

Berichts.-Nr.:

IB 224 - 2009 A 33

Verfasser:

U. Isermann, U. Binder, R. Schmid

Titel:

**Ermittlung der durch An- und Abflüge auf den  
Flughafen Zürich hervorgerufenen Lärmbelastung,  
insbesondere auch in der Grenzregion**

Datum: 26.10.2009

Auftraggeber: Deutsches Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
Schweizerisches Bundesamt für Zivilluftfahrt

Auftrags-Nr.: FE-Nr. L-2/2009-50.0336/2009

Angebot Nr.: 3 002 543

**Der Bericht umfaßt:**

49 Seiten  
10 Tabellen  
15 Bilder  
22 Literaturstellen

Vervielfältigung und Weitergabe dieser Unterlagen sowie Mitteilung ihres Inhalts an Dritte,  
auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Auftraggebers



**Deutsches Zentrum  
Für Luft- und Raumfahrt e. V.**

**Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Bunsenstraße 10  
D - 37073 Göttingen**

**Abteilung 22417**

## **Ermittlung der durch An- und Abflüge auf den Flughafen Zürich hervorgerufenen Lärmbelastung, insbesondere auch in der Grenzregion**

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Fluglärmbelastung am Flughafen Zürich für das Jahr 2007 rechnerisch nach der 1. FlugLSV bestimmt. Neben den im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vorgeschriebenen Schutzzonen wurden zusätzlich Konturen des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq}$  berechnet bis hinunter zu Werten von 45 dB für den Tag und 40 dB für die Nacht. Entsprechende Berechnungen erfolgten für einen auf das Jahr 2024 projizierten Verkehr, der sich durch Hochrechnung der Flugbewegungszahlen auf maximale Kapazität des Flughafens (350 000 Bewegungen pro Jahr) ergab.

Der Untersuchung lag ein von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) auf Veranlassung der Projektuntergruppe (PUG) der Arbeitsgruppe Zürich im Auftrag der Flughafen Zürich AG (Unique) erstelltes Datenerfassungssystem zugrunde. Die Erstellung dieses Datenerfassungssystems erfolgte unter wissenschaftlicher Begleitung durch das DLR. Alle Berechnungen wurden im Unterauftrag des DLR durch die Firma Avia Consult durchgeführt. Die berechneten Lärmkonturen wurden zur Weiterverarbeitung (Verschneidung mit Bevölkerungsdaten) an Unique weitergeleitet.

Neben den Konturberechnungen wurden noch für 13 Standorte von Fluglärmessanlagen (11 auf schweizerischer und 2 auf deutscher Seite) Berechnungen der äquivalenten Dauerschallpegel für Tag und Nacht durchgeführt. Diese wurden mit den in den 6 verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007 an den Stationen gemessenen Werten verglichen. Die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung liegen im Bereich von  $\pm 2$  dB und zeigen damit eine Schwankungsbreite, die in gleicher Größenordnung liegt wie an deutschen Verkehrsflughäfen.

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Göttingen

Institutsleiter:

Verfasser:

(Prof. Dr. A. Dillmann)

(Dr. U. Isermann)

Abteilungsleiter:

(Dr. U. Binder)

(Dr. M. Raffel)

(Dr. R. Schmid)

<b>Datum: 04.11.09</b>	<b>Abteilung:</b>	<b>Bericht:</b>
<b>Bearbeitet: UI</b>	22417	<b>224 - 2009 A 33</b>

**Ermittlung der durch An- und Abflüge auf den  
Flughafen Zürich hervorgerufenen Lärmbelastung,  
insbesondere auch in der Grenzregion**

Im Auftrag des Deutschen Bundesministeriums für  
Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
und des Schweizerischen Bundesamtes für Zivilluftfahrt

F+E-Vorhaben Nr. L-2/2009-50.0336/2009

von

**Ullrich Isermann**

**Uta Binder**

**Rainer Schmid**

DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen

Göttingen, 26. Oktober 2009

<b>1. Art des Berichts</b> Abschlussbericht	<b>2. FE-Nr. des AG</b> L-2/2009-50.0336/2009	<b>3. Berichts/Nr. des AN</b>
<b>4. Titel des Berichts</b> Ermittlung der durch An- und Abflüge auf den Flughafen Zürich hervorgerufenen Lärmbelastung, insbesondere auch in der Grenzregion		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Isermann, Ullrich Binder, Uta Schmid, Rainer	<b>8. Abschlussdatum</b> 30.09.2009	
	<b>9. Veröffentlichung</b> 26.10.2009	
	<b>10. Seitenzahl</b> 49	
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik Bunsenstraße 10, 37073 Göttingen	<b>11. Literaturhinweise</b> 22	
	<b>12. Tabellen</b> 10	
	<b>13. Abbildungen</b> 15	
<b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Robert-Schumann-Platz 1, D-53175 Bonn</li> <li>Bundesamt für Zivilluftfahrt, Mühlestrasse 2, CH-3063 Ittigen</li> </ul>		
<b>14. Zusätzliche Angaben</b>		
<b>15. Kurzfassung</b> In der vorliegenden Untersuchung wurde die Fluglärmelastung am Flughafen Zürich für das Jahr 2007 rechnerisch nach der 1.FlugLSV bestimmt. Neben den im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vorgeschriebenen Schutzzonen wurden zusätzlich Konturen des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels $L_{Aeq}$ berechnet bis hinunter zu Werten von 45 dB für den Tag und 40 dB für die Nacht. Entsprechende Berechnungen erfolgten für einen auf das Jahr 2024 projizierten Verkehr, der sich durch Hochrechnung der Flugbewegungszahlen auf maximale Kapazität des Flughafens (350 000 Bewegungen pro Jahr) ergab.  Der Untersuchung lag ein von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) auf Veranlassung der Projektuntergruppe (PUG) der Arbeitsgruppe Zürich im Auftrag der Flughafen Zürich AG (Unique) erstelltes Datenerfassungssystem zugrunde. Die Erstellung dieses Datenerfassungssystems erfolgte unter wissenschaftlicher Begleitung durch das DLR. Alle Berechnungen wurden im Unterauftrag des DLR durch die Firma Avia Consult durchgeführt. Die berechneten Lärmkonturen wurden zur Weiterverarbeitung (Verschneidung mit Bevölkerungsdaten) an Unique weitergeleitet.  Neben den Konturberechnungen wurden noch für 13 Standorte von Fluglärmessanlagen (11 auf schweizerischer und 2 auf deutscher Seite) Berechnungen der äquivalenten Dauerschallpegel für Tag und Nacht durchgeführt. Diese wurden mit den in den 6 verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007 an den Stationen gemessenen Werten verglichen. Die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung liegen im Bereich von $\pm 2$ dB und zeigen damit eine Schwankungsbreite, die in gleicher Größenordnung liegt wie an deutschen Verkehrsflughäfen.		
<b>16. Schlagwörter (Deskriptoren)</b> Fluglärm, Fluglärmberechnung, 1.FlugLSV, AzB, Fluglärmgesetz		

## Inhaltsverzeichnis

Glossar .....	2
1 Einleitung .....	3
1.1 Hintergrund .....	3
1.2 Aufgabenstellung .....	3
2 Berechnungsgrundlagen und Vorgehensweise .....	6
2.1 Benutzte Beurteilungsmaße .....	6
2.2 Datenerfassungssystem .....	8
2.3 Untersuchungsbereich und digitales Geländemodell .....	9
2.4 Durchführung der Berechnungen .....	9
3 Erstellung der Datenerfassungssysteme .....	11
3.1 Luftfahrzeuggruppen .....	11
3.2 Flugstrecken .....	12
3.3 Zwischenanflugsegmente .....	13
3.4 Flugbewegungszahlen .....	15
3.5 Optimierung .....	15
3.6 Umsetzung der Sigma-Regelung .....	17
4 Flugbetriebsanalyse .....	20
4.1 Flugbewegungszahlen nach AzB-Klassen .....	20
4.2 Verfügbare Bahnlängen .....	22
4.3 Bahnbezogene Betriebsrichtungen .....	23
4.4 Flughöhen und Gleitwinkel .....	24
5 Ergebnisse der Immissionsberechnungen .....	25
5.1 Ermittelte Lärmkonturen .....	25
5.2 Flächendeckende Berechnungen im Untersuchungsraum .....	35
6 Auswertung der Daten der Messanlagen .....	36
6.1 Einleitende Bemerkungen .....	36
6.2 Die von Unique betriebenen Messstationen .....	39
6.3 Die Messstationen des Landratsamts Waldshut .....	41
6.4 Die Messstation in Balterswil im Thurgau .....	44
7 Zusammenfassung .....	45
8 Literatur .....	46

## Glossar

AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD	Anleitung zur Datenerfassung für den Flugbetrieb
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt (CH)
BAFU	Bundesamt für Umwelt (CH)
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (D)
DES	Datenerfassungssystem
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FANOMOS	Flight Track and Noise Monitoring System
FlugLSV	Fluglärmenschutzverordnung
IFR	Instrumentenflugregeln (Instrument Flight Rules)
PUG	Projektuntergruppe der AG Zürich
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie (CH)
UBA	Umweltbundesamt (D)
Unique	Flughafen Zürich AG
VFR	Sichtflugregeln (Visual Flight Rules)

---

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

Bezüglich des Betriebs des Flughafens Zürich bestehen zwischen der Schweiz und Deutschland unterschiedliche Auffassungen über Art, Umfang und Notwendigkeit der Beanspruchung des süddeutschen Luftraums insbesondere wegen der Lärmimmissionen, die auf die süddeutsche Region einwirken. Am 29. April 2008 kamen die deutsche Bundeskanzlerin Angela Merkel und der schweizerische Bundespräsident Pascal Couchepin überein, dass für den Flughafen Zürich die Gesamtlärmbelastung ermittelt werden solle.

Aus diesem Grunde wurde von den Verkehrsministern Deutschlands und der Schweiz die bestehende gemeinsame Arbeitsgruppe (AG Zürich) unter der Leitung des Leiters der Abteilung Luft- und Raumfahrt im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Direktors des schweizerischen Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) beauftragt, sich mit diesem Auftrag zu befassen. Die von der AG Zürich in Auftrag gegebene Untersuchung soll dazu dienen, die Fluglärmelastung im Umfeld des Flughafens Zürich-Kloten zu ermitteln und so weit wie möglich zu quantifizieren. Die Ergebnisse werden der AG Zürich zur Verfügung gestellt.

### 1.2 Aufgabenstellung

Die Berechnung der Lärmbelastung sollte auf der Basis des deutschen novellierten Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm aus dem Jahr 2007 [1] erfolgen. Diese Randbedingung definiert zunächst einmal eine Mindestanforderung an die Art der zu ermittelnden Schutzzonen, nämlich Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels für den Tag und die Nacht sowie Konturen für Maximalpegel-Häufigkeitskriterien.

Zum anderen erfordert das novellierte Fluglärmgesetz eine Berechnung der Schutzzonen nach dem Verfahren, das in der „Ersten Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (1. FlugLSV)“ [2] beschrieben ist. In den Anlagen 1 und 2 dieser Verordnung werden die „Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD)“ sowie die „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)“ vom 19. November 2008 bekannt gemacht. Diesen beiden Anlagen ersetzen die zur Umsetzung des Fluglärmgesetzes von 1971 [3] vorgeschriebene AzB aus dem Jahre 1975 ([4],[5]).

Den Berechnungen waren zwei Szenarien zu Grunde zu legen:

- Das erste Szenario beruht auf den Flugstreckenstrukturen und Flugbewegungszahlen des Jahres 2007. Entsprechend der Vorgabe des Fluglärmgesetzes werden für die Immissionsberechnungen die 6 verkehrsreichsten Monate dieses Jahres zu Grunde gelegt.
- Das zweite Szenario stellt einen auf das Jahr 2024 projizierten Verkehr dar, der sich an der maximalen Kapazität des Flughafens von 350 000 Bewegungen p.a. orientiert. Ohne Veränderung der Flugbetriebsparameter (wie Typenmix, An- und Abflugrouten, etc.) wird dieses Szenario durch Hochrechnung der Flugbewegungszahlen aus dem Szenario für das Jahr 2007 erzeugt.

Die Ermittlung der Lärmkonturen sollte nicht nur für die Grenzregion sondern für die gesamte Umgebung des Flughafens Zürich erfolgen. Berechnet und dargestellt werden sollten folgende Lärmkonturen<sup>1</sup> (siehe auch Abschnitt 2.1):

- Die Tag-Schutzzonen 1 und 2 nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm. Dies sind die beiden Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq,Tag}$  für die Tageszeit von 6 bis 22 Uhr mit den Werten von 65 und 60 dB.
- Die Nachschutzzone nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm. Diese ergibt sich als Einhüllende aus folgenden beiden Lärmkonturen:
  - Die Kontur des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq,Nacht}$  für die Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr mit dem Wert von 55 dB.
  - Die Kontur NAT<sub>Nacht,6x72</sub>, auf der in der Durchschnittsnacht zwischen 22 und 6 Uhr A-bewertete Außen-Maximalpegel von 72 dB 6 mal erreicht oder überschritten werden.
- Zusätzlich sollten auch außerhalb der Schutzzonen noch Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels für den Tag und für die Nacht in Schritten von 1 dB berechnet werden, soweit es noch technisch machbar und sinnvoll erscheint. Nach ersten Pro-berechnungen ergaben sich hier die Bereiche
  - $L_{Aeq,Tag}$  von 45 bis 59 dB und

---

<sup>1</sup> Die zu ermittelnden Schutzzonen orientieren sich an den Werten nach §2, Abs.2 Nr.2 des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (für bestehende zivile Flugplätze).

- 
- $L_{Aeq,Nacht}$  von 40 bis 54 dB.

Die berechneten Konturen waren Unique (Flughafen Zürich AG) als Grundlage für eine Verschneidung mit Bevölkerungs- bzw. Tourismusdaten im Auftrag von BAZL und BMVBS zur Verfügung zu stellen.

Neben diesen Konturberechnungen sollten im Rahmen der Untersuchung insbesondere noch Radaraufzeichnungen sowie die Messresultate offizieller Fluglärmessanlagen für das Jahr 2007 ausgewertet werden (u.a. auch Vergleiche mit berechneten Immissionswerten).

## 2 Berechnungsgrundlagen und Vorgehensweise

### 2.1 Benutzte Beurteilungsmaße

#### 2.1.1 A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel

Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel  $L_{\text{Aeq},T}$  ist ein zeitlicher Mittelungspegel. Die Mittelung erfolgt über ein längeres Zeitintervall  $T$ . Der  $L_{\text{Aeq},T}$  berechnet sich als

$$L_{\text{Aeq},T} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{t_0}{T} \cdot \sum_{i=1}^{N_T} 10^{L_{\text{AE},i}/10} \right] . \quad (1)$$

Die Summation erstreckt sich über die Anzahl  $N_T$  der im Zeitintervall  $T$  auftretenden Geräusche, die Normierungszeit  $t_0$  beträgt 1 s.  $L_{\text{AE}}$  ist der A-bewertete Einzelereignispegel eines Geräusches. Er stellt ein mit einer Zeit  $t_0$  normiertes Integral über den zeitlichen Schallpegelverlauf  $L(\tau)$  am Immissionsort dar:

$$L_{\text{AE}} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{t_0} \cdot \int 10^{L_A(\tau)/10} d\tau \right] . \quad (2a)$$

Dies kann in guter Näherung auch in der Form

$$L_{\text{AE}} = L_{\text{A,max}} + 10 \cdot \lg \left( \frac{t_e}{t_0} \right) \quad (2b)$$

geschrieben werden, wobei  $L_{\text{A,max}}$  der A-bewertete Maximalpegel des Geräusches ist und  $t_e$  die sog. „effektive Dauer“, d.h. diejenige Dauer, die ein Geräusch mit dem konstanten Pegel  $L_{\text{A,max}}$  haben würde, wenn es am Immissionsort die gleiche Schallexposition erzeugt wie das durch  $L(\tau)$  beschriebene Geräusch. Der A-bewerteten Einzelereignispegel  $L_{\text{AE}}$  wird auch als  $L_{\text{AX}}$  oder SEL bezeichnet. Verschiedene Varianten von äquivalenten Dauerschallpegeln sind in [6] und [7] beschrieben. Das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm unterscheidet äquivalente Dauerschallpegel für den Tag und für die Nacht:

$$L_{\text{Aeq,Tag}} = L^*_{\text{Aeq,Tag}} + 3 \cdot K_{\sigma,\text{Leq,Tag}} \quad (3a)$$

$$L_{\text{Aeq,Nacht}} = L^*_{\text{Aeq,Nacht}} + 3 \cdot K_{\sigma,\text{Leq,Nacht}} \quad (3b)$$

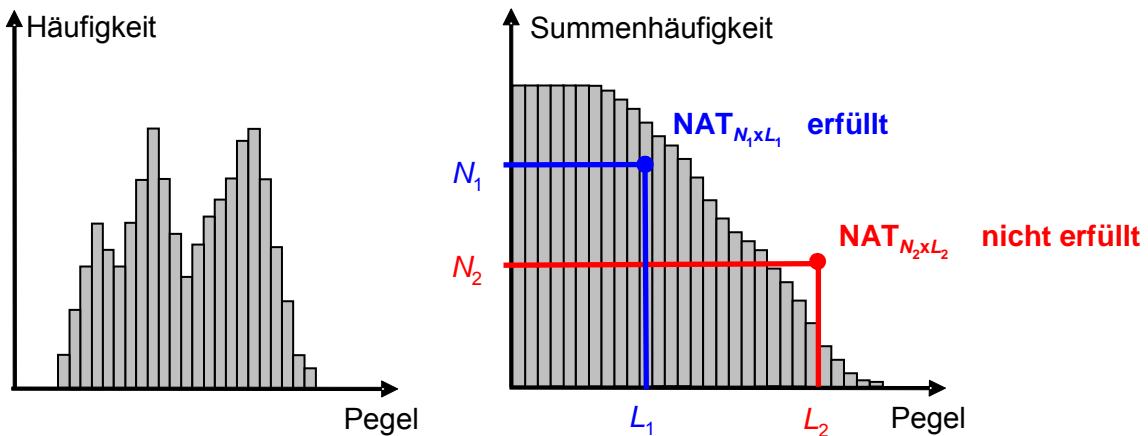
Die Dauerschallpegel  $L^*_{\text{Aeq,Nacht/Nacht}}$  ergeben sich nach Gl.(1) für die Beurteilungszeiten 6 bis 22 Uhr (Tag) und 22 bis 6 Uhr (Nacht), wobei über die sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres summiert wird. Die Zuschläge  $K_{\sigma,\text{Leq}}$  ergeben sich aus der sog. „Sigma-Regel“ (siehe Abschnitt 3.6).

