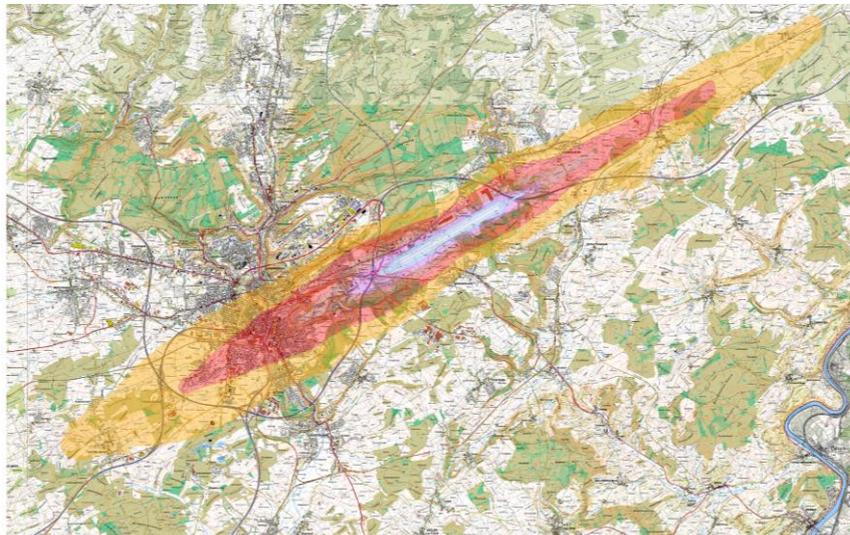


# Strategische Lärmkartierung für den Flugverkehr des Flughafens Luxemburg Findel (ELLX)

Technischer Abschlussbericht  
zur 2. Stufe der Lärmkartierung  
2012



für die

Administration de l'environnement  
c/o Service de gestion du bruit  
1, avenue du Rock'n'Roll  
L - 4361 Esch-sur-Alzette

vorgelegt von

Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH  
Wilhelm-Brand-Str. 7  
44141 Dortmund  
Tel.: 49(0)231 – 4271171  
Fax: 49(0)231 – 4271173  
Email: [info@stapelfeldt.de](mailto:info@stapelfeldt.de)





## A B K Ü R Z U N G S V E R Z E I C H N I S

ACT	Administration du cadastre et de la topographie
AIP	Airport Information Publication
ANA	Administration de la Navigation Aérienne
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
BimSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
CFL	Société Nationale de Chemins de Fer Luxembourgeois
CMT	Cellule Modèles de Transports
dB	Dezibel: Maß für den Schalldruckpegel
dB(A)	A-gewichteter Schalldruckpegel. Durch die A-Bewertung wird die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs berücksichtigt
DES	Datenerfassungssystem (für den Flugverkehr)
ECAC	European Civil Aviation Conference
EU	Europäische Union
GIS	Geografisches Informationssystem
h	Stunde
$L_{day}$	Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung am Tag (7:00 - 19:00 Uhr)
$L_{den}$	Maß für die ganztägige Lärmbelastung über 24 Stunden bei dem laute Pegel in den Abend- und Nachtstunden stärker gewichtet werden als in den Tagstunden
$L_{evg}$	Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung am Abend (19:00 - 23:00 Uhr)
$L_{ngt}$	Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung in der Nacht (23:00 - 7:00 Uhr)
LimA-Makro	Vordefinierte Befehlsfolge zur Bearbeitung von Attribut- und Geometriedaten
QSI	Qualitätsanforderungen und Prüfbedingungen schalltechnischer Software für den Immissionsschutz (s. DIN 45687)
VBEB	Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belasteten-Zahlen durch Umgebungslärm
VBUF	Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Flugplätzen



---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche und technische Grundlagen</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Daten</b>	<b>12</b>
3.1	Geometrie der Flugrouten	13
3.2	Flugverkehrsaufkommen der IFR Flüge	14
3.3	Zusätzliche Flugzeugklasse für 747-8	16
3.4	Flugverkehrsaufkommen der VFR Flüge	17
3.5	Gelände	18
3.5.1	Topographie	18
3.5.2	Schallschutzeinrichtungen	18
3.5.3	Brücken und Tunnel	18
3.5.4	Einwohner	19
3.5.5	Gebäude	19
3.5.6	Wohnungen	19
3.5.7	Schulen und Krankenhäuser	20
<b>4</b>	<b>Berechnung</b>	<b>21</b>
4.1	Verwendete Software und Organisation der Datenverwaltung	21
4.2	Berechnung der Lärmkarten	22
4.3	Berechnung der Fassadenpegel	22
4.4	Qualitätssicherung der Berechnung	22
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>23</b>
5.1	Lärmkarten	23
5.1.1	Gesamtgebiet Luxemburg, Darstellung der Lärmindizes	24
5.2	Betroffenenstatistiken	28
<b>6</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>32</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1-1:	Untersuchungsgebiet	9
Abbildung 3-1	AIP Flugrouten für IFR und VFR Flüge	13
Abbildung 3-2:	Geländemodell	18
Abbildung 5-1:	Lärmbelastung $L_{day}$ durch Fluglärm in Luxemburg	24
Abbildung 5-2:	Lärmbelastung $L_{evg}$ durch Fluglärm in Luxemburg	25
Abbildung 5-3:	Lärmbelastung $L_{ngt}$ durch Fluglärm in Luxemburg	26
Abbildung 5-4:	Lärmbelastung $L_{den}$ durch Fluglärm in Luxemburg	27

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1	Datenlieferung durch beteiligte Institution	12
Tabelle 2	IFR Flüge, aufgeschlüsselt nach Flugzeugklasse und Route	15
Tabelle 3	IFR Flüge, aufgeschlüsselt nach Zeitraum und Flugzeugklasse	16
Tabelle 4	Oktavwerte der Emission für Start- bzw. Landung der 747-8.	16
Tabelle 5	VFR Flüge, aufgeschlüsselt nach Zeitraum und Flugzeugklasse	17
Tabelle 6	Projektbezogenen Berechnungsparameter	21
Tabelle 5-1:	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{den}$	28
Tabelle 5-2:	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{ngt}$	28
Tabelle 5-3:	Flächenbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert	29
Tabelle 5-4:	Einwohnerbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert	29
Tabelle 5-5:	Anzahl Wohnungen für $L_{den}$ als Überschreitungswert	29
Tabelle 5-6:	Anzahl Schulen, Krankenhäuser für $L_{den}$ als Überschreitungswert	30
Tabelle 5-7:	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{den}$ - gerundet auf die nächsten Hundert	30
Tabelle 5-8:	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{ngt}$ - gerundet auf die nächsten Hundert	30
Tabelle 5-9:	Einwohnerbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert - gerundet auf die nächsten Hundert	31
Tabelle 5-10:	Anzahl Wohnungen für $L_{den}$ als Überschreitungswert - gerundet auf die nächsten Hundert	31



# 1 Einführung

Im Rahmen der Umsetzung der 2. Stufe der EG-Umgebungslärm-Richtlinie 2002/49/EG (EU, 2002) in Verbindung mit der nationalen Rechtslage im Großherzogtum Luxemburg wurde im Auftrag der Administration de l'environnement in Luxemburg eine Lärmkartierung für den Flugverkehr erstellt. Diese Ermittlung der Lärmbelastung dient unter anderem auch der Information der Öffentlichkeit. An die Lärmkartierung anschließend, sind – außerhalb des hier dargestellten Projekts – Aktionspläne zu erstellen, mit denen Lärmprobleme und Lärmauswirkungen sowie eventuell erforderliche Lärmminde- rungen geregelt werden sollen.

Als zu berücksichtigende Lärmquellen gelten Verkehrsflughäfen mit einem Aufkommen von 50000 Start- bzw. Landungen im Jahr. Die Lärmbelastung der Bevölkerung wird dabei getrennt für die Bereiche innerhalb bzw. außerhalb von Ballungsräumen be- stimmt. Der Ballungsraum "Agglomération de la Ville de Luxembourg et environs" be- steht aus der Stadt Luxembourg sowie den fünf angrenzenden Gemeinden Bertrange, Hesperange, Strassen, Steinsel und Walferdange und hat ungefähr 134000 Einwohner (Statec 2011).

