

**Berechnung von Fluglärmkonturen für zukünftige
Start-/Landebahnvarianten am Flughafen Frankfurt/Main**

**Untersuchung zur Qualitätssicherung
im Rahmen des Mediationsverfahrens
zum Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main**

von

Dr. Ullrich Isermann
Rainer Schmid

DLR
Institut für Strömungsmechanik
Göttingen

im Auftrag der

Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main

Göttingen, Januar 2000

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
2. Aufgabenstellung.....	3
3. Untersuchte Szenarien	4
4. Beschreibung der Vorgehensweise	6
4.1. Kontrollverfahren.....	6
4.2. Benutzte Rechenverfahren	7
4.3. Ermittelte Beurteilungsgrößen.....	9
5. Resultate	12
5.1. Details zu den Einzeluntersuchungen.....	12
5.2. Zusammenfassung.....	15
6. Anmerkungen zur Qualitätssicherung.....	16
7. Quellenverzeichnis	20

1. Zusammenfassung

Im Rahmen der Qualitätssicherung zum Mediationsverfahrens zum Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main wurden von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) ermittelte Lärmkonturen nachgerechnet. Der Berechnungsumfang umfaßte 9 Varianten des zukünftigen Start- und Landebahnsystem. Für jede Variante wurden die von der HLfU ermittelten Kurven des äquivalenten Dauerschallpegels nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm sowie des äquivalenten Dauerschallpegels nach der Leitlinie zur Beurteilung von Fluglärm durch die Immissionsschutzbehörden der Länder (LAI-Leitlinie) untersucht. Die Berechnungen erfolgten nach den in der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) definierten Rechenregeln.

Die Berechnungen ergaben, daß in einem Fall ein konkreter Nachbesserungsbedarf bei der Beschreibung einer Abflugstrecke bestand. Ansonsten ergaben sich geringfügige Abweichungen in den ermittelten Lärmkonturen, die auf dem Einsatz eines nicht ausreichend dokumentierten kommerziellen Interpolationsverfahrens durch das HLfU zurückzuführen waren. Dieses Programm war dem eigentlichen Berechnungsprogramm des HLfU nachgeschaltet. Die Verwendung geänderter Interpolationsparameter führte zu einer Übereinstimmung zwischen den vom HLfU und dem DLR ermittelten Konturen. Detaillierte Einzelpunktberechnungen ergaben weiterhin, daß das vom HLfU entwickelte Berechnungsprogramm identische Ergebnisse wie das DLR-Programm liefert.

Die rein rechentechnische Nachvollziehbarkeit der Lärmkurven ist jedoch lediglich ein Maß für die Qualität des verwendeten Berechnungsprogramms und die Sorgfalt bei der Umsetzung der Eingabedaten. Die Qualität der ermittelten Konturen selbst wird jedoch durch Einschränkungen in der Datengrundlage der AzB und die Art der Modellierung der Schallausbreitungsvorgänge definiert. Hier ist anzumerken, daß mit dem AzB-Verfahren Lärmkurven nur in einem Umkreis von etwa 20 km zum Flugplatzbezugspunkt ermittelt werden sollten. *Außerhalb dieses Bereiches ist derartigen Konturen keine Aussagekraft mehr zuzuordnen.* Dies muß bei der Interpretation derartiger Kurven im Hinblick auf eine spätere Verwendbarkeit im Rahmen von Planfeststellungsverfahren oder Raumordnungsplänen berücksichtigt werden.

Des weiteren muß darauf hingewiesen werden, daß die durchgeführte Untersuchung lediglich einer Kontrollfunktion dient. Das den Berechnungen zugrunde liegende Verfahren der LAI-Leitlinie kann seitens des DLR aus wissenschaftlicher Sicht nicht vollständig befürwortet werden. Eine Diskussion dieses Verfahrens war jedoch nicht Aufgabe dieser Untersuchung.

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Mediationsverfahrens zum Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main werden insgesamt 9 Varianten für das zukünftige Start- und Landebahnssystem untersucht. Für diese Varianten berechnete die Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU) auf der jeweils 23 Sätze von Lärmkonturen, die als Anlagen in verschiedenen, von der HLfU erstellten Gutachten [1-9] dargestellt sind. Die 23 für jede Variante ermittelten Kontursätze unterschieden sich hinsichtlich folgender Vorgaben:

- verwendete Rechenvorschrift
- verwendete Datengrundlage für die Berechnung
- ermittelter Fluglärmdeskriptor

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen zur Qualitätssicherung sollten nicht alle von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) ermittelten Konturen nachberechnet werden. Vielmehr sollten für jede Variante 2 repräsentative Stichproben durchgeführt werden. Dazu wurden folgende Vorgabenkombinationen herangezogen:

- **Ermittlung von Konturen des $L_{eq(4)}$ nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm [10].** Diese Konturen sind in den von der HLfU zur Verfügung gestellten Gutachten [1-9] jeweils im Anhang 3 dargestellt. Die Berechnung erfolgte nach den in der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen - AzB“ [11,12] definierten Rechenregeln. Abweichend von den in der derzeit gültigen AzB wurde allerdings eine aktualisierte Flugzeuggruppeneinteilung benutzt. Diese Einteilung – die den derzeitigen Kenntnisstand repräsentiert – basiert auf einem Vorschlag zur Fortschreibung der AzB, der derzeit vom Umweltbundesamt (UBA) erarbeitet. Die zugehörigen Datenblätter wurden der HLfU im Rahmen des Mediationsverfahrens vom UBA zur Verfügung gestellt und von der HLfU an das DLR zur Abwicklung der Untersuchung übergeben [13].
- **Berechnung eines äquivalenten Dauerschallpegels $L_{eq,LAI}$ nach dem Verfahren der Landesplanung (LAI-Leitlinie) [14].** Dies beinhaltet eine separate Ermittlung der Belastung für Ost- und Westbetrieb und anschließende Bestimmung der Einhüllenden. Zugrunde gelegt werden jeweils die Datensätze der derzeit gültigen AzB [11,12]. Diese Rechenvfälle sind jeweils als Anlage 2 in den von der HLfU erstellten Gutachten [1-9] ausgewiesen.