### 2.1.2 Maximalpegel-Schwellenwert oder NAT-Kriterien

Während äquivalente Dauerschallpegel Einzahlwerte sind, die auf einer Lärmexposition aufsetzen, sind die sog. Schwellenwert- oder NAT-Kriterien (NAT = „Number Above Threshold“) Kombinationskriterien. Sie basieren auf der Überschreitungshäufigkeit  $NAT_{T,L_S}$  eines Maximalpegel-Schwellenwerts von  $L_S$  dB:

$$NAT_{T,L_S} = \sum_{i=1}^N F(L_{A,max,i}) \quad \text{mit} \quad F(L_{A,max,i}) = \begin{cases} 1 & \text{für } L_{A,max,i} > L_S \\ 0 & \text{für } L_{A,max,i} \leq L_S \end{cases} \quad (4)$$

Dabei ist  $L_{A,max,i}$  der A-bewertete Maximalschallpegel des  $i$ -ten im Beurteilungszeitraum  $T$  auftretenden Geräusches,  $N$  ist die Anzahl der Geräusche. Das Kriterium  $NAT_{T,N_S \times L_S}$  ist verletzt, wenn  $NAT_{T,L_S}$  einen Wert  $N_S$  überschreitet (siehe Abbildung 2-1).



**Abbildung 2-1: Exemplarische Darstellung von Pegelhäufigkeitsverteilung und Summenhäufigkeit. Ob NAT-Kriterien erfüllt sind, kann direkt aus der Summenhäufigkeitsfunktion abgelesen werden.**

In der Praxis wird aus rechentechnischen Gründen eine NAT-Kontur als diejenige Kurve  $NAT_{T,L_S} = N_S$  ermittelt. Dabei wird oft auch angegeben, ob sich der Pegelwert  $L_S$  auf einen Außen- oder Innenpegel bezieht (z.B.  $NAT_{\text{Nacht},6 \times 60,\text{innen}}$  bzw.  $NAT_{\text{Nacht},6 \times 75,\text{außen}}$ ).

Im Fluglärmgesetz wird als Beurteilungszeit die Durchschnittsnacht von 22 bis 6 Uhr während der 6 verkehrsreichsten Monate zu Grunde gelegt. Wie bei den äquivalenten Dauerschallpegeln nach Gln. (3a,b) wird auch hier ein Zuschlag  $K_{\sigma,\text{NAT}}$  zur Berücksichtigung der Sigma-Regel addiert:

$$N_S = N_S^* + 3 \cdot K_{\sigma,\text{NAT}} \quad (5)$$

---

Nach §2 Abs.2 des Gesetzes ist  $N_s^* = 6$ . Die Pegelschwelle  $L_s$  beträgt je nach Art des Flugplatzes entweder 53 oder 57 dB Innenpegel, was nach den Vorgaben des Fluglärmgesetzes 68 oder 72 dB Außenpegel entspricht. Weitere Informationen zu NAT-Kriterien, insbesondere zu ihren speziellen Eigenschaften, finden sich in [6] und [7].

## 2.2 Datenerfassungssystem

Die Berechnung von Lärmschutzbereichen nach der 1. FlugLSV erfordert die Bereitstellung eines Datenerfassungssystems (DES), das alle für die Berechnung notwendigen flugplatzspezifischen Daten enthält. Nach § 2 der 1. FlugLSV hat der Halter des Flugplatzes in Abstimmung mit der Flugsicherung dieses Datenerfassungssystem der berechnenden Stelle zur Verfügung zu stellen. Art und Umfang dieser Daten sind in der AzD spezifiziert.

Der Rollverkehr und der Betrieb von Hilfsaggregaten sollten im Rahmen dieser Untersuchung nicht mit berücksichtigt werden. Dies ist sinnvoll, da sich die Problemstellung im Wesentlichen auf die Grenzregion bezieht, in der keine Beiträge von diesen Betriebsarten zu erwarten sind. Der mit einer Berücksichtigung der bodengebundenen Operationen verbundene stark erhöhte Aufwand wäre daher nicht gerechtfertigt. Aus diesem Grunde mussten nur folgende Teile des Datenerfassungssystems zur Verfügung gestellt werden:

- Abschnitt 5.2 AzD (Flugplatzdaten), Unterabschnitte 5.2.1 bis 5.2.4
- Abschnitt 5.3 AzD (Flugbewegungsangaben)
- Abschnitt 5.5 AzD (Flugbetrieb in der Luft)
- Abschnitt 6 AzD (bahnbbezogene Betriebsrichtungen)

Die Klassifikation der Luftfahrzeuge war entsprechend Abschnitt 2.2.3 der AzD (Definition der Luftfahrzeuggruppen bzw. -klassen) vorzunehmen.

Das Datenerfassungssystem wurde auf Veranlassung der Projektuntergruppe (PUG) der Arbeitsgruppe Zürich im Auftrag der Flughafen Zürich AG (Unique) durch die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt Empa erstellt. Dies umfasste vor allem die Umsetzung von Radardaten in ein DES-konformes Format. Diese Arbeitsschritte wurden wissenschaftlich vom DLR begleitet. Nach erfolgter Bereitstellung der Datenerfassungssysteme erfolgte eine Kontrolle durch das DLR. Zusätzlich erfolgte eine Prüfung durch das deutsche Umweltbundesamt (UBA).

## 2.3 Untersuchungsbereich und digitales Geländemodell

Nach Abschnitt 2.1.1.1 der AzD sind in das Datenerfassungssystem Flugstrecken bis zu einem Radius von mindestens 25 km um den Flugplatzbezugspunkt einzutragen. Aufgrund von Erfahrungswerten für vergleichbare deutsche Flughäfen war davon auszugehen, dass ein entsprechender Untersuchungsbereich von 50x50 km zur Ermittlung der Schutzzonen vollkommen ausreichen würde. In Anbetracht der Tatsache, dass die Problematik auf deutscher Seite vor allem den Bereich des südlichen Schwarzwaldes betrifft, wurde der Untersuchungsraum auf 70x70 km erweitert (siehe Abschnitt 3.2). Je etwa 15 km dieser Erweiterung erfolgten nach Norden und Osten. Diese Definition des Untersuchungsbereiches ergab sich aus der Analyse der Flugspuraufzeichnungen, die von der Empa zur DES-Erstellung herangezogen wurde: Das Rechengebiet wurde so festgelegt, dass es die für die Lärmberechnung relevanten Flugspuren beinhaltete (siehe Abbildung 3-1).

Nach Abschnitt 7.2.8 der AzB ist den Berechnungen ein digitales Geländemodell (DGM) zu Grunde zu legen, wobei als Mindestanforderung das Digitale Geländemodell für Deutschland (DGM-D) mit einer Rasterweite von 50 m benutzt werden soll. Diese Vorgabe konnte im Rahmen der Untersuchung nicht eingehalten werden:

- Da sich der Großteil des Untersuchungsraums auf schweizerischem Gebiet befindet, musste auf das digitale Höhenmodell der Schweiz (DHM25) [8] zurückgegriffen werden. Dieses deckt auch den Bereich des Südschwarzwaldes ab.
- Dadurch ergab sich die Notwendigkeit, das DES im schweizerischen Koordinatensystem CH1903 [9] zu erstellen anstelle im von der AzD geforderten UTM-System.

## 2.4 Durchführung der Berechnungen

Die Berechnungsvorgaben der AzB konnten zwangsläufig nicht eingehalten werden, da sowohl das digitale Geländemodell als auch das verwendete Koordinatensystem von der Schweiz übernommen werden mussten. Außerdem wurde anstelle der von der AzB vorgegebenen Rasterweite des Rechengitters von 50 m im untersuchten Fall für die Ermittlung der Schutzzonen eine Rasterweite von 100 m benutzt. Für die Berechnung der  $L_{Aeq}$ -Konturen außerhalb der Schutzzonen wurde diese auf 200 m hochgesetzt. Diese Werte sind sinnvoll und auch übliche Praxis, da mit abnehmenden Immissionswerten auch deren Gradienten abnehmen. Die Empa rechnet bei Untersuchungen für den Flughafen Zürich üblicherweise mit einem Gitter von 250 m [10]. Ein nicht zu vernachlässigender Effekt ist hier auch die Op-

timierung der Rechenzeit, die für Berechnungen mit der neuen AzB in der Regel sehr hoch ausfällt.

Da abzusehen war, dass das DLR zur Zeit der Auftragsdurchführung noch nicht über ein den Anforderungen der 1. FlugLSV konformes Rechenprogramm verfügen würde, wurde die eigentliche Berechnung an einen Unterauftragnehmer vergeben. Die Bedingung für die Vergabe des Unterauftrags war die Verfügbarkeit eines vom Umweltbundesamt zertifizierten Rechenprogramms. Im Rahmen einer beschränkten Ausschreibung ging der Unterauftrag an die Firma Avia Consult ([www.avia-consult.de](http://www.avia-consult.de)).

### 3 Erstellung der Datenerfassungssysteme

#### 3.1 Luftfahrzeuggruppen

Die Tabelle 3-1 zeigt eine Übersicht über die zivilen Flugzeuggruppen und Hubschrauber nach 1. FlugLSV (AzD / AzB)

Gruppe	Motoren / Typ	Baujahr	MTOM [t]	Annex 16 Kap.	Typenbeispiele
P1.0	Prop.				Ultraleichtflugzeuge
P1.1	Prop.				Motorsegler
P1.2	Prop.		$m \leq 2$		Schleppflug
P1.3	Prop.		$m \leq 2$		Cessna 172
P1.4	Prop.		$2 < m \leq 5.7$		Beech 200
P2.1	Prop.		$m > 5.7$	3/4/10	ATR 42, Saab 2000
P2.2	Prop.		$m > 5.7$	nicht zert.	Fokker F27
S1.0	Jet		$m \leq 34$	2	Learjet 25, 35
S1.1	Jet		$34 < m \leq 100$	2	DC-9, Tu134
S1.2	B737			2	
S1.3	B727			2	
S2	Jet		$m \leq 100$	nicht zert.	Caravelle
S3.1	2/3 x Jet	vor 1982	$m > 100$	2	DC-10
S3.2	4 x Jet	vor 1982	$m > 100$	2/3	B747-100
S4	Jet		$m > 100$	nicht zert.	B707
S5.1	Jet	nach 1982	$m \leq 50$	3/4	ARJ, CRJ
S5.2	Jet, BPR>3	nach 1982	$50 < m \leq 120$	3/4	A320, MD90, B737, B757
S5.3	Jet, BPR≤3	nach 1982	$50 < m \leq 120$	3/4	MD-8x, B727 Hushkit
S6.1	2 x Jet	nach 1982	$m > 120$	3/4	A300, A330, B767, B777
S6.2	3/4 x Jet	nach 1982	$120 < m \leq 300$	3/4	MD-11
S6.3	A 340			3/4	
S7	3/4 x Jet		$300 < m \leq 500$	3/4	B747-400
S8	4 x Jet		$m > 500$	4	A380
H1.0			$m \leq 1$		Hughes 269
H1.1			$1 < m \leq 3$		Bo 105, EC 135
H1.2			$3 < m \leq 5$		EC 155, BK 117
H2.1			$5 < m \leq 10$		Sikorsky S-76
H2.2			$m > 10$		Boeing CH-47

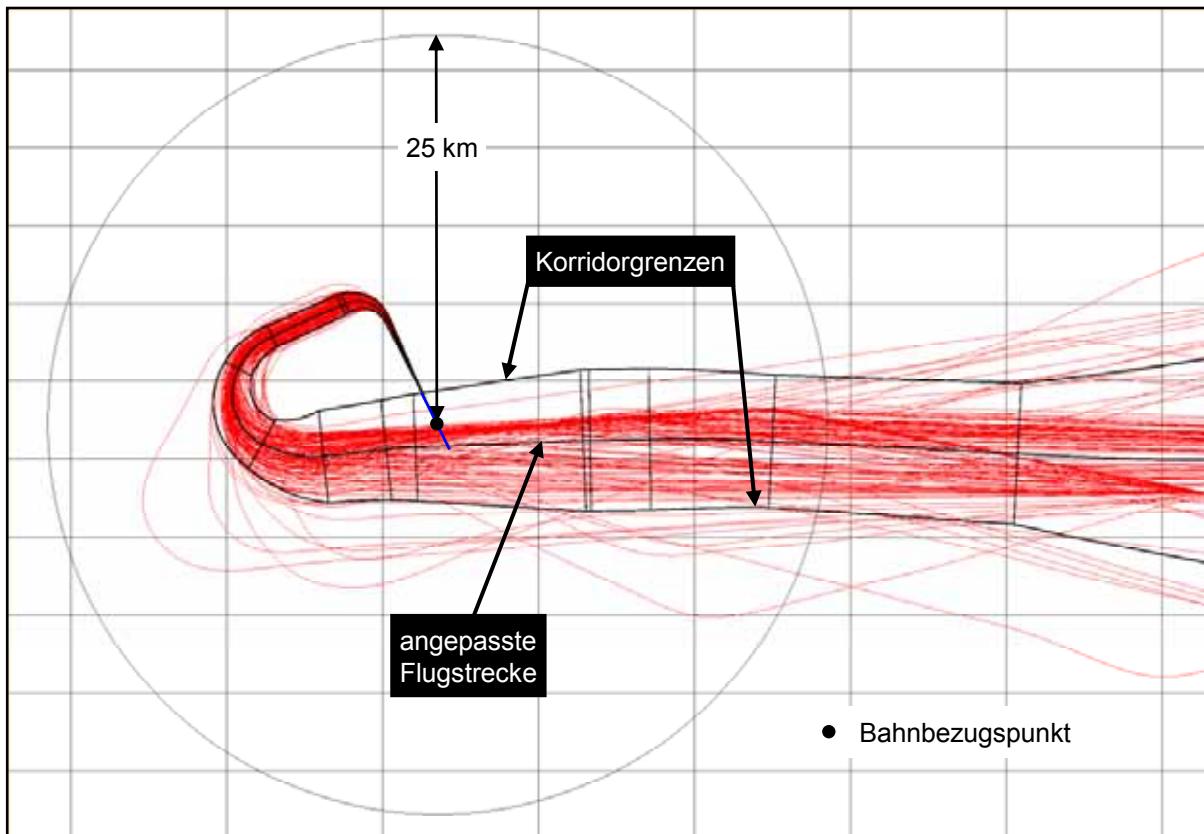
**Tabelle 3-1: Übersicht über Luftfahrzeuggruppeneinteilung nach 1. FlugLSV (ohne militärische Flugzeuge)**

Anmerkungen: „MTOM“ bzw. „m“ steht für die Höchstabflugmasse, „BPR“ für das Nebenstromverhältnis der Triebwerke. In der Spalte „Annex 16 Kap.“ ist die Art der Lärmezulassung nach ICAO Annex 16 eingetragen.

Die Gruppen S3.1, S3.2, S6.2 und S7 werden für den Start jeweils noch in zwei Auslastungsstufen A und B unterteilt.

### 3.2 Flugstrecken

Die Flugstreckenbeschreibungen für IFR-Strecken wurden von der Empa in grafischer Form sowie in einem DES-konformen Format geliefert. Abbildung 3-1 zeigt ein Beispiel für die von der Empa durchgeführten Auswertungen.