Schallimmissionen gelten als relevant, wenn sie die Pegel von 55 dB am Tage bzw. 45 dB in der Nacht überschreiten. Für das mit 40 x 40 (km) angesetzte Untersuchungs- gebiet (Abbildung 1-1) wird diese Prämisse durch die Berechnungsergebnisse bestätigt.



**Abbildung 1-1: Untersuchungsgebiet**

## 2 Rechtliche und technische Grundlagen

Gemäß dem *Règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement* steht es dem zuständigen Minister für Umwelt zu die Lärmkarten gutzuheissen. Die für die Ausarbeitung der Lärmkarten zuständige Behörde ist die Administration de l'environnement

Administration de l'environnement  
1, avenue du Rock'n'Roll  
L – 4361 Esch-sur-Alzette

Die Arbeiten wurden auf der Grundlage folgender gesetzlicher Vorgaben durchgeführt:

- DIRECTIVE 2002/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise
- Règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement
- COMMISSION RECOMMENDATION of 6 August 2003 concerning the guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data (notified under document number C(2003) 2807) (2003/613/EC)
- Recommendations and guidelines by the European Commission and the European Environmental Agency.

Gemäß Umgebungslärmrichtlinie sind Verkehrsflughäfen nur dann zu erfassen, wenn das jährliche Verkehrsaufkommen über 50.000 Flugbewegungen liegt.

Nach Abzug der nicht zu berücksichtigenden Übungsflüge mit Leichtflugzeugen bis 2 t ergibt sich für 2011 in Sinne der Richtlinie ein Aufkommen von ca. 64.000 Flugbewegungen der IFR und VFR Flüge, d.h. Starts bzw. Landungen. Der Flughafen ist damit im Sinne der EU Richtlinie als kartierungspflichtig einzustufen.

Im kartierungsrelevanten Gebiet wurden Berechnungen der Lärmbelastung gemäß ECAC.CAEC Doc 29 Ed. II [1] unter Berücksichtigung der Empfehlungen zu den „Interimsmethoden“ durchgeführt. Als besondere Aspekte werden dabei berücksichtigt:

- Die Emissionsdaten für die jeweils genutzten Flugzeugtypen werden gemäß der Flugzeugklassen der VBUF [6] festgelegt. Sie sind identisch mit den Daten der AzB (1996), auf die sich die Hinweise zu den „Interims Methoden“ beziehen.
- Für den modernen Flugzeugtyp Boeing 747-8 wurde eine eigene neue Flugzeugklasse (S7.8) festgelegt, deren Emission in Anlehnung an den Report „Noise Modelling and the 747-8 „ [7] festgelegt wurde
- Flugrouten-Festlegung gemäß AIP [8]
- Berechnung der Immissionsrasterkarten im 10 m Raster und in 4 m Höhe über Geländeniveau für
  - $L_{day}$  als Tagwert für den Zeitraum 07:00 bis 19:00
  - $L_{evg}$  als Abendwert für den Zeitraum 19:00 bis 23:00

- $L_{ngt}$  als Nachtwert für den Zeitraum 23:00 bis 07:00
- $L_{den}$  als gewichteten, kombinierten Wert aus  $L_{day}$ ,  $L_{evng}$  und  $L_{ngt}$
- Berechnung der Fassadenwerte in einer Position unmittelbar vor den Gebäudefassaden durch Interpolation der Rasterergebnisse
- Keine Ermittlung „ruhiger Fassaden“, da die anzuwendende Norm keine schirmenden bzw. reflektierenden Hindernisse berücksichtigt

In der weiteren Auswertung zur Erfassung der durch Fluglärm belasteten Einwohner und Gebäude wurde nach dem in der VBEB (2007) beschriebenen Verfahren vorgegangen.

Alternativ zum VBEB Verfahren wurde auch eine Statistik angelegt, die mit den maximalen Fassadenpegeln eines Gebäudes arbeitet.

Als Ergebnis wird u.a. eine tabellarische Auflistung (XLS) der an die EU zu meldenden Kenngrößen gemäß den Reportnet Vorgaben erzeugt. Die XLS Datei wird als Teil der zu liefernden digitalen Daten übergeben.

Das kartierungspflichtige Gebiet umfasst alle Bereiche Luxembourgs, die relevanten Lärmbelastungen durch Fluglärm, d. h.  $L_{den}$  ab 55 dB(A) und  $L_{ngt}$  ab 45 dB(A) aufweisen.

Zur Ermittlung des  $L_{den}$  werden zunächst die Immissionspegel für Tag, Abend und Nacht bestimmt. Durch gewichtete energetische Summation wird hieraus der  $L_{den}$  abgeleitet.

### 3 Daten

Das Zusammentragen des Berechnungsmodells erfolgte auf der Basis eines gesonderten Auftrags der ANA für die „Erstellung eines Datenerfassungssystems (DES) des realen Verkehrsaufkommens zur Ausarbeitung von Lärmkarten des Flughafens Luxemburgs im Kontext der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG und der luxemburgischen Lärmaktionsplanung“.

Als wesentliche Basis für diese Aufbereitung diente die durch die ANA in Kooperation mit Brüel&Kjaer verwaltete Datenbank der Radar-Tracks sämtlicher IFR Flugbewegungen in 2011.

Andere wesentliche Modelldaten wurden durch die beteiligten Institutionen gemäß Tabelle 1 bereitgestellt.

**Tabelle 1                    Datenlieferung durch beteiligte Institution**

Geländedaten	ACT
Gebäude und Einwohner	ACT
Radar Track Daten	ANA / Brüel&Kjaer
Statistiken des Flughafens	ANA

Die DES-Datenstruktur wurde an die Belange des Flughafens bzw. der bestehenden Datenlage angepasst.

Wesentliche Arbeitsschritte der Datenaufbereitung waren:

- Erstellen eines neuen DES, das die Belange einer Berechnung nach ECAC Doc 29 berücksichtigt.
- Festlegen eines Verfahrens der Emissionsbestimmung für die gesondert zu definierenden Flugzeugtypen (Boeing 747-8 und AWACS) auf Grundlage der Veröffentlichung [7]
- Auswertung von Radar-Track-Daten, getrennt nach
  - a. An- und Abflug
  - b. Betriebsrichtung
  - c. Flugzeugtypen bzw. zugeordnete Flugzeugklasse
  - d. 5 Zeitintervalle des Tages
  - e. Zuzuordnenden Flugrouten gemäß AIP
- In den Radardaten nicht erfasste Flugaktivitäten (VFR) sowie lokale Übungsflüge wurden durch die Flughafenverwaltung getrennt gemeldet. Die Verteilung der Flugbewegungen auf die Flugrouten wurde nach dem %-Schlüssel aus 2006 vorgenommen.

In den folgenden Abschnitten werden die für die Lärmkartierung zugrunde gelegten Eingangsdaten und die für diese Daten durchgeführten Veredelungsschritte dargestellt.