3. Untersuchte Szenarien

Es wurden 9 Varianten untersucht, die sich insbesondere hinsichtlich der Bahnkonfiguration, der Ausnutzung moderner Flugführungssysteme unterscheiden [15]. Bei drei Varianten wurde von einer zusätzlichen zivilen Nutzung des Flugplatzes Wiesbaden-Erbenheim ausgegangen.

Szenario D / Variante 1a: Derzeitiger Zustand

2 Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen

1 Bahn mit 4000 m Länge für Starts nur nach Süden

Flugbewegungen gesamt: 220500 in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario C / Variante 1b: Derzeitiger Zustand mit Nutzung zukünftiger Flugsicherungstechnologien

2 Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen

1 Bahn mit 4000 m Länge für Starts nur nach Süden

Flugbewegungen gesamt: 257600 in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario A / Variante 9a: Landebahn Nord (Ostlage)

2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen

1 bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nur nach Süden

1 zusätzliche Bahn mit 2800 m Länge im Norden für Landungen (Ostlage)

Flugbewegungen gesamt: 346500 in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario A / Variante 9b: Landebahn Nord (Westlage)

- 2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen

- 1 bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nur nach Süden

- 1 zusätzliche Bahn mit 2800 m Länge im Norden für Landungen (Westlage)

Flugbewegungen gesamt: 346500 in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario B / Variante 11a: Frankfurt mit des Flugplatzes Wiesbaden-Erbenheim

- 2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen in Frankfurt

- 1 bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nur nach Süden in Frankfurt

- 1 Start-/Landebahn von 2800 m Länge in Wiesbaden-Erbenheim

Flugbewegungen gesamt: 257600 (FRA) + 33120 (ERB) in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario A / Variante 11a: Frankfurt mit Nutzung zukünftiger Flugsicherungstechnologien und Nutzung des Flugplatzes Wiesbaden-Erbenheim

- 2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen in Frankfurt
- 1 bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nur nach Süden in Frankfurt
- 1 Start-/Landebahn von 2800 m Länge in Wiesbaden-Erbenheim

Flugbewegungen gesamt: 257600 (FRA) + 88320 (ERB) in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario A / Variante 12: ATLANTA-Modell

- 2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen
- keine Nutzung der bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nach Süden
- 1 zusätzliche Parallelbahn mit 4000 m Länge im Süden (1525 m Abstand) für Starts und Landungen
- 1 zusätzliche Parallelbahn mit 2800 m Länge im Süden (760 m Abstand) für Starts und Landungen

Flugbewegungen gesamt: 346656 in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario B / Variante 13: Südliche Parallelbahn

- 2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen
- keine Nutzung der bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nach Süden
- 1 zusätzliche Parallelbahn mit 4000 m Länge im Süden (1525 m Abstand) für Starts und Landungen

Flugbewegungen gesamt: 290720 in den 6 verkehrsreichsten Monaten

Szenario A / Variante 14: Südliche Parallelbahn und Nutzung des Flugplatzes Wiesbaden-Erbenheim

- 2 bestehende Parallelbahnen mit je 4000 m Länge für Starts und Landungen in Frankfurt
- keine Nutzung der bestehende Bahn mit 4000 m Länge für Starts nach Süden
- 1 zusätzliche Parallelbahn mit 4000 m Länge im Süden (1525 m Abstand) für Starts und Landungen
- 1 Start-/Landebahn von 2800 m Länge in Wiesbaden-Erbenheim

Flugbewegungen gesamt: 315000 (FRA) + 33120 (ERB) in den 6 verkehrsreichsten Monaten

4. Beschreibung der Vorgehensweise

4.1. Kontrollverfahren

Im wesentlichen erfolgte für jede der betrachteten Varianten eine Nachberechnung der von der HLFU ermittelten Lärmkonturen. Diese waren in den dem DLR übergebenen Gutachten [1-9] als grafische Darstellungen im Maßstab 1:200.000 ausgewiesen. Der Vergleich erfolgte dementsprechend optisch (Ausgabe der vom DLR ermittelten Konturen auf Transparent und Übereinanderlegen). Soweit erforderlich, wurden mit beiden Verfahren detaillierte Immissionsberechnungen an Einzelpunkten durchgeführt und miteinander verglichen.

Eine visuelle Kontrolle der Konturen ist im Prinzip die einzige Möglichkeit eines Vergleichs von Lärmkonturen. Ein Vergleich der von den Kurven umschlossenen Flächen ist allein nicht aussagekräftig, da er nichts über den Verlauf der Konturen aussagt. Er kann aber als zusätzliches Kontrollinstrument herangezogen werden. Bei den von der HLFU erstellten Gutachten wurden allerdings keine Flächen ausgewiesen.

Eine vollständige Nachberechnung aller von der HLFU ermittelten Kombinationen von Szenario und Lärmkontur war im Umfang der Untersuchung nicht vorgesehen – die Überprüfung sollte anhand repräsentativer Stichproben erfolgen. Aus diesem Grunde wurden folgende Konturen nachberechnet:

- äquivalenter Dauerschallpegels $L_{eq(4)}$ nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (Datengrundlage: UBA-Vorschlag zur Fortschreibung der AzB)
- äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq,LAI}$ nach LAI-Leitlinie (Datengrundlage: gültige AzB)

Dadurch war eine Überprüfung sowohl der Umsetzung unterschiedlicher Datengrundlagen als auch der beiden maßgeblichen Bewertungsmaße gewährleistet.