**Abbildung 3-1 Beispiel für die Ableitung einer DES-konformen Flugstreckenbeschreibung aus Radardaten.**

Näheres zum Auswerteverfahren ist in einem separaten Bericht der Empa dokumentiert [11]. Zusammenfassend kann es folgendermaßen beschrieben werden: Für eine bestimmte Abflugstrecke wurden maximal 6000-8000 Flugspuren gewählt. Aus diesen wurde nach einem Least Square Mittelungsverfahren eine mittlere Flugspur in Form eines Polygonzuges ermittelt. Diesem wurde dann eine DES-konforme Flugstrecke (Geraden und Kreisbögen) angepasst. Anschließend wurden den Endpunkten Korridorbreiten zugeordnet, die so gewählt wurden, dass 90% der Flugspuren in den Korridor fielen.

Bei der Umsetzung von Radardaten in ein DES-konformes Format besteht das generelle Problem, dass die AzB von einer symmetrischen Verteilung der Flugspuren über den Korridorquerschnitt ausgeht. In der Praxis auftretende Verteilungen sind in der Regel aber asym-

---

metrisch. Allerdings treten Effekte der Asymmetrie bzw. der Art der Verteilung in der Regel nur an den Spitzen der Lärmkonturen auf [12].

Die Beschreibungen der VFR- und Hubschrauberstrecken, für die keine Radardaten vorlagen, wurden von der Empa aus schon vorliegenden Fluggeometrien abgeleitet. Diese basierten auf den Streckenbeschreibungen im AIP, die im Rahmen einer Untersuchung für das Jahr 2000 aufbereitet worden waren.

Im Rahmen der vom DLR durchgeföhrten Kontrollen wurden die von der Empa ermittelten Streckenbeschreibungen einer weiteren Aufbereitung unterzogen, um unnötige Rechenzeiten zu vermeiden:

- Streckenabschnitte, die weiter als 5 km über die Ränder des Rechengebiets ragten, wurden gelöscht. Als Rechengebiet wurde der Bereich von  $x = 655\,000$  bis  $725\,000$  m und von  $y = 230\,000$  bis  $300\,000$  m im schweizerischen Koordinatensystem CH-1903 festgelegt. Der Offset von 5 km wird vom Segmentierungsverfahren benötigt.
- Sofern das Ende des letzten Abschnitts einer Strecke sich deutlich außerhalb des Offsets befand, wurde dieser Abschnitt entsprechend gekürzt. Die dazugehörige Korridorbreite wurde angepasst.
- Um die Zahl der Streckenteilabschnitte nach Abschnitt 7.1.1 der AzB zu reduzieren, wurden kreisbogenförmige Streckenabschnitte mit sehr großen Radien und sehr kleinen Richtungsänderungen unter Berücksichtigung der Gesamtrichtungsänderung durch gerade Segmente ersetzt.

Insgesamt konnte durch diese Maßnahmen die Anzahl der in die Rechnung eingehenden Streckenteilabschnitte um ca. 30% reduziert werden.

### 3.3 Zwischenanflugsegmente

Der Zwischenanflug ist eine Horizontalflugphase, die bei einigen Anflugverfahren dazu benutzt wird, um die Geschwindigkeit auf einen Wert zu verzögern, mit dem der Gleitpfad abgeschnitten werden kann. In der AzD wurde bei der Beschreibung von IFR-Anflügen ein Zwischenanflugsegment mit definierter Länge eingeführt.

Die Länge der Zwischenanflugsegmente wurde basierend auf einer von der Empa bereitgestellten Vorauswertung von Radar-Höhenprofilen ermittelt (siehe Abbildung 3-2). Für jede Anflugstrecke wurden die individuellen Höhenprofile, ein mittleres Höhenprofil (Median) so-

wie zusätzlich der Bereich, in den 90% der Profile fallen, bereitgestellt. In die Auswertung gingen gerade die Flugspuren ein, die zur Bestimmung der Flugstrecken herangezogen wurden waren.

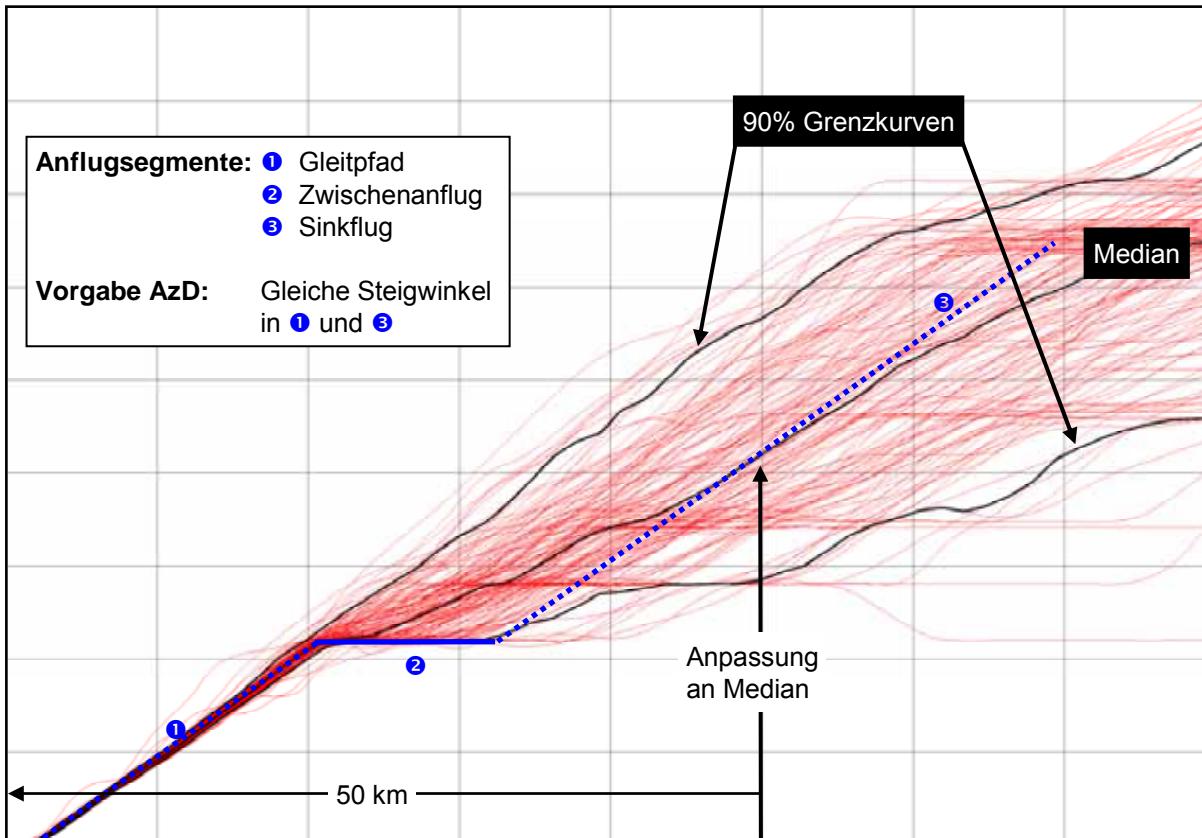


Abbildung 3-2 Ermittlung der Länge der Zwischenanflugsegmente aus Radardaten.

Der Anfang des Zwischenanflugsegments ② ergibt sich aus dem Schnittpunkt des Gleitpfads ① und der im Luftfahrthandbuch [13] ausgewiesenen Zwischenanflughöhe. Das Ende des Zwischenanflugsegments wurde mit Hilfe des Median-Profil konstruiert. Durch den Medianwert in 50 km Entfernung vom Bahnbezugspunkt wurde eine Gerade mit gleicher Steigung wie der Gleitpfad gelegt. Diese repräsentiert den Sinkflug, der nach Vorgabe der AzB mit gleichem Gleitwinkel erfolgt. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Zwischenanflughöhe definiert das Ende des Zwischenanflugsegments. Der Abstand zwischen beiden Punkten wurde auf volle Kilometer aufgerundet und als Länge des Zwischenanflugsegments angesetzt.

### 3.4 Flugbewegungszahlen

Maßgeblich für die Zusammenstellung der Flugbewegungen ist das Datenerfassungssystem, das von der Empa am 16.6.2009 dem DLR zugesandt wurde [14]. Dieses DES zeigte zunächst noch eine Differenz von 160 Bewegungen zum Fluglärm-Jahresbericht 2007 der Unique [15]. Wie sich herausstellte, rührte diese von VFR-Übungsflügen her, die von den Datenbanken der Empa nicht erfasst worden waren. Daher wurden dem übersandten DES noch 80 Landungen und 80 Starts entsprechend der Verteilung der VFR-Bewegungen auf Strecken und Flugzeugklassen der Allgemeinen Luftfahrt zugeschlagen.

Das von der Empa bereitgestellte Datenerfassungssystem war ein „mathematisches“ DES – d.h., für einzelne Kombinationen von Flugstrecke und Flugzeuggruppe waren nicht-ganzzahlige Bewegungszahlen aufgeführt. Derartige Datenerfassungssysteme ergeben sich, wenn die Streckenaufteilung feiner als die verfügbaren Informationen über An- und Abflugrichtungen ist.

Durch Rundung der Bewegungszahlen für die einzelnen Strecken-Gruppen-Kombinationen auf Ganzzahlen wurde daraus ein „realistisches“ DES erstellt. An diesem wurden Feinkorrekturen durchgeführt, so dass die Anzahl der Tages- und Nachtbewegungen in den einzelnen Flugzeuggruppen denen in der ursprünglichen Bewegungsstatistik entsprachen.

Das so resultierende DES war in sich konsistent. Die bei Datenerfassungssystemen für reale Flugbetriebe immer auftretende Abweichung zwischen der Anzahl von Starts und Landungen lag mit maximal 0.2% bei der Gruppe P1.3 (11 Landungen Überschuss bei ca. 5200 Bewegungen) im normalen Rahmen.

### 3.5 Optimierung

Ein Problem bei der Erstellung von Datenerfassungssystemen stellen die Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt und die Hubschrauber dar, deren Beiträge zum Gesamtlärm an größeren Verkehrsflughäfen in der Regel vernachlässigt werden können. Gleichzeitig ist aber die Zuordnung dieser Luftfahrzeuge zu definierten Flugstrecken nicht ganz einfach, da sie i.a. nach Sichtflugregeln operieren. Insofern werden Kleinflugzeuge und Hubschrauber entweder gar nicht in die Berechnung mit einbezogen (wie z.B. in Frankfurt) oder es werden gewisse Vereinfachungen bei der Behandlung dieser Luftfahrzeuge vorgenommen.

Die Analyse des Datenerfassungssystems legte nahe, dass die Kleinflugzeuge einen deutlichen Overhead bei der Berechnung bilden würden. Um dies zu vermeiden, wurde eine Reihe

von Optimierungen vorgenommen, die eine sachgerechte Einbeziehung von Kleinflugzeugen und Hubschraubern in die Berechnung gewährleisten.

Eine erste Maßnahme ist es, die Anzahl der nicht-lärmsignifikanten Flugzeugklassen zu reduzieren. Dazu wurde wie folgt vorgegangen:

- Die insgesamt 12 Bewegungen der Gruppe P1.1 wurden der lauteren Gruppe P1.3 zugeordnet.
- Die insgesamt 8 Bewegungen der Gruppe H1.0 wurden der lauteren Gruppe H1.1 zugeschlagen.
- Die insgesamt 2 Bewegungen der Gruppe H2.2 wurden in 6 Bewegungen H2.1 überführt. Der Multiplikator von 3 wurde angesetzt um die höheren Immissionswerte zu kompensieren.

Diese Maßnahmen sind durchweg konservativ, führen also zu einer Erhöhung der Immissionsbeiträge gegenüber der Ausgangssituation. In den Ergebnissen der Lärmberechnung spiegelt sich diese Änderung aufgrund der geringen Beiträge aber nicht wider.

Die folgenden Maßnahmen betrafen eine mögliche Reduktion der Anzahl der Strecken für die Gruppen der Allgemeinen Luftfahrt (P1.3 und P1.4):

- Die Abflüge dieser Gruppen wurden vollständig der Bahn 28 zugeordnet, da auf dieser ohnehin mehr als 90% der VFR-Abflüge abgewickelt wurden.
- Die 2 P1.x-Anflüge auf die Bahn 16 wurden der Bahn 14 zugeordnet, alle anderen Anflüge wurden auf die Bahn 28 umgelegt.
- Alle Bewegungen der Gruppe P2.1 auf den VFR-Strecken (insgesamt weniger als 1% Bewegungen dieser Gruppe) wurden den entsprechenden IFR-Abflugstrecken zugeordnet.

Da für größere Entfernungen vom Flughafen die VFR-Strecken ohnehin in drei gemeinsame Korridore (SW, SO, NO) übergehen, wirken sich diese Umschichtungen nur auf den Nahbereich des Flughafens aus. Hier dominiert der Verkehr der übrigen Flugzeuggruppen aber die Immissionen.

Insgesamt reduzierten diese Modifikationen die Anzahl der in die Berechnung eingehenden Kombinationen von Strecke/Gruppe um mehr als 100. Außerdem machten sie die Definition

von drei zusätzlichen, aufgrund der Struktur der Anflugstrecken notwendigen fiktiven Landebahnen für Anflüge in den Richtungen 10, 32 und 34 obsolet.

### 3.6 Umsetzung der Sigma-Regelung

Der Berechnung von Lärmschutzbereichen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm ist immer ein prognostizierter Flugbetrieb zu Grunde zu legen. Ein solcher wird in der Regel auf einem langjährigen Mittel der Betriebsrichtungsverteilung aufsetzen. Diese Verteilung variiert aber von Jahr zu Jahr bzw. auch innerhalb eines Jahres vor allem aufgrund unterschiedlicher Windrichtungsverteilungen.

In dem Bestreben, diese Variationen bei der Ermittlung der Lärmbelastung mit einzubeziehen, wurden in den vergangenen Jahren verschiedene, z.T. sehr kontrovers diskutierte Verfahren entwickelt [6]. In die neue AzB wurde schließlich eine „Sigma-Regelung“ eingeführt, die durch einen Zuschlag auf der Basis der Streuung von Pegeln bzw. Überschreitungshäufigkeiten am Immissionsort realisiert wird. Dieser Zuschlag wird wie folgt ermittelt:

- Jeder Start-/Landebahn werden max. 4 „bahnbezogene Betriebsrichtungen“ zugeordnet (2 Start- und 2 Landerichtungen). Jeder dieser Richtungen kann man einen Anteil am Gesamtverkehr zuordnen. Diese Anteile ändern sich – bedingt durch unterschiedliche Windrichtungsverteilungen – von Jahr zu Jahr. Sie können auch Null sein, summieren aber immer zu Eins bzw. 100% auf.
- Die Verteilung der bahnbezogenen Betriebsrichtungen wird nun für einen Zeitraum 10 Jahren erfasst. Aus dem der Prognose zugrunde liegende Verkehr werden darauf basierend 10 modifizierte Flugbetriebe abgeleitet. Diese haben die gleiche Richtungsverteilung wie die 10 erfassten Jahre, sind aber auf die Gesamtbewegungszahl des Prognosejahres normiert.
- Für jeden zu untersuchenden Immissionsort werden nun entsprechend je zehn  $L_{Aeq}^*$  bzw.  $N^*$ -Werte sowie die daraus resultierenden Streuungen  $K_{\sigma, Leq}$  (in dB) bzw.  $K_{\sigma, Nat}$  (als Überschreitungsanzahl) berechnet.
- Auf die für den Prognosezustand am betreffenden Immissionsort ermittelten  $L_{Aeq}^*$  bzw.  $N^*$ -Werte werden dann  $3 \cdot K_{\sigma, Leq}$  bzw.  $3 \cdot K_{\sigma, Nat}$  aufgeschlagen (siehe Abschnitt 2.1).

Falls keine 10 Jahre für die Ermittlung der Betriebsrichtungsverteilungen zur Verfügung stehen, werden die K-Faktoren mit einer Korrektur  $\varepsilon$  multipliziert (s.w.u.).

Die Zuordnung der bahnbezogenen Betriebsrichtungen BBR wurde auf Basis der von Unique gelieferten Bewegungsverteilungen für die Jahre 2004 bis 2008 [15] vorgenommen.

Beim IFR-Verkehr wurden in diesen Jahren keine Abflüge in Richtung 14 (nachts auch in Richtung 10) sowie keine Anflüge in Richtungen 10 und 32 ausgewiesen. Allerdings fanden auf diesen Strecken teilweise VFR-Bewegungen statt. Diese wurden im Rahmen der DES-Optimierung für das Jahr 2007 teilweise zusammengefasst. Um die Sigma-Regelung konsistent umsetzen zu können, mussten diese VFR-Bewegungen auch für die anderen Jahre entsprechend umgelegt werden. Die VFR-Abflüge wurden daher vollständig der Richtung 28 zugeschlagen, bei den VFR-Anflügen wurden diejenigen in Richtung 16 der Richtung 14 und der Rest der Richtung 28 zugeschlagen. Die so erhaltene korrigierte Bewegungsstatistik wurde entsprechend den Vorgaben der AzB auf bahnbezogene Betriebsrichtungen für Tag und Nacht umgebrochen (siehe Abschnitt 4.3).