### 3.1 Geometrie der Flugrouten

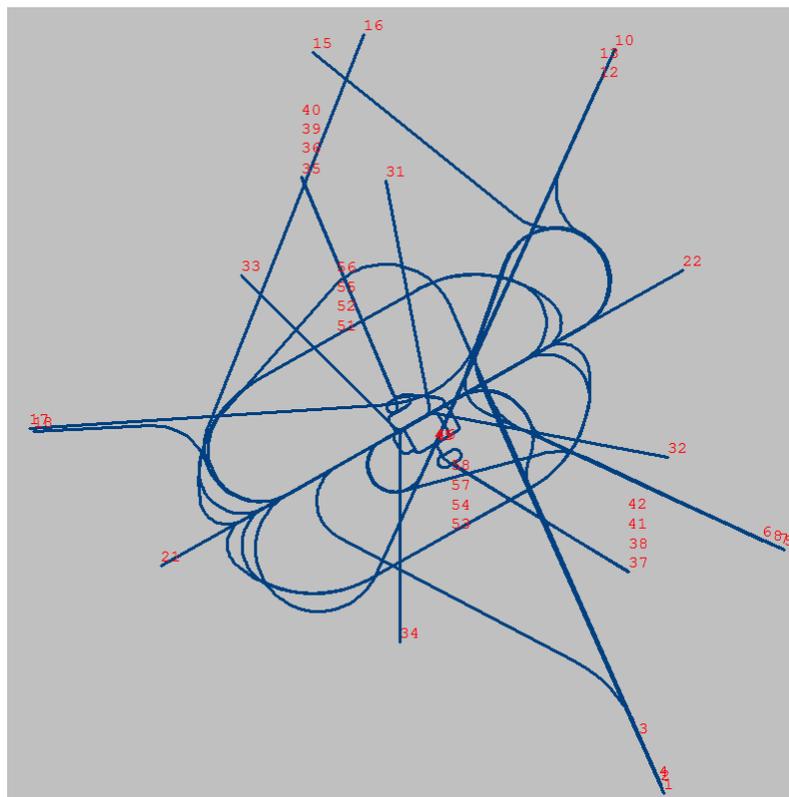
Die Berechnungen beruhen auf der Annahme, dass die erfassten Flugbewegungen entlang von definierten Flugrouten erfolgen, die den Vorgaben der AIP [8] entsprechen. Diese gelten aktuell in der gleichen Form wie in 2007.

Die AIP Routen beschreiben Grundrisse. Das Höhenprofil der Flugroute hängt von der jeweils behandelten Flugzeugklasse ab.

Die tatsächliche Streuung des Flugverkehrs gegenüber einer idealisierten Mittellinien des AIP wird in ECAC Doc 29 durch die Annahme von veränderlichen Korridorbreiten berücksichtigt, die mit zunehmender Entfernung vom Flughafen zunehmen und außerdem von der Form der Flugrouten-Grundrisse abhängen.

Die DES Flugrouten werden beschrieben durch Angabe der Lage des Bahnbezugspunktes und einer Abfolge von geraden Strecken und Kreisbögen. In Hinblick auf die Nutzung der ECAC Doc 29 werden im DES keine expliziten Korridorbreiten angegeben.

Sämtliche Routen sind in dem gesonderten Dokument LUX\_AIP\_DES.DOC [9] in dieser Weise beschrieben. Sie werden zusätzlich als XLS Datei AIP\_ROUTEN\_2011.XLS übergeben.



**Abbildung 3-1 AIP Flugrouten für IFR und VFR Flüge**

Um die Flugbewegungen gemäß Radar-Track Aufzeichnung den jeweiligen Routen zuordnen zu können, wurden zunächst aus den Grundrissen beider Geometrien wesentliche Geometriemerkmale extrahiert.

Da die Radar-Track Daten in sehr unterschiedlichen Beobachtungslängen vorlagen,

mindestens aber bis zum Erreichen bzw. Verlassen der Standardanflughöhe, wurde deren relevante Länge auf 30 km begrenzt. Entsprechende sind auf die Geometriemerkmale der AIP Routen nur auf den ersten 30 km ab Bahnbezugspunkt ausgewertet worden.

Als wesentliche Geometriemerkmale gelten:

1. Betriebsrichtung Ost oder West
2. Drehsinn des ersten Kurvenfluges
3. Entfernung in der, vom Bahnbezugspunkt aus gesehen, der erste Kurvenflug eingeleitet wird
4. Gesamtwinkel der Drehungen, getrennt für Recht- und Linksdrehung
5. Endrichtung nach 30 km

Die Gesichtspunkte 3, 4 und 5 werden gemäß ihrer jeweiligen geometrischen Exaktheit gewichtet berücksichtigt.

Zur Qualitätssicherung wurden die über die Radar-Track Daten erfassten Flugbewegungen mit den statistischen Daten des Flughafens für den internationalen IFR Verkehr verglichen. Lokale IFR Platzrunden werden in diesem Ansatz nicht betrachtet, da sie getrennt in Punkt 3.4 behandelt werden.

Die internationalen IFR Flüge sind im Dokument „Statistiques mensuelles, Aéroport de Luxembourg, Décembre 2011“ dokumentiert und weisen 55848 Flugbewegungen aus. Es ergab sich eine gute Übereinstimmung mit den Radar-Daten. Die Differenzmenge wurde durch einen allgemeinen Mengenkorrekturfaktor von ca. 2% ausgeglichen. In der Tabelle 2 werden die jährlichen Flugbewegungen pro AzB-Flugzeugklasse und pro AIP Route wiedergegeben.

Die Gesamtsumme weicht aufgrund der gerundeten Zahlendarstellung geringfügig vom Sollwert ab. Lokale Flüge wurden gesondert behandelt.

Die so entwickelte Mengenzuordnung zu den AIP Routen wurde vor der Berechnung der Lärmkarten von der ANA validiert.

### **3.2 Flugverkehrsaufkommen der IFR Flüge**

Aus den Radar-Track Daten konnten für alle IFR Flüge aus 2011 folgende Informationen bestimmt werden:

- Uhrzeit des Ereignisses
- Start- oder Landvorgang
- Ziel- bzw. Herkunftsflughafen
- Flugzeugtyp
- 3-d Geometrie der Flugspur

Die Flugzeugtypen wurden anhand einer getrennten Datenbank den Flugzeugklassen der AzB zugeordnet. Mittels der Flugzeugklassen werden während der Fluglärmrechnung die positionsabhängige Emission und das Vertikalprofil bestimmt. Die Nutzung von AzB Emissionsdaten in Kombination mit einer Ausbreitrechnung nach ECAC Doc 29 ist in den EU Hinweisen zur „Interims Methode“ geregelt.

Gemäß dem in 3.1 beschriebenen Verfahren ergaben sich für die einzelnen AIP Routen folgende nach AzB-Flugzeugklassen aufgeschlüsselten Mengen.

Tabelle 3 zeigt die Anzahl Flugbewegungen während Tag, Abend und Nacht in Abhängigkeit von der Flugzeugklasse

**Tabelle 2 IFR Flüge, aufgeschlüsselt nach Flugzeugklasse und Route**

Route	P1.3	P1.4	P2.1	S3.2	S5.1	S5.2	S5.3	S6.1	S6.2	S7	S7.8	Summe
1	50	144	10	54	1523	336	1	10	16	176	4	2324
2	48	142	20	113	1599	418	0	15	18	312	4	2689
3	1	0	0	0	183	68	0	0	0	20	0	272
4	28	112	34	23	2732	289	2	246	2	661	9	4138
5	49	54	15	4	794	63	0	3	0	133	9	1124
6	39	116	7	34	1992	281	0	8	14	96	0	2587
7	34	58	62	14	1363	324	3	64	0	452	13	2387
8	12	21	6	4	666	14	0	5	0	53	5	786
10	10	12	11	1	332	12	0	1	0	98	1	478
12	29	60	24	2	307	59	0	30	0	68	8	587
13	2	5	4	1	238	1	0	3	0	122	7	383
15	35	89	46	5	973	35	2	273	0	226	0	1684
16	53	112	202	13	2386	233	3	442	3	1182	22	4651
17	10	20	8	0	285	261	0	1	0	83	0	668
18	18	59	13	11	1314	1073	0	21	0	265	3	2777
21	225	406	172	91	5595	1183	5	363	18	1400	20	9478
22	273	648	310	185	11376	2383	7	791	38	2765	59	18835
<b>Summe</b>	916	2058	944	555	33658	7033	23	2276	109	8112	164	55848

**Tabelle 3 IFR Flüge, aufgeschlüsselt nach Zeitraum und Flugzeugklasse**

Class	D Day	A Day	D Evg	A Evg	D Ngt	A Ngt	Summe
P1.3	392	415	20	82	7	1	917
P1.4	893	907	105	140	5	7	2057
P2.1	204	182	214	67	44	233	944
S3.2	153	188	74	64	51	24	554
S5.1	13497	12459	1530	4336	1659	175	33656
S5.2	2164	2199	607	1064	696	303	7033
S5.3	12	13	0	0	0	0	25
S6.1	1009	782	68	360	46	12	2277
S6.2	17	32	26	22	9	2	108
S7	2116	2675	1168	780	662	710	8111
S7.8	50	43	14	20	23	16	166
<b>Summe</b>	<b>20507</b>	<b>19895</b>	<b>3826</b>	<b>6935</b>	<b>3202</b>	<b>1483</b>	<b>55848</b>

In der vorstehenden Tabelle beziehen sich die die mit „D“ gekennzeichneten Spalten auf Abflüge (Departure) und die mit „A“ gekennzeichneten Spalten auf Ankünfte (Approach).