4.2. Benutzte Rechenverfahren

Das HLfU und das DLR benutzen zur Ermittlung von Lärmkonturen unterschiedliche Rechenprogramme, die sich aber streng an den in der AzB [11] vorgegebenen Berechnungsalgorithmus halten. Dementsprechend muß für eine Berechnung jeweils ein sog. „Datenerfassungssystem (DES)“ vorgegeben werden, in dem die Lage der Rollbahnen, der Verlauf der Flugstrecken sowie eine Flugverkehrsbeschreibung ausgewiesen sind. Das DES-Format ist streng definiert. Dies gilt weitestgehend auch für die Rechenregeln der AzB – Ausnahme ist hier lediglich der Modellierung der seitlichen Streuung der Flugbewegungen. Hier ist zwar der Modellierungsalgorithmus vorgegeben, hinsichtlich seiner rechentechnischen Umsetzung bestehen jedoch keine Vorgaben. Das kann in Bereichen in großen Abständen vom Bahnsystem bei der Anwendung unterschiedlicher Verfahren zu (in der Regel geringen) Differenzen bei der Ermittlung von Lärmkurven führen.

Die von der HLfU und dem DLR benutzten Rechenprogramme unterscheiden sich im wesentlichen durch die Vorgehensweise bei der Bestimmung von Konturverläufen:

- Die Hessische Landesanstalt für Umwelt benutzt ein selbstentwickeltes Verfahren, bei dem die zu ermittelnden Immissionsgrößen zunächst an den Knotenpunkten eines rechtwinkligen Gitters ermittelt werden. Ein in der Praxis üblicher Knotenabstand – wie er auch im Rahmen der von der HLfU erstellten Gutachten benutzt wurde – ist 100 m. Nach erfolgter Berechnung werden die zu ermittelnden Lärmkonturen durch Interpolation aus den an den Gitterknoten errechneten Immissionswerte ermittelt. Bei der HLfU wird dazu ein kommerzielles Rechenprogramm benutzt, daß auch zu Zwecken der Immissionsprognose dient. Das Verfahren, Lärmkonturen aus berechneten Immissionsgittern zu ermitteln, wird von nahezu allen gebräuchlichen nationalen und internationalen Fluglärmerechnungsprogrammen angewandt. Die hinsichtlich der unter Nr.5.6.2. der AzB angegebenen Anforderungen an die Ermittlung von Kurvenpunkten (Anpassung der Sehnenlänge an die Krümmung) dürften bei einem derartigen Algorithmus nicht automatisch erfüllt werden – hier spielt die Maschenweite des Rechengitters eine Rolle. Bei kleinen Knotenabständen dürften die Anforderungen aber erfüllt sein.
- Das beim DLR benutzte Rechenprogramm geht bei der Konturermittlung anders vor. Hier wird zunächst durch Verfolgen eines Suchstrahls zunächst ein Punkt auf der zu ermittelnden Kontur bestimmt. Anschließend wird diese Kontur sukzessive durch einen Suchalgorithmus ermittelt – ausgehend von dem letzten ermittelten Kurvenpunkt wird also immer der

Folgepunkt bestimmt. Die Kontur wird quasi „abgerechnet“. Das Verfahren hat den Vorteil, daß es sehr effizient arbeitet, auch Unstetigkeiten (Sprünge) im Konturverlauf bestimmt und die Anforderungen nach Nr.5.6.2 AzB immer erfüllt. Es erfordert allerdings einen sehr erfahrenen Anwender, insbesondere wenn sich aufgrund von komplexen Bahn- und Streckensystemen separate Teilkonturen bilden – derartige „Inseln“ werden bei Gitterverfahren bei genügend kleinen Maschenweiten problemlos erkannt. Das Programm ist vom Rechenkern her identisch mit demjenigen Programm, das zur Erstfestsetzung der Lärmschutzbereiche an den deutschen Verkehrsflughäfen in den 70er Jahren benutzt wurde

Mit beiden Rechenprogrammen können auch detaillierte Immissionsanalysen an einzelnen Punkten durchgeführt werden. Dies ist eine in der AzB vorgegebene Forderung (Kontrollrechnungen). Derartige Einzelpunktanalysen wurden im Rahmen der Untersuchung mehrfach zu Vergleichszwecken herangezogen.

4.3. Ermittelte Beurteilungsgrößen

Im Rahmen der Berechnungen wurden zwei Größen ermittelt, der äquivalente Dauerschallpegel nach dem Gesetz zum Schutz gegen [10] Fluglärm sowie ein äquivalenter Dauerschallpegel nach dem in der LAI-Leitlinie [14] beschriebenen Verfahren.