Normalerweise liegt einer Berechnung von Lärmschutzzonen ein prognostizierter Flugbetrieb zu Grunde. Ein solcher wird in der Regel durch ein langjähriges Mittel der bahnbezogenen Betriebsrichtungen beschrieben. Im vorliegenden Fall wird sich aber auf ein reales Jahr bezogen, das zudem noch in dem Zeitraum liegt, aus dem die Statistik der bahnbezogenen Betriebsrichtungen ermittelt wird.

Jahr	Tag			Nacht		
	Abflüge	Anflüge	Differenz	Abflüge	Anflüge	Differenz
2004	123 529	124 507	-978	4 288	3 230	1 058
2005	123 093	123 407	-314	4 354	3 906	448
2006	120 239	120 456	-217	4 099	3 775	324
2007	123 080	122 810	270	4 355	4 655	-300
2008	126 277	127 028	-751	4 999	4 217	782

**Tabelle 3-2 Verteilung der An- und Abflüge am Flughafen Zürich auf Tages- und Nachtzeit in den Jahren 2004 bis 2008 (nur IFR-Flüge).**

Naheliegend wäre es daher, aus den Jahren 2004 bis 2008 eine mittlere Verteilung der bahnbezogenen Betriebsrichtungen zu ermitteln und die Bewegungszahlen des Jahres 2007 darauf abzubilden. Leider funktioniert dieser Ansatz nicht, da das Jahr 2007 insofern deutlich von der 5-Jahresstatistik abweicht als es das einzige Jahr war, in dem Nachts mehr Anflüge als Abflüge auftraten (siehe Tabelle 3-2). Es zeigte sich, dass eine entsprechende Normie-

---

rung die Typenzusammensetzung zu stark korrumper würde. Insofern wurde auf die Normierung verzichtet und das Jahr 2007 unverändert der Berechnung zu Grunde gelegt.

Das zweite Problem ergab sich aus der Tatsache, dass aufgrund von Änderungen im Bahnnutzungskonzept nur 5 Jahre für die Anwendung der Sigma-Regelung zur Verfügung standen. Die AzB fordert aber grundsätzlich die Auswertung von mindestens 6 Betriebsjahren, wobei bei weniger als 10 Jahren die berechneten Standardabweichungen  $K_e$  mit einen Korrekturfaktor  $\varepsilon$  zu multiplizieren sind. Dieser ist in Tabelle 2 der AzB ausgewiesen und variiert zwischen 1.02 für 9 Jahre und 1.07 für 6 Jahre. Für den betrachteten Fall wurde diese Tabelle durch einen Korrekturfaktor  $\varepsilon = 1.11$  für 5 Jahre erweitert. Dieser Wert ergibt sich aus der Studentschen t-Verteilung für 10 Freiheitsgrade und das 95er Quantil.

## 4 Flugbetriebsanalyse

### 4.1 Flugbewegungszahlen nach AzB-Klassen

Tabelle 4-1 zeigt die Verteilung der Flugbewegungen von Starrflügelflugzeugen auf die AzB-Flugzeuggruppen während der Tages- und Nachtzeit in den 6 verkehrsreichsten Monaten (Mai bis Oktober) des Jahres 2007.

AzB-Gruppe	Tag (6–22 h)			Nacht (22–6 h)			Gesamt
	Abflüge	Anflüge	Summe	Abflüge	Anflüge	Summe	
P1.3	2 589	2 599	5 188	0	1	1	5 189
P1.4	1 443	1 438	2 881	3	5	8	2 889
P2.1	3 230	3 250	6 480	36	16	52	6 532
S1.1	6	7	13	1	0	1	14
S1.2	2	3	5	1	0	1	6
S3.2-A	5	0	5	0	0	0	5
S3.2-B	9	14	23	0	0	0	23
S5.1	24 480	24 166	48 646	678	1 003	1 681	50 327
S5.2	29 488	28 571	58 059	708	1 626	2 334	60 393
S5.3	1 196	1 115	2 311	11	92	103	2 414
S6.1	3 731	3 900	7 631	183	15	198	7 829
S6.2-A	5	0	5	4	0	4	9
S6.2-B	18	28	46	1	0	1	47
S6.3	1 104	1 834	2 938	731	3	734	3 672
S7-A	3	0	3	0	0	0	3
S7-B	24	27	51	0	0	0	51
Summe	67 333	66 952	134 285	2 357	2 761	5 118	139 403

**Tabelle 4-1 Verteilung der An- und Abflüge von Starrflügelflugzeugen am Flughafen Zürich für Tages- und Nachtzeit auf AzB-Flugzeuggruppen in den 6 verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007.**

Neben diesen Bewegungen wurden in den 6 verkehrsreichsten Monaten noch etwa 2 400 Bewegungen von Hubschraubern abgewickelt, die sich wie in Tabelle 4-2 aufschlüsseln.

AzB-Gruppe	Tag (6–22 h)			Nacht (22–6 h)			Gesamt
	Abflüge	Anflüge	Summe	Abflüge	Anflüge	Summe	
H1.1	1 022	1 021	2 043	0	0	0	<b>2 043</b>
H1.2	127	123	250	3	5	8	<b>258</b>
H2.1	32	33	65	1	0	1	<b>66</b>
Summe	<b>1 181</b>	<b>1 177</b>	<b>2 358</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>2 367</b>

**Tabelle 4-2 Verteilung der An- und Abflüge von Hubschraubern am Flughafen Zürich für Tages- und Nachtzeit auf AzB-Flugzeuggruppen in den 6 verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007.**

Beide Tabellen berücksichtigen die in Abschnitt 3.5 beschriebene Zuordnung der Gruppen P1.2, H1.0 und H2.2 in andere Gruppen.

AzB-Gruppe	Verkehrsanteile IFR-Verkehr		
	6–22 h	22–6 h	0–24 h
P2.1	5.1%	1.0%	5.0%
S1.1	>0.1%	>0.1%	>0.1%
S1.2	>0.1%	>0.1%	>0.1%
S3.2	>0.1%	>0.1%	>0.1%
S5.1	38.5%	32.9%	38.3%
S5.2	46.0%	45.7%	46.0%
S5.3	1.8%	2.0%	1.8%
S6.1	6.0%	3.9%	6.0%
S6.2	>0.1%	0.1%	>0.1%
S6.3	2.3%	14.4%	2.8%
S7	>0.1%	>0.1%	>0.1%

**Tabelle 4-3 Prozentuale Verkehrsanteile der AzB-Flugzeuggruppen in den 6 verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007 (nur IFR-Verkehr).**

Tabelle 4-3 zeigt die Verkehrsanteile der einzelnen Gruppen aufgeschlüsselt nach Tageszeit. Zu Grunde liegt hier nur der IFR-Verkehr. Was an dieser Tabelle auffällt, ist die Tatsache, dass die Flugzeugklasse S6.3 (also der A340) mit etwa 14% einen deutlich höheren Anteil am Nachtverkehr als am Tagesverkehr hat – wobei man aus Tabelle 4-1 entnehmen

---

kann, dass dieser Anteil fast vollständig auf Abflüge entfällt. Zu diesem Punkt wird im Rahmen der Vergleiche zwischen Mess- und Rechenwerten im Abschnitt 6.2 noch Stellung genommen.

Der Nachtfluganteil lag bei 3.5% und damit etwas über dem Mittelwert von 3.3% über die Jahre 2004 bis 2008.

Im Gesamtjahr 2007 wurden am Flughafen Zürich 268 501 Bewegungen abgewickelt (Abschnitt 3.1 des Fluglärmberichts 2007 [15]). Damit ergeben sich die Bewegungszahlen für den zweiten Rechenfall (Projektion auf das Jahr 2024 unter Berücksichtigung der Kapazitätsgrenze von 350 000 Bewegungen) aus den beiden Tabellen durch Multiplikation mit einem Faktor von 1.3035.

## 4.2 Verfügbare Bahnlängen

Die drei Start-/Landebahnen des Flughafens Zürich verfügen über folgende ausgebauten Längen:

- Bahn 10/28: 2500 m
- Bahn 14/32: 3300 m
- Bahn 16/34: 3700 m

Für die tagsüber am stärksten frequentierte Bahn 10/28 stehen nur 2500 m Startstrecke zur Verfügung. Rein formal nach den AzB-Datenblättern können auf dieser Bahn Abflüge der Klassen S6.3 (A340) sowie S3.2 und S7 mit Auslastungen B (schwere B747) nicht durchgeführt werden. Für die insgesamt 8 B747-Bewegungen auf Bahn 10/28 wurde daher die Auslastung A angesetzt. Problematisch wurde es für die Gruppe S6.3, für die in der AzB nur ein Abflugprofil für Höchstabflugmasse definiert ist (Referenz: A340-200 mit 250 t, Startrollstrecke 2800 m). Eine Unterteilung in Auslastungsstufen wurde seinerzeit nicht vorgenommen, da der A340 auf deutschen Flughäfen in der Regel mit hoher Auslastung eingesetzt wird.

2007 flogen etwa 13% der Flugzeuge dieser Gruppe (etwa 230 Bewegungen) von Bahn 10/28 ab. Diese Abflüge erfolgten nach Angaben von Unique im Mittelstreckeneinsatz und dementsprechend nicht mit Höchstabflugmasse. Um diese Flüge berücksichtigen zu können, setzte das von Avia Consult verwendete Rechenprogramm hier die Startstrecke auf die Bahnlänge herunter, ließ die anderen Parameter des AzB-Datensatzes ansonsten aber unverändert.

### 4.3 Bahnbezogene Betriebsrichtungen

Der Flughafen Zürich verfügt mit Bahn 10/28, Bahn 14/32 und Bahn 16/34 über drei Start-/Landebahnen. Gemäß dem Betriebsreglement wird tagsüber prioritätär in Richtung 28 gestartet und in Richtung 14 gelandet (diese Anflüge erfolgen über den süddeutschen Raum, siehe Abbildung 3-1). Am Morgen und Abend wird in den Richtungen 28 und 34 gelandet und in den Richtungen 32 und 34 gestartet. Je nach Wetterbedingungen wird von diesen Prioritäten abgewichen und ein anderes Nutzungskonzept verwendet. Durch Unique [16] sind drei verschiedene Konzepte definiert: Nord-, Ost- und Südflugkonzept.

Jahr	Abflüge 6 – 22 h					Anflüge 6 – 22 h			
	S10	S16	S28	S32	S34	L14	L16	L28	L34
2004	1.5%	5.5%	35.3%	6.7%	0.8%	39.7%	0.5%	6.8%	3.3%
2005	1.6%	5.5%	36.4%	5.5%	1.0%	38.9%	1.0%	6.2%	3.9%
2006	1.4%	5.9%	36.4%	5.3%	1.0%	37.3%	1.8%	6.4%	4.6%
2007	2.3%	5.2%	34.3%	7.1%	1.2%	36.1%	1.1%	8.6%	4.1%
2008	1.9%	5.1%	35.6%	6.4%	0.9%	37.0%	1.4%	7.5%	4.2%
Abflüge 22 – 6 h					Anflüge 22 – 6 h				
	S10	S16	S28	S32	S34	L14	L16	L28	L34
2004	-	0.2%	0.4%	18.7%	37.8%	4.0%	0.7%	33.1%	5.2%
2005	-	0.1%	0.1%	21.5%	31.0%	1.4%	0.2%	37.3%	8.4%
2006	-	0.1%	0.0%	14.4%	37.5%	2.6%	0.1%	37.8%	7.4%
2007	-	0.2%	0.2%	17.6%	30.3%	1.7%	0.1%	42.2%	7.7%
2008	-	0.4%	0.3%	21.6%	31.9%	1.7%	0.4%	36.8%	6.9%

**Tabelle 4-4      Übersicht über die prozentuale Verteilung der bahnbezogenen Betriebsrichtungen am Flughafen Zürich in den Jahren 2004 bis 2008 (Grundlage für die Ermittlung der Sigma-Regelung).**

Bei drei Bahnen können maximal 12 bahnbezogenen Betriebsrichtungen definiert werden. In Zürich werden hiervon nach den drei möglichen Nutzungskonzepten tagsüber 9 und nachts 8 benutzt. Tabelle 4-4 zeigt eine Übersicht über die bahnbezogenen Betriebsrichtungen in den Jahren 2004 bis 2008.

#### 4.4 Flughöhen und Gleitwinkel

Die Landegleitwinkel für ILS-Anflüge in Richtung 14 und 16 betragen  $3^\circ$ , diejenigen für ILS-Anflüge in Richtungen 28 und 34 betragen  $3.3^\circ$ . Für VFR-Strecken wurde ein Gleitwinkel von  $3^\circ$  angesetzt. Für Helikopter wurden die standardisierten Gleitwinkel- und Steigwinkel aus den Datenblättern der AzB zu Grunde gelegt (jeweils  $9^\circ$  mit Ausnahme des Gleitwinkels von  $11^\circ$  für die Klasse H1.1-L).

Die Zwischenanflughöhen betragen laut AIP 4000 ft über NN für die Anflüge in Richtung 14 und 16. Für Anflüge in Richtungen 28 bzw. 34 spezifiziert das AIP 5000 bzw. 6000 ft. Die Auswertung der Radardaten zeigte aber, dass für Anflüge aus Süden in Richtung 28 ebenfalls ein Wert von 6000 ft angesetzt werden sollte. Bezogen auf die Landeschwellen sind diese Höhen um etwa 1400 ft zu reduzieren.

Die Horizontalflughöhen für die Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt (Klassen Prop-1x) wurden mit 3500 ft über NN angesetzt. Dieser Wert wurde aus einigen Radarinformationen abgeleitet, die die Empa zur Verfügung stellen konnte. Dieser Wert wurde auch für die Hubschrauberstrecken angesetzt.

## 5 Ergebnisse der Immissionsberechnungen

### 5.1 Ermittelte Lärmkonturen

Abbildung 5-1 zeigt eine Übersicht über das gesamte Untersuchungsgebiet von 70x70 km. Eingetragen sind zusätzlich die der Berechnung zu Grunde gelegten An- und Abflugstrecken. Dabei sind nur die IFR-Strecken dargestellt, VFR- und Hubschrauberstrecken in der Darstellung sind weggelassen.

In Abbildung 5-2 sind die beiden Tagschutzzonen für bestehende zivile Flugplätze ( $L_{Aeq,Tag} = 65 \text{ dB}$  / Schutzzone 1 und  $L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$  / Schutzzone 2) dargestellt. Abbildung 5-6 zeigt die entsprechenden Kurven für das Szenario 2024.

In Abbildung 5-4 sind die Konturen des  $L_{Aeq,Tag}$  nach Fluglärmgesetz für den Ist-Zustand im Jahr 2007 dargestellt. Ausgewiesen sind die Konturen mit den Werten von 45 bis 59 dB in Schritten von 1 dB sowie die beiden Tagschutzzonen. Die entsprechenden Konturen bei angenommener Maximalkapazität im Jahr 2024 finden sich in Abbildung 5-8.