Eine detaillierte Aufteilung nach Flugrouten ist dem Dokument LUX\_AIP\_DES.DOC [9] zu entnehmen, in dem die DES-Daten wiedergegeben werden.

Damit werden in der Berechnung die statistischen Angaben des Flughafens in Kombination mit den Routenzuordnungen genutzt, die aus den RADAR-Track Daten abgeleitet wurden.

### 3.3 Zusätzliche Flugzeugklasse für 747-8

Für den Flugzeugtyp 747-8 musste eine eigene Emissionsklasse festgelegt werden, da dieser Typ mit den bekannten AzB Klassen nicht hinreichend genau repräsentiert werden kann. Die neue Emissionsdefinition wurde in Anlehnung an [7] festgelegt.

Es ergab sich ein Emissionsspektrum mit den Oktavwerten der Tabelle 4  
Das Vertikalprofil wurde von der Klasse S7 der AzB übernommen.

**Tabelle 4 Oktavwerte der Emission für Start- bzw. Landung der 747-8.**

Freq (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Start	90.2	93.7	91.7	90.2	87.2	84.2	81.5	71.7
Landung	70.4	78.4	76.4	77.4	74.9	71.9	72.4	58.9

Die Werte wurden aufbauend auf den Daten der AzB Klasse 7 ermittelt, wobei auf eine externe Studie [7] zurückgegriffen wurde. Hierin wurden zunächst für einen Start- bzw. Landevorgang für bestimmte Rezeptor Positionen nach ECAC Immissionswerte berechnet. Die Ergebnisse wurden mit Messwerte verglichen, die für diese Positionen für reale Start – bzw. Landungen erhoben wurden. Die ermittelte Differenz von -3.1 dB für die Landung und -5.3 dB für den Start wurde zur Korrektur der Emissionsspektren genutzt, so dass sich die Werte der Tabelle 4 ergaben.

### 3.4 Flugverkehrsaufkommen der VFR Flüge

Das Gesamtaufkommen der VFR Flüge in 2011 konnte den statistischen Daten des Flughafens entnommen werden. Gegenüber den Mengenansätzen in 2007 ergibt sich eine Reduktion des Verkehrsaufkommens auf ca. 81 %. Unter der Rubrik „VFR Flüge“ sind überwiegend Platzrunden zu Test- bzw. Trainingszwecken subsummiert. Hierin sind auch einige wenige lokale IFR Flüge enthalten, die nicht in die Rubrik der internationalen IFR Flüge nach 3.2 enthalten sind.

Die Flugzeugklassen- und richtungsbezogenen Mengen aus 2007 wurden um diesen Faktor korrigiert.

**Tabelle 5 VFR Flüge, aufgeschlüsselt nach Zeitraum und Flugzeugklasse**

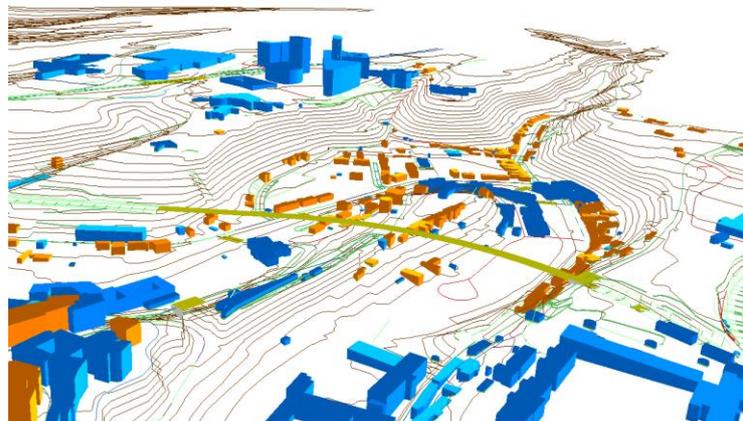
Class	D Day	A Day	D Evg	A Evg	D Ngt	A Ngt	Summe
P1.3	6014	6005	2433	2447	2	0	16901
P1.4	50	50	8	8	0	0	116
P2.1	2	2	0	0	0	0	4
S3.2	0	0	0	0	0	0	0
S5.1	66	66	0	0	0	0	132
S5.2	12	12	0	0	0	0	24
S5.3	0	0	0	0	0	0	0
S6.1	0	0	0	0	0	0	0
S6.2	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0
S7.8	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe</b>	6144	6135	2441	2455	2	0	17177

Eine detaillierte Aufteilung nach Flugrouten ist dem Dokument LUX\_AIP\_DES.DOC [9] zu entnehmen.

### 3.5 Gelände

Seitens ACT wurden für das Gesamtgebiet Höhenlinien in einer vertikalen Abstufung von 5 m geliefert. Ein Geländeeraster mit einer Auflösung von 5 m (x,y) lag ebenfalls vor, das allerdings aus den 5 m Höhenlinien interpoliert worden war. Das für die Berechnung genutzte Programmsystem LimA arbeitet seinerseits mit einer automatischen, kontinuierlichen Geländeinterpolation zur Bestimmung der Fußpunkthöhen von Objekten bzw. Aufpunkten. Auf die Nutzung der Rasterdaten wurde deshalb verzichtet.

Zusätzlich gab es in den Ausgangsdaten sporadische Böschungskanten. Da diese teilweise lediglich in der Vergangenheit aufbereitet wurden, um ersatzweise Brücken abzubilden, wurden diese nur sehr eingeschränkt übernommen. Im Bereich der Schienenwege konnten von der CFL detaillierte Geländedaten geliefert werden, die ebenfalls in das Gesamtmodell mit einfließen.



**Abbildung 3-2: Geländemodell**  
Höhenlinien Böschungen

#### 3.5.1 Topographie

Das Verfahren zur Berechnung der Schallimmissionen aus Flugverkehr nach ECAC Doc. 29 berücksichtigt keine spezifischen Bodenverhältnisse. Eine Bodenimpedanz, die im Berechnungsmodell über TOP Flächenobjekte abgebildet würde, wurde deshalb für diese Berechnung nicht genutzt.

#### 3.5.2 Schallschutzeinrichtungen

ECAC Doc 29 berücksichtigt keine Schirmeffekte diskreter Schirme, sondern lediglich eine erhöhte Schalldämpfung für bodennahe Ausbreitbedingungen. Schallschutzeinrichtungen sind deshalb nicht Bestandteil des Berechnungsmodells.

#### 3.5.3 Brücken und Tunnel

Informationen über die Lage von Brücken und Tunneln ergab sich aus den Achslagen sowie aus dem ACT Datenbestand. Sie wurden für die Verfeinerung des Geländemodells genutzt, sind aber für die Schallausbreitberechnung des Fluglärms ohne eigene Bedeutung.

### 3.5.4 Einwohner

Angaben zu den Einwohnern lagen zunächst in den QSI Ausgangsdaten gebäudescharf für den Stand 2011 vor, wurden aber in 2012 noch einmal aktualisiert. In Luxembourg Stadt wurden Angaben der Stadtverwaltung ausgewertet, wodurch die Gebäude mit tatsächlicher Wohnnutzung weiter eingegrenzt werden konnten. Für gemischt genutzte Gebäude wurde die gewerbliche Nutzung der Erdgeschosse bei der Verteilung der Einwohner auf die Wohnflächen der Gebäude berücksichtigt. Weiter stand die Datenbasis Occupation Biophysique du Sol 1999 (OBS99) zur Verfügung mit Flächenpolygonen und Angaben zur jeweiligen Flächennutzung. Diese Flächennutzung wurde als zusätzlicher Filter genutzt, um tatsächliche Wohngebäude zu erkennen. Einwohnerzahlen wurde anschließend neu zugeordnet.

