbahn 18 ist nur für Starts bei Windgeschwindigkeiten von bis zu 15 kts Rückenwind verfügbar. Diese Einteilung der Präferenzstart- und -landebahnen wurde aus Lärmschutzerwägungen vorgenommen.



Sicherheit ist immer das wichtigste Kriterium. Der Tower hat wenig Spielraum bei der Start- und Landebahneinteilung, was sich zum Teil daraus ergibt, dass der Flughafen Frankfurt/Main über wenig alternative Start- und Landebahnen verfügt. Die Wahl hängt damit wesentlich von den (zu erwartenden) Wetterverhältnissen ab.

Am Flughafen Frankfurt/Main kann entweder ein West- oder Ostbetrieb genutzt werden. Der Wechsel von Ost nach West oder umgekehrt ist jedoch sehr schwierig und kann zu einer kurzzeitigen Kapazitätsverringerung führen. An- und Abflüge müssen dann zu anderen Start- und Landebahnen umgelenkt werden. Startenden Flugzeugen wird eine neue Abflugroute zugewiesen. Die anfliegenden Flugzeuge, welche sich bereits im Frankfurter Luftraum befinden, können auf Anweisung der Flugsicherung umgelenkt werden.

Um eine geordnete Übergabe an die Area Control zu gewährleisten, müssen startende Flugzeuge den Flughafenbereich an bestimmten Ausflugpunkten verlassen. Welches diese Punkte sind, richtet sich nach dem Zielflughafen des Flugzeuges. Wenn die operationelle Startbahnkonfiguration bekannt ist, wird das Flugzeug einer spezifischen Startbahn zugewiesen (abhängig von dem Ausflugpunkt, z. B. Startbahn 25, wenn nach Norden zu Ausflugpunkt ARP geflogen wird). Wenn der Ausflugpunkt und die Startbahn dann bekannt sind, verringern sich die möglichen SIDs normalerweise auf ein bis drei Routen. Die Auswahl dieser SIDs richtet sich nach der Kategorie der Wirbelschlepe und der Anzahl der Motoren. Manche Routen sind speziell für zweimotorige Flugzeuge oder Maschinen mit starker Wirbelschlepe vorgesehen. Im Allgemeinen steigen drei- oder viermotorige Flugzeuge langsamer als zweimotorige Flugzeuge und sind in der Regel auch lauter als diese. Die drei- oder viermotorigen Flugzeuge erhalten längere Routen, die an ihre speziellen Steigflugeigenschaften angepasst sind.

Längere Routen bedeuten auch mehr Freiraum bei der Auswahl einer lärmtechnisch vorzuziehenden Route. Andererseits wirken sich längere SIDs nachteilig auf Kapazität und Flugzeugeffizienz aus. Die Auswahl der Abflugrouten ist daher ein Abwägen zwischen Kapazität und Lärm. Die viermotorigen Flugzeuge werden daher auch über jene Routen geleitet, welche die geringste Lärmbelastung mit sich bringen. Um eine ausreichende Kapazitätsauslastung zu gewähren, können zweimotorige Flugzeuge über Routen geleitet werden, die von viermotorigen Flugzeugen nicht genutzt werden können. Nachts ist die Kapazität in der Regel nicht ausschlaggebend [Quelle 13], so dass spezielle Nachtrouten geflogen werden können, die eventuell länger sind, aber eine geringere Lärmbelastung für die Anwohner mit sich bringen.

3.5.1.2.3 Kommunikation während des Fluges im Hinblick auf Lärminderung

Während eines Fluges ist der Fluglotse für die Kommunikation mit dem Piloten verantwortlich. Dazu zählt das Erteilen von Start- und Landeerlaubnis sowie das Prüfen des Read-Back des Piloten, um Informationen über wesentliche Wetteränderungen und Steuerkommandos für die Abstandswahrung zu anderen Flugzeugen weiterzugeben.

Wenn der Fluglotse eine starke Abweichung von der Ideallinie bemerkt, informiert er den Piloten entsprechend. Der Pilot prüft die Flugzeugleistungsfähigkeit auf eine mögliche Ursache für die Abweichung und informiert den Fluglotsen entsprechend. Während des Starts muss der Pilot die vorgegebene Abflugroute einhalten oder, falls dies nicht möglich ist, beim Fluglotsen nach einer neuen Route nachfragen.

3.5.1.2.4 Tägliche r Betrieb der Flugsicherung und Lärminderung

Bei der Fluglotsenausbildung finden die Punkte Lärm und Lärminderung in großem Maße Berücksichtigung. Fluglotsen sind darin ausgebildet, wie sie Routenabweichungen entdecken können und was sie in solchen Fällen tun müssen. Während der täglichen Kontroll- und Überwachungsarbeit berücksichtigen die Fluglotsen Toleranzbereiche als solche jedoch nicht. Ihre Grundlage für Kontrolle und Leitung ist die Route selbst, gemäß deren Definition durch die SID. Prinzipiell werden die Flugzeuge angewiesen, entlang der Ideallinie zu fliegen – ohne Zuspruch eines Toleranzbereiches. Ab einer bestimmten Mindesthöhe kann der Fluglotse dem Piloten Anweisungen geben, von der geplanten SID abzuweichen, um direkt an die nächste Position zu fliegen.

Im täglichen Betrieb haben die Fluglotsen keine visuelle Darstellung der Routentoleranzen auf ihren Radarbildschirmen. Aufgrund ihrer Ausbildung und Erfahrung wissen sie jedoch, welche Toleranzen existieren. Falls eine vom Piloten verursachte Abweichung von der Ideallinie auftritt, informiert der Fluglotse den Piloten sofort und fragt nach dem Grund der Abweichung. Dies wird in STANLY zusammen mit dem FANOMOS-Kurs zur weiteren Analyse protokolliert, einschließlich der Antwort des Piloten. Der Pilot kann technische Probleme, schlechtes Wetter, etc. melden. Das Gesprächsprotokoll wird zu Auswertungszwecken mindestens 30 Tage aufbewahrt. Lag eine Abweichung vom Toleranzbereich vor, sind die Gründe dafür zu eruieren.

Es ist hierbei zu beachten, dass es auf Grund der kurzen zum Start eines Flugzeuges zur Verfügung stehenden Zeitspanne und der großen Zahl zu lotsender Flugzeuge sehr schwierig ist, jeden einzelnen Start auf Abweichungen von der ihm zugewiesenen SID hin zu prüfen und den Piloten anzuweisen, seine Route rechtzeitig zu korrigieren.

Am Flughafen Frankfurt/Main finden Begrenzungen für Nachtflüge, aber auch operationelle Begrenzungen für Kapitel 2⁵ Flugzeuge tagsüber Anwendung [diese Flugzeuge sind in Europa grundsätzlich verboten, s. Quelle 15]. Flugzeuge, die zu laut sind (entsprechend diesen Begrenzungen), sind am Flughafen Frankfurt/Main normalerweise nicht zugelassen.

Zur Lärmvermeidung werden die folgenden allgemeinen Maßnahmen für anfliegende Flugzeuge von der Approach Control durchgeführt:

- Das Fliegen von Warteschleifen wird in der Terminal Manoeuvring Area (TMA) grundsätzlich vermieden;
- Es wird versucht, Flugzeuge saubere Konfigurationen fliegen zu lassen (d.h. keine Landeklappeneinstellung, die mit niedrigerer Leistung verbunden ist, und damit auch weniger Lärm durch geringeren Luftwiderstand und geringeren Triebwerkschub), in der Terminal Area einschließlich des ersten Teils der Landephase entlang dem ILS (*Instrument Landing System*) (Gleitweg und Localizer);
- Flugzeuge werden so lange wie möglich in großen Höhen gehalten; dies ist die effektivste Form der Lärminderung.

Abgesehen von diesen allgemeinen Methoden hat ein Fluglotse im Grunde keine Möglichkeit, die Lärmbelastung oder die Auswirkungen von Verletzungen der Lärmvorschriften zu mindern. Die Verringerung der Lärmbelastung ist ein klares Ziel, es werden aber keine messbaren Ziele definiert.

Derzeit befassen sich Forscher bei DLR-DFS mit der Entwicklung eines 4D-Ankungsplaners (oder Planer), einer Software, die den Fluglotsen bei der geordneten und zügigen Abwicklung des Flugverkehrs unterstützen und diesen optimieren soll, wobei auch der Lärmaspekt Berücksichtigung findet. Diese Software soll dieses Jahr (2003) in den zuständigen Frankfurter (Lande-)Einheiten installiert werden, allerdings ohne Berücksichtigung des Lärmaspekts.

3.5.2 Verbesserungsmöglichkeiten

3.5.2.1 Allgemeine Verbesserungen im Betrieb von FANOMOS

Wie in Abschnitt 3.5.1.1.1 bereits erläutert wurde, kann die DFS nicht alle der „standardmäßigen“ FANOMOS-Funktionen nutzen. Der Hauptgrund hierfür ist, dass der Flugplan und die QNH-Daten nicht auf eine einfache, vollständig automatisierte Art und Weise

⁵ Kapitel 2 bezieht sich auf Kapitel 2 des ICAO Anhangs 16 zu Umweltschutzvorschriften. Flugzeuge, die entsprechend Kapitel 2 zertifiziert sind, sind in der Regel lauter als vergleichbare Flugzeuge, die nach Kapitel 3 zertifiziert sind.

bereitgestellt werden. Die größten Verbesserungen können daher erreicht werden, wenn dieser Datenmangel behoben wird.

Ende 2002 hat die DFS ein umfassendes Upgrade von FANOMOS bestellt, welches die Online-Beschaffung und Verarbeitung von Flugplandaten ermöglicht. Die Beschaffung von QNH-Informationen in Echtzeit ist ebenfalls Bestandteil des Upgrades (Version 7).

Mit diesem Upgrade wird damit auch die Genauigkeit der Höhenangaben steigen.

Die Prüfung der Routentoleranz bei allen Flügen wird automatisiert möglich werden. Die manuelle Eingabe von Daten oder Korrekturen ist nicht mehr nötig; damit verbessert sich die Qualität der Daten - und es wird viel Zeit gespart. Die DFS kann somit Prüfungen auf Abweichungen von der Flugroute als eine aktive Routinearbeit durchführen, ganz unabhängig davon, ob derartige Anfragen, etwa aufgrund von Bürgerbeschwerden, eingegangen sind.

3.5.2.2 Untersuchungen der Lärmaspekte

Keine Verbesserungen nötig.

3.5.2.3 Fluginformationen und von der DFS bereitgestellte Daten

Keine Verbesserungen nötig.

3.5.2.4 Abbildung der Flugdaten

Für die Abbildung der Minimum Noise Routes wurde eine Standardisierung erreicht; FRAPORT, die DFS und das Bundesland Hessen greifen für die Darstellung dieser Routen auf identische geographische Informationen (Landkarten) zurück. So werden Missverständnisse und Fehlinformationen vermieden.

Als Teil des FANOMOS-Upgrades hat die DFS eine neue digitale Karte für die Darstellung der Flugroute in Auftrag gegeben. Diese Karte wird der bereits für die Darstellung der Minimum Noise Routes verwendeten Karte entsprechen und soll so in FANOMOS integriert werden, dass die Standardisierung der Darstellung damit noch einen Schritt vorankommt (s. Anhang A).

3.5.2.5 Genauigkeit der Daten

Obwohl die Genauigkeit der rekonstruierten Flugrouten als zufriedenstellend eingestuft wird, wird sich nach der Installation einer neuen FANOMOS-Version eine weitere Verbesserung erreichen lassen. Die Verbesserungen werden zu einer größeren Genauigkeit, insbesondere bei langen, kurvenreichen Flügen führen.

3.6 Lärmbezogene Aspekte im Hinblick auf die Analysephase

3.6.1 Aktueller Stand

Die Qualität der Planung und die operationellen Phasen können im Hinblick auf die Lärminderung durch eine Analyse der Flüge mit Hilfe von FANOMOS beurteilt werden. Diese Analyse kann weitere Maßnahmen bei Flügen nach sich ziehen, von denen angenommen wird, dass sie die Bestimmungen zur Lärminderung verletzt haben. Dieses Kapitel beleuchtet diese Fragen detaillierter.

3.6.1.1 Allgemeine Nutzung von FANOMOS

Zur Analyse von Flugdaten wird ein großes Datenvolumen benötigt. Das FANOMOS-System der DFS, welches am Flughafen Frankfurt/Main eingesetzt wird, kann diese Datenmenge zur weiteren Untersuchung liefern. Die deutschen Vorschriften (FSbetrV, § 24) sehen vor, dass Radardaten mindestens 14 Tage aufbewahrt werden müssen. In der Praxis werden diese Daten auf Bändern festgehalten und länger aufbewahrt; dies ist jedoch nicht garantiert. Obwohl es nicht vorgeschrieben ist, werden FANOMOS-Flugspuren über einen ähnlich langen Zeitraum auch auf Bändern aufbewahrt.

Zu Analysezwecken betreibt die DFS ein FANOMOS-System in ihrer Hauptgeschäftsstelle in Langen. Über ein Band werden die Daten von den lokalen FANOMOS-Systemen, welche am Flughafen eingesetzt werden, auf das zentrale System in Langen überspielt.

Aufgrund des Arbeitsaufwands, der mit der manuellen Eingabe zusätzlicher Flugplandaten verbunden ist, wird die Berechnung der Flugspurenstatistik für (ausgewählte) Flüge in der Praxis nur für begrenzte Zeiträume durchgeführt.

Analysen, für die die Flughöhe erforderlich ist und Prüfungen, die für einzelne Flüge durchgeführt werden, können nur durchgeführt werden, nachdem der Druckwert manuell mit dem Wert ersetzt wurde, der zum Zeitpunkt des Fluges bestand.

3.6.1.2 Flugroutenprüfungen

Die DFS führt regelmäßig, d.h. alle drei Monate, eine Bewertung von über vier Wochen gesammelten Flugdaten durch. Die Ergebnisse dieser Bewertung werden bei den Treffen der Frankfurter Fluglärmkommission vorgestellt.

Auch Beschwerden können die Analyse bestimmter Abflugrouten veranlassen. Diese Arbeit wird über die Fluglärmkommission eingeleitet. Die Ergebnisse dieser Analysen können der Beginn eines Prozesses zur Änderung der Abflugrouten sein.