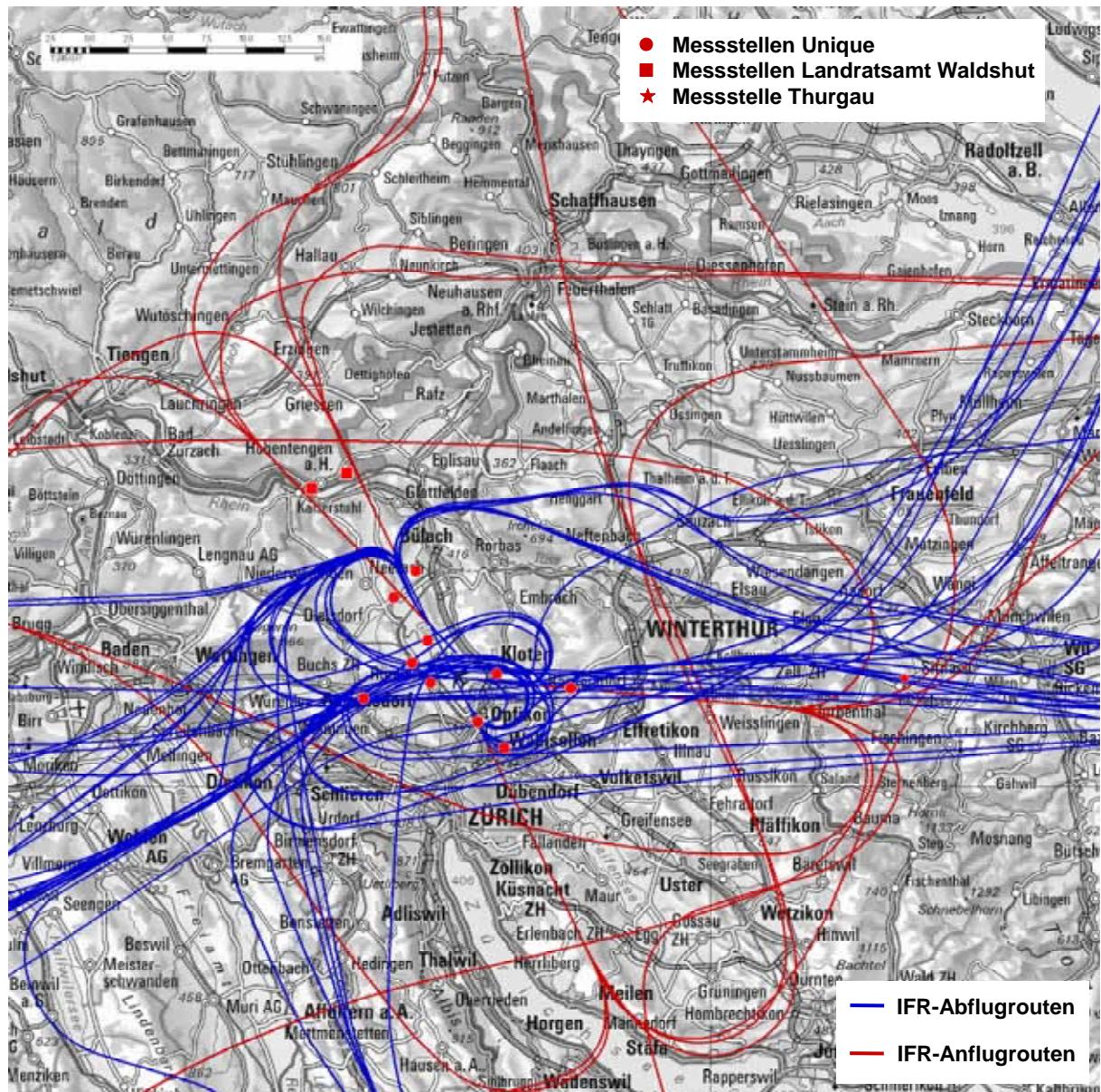
Abbildung 5-3 zeigt für das Jahr 2007 die Nachschutzzone für bestehende zivile Flugplätze (also die Einhüllende der Konturen  $L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$  und  $NAT_{Nacht,6x72}$ ). Die Nachschutzzone für die im Jahre 2024 angenommene Maximalkapazität ist in Abbildung 5-7 ausgewiesen.

Abbildung 5-5 zeigt zusätzlich die Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels für die Nacht nach Fluglärmgesetz mit den Werten von 40 bis 55 dB in Schritten von 1 dB. Zu Grunde liegt der Ist-Zustand des Jahres 2007, das Szenario 2024 ist in Abbildung 5-9 dargestellt.

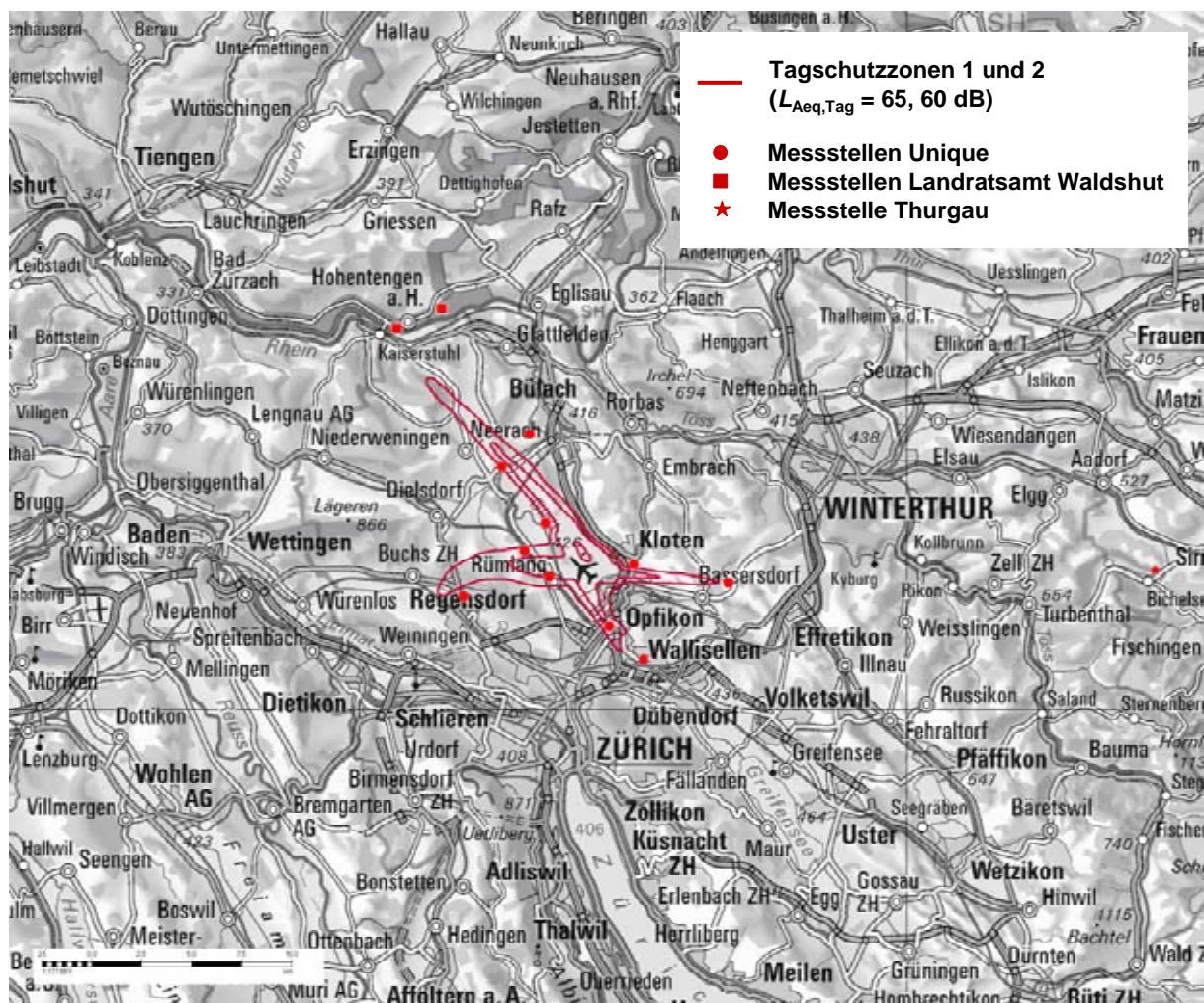
Eine Verschneidung der Konturen mit Bevölkerungsdaten ist durch Unique erfolgt und in einem entsprechenden Bericht dokumentiert. Daher wird an dieser Stelle nur eine Zusammenstellung der Flächen der Schutzzonen vorgenommen (Tabelle 5-1).

Zone	Beschreibung	2007	2024
Tagschutzzone 1	$L_{Aeq,Tag} = 65 \text{ dB}$	$12.09 \text{ km}^2$	$14.94 \text{ km}^2$
Tagschutzzone 2	$L_{Aeq,Tag} = 60 \text{ dB}$	$32.95 \text{ km}^2$	$40.88 \text{ km}^2$
Nachschutzzone	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB} \cap NAT_{Nacht,6x72}$	$32.90 \text{ km}^2$	$37.00 \text{ km}^2$

**Tabelle 5-1**      **Übersicht über die Flächen der ermittelten Schutzzonen für die Jahre 2007 (Ist-Zustand) und 2024 (Maximalkapazität). Die Flächen der Tag-schutzzone 1 berücksichtigen nicht die Insel im inneren der Zone.**

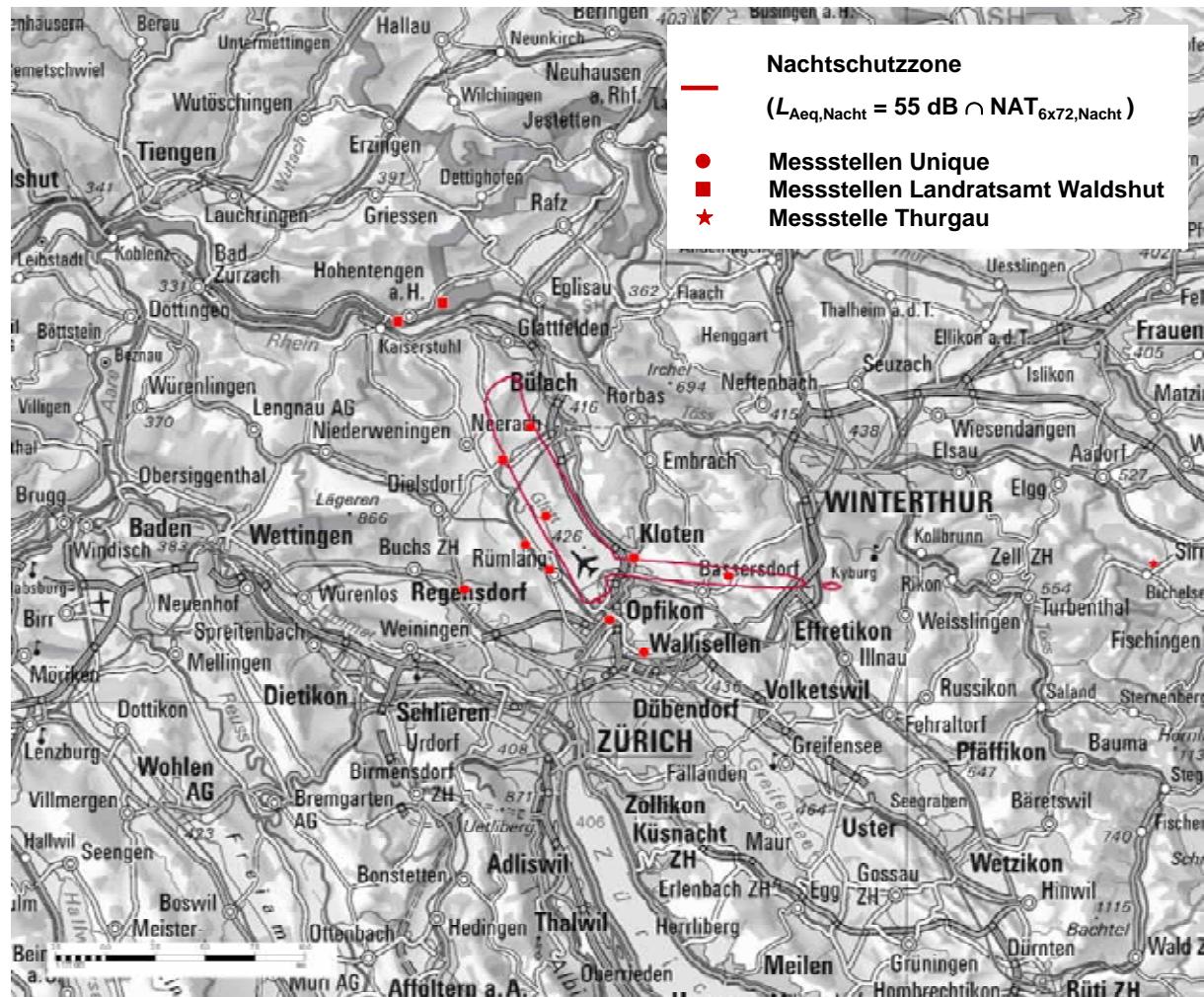


**Abbildung 5-1 Den Berechnungen zu Grunde liegende Flugstreckenstruktur im betrachteten Untersuchungsraum von 70x70 km (ohne Darstellung der VFR- und Hubschrauberstrecken).**  
**Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)**

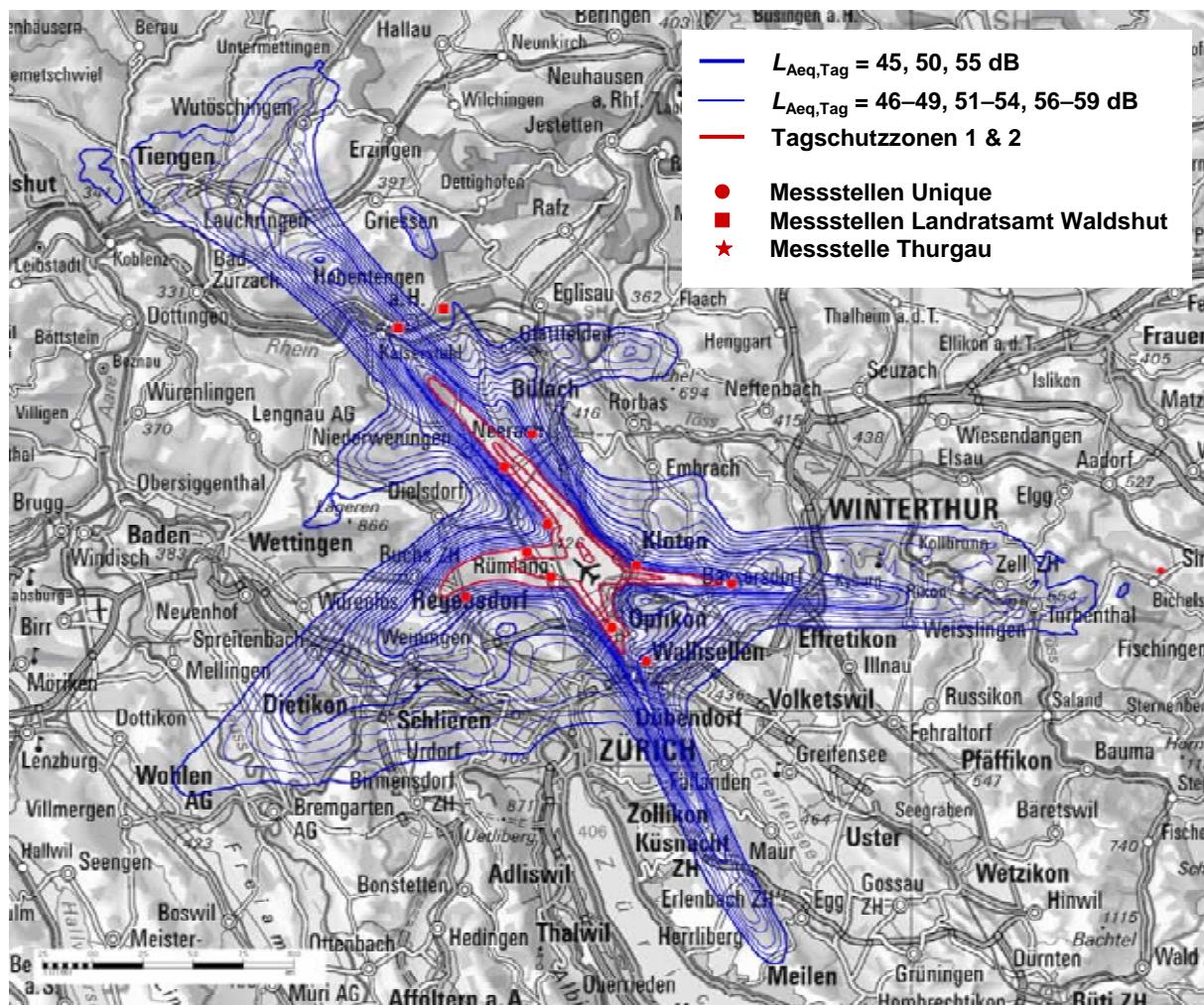


**Abbildung 5-2 Tagesschutzzonen 1 und 2 für den Ist-Zustand 2007 am Flughafen Zürich.**

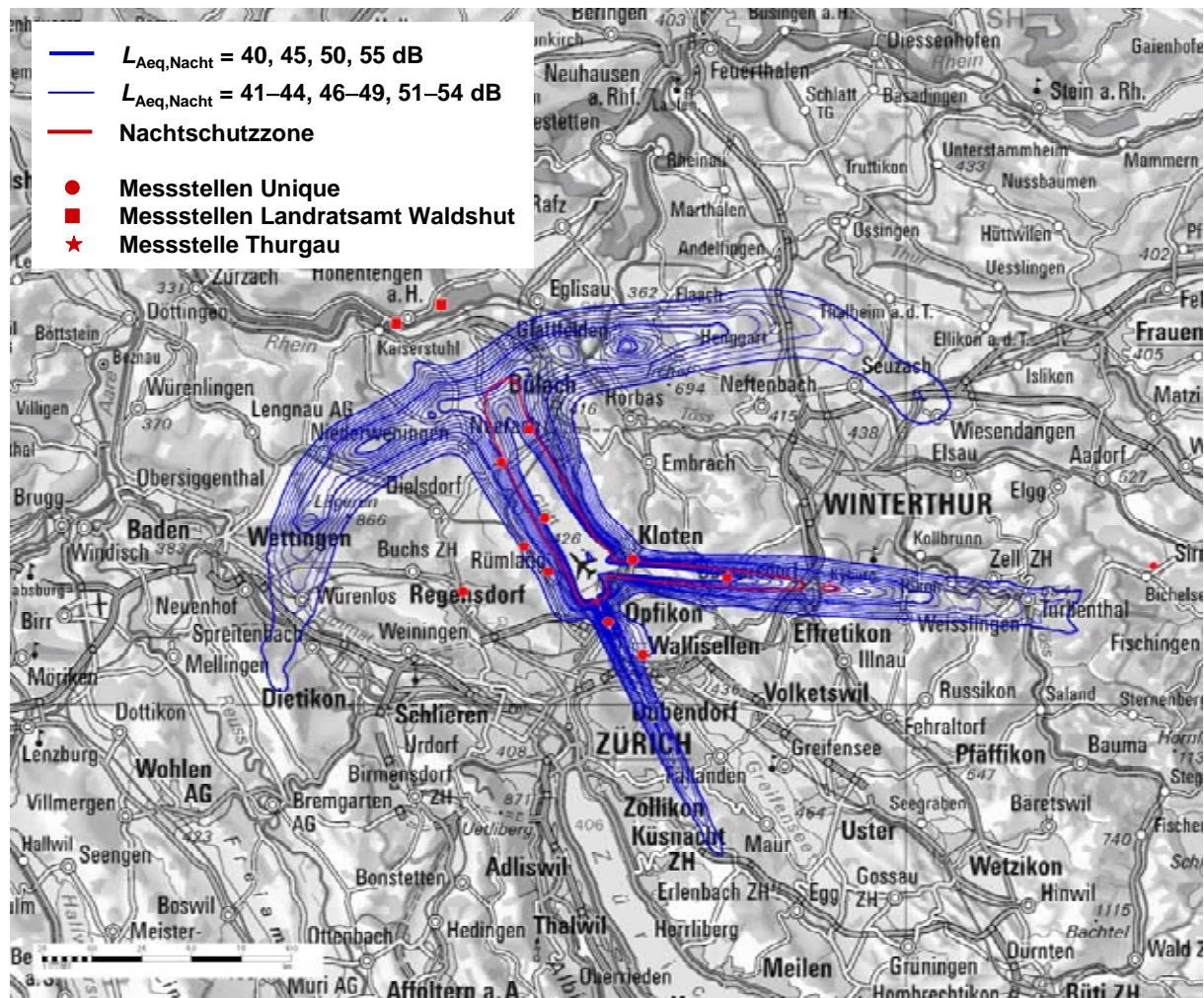
Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
 Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)