Entsprechend den Vorgaben der VBEB werden die Einwohnerangaben mit den berechneten Fassadenpegeln verknüpft, um die Belastung der Bevölkerung abzuschätzen. Nur die als Wohngebäude ausgewiesenen Gebäude verfügen über Einwohnerangaben > 0. Um möglichen Fehlern in der Einordnung als Wohngebäude vorzubeugen, wurden in der Fassadenberechnung auch Gebäude mit einer anderen Nutzungseinordnung berücksichtigt. Im Einzelnen handelt es sich um folgende zusätzliche Nutzungsklassen:

- 4.8 Commercial
- 4.6 Industrial
- 4.22 Centre Sport

### 3.5.5 Gebäude

Gebäude mit 3-d Angaben zur Höhe der Traufkante wurden von ACT bereitgestellt. In wenigen Fällen wurden Gebäude nachträglich digitalisiert bzw. Gebäude mit einer unrealistischen Angabe zur absoluten Höhe mit eine relativ-bezogenen Default-Höhe belegt.

Da die ECAC keine konkreten Schirm- bzw. Reflexionseffekte berücksichtigt, werden Gebäude nur benötigt, um die Positionen der Aufpunkte in der fassadenbezogenen Immissionsberechnung festzulegen und so die Exposition der Bevölkerung zu ermitteln.

Für alle seitens ACT als Wohngebäude ausgewiesene Gebäude (Kennung 4.5) wurde das Attribut FUNC auf den Wert 4500 gesetzt. Für Gebäude mit ausgewiesener Nutzung 4.8, 4.6, 4.22 (Commercial, Industrial, Centre Sport) wurde anhand ihrer Geometrie zusätzlich abgeprüft, ob sie potentielle Wohngebäude sind. In diesem Fall wurde FUNC auf 4501 gesetzt. Ansonsten wurden 4.8 und 4.6 Objekte als Industrieobjekte eingestuft, für die keine Fassadenberechnung erforderlich ist. Für 4.22 Objekte wurden unabhängig von ihrer Geometrie Fassadenpunkte berechnet.

### 3.5.6 Wohnungen

Angaben zur Anzahl Wohnungen pro Gebäude lagen nicht vor. Da sie für die statistischen Meldungen an die EU benötigt werden, wurden sie in Anlehnung an VBEB pauschal mit 2.1 Einwohner pro Wohnung angesetzt, so dass mit der bekannten Einwohnerzahl der Gebäude die Anzahl der Wohnungen zu berechnen war.

### 3.5.7 Schulen und Krankenhäuser

Die in den ACT Daten vorhandene Kodierung zur Gebäudenutzung wurde auch herangezogen, um Schulen und Krankenhäuser zu identifizieren, da deren Lärm-Exposition gesondert zu melden ist. Beide gehören als öffentliche Gebäude zur Klasse 4.9. Ausgewählt wurden innerhalb dieser Klasse eine Reihe von Unterklassen:

- Schulen:
  - -19 Schulen
  - -20 Kinderhaus
  - -21 Spezialschule
  - -22 Konservatorium
  - -23 Kulturzentrum
  - -24 Theater
  - -43 Kinderkrippe
- Krankenhäuser:
  - -27 Krankenhaus
  - -28 Pflegeheim
  - -29 Altersheim
  - -30 Blindenheim
  - -31 Sanatorium
  - -32 Heim
  - -33 Rotes Kreuz

Für die interne Verarbeitung wurde für Schulgebäude das Attribut FUNC einheitlich auf 4919 und für Krankenhäuser einheitlich auf 4927 gesetzt.

## 4 Berechnung

### 4.1 Verwendete Software und Organisation der Datenverwaltung

Die Lärmberechnungen, Belastungsanalysen und das Aufstellen des EU-Reports erfolgen mittels des Programmsystems LimA, Version 9.01.

Für die Modelldaten, die nicht die Flugaktivitäten beschreiben, wurde auf die Datensätze zurückgegriffen, die im Zusammenhang mit der Kartierung des Straßen- bzw. Schienenverkehrs erarbeitet wurden. Damit wird ein einheitliches akustisches Basismodell genutzt.

Die Berechnungsparameter für die Fluglärmrechnung sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

**Tabelle 6 Projektbezogenen Berechnungsparameter**

Einfangradius für Quellen	8000	m
Maximaler dynamischer Fehler	0	dB
Rasterweite	10	m
Rezeptorhöhe über Gelände	4	m
Standardgleitwinkel für Anflug (entspricht 5%)	2.87	Grad
Länge der Landebahn	4000	m
Standard-Anflughöhe	4500	ft über N.N.
Meteorologische Korrektur	entfällt	

## 4.2 Berechnung der Lärmkarten

Die Lärmkarten wurden in einem 10 m Raster für eine Aufpunkthöhe von 4 m über Gelände berechnet. Die gemeindebezogenen Ergebnisse wurden in Grafiken gewandelt, um eine gemeindebezogene Auswertung zu erleichtern. Zusätzlich werden die berechneten Immissionswerte für Tag, Abend, Nacht und  $L_{den}$  auch als ASCII-Raster-Dateien übergeben.

Die Relevanzgrenze für die Immissionswerte wurde gemäß EU Direktive für den  $L_{day}$  und  $L_{evg}$  auf 55 dB und für den  $L_{ngt}$  auf 45 dB festgelegt.

## 4.3 Berechnung der Fassadenpegel

Gemäß VBEB wurden für alle Wohngebäude, Schulen und Krankenhäuser Fassadenpegel in 0,1 m Abstand zur Fassade berechnet. Der seitliche Abstand richtet sich dabei nach den detaillierten Vorgaben der VBEB.

Die Pegelwerte an den Fassadenpunkten wurden durch Interpolation der Ergebnisse der 4 benachbarten Gitterpunkte der Rasterberechnung bestimmt.

Neben den tabellarischen Ergebnissen in Dateien mit x,y,z-Bezug werden die Ergebnisse zusätzlich pro Gebäude aggregiert. Innerhalb der Gebäudegrundfläche wird dabei ein Punkt-Shape (WGF-Objekt) angelegt, in dem die Anzahl Fassadenpunkte innerhalb der einzelnen Pegelklassen dokumentiert werden.

Ruhige Fassaden im Sinne der EU Lärmkartierung können bei Anwendung der ECAC Doc 29 nicht ermittelt werden, da die Gebäude keine den Lärm abschirmenden Effekte liefern und deshalb die Fassadenpegel auf den Fassaden eines Gebäudes nicht um das erforderliche Maß von 20 dB streuen werden.

Für die Erfassung der Anzahl belasteter Personen wird gemäß den Vorgaben der EU Umgebungslärmrichtlinie jeweils der maximale Wert für  $L_{den}$  und  $L_{ngt}$  pro Gebäude herangezogen.

## 4.4 Qualitätssicherung der Berechnung

Besondere Berechnungen zur Qualitätssicherung der Berechnungsergebnisse im Sinne der DIN 45687 wurden nicht durchgeführt, da dies für eine Berechnung nach ECAC nicht vorgesehen ist. Das in der DIN beschriebene Verfahren zur Qualitätsprüfung ist für diese Untersuchung nicht anwendbar, da dieses Verfahren darauf abzielt, Modellvereinfachungen zu validieren während in dieser Studie keine solchen Vereinfachungen angesetzt wurden.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Lärmkarten

Aus den Rasterergebnissen für  $L_{day}$ ,  $L_{evg}$ ,  $L_{ngt}$  und  $L_{den}$  wurden SHAPE Dateien erzeugt, um die Lärmbelastung in der Fläche darzustellen.

In den Rasterergebnissen werden nur tatsächlich berechnete Werte ausgewiesen. Eine Interpolation von Ergebnissen mit der Zielsetzung, die Berechnung zu beschleunigen, wurde nicht angewandt.

Zum Zweck einer besseren kartographischen Darstellung wurden die Ergebnisse des 10 m Rasters auf 1 m interpoliert.

Die Ergebnisgraphiken werden gesondert übergeben und sind in diesem Bericht nur exemplarisch dargestellt.