Nachdem eine Routen(neu)planung abgeschlossen wurde, sind es erneut die FANOMOS-Ergebnisse, welche zur Validierung der neu geplanten Route herangezogen werden. Nun wird untersucht, ob die Route richtig geflogen werden kann und ob die vorgenommenen Routenänderungen zu den angestrebten Zielen führen.

Wie bereits erwähnt muss die DFS zur detaillierten Analyse die Flugplandaten manuell eingeben. Dies wird gelegentlich gemacht, um die Untersuchungen über z.B. bestimmte Flugzeugtypen und Fluggesellschaften zu erleichtern.

Die Ergebnisse der FANOMOS-Analysen können auch für die weitere Optimierung interner DFS-Verfahren genutzt werden. Die Erstellung von Massenplots von Flug/Bodenspuren für begrenzte Höhenabschnitte wird durchgeführt, um die Luftraumstruktur zu analysieren.

3.6.1.3 Handhabung von Flugspurverletzungen

Sollte ein Luftfahrzeug den vorgesehenen Flugkorridor verlassen haben, kann eine Beschwerde eingereicht oder ein Bericht der Flugsicherung vorgelegt werden. Hierbei gilt es, formale Verfahrensschritte einzuhalten. Mit Genehmigung des Luftfahrtbundesamtes (LBA) werden diese formalen Verfahren der breiten Öffentlichkeit durch Veröffentlichung im Bundesanzeiger und der Luftfahrtbranche insbesondere durch Veröffentlichung in den „Nachrichten für Luftfahrer“ und im „Aeronautical Information Publication (AIP“ mitgeteilt.

Wenn von der Flugsicherung oder anderen Stellen [Quelle 13] eine Abweichung gemeldet wird, ist es verfahrenstechnisch zunächst erforderlich, dass das Luftfahrtbundesamt (LBA) Beweise sammelt: Gesprächsprotokolle zwischen Pilot und Fluglotse, Radaraufnahmen und andere Fluginformationen. Dies wird zusammen mit der Flugsicherung durchgeführt. Zunächst sollte getestet werden, ob eine Verletzung des Flugkorridors vorliegt. Der Flugkorridor ist horizontal durch die ICAO PANS-OPS Toleranzen für SIDs und vertikal unter oder über den entsprechenden Steigungsunter- und -obergrenzen definiert. Die Verletzung des Flugkorridors ist das einzige Kriterium, aufgrund dessen eine Klage vorgebracht werden kann. Falls tatsächlich eine Verletzung festgestellt wurde, werden zunächst in weiteren Untersuchungen die möglichen Ursachen dafür erforscht. Erst dann kann entschieden werden, ob der Vorgang ein Gerichtsverfahren nach sich zieht.

Das LBA untersucht, ob die Wetterbedingungen oder die Freigabe durch die Flugsicherung zu dem Vorfall geführt haben könnten. Alle beweiskräftigen Kriterien wie die Freigabe durch die Flugsicherung/Read-Back des Flugzeugkommandanten und die Wetterbedingungen werden

untersucht. Wenn diese Untersuchung keinen Grund für die Abweichung offen legt, ist der Pilot unerlaubt von der Route abgewichen. In diesem Fall wird ein Vorverfahren gegen den Flugzeugkommandanten eingeleitet, gefolgt von einem Gerichtsverfahren, falls notwendig. Dies bedeutet, dass das LBA Namen und Adresse des Piloten herausfinden muss. Falls der Pilot Staatsbürger eines anderen Landes ist, wird die zuständige Luftfahrtbehörde seines Heimatlandes (einschließlich der Vorlage aller Beweise) über den Vorfall informiert, damit entsprechende Schritte eingeleitet werden können.

Während der Untersuchung werden der Pilot und die Flugsicherung über die Verletzung informiert und gebeten, ihre Erklärungen dazu abzugeben, damit die Faktoren, die zu der Abweichung geführt haben, bewertet werden können. Abgesehen von diesen Akteuren kommuniziert das LBA nur mit den anderen Teilnehmern (z.B. der Luftfahrtbehörde des Heimatlandes des Piloten) und dem Beschwerdeführer.

Eine Klage kann von dem Büro des Staatsanwaltes eingereicht werden, wenn Bürger Klage wegen eines Verbrechens einbringen. Im Falle eines Berichtes über eine Zuwiderhandlung wird ein Gerichtsverfahren eingeleitet, wenn der Rechtsverletzer gegen die vom LBA vorgesehenen Maßnahmen Rechtsmittel einlegt.

Durchschnittlich vergehen von der Beobachtung eines abweichenden Fluges und der Aufnahme eines Gerichtsverfahrens 2 Wochen bis 6 Monate. Dies ist abhängig von der Zeit, welche für die Beweissicherung, die Einreichung des Berichtes und schließlich dafür nötig sind, den Namen des Flugzeugkommandanten herauszufinden.

Die Leistung des Flugzeuges und die Betriebsvorschriften der Fluggesellschaft sind von den ICAO-Standards abhängig. Diese sind auch auf die Entwicklung der SIDs selbst anwendbar. Im Falle häufiger Abweichungen von den SIDs müssen die Routen entsprechend geändert werden.

3.6.2 Verbesserungsmöglichkeiten

3.6.2.1 Allgemeine Nutzung von FANOMOS

Wie in 3.5.2.1 beschrieben sind die Verbesserungen bei der automatisierten Beschaffung des Flugplans und der QNH-Daten bereits von der DFS initiiert worden. Diese Verbesserungen erlauben nicht nur umfassendere Fluganalysen, sondern beschleunigen auch die Datenverarbeitung.

Zur Analyse wird die Auswahl von *Untergruppen* von Flügen, welche auf Basis verschiedener Flugparameter ausgewählt werden, zu einer standardmäßig genutzten Funktion. Dies ermöglicht detaillierte Analysen. Ein Beispiel hierfür ist die Auswahl von Flügen im Hinblick auf eine spezielle Start-/Landebahn, Route oder einen speziellen Flugzeugtyp.

Im Ergebnis führen diese verbesserten Auswahlmöglichkeiten auch dazu, dass auf Anfrage Statistiken zu Flugspuren ohne zusätzlichen Aufwand erstellt werden können. Es hat sich gezeigt, dass durch die mit FANOMOS mögliche spezielle Auswahl von Flügen relevante Unterschiede im Flugverhalten dargestellt werden können.

Ein Beispiel einer solchen Analyse wird in Abbildung 6 gezeigt. Die beschriebene Abflugroute unterscheidet sich bei vom gleichen Flugzeugtyp geflogenen Flügen. Insbesondere in Bezug auf die in diesem Fall geltende Nacht-SID ist es wünschenswert, so weit wie möglich auf der Ideallinie zu bleiben. Weiterführende Untersuchungen haben gezeigt, dass das Problem auf Unterschiede der Parametereinstellungen in der vorprogrammierten FMS-Route zurückzuführen war.

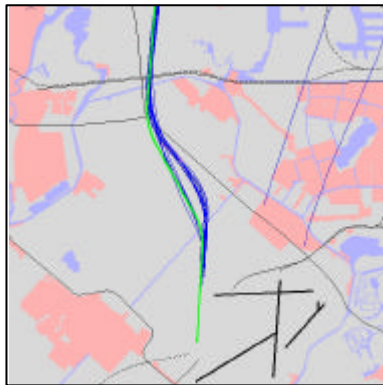


Abbildung 6 Unterschiede des Flugweges bei gleichen Flugzeugtypen.

Das aus diesen Analysen gewonnene Wissen kann wie bereits erwähnt zu einer Verringerung der Umweltbelastung führen. Wie erwähnt wurden die Erweiterungen des FANOMOS-Systems von der DFS mit diesem Ziel bereits initiiert.

Empfehlung: Obwohl dies nicht durch Vorschriften geregelt ist, wird sehr angeraten, interne DFS-Verfahren zu entwickeln (niederzuschreiben), die die Archivierung und die Aufbewahrung von Flugdaten über längere Zeiträume als unbedingt notwendig ermöglichen. Zu Analysezwecken und Trenderkennungen sollten diese Informationen über einige Jahre hinweg verfügbar bleiben.

Empfehlung: Es wird empfohlen, als *regelmäßige* Forschungsaufgabe Analysen von Massenplots und/oder Statistiken zu Flugspuren zu erstellen. Damit sollen Veränderungen oder Besonderheiten im Flugverhalten aufgezeigt werden.

Diese Ergebnisse können auch eingesetzt werden, um die geplanten Routentoleranzen zu bewerten, zu validieren und weiter zu verbessern. Die Routentoleranzen können auf diese Weise,

falls gewünscht, optimiert werden, um neuen Entwicklungen der in modernen Flugzeugen installierten Geräte Rechnung zu tragen.

4 Kopplung von Flugdaten mit Informationen aus anderen Systemen

4.1 Kopplung der Lärmmessungen und Berechnungen

4.1.1 Aktueller Stand

4.1.1.1 Allgemeine Feststellung einer Lärmbelastung

Lärmmonitoringsysteme bestehen aus einer Reihe von Lärmmonitoringterminals, die an ein zentrales Datenverarbeitungssystem angeschlossen sind. Diese Verbindung kann über eine der folgenden Verbindungsarten bestehen:

- Standleitung, die einen ständigen Datenaustausch (in Echtzeit) ermöglicht;
- Einwählen über ein öffentliches Telefonnetz, d. h. Verbindungsaufbau bei Anfrage;
- Einwählen über eine schnurlose Verbindung (GSM-Verbindung);
- Herunterladen vor Ort auf einen Laptop;
- Datentransport über Medien wie z. B. eine Diskette oder CD-ROM

Verschiedene Zulieferer (z. B. B&K, Larson & Davis, Lochard oder Top Sonic; siehe auch EMPA Bericht zu WP2, Abschnitt 3.6) stellen Lärmmonitoringterminals her. Die meisten Marken der Lärmmonitoringterminals weisen die gleichen Funktionalitäten auf. Die Basis-Messgröße ist der 1-Sekunden-Pegel. Als Zusammenfassung der Lärmbelastung am Ort des Lärmmonitoringterminals werden Lärmwerte wie 1-Stunde L_{eq} oder L_{90} berechnet.

Ein Lärmmonitoringterminal arbeitet als selbständiges Gerät und kann Lärmereignisse erkennen [Quelle 3, 4, 5, 6 und 7]. Auf Basis von bestimmten voreingestellten Definitionen werden die gemessenen 1-Sekunden-Pegel verarbeitet, um einen Anstieg des Lärmpegels zu erkennen, der als Lärmereignis bezeichnet werden kann. Diese Verarbeitung wird von einem Prozessor übernommen, der sich in dem Lärmmonitoringterminal befindet und sich einzig auf die gemessenen Lärmwerte stützt. Die voreingestellten Definitionen enthalten mindestens die folgenden Parameter (siehe Abbildung 7):

1. Schwellwert: der Lärmpegel, der überschritten werden sollte (z. B. 60 dB(A))
2. Minimale Dauer: definiert die minimale Dauer, während der sich der Pegel über dem Schwellwert befinden muss
3. Zeit davor/danach: definiert, wie lange der Pegel vor/nach dem Beginn/Ende der Ereignisse unter dem Schwellwert liegen sollte.

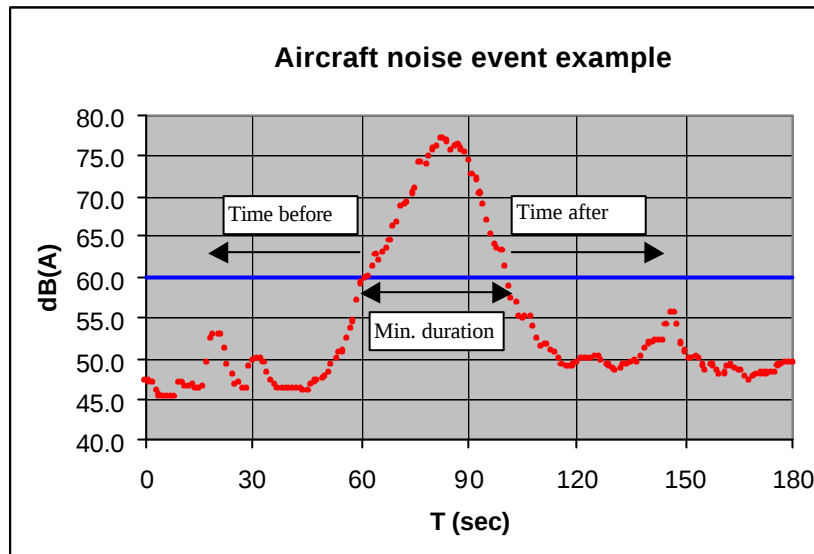


Abbildung 7 Beispiel eines Fluglärmereignisses (Schwelle 60 dB(A))

Die oben beschriebene Erkennungsmethode wird allgemein bei den meisten Lärmmonitoringterminals als Basis für die Feststellung eines Lärmereignisses genutzt. Die deutsche Norm DIN 45643 beschreibt den in Deutschland anzuwendenden Algorithmus für die Feststellung eines Lärmereignisses. Einige der Algorithmen haben zusätzliche Parameter (z. B. Anstieg und Abfall des Lärmpegels während eines Lärmereignisses) oder Flexibilität durch Einsatz von zeitabhängigen Vorgaben und fließenden Schwellwerten [Quelle 5].

Der Berechnungsalgorithmus sieht recht einfach und eindeutig aus. Er führt zu guten Ergebnissen (d. h. viele angezeigte Lärmereignisse im Verhältnis zur Zahl der Überflüge), wenn das Lärmmonitoring nahe am Flughafen und nahe der An- und Abflugrouten durchgeführt wird. Ein Flugzeug, welches über ein Lärmmonitoringterminal fliegt, wird den Lärmpegel deutlich ansteigen lassen. Bei größeren Entfernungen oder in Situationen mit größeren Hintergrundlärmpegeln sinkt die Anzahl der gemessenen Lärmereignisse deutlich [Quelle 8 und 9]. Die Aufgabe der Bestimmung eines Lärmereignisses kann in diesem Fall schwer durchführbar sein.

4.1.1.2 Zuordnung von Fluglärmereignissen im Allgemeinen

Das Ziel der gerade beschriebenen Bestimmung von Lärmereignissen besteht letztendlich darin, nur die *Fluglärmereignisse* zu bestimmen und den Anstieg des Lärmpegels, welcher durch andere Lärmquellen hervorgerufen wurde, zu ignorieren. Dieser erste Schritt in der Bestimmung wird aber nur über die Lärmpegel selbst durchgeführt, er ist daher eine Quelle für falsche Ergebnisse: zu wenige oder zu viele Lärmereignisse im Verhältnis zu den das Lärmmonitoringterminal überfliegenden Flugzeugen. Ein Fehlen von Fluglärmereignissen kann

nicht korrigiert werden; nicht von Flugzeugen verursachte Ereignisse können entfernt werden, indem die gemessenen Daten mit der Information der durchgeführten Flugbewegungen abgeglichen werden.