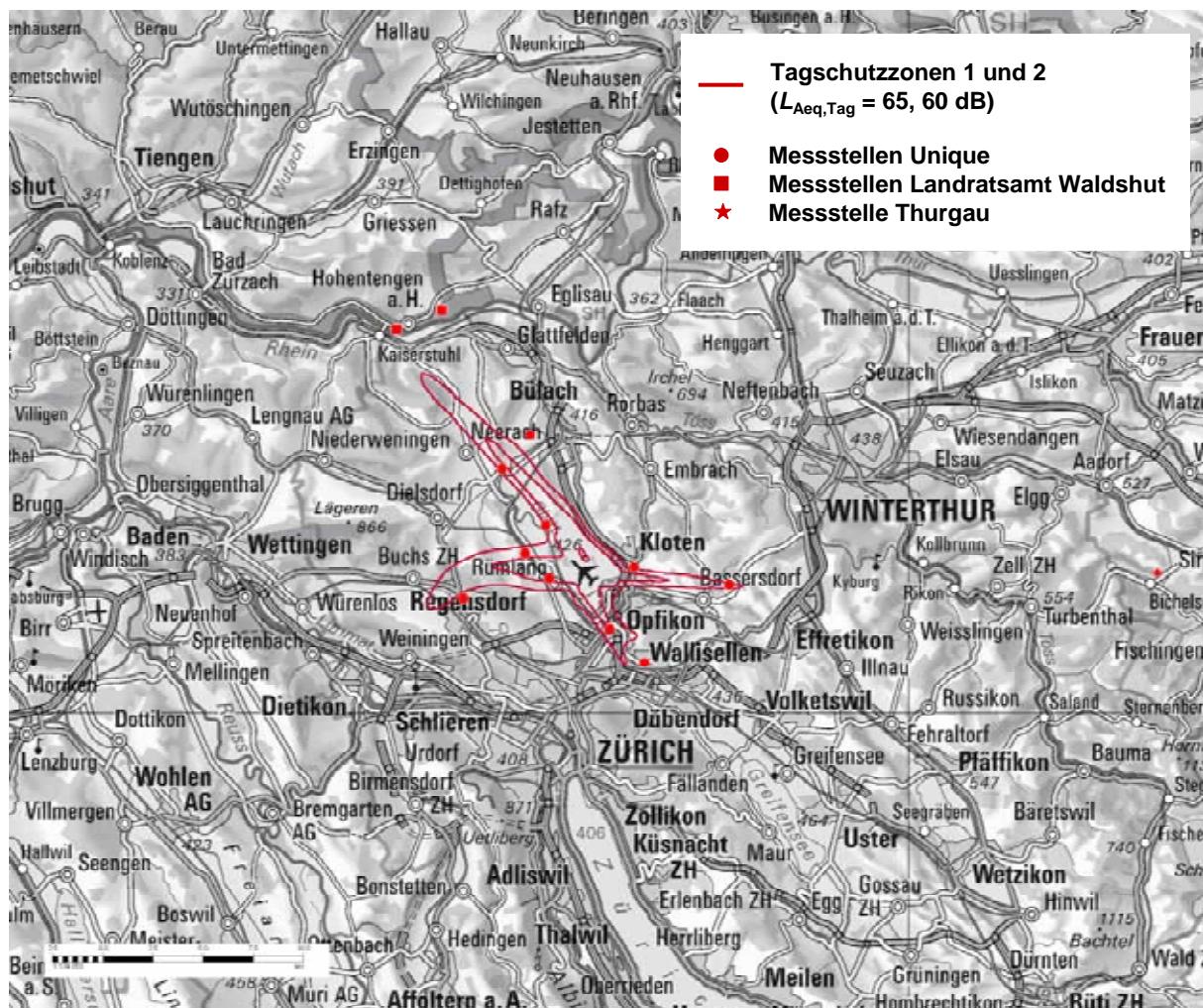
**Abbildung 5-3** Nachtschutzzone nach Fluglärmgesetz für den Ist-Zustand 2007 am Flughafen Zürich.  
 Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
 Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)



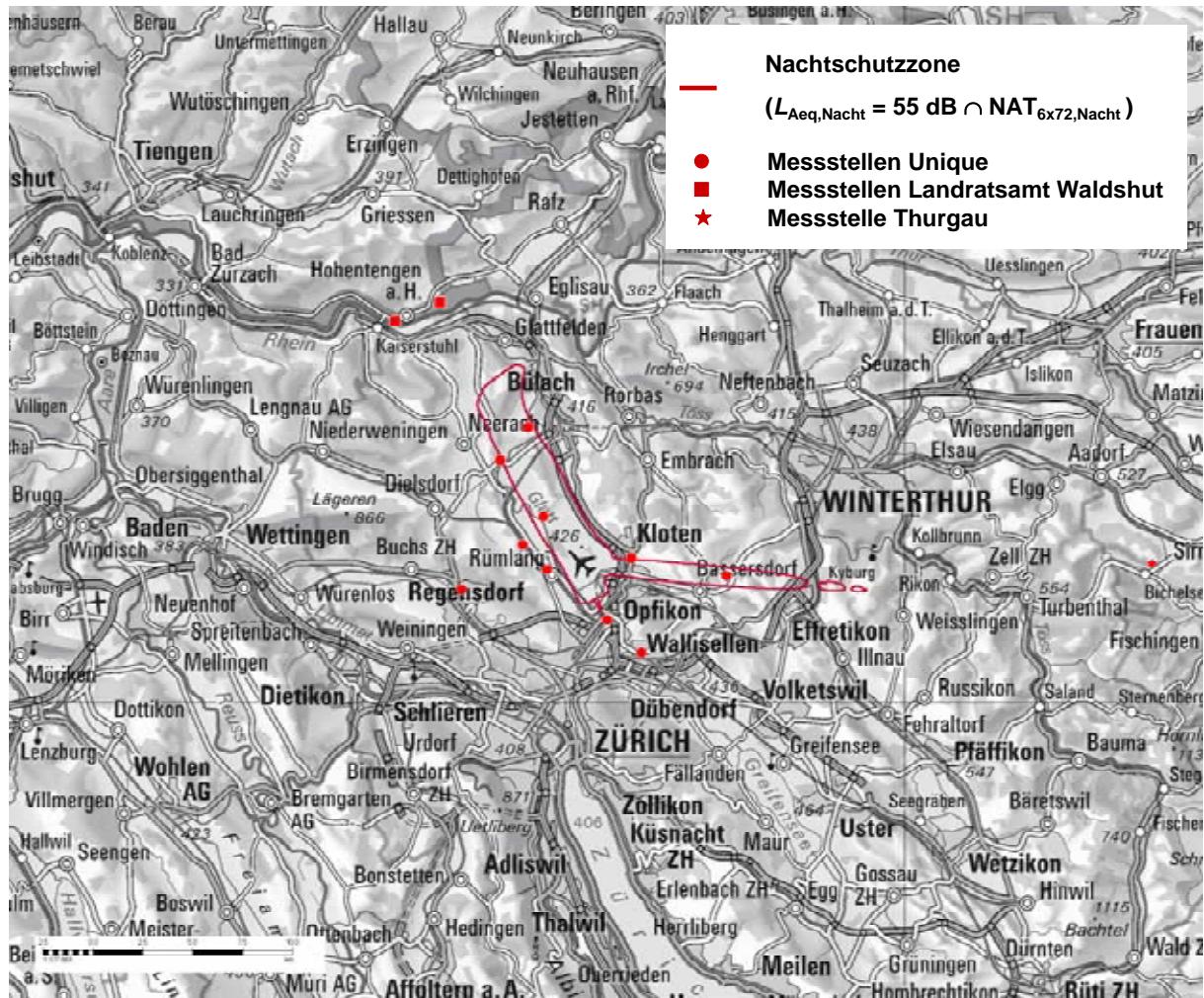
**Abbildung 5-4** Tagschutzzonen 1 und 2 sowie Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq,Tag}$  nach Fluglärmgesetz von 45 bis 59 dB in Schritten von 1 dB für den Ist-Zustand 2007 am Flughafen Zürich.  
 Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
 Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)



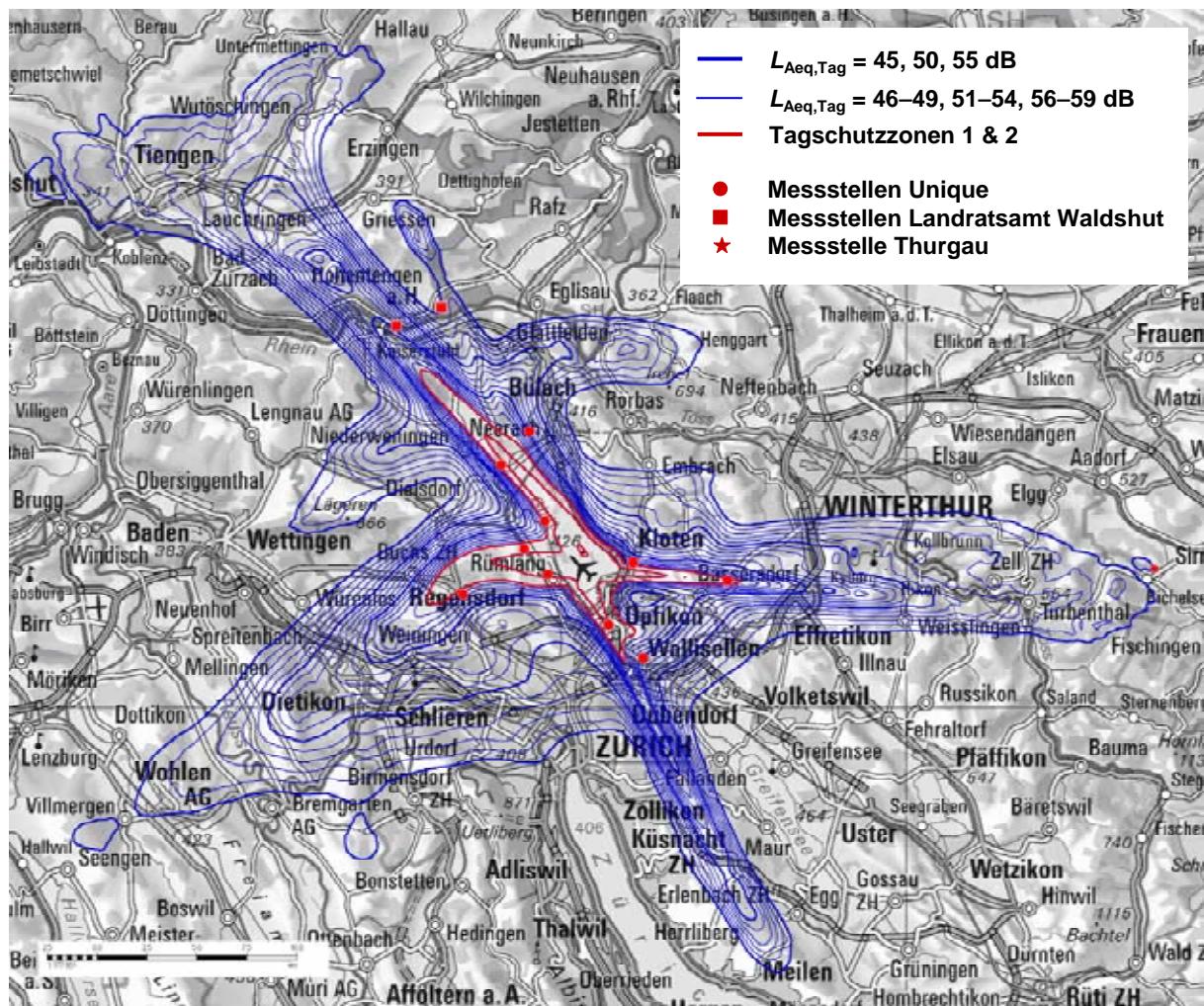
**Abbildung 5-5** Nachtschutzzone sowie Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq,Nacht}$  nach Fluglärmgesetz von 40 bis 55 dB in Schritten von 1 dB für den Ist-Zustand 2007 am Flughafen Zürich.  
 Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
 Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)



**Abbildung 5-6 Tagesschutzzonen 1 und 2 für Maximalkapazität (Prognosejahr 2024) am Flughafen Zürich.  
Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)**



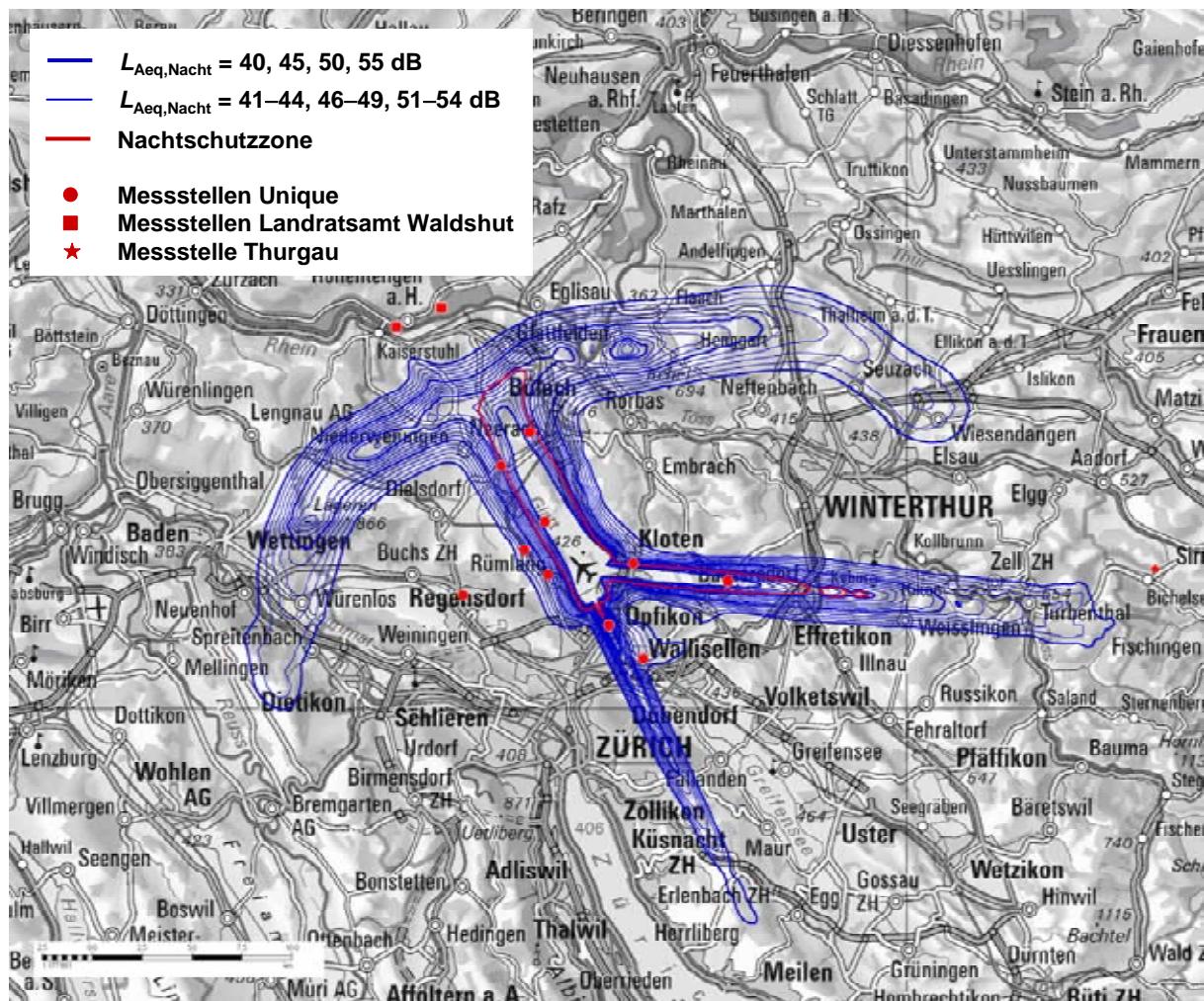
**Abbildung 5-7 Nachtschutzzone nach Fluglärmgesetz für Maximalkapazität (Prognosejahr 2024) am Flughafen Zürich.**  
 Berechnungen nach 1. FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
 Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)



**Abbildung 5-8** Tagesschutzzonen 1 und 2 sowie Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq,Tag}$  nach Fluglärmgesetz von 45 bis 60 dB in Schritten von 1 dB für Maximalkapazität (Prognosejahr 2024) am Flughafen Zürich.

Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.

Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)



**Abbildung 5-9** Nachtschutzzone sowie Konturen des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq,Nacht}$  nach Fluglärmgesetz von 40 bis 55 dB in Schritten von 1 dB für Maximalkapazität (Prognosejahr 2024) am Flughafen Zürich.  
 Berechnungen nach 1.FlugLSV (AzB-2008) durch Avia Consult.  
 Karte: PK500 ©swisstopo (DV012611.2)

## 5.2 Flächendeckende Berechnungen im Untersuchungsraum

Neben den Konturberechnungen wurden von Avia Consult auch Gitterberechnungen der äquivalenten Dauerschallpegel und der Überschreitungshäufigkeiten von 72 dB durchgeführt, die den gesamten in Abbildung 5-1 dargestellten Untersuchungsraum abdecken. Die Ergebnisse wurden Unique auf Wunsch der Auftraggeber als Grundlage für weitere Verschneidungen mit einem GIS-System zur Verfügung gestellt. Diese werden insbesondere auch den Bereich des südlichen Schwarzwaldes berücksichtigen.

Die Resultate dieser Berechnungen werden in diesem Bericht nicht ausgewiesen. Sie betreffen Bereiche, in denen aufgrund der in Abbildung 5-1 dargestellten Flugstreckenstruktur Fluglärmberchnungen wenig Sinn machen – kein derzeit verwendetes Fluglärmberchnungsverfahren liefert bei Ausbreitungsentfernen von deutlich über 10 km physikalisch sinnvoll interpretierbare Ergebnisse bzw. Aussagen über Unsicherheiten.

Die in dieser Untersuchung ausgewiesenen  $L_{Aeq}$ -Werte von 40 dB in der Nacht bzw. 45 dB am Tag repräsentieren in etwa die in der Praxis verwendeten sinnvollen unteren Grenzen des energieäquivalenten Dauerschallpegels.

## 6 Auswertung der Daten der Messanlagen

### 6.1 Einleitende Bemerkungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollten auch Vergleiche zwischen den im Jahr 2007 gemessenen und mit der AzB berechneten Immissionswerten für insgesamt 13 Messstationen durchgeführt werden. Die Lage dieser Stationen ist auch in den Abbildungen im Abschnitt 5.1 dargestellt. 10 von Unique betriebene Stationen befinden sich im direkten Umfeld des Flughafens. Zwei Stationen werden auf deutscher Seite durch das Landratsamt Waldshut und eine weitere im Kanton Thurgau durch das Department für Bau und Umwelt betrieben. Ein ursprünglich noch geplanter Vergleich für eine vom Kanton Aargau betriebene Messstation wurde nicht durchgeführt, da diese Station erst im Jahr 2008 in Betrieb genommen wurde. Mit Ausnahme der Station im Thurgau, die mehr als 25 km vom Flughafen entfernt ist, liegen alle Messstellen in einem Bereich, in dem die Datengrundlage der AzB durch Messungen an deutschen Flughäfen validiert ist.

Die bei diesen Vergleichen ausgewiesenen berechneten äquivalenten Dauerschallpegel sind natürlich nicht nach der Sigma-Regelung ermittelt, da gemessene Werte dieser Regelung nicht unterliegen. Die berechneten Werte entsprechen daher den unkorrigierten Werten  $L_{Aeq,Tag/Nacht}^*$  nach Gln.(3a,b).

Hier muss darauf hingewiesen werden, dass ein derartiger Vergleich nicht unproblematisch ist. Die AzB – genauer gesagt die ihr zu Grunde liegende Datengrundlage – ist speziell für deutsche Verhältnisse auf der Basis von Messdaten erarbeitet worden. Dabei kamen zwei Prinzipien zum Tragen, nämlich das der „akustischen Äquivalenz“ und das der „Lärmsignifikanz“.

Ersteres besagt, dass Flugzeuge dann zu Gruppen zusammengefasst werden können, wenn sie am Boden die gleiche Lärmsignatur („Noise Footprint“) erzeugen. Da die AzB ein „Immissionsmodell“ ist, das auf den gemessenen Werten am Boden aufsetzt, werden Emission und Ausbreitung hier zusammengefasst. Das bedeutet z.B., dass leisere Flugzeuge mit schlechterer Steigleistung und lautere Flugzeuge mit guter Steigleistung gruppiert werden können (wie z.B. in der AzB-Gruppe S6.1 [17]). Damit gehen aber in die Gruppierung operationelle Parameter (Auslastungen, Flugverfahren) ein, was sie implizit abhängig von lokalen Gegebenheiten macht.

Nach dem Prinzip der Lärmsignifikanz müssen vor allem diejenigen Flugzeuge bzw. Gruppen genau modelliert werden, die die Lärmsituation dominieren. Auch das kann natürlich lokal bzw. national differieren. Dominant ist zunächst einmal die AzB-Gruppe S5.2, deren

Vertreter der A320- und B737-Baureihen sind. Diese Gruppe hat an zivilen Flughäfen im Mittel einen Verkehrsanteil von etwa 50%. Bei Flughäfen mit Interkontinentalverkehr kann zusätzlich die Gruppe S7 (B747) die Lärmsituation bei Anteilen von etwa 10% deutlich mitbestimmen. Bei kleineren Flughäfen kann auch die Gruppe S5.1, bei hohem Charteraufkommen auch die Gruppe S6.1 eine Rolle spielen.

In Zürich haben (wie man aus Tabelle 4-3 entnehmen kann) die Gruppen S5.1, S5.2 und S6.1 zusammen etwa einen Anteil von etwa 90% am Verkehr.

Die Zusammensetzung dieser drei Gruppen zeigt Tabelle 6-1 für Zürich im Jahr 2007 im Vergleich mit der mittleren Zusammensetzung an 5 deutschen Verkehrsflughäfen im Jahr 2005 (diese Daten wurden im Rahmen eines Forschungsauftrages des BMVBS [17] ausgewertet, aber nicht veröffentlicht).

<b>Gruppe</b>	<b>Flugzeugtypen</b>	<b>Deutschland 2005 (5 Flughäfen)</b>	<b>Zürich 2007</b>
<b>S5.1</b>	Avro RJ, Bae146	27%	51%
	Canadair RJ	48%	8%
	Fokker 70/100	13%	14%
	Rest	12%	27%
<b>S5.2</b>	A318..A321	48%	76%
	B737	48%	21%
	Rest	4%	3%
<b>S6.1</b>	A300	37%	> 1%
	A310	8%	1%
	A330	24%	59%
	B767	22%	33%
	B777	9%	7%

**Tabelle 6-1 Zusammensetzung einiger Flugzeuggruppen der AzB am Flughafen Zürich im Jahr 2007 im Vergleich mit der mittleren Zusammensetzung über 5 deutsche Verkehrsflughäfen (CGN, DUS, FRA, HAM, MUC) im Jahr 2005.**

Die Unterschiede im Typenmix sind z.T. gravierend, vor allem in der Gruppe S5.1, die an deutschen Flughäfen durch die Canadair Regionaljets, in Zürich durch die wesentlich lauteren Avro Regionaljets („Jumbolinos“) dominiert wird. Das kann vor allem im Anflugbereich

deutliche Effekte zeigen (siehe Abschnitt 6.3). Den geringsten Effekt dürfte die unterschiedliche Zusammensetzung bei der Gruppe S5.2 zeigen, da hier die Differenzen zwischen Boeing und Airbus nicht so stark ausgeprägt sind.

Abschätzungen auf der Basis von typenspezifischen Messungen deutscher Fluglärmüberwachungsanlagen zeigen, dass der unterschiedliche Typenmix in Zürich lokal zu rechnerischen Unterschätzungen von bis zu 1 dB führen kann. Man sollte daraus aber nicht schließen, dass der Einsatz der AzB in Zürich nicht sachgerecht sei. Wie im folgenden Abschnitt ausgeführt, schwanken die Differenzen zwischen Messung und Rechnung in Zürich in einem Bereich von etwa  $\pm 2$  dB. Das entspricht auch dem Schwankungsbereich an deutschen Flughäfen. Allerdings überschätzt die AzB an deutschen Flughäfen tendenziell, während in Zürich für die Fälle, für die ein Vergleich zwischen Messung und Rechnung sinnvoll ist, beide Werte im Mittel übereinstimmen.

## 6.2 Die von Unique betriebenen Messstationen

Unique betreibt 10 stationäre Messstationen, die alle im Bereich von 10 km um den Flughafenbezugspunkt positioniert sind (siehe Abbildung 6-1). Die Messstelle 10 in Nürensdorf war im Zeitraum von Mai bis Oktober 2007 nicht in Betrieb und wurde von dem Vergleich ausgenommen. Die Messstelle 5 in Höri war nur in 4 Monaten, die Messstellen 8 (Furttal) und 9 (Kloten) waren in 2 Monaten des Beurteilungszeitraums in Betrieb. Die von Unique für diese Stationen ausgewiesenen Werte des äquivalenten Dauerschallpegels sind natürlich wie üblich auf die reinen Betriebstage bezogen.

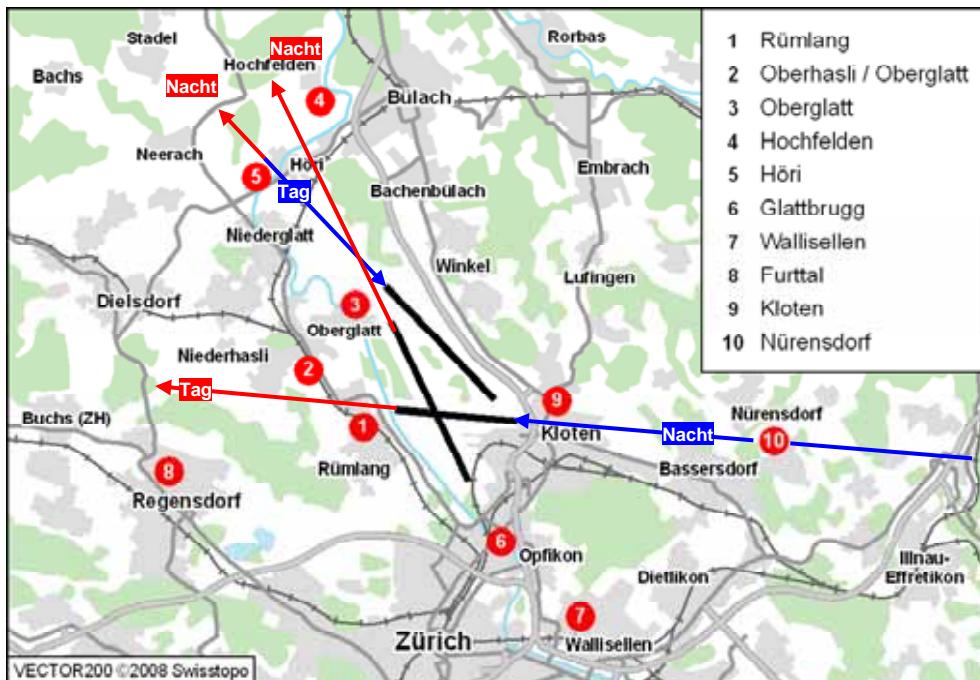


Abbildung 6-1 Lage der Fluglärm-Messstellen von Unique. Eingetragen sind auch die Hauptan- und -abflugrichtungen für Tag und Nacht.

Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 6-2 dargestellt. Die Fälle, für die ein Vergleich nur beschränkt sinnvoll ist, sind grau hinterlegt. Im Folgenden soll im Detail auf die Ergebnisse eingegangen werden.

Messstellen 1,2: Diese Messstellen liegen am Tag unter der Hauptabflugrichtung 28, sind für die Erfassung von nächtlichem Fluglärm aber nicht geeignet. Die AzB liefert in Rümlang knapp 1 dB niedrigere Pegel als die Messung. In Oberhasli überschätzt sie leicht. Die nächtlichen Überschätzungen ergeben sich aus der Tatsache, dass bei der Berechnung auch Beiträge von allen Flugstrecken erfasst werden, die bei der Messung unter die Messschwelle fallen.

Messstellen 3,4: Beide Messstellen erfassen tagsüber Anflüge. Die AzB überschätzt hier die Messwerte leicht. Nachts werden hier primär die Abflüge in Richtung 34 erfasst, die etwa zur Hälfte vom A340 bestritten werden. Die Messwerte liegen hier um 1 bis 2 dB über den Rechenwerten. Hier dürften die Datensätze der AzB nicht repräsentativ sein, da der Gruppe S6.3 bei ihrer Festlegung Mitte der 90er Jahre der A340-200 zu Grunde lag. In Zürich wurden 2007 aber 80% der S6.3-Bewegungen mit der schwereren 300er Version abgewickelt. Die verbleibenden 20% fielen fast vollständig auf die um ca. 40% schwereren A340 der 2. Generation (Versionen -500/600). Diese Verhältnisse gelten übrigens mittlerweile auch für deutsche Flughäfen. Allerdings ist der A340 hier in der Regel nicht lärmsignifikant.

Messstelle 5: Die Messstelle in Höri war nur an 109 von 184 Tagen in Betrieb. Sie erfasst tagsüber Anflüge in Hauptanflugrichtung 14 und liegt hier etwa knapp 2 dB unter der Rechnung. Nachts wird sie durch Abflüge in Richtung 32 beaufschlagt und liegt etwa 1 dB über den Rechenwerten. Das war zu erwarten, da 55% der Abflüge hier durch die Gruppe S5.1 bestritten werden. Deren Zusammensetzung ist für Zürich mit dem hohen Anteil an lautem Avro RJ nicht repräsentativ (siehe Abschnitt 6.1).

Messstellen 6,7: Diese Messstellen werden tagsüber primär durch Starts in Richtung 16 beeinflusst. Aufgrund der Bahnlänge erfolgt hier der Großteil der Abflüge der Gruppen S6.1, S6.3 und S7, wobei 2007 die Gruppen S6.1 und S6.3 etwa die Hälfte der Abflüge dieser Richtung ausmachten. Hinsichtlich des A340 (S6.3) gilt das bei der Analyse der Messstellen 3 und 4 gesagte. Bezuglich der Gruppe S6.1 muss wieder auf Tabelle 6-1 verwiesen werden – auch hier ist die Zusammensetzung der AzB-Gruppe nicht repräsentativ für den Typenmix in Zürich. Nachts kommen in Glattbrugg auch Beiträge der Rückstrahlung von Starts in Richtung 34 hinzu. Hier sind dem AzB-Modell prinzipiell Grenzen gesetzt, weil der Punkt in einem schwer modellierbaren Minimum der Abstrahlcharakteristik liegt und außerdem Ausbreitungseffekte (Inversionen etc.) eine Rolle spielen können.

Messstelle 8: Diese Messstelle ist von der Aufgabe her wie die Messstellen 1 und 2 einzustufen und zeigt auch vergleichbare Charakteristika (gute Übereinstimmung am Tag und deutliche Überschätzung durch die Rechnung in der Nacht). Allerdings war die Messstelle nur im Mai und Juni in Betrieb.

Messstelle 9: Auch in Kloten wurde nur im Mai und Juni gemessen. Diese Messstelle erfasst Anflüge in Richtung 28 und tagsüber auch Rückstrahlung von Abflügen in Richtung 28. Da hier bodennahe Schallausbreitung und auch Abschirmung eine Rolle spielt, sind die Überschätzungen durch die AzB am Tag erklärbar.