### 5.1.1 Gesamtgebiet Luxemburg, Darstellung der Lärmindizes

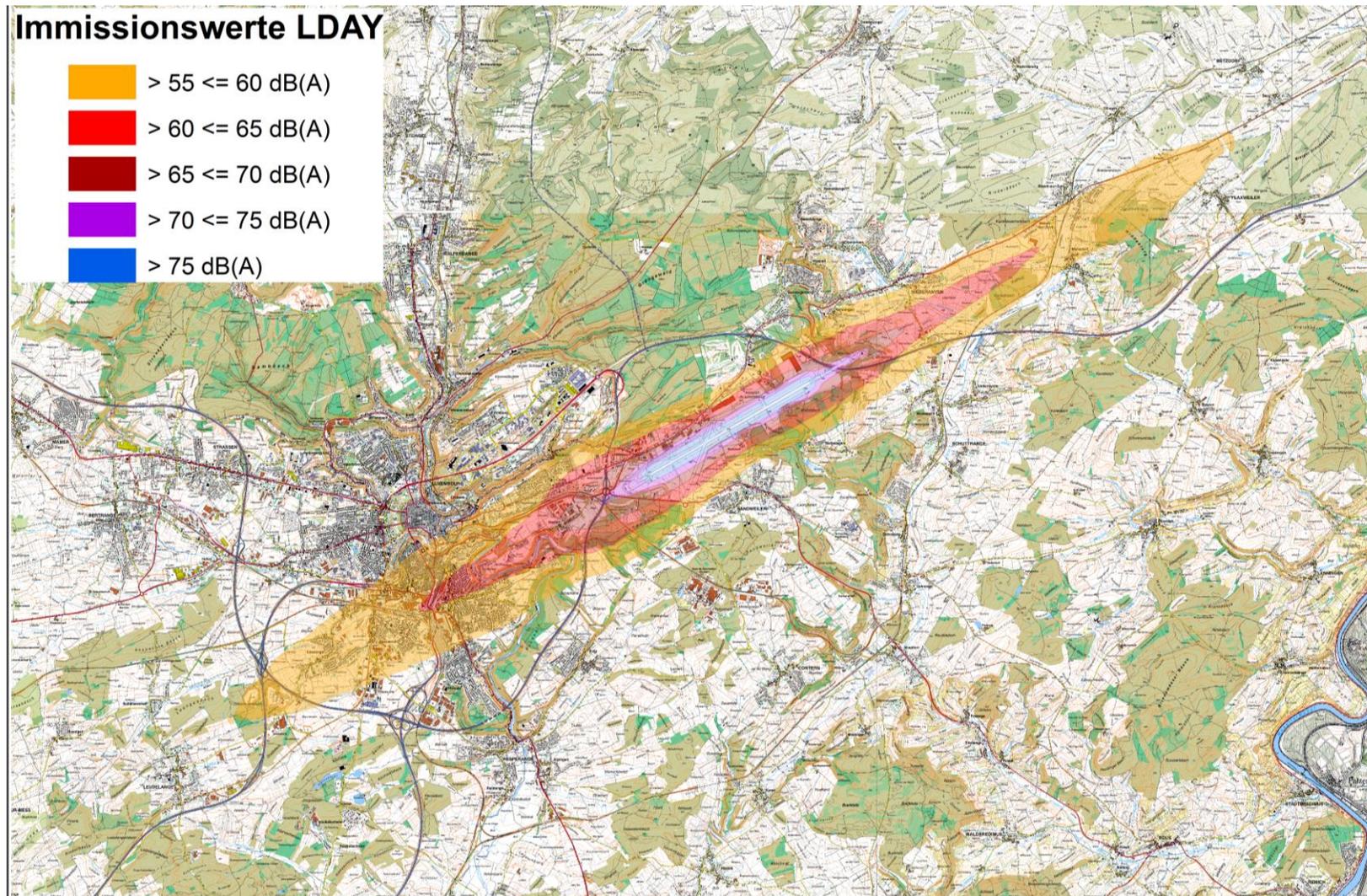


Abbildung 5-1: Lärmbelastung  $L_{day}$  durch Fluglärm in Luxemburg

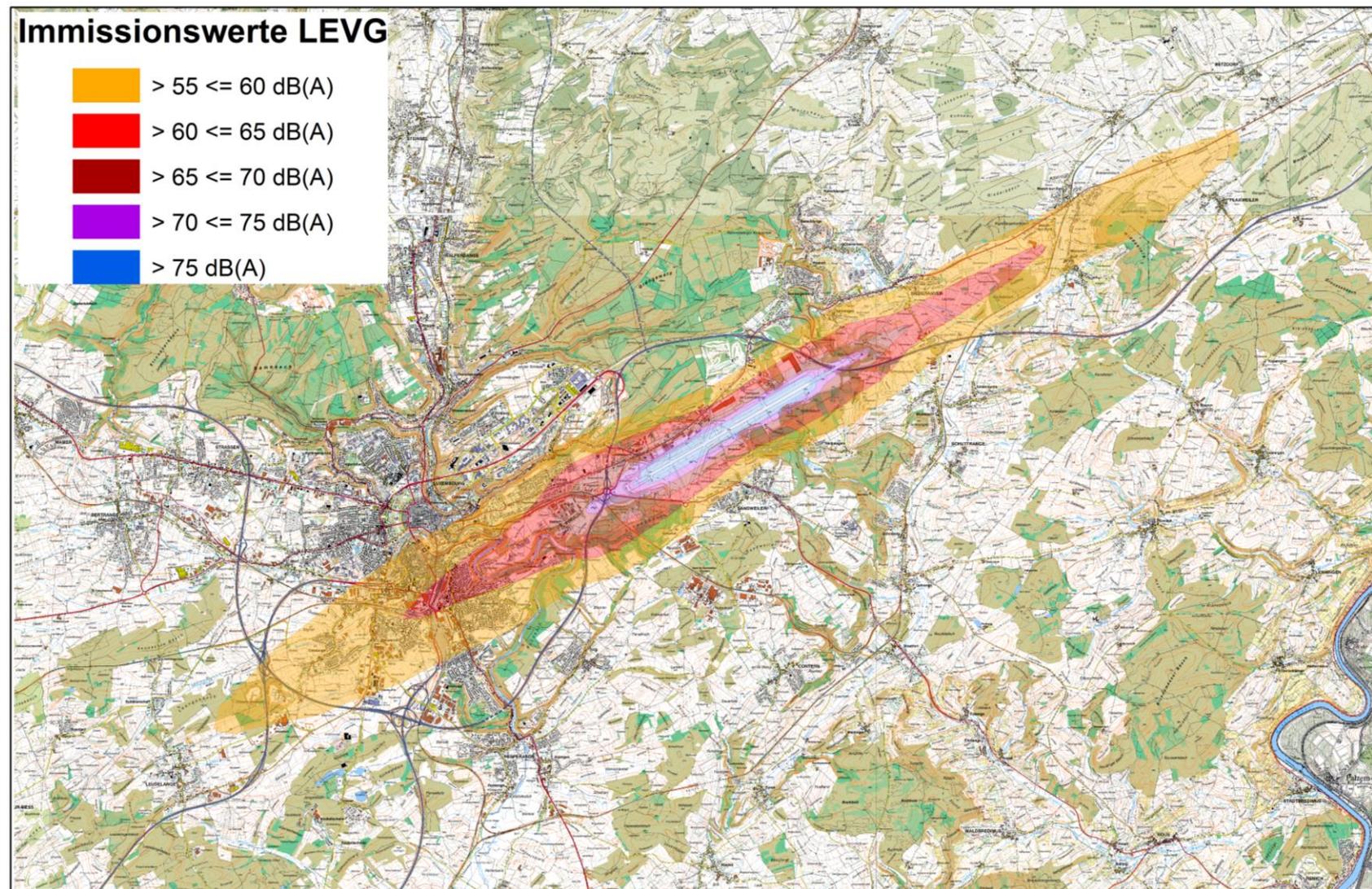


Abbildung 5-2: Lärmbelastung  $L_{\text{evg}}$  durch Fluglärm in Luxemburg

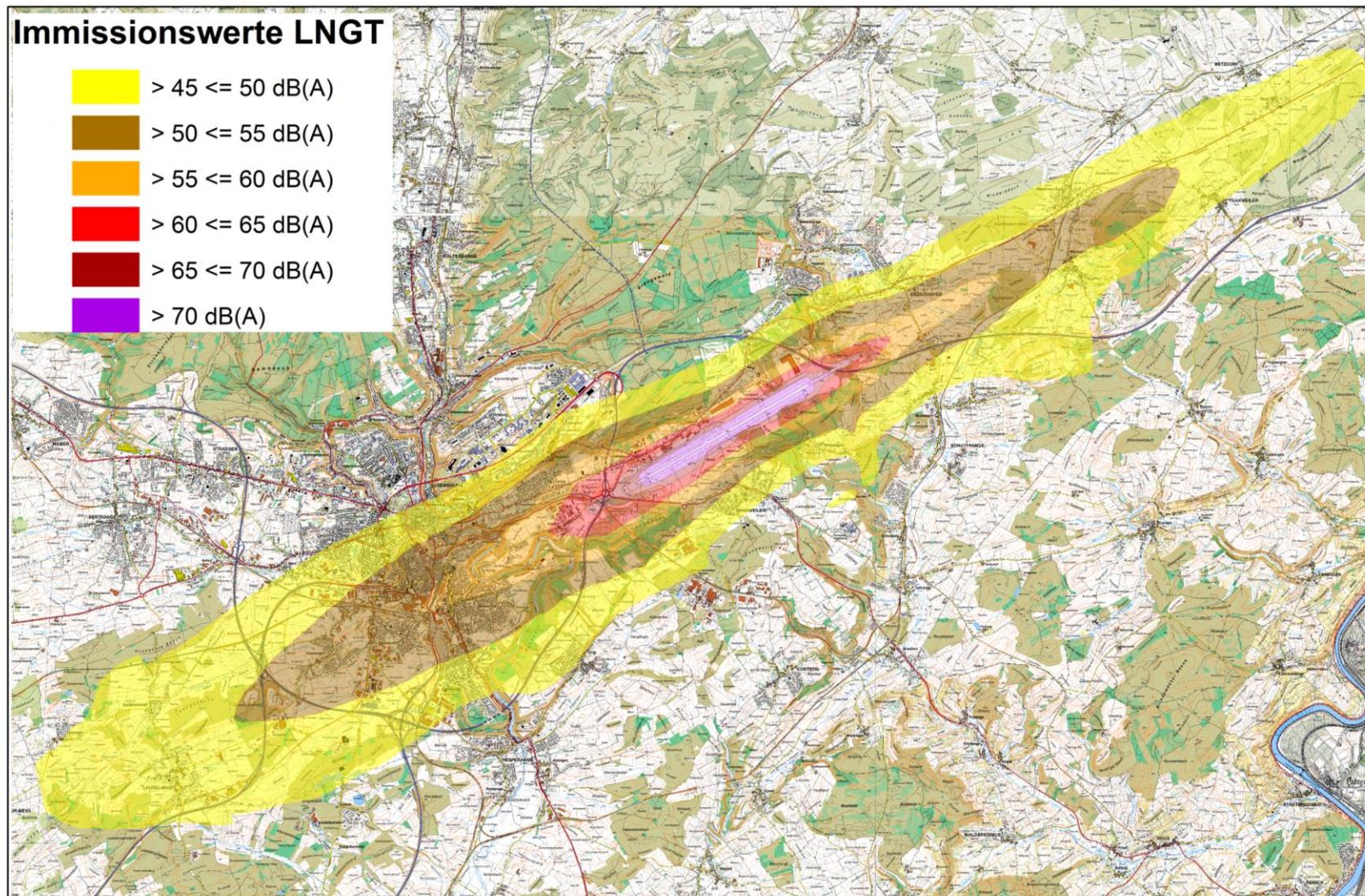


Abbildung 5-3: Lärmbelastung L<sub>ngt</sub> durch Fluglärm in Luxemburg

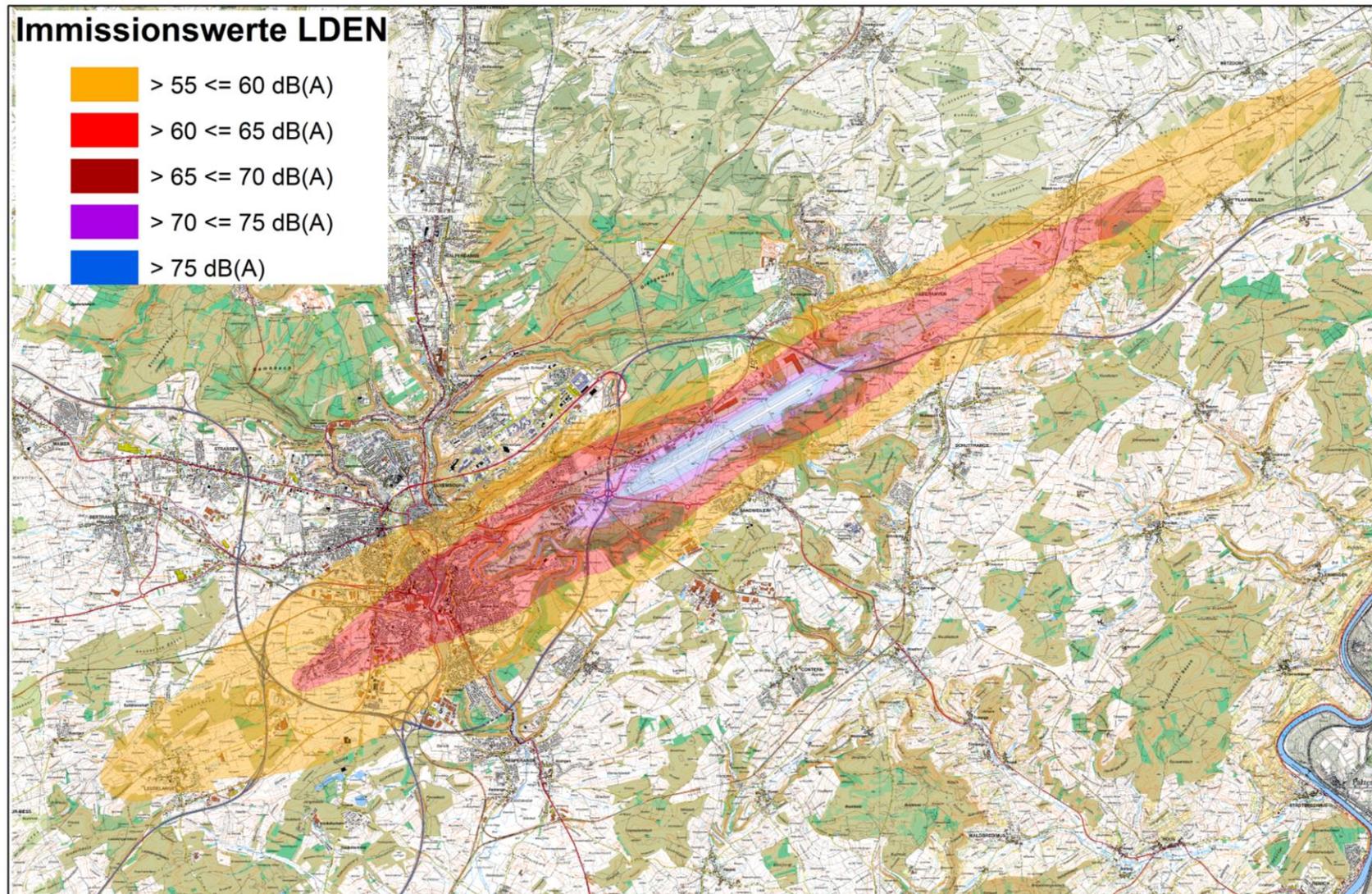


Abbildung 5-4: Lärmbelastung  $L_{den}$  durch Fluglärm in Luxemburg

## 5.2 Betroffenenstatistiken

Die Lärmbelastung in der Fläche und auf den Fassaden wurde nach Maßgabe des EU-Reporting-Mechanismus ausgewertet und wird in einer getrennten XLS-Datei übergeben. Die Ermittlung der belasteten Einwohner bzw. Wohnungen wurde nach der Methode der „Most Exposed Facade“ und dem alternativen Verfahren nach VBEB vorgenommen. Für die Weitermeldung an die EU wurden die Ergebnisse nach „Most Exposed Facade“ herangezogen. Die entsprechenden Angaben pro Gemeinde sind in Anhang I wiedergegeben.