Der Äquivalente Dauerschallpegel nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm

Das deutsche Fluglärmgesetz [10] benutzt zur Beschreibung der Lärmeinwirkung den „Äquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} “, wie er in der Anlage zu §3 dieses Gesetzes definiert wird. Nach DIN 45643 [16] wird diese Größe mit $L_{eq(4)}$ bezeichnet. Sie bestimmt sich nach folgender Formel:

$$L_{eq(4)} = 13.3 \cdot \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N g_i \cdot 10^{L_{ASmax,i}/13.3} \cdot t_{10,i} \right).$$

Dabei ist $t_{10,i}$ die Dauer (10dB-down-time). Das ist diejenige Zeitspanne, während der der Pegel eines Geräusch um höchstens 10 dB unter dem auftretenden Maximalpegel liegt. $L_{ASmax,i}$ ist der A-bewertete, mit der Zeitbewertung "SLOW" ermittelte Maximalpegel des i -ten Einzelgeräusches. T ist die Länge des Bezugszeitraums für den in die Rechnung eingehende Flugbetrieb. Er umfaßt die 6 verkehrsreichsten Monate des zu untersuchenden Jahres. Dabei wird der tatsächlich abgewickelte oder prognostizierte Verkehr (Anzahl an Flugbewegungen, Aufteilung auf Betriebsrichtungen und Flugstrecken, Flugzeugtypenmix) zugrunde gelegt.

Für den Gewichtungsfaktor g_i sind in der Anlage zu §3 des Fluglärmgesetzes folgende Werte definiert:

Fall A: $g_i = 1.5$ für Tagflüge (von 6-22 h)

$g_i = 0$ für Nachtflüge (von 22-6 h).

Dieser Fall beschreibt einen Verkehr, der überwiegend am Tage stattfindet. Durch den Faktor 1.5 werden die Tagesbewegungen auf 24 Stunden umgerechnet.

Fall B: $g_i = 1$ für Tagflüge (von 6-22 h)

$g_i = 5$ für Nachtflüge (von 22-6 h).

Dieser Fall beschreibt einen Verkehr, bei dem der Einfluß der nächtlichen Bewegungen nicht vernachlässigt werden darf. Die nächtliche Zahl der Bewegungen wird mit dem Faktor 5 gewichtet.

Für diese zwei Fälle wird für jeden Immissionsort jeweils ein äquivalenter Dauerschallpegel nach obiger Formel ermittelt. Der äquivalente Dauerschallpegel nach §3 des Fluglärmsgesetzes ist dann der höhere dieser beiden Pegel.

Werden Dauer oder Häufigkeit verdoppelt, so erhöht sich der äquivalente Dauerschallpegel $L_{eq(4)}$ um 4 dB. Der Index (4) weist auf diese Besonderheit des äquivalenten Dauerschallpegels nach Fluglärmsgesetz hin.

Bei der Berechnung der Konturen des $L_{eq(4)}$ (wie sie in den Anlagen 3 der von der HLFU erstellten Gutachten ausgewiesen sind) wurde als Datengrundlage der vom Umweltbundesamt erarbeitete Ergänzungsvorschlag zur Fortschreibung der AzB herangezogen.

Der äquivalente Dauerschallpegel nach LAI-Leitlinie

Die in den Anlagen 2 der Gutachten der HLFU [1-9] ausgewiesene Beurteilungsgröße – im folgenden als $L_{eq,LAI}$ bezeichnet – basiert auf dem energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{eq(3)}$, wie er z.B. in der ISO 3891 [17] bzw. DIN 45643 [16] definiert ist. Dieser ist gerade derjenige Schallpegel, den ein konstantes Dauergeräusch der Länge T haben müßte, um dieselbe Gesamtschallenergie am Immissionsort zu liefern wie die tatsächliche, aus unterschiedlichen Einzelgeräuschen bestehende gesamte Schallimmission während der Zeitperiode T . Bei Verdopplung dieser Energie nimmt der $L_{eq(3)}$ um 3 dB zu.

Der $L_{eq,LAI}$ ergibt sich, wenn dem energieäquivalenten Dauerschallpegel zusätzliche tageszeitbezogene Gewichtungsfaktoren hinzugefügt werden. Er kann folgendermaßen berechnet werden:

$$L_{eq,LAI}(T_k) = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_k} \sum_{i=1}^N g_i \cdot 10^{L_{AS \max,i}/10} \cdot \frac{t_{10,i}}{2} \right).$$

Die Bedeutung der einzelnen Größen entspricht derjenigen in der Definitionsgleichung des $L_{eq,(4)}$. Allerdings wird nur die halbe 10dB-down-time als Geräuschdauer zugrunde gelegt und es wird ein Faktor 10 anstelle von 13.3 benutzt – beides sind Eigenschaften eines energie-äquivalenten Dauerschallpegels. Folgende Gewichtungsfaktoren wurden bei den Berechnungen des HfU benutzt:

Fall A: $g_i = 1.5$ für Tagflüge (von 6-22 h)

$g_i = 0$ für Nachtflüge (von 22-6 h).

Fall B: $g_i = 1$ für Tagflüge (von 6-22 h)

$g_i = 10$ für Nachtflüge (von 22-6 h).

Wie bei der Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels nach Fluglärmsgesetz wird auch hier wieder der Maximalwert aus beiden Fällen benutzt.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem $L_{eq,(4)}$ und dem $L_{eq,LAI}$ ist, dass letzterer separat für zwei unterschiedliche Betriebsrichtungen (repräsentiert durch die Bezugszeiträume T_k) ermittelt wird – in Frankfurt für die Richtungen 07 (Ostbetrieb) und 25 (Westbetrieb). Dazu werden alle in der entsprechenden Betriebsrichtung abgewickelten Bewegungen auf die jeweilige Betriebszeit T_k bezogen. Das entspricht einer separaten Ermittlung der Lärmkurven für eine 100-prozentige Auslastung in der jeweiligen Betriebsrichtung. Aus den daraus erhaltenen Lärmkonturen wird dann eine Einhüllende gebildet. Im Prinzip beschreibt der $L_{eq,LAI}$ also die (rein grafische) Überlagerung der Belastungen, die sich durch einen Tag mit reinem Ost- und einem solchen mit reinem Westbetrieb ergeben, während der $L_{eq,(4)}$ auf der Basis eines durchschnittlichen Betriebstages ermittelt wird. Aus diesem Grunde fallen nach dem LAI-Verfahren ermittelten Konturen deutlich größer aus als Konturen, die nach dem AzB-Verfahren ermittelt wurden. Dies trifft insbesondere für diejenigen Bereiche zu, die von der im langjährigen Mittel weniger benutzten Betriebsrichtung beeinflusst werden.