Für eine vorgegebene Menge von (Flug-) Lärmereignissen hängt die Art, wie diese Daten zueinander ins Verhältnis gesetzt werden, von der Verfügbarkeit folgender Daten ab:

1. Keine Flugdaten verfügbar

Alle ermittelten Lärmereignisse werden als Fluglärmereignisse definiert.

2. Nur Flugplan

Die Flugplandaten bieten Informationen zu der eigentlichen Flugzeit, dem Flugzeugtyp und der zugewiesenen Ideallinie. Mit diesen Daten kann die *erwartete* Zeit der größten Annäherung an ein Lärmmonitoringterminal berechnet werden. Basierend auf dieser Zeit kann eine Beziehung zu den gemessenen Lärmereignissen erstellt werden. Aufgrund des Fehlens von Flugrouteninformationen ist diese Methode nur bedingt genau, wenn das Flugzeug von seiner vorgeschriebenen Ideallinie abweicht.

3. Flugplandaten und Flugroutendaten verfügbar

Korrelation kann erstellt werden mit der *tatsächlichen* Position jedes Flugzeuges zu oder ungefähr zu der Zeit, in der der maximale Lärmpegel gemessen wurde. Mit diesen Informationen zu Zeit/Position kann eine weitaus verlässlichere Beziehung zu den gemessenen Lärmereignissen erstellt werden. Dieser Ansatz vermeidet die Limitierungen, die für die vorangegangene Berechnungsmöglichkeit angesprochen wurden.

Auch wenn alle Fluginformationen vorhanden sind, kann es eine ziemlich komplizierte Aufgabe sein, eine Eins-Zu-Eins-Beziehung zwischen dem Flugbetrieb und den Lärmereignissen herzustellen. Dies trifft insbesondere zu, wenn Flugzeuge auf unterschiedlichen Routen gleichzeitig in die Nähe von Lärmmonitoringterminals kommen. Im Rahmen von WP1 wurde nicht untersucht, inwieweit die Routenstruktur um den Flughafen Frankfurt/Main potentielle Probleme bei der Zuordnung von Fluglärmereignissen verursacht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Verfügbarkeit von mehr Flugdaten zweifelsohne zu einer verbesserten Erkennung des Fluglärms führen wird. Es gibt, soweit bekannt, keinen allgemein akzeptierten Standard, der genutzt werden kann, um den Erfolg des Monitorings von Fluglärmereignissen zu bewerten. Die Messung und Korrelation von Fluglärmereignissen ist jedoch keine triviale Aufgabe und wird recht oft unterschätzt.

4.1.1.3 Fluglärmmonitoring in Frankfurt/Main

Die Aufgabe des Flughafens besteht darin, den Fluglärm in Flughafennähe zu überwachen (§19a LuftVG).

Abgesehen vom Frankfurter Flughafen (FRAPORT) führen auch noch andere Beteiligte aus dem nicht-öffentlichen Bereich in Flughafennähe Lärmmessungen durch (siehe EMPA-Text). Abhängig von den Flugdaten und deren Verfügbarkeit folgt die Korrelation Ansatz 1 oder 2 gemäß obiger Beschreibung (5.1.1.2).

Der Frankfurter Flughafen (FRAPORT) betreibt ein großes Lärmmonitoringsystem mit 25 festen und 2 mobilen Lärmmonitoringterminals [Quelle 8]. Die festen Lärmmonitoringterminals sind als Tore um die meist genutzten Start- und Landerouten positioniert. Bei den meisten Lärmmonitoringterminals ist der Schwellwert auf 63 dB(A) tagsüber und 58 dB(A) nachts eingestellt (EMPA Bericht WP2 Kap. 3.1.8). Standardmäßige (vordefinierte) Lärmpegel ersetzen fehlende Lärmereignisse. Die Zuordnung von Lärmereignissen zu Flugereignissen basiert allein auf den Flugplandaten.

Verglichen mit anderen Fluglärmmonitoringsystemen können die eingesetzten Schwellwerte als hoch eingestuft werden. Wie bereits erwähnt wurde, hängt die Qualität des Ergebnisses der Aufzeichnung von Lärmereignissen in starkem Maße von der Position der Fluglärmmonitoringsysteme in Bezug auf die Flugrouten ab; die Verwendung hoher Schwellwerte kann daher dennoch richtig sein (EMPA Bericht WP2 Kap. 3.2.5). Es wird hierzu nichts weiter ausgeführt, da dies nicht als Teil des WP1 angesehen wird.

Der von FRAPORT gewählte Ansatz wird zu weniger Lärmereignissen führen und wirft daher auch weniger Korrelationsprobleme auf, da nur die eindeutigen (Flug) Lärmereignisse berücksichtigt werden.

4.1.2 Empfehlungen

Da FRAPORT gerade das existierende Lärmmonitoringsystem ersetzt und erweitert, wird die Gelegenheit ergriffen, um zu beschreiben, wie eine Kopplung vonstatten gehen könnte.

Das neue System basiert auf B&K Typ 3597 Lärmmonitoringterminals. Die Bestimmung eines Fluglärmereignisses in dem neuen System wird in zwei Schritten durchgeführt (siehe auch Abschnitt 5.1):

1. Lärmmessung und Bestimmung von Lärmereignissen; dieser Prozess wird DIN 45643 folgen, gemäß den deutschen gesetzlichen Vorschriften für Fluglärm.
2. Beziehung von Lärmereignissen zu Flugdaten. Die neue Systemkorrelation wird Flugdaten voll nutzen. Zur Umsetzung dieser Empfehlungen wurde bereits eine Vereinbarung zwischen FRAPORT und der DFS über den Austausch von Radardaten unterzeichnet (Siehe Kap. 3.5.1.1.3). Wie in den voranstehenden Abschnitten bereits beschrieben, kann dies ganz allgemein gesehen als eine wesentliche Verbesserung angesehen werden.

Die verbesserte Korrelation könnte die Bestimmung von noch mehr Lärmereignissen ermöglichen, wenn niedrigere LärmSchwellwerte festgesetzt würden und damit mehr *gemessene* Daten für die Darstellung der Lärmsituation rund um den Flughafen herangezogen würden.

Empfehlung: Die Nutzung von zusätzlichen Daten zur weiteren Verbesserung der Bestimmung von Fluglärmereignissen und die Korrelation sollten in Betracht gezogen werden.

Neue Entwicklungen wie die Neuronale Netzwerktechnologie, die von Lochard Pty. Ltd. entwickelt und angewendet wurde, können diese Verbesserungen unterstützen. Dies ermöglicht die Klassifizierung von Lärmquellen für jeden der gemessenen Pegelverläufe und kann bei der Korrelation von Lärmereignis und Flug sehr hilfreich sein.

Die Nutzung der berechneten, erwarteten Lärmpegel kann auch den Korrelationsprozess unterstützen. Die Informationen zu erwarteten Lärmpegeln für bestimmte Flugbewegungen können von den FLULA2 Berechnungen, welche in Zusammenhang mit WP2 vorgenommen wurden, abgeleitet werden.

Empfehlung: Die Entwicklung eines Performance-Schlüsselindikators zur Entwicklung einer objektiven Klassifikation der Vollständigkeit und Richtigkeit der bestimmten Fluglärmereignisse wird als nützlich angesehen. Mit einem solchen Indikator werden auch regelmäßige Prüfungen der Leistungsfähigkeit des Lärmmonitoringterminals erleichtert.

4.2 Kopplung mit Lärmberechnung

4.2.1 Aktueller Stand

4.2.1.1 Allgemeine Aspekte der Berechnung der Fluglärmbelastung

Die Berechnung der Fluglärmbelastung oder der L_{Amax}-Werte für einzelne Flugzeuge muss insbesondere in Planungsprozessen wie z. B. der Flächennutzungsplanung oder der Starttroutenplanung einzig basierend auf vorhergesagten (d.h. anhand von Modellen bestimmten) Daten erfolgen. Die Berechnungen nutzen Flugrouten und Flugzeugeigenschaften als Eingangsgrößen. Die Flugrouten beschreiben, wo das Flugzeug fliegt, die Flugzeugeigenschaften beschreiben wie das Flugzeug *betrieben* wird (z.B. Steigflugprofil, Schubkrafteinstellungen) und welche die *Lärmeigenschaften* sind.

Wenn die laufenden Lärmbelastungsberechnungen für die entsprechenden Flugbewegungen durchgeführt werden (z.B. Flüge des letzten Jahres), können die aufgezeichneten Flugdaten verwendet werden. Es ist genau bekannt, welche Typen von Flugzeugen eingesetzt wurden, welche Start- oder Landebahn bzw. SID sie genutzt haben und was ihr Zielflughafen war. Diese Angaben sind die Grundlage für den Flugzeugmix, der in die Berechnung eingeht.

Abgesehen von den Flugplandaten sind auch die tatsächlich geflogenen Flugrouten verfügbar. Es wird oft als nützlich angesehen, die Darstellung der Flugroutenstreuung [z. B. Quelle 20] zu verbessern. Obwohl die Flugrouteninformationen eingesetzt werden können, um eine solche Verbesserung zu erzielen, ist die Verwendung dieser Daten oft durch die erforderliche Berechnungskapazität (und Zeit) begrenzt.

4.2.1.2 Fluglärmberechnung in Frankfurt/Main

Die Fluglärmberechnungen werden für das Umweltbundesamt (UBA) im Einklang mit der AzB [Quelle 17 und 18] durchgeführt. Aufgabe der FRAPORT ist es, diese Art von Berechnungen [Quelle 13] durchzuführen. Die tatsächlichen Flugrouteninformationen sind nicht Teil dieser Berechnungen.

Verschiedene private Organisationen führen ebenfalls Fluglärmberechnungen durch; einige von ihnen setzen dafür die tatsächlichen Flugroutendaten aus FANOMOS ein. Für die von EMPA im Zusammenhang mit WP2 durchgeführten Berechnungen wurden weitgehend die Informationen über die tatsächlichen Flüge eingesetzt.

- a) FANOMOS-Flugrouteninformationen
- b) Die Flugrouteninformationen wurden mit den FRAPORT-Flugplaninformationen in Beziehung gesetzt.

4.2.2 Verbesserungsmöglichkeiten

Die Informationen zur tatsächlichen Flugroute können für Einzelpunktberechnungen eingesetzt werden. Diese Art der Berechnung erfordert anders als Gitterberechnungen wesentlich weniger Computerkapazität. Die Flugrouteninformationen können genutzt werden, um die Ergebnisse der Fluglärmberechnungen durch eine bessere Darstellung der Flugroutenstreuung zu verbessern.

Wenn in diese Berechnung die Informationen über die tatsächliche Flugroute Eingang finden, ist es wichtig, zu berücksichtigen, dass zwischen der Darstellung der Flugroutenstreuung, die in *Modellberechnungen* Anwendung findet (Vorhersage von Flugwegen und Streuung), und den *tatsächlichen* Berechnungen (unter Verwendung gemessener Flugrouten) unterschieden wird. Vorhergesagtes mit Gemessenem zu vergleichen kann daher zu einer schwierigen Aufgabe werden. Dieser Unterschied kann mit der Einführung eines Hybridansatzes eliminiert werden. In einem solchen Ansatz basieren die Vorhersagen auf einer Berechnung, die mit tatsächlichen Daten durchgeführt wurde, d. h. Lernen aus der Vergangenheit und Weiterentwicklung in Bezug auf künftige Situationen.

Weitere Informationen zur Nützlichkeit von Flugdaten bei der Berechnung von Fluglärmbelastung und Einzelereignis-Maximalpegeln finden sich in den Arbeiten im Zusammenhang mit WP2.

4.3 Verwendung für Darstellungszwecke

4.3.1 Aktueller Stand

Derzeit werden keine speziellen Fluginformationen auf regelmäßiger Basis für Darstellungszwecke verwendet. Auf der DFS-Website [Quelle 10] sind Beispiele für Massenplots von Flugrouten für die typischen Betriebsformen am Flughafen Frankfurt/Main aufgezeigt, d. h. Ost- und Westbetrieb. Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie in WP3.

Aus der Menge der Flugdaten (WP1) sind die derzeit zu Darstellungszwecken verfügbaren Fluginformationen nachstehend aufgelistet. Je nach gewählter Darstellung (WP3) können sie entsprechend bearbeitet werden.

A. Flugplaninformationen, einschließlich:

- Flugzeugkennung (Callsign oder SSR ModeA)
- Flugzeit
- Flugtyp (d. h. Abflug oder Ankunft)
- Start-/Landebahn
- Standard Instrument Departure (SID) Route
- Abflug- und Zielflughafen
- Flug betreibende Fluggesellschaft
- Flugzeugregistrierung (Kenn-Nummer)
- Flugzeugtyp

B. Radardaten:

- Flugzeugkennung (Callsign oder SSR ModeA)
- Zeit der Flugzeugposition
- Flugzeugposition, angegeben als:
 - a) Spanne/Azimut und Flughöhe, oder
 - b) X,Y und Z
- Stammt von einem einzelnen Radar oder einem kombinierten Set von Radars (wobei eine Vorverarbeitung notwendig ist)

C. Flugroutendaten:

- Flugzeugkennung (Callsign oder SSR ModeA)
- Zeit der (Start der) Flugroute

- Vollständige Flugrouteninformationen, angegeben als eine Zeithistorie von X, Y und Z-Positionen
- Routen können von einem System wie FANOMOS überprüft werden
- Datenglättung entfernt Ausreißer (Punkte, die von der Route abweichen)

Die meisten der hier genannten Elemente (jedoch nicht alle aus der B-Gruppe) können von FANOMOS geliefert werden.

4.3.2 Empfehlungen

Einige der Punkte sind auf Grund von Datenschutzfragen nur begrenzt einsetzbar. Flugrouteninformationen, die „anzeigen, dass irgendetwas irgendwo fliegt“, scheinen jedoch als Antwort auf eine öffentliche Nachfrage nach mehr Informationen ohne Verletzung von datenschutzrechtlichen Bestimmungen von Nutzen zu sein. Diese Informationen können mit einigen der globalen Parameter wie dem Flugzeugtyp erweitert werden.