Der Inhalt der Meldung stimmt mit den nachfolgenden Tabellenangaben überein, in der die einzelnen Indikatoren für Luxembourg Stadt, die übrigen Gemeinden des Ballungsraumes sowie als Summe die Werte für die übrigen Gemeinden des Untersuchungsgebietes zusammenfassend dargestellt werden.

**Tabelle 5-1: Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{den}$**

Indikator	$L_{den}$ (dB) - Fluglärm in Ballungsräumen				
Fluglärm	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	70 bis < 75	> 75
In Ballungsräumen	14756	24311	2755	188	0
Außerhalb Ballungsräume	9967	624	166	7	0
<b>Gesamt</b>	<b>24723</b>	<b>24935</b>	<b>2921</b>	<b>195</b>	<b>0</b>

**Tabelle 5-2: Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{ngt}$**

Indikator	$L_{ngt}$ (dB) - Fluglärm in Ballungsräumen					
Fluglärm	45 bis < 50	50 bis < 55	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	> 70
In Ballungsräumen	15482	25290	7414	1207	0	0
Außerhalb Ballungsräume	14363	1682	151	65	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>29845</b>	<b>26972</b>	<b>7565</b>	<b>1272</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tabelle 5-3: Flächenbelastung für L<sub>den</sub> als Überschreitungswert**

Indikator	Flächen (km <sup>2</sup> ) mit L <sub>den</sub> (dB)		
<b>Fluglärm</b>	<b>&gt; 55</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>&gt; 75</b>
In Ballungsräumen	23,6686	3,8304	0,2496
Außerhalb Ballungsräume	40,5194	5,9754	1,7954
<b>Gesamt</b>	<b>64,1880</b>	<b>9,8058</b>	<b>2,0450</b>

**Tabelle 5-4: Einwohnerbelastung für L<sub>den</sub> als Überschreitungswert**

Indikator	Einwohner in Gebieten mit L <sub>den</sub> (dB)		
<b>Fluglärm</b>	<b>&gt; 55</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>&gt; 75</b>
In Ballungsräumen	42010	2943	0
Außerhalb Ballungsräume	10764	173	0
<b>Gesamt</b>	<b>52774</b>	<b>3116</b>	<b>0</b>

**Tabelle 5-5: Anzahl Wohnungen für L<sub>den</sub> als Überschreitungswert**

Indikator	Wohnungen in Gebieten mit L <sub>den</sub> (dB)		
<b>Fluglärm</b>	<b>&gt; 55</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>&gt; 75</b>
In Ballungsräumen	20020	1406	0
Außerhalb Ballungsräume	5108	86	0
<b>Gesamt</b>	<b>25128</b>	<b>1492</b>	<b>0</b>

**Tabelle 5-6: Anzahl Schulen, Krankenhäuser für  $L_{den}$  als Überschreitungswert**

Indikator	Schulen bzw. Krankenhäuser in Gebieten mit $L_{den}$ (dB)					
	Schulen	Schulen	Schulen	Krankenhäuser	Krankenhäuser	Krankenhäuser
Fluglärm	> 55	> 65	> 75	> 55	> 65	> 75
In Ballungsräumen	1	0	0	2	0	0
Außerhalb Ballungsräume	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	0	0	2	0	0

Betroffenzahlen und Zahl der Wohnungen müssen für die Übermittlung nach Brüssel zu den nächsten Hundert gerundet werden. Die nachfolgenden Tabellen enthalten jeweils diese gerundeten Werte.

**Tabelle 5-7: Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{den}$  - gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	$L_{den}$ (dB) - Fluglärm				
Fluglärm	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	70 bis < 75	> 75
In Ballungsräumen	14800	24300	2800	200	0
Außerhalb Ballungsräume	10000	600	200	0	0
Gesamt	24700	24900	2900	200	0

**Tabelle 5-8: Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{ngt}$  - gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	$L_{ngt}$ (dB) - Fluglärm					
Fluglärm	45 bis < 50	50 bis < 55	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	> 70
In Ballungsräumen	15500	25300	7400	1200	0	0
Außerhalb Ballungsräume	14400	1700	200	100	0	0
Gesamt	29800	27000	7600	1300	0	0

**Tabelle 5-9: Einwohnerbelastung für  $L_{den}$  als Überschreitungswert - gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	Einwohner in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) - Fluglärm		
<b>Fluglärm</b>	<b>&gt; 55</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>&gt; 75</b>
<b>In Ballungsräumen</b>	42000	2900	0
<b>Außerhalb Ballungsräume</b>	10800	200	0
<b>Gesamt</b>	52800	3100	0

**Tabelle 5-10: Anzahl Wohnungen für  $L_{den}$  als Überschreitungswert - gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	Wohnungen in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) - Fluglärm		
<b>Fluglärm</b>	<b>&gt; 55</b>	<b>&gt; 65</b>	<b>&gt; 75</b>
<b>In Ballungsräumen</b>	20000	1400	0
<b>Außerhalb Ballungsräume</b>	5100	100	0
<b>Gesamt</b>	25100	1500	0

Gebäude mit ruhigen Fassaden wurden nicht ermittelt, da in der Berechnung nach ECAC keine Gebäude- oder sonstige Hindernisse berücksichtigt werden.

## 6 Quellenverzeichnis

[1] **ECAC.CAEC Doc 29, Ed. II:** „Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports“ (Bericht über die Standardberechnungsmethode für Lärmkonturen um zivile Flughäfen), 1997.

[2] **DIN 45687:** Akustik - Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien - Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen. Beuth-Verlag. Mai 2006

[3] **EU, 2002:** Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 189, S. 12. 2002.

[4] **EU, 2008:** Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (kodifizierte Fassung) (IVU-Richtlinie)

[5] **VBEB, 2007:** Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm. BAnz. Nr. 75, S. 4137. 2007.

[6] **VBUF:** Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Flugplätzen (VBUF) aus Bundesanzeiger . Nr. 154a, 2006

[7] **Noise\_Modelling\_and\_the\_747\_8:** Inclusion of the Boeing 747-8 in noise modelling required for the END, PDF Datei vom 5.9.2012

[8] **AIP Belgium and G.D. of Luxembourg:** Aeronautical Information Publication, Stand 2006/2008

[9] **LUX\_AIP\_DES.DOC:** Dateneingabeschema für den Flughafen Luxemburg Findel für die ausschließliche Nutzung der AIP Flugrouten, Stand 06.01.2014

## Anhang I

### Belastungsdaten pro Gemeinde

Gemeindekennziffer	Name Stadt/Gemeinde	Anzahl Belasteter Lden >55<=60	Anzahl Belasteter Lden >60<=65	Anzahl Belasteter Lden >65<=70	Anzahl Belasteter Lden >70<=75	Anzahl Belasteter Lden >75	Anzahl Belasteter Lngt >45<=50	Anzahl Belasteter Lngt >50<=55	Anzahl Belasteter Lngt >55<=60	Anzahl Belasteter Lngt >60<=65	Anzahl Belasteter Lngt >65<=70	Anzahl Belasteter Lngt >70
RECK	Reckange sur Mess	0	0	0	0	0	119	0	0	0	0	0
BIWE	Biwer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLAX	Flaxweiler	136	0	0	0	0	193	2	0	0	0	0
SCHU	Schuttrange	245	4	0	0	0	700	9	0	0	0	0
SAND	Sandweiler	1229	76	106	5	0	1899	232	110	32	0	0
HESP	Hesperange	2398	6	0	0	0	4177	181	6	0	0	0
LEUD	Leudelange	2453	0	0	0	0	3443	0	0	0	0	0
BETZ	Betzdorf	1690	222	0	0	0	1810	477	0	0	0	0
NIED	Niederanven	1816	316	60	2	0	2022	781	35	33	0	0
LUXE	Luxembourg	14756	24311	2755	188	0	15482	25290	7414	1207	0	0