5. Resultate

5.1. Details zu den Einzeluntersuchungen

Die Durchführung der Kontrollrechnungen erfolgte in chronologischer Reihenfolge in mehreren Arbeitspaketen entsprechend der Bereitstellung der Gutachten durch die HLFU. Verglichen wurden folgende von der HLFU ermittelten Konturen:

- $L_{eq(4)}$ = 75, 67, 62 und 60 dB
- $L_{eq,LAI}$ = 67, 62 und 60 dB

Untersuchungspaket 1:

Im ersten Untersuchungspaket wurden 4 Konfigurationen untersucht:#

- Szenario D, Variante 1a
- Szenario C, Variante 1b
- Szenario A, Variante 9a
- Szenario A, Variante 9 b

Der visuelle Vergleich der ermittelten Konturen ergab geringfügige Differenzen in den Konturverläufen in großen Abständen (etwa 20 km) vom Bahnsystem. In diesen Bereichen können derartige Unterschiede in der rechentechnischen Umsetzung des AzB-Verfahrens (Modellierung der seitlichen Flugbahnstreuung) begründet sein. Außerdem können in diesen Bereichen, in denen kleine Gradienten des äquivalenten Dauerschallpegels auftreten, Unterschiede in den benutzten Interpolationsverfahren zu Abweichungen in den ermittelten Konturverläufen führen. Insgesamt bestand hinsichtlich der beobachteten Differenzen keine Notwendigkeit für eine weitere Klärung.

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen ergab sich, daß eine Optimierung des von der HLFU benutzten Interpolationsverfahrens (kommerzielles Berechnungsprogramm) nötig war (s.w.u.). Eine Nachberechnung mit geänderten Interpolationsparametern lieferte Ergebnisse, die mit denjenigen des DLR-Verfahrens im Rahmen der visuellen Kontrolle identisch waren.

Untersuchungspaket 2:

Das 2. Untersuchungspaket umfaßte die Analyse des Szenarios B, Variante 11a. Diese Variante beinhaltet eine zivile Nutzung des Flugplatzes Wiesbaden-Erbenheim. Beim ersten Vergleich der Berechnungsergebnisse ergaben sich zunächst folgende Abweichungen:

- Im Bereich Erbenheim waren die Konturen von Form und Größe her identisch, allerdings um etwa 1° gegeneinander verdreht. Die Überprüfung ergab, daß die HLFU von einer von der DFS spezifizierten Bahnrichtung der Startbahn in Erbenheim von 73° ausging. Dieser Wert entsprach im übrigen gerade demjenigen, der im Rahmen eines älteren Gutachtens für die Bahnrichtung in Erbenheim benutzt worden war. Demgegenüber ergab sich aus den dem DLR übergebenen Koordinaten der Bahnendpunkte eine Bahnrichtung von 74° . Bei Benutzung gleicher Bahnrichtungen ergaben sich im Bereich Erbenheim identische Konturverläufe.
- Abweichungen im Bereich von größenordnungsmäßig 100 m ergaben sich für die Konturen des $L_{eq,LAI}$ im Bereich der Abflugstrecken DF 1-5/11-15.

Um Gründe der letztgenannten Differenzen herauszufinden, wurden zunächst detaillierte Einzelpunktberechnungen für zwei Immissionsorte im Bereich Wicker / Delkenheim durchgeführt. Die Resultate ergaben eine Übereinstimmung aller berechneten Größen im Bereich der benutzten Ausgabegenauigkeit (0.1 m für Abstände, 0.01 dB für Pegel) – die Rechenverfahren von HLFU und DLR liefern also identische Ergebnisse. Die Vermutung lag daher nahe, daß die Abweichungen von der Art des benutzten Interpolationsverfahrens herrührten: In Bereichen mit niedrigen L_{eq} -Gradienten können Differenzen im Bereich von 0.1 dB schon zu Abstandsdifferenzen in der Größenordnung von mehreren Hundert Metern führen. Diese Sachlage wurde der Mediationsgruppe in einem kurzen Statusbericht [18] mitgeteilt, wobei darauf hingewiesen wurde, daß die Interpolationsproblematik auch schon von der Anwendung anderer kommerzieller Rechenprogramme (Integrated Noise Model) bekannt ist.

Untersuchungspaket 3:

Im 3. Untersuchungspaket wurde Szenario B, Variante 13 analysiert. Hier ergab sich zunächst ein Nachbesserungsbedarf bei der Flugstreckenbeschreibung der Abflugstrecke SÜDOST25S. Eine korrigierte Version der HLFU-Berechnung ergab im wesentlichen Übereinstimmung mit unseren Resultaten.

Die bei Überprüfung des Szenarios B, Variante 11 schon beschriebenen Differenzen in Bereichen mit kleinen L_{eq} -Gradienten traten auch bei der Variante 13 auf, hier allerdings in einer erklärungsbedürftigen Ausprägung. Zur Klärung dieses Effekts wurden noch einmal Einzelpunktberechnungen durchgeführt, die wieder identischen Resultate lieferten. Die Vermutung, daß die Abweichungen aus dem von der HLFU zur Konturbestimmung benutzten kommerziellen Berechnungsprogramm herrühren, wurde bestätigt. Seitens der HLFU wurden dementsprechend weitere Informationen zum benutzten Interpolationsalgorithmus eingeholt. Dabei stellte sich heraus, daß im von der HLFU benutzten Rechenprogramm die Variation der Interpolationsparameter möglich, aber nur unzureichend dokumentiert war. Eine weitere Nachberechnung mit optimierten Parametern durch die HLFU ergab eine im Rahmen der Genauigkeit der visuellen Kontrolle vollständige Übereinstimmung mit den vom DLR ermittelten Lärmkurven.