Unique-Messstelle	Berechnung		Messung		Differenz	
	$L^*_{Aeq,Tag}$ [dB]	$L^*_{Aeq,Nacht}$ [dB]	$L^*_{Aeq,Tag}$ [dB]	$L^*_{Aeq,Nacht}$ [dB]	$\Delta L^*_{Aeq,Tag}$ [dB]	$\Delta L^*_{Aeq,Nacht}$ [dB]
1 - Rümlang	65.8	41.9	66.6	39.8	-0.8	2.1
2 - Oberhasli	61.3	40.1	61.0	32.5	0.2	7.7
3 - Oberglatt	58.4	55.2	58.1	56.5	0.3	-1.2
4 - Hochfelden	52.4	50.5	52.2	52.9	0.2	-2.4
5 - Höri	60.3	48.2	58.5	49.2	1.8	-1.1
6 - Glattbrugg	63.1	49.6	65.4	50.5	-2.4	-0.8
7 - Wallisellen	52.9	37.4	53.6	38.0	-0.8	-0.6
8 - Furttal	57.1	32.1	56.4	28.3	0.8	3.8
9 - Kloten	55.3	46.1	53.6	45.7	1.7	0.4

**Tabelle 6-2** Vergleich zwischen Mess- und Rechenwerten der äquivalenten Dauerschallpegel für Tag und Nacht an den Unique-Messstellen im Jahr 2007. Grau hinterlegte Felder sind nur beschränkt für einen Vergleich geeignet (siehe Text). Berechnungen von Avia Consult, Messwerte von Unique [18].

### 6.3 Die Messstationen des Landratsamts Waldshut

Das Landratsamt Waldshut betreibt mit Unterstützung des Umweltministeriums Baden-Württemberg in den Ortsteilen Hohentengen und Herdern der Gemeinde Hohentengen am Hochrhein jeweils eine Fluglärm-Messstation. Die Betreuung dieser Stationen hat im Auftrage des Landratsamtes Waldshut die Firma Topsonic GmbH in Würselen übernommen.

Abbildung 6-2 zeigt die Lage der beiden Messstellen. Die Messstelle in Hohentengen erfasst die Anflüge in Richtung 14 (also die Hauptanflugrichtung tagsüber), die Messstelle in Herdern Anflüge auf Bahn 16.



**Abbildung 6-2 Lage der durch das Landratsamt Waldshut betriebenen Messstellen. Eingetragen sind auch Anflugstrecken in Richtungen 14 und 16.**

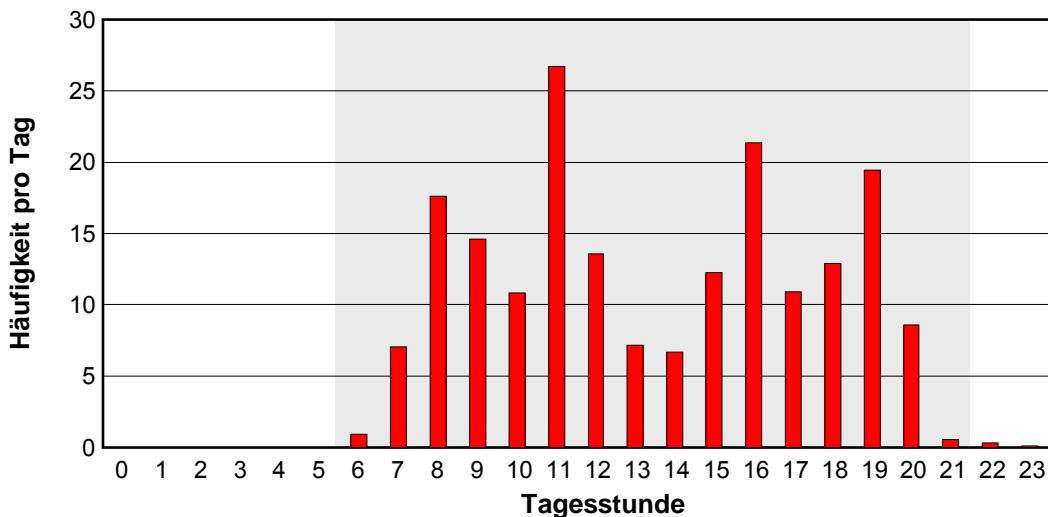
Beide Messstellen sind hinsichtlich der Geometrie zum Anflugpfad vergleichbar: Der Abstand von den Landeschwellen der Bahnen 14 bzw. 16 beträgt jeweils knapp 13 km, die Flughöhe über den Messpunkten 760 m bzw. 740 m. Die kürzesten Abstände vom Gleitpfad betragen 950 m bzw. 910 m.

Messstelle Landratsamt Waldshut	Berechnung		Messung		Differenz	
	$L^*_{Aeq,Tag}$ [dB]	$L^*_{Aeq,Nacht}$ [dB]	$L^*_{Aeq,Tag}$ [dB]	$L^*_{Aeq,Nacht}$ [dB]	$\Delta L^*_{Aeq,Tag}$ [dB]	$\Delta L^*_{Aeq,Nacht}$ [dB]
Hohentengen	52.4	30.6	53.9	30.4	-1.5	0.2
Herdern	41.7	27.8	39.5	23.7	2.2	4.1

**Tabelle 6-3 Vergleich zwischen Mess- und Rechenwerten der äquivalenten Dauerschallpegel für Tag und Nacht an den Messstellen des Landratsamts Waldshut im Jahr 2007. Der Vergleich der Nachtwerte ist nur beschränkt interpretierbar (siehe Text). Berechnungen von Avia Consult, Messwerte von Topsonic [19].**

Tabelle 6-3 zeigt einen Vergleich von Rechenwerten nach AzB 2008 mit den Messwerten für die 6 verkehrsreichsten Monate des Jahres 2007.

Da Anflüge über deutsches Gebiet nur tagsüber zwischen 6 und 22 Uhr erfolgen dürfen, macht ein Vergleich von Nachtwerten wenig Sinn, da es sich hier um Ausnahmen handelt (etwa 80 von in den Monaten Mai bis Oktober insgesamt 35 000 erfassten Ereignissen fielen in die Nacht). Wie Abbildung 6-3 zeigt, gibt es einen deutlichen Tagesgang mit Minima in den Tagesrandstunden.



**Abbildung 6-3 Verteilung der stündlichen Häufigkeiten von Überflügen an der Messstelle Hohentengen für einen Durchschnittstag in den sechs verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007 (nach [19]).**

Die unterschiedlichen Differenzen im Tages- $L_{Aeq}^*$  zwischen beiden Messorten bedürfen einer Erklärung, da ja die Geometrien nahezu identisch sind. Sie sind in den deutlich unterschiedlichen Überflughäufigkeiten zu suchen: Über Hohentengen erfolgten in den Tagesstunden der 6 verkehrsreichste Monate des Jahres 2007 etwa 45 000 Anflüge von Strahlflugzeugen, über Herdern etwa 1 300. Schätzt man ab, dass die Einzelereignispegel von Anflügen in Richtung 14 in Herdern etwa 15 dB unter den von Anflügen in Richtung 16 erzeugten Einzelereignispegeln liegen, so liefern beide in dieser Ortslage auf Grund der unterschiedlichen Häufigkeiten einen etwa gleich großen Beitrag zum äquivalenten Dauerschallpegel. Der Großteil der Anflüge in Richtung 14 fällt in Herdern aber unter die Messschwelle der Anlage (58 dB) und geht daher in den gemessenen  $L_{Aeq}^*$  nicht mit ein. Die Berechnung berücksichtigt diese Beiträge jedoch vollständig und liegt verglichen zur Messung daher von vornherein etwa 3 dB zu hoch. Bei Berücksichtigung der Messschwelle würde also in Herdern der berechnete  $L_{Aeq}^*$  wie in Hohentengen etwa 1 dB unter dem gemessenen Wert liegen.

Auch an den beiden Stationen im Landkreis Waldshut erklären sich die niedrigeren Rechenwerte teilweise durch die im Abschnitt 6.1 diskutierte, von deutschen Verhältnissen abweichende Typenzusammensetzung. Daneben können die Differenzen aber auch andere Gründe haben: Beide Messstellen liegen in einem Bereich des Anflugs, in dem Änderungen der Konfiguration (Klappenstellung, Fahrwerksstellung) die Produktion von Umströmungslärm stark variieren lassen können [20]. So kann es lokal – und z.T. auf sehr eng begrenztem Gebiet – zu deutlichen Variationen in den Emissionspegeln kommen. Derartige Effekte kann

die AzB aber – wie jedes derzeit in der Praxis eingesetzte Berechnungsverfahren für Fluglärm auch – zur Zeit noch nicht adäquat modellieren.

Die von Topsonic für das Landratsamt Waldshut erstellten Quartalsberichte [21] zeigen, dass in Herdern der Fluglärm- $L_{Aeq}^*$  aufgrund der geringen Anzahl an Überflügen etwa 14 dB unter demjenigen der übrigen Umgebungsgeräusche lag. Dies bedeutet, dass letzterer auch bei Wegfall des Fluglärms praktisch unverändert geblieben wäre. In Hohentengen lag der Fluglärm- $L_{Aeq}^*$  bei etwa 54 dB und der übrige Umgebungslärm bei etwa 49 dB. Der resultierende Gesamt- $L_{Aeq}^*$  von 55 dB wurde hier also im Wesentlichen durch die Anflüge auf den Flughafen Zürich bestimmt.

#### 6.4 Die Messstation in Balterswil im Thurgau

Die vom Departement für Bau und Umwelt des Kantons Thurgau bei Balterswil im Hinterthurgau eingerichtete Messstelle wird durch die Firma Sinus Engineering betrieben. Mit den Messresultaten sollen primär die unterschiedlichen Auswirkungen vor und nach der Inbetriebnahme des ILS in Richtung 28 dokumentiert werden. Zusätzlich unterstützen sie die Behörden in den verschiedenen Verfahren rund um den Betrieb des Flughafens Zürich-Kloten und dienen als Information für die Lärm-Betroffenen. Die Messberichte für das Jahr 2007 können im Internet heruntergeladen werden [22].

Die Messstelle befindet sich in etwa 28 km Abstand vom Flughafen (Abbildung 5-1). Im Mittel wurden pro Monat etwa 1 700 Überflugereignisse erfasst, primär Anflüge auf Bahn 28. Die gemessenen äquivalenten Dauerschallpegel des Fluglärms für Tag und Nacht lagen bei 43 resp. 36 dB. Die von Avia Consult nach AzB berechneten Pegelwerte lagen für den Tag um 0.5 dB über, für die Nacht um 0.7 dB unter den gemessenen Werten. Gesamtgeräuschpegel wurden nicht ausgewiesen.

## 7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Fluglärmbelastung am Flughafen Zürich für das Jahr 2007 rechnerisch nach der 1.FlugLSV [2] bestimmt. Neben den im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm [1] vorgeschriebenen Schutzzonen wurden zusätzlich Konturen des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq}$  berechnet bis hinunter zu Werten von 45 dB für den Tag und 40 dB für die Nacht. Entsprechende Berechnungen erfolgten für einen auf das Jahr 2024 projizierten Verkehr, der sich durch Hochrechnung der Flugbewegungszahlen auf maximale Kapazität des Flughafens (350 000 Bewegungen pro Jahr) ergab. Da die Flugbetriebsparameter (Typenmix, An- und Abflugrouten, etc.) unverändert blieben, resultiert der Hochrechnungsfaktor von 1.304 für die Bewegungszahl in einer Erhöhung der äquivalenten Dauerschallpegel von 1.15 dB im gesamten Flughafenumfeld.

Der Untersuchung lag ein von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) auf Veranlassung der Projektuntergruppe (PUG) der Arbeitsgruppe Zürich im Auftrag der Flughafen Zürich AG (Unique) erstelltes Datenerfassungssystem zugrunde. Die Erstellung dieses Datenerfassungssystems erfolgte unter wissenschaftlicher Begleitung durch das DLR. Alle Berechnungen wurden im Unterauftrag des DLR durch die Firma Avia Consult durchgeführt. Die berechneten Lärmkonturen wurden zur Weiterverarbeitung (Verschneidung mit Bevölkerungsdaten) an Unique weitergeleitet.

Neben den Konturberechnungen wurden noch für 13 Standorte von Fluglärmessanlagen (11 auf schweizerischer und 2 auf deutscher Seite) Berechnungen der äquivalenten Dauerschallpegel für Tag und Nacht durchgeführt. Diese wurden mit den in den 6 verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2007 an den Stationen gemessenen Werten verglichen. Die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung liegen im Bereich von  $\pm 2$  dB und zeigen damit eine Schwankungsbreite, die in gleicher Größenordnung liegt wie an deutschen Verkehrsflughäfen. Im Mittel entsprechen für Zürich die Rechenergebnisse den Messungen, an deutschen Flughäfen überschätzt die AzB tendenziell. In Anbetracht der Schwankungsbreiten ist die Anwendung der AzB auf Zürcher Verhältnisse eine sachgerechte Vorgehensweise.

## 8 Literatur

- [1] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: *Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm vom 31. Oktober 2007.* BGBl 2007, Teil I Nr.56, S. 2550-2556, Bonn, 9. November 2007.
- [2] Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1.FlugLSV) vom 27. Dezember 2008. BGBl I, S.2980
- [3] *Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30.03.1971.* Bundesgesetzblatt Teil I, S.282-287 (zuletzt geändert am 25.09.1990, Bundesgesetzblatt Teil I, S.2106ff).
- [4] 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).
- [5] 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.
- [6] Isermann, U.; Schmid, R.: *Bewertung und Berechnung von Fluglärm.* Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, FE-Bericht Nr. L-2/96-50144/96. Göttingen, 20.07.2000.
- [7] Basner, M.; Isermann, U.; Samel, A.; Schmid, R.: *Integration neuerer Erkenntnisse in einen Novellierungsansatz für eine Fluglärmenschutzverordnung.* Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. FE-Bericht Nr. L-3/2003-50.0301/2003. Göttingen, 13.01.2006.
- [8] Bundesamt für Landestopografie (swisstopo): *DHM25 – Das digitale Höhenmodell der Schweiz – Produktinformationen.* Juni 2005 (Download von [www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)).
- [9] Bundesamt für Landestopografie (swisstopo): *Formeln und Konstanten für die Berechnung der Schweizerischen schiefachsigen Zylinderprojektion und der Transformation zwischen Koordinatensystemen.* Oktober 2008 (Download von [www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)).
- [10] Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt: *Flughafen Zürich - Sachplan Infrastruktur Luftfahrt (SIL), Berechnungen 2008/2009, Teilbericht 2: Fluglärmberechnungen der Varianten.* Dübendorf, 07.08.2009.
- [11] Krebs, W.; Plüss, S.; Schättin, U.: *Aufbereitung der Flugbetriebsdaten des Flughafens Zürich nach der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD).* Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Bericht 451'507-1, Dübendorf, 2009.
- [12] Isermann U.: *Einfluss der physikalischen und flugbetrieblichen Bedingungen auf die Fluglärmmission am Boden.* MPI für Strömungsforschung, Bericht 11/1982, Göttingen, 1982.
- [13] Skyguide: *AIP Switzerland, AMDT 013 2007.* Wangen bei Dübendorf, Dezember2007.
- [14] Empa: DES-Datei im Excel-Format. Mail vom 16.06.2009 von U. Schättin (Empa) an U. Isermann (DLR).
- [15] Unique: *Bericht über den Fluglärm 2007.*
- [16] [http://www.unique.ch/dokumente/las\\_pistenbenuetzung.pdf](http://www.unique.ch/dokumente/las_pistenbenuetzung.pdf)
- [17] Isermann, U.; Schmid, R.; Tontsch, I.: *Umsetzung des ECAC Doc.29 in Hinblick auf deutsche Anforderungen.* Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. FE-Bericht Nr. L-6/2005 - 50.0317/2005. Göttingen, 10.07.2008.

- 
- [18] Unique: Excel-Dateien mit Messstellenkoordinaten und Messergebnissen. Mail vom 25.05.2009 von M. Bissegger (Unique) an U. Isermann (DLR).
  - [19] Topsonic GmbH: Mails mit Einzelmessdaten für die Messstellen Herdern und Hohen-tengen. 2 Mails vom 13.05.2009 von R. Gerber (Topsonic) an U. Isermann (DLR).
  - [20] Neise, W.: *Lärmoptimierte An- und Abflugverfahren (LAnAb)*. Zusammenfassender Schlussbericht des Forschungsprojekts gefördert vom Bundesministerium Wirtschaft und Technologie, November 2007.  
Download unter <http://www.fv-leiserverkehr.de/pdf-dokumenten/1600DLRAT-TA.pdf>
  - [21] Landratsamt Waldshut: Fluglärm-Messstationen Hohentengen und Herdern. Messer-gebnisse für das 1. bis 4. Quartal 2007. Mail vom 26.05.2009 von K. Eschbach (Land-ratsamt Waldshut, Amt für Umweltschutz) an U. Isermann (DLR).
  - [22] Kanton Thurgau, Department Bau und Umwelt: Jahres- und Monatsberichte Fluglärm-Monitoring Hinterthurgau.  
[http://www.dbu.tg.ch/xml\\_41/internet/de/application/d7049/f7053.cfm](http://www.dbu.tg.ch/xml_41/internet/de/application/d7049/f7053.cfm)