Die Flugrouteninformationen können auf verschiedenen Wegen bereitgestellt werden, unter anderem auf folgende Art und Weise:

1. Statische Bilder mit neuen, z. B. täglich aktualisierten Bodenrouteninformationen (X/Y Position Massenplots).
2. Wie unter 1, für ein ausgewähltes Gebiet und einen bestimmten Zeitraum.
3. Informationen zur Höhe können über farbliche Hervorhebungen in den Bodenroutenplots oder über Höhenprofile wieder gegeben werden.
4. Abspielen von Flugdaten (X/Y/Z Informationen über einen bestimmten Zeitraum) für einen vordefinierten Ausschnitt eines für den Flughafen Frankfurt/Main typischen Flugverkehrs.
5. Wie unter 4, für eine vom Benutzer ausgewählte Menge an Flugdaten.
6. Anzeige von Flugbewegungen (Radardaten) in Echtzeit.

Weitere mögliche Lösungen zu diesem Thema werden im Zusammenhang mit WP3 erarbeitet. Beispiele für den FANOMOS-Output zur Diskussionsbelegung sind in Anhang A enthalten.

5 Allgemeine Bewertung und abschließende Bemerkungen

Die Aufgabe der DFS besteht darin, die Abflug- und Ankunftsrouen in der Umgebung eines Flughafens zu planen (§ 27c LuftVG). Die Flugsicherheit ist das Hauptkriterium bei dieser Routenplanung. Der Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm (§ 29b LuftVG) gehört ebenso zu den Aufgaben der DFS. Die DFS ist sich ihrer Aufgabe gegenüber der Gemeinschaft durchaus bewusst und hat dies innerhalb der DFS als eine Unternehmensrichtlinie definiert.

Das NLR ist der Meinung, dass die DFS über umfassende unternehmensinterne Expertise, Fähigkeiten und Tools zur Optimierung von Flugrouten zu und vom Flughafen Frankfurt/Main im Hinblick auf die Fluglärmproblematik verfügt. Die DFS verwendet viel Zeit und Geld darauf, den nach dem Gesetz bestehenden Verpflichtungen nachzukommen. Zudem kooperiert die DFS, wo immer dies möglich ist, um die Lärmbelastung im Gebiet des Flughafens Frankfurt/Main zu mindern.

Das NLR erwartet, dass eine strukturiertere Routenplanung und -änderung (ISO-Zertifizierung) unter Einsatz eines weiter verbesserten NIROS-Tools nur geringe Verbesserungen für die Verringerung der Lärmbelastung in der Region Frankfurt nach sich ziehen wird. Diese Vorteile werden im wesentlichen auf geringfügige Änderungen bzw. Verschiebungen der Routen zurückzuführen sein. Doch obwohl die Lärminderung insgesamt möglicherweise gering ausfällt, kann eine Routenverschiebung erhebliche Verbesserungen für einen einzelnen Ort mit sich bringen. Ein verbessertes NIROS-Tool kann jedoch zu einer realitätsnäheren Routenbeschreibung und realitätsnäheren Daten führen und wird damit auch die Informationen über Wahlmöglichkeiten zwischen verschiedenen Routen verbessern.

Es ist wichtig anzumerken, dass die (Auslegung der) Datenschutzbestimmungen in Bezug auf die Freigabe/Nutzung von Flugdaten in Deutschland schon sehr lange diskutiert wird. Im Moment führt dies dazu, dass Flugdaten für die Öffentlichkeit leichter verfügbar sind. Dies kann als wichtiger Fortschritt bei der Verbesserung der Kommunikation gegenüber der Öffentlichkeit im Allgemeinen (WP3) angesehen werden. Auch für die Optimierung der Lärmmessungen und insbesondere für die Kombination von Lärm- und Fluginformationen wird diese Entwicklung von Vorteil sein.

Die DFS aktualisiert im Moment die in Frankfurt verwendete Version von FANOMOS auf den neuesten Stand der Technik. Damit wird ein besseres (automatisiertes) Monitoring, eine bessere Analyse und eine schnelle Reaktion bei von der Route abweichenden Flugzeugen ermöglicht.

Nicht alle Verfahren und Informationen können derzeit als 100% ideal angesehen werden. In Bezug auf die meisten Fragestellungen sind Verbesserungen durch die DFS jedoch bereits in die Wege geleitet oder angesprochen worden.

In diesem Bericht sind Empfehlungen für die weitere Arbeit und weitere Studien enthalten. Sie können im Rahmen des fortlaufenden Optimierungsprozesses hilfreich sein.



6 Nachtrag: Fragebogen an die DFS

Um die für das aktuelle Gutachten benötigten Informationen zu erhalten, haben sich NLR und IFOK gemeinsam auf die Erstellung eines Fragebogens verständigt, welcher die in der Ausschreibung des „Beitrages der Flugsicherung“ aufgeworfenen Themen aufgreifen sollte (s. Kapitel 2.2). Bei der Erstellung des Fragebogens wurden zahlreiche Themen berücksichtigt, die dem NLR aufgrund seiner diesbezüglichen Erfahrungen wichtig und/oder interessant erschienen. Nach Fertigstellung wurde der Fragebogen der DFS zugesandt.

Der Fragebogen wurde von der DFS im Laufe eines zweitägigen Treffens beantwortet, an dem DFS-Vertreter verschiedener betroffener Bereiche teilnahmen: Leiter und Mitglieder der Abteilung Fluglärm und Umwelt, der Leiter der Abteilung Luftraum und Verfahrensplanung sowie Fluglotsen des Betriebsdienstes.

In der Diskussion kamen viele Aspekte des Themas Lärm zur Sprache, die für die Tätigkeit der DFS bezüglich Planung, Betrieb und Analyse von Belang sind. Der Fragebogen erwies sich als ein für die Strukturierung der Diskussion nützliches Hilfsmittel. Die DFS stellte dem NLR bei diesem Treffen wichtige Zusatzinformationen zu verschiedenen Themen in Schriftform zur Verfügung.

Das NLR hat die Antworten auf die einzelnen Fragestellungen zusammengetragen und der DFS zur Kommentierung vorgelegt. Wo nötig, wurden die von der DFS vorgenommenen Anmerkungen vom NLR eingearbeitet.

Die relevanten Informationen wurden bearbeitet und die Antworten auf die in der Ausschreibung gestellten Fragen formuliert.

Da der Fragebogen als Leitfaden für die Strukturierung der Diskussion mit der DFS verwendet wurde, wurde nicht versucht, jede einzelne Frage genau zu beantworten oder eine detaillierte Liste aller Fragen und Antworten zu erstellen.

Der Fragebogen und die Antworten wurden bereits an die Mitglieder des RDF verteilt und sind in diesem Entwurf des endgültigen Berichts zu WP2 nicht enthalten.

7 Abkürzungen und Definitionen

ATC	Air Traffic Control
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AIP	Aeronautical Information Publication
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation



FANOMOS	Flight track and Aircraft Noise Monitoring System
Flugroute	Informationen zur Position eines Flugzeuges für einen Zeitraum, d. h. Zeithistorie von X/Y und Höhenangaben.
FLL	DFS-Abteilung Luftraum- und Verfahrensplanung
FLU	DFS-Abteilung Fluglärm Umwelt Grundsatz
FLULA2	EMPA Fluglärmberechnungsmodell
FRAPORT	Frankfurt Airport AG
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IFOK	Institut für Organisationskommunikation
LBA	Luftfahrtbundesamt
MNR	Minimum Noise Route – Lärminderungsstrecke
NIROS	Noise Impact Reduction and Optimisation System
NM	Nautische Meile
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services-Operations
P-RNAV	Precision Area Navigation
Radardaten	Daten eines Radars mit Informationen zur Position (X/Y und Höhe) für einzelne Flugzeuge zu einem bestimmten Zeitpunkt
QNH	Luftdruck (mbar) auf Meeresspiegel, korrigiert um standardmäßige atmosphärische Bedingungen
RDF	Regionales Dialogforum
RNAV	Area Navigation – Flächennavigation
RNP-RNAV	Required Navigational Performance RNAV
SID	Standard Instrument Departure Route – Standardabflugstrecke
STANLY	DFS-Computersystem mit unter anderem Flugplaninformationen
STAR	Standard Arrival Route
TMA	Terminal Manoeuvring Area
UBA	Umweltbundesamt
WP	Work Package – Arbeitspaket

8 Quellenverzeichnis

1. Projektplan NLR für RDF/Frankfurt "Beitrag der Flugsicherung"; Version 23. Juli 2002.
2. Anon, Procedures for Air Navigation Services aircraft Operations (PANS-OPS), ICAO Doc 8168, Band I – *Flight Procedures*, Band II – *Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*
3. Website SOFREAVIA; <http://www.sofreavia.com>
4. Striffling, S. und Duvernet, F.; Efficient noise monitoring: the essential step to improve environment in the vicinity of airports; Sofreavia.



5. Website Lochard; <http://www.lochard.com>
6. Website Top-sonic; <http://www.topsonic.de>
7. Website Bruel & Kjaer; <http://www.bksv.com/>
8. Frankfurt Flughafen Lärmbulletin 2002/01 und 2002/02; Website <http://www.fraport.de>
9. 2001 Noise Management Annual Report; Vancouver International Airport; Website <http://www.yvr.ca>.
10. DFS Website; <http://www.dfs.de>
11. Leder, J.: „Ein Verfahren zur Optimierung dreidimensionaler Flugtrajektorien im Hinblick auf eine minimale Fluglärmbelastung der Bevölkerung mittels eines physiologisch geprägten Gütekriteriums“, Dissertation, Darmstadt 1998. (NIROS)
12. H.A. Kreijkamp und H.W. Veerbeek, Mid-Life Update FANOMOS: Reference Manual Version 2.0, NLR CR 98426, Oktober 1998.
13. Gedrucktes Material, das spezifisch für Frankfurt ist:
 - Minimum Noise Route Charts
 - Boeing Flughafeninformationen;
 - Luftfahrthandbuch (Aeronautical Information Publication);
 - (Antworten auf) NLR-Fragebogen;
 - von LBA zu relevanten Teilen des Fragebogens geschriebener Text;
 - organisatorische Verfahren der DFS für die Genehmigung von neuen/geänderten Routen;
 - Zusammenfassungen der Vorschriften und Gesetze des LBA;
 - Beispiele für den FANOMOS Output.
14. Website Boeing; <http://www.boeing.com/commercial/noise>
15. Flugverkehrshandbuch
16. Jeppesen Sanderson Charts
17. Der Bundesminister des Innern: Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30.3.1971. GMBI 26, Ausgabe A, S. 162-227 (1975).
18. Der Bundesminister des Innern: Ergänzung der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen – AzB – von 27.2.1975. Bonn, 20.2.1984.
19. Website Numerical Recipes Homepage, <http://www.nr.com/>
20. Dr. U. Isermann and R. Schmid; Berechnung von Fluglärmkonturen für zukünftige Start-/Landebahnvarianten am Flughafen Frankfurt/Main (Untersuchung zur Qualitätssicherung im Rahmen des Mediationsverfahrens zum Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main); DLR Göttingen; Januar 2000.

Anhang A Beispiele für FANOMOS-Output

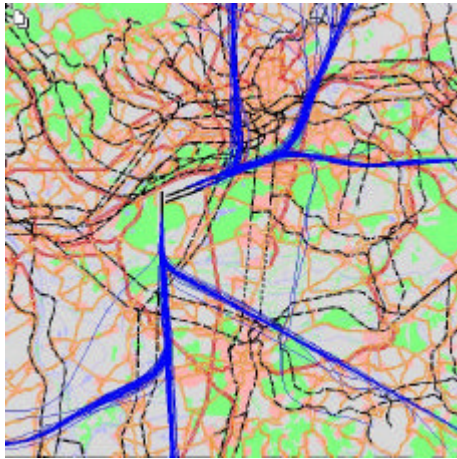


Abb. 8: Aufzeichnung der Flugspuren („Massenplot“) bei Abflügen aus Frankfurt

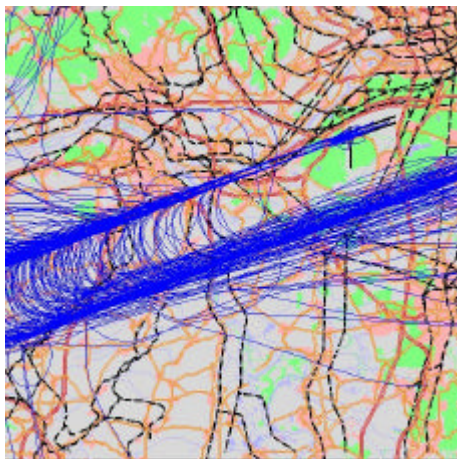


Abb. 9: Aufzeichnung der Flugspuren („Massenplot“) bei Anflügen nach Frankfurt

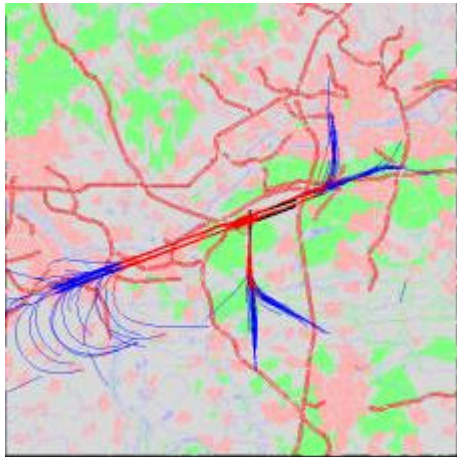


Abb. 10: Höhenbandintervalldarstellung (0-3000 Fuß in rot, 3000-4000 Fuß in blau dargestellt)

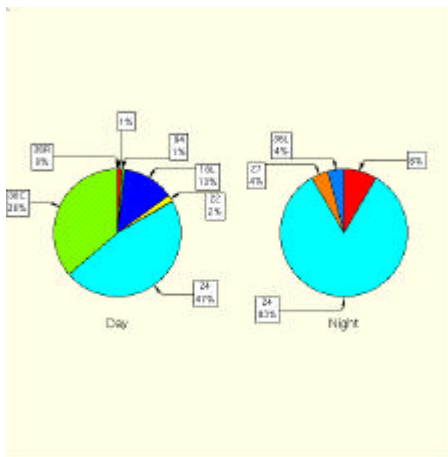


Abb. 11: Statistik zu administrativen Flugdaten

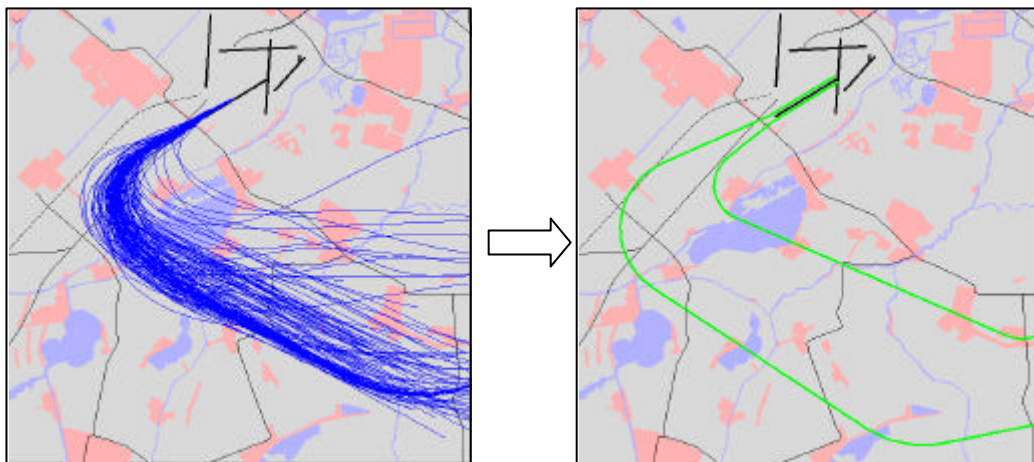


Abb. 12: Berechnung der Flugroutenstatistik

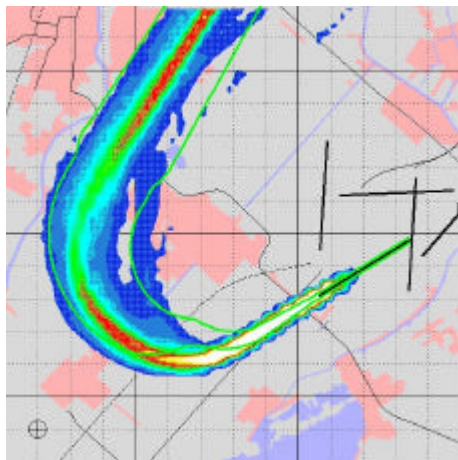


Abb. 13: Dichte der Flugrouten

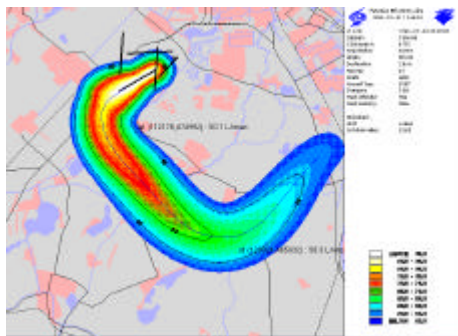


Abb. 14: Berechnung der Lärmbelastung

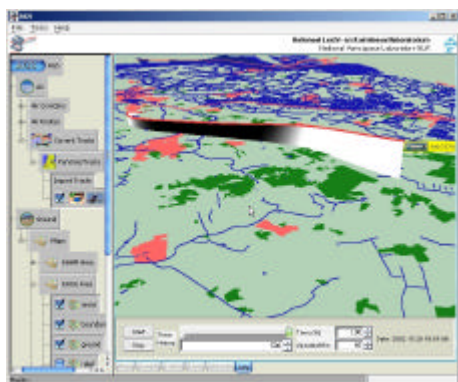


Abb. 15: FANOMOS-Flugdarstellung in 3D/4D

Anhang B Auszüge aus ICAO PANS-OPS: Lärmschutzverfahren

Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organisation*, ICAO) hat die „Verfahren für Navigationsdienste im Luftverkehr“ (*Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations*, PANS-OPS) herausgegeben. Das Dokument 8168 besteht aus zwei Bänden: Band I, „Flugverfahren“, und Band II, „Erstellung von Verfahren für Sicht- und Instrumentenflug“. Beide Bände befassen sich mit Flugstrategien, die nicht unter die *Standards and Recommended Practices* fallen, für die aber eine internationale Einheitlichkeit wünschenswert ist.

Band I, „Flugverfahren“, beschreibt für die Anleitung von Flugpersonal empfohlene Betriebsverfahren und stellt die verschiedenen Parameter vor, die den Kriterien des zweiten Bandes zugrunde liegen. Er betont, dass sich das Bordpersonal einschließlich der Piloten streng an die vorgeschriebenen Verfahrensweisen halten muss, um jederzeit ein akzeptables Sicherheitsniveau zu erzielen und zu wahren.

Band II, „Erstellung von Verfahren für Sicht- und Instrumentenflug“, widmet sich der Anleitung von Verfahrensspezialisten und beschreibt die wichtigsten Voraussetzungen in bezug auf Terrain und Sicherheitsabstand zu Hindernissen, die für einen sicheren und normalen Instrumentenflugbetrieb erforderlich sind. Dieser Band nennt Grundregeln, die von Staaten ebenso konsultiert werden wie von Betreibern und Organisationen, die Instrumentenflugkarten herstellen; diese Richtlinien führen zu einheitlichen Verfahrensweisen an allen Flughäfen, an denen der Instrumentenflug durchgeführt wird.

Teil V des Dokuments 8168 Band I beschäftigt sich mit Lärmschutzverfahren. Da dieses Kapitel für die Beurteilung der Lärminderungsverfahren in Frankfurt wichtige Informationen enthält, werden hier längere Auszüge aus diesem fünften Teil wiedergegeben. Der Text erscheint im Anhang, da die Verwendung von Fachsprache unvermeidlich ist. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird das Original an einigen Stellen nicht exakt zitiert.

B.1 Allgemeine Bemerkungen

Die hier beschriebenen Verfahren sind im Rahmen von Lärmschutzmaßnahmen anzuwenden, falls ein Problem mit hoher Lärmbelastung nachgewiesen wurde. Sie wurden für Flugzeuge mit Turbinenluftstrahltriebwerk („Turbojets“) entwickelt. Sie können eine oder mehrere der folgenden Methoden beinhalten:

- die Nutzung von Vorzugsstart- und -landebahnen, um die Anfangs- und Endflugwege von lärmempfindlichen Gebieten wegzuleiten;
- die Nutzung von Nichtvorzugsrouten, um startende und landende Flugzeuge bei der Vermeidung lärmempfindlicher Gebiete zu unterstützen, einschließlich des Fliegens von Kurven, um Flugzeuge von lärmempfindlichen Gebieten wegzuleiten, die unter oder nahe an den normalen Start- und Landeflugwegen liegen; sowie

- die Nutzung von Lärmschutzmaßnahmen bei Starts und Landungen, welche die Gesamtlärmbelastung am Boden bei gleichzeitiger Einhaltung der Sicherheitsvorgaben verringern.

Keine dieser Vorgehensweisen soll den Flugzeugkommandanten von seiner Aufsicht über den sicheren Betrieb des Flugzeugs fernhalten.

Die Lärmschutzverfahren sind nur dann anzuwenden, wenn ihre Notwendigkeit bestätigt wurde.

B.2 Vorzugsstart- und -lande bahnen und Vorzugsrouten

B.2.1 Vorzugsstart- und -lande bahnen

Zu Lärmschutzzwecken werden geeignete Vorzugspisten für Starts und Landungen benannt. Ziel ist, diese Start- und Landebahnen so oft wie möglich zu benutzen, damit Flugzeuge während der ersten Abflugphase und im Endanflug das Überfliegen lärmempfindlicher Gebiete vermeiden können.

Landebahnen sollten nur als Vorzugslandebahnen ausgewählt werden, wenn sie mit einem geeigneten Gleitweggleitsystem, z.B. ILS, ausgerüstet sind.

Unter den folgenden Bedingungen sollte die Pistenauswahl nicht nach Lärmschutzkriterien erfolgen:

- wenn die Start-/Landebahn nicht sauber und trocken ist, d.h. wenn sie durch Schnee, Schneematsch, Eis oder Regen bzw. durch Gummi, Öl oder andere Stoffe beeinträchtigt ist;
- bei Landungen, wenn die Wolkendecke niedriger als 150 m über dem Flugplatz steht, sowie bei Starts und Landungen, wenn die horizontale Sichtweite weniger als 1,9 km beträgt;
- wenn der Seitenwind einschließlich Böen eine Geschwindigkeit von mehr als 28 km/h (15 kts) erreicht;
- wenn der Rückenwind einschließlich Böen eine Geschwindigkeit von mehr als 9 km/h (15 kts) erreicht;
- wenn Windscherungen gemeldet oder vorhergesagt wurden, oder wenn während des Starts oder der Landung mit Gewitter zu rechnen ist.

B.2.2 Vorzugsrouten

Vorzugsrouten werden eingerichtet, um sicherzustellen, dass an- und abfliegende Flugzeuge das Überfliegen lärmempfindlicher Gebiete in Flughafennähe weitestgehend vermeiden.

Bei der Einrichtung von Vorzugsrouten ist zu beachten, dass:

- während des Ab- und Steigflugs Kurven nur geflogen werden sollten, wenn
 1. das Flugzeug eine Höhe von mindestens 150 m über Grund erreicht hat bzw. höher als das höchste Hindernis im Flugweg gestiegen ist und diese Höhe während des Kurvenflugs beibehält.
 2. der Querneigungswinkel für Kurven nach dem Abflug auf 15 Grad begrenzt ist, außer es wurden angemessene Vorkehrungen getroffen für eine Beschleunigungsphase, die das

Erzielen einer sicheren Geschwindigkeit für Querneigungswinkel von mehr als 15 Grad zulässt.

- Kurven nicht aus Lärmschutzgründen mit einer Schubminderung einhergehen sollten; und
- die Routen mit ausreichenden Navigationshilfen ausgestattet sein sollten, so dass Flugzeuge ihre vorgeschriebene Route beibehalten können.

Bei der Einrichtung von Vorzugsrouten sind die Sicherheitskriterien der Standardabflug- und Standardanflugrouten in Bezug auf Sicherheitsabstand, Steigwinkel und andere Faktoren in vollem Umfang zu berücksichtigen.

Wo Vorzugsrouten eingerichtet werden, sollten sie mit den Standardabflug- und Standardanflugrouten vereinbar sein.

Ein Flugzeug sollte nicht von der ihm zugewiesenen Route gelenkt werden, es sei denn, dass

- es nach dem Start die Höhe erreicht hat, die die Obergrenze der Lärmschutzmaßnahmen darstellt, oder
- es für die Sicherheit des Flugzeugs notwendig ist (z.B. um schlechten Wetterverhältnissen aus dem Weg zu gehen oder die Konflikte bergende Nutzung von Flugwegen zu vermeiden).

B.3 Flugzeugbetriebsverfahren

B.3.1 Flugzeugbetriebsverfahren – Der Start

Diese Flugzeugbetriebsverfahren für den Ab- bzw. Steigflug wurden zur Gewährleistung der beim Flugbetrieb notwendigen Sicherheit und gleichzeitigen Minimierung der Lärmbelastung am Boden entwickelt. Eines der beiden in C.3.1.1 und C.3.1.2 beschriebenen Verfahren sollte routinemäßig bei jedem Start angewendet werden.

Verfügbare Daten zeigen, dass das ICAO-A-Verfahren zu einer Lärminderung in der späteren Phase des Flugablaufs führt, während das ICAO-B-Verfahren eine Lärminderung in Flughafennähe mit sich bringt. Die ausgewählten Verfahren sind von der erforderlichen Lärmverteilung und dem jeweiligen Flugzeugtyp abhängig. In dem seltenen Fall, dass keines der beiden in C.3.1.1 und C.3.1.2 beschriebenen Startverfahren geeignet ist, kann ein die Einschränkungen aus C.3.1.3 berücksichtigendes Sonderverfahren entwickelt werden.

Die folgenden Lärmschutzverfahren für Starts werden aufgrund ihrer betrieblichen Umsetzbarkeit und ihrer Wirksamkeit bei der Lärminderung empfohlen.

B.3.1.1 ICAO-A-Verfahren

Start und Anstieg auf 450 m über Flughafenhöhe:

- Startleistung
- Startklappeneinstellung
- Anstieg mit V_2+20 bis 40 km/h (oder je nach Einschränkung durch Rumpfwinkel)

Auf 450 m Höhe:

- Schub auf höchstens Steigschub verringern



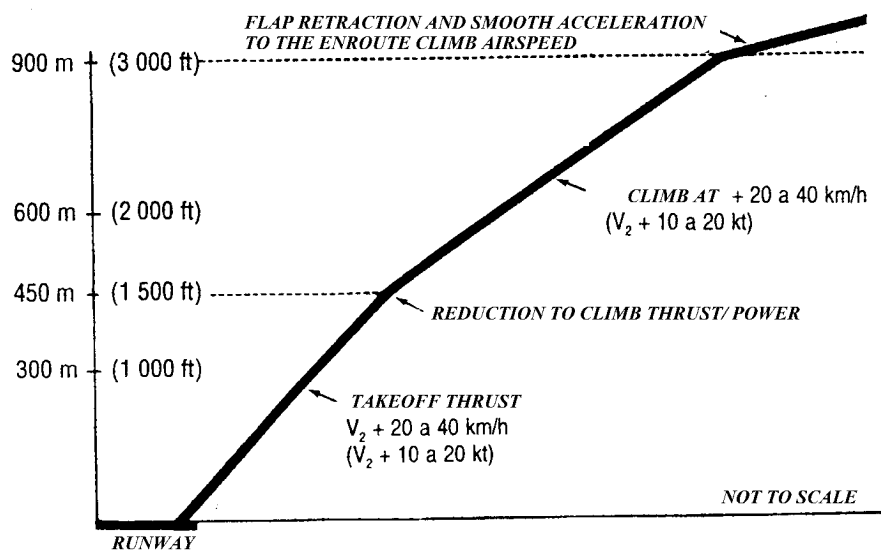
450 m bis 900 m Höhe:

- Anstieg mit V_2+20 bis 40 km/h

Auf 900 m Höhe:

- Gleichmäßig auf Reisesteiggeschwindigkeit beschleunigen, Klappen planmäßig einfahren

Bildliche Darstellung siehe unten.



ICAO-A-Verfahren zum Lärmschutz bei Starts

B.3.1.2 ICAO-B-Verfahren

Start und Anstieg auf 300 m über Flughafenhöhe:

- Startschub
- Startklappeneinstellung
- Anstieg mit V_2+20 bis 40 km/h

Auf 300 m Höhe:

- Unter Beibehaltung einer positiven Steigrate auf sichere Mindestfluggeschwindigkeit beschleunigen (V_{zf}), Klappen planmäßig einfahren

Anschließend:

Schub gemäß folgenden Kriterien verringern:

- Bei Maschinen mit hohem Bypassverhältnis Leistung auf normale Steigleistung/normalen Steigschub verringern;
- Bei Maschinen mit niedrigem Bypassverhältnis Leistung/Schub auf einen Wert unterhalb des normalen Steigschubs verringern, aber nicht unterhalb des zum Aufrechterhalten des Steigwinkels beim Endabflug nötigen Werts; und

- Bei Flugzeugen mit langsam einfahrenden Klappen Leistung/Schub bei Zwischenklappeneinstellung verringern.

Anschließend:

300 m bis 900 m Höhe:

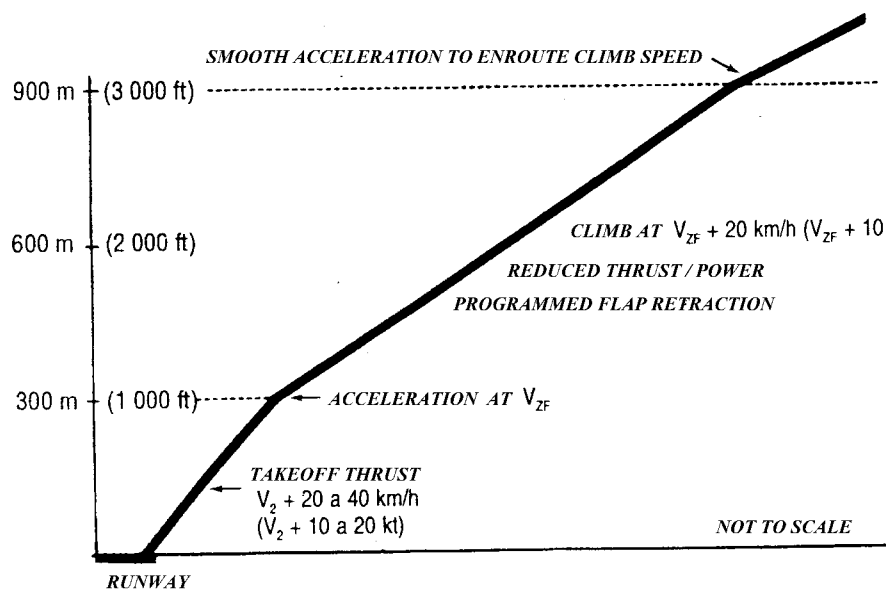
Bei nicht mehr als $V_{zf} + 20$ km/h weiter steigen

Auf 900 m Höhe:

Gleichmäßig auf Reisesteiggeschwindigkeit beschleunigen.

Anmerkung: Luftfahrzeuge wie z.B. Überschallflugzeuge, die beim Start keine Flügelklappen einsetzen, sollten den Schub bereits vor Erreichen von 300 m Höhe, jedoch nicht unterhalb von 150 m Höhe verringern.

Bildliche Darstellung siehe unten.



ICAO-B-Verfahren zum Lärmschutz bei Starts

B.3.1.3 Einschränkungen bei Sonderstartverfahren

Ein neu entwickeltes Sonderverfahren muss erwiesenermaßen notwendig sein und sich innerhalb bestimmter Einschränkungen bewegen. Der Sicherheitsstandard des neuen Verfahrens muss nachweislich dem in C.3.1.1 und C.3.1.2 beschriebenen Umfang entsprechen. Vor der Einführung eines Sonderverfahrens sind die speziellen Merkmale dieses Verfahrens sowie seine Auswirkungen auf die Standardisierung der Flugbesatzungsverfahren und auf die Arbeitsbelastung im Cockpit in Betracht zu ziehen.

Es gelten die folgenden Einschränkungen:

1. Die stetige Mindeststeiggeschwindigkeit muss mindestens V_2+20 km/h bzw., falls diese größer ist, mindestens die im Flugzeughandbuch angegebene Geschwindigkeit betragen;
2. Die Einhaltung der stetigen Mindeststeiggeschwindigkeit ist nicht erforderlich, wenn dadurch der höchstzulässige Rumpfwinkel überschritten wird; und
3. Eine Leistungsverringerung ist erst erforderlich, wenn
 - das Flugzeug eine Höhe von mindestens 300 m über Flughafenhöhe erreicht hat;
 - eine Standardleistungseinstellung verwendet wird, welche ausreicht, um das Flugzeug bei der maximal zulässigen Startmasse und einer gemäß den Punkten 1.) und 2.) eingestellten Geschwindigkeit einen stetigen Steiggradienten von mindestens 4 Prozent einhalten zu lassen; und
 - bei Laufen aller Motoren und unter gebührender Berücksichtigung eines Motorschadens und der bis zum Erhalt der vollen Leistung von den übrigen Motoren benötigten Zeit der Abflugweg einen angemessenen Sicherheitsabstand zu allen Hindernissen unterhalb des Flugwegs gewährleistet.

Anmerkung: Es wird vorausgesetzt, dass das Flugzeug vor Erreichen des lärmempfindlichen Gebiets mit einem maximalen Gradienten sowie unter Wahrung einer Geschwindigkeit steigt, die mindestens das nach den Punkten 1.) oder 2.) erforderliche Maß beträgt.

B.3.2 Flugzeugbetriebsverfahren – Der Anflug

Im Rahmen der Lärmschutzmaßnahmen werden folgende Anflugverfahren entwickelt:

- Das Flugzeug darf nach Passieren der Voreinflugzeichen bzw. 5 NM ab Überfliegen der Schwelle der beabsichtigten Landebahn, je nachdem, welches früher eintritt, in keiner anderen als der Endlandekonfiguration fliegen; und
- übermäßige Sinkgeschwindigkeiten sind nicht erforderlich.

Anmerkung: Die Kriterien für die Berechnung von Sinkgradienten werden in PANS-OPS Band I Teil III festgelegt und reichen von 2,5 bis 3,7 Grad, wobei ein Gradient von 3 Grad empfohlen wird.

Wenn es nötig ist, ein Lärmschutz-Anflugverfahren auf der Basis derzeit verfügbarer Systeme und Ausrüstung (Stand 1982) zu entwickeln, sind die folgenden Sicherheitserwägungen in vollem Umfang zu berücksichtigen:

- Gleitweg- oder Anflugwinkel sollten nicht bedeuten, dass der Anflug einen Winkel aufweist, der
 1. über dem ILS-Gleitwegwinkel liegt;
 2. über dem Gleitwegwinkel des Neigungsindikatorsystems des Sichtanflugs liegt;

3. über dem normalen Endanflugwinkel des Präzisionsanflugradars liegt;
4. über einem Winkel von 3 Grad liegt, mit Ausnahme der Fälle, in denen es aus technischen Gründen notwendig war, ein Instrumentenlandesystem mit einem Gleitwegwinkel von mehr als 3 Grad festzulegen.

Anmerkung 1: Da die Einführung neuer Systeme und Geräte wesentliche Änderungen der Anflugtechniken mit sich bringen wird, müssen neue Verfahrensweisen entwickelt werden.

Anmerkung 2: Der Pilot kann den vorgeschriebenen Anflugwinkel nur dann genau einhalten, wenn ihm entweder kontinuierliche Sichtflugleitsysteme oder Funknavigationssysteme zur Verfügung stehen.

- Der Pilot sollte vor dem Endanflug keine Kurven beenden müssen, wenn nicht mindestens der folgende Abstand gewahrt werden kann:
 1. Beim Sichtflugbetrieb sollte beim Endanflug vor Überquerung der Landebahnschwelle eine angemessene Zeitspanne für den Stabilisierungsflug zur Verfügung stehen;
 2. Beim Instrumentenanflug sollte das Flugzeug vor dem Erreichen des Gleitwegs auf den Endanflug eingestellt werden können.

Im Rahmen der an einigen Standorten zur Aufrechterhaltung eines funktionierenden Flugverkehrs notwendigen Einschränkungen haben sich Anflug- und Landeverfahren, die aus Lärmschutzgründen nach dem Prinzip des kontinuierlichen Sinkflugs oder dem Prinzip „Wenig Luftwiderstand – Wenig Triebwerkschub“ (*low drag – low power*) oder einer Kombination dieser beiden Techniken durchgeführt werden, als wirksam und technisch machbar erwiesen. Ziel dieser Verfahren ist, durch das verzögerte Ausfahren von Flügelklappen und Fahrwerk erst in der letzten Phase des Anflugs ununterbrochene Sinkflüge bei verminderter Leistung und geringerem Luftwiderstand zu ermöglichen. Bei Anwendung dieser Verfahren ist die Fluggeschwindigkeit demnach meist höher, als es bei Sink- und Anflug mit durchgehend ausgefahrenen Klappen und Fahrwerk der Fall wäre. Diese Verfahrensweisen müssen sich daher nach den hier genannten Einschränkungen richten.

Die Lärmschutz-Anflugverfahren sollten nicht bei widrigen Bedingungen angewendet werden, wie z.B.:

- wenn die Start-/Landebahn nicht sauber und trocken ist, d.h. wenn sie durch Schnee, Schneematsch, Eis oder Regen bzw. durch Gummi, Öl oder andere Stoffe beeinträchtigt ist;
- wenn die Wolkendecke niedriger als 150 m über dem Flugplatz steht oder wenn die horizontale Sichtweite weniger als 1,9 km beträgt;
- wenn der Seitenwind einschließlich Böen eine Geschwindigkeit von mehr als 28 km/h (15 kts) erreicht;

- wenn der Rückenwind einschließlich Böen eine Geschwindigkeit von mehr als 9 km/h (15 kts) erreicht;
- wenn Windscherungen gemeldet wurden oder wenn während des Anflugs mit ungünstigen Wetterverhältnissen, z.B. Gewitter, zu rechnen ist.

B.3.3 Flugzeugbetriebsverfahren – Die Landung

Lärmschutzmaßnahmen dürfen kein Verbot der Anwendung von Bremschub während der Landung beinhalten.

B.3.4 Verschieben der Start-/Landebahnschwelle

Start-/Landebahnschwellen sollten nicht aus Lärmschutzgründen verschoben werden, es sei denn, dass diese Maßnahme zu einer erheblichen Fluglärmsenkung beiträgt und die verbleibende Start-/Landebahn lang genug ist, um allen betrieblichen Sicherheitsvorschriften Genüge zu tun.

Anmerkung: Durch Verschiebung des Anfangspunkts eines Startvorgangs kann der Lärmpegel seitlich und am Anfang einer Start-/Landebahn verringert werden, die Lärmbelastung unterhalb des Flugwegs steigt dadurch jedoch. Bei Verschiebung der Landebahnschwelle ist die Schwelle aus Sicherheitsgründen deutlich zu kennzeichnen und die Neuordnung der Anflughilfen anzuzeigen.

B.3.5 Konfigurations - und Geschwindigkeitsänderungen

Abweichungen von der normalen, der jeweiligen Flugphase entsprechenden Konfiguration und Geschwindigkeit sind nicht verpflichtend.

B.3.6 Obergrenze

Lärmschutzvorgaben müssen Informationen darüber enthalten, ab welcher Höhe die Maßnahmen nicht mehr anzuwenden sind.

B.3.7 Funkverkehr

Um die Flugbesatzung bei der Ausführung von Lärmschutzmaßnahmen nicht abzulenken, ist der Boden-Bord-Funkverkehr auf ein Minimum zu begrenzen.



Anhang C NIROS im Detail

C.1 Zweck und Funktionsweise von NIROS

NIROS ist ein elektronisches Hilfsmittel, mit dem eine (Abflug-)Route jedes Flugzeugtyps im Hinblick auf die geringste Lärmbelastung für die Bevölkerung optimiert werden kann. NIROS prüft hauptsächlich (kleine) Veränderungen oder Abwandlungen von Flugrouten und schätzt den Einfluss auf die Gesamtlärmbelastung ab. Im Rahmen des Routenoptimierungsprozesses quantifiziert NIROS die Lärmbelastung, wobei lokaler Lärmpegel und lokale Bevölkerungsdichte eines großen Gebietes berücksichtigt werden. NIROS kann einen Lärmbelastungsparameterwert berechnen und so eine (vorgeschlagene) Flugroute auf ihre Lärmauswirkungen prüfen.

Diese Funktion erlaubt es, mehrere Flugrouten im Hinblick auf die jeweils geringste Lärmbelastung zu vergleichen.

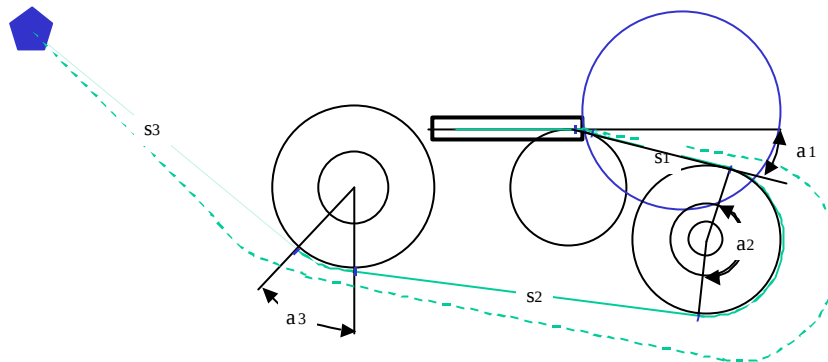
Die Qualität (oder die allgemeine Akzeptanz einer optimalen Route) von NIROS bei der Frage nach der minimalen Lärmbelastung steht mit den folgenden vier Aspekten in Verbindung:

- Routenbeschreibung: Wie gut ist eine Route in Bezug auf die „fliegerische Machbarkeit“ mathematisch modelliert?
- Quantifizierung der Lärmbelastung: Die Lärmbelastung in Flughafennähe wird in einer einzigen Zahl ausgedrückt. Ist das zugrundeliegende Kriterium (bzw. diese Zahl) allgemein verständlich und wird es von den Beteiligten als ein gültiges Kriterium für die Routenoptimierung angesehen?
- Optimierungsprozess: Erreicht der Prozess sein (Lärmminimum-) Ziel?
- Flugbetrieb und bevölkerungsbezogene Daten: Sind die Daten hinreichend genau und vollständig, um den Flugverkehr und die Lärmbelastung in Flughafennähe angemessen auszudrücken?

Die Leistungsbeschreibung für das Gutachten enthält spezielle Fragen zu NIROS. Diese Fragen stehen in keiner besonderen Beziehung zum DFS-Betrieb; sie beziehen sich auf die Entwicklung und Umsetzung von NIROS. Dieses Kapitel enthält zur Beantwortung dieser Fragen eine detailliertere Analyse des NIROS-Systems.

C.2 Routenplanung und -beschreibung

In NIROS wird eine Route gemäß dem Schema in Abb. 16 definiert.



- s1 : ICAO-A operational procedure: prescribed thrust settings, altitude and height depending on AC and distance flown
- s2 : intermediate height, noise load levels have relatively high impact
- s3 : relatively high altitude: noise load levels have relatively low impact
- a1 : small angle (few degrees) : is prescribed to be (near) zero
- a2 : turn, radius is aircraft type (speed) dependent
- a3 : turn, radius is aircraft type (speed) dependent

Abbildung 16 Routenfestlegung in NIROS

Die berücksichtigten Routen sind mathematisch über eine begrenzte Anzahl von geraden Strecken und Kurven definiert. Die aktuelle Version von NIROS ist in der Anzahl der Parameter begrenzt, die optimiert werden können. Die NIROS-Version, so wie sie von der DFS eingesetzt wird, optimiert 1 oder 2 Kurven, die mit geraden Strecken verbunden sind (Verbindung der Kurven). Der Radius der Kurve ist spezifisch für einen (benutzerdefinierten) Flugzeugtyp. Die Längen der geraden Strecken (s_1 , s_2) und die Änderungen der Kurven (Winkel a_1 , a_2) unterliegen dem Optimierungsprozess. Die Radii der Kurven hängen von den Flugzeugeigenschaften ab, die sich während des Startvorgangs entwickeln. Der Anfang (Startbahnschwelle) und das Ende der Abflugrouten (meist ein Navigationswegpunkt) werden durch Vorauswahl bestimmt. Am Ende der Abflugroute tritt das Flugzeug in eine (auf größerer Höhe liegende) Luftstraße ein. Die letzte Kurve (a_3) und die Entfernung (s_3) bis zum Ende (zum letzten Wegpunkt) des Starts bilden logischerweise die Flugroute, welche zum Überfliegen dieses fixen Punktes nötig ist. Diese zwischen dem Ende der Startbahn und dem Wegpunkt liegende Flugroute wird vollständig von den Werten a_1 , a_2 , s_1 und s_2 definiert.

Der Ansatz, den NIROS bei dem Problem der Berechnung einer Minimum Noise Route anwendet, impliziert, dass der Minimierungsprozess mit einer Ausgangsrouten beginnt, die bereits auf Sicherheit und Kapazität hin überprüft worden ist. Dies bedeutet, dass nur relativ

kleine Änderungen an den Routen vorgenommen werden. Falls eine optimierte Route sehr viel anders ist als die ursprüngliche Ausgangsroute, sollten Sicherheit und Kapazität erneut bewertet werden.

Es können natürlich viele andere mögliche Ausgangsrouten bewertet werden.

C.3 Berechnung der Fluglärmbelastung

Für eine gegebene Route ist die Lärmbelastungsberechnung ein klar definierter Vorgang, wie aus Abbildung 17 ersichtlich wird. Die NIROS-Berechnungen beginnen mit der Auswahl des Flugzeugtyps, des Betriebsverfahrens, der verwendeten Startbahn und der Ausgangsroute.

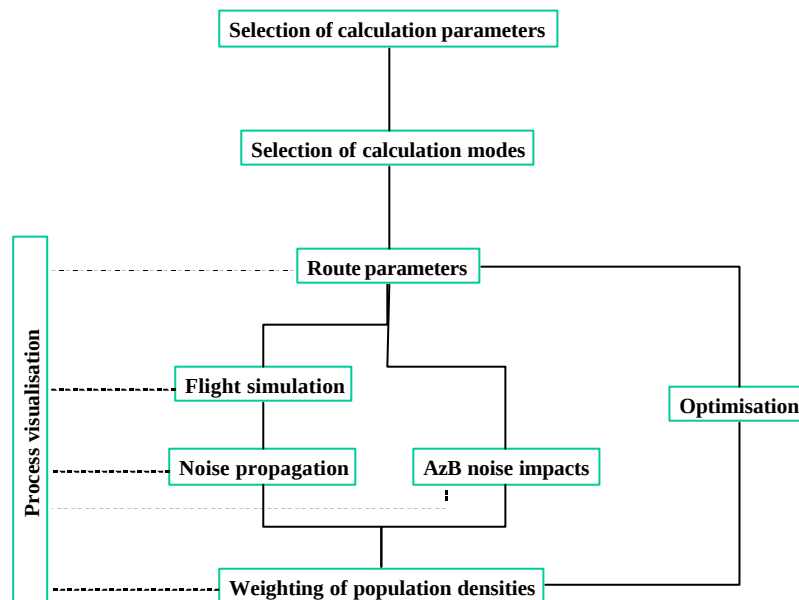


Abbildung 17 Berechnung der Fluglärmbelastung

Es gibt zwei unterschiedliche Methoden zur Berechnung der Lärmbelastung. Die eine ist der deutsche Berechnungsstandard für die Fluglärmbelastung, AzB – Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen [Quelle 17 und 18]. Die AzB-Methode ist genau definiert, sehr bekannt und anerkannt. Die aktuelle NIROS-Version basiert auf dem AzB-Standard vom 10.03.1994.

Bei den meisten Optimierungsberechnungen wird jedoch mit einer anderen Methode gearbeitet. Diese Methode zur Berechnung der Lärmausbreitung basiert auf einer Flugsimulation (horizontale Position, Höhe und Geschwindigkeit unterliegen der Kontrolle des Piloten oder des

Flugmanagementsystems). Die sich daraus ergebende Position, Höhe, Geschwindigkeit und Schubstellung als Funktion der geflogenen Zeit oder Entfernung werden dann in ein Modell eingegeben, in dem die Lärmeigenschaften des Motors (einschließlich Richtwirkung und Lärmpegel) und die Lärmausbreitung über die Atmosphäre enthalten sind. Dieses Modell bietet prinzipiell die Möglichkeit einer sehr realistischen und detaillierten Lärmbelastungsberechnung. Bei dieser alternativen Methode werden jedoch wesentlich genauere Angaben benötigt, die von den Flugzeugherstellern nur begrenzt verfügbar sind. NIROS erlaubt daher nur die Auswahl aus einer begrenzten Zahl von Flugzeugen.

Die berechnete Lärmbelastung unterscheidet sich je nach geographischer Lage, wie auch die Bevölkerungsdichte. Bei NIROS wird die lokale Lärmbelastung mit der lokalen Bevölkerungsdichte gewichtet und diese Daten im untersuchten Gebiet integriert. Das Ergebnis ist eine einzige Zahl, die ein Gesamtlärmbelastungskriterium darstellt. Die nächsten Kapitel beschreiben einige Details.

C.4 Bevölkerungsdichte und Flugzeugdaten

Eine Voraussetzung für die Berechnung einer Lärminderungsroute ist die Verfügbarkeit von hinreichend genauen, zuverlässigen und eindeutigen geographischen Informationen, um die Kalkulationen durchführen zu können, aber auch, um Zweifel an der Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu vermeiden. Für NIROS wird die geographische Verteilung der Bevölkerungsdichte zusammengetragen. Diese Datenbank zur Bevölkerungsdichte wird aus zwei anderen Datenbanken zusammengestellt, die der DFS von externen Quellen zur Verfügung gestellt wurden: eine Datenbank zur Anzahl der Menschen pro Verwaltungsbezirk und eine zur geographischen Darstellung der bebauten Gebiete. Mit einigem Arbeitsaufwand kann diese Datenbank alle paar Jahre aktualisiert werden. Die aktuelle Datenbank zur Bevölkerungsdichte erlaubt tägliche Änderungen und verfügt über eine Auflösung von 100 x 100 Metern. Die Qualität der darin enthaltenen Informationen sowie die Auflösung sind später für die Genauigkeit der berechneten Lärminderungsrouen entscheidend.

C.5 Geografische Information

Bei den Berechnungen von NIROS wird seit 2001 die Landschaftshöhe mit einbezogen.

C.6 Kriterium zur Optimierung der Fluglärmbelastung

Lärmbelastungsgrößen basieren in der Regel auf einer der beiden folgenden Messgrößen pro Flug: Spitzenbelastung oder zeitintegrierte Lärmbelastung. Im Prinzip definieren und bestimmen diese Größen die Lärmbelastung an einem bestimmten geographischen Punkt. Sie werden gewöhnlich für viele Orte errechnet und in einem Gitter angeordnet. Durch Interpolation

in diesem Gitter erhält man die sogenannten Lärmkonturen. Dies sind Isolinien, die Positionen mit gleicher Lärmbelastung bei einem gegebenen Belastungswert miteinander verbinden. Es existiert jedoch keine anerkannte Größe, welche die (Verteilung der) Lärmbelastung über einem größeren Gebiet in einer Zahl wiedergeben kann und gleichzeitig die unterschiedliche Bevölkerungsdichte berücksichtigt. Bei NIROS wurde ein die Bevölkerungsdichte gewichtendes Lärmbelastungskriterium definiert.

Bei NIROS wird das Lärmbelastungskriterium mathematisch als die Summe aller Lärmbelastungskriterien an verschiedenen Orten ausgedrückt:

$$BFL = \sum_{i=1}^N BFL(r_B)$$

mit dem Lärmbelastungsbeitrag am Standort r_B :

$$BFL(r_B) = 0.046 \cdot \frac{E(r_B)}{\sum_{i=1}^N E(r_B, i)} 10^{(Leq(4)(r_B)/30)}$$

wobei $BFL(r_B)$ das Lärmbelastungsoptimierungskriterium am Standort r_B darstellt, $E(r_B)$ die Anzahl der Menschen am Standort r_B , $\sum_{i=1}^N E(r_B, i)$ die Gesamtanzahl der Menschen im untersuchten Gebiet und $Leq(4)$ den äquivalenten Dauerschallpegel, das in Deutschland übliche Maß zur Lärmberechnung. N steht für die Zahl der Orte, an denen $Leq(4)$ berechnet wird. $Leq(4)$ ist ein äquivalenter, zeitintegrierter Lärmpegel $L(t)$, der folgendermaßen dargestellt wird:

$$Leq(4) = \frac{4}{\log 2} \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\left(\frac{\log 2}{4} L(t)\right)} dt \right]$$

Das Optimierungskriterium BFL integriert die nach Bevölkerungsdichte gewichtete Lärmbelastung über dem Gebiet nahe der Flugroute. Es wird analog zum Sone-Lärmpegel formuliert. Sone ist ein in den 1950er Jahren entwickeltes Standardmaß für psychophysikalische Lautstärke, das auf dem Vergleich von Lärmcharakteristika und -pegeln basiert, die nicht für Fluggeräusche spezifisch sind.

Im Hinblick auf die Lärmbelastung Leq am Standort r_B selbst sind zwei verschiedene Berechnungsmethoden definiert: Eine entspricht der AzB, die andere basiert auf einer Flugsimulation kombiniert mit den Lärmemissionen der Triebwerke und dem Modell der Schallausbreitung in der Atmosphäre. Sowohl das Flugsimulationsmodell und die AzB berücksichtigen Unterschiede in den Betriebsverfahren, der Flugzeugleistung und den Lärmeigenschaften.

Da NIROS in Routenoptimierung und –vergleich eingebunden ist, werden Tag-/Nacht-Gesichtspunkte (nächtlicher Lärm hat eine deutlich stärkere Wirkung als tagsüber vernommener) sowie der Aspekt der Bevölkerungsverteilung im Tagesverlauf (z.B. bei der Arbeit / zu Hause) hier vernachlässigt.

Für das gesamte minimale Lärmbelastungskriterium wird der lokale Lärm als ein Ergebnis der Bewegung eines einzelnen Flugzeuges mit der Bevölkerungsdichte an diesem Ort gewichtet und für das gesamte Gebiet summiert.

C.7 Optimierungsprozess

Bei der Entwicklung von NIROS wurden zwei Optimierungsstrategien untersucht und auf ihre Zweckdienlichkeit hin verglichen: der Powell-Algorithmus (verbessert von Brent, s. Quelle 19) und der genetische Optimierungsalgorithmus. Die Untersuchungen zeigten, dass der Powell-Algorithmus vorzuziehen ist. Er gehört zu einer Familie anerkannter Optimierungsstrategien. Diese Art von Strategie neigt dazu, das nächstgelegene lokale Optimum zu finden, welches nicht notwendigerweise dem globalen entspricht. Die Lärmminimierung ist zudem ein eher komplizierter Prozess, in dem der Einfluss vieler Faktoren nicht direkt offensichtlich und abschätzbar ist. Es muss daher angenommen werden, dass das Optimum nicht immer ohne eine geeignete Ausgangsroute erreicht werden kann. Hier spielt die Bewertung durch den Experten eine wichtige Rolle. Diese Art der Optimierung bringt meist dann gute Ergebnisse, wenn die Ausgangsroute nahe an der optimalen Route liegt. Ein solcher Algorithmus entspricht der zuvor angestellten Beobachtung, dass Ausgangsroute und optimale Route aus Sicherheits- und Kapazitätsgründen nicht zu sehr voneinander abweichen sollten. Durch Verwendung von genügend vielen alternativen Ausgangspunkten für die Optimierung wird das globale Optimum erreicht.

Um das Minimum einer Funktion zu bestimmen, folgt der Powell-Algorithmus einem Schema sukzessiver Linienminimierungen. Im Falle von NIROS ist diese Funktion das bevölkerungsgewichtete Lärmbelastungskriterium, wobei die Kurvenwinkel und geraden Strecken als Variable fungieren. Abb. 18 stellt den Fall einer Kurve und einem geraden Streckenabschnitt dar.

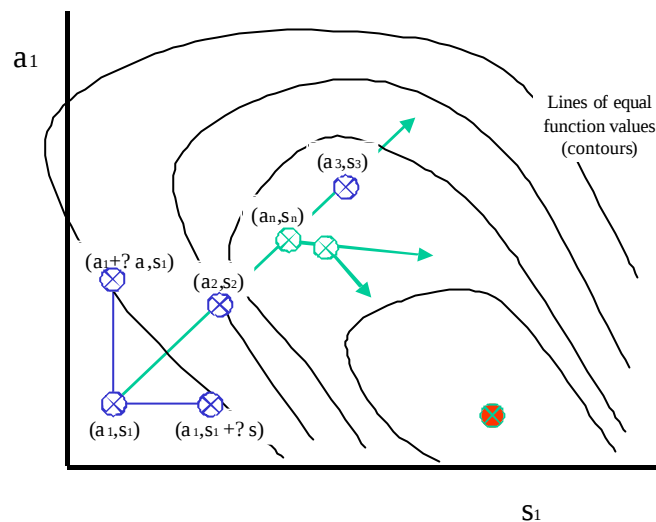


Abb. 18 Darstellung der Powell'schen Optimierungsstrategie

Der Powell-Algorithmus zeichnet sich dadurch aus, dass er keine expliziten und akkuraten Gradientenberechnungen erfordert. Er schätzt die Richtung, in der sich der Minimalwert der Funktion befindet, und zwar auf der Basis von Funktionswerten von (mathematisch „nicht-eingreifenden“) Störungen der Variablen (im Fall von NIROS sind das die Kurvenwinkel ($a+?$) und die Streckenlänge ($s+?s$)). Dies bedeutet, dass für mehrere Kombinationen aus Kurvenwinkeln und Streckenlängen die Werte des Lärmkriteriums bestimmt werden. Ausgehend von diesen Werten schätzt der Powell-Algorithmus, in welcher Richtung der Minimalwert der Funktion zu finden ist. Als nächstes muss das Minimum entlang dieser Linie bestimmt werden. Der Powell-Algorithmus verwendet ein Konvergenzkriterium, um festzustellen, ob das aktuelle Minimum entlang der Linie nahe genug an der Optimallösung liegt. Falls die Lösung noch nicht konvergiert, wird der Endpunkt auf der Linie als Ausgangspunkt für eine neue Richtungssuche verwendet.

Der Fortschritt des NIROS-Optimierungsprozesses kann grafisch überwacht werden, z. B. die Flugroute und die Lärmbelastung, welche über einer geografischen Bevölkerungsverteilung dargestellt werden. Der Vorgang hält an, wenn die (optimalen) Routenparameter gefunden und als widerspruchsfrei beurteilt wurden oder die maximale Anzahl von Näherungsschritten (Iterationen) erreicht wurde.



Die Ergebnisse von NIROS können geprüft werden, indem die ursprüngliche Ausgangsroute mit der als Endergebnis erhaltenen optimalen Route verglichen wird. Der Vorteil durch die Verwendung von NIROS kann noch nicht quantifiziert werden. Als Ansatzpunkt wäre es jedoch interessant zu wissen, dass die DFS eine Route zu TABUM entwickelt hat, unter Verwendung des Optimierungs-Features von NIROS. Diese Route wurde dann leicht abgeändert und in eine Route umgewandelt, die die ICAO-Auflagen erfüllt. Diese Route wird in der Neuplanung der TABUM-Routen eine Alternative darstellen. Ebenfalls interessant ist die Tatsache, dass das Gericht den Nutzen von NIROS in der Berücksichtigung von Lärmaspekten bestätigt hat.

C.8 Grenzen von NIROS

NIROS beschäftigt sich mit der nach Bevölkerung gewichteten Minimierung der Lärmbelastung einer einzelnen Abflugroute und führt die Optimierung für ein einzelnes Betriebsverfahren für einen einzelnen Flugzeugtyp durch. NIROS kann nicht die gleichzeitige Lärmbelastung einer Menge von (Abflug-) Routen, welche gleichzeitig genutzt werden, analysieren. Es können auch keine Landungen, das Verkehrsvolumen, die Zusammensetzung und die kombinierten Auswirkungen der An- und Abflugrouten über einen längeren Zeitraum hinweg berücksichtigt werden. NIROS optimiert einen einzigen startenden Flug, ohne hierbei das Verkehrsaufkommen, die Zusammensetzung und das Vermischen oder Kombinieren von Routen in Betracht zu ziehen.

Dies impliziert, dass eine Beurteilung durch einen erfahrenen Anwender nötig ist, wenn die Qualität des optimalen Ergebnisses von NIROS bewertet werden soll. Es muss davon ausgegangen werden, dass auf Grund der Variationen in Flugzeugtyp und –gewicht, Wetter etc. in der Realität Abweichungen von einer Minimum Noise Route auftreten werden. Dies hängt auch von der Komplexität der Route ab.

Wie zuvor bereits erwähnt beinhaltet die Planung einer Route (auch) die Punkte Sicherheit und Kapazität. Diese Fragen sind von größter Wichtigkeit und werden in NIROS nicht abgedeckt. NIROS ist in der Tat nur eines der Werkzeuge, die in diesem komplizierten Prozess verwendet werden. Daher sollte eine weitere Bewertung vorgenommen werden, bevor eine endgültige Einschätzung der Qualität der Routen erfolgen kann.

ANMERKUNG: Die festgelegten Endpunkte der Route erfordern in der Regel die Angabe einer Richtung, in die der Flug fortgesetzt wird. Dies erfordert eine zusätzliche Endkurve in NIROS, welche jedoch in NIROS nicht möglich ist. Dies wird jedoch die Ergebnisse nur beeinträchtigen, wenn die Höhe, mit der dieser Fixpunkt überflogen wird, niedrig ist.

C.9 NLR-Bewertung von NIROS

Aufgrund der Komplexität der Routenplanung mit ihren vielen zu berücksichtigenden Gesichtspunkten ist NIROS das einzige die Lärmbelastung nach Bevölkerung gewichtende Routenoptimierungsprogramm, welches in der Praxis der Routenplanung tatsächlich zum Einsatz kommt.

Mit NIROS können verschiedene Routen auf ihre Lärmbelastung für die Bevölkerung hin verglichen oder daraufhin optimiert werden. Diese Art von lärmminimierenden Systemen befinden sich in ihren frühen (akademischen) Stadien der Ausgereiftheit. Dies bedeutet auch, dass bisher wenig allgemeine Erfahrungen mit dieser Art System gemacht wurden. NIROS kann somit als ein Programm auf dem neuesten Stand der Technik angesehen werden, das aber gleichzeitig auch noch Potenzial für Verbesserungen birgt. Dieser neueste Stand der Technik deutet auch darauf hin, dass weitere Forschung und Entwicklung aller Wahrscheinlichkeit nach zu mehr Effektivität (Führt der Optimierungsprozess zu einer Minimum Noise Route? Welche Kriterien sind am besten dazu geeignet?) und Effizienz (Wurden im zeitlichen Rahmen der Untersuchungen alle Optionen genutzt?) des Optimierungsprozesses für eine minimale Lärmbelastung führen werden.

Das verwendete Optimierungskriterium weist sowohl Elemente der psychophysikalischen Dosis-Wirkungsbeziehung als auch der standardmäßigen zeitabhängigen Lärmpegel auf. Die Frage, ob diese Art Kriterium die Lärmbelastung, der die Bevölkerung ausgesetzt ist, tatsächlich widerspiegeln kann, ist noch nicht hinreichend erforscht, so dass über dieses Thema auch keine Einigkeit herrscht.

C.10 Detaillierte Kommentare zu NIROS

Obwohl NIROS derzeit ein Programm auf dem neuesten Stand der Technik ist, soll anhand einiger detaillierterer Anmerkungen die Komplexität des Problems, welches den Minimum Noise Routes zu Grunde liegt, beispielhaft erläutert werden.

Auf den ersten Blick führt eine größere Anzahl von zu optimierenden Parametern zu besseren, Routen mit niedrig(er)er Lärmbelastung. Als Teil der NIROS-Entwicklung wurde untersucht, ob ein Anstieg der Anzahl der Kurven und geraden Strecken zu optimierten Routen führen würde, die wiederum eine deutliche (weitere) Reduzierung der Lärmbelastung nach sich ziehen. Diese Studie legte offen, dass die Vorteile in punkto Lärmbelastung minimal waren, wohingegen die Computerarbeit und deren Komplexität enorm waren. Es wurde daher beschlossen, die Anzahl der Parameter nicht weiter zu erhöhen.

Es gibt noch ein anderes Argument, das für eine begrenzte Anzahl von Kurven und geraden Strecken spricht. Es muss hierbei berücksichtigt werden, dass eine größere Anzahl von

Parametern zu komplizierteren Routen und Verfahren führen wird. Kompliziert heißt in diesem Zusammenhang mehr Kurven, gerade Strecken und Höhenänderungen und damit eine Mehrarbeit für Fluglotsen und Piloten. Dies wiederum würde in der Praxis dann zu größeren, häufigeren Abweichungen von der Ideallinie führen. Ein intensiveres Manövrieren des Flugzeuges verbunden mit häufigeren Änderungen der Schubkraft könnte zudem in den überflogenen, besiedelten Gebieten zu zusätzlicher Belästigung und zu Beschwerden führen. Diese Art von Belästigung ist in den (anerkannten) Lärmkriterien nicht berücksichtigt.

NIROS ermöglicht als eine Option die Optimierung des Betriebsverfahrens, z. B. die Höhe, in der die Startleistung auf die Steigleistung reduziert wird, und den Beschleunigungspunkt nach Erreichen einer ausreichenden Flughöhe. Nach den Bestimmungen der ICAO sind die Betriebsverfahren (d. h. die Handlungen des Piloten während des Starts oder der Landung, aber auch die Methode zur Feststellung der empfohlenen Geschwindigkeit und der Schubkraftänderungen) aus Sicherheitsgründen zu standardisieren. Dies bedeutet, dass es für optimierte Verfahren auf einer pro-Route-Basis nur begrenzten Spielraum gibt, obwohl die Auswirkungen der Änderungen des Betriebsverfahrens bewertet werden können. Die DFS wählt also in der Regel ein einzelnes Betriebsverfahren aus (ICAO, ATA, ATA in geänderter Form) und optimiert den Streckenabschnitt.

Routenoptimierung heißt häufig, mehr als nur eine Route zu optimieren, da sie sich in der Praxis oft überschneiden. Ferner sollte bei der Optimierung auch der Hintergrundlärm berücksichtigt werden, d.h. der Lärm, der von allen anderen Routen mit ihrem jeweiligen Verkehrsaufkommen in diesem Bereich verursacht wird. Zusätzlicher Lärm in Gebieten mit einem hohen Maß an Hintergrundlärm durch andere Routen wirkt sich weniger stark auf die Gesamtlärmbelastung aus als zusätzlicher Lärm in Gebieten mit wenig Hintergrundlärm.

C.11 Möglichkeiten für eine Verbesserung von NIROS

Wie bereits erwähnt optimiert NIROS eine einzelne Route für einen einzelnen Flugzeugtyp für eine einzelne auftretende Lärmbelastung. In der Realität besteht der Luftverkehr jedoch aus vielen Flugzeugtypen verschiedener Gewichtsklassen, die bei unterschiedlichen Wetterbedingungen und unterschiedlich dichtem Luftverkehr zu unterschiedlichen Tageszeiten betrieben werden.

Es wird daher empfohlen, NIROS weiterzuentwickeln. Die folgenden Funktionen würden es NIROS ermöglichen, die Einschätzung des Einflusses der Routenplanung auf die Lärmbelastung zu optimieren:

- Berücksichtigung von „Strecken mit freier Form“, Strecken, welche den ersten Teil des Steigflugs, einschließlich der Lärmminimierungsverfahren (aufeinander folgende Kurven mit geringem Neigungswinkel nach dem Start) beschreiben, da dieser Teil der Route im Grunde

für Optimierungen nicht zur Verfügung steht. Solch eine Strecke bildet den bestehenden Startteil im West-Betrieb am Flughafen Frankfurt/Main besser nach. Obwohl keine besseren Ergebnisse zu erwarten sind, d.h. Routen mit weniger Lärmbelastung, beschreibt es die Realität doch besser.

- Mehr als ein Kriterium für Lärmbelastung integrieren. Da ein Lärmkriterium die Ungehaltenheit der Menschen in der Nähe von Flughäfen widerspiegelt, ist es kein absolutes Kriterium. Die Verwendung mehrerer Kriterien erlaubt die Bewertung der Empfindlichkeit von Routen für verschiedene Lärmbelastungsvariablen. Da nach Bevölkerung gewichtete Belastungskriterien noch nicht allgemein bekannt sind, werden weitere Forschungen zum Thema Lärmbelastungskriterien empfohlen.
- Ein Routenstreuungsmodell einbauen. Diese Streuung kann von Radar routen oder FANOMOS-Daten entnommen werden, um die tatsächlich aufgezeichnete Streuung wiederzugeben. Insbesondere auf den Teilen der Route, auf denen eine große Streuung in niedrigeren Höhen beobachtet wird und die Bevölkerungsdichte stark schwankt, könnte NIROS eine andere (optimale) Minimum Noise Route berechnen.
- Die Einführung des europäischen Lärmindicators L_{den} (Tag-Abend-Nacht-Pegel) in das Lärmberechnungsmodell vergrößert das NIROS-Potenzial auf lange Sicht.
- Die Erweiterung oder Anbindung von NIROS zur Einbindung der Luftverkehrsanalyse. Die von NIROS optimierte Route muss auf ihre Anwendung für verschiedene Verkehrssituationen und nicht nur für die Anwendung auf einen einzelnen Flug eines einzelnen Flugzeuges hin analysiert werden. Eine Route, welche für einen bestimmten Flugzeug(leistungs)typ optimiert ist, könnte für einen anderen Typ flugbetrieblich nicht umsetzbar sein oder könnte für diesen anderen Typ eine höhere Lärmbelastung bedeuten. Dieser Gesichtspunkt sollte im Rahmen einer zusätzlichen Analyse bewertet werden.

Die Lärmqualität einer optimalen Route ist vor allem eine Frage der Genauigkeit der Daten und Methoden, die in dem Prozess zur Anwendung kommen. Es werden daher folgende Punkte empfohlen:

- Häufige Aktualisierung der Daten zur Verteilung (Dichte) der Bevölkerung und Flugzeugtyp (Leistung),
- Häufiger Vergleich der eingesetzten Lärmmessungskriterien mit der von der Bevölkerung empfundenen Störung (Dosis-Wirkungsbeziehung). Diese Beziehung hat verschiedene Ausprägungen: Eine Korrelation für die Nachtzeit (Schlafzeit) kann auf dem maximalen Lärmpegel basieren und tagsüber auf der Lautstärke als Funktion der Zeit. Dies kann sich über die Jahre in Abhängigkeit vom allgemeinen Empfinden des Menschen auch ändern.