Das HLFU führte daraufhin eine Nachberechnung der bereits untersuchten Varianten mit den geänderten Interpolationsparametern durch. Die Übereinstimmung mit den vom DLR berechneten Konturen wurde dadurch gegenüber der schon vorher beobachteten guten Vergleichbarkeit bis zur Übereinstimmung verbessert.

Untersuchungspaket 4:

Das 4. und letzte Untersuchungspaket umfaßte folgende Rechenfälle:

- Szenario A, Variante 11a
- Szenario A, Variante 12
- Szenario A, Variante 14

Für diese Rechenfälle ergaben sich im Rahmen der visuellen Überprüfungsgenauigkeit keine Abweichungen.

5.2. Zusammenfassung

Beim der Überprüfung der von der HLFU durchgeführten Berechnungen ergab sich in einem Fall ein konkreter Nachbesserungsbedarf (Szenario B, Variante 13, Beschreibung der Abflugstrecke SÜDOST25S).

Bei der Beschreibung der Bahnrichtung für den Flugplatz Wiesbaden-Erbenheim war der HLFU seitens der DFS eine gegenüber der aus der Lage Bahnenden ermittelten Richtung abweichende Bahnrichtung spezifiziert worden. Falls eine Erbenheim-Variante favorisiert und daher im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens zugrunde gelegt werden sollte, ist eine genaue Überprüfung bei der exakten Spezifikation der Bahnrichtung zu empfehlen.

Soweit Differenzen zwischen den HLFU- und den DLR-Berechnungen auftraten, so waren diese durchweg geringfügig und resultierten aus dem von der HLFU zur Konturinterpolation benutzten kommerziellen Rechenprogramm. Eine geeignete Einstellung der Interpolationsparameter lieferte identische Resultate wie die DLR-Berechnungen.

Es ist anzumerken, daß die von der HLFU durchgeführten Berechnungen vor allem dem Zweck eines Vergleiches der Auswirkungen der verschiedenen untersuchten Varianten auf die Lärmbelastung im Umfeld des Flughafens Frankfurt dient. Insofern war eine exakte Reproduzierbarkeit der von der HLFU ermittelten Konturen nicht notwendig. Hierzu wäre eine dann ein visueller Vergleich auf der Basis von Darstellungen in kleinerem Maßstab (ca. 1:50000) angebracht, wobei zur weitergehenden Quantifizierung auch Flächenvergleiche der von den ermittelten Konturen umschlossenen Flächen herangezogen werden sollten. In Anbetracht der oben erwähnten Intention der Berechnung zu den verschiedenen Varianten ist die optische Kontrolle auf der Basis von Darstellungen im Maßstab 1:200000 völlig ausreichend. Insbesondere ist davon auszugehen, daß die den Berechnungen zugrunde gelegten Flugstreckenverläufe noch nicht als endgültig angesehen werden dürften, so daß die Verläufe der von der HLFU ermittelten Lärmkonturen nicht als endgültig angesehen werden dürften.

6. Anmerkungen zur Qualitätssicherung

Die in den vorangegangenen Abschnitten wurde beschrieben, welche vergleichenden Untersuchungen durchgeführt wurden. Hierbei handelte es sich um eine rein numerische Kontrolle der von der HLfU durchgeführten Berechnungen. Auf der Basis einer solchen Untersuchung kann selbstverständlich nur beurteilt werden, ob der der Berechnung zugrunde zu legende Rechenalgorithmus exakt umgesetzt wurde und mit welcher Sorgfalt die benötigten Eingabedaten eingearbeitet wurden.

Die „Qualität“ von mit dem AzB-Verfahren – oder auch einem beliebigen anderen Fluglärmrechnungsverfahren – ermittelten Lärmkurven muß allerdings auch nach anderen Gesichtspunkten beurteilt werden. Dies ist insbesondere in Hinblick auf eine spätere Verwendung derartiger Kurven im Rahmen von Lärmschutzgesetzgebung, Entschädigungsregelungen und Raumordnungsplanung notwendig. Hierzu müssen gewisse Randbedingungen und daraus resultierende Einschränkungen erläutert werden, um eine fehlerhafte Interpretation und eine nicht sachgerechte Anwendung der Ergebnisse derartiger Immissionsberechnungen zu verhindern. Es wäre fahrlässig, in einer Untersuchung wie der vorliegenden nicht auf derartige Aspekte hinzuweisen.

Rein rechnerisch kann man die von Luftverkehr an einem Flughafen hervorgerufene Lärmbelastung bis in Gebiete weit entfernt vom Flughafen selbst ermitteln. Es ist jedoch zu beachten, daß derartige Berechnungen die Realität (z.B. die physikalisch meßbare Belastung) um so weniger genau wiedergeben, je weiter man vom Flughafen entfernt ist. Dies hat seine Ursachen zum einen in der Qualität der der Berechnung zugrunde liegenden Daten als auch in der begrenzten Anwendbarkeit des der Berechnung zugrunde liegenden Schallausbreitungsmodells für große Entfernungen aufgrund der Einflüsse meteorologischer Effekte.

Begrenzung der Genauigkeit durch flugbetriebliche Daten

Mit zunehmendem Abstand vom Start- und Landebahnsystem ist die Position der einzelnen Flugzeuge nur noch ungenau definiert. Dies gilt insbesondere für die Flughöhe, aber auch für die Beschreibung der An- und Abflugstrecken sowie der seitlichen Flugbahnstreuung in großen Entfernungen vom Flughafen.

Die der AzB zugrunde liegenden flugbetrieblichen Datensätze definieren für jede Flugzeugklasse ein Flughöhenprofil sowie den Verlauf der Fluggeschwindigkeit und der Triebwerksleistung (in Form eines sog. „Zusatzpegels“) während des An- bzw. Abflugvorganges. Diese Daten wurden im Rahmen der ersten Ergänzung der AzB im Jahre 1984 [12] und auch der derzeit durch das Umweltbundesamt erarbeiteten Fortschreibung anhand der Messungen von automatischen Fluglärmüberwachungsanlagen an den deutschen Verkehrsflughäfen validiert. Derartige Überwachungsanlagen sind in der Regel nicht weiter als etwa 15 km vom Flughafenbezugspunkt aufgestellt – dementsprechend sind die in der AzB veröffentlichten Datensätze auch nur in diesem Bereich ausreichend validiert. Für größere Abstände nimmt die Verlässlichkeit der AzB-Daten ab – für Entfernungen von mehr als 20 km sollte das AzB-Verfahren nicht mehr benutzt werden.

Begrenzung der Genauigkeit durch meteorologische Einflüsse

Je weiter das Flugzeug vom Flughafen entfernt ist, um so größer ist seine Flughöhe und um so größer sind auch die Ausbreitungsentfernungen vom Flugzeug zum Immissionsort. Entsprechend gewinnen meteorologische Größen mehr und mehr an Einfluß.

In allen Fluglärmrechnungsverfahren – so auch in der AzB – werden standardisierte Schallausbreitungsparameter zugrunde gelegt, die die meteorologischen Einflüsse auf die Schallausbreitung berücksichtigen sollen. Da diese standardisierten Parameter die tatsächlichen Ausbreitungsbedingungen nur angenähert wiedergeben können, treten Abweichungen auf, die für kleinere Entfernungen zwischen Flugzeug und Immissionsort tolerabel sind, mit wachsender Entfernung die Rechenergebnisse jedoch immer unzuverlässiger werden lassen. Einen Eindruck dieser komplexen Situation gibt die folgende Aufstellung über die physikalischen Gründe für derartige Abweichungen:

physikalische Gründe

- andere mittlere Temperatur und/oder Luftfeuchtigkeit als vorausgesetzt
- Vorhandensein von Wolken
- Vorhandensein von Wind
- Vorhandener Temperatur- und/oder Windgeschwindigkeitsgradient
- immer vorhandene Turbulenz

Folgen

- ⇒ andere Schallwellendämpfung entlang des Ausbreitungsweges
- ⇒ Schallstreuung und –dämpfungsänderung
- ⇒ Mitnahme (d.h. Versetzung) der Schallwellen
- ⇒ Brechung der Schallwellen; Veränderung von Länge und Verlauf des Ausbreitungsweges
- ⇒ Mehrfachstreuung der Schallwellen, dadurch Ablenkung und Schwächung

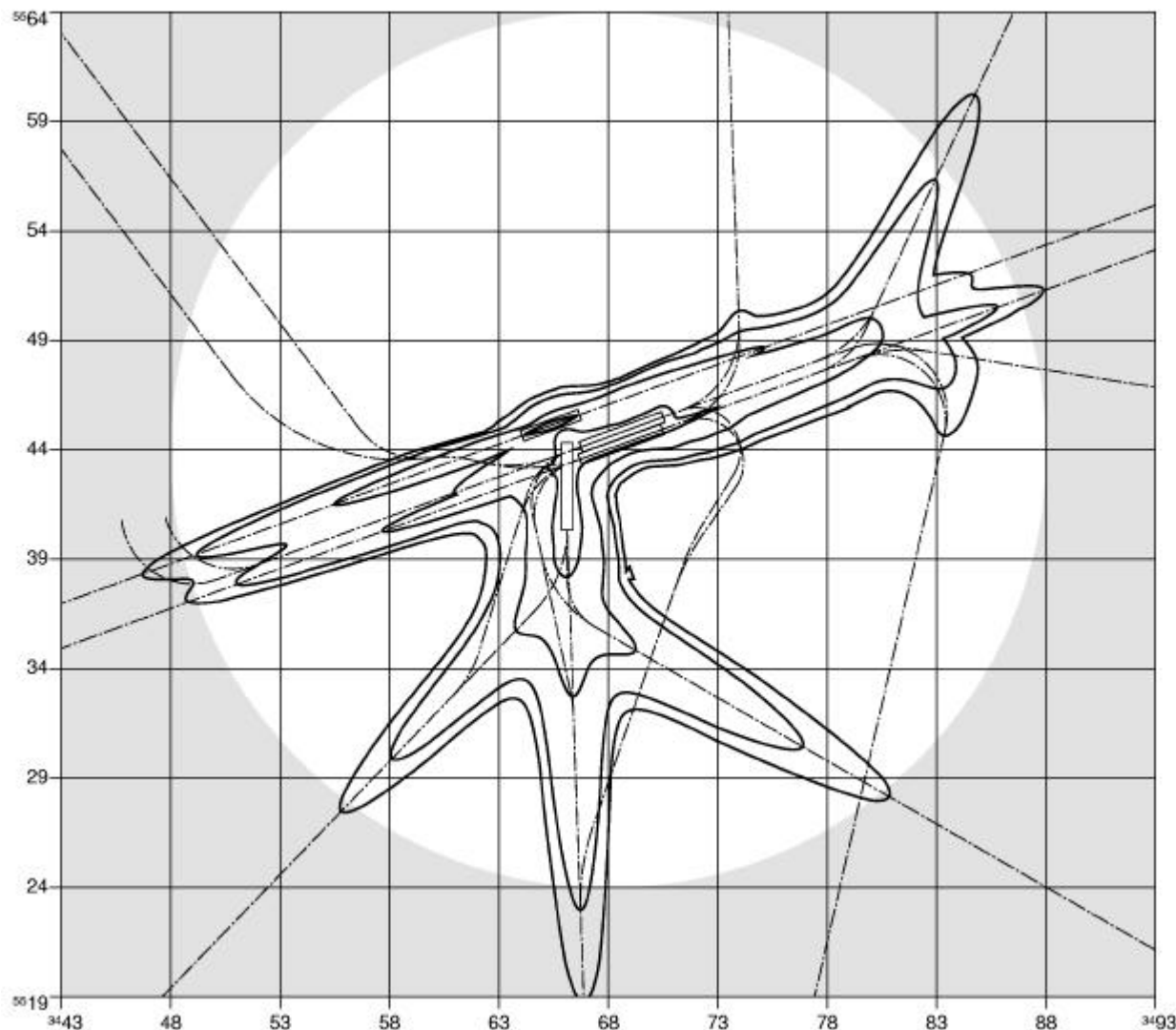
Schlußfolgerungen aus der limitierten Genauigkeit

Die beschriebenen Einflüsse führen dazu, daß die Berechnungen in größerer Entfernung vom Flughafen oft auch nicht mehr annähernd zutreffende Lärmkonturen ergeben.

Die oben dargelegten Gründe haben den deutschen Gesetzgeber dazu veranlaßt, als Grenze für die Beschreibung des Flugbetriebs im DES bei Starts eine Entfernung von 20 km vom Flughafenbezugspunkt (bei Landungen: vom Bahnbezugspunkt) vorzugeben [11]. Auch die Leitlinie des Länderausschusses für Immissionsschutz weist auf diese Entfernungsbeschränkung hin [14].

Es ist also nicht sinnvoll, Fluglärmkonturen in Gebieten auszuweisen, die außerhalb dieses Bereiches verlaufen. Wird dies trotzdem gemacht, so sollte ein Kreis mit einem Radius von 20 km um den Flughafenbezugspunkt herum gezogen werden, bis zu dem die berechneten Konturen gezeichnet werden. Gerechnete Konturen jenseits davon müssen – unter Hinweis auf die Unzuverlässigkeit – durch geeignete Markierungen (Strichelung, Transparenz, Farbgebung) gekennzeichnet werden.

Dies ist beispielhaft in der folgenden Abbildung veranschaulicht. Sie stellt die Konturen des $L_{eq,LAI}$ mit den Werten 75, 67, 62 und 60 dB dar, wie sie für das Szenario A, Variante 9b ermittelt wurden:



Konturen des $L_{eq,LAI}$ mit den Werten 75, 67, 62 und 60 dB für das Szenario B, Variante 9b. Grau hinterlegt ist der Bereich außerhalb des 20 km-Radius um den Flughafenbezugspunkt. Die Flugstrecken sind strichpunktiert eingetragen.

Neben den Lärmkonturen sind die Lage der Start- und Landebahnen eingetragen. Der Bereich außerhalb des 20km-Radius ist grau hinterlegt. In diesem Bereich kann den ermittelten Konturen keine ausreichende Aussagekraft – bzw. ausreichende Qualität – mehr zugeordnet werden.

7. Quellenverzeichnis

- [1] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario D, Variante 1a. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (August 1999).
- [2] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario C, Variante 1b. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (September 1999).
- [3] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario A, Variante 9a. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (August 1999).
- [4] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario A, Variante 9b. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (August 1999).
- [5] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario B, Variante 11a. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (Oktober 1999).
- [6] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario B, Variante 13. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (November 1999).
- [7] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario A Variante 11a. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (Dezember 1999).
- [8] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario A, Variante 12. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (Dezember 1999).
- [9] Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU): Gutachten über die Fluglärmbelastung in der Umgebung des Flughafens Frankfurt am Main für das Szenario A, Variante 14. Erstellt im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (Dezember 1999).
- [10] Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm. Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 282-287, 1971.
- [11] 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).
- [12] Der Bundesminister des Innern: Ergänzung der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen - AzB - vom 27.2.1975. Bonn, 20.2.1984.
- [13] Definition und Datenblätter der Flugzeuggruppen zur Fortschreibung der AzB. Umweltbundesamt II 5.1-60 112/5. Übergeben von HLfU an DLR am 20.9.1999.

-
- [14] Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI): Leitlinie zur Beurteilung von Fluglärm durch die Immissionsschutzbehörden der Länder in der am 14.5.1997 beschlossenen Fassung.
 - [15] Flughafen Frankfurt Main AG (FAG): Kompendium über die im Rahmen des Mediationsverfahrens weiter zu untersuchenden Varianten zur Steigerung der Kapazität des Flughafens Frankfurt. Flughafen Frankfurt Main (25.8.1999).
 - [16] Deutsches Institut für Normung: Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen. DIN 45643, Oktober 1984.
 - [17] International Organization for Standardization: Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground. International Standard ISO 3891, 1st Edition 1979.
 - [18] Kontrollrechnungen zum Mediationsverfahren. Brief von Dr. U. Isermann (DLR) an Dr. Ch. Ewen (Öko-Institut) vom 22.11.